

PROF. DR. SC. IVO PODHORSKY, DIPL. ING. GRAĐ.

NOSIVE KONSTRUKCIJE II

UDŽBENIK ZA STUDIJ ARHITEKTURE

Golden marketing-Tehnička knjiga, Zagreb
Arhitektonski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
2007.



SADRŽAJ

PREDGOVOR	IX
A. KONSTRUKCIJSKI SUSTAVI CJELOVITIH ZGRADA.....	1
1. PREDGOTOVLJENE BETONSKE KONSTRUKCIJE	1
1.1. OPĆENITO	1
1.2. VRSTE PREDGOTOVLJENIH KONSTRUKCIJA	2
1.2.1. Jednoetažne građevine	2
1.2.2. Građevine s više etaža	6
1.3. POSEBNOSTI PRORAČUNA I DIMENZIONIRANJA.....	7
1.4. VERTIKALNI NOSIVI ELEMENTI	8
1.4.1. Stupovi	8
1.4.2. Zidovi	9
1.5. HORIZONTALNI KONSTRUKCIJSKI ELEMENTI	10
1.5.1. Štapni elementi	10
1.5.2. Plošni stropni i krovni elementi	13
1.5.3. Krovni elementi	17
1.6. POSEBNI ELEMENTI	17
1.7. OSTALI ZAHTJEVI NA REŠKE (SPOJEVE)	18
1.8. ZAHTJEV ROBUSTNOSTI NA ZGRADE OD PREDGOTOVLJENIH ELEMENTATA	19
1.9. PLOŠNI ELEMENTI S UKLJUČENIM INSTALACIJAMA I ZAVRŠNIM RADOVIMA	19
2. NOSIVA KONSTRUKCIJA HALE	20
2.1. UVOD	20
2.2. KONSTRUKCIJA ZA PREUZIMANJE VERTIKALNOG OPTEREĆENJA	20
2.3. KONSTRUKCIJA ZA PREUZIMANJE HORIZONTALNOG OPTEREĆENJA	22
2.3.1. Općenito, ukružni elementi	22
2.3.2. Hale bez krute dijafragme stropa	24
2.3.2.1. Općenito	24
2.3.2.2. Ukrućenje u uzdužnom smjeru	25
2.3.2.3. Ukrućenje u poprečnom smjeru	25
2.3.2.4. Ukrućenje u uzdužnom i poprečnom smjeru	26
2.3.3. Hale sa stropom – krutom dijafragmom	27
2.3.4. Ukrućenje za djelovanje horizontalnih sila – sažetak	28
3. STROPNE KONSTRUKCIJE	29
3.1. UVOD	29
3.2. KLASIFIKACIJA STROPNIH KONSTRUKCIJA	29
3.3. JEDNOSMJERNI STROPOVI	30
3.4. DVOSMJERNI STROPOVI	32
3.5. TOČKASTO OSLONJENI STROPOVI	33
3.6. POJEDINOSTI PROJEKTIRANJA I RAZRADE	34
3.7. KONSTRUKTIVNA RJEŠENJA JEDNOSMJERNIH STROPOVA	35
3.7.1. Stropovi s punim jednosmjernim pločama	35
3.7.2. Stropovi s rebrastim jednosmjernim pločama	36
3.8. KONSTRUKTIVNA RJEŠENJA DVOSMJERNIH STROPOVA	38
3.8.1. Gredni dvosmjerni stropovi s punom pločom	38
3.8.2. Gredni dvosmjerni stropovi s rebrastom pločom	39
3.8.3. Točkasto oslonjeni (dvosmjerni) stropovi s punom pločom	40
3.8.4. Točkasto oslonjeni (dvosmjerni) stropovi s rebrastom pločom	42

3.9. ROŠTILJNI STROPOVI	43
3.10. MEMBRANSKO NAPREZANJE STROPOVA	46
3.11. HORIZONTALNO VOĐENJE INSTALACIJA	48
3.12. VERTIKALNO VOĐENJE INSTALACIJA	49
4. SUSTAVI VERTIKALNIH ELEMENATA ZGRADA	50
4.1. OPĆENITO	50
4.2. ZADACI VERTIKALNIH NOSIVIH ELEMENATA	50
4.3. ZNAČAJKE SUSTAVA VERTIKALNIH ELEMENATA	50
4.4. OPĆA NAČELA ZA PROJEKTIRANJE VERTIKALNIH ELEMENATA ZGRADA	52
4.5. PRIJENOS VERTIKALNIH OPTEREĆENJA	53
4.6. PRIJENOS HORIZONTALNIH OPTEREĆENJA	53
4.6.1. Uvod	53
4.6.2. Okvirne konstrukcije	54
4.6.3. Konstrukcije zgrada s nosivim zidovima	54
4.6.4. Konstrukcije zgrada sa sandučastim ukrućnim elementima	57
4.6.5. Složeni konstruktivni sustavi	59
4.7. STANJE DOSTIGNUĆA U IZGRADNJI VISOKIH ZGRADA	62
4.7.1. Povijesni osvrt	62
4.7.2. Značenje razvoja betona visokih čvrstoća	64
4.8. VIŠKE ZGRADE S MIJEŠANIM I SPREGNUTIM KONSTRUKCIJAMA (ČELIK + BETON)	65
5. STUBIŠTA	68
5.1. OPĆENITO	68
5.2. STUBIŠTA BEZ MEMBRANSKOG DJELOVANJA	69
5.2.1. Jednokraka stubišta	69
5.2.2. Pravo dvokrako stubište	70
5.2.3. Dvokrako U- (protusmjerno) stubište	71
5.2.4. Armatura stubišta	73
5.3. STUBIŠTA S MEMBRANSKIM DJELOVANJEM	73
5.3.1. Općenito	73
5.3.2. Prava jednokraka stubišta s jednim podestom	73
5.3.3. Prava jednokraka stubišta s dva podesta	75
5.3.4. Kutno stubište	75
5.3.5. Slobodna stubišta	75
6. TEMELJENJE	80
6.1. UVOD	80
6.2. OSNOVNE INFORMACIJE O TLU	80
6.2.1. Općenito	80
6.2.2. Svojstva tla	80
6.2.3. Glavne karakteristike temeljnih tala s usporedbom njihovih svojstava	81
6.3. VRSTE TEMELJA ZGRADA	81
6.4. ODREĐIVANJE SVOJSTAVA TLA	83
6.5. OŠTALI ZAHTEVI ZA TEMELJE	83
6.6. UČINCI SLIJEGANJA	84
6.7. PLITKI TEMELJI	86
6.7.1. Pojedinačni temelji	86
6.7.1.1. Centrično opterećenje	86
6.7.1.2. Ekscentrično opterećenje	88
6.7.2. Tračni temelji zidova	92
6.7.2.1. Centrično opterećenje temelja	92
6.7.2.2. Ekscentrično opterećenje temelja	93
6.7.3. Temeljne grede stupova	95
6.7.4. Temeljne ploče	96
6.8. DUBOKI TEMELJI	97
6.8.1. Općenito	97

6.8.2. Zabijeni piloti	98
6.8.3. Piloti izvedeni <i>in situ</i>	98
6.9. PODBETONIRANJE	99
7. KROVNE KONSTRUKCIJE	100
7.1. UVOD	100
7.1.1. Konstrukcijski sustavi	100
7.1.2. Opterećenja	101
7.2. PODROŽENIČKA KROVIŠTA	102
7.2.1. Krovišta bez kosnika (čista podroženička krovišta)	102
7.2.2. Krovišta s kosnicima (podroženička krovišta s vezačima)	104
7.2.2.1. Vezač – dvostruka stolica	104
7.2.2.2. Vezač – dvostruka visulja	105
7.2.3. Ukrućenje podroženičkih krovišta u uzdužnom smjeru	105
7.3. ROŽENIČKA KROVIŠTA	106
7.3.1. Obično roženičko krovšte	106
7.3.2. Roženičko krovšte s pajantom	109
7.3.3. Uzdužno ukrućenje roženičkih krovišta	110
7.4. KOMBINIRANE KONSTRUKCIJE KROVIŠTA	110
7.4.1. Podroženičko krovšte s pajantama	110
7.4.2. Podroženičko krovšte s armiranobetonskim stupovima	111
B. UZDRŽAVANJE I POJAČAVANJE KONSTRUKCIJA	112
8. UZDRŽAVANJE I POJAČAVANJE KONSTRUKCIJA	112
8.1. UVOD	112
8.1.1. Definicije osnovnih pojmova	112
8.2. UZROCI PROPADANJA KONSTRUKCIJA	113
8.3. TRAJNOST KONSTRUKCIJA	114
8.4. PREGLEDI KONSTRUKCIJA	115
8.4.1. Uvod	115
8.4.2. Postupci istraživanja postojećeg stanja konstrukcije	116
8.5. POPRAVAK I POJAČAVANJE	119
8.5.1. Projektiranje popravka i pojačanje	119
8.5.2. Temeljna razmatranja za utvrđivanje mjera popravka	120
8.5.3. Zaštita armature od korozije	121
8.5.4. Pripremni radovi	121
8.5.4.1. Betonska podloga	121
8.5.4.2. Armatura	122
8.5.5. Postupci popravka	122
8.5.5.1. Uvod	122
8.5.5.2. Popravak običnim betonom	122
8.5.5.3. Popravak mlaznim betonom	123
8.5.5.4. Popravci mortovima	125
8.5.5.5. Zaštita betonskih površina	125
8.5.5.6. Sustavi za popravak betona	126
8.5.5.7. Zatvaranje pukotina	127
8.5.5.8. Primjeri popravaka	127
8.6. OSNOVNA NAČELA POJAČAVANJA KONSTRUKCIJE	128
Prilog: ZBIRKA RIJEŠENIH ISPITNIH ZADATAKA	131
SUMMARY	173
LITERATURA	175
BILJEŠKA O AUTORU	177

PREGOVOR

Ova je knjiga namijenjena kao udžbenik studentima Arhitektonskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, no njime se mogu služiti i diplomirani inženjeri arhitekture kao priručnikom prilikom projektiranja zgrada i drugih građevina.

Studentima koji su do školske godine 2006./07. slušali jednosemestralni predmet *Nosive konstrukcije II* u V. semestru, knjiga će poslužiti za pripremu ispita, dok će studentima reformiranog studija u skladu s Bolonjskom deklaracijom poslužiti za izradu programa iz predmeta *Nosive konstrukcije IV* u III. semestru i zadatka unutar *Tehničkog studija* u III. i IV. semestru. Svima njima knjiga će biti vrlo korisna za projektiranje konstrukcija unutar zadataka na vježbama iz projektiranja tijekom cijeloga studija.

Opći su ciljevi ove knjige:

- upoznavanje konstrukcijskih sustava cjelovitih građevina uključivo i predgotovljenih betonskih konstrukcija
- upoznavanje s osnovama uzdržavanja, uključivo ocjenu, popravak i pojačavanje konstrukcija (pretežito betonskih)
- ovladavanje vještinom projektiranja konstrukcije za razne vrste zgrada u skladu s postavljenim zahtjevima.

Tekstu koji odgovara predavanjima dodana je i zbirka izrađenih zadataka.

Iako se arhitekti u praksi ne bave proračunom konstrukcija, autor smatra da oni moraju biti u stanju projektirati konstrukcije uobičajenih građevina umjerenih raspona i katnosti na razini idejnog rješenja. Pritom to projektiranje podsustava nosive konstrukcije treba shvatiti kao dio cjelovitog projektiranja zgrade ili neke druge građevine.

U skladu s općim ciljevima knjiga je razdijeljena na dva dijela:

- A) Konstrukcijski sustavi cjelovitih zgrada
- B) Uzdržavanje i pojačavanje konstrukcija

kojima je dodan

Prilog: Zbirka riješenih ispitnih zadataka.

Prvi dio sadržava sedam poglavlja:

- Predgotovljene betonske konstrukcije
- Nosiva konstrukcija hale – osnovno o prijenosu vertikalnih i horizontalnih opterećenja
- Stropne konstrukcije
- Sustavi vertikalnih nosivih elemenata zgrada
- Stubišta
- Temeljenje
- Krovne konstrukcije.

Drugi dio sadržava samo jedno poglavlje – Uzdržavanje i pojačavanje konstrukcija: definicije osnovnih pojmova i strategije uzdržavanja, uzroke propadanja konstrukcija sa značenjem trajnosti, pregleda, popravke i pojačavanja.

Na kraju želim zahvaliti onima koji su omogućili nastanak ove knjige: Ministarstvu znanosti, obrazovanja i športa RH, koje je novčanom potporom pomoglo izdavanje knjige, recenzentima za brojne korisne sugestije, nakladniku Golden marketing-Tehničkoj knjizi te posebno urednici dr. Ariani Štulhofer, koja je uložila mnogo truda da knjiga bude pregledna i što ljepša.

Zagreb, siječanj 2007.

Autor



1. PREDGOTOVLJENE BETONSKE KONSTRUKCIJE

1.1. OPĆENITO

Predgotovljene (prefabricirane, montažne) konstrukcije jesu konstrukcije koje se izvode od predgotovljenih elemenata koji se sklapaju na gradilištu, za razliku od konstrukcija izvedenih na mjestu (*in situ*), koje se nazivaju i monolitnim konstrukcijama. Naziv se rabi za betonske konstrukcije jer se za drvene i metalne konstrukcije podrazumijeva da su predgotovljene. Elementi se izrađuju najčešće u tvornici, no u iznimnom slučaju – ako imaju dimenzije koje onemogućuju prijevoz – i na gradilištu. Važni aspekti predgotovljenih konstrukcija jesu prijevoz elemenata do gradilišta i njihova montaža (sklapanje). Konstrukcija može biti potpuno ili djelomično predgotovljena. Djelomično predgotovljena je konstrukcija kojoj su pojedini predgotovljeni elementi (npr. stupovi, fasade, stubišta) uključeni u tradicionalnu monolitnu konstrukciju.

Industrijski način proizvodnje elemenata daje predgotovljenim konstrukcijama sljedeće **prednosti**:

- poboljšanu kvalitetu zbog:
 - idealnih uvjeta proizvodnje poradi neovisnosti o atmosferskim prilikama i bolje kontrole kvalitete
 - mogućnosti proizvodnje kvalitetnijeg betona (točno doziranje)
 - kvalitetnije ugradbe (npr. zidovi i stupovi izvode se u ležećim kalupima)
 - smanjenja utjecaja skupljanja i pužanja, zato što se dio tih djelovanja obavi prije ugradnje elementa u konstrukciju
- mogućnost bržega građenja zbog:
 - racionalizacije i automatizacije izrade
 - mogućnosti proizvodnje elemenata prije otvaranja gradilišta
 - ubrzanja izrade elemenata toplinskom obradom: normalno je da čitav ciklus proizvodnje (čišćenje oplate, postava armature, postava oplate, betoniranje, obrada, vađenje elemenata) traje samo 48 sati
- mogućnost ekonomičnijega građenja, koje se može ostvariti kao posljedica nabrajenih prednosti – iako je jedinična cijena (po m³) viša nego u monolitnoj konstrukciji (troškovi izgradnje tvornice i nabave te održavanja složene opreme), a gdjekad i utrošak gradiva nešto veći, brzina i jednostavnost montaže često opravdavaju izbor predgotovljene konstrukcije (vrijeme je novac!)
- mogućnost poboljšanja estetičkog dojma
 - olakšanim postizanjem zanimljivih geometrijskih oblika (sl. 1.1.)
 - različitom obradom površine elemenata (profilacijom pomoću uložaka u oplati, pranjem, pjeskarenjem, četkanjem, bojenjem i dr.), koje je mnogo lakše postići u tvornici nego na gradilištu (sl. 1.2.).

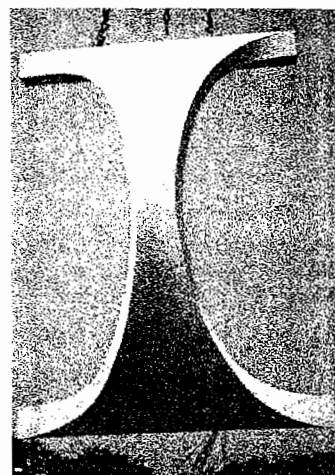
Predgotovljene konstrukcije imaju i svoje **mane**. To su:

- postojanje brojnih spojeva koji, osobito ako nisu dobro izvedeni, djelomično smanjuju monolitnost konstrukcije
- povećani troškovi za prijevoz i montažu

- nastajanje monotonih i nelijepih građevina (zgrada i mostova) u slučajevima kada se industrijalizacijom nastojalo što više smanjiti troškove, ne vodeći uopće računa o estetici (sl. 1.3.). Ovakve su građevine uzrok predrasuda protiv industrijskog načina građenja i protiv betonskih konstrukcija općenito.

Uspjeh svakog projekta predgotovljene konstrukcije pretpostavlja:

- savršenu koordinaciju svih sudionika u izgradnji te, više nego kod tradicionalne gradnje, usku suradnju arhitekata, inženjera i poduzeća raznih specijalnosti od samog početka projekta
- povećani rad na projektiranju – proračun i razrada veza, proračun na dodatna opterećenja zbog više faza izgradnje, tehnološki projekt montaže, uzimanje u obzir tolerancija mjera (po uzoru na čelične konstrukcije), mase elemenata u skladu sa sredstvima dizanja, kao i dimenzija elemenata u skladu s mogućnostima prijevoza.



Sl. 1.1. Primjer fasadnog elementa složenog oblika

1.2. VRSTE PREDGOTOVLJENIH KONSTRUKCIJA

Osnovna je podjela s obzirom na svojstva nosivosti elemenata, i to na:

- štapne konstrukcije koje se sastoje od vertikalnih i horizontalnih elemenata – stupova, glavnih i sekundarnih nosača te podvlaka
- konstrukcije od plošnih elemenata koje se uglavnom sastoje od ploča i fasadnih nosivih zidova
- konstrukcije od prostornih elemenata (npr. kontejnera).

Uobičajena je i podjela s obzirom na katnost, i to na:

- jednokatne (jednoetažne) konstrukcije
- višekratne konstrukcije.

U daljnjem tekstu obradit će se tipične predgotovljene konstrukcije.

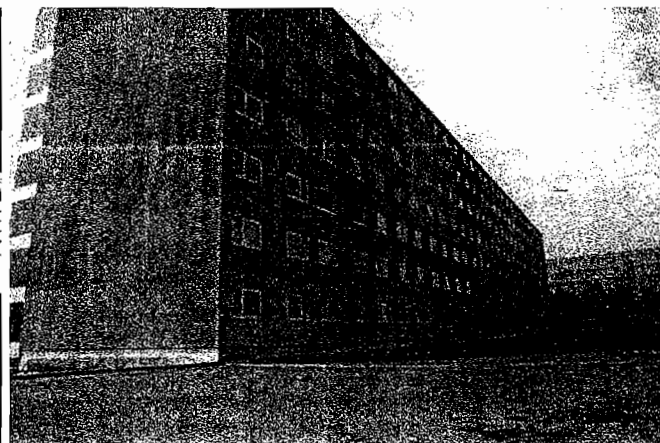
1.2.1. Jednoetažne građevine

Jednoetažne građevine područje su vrlo česte primjene predgotovljenih konstrukcija. Radi se o industrijskim halama, skladištima, velikim dućanima i izložbenim dvoranama.

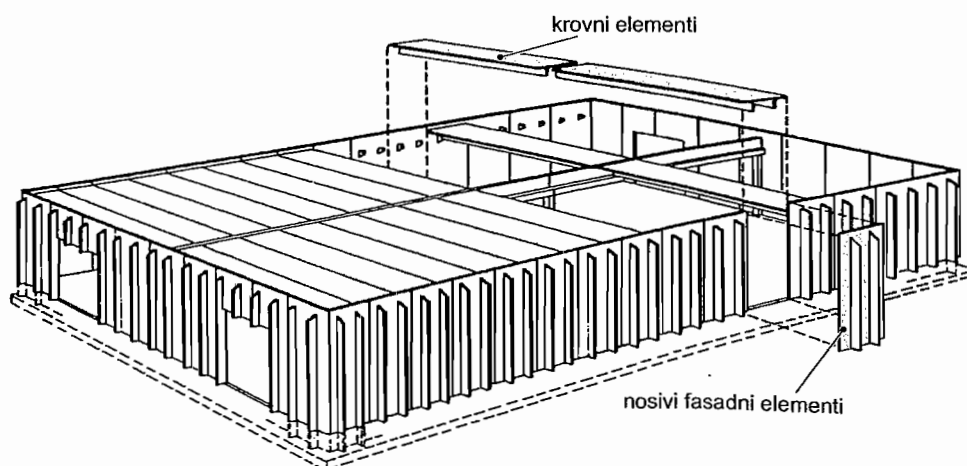
- Često je ekonomično rješenje s **plošnim elementima** – nosivim fasadama i krovnim elementima (sl. 1.4.). Veza krova i fasadnih zidova postiže se na ležajevima krovnih elemenata na zidovima. Međusobna veza krovnih elemenata daje krutu krovnu ploču – dijafragmu, a veza zidnih elemenata

Sl. 1.2. Primjer fasade od predgotovljenih elemenata – Sveučilišna knjižara u Ženevi

Sl. 1.3. Primjer stambene izgradnje pedesetih godina 20. stoljeća



Sl. 1.4. Primjer jednoetažne predgotovljene konstrukcije od plošnih elemenata



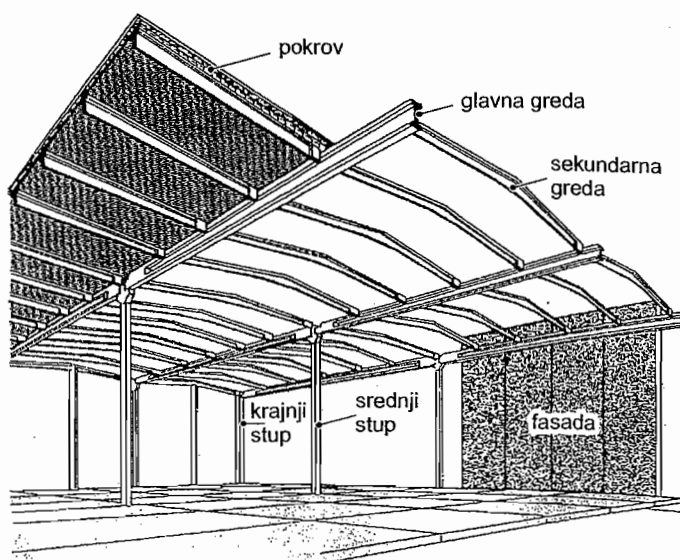
daje ukrutne elemente za preuzimanje horizontalnih sila. Za ovakve građevine uobičajeni su rasponi od desetak metara, iako se prednapetim krovnim pločama mogu postići rasponi i do 25 m.

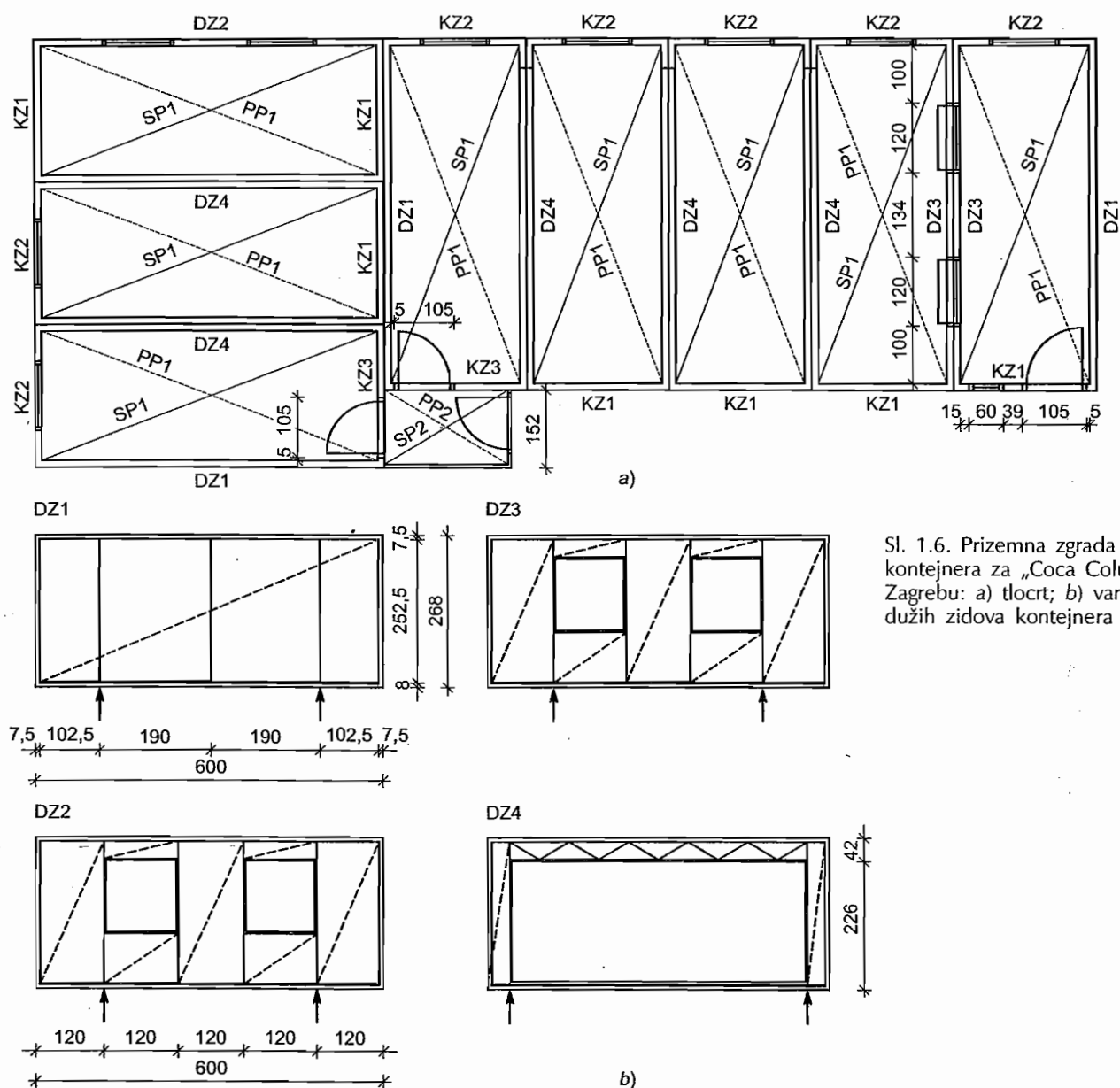
- Često se upotrebljava i **skeletni sustav** (sl. 1.5.), koji se sastoji od:
 - stupova upetih u temelje
 - glavnih greda te
 - sekundarnih greda koje nose lagani pokrov od profiliranog lima.

Grede mogu činiti niz prostih greda ili kontinuirani nosač. Ovo posljednje rješenje daje za oko 30% manje momente savijanja u odnosu na prostu gredu, dakle mogućnost smanjenja presjeka i težine elemenata, ali i bitno kompliciranije spojeve jer treba postići kontinuitet greda na ležajevima, tj. omogućiti preuzimanje negativnih momenata (sl. 1.7.). Najčešće se ipak rade proste grede zbog jednostavnosti spojeva jer se smanjuju troškovi ljudskog rada i najamnine za dizalice, a uvelike povećava brzina građenja. Skeletne se konstrukcije lako montiraju autodizalicom i pomoću radnih platformi za radnike na montaži (sl. 1.8.).

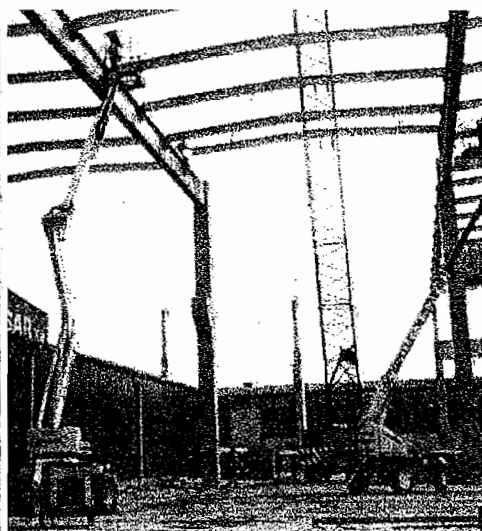
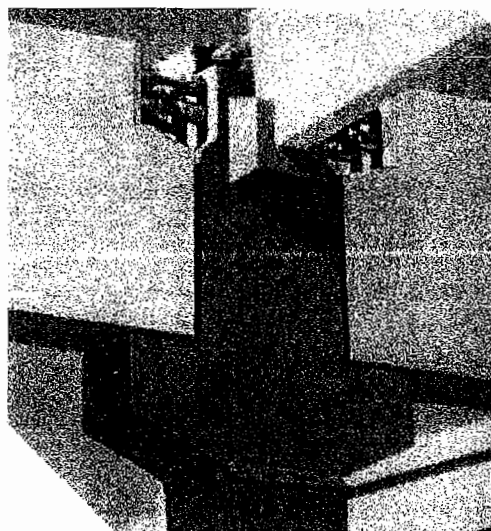
- **Industrijske proizvodne hale** zahtijevaju često veće raspone i veće visine u odnosu na prethodno spomenute skeletne građevine (sl. 1.9.). One imaju i složeniji konstruktivni sustav u odnosu na spomenute jednostavne skelete.

Sl. 1.5. Primjer skeletne jednoetažne predgotovljene konstrukcije



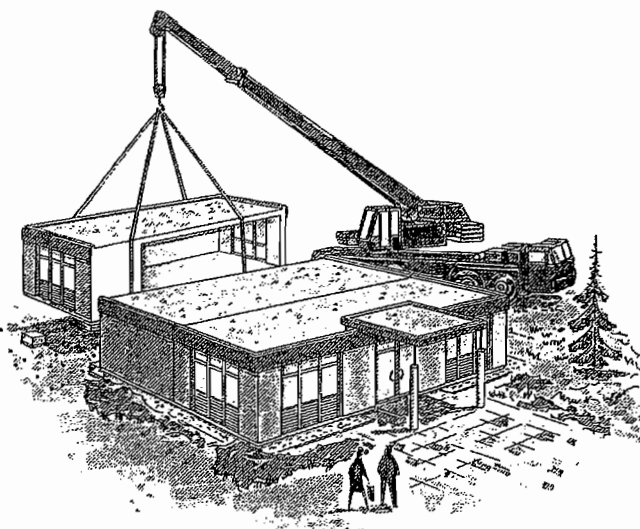
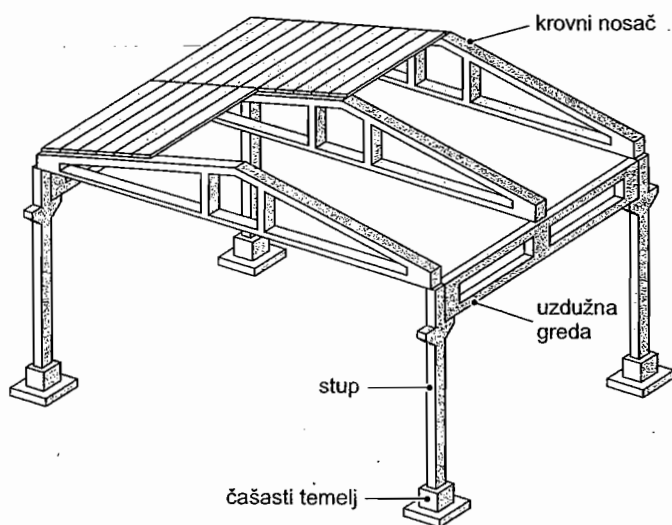


Sl. 1.6. Prizemna zgrada od kontejnera za „Coca Colu” u Zagrebu: a) tlocrt; b) varijante dužih zidova kontejnera



Sl. 1.7. Primjer uspostavljanja kontinuiteta greda nad ležajevima

Sl. 1.8. Montaža skeletne konstrukcije pomoću autodizalice i radnih platformi za radnike na montaži



Sl. 1.9. Primjer konstrukcije industrijske proizvodne hale
Sl. 1.10. Primjer prizemne predgotovljene zgrade od prostornih elemenata

Glavne grede – vezači – često imaju velike raspone: do tridesetak metara. Kako je njihov razmak nerijetko manji od razmaka stupova, potrebno je predvidjeti i uzdužne nosače – podvlake. Posebne uzdužne nosače potrebno je ponekad predvidjeti i kao nosače kranskih staza. I za ove konstrukcije najčešće se predviđa lagani pokrov od profiliranog lima (za razliku od primjera na slici 1.9. gdje imamo betonske ploče) koji leži na glavnim nosačima pomoću sekundarnih nosača. Nenosive fasade omogućuju velike otvore (često potrebne u industrijskim zgradama) i proširenje hale ili reorganizaciju prostora.

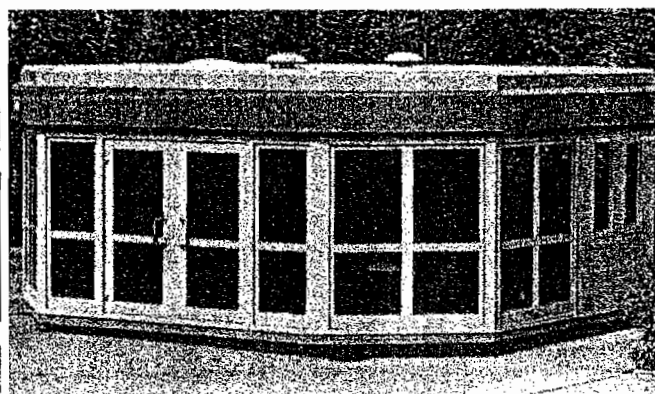
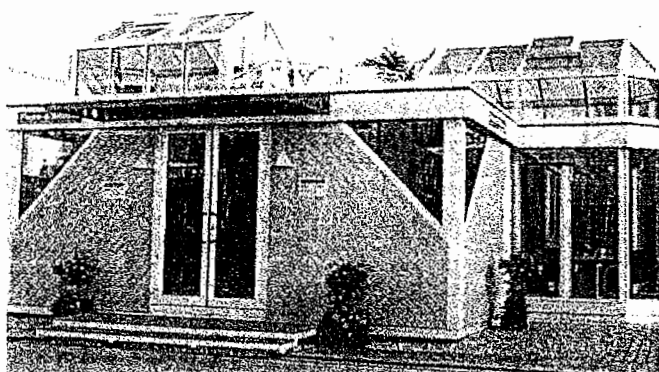
- Predgotovljene jednoetažne konstrukcije od **prostornih elemenata** (sl. 1.10.) rabe se za izgradnju škola, vrtića, manjih uredskih zgrada i dr. Prednost im je što u tvornici mogu biti gotovo potpuno predgotovljene – dakle s krovnim, zidnim i podnim oblogama, stolarijom, bravarijom, instalacijom i dr., čime se rad na gradilištu svodi na minimum. Na isti se način mogu raditi i jednostavnije konstrukcije, kao npr. mali izložbeni paviljoni i kiosci (sl. 1.11.).

Primjer spomenute vrste građevine jest prizemna zgrada od kontejnera, dimenzija $6,0 \times 2,5 \times 2,68$ m, izgrađena u krugu tvrtke „Coca Cola“ u Zagrebu 1994. godine (sl. 1.6.). Konstrukcija svakoga kontejnera sastoji se od:

- čeličnog skeleta koji čine podni U-nosač i cijevi
- zidova ispune od lakog betona gustoće $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$ i debljine 12 cm
- podne i stropne ploče od armiranoga lakog betona gustoće $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$.

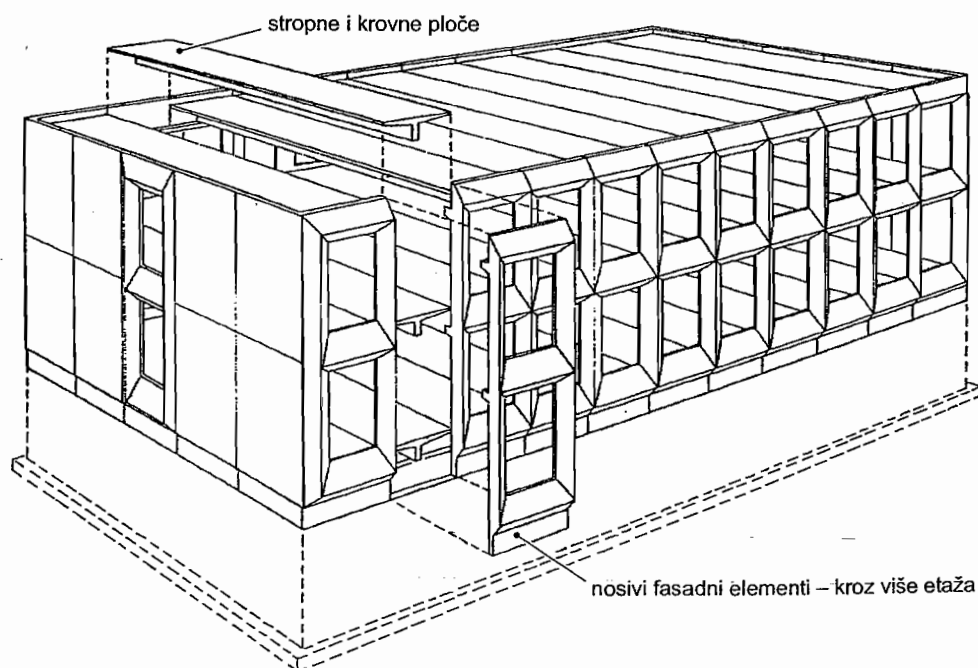
Vidi se da se s pomoću spomenutih kontejnera mogu napraviti veće prostori – približno $6 \times 7,5$ m i 6×10 m.

Sl. 1.11. Izložbeni paviljoni i kiosci od predgotovljenih prostornih elemenata

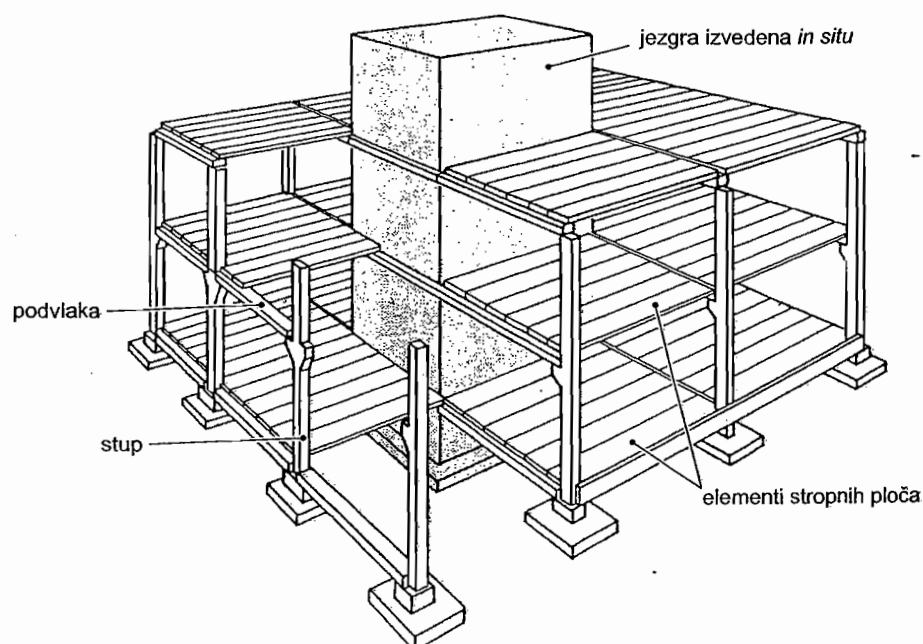


1.2.2. Građevine s više etaža

Standardne građevine od **plošnih elemenata** s dva ili više katova s jednostavnom funkcijom (sl. 1.12.) predstavljaju slično rješenje kao ono za jednokatne građevine prikazane na slici 1.4. Stropne i krovne ploče mogu biti pune za male raspone, a za veće raspone T- ili TT-presjeka. Nosivi fasadni elementi idu po pravilu kroz više etaža. Za veće katnosti može se pokazati potrebnim dodatni sustav ukrućenja u unutrašnjosti zgrade, koji se može ostvariti predgotovljenim zidovima za ukrućenje ili odgovarajućim zidovima izvedenim na samome mjestu.



Sl. 1.12. Primjer višekatne predgotovljene konstrukcije od plošnih elemenata

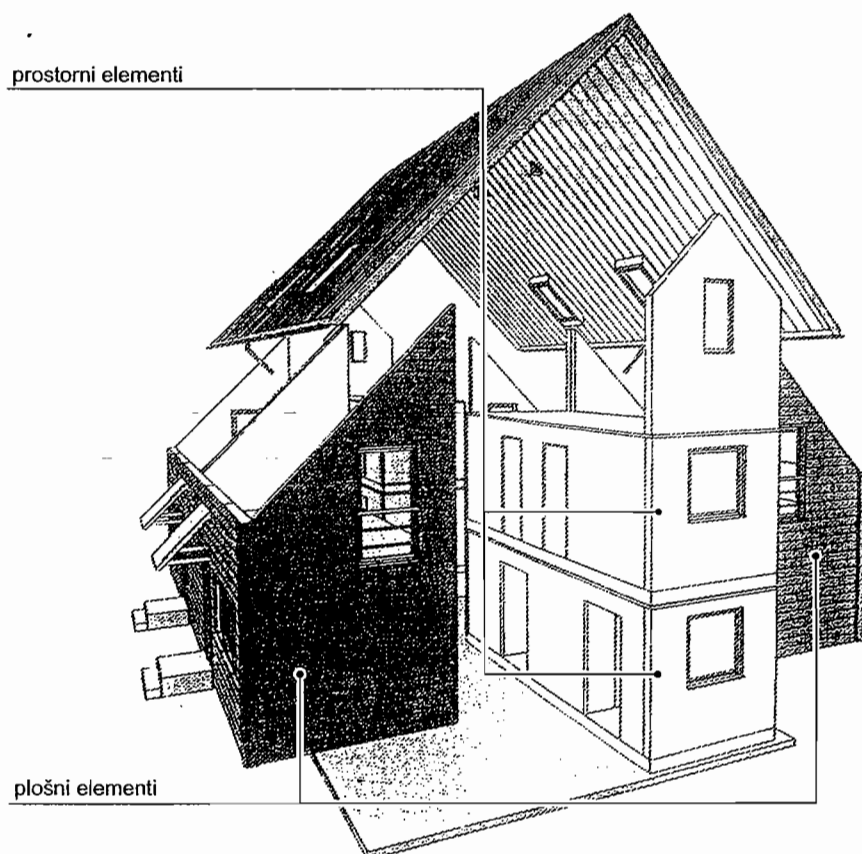


Sl. 1.13. Primjer višekatne skeletne predgotovljene konstrukcije

Višekatni skeletni sustav neprimjeren je za predgotovljene konstrukcije zbog velikih komplikacija i teškoća vezanih za uspostavljanje krutih čvorova odnosno nemogućnosti preuzimanja horizontalnih opterećenja. Zato tipično rješenje (sl. 1.13.) sadrži jezgru od armiranobetonskih zidova izvedenu na samome mjestu, na koju je priključen skeletni sustav predgotovljenih stupova, greda i ploča. Pritom ploča mora biti odgovarajućim mjerama pretvorena u krutu dijafragmu koja će horizontalna opterećenja na skeletni sustav prenijeti na jezgru. Na takvim zgradama fasada je nenosiva i obješena na konstrukciju, što pruža mogućnost slobode oblikovanja pročelja, kao i mogućnost jednostavnijeg proširenja zgrade.

Na slici 1.14. prikazan je primjer primjene **kombinacije prostornih i plošnih predgotovljenih elemenata** za višekatnu konstrukciju stambene zgrade. Srednji dio zgrade od prostornih elemenata, u kojem su smještene kuhinje, kupaonice, zahodi, stubišta i hodnici, sadržava sve instalacije (sanitarne, elektro, grijanje), kao i sva unutarnja vrata. Preostali dio zgrade, u kojem su stambeni prostori, ima konstrukciju od plošnih elemenata.

Sl. 1.14. Primjer kombinacije prostornih i plošnih elemenata konstrukcije stambene zgrade



Sl. 1.15. Shema i opterećenje predgotovljenog stupa u trenutku dizanja iz kalupa

1.3. POSEBNOSTI PRORAČUNA I DIMENZIONIRANJA

Proračun se izvodi po istim načelima kao za konstrukcije *in situ*, uz uzimanje u obzir stvarnih uvjeta veza – mogućnosti prijenosa sila i momenata (npr. zglobova veza ne prenosi moment). Treba uzeti u obzir i sve faze tijekom izvedbe te proračunati dotični element za sva opterećenja koja pritom preuzima. Kao primjer navodi se stup koji se izvodi u ležećem kalupu. Prilikom dizanja stupa iz kalupa on djeluje kao greda opterećena vlastitom težinom (sl. 1.15.), pa ga treba dimenzionirati na savijanje, uz uzimanje u obzir čvrstoće betona u skladu sa starošću betona u trenutku dizanja.

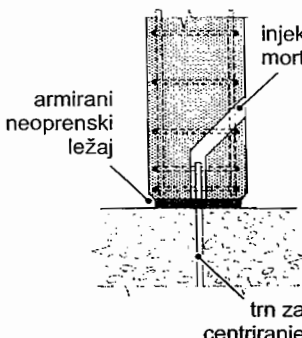
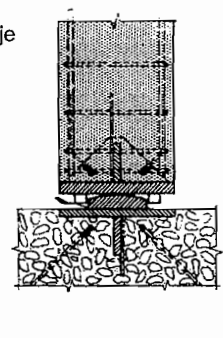
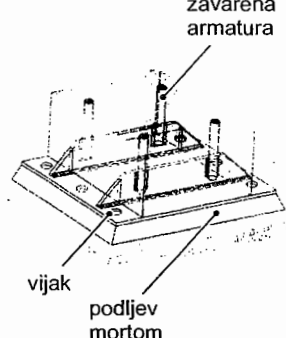
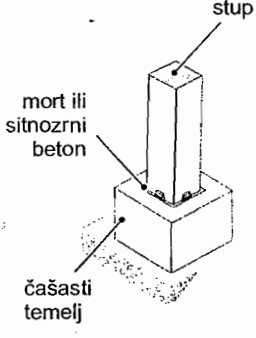
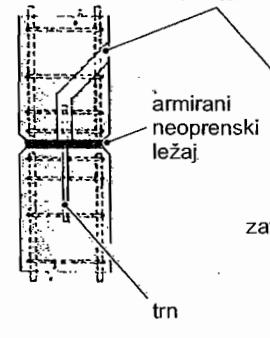
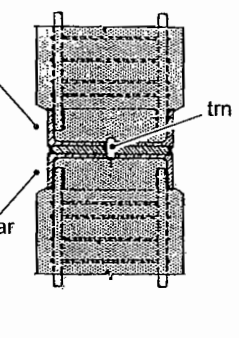
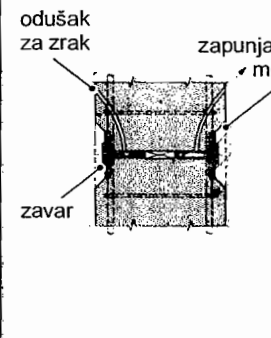
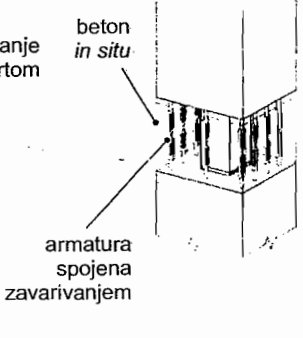
Za slučajeve opterećenja za koje se konstrukcija razmatra kao cjelina (npr. vertikalno opterećenje + potres), proračun se izvodi uglavnom kao za monolitnu konstrukciju, dimenzioniranje samih elemenata – jednako kao za konstrukciju *in situ*, dok se dimenzioniranje veza provodi u skladu s reznim silama (M , N , V) u presjecima na mjestu veza.

1.4. VERTIKALNI NOSIVI ELEMENTI

1.4.1. Stupovi

Kako su stupovi vrlo važni za sigurnost cijele građevine, a razmjerno ih je teško kvalitetno izvesti *in situ*, vrlo se često rabe predgotovljeni stupovi u konstrukciji koja je inače izvedena na samome mjestu. Stupovi se tada povezuju s ostalim dijelovima pomoću nastavaka armature koji se pružaju iz samog elementa stupa, a povezivanje se obavlja betoniranjem susjednih elemenata – ploča i greda. Za slučaj potpuno predgotovljenih konstrukcija treba predvidjeti odgovarajuće veze kojima će se prenijeti sve rezne sile koje djeluju u njima. Na slici 1.16. prikazana su rješenja veza stupa i temelja, odnosno stupa i stupa. I kada se u vezi stup-temelj prenosi samo uzdužna sila, nerijetko se izvodi čašasti temelj, i to iz izvedbenih razloga. Naime, zglobno oslonjeni stup ne može stajati sam za sebe, pa ga treba privremeno podupirati dok se ne izvede stropna konstrukcija nad njim.

Sl. 1.16. Rješenje veza stup-temelj i stup-stup u ovisnosti o silama koje se prenose

	Prijenos (samo) uzdužne sile	Prijenos uzdužne sile + moment savijanja
Veza stup – temelj	 <p>a) s neoprenskim ležajem</p>  <p>b) s čeličnim ploham</p>	 <p>c) s čeličnim pločama</p>  <p>d) betonski čašasti temelj</p>
Veza stup – stup	 <p>e) s neoprenskim ležajem</p>  <p>f) s čeličnim pločama</p>	 <p>g) s čeličnim pločama</p>  <p>h) zavarivanjem armature</p>

1.4.2. Zidovi

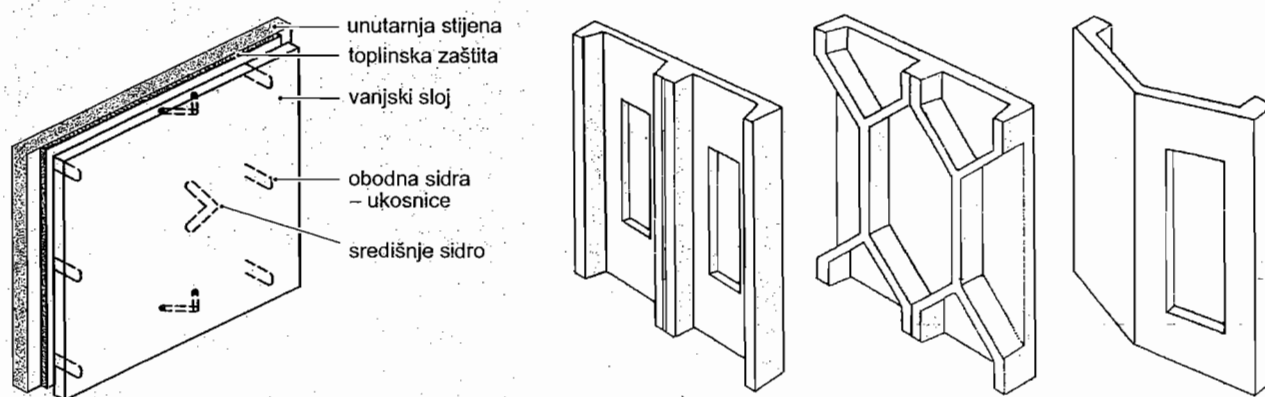
Zidovi mogu biti unutarnji i vanjski (fasadni). Složeniji su fasadni zidovi zbog složenije funkcije. Oni moraju imati dovoljno velik betonski presjek jer osim zadovoljenja dostatne nosivosti i mogućnosti oslanjanja za stropne i krovne konstrukcije moraju dati i mogućnost smještaja otvora za prozore (sl. 1.17.). Nadalje, zbog zahtjeva fizike zgrade trebaju pružiti i odgovarajuću toplinsku zaštitu. Najčešće su rješenje zato troslojne (sendvič) fasade (sl. 1.18.), koje imaju:

- unutarnji nosivi zid debljine 10 do 16 cm
- toplinsku zaštitu debljine 6 do 10 cm
- vanjski sloj debljine 6 do 8 cm (beton).

Vanjski je sloj potreban za zaštitu sloja toplinske zaštite (kamena vuna, stiropor i dr.) od utjecaja atmosferilija. Najčešće se predviđa od betona radi ekonomičnosti, iako ga je moguće izvesti i od drugih gradiva, npr. od lima. Neophodni sastojci troslojnog elementa jesu sidra od nehrđajućeg čelika, kojima se kroz sloj toplinske zaštite povezuju unutarnji nosivi zid i vanjski sloj betona. Ta sidra povećavaju trošak i otežavaju izvedbu, a dijelom smanjuju i toplinsku zaštitu (svako je sidro malen hladni most).

Sl. 1.17. Primjeri elemenata vanjskih zidova

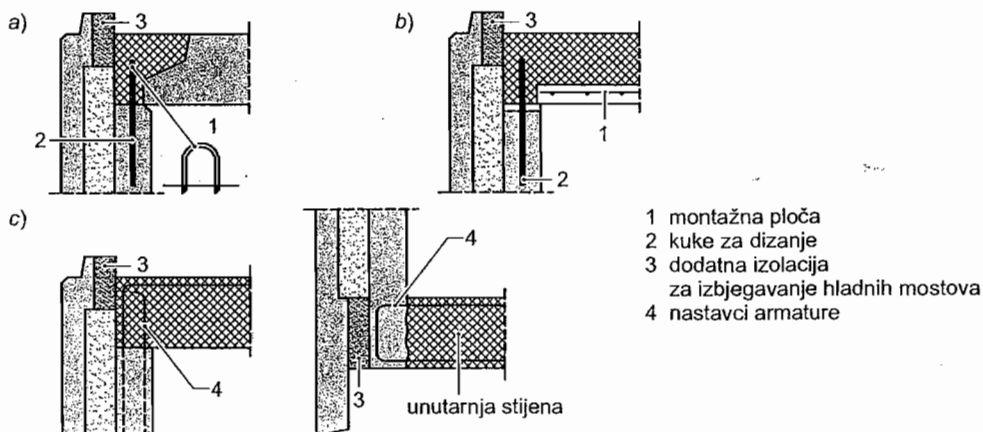
Sl. 1.18. Element troslojne (sendvič) fasade

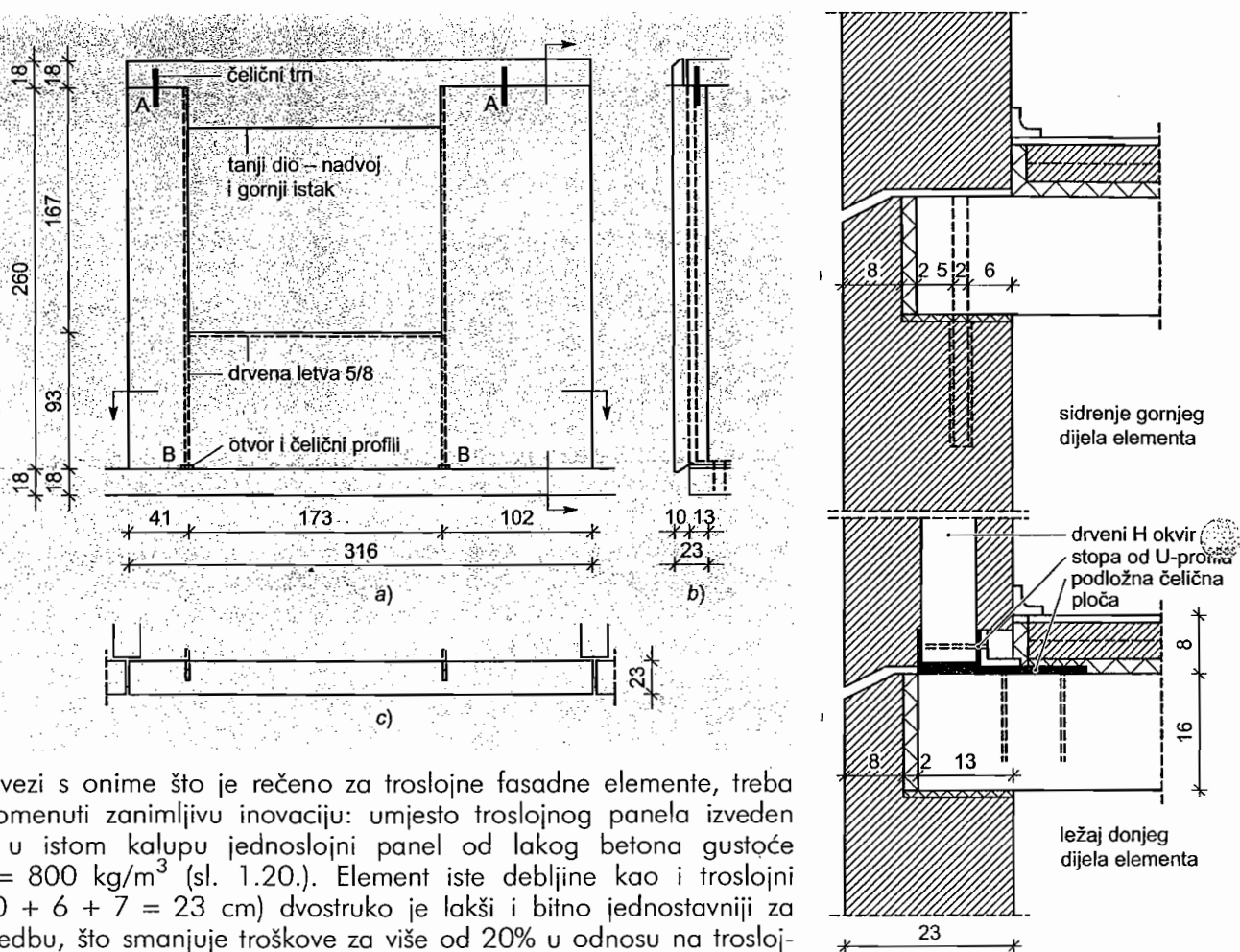


Dimenzije zidnih elemenata ovise o geometriji zgrade i o mogućnostima izrade, prijevoza i montaže. Mogu ići i kroz više etaža, no najčešće je visina elementa jednaka visini etaže, a širina elementa jednaka širini razmaka poprečnih zidova. Spojevi fasade sa stropnim konstrukcijama obično se ostvaruju pomoću nastavaka armature iz predgotovljenog elementa, koji se zalijevaju betonom na samome mjestu. Osobito je važno izbjeći hladne mostove, što se postiže dodatnom izolacijom na odgovarajućim mjestima (sl. 1.19.).

Sl. 1.19. Spojevi fasadnih elemenata s elementima stropne konstrukcije:

- a) pri montažnim stropnim pločama;
b) pri polumontažnim stropnim pločama (npr. sustav Omnia);
c) pri stropnim konstrukcijama izvedenim *in situ*





U vezi s onime što je rečeno za troslojne fasadne elemente, treba spomenuti zanimljivu inovaciju: umjesto troslojnog panela izveden je u istom kalupu jednoslojni panel od lakog betona gustoće $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$ (sl. 1.20.). Element iste debljine kao i troslojni ($10 + 6 + 7 = 23 \text{ cm}$) dvostruko je lakši i bitno jednostavniji za izvedbu, što smanjuje troškove za više od 20% u odnosu na troslojni element – unatoč skupljem betonu.

Na slici 1.21. prikazani su detalji veza zidnog elementa s gornjom i donjom stropnom konstrukcijom. Ti detalji otkrivaju prilično velik trud koji je trebalo uložiti u projektiranje tog elementa, pri čemu je trebalo uskladiti zahtjeve: funkcije (nadvoj, prostor za roletu), fizike (toplinska zaštita, difuzija vlage), statike i izvedbe, što se kvalitetno može učiniti samo timskim radom odgovarajućih stručnjaka: arhitekta-projektanta, stručnjaka za fiziku zgrade, konstruktora i stručnjaka za tehnologiju gradiva.

Sl. 1.20. Fasadni jednoslojni element od lakog betona:

- a) pogled;
- b) vertikalni presjek;
- c) horizontalni presjek

Sl. 1.21. Detalji veza jednoslojnog elementa sa stropnim konstrukcijama

1.5. HORIZONTALNI KONSTRUKCIJSKI ELEMENTI

1.5.1. Štapni elementi

Dijele se na tri vrste prema funkciji:

- 1) glavni nosači (npr. glavne grede stropa, krovni vezači, grede kranske staze), koji se oslanjaju na stupove ili podvlake
 - 2) sekundarni nosači (npr. nosači pokrova), koji se oslanjaju na glavne nosače
 - 3) podvlake (uzdužni nosači, na koje se oslanjaju glavni nosači), koje se oslanjaju na stupove.
- 1) **Glavni nosači** imaju po pravilu znatna opterećenja i velike raspone (do 35 m). Izrada u tvornici omogućava optimizaciju uporabe gradiva, tj. optimalni odnos momenta tromosti i težine, kao i momenta otpora i težine.

Sl. 1.22. Presjeci kojima se omogućuje optimizacija uporabe gradiva



Taj se zahtjev postiže izborom I-, T-, odnosno sandučastih presjeka (sl. 1.22.). Dakle, za traženu otpornost i krutost dobivamo nosače sa smanjenom masom, što olakšava prijevoz i montažu. No, izbor prikazanih presjeka svakako znači složeniju oplatu u odnosu na jednostavnije oblike, kao što je pravokutni presjek. Da se taj problem ublaži, bira se – za određeni oblik – modularno podesiva oplata. Primjer takve oplata za nosače T-presjeka prikazan je na slici 1.23. Tu se vidi da se jednom oplatom može izvesti greda visine od 80 do 180 cm s korakom od 10 cm, dakle 11 raznih greda. Glede pogleda u uzdužnom smjeru (sl. 1.24.), greda može biti s paralelnim pojasiima – horizontalna ili kosa (jednostrešna) te dvostrešna. Po načinu izvedbe može biti punostijena ili rešetkasta, a glede statičkog sustava može biti prosta greda ili kontinuirana greda.

Sl. 1.23. Modularno podesiva oplata za grede T-presjeka raspona do 35 m (dolje):

a) presjek grede;
b) dimenzije mogućih visina i debljina hrpta

Sl. 1.24. Oblik grede u uzdužnom smjeru:

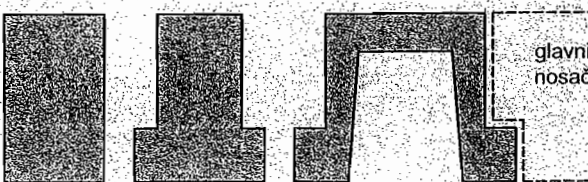
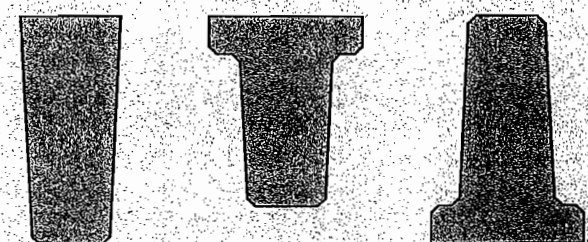
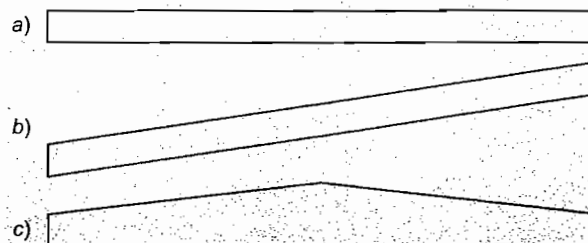
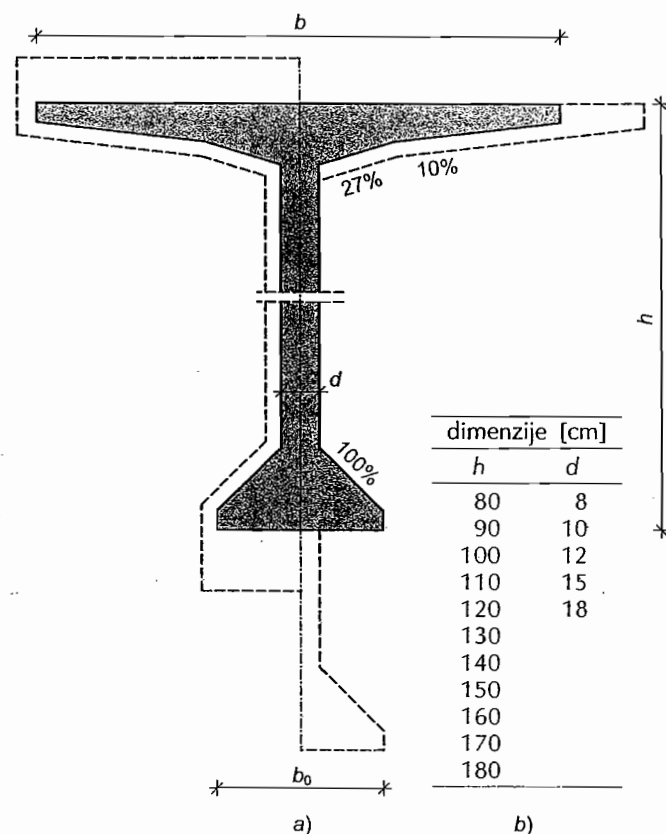
a) paralelna horizontalna;
b) paralelna kosa;
c) dvostrešna

Sl. 1.25. Poprečni presjeci sekundarnih nosača

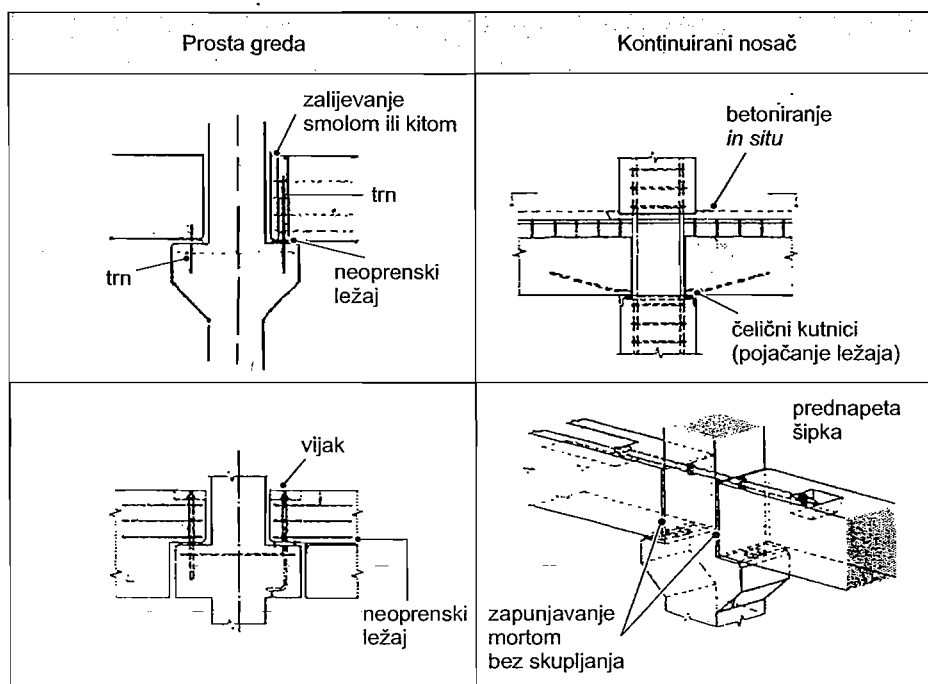
Sl. 1.26. Poprečni presjeci podvlaka

2) **Sekundarni nosači** projektiraju se po istim načelima kao i glavni nosači, no presjeci (sl. 1.25.) znatno su im manji zbog malog opterećenja i umjerenih raspona, koji iznose 6–12 m. Sekundarni nosači najčešće nose lagani pokrov od profiliranog lima ili od plastičnih prozirnih elemenata.

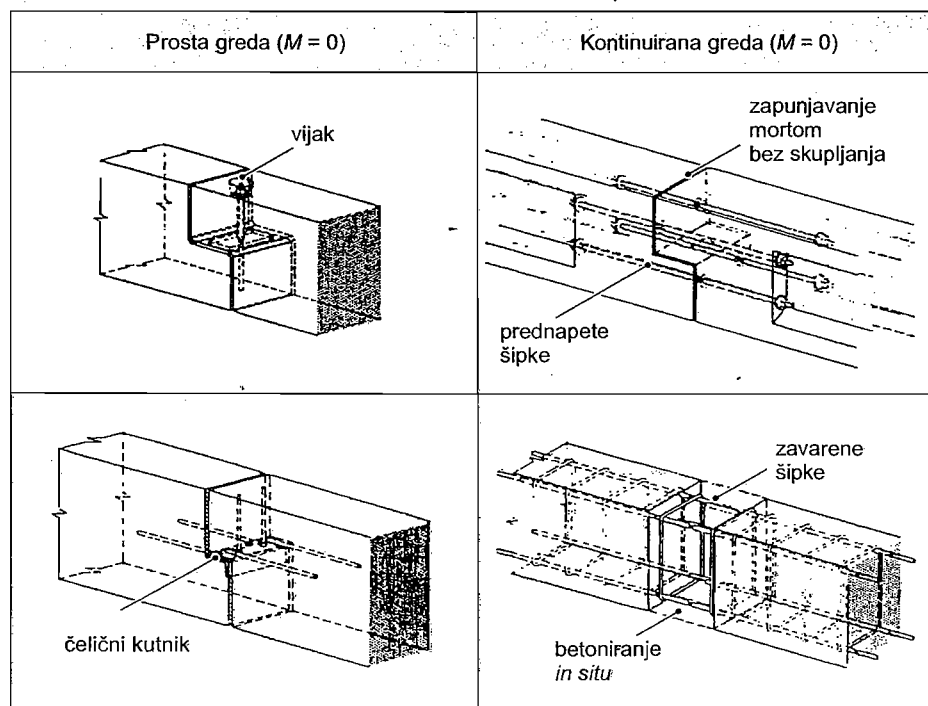
3) **Podvlake** imaju umjerene raspane (4 do 12 m), ali velika opterećenja jer preuzimaju opterećenje glavnih nosača. Da se ne poveća ukupna visina konstrukcije, često se rade s osloncima za glavne nosače dolje (sl. 1.26.). Ako s visinom nema problema, može se predvidjeti i pravokutni presjek. Normalni rasponi podvlaka jesu 4 do 12 m. Veze greda i podvlaka sa



stupovima prikazane su na slici 1.27. Rješenja su dana u ovisnosti o reznim silama koje veza treba prenijeti. Ako je riječ o prostim gredama, radi se o zgubnoj vezi koja prenosi samo vertikalnu i horizontalne reakcije, a pri kontinuiranom nosaču treba prenijeti i moment savijanja pa je veza, dakako, znatno složenija. Osim toga, dana je i varijanta u kojoj je oslanjanje na konzolicu ispod grede (dakle s dodatnom visinom), te varijanta u kojoj je greda zasječena, a konzolica unutar visine grede. Analogne su i međusobne veze greda (sl. 1.28.). Veze glavnih i sekundarnih nosača prikazane su na slici 1.29. I tu vrsta veze ovisi o tome prenosi li se moment ili ne, odnosno leži li sekundarna greda na glavnoj ili se spoj izvodi u istoj razini pomoću konzolica na glavnoj gredi.

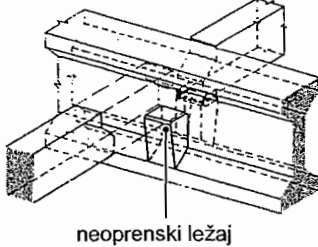
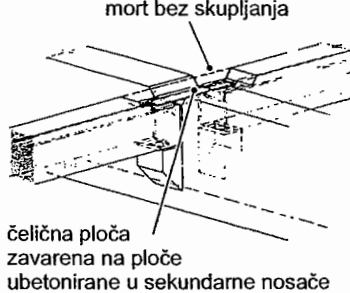
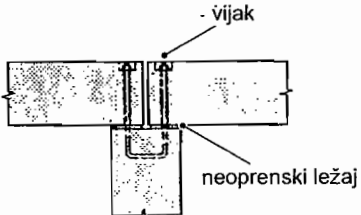
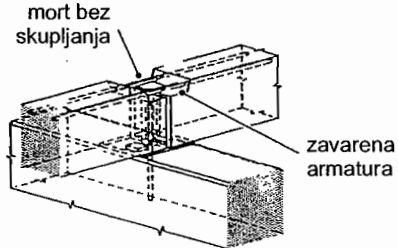


Sl. 1.27. Veze greda i podvlaka sa stupovima



Sl. 1.28. Međusobne veze greda

Sl. 1.29. Veze glavnih
i sekundarnih greda

	Prosta greda ($M = 0$)	Kontinuirana greda ($M = 0$)
Spoj u istoj razini		
Sekundarna greda na glavnoj		

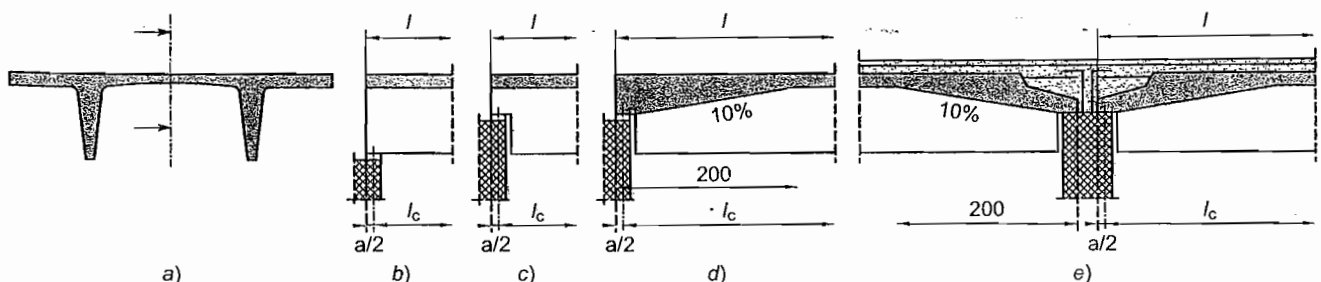
1.5.2. Plošni stropni i krovni elementi

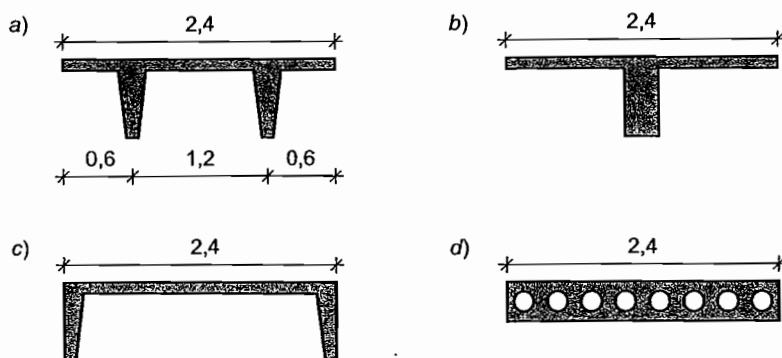
Stropne ploče vrlo su važan dio suvremenih predgotovljenih konstrukcija. Mogu se vrlo racionalno proizvoditi na stazama velike dužine (100 do 200 m) i rezanjem na odgovarajućim mjestima dobiti željene dužine. Dužina ploča ograničena je mogućnošću prijevoza na oko 18 m, što je već značajna dužina. Standardne su širine 2,40 m i 1,20 m. Prema obliku presjeka (sl. 1.31.) stropne se ploče dijele na:

- ploče T-presjeka
- ploče TT-presjeka (π -presjeka)
- ploče koritastog presjeka
- šuplje ploče (pravokutni presjek s kružnim otvorima).

Sl. 1.30. Primjer oslanjanja
TT-elementa:

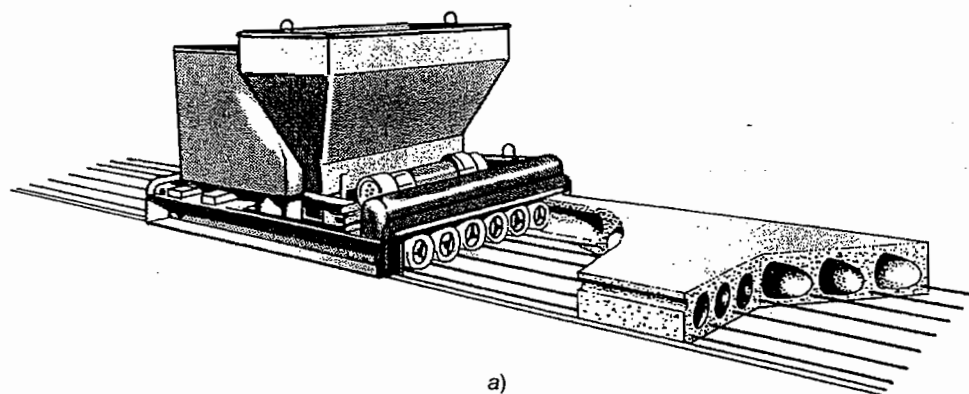
- a) poprečni presjek;
- b) na puna rebra;
- c) na zasječena rebra;
- d) na pojačanu ploču (kontinuirano), krajnji ležaj;
- e) isto, unutarnji ležaj sa zapunjavanjem odozgo



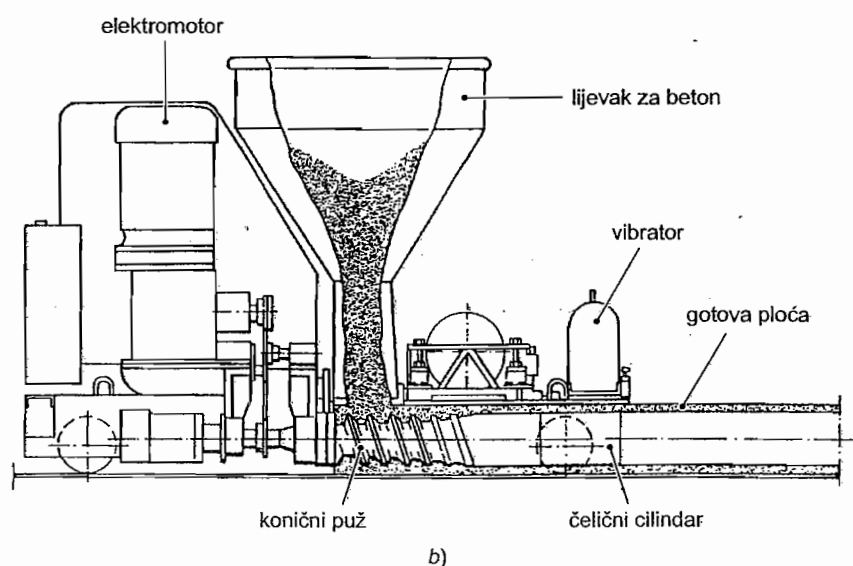


Sl. 1.31. Poprečni presjeci
elemenata ploča:
a) TT- ili π -presjek;
b) T-presjek;
c) koritasti;
d) šuplje ploče

odgovara punoj ploči debljine 12 cm), a ukupna visina 20 do 60 cm – ovisno o rasponu. Na niz ploča najčešće se dodaje beton izveden na samome mjestu debljine 4–15 cm. Taj beton sudjeluje u otpornosti ploče, a njime se – uz dodatak armaturnih mreža – uspostavlja cjelovitost konstrukcije, tj. ploča pretvara u krutu dijafragmu, te rješava problem netočnosti na kontaktu elemenata. Mala debljina ploče predgotovljenog elementa smanjuje težinu elemenata i olakšava prijevoz i montažu. Krajevi elemenata mogu biti izvedeni s ležajnim pojačanjima ili bez njih. Elementi mogu biti armirani običnom armaturom ili prednapeti na stazi (suvremenije rješenje). Na slici 1.30. prikazani su tipični načini oslanjanja TT-elementa na gredu ili zid.



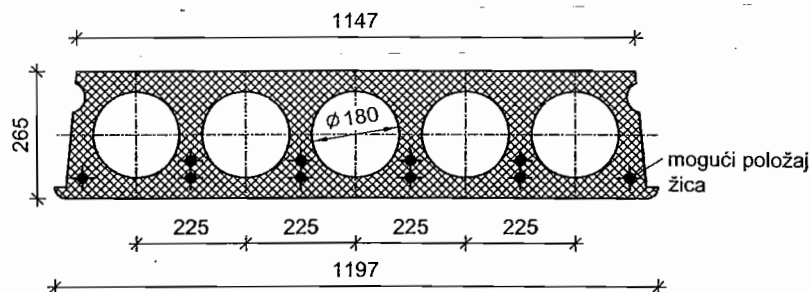
Sl. 1.32. Proizvodnja šupljih
ploča finišerom:
a) aksonometrijski prikaz;
b) uzdužni presjek



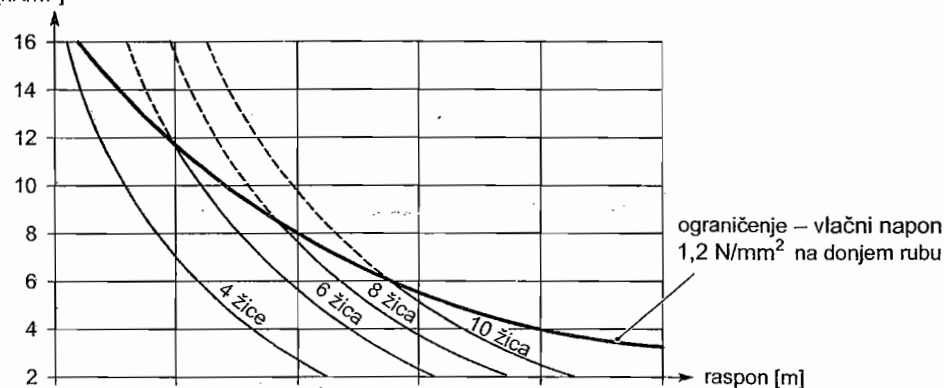
- **Šuplje ploče** veoma su rasprostranjene u razvijenim zemljama za izgradnju stropova. Debljina im je 10 do 40 cm, a rasponi do 18 m. Armirane ploče rabe se do raspona od 7 m, i to uglavnom za stambene zgrade, dok se za veće raspone rabe prednapete ploče. Mogu se proizvoditi u potpuno automatiziranim pogonima. Svoj veliki uspjeh šuplje prednapete ploče duguju malim troškovima proizvodnje. One se proizvode na metalnoj stazi pomoću finišera koji je zapravo horizontalna klizna oplata (sl. 1.32.). Beton se ugrađuje istiskivanjem (ekstruzijom) putem koničnog puža. Stroj se dijelom oslanja na svježi beton i time pridonosi boljem zbijanju betona i većoj čvrstoći, koju daje vrlo nizak vodocementni faktor (0,2–0,3). Uz kratkotrajno grijanje može se postići tlačna čvrstoća od 60 N/mm^2 poslije samo 24 sata.

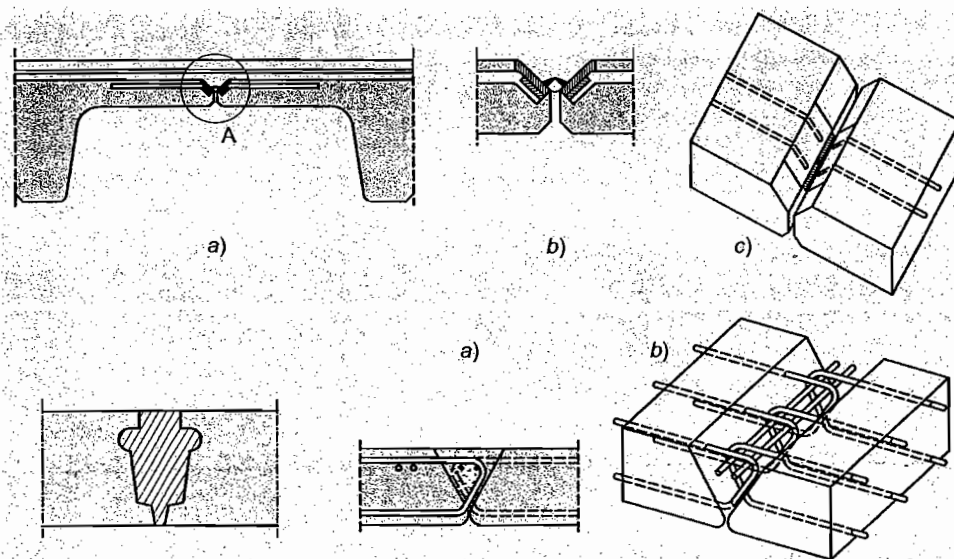
Na slici 1.33. prikazana je šuplja ploča debljine 26,5 cm, s pripadajućim dijagramom nosivosti za različiti broj žica: od 4 do 10. Težina je te ploče samo $3,75 \text{ kN/m}^2$ (kao puna ploča od 15 cm debljine, koja ima višestruko manju nosivost). Vidi se da krivulje koje daju nosivost „reže” krivulja ograničenja vlačnog napona, koja ima funkciju ograničenja raspućavanja, dakle zahtjev uporabljivosti. Takve su ploče armirane samo prednapetim uzdužnim žicama i time, strogo uzevši, ne odgovaraju pravilima razrade glede preuzimanja poprečnih momenata savijanja i poprečnih sila. Zato se pribjeglo načelu projektiranja s pomoću ispitivanja (*design by testing*). Velikim brojem ispitivanja diljem svijeta dokazana je zadovoljavajuća sigurnost i za dugotrajna i za kratkotrajna djelovanja. Šuplje se ploče montiraju jedna uz drugu. Donja je površina glatka (metalna oplata!) pa se može bojiti bez ikakve pripreme. Gornja se površina pokriva sitnozrnim betonom debljine 4 cm, koji se zagradi tako da se odmah može postavljati pod. Spomenuta se košuljica armira jednostavnom armaturnom mrežom.

Sl. 1.33. Šuplja ploča debljine 26,5 cm i pripadajući dijagram nosivosti za različiti broj žica



opterećenje (osim vlastite težine)
[kN/m²]





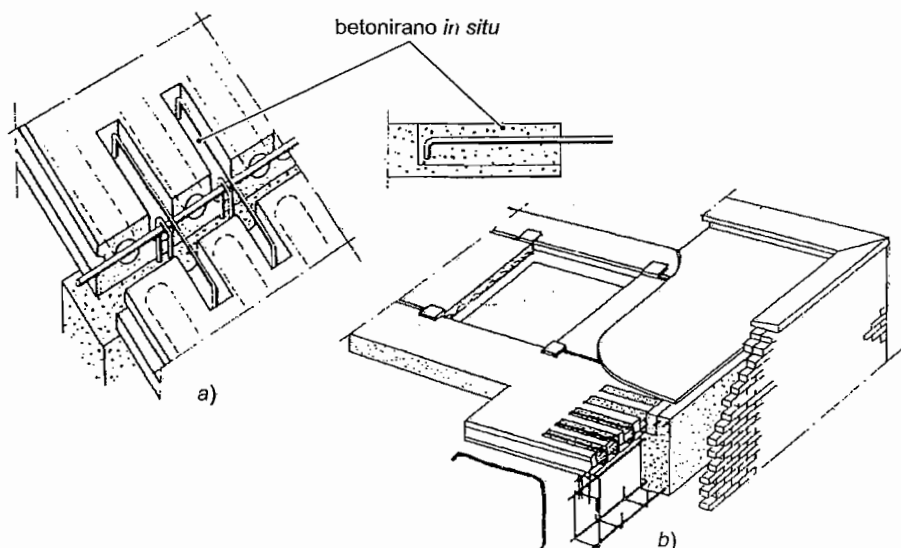
Sl. 1.34. Točkasti spojevi između T- ili TT-elemenata (npr. u trećinama raspona):
a) presjek;
b) detalj A;
c) aksonometrija

Sl. 1.35. Betonski trn između dviju šupljih ploča za prijenos poprečne sile

Sl. 1.36. Veza elemenata za prijenos poprečnih momenata:
a) presjek;
b) aksonometrija

Stropna ploča od predgotovljenih elemenata treba predstavljati krutu dijafragmu koja kao cjelina povezuje sve zidove, što je vrlo važno za sigurnost konstrukcija izloženih djelovanju potresa. To se najjednostavnije postiže dodatkom betona *in situ* s pripadajućom armaturom, no može se postići i posmičnim vezama između elemenata. U svakom slučaju treba osigurati veze među elementima, koje prenose poprečne i uzdužne sile, a za slučaj potrebe prijenosa poprečnih momenata i veze koje osiguravaju prijenos momenata savijanja. U slučaju uzdužnih spojnica taj se problem najjednostavnije rješava betonom koji se izvodi na samome mjestu s pripadajućom armaturom, čime se osigurava kontinuitet ploče. Ipak, razumno je predvidjeti nekoliko točkastih spojeva (sl. 1.34.) da se spriječi međusobni pomak susjednih elemenata u trenutku izvedbe dodatnog betona *in situ*, kad je opterećenje ploča nejednako.

Šuplje ploče imaju obično rub profiliran tako da se zapunjavanjem mortom ili sitnozrnim betonom osigurava betonski „trn” koji prenosi poprečnu silu (sl. 1.35.) pa se tako spriječava međusobni pomak ploča pri nejednolikom opterećenju. Pri znatnim poprečnim momentima kontinuitet se može osigurati nastavcima armature u obliku petlji i dodatnim uzdužnim šipkama, te odgovarajućim ispunjavanjem betonom na samome mjestu (sl. 1.36.).



Sl. 1.37. Poprečne veze šupljih ploča nad zidovima:
a) na srednjem ležaju;
b) na krajnjem ležaju

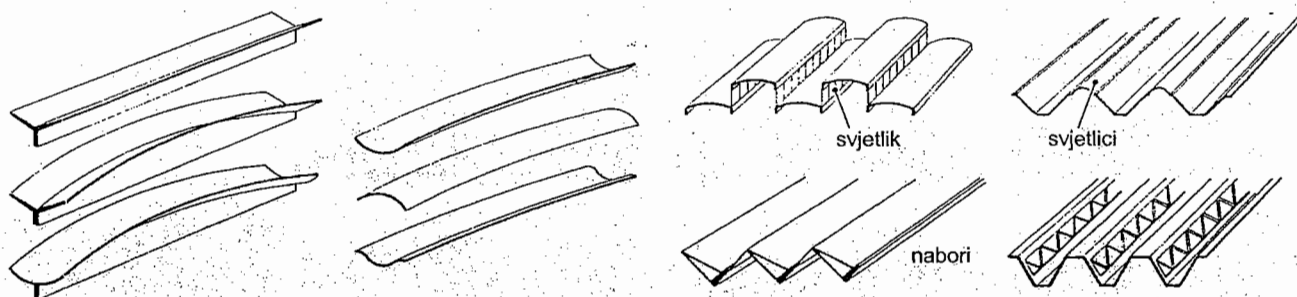
Poprečne spojnice na ležajevima već su prikazane za T- i TT-ploče (sl. 1.30e). Za šuplje se ploče kontinuitet može u slučaju potrebe uspostaviti dodatnim šipkama u reškama između elemenata ili dodavanjem nekoliko šipki po širini elementa (uz predviđanje odgovarajućih utora pri izvedbi elemenata; sl. 1.37a). Spomenutim šipkama – i nastavcima iz zidova u obliku petlji (sl. 1.37.b) – osigurava se i veza stropa sa zidovima. Pri fasadnom zidu armatura iz ploče savija se u rubnu gredu ili serklaž. Kao što se vidi na slikama 1.36. i 1.37., zahtjev prijenosa momenta na ležaju dovodi do složenih spojeva koji se u praksi izbjegavaju jer postignute prednosti ne opravdavaju povećani trošak izvedbe, prije svega – veći trošak ljudskog rada.

1.5.3. Krovni elementi

Krovni elementi velikih raspona jesu elementi koji vrlo dobro odgovaraju industrijaliziranom građenju. U odnosu na konstrukcije s pokrovom, sekundarnim i glavnim nosačima broj se elemenata bitno smanjuje, što smanjuje vrijeme izrade i montaže. Ovi elementi, ispravno povezani, ponašaju se kao krute dijafragme za prijenos horizontalnih opterećenja na vertikalne elemente. Krovište je moguće riješiti već spomenutim tradicionalnim elementima, ali i elementima oblikovanim kao nabori ili ljske (sl. 1.38.). Zbog njihove konstruktivne učinkovitosti – oni nose svojim oblikom (vidi „Nosive konstrukcije I”, Nabori i ljske) – mogu se izraditi elementi velike nosivosti i krutosti, a razmjerno male težine. Takvi elementi pridonose zanimljivosti arhitektonskog izraza i daju mogućnost uklapanja prozirnih elemenata – svjetlika (sl. 1.39.). Debljine elemenata jesu: 6–8 cm za elemente dvostruke zakrivljenosti (ljske) i 8–12 cm za nabore. Normalni su rasponi za ovu vrstu konstrukcije 15–25 m. Elementi se proizvode kao prednapeti na stazi.

Sl. 1.38. Krovni elementi – nabori i ljske

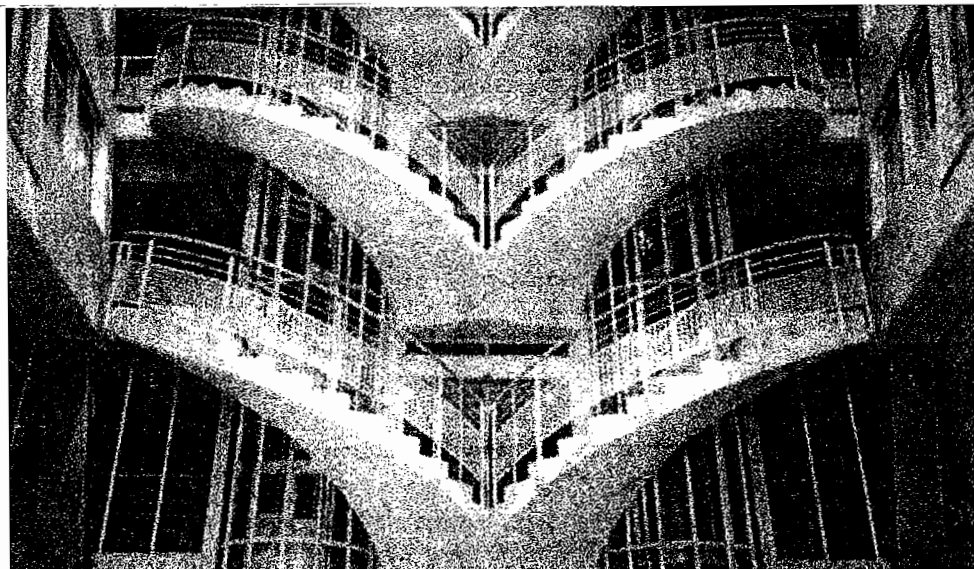
Sl. 1.39. Krovni elementi – nabori i ljske sa svjetlicima



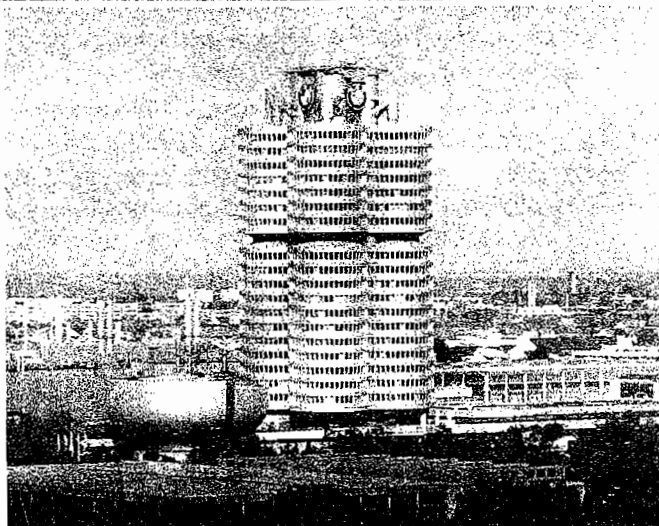
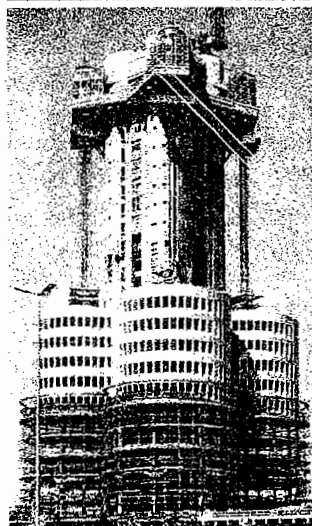
1.6. POSEBNI ELEMENTI

Kao predgotovljeni mogu se predvidjeti i drugi elementi konstrukcije zgrade, posebno oni složenoga geometrijskog oblika – stubišta, okviri za vrata i prozore i dr. Takvi se elementi mogu i uključiti u konstrukciju izvedenu na tradicionalni način. Prvi primjer takvih elemenata jesu spiralna stubišta izvedena u poslovnoj zgradi tvrtke „Hoffmann-La Roche” u Baselu (sl. 1.40.).

Posebnim elementima možemo smatrati i dijelove poslovne zgrade BMW-a u Münchenu (sl. 1.41.). Čitavi dijelovi u visini više etaža izvođeni su na maloj visini, u blizini tla. Osim konstrukcije izvedena su i pročelja te velik dio instalacija i završnih radova. Pojedine su se završene cjeline postupno, pomoću čeličnih šipki i hidrauličnih preša, podizale u konačni položaj.



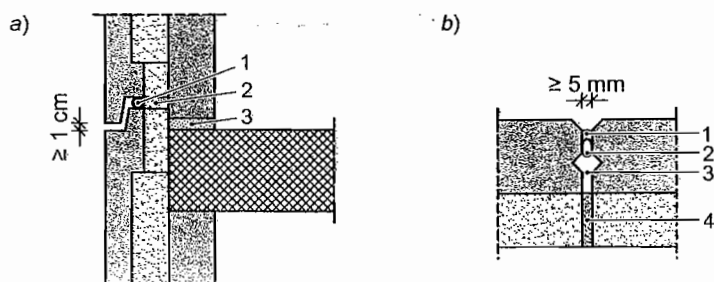
Sl. 1.40. Predgotovljena spiralna stubišta



Sl. 1.41. Poslovna zgrada BMW-a u Münchenu:
lijevo – u izgradnji;
desno – dovršena zgrada

1.7. OSTALI ZAHTJEVI NA REŠKE (SPOJEVE)

Osim konstruktivnih zahtjeva, spojnice elemenata trebaju zadovoljiti i čitav niz drugih zahtjeva koji su veoma važni za trajnost i funkciju građevine. To je, prije svega, nepropusnost za vodu i zrak, o kojoj ovisi mogućnost pojave raznih neželjenih fenomena: prodor zraka i raznih mirisa, prodor vlage uz hrđanje veznih sredstava, pojava vlažnih mrlja, toplinski gubici, kondenzacija i dr. Primjer rješenja veza elemenata katne visine koje vode računa o dodatnim zahtjevima prikazan je na slici 1.42.



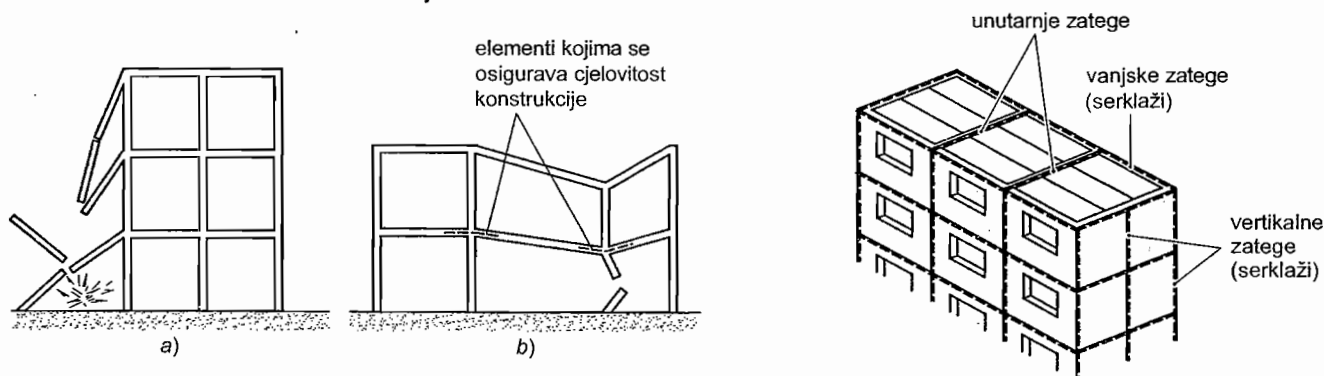
Sl. 1.42. Rješenje nepropusnosti veza elemenata katne visine:
a) horizontalna spojnica zida i stropa: 1 – brtva, 2 – dopuna toplinske zaštite, 3 – podljev mortom (nakon fiksiranja položaja klinovima);
b) vertikalna spojnica dvaju zidnih elemenata:
1 – trajno elastičan kit,
2 – podložno uže,
3 – dekompresijska komora,
4 – dopuna toplinske izolacije

1.8. ZAHTJEV ROBUSNOSTI NA ZGRADE OD PREDGOTOVLJENIH ELEMENATA

Sl. 1.43. a) progresivni slom u svim etažama zbog rušenja jednog stupa u prizemlju; b) sprječavanje progresivnog sloma odgovarajućim elementima kojima se osigurava cjelovitost konstrukcije

Sl. 1.44. Položaj zatega kojima se osigurava cjelovitost konstrukcije

Radi se o zahtjevu sigurnosti u odnosu na progresivni slom, koji je već spomenut („Nosive konstrukcije I“, 2. poglavlje: Temeljni zahtjevi na konstrukcije). Taj je zahtjev naglašen kod predgotovljenih konstrukcija zbog postojanja mnogobrojnih veza, duž kojih može doći do sloma poradi nepredviđenih događaja, kao što su npr. eksplozija plina ili udar vozila. Na slici 1.43a vidimo da rušenje jednog stupa u prizemlju može značiti i rušenje čitavog dijela zgrade. Ako predvidimo odgovarajuće elemente kojima ćemo osigurati cjelovitost konstrukcije (sl. 1.43b), neće doći do sloma i oštećenje zgrade ostat će lokalizirano. Općenito uzevši, elementi kojima se osigurava cjelovitost konstrukcije u slučaju otkazivanja nosivosti pojedinih elemenata zovu se **zategama** ili **serklažima**. Njih treba predvidjeti u reškama između elemenata u sve tri dimenzije prostorne konstrukcije (sl. 1.44.).



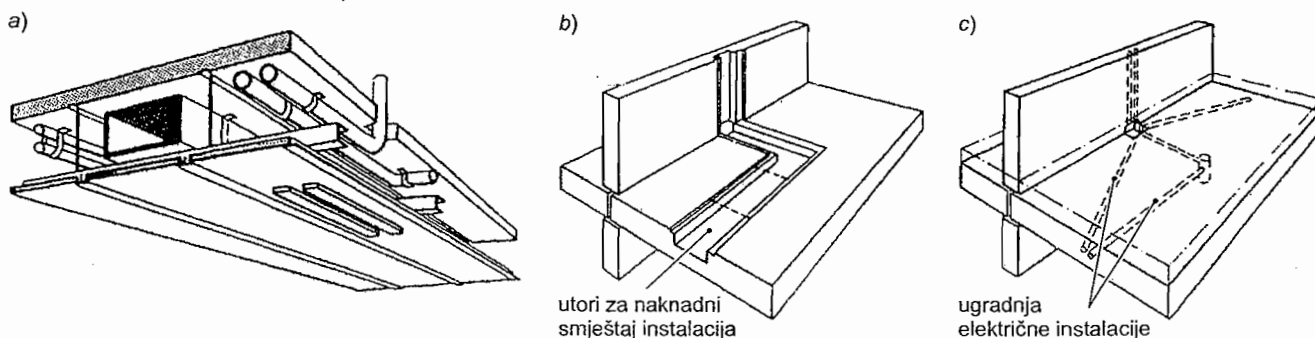
1.9. PLOŠNI ELEMENTI S UKLJUČENIM INSTALACIJAMA I ZAVRŠNIM RADOVIMA

Sl. 1.45. Smještaj instalacija kod predgotovljenih konstrukcija:

- odvojenost instalacija od konstrukcije;
- predviđanje utora i otvora za kasniju ugradnju instalacija;
- ugradnja instalacija prilikom izrade elemenata

Kod potpuno predgotovljenih konstrukcija potrebno je od početka projekta predvidjeti sve instalacije, odnosno potrebne otvore za njih. Općenito govoreći, postoje tri načina kako se tretiraju instalacije u predgotovljenim konstrukcijama (sl. 1.45.):

- potpuna odvojenost instalacija od konstrukcije (one se smještaju između konstrukcije i spušenog stropa)
- predviđanje utora i otvora za kasniju ugradnju instalacija
- ugradnja instalacija prilikom izrade elemenata.



2. NOSIVA KONSTRUKCIJA HALE

2.1. UVOD

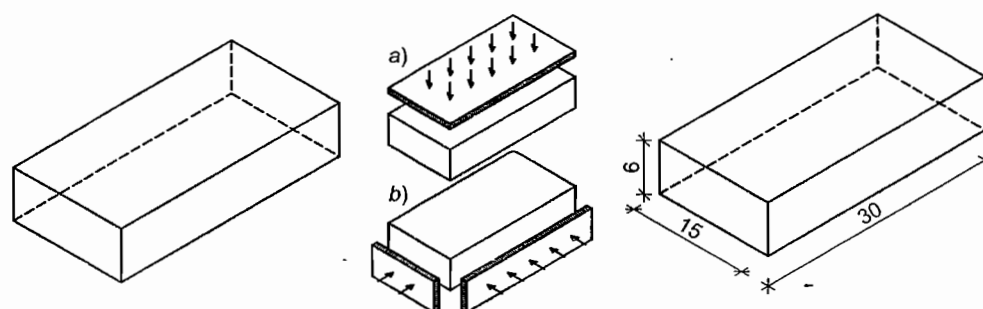
U ovom poglavlju bit će prikazan primjer jednostavne cjelovite konstrukcije (sl. 2.1.) na kojemu će se objasniti problemi koji su prisutni i kod složenijih konstrukcija. Konstrukcija se sastoji od elemenata koji su već opisani u „Nosivim konstrukcijama I“, Ploče, grede, stupovi, zidovi, okviri (nastali krutim povezivanjem stupova i greda). Zadaća je konstrukcije da prenese opterećenja s mjesta gdje nastaju sve do u tlo. Na građevinu djeluju (sl. 2.2.):

- vertikalna opterećenja (vlastita težina, korisna opterećenja, snijeg; sl. 2.2a) i
- horizontalna opterećenja (vjetar, potres, kočne sile, udar vozila; sl. 2.2b)

Sva opterećenja trebaju preuzeti pojedini konstruktivni elementi, ali i građevina u cjelini. Obradit ćemo najprije preuzimanje vertikalnih, a zatim horizontalnih opterećenja. Posebno će se naglasiti pitanje ukrućenja zgrade, tj. osiguranja za djelovanje horizontalnih sila. Ne treba zaboraviti da konstrukcija predstavlja cjelinu – cjelovita konstrukcija preuzima cjelokupna opterećenja. To je kompleksna stvarnost. Parcijalno promatranje (pojedinačno, cjelovito, vertikalna opterećenja, horizontalna opterećenja) jest rezultat nesavršenosti našeg mišljenja i pedagoških potreba.

Elementi građevine koja se promatra:

- dimenzije građevine prema slici 2.3.
- krov horizontalan ili blago nagnut
- tlocrt bez unutarnjih stupova
- gradivo po volji: čelik, armirani beton, drvo, opeka.



Sl. 2.1. Kontura jednostavne cjelovite konstrukcije

Sl. 2.2. Djelovanje opterećenja na građevinu:

a) vertikalnih;
b) horizontalnih

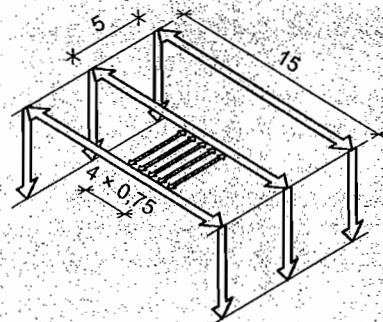
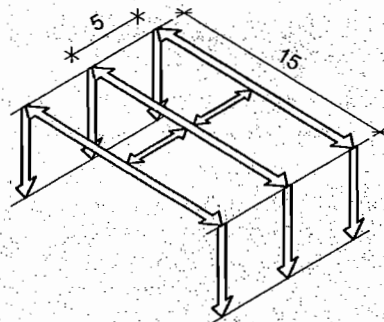
Sl. 2.3. Dimenzije promatrane građevine

2.2. KONSTRUKCIJA ZA PREUZIMANJE VERTIKALNOG OPTEREĆENJA

Širina hale (15 m) mnogo je veća od raspona na kojima mogu nositi konstrukcijski elementi – nosači pokrova. To mogu biti armiranobetonske ploče (*in situ* ili predgotovljene) ili profilirani lim. Kako je ekonomični raspon nosača pokrova do 5 m, predviđaju se glavni nosači raspona 15 m na razmaku od 5 m (sl. 2.4.), koji leže na stupovima. Ako su nosači pokrova drvene daske (ekonomični raspon 0,6 do 0,9 m), treba predvidjeti i sekundarne nosače na razmaku od 0,75 m (sl. 2.5.). Istraživanja ekonomičnosti odnosa raspona sekundarnih i glavnih nosača pokazala su da najpovoljniji odnos

Sl. 2.4. Dispozicija konstrukcije za nosače pokrova od ab-ploča ili profiliranog lima

Sl. 2.5. Dispozicija konstrukcije za nosače pokrova od drvenih dasaka



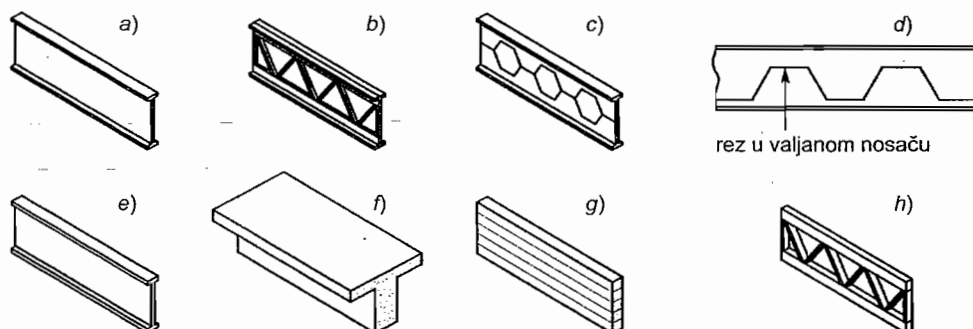
raspona između gornjeg i donjeg sloja iznosi oko 1 : 4. Dakle, za drvenu konstrukciju bio bi bolji razmak glavnih nosača od 3,40 m, što bi dalo odnose raspona:

- daske i sekundarne grede $0,75 : 3,4 = 1 : 4,5$
- sekundarnog i glavnog nosača $3,4 : 15 = 1 : 4,4$

Glavni nosači mogu biti (sl. 2.6.):

- čelični: valjani profili, rešetke, sačasti nosači (sl. 2.6a–d)
- betonski: predgotovljeni (armirani ili prednapeti), *in situ* (po pravilu T-presjek; sl. 2.6e–f)
- drveni: lamelirani lijepljeni, rešetke (sl. 2.6g–h).

Sl. 2.6. Glavni nosači:
a) čelični valjani profil;
b) čelična rešetka;
c) čelični sačasti nosač;
d) način proizvodnje sačastog nosača iz valjanog profila;
e) predgotovljeni ab-nosač;
f) nosač *in situ* koji s pločom čini T-presjek;
g) drveni lamelirani lijepljeni nosač;
h) drvena rešetka



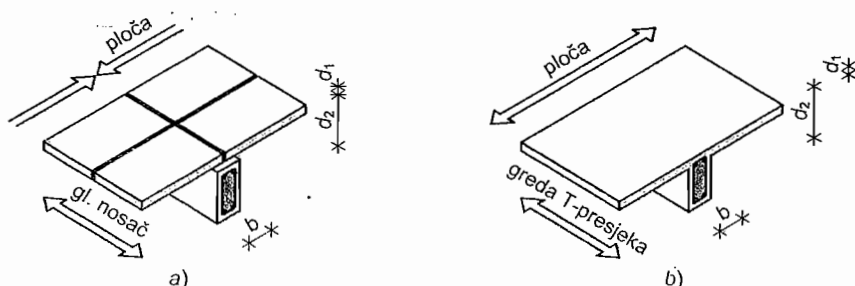
Primjedba uz betonsku konstrukciju: Za predgotovljene ploče i nosače svaki element djeluje za sebe. Potrebna ukupna visina (sl. 2.7a) jest

$$d = d_{\text{nosač}} + d_{\text{ploča}}.$$

Za izvedbu grede i ploče na samome mjestu (sl. 2.7b) visina grede T-presjeka jednaka je ukupnoj visini. Pritom ploča ispunjava dvije zadaće:

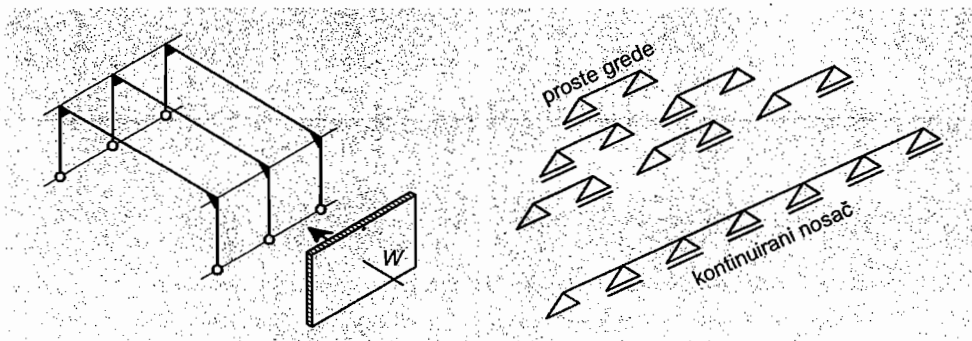
- kao ploča nosi na rasponu 5,0 m
- kao dio T-presjeka nosi zajedno s gredom na rasponu od 15,0 m.

Sl. 2.7. Betonska konstrukcija – greda i ploče:
a) predgotovljena konstrukcija;
b) konstrukcija izvedena na samome mjestu



Treba reći i to da je armiranobetonska krovna konstrukcija teška u odnosu na opterećenje koje prenosi: ploča od 14 cm teška je $3,5 \text{ kN/m}^2$, a najveće opterećenje (snijeg) je $0,75 \text{ kN/m}^2$, dakle oko petinu vlastite težine, što je vrlo nepovoljan odnos.

Vratimo se našoj konstrukciji. Kako nema međustupova, glavni nosači imaju samo jedno polje. Njihova je statička shema prosta greda ili – u slučaju krutog spoja u uglovima – okvir koji može prenijeti i horizontalno opterećenje, dakle poslužiti kao ukrućenje hale u poprečnom smjeru (sl. 2.8.). Krovna ploča može se sastojati iz prostih greda ili biti položena na sve nosače kao kontinuirani nosač (sl. 2.9.).



Sl. 2.8. Glavni nosač – okvir

Sl. 2.9. Moguće sheme krovne ploče

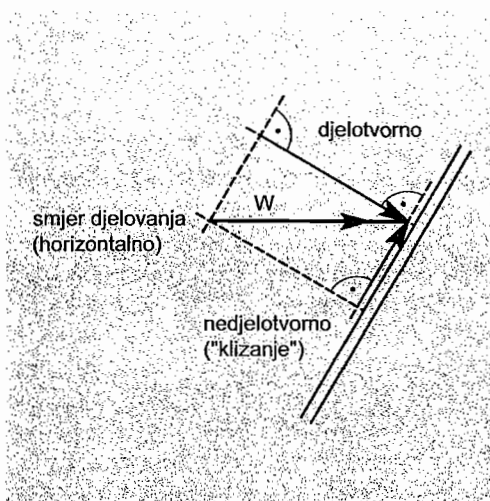
2.3. KONSTRUKCIJA ZA PREUZIMANJE HORIZONTALNOG OPTEREĆENJA

2.3.1. Općenito, ukrutni elementi

Horizontalna opterećenja jesu:

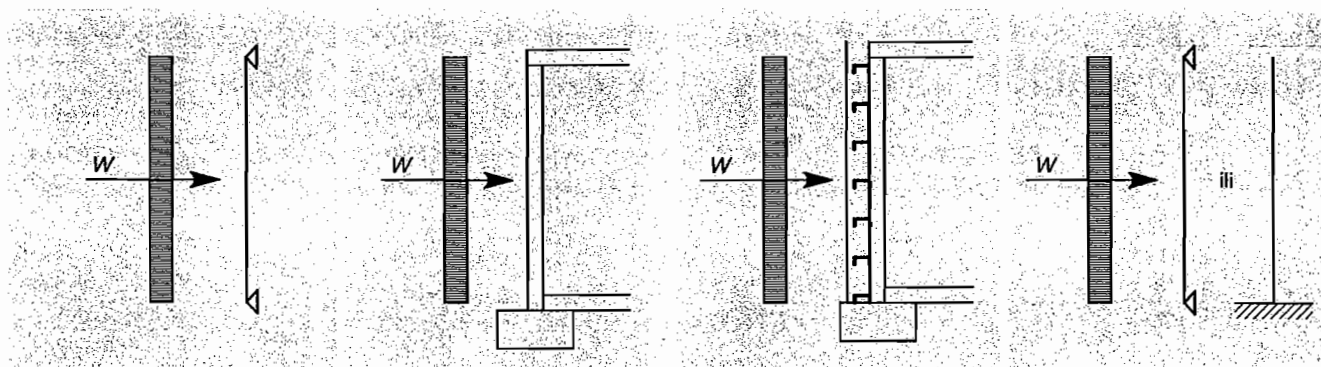
- vjetar koji djeluje na zidove fasade, kojih konstrukcija prenosi to opterećenje na strop
- potres koji djeluje kao inercijalna sila tamo gdje je masa.

Najvažnije pitanje jest ukrućenje zgrade u cjelini. Ukrućenje se postiže ukrutnim elementima. Prema propisima, i vjetar i potres djeluju kao horizontalne sile. U stvarnosti, djelotvorna je samo komponenta koja je okomita na krovnu plohu. Druga komponenta („klizanje”) ne djeluje (sl. 2.10.).



Sl. 2.10. Za horizontalna djelovanja djelotvorna je samo komponenta okomita na krovnu plohu

Konstrukcija zida – Vjetar opterećuje vanjske zidove slično kao što vertikalno opterećenje djeluje na grede (sl. 2.11.). Stoga i oni moraju imati nosivost i krutost na savijanje. Najčešće se vertikalni zidovi oslanjaju dolje na pod, a gore na strop, koji ih dalje prenosi na stupove ili zidove (sl. 2.12.). Vanjski zid može, međutim, sadržavati horizontalne nosive elemente (sl. 2.13.), koji opterećenje vjetra prenose na stupove (npr. horizontalni nosači ili horizontalne fasadne ploče). U tom slučaju stup može, osim zadaće prijenosa vertikalnog opterećenja stropa, djelovati i kao greda opterećena na savijanje (sl. 2.14.). Pritom je visina hale jednaka rasponu grede, a shema može biti prosta greda ili konzola.

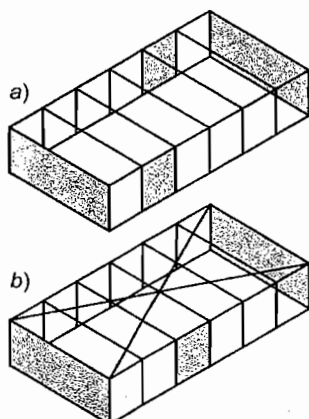


Sl. 2.11. Djelovanje vjetra na zidove

Sl. 2.12. Prijenos djelovanja vjetra na pod i strop

Sl. 2.13. Prijenos djelovanja vjetra posredovanjem horizontalnih elemenata

Sl. 2.14. Djelovanje stupa kao grede na savijanje



Sl. 2.15. Ukrutenje hale:
a) bez djelovanja ploče kao ukrutnog elementa;
b) s djelovanjem ploče kao ukrutnog elementa

Sl. 2.16. Primjeri ukrutnih elemenata:

- a) zid;
- b), c) i d) rešetke;
- e) okvir

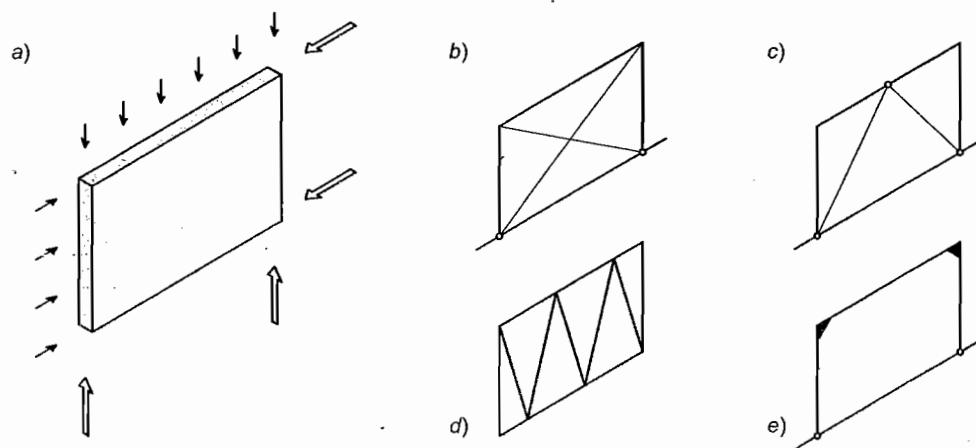
Ukrutenje hale kao cjeline postiže se **ukrutnim elementima**. Ukrutni elementi mogu biti vertikalni (npr. zidovi) i horizontalni (unutar stropnih ploča ili stropna ploča kao cjelina). U stambenim zgradama konstrukcija obiluje i horizontalnim (stropne ploče) i vertikalnim (zidovi) ukrutnim elementima. Kod hale koja se razmatra, kao i kod nekih drugih konstrukcija, to se ne podrazumijeva. Načelno razlikujemo dvije konstrukcije hala (sl. 2.15.):

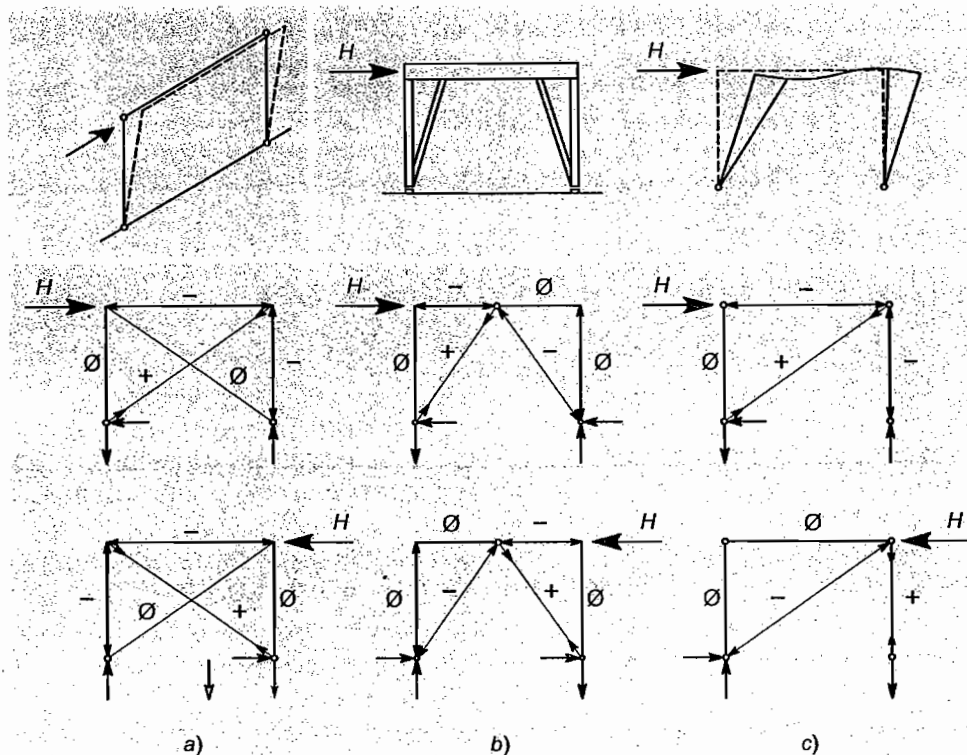
- a) bez djelovanja stropne ploče kao ukrutnog elementa (samo za djelovanje vjetra): za ukrutenje potrebna su najmanje četiri vertikalna ukrutna elementa
- b) s djelovanjem stropne ploče kao ukrutnog elementa: za ukrutenje potrebna su najmanje tri vertikalna ukrutna elementa.

Za konstrukcije izložene djelovanju potresa, osobito one s armiranobetonskim stropovima, obvezatno je predvidjeti strop kao krutu dijafragmu.

Što je ukrutni element? To je ravninski element koji može preuzeti (horizontalne) sile u svojoj ravnini (sl. 2.16.). Svi ti elementi mogu biti ukrutni elementi pod uvjetom da su na odgovarajući način dimenzionirani. Element s četiri zgloba, prikazan na slici 2.17., nije ukrutni element jer ne može preuzeti horizontalnu silu. U drvenim konstrukcijama okvirno djelovanje (upetost grede u stup) postiže se s pomoću raščlanjenih V-stupova (sl. 2.18.) ili pomoću ruku. Način djelovanja elementarnih rešetaka s različitim ispunama prikazan je na slici 2.19.

Kod ukrštenih vlačnih dijagonala za svaki smjer djelovanja horizontalne sile jedan štap preuzima vlak, dok drugi ne djeluje. U slučaju K-rešetke ili jedne dijagonale štapovi ispunje preuzimaju ili vlak ili tlak, već prema smjeru djelovanja horizontalne sile.





Sl. 2.17. Element s četiri zgloba ne može preuzeti horizontalnu silu

Sl. 2.18. Varijanta okvira, uobičajena u drvenim konstrukcijama

Sl. 2.19. Elementarne rešetke – ukrutni elementi:

- a) s ukrštenim vlačnim dijagonalama;
- b) K-rešetka;
- c) s jednom dijagonalom

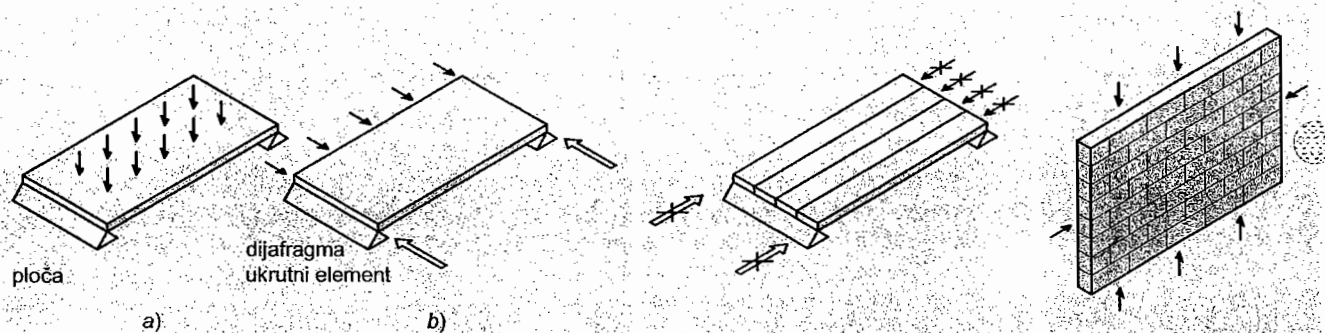
+ vlak
– tlak

Sl. 2.20. a) ploča koja preuzima opterećenja okomito na svoju ravninu; b) ploča koja djeluje kao ukrutni element – dijafragma

Sl. 2.21. Predgotovljena ploča nije sama po sebi ukrutni element

Sl. 2.22. Zid od opeke kao ukrutni element

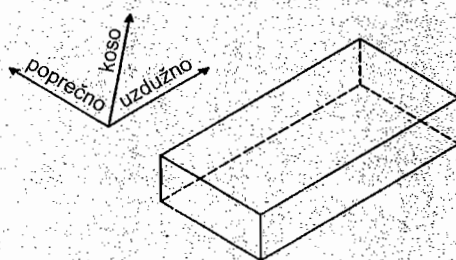
Ploča je ravninski plošni element. Ona normalno preuzima opterećenja okomito na svoju ravninu (sl. 2.20.a), ali može biti i ukrutni element (sl. 2.20.b). Armiranobetonska ploča izvedena na samome mjestu uvijek je i ukrutni element. Predgotovljena betonska ploče nije ukrutni element (sl. 2.21.) ako se elementi na spojnicama ne povežu odgovarajućim posmičnim vezama. I zid od opeke je ukrutni element (sl. 2.22.).



2.3.2. Hale bez krute dijafragme stropa

2.3.2.1. Općenito

Vjetar i potres mogu djelovati u svim horizontalnim smjerovima – uzdužnom, poprečnom i kosom (sl. 2.23.). Sile od kosog djelovanja možemo uvijek razložiti na poprečni i uzdužni smjer. Dakle, da bi se halu moglo smatrati ukrućenom, treba je ukrutiti i za poprečni i za uzdužni smjer.



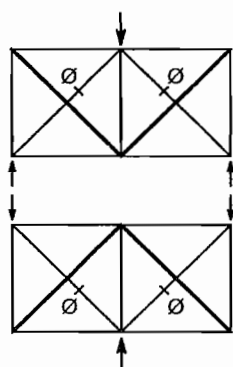
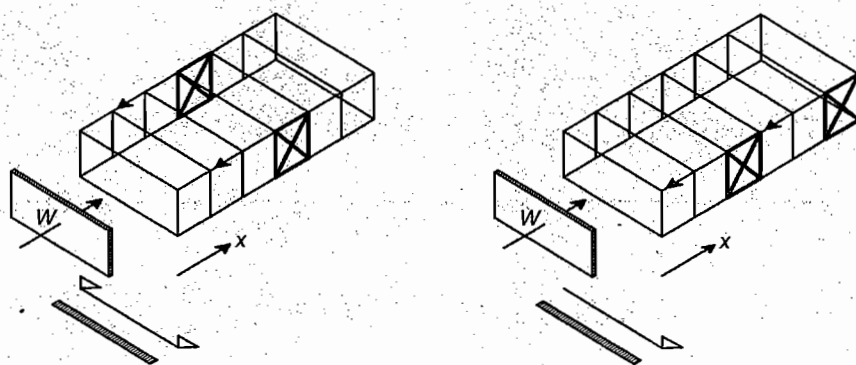
Sl. 2.23. Djelovanje horizontalnog opterećenja na halu

2.3.2.2. Ukrutenje u uzdužnom smjeru

Za preuzimanje horizontalnih sila treba predvidjeti najmanje dva ukrutna elementa (sl. 2.24.). Oni djeluju ujedno kao ležajevi horizontalne „grede“, sprječavaju prevrtanje zgrade i prenose horizontalne sile u temelje. Samo jedan ukrutni element nije dovoljan, kao ni dva elementa u istoj liniji (sl. 2.25.) jer tu horizontalna „greda“ ostaje bez jednog ležaja i ne može se uravnotežiti.

Sl. 2.24. Preuzimanje horizontalnih sila u uzdužnom smjeru

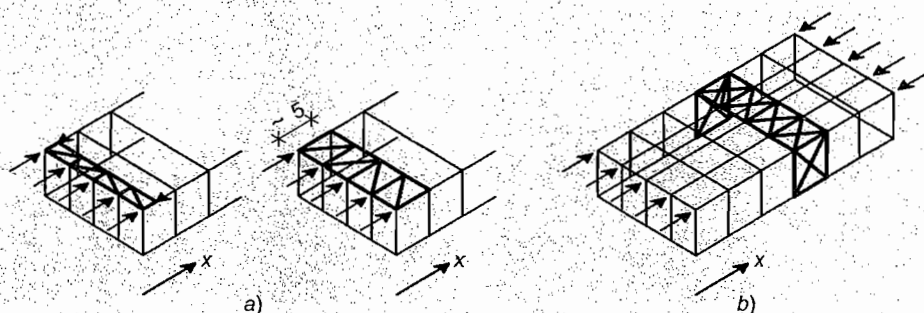
Sl. 2.25. Nemogućnost ukrutenja elementima u istoj liniji



Sl. 2.26. Djelovanje vjetrovnog veza s ukrštenim dijagonalama za dva smjera djelovanja sile

Sl. 2.27. Vjetrovni vez za prijenos horizontalnih sila u uzdužnom smjeru na ukrutne elemente:

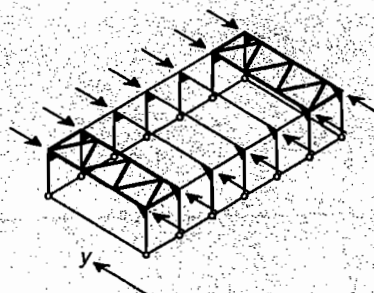
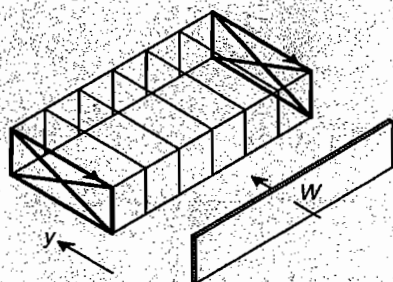
- a) na krajevima hale;
- b) u sredini hale



2.3.2.3. Ukrutenje u poprečnom smjeru

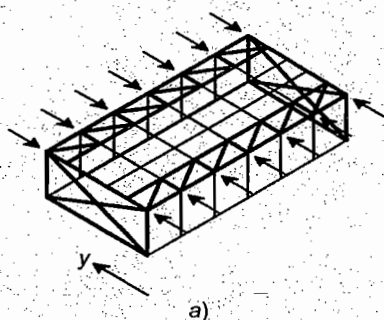
I horizontalnim silama u poprečnom smjeru (sl. 2.28.) trebaju se suprotstaviti dva ukrutna elementa (ne u istoj liniji!). Konstrukcija zida i prozora prenosi oko pola horizontalne sile u plohu krova. Prijenos od ruba krova do ukrutnih elemenata može se opet ostvariti pomoću dva rubna ili jednoga srednjeg horizontalnog nosača (sl. 2.30.). Ukrutni elementi leže unutar zidovih.

Za preuzimanje vjetrova u poprečnom smjeru postoji još jedna mogućnost: glavne nosače i stupove krutim vezama u uglovima pretvoriti u **okvire**, od kojih je svaki ukrutni element. Zabatne plohe mogu ostati otvorene (sl. 2.29.). Vjetrovni vez u uzdužnom smjeru nije potreban. Naime, zbog malog razmaka (u našem primjeru 5,0 m) lako je i bez njega prenijeti sile u ukrutne elemente – okvire.

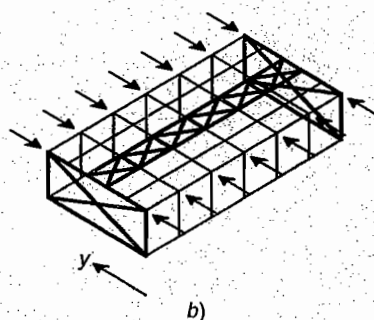


Sl. 2.28. Horizontalne sile u poprečnom smjeru

Sl. 2.29. Ukrućenje u poprečnom smjeru glavnim nosačima – okvirima



a)

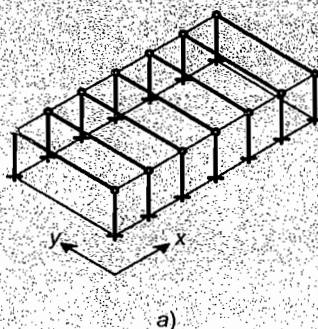


b)

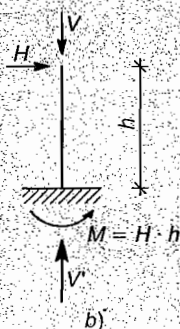
Sl. 2.30. Vjetrovni vez za prijenos horizontalnih sila u poprečnom smjeru na ukrutne elemente:
a) na krajevima hale;
b) u sredini hale

2.3.2.4. Ukrućenje u uzdužnom i poprečnom smjeru

Takvo je ukrućenje moguće postići **upetim stupovima**. Stupove je moguće upeti u temelj (sl. 2.31.). U tom slučaju svi su stupovi obično upeti pa na svakoga od njih otpada razmjerno malen dio horizontalne sile od ukupnoga djelovanja vjetrova ili potresa. Upeti stupovi mogu preuzeti opterećenje i u poprečnom i u uzdužnom smjeru. Za takav slučaj temelji moraju biti znatno veći nego pri stupovima koji preuzimaju samo uzdužnu silu. Sve fasade mogu ostati otvorene, a ni vezovi u krovu nisu potrebni.



a)



b)

Sl. 2.31. Ukrućenje stupovima upetim u temelje:
a) konstrukcija hale;
b) sile i reakcije na pojedini stup

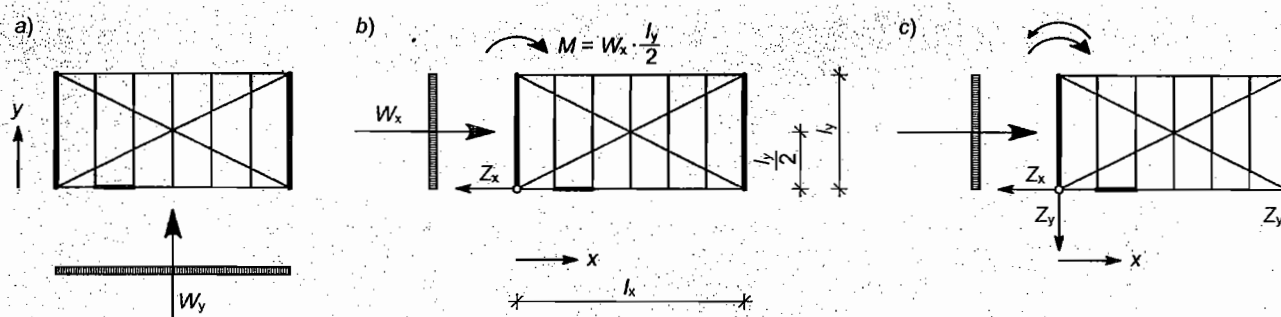
2.3.3. Hale sa stropom – krutom dijafragmom

Već je prije rečeno da u slučaju krute stropne ploče dostaju samo tri ukrutna elementa. Objašnjenje možemo pratiti s pomoću slike 2.32.:

- za smjer y postoje dva ukrutna elementa koji preuzimaju svaki po jednu polovinu horizontalne sile – stanje je isto kao za prethodno razmatrane slučajeve
- za smjer x postoji samo jedan ukrutni element i on preuzima cijelu horizontalnu silu W_x , dakle $Z_x = W_x$, no kako je zid u odnosu na silu ekscentričan, nastaje još i moment $M = W_x \cdot l_y/2$
- kruta stropna ploča prenosi taj moment na poprečne zidove – u njima nastaju reaktivne sile (jednake, a suprotnih predznaka) veličine

$$Z_y = \frac{M}{l_x} = \frac{W_x \cdot l_y}{2 \cdot l_x}$$

Sl. 2.32. Preuzimanje horizontalnih sila u slučaju hale sa stropom – krutom dijafragmom: a) za smjer y (s dva ukrutna elementa); b) za smjer x (s jednim ukrutnim elementom); c) isto, preuzimanje momenta koji nastaje zbog ekscentričnosti zida u odnosu na horizontalnu silu

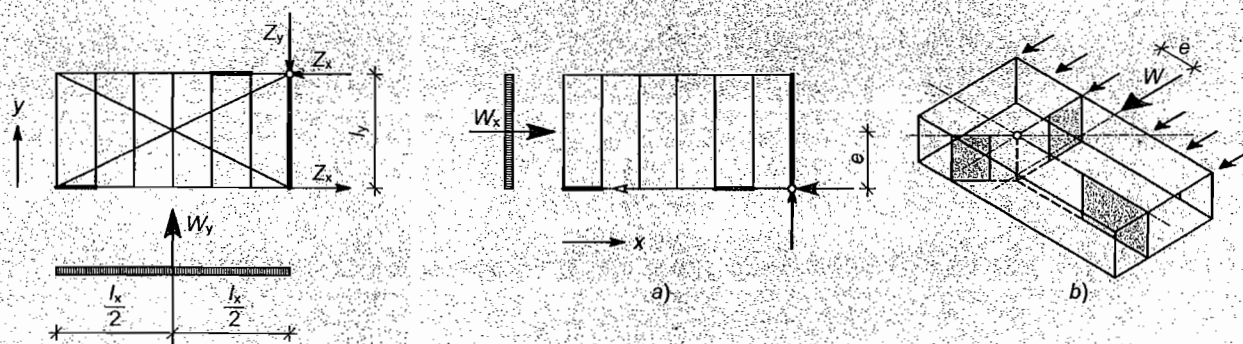


U primjeru koji smo razmatrali imali smo dva elementa za kraću tlocrtnu dimenziju, a jedan za dužu. Što se događa pri obrnutom slučaju, tj. ako predvidimo za kraću dimenziju jedan element, a za dužu dva (sl. 2.33.)? Kako vrijede iste formule, vidimo da reaktivne sile Z_y za djelovanje momenta ekscentričnosti postaju vrlo velike, osobito u slučaju većeg odnosa l_y/l_x . Dakle, takav je raspored ukrutnih elemenata nepovoljan jer rezultira u odnosu na prije razmatrani primjer i većom ekscentričnošću horizontalne sile i manjim krakom za preuzimanje momenta od te ekscentričnosti. Zato takav raspored treba svakako izbjegavati.

Sl. 2.33. Slučaj ukrućenja s jednim ukrutnim elementom za kraću i dva za dužu tlocrtnu dimenziju

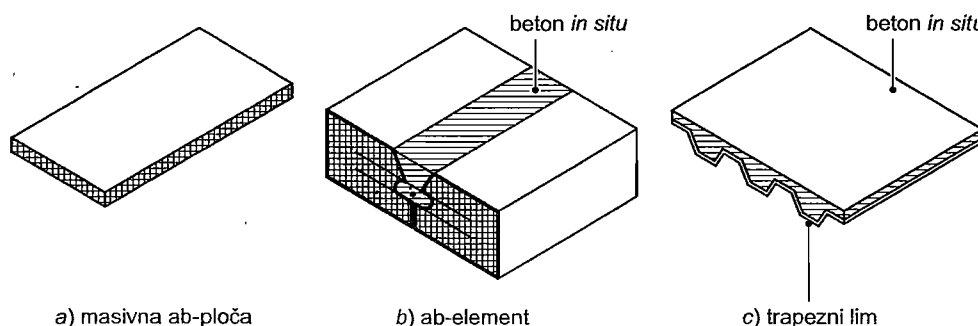
Sl. 2.34. Rasporedi ukrutnih elemenata koji ne zadovoljavaju:

- pravci ukrutnih elemenata u smjerovima x i y sijeku se u jednoj točki;
- pravci sva tri elementa sijeku se u jednoj točki



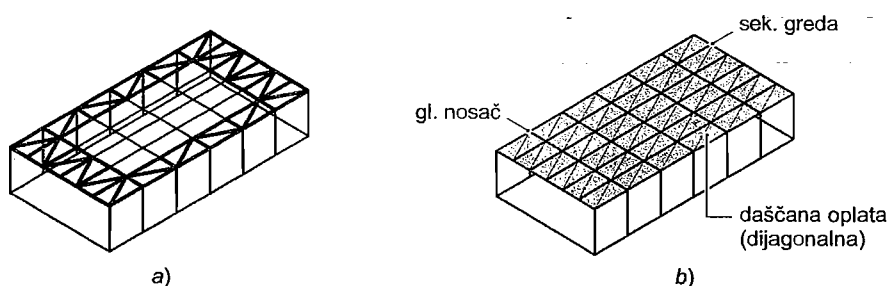
Kada stropna ploha predstavlja krutu dijafragmu?

Masivna ab-ploča izvedena na samome mjestu s armaturom, koja ionako postoji, zbog savijanja predstavlja krutu dijafragmu (sl. 2.35.a). Strop od predgotovljenih elemenata ne zadovoljava bez daljnjega, već treba poduzeti odgovarajuće konstruktivne mjere – spojeve koji prenose tlačne, vlačne i posmične sile između elemenata, npr. spojem armaturom koja viri iz pojedinih elemenata i zalijeva se betonom ili mortom na samome mjestu (sl. 2.35.b). Zadovoljava i ploča nabetonirana na mjestu na predgotovljene elemente. Trapezno profilirani limovi ne predstavljaju krutu dijafragmu (u poprečnom smjeru – harmonika!). Izvedbom betona na samome mjestu (sl. 2.35.c) ili ukrštenih dijagonala formira se kruta dijafragma.



Sl. 2.35. Slučajevi kada je strop kruta dijafragma – betonske konstrukcije:
a) masivna ab-ploča izvedena na samome mjestu;
b) ab-ploča od predgotovljenih elemenata sa spojevima koji prenose sile između elemenata;
c) trapezni lim s betonskom pločom izvedenom na samome mjestu

Pri čeličnim i drvenim konstrukcijama kruta se ploča može postići izvedbom zatvorene okvirne konstrukcije u ravnini krova (sl. 2.36.a). Drveni strop pretvara se u krutu dijafragmu pomoću dijagonalne daščane oplata (sl. 2.36.b). Pritom se od elemenata u tri smjera (glavni nosač – sekundarne grede – daščana oplata) oblikuju trokuti (stabilna geometrijska figura).



Sl. 2.36. Ostvarenje krute stropne dijafragme:
a) za čeličnu konstrukciju;
b) za drvenu konstrukciju

2.3.4. Ukrućenje za djelovanje horizontalnih sila – sažetak

- Hale bez krute krovne ploče trebaju imati najmanje četiri ukrutna elementa – za svaki smjer po dva, koji ne leže na istoj liniji.
- Hale s krutom krovnom pločom trebaju imati najmanje tri ukrutna elementa koji se ne sijeku u jednoj točki.
- Vertikalni ukrutni elementi mogu biti:
 - zidovi (ab ili od opeke)
 - okviri
 - rešetke – dijagonale povezane sa stupovima i gredama
 - upeti stupovi.
- Krute stropne dijafragme mogu biti:
 - na samome mjestu izvedena ab-ploča
 - predgotovljena ab-ploča s odgovarajućim vezama
 - čelične ili drvene konstrukcije s dijagonalnim elementima
 - horizontalne okvirne konstrukcije.

3. STROPNE KONSTRUKCIJE

3.1. UVOD

U zgradarstvu stropne konstrukcije sudjeluju s više od 50% u utrošku betona i više od 60% u ukupnim troškovima konstrukcije. Sastoje se od ploča i greda.

Ploče („Nosive konstrukcije I”, 9. poglavlje) mogu biti:

- po načinu prijenosa opterećenja: jednosmjerne i dvosmjerne
- po načinu oslanjanja: linijski oslonjene (jednosmjerne ili dvosmjerne) i točkasto oslonjene (uvijek dvosmjerne)
- po građi: pune (masivne) i olakšane (rebraste, šuplje – jednosmjerne, kasetirane – dvosmjerne).

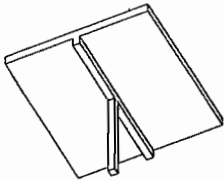
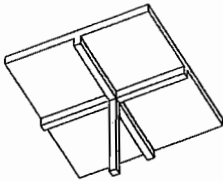
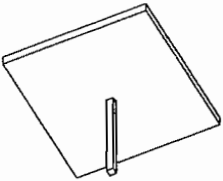
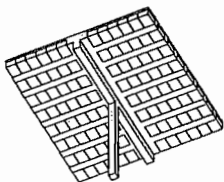
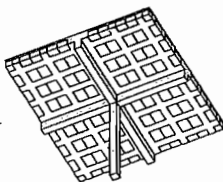
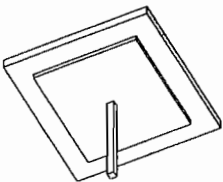
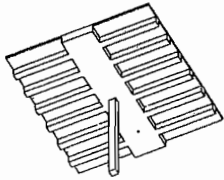
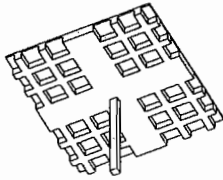
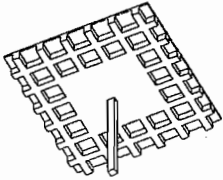
Grede („Nosive konstrukcije I”, 10. poglavlje) najčešće su također sastavni dio stropne konstrukcije, u obliku nizova greda koji se oslanjaju na stupove ili kao roštilj.

3.2. KLASIFIKACIJA STROPNIH KONSTRUKCIJA

Po analogiji s prijašnjim podjelama stropne konstrukcije mogu biti:

- jednosmjerne: ploče prenose opterećenje u jednom smjeru na jedan niz greda ili zidova

Sl. 3.1. Spoj stropa i stupa za razne vrste stropova

	Jednosmjerni linijski oslonjeni	Dvosmjerni linijski oslonjeni	Dvosmjerni točkasto oslonjeni
a) puna ploča			
b) olakšana ploča* (rebrasta ili kasetirana) puna ploča s kapitelom**	 *	 *	 **
c) ploča i grede (kapiteli) jednake debljine			

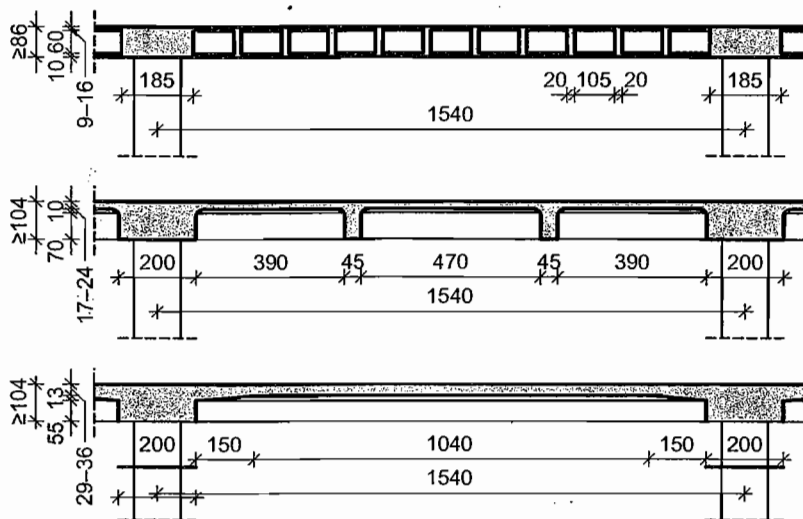
- dvosmjerne: ploče prenose opterećenje u dva smjera
 - na dva ili više nizova greda ili zidova
 - izravno na stupove:
 - bez pojačanja (plosnati strop)
 - s pojačanjem ili kapitelom (gljivasti strop).

Spoj raznih vrsta stropnih konstrukcija sa stupom prikazan je na slici 3.1. Pri važnijim građevinama ili stropovima koji se mnogo puta ponavljaju preporučuje se razrada više varijanata rješenja stropova da bi se došlo do najpovoljnijeg rješenja.

Primjer za konstrukciju s rasterom stropova 15,40 m prikazan je na slici 3.2.

Razmatrane su tri varijante:

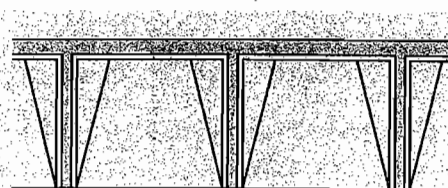
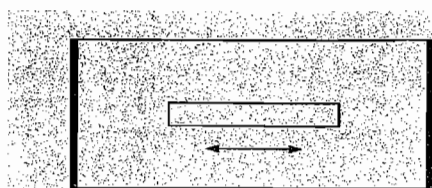
- kasetirani strop sandučastog presjeka, s gredama u dva smjera jednake visine od 185/86 cm
- dvosmjerna ploča s roštiljem greda 45/104 cm + grede u dva smjera 200/104 cm
- dvosmjerna ploča + greda u dva smjera 200/104 cm.



Sl. 3.2. Tri varijante rješenja stropne konstrukcije s rasterom stupova 15,40 × 15,40 m

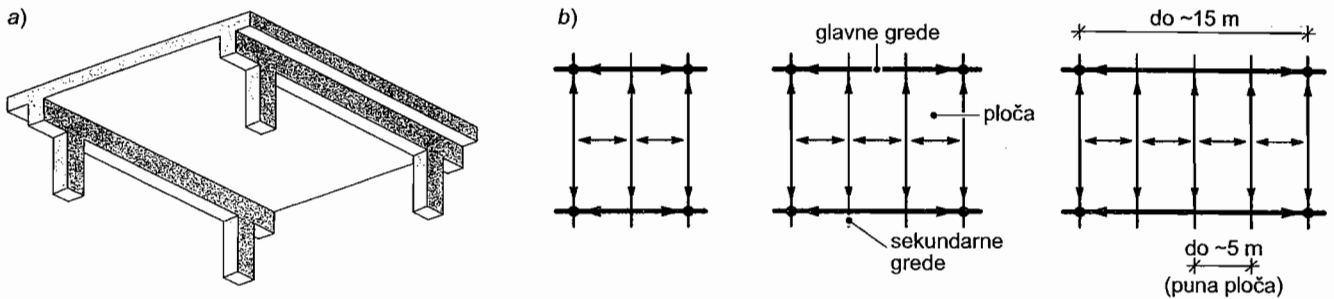
3.3. JEDNOSMJERNI STROPOVI

Ploče prenose opterećenje u jednom smjeru (sl. 3.5.). **Pune ploče** ekonomske su do raspona od oko 5 m, ali rade se i većih raspona (do oko 7 m). Eventualno potrebne otvore za instalacije treba smjestiti tako da im veća dimenzija bude u smjeru prijenosa opterećenja (sl. 3.3.). Armiranje jednosmjernih ploča je jednostavno, ali utrošak betona i armature veći je nego kod dvosmjernih stropova. Oslanjanje ploča na zidove (npr. poprečne) omogućuje uporabu tunelske oplata koja pruža mogućnost brze i ekonomske izvedbe jer se zidovi i ploče betoniraju zajedno (sl. 3.4.). Horizontalne instalacijske cijevi smještaju se neposredno ispod ploče i kroz otvore u zidovima, što daje malu ukupnu visinu stropa.



Sl. 3.3. Smještaj otvora za instalacije kod jednosmjernih ploča

Sl. 3.4. Izvedba jednosmjerne ploče i zidova u tunelskoj oplati



Sl. 3.5. Jednosmjerni strop s punom pločom:
a) aksonometrija;
b) tri sheme ploča sa sekundarnim i glavnim gredama

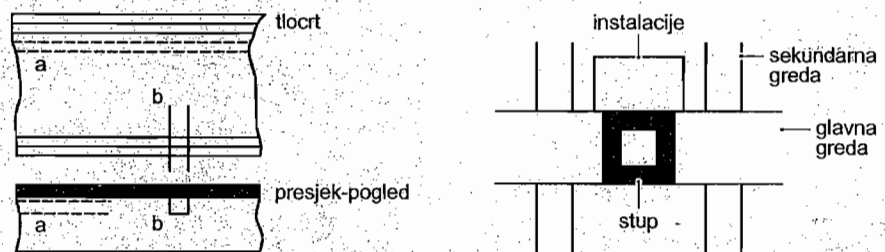
Oslanjanje ploče na sustav greda, i to:

- glavnih za razmak stupova do oko 5 m
- sekundarnih i glavnih za razmak stupova do oko 15 m (sl. 3.5b).

Takav sustav stropne konstrukcije daje znatno veću ukupnu visinu stropa zato što su glavne grede jako opterećene pa trebaju imati znatnu visinu (oko 1/15 raspona). Posljedica je viša zgrada, dakle veći trošak fasade i grijanja. Horizontalno vođenje instalacija (sl. 3.6.) obavlja se: a) paralelno s glavnim gredama i b) okomito kroz otvore u njima. Vertikalno vođenje instalacija može se obavljati uza stupove ako sekundarne grede na leže na stupovima (sl. 3.7.).

Sl. 3.6. Horizontalno vođenje instalacija kod jednosmjernog stropa s gredama

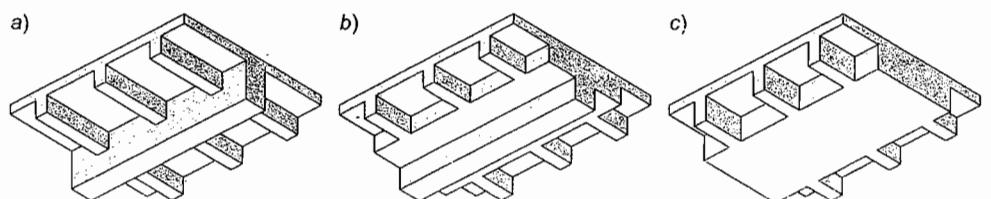
Sl. 3.7. Vertikalno vođenje instalacija uza stup

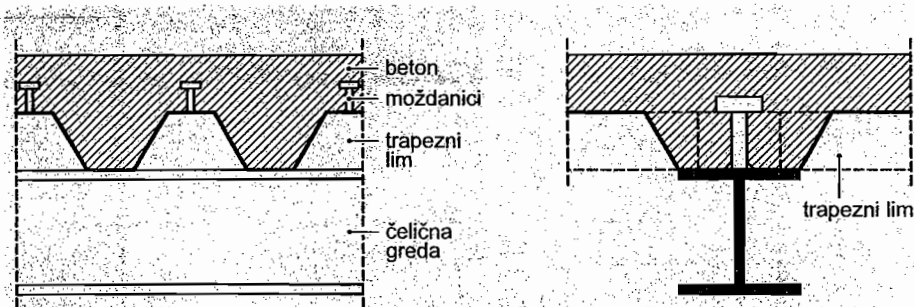


Rebrasta ploča (sl. 3.8.) ekonomična je za raspane do oko 12 m. Oplata može biti od lima ili laganih šupljih tijela koja ostaju u stropu i omogućuju ravni podgled. Ležajni su presjeci puno slabiji od onih u polju, zbog toga što po pravilu preuzimaju veće momente savijanja a nemaju tlačnu ploču (sl. 3.11.). Zato se mogu predvidjeti ležajna pojačanja (sl. 3.8b) – u području velikih negativnih momenata rebrasta se ploča pretvara u punu. Nastojanje za što manjom visinom stropa moguće je riješiti tako da rebrasta ploča i grede imaju jednaku visinu. Kroz široku gredu mogu se voditi vertikalne instalacije (sl. 3.8c). Takvo je rješenje moguće onda kada grede (jače opterećeni elementi) imaju manje raspane od ploča.

Kod čelične konstrukcije zgrade često se rabe jednosmjerne ploče na trapeznom valovitom limu, koji služi kao oplata tijekom izvedbe, a poslije i kao armatura. Sudjelovanje lima i ploče osigurava se moždanicima privarenima na lim ili profilacijom lima na kosim stranicama. Ploča se oslanja na čelične grede (sl. 3.9.). U slučaju potrebe, i čelične se grede mogu spregnuti s betonskom pločom, čime im se znatno povećava nosivost (sl. 3.10.).

Sl. 3.8. Rebrasta ploča:
a) normalan slučaj s oslanjanjem na gredu;
b) s pojačanjem ležajnog presjeka; c) greda i ploča jednake visine, kroz široku gredu moguće je voditi instalacije





Sl. 3.9. Rebrasta ploča spregnuta s valovitim limom
Sl. 3.10. Sprezanje čelične grede s betonskom pločom

Sl. 3.11. Usporedba presjeka u polju i na ležaju



3.4. DVOSMJERNI STROPOVI

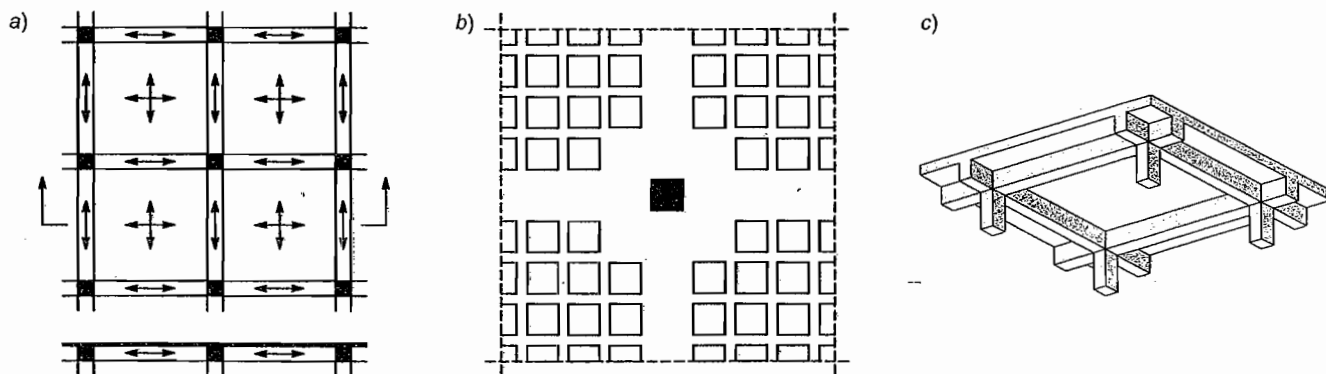
Često se rabe stropovi od **pravokutnih dvosmjernih ploča** (sl. 3.12.). Pritom odnos veće stranice prema manjoj treba biti manji od 2 jer u protivnom slučaju ploče djeluju kao jednosmjerne!

Pune ploče su ekonomične do kraćeg raspona od oko 8 m.

Rebraste ploče, koje se u slučaju postojanja rebara u oba smjera nazivaju **kasetiranim**, ekonomične su do kraćeg raspona od oko 10 m. Za prednapete ploče mogući su i veći rasponi (vidi primjere kasnije!). Najracionalniji je način oslanjanja, kada je to moguće, na zidove u oba smjera, a inače na grede u dva niza koje se sijeku na mjestu stupova. Visina greda najpovoljnija je u veličini oko $1/15$ raspona. Često su poželjne niže grede da bi se dobila što manja ukupna visina zgrade. Pritom se odabir manje visine kompenzira povećanjem širine grede. Oplata kasetiranih ploča može biti od limenih krnjih piramida ili od šupljih tijela („izgubljenih“), npr. blokova od ekspaniranog polistirena („stiropora“). U slučaju negativnih momenata (dolje tlak) može se predvidjeti pojačanje ploče, kako je to već pokazano za jednosmjernu rebrastu ploču (sl. 3.8b).

Prednosti dvosmjernih stropova u odnosu na jednosmjerne jesu: manje konstruktivne visine te manji utrošak betona i čelika. Mane su: kompliciranija oplata i armatura, teža izvedba, teže vođenje instalacija za grede u dva smjera (često ih treba voditi ispod stropa, što onda rezultira povećanjem ukupne visine stropa).

Sl. 3.12. Pravokutne dvosmjerne ploče oslonjene na grede:
a) tlocrt i presjek;
b) detalj stropa s kasetiranom pločom;
c) aksonometrija



3.5. TOČKASTO OSLONJENI STROPOVI

Točkasto oslonjeni stropovi (sl. 3.13.) dijele se na:

- plosnate (ravne) stropove bez kapitela (sl. 3.13a–c)
- gljivaste stropove s kapitelima (sl. 3.13d).

Puna ploča ekonomična je do raspona od oko 7 m, a **kasetirana** (rebrasta) do oko 10 m. Za prednapete ploče mogući su i veći rasponi. Oplata je kasetiranih ploča kao za linijski oslonjene dvosmjerne ploče. Zbog velikih negativnih momenata predviđaju se pojačanja ploča uza stupove – rebrasta ploča pretvara se u punu (sl. 3.13b). To je pojačanje potrebno i zbog opasnosti od proboja. Uz rubove najčešće se predviđa linijski ležaj (greda ili zid) – u tom slučaju mogu otpasti rubna i uglovna pojačanja ploče (kapiteli), prikazana na slici 3.13d.

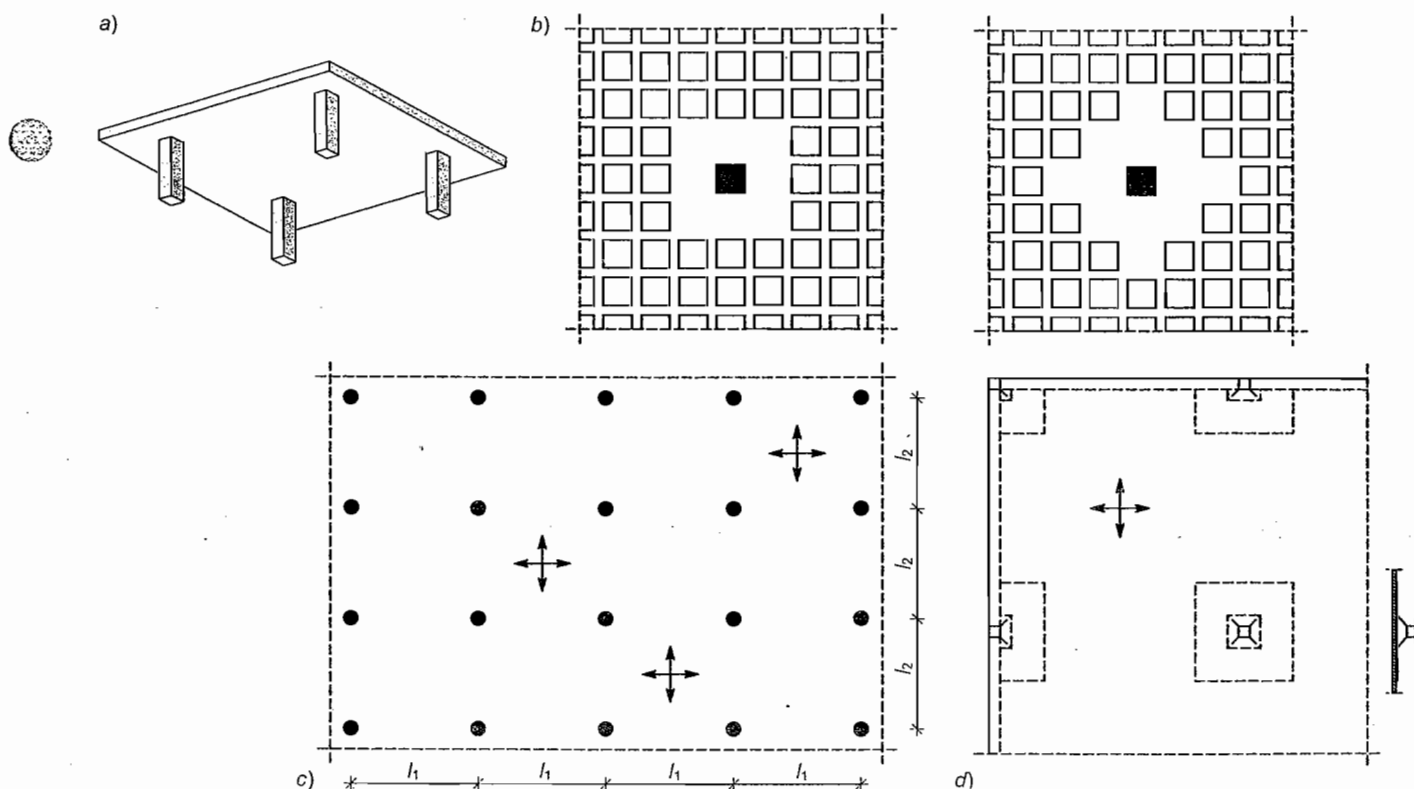
Prednosti **točkasto oslonjenih stropova** jesu:

- jednostavna oplata i armatura, dakle lakša izvedba
- najmanja moguća ukupna visina stropa, što znači i najmanja visina zgrade
- raster stupova može biti i nepravilan (to bi za strop s gredama bilo mnogo složenije)
- dobra zaštita od buke i požara zbog veće debljine same ploče
- moguće je povoljnije osvetljenje jer nema sjena od greda
- najveća fleksibilnost u postavljanju razdjelnih zidova (njihov je položaj inače uvjetovan položajem greda).

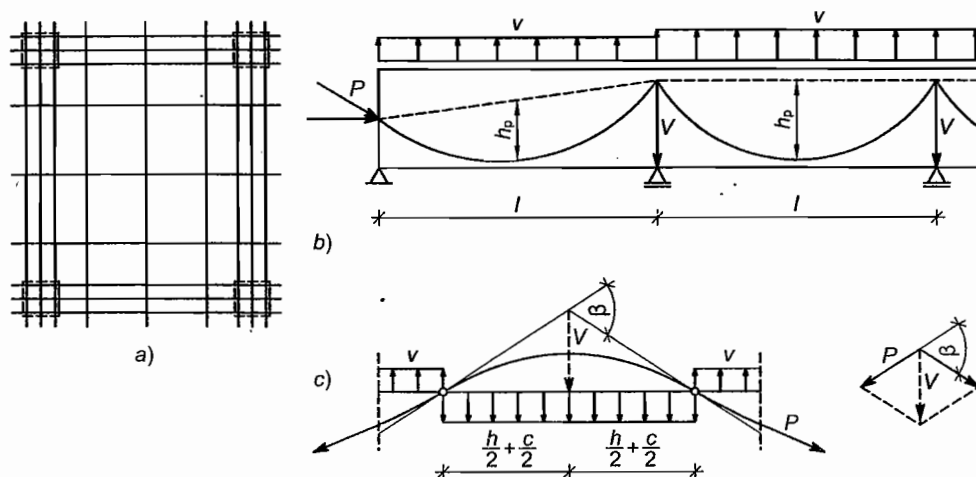
Mane su:

- veći utrošak betona i armature (količina je armature to veća što je krak unutarnjih sila, koji je proporcionalan debljini ploče, manji)
- mala krutost za horizontalna opterećenja (zbog male krutosti „grede” okvira koji čine razmjerno tanke ploče i stupovi). Zgrade s točkasto oslonjenim stropovima gotovo uvijek moraju imati zidove za ukrućenje.

Sl. 3.13. Točkasto oslonjeni stropovi: a) plosnati strop, aksonometrija; b) kasetirani strop; c) plosnati strop, tlocrt; d) gljivasti strop, tlocrt i presjek uza stup



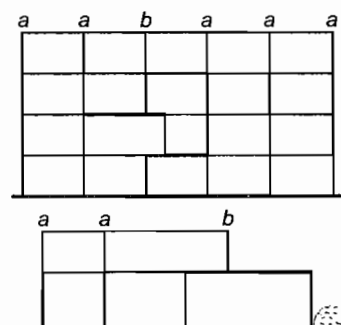
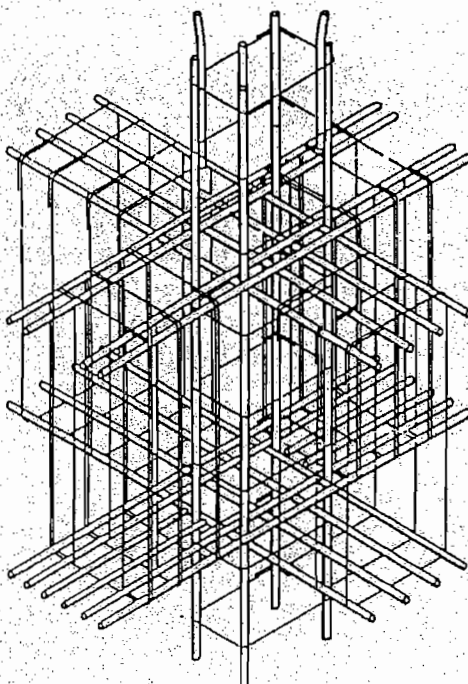
Prednapinjanjem ploča u oba smjera (sl. 3.14.) može se postići smanjenje progiba i opasnosti od raspucavanja (za razloge vidi „Nosive konstrukcije I”, 7. poglavlje). To ujedno znači da možemo postići smanjenje debljine stropa, odnosno za istu debljinu stropa povećanje raspona. Oko polovice ukupnog broja natega predviđa se u trakama nad stupovima, a druga polovica u trakama u poljima (sl. 3.14a). Oblik natega je paraboličan (sl. 3.14b), sa zaobljenjem nad ležajevima (sl. 3.14c).



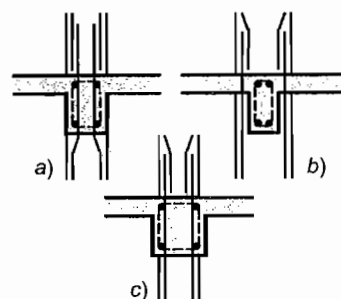
Sl. 3.14. Prednapete točkasto oslonjene ploče:
a) raspored natega u tlocrtu;
b) i c) oblik natega

3.6. POJEDINOSTI PROJEKTIRANJA I RAZRADE

Pri skeletnim sustavima treba uvijek težiti za poklapanjem osi stupova u svim katovima jer su u suprotnom slučaju potrebne jake (i time skupe) prelazne konstrukcije koje se sastoje od debelih ploča ili jakih greda (sl. 3.15.). Očito je da je pri poklapanju osi stupova tijekom sila jednostavniji i logičniji. Širina greda u odnosu na širinu stupova može biti jednaka, manja ili veća (sl. 3.16.). Jednaka širina (stup i greda „u fluhti”) poželjna je iz estetskih razloga i tako se konstrukcija najčešće projektira (sl. 3.16a). S druge strane, mala razlika u širini (npr. 5 cm, tj. dvostruka debljina daske za oplatu) omogućava lakši smještaj armature jer se armatura stupa i grede mimoilazi (sl. 3.16b–c). Kod razmjerno malih dimenzija stupova i greda te veće količine armature greda oba smjera postoji opasnost od pretrpanosti armaturom čvora u kojemu se ti elementi križaju (sl. 3.17.). To može otežati betoniranje čvora i dovesti ili do smanjene nosivosti konstrukcije ili do poskupljenja radova zbog dodatnih zahtjeva pri izvedbi (poseban sastav betona – manje zrno, više vode – i posebne mjere ugradnje).



Sl. 3.15. Tijek sila za:
a – slučaj poklapanja osi stupova; b – nepoklapanja osi stupova, dakle potrebe za prelaznim konstrukcijama



Sl. 3.16. Širina greda u odnosu na širinu stupova:
a) jednaka; b) manja; c) veća

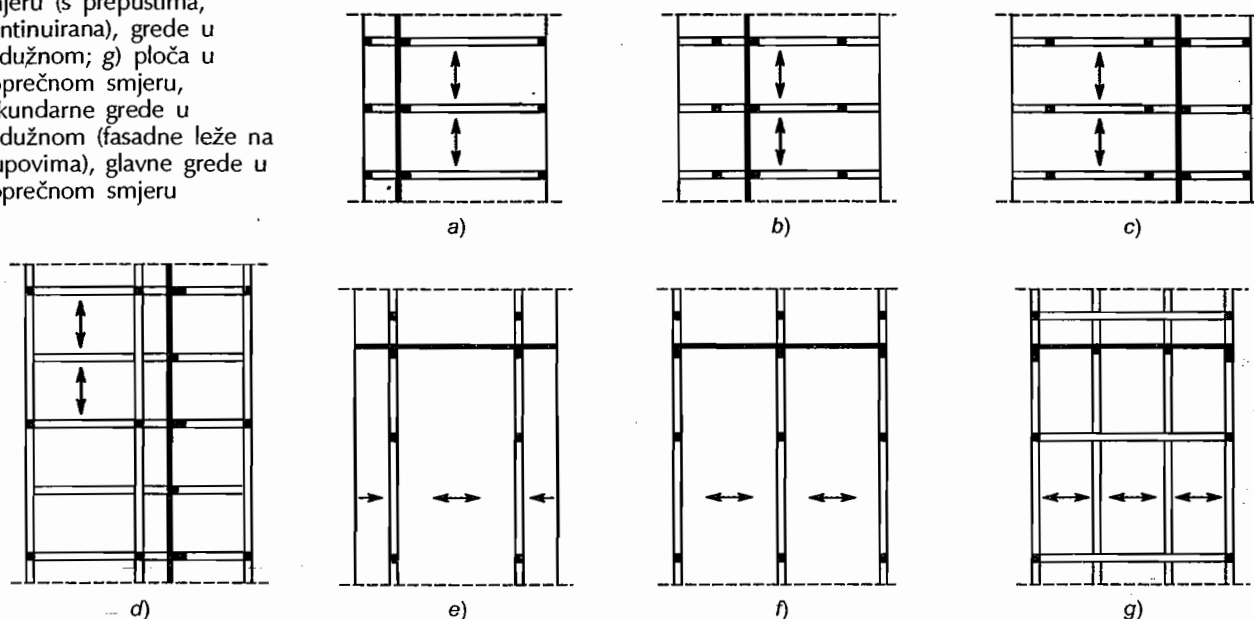
Sl. 3.17. Pretrpanost čvora armaturom u slučaju jednake širine stupa i greda (lijevo)

Sl. 3.18. Tlocrtne sheme raznih rješenja stropova s prevladajućim presjecima: a), b), c) ploča u uzdužnom smjeru, grede (prosto položena, s prepustima, kontinuirana) u poprečnom smjeru; d) ploča u uzdužnom smjeru, sekundarne grede u poprečnom (svaka druga leži na stupu), glavne grede u uzdužnom smjeru; e), f) ploča u poprečnom smjeru (s prepustima, kontinuirana), grede u uzdužnom; g) ploča u poprečnom smjeru, sekundarne grede u uzdužnom (fasadne leže na stupovima), glavne grede u poprečnom smjeru

3.7. KONSTRUKTIVNA RJEŠENJA JEDNOSMJERNIH STROPOVA

3.7.1. Stropovi s punim jednosmjernim pločama

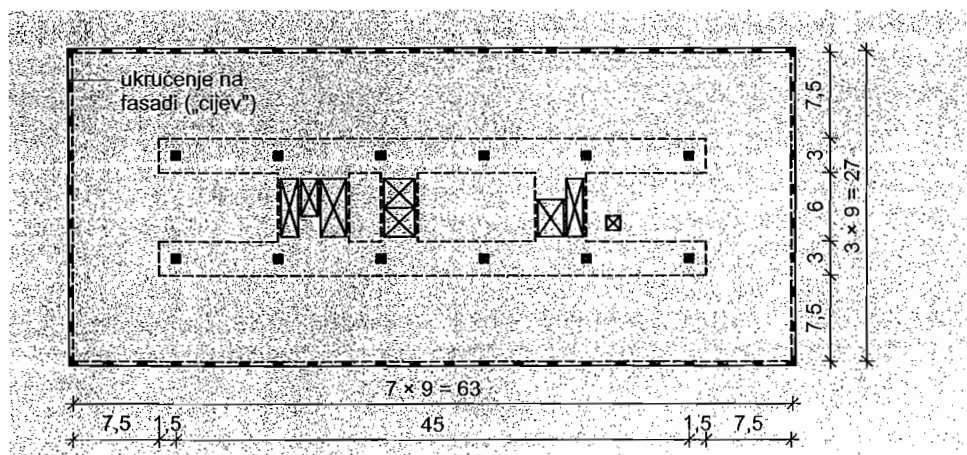
Na slici 3.18. prikazana su razna rješenja jednosmjernih stropova koji se sastoje od ploče i greda na stupovima. Prvi primjer jednosmjernog stropa prikazan je na slici 3.20. Konstrukcija se sastoji od stupova u rasteru 12×13 m, ploče debljine 12 cm, sekundarnih greda 40/80 cm i glavnih greda 80/140 cm.



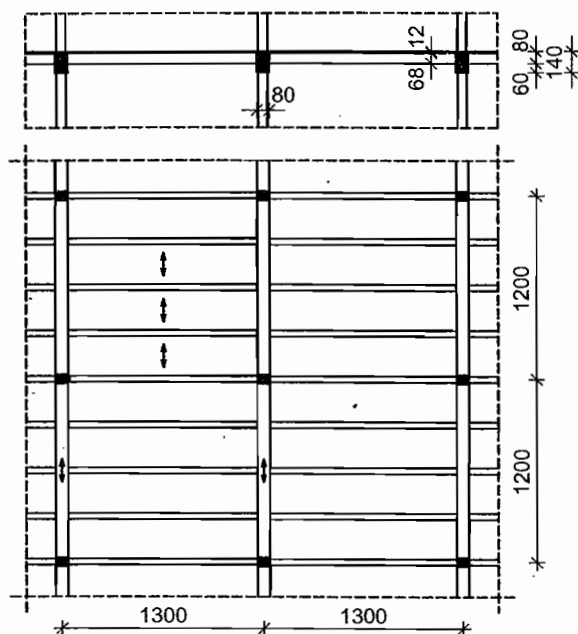
Drugi primjer jednosmjernog stropa dan je na slici 3.19. Riječ je o dijelu konstrukcije poslovnog tornja u SAD-u. Elementi konstrukcije jesu:

- ukrućenje na fasadi: maksimalno učinkovit perforirani sandučasti presjek (rješenje uvriježeno za više od 20 etaža)
- velik raster stupova u unutrašnjosti 9×9 m, što daje veliku fleksibilnost u korištenju prostora
- široke grede ($b = 3$ m) radi postizanja što manje visine greda, ali i ploča, jer se povećanjem širine grede smanjuje raspon ploče.

Sl. 3.19. Stropna konstrukcija poslovnog tornja u SAD-u

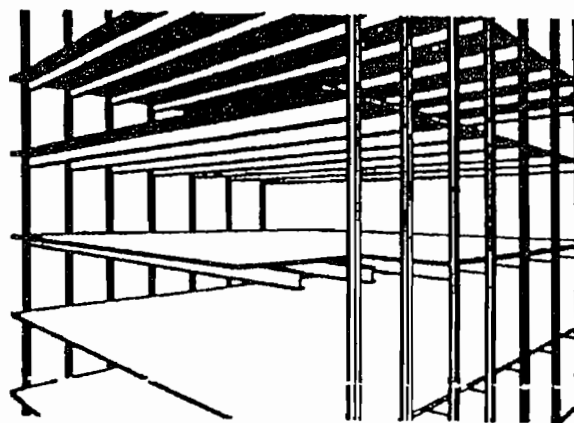


Konačno daje se i primjer pune jednosmjerne ploče u čeličnoj konstrukciji zgrade (sl. 3.21.). Elementi su ove konstrukcije armiranobetonska ploča, čelične grede i čelični stupovi. Pritom grede imaju velik raspon (čitava širina zgrade), dok je raspon ploča, koji je jednak razmaku stupova, malen.



Sl. 3.20. Primjer konstrukcije s jednosmjernim stropom: presjek i tlocrt

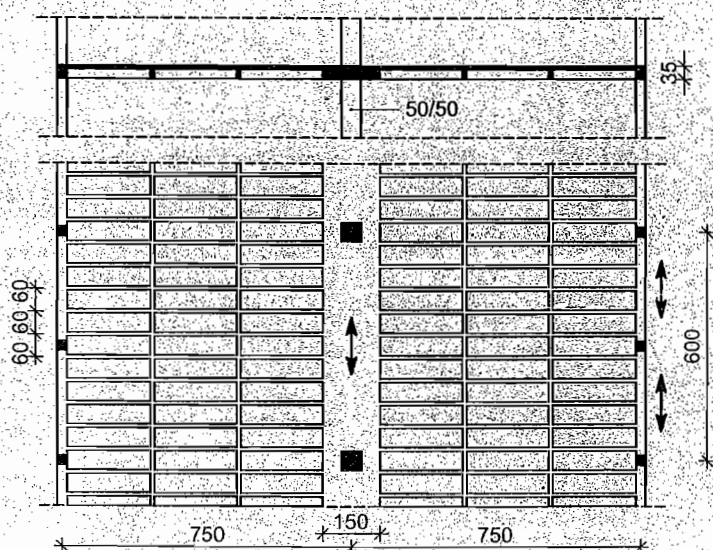
Sl. 3.21. Čelična konstrukcija zgrade s punom betonskom pločom stropa



3.7.2. Stropovi s rebrastim jednosmjernim pločama

Na slici 3.22. prikazan je primjer stropne konstrukcije koji dobro ilustrira načela iznesena u t. 3.3. i u 9. poglavlju „Nosivih konstrukcija I“. Elementi rješenja konstrukcije jesu:

- rebrasta ploča na većem rasponu: ima po dva rebra za ukrućenje
- uzdužna greda na manjem rasponu pa je moguća ista debljina ploče i grede, što daje ukupnu visinu od 35 cm, a to je povoljno. Pritom greda mora biti široka što ne nadoknađuje u potpunosti gubitak njene učinkovitosti zbog smanjenja visine, ali smanjuje raspon ploče te time njezine momente i progibe.

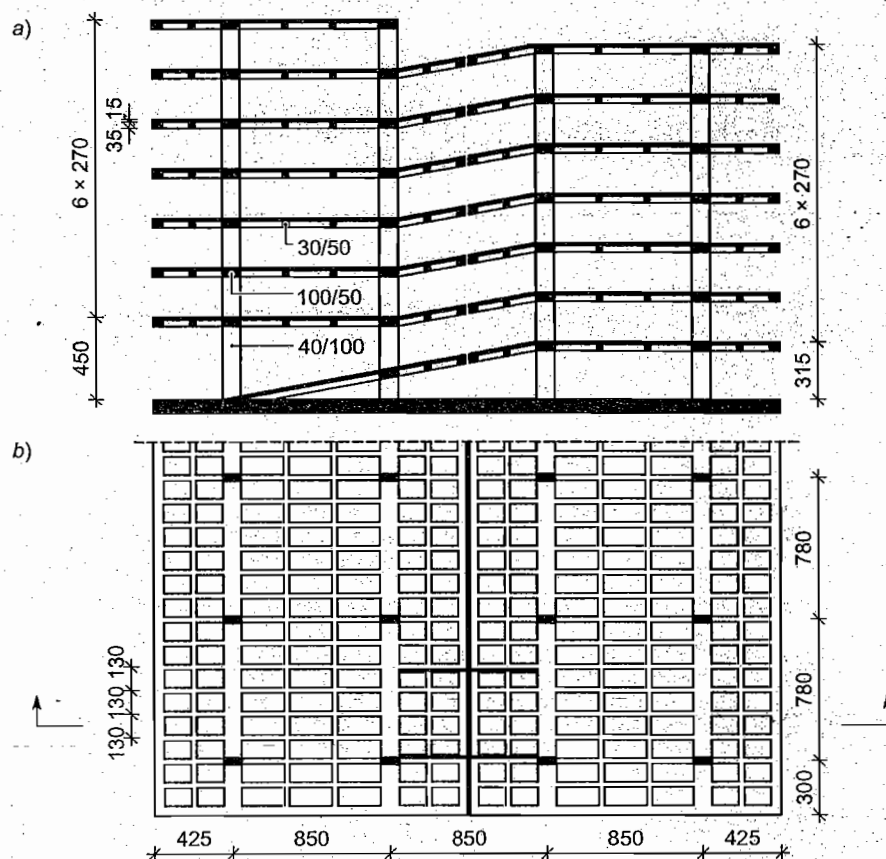


Sl. 3.22. Primjer stropa s rebrastim jednosmjernim pločama: presjek i tlocrt

Drugi je primjer stropna konstrukcija višekratne garaže (sl. 3.23.). U odnosu na prethodni primjer rasponi su nešto veći, ali elementi su rješenja isti:

- rebrasta ploča na većem rasponu: sa po dva rebra za ukrućenje na svakom rasponu i svakom prepustu
- uzdužna greda na manjem rasponu, pa je moguća ista debljina ploče i grede, što daje ukupnu visinu od 50 cm.

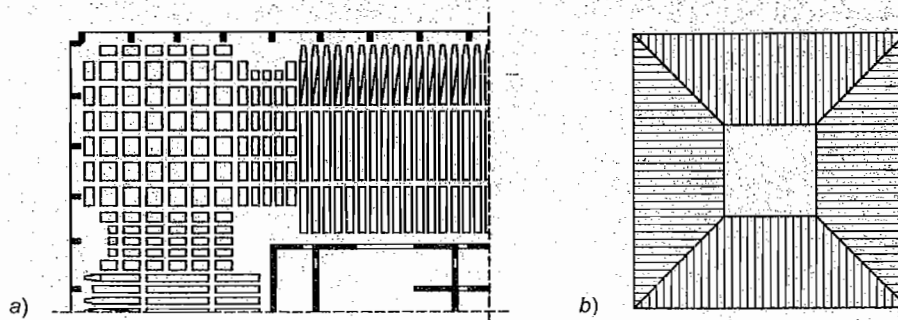
Sl. 3.23. Stropna konstrukcija višekratne garaže:
a) presjek;
b) tlocrt



Konačno, daje se i primjer stropne konstrukcije tornja (sl. 3.24.), ukrućene kombinacijom dvaju ukrutnih elemenata (fasadna „cijev“ i unutarnja jezgra – tzv. sustav „cijev u cijevi“). Jednosmjerni stropovi oslanjaju se na fasadne grede i unutarnju jezgru. Na dijelu u uglu moguće su dvije varijante stropne konstrukcije:

- dvosmjerna (kasetirana) ploča koja se oslanja na fasadne grede i u području ugla unutarnje jezgre
- nastavak jednosmjernih ploča (sa sve manjim rasponom), koje se oslanjaju na dijagonalnu gredu što povezuje ugao fasade i ugao jezgre.

Sl. 3.24. Stropna konstrukcija tornja, ukrućena sustavom „cijev u cijevi“, s dvije varijante rješenja u području ugla: a) dvosmjerna ploča; b) jednosmjerne ploče oslonjene na dijagonalnu gredu



3.8. KONSTRUKTIVNA RJEŠENJA DVOSMJERNIH STROPOVA

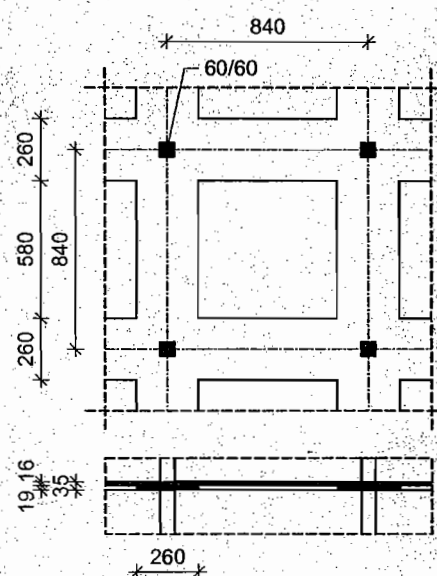
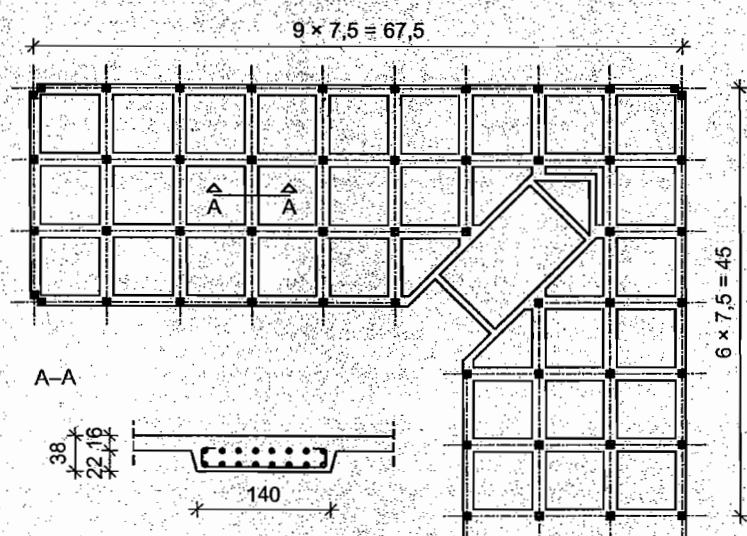
3.8.1. Gredni dvosmjerni stropovi s punom pločom

Na slici 3.26. prikazan je primjer stropne konstrukcije s rasterom stupova $8,40 \times 8,40$ m. Debljina je ploče 16 cm, a presjek grede 260/35 cm. Postignuta je mala ukupna visina stropa, s vitkošću stropne konstrukcije $35/840 = 1/24$!

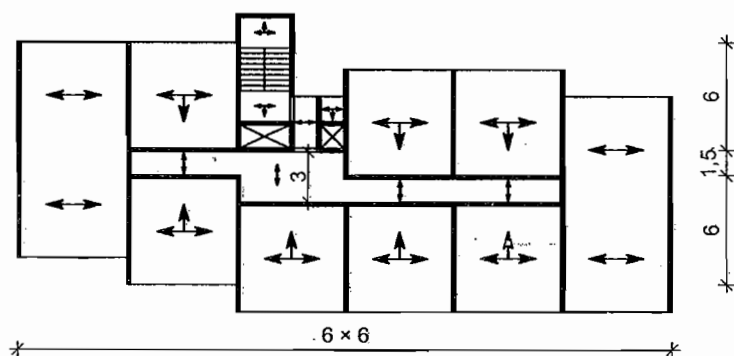
Drugi je primjer stropna konstrukcija tipične etaže Vijećnice u Bonnu (sl. 3.25.). Rješenje je slično kao u prethodnom primjeru: raster stupova $7,5 \times 7,5$ m, grede presjeka 140/39 cm i ploča debljine 16 cm.

Sl. 3.25. Stropna konstrukcija tipične etaže Vijećnice u Bonnu

Sl. 3.26. Primjer dvosmjernog stropa s punom pločom: gore tlocrt, dolje presjek



Sljedeći primjer je stropna konstrukcija tipične etaže stambene zgrade u Zagrebu s nosivim zidovima (sl. 3.27.). Fasada je bez greda jer je tehnika izvedbe bila s pomoću tunelske oplata. Dakle, krajnje su ploče jednostrane, kao i ploče hodnika, dok su preostale ploče dvostrane – oslonjene na tri strane. Debljina je zidova 20 cm.



Sl. 3.27. Stropna konstrukcija tipične etaže stambene zgrade u Zagrebu

3.8.2. Gredni dvosmjerni stropovi s rebrastom pločom

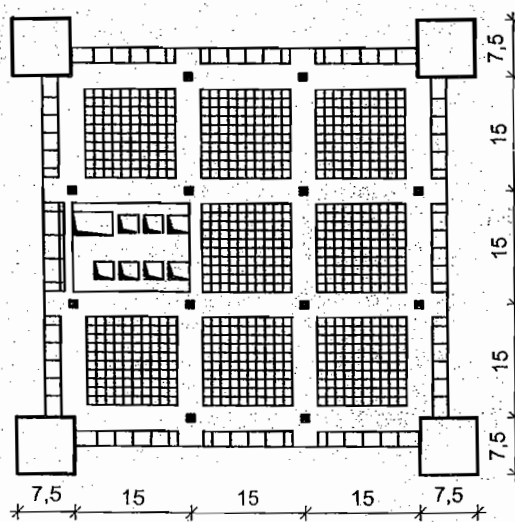
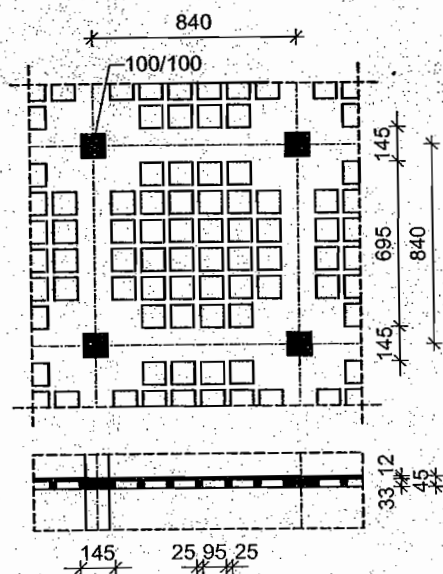
Strop nove Vijećnice u Bonnu (sl. 3.28.) čine rebrasta ploča i grede iste visine (45 cm). S obzirom na veliko korisno opterećenje, vitkosti stropne konstrukcije $h/l = 45/840 = 18,7$ može se smatrati zadovoljavajuće malom.

Sljedeća su dva primjera iz SAD-a. Na slici 3.29. prikazana je tipična etaža zgrade izvedene na samome mjestu. Značajke su joj veliki rasponi, rebraste ploče i široke grede te jezgre za ukrućenje u uglovima.

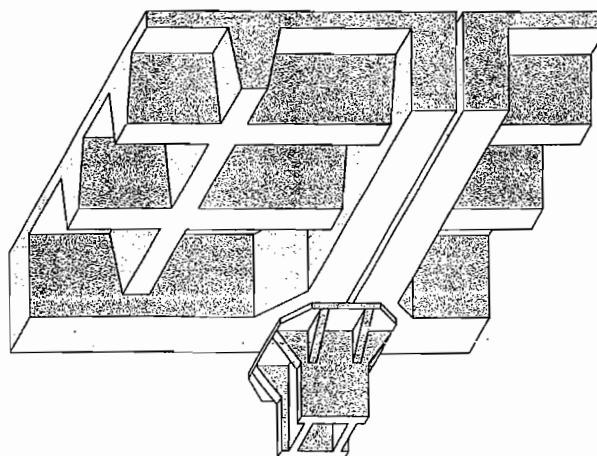
Na slici 3.30. prikazani su tipični elementi predgotovljene konstrukcije, koju čine teški predgotovljeni stropni elementi što sadrže i rebrastu ploču i obodne grede, te čelični stupovi.

Sl. 3.28. Strop nove Vijećnice u Bonnu – rebrasta ploča i grede iste visine

Sl. 3.29. Primjer zgrade izvedene na samome mjestu u SAD-u

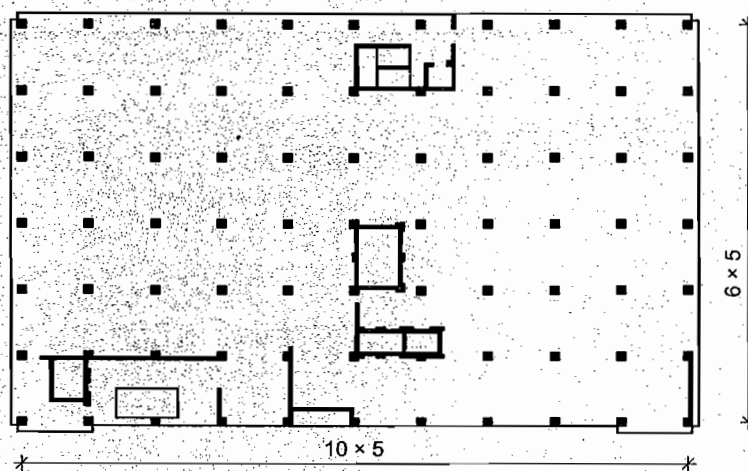


Sl. 3.30. Tipični elementi predgotovljene konstrukcije zgrade u SAD-u



3.8.3. Točkasto oslonjeni (dvosmjerni) stropovi s punom pločom

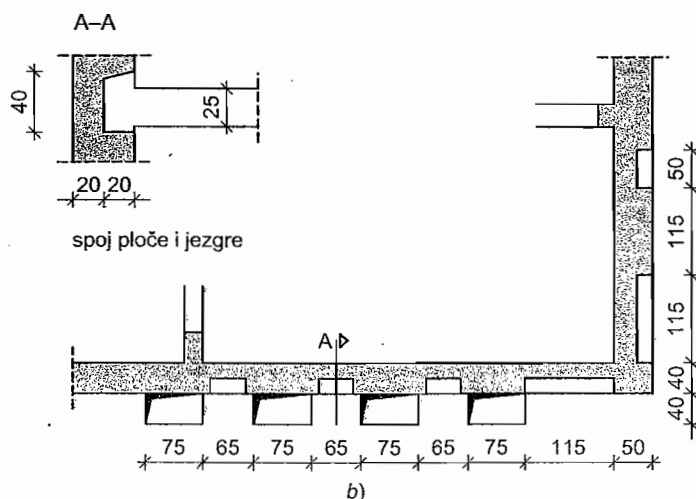
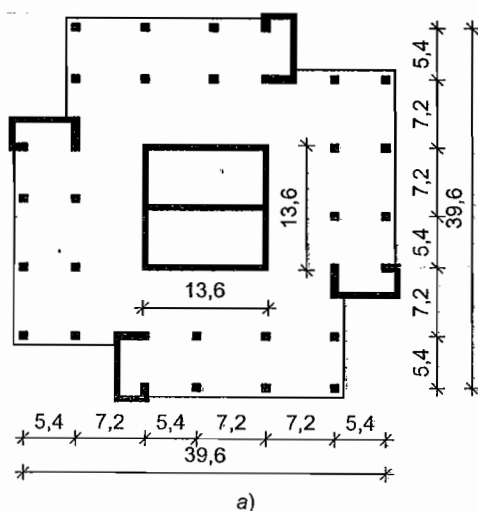
Na slici 3.31. prikazana je stropna konstrukcija skladišta knjižnice u Frankfurtu. S obzirom na vrlo veliko korisno opterećenje ($p = 15 \text{ kN/m}^2$), odabran je razmjerno malen raster stupova ($5 \times 5 \text{ m}$). Stupovi su dimenzija $50/50 \text{ cm}$, a ukrucenje zgrade provedeno je zidovima. Kao stropna konstrukcija odabran je plosnati strop debljine 24 cm (vitkost $d/h = 1/20,8$). Razmatrana je i varijanta stropa s podvlakama, no plosnati strop prihvaćen je kao povoljnije rješenje zato što unatoč malo većem trošku za armaturu daje znatno manji trošak za beton i oplatu, te bolje iskorištenje prostora zbog male ukupne visine stropne konstrukcije.



Sl. 3.31. Stropna konstrukcija skladišta knjižnice u Frankfurtu

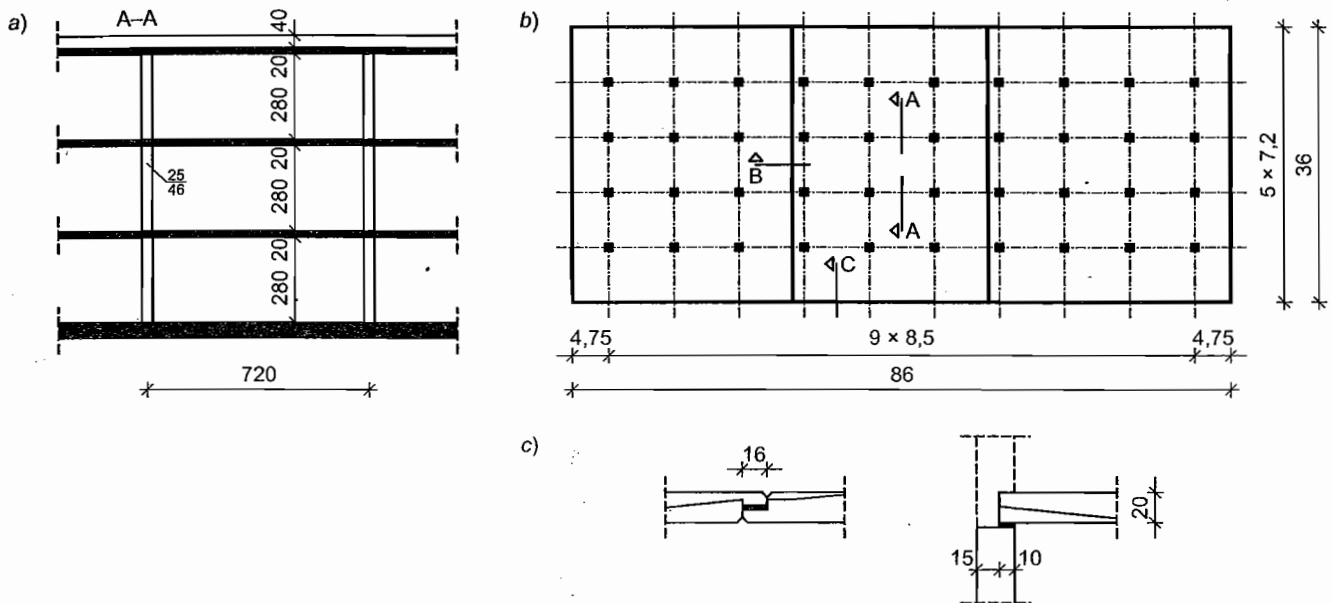
Stropna konstrukcija Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu („Nosive konstrukcije I“, 9. pogl.) ima ove elemente: raster stupova $8,40 \times 8,40$ m i točkasto oslonjenu ploču debljine 25 cm, s pojačanjem na 50 cm na mjestu kapitela.

Na slici 3.32. prikazana je stropna konstrukcija poslovno-stambene zgrade u Hannoveru. Vertikalnu nosivu konstrukciju čine centralna jezgra za ukrućenje i stupovi na rasterima $7,2 \times 7,2$ m i $7,2 \times 5,4$ m. Plosnati strop ima debljinu od 25 cm. Prikazan je i spoj ploče i jezgre, koji je otežan brojnim otvorima za instalacije (sl. 3.32b). Raspored je vertikalnih elemenata takav da jezgra ima veliko vertikalno opterećenje, što je povoljno.

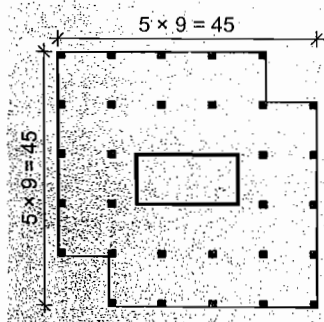


Sl. 3.32. Poslovno-stambena
zgrada u Hannoveru:
a) stropna konstrukcija;
b) detalji spoja ploče i jezgre

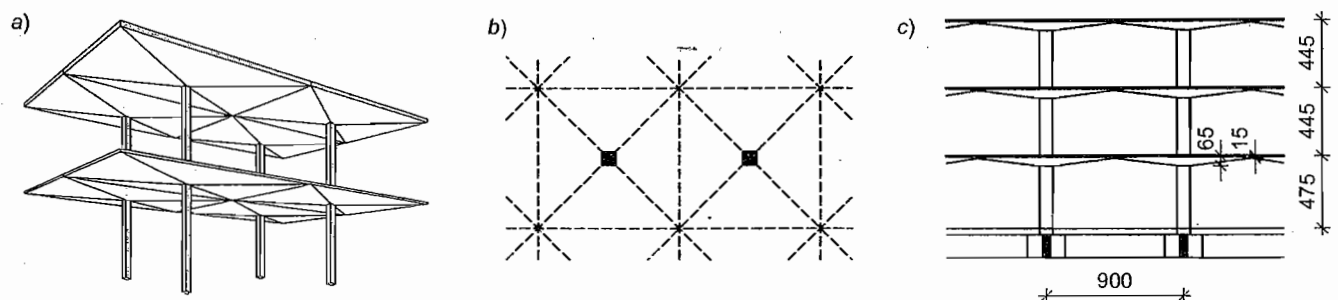
Sl. 3.33. Podzemna garaža u Bernu: a) presjek; b) tlocrt s podjelom na tri odsječka; c) detalji kliznih ležajeva na spojevima ploča-ploča i ploča-zid



Sl. 3.34. Plosnati strop poslovne zgrade u SAD-u



Sl. 3.35. Stropna konstrukcija robne kuće u Japanu: a) aksonometrija; b) tlocrt; c) presjek



Vrlo je zanimljiva stropna konstrukcija podzemne garaže u Bernu proračunana na razmjerno malo korisno opterećenje ($p = 2 \text{ kN/m}^2$). Vertikalni elementi konstrukcije zgrade jesu obodni betonski zidovi i unutarnji stupovi presjeka 35/45 cm u rasteru $8,5 \times 7,2 \text{ m}$. Odabrana je prednapeta plosnata ploča debljine 20 cm vrlo male vitkosti ($d/l = 1/36$ odnosno $1/42,5!$). Ploča je razdijeljena na tri odsječka kako bi se omogućile deformacije od prednapinjanja i ograničio utjecaj skupljanja betona. Na spojevima ploče i obodnog zida te ploča na granici odsječaka izvedeni su klizni ležajevi (sl. 3.33c).

Rješenje stropa poslovne zgrade u SAD-u (sl. 3.34.) daljnji je primjer mogućnosti koje daje prednapinjanje. Plosnata ploča na rasteru stupova $9 \times 9 \text{ m}$ izvedena je debljine 22 cm (vitkost $d/l = 1/40,9!$).

Konačno, tu je primjer stropne konstrukcije robne kuće u Japanu (sl. 3.35.), ukupne korisne površine $25\,000 \text{ m}^2$. Raster je stupova $9 \times 9 \text{ m}$, a ploča ima promjenljivu debljinu od 15 do 65 cm i oblik krnje piramide.

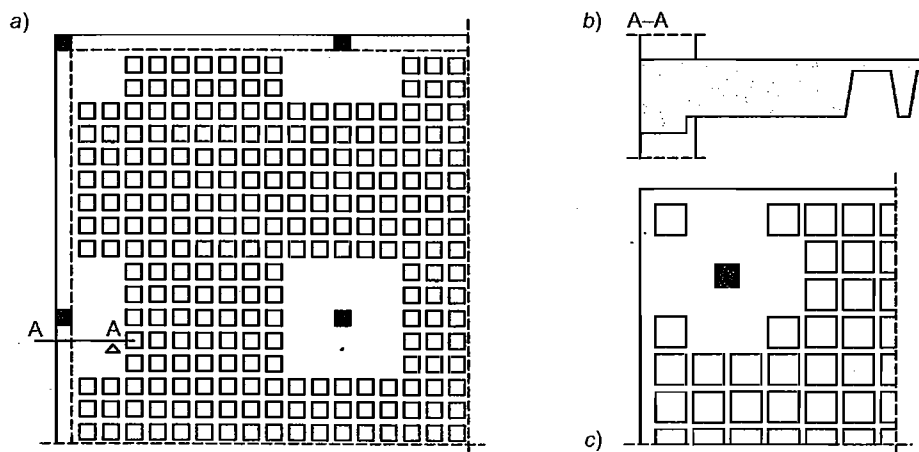
Za vertikalno opterećenje djeluje približno kao dvostrana konzola, a za horizontalno opterećenje kao okvirna konstrukcija, dakle tom je konstrukcijom postignuto i ukrućenje zgrade.

Okvirno djelovanje posljedica je znatne debljine ploče na mjestu spoja sa stupom, što omogućava formiranje krutih čvorova.

Prednosti te konstrukcije jesu: učinkovitost uporabe gradiva – debljina se mijenja s momentima savijanja i najveća je tamo gdje su i momenti najveći, a osim toga i tamo gdje je potrebna protiv proboja te brza i ekonomična izvedba velikoplošnom oplatom (ponavljanje više od 300 puta!).

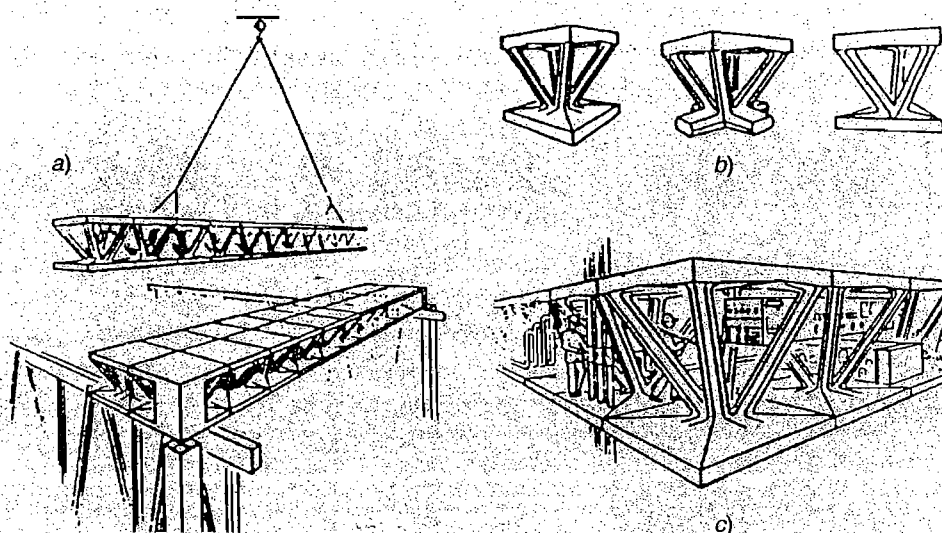
3.8.4. Točkasto oslonjeni (dvosmjerni) stropovi s rebrastom pločom

Tipični točkasto oslonjeni rebrasti (kasetirani) strop prikazan je na slici 3.36. Puna je ploča samo oko stupova gdje su najveći momenti savijanja (negativni – tlak dolje!) i opasnost od proboja.



Sl. 3.36. Točkasto oslonjeni strop s rebrastom pločom: a) i b) tlocrt i presjek ploče oslonjene na rubu; c) dio tlocrta ploče s prepustom na rubu

Na slici 3.37. prikazan je sustav plosnatog stropa vrlo velikih raspona – radi se o raščlanjenoj ploči, tj. prostornoj rešetki od predgotovljenih dijelova. Pojedinačni elementi (sl. 3.37b) spajaju se prednapinjanjem u jednom smjeru i tako dobivene „grede” postavljaju se na podupirače jedna uz drugu (sl. 3.37a). Konačno se grede prednapnu i u drugom smjeru, te stropna ploča predstavlja cjelinu koja nosi oslonjena samo na stupove. Visina je stropa od 90 do 240 cm i osim svladavanja velikih raspona pruža idealne mogućnosti za smještaj instalacija.



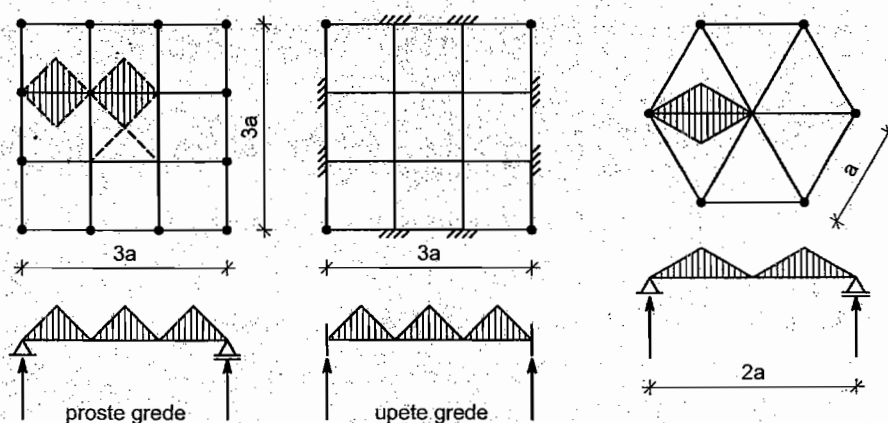
Sl. 3.37. Sustav prostorne rešetke od predgotovljenih dijelova: a) elementi spojeni u grede; b) elementi sustava; c) gotovi strop

3.9. ROŠTILJNI STROPOVI

Sastoje se od ploča i sustava od dva ili tri niza greda koje su kruto spojene u presječnim čvorovima. Najjednostavniji su jednostavni pravilni statički određeni **roštilji na pravilnim tlocrtima**. Primjer roštilja na kvadratnom tlocrtu prikazan je na slici 3.38. u dvije varijante oslanjanja greda – slobodno oslonjene i upete. Za jednoliko rasprostrto opterećenje sve grede imaju jednako opterećenje, pa nema dodatnih sila na mjestima križanja greda. Na slici 3.39. prikazan je roštilj greda na pravilnome šesterokutnom tlocrtu. I ovdje za jednoliko rasprostrto opterećenje sve grede imaju jednako opterećenje, pa nema dodatnih sila na mjestu križanja greda.

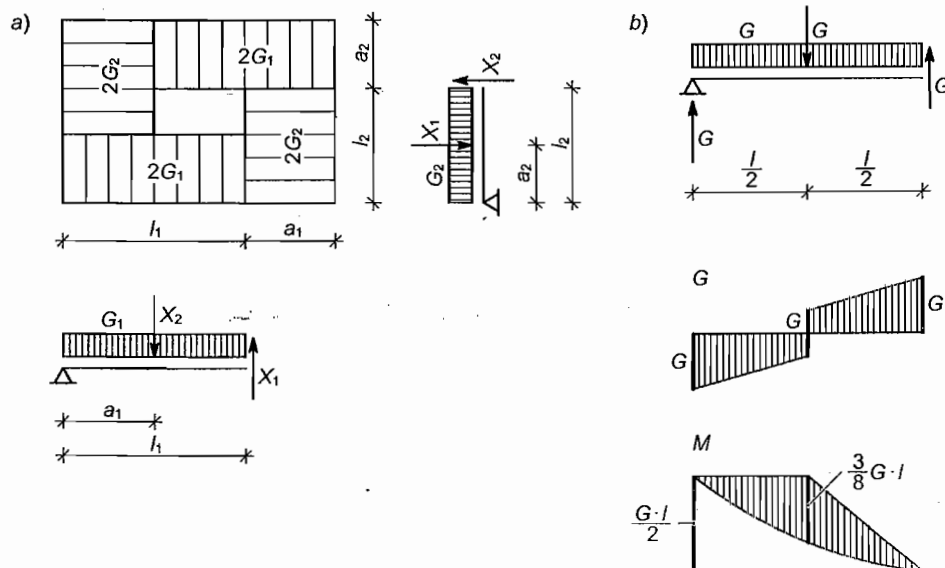
Sl. 3.38. Roštilj greda na kvadratnom tlocrtu: gore – tlocrtna shema, dolje – sheme i opterećenja pojedinih greda, sastavnica roštilja

Sl. 3.39. Roštilj greda na pravilnome šesterokutnom tlocrtu: gore – tlocrtna shema; dolje – sheme i opterećenja svih greda



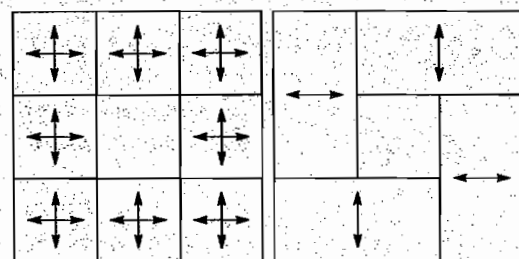
Poseban su slučaj **roštilji od ciklički simetričnih greda**. Njih je moguće predvidjeti na raznim tlocrtima: kvadratnim, pravokutnim, pravilnim peterokutnim i dr. Na slici 3.40a prikazan je takav roštilj na pravokutnom tlocrtu. Dvije i dvije grede jednako su opterećene. Za sve grede vrijedi da su istodobno opterećene jednom gredom i oslonjene na drugu. Nepoznate veličine reakcija X_1 i X_2 ovise o veličinama l_1 , a_1 , l_2 i a_2 . Za poseban slučaj kvadratnog tlocrta situacija se pojednostavljuje jer su sve četiri grede jednako opterećene (sl. 3.40b).

Sl. 3.40. Roštilji od ciklički simetričnih greda: a) na pravokutnom tlocrtu; b) na kvadratnom tlocrtu – shema i opterećenje greda te dijagrami poprečnih sila i momenata savijanja



Usporedba roštilja s ciklički simetričnim gredama i običnog roštilja (sl. 3.41.) daje sljedeće prednosti pojedinih rješenja:

- za obični roštilj: manji momenti ploča i greda jer se radi o dvosmjernom stropu te veća rezerva sigurnosti – jer ako otkaze jedna greda, neće doći do sloma cijelog sustava
- za roštilj s ciklički simetričnim gredama: zanimljiv oblik te manja ukupna dužina greda i manji broj stupova po obodu.



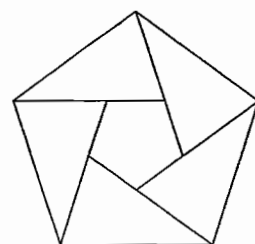
Mana roštilja s ciklički simetričnim gredama jest da ako otkaze jedna greda, dolazi do sloma cijelog sustava. Na slici 3.42. prikazan je roštilj od ciklički simetričnih greda na pravilnome peterokutnom tlocrtu. I ovdje su sve grede jednako opterećene.

Roštilji na izduženom pravokutnom tlocrtu **s kosim gredama** (sl. 3.43. i 3.44.) prenose opterećenja kao jednostrani strop. Na slici 3.43. prikazan je strop s kvadratičnim kasetama ($\alpha = 45^\circ$), a na slici 3.44. strop s rombičnim kasetama ($\alpha = 60^\circ$). U jedriom su i drugom slučaju za jednoliko rasprostrto opterećenje sve grede jednako opterećene.

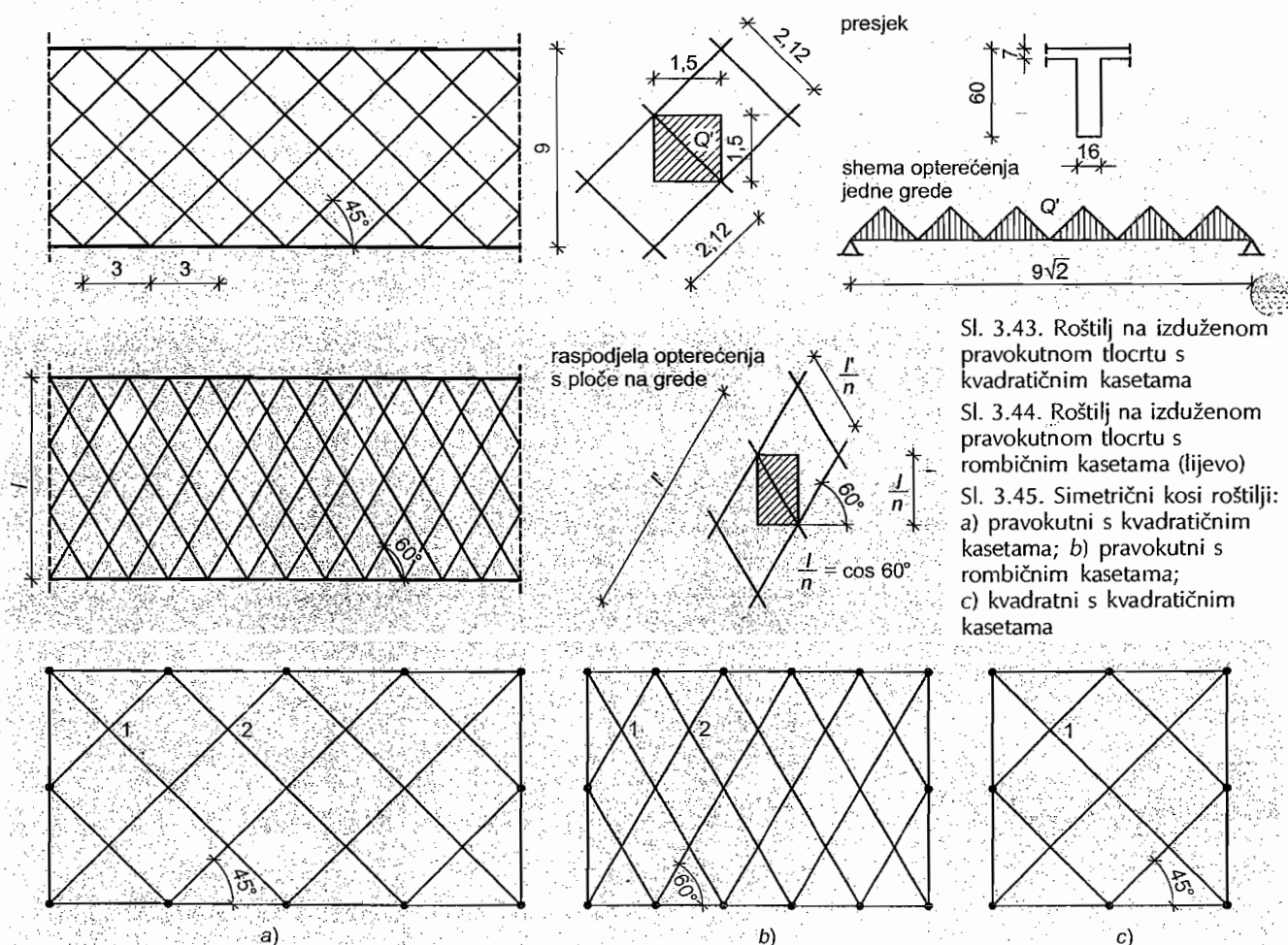
Roštilji na pravokutnim tlocrtima s kosim gredama (odnos duže prema kraćoj stranici $l_y/l_x \leq 2$) djeluju kao dvostrani stropovi. Na slici 3.45. prikazano je nekoliko primjera simetričnih roštilja.

Pravilni jednakostranično-trokutni roštilji prikazani su na slici 3.46.

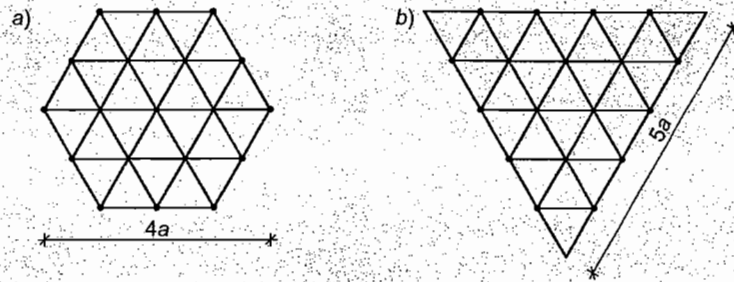
Sl. 3.41. Tlocrtne sheme
običnog roštilja i roštilja
od ciklički simetričnih greda
(na jednakom tlocrtu)



Sl. 3.42. Roštilj od ciklički simetričnih greda na pravilnom peterokutnom tlocrtu



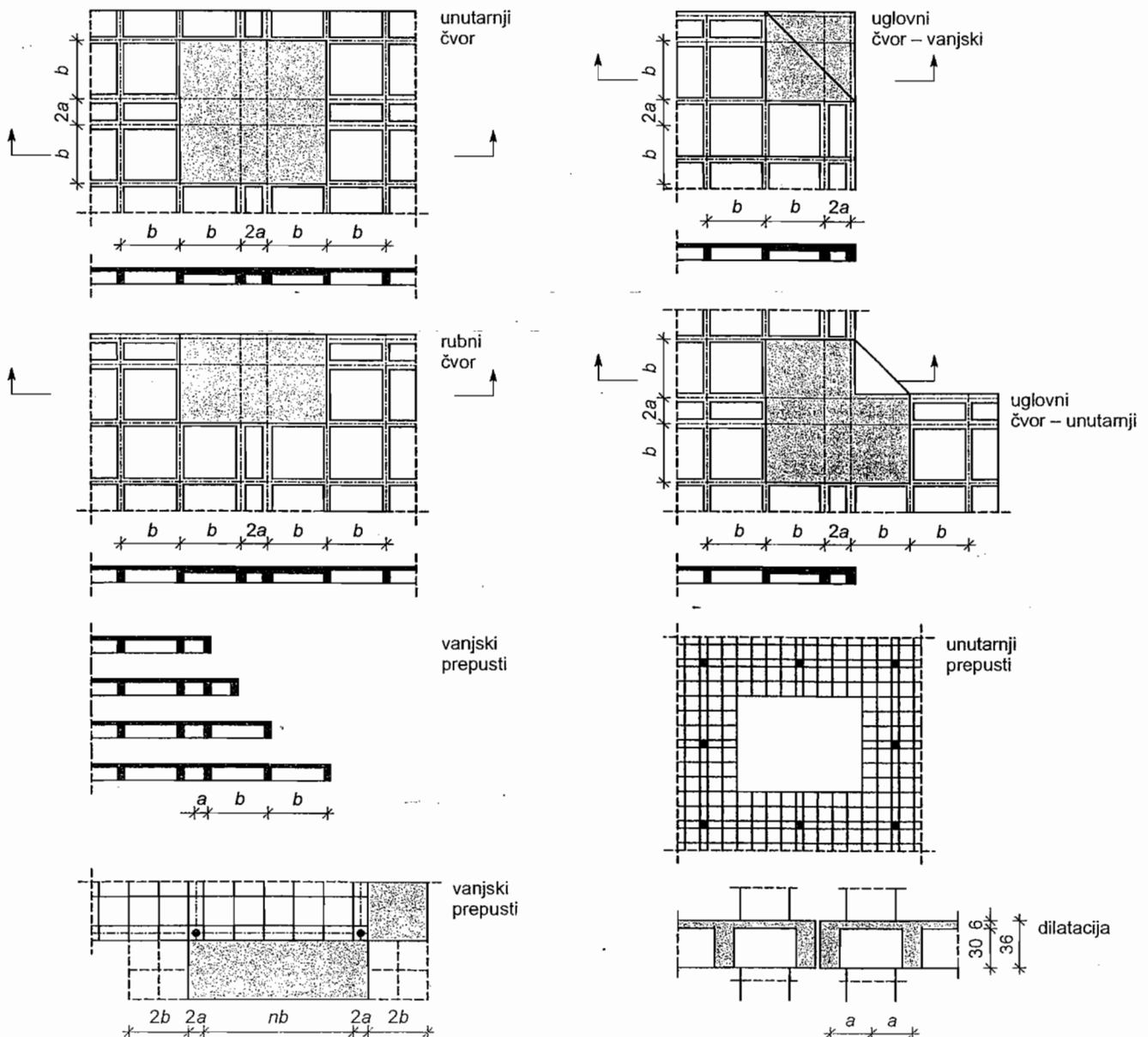
Sl. 3.46. Pravilni
jednakostranično-trokutni
roštilji:
a) na tlocrtu oblika pravilnog
šesterokuta;
b) na tlocrtu oblika
jednakostraničnog trokuta



Na slici 3.47. dan je primjer industrijaliziranog i standardiziranog sustava stropa CROCS, koji su razradili švicarski arhitekti i inženjeri. Radi se o kasetiranim stropovima sa sljedećim značajkama:

- razmak greda na spojnicama stupova $2a = 60$ cm
- razmak greda u poljima $b = 120$ ili 240 cm
- debljina ploča 6 ili 8 cm, $d_{\text{stropa}} = 36$ cm
- presjek stupova $\varnothing 28$ cm ili $\varnothing 40$ cm.

Sl. 3.47. Industrijalizirani i
standardizirani sustav stropa
CROCS

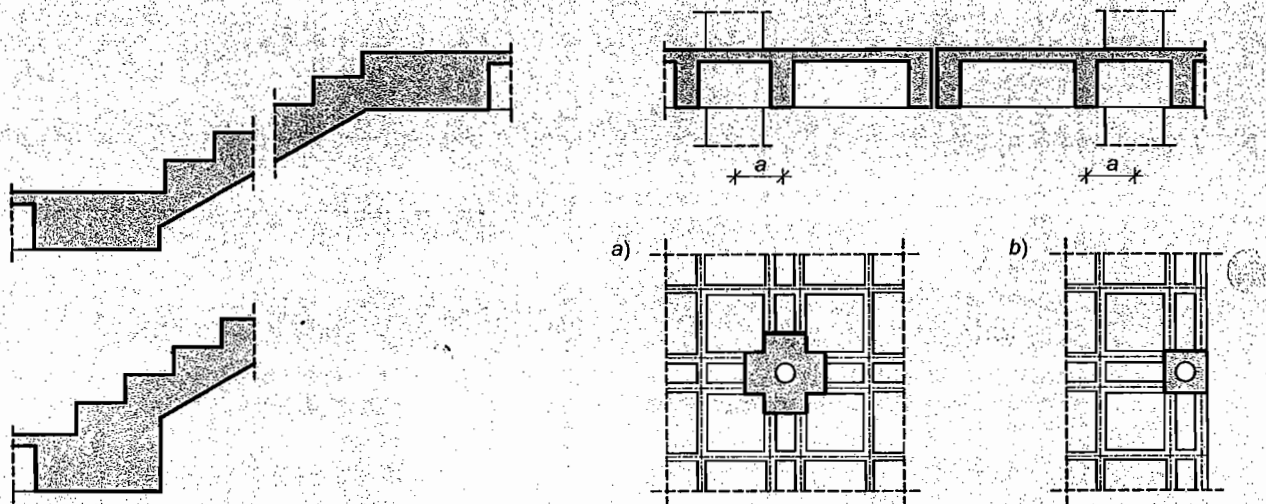


Na slici 3.49. prikazana je još jedna mogućnost rješenja dilatacije, a na slici 3.48. rješenje stubišta. Na slici 3.50. prikazana su ležajna pojačanja ploče uza srednji i rubni stup. Razmaci su stupova, dakle, $l = 2a + n b$, što najčešće znači $l = 5,40$; $6,60$ ili $7,80$ m. Prednosti su spomenutog sustava: velike slobodne površine, lako vođenje instalacija i znatne uštede vremena pri projektiranju i izvedbi.

Sl. 3.48. Rješenja stubišta u sustavu CROCS

Sl. 3.49. Alternativno rješenje dilatacije u sustavu stropa CROCS

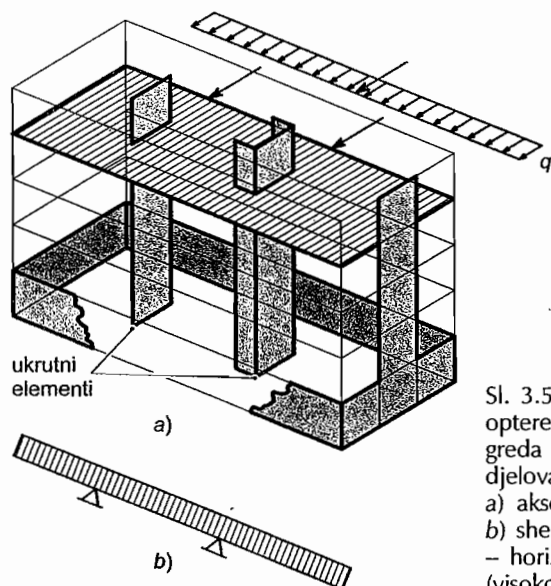
Sl. 3.50. Ležajna pojačanja uz: a) srednji stup; b) rubni stup



3.10. MEMBRANSKO NAPREZANJE STROPOVA

Primarno naprezanje stropova jest za opterećenja okomita na ravninu stropa – savijanje i poprečna sila. No, često stropovi bivaju naprezani i silama u vlastitoj ravnini – kao horizontalne grede ili dijafragme – visokostijeni nosači, koji horizontalna opterećenja od vjetra ili potresa prenose na vertikalne ukrutne elemente.

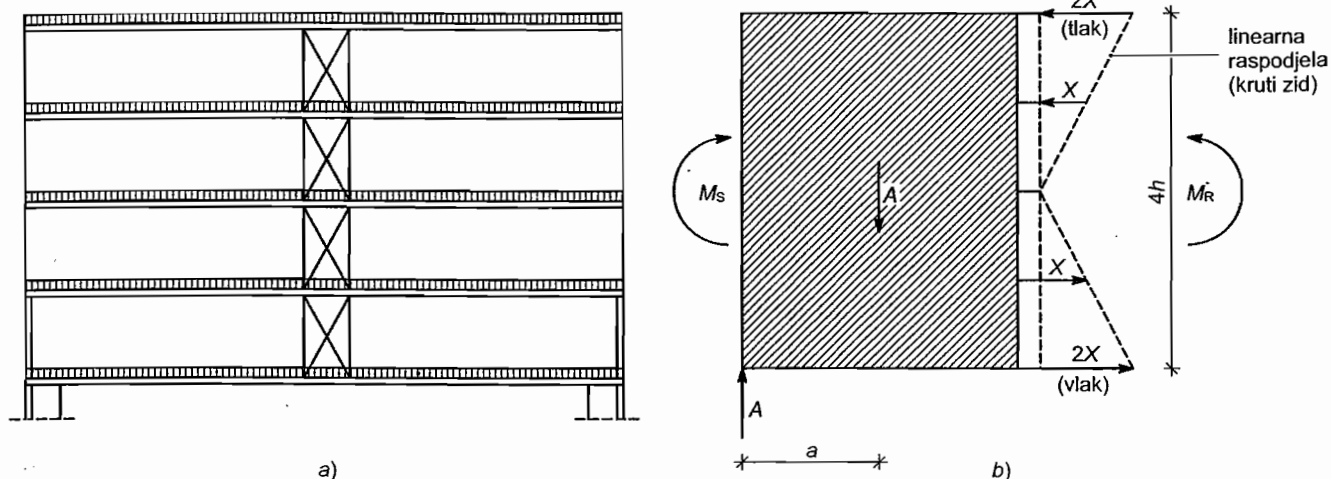
Primjer na slici 3.51. prikazuje stropnu ploču koja prenosi horizontalno opterećenje vjetra na ukrutne elemente – zidove. Shema i opterećenje te horizontalne grede (visokostijenog nosača) dani su na slici 3.51b. Njezina je širina jednaka debljini ploče, a visina širini zgrade b .



Sl. 3.51. Stropna ploča opterećena u ravnini kao greda (visokostijeni nosač) djelovanjem vjetra: a) aksonometrija; b) shema i opterećenje ploče – horizontalne grede (visokostijenog nosača)

Membransko naprezanje stropova mogu uzrokovati i vertikalna opterećenja – za slučaj da je potrebno uravnotežiti sile u vertikalnim nosivim elementima. Slika 3.52a prikazuje pogled na zid s nizom otvora u sredini kroz četiri kata, koji je u prizemlju oslonjen na fasadne stupove. Kao što se vidi iz statičke sheme polovine zida, prikazane na slici 3.52b, ukupnu vertikalnu silu A za četiri kata preuzima stup, no pritom zbog ekscentričnosti „ a ” nastaje moment $M_s = A \cdot a$, koji preuzimaju membranske sile u stropovima – gore tlačne, a dolje vlačne – kojih je veličina proporcionalna udaljenosti

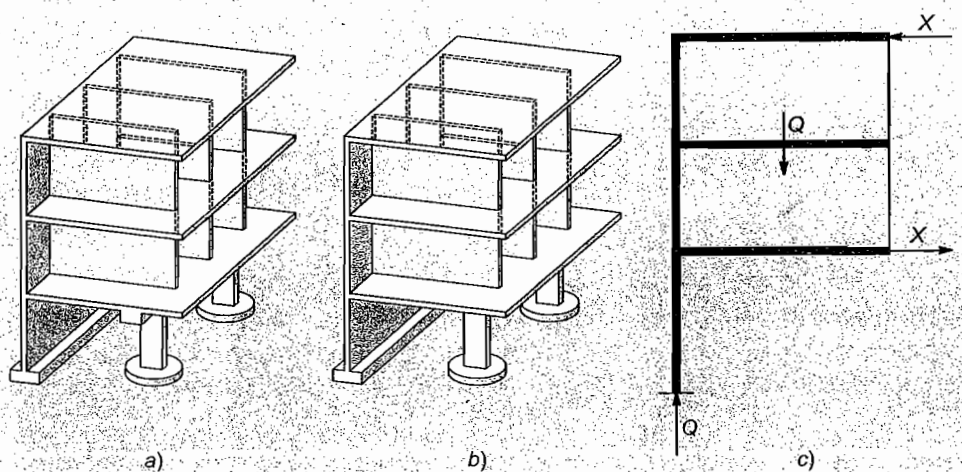
od „neutralne osi“ koja je u polovici visine zida. Nepoznata veličina X izračunava se iz jednakosti momenta M_s i reaktivnog momenta: $M_R = 2X \cdot 4h + X \cdot 2h = 10X \cdot h$. Dodatne vlačne sile stropova treba pokriti odgovarajućom armaturom.



Sl. 3.52. Membransko naprezanje stropova zbog potrebe uravnoteženja sila u vertikalnim nosivim elementima: a) pogled na konstrukciju; b) statička shema s prikazom momenta ekscentričnosti i reaktivnih (membranskih) sila stropova

Još jedan primjer membranskog naprezanja stropova od vertikalnog opterećenja prikazan je na slici 3.53. Poprečni zidovi prekidaju se na razini stropa prizemlja. Svaki je drugi oslonjen na krajnji zid i stup te djeluje kao zidni nosač. Oni između njih oslonjeni su samo na krajnje zidove i tako nastali moment ekscentričnosti (vidi sl. 3.53c) treba uravnotežiti. Najbolje je to učiniti parom sila X u stropovima, koji se onda prenosi na ukrutne elemente što nisu vidljivi na slici. Stropne su ploče vrlo krute i u slučaju da se predvidi podvlaka (sl. 3.53a), ona neće ni djelovati jer je u odnosu na stropne dijaframe podatljiva, pa ju je zato bolje izostaviti (sl. 3.53b).

Sl. 3.53. Membransko naprezanje stropova zbog potrebe uravnoteženja sila u vertikalnim nosivim elementima (pretpostavlja se postojanje ukrutnih elemenata u poprečnom smjeru, koji nisu vidljivi na slici): a) aksonometrija (s gredom koja povezuje stupove); b) aksonometrija (bez grede); c) shema s prikazom momenta ekscentričnosti i reaktivnih (membranskih) sila stropova



3.11. HORIZONTALNO VOĐENJE INSTALACIJA

Problem vođenja instalacija ovisi o broju i vrsti instalacija. Ako su razmjerno malobrojne i ne zahtijevaju velike otvore (npr. stambene zgrade), problema praktično i nema, no za jako instalirane zgrade (npr. velike poslovne zgrade, bolnice i dr.), koje zahtijevaju velike otvore (npr. za klimatizaciju ili ventilaciju), o vođenju instalacija treba voditi računa od samog početka projektiranja konstrukcije. Pritom treba osigurati dobru suradnju arhitekata, konstruktora i projektanta instalacija.

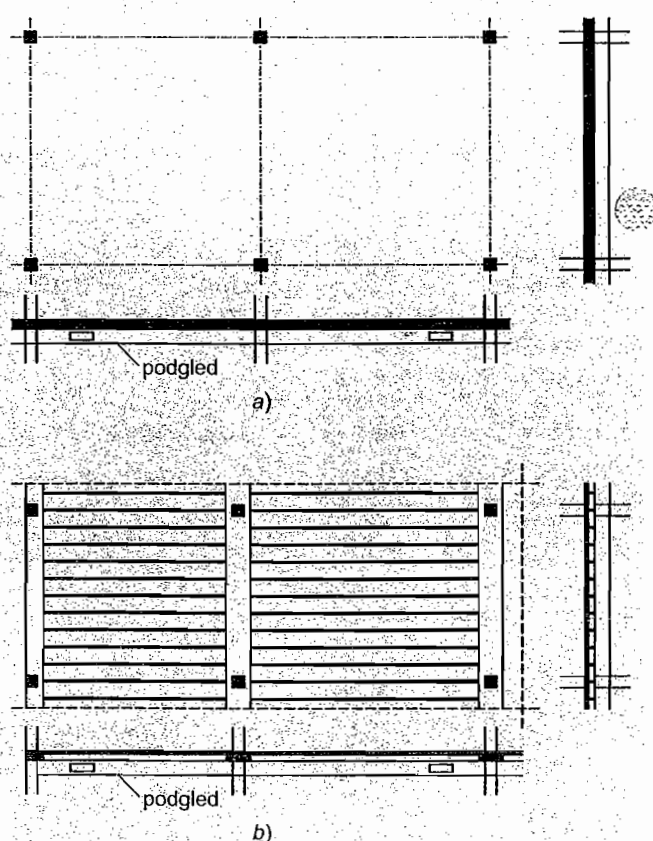
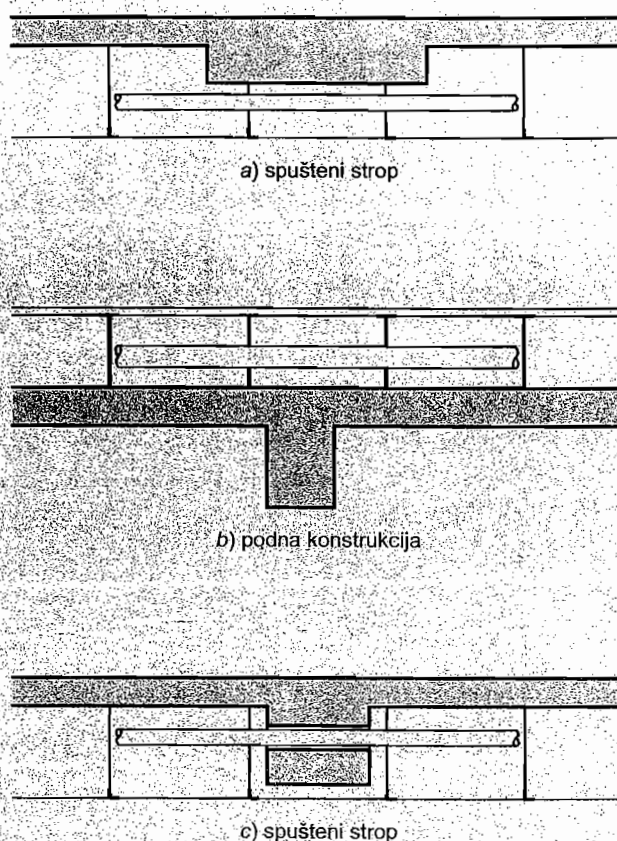
Na slici 3.54. prikazane su tri mogućnosti horizontalnog vođenja instalacija. Najčešće se cijevi, vodovi i dr. vode ispod konstrukcije (sl. 3.54a). U nekim slučajevima vode se iznad konstrukcije (sl. 3.54b), ali u tom slučaju potrebna je posebna podna konstrukcija (npr. tzv. kompjutorski podovi). Konačno, osobito kod postojanja visokih greda, instalacija se vodi kroz otvore u gredi, koji se izvode prije betoniranja ostavljanjem odgovarajućih umetaka (stiropor), sanduka, cijevi i sl. Po pravilu, najbolje je predvidjeti strop male ukupne visine (plosnati ili rebrasti s gredama jednake visine), ispod kojega se vodovi slobodno smještaju (sl. 3.55.).

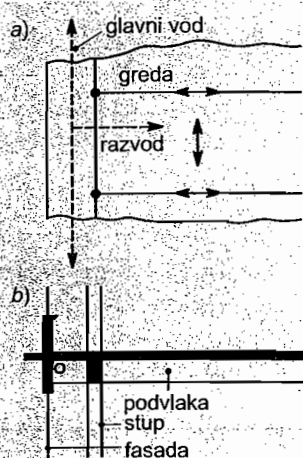
Druga je dobra mogućnost strop s jednostranim pločama i gredama u jednom smjeru, s time da se glavni vodovi postavljaju u slobodni prostor ispod ploče, a za sporedne vodove predvide se otvori u gredama (sl. 3.57.). Pritom je moguće korištenje raznih smjerova prijenosa opterećenja za smještaj instalacija. Jedan je takav primjer prikazan na slici 3.58. a drugi na slici 3.56. Koristi se to što je prijenos sila u pločama u uzdužnom smjeru, a u hodniku ili konzoli izvan linije stupova – u poprečnom, tako da je instalacije moguće voditi bez potrebe za otvorima u gredama.

Sl. 3.54. Mogućnosti horizontalnog vođenja instalacija:

- a) ispod konstrukcije;
- b) iznad konstrukcije;
- c) kroz otvore u gredama

Sl. 3.55. Strop male ukupne visine, ispod kojega se instalacija slobodno smješta:
a) plosnati strop;
b) rebrasti strop s gredama jednake visine

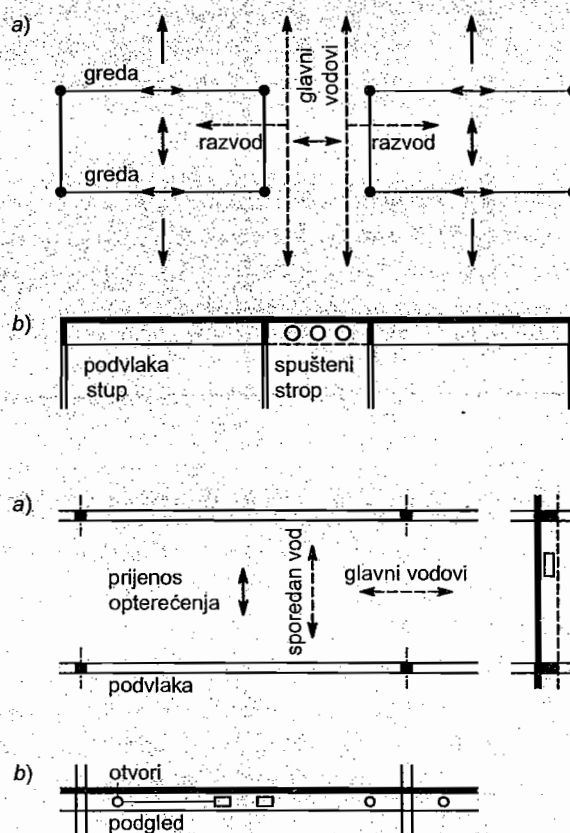




Sl. 3.56. Horizontalni razvod instalacija za slučaj konzole izvan linije stupova i polja unutar linije stupova:
a) tlocrt; b) presjek

Sl. 3.57. Horizontalni razvod instalacija za slučaj središnjeg hodnika i dva vanjska polja:
a) tlocrt; b) presjek

Sl. 3.58. Strop s jednostranim pločama s horizontalnim razvodom instalacija:
a) tlocrt; b) presjek

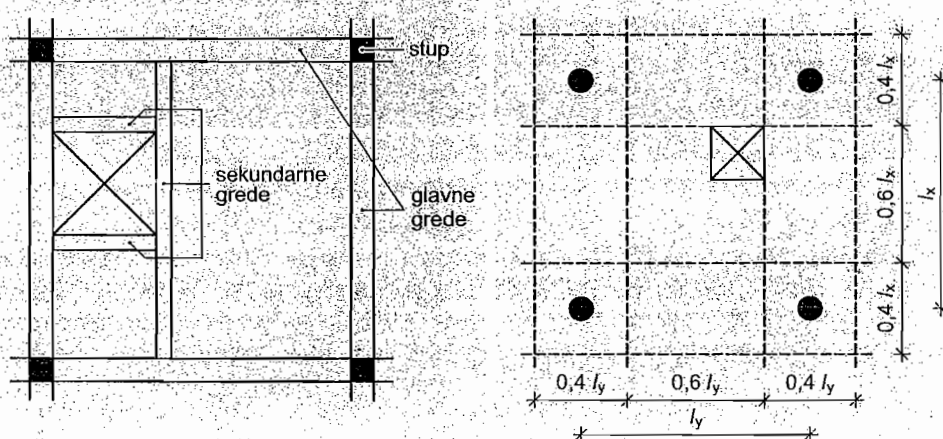


3.12. VERTIKALNO VOĐENJE INSTALACIJA

Vertikalno vođenje instalacija zahtijeva otvore u stropovima, koji mogu uzrokovati probleme u zaštiti od buke i požara te u prijenosu opterećenja. S malim i srednjim otvorima uglavnom nema problema. Veliki otvori u dvosmjernim pločama oslonjenim na grede trebaju biti obrubljeni sekundarnim gredama (sl. 3.59.). Otvore u točkasto oslonjenim stropovima (sl. 3.60.) treba smještati u manje napregnuta područja ploče (područje u sredini veličine $0,6 l_x \times 0,6 l_y$), samo u krajnjoj nuždi i u slučaju manjih otvora u području polja traka nad stupovima, a nikako u blizini stupova (polja veličine $0,4 l_x \times 0,4 l_y$), gdje su najveći momenti savijanja i posmična naprezanja (proboji!).

Sl. 3.59. Veliki otvor u dvosmjernom stropu

Sl. 3.60. Mogućnosti smještaja otvora u točkasto oslonjenom stropu



4. SUSTAVI VERTIKALNIH ELEMENTATA ZGRADA

4.1. OPĆENITO

Konstrukcije zgrada sastoje se od:

- stropnih konstrukcija koje
 - prenose vertikalna opterećenja na vertikalne nosive elemente
 - povezuju vertikalne nosive elemente i djeluju na drugi način membranskim silama
- vertikalnih elemenata koji prenose vertikalna i horizontalna opterećenja na temelje
- temeljnih konstrukcija koje prenose sva opterećenja na temeljno tlo.

4.2. ZADACI VERTIKALNIH NOSIVIH ELEMENTATA

Zadaci vertikalnih nosivih elemenata jesu:

- prijenos vertikalnih opterećenja, pri čemu su svi stupovi i zidovi naprezani na tlak, dok su eventualno postojeće zatege naprezane na vlak
- prijenos horizontalnih opterećenja koje preuzimaju ukрутni elementi.

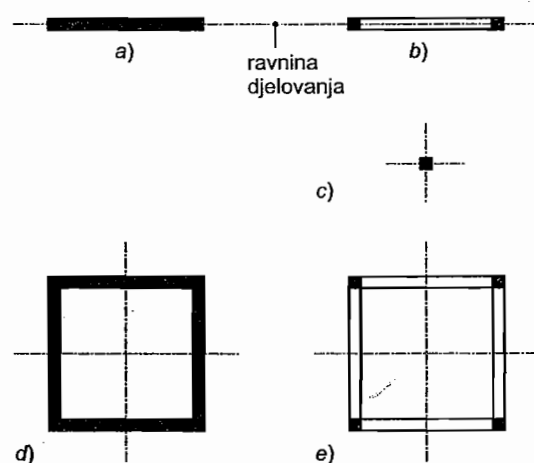
Ukrutni elementi dijele se na:

- ravninske ukрутne elemente (zidovi, okviri: stupovi + grede, rešetke) koji preuzimaju horizontalna opterećenja samo u svojoj ravnini, dok im je u okomitom smjeru neznatna krutost (sl. 4.1a–b)
- prostorne ukрутne elemente (jezgre, prostorne okvire, prostorne rešetke, ali – za male katnosti, tj. jednu ili dvije etaže – i konzolne stupove) koji preuzimaju horizontalna opterećenja u svim smjerovima.

Najčešće se pretpostavlja da su vertikalni elementi povezani potpuno krutim stropnim pločama na odgovarajućim razinama.

Sl. 4.1. Ukrutni elementi za prijenos horizontalnih opterećenja – horizontalni presjeci:

a) zid; b) ravninski okvir ili rešetka; c) konzolni stup; d) jezgra; e) prostorni okvir ili rešetka

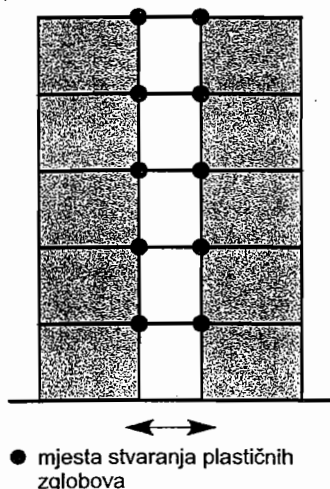


4.3. ZNAČAJKE SUSTAVA VERTIKALNIH ELEMENTATA

One trebaju biti u skladu sa zahtjevima koje treba ispuniti zgrada. Najvažniji su funkcionalni zahtjevi i konstruktivni zahtjevi.

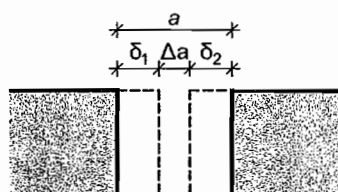
Funkcionalni zahtjevi imaju presudan utjecaj na izbor nosivoga sustava. U slučaju potrebe za velikim slobodnim prostorima, tj. velikim razmacima zidova ili stupova, odabire se konstrukcija sa stupovima što manjeg presjeka na što većem dijelu ukupnog tlocrta, dok se ukrućenje predviđa jezgrama ili fasadnim ukрутnim elementima. A u slučaju potrebe za manjim slobodnim prostorima te usporednim zahtjevima na ograđivanje prostora i zaštitu od buke, požara i dr. odabire se konstrukcija s nosivim zidovima koji preuzimaju i vertikalna i horizontalna opterećenja.

Sl. 4.2. Zidovi s otvorima – primjer duktilne konstrukcije



Konstruktivni zahtjevi osobito su važni za:

- visoke zgrade – kod kojih je prijenos horizontalnog opterećenja primarni problem. S gledišta protupožarnih zahtjeva spominje se da se visokim zgradama smatraju one kojih je zadnji strop na 22 m ili više od razine terena.
- horizontalna djelovanja znatne veličine – odnose se na:
 - područja jakog vjetro – ukutni elementi trebaju imati dostatnu otpornost, a za vrlo velike visine zgrada i dostatnu krutost zbog opasnosti od vibracija (vidi „Nosive konstrukcije I“, 8. poglavlje)
 - područja velike seizmičke intenzivnosti – ukutni elementi trebaju imati dostatnu otpornost i krutost, ali i duktilnost, tj. sposobnost apsorpcije energije. Ukutni elementi koji zadovoljavaju te zahtjeve jesu zidovi s otvorima (sl. 4.2.). Na krajevima greda koje spajaju zidove stvaraju se plastični zglobovi koji apsorbiraju energiju horizontalnih pomaka uzrokovanu seizmičkim gibanjima.
- temperaturne promjene i skupljanje betona – uzrokuju velike sile pri nepovoljnom rasporedu ukutnih elemenata – npr. kruti elementi na velikoj udaljenosti. Naime, kao što smo prije rekli („Nosive konstrukcije I“, 8. poglavlje), veličina prinudnih sila od spriječenog skupljanja i temperaturnih djelovanja izravno je razmjerna duljini elementa sa spriječenim deformacijama. Najčešće je rješenje da se građevina razdjeli na više dijelova dilatacijskim reškama na razmaku od 30 do 50 m. Tako se omogućava slobodno deformiranje od spomenutih djelovanja, pa ne nastaju znatna naprezanja (sl. 4.4a). Time se dobivaju i jednostavni oblici zgrada u tlocrtu, koje zahtijevaju načela projektiranja konstrukcija u seizmičkim područjima. Za proračun svaki se dio tretira posebno, no širine dilatacijskih reški moraju biti dovoljno velike da prilikom djelovanja najvećih horizontalnih opterećenja ne dođe do udaranja jednoga dilatacijskog odsječka u drugi (sl. 4.3.). Dakle, potrebna je širina reške

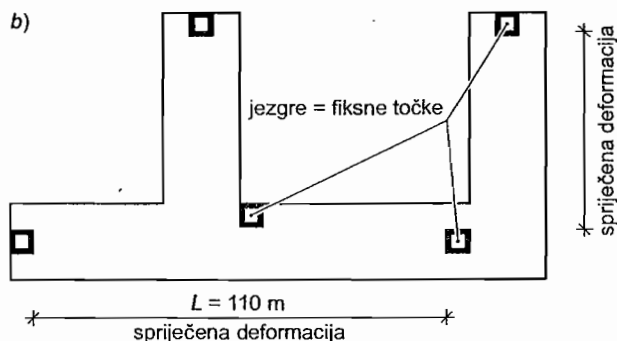
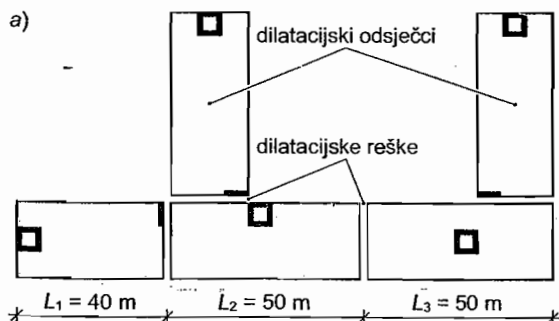


Sl. 4.3. Proračun potrebne širine dilatacijske reške

$$a = \delta_1 + \delta_2 + \Delta_a$$

gdje su δ_1 i δ_2 pomaci prvoga i drugoga dilatacijskog odsječka od djelovanja potresa, a Δ_a dodatak za sigurnost, npr. 1 cm. Za visoke i prilično vitke zgrade ta veličina može biti znatna – postoji zgrada u Zagrebu gdje je reška iznosila 25 cm, pa su se trebale ugrađivati prijelazne naprave, kao na dilatacijama mostova.

Sl. 4.4. Primjer dugačke razvedene zgrade:
a) s dilatacijskim reškama;
b) izvedene u komadu,

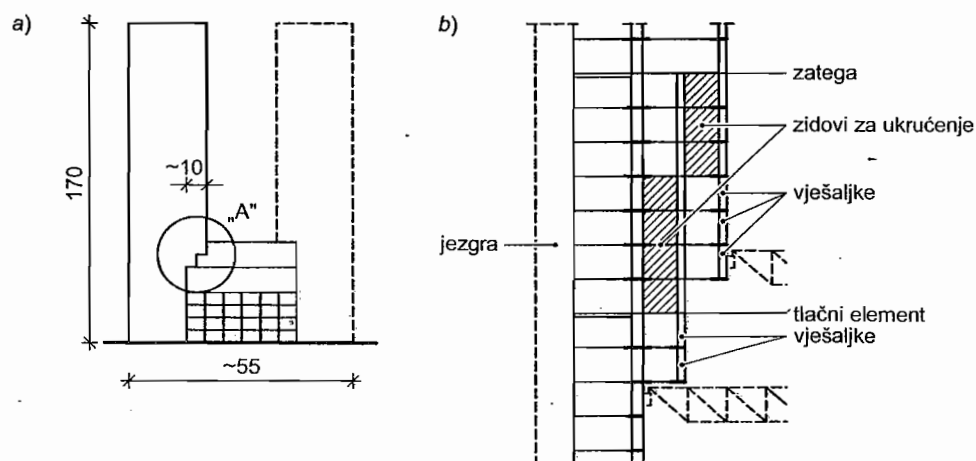


S druge strane, dilatacijske su reške dodatni trošak u izgradnji (prijelazne naprave, brtvljenje, zvučni mostovi), a često se pri uporabi ponašaju nezadovoljavajuće, pa zahtijevaju znatne troškove održavanja i popravaka. Zato u suvremenim zgradama postoji tendencija sve većih razmaka među dilatacijskim reškama (sl. 4.4b). Za taj slučaj treba proračunom obuhvatiti djelovanja od spriječene deformacije i odgovarajuće konstrukcijske elemente dimenzionirati na te sile, vodeći računa i o tome da ne dođe do pretjeranog raspucavanja. Postoje i mogućnosti znatnog smanjenja utjecaja skupljanja – odgovarajućim redoslijedom betoniranja, ostavljanjem privremenih reški koje se zatvaraju nakon što je obavljen veći dio procesa skupljanja (vidi primjer zgrade na slici 4.16.), a zgrada zatvorena fasadama i krovom s odgovarajućom toplinskom zaštitom. Naime, temperaturne promjene unutar toplinski izolirane i zimi grijane zgrade višestruko su manje nego izvan nje, te će i prinudne sile od spriječene deformiranja od temperaturnih promjena biti odgovarajući manje.

4.4. OPĆA NAČELA ZA PROJEKTIRANJE VERTIKALNIH ELEMENTA ZGRADA

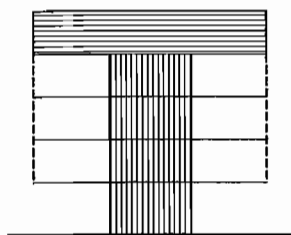
To su:

- Prijenos vertikalnog opterećenja najkraćim putem, tj. izravni tijek sila – postiže se poklapanjem osi vertikalnih elemenata u svim katovima. Posredni tijek sila – dakle, ovješena, poduhvaćanja stupova koji se prekidaju – primjeren je samo ako se time postižu prednosti koje opravdavaju veći trošak i teškoće izvedbe.
- Raspored ukrutnih elemenata treba biti simetričan, jer se time sprječavaju torzijske deformacije. Zato ukrutni elementi trebaju biti što bliže rubovima zgrade.
- Stalni teret treba iskoristiti za prijenos horizontalnog opterećenja, dakle ukrutni elementi trebaju biti što opterećeniji vertikalnim opterećenjima.
- Konstrukcijski sustav povezan je s načinom izvedbe.
- Važne konstruktivne pojedinosti treba riješiti u ranom stadiju projekta.



Sl. 4.5. Konstrukcija Chicago Mercantile Centra – primjer poduhvaćanja gornjih etaža:
a) pogled na cijelu zgradu;
b) detalj poduhvaćanja „A” na mjestu suženja zgrade u donjim etažama

4.5. PRIJENOS VERTIKALNIH OPTEREĆENJA



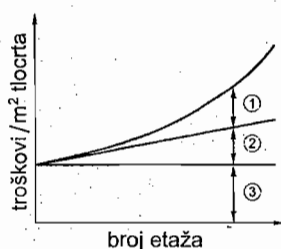
Sl. 4.6. Prijenos sila od stropova vješaljima na ab-jezgru

Za prijenos vertikalnih opterećenja normalno služe stupovi i zidovi – ti su elementi obrađeni u „Nosivim konstrukcijama I” uz brojne primjere. Gdje- kad – za slučaj posrednog prijenosa opterećenja – tome služe i **vješaljke** (sl. 4.6. i „Nosive konstrukcije I”, sl. 4.34.). Povoljno ih je predvidjeti iz prednapetog betona zbog znatno veće krutosti za vlačne sile i boljih protu- požarnih svojstava. Kod guste gradske izgradnje zgrada raznih namjena po visini i zahtjeva za slobodnim prizemljem, potrebna su poduhvaćanja kojima se skreće tijek sila iz gornjih etaža. Na slici 4.5. prikazana je konstrukcija Chicago Mercantile Centra – poduhvaćanje sila iz gornjih etaža s pomoću zidnih nosača kombinirano je s ovješanjem donjih etaža.

4.6. PRIJENOS HORIZONTALNIH OPTEREĆENJA

4.6.1. Uvod

Sl. 4.7. Kvalitativni udio troškova pojedinih konstrukcijskih elemenata u ovisnosti o visini zgrade



- ① dodatni troškovi za ukrućenje
- ② stupovi i zidovi za vertikalno opterećenje
- ③ stropovi

Na slici 4.7. vidimo prikaz kvalitativnog udjela troškova pojedinih konstrukcijskih elemenata u ovisnosti o visini zgrade. Tu je jasno da trošak konstrukcije veoma raste s brojem katova, i to najviše zbog dodatnih troškova za preuzimanje horizontalnih opterećenja.

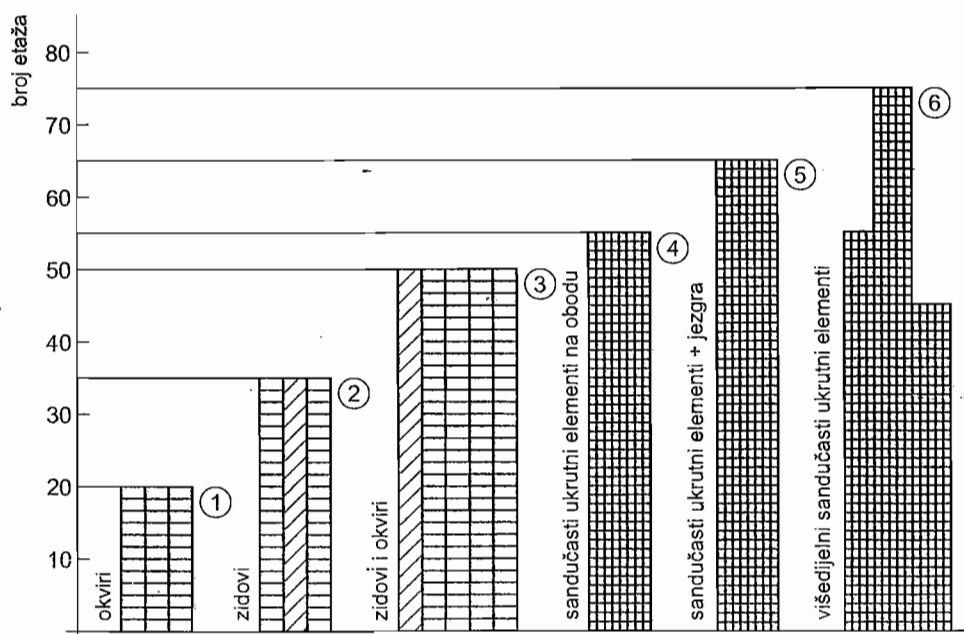
Učinkovitost raznih sustava ukrućenja prikazana je na primjeru uredskih zgrada od armiranog betona (sl. 4.8.).

Dakle, **sustave ukrućenja** možemo prema učinkovitosti poredati ovako:

- konzolni stupovi (jedna do dvije etaže)
- okvirne konstrukcije (nekoliko etaža)
- nosivi zidovi
- nosivi zidovi koji djeluju zajedno s okvirima
- sandučasti ukrutni elementi na obodu
- sandučasti ukrutni elementi koji djeluju zajedno s jezgrom (*tube in tube*)
- višedijelni sandučasti ukrutni elementi i
- megakonstrukcije.

Sl. 4.8. Usporedba učinkovitosti raznih sustava ukrućenja

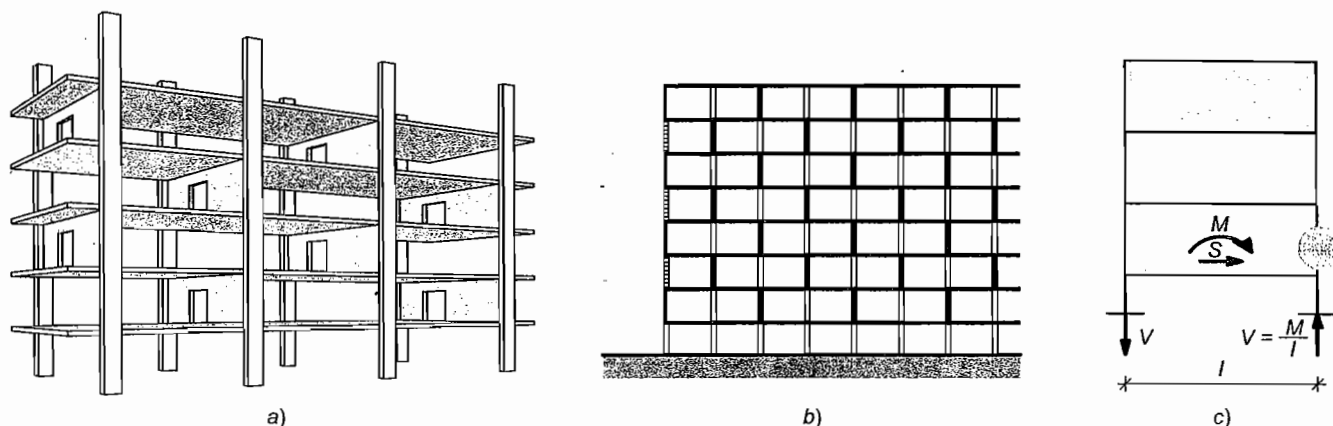
(Primjedba: Relativno visoke zgrade s okvirima sagrađene su u područjima s ne osobito jakim vjetrovima i bez jake seizmičke aktivnosti. U našim krajevima to ne bi bilo moguće.)



4.6.2. Okvirne konstrukcije

Posebna vrsta okvirnih konstrukcija jesu okvirne konstrukcije sa zidnim prečkama koje – u odnosu na odgovarajuće konstrukcije sa zidovima – omogućavaju dvostruko veće slobodne prostore (sl. 4.9.). Prečke okvira čine zidni nosači katne visine u svakoj drugoj etaži. Na određenoj razini moment savijanja M preuzimaju stupovi reaktivnim parom sila, dok se poprečna sila S prenosi krutom stropnom pločom na susjedne ukрутne elemente (sl. 4.9c).

Sl. 4.9. Okviri sa zidnim prečkama:
a) aksonometrija;
b) uzdužni presjek;
c) način prijenosa momenta i poprečne sile od horizontalnog opterećenja



4.6.3. Konstrukcije zgrada s nosivim zidovima

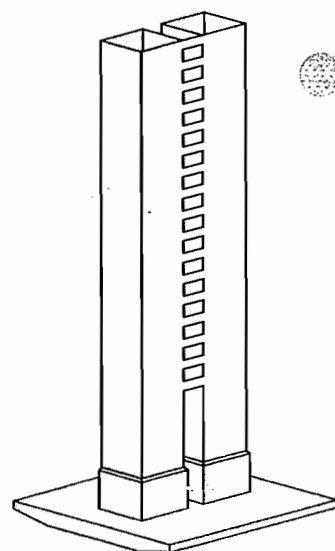
One su prikladne za manje i srednje katnosti, te uglavnom stambene sadržaje (gdje su zidovi potrebni i iz drugih razloga). Prema karakteru i rasporedu zidova (sl. 4.11.) takve se zgrade dijele na:

- zgrade s uzdužnim nosivim zidovima
- zgrade s poprečnim nosivim zidovima
- zgrade sa zidovima u dva okomita smjera
- zgrade s jezgrama za ukrućenje (prikladne i za poslovne i za javne zgrade).

Zgrade s uzdužnim nosivim zidovima pretpostavljaju postojanje fasadnih zidova. Prednost bi im mogla biti u tome što je poprečne zidove moguće postavljati tako da se ne poklapaju u tlocrtu po katovima (slično kao kod okvira sa zidnim prečkama), pa veličina stanova može biti različita po katovima.

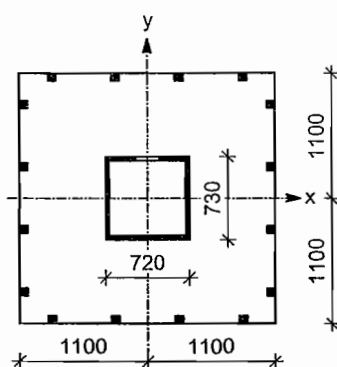
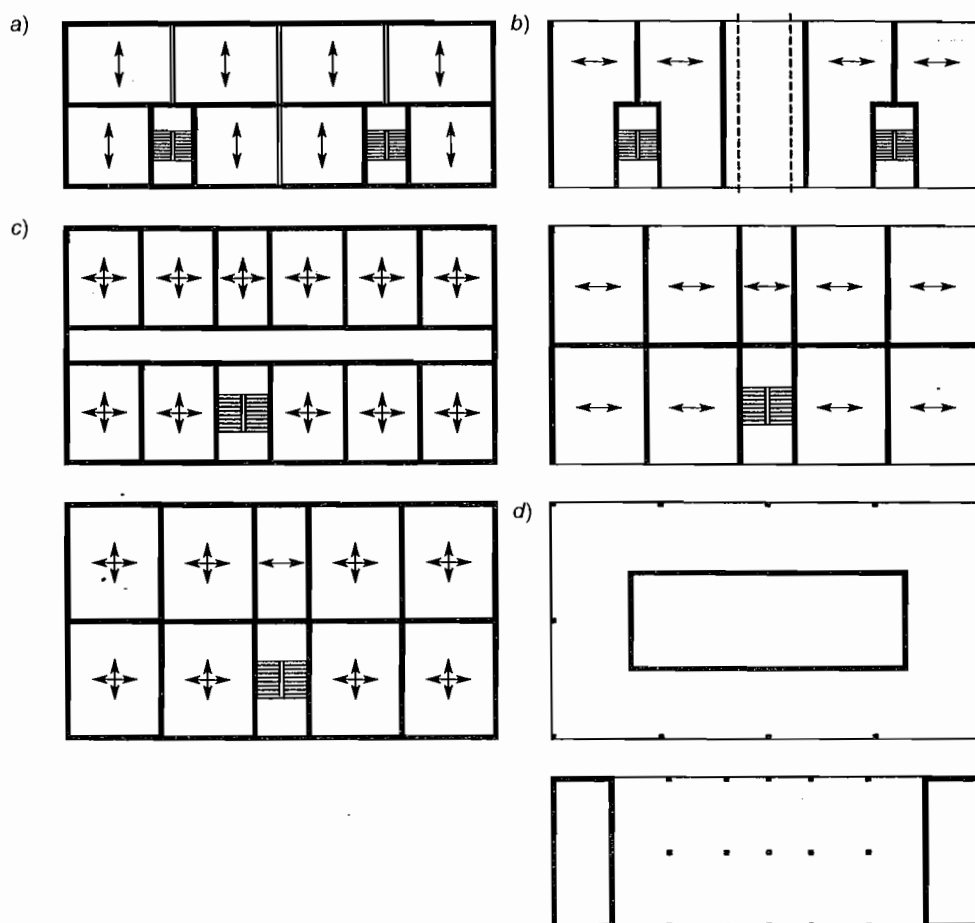
Zgrade s poprečnim nosivim zidovima najčešće su povezane s izvedbom pomoću tunelske ili velikoplošne oplata, koja isključuje postojanje zidova i greda na fasadi. Time se omogućava brza i učinkovita izvedba te sloboda u oblikovanju fasade. Zidovi su najčešće prekinuti s jednim ili više nizova otvora. Na slici 4.12. prikazana je konstrukcija Zürich Hochhausa u Frankfurtu – za smjer djelovanja horizontalnih sila u smjeru x djeluje jezgra za ukrućenje kao zid s jednim nizom otvora. Čak i jednostruka veza dvije jezgre (zgrada Sveučilišta u Frankfurtu, sl. 4.10.) vrlo je učinkovita – veoma raste krutost i nosivost ukруtnog elementa u odnosu na nevezane pojedinačne elemente.

Objašnjenje povoljnog djelovanja prečki – veza dvaju zidova – prikazano je na slici 4.13. Vidi se da prečke u svakom katu smanjuju moment savijanja zida kao konzole. Kada se sva ta smanjenja zbroje, dolazi do bitnog smanjenja najvećeg momenta savijanja zidova (na mjestu upetosti). To vrijedi čak i ako su prečke razmjerno „mekane“, tj. malog presjeka i velike dužine.



Sl. 4.10. Ukrućenje zgrade Sveučilišta u Frankfurtu – dvije jezgre vezane jednostrukom vezom

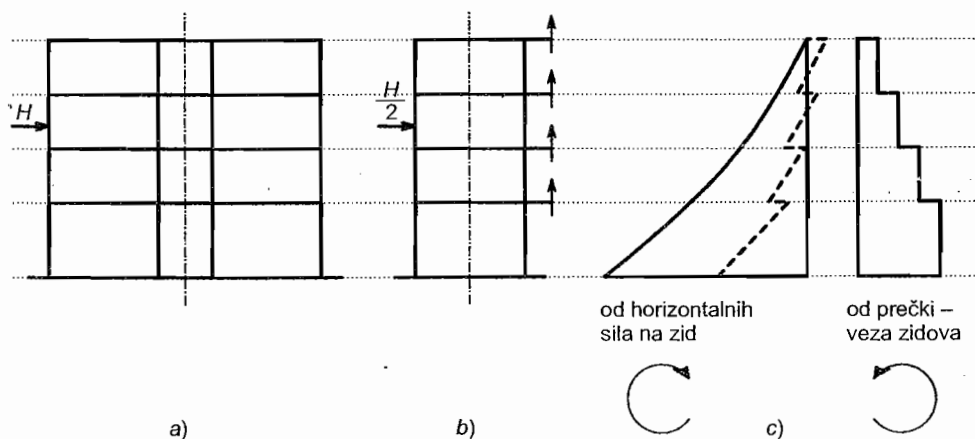
Sl. 4.11. Zgrade s nosivim zidovima:
a) zgrade s uzdužnim nosivim zidovima;
b) zgrade s poprečnim nosivim zidovima;
c) zgrade sa zidovima u dva okomita smjera;
d) zgrade s jezgrama za ukrućenje



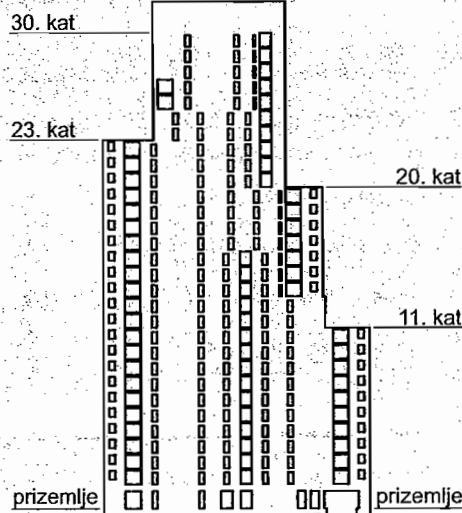
Sl. 4.12. Konstrukcija Zürich Hochhausu u Frankfurtu

Sl. 4.13. Djelovanje prečki na veličinu momenta savijanja u zidovima:

- a) shema i opterećenje konstrukcije; b) sile na polovinu konstrukcije; c) momenti savijanja
- bez prečki
- - - s prečkama

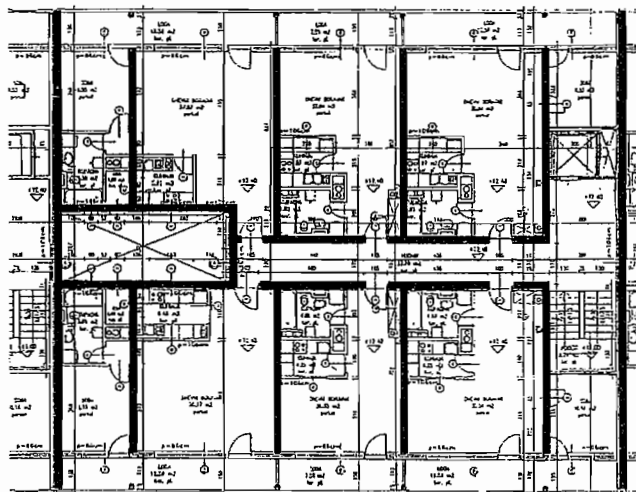


ma središnji hodnici širine 2 m. Uzdužni zidovi gornjih etaža vezani su s poprečnim zidovima podruma (sl. 4.15d), pri čemu momente od ekscentričnosti vertikalnog opterećenja preuzimaju i stropne ploče membranskim djelovanjem (vidi t. 3.10. i sl. 3.52.). Horizontalno opterećenje uzdužnih zidova prenosi se putem stropne ploče nad podrumom kao horizontalnoga ukrutnog elementa na obodne uzdužne zidove podruma.

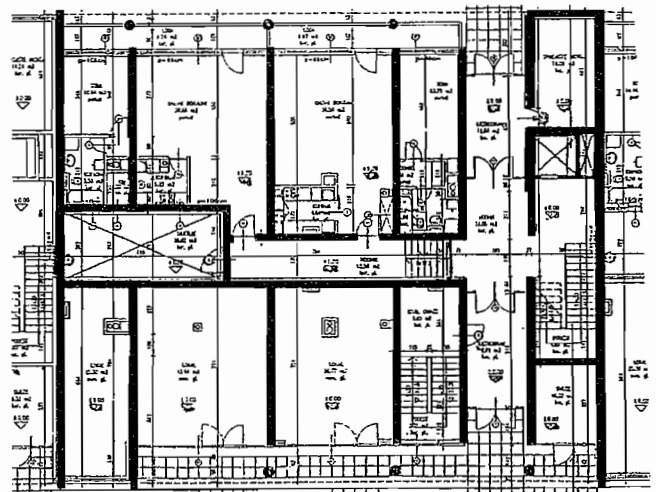


Sl. 4.14. Ukrutni element zgrade u Kölnu – primjer složenog zida s otvorima

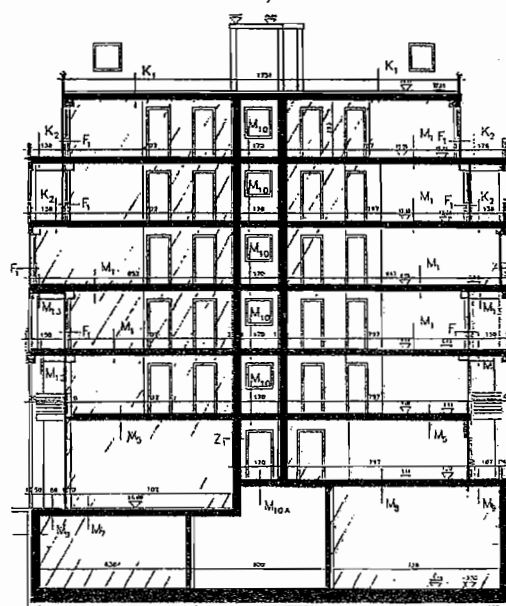
Sl. 4.15. Stambeno-poslovna zgrada u Zagrebu – sustav zidova za ukrutenje:
a) tlocrt tipične etaže;
b) tlocrt prizemlja;
c) poprečni presjek;
d) tlocrt podruma



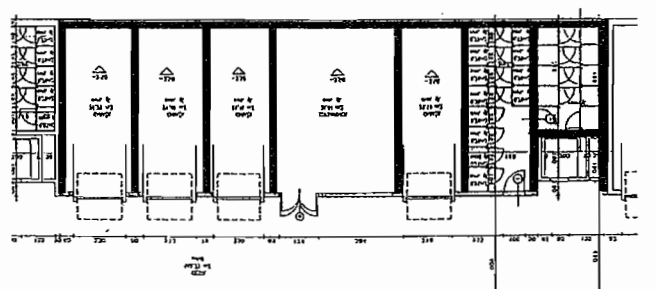
a)



b)



c)



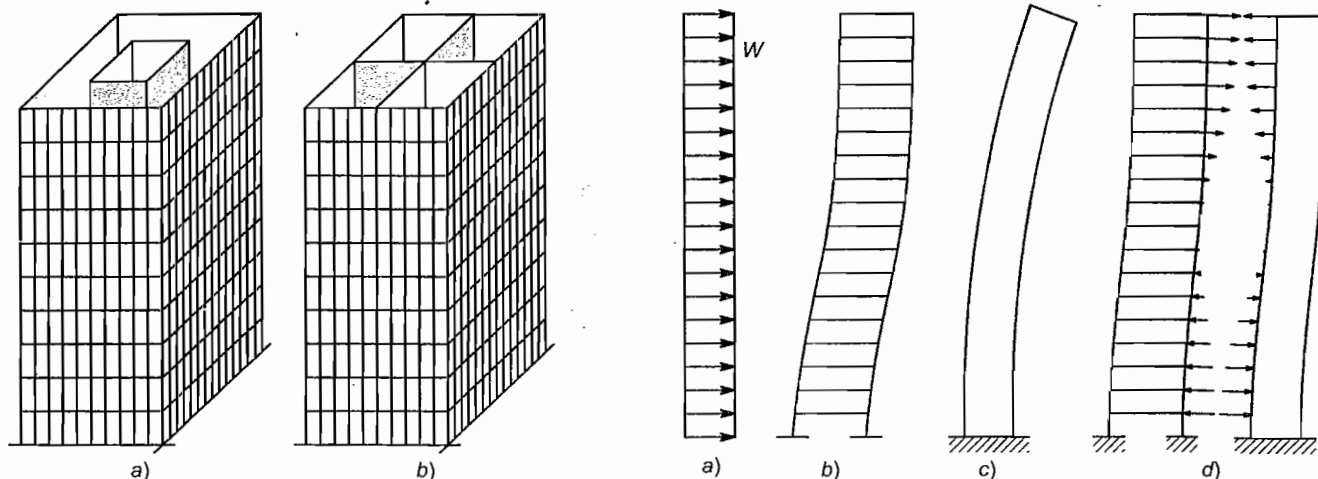
d)

Sl. 4.22. Kombinacija sandučastoga ukrutnog elementa na obodu s unutarnjim ukrutnim elementima: a) s unutarnjom jezgrom (*tube in tube*); b) s unutarnjim zidovima

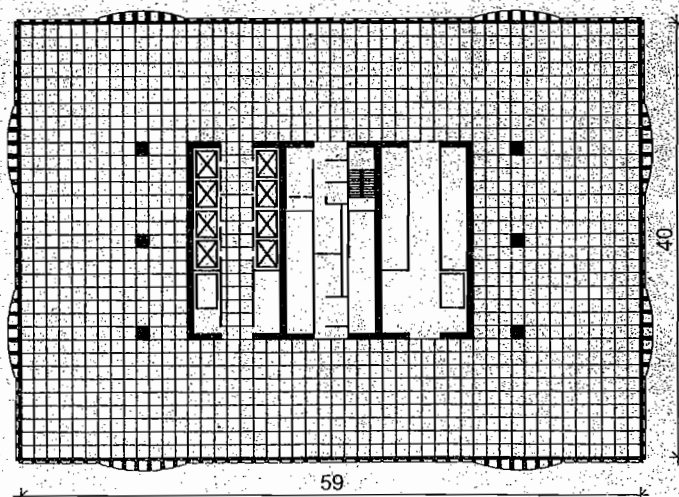
Sl. 4.23. Način kako zidovi i okviri zajednički preuzimaju opterećenje vjetrom: a) djelovanje vjeta; b) deformacija za slučaj da djeluju samo okviri; c) deformacija za slučaj da djeluju samo zidovi; d) kombinacija okvira i zidova – zidovi se oslanjaju na okvire u gornjim katovima, a okviri na zidove u donjim

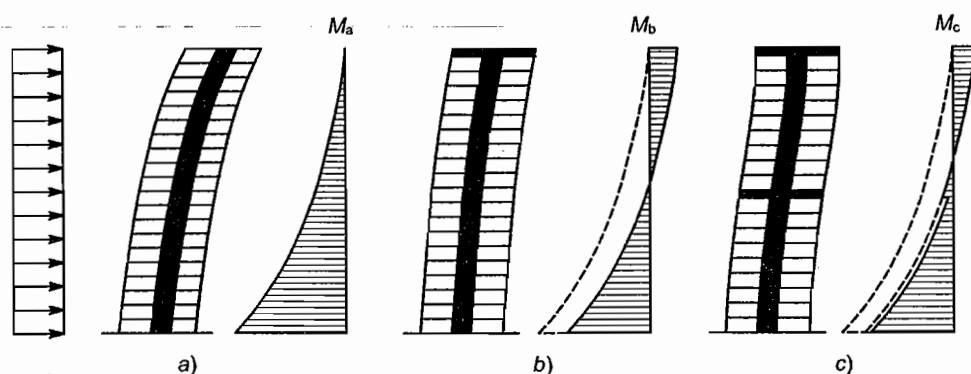
4.6.5. Složeni konstruktivni sustavi

Kombinacijama već spomenutih elemenata može se znatno povećati učinkovitost konstrukcije za ukrućenje. Naročito su se povoljnim pokazale **konstrukcije zidova i okvira**. Na slici 4.23. prikazano je zajedničko djelovanje zidova i okvira za opterećenje vjetrom – isto vrijedi, dakako, i za seizmičko opterećenje. Okviri koji su krući u gornjim etažama mogu preuzimanjem i malih sila znatno smanjiti momente u zidovima (moment = sila \times krak!). Oslanjanje okvira na zidove u donjim katovima nema većeg utjecaja zbog maloga kraka djelovanja tih sila. Ovo je načelo omogućilo da se sandučasti ukrutni elementi na obodu zgrada kombiniraju s unutarnjom jezgrom, što je također kombinacija okvira i zida (sl. 4.22a). Ako se sandučasti ukrutni element kombinira sa zidovima (mogu biti i s otvorima) koji povezuju nasuprotne stranice „cijevi“, dobiva se još veća nosivost (sl. 4.22b). Primjer sustava prikazanog na slici 4.22a (*tube in tube*) dan je na slici 4.24.



Sl. 4.24. Shell Oil Building,
Houston, SAD
– uredska zgrada s 50 katova,
visine 218 m, 1970.
– prva ab-zgrada s visinom
većom od 200 m





Sl. 4.25. Djelovanje sustava ukrućenja koji se sastoji od zida povezanog s krutim konzolama:
a) zid opterećen kao konzola;
b) smanjenje momenta konzole zbog uključivanja stupova konzolom na vrhu;
c) veće smanjenje momenta konzole zbog uključivanja stupova pomoću dvije konzole

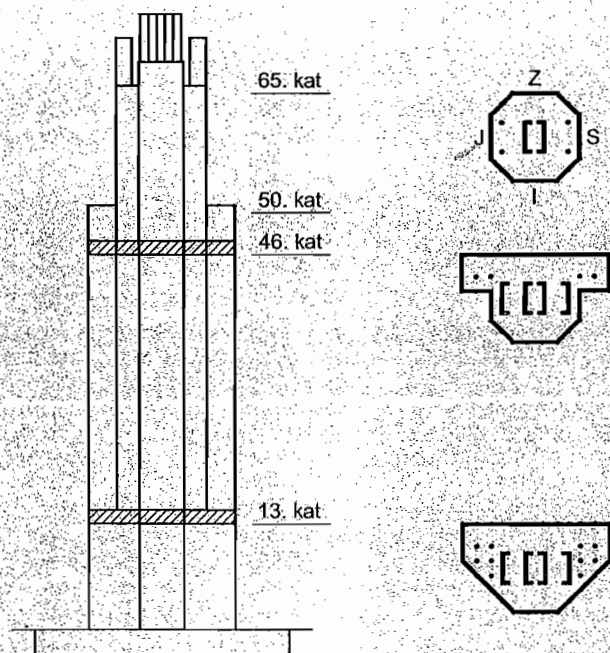
Daljnja kombinacija dobiva se **povezivanjem zidova sa stupovima pomoću jakih konzola** (outriggers) na vrhu zidova ili na mjestu instalacijskih etaža (sl. 4.25.). Jake konzole uključuju i fasadne stupove u preuzimanje horizontalnog opterećenja. Momenti od para sila u stupovima smanjuju moment savijanja zida – konzole. Primjer zgrade u kojoj je primijenjen spomenuti sustav ukrućenja prikazan je na slici 4.26. Zapravo, konstrukciju za ukrućenje čine: prostorni okvir na fasadi kombiniran s jezgrom u sredini i jakim gredama koje povezuju zidove jezgre s vanjskim stupovima. Zgrada je promjenljiva tlocrta – promjene su presjeka u 14., 47. i 51. katu. Stropovi su riješeni kao prednapeta rebrasta ploča raspona 12 do 14 m ukupne visine 30 cm od betona MB 80. Zgrada je vrlo vitka – odnos visine i manje dimenzije u tlocrtu jest 7,25. Stupovi su iz betona visoke čvrstoće – do MB 110!

Daljnje povećanje učinkovitosti konstrukcije za ukrućenje postiže se **višedijelnim sandučastim ukrutnim elementima**. Tom su konstruktivnom obliku pogodovale i druge okolnosti:

- napuštanje pravokutnih tlocrta i prizmatičnog oblika zgrade (trend u arhitekturi)
- potreba za raznim veličinama tlocrta po visini zbog više namjena unutar zgrade.

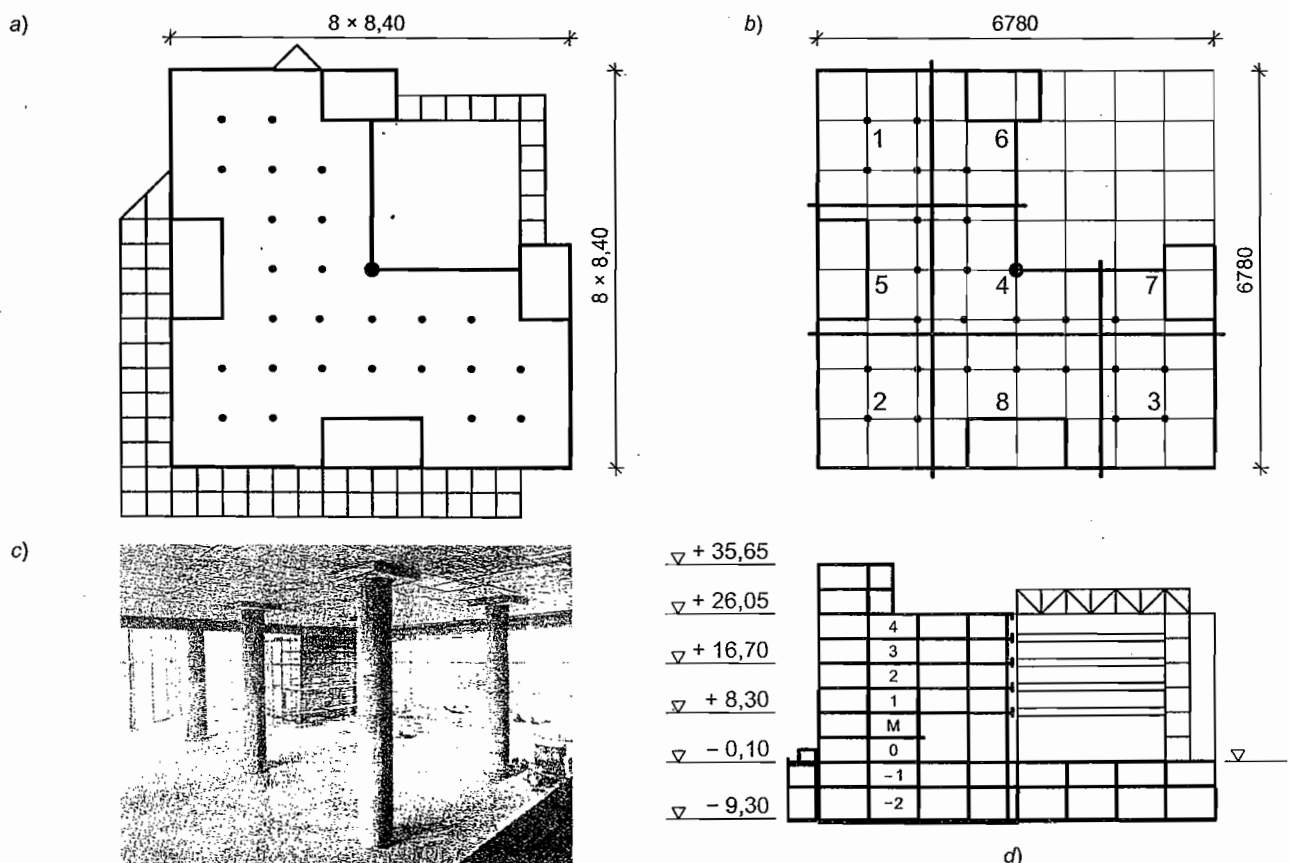
Pri svemu tome došle su do izražaja prednosti armiranog betona. Primjer zgrade s višedijelnim sandučastim ukrutnim elementima dan je na slici 4.27. Raspoloživo gradilište bilo je u L-obliku. Zgrada ima više namjena: u donjim su etažama trgovine i uredi, a u gornjim stanovi. Svaka funkcija zahtijeva različit raspored otvora na fasadi – prijelaz je u instalacijskoj etaži. Za oblikovanje tlocrta bio je odlučan zahtjev pogleda na jezero Michigan iz što većeg broja prostorija. To je rezultiralo odabirom tri šestorokutne armiranobetonske perforirane cijevi raznih katnosti (vidi tlocrt), povezane u snop na kontaktu. Razmak je vanjskih stupova oko 3 m. Unutarnji su stupovi u rasteru 9,15 × 9,15 m i 9,15 × 6,10 m (izmaknuto). Primijenjen je beton do čvrstoće C 55/65.

Sl. 4.26. Uredska zgrada sa 65 katova, 292 m visine – 311 South Wacker Drive Chicago, SAD, 1990.



Sl. 4.16. Konstrukcija zgrade
glavnoga korpusa Nacionalne
i sveučilišne knjižnice
u Zagrebu:
a) tlocrt tipične etaže;
b) faze izvedbe stropne
konstrukcije;
c) gljivasti strop;
d) presjek

Sljedeći je primjer zgrada glavnoga korpusa Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu (sl. 4.16.). Zgrada ima deset etaža. Zbog potrebe za velikim slobodnim prostorima i brojnim instalacijama odabran je gljivasti strop velikog rastera ($8,40 \times 8,40$ m). Ukrućenja čine jezgre na sredinama stranica kvadratnog tlocrta, koje sadrže dizala, stubišta i vertikalna okna za instalacije. Zgrada je izvedena u komadu (bez dilatacija) unatoč velikim dimenzijama u tlocrtu (68×68 m) i krutim elementima na obodu. Djelovanje skupljanja betona značajno je smanjeno izvedbom stropnih konstrukcija u osam faza (sl. 4.16b) odijeljenih radnim reškama širine 1 m, koje su se zatvarale nakon jednog do dva mjeseca poslije betoniranja.

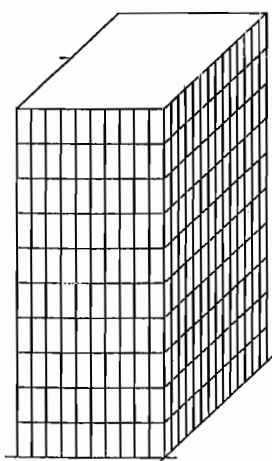


4.6.4. Konstrukcije zgrada sa sandučastim ukrutnim elementima

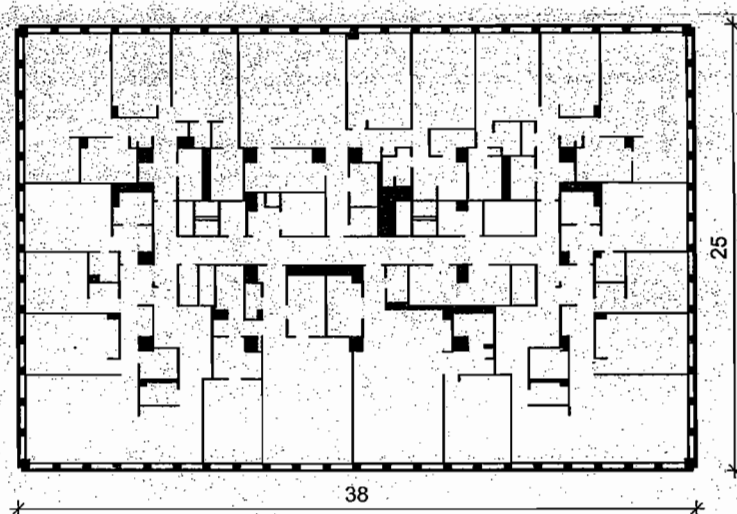
Sandučasti ukrutni elementi na obodu zgrada oblikuju se pomoću stupova na malom razmaku i krutim prečkama (parapetima) – dakle prostornom okvirnom konstrukcijom upetom u temelj (sl. 4.17.). Smještaj ukrutnih elemenata na obodu daje dvije prednosti:

- najveći mogući krak unutarnjih sila, tj. otpornost na momente savijanja i momente torzije
- najveća moguća sloboda u oblikovanju prostora u tlocrtu.

Razmacima stupova od 1,5 do 3 m i 60 cm visokim gredama okvira u SAD-u su sagrađene zgrade do 40 katova. Primjer takve zgrade dan je na slici 4.18. Kada su konstruktivni elementi tako visokih zgrada izloženi atmosferijama, mogu nastati vrlo značajna djelovanja zbog temperaturnih razlika koje uzrokuju različite deformacije vanjskih i unutarnjih stupova, pod uvjetom da su oni kruto vezani u (statički neodređene) okvire.

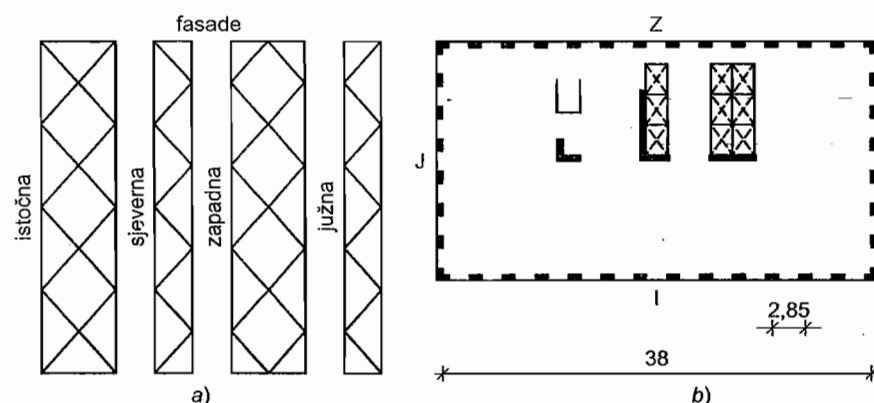


Sl. 4.17. Sandučasti ukrutni element na obodu zgrade



Sl. 4.18. Stambena zgrada
Chesnut - De Witt, Chicago,
1965. god., visina 122 m

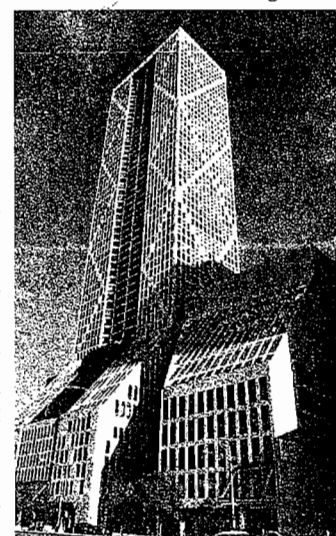
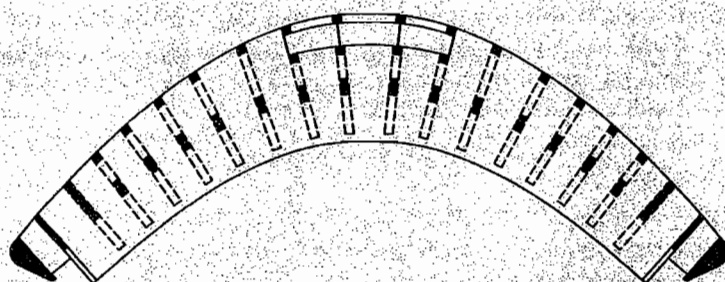
Znatno povećanje krutosti i nosivosti ukrotne konstrukcije može se postići dodavanjem dijagonala okvornoj sandučastoj konstrukciji. Dijagonale se mogu jednostavno dobiti tako da se u odgovarajućem rasporedu po katovima popune betonom otvori-prozori. Dva primjera za to prikazana su na slici 4.19. (obratiti pozornost na veliku vitkost zgrade: $173/21 = 8,24!$) i na slici 4.20. Krutost i nosivost ukrotnih elemenata može se postići i oblikom tlocrta odnosno horizontalnog presjeka zgrade, koji djeluje kao ljuska. Primjer takve zgrade dan je na slici 4.21.



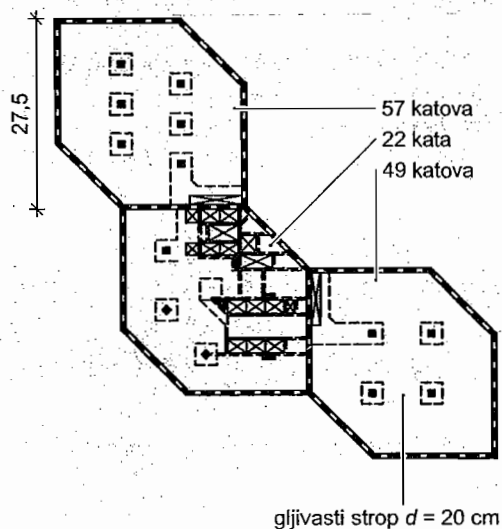
Sl. 4.19. Zgrada u Trećoj
aveniji u New Yorku, visine
173 m: a) fasade s
dijagonalama; b) tlocrt

Sl. 4.20. Zgrada Gradske
vijećnice u Torontu - istočni
toranj visine 100 m, 1965.

Sl. 4.21. 58-katna zgrada
Onterie Center u Chicagu

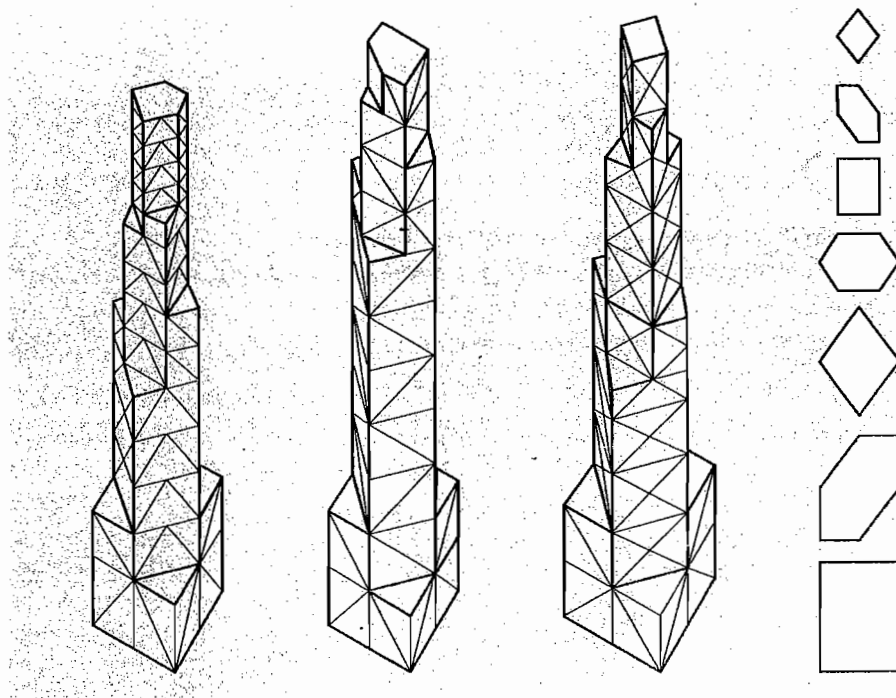


Sl. 4.27. Stambeno-poslovna
zgrada s 57 katova – One
Magnificent Mile, Chicago

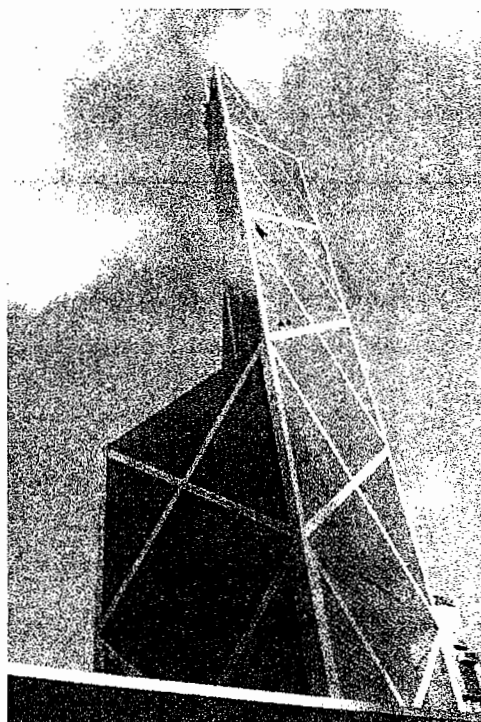
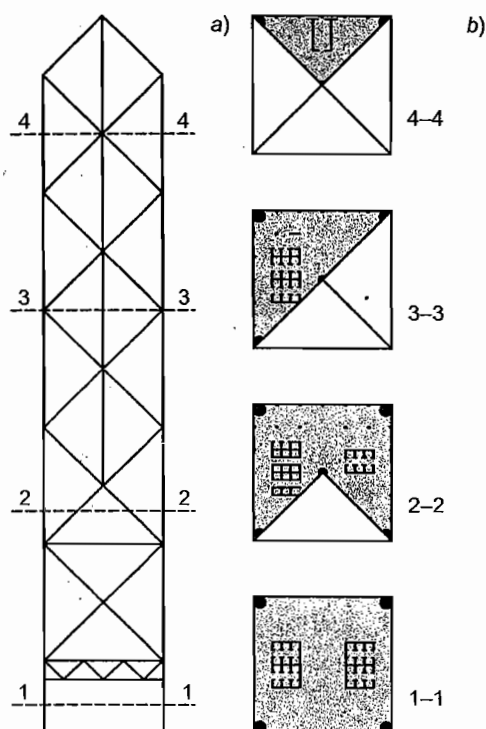


Za veoma raščlanjene konstrukcije postmoderne arhitekture (brojne promjene veličine i oblika horizontalnog presjeka) pokazao se sustav sa sandučastim ukrutnim elementima problematičnim. Rješenje je nađeno u načelu **megakonstrukcija**. Prethodnica su bili sustavi s **megastupovima** koji preuzimaju najveći mogući dio vertikalnog opterećenja. Povezani međusobno posmičnim vezama (npr. ispunjena rešetke – horizontale i dijagonale), oni čine vrlo učinkovit ukrutni element – vidi t. 4.8. i sl. 4.39. Megakonstrukcije su rešetke ili okviri kojima dužina vertikalnih štapova obuhvaća 10–15 etaža („mega“ se odnosi na dimenzije elemenata). Na slici 4.28. prikazani su primjeri megakonstrukcije koji se sastoje od više prizmatičnih dijelova raznih dužina. Redovito je moguće presjek u nekoj etaži upisati u niži, veći presjek. Rešetkama na fasadama može se postići tijek sila koji omogućava da zgrada u najnižoj etaži počiva samo na četiri stupa.

Sl. 4.28. Primjeri
megakonstrukcija s
horizontalnim presjecima po
visini



Najznačajniji je primjer megakonstrukcije zgrada Kineske banke (Bank of China) u Hong Kongu (sl. 4.29.). Osnovni sustav čini osam ukrutnih elemenata-rešetaka na obodu i na dijagonalama kvadratnog presjeka. Različitim visinama pojedinih rešetaka dobiva se volumen promjenljiva tlocrta po visini. Primjenom **spregnute konstrukcije** (čelik + beton) projektant je uspio razmjerno jednostavno riješiti čvorove, uključujući i uglovne, u kojima se spajaju do tri rešetke, i to koso. Uglovni čelični stupovi kruto su povezani uključivanjem u spregnutu konstrukciju.



Sl. 4.29. Zgrada Kineske banke (Bank of China) u Hong Kongu:
a) vertikalni presjek s karakterističnim horizontalnim presjecima;
b) pogled na zgradu

Sl. 4.30. Sears Tower – visina 442 m (110 katova), 1974.

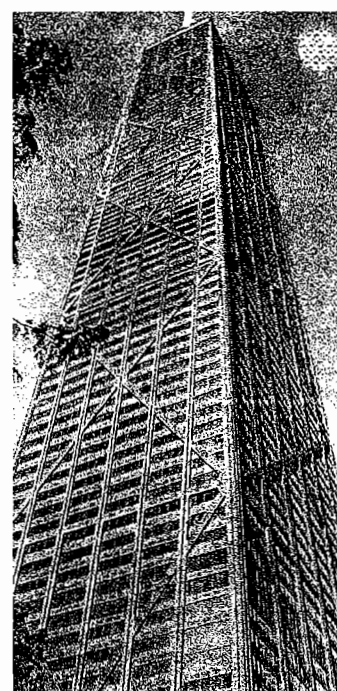
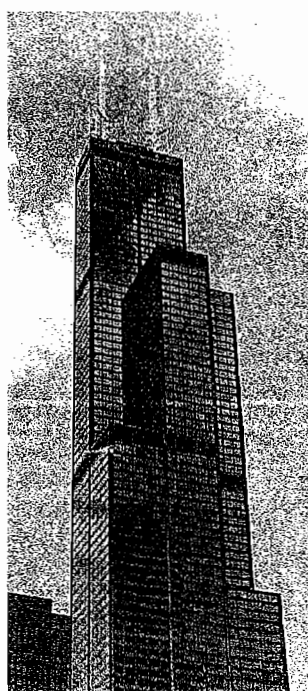
Sl. 4.31. John Hancock Tower – visina 344 m (100 katova), 1969.

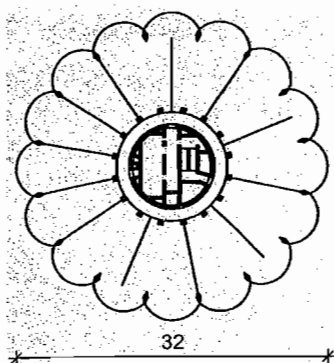
4.7. STANJE DOSTIGNUĆA U IZGRADNJI VISOKIH ZGRADA

4.7.1. Povijesni osvrt

Glede visine zgrada, veći dio razvoja obavljen je već do 1930-ih godina, i to čeličnim konstrukcijama. Pregled porasta visina zgrada tijekom vremena:

Park Row, New York, N.Y.	1899.	118 m
Woolworth Building, N.Y.	1913.	242 m
Chrysler Building, N.Y.	1929.	313 m
Empire State Building, N.Y.	1931.	381 m
(vrijeme izgradnje: 18 mjeseci!)		
John Hancock Tower Chicago (sl. 4.31.)	1969.	344 m
World Trade Center, N.Y.	1972.	415 m
Sears Tower, Chicago (sl. 4.30.)	1975.	445 m





Sl. 4.32. Višenamjenska zgrada Marina City, Chicago, 60 katova, visina 179 m

Sl. 4.33. Poslovna zgrada Commerzbank, Frankfurt, 53 etaže, visina 259 m, najviša zgrada u Europi, 1997.

Sl. 4.34. Poslovne zgrade Petronas Towers, Kuala Lumpur, 88 etaža, 452 m – najviša zgrada na svijetu do 2004. godine

Sl. 4.35. Jin Mao Tower, Šangaj, 88 etaža, 421 m

Sl. 4.36. Taipei 101, Tajpeh, 101 etaža, 508 m – najviša zgrada na svijetu 2004.

Kod betonskih konstrukcija zgrada značajan je razvoj počeo tek u 1960-im godinama. Pregled porasta visina zgrada tijekom vremena:

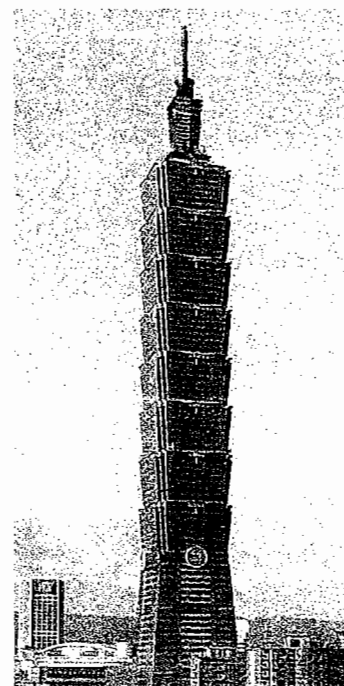
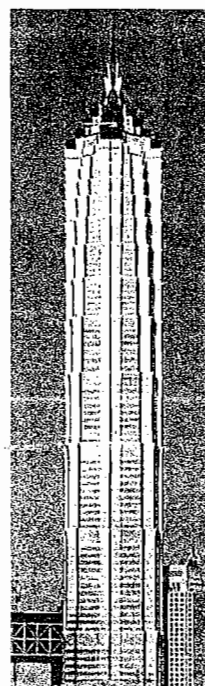
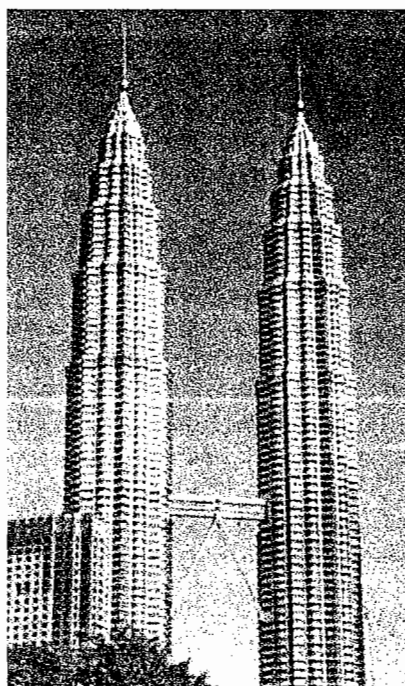
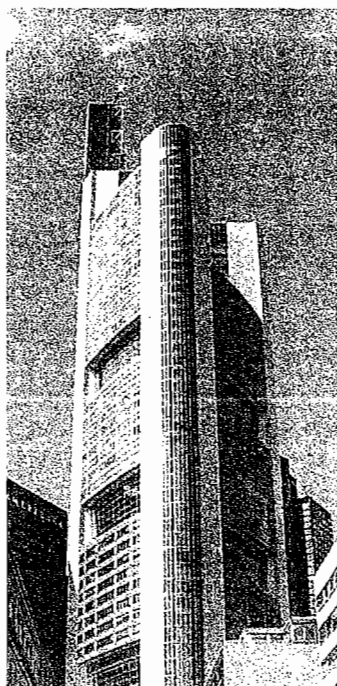
Ingalls, Cincinnati	1903.	16 etaža	64 m	
Executive House, Chicago	1960.	36 etaža	99 m	
Marina City, Chicago	1962.	60 etaža	179 m	(sl. 4.32.)
Lake Shore Drive, Chicago	1964.	60 etaža	195 m	
Shell Oil Building, Houston	1970.	50 etaža	218 m	(sl. 4.24.)
Water Tower Pl., Chicago	1976.	74 etaže	262 m	
311 South Wacker Dr., Chicago	1990.	65 etaža	292 m	(sl. 4.26.)
Commerzbank, Frankfurt	1997.	53 etaže	259 m	(sl. 4.33.)

Razlozi ovako burnog razvoja betonskih konstrukcija visokih zgrada jesu:

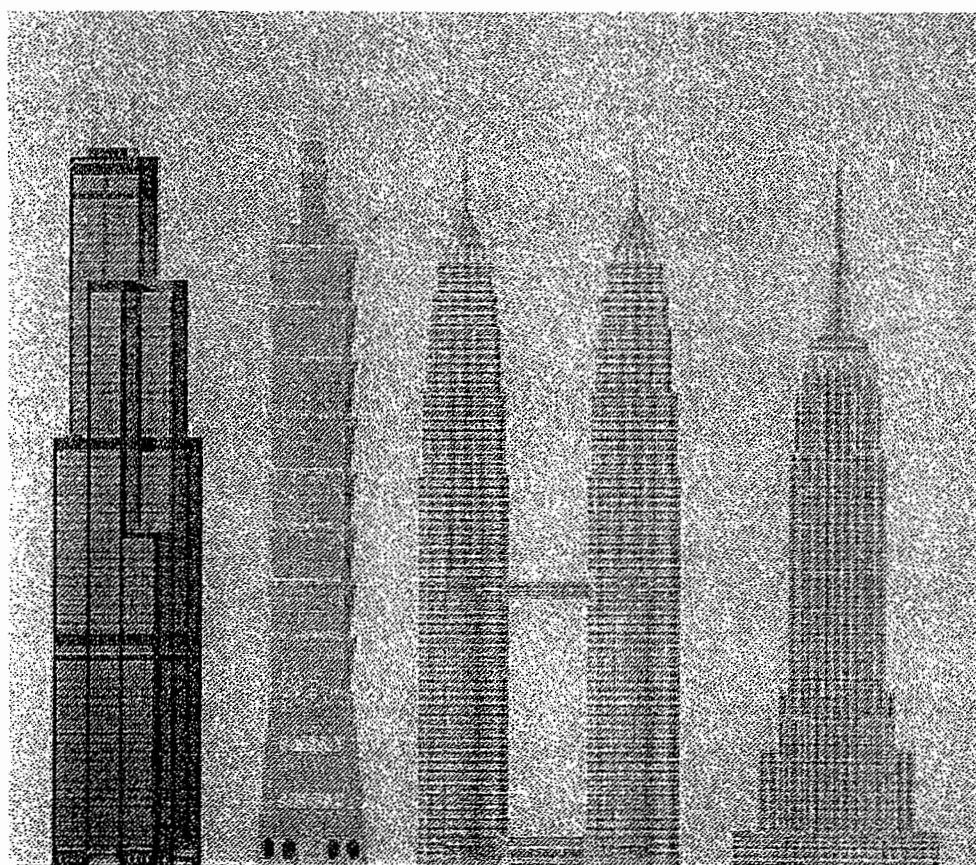
- razvoj učinkovitijih nosivih sustava za preuzimanje horizontalnih sila koji su smanjili dodatni trošak od tih djelovanja (vidi ranije!)
- razvoj betona visokih čvrstoća (vidi obrazloženje u t. 4.7.2.)
- razvoj tehnike izvedbi zgrada:
 - sustavi oplata
 - sustavi ugradnje (betonske pumpe, superplastifikatori).

Od devedesetih godina 20. stoljeća nadalje najveći je dio visokih zgrada izgrađen na Dalekom istoku, a po pravilu je konstrukcija tih zgrada mješovita (beton i čelik, vidi točku 4.8.). Najvažnije su zgrade:

Bank of China, Hong Kong	1990.	72 etaže	367 m	(sl. 4.29.)
Petronas Towers, Kuala Lumpur, Malezija	1996.	88 etaža	452 m	(sl. 4.34.)
Jin Mao Tower, Šangaj, Kina	1998.	88 etaža	421 m	(sl. 4.35.)
Taipei 101, Tajpeh, Tajvan	2004.	101 etaža	508 m	(sl. 4.36.)



Zanimljivo je da se pojam najviše zgrade definira po nekoliko kriterija. Kao najvažniji uzima se najviša točka konstrukcije prema arhitektonskom projektu (bez dodatka, poput antena i sl.). Ostali su kriteriji: najviša točka krova; najviša točka uključivši i dodatke, te najviši pod etaže koja se koristi kao ured, stan i sl.). Kao što se vidi na slici 4.37., Sears Tower iz 1974. godine zadržao je još primat u trećoj i četvrtoj kategoriji. Kao što vidimo, visina zgrada neprestano raste. Postoje projekti za još više zgrade, npr. Millenium Tower u Tokiju, s 840 m visine, i Bionic Tower u Hong Kongu s 1128 m. Dakle, tehničke mogućnosti za zgrade više od 1000 m postoje, no one zasad (do 2004.) nisu izgrađene iz ekonomskih razloga.



Sl. 4.37. Usporedna slika četiriju od najviših zgrada na svijetu

Sears
Tower

Taipei
101

Petronas
Towers

Empire State
Building

4.7.2. Značenje razvoja betona visokih čvrstoća

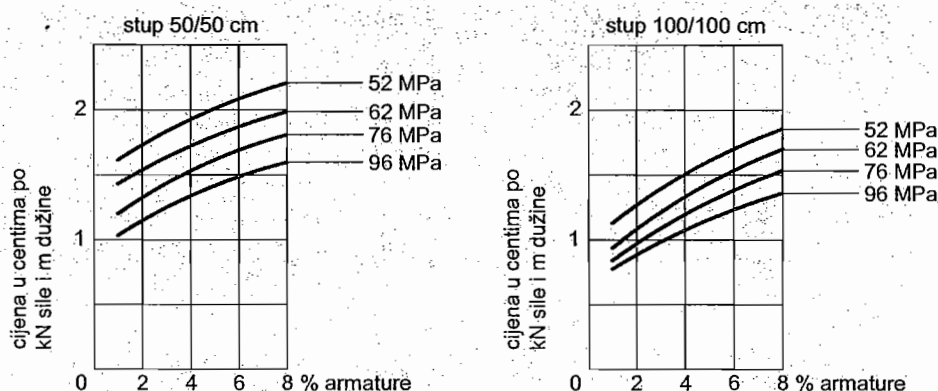
Naročito u SAD-a postignut je značajan razvoj betona visokih čvrstoća, dakle betona $C > 42 \text{ N/mm}^2$ što odgovara $MB > 55$. Od 1962. do 1990. godine čvrstoća betona elemenata zgrada povećala se više od tri puta, što se vidi iz ovog pregleda:

– Chicago	1962.	60 katova	C 42
– Chicago	1972.	50 katova	C 62
– 311 South W. Drv.	1987.	65 katova	C 83
– Seattle (Two Union Square)	1987.	62 kata	C 131

Povoljno djelovanje betona visokih čvrstoća na postizanje visina zgrada očituje se u:

- smanjenju dimenzija stupova, tj. povećanju korisne površine u tlocrtu (s betonom normalnih čvrstoća presjeci su stupova bili tako veliki da je betonska konstrukcija bila praktično neprimjenjiva)
- smanjenju cijene stupova na jedinicu sile koju preuzimaju unatoč tome što su veće cijene betona (sl. 4.38.)
- smanjenju vremena do skidanja oplate zbog velikih početnih čvrstoća betona (3 dana – oko 50% MB), a to dovodi do povećanja brzine izgradnje na dvije etaže po tjednu, dakle približavanje mogućnostima čelične konstrukcije
- višem modulu elastičnosti, dakle manjim deformacijama
- manjem koeficijentu skupljanja i puzanja, dakle manjim vremenskim deformacijama.

Slika 4.38. Usporedba cijena po kN sile i m dužine stupova presjeka 50/50 cm i 100/100 cm na osnovi cijena u Chicagu 1985. god.



4.8. VISOKE ZGRADE S MIJEŠANIM I SPREGNUTIM KONSTRUKCIJAMA (ČELIK + BETON)

Usporedno s razvojem ab-konstrukcija visokih zgrada i konkurencijom čelik-beton počela su se, posebice u SAD-u, razvijati i rješenja koja kombiniraju oba materijala, i to tako da se što više iskoriste prednosti i jednog i drugog. Beton se pritom koristi – zbog velike krutosti i lakog oblikovanja – za ukrutne elemente. Time otpadaju složeni i skupi čvorovi čeličnih konstrukcija za osiguranje krute veze, pa se čelična konstrukcija svodi na jednostavni skelet od stupova i greda, što znatno povećava brzinu gradnje. Na temelju ovih razmatranja potvrdila su se dva načela izvedbe: a) s ab-jezgrom i čeličnim skeletom, b) sa sandučastim ukrutnim elementima u spregnutoj izvedbi.

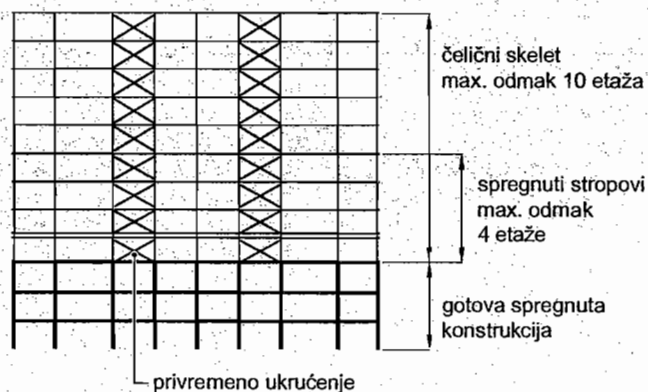
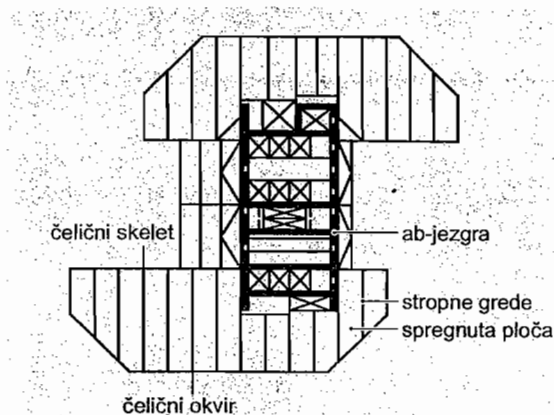
- Kod **zgrada s jezgrom** ukrutni je element ab-jezgra, oko koje se oblikuje ostatak konstrukcije kao čelični skelet. Primjenom klizne oplate za izvedbu jezgre postiže se neovisnost izvedbe betonskih i čeličnih elemenata te velika brzina izvedbe. Primjer zgrade s takvom konstrukcijom prikazan je na slici 4.39. Zgrada ima ab-jezgru i čelični skelet koji je u smjeru usporednom s kraćom dimenzijom jezgre djelomično izveden s krutim čvorovima da se poveća krutost jezgre oko slabije osi. Stropna je ploča izvedena u spregnutoj izvedbi (profilirani lim + beton).

b) Kod rješenja sa **spregnutom ukrutnom konstrukcijom** ona se sastoji od laganoga čeličnog skeleta koji se naknadno ubetonira u armiranobetonsku konstrukciju što preuzima pretežni dio opterećenja. Čelični skelet ima ulogu pomoćne konstrukcije s pomoću koje se proces gradnje raščlanjuje i ujedno ubrzava. Kao što je prikazano na slici 4.40., izvedba se odvija u tri faze:

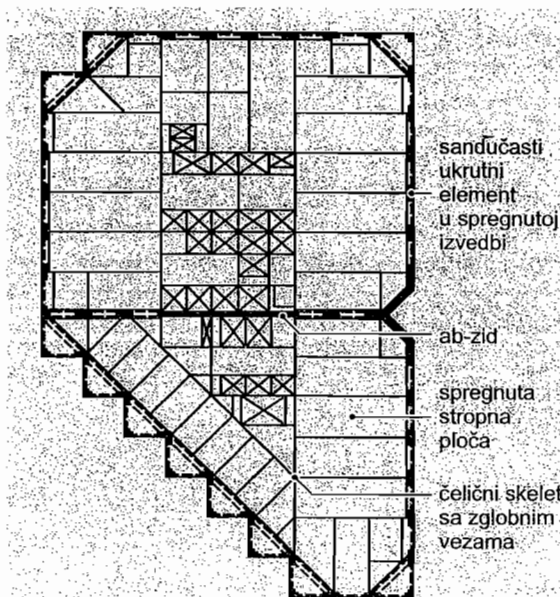
1. montaža čeličnog skeleta prva je faza, koju slijedi postavljanje profiliranog lima za spregnute stropne ploče
2. betoniranje stropnih ploča (zaostatak oko 6 etaža)
3. betoniranje spregnute konstrukcije – sandučastih okvira (zaostatak oko 4 etaže u odnosu na 2. fazu).

Slika 4.39. 44-katna poslovna zgrada Tower 49 u New Yorku

Slika 4.40. Faze izvedbe konstrukcije sa spregnutim ukrutnim elementima



Primjeri takvih zgrada prikazani su na slikama 4.41. i 4.42. I najviše zgrade na svijetu, Petronas Towers (sl. 4.34.) i Taipei 101 (sl. 4.36.), izvedene su sa spregnutim ukrutnim elementima. Zgrada prikazana na slici 4.41. ima vrlo velika opterećenja vjetrom (*hurricane*). Rasponi su stropne konstrukcije do 12 m. Ukrutljenje je dvodijelna cijev u spregnutoj izvedbi, uz dodatak ab-zida u slabijem smjeru. Unutar cijevi izveden je jednostavni čelični skelet. Prednosti odabranih ukrutnih elemenata (u odnosu na čeličnu konstrukciju) jesu velika krutost i velika težina (koja djeluje povoljno pri velikim horizontalnim opterećenjima).



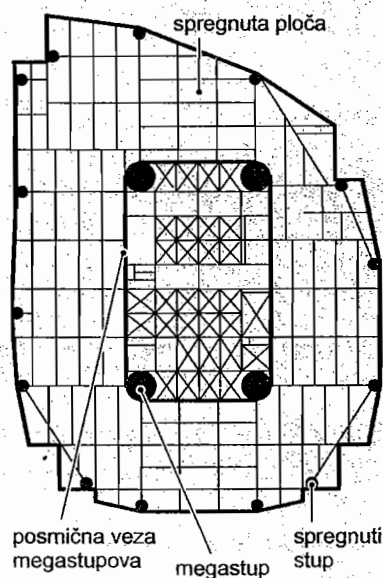
Slika 4.41. Spregnuta konstrukcija 53-katne zgrade South West Financial Centera u Miamiu, visine 220 m

Slika 4.42. Spregnuta konstrukcija 64-katne zgrade AT&T Corporate Centera u Chicagu

Kod primjene **megastupova** vrlo se velika opterećenja koncentriraju na mali broj stupova. To je idealno područje primjene betona, osobito betona visoke čvrstoće. Primjer takve konstrukcije prikazan je na slici 4.43. Zgrada ima

četiri megastupa u uglovima jezgre. Oni su međusobno povezani čeličnom konstrukcijom koja predstavlja posmičnu vezu u cjevastu ukrotnu konstrukciju. Megastupovi preuzimaju 40% ukupnog opterećenja zgrade. Promjer je stupova 3,0 m, a sastoje se od čelične cijevi koja služi i kao oplata i kao armatura betona C131 unutar te cijevi. Vanjski stupovi riješeni na isti način, promjer im je promjenljiv, od 1,0 m dolje do 0,4 m na vrhu. Vertikalna nosiva konstrukcija izvodila se dvije po dvije etaže, tako da su se ponajprije montirali čelična konstrukcija i cijevi spregnutih stupova, a onda je obavljeno betoniranje stupova i stropova. Tempo građenja bio je po dvije etaže u 3,5 dana.

Slika 4.43. Primjer zgrade s megastupovima:
62-katna uredska zgrada
Two Union Square u
Seattleu, visine 226 m, 1987.



5. STUBIŠTA

5.1. OPĆENITO

Stubišta su konstrukcije za:

- osobnu komunikaciju između katova zgrade
- pristup zgradi
- svladavanje raznih razina na terenu ili u nekom prostoru.

Sastoje se od:

- krakova (kosi elementi sa stubama)
- podesta – to su glavni podesti na razinama stropova i međupodesti između razina stropova.

Dijele se:

- prema broju krakova: jednokrakna, dvokrakna, ...
- prema obliku u tlocrtu: pravocrtna (ravna, lomljena L-, U-, T-oblika...) i krivolinijska (lučna, zavojita...)
- prema gradivu: od opeke, drva, metala, armiranog betona
- prema statičkoj shemi: konzolna, gredna.

Kudikamo su najčešća **armiranobetonska pločasta stubišta** pa ćemo njih obraditi u daljnjem tekstu. Prednosti su tih stubišta:

- jednostavnost izvedbe zbog razmjerno jednostavne oplata i armature
- povoljan estetski učinak.

Pritom ploče krakova mogu biti:

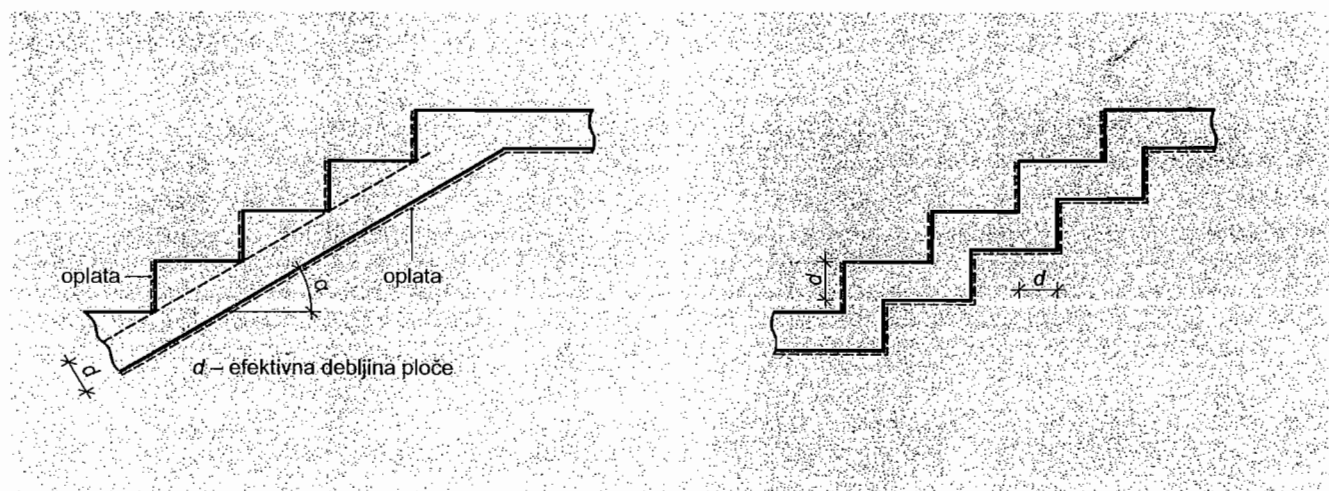
- pune s nabetoniranim stubama, što je kudikamo najčešće (sl. 5.1.)
- naborane – za reprezentativna stubišta s većim estetskim zahtjevima (sl. 5.2.), a izvedba im je znatno složenija zbog složenije oplata i armature.

Prema načinu prijenosa opterećenja pločasta se stubišta dijele na:

- stubišta bez membranskog djelovanja (ploče opterećene na savijanje)
- stubišta s membranskim djelovanjem (nabori opterećeni na savijanje i membranskim silama).

Sl. 5.1. Puna ploča kraka s nabetoniranim stubama

Sl. 5.2. Naborana ploča subišnog kraka



5.2. STUBIŠTA BEZ MEMBRANSKOG DJELOVANJA

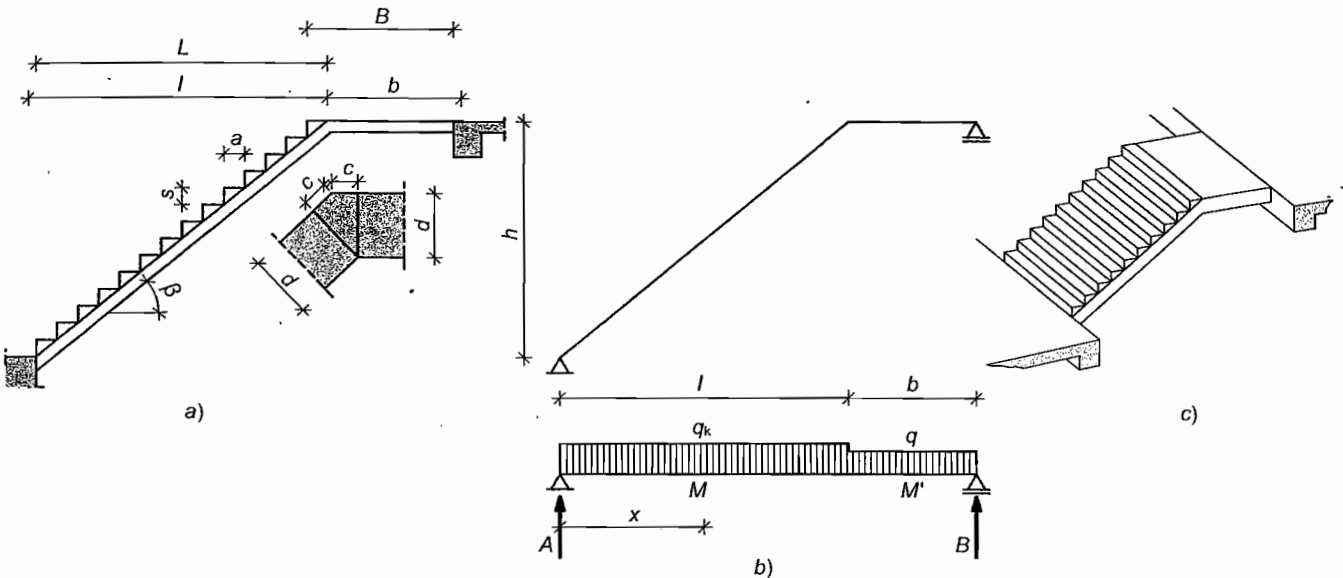
5.2.1. Jednokraka stubišta

Sl. 5.3. Jednokrako stubište s jednim podestom:

a) presjek; b) shema

i opterećenje; c) aksonometrija

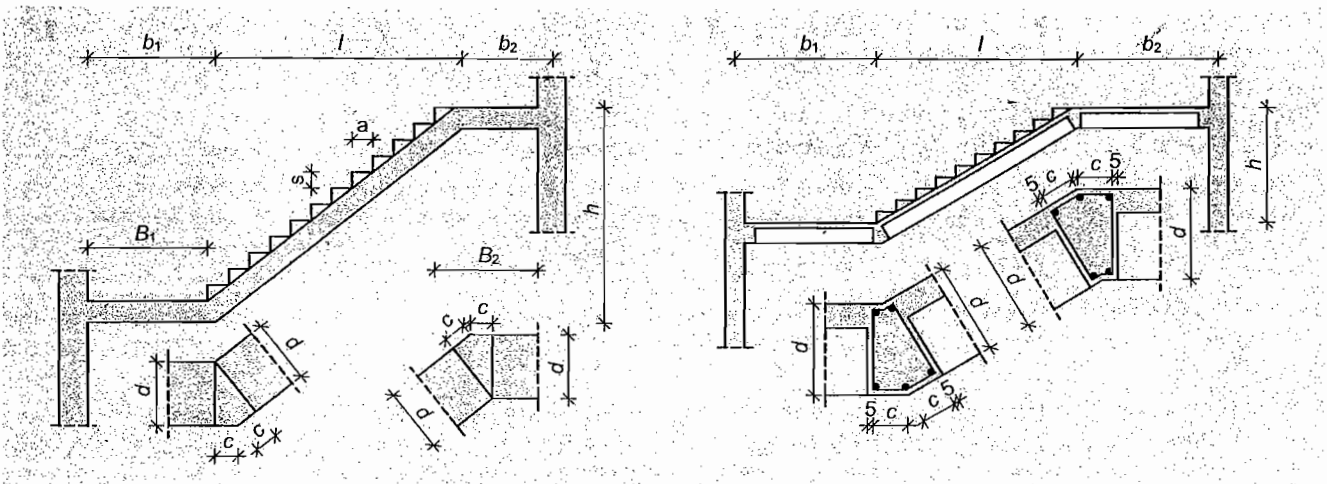
- Kod **jednokrakih stubišta s jednim podestom** (sl. 5.3.) najčešće se uzima jednaka debljina kraka i podesta. Opterećenje kraka uvijek je veće od opterećenja podesta zbog kosine ploče i nabetoniranih stuba.



- Jednokrako stubište s dva podesta** može biti oslonjeno na krajevima ili na pregibima. Ako je oslonjeno na krajevima i ima umjereni raspon, ploča može biti puna (sl. 5.4.), a za veliki raspon odabire se rebrasta ploča (sl. 5.5.), kod koje tlačna ploča treba biti debela barem 8 cm, a na pregibima se predviđaju poprečna rebra promjenljiva presjeka, s time da se za vrlo dugi krak predvidi još jedno poprečno rebro na sredini. I kod ovog se stubišta redovito bira jednaka debljina kraka i podesta. Statička shema je lomljena prosta greda (sl. 5.6.).

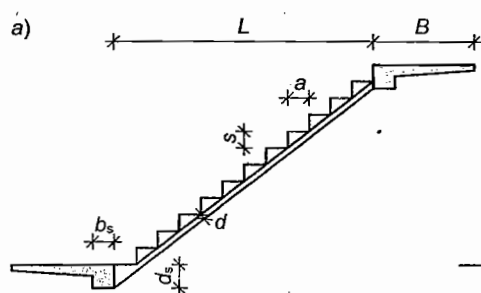
Sl. 5.4. Jednokrako stubište s dva podesta – puna ploča

Sl. 5.5. Jednokrako stubište s dva podesta – rebrasta ploča

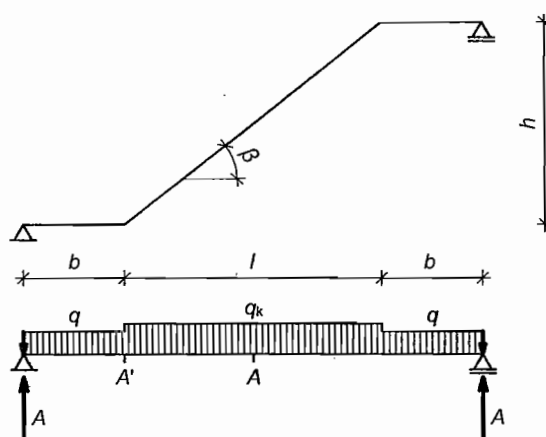


Ako je jednokrako stubište s dva podesta oslonjeno na pre-gibima, ploča leži na gredama, koje pak leže na stupovima ili zidovima na uzdužnim krajevi-ma stubišta (sl. 5.7.). Rješenje s **polusakrivenim gredama** povoljno je i zbog oplate i zbog estetičkog dojma. Visina grede ovisi o debljini ploče, nagibu kraka i visini stube te iznosi:

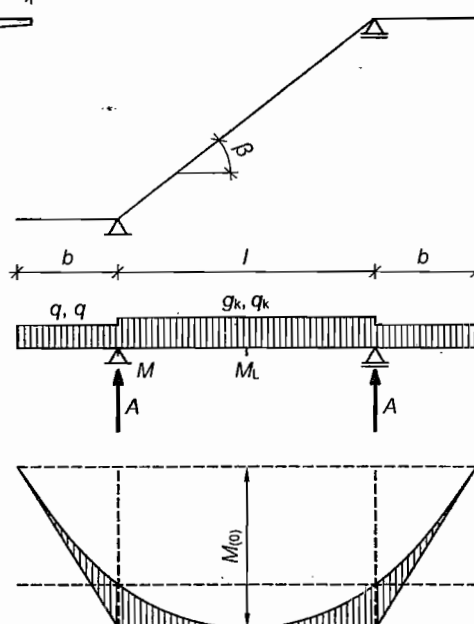
$$d_s = d/\cos\beta + s$$



U odnosu na oslanjanje na kraju, ova je shema statički povoljnija jer daje znatno manje momente savijanja, dakle moguća je tanja ploča.



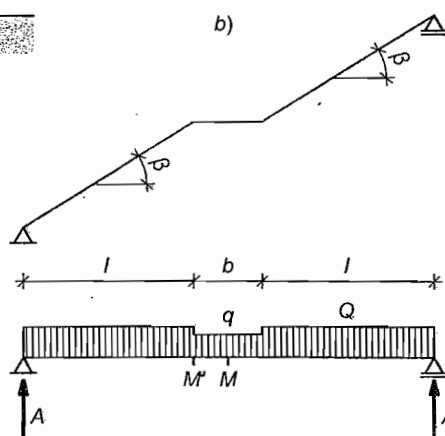
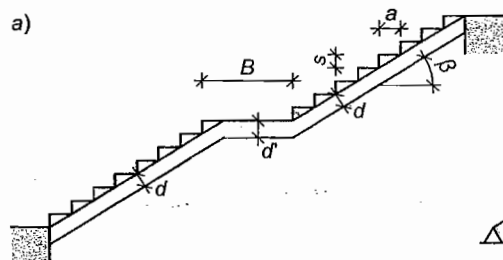
Sl. 5.6. Jednokrako stubište s dva podesta – shema i opterećenje



Sl. 5.7. Jednokrako stubište dva podesta oslonjeno na pre-gibima:
a) presjek; b) shema i opterećenje;
c) usporedba momentnog dijagrama u odnosu na slučaj oslanjanja na krajevima

5.2.2. Pravo dvokrako stubište

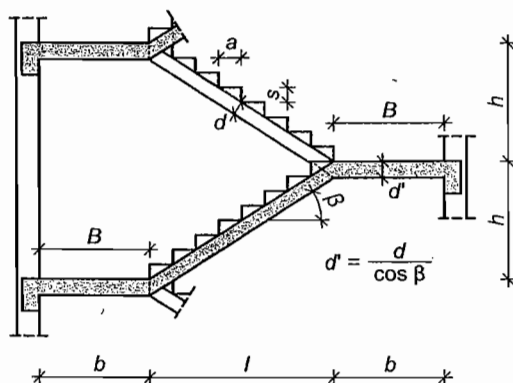
U ovom slučaju (sl. 5.8.) primjereno je debljinu podesta uzeti jednaku vertikalno mjerenoj debljini krakova, dakle $d' = d/\cos\beta$. Statička shema je lomljena prosta greda (ploča).



Sl. 5.8. Pravo dvokrako stubište: a) presjek; b) shema i opterećenje

5.2.3. Dvokrako U- (protusmjerno) stubište

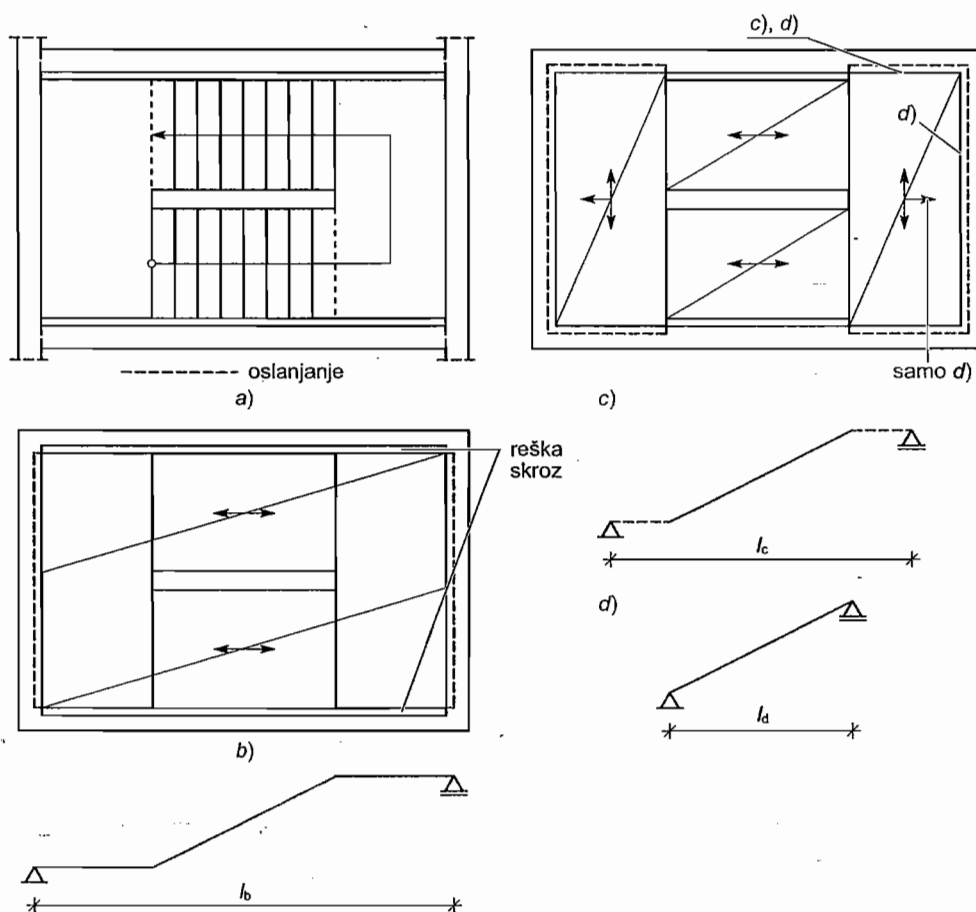
Sl. 5.9. Dvokrako protusmjerno stubište – presjek

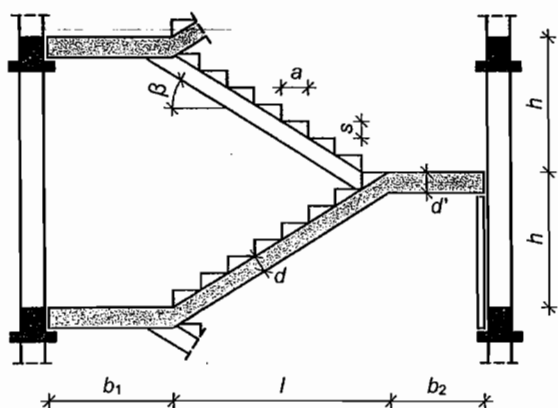


Ovo je najčešći slučaj kod višekatnih stambenih zgrada zato jer takva stubišta zauzimaju manje prostora i mogu se smjestiti unutar jezgre za ukrucenje. Iz estetskih razloga bridovi podesta i krakova trebaju biti kolinearni, tj. na istome pravcu (sl. 5.9.). Na slici 5.10. prikazan je tlocrt takvog stubišta i dane su razne mogućnosti oslanjanja. Ako se stubište oslanja samo na poprečne zidove, onda djeluje

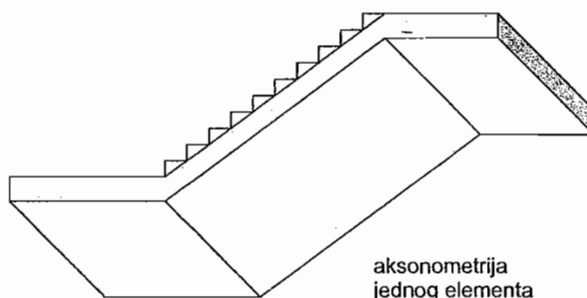
kao dva jednokraka stubišta s dva podesta (sl. 5.10b). Prednost je jednostavnija izvedba uzdužnih zidova (zapravo, nisu ni potrebni iz statičkih razloga), no veći su momenti savijanja. Stubište može biti oslonjeno samo na uzdužne zidove na mjestu podesta (sl. 5.10c) – krak leži na podestima, a oni njegovo i svoje opterećenje prenose kao jednosmjerne ploče. Ako su podesti trostrano oslonjeni (sl. 5.10d), ploča kraka je oslonjena na rub podesta koji djeluje kao dvosmjerna (trostrano oslonjena) ploča.

Sl. 5.10. Dvokrako protusmjerno stubište oslonjeno na obodne zidove:
a) tlocrt;
b) oslonjeno samo na poprečne zidove;
c) oslonjeno na uzdužne zidove na mjestu podesta;
d) oslonjeno na uzdužne i poprečne zidove na mjestu podesta





Sl. 5.11.- Dvokrako U-stubište izvedeno kao predgotovljena konstrukcija



aksonometrija
jednog elementa

Dvokrako U-stubište može se izvesti i kao predgotovljena konstrukcija (sl. 5.11.). Ako se odustane od kolinearnosti bridova, može se stubište skratiti za širinu jedne stube.

Dvokrako U-stubište može biti oslonjeno i na mjestima prijeloma (sl. 5.12.). Po jedan krak i pola podesta čine statički gredu s dva prepusta koja je oslonjena na stupove ili na uzdužne zidove. Najbolje je i najljepše da se grede „sakriju“ u ploči, a isto tako da se ploča podesta stanji prema slobodnom kraju. Visina skrivene grede ovisi o debljini i nagibu krakova te visini stube i iznosi:

$$d' = d/\cos\beta + s/2.$$

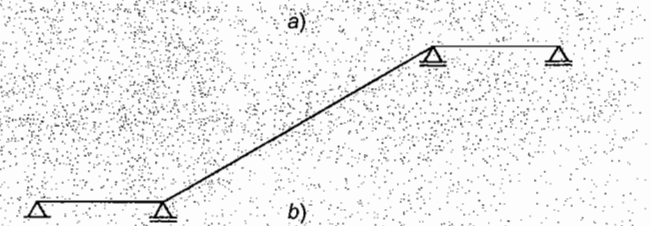
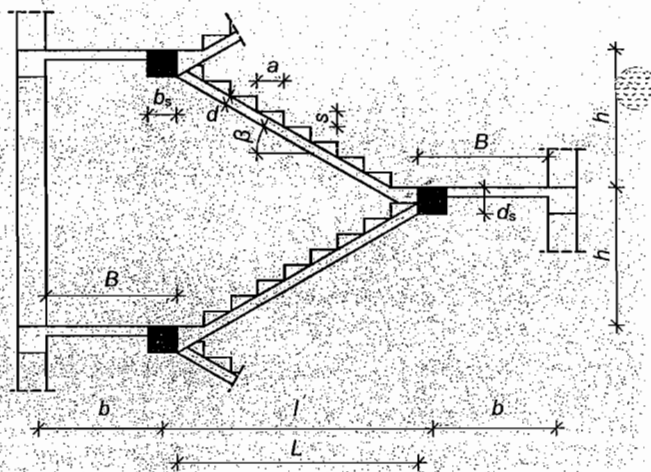
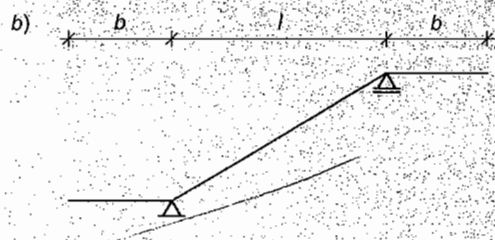
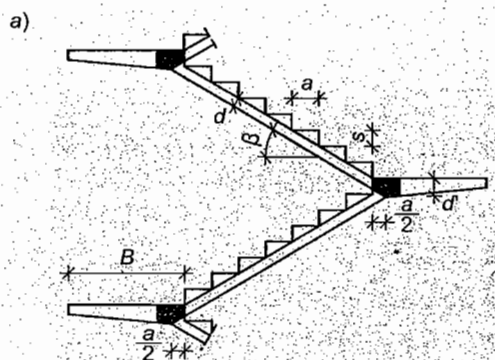
Za široka i duga stubišta s većim opterećenjima povoljno rješenje može biti ono s oslanjanjem i na mjestima prijeloma i na krajevima. Visina polusakrivenih podestnih greda (sl. 5.13.) iznosi:

$$d_B = d/\cos\beta + s$$

dok ploča podesta može biti razmjerno tanka.

Sl. 5.12. Dvokrako U-stubište oslonjeno na mjestima prijeloma:
a) presjek; b) statička shema

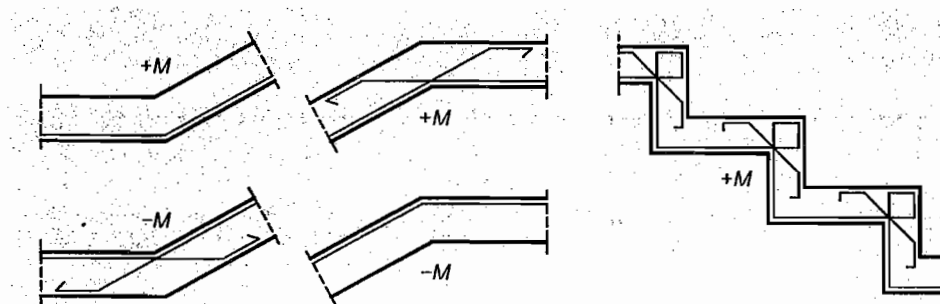
Sl. 5.13. Dvokrako U-stubište oslonjeno i na krajevima i na mjestima prijeloma:
a) presjek; b) statička shema



5.2.4. Armatura stubišta

Najvažnije je podsjetiti se načela armiranja da se skretne sile usmjeravaju prema masi betona („Nosive konstrukcije I“, 6. poglavlje), dakle kod konkavnih uglova armatura se produžuje i sidri u tlačnu zonu (sl. 5.14.). Armiranje naborane ploče za pozitivni moment (vlak dolje) prikazano je na slici 5.15. Šipke glavne armature savijaju se u petlje, pri čemu je potrebna velika točnost izvedbe odnosno usklađenosti dimenzija oplata i armature. Osim glavne armature, dodaju se i posebne kose šipke te, dakako, razdjelna armatura koja nije prikazana na slici.

Sl. 5.14. Armiranje pune ploče stubišta na mjestima pregiba za razne predznake momenata savijanja
Sl. 5.15. Armiranje naborane ploče za pozitivni moment (vlak dolje)



5.3. STUBIŠTA S MEMBRANSKIM DJELOVANJEM

5.3.1. Općenito

Stubišta s membranskim djelovanjem djeluju kao nabori („Nosive konstrukcije I“, 13. poglavlje). Dakle, kao i kod nabora imamo:

- momentno djelovanje – savijanje ploče u uzdužnom smjeru stubišta, pri čemu svi prijelomi djeluju kao ležajevi. Zato su momenti savijanja znatno manji negoli u odgovarajućeg stubišta bez membranskog djelovanja, dakle ploča može biti tanja.
- membransko djelovanje koje u ravnim dijelovima – krakovima i podestima – uzrokuje uzdužne sile i eventualno savijanje u svojoj ravni. Membransko djelovanje znači da nastaju horizontalne ili kose sile koje na krajevima treba nekako preuzeti i utoliko je stubište s membranskim djelovanjem složenije od običnoga stubišta koje djeluje samo na savijanje.

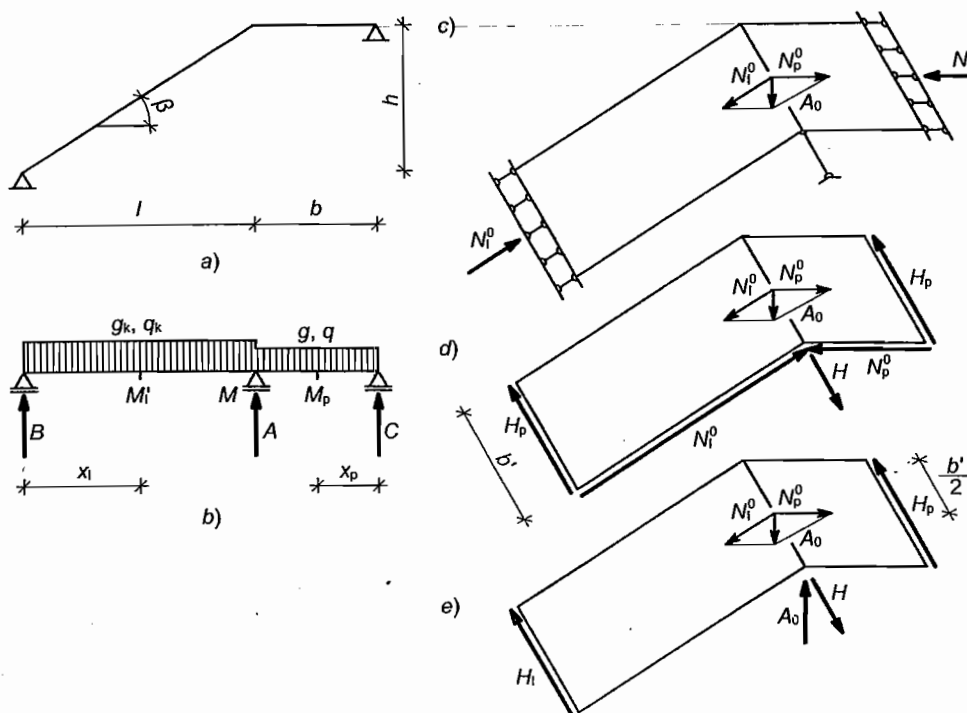
5.3.2. Prava jednokraka stubišta s jednim podestom

Takvo je stubište prikazano na slici 5.16. Za momentno djelovanje računa se na mjestu pregiba s ležajem – dakle umjesto proste grede za obično pločasto stubište možemo računati s kontinuiranim nosačem koji daje znatno manje momente savijanja ploče. Reakcija pregiba A djeluje kao akcija i ona proizvodi sile koje se očituju kao membransko djelovanje. U konkretnom slučaju, to su tlačne sile:

$$N_L = A/\sin \beta \quad \text{ i } \quad N_P = A/\tan \beta.$$

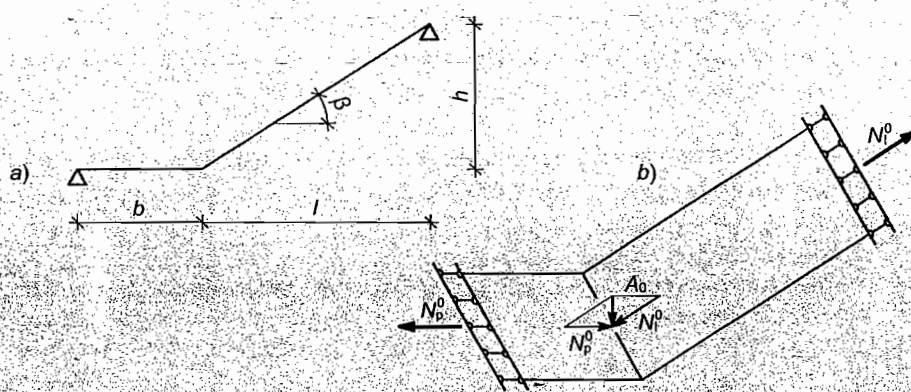
Te se sile mogu prenijeti na nekoliko načina:

- izravno na krajeve, gdje se pretpostavlja da ih preuzimaju odgovarajući zidovi putem stropnih ploča (sl. 5.16c)
- na nosive zidove u oba smjera, vezane za krak i podest (sl. 5.16d)
- na stup na rubu prijeloma i poprečne zidove (sl. 5.16e).

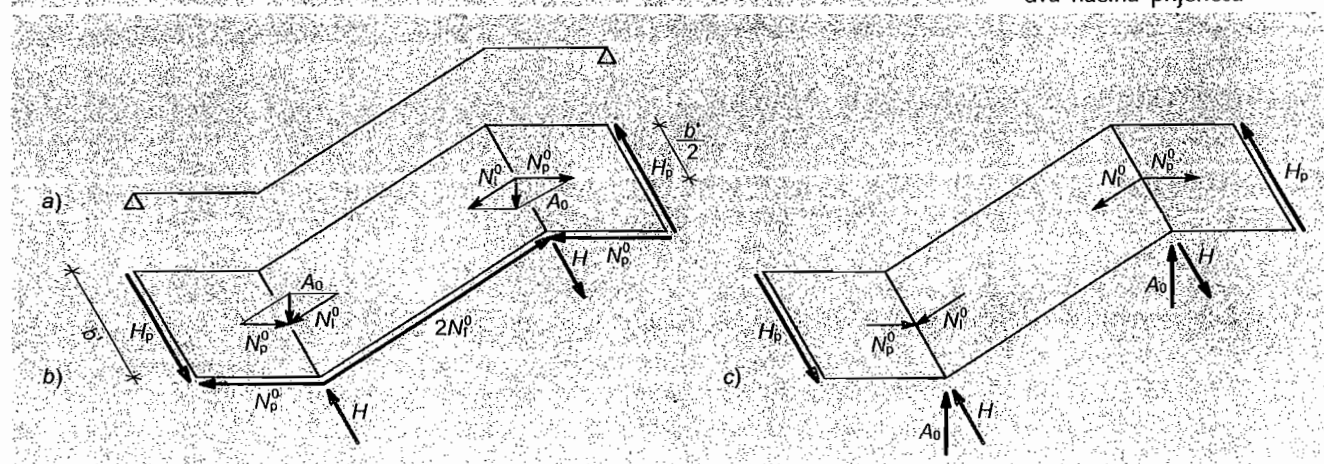


Sl. 5.16. Pravo jednokrako stubište s membranskim djelovanjem:
a) shema stubišta (oba ležaja nepomična!);
b) shema i opterećenje za momentno djelovanje;
c), d) i e) membransko djelovanje – razni načini prijenosa sile

U posljednja dva slučaja ekscentričnost prijenosa sile N_L i N_P uzrokuje momente koji se izjednačavaju silama u poprečnom smjeru na krajevima kraka i podesta te na prijelomu. Za nešto drukčiju shemu (podest dolje) vrijedi sve analogno kao što je navedeno gore, s time da su sile N_L i N_P vlačne (sl. 5.17.).



Sl. 5.17. Pravo jednokrako stubište s membranskim djelovanjem:
a) shema stubišta;
b) membransko djelovanje



Sl. 5.18. Pravo jednokrako stubište s dva podesta s membranskim djelovanjem:
a) shema stubišta;
b) i c) membransko djelovanje – dva načina prijenosa

5.3.3. Prava jednokraka stubišta s dva podesta

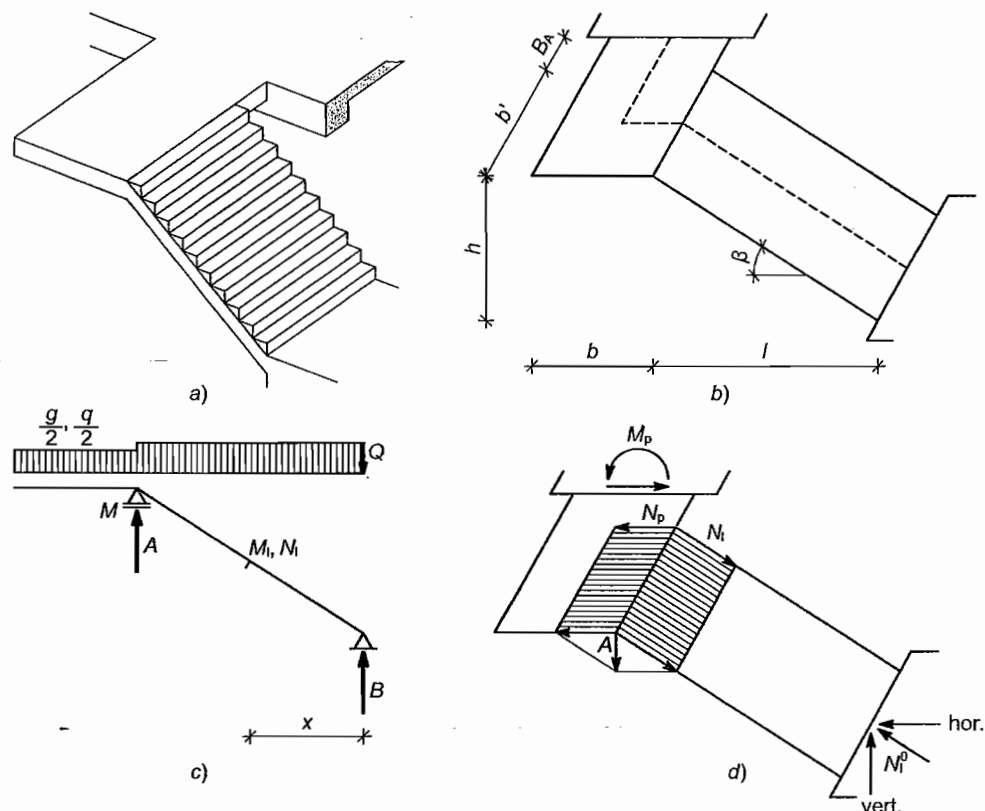
Kao što se vidi na slici 5.18., prijenos sila analogan je stubištima s jednim podestom. Na slici 5.18b prikazan je prijenos na uzdužni zid i poprečne zidove, a na slici 5.18c prijenos na poprečne zidove i stupove na prijelomima.

5.3.4. Kutno stubište

Prijenos sila od membranskog djelovanja (sl. 5.19.):

- Sila na krak N_L prenosi se izravno na donji kraj, gdje vertikalnu komponentu preuzima zid ili greda, a horizontalnu stropna ploča u ravni te je prenosi na odgovarajuće ukрутne elemente.
- Silu na podest N_p preuzima sam podest u ravni kao konzola upeta u stropnu ploču, a dalje se ta sila prenosi putem stropne ploče u ravni na odgovarajuće ukрутne elemente.

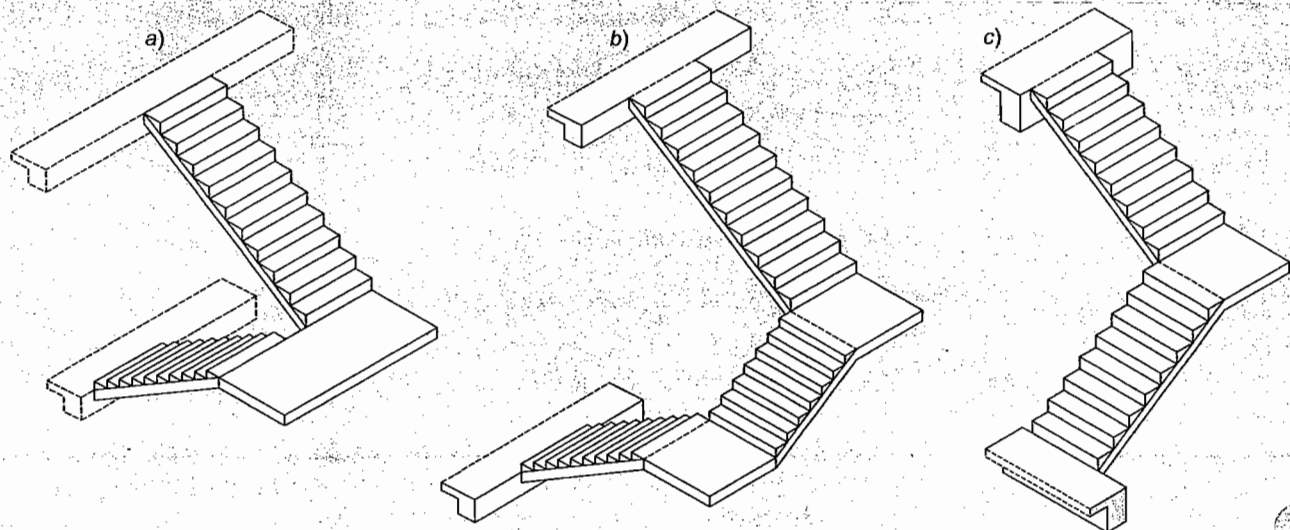
Sl. 5.19. Kutno stubište:
a) aksonometrija;
b) shema stubišta;
c) shema za momentno djelovanje;
d) membransko djelovanje



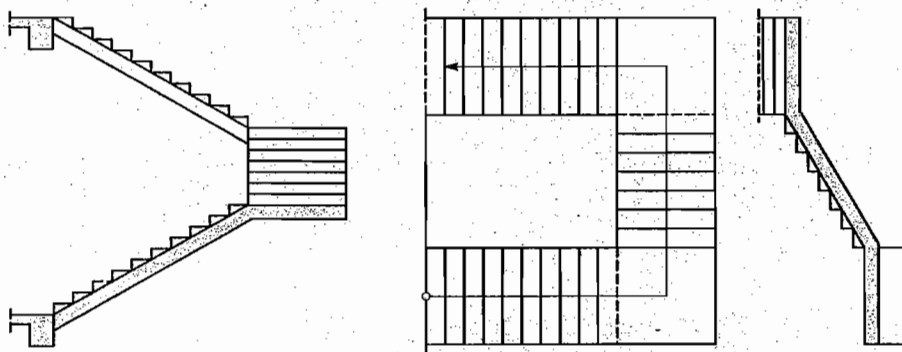
5.3.5. Slobodna stubišta

To su stubišta u kojih međupodesti nemaju vanjskih ležajeva već se stubište oslanja samo na donju i gornju stropnu konstrukciju. Stubište može biti:

- dvokrako U-stubište (protusmjerno i paralelno) – sl. 5.20a
- dvokrako L-stubište (kutno) – sl. 5.20c
- trokrako stubište – sl. 5.20b i sl. 5.21.



Sl. 5.20. Slobodna stubišta:
a) dvokrako U (protusmjerno i paralelno); b) trokrako;
c) dvokrako L (kutno)



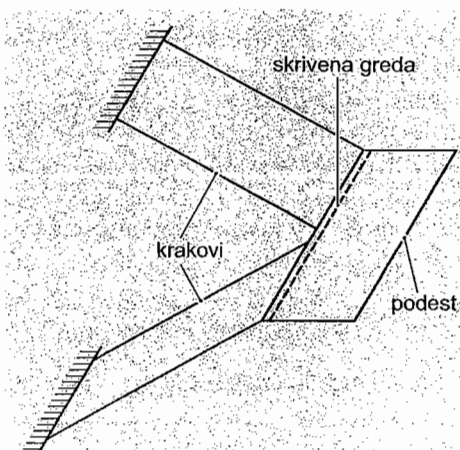
Sl. 5.21. Trokrako slobodno
stubište: tlocrt i dva bokocrt

Slobodna su stubišta s oblikovnog aspekta zanimljiva i atraktivna, pa se i predviđaju u odgovarajućim okolnostima – npr. za velika predvorja reprezentativnih zgrada. Slobodna stubišta pripadaju u stubišta s membranskim djelovanjem, ali je stanje unutarnjih sila znatno složenije i nepovoljnije u odnosu na dosad razmatrane sustave.

U daljnjem tekstu obradit ćemo samo **dvokrako paralelno i protusmjerno stubište**. Kao što će se vidjeti iz primjera koji slijede, detalji arhitektonskog i konstruktivnog rješenja znatno utječu jedni na druge pa to treba uzeti u obzir.

Nosiva konstrukcija stubišta jednoga kata (sl. 5.22.) sastoji se od:

- ploča donjeg i gornjeg kraka
- ploče podesta i
- skrivene grede u podestu na mjestu kontakta s krakovima.



Sl. 5.22. Konstrukcija dvokrakog paralelnog i protusmjernog stubišta: shema i sastavni dijelovi

Poželjno je da su bridovi duž kojih se sastaju gornje plohe ploče krakova i podesta te bridovi duž kojih se sastaju donje plohe krakova i podesta u istoj vertikalnoj ravnini (sl. 5.23., 5.24. i 5.25.). Iz toga slijedi da je debljina ploče podesta:

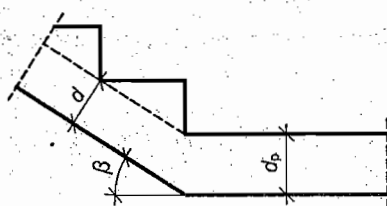
$$d_p = d / \cos \beta.$$

Glede debljine ploče podesta dva su različita rješenja. Rješenje s najtanjim podestom (sl. 5.24.) primjenjuje se za uska stubišta i ima nešto deblje ploče krakova. Debljine su ploča podesta i krakova prema gornjoj formuli. Za šira stubišta bira se rješenje s debljim podestom (sl. 5.25.) i u tom su slučaju nešto tanje ploče krakova. Debljina je ploče podesta:

$$d_p = d / \cos \beta + s.$$

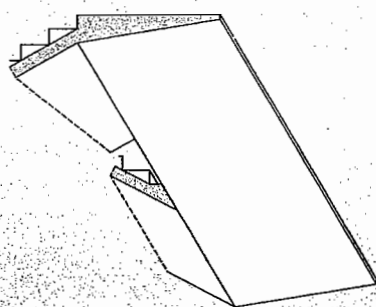
Sl. 5.23. Spoj ploča kraka i podesta

Sl. 5.24. Rješenje za uska stubišta (presjek)

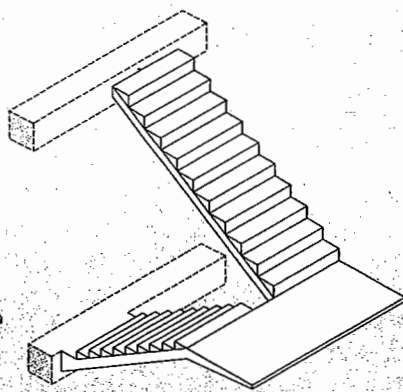


Sl. 5.25. Rješenje za šira stubišta:

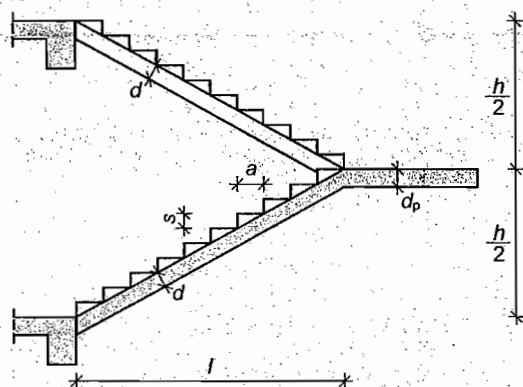
- a) pogled odozdo;
- b) aksonometrija;
- c) presjek



a)



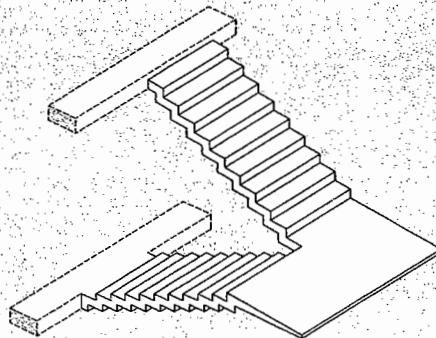
b)



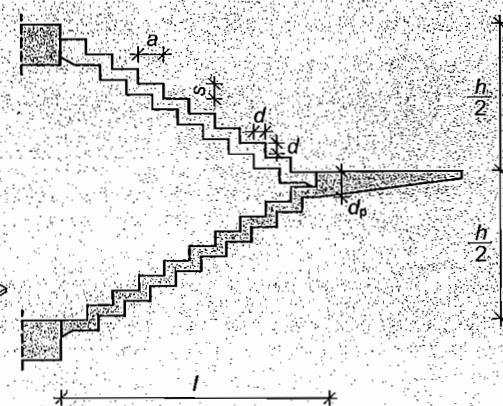
c)

Sl. 5.26. Slobodno stubište kao naborana ploča:

- a) aksonometrija;
- b) presjek



a)



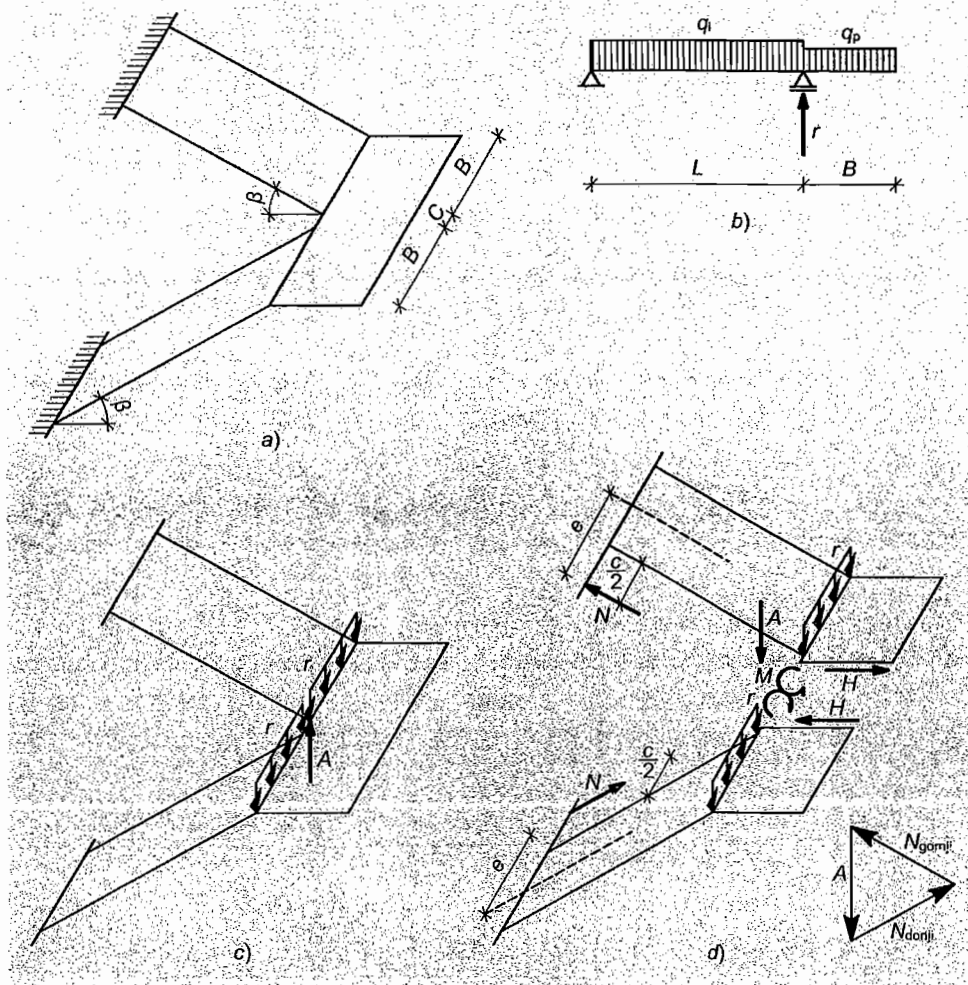
b)

Slobodno stubište može se izvesti i kao naborana ploča (sl. 5.26.). Za taj slučaj vrijedi:

$$d_p = d + s.$$

Takvo se stubište može odabrati iz oblikovnih razloga, no treba primijetiti da je to rješenje skuplje zbog složenije oplata i armature.

Način prijenosa opterećenja kod **slobodnog U-stubišta** prilično je složen. Prikazuje se za ukupno opterećenje koje djeluje na oba kraka i na podestu (sl. 5.27.). Za momentno djelovanje shema je greda s prepustom (sl. 5.27b) – dobivaju se momenti savijanja ploče podesta i krakova, te reakcija r [kN/m] na prijelomu. Ta reakcija uzeta kao akcija predstavlja opterećenje za membransko djelovanje (sl. 5.27c). Za prvi trenutak pretpostavimo postojanje ležaja na sredini pregiba. Skrivena greda na pregibu djeluje kao obostrana konzola pa dobivamo negativne momente M u toj gredi i reakciju A u sredini. Negativni momenti imaju često znatne veličine pa je zato potrebna veća debljina podesta uz pregib. Kada sustav opteretimo s reakcijom A kao akcijom, tu silu preuzimaju krakovi u svojim ravninama (sl. 5.27d). Pritom je visina presjeka koji preuzimaju sile N_g i N_d jednaka širini kraka, a širina presjeka jednaka je debljini kraka. Donji je krak opterećen na ekscentrični tlak, a gornji na ekscentrični vlak.



Sl. 5.27. Način prijenosa opterećenja kod slobodnog U-stubišta:

- a) shema konstrukcije;
- b) shema i opterećenje za momentno djelovanje;
- c) shema i opterećenje za membransko djelovanje;
- d) način prijenosa sile A (zbroja opterećenja r) na krakove

■ **Primjer:** Da se ilustriraju mogućnosti takvog stubišta, prikazuje se primjer slobodnog U-stubišta. Presjek stubišta prikazan je na slici 5.25. Zadano je:

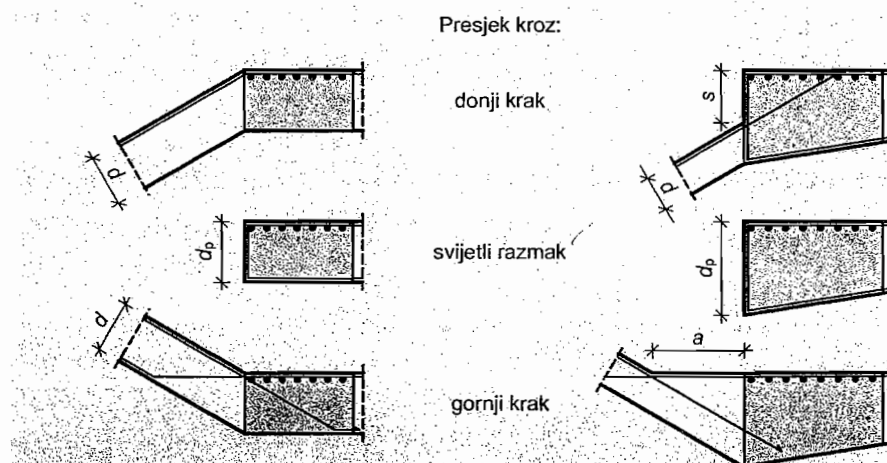
- visina kata $h = 3,25 \text{ m}$
- dužina krakova $L = 3,00 \text{ m}$
- širina krakova i podesta $B = 1,50 \text{ m}$
- razmak između krakova $C = 0,30 \text{ m}$.

Dakle, ima 10 stuba: širina je pojedine stuba $a = 30 \text{ cm}$, a visina $s = 16,25 \text{ cm}$. Kut nagiba kraka $\beta = 28,44^\circ$, dok je korisno opterećenje $p = 5,0 \text{ kN/m}^2$.

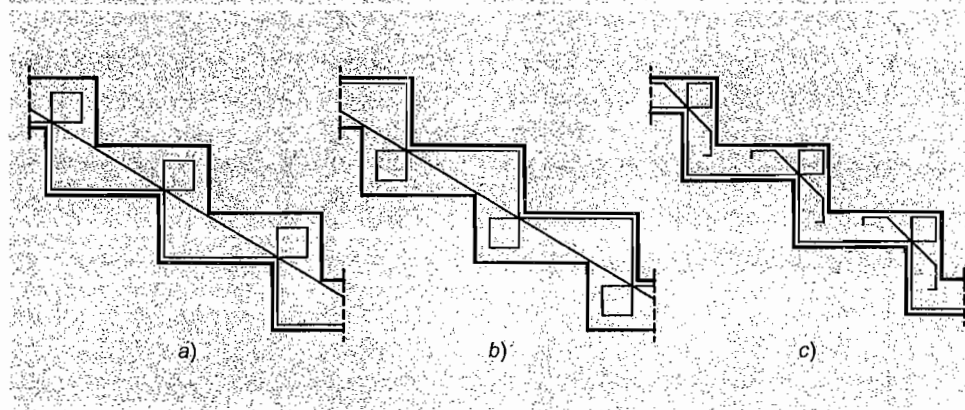
Debljina ploče kraka bira se $d_k = 12 \text{ cm}$, iz čega rezultira debljina ploče podesta na kontaktu s krakovima prema odgovarajućoj formuli: $d_p = 29,9 \approx 30 \text{ cm}$. Prema kraju ta se debljina stanjuje na $d_{pa} = 8 \text{ cm}$. Pod pretpostavkom kvalitete betona MB 30 dokazana je sigurnost opisane konstrukcije. Skrivena greda ima značajnu količinu armature (gore), dakle bilo je opravdano predvidjeti veću debljinu podesta.

Armiranje slobodnih stubišta prikazano je za pune ploče na slici 5.28., a za naborane ploče na slici 5.29. S obzirom na sve dosad rečeno, nisu potrebna dodatna objašnjenja. Kod naboranih ploča zbog membranskog djelovanja poželjna je deblja ploča tako da se ostvari mogućnost postavljanja ravnih kosih šipaka koje preuzimaju opterećenje u ravni krakova.

Sl. 5.28. Armiranje slobodnih stubišta – pune ploče:
lijevo – ploča s najtanjim podestom, desno – ploča s debljim podestom



Sl. 5.29. Armiranje slobodnih stubišta – naborane ploče:
a) deblja ploča, vlak dolje;
b) deblja ploča, vlak gore;
c) tanja ploča, vlak dolje



6. TEMELJENJE

6.1. UVOD

Temeljenje jest gradnja konstrukcijskih elemenata – temelja, koji prenose sile građevina na tlo, tako da deformacije i pomaci građevine ili njezinih dijelova zbog prekoračenja dopuštenog opterećenja ili zbijanja rahlog tla ostanu u granicama koje ne ugrožavaju njezinu stabilnost i funkcionalnost. Prilikom izvedbe zgrada temeljenje čine i podzemni radovi (iskop i dr.), velik dio grubih građevinskih radova. Ako se još radi o većim zgradama u gradskom okolišu, ti radovi zahtijevaju složene i skupe tehničke postupke koji često traju duže nego svi ostali građevinski radovi, tj. oni na vidljivom dijelu građevine. Građevina, temelji i tlo predstavljaju konstruktivnu cjelinu, pa vrste i način temeljenja ovise o:

- tipu i veličini građevine
- vrsti i svojstvima tla.

Sigurnost, uporabljivost i ekonomičnost zgrade često ponajviše ovise o:

- ispravnom odabiru vrste temelja
- ispravnoj izvedbi temelja.

Pogreške u temeljenju dovode do teških posljedica:

- prodori vode
- nejednolika slijeganja – naginjanje zgrada, oštećenja konstrukcijskih elemenata
- klizanja tla, zajedno s dijelom zgrade ili cijelom zgradom.

Otklanjanje takvih pogrešaka teško je i vrlo skupo, a gdjekad i nemoguće.

6.2. OSNOVNE INFORMACIJE O TLU

6.2.1. Općenito

Tlo je diskontinuirani materijal – sastoji se od stijena ili dijelova raspadnutih stijena koji se međusobno dodiruju u slučajnom rasporedu te od vode i plinova između tih dijelova. Znanstvena grana koja proučava ponašanje toga materijala jest **mehanika tla**. Svrha je mehanike tla određivanje:

- granične otpornosti i granične deformacije tla opterećenog temeljima građevina
- sila što djeluju na potporne konstrukcije
- graničnog i stabilnog nagiba prirodnih kosina, kosina nasipa i brana.

6.2.2. Svojstva tla

Tlo čine čestice razne veličine i oblika te pore. Poroznost je odnos volumena pora i volumena tla. Što je poroznost tla manja, to mu je veća posmična čvrstoća i manja deformabilnost, tj. promjena obujma od opterećenja. Ako su pore ispunjene zrakom, deformacija je trenutna, a ako su ispunjene vodom, trajanje deformacija pada s propusnošću tla za vodu, tj. s veličinom čestica – npr. za krupni šljunak deformacija je trenutna, a za glinu koja ima kapilarne pore deformacija je vrlo dugotrajna (i po 50 do 100 godina).

Konsolidacija tla je proces istiskivanja vode iz pora i preraspodjele opterećenja s vode na mineralni skelet, praćene odgovarajućim smanjenjem obujma tla, tj. slijevanjem.

6.2.3. Glavne karakteristike temeljnih tala s usporedbom njihovih svojstava

Glavne vrste temeljnih tala jesu:

- stijena
- šljunak
- pijesak
- prah
- glina
- organsko tlo.

Pritom je stijena više ili manje kompaktno tlo, dok se ostala tla sastoje iz pojedinih čestica. Organsko tlo ne smije se koristiti za temeljenje zbog nestabilnosti obujma koja je izazvana raspadom organskih tvari. Stijena je kudikamo najbolje temeljno tlo, nosivosti najmanje 500 kN/m^2 , uz neznatne deformacije. Tla se razlikuju i po tome postoji li kohezija između pojedinih čestica ili ne. Tako su šljunak i pijesak nekoherentna tla, a prah i glina – koherentna tla. Usporedba svojstava raznih vrsta tala može se pratiti u tablici 6.1. Treba napomenuti da je pri nabrojanju vrsta temeljnog tla spomenuta samo osnovna podjela. S podvrstama klasifikacija poznaje više od 20 vrsta temeljnog tla, a često su i dvije vrste pomiješane.

Tabl. 6.1. Usporedba svojstava raznih vrsta tala

Vrsta tla	Veličina čestica [mm]	Nosivost	Vodopropusnost	Slijevanje
stijena	–			
šljunak	60 – 2			
pijesak	2 ... 0,06			
prah	0,06 ... 0,002			
glina	0,002			

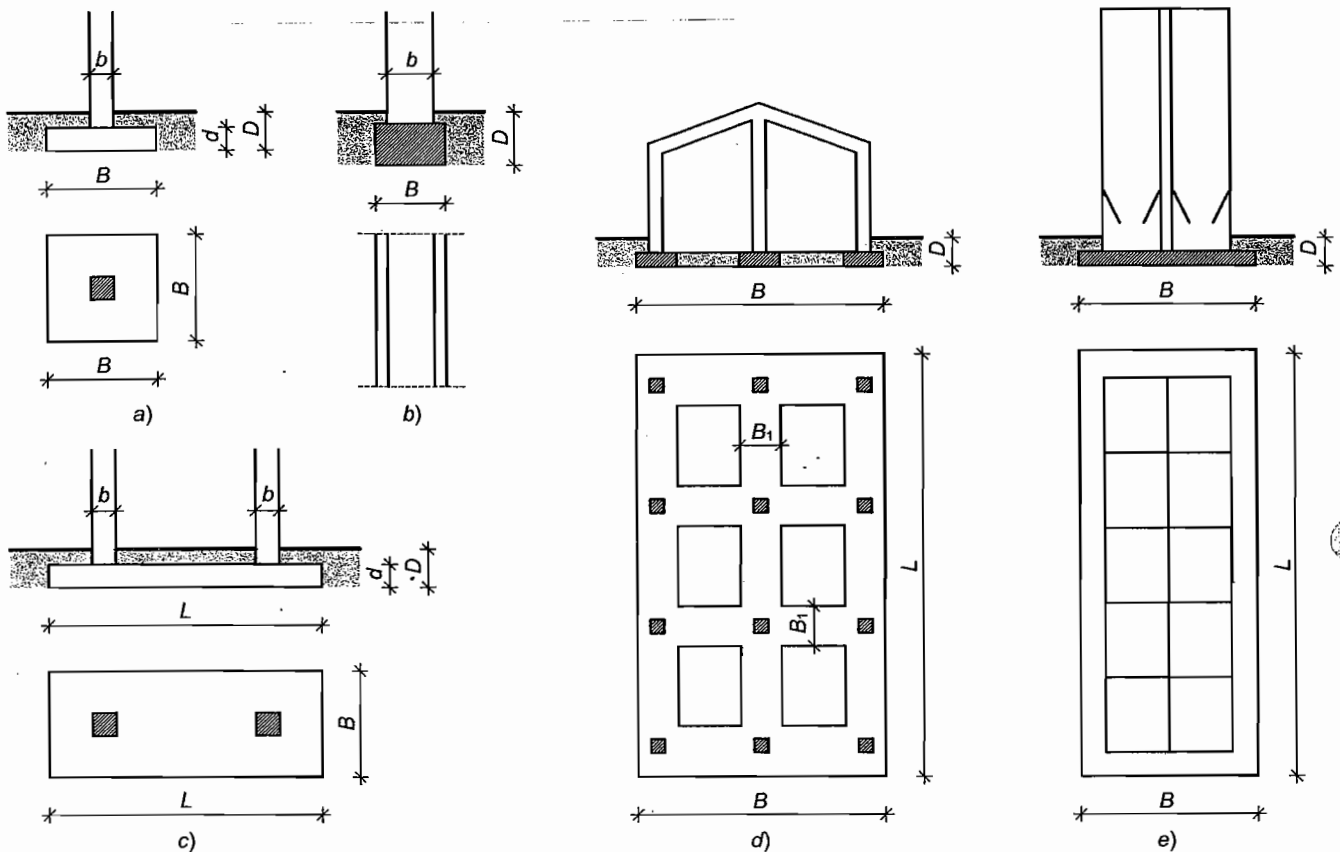
6.3. VRSTE TEMELJA ZGRADA

Temelji zgrada dijele se na:

- a) plitke temelje
- b) duboke temelje
- c) kompenzirane temelje.

a) **Plitki temelji** predviđaju se za slučaj postojanja tla dovoljne nosivosti na maloj dubini. Vrste plitkih temelja (sl. 6.1.) jesu:

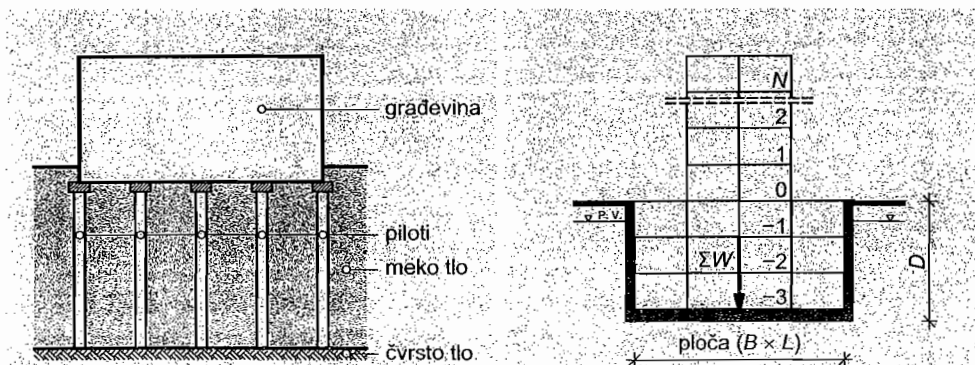
- samci ili pojedinačni temelji – za temeljenje pojedinih stupova
- temeljne grede – za temeljenje jednog niza stupova
- temeljne trake – za temeljenje zidova
- roštilj temeljnih grēda – za temeljenje više nizova stupova
- temeljna ploča – za temeljenje zidova u dva smjera ili više nizova stupova.



- Sl. 6.1. Vrste plitkih temelja:
- a) samci ili pojedinačni temelji;
 - b) temeljne trake;
 - c) temeljne grede;
 - d) roštilj temeljnih greda;
 - e) temeljna ploča
- b) **Duboki temelji** predviđaju se u slučaju slabog tla na maloj dubini. Konstrukcija zgrade leži na roštilju naglavnih greda ili na naglavnoj ploči, pod kojima su piloti koji su zabijeni ili izrađeni do nosivoga tla (sl. 6.2.).
- c) **Kompenzirani temelji** primjenjuju se za temeljenje zgrada s podzemnim prostorima znatne visine (više etaža) na tlu slabe nosivosti ili velike stješljivosti. Temelj se ukopava do znatne dubine, čime se – zbog opterećenja uklanjanjem iskopanog tla – smanjuju naponi u stopi temelja (sl. 6.3.). Veličina je ukupnog napona tla u stopi temelja:

$$\sigma_{tla} = \Sigma W / (B \cdot L) - D \cdot \gamma_{tla}$$

gdje je drugi član opterećenje zbog uklanjanja iskopanog tla. Taj član može – u slučaju umjerene visine zgrade i velike dubine ukopavanja – biti i veći od prvog člana. To rješenje ima za posljedicu veliku i duboku građevnu jamu, za koju je redovito potrebno izraditi poseban projekt.



Sl. 6.2. Duboki temelji
Sl. 6.3. Kompenzirani temelji

6.4. ODREĐIVANJE SVOJSTAVA TLA

Poznavanje svojstava tla bitan je preduvjet za uspješno projektiranje temelja i čitave građevine. Kako ta svojstva općenito nisu poznata, treba provesti odgovarajuće istražne radove. To mogu biti – idući od jednostavnijih prema složenim građevinama:

- iskop sondažnih jama i vizualni pregled tla – za manje, npr. obiteljske zgrade i prethodno poznavanje svojstava tla na temelju okolnih zgrada;
- probno bušenje s uzimanjem uzoraka na raznim dubinama i njihovih ispitivanja u laboratoriju, kojima se određuju geotehničke karakteristike tla – standardno rješenje za višekratne zgrade;
- specijalni istražni radovi, npr. geoseizmička mjerenja, kojima se određuju svojstva šireg područja tla oko zgrade glede širenja seizmičkih valova radi što točnijeg proračuna na djelovanje potresa – primjenjuju se razmjerno rijetko i samo za osobito važne zgrade (npr. za zgradu Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu).

Rezultati istražnih radova sadržani su u **geotehničkom elaboratu** koji za određenu zgradu, definiranu položajnim nacrtom i približnim podacima o ukupnom opterećenju, daje:

- sastav temeljnog tla s eventualnim geotehničkim profilima (vertikalnim presjecima tla na mjestu zgrade)
- dopuštene napone na kontaktu temeljne stope i tla – u ovisnosti o karakteru temelja (samac, traka, greda, ploča) i njihovih dimenzija
- veličine očekivanih slijezanja, i to jednolikih, te (to je osobito važno!) nejednolikih slijezanja.

Ti su podaci osnova za odabir najpovoljnijeg tipa temelja i proračun njihovih dimenzija, kao i za eventualno potrebna rješenja konstrukcije zgrade (npr. ako se očekuju nejednolika slijezanja).

6.5. OSTALI ZAHTJEVI ZA TEMELJE

Osim zahtjeva nosivosti na temelje se, kao i na zgradu u cjelini, postavlja i zahtjev **stabilnosti**. Stabilnost može biti ugrožena prevrtanjem i klizanjem. Pomoću slike 6.4. objasniti ćemo prevrtanje i klizanje, kao i to kako postići dostatnu sigurnost protiv tih neželjenih pojava. Zbog djelovanja sile H postoji tendencija prevrtanja zgrade oko točke A. Pritom je moment prevrtanja:

$$M_{\text{prev}} = H \cdot h$$

a moment stabilnosti (koji se suprotstavlja momentu prevrtanja):

$$M_{\text{stab.}} = V \cdot a.$$

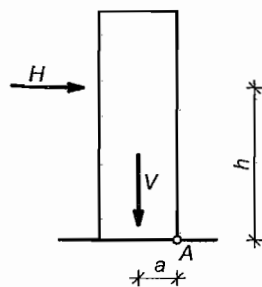
Sigurnost protiv prevrtanja izražava se koeficijentom:

$$\gamma_{\text{stab, prev}} = M_{\text{stab.}} / M_{\text{prev}}$$

koji mora imati veličinu između 1,5 i 2 da bi se sigurnost smatrala dostatnom. Sila H mogla bi – osobito kod nižih zgrada – izazvati i klizanje, tj. pomak paralelan pravcu djelovanja te sile. Dovoljna sigurnost protiv klizanja postoji ako je odnos horizontalne sile koja djeluje u stopi temelja prema istodobno djelujućoj vertikalnoj sili:

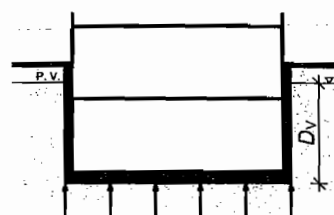
$$H/N \leq (0,25 \text{ do } 0,6).$$

Taj „dopušteni koeficijent trenja” ovisi o vrsti tla.



Sl. 6.4. Shematski crtež zgrade opterećene horizontalnim opterećenjem

Sile **uzgona** na građevine u podzemnoj vodi (sl. 6.5.) umanjuju ukupnu vertikalnu silu od težine i ostalih opterećenja zgrade, što treba uzeti u obzir pri razmatranju sigurnosti protiv prevrtanja i klizanja. Naime, uvidom u jednadžbe za koeficijente sigurnosti protiv prevrtanja i klizanja vidi se da se ti koeficijenti smanjuju sa smanjenjem vertikalnog opterećenja. U ekstremnom slučaju – kada je velika dubina D_v i mala težina zgrade – postoji čak opasnost da zgrada „ispliva“.

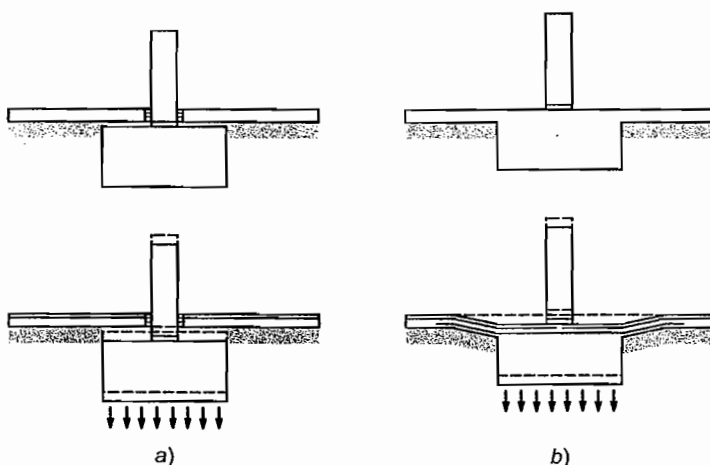


Stopa temelja treba biti na dubini na kojoj tlo nije izloženo smrzavanju jer inače, osobito u koherentnim tlima, može doći do smrzavanja vode u tlu i mjestimičnog podizanja temelja, koje može uzrokovati oštećenja zgrade (vidjeti „Nosive konstrukcije I“, 8. poglavlje). To se najčešće odnosi samo na vanjske temelje, odnosno slučajeve kada je tlo izloženo atmosferilijama. Najmanja dubina temeljenja u nas uzima se jednakom 80 cm, često i 1 m zbog moguće neravnosti terena.

Sl. 6.5. Na građevine u podzemnoj vodi djeluje i sila uzgona

6.6. UČINCI SLIJEGANJA

Zbog opterećenja na temelje dolazi do deformacija temeljnog tla, što ima za posljedicu **slijeganja** koja normalno iznose nekoliko centimetara, a u pojedinim slučajevima mogu iznositi i više desetaka centimetara. Na slici 6.6. prikazane su moguće posljedice nejednakog slijeganja stupa i susjedne podne ploče. Ako ploča nije povezana sa stupom, ona nakon razlike slijeganja ostaje „visjeti“ kao konzola nakon slijeganja temelja, pa je zato treba armirati u gornjoj zoni (sl. 6.6a). Za ploču povezanu s temeljem dolazi do zajedničkog slijeganja i treba predvidjeti odgovarajuću armaturu da se ploča ne odvoji od temelja (sl. 6.6b).

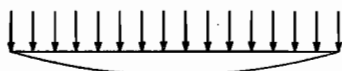
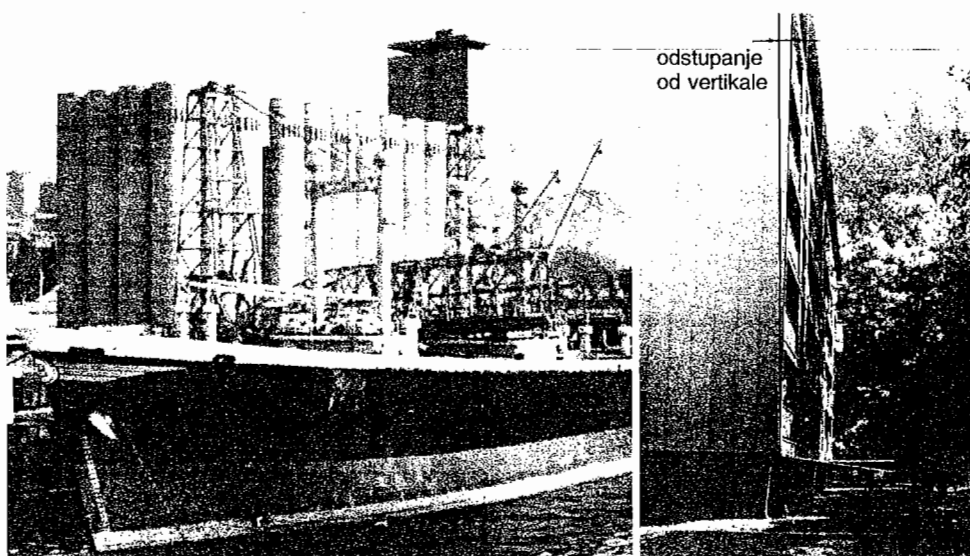


Sl. 6.6. Nejednaka slijeganja stupa i okolne ploče:
a) ploča dilatirana od stupa;
b) ploča povezana sa stupom

Dva slučaja – jedan s velikim, a drugi s nejednolikim slijeganjima prikazana su na slikama 6.7. i 6.8. Silos u riječkoj luci (sl. 6.7.) težine 60 000 tona, temeljen je na ploči i predviđena su slijeganja od 45 cm, a stvarna su slijeganja iznosila 50 cm. Kako su slijeganja jednolika i bila su uzeta u obzir prilikom projektiranja svih priključaka (željeznička pruga, rampe, toranj s dizalicama), silos funkcionira bez teškoća. Stambena zgrada u Zagrebu (sl. 6.8.) nagnula se jer je došlo do nejednolikog slijeganja. Da se spriječi daljnje nagnjanje, naknadno su poduhvaćeni temelji na strani većega slijeganja temelja.

Sl. 6.7. Silos za žito u riječkoj luci, težine 60 000 t

Sl. 6.8. Stambena zgrada u Zagrebu, koja se nagnula zbog nejednolikog slijeganja



Sl. 6.9. S dužinom zgrade raste i veličina slijeganja zbog povećane dubine plohe slijeganja

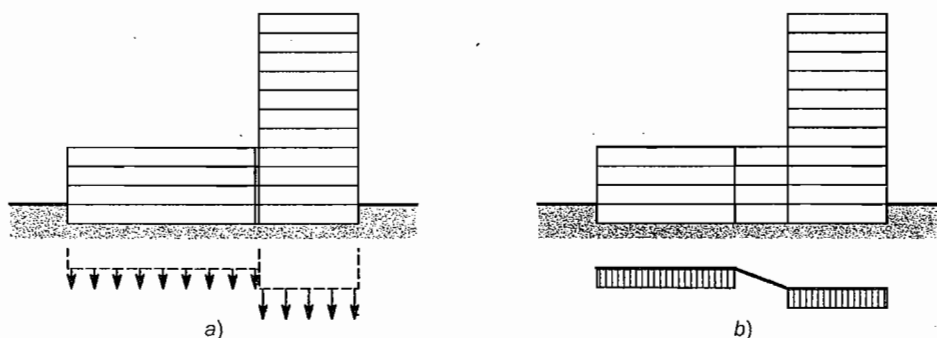
Osjetljivost zgrade na **nejednolika slijeganja** ovisi o nekoliko okolnosti:

- o sastavu tla: nejednolika slijeganja bit će manja ako je sastav tla jednoličan, a veća ako je nejednoličan
- o veličinama opterećenja temelja: nejednolika slijeganja bit će veća ako razni dijelovi zgrade imaju razne veličine opterećenja (npr. zbog različite katnosti)
- o dužini zgrade: s dužinom zgrade raste dubina plohe slijeganja, a time i veličina slijeganja (sl. 6.9.)
- o statičkom sustavu konstrukcije zgrade: manja je osjetljivost pri statički određenoj konstrukciji jer se ona slobodno deformira, dok kod statički neodređenih konstrukcija dolazi do dodatnih sila zbog spriječenih deformacija
- o gradivu konstrukcije zgrade: veća je osjetljivost ako gradivo nema dovoljnu otpornost da preuzme sile od nejednolikih slijeganja, npr. zidovi od opeke nasuprot zidovima od armiranog betona.

Ako se očekuju nejednolika slijeganja, mogu se poduzeti dvije vrste mjera:

- 1) Slijeganja omogućiti bez štete za konstrukciju zgrade (sl. 6.10.). To se može učiniti:
 - predviđanjem dilatacijskih reški kojima se dijelovi konstrukcije u kojih se očekuje različito slijeganje potpuno odvajaju (sl. 6.10a)
 - omogućivanjem pomaka unutar zgrade predviđanjem jednog polja sa statički određenom konstrukcijom (npr. predgotovljenim gredama).

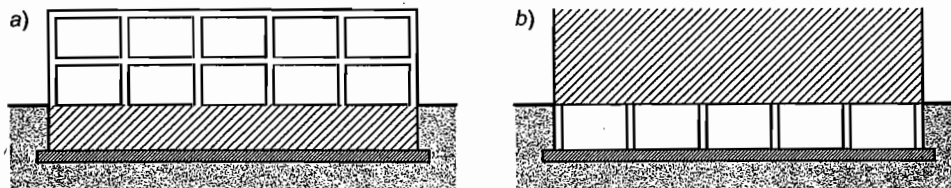
Sl. 6.10. Omogućivanje različitih slijeganja bez štete za konstrukciju zgrade:
a) dilatacijom različito opterećenih dijelova konstrukcije;
b) omogućivanjem pomaka unutar zgrade



2) Slijeganja spriječiti krutom konstrukcijom zgrade koja može preuzeti sile od spriječenih nejednolikih deformacija (sl. 6.11.). Ta se kruta konstrukcija može primjerice nalaziti:

- u podrumskoj etaži, a sastoji se obično od obodnih i eventualno unutarnjih zidova, koji zajedno sa stropnom i temeljnom pločom čine sandučasti presjek velike krutosti i nosivosti (sl. 6.11a)
- u gornjim etažama gdje zidovi imaju visinu više etaža.

U oba slučaja zidovi preuzimaju vrlo velike momente savijanja.



Sl. 6.11. Sprečavanje nejednolikih slijeganja krutom konstrukcijom zgrade:
a) krutom konstrukcijom u podrumskoj etaži;
b) krutom konstrukcijom u gornjim etažama

6.7. PLITKI TEMELJI

6.7.1. Pojedinačni temelji

6.7.1.1. Centrično opterećenje

Pojedinačni temelji preuzimaju sile opterećenja stupova. Ako je opterećenje centrično i samo vertikalno, najpovoljniji je kvadratični oblik, osim ako neki drugi razlozi ne zahtijevaju drugi oblik (granica parcele, susjedni konstrukcijski elementi).

Potrebna je ploština stopa temelja (sl. 6.12.):

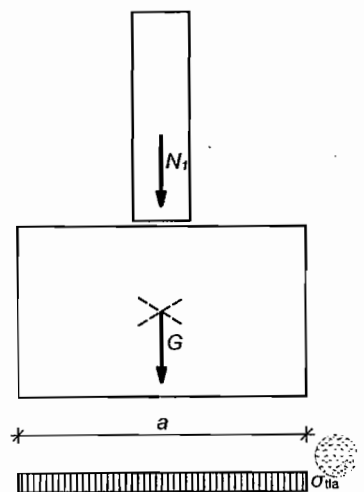
$$A_{\text{potr}} = N / \sigma_{\text{dop, tla}},$$

gdje je N ukupna sila u stopi temelja koja predstavlja zbroj sile stupa i vlastite težine temelja:

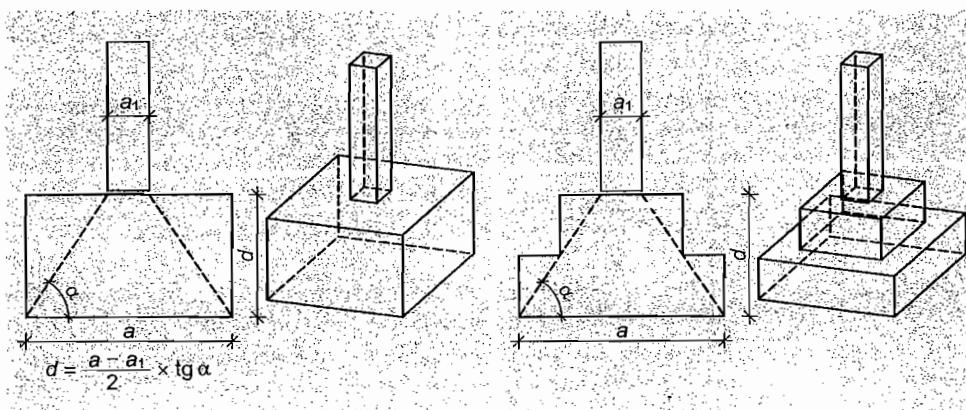
$$N = N_1 + G.$$

Težina temelja G razmjerno je velika i ne može se zanemariti. Dakle, ploština temelja ne može se izravno dobiti po gornjoj formuli jer je za izračun težine temelja trebamo već znati. Dakle, zadatak se može riješiti iterativno ili – što je češće – povećavajući silu u stupu za određeni iznos (5 do 15%, u ovisnosti o kvaliteti tla), te kasnijom kontrolom napona u stopi temelja:

$$\sigma_{\text{tla}} = N/A \leq \sigma_{\text{dop, tla}}.$$



Sl. 6.12. Centrično opterećenje pojedinačnog temelja



Sl. 6.13. Nearmirani pojedinačni temelj

Sl. 6.14. Pojedinačni nearmirani temelj u stepenastoj izvedbi

Pojedinačni temelji mogu biti nearmirani ili armirani. Kod **nearmiranih pojedinačnih temelja** opterećenje se raspodjeljuje („širi“) pod kutom $\alpha = 45^\circ$ do 63° ($\operatorname{tg} \alpha = 1,0$ do $2,0$), ovisno o kvaliteti betona i veličini napona tla. Kut α može se pretpostaviti približno sa 60° ($\operatorname{tg} \alpha = 1,7$). Sada se potrebna debljina temelja može dobiti po formuli:

$$d = \frac{(a - a_1) \operatorname{tg} \alpha}{2}$$

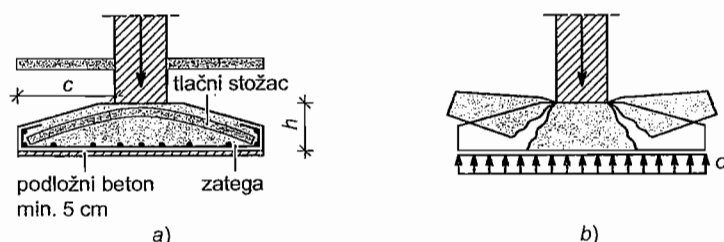
Kod nešto većih temelja može se stepenastom izvedbom uštedjeti nešto betona, ali taj način zahtijeva izvedbu u dvije faze i malo složeniju oplatu (sl. 6.14.).

Najekonomičnija je izvedba bez oplata, dakle kada je moguće obaviti iskop s vertikalnim stranicama (stijena, koherentno tlo) i odmah izbetonirati temelj. Nearmirani temelji upotrebljavaju se prije svega za manje temelje ($A = 1$ do $1,5 \text{ m}^2$ ili manje). Za veće bi temelje nearmirani temelji zahtijevali veće debljine d (vidi gornju formulu i sl. 6.13a), a time velik utrošak betona i više iskopa, što bi bilo neekonomično. Dakle, za veće dimenzije „a“ bolje je izvesti **armirane temelje** (sl. 6.15.).

Da bi se mogla pretpostaviti jednolika raspodjela napona tla u stopi, temelj mora biti dovoljno krut. Osim toga, dovoljna debljina temelja potrebna je i da se izbjegne opasnost od probijanja. Dakle, treba zadovoljiti uvjet (sl. 6.15a):

$$c/h < 4.$$

Sl. 6.15. Armirani pojedinačni temelj: a) presjek, način prijenosa sila; b) opasnost od probijanja

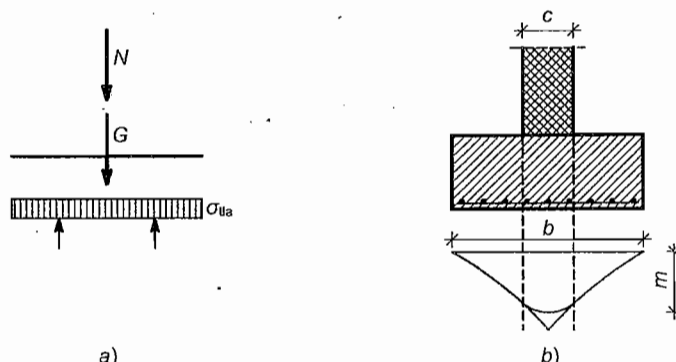


Način prijenosa sile iz stupa na tlo odlikuje se oblikovanjem tlačnog stošca unutar betona. Horizontalne komponente reakcije toga stošca uza stopu preuzima armatura u ulozi zatega, koje moraju biti dobro usidrene na krajevima. Da bi se olakšala izvedba i osigurala bolja zaštita armature od korozije, predviđa se redovito sloj podložnog betona debljine 5–10 cm. Kvadratični pojedinačni temelj djeluje kao obrnuta konzolna ploča, pri čemu naponi tla predstavljaju približno jednoliko rasprostrto opterećenje, a stup – ležaj (sl. 6.16a). Veličina momenata ploče u oba smjera po m širine iznosi (sl. 6.16b):

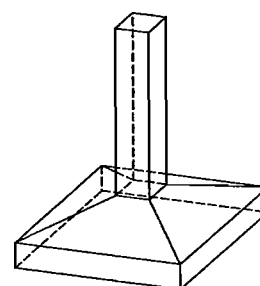
$$m = \frac{N \left(1 - \frac{c}{b}\right)}{8}$$

i na tu veličinu dimensionira se armatura ploče u oba smjera.

Sl. 6.16. Proračun pojedinačnoga armiranog temelja: a) shema i opterećenje ploče; b) presjek i momentni dijagram



Gornje stranice temelja mogu se izvesti i skošeno (sl. 6.17.) čime se sprječava zadržavanje vode na gornjoj površini temelja, a moguće je uštedjeti i nešto betona, pri čemu se ne utječe na statičku funkciju jer na mjestu najvećeg momenta i najveće opasnosti od proboja ostaje nesmanjena debljina temelja.

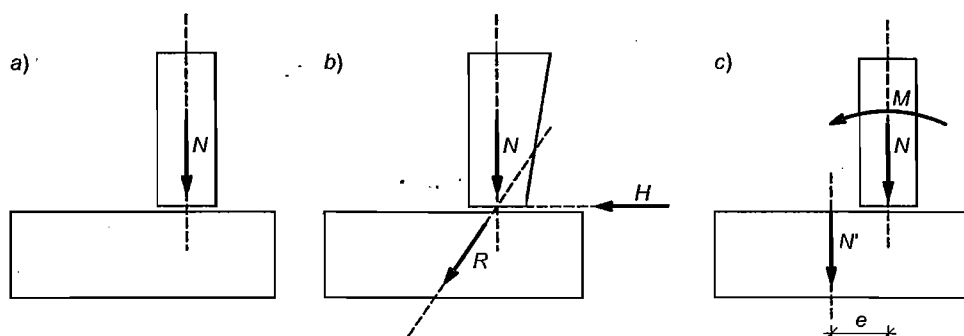


Sl. 6.17. Pojedinačni armirani temelj sa skošenim gornjim stranicama

6.7.1.2. Ekscentrično opterećenje

Slučajevi kada dolazi do ekscentričnog opterećenja temelja prikazani su na slici 6.18. To su ovi slučajevi:

- a) Temelj je smješten ekscentrično u odnosu na stup – to se događa zbog granice parcele ili blizine drugih konstrukcijskih elemenata.

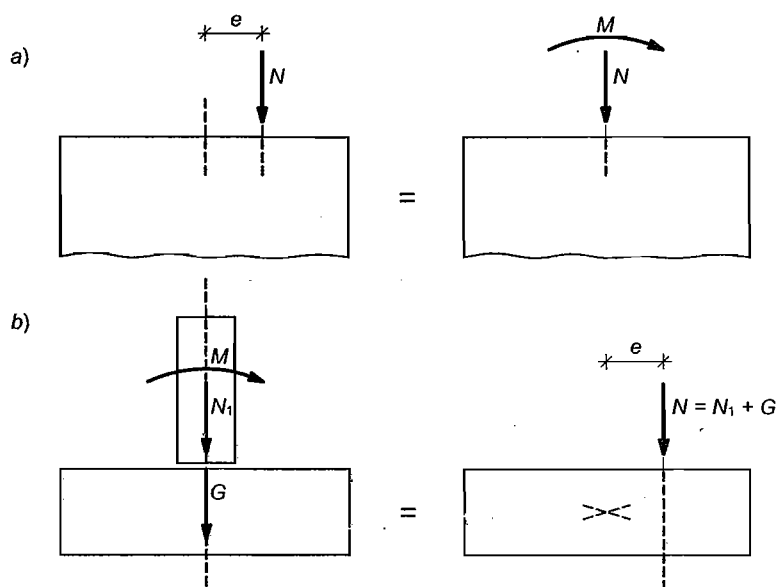


Sl. 6.18. Slučajevi ekscentričnog opterećenja pojedinačnog temelja:
a) stup postavljen ekscentrično na temelj;
b) djelovanje horizontalne sile;
c) djelovanje momenta upetosti

- b) Osim vertikalnog djeluje i horizontalna sila, što daje kosu rezultantu koja u stopi temelja ne djeluje ispod stupa.

- c) Stup je upet u temelj – tada moment upetosti uzrokuje pomak pravca na kojemu djeluje sila za iznos $e = M/N$.

Podsjetimo se: ekscentrično djelovanje sile jednako je istodobnom djelovanju uzdužne sile i momenta savijanja (sl. 6.19a). Pritom je veličina momenta $M = N \cdot e$.



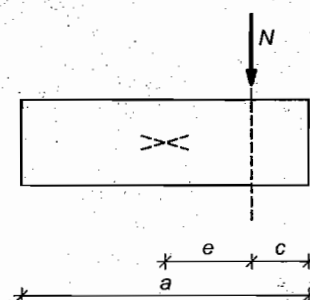
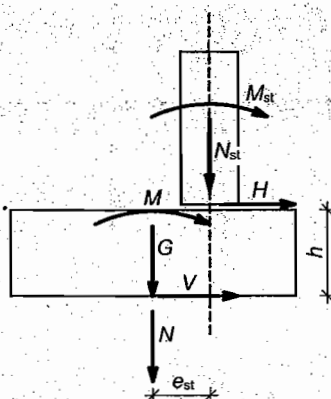
Sl. 6.19. Ekscentrično djelovanje sile od stupa na temelj: a) moment od ekscentričnog djelovanja sile; b) pomak ukupne sile od momenta upetosti

U slučaju upetog stupa s momentom upetosti M djelovanje sile $N = N_1 + G$ i momenta M može se zamijeniti djelovanjem sile N na pravcu koji je pomaknut za iznos $e = M/N$. Dakle u najopćenitijem slučaju, kada imamo i ekscentrično djelovanje stupa i djelovanje horizontalne sile na temelj i djelovanje momenta upetosti stupa (sl. 6.20.) u težištu stupa, djeluju:

- horizontalna sila V (sila klizanja koja je kod temelja zgrada najčešće bez značenja, dok kod potpornih zidova treba provjeriti sigurnost na klizanje)
- vertikalna sila na temelj $N = N_{st} + G$
- moment $M = M_{st} + N_{st} \cdot e_{st} + H \cdot h$.

Sl. 6.20. Općeniti način opterećenja pojedinačnog temelja

Sl. 6.21. Veličine e i c važne za procjenu sigurnosti na prevrtanje

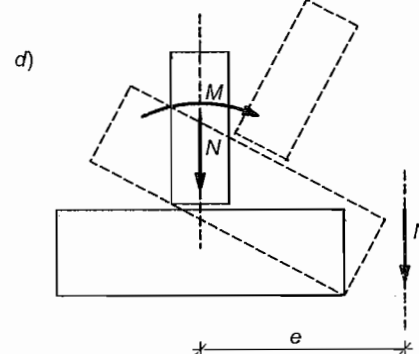
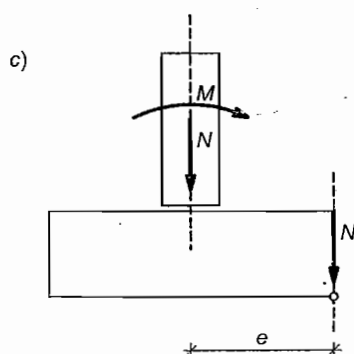
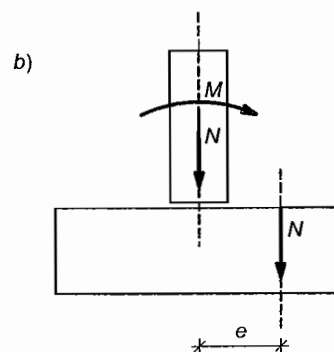
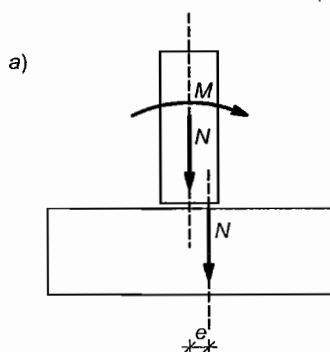


Ekscentričnost uzdužne sile iznosi $e = M/N$. Za djelovanje M i N provjeravaju se:

- naponi tla u stopi temelja
- sigurnost na prevrtanje.

Za sigurnost na prevrtanje mjerodavno je mjesto na kojemu rezultanta presijeca stopu temelja (sl. 6.21.). Sigurnost na prevrtanje dovoljna je ako ta točka nije bliža rubu od $c = a/6$, tj. za veličinu ekscentričnosti $e \leq a/3$.

Sl. 6.22. Razne veličine ekscentričnosti resultantne sile i sigurnost na prevrtanje:
a) mala ekscentričnost;
b) velika ekscentričnost;
c) labilna ravnoteža;
d) prevrtanje

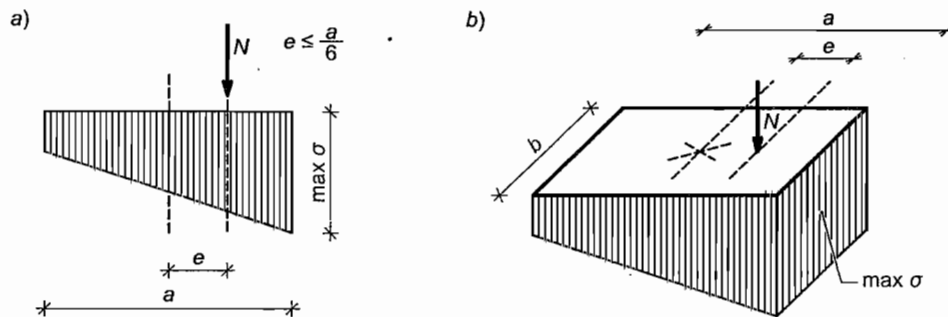


Objašnjenje: Lako je dokazati da je temelj s velikom vertikalnom silom i malim momentom stabilniji od temelja s malom vertikalnom silom i velikim momentom (sl. 6.22a–b). Naime, u ovom posljednjem slučaju mnogo je veća ekscentričnost $e = M/N$ pa rezultanta dolazi bliže rubu. Ako rezultanta prolazi samim rubom (sl. 6.22c), temelj je u labilnoj ravnoteži, tj. neposredno pred prevrtanjem, dok za slučaj rezultante izvan ruba kontaktne plohe (sl. 6.22d) dolazi do prevrtanja temelja. Gore spomenuti uvjet $c \geq a/6$, odnosno $e \leq a/3$, daje koeficijent sigurnosti protiv prevrtanja $\gamma_{prev} \geq 1,5$.

• Ako pretpostavimo da je tlo **elastični medij**, naponi tla određuju se kao za presjeke u materijalu koji može podnijeti samo tlačna naprezanja. Ako rezultanta leži u srednjoj trećini kontaktne plohe, tj. za $e \leq a/6$ (sl. 6.23.) vrijedi formula:

$$\sigma = N/A + M/W,$$

gdje je $A = a \cdot b$ ploština presjeka, dok je $W = b \cdot a^2/6$ moment otpora.

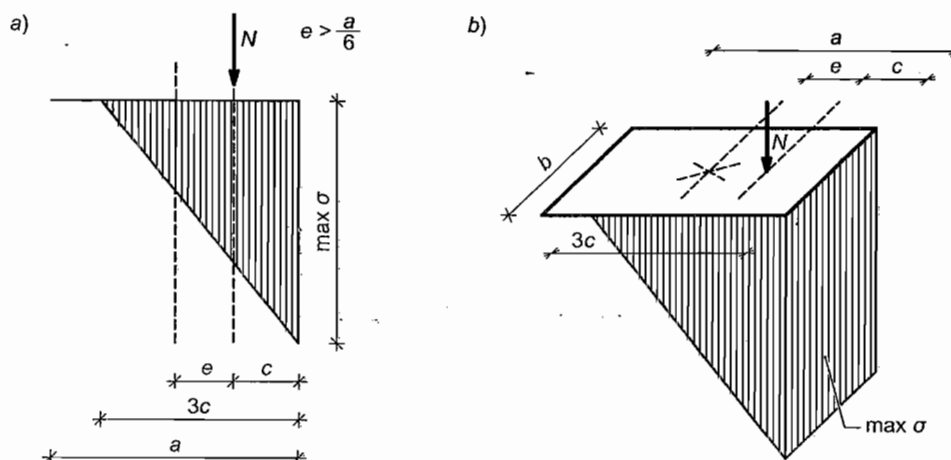


Sl. 6.23. Naponi u tlu (elastični medij) pri rezultanti u srednjoj trećini presjeka: a) presjek u ravnini djelovanja momenta; b) aksonometrija

U slučaju $e > a/6$ otvara se reška u stopi temelja zbog nemogućnosti preuzimanja vlačnih sila (sl. 6.24.). Sila N prolazi težištem preostalog trokuta napona, tj. kroz trećinsku točku, dakle dužina je toga trokuta (jednaka dužini kontaktne plohe) jednaka $3c$. Time je veličina najvećeg napona na rubu jednaka:

$$\sigma_{max} = 2N/(3cb),$$

gdje je $c = a/2 - e$. Dopušteni je rubni napon tla za 30% veći od dopuštenog napona tla kod centričnog opterećenja.



Sl. 6.24. Naponi u tlu kod rezultante izvan srednje trećine (otvara se reška u stopi temelja): a) presjek u ravnini djelovanja momenta; b) aksonometrija

- Ako, međutim, pretpostavimo da je tlo **plastični medij** (to pretpostavlja trenutačno postojeći propisi za proračun temelja), to znači da se pojavljuju jednoliko rasprostrti naponi tla, s time da je rezultanta napona tla na istom pravcu s rezultantom vertikalnog opterećenja (sl. 6.25.). Veličina napona tla za taj slučaj jest:

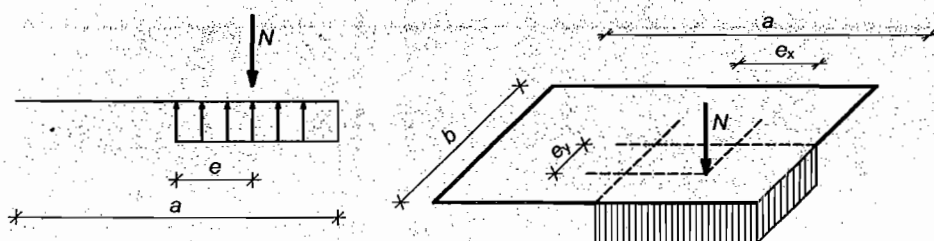
$$\sigma_{tla} = N/[2(a/2 - e)b] = N/[(a - 2e)b].$$

Na isti način, razmjerno jednostavno, određuje se napon tla i u slučaju da djeluje sila s dva momenta savijanja, pri čemu su ekscentričnosti jednake: $e_x = M_x/N$ i $e_y = M_y/N$ (sl. 6.26.). Po analogiji s gornjim izrazom, veličina napona tla iznosi:

$$\sigma_{tla} = N/[(a - 2e_x) \cdot (b - 2e_y)].$$

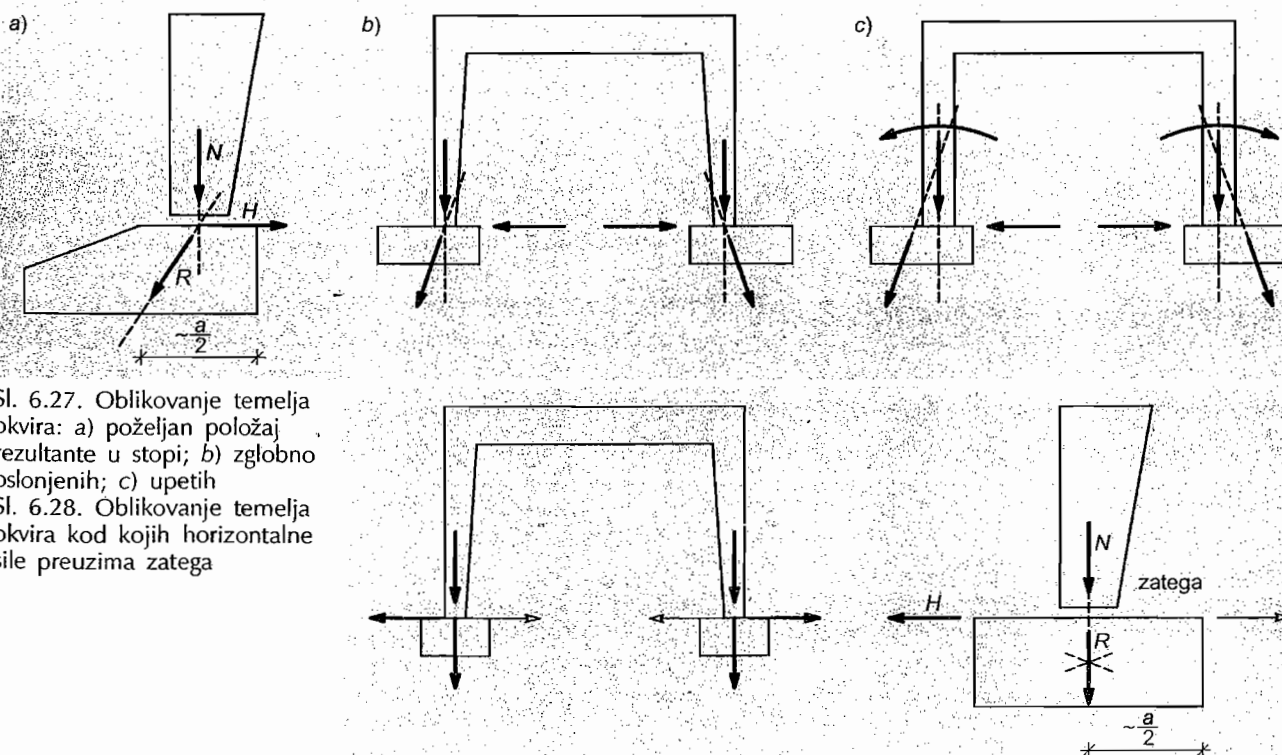
Sl. 6.25. Naponi tla (plastični medij) za ekscentrično opterećenje pojedinačnog temelja

Sl. 6.26. Naponi tla (plastični medij) za dvostruko ekscentrično opterećenje pojedinačnog temelja



Oblikovanje ekscentrično opterećenih temelja

Kod okvira – zglobno oslonjenih, koji daju horizontalne sile usmjerene prema van (sl. 6.27a) i upetih, koji imaju i momente koji rezultantu pomiču još više prema van (sl. 6.27b) – temelji se postavljaju ekscentrično s obzirom na stup, i to tako da rezultanta prolazi što bliže težištu stope temelja (sl. 6.27c). Ako horizontalne sile preuzima zatega, temelji preuzimaju samo vertikalne sile pa su primjereni centrični temelji (sl. 6.28.).

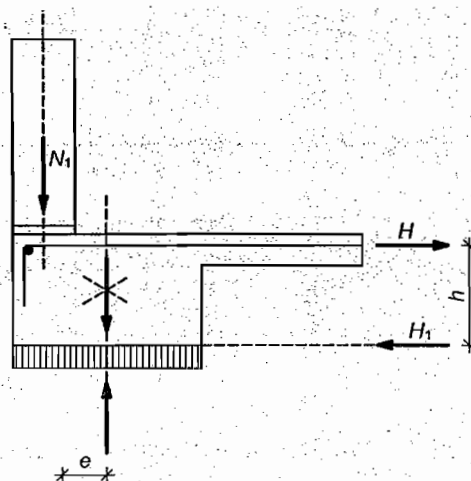
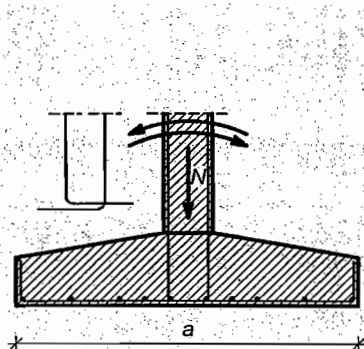


Sl. 6.27. Oblikovanje temelja okvira: a) poželjan položaj rezultante u stopi; b) zglobno oslonjenih; c) upetih
Sl. 6.28. Oblikovanje temelja okvira kod kojih horizontalne sile preuzima zatega

Oni su primjereni i onda kada se očekuju jednaki momenti oba predznaka, npr. za upete stupove – konzole (sl. 6.29.). U slučaju da zbog granice parcele treba predvidjeti ekscentrično opterećen temelj (sl. 6.30.) može se tako nastali moment $N_1 \cdot e$ preuzeti parom sila koji čine sila u armaturi gornje zone i horizontalna sila trenja u stopi temelja. Veličina je tih sila:

$$H = H_1 = N_1 \cdot e/h.$$

Visina temelja treba biti dovoljno velika da odnos H/N ne bude veći od dopuštenog, koji jamči dostatnu sigurnost na klizanje. Pritom je $N = N_1 + G$ ukupno opterećenje temelja.



Sl. 6.29. Oblikovanje temelja upetog stupa – očekuju se jednaki momenti oba predznaka

Sl. 6.30. Ekscentrično opterećeni pojedinačni temelj na mjestu granice parcele

6.7.2. Tračni temelji zidova

6.7.2.1. Centrično opterećenje temelja

Zidovi se gotovo uvijek temelje na trakama (sl. 6.31.). One se od pojedinačnih temelja razlikuju samo dužinom, inače vrijede ista pravila. Za proračun tračnih temelja – određivanje napona tla u stopi, sigurnosti na prevrtanje i dr. – promatra se dio zida i temelja dužine 1 m. Dimenzija a naziva se širinom trake.

Napon tla u stopi temelja iznosi:

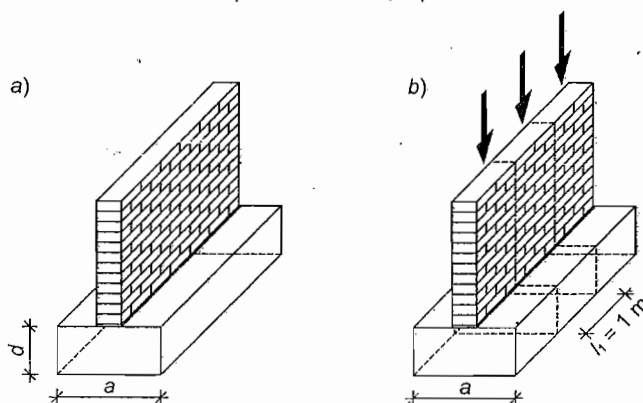
$$\sigma_{tla} = N/(a \cdot 1,0)$$

gdje je N zbroj opterećenja 1 m zida i težine 1 m temeljne trake. Iz uvjeta:

$$\sigma_{tla} \leq \sigma_{tla, dop}$$

određuje se potrebna širina trake, dakle:

$$a_{potr} = N/\sigma_{tla, dop}$$

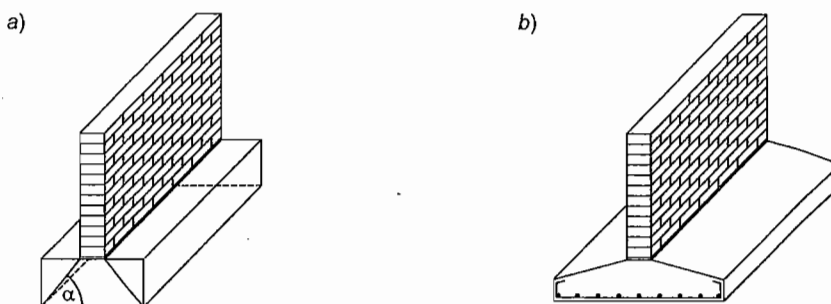


Sl. 6.31. Tračni temelj zida

I tračni temelji mogu biti izvedeni kao nearmirani ili armirani (sl. 6.32.). Nearmirani temelji upotrebljavaju se za manje širine trake – kada za potrebnu širinu „a“, uz pretpostavku kuta $\alpha \sim 60^\circ$, dobivamo prihvatljivu visinu trake (npr. 50 do 100 cm). U suprotnom slučaju biramo armirani temelj. Armatura može biti od šipki ili mreža.

Sl. 6.32. Tračni temelj zida:

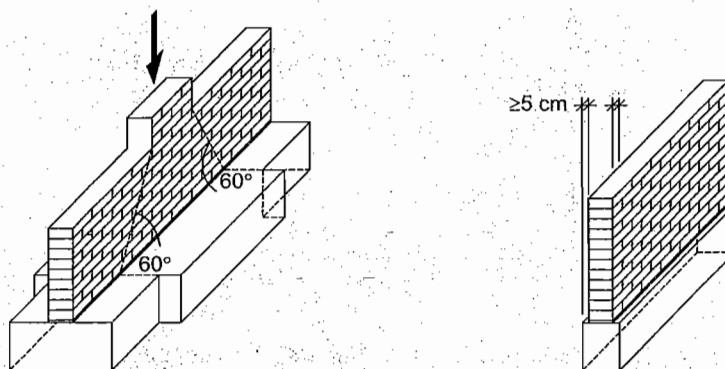
- a) nearmirani,
b) armirani



Ako na zid od opeke djeluje koncentrirana sila (sl. 6.33.), može se smatrati da se ona širi kroza zid pod kutom od 60° i da je preuzima odgovarajuće proširena traka. Pritom se proširenje trake dimenzionira na veličinu spomenute sile.

Sl. 6.33. Preuzimanje koncentrirane sile na zid od opeke

Sl. 6.34. Minimalna širina temeljne trake

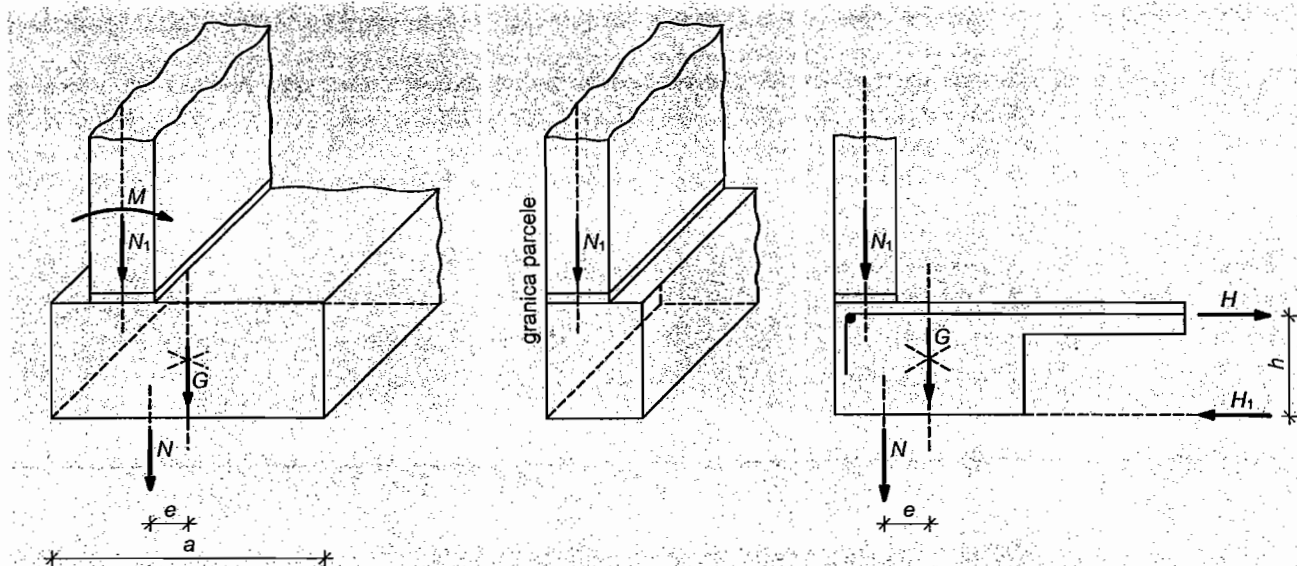


U slučaju da traka ima malo opterećenje, potrebna širina trake može po gornjoj formuli ispasti i manja od širine zida. Iz praktičnih izvedbenih razloga traka treba ipak biti barem 10 cm šira od zida – sa svake strane po 5 cm (sl. 6.34.).

6.7.2.2. Ekscentrično opterećenje temelja

Za ekscentrično opterećene trake vrijedi načelno isto kao i za ekscentrično opterećene pojedinačne temelje (sl. 6.35.). Kod zgrada je najčešći slučaj ekscentričnog opterećenja traka kada postoji zahtjev da se ne prijeđe granica parcele (sl. 6.36.). Kod većeg opterećenja rubne trake, koje zahtijeva i veću širinu trake, može se posegnuti za istim rješenjem koje je spomenuto kod pojedinačnog temelja (sl. 6.30. i 6.37.). Sila H , na koju se dimenzionira armatura, dobiva se na već opisani način. I ovdje treba biti ispunjen uvjet:

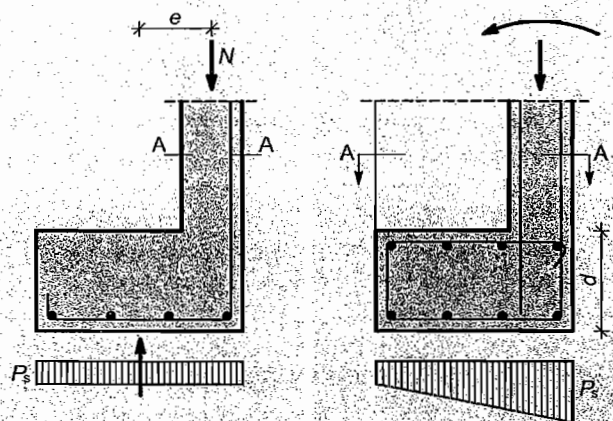
$$H_1/N \leq (H_1/N)_{\text{dop.}}$$



Kod armiranobetonskih krajnjih zidova i temeljnih traka moguće je:

- traku ukrutiti poprečnim zidovima (kontraforima) na razmacima ne većim od dvanaesterostruke visine temelja (sl. 6.39.) ili
- moment od ekscentričnosti opterećenja preuzeti dostatnom armaturom zida (sl. 6.38.). Pritom se podrazumijeva da se radi o zidu podruma koji je na vrhu pridržan stropnom pločom, pa se može uzeti da je raspodjela napona u temeljnoj stopi jednolika. Kako je debljina zida manja od debljine temeljne trake, potrebna se armatura dobiva dimenzioniranjem presjeka A-A na moment $N \cdot e$.

U slučaju da je zid kojim se temelji traka prekinut (npr. otvorom za vrata), odgovarajući dio trake treba dimenzionirati kao gredu opterećenu odozdo (Sl. 6.40.), dakle – proračunati potrebnu uzdužnu armaturu.



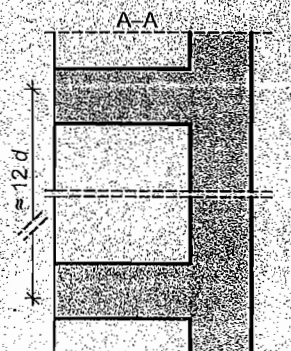
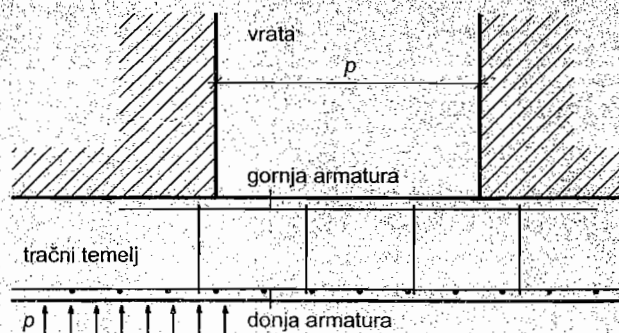
Sl. 6.35. Ekscentrično opterećena temeljna traka

Sl. 6.36. Ekscentrično opterećena temeljna traka na granici parcele

Sl. 6.37. Ekscentrično opterećena temeljna traka na granici parcele – preuzimanje momenta ekscentričnosti s pomoću para sila u armaturi i temeljnoj stopi

Sl. 6.38. Preuzimanje momenta ekscentričnosti armaturom (sasvim lijevo)

Sl. 6.39. Ukrutjenje ekscentrično opterećene trake kontraforima: vertikalni (gore) i horizontalni presjek (dolje) A-A

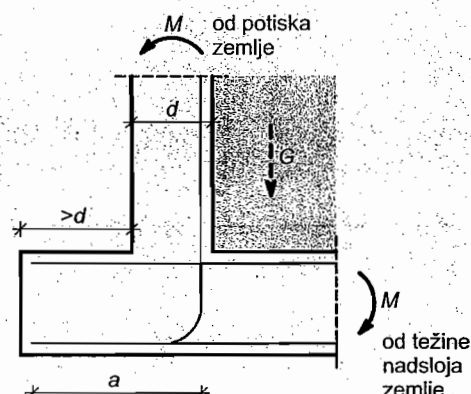
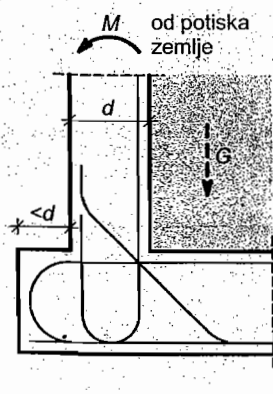
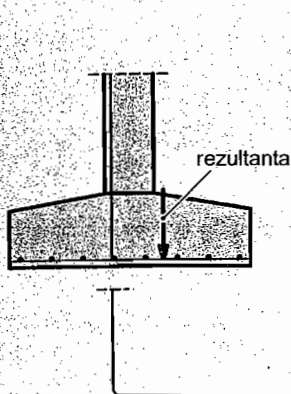


Sl. 6.40. Armiranje trake prekinute otvorom u zidu (sasvim lijevo)

Sl. 6.41. Armiranje trake potpornog zida

Sl. 6.42. Armiranje trake potpornog zida na koju djeluje i moment od nadsloja zemlje

Pri znatnijim momentima u zidu (npr. kod potpornih zidova), temelj se dimenzionira na savijanje prema momentu na strani s većim naponima tla, a armatura zida sidri se u temelj (sl. 6.41.). U pojedinim slučajevima potrebno je proračunati i negativnu armaturu od težine nadsloja zemlje (sl. 6.42.; usporedi s armiranjem ugla okvira za pozitivni moment – „Nosive konstrukcije I“, sl. 10.54.).

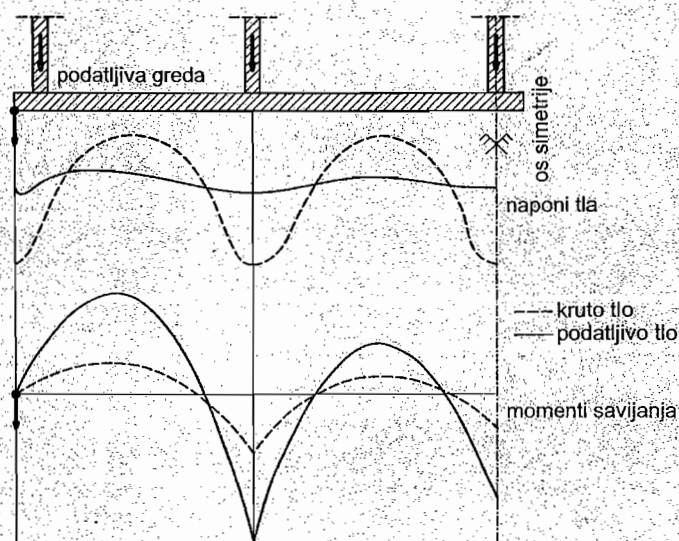
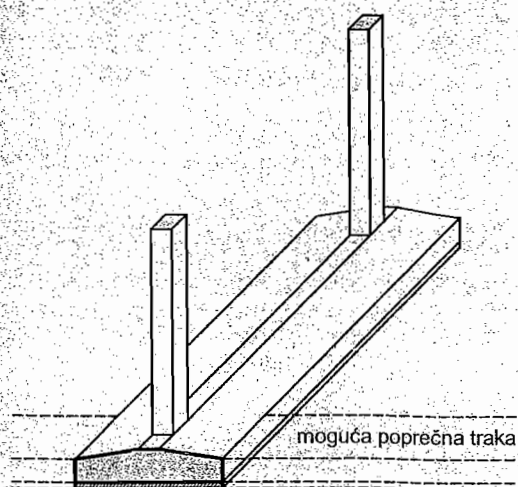


6.7.3. Temeljne grede stupova

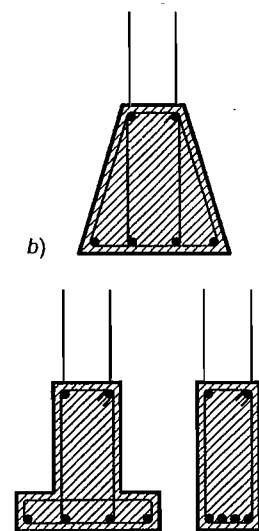
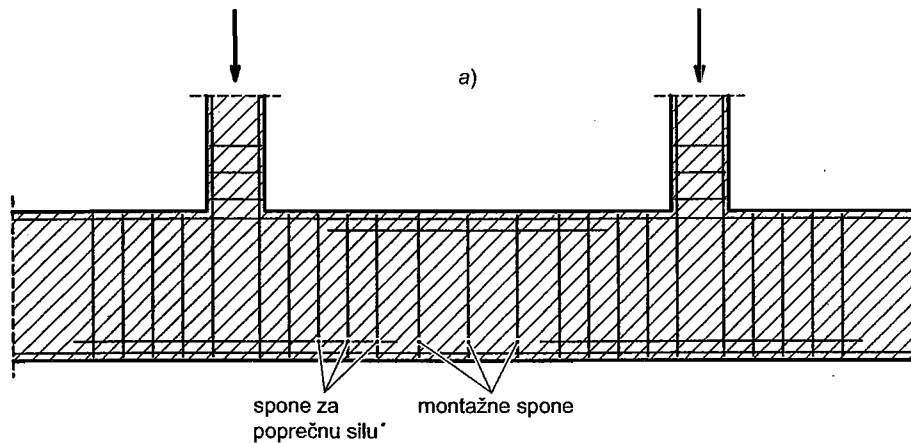
Temeljne grede u jednom ili dva okomita smjera (temeljni roštilji) predviđaju se kada zbog slabe nosivosti tla pojedinačni temelji ispadaju preveliki (gotovo se dodiruju), odnosno kada je građevina osjetljiva na nejednolika slijezanja. Tipična temeljna greda prikazana je na slici 6.43. Po svome konstruktivnom ponašanju oni djeluju kao obrnute grede. Raspodjela napona tla ovisi o odnosu krutosti grede i krutosti tla. Za razmjerno podatljive grede i dobro (kruto) tlo raspodjela je nejednolika (naponi se povećavaju pod stupovima), što daje manje momente savijanja i mogućnost uštede armature u odnosu na slučaj kada je raspodjela napona tla jednolika. U slučaju krute grede raspodjela napona tla uvijek je jednolika (sl. 6.44.).

Sl. 6.43. Temeljna greda za dva stupa

Sl. 6.44. Slučajevi raspodjele napona tla u stopi podatljive temeljne grede: gore – naponi tla, dolje – momenti savijanja



Grede se armiraju skroz gore i dolje, uz potrebne dodatke u polju i na ležajevima (sl. 6.45a). Očito je da se temeljna traka ponaša kao obrnuti kontinuirani nosač. Na slici 6.45b prikazani su mogući oblici poprečnoga presjeka temeljnih greda.



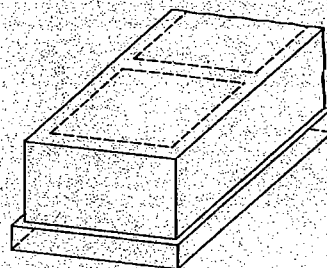
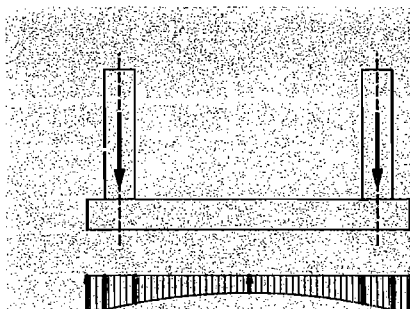
Sl. 6.45. Armiranje temeljnih greda:
a) uzdužna armatura;
b) mogući oblici poprečnih presjeka

6.7.4. Temeljne ploče

Temeljna ploča predviđa se:

- kada su ukupna opterećenja zgrade velika
- kada je temeljno tlo slabo
- kada se očekuju nejednolika slijevanja u slučaju odvojenih temelja
- kada se podrum nalazi ispod razine podzemne vode.

Temeljna ploča na čitavom tlocrtu zgrade predviđa se katkad i kada nije neophodna zbog nabrojanih razloga, nego zato što omogućava lakšu izvedbu. Za razliku od rješenja s trakama, moguć je širok strojni iskop zemlje. Osim toga, temeljna ploča ujedno predstavlja i ploču poda podruma ili prizemlja, koju je pri rješenju s trakama potrebno posebno izvesti. Konačno, temeljna ploča daje mogućnost čistog rada na daljnjoj izgradnji, kao i skladištenja materijala. Temeljna ploča ponaša se kao obrnuti strop s naponima tla kao opterećenjem, te zidovima ili stupovima kao ležajevima (sl. 6.46.). Raspodjela tla za podatljivu ploču ovisi o vrsti tla, i tu vrijedi sve ono što je već rečeno za temeljne grede (sl. 6.44.). Temeljna ploča, zajedno s podrumskim zidovima i pločom stropa nad podrumom, čini vrlo krut sandučasti presjek (sl. 6.47.) pa može poslužiti za raspodjelu nejednakih opterećenja i „premoštenje” nejednolikih svojstava tla – vidi t. 6.6. i sl. 6.11.

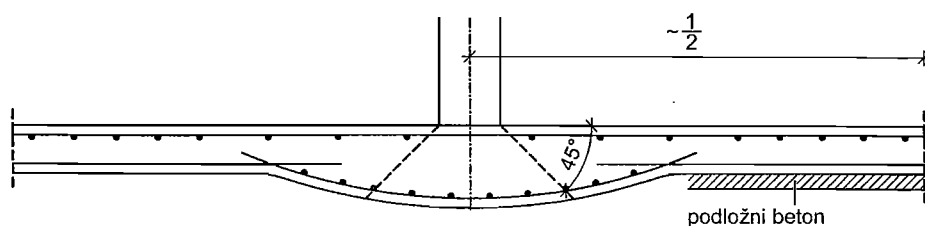


Sl. 6.46. Prijenos opterećenja kod temeljne ploče

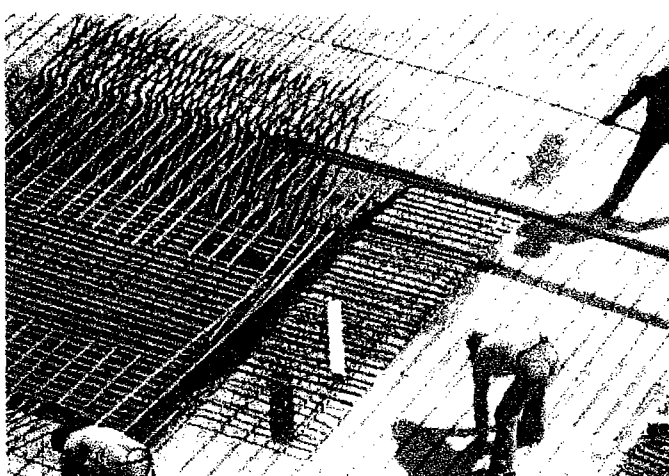
Sl. 6.47. Sandučasti presjek koji čine temeljna ploča, strop nad prvom etažom i obodni zidovi

Sl. 6.48. Pojačanje ploče oko stupa zbog opasnosti od proboja

Sl. 6.49. Temeljna ploča u izvedbi: lijevo – pogled, desno – armatura podebljanja ploče



Temeljna ploča izvodi se najčešće s konstantnom debljinom. U slučaju kada su u najnižoj etaži veoma opterećeni stupovi, javlja se opasnost od proboja, pa je dobro predvidjeti pojačanje ploče uza stupove. Ono se može izvesti prilikom iskopa u plitko zaobljenoj formi, čime se omogućava i kontinuirano vođenje hidroizolacije ispod temeljne ploče (sl. 6.48.).



Na slici 6.49. prikazan je pogled na temeljnu ploču u izvedbi s armaturom podebljanja ploče.

6.8. DUBOKI TEMELJI

6.8.1. Općenito

Kod tla loše kvalitete, kada plitki temelji ne omogućuju dovoljnu nosivost odnosno podnošljiva slijeganja, treba pribjeći dubokom temeljenju. Pomoću **pilota** (šipova) opterećenje se prenosi na nosivo tlo, koje može biti i na znatnoj dubini. Za razliku od plitkog temeljenja koje se često može izvesti vrlo jednostavno (npr. ručni iskop, laka oprema), duboko temeljenje uvijek zahtijeva složenu opremu i posebne strojeve. Najstariji oblik dubokog temeljenja jesu zabijeni drveni piloti okrugla presjeka. Danas se oni još upotrebljavaju samo za privremeno temeljenje, npr. skele. Jedan od najstarijih primjera gradnje sa zabijenim drvenim pilotima jesu sojenice. Na drvenim pilotima sagrađeni su čitavi gradovi – najpoznatiji je svakako Venecija. Pritom je veliku važnost imala činjenica da su drveni piloti koji su stalno pod vodom vrlo trajni.

Piloti se dijele na dvije glavne skupine:

- zabijeni piloti
- piloti izvedeni na samome mjestu.

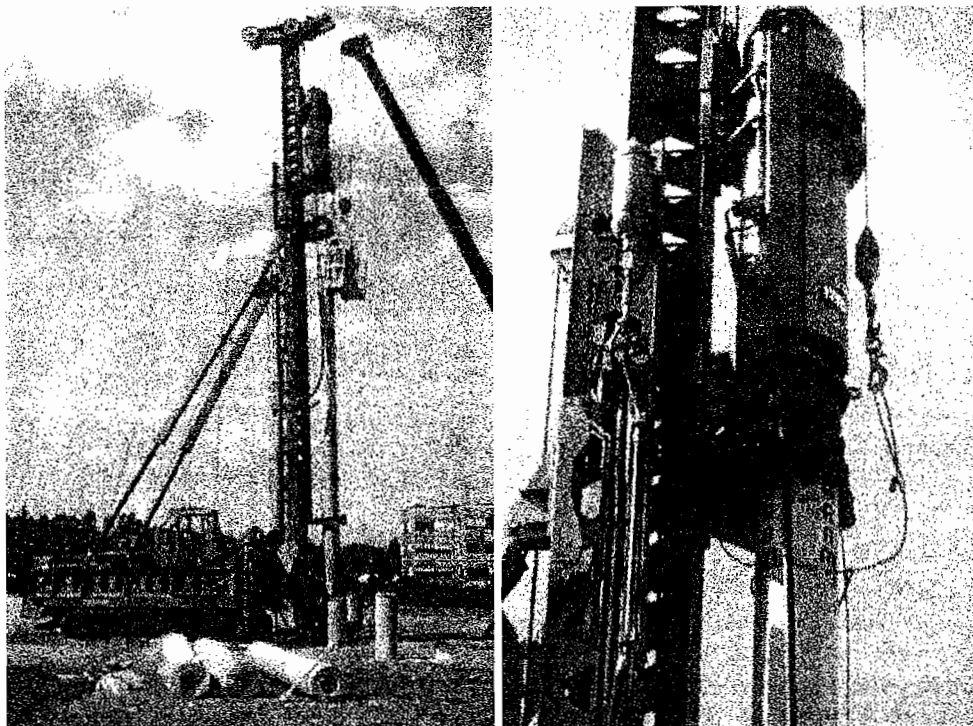
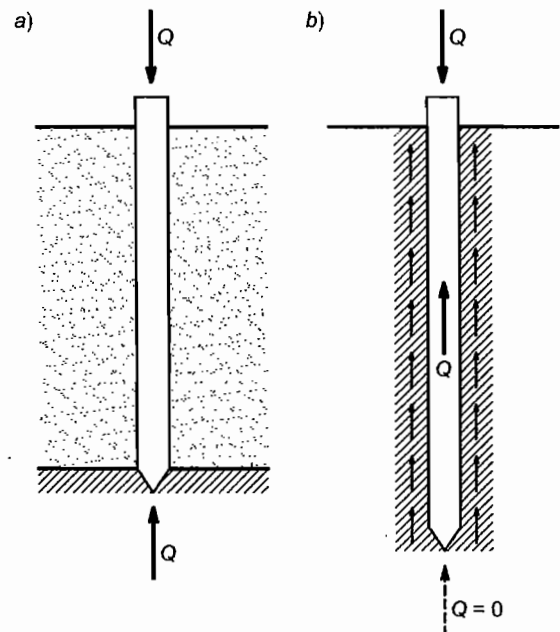
Nosivost pilota ostvaruje se (sl. 6.50.):

- preko vrha oslonjenog na vrlo čvrsto tlo (pilot djeluje kao stup)
- preko plašta (trenjem) – lebdeći piloti.

Otpornost svakog pilota ostvaruje se načelno na oba načina. Kod pilota koji se, idući kroz meko tlo, oslanjaju na čvrsti sloj (npr. stijenu), dominantan je prvi način, dok kod pilota koji idu kroz homogeni sloj tla i ne dosežu čvrsti sloj – drugi način.

6.8.2. Zabijeni piloti

Mogu biti od drva (promjera 25 do 45 cm) ili čelika (cijevi ili profili), no najčešći su predgotovljeni betonski piloti promjera 25 do 60 cm, koji imaju nosivost 200 do 3000 kN. Da se olakša prodiranje u tlo, piloti imaju na vrhu šiljak od lijevanog željeza ili čelika. Zabijaju se na dubinu od 10 do 30 m. Razmjerno su ekonomični i jednostavni za izvedbu. Na slici 6.51. prikazana je izvedba zabijenih pilota. Prema otporu koji pružaju zabijanju, može se pilotima već pri izvedbi ocijeniti nosivost. S druge strane, zabijanje pilota uzrokuje jaku buku i vibracije koje se šire daleko u tlu, pa se zato taj način izvedbe pilota uglavnom ne tolerira u gradovima.

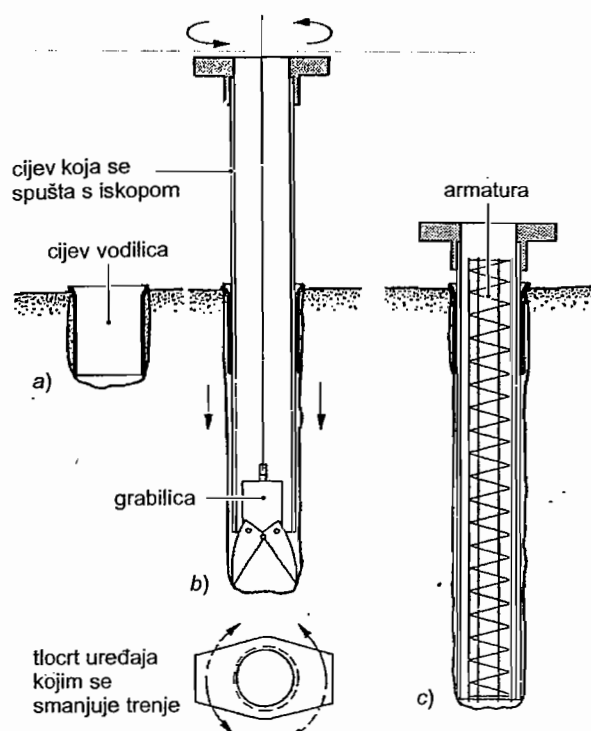


Sl. 6.50. Ostvarivanje nosivosti pilota: a) preko vrha; b) trenjem preko plašta

Sl. 6.51. Izvedba zabijenih pilota: lijevo – pogled na cijeli uređaj, desno – malj kojim se zabija pilot

6.8.3. Piloti izvedeni *in situ*

Ostvaruju se izvedbom odgovarajuće rupe u tlu, u koju se stavlja armaturni koš, pa se zatim ona ispuni betonom. Mogu se izvesti i u kosom položaju, no najčešći su vertikalni piloti. Uvriježeni su promjeri od 0,60 do 1,50 m i dubine do 40 m, no izvedeni su već piloti od 3 m promjera s dubinama do 90 m. Najčešći su bušeni piloti (sl. 6.52.). Čelična se cijev – uz kružne pokrete koji smanjuju trenje – spušta s napredovanjem iskopa sve do projektirane dubine. Nakon što se postavi armatura, betoniranje se obavi tako



Sl. 6.52. Izvedba bušenog pilota: a) priprema; b) iskop; c) postavljanje armature

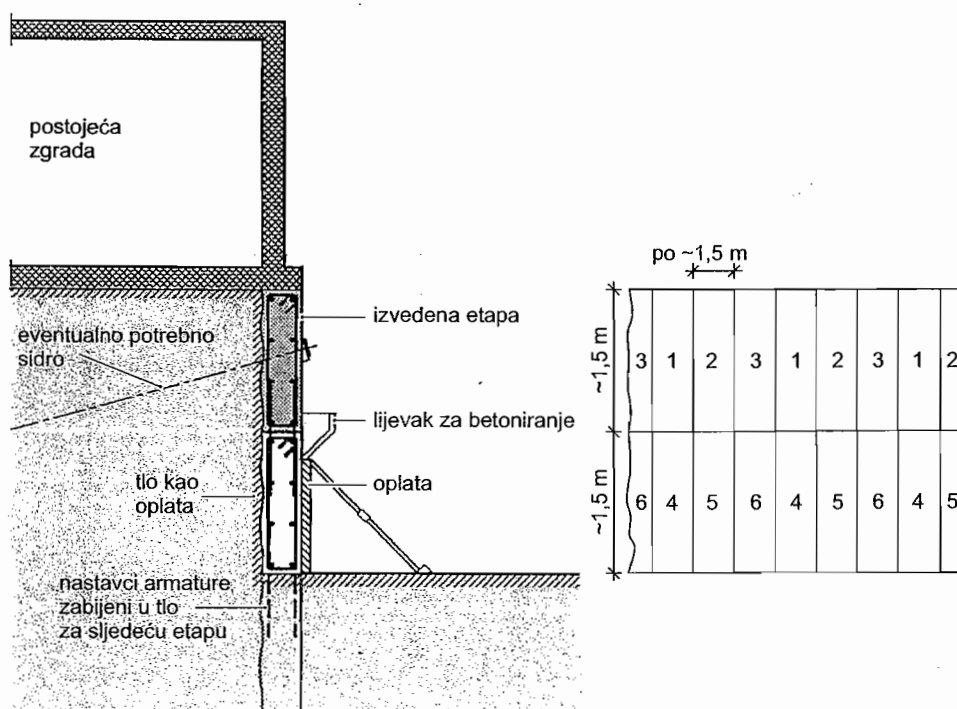
da se cijev za betoniranje spušta dovoljno duboko da beton nikada ne pada s visine veće od 1,5 do 2 m. S napredovanjem betoniranja čelična se cijev izvlači i može poslužiti za izvedbu daljnjih pilota.

6.9. PODBETONIRANJE

Podbetoniranje – poduhvaćanje postojećih zgrada – uvijek je potrebno kada se neposredno uz postojeću zgradu izvodi građevina koja je temeljena na nižoj razini. U ovisnosti o razlici između dubina temeljenja postojeće i nove zgrade podbetoniranje se izvodi – idući odozgo prema dolje – u jednoj ili više etapa po visini. Visina svake etape jest oko 1,5 m, dakle za slučajeve razlike dubine temeljenja do 1,5 m izvodi se samo jedna etapa. Na slici 6.53. prikazano je podbetoniranje zgrade koje ima tri etape po visini.

Izvedba u tlocrtnom smislu slijedi u kampadama širine oko 1 m, s time da se u određenom trenutku može potkopati samo jedna trećina temelja, dok dvije trećine moraju ostati poduprte. Dakle, za po trećinu dužine podbetonirane zgrade obavi se ponajprije iskop, zatim postavljanje armature (nastavci armature za sljedeću etapu zabijaju se u tlo), pa onda betoniranje zida. Betoniranje se izvodi pomoću lijevka radi dobrog kontakta sa stopom temelja ili prethodnom etapom podbetoniranja. Nakon očvršćivanja betona zida može se prijeći na sljedeću kampadu. Za veće visine potrebno je, zbog preuzimanja potiska tla, ili podupiranje novog zida (do izvedbe stropova nove zgrade), ili sidrenje s pomoću geotehničkih sidara. Radovi na podbetoniranju često su dugotrajni i skupi jer iziskuju puno ljudskog rada.

Sl. 6.53. Prikaz izvedbe podbetoniranja: lijevo – presjek, desno – pogled s podjelom na kampade i redoslijedom izvedbe



7. KROVNE KONSTRUKCIJE

7.1. UVOD

U ovom će se poglavlju obraditi najvažniji tipovi kosih krovišta (pretežito drvenih, no mogući su i pojedini čelični i armiranobetonski elementi).

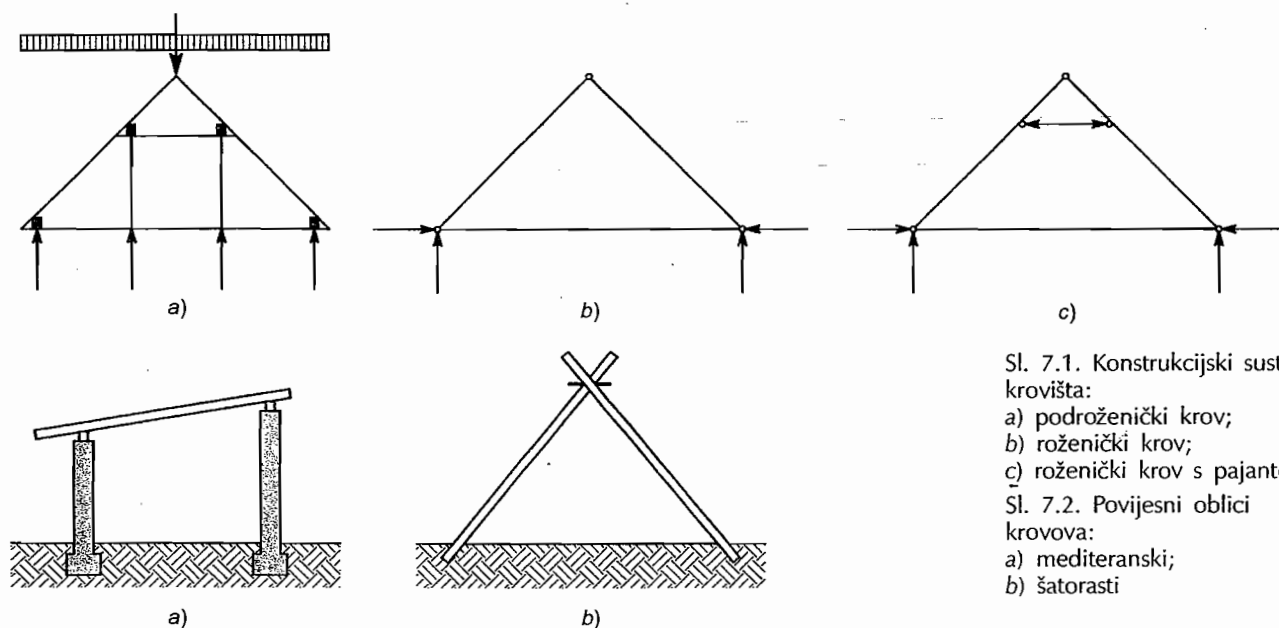
7.1.1. Konstrukcijski sustavi

Načelno se razlikuju:

- a) podroženički krov: roženice leže na podrožnicama i stupovima tako da vertikalna opterećenja daju samo vertikalne reakcije (sl. 7.1a)
- b) roženički krov (sl. 7.1b)
- c) roženički krov s pajantom (sl. 7.1c).

Krovovi spomenuti pod b) i c) za vertikalna opterećenja daju i horizontalne reakcije. Podroženički krov ima podrijetlo u mediteranskom grednom krovu s blagim nagibom (sl. 7.2a), a roženički se krov razvio od šatorastog (stožastog) krova (sl. 7.2b).

Sastav krovne konstrukcije slijedi načelo da jedan niz elemenata manjeg raspona leži na elementima većeg raspona okomitoga smjera itd.



Sl. 7.1. Konstrukcijski sustavi krovišta:

- a) podroženički krov;
- b) roženički krov;
- c) roženički krov s pajantom

Sl. 7.2. Povijesni oblici krovova:

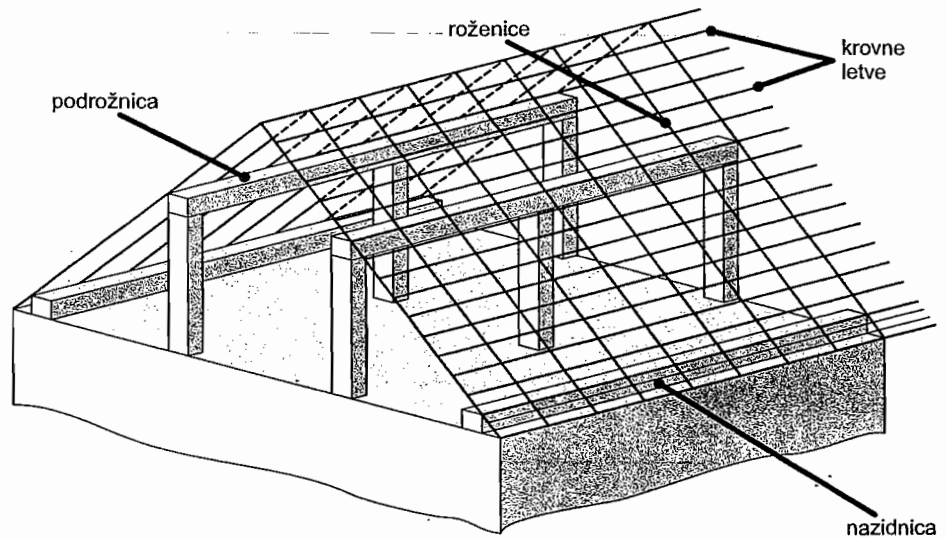
- a) mediteranski;
- b) šatorasti

Na slici 7.3. imamo:

- krovne letve za oslanjanje pokrova (npr. crijeva)
- roženice
- podrožnice
- stupove (drvene ili betonske) ili vezače (glavne nosače u poprečnom smjeru).

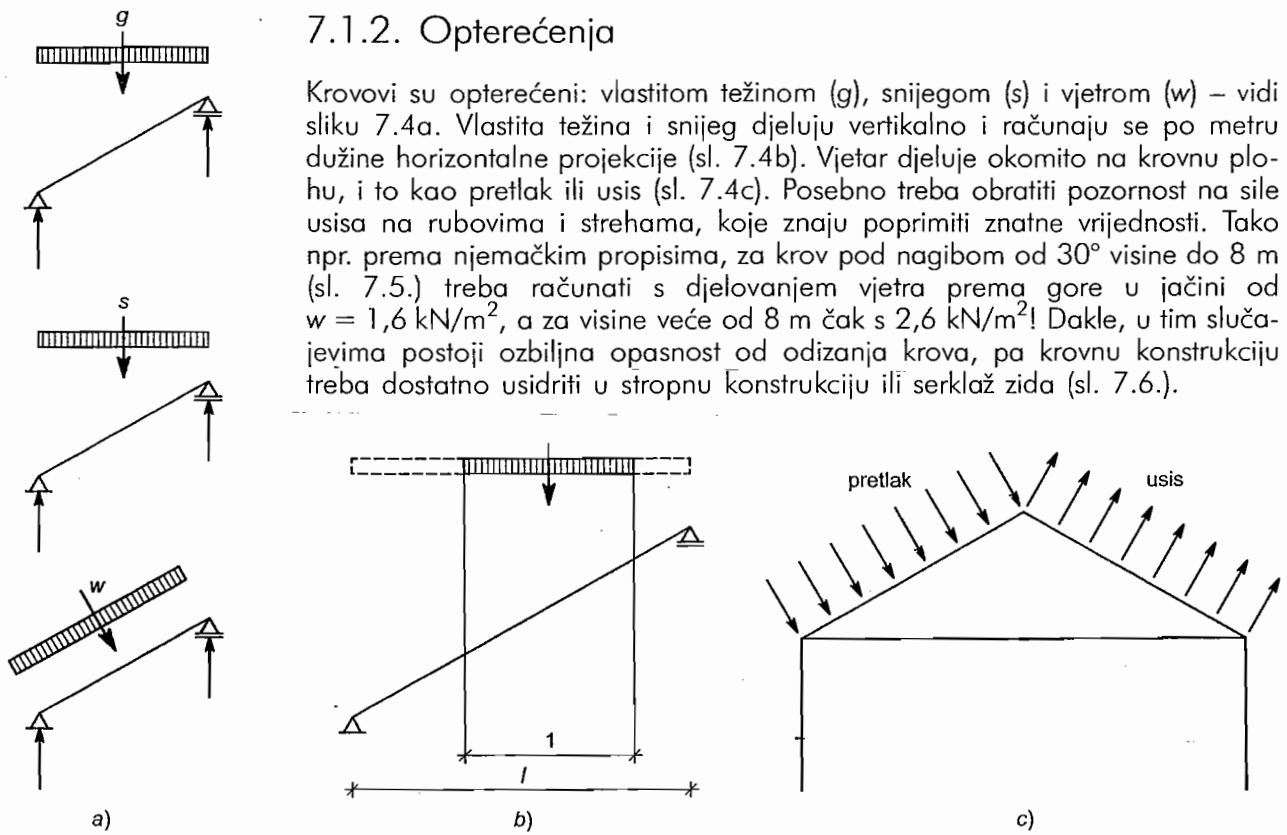
Za roženice je uobičajen razmak od 0,60 do 1 m i raspon (horizontalno) do oko 3,5 m. Razmak stupova ili vezača obično je oko 4 m. Stupovi se oslanjaju na armiranobetonsku stropnu ploču ili na zid donje etaže.

Sl. 7.3. Načelni sastav krovne konstrukcije



7.1.2. Opterećenja

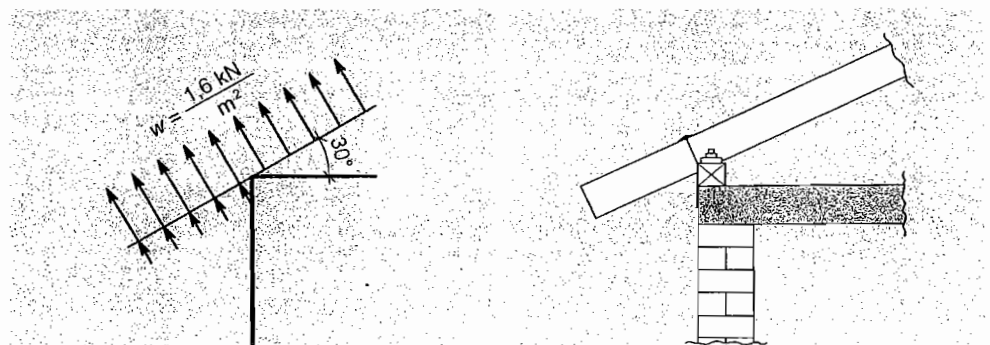
Krovovi su opterećeni: vlastitom težinom (g), snijegom (s) i vjetrom (w) – vidi sliku 7.4a. Vlastita težina i snijeg djeluju vertikalno i računaju se po metru dužine horizontalne projekcije (sl. 7.4b). Vjetar djeluje okomito na krovnu plohu, i to kao pretlak ili usis (sl. 7.4c). Posebno treba obratiti pozornost na sile usisa na rubovima i strehama, koje znaju poprimiti znatne vrijednosti. Tako npr. prema njemačkim propisima, za krov pod nagibom od 30° visine do 8 m (sl. 7.5.) treba računati s djelovanjem vjetra prema gore u jačini od $w = 1,6 \text{ kN/m}^2$, a za visine veće od 8 m čak s $2,6 \text{ kN/m}^2$! Dakle, u tim slučajevima postoji ozbiljna opasnost od odizanja krova, pa krovnu konstrukciju treba dostatno usidriti u stropnu konstrukciju ili serklaž zida (sl. 7.6.).



Sl. 7.4. Opterećenja na krovušte:
a) vlastita težina, snijeg i vjetar;
b) vertikalna opterećenja;
c) vjetar

Sl. 7.5. Na strehi treba računati s velikim silama vjetra

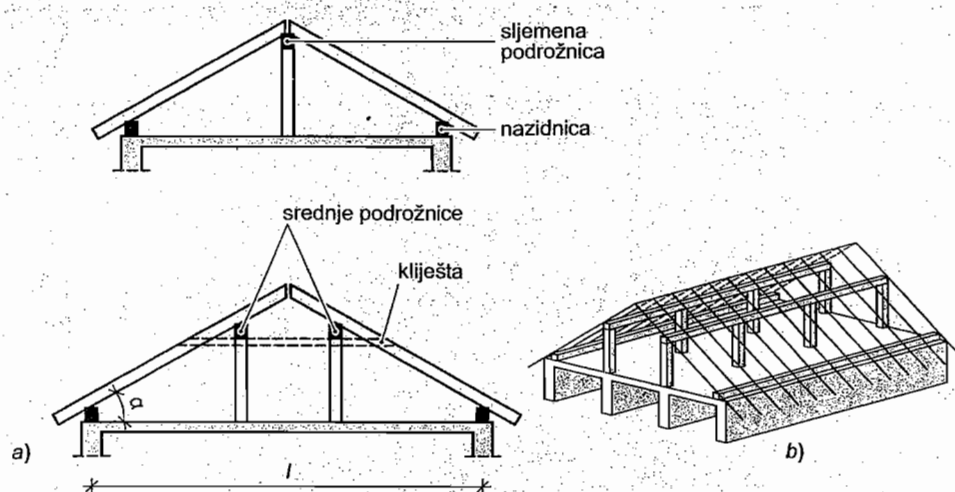
Sl. 7.6. Potreba usidrenja krovne konstrukcije u stropnu konstrukciju zbog opasnosti od odizanja



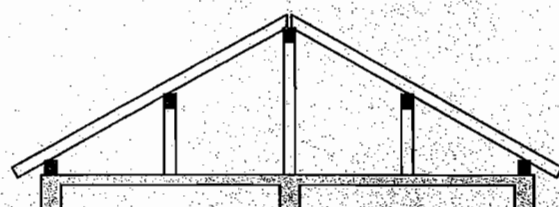
7.2. PODROŽENIČKA KROVIŠTA

7.2.1. Krovista bez kosnika (čista podroženička krovista)

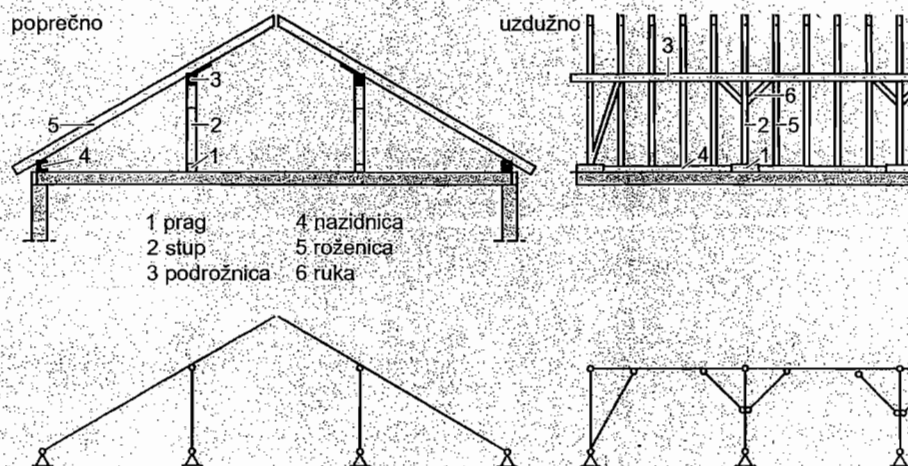
Najčešće se predviđaju za slučajeve kada je $l < 10$ m, nagib krovista manji od 35° i teški pokrov. Svaka roženica leži na nazidnici i po jednoj ili dvije podrožnice. Stupovi su konstruktivno povezani kliještima (sl. 7.7.). Najčešći je slučaj krovista s dva stupca, kod kojega roženice predstavljaju grede s prepustom. Na slici 7.8. prikazano je takvo kroviste prikazom konstrukcije te statičkim shemama u poprečnom i uzdužnom smjeru. S obzirom na statičku shemu, srednje podrožnice imaju samo vertikalna opterećenja, a horizontalna reakcija od vjetrova preuzima se na mjestu nazidnice (sl. 7.9.).



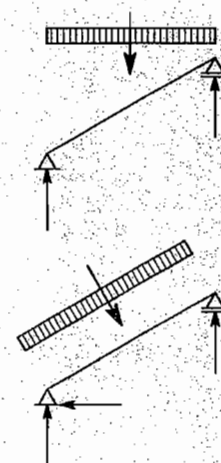
Sl. 7.7. a) sheme za tri najčešća slučaja podroženičkih krovista; b) aksonometrija krovista s dva stupca

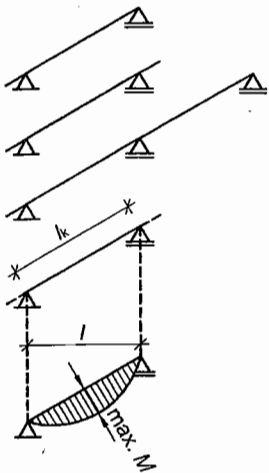


Sl. 7.8. Podroženičko kroviste s dva stupca – konstrukcija i shema statičkog sustava u poprečnom i uzdužnom smjeru



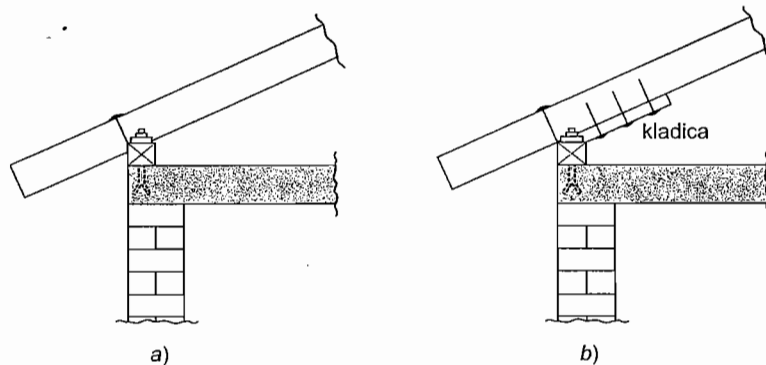
Sl. 7.9. Reakcije podroženičkog krovista za vertikalno i horizontalno opterećenje





Sl. 7.10. Statička shema roženica – stvarna i računska

Sl. 7.11. Veza roženica – nazidnica – strop: a) sa zasjekom (oslabljenjem) roženice; b) bez zasjeka

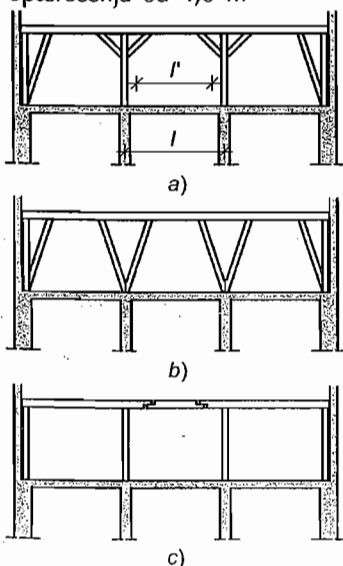


Sl. 7.12. Povećanje nosivosti podrožnicama (dolje):

- a) s pomoću ruku;
- b) s pomoću kosih stupova;
- c) izvedbom podrožnica kao Gerberovih nosača

Sl. 7.13. Nazidnica

Sl. 7.14. Primjer podrožnice raspona 4,2 m s poljem opterećenja od 4,0 m



lako roženice mogu biti kontinuirane ili mogu imati prepuste, momenti savijanja pojednostavnjeno se uzimaju kao za prostu gredu (sl. 7.10.):

- za vertikalno opterećenje: $M_{\max, v} = (g + s) l^2 / 8$
- za vjetar: $M_{\max, w} = w \cdot l_k^2 / 8$.

Ukupni moment predstavlja zbroj gornjih dvaju momenata, dakle

$$M_{\max} = M_{\max, v} + M_{\max, w}.$$

Roženice (drvene) dimenzioniraju se s obzirom na:

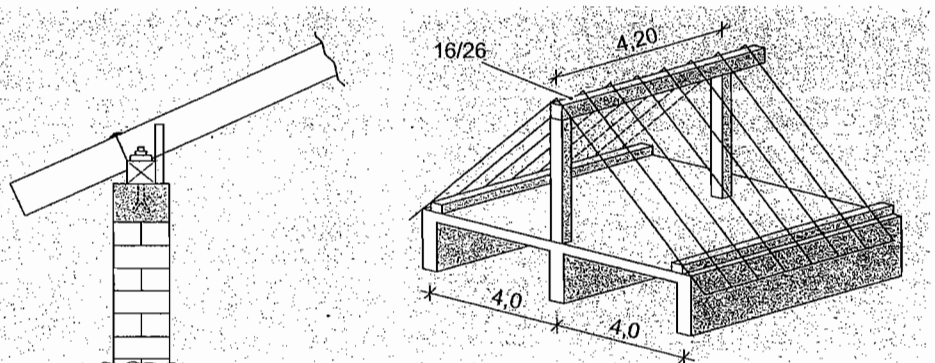
- nosivost odnosno dopušteni napon – potrebni moment otpora treba biti:

$$W_{\text{potr}} = M_{\max} / \sigma_{\text{dop}} \text{ (najčešće je } \sigma_{\text{dop}} = 1 \text{ kN/cm}^2 \text{)}$$

- dopušteni progib ($v_{\text{dop}} = l_k / 200$) – potrebni moment inercije treba biti:

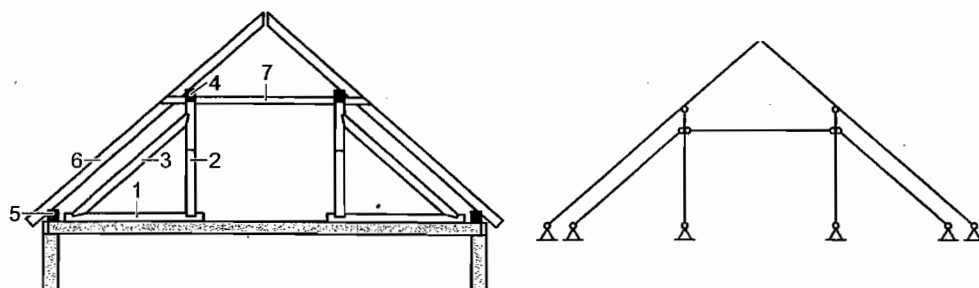
$$I_{\text{potr}} [\text{cm}^4] = 208 M_{\max} [\text{kNm}] \cdot l_k [\text{m}].$$

Roženice treba prikladno učvrstiti za nazidnicu koja je opet usidrena u strop ili serklaž (opasnost od odizanja! sl. 7.11.). Zasjek roženice, tj. oslabljenje, dopušten je samo za manje prepuste (sl. 7.11a), dok za veće prepuste treba roženice osloniti bez oslabljenja, npr. s pomoću kladice (sl. 7.11b). Nazidnice leže kontinuirano na serklažu, tj. zidu ili stropu, pa nisu napregnute na savijanje i zato imaju konstruktivne dimenzije (npr. 12/8 cm; sl. 7.13.). Podrožnice su obično znatno napregnute na savijanje zbog veličine opterećenja od roženica. Tako npr. za $l = 4,20$ m i polje opterećenja od 4,0 m dobivamo podrožnicu dimenzija 16/26 cm (sl. 7.14.), što je velik presjek (sl. 7.12.). Podrožnicama se može smanjiti raspon rukama (sl. 7.12a) ili kosim stupovima (sl. 7.12b), čime se postiže smanjenje momenta savijanja faktorom $(l'/l)^2$. Moguće im je i povećati nosivost tako da ih se predviđi kao Gerberove nosače, pa se time dobiva smanjenje momenta u odnosu na prostu gredu (sl. 7.12c).



7.2.2. Krovišta s kosnicima (podroženička krovišta s vezačima)

Radi se o krovnoj konstrukciji koja – u usporedbi s običnim podroženičkim krovštima, opisanim u t. 7.2.1. – umjesto stupova ima glavne nosače-vezače na uzdužnom razmaku od oko 4 m. Krovšta s vezačima rabe se za veće raspone ($l > 10$ m) i veće nagibe krova ($\alpha > 40^\circ$). Postoji mnogo vrsta vezača (o tome se više sluša na kolegiju „Arhitektonske konstrukcije i fizika zgrade“). U ovom poglavlju bit će objašnjena konstrukcija dvaju vezača – dvostruke stolice i dvostruke visulje.

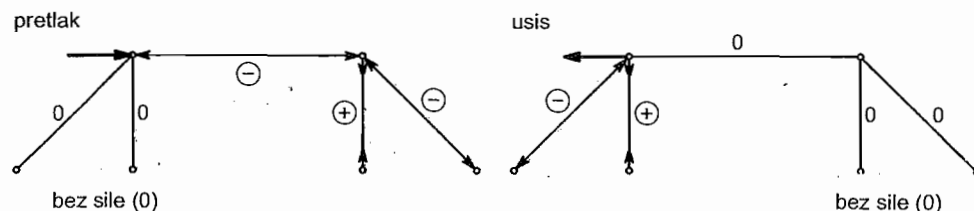


Sl. 7.15. Dvostruka stolica:
konstrukcija i statički sustav:

- 1 prag
- 2 stup
- 3 kosnik
- 4 podrožnica
- 5 nazidnica
- 6 roženica
- 7 klijesta

7.2.2.1. Vezač – dvostruka stolica

Na slici 7.15. prikazana je konstrukcija dvostruke stolice s pripadajućim statičkim sustavom. Stupovi stolice oslanjaju se kod suvremenih konstrukcija na armiranobetonsku stropnu ploču, a kod tradicionalnih konstrukcija na zidove niže etaže. Vertikalno opterećenje od podrožnica prenosi se izravno preko stupova. Glavna razlika prema čistom podrožničkom krovu jest u tome što nepomični ležaj nije više na nazidnici nego na srednjoj podrožnici, pa se horizontalno opterećenje u poprečnom smjeru prenosi tlačnom silom u kosniku i vlačnom u stupu (koja je redovito manja od tlačne od vertikalnog opterećenja, tako da stup ostaje pod tlakom). Pritom silu pretlaka koja djeluje na lijevu stranu krova – zbog nemogućnosti kosnika da preuzme vlačnu silu – preuzimaju desni stup i kosnik, dok silu usisa na lijevu stranu krova (odnosno silu pretlaka na desnu stranu krova) preuzimaju lijevi stup i kosnik (sl. 7.16.). Roženice su napregnute kao za čisto podrožničko krovno. Nazidnice su opterećene samo vertikalno. Podrožnice su opterećene na koso savijanje jer osim vertikalnog opterećenja preuzimaju i horizontalno. Glede mogućih shema u uzdužnom smjeru vrijedi sve kao i za čisto podrožničko krovno (sl. 7.12.).



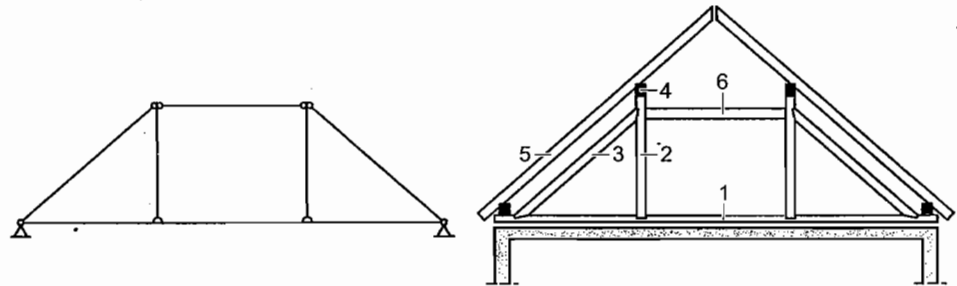
Sl. 7.16. Preuzimanje horizontalne sile na krovšte: lijevo – od pretlaka na lijevu stranu krova, desno – od usisa na lijevu odnosno pretlaka na desnu stranu krova

7.2.2.2. Vezač – dvostruka visulja

Rabi se u slučaju kada se krovšte mora osloniti samo na krajnje zidove. Na slici 7.17. prikazana je konstrukcija i statički sustav. Nepomični ležaj roženice opet je na mjestu podrožnice. Za roženice, nazidnice i podrožnice vrijedi sve kao za dvostruku stolicu. Radi se o simetričnom sustavu. Način prijenosa opterećenja objasniti ćemo pomoću slike 7.18. Za simetrično opterećenje (npr. puno vertikalno opterećenje) elementi visulje imaju samo uzdužne sile – riječ je o rešetki kojoj nedostaje jedan štap pa nosi samo za simetrično opterećenje. Pritom u kosnicima i razupori imamo tlak, u veznoj gredi vlak, a u stupcima nema sile.

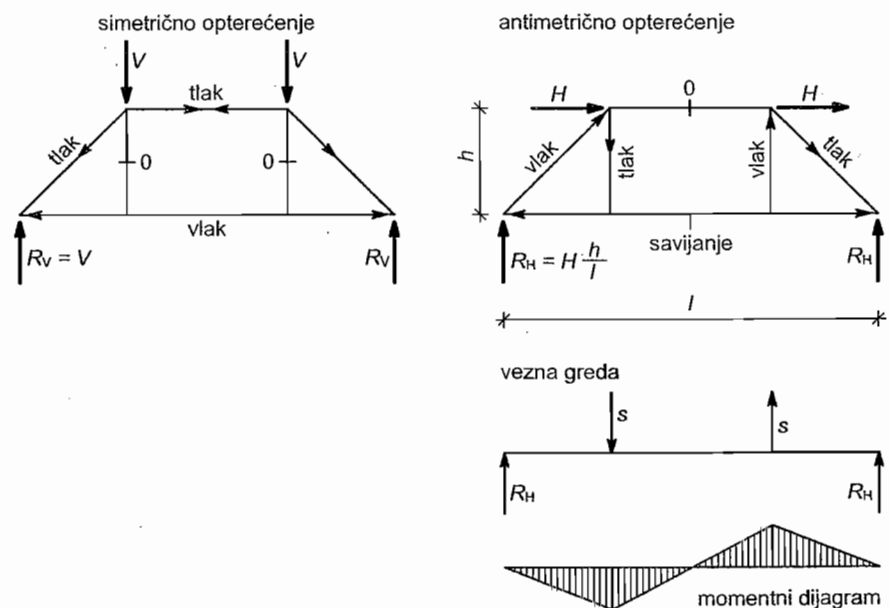
Sl. 7.17. Dvostruka visulja: konstrukcija i statički sustav:

- 1 vezna greda
- 2 stup
- 3 kosnik
- 4 podrožnica
- 5 roženica
- 6 razupora



Za antimetrično opterećenje (npr. jednaka horizontalna sila lijevo i desno) dobivamo osim uzdužnih sila u kosnicima i stupcima i savijanje u veznoj gredi. Ako djeluje neko vertikalno ili horizontalno opterećenje koje je različito od onih prikazanih na slici 7.18., koristimo se činjenicom da svako opterećenje možemo prikazati kao zbroj odgovarajućega simetričnog i antimetričnog opterećenja.

Sl. 7.18. Način prijenosa opterećenja kod dvostruke visulje: za simetrično i antimetrično opterećenje



7.2.3. Ukrucenje podroženičkih krovšta u uzdužnom smjeru

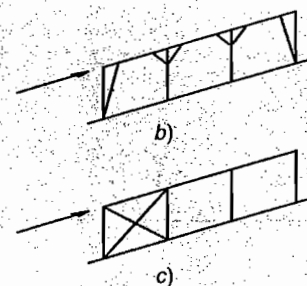
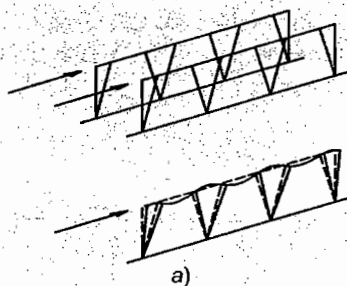
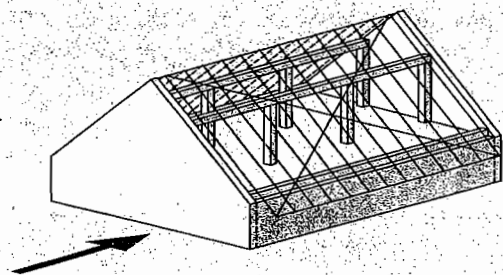
Vjetar u uzdužnom smjeru opterećuje zabatne zidove koji sami za sebe najčešće nisu u stanju osigurati uzdužnu stabilnost. Jedan od načina ukrucenja jest pretvaranje krovnih ploha u krute dijafragme primjenom dijagonalne daščane oplata ili s pomoću ukrštenih dijagonala, kao što je to shematski prikazano na slici 7.19. Drugi se način ukrucenja sastoji u tome da se podrožnice sa stupovima i eventualno dodatnim elementima povežu tako da čine okvirnu konstrukciju koja može prenijeti horizontalne sile (sl. 7.20.).

Postoje tri varijante toga rješenja:

- s kosim stupovima (sl. 7.20a)
- s vertikalnim stupovima i rukama, čime se formiraju kruti čvorovi (sl. 7.20b)
- s ukrštenim dijagonalama između stupova u barem jednom polju (sl. 7.20c) – prilikom adaptacija krovišta nikako ih se ne smije ukloniti!

Sl. 7.19. Ukrucenje krovišta u uzdužnom smjeru pretvaranjem krovnih ploha u krute dijafragme

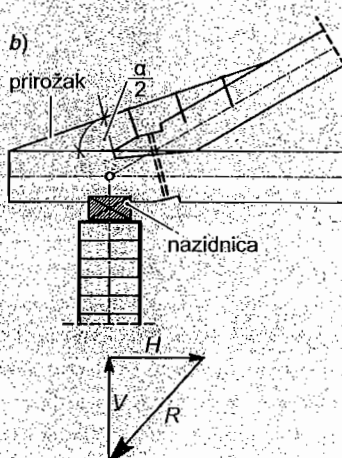
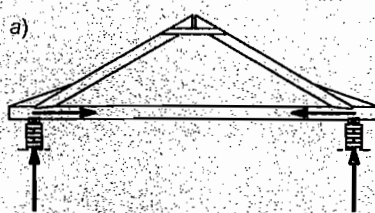
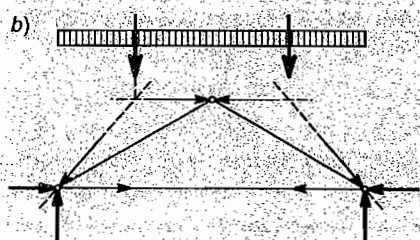
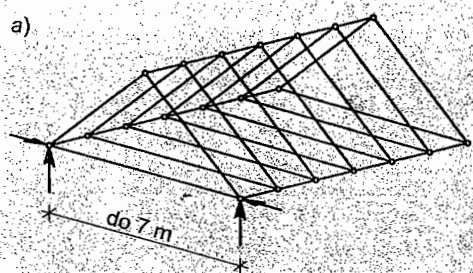
Sl. 7.20. Ukrucenje krovišta u uzdužnom smjeru: a) kosim stupovima; b) rukama; c) ukrštenim dijagonalama



7.3. ROŽENIČKA KROVIŠTA

7.3.1. Obično roženičko krovšte

Kako se vidi na slici 7.21a, takva se krovšta rabe za raspone do 7 m i za veće nagibe krova. Svaki par roženica čini posebni nosivi sustav – trozglobni okvir koji preuzima vertikalna opterećenja i poprečna horizontalna opterećenja. Na ležajevima nastaju i vertikalne i horizontalne reakcije, pa tome treba odgovarati i konstrukcija ispod roženica. Vertikalne sile preuzimaju zidovi, a horizontalne odgovarajuće zatege (sl. 7.21b). Stara tesarska konstrukcija sastojala se od zatvorenih trokuta koje su činile po dvije roženice i po jedna stropna greda (sl. 7.22a). Za prijenos horizontalne sile iz roženice u gredu služi zasjek s priroškom (sl. 7.22b). Nazidnica se nalazi ispod zatvorenog trokuta, pa za vertikalno opterećenje preuzima samo vertikalne sile. Danas se takva konstrukcija susreće još samo pri adaptacijama starijih zgrada.



Sl. 7.21. Obično roženičko krovšte:

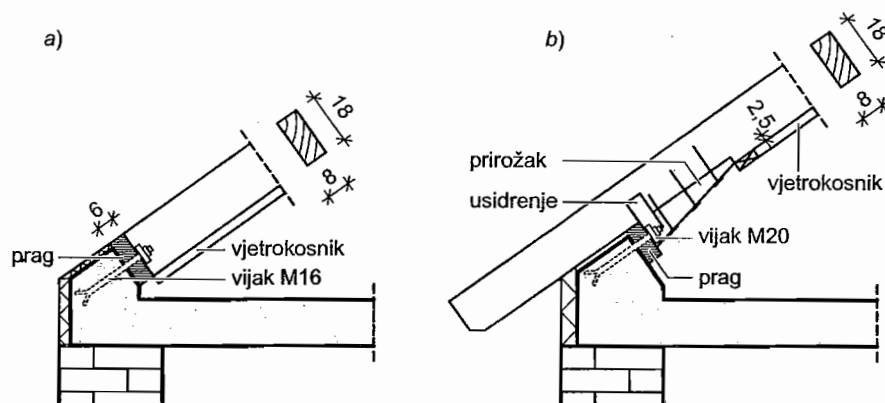
a) aksonometrijski prikaz; b) reakcije od vertikalnog opterećenja

Sl. 7.22. Stara tesarska konstrukcija roženičkog krovšta:

a) konstrukcija; b) detalj spoja roženice i stropne grede

U suvremenim konstrukcijama roženice se oslanjaju na armiranobetonsku stropnu konstrukciju putem prikladno oblikovanog serklaža (sl. 7.23.). Pritom razlikujemo rješenje bez strehe (sl. 7.23a) i rješenje sa strehom (sl. 7.23b). U prvom se slučaju sila iz roženice prenosi izravno u stropnu konstrukciju putem odgovarajuće kose nazidnice, a u drugom putem kladice koja je s roženicom povezana odgovarajućim posmičnim vezama, npr. moždanicima. U oba slučaja vlačne sile od roženica preuzima armiranobetonski strop koji – osim na savijanje – treba dimenzionirati i na odgovarajuću uzdužnu vlačnu silu.

Sl. 7.23. Suvremena konstrukcija roženičkog krovišta:
a) rješenje bez strehe;
b) rješenje sa strehom



Reakcije u roženičkom krovu određuju se kao za trozglojni okvir (sl. 7.24.):

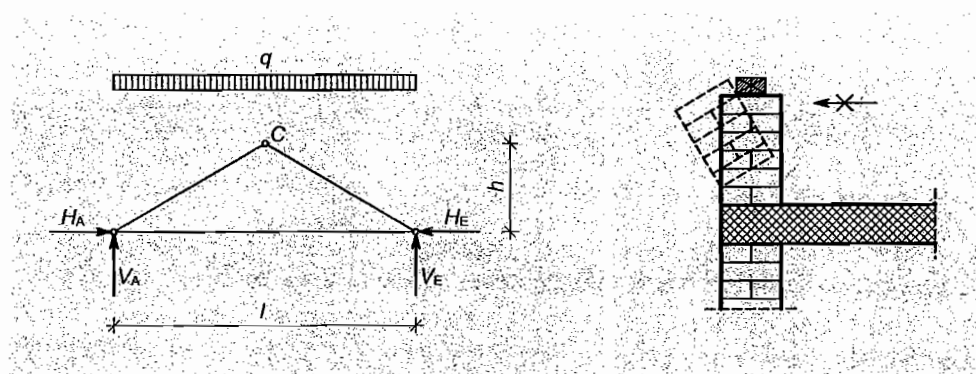
- vertikalne: $V_A = V_E = q \cdot l/2$
- horizontalne: $H_A = H_E = q \cdot l^2/8h$ (iz uvjeta $\Sigma M_{(C)} = 0$).

Momenti u roženicama određuju se jednako kao kod podroženičkoga krova. No, kod roženičkoga krova one preuzimaju i uzdužne sile, koje su približno jednake kosim reakcijama, dakle:

$$N \cong R = \sqrt{(H_A^2 + V_A^2)}.$$

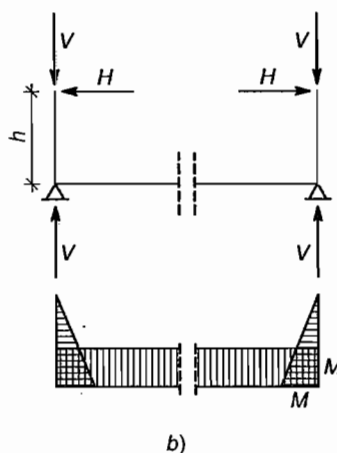
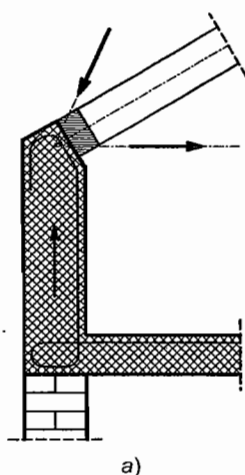
Sl. 7.24. Određivanje reakcija kod roženičkoga krova

Sl. 7.25. Nastrešna stijena ne može biti samo od opeke jer ne može preuzeti horizontalnu silu



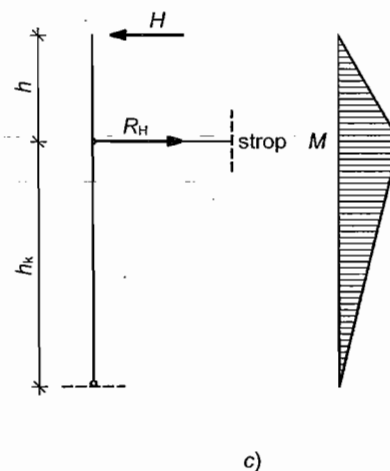
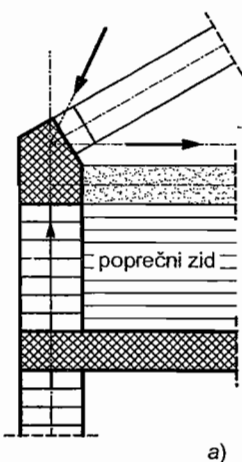
Vrlo je često prostor krovišta dio stana pa se u tom slučaju predviđaju nastrešne stijene. One ne mogu biti samo od opeke zato što ne bi mogle preuzeti horizontalne sile od roženičkoga krovišta (sl. 7.25.). Razmjerno je složeno rješenje s armiranobetonskom nastrešnom stijenom kruto vezanom sa stropnom konstrukcijom (sl. 7.26a). U tom slučaju vertikalno opterećenje krovišta preuzima zid ispod stropa, a horizontalno okvirna konstrukcija koja se sastoji od nastrešnih stijena i stropa (sl. 7.26b), pri čemu najveći moment iznosi:

$$M = H \cdot h.$$

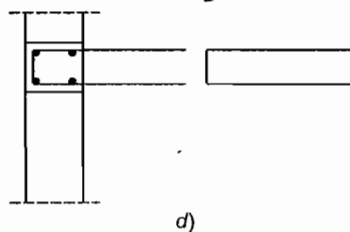
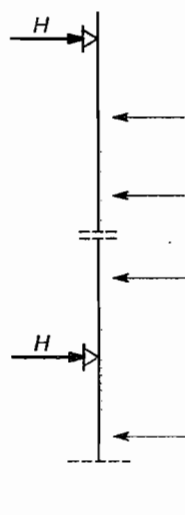
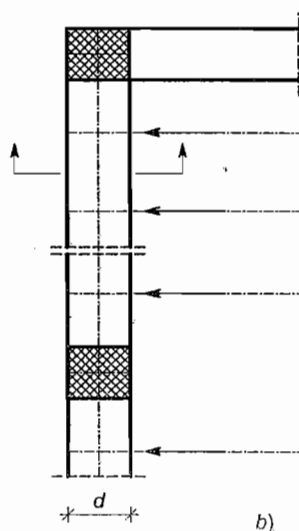


Sl. 7.26. Armiranobetonska nastrešna stijena kruto vezana sa stropnom konstrukcijom:
a) presjek konstrukcije;
b) statička shema s opterećenjem i reakcijama te momentni dijagram

Drugo je rješenje da se horizontalni serklaž na rubu nastrešne stijene dimenzionira kao horizontalna greda koja prenosi horizontalne sile od rožnica na vertikalne serklaže na udaljenosti od 3 do 4 m (sl. 7.27a–b). Vertikalni se serklaži produžuju i u donju etažu (sl. 7.27c). Oni su najčešće ionako potrebni zbog seizmičkih opterećenja. Horizontalne reakcije R_H treba preuzeti odgovarajućim sponama koje obuhvaćaju armaturu vertikalnog serklaža i sidre se u strop (sl. 7.27d).



Sl. 7.27. Rješenje nastrešne stijene s horizontalnim serklažom – gredom i vertikalnim serklažima:
a) presjek;
b) tlocrt;
c) shema vertikalnog serklaža s opterećenjem, reakcijom i momentnim dijagramom;
d) tlocrtna skica veze vertikalnog serklaža sa stropom

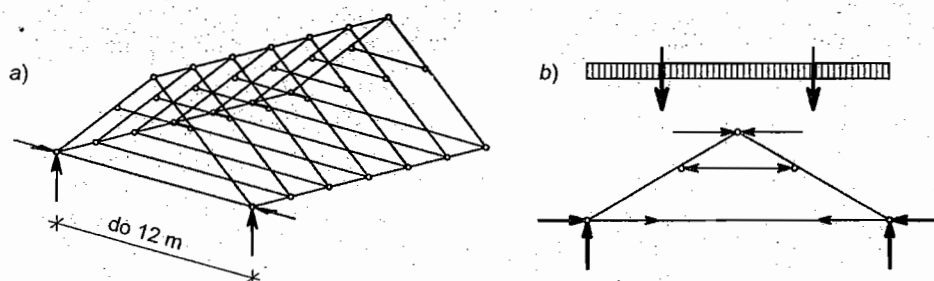


d)

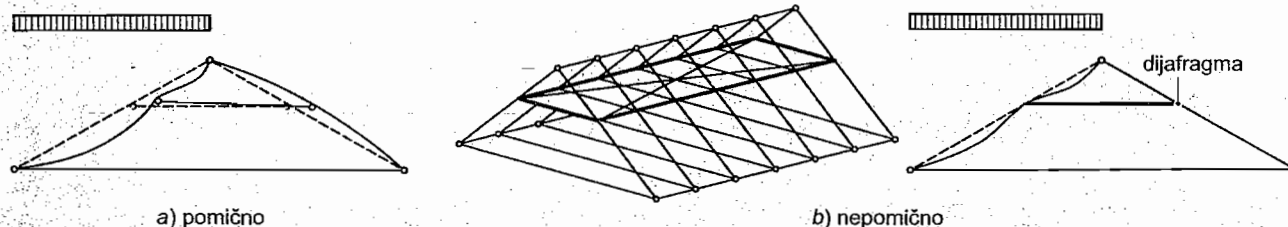
7.3.2. Roženičko krovšte s pajantom

Rabi se za raspane do 12 m i za veće nagibe krova. Pritom se roženice razupiru pajantama. Pajante sprječavaju normalno deformiranje roženica od punoga vertikalnog opterećenja, pa tako roženice postaju nosači na tri ležaja (sl. 7.28.). Statički je najpovoljniji položaj pajante na sredini visine, ali to nije uvijek moguće jer je položaj pajante uvjetovan visinom prostorije u prostoru krovšta. Punu djelotvornost oslonca ima pajanta pri simetričnom opterećenju. Kod nesimetričnoga vertikalnog i horizontalnog opterećenja dolazi do pomaka, pa pajanta ne djeluje kao ležaj nego samo raspodjeljuje opterećenje na obje roženice. Krovšte s takvim pajantama naziva se *pomičnim* roženičkim krovštem s pajantom (sl. 7.29a). Pajante se mogu ukrštenim dijagonalama povezati u krutu dijafragmu koja može horizontalne sile prenijeti na zabatne zidove. U tom slučaju pajante djeluju kao ležajevi roženica i za nesimetrično opterećenje. Takvo se krovšte naziva *nepomičnim* roženičkim krovštem s pajantom (sl. 7.29b).

Sl. 7.28. Roženičko krovšte s pajantom: a) aksonometrija; b) shema i reakcije za puno vertikalno opterećenje



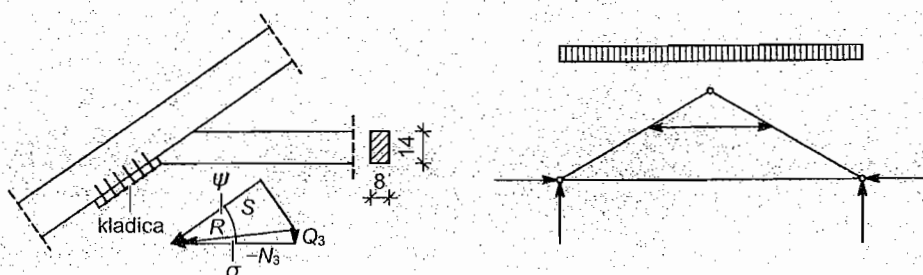
Sl. 7.29. Dvije vrste roženičkih krovšta s pajantom: a) pomično – shema s deformiranjem; b) nepomično – aksonometrijski prikaz i shema s deformiranjem



Pajanta je tlačni štap. Tlačna sila pajante djeluje iznutra prema van i, prema tome, povećava horizontalne reakcije na ležajevima u odnosu na sustav istih dimenzija bez pajante (sl. 7.31.). Primjer oslanjanja pajante na roženicu prikazan je na slici 7.30. Komponenta okomita na roženicu prenosi se izravno kontaktom, a komponenta paralelna s roženicom s pomoću kladice i odgovarajućih posmičnih veznih sredstava (čavli, vijci). Glede ležajeva i oblikovanja ležajeva krovšta te zahtjeva na konstrukciju ispod krovšta vrijedi sve što je rečeno za obično roženičko krovšte. Isto vrijedi i za rješenja krovšta s nastrešnom stijenom. Proračun roženičkoga krovšta s pajantom prilično je složen i ne obrađuje se u sklopu ovoga kolegija.

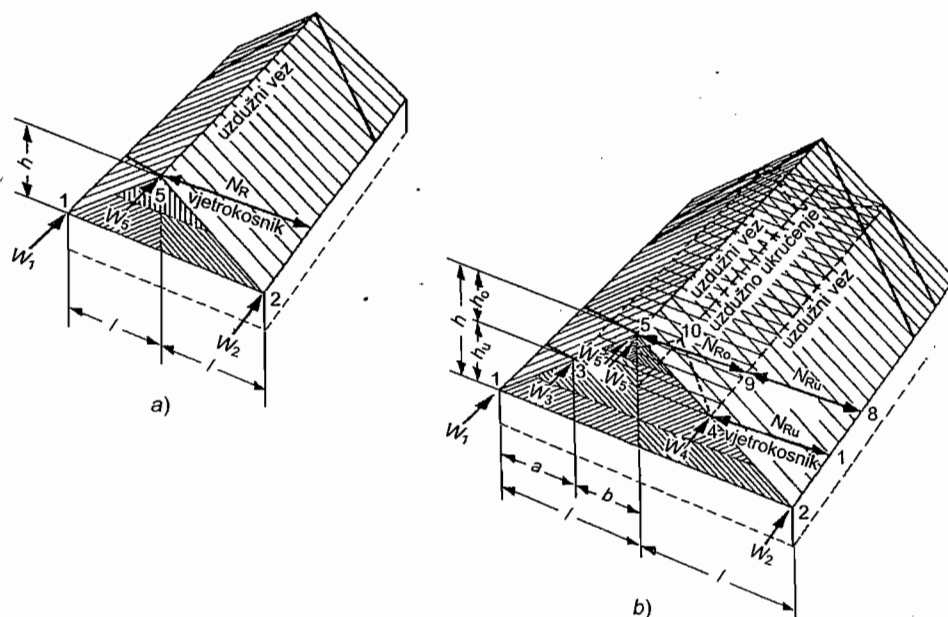
Sl. 7.30. Detalj oslanjanja pajante na roženicu

Sl. 7.31. Pajanta kao tlačni štap povećava horizontalne reakcije krovšta



7.3.3. Uzdužno ukrucenje roženičkih krovišta

Postiže se vjetrokosnicima i uzdužnim vezovima u sljemenu i – ako postoje pajante – na razini oslonaca pajanti (sl. 7.32.). Ako pajante nisu povezane u krutu dijafragmu, obično im se dodaje letva za ukrucenje u sredini, koja zajedno s kosnicima u ravni pajanti smanjuje njihovu dužinu izvijanja u toj ravni. Umjesto vjetrokosnika za ukrucenje može poslužiti dijagonalna daščana oplata na roženicama.

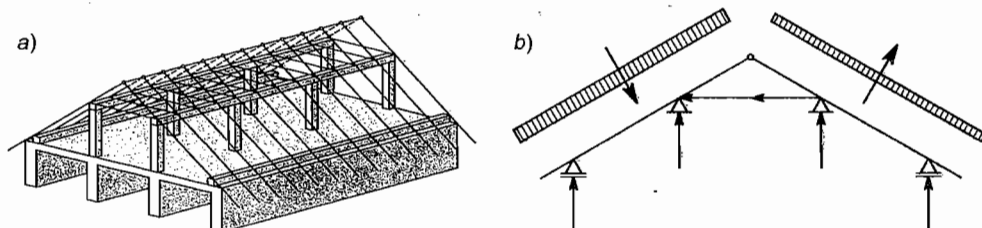


Sl. 7.32. Uzdužno ukrucenje roženičkih krovišta:
a) za obično roženičko krovište;
b) za roženičko krovište s pajantom

7.4. KOMBINIRANE KONSTRUKCIJE KROVIŠTA

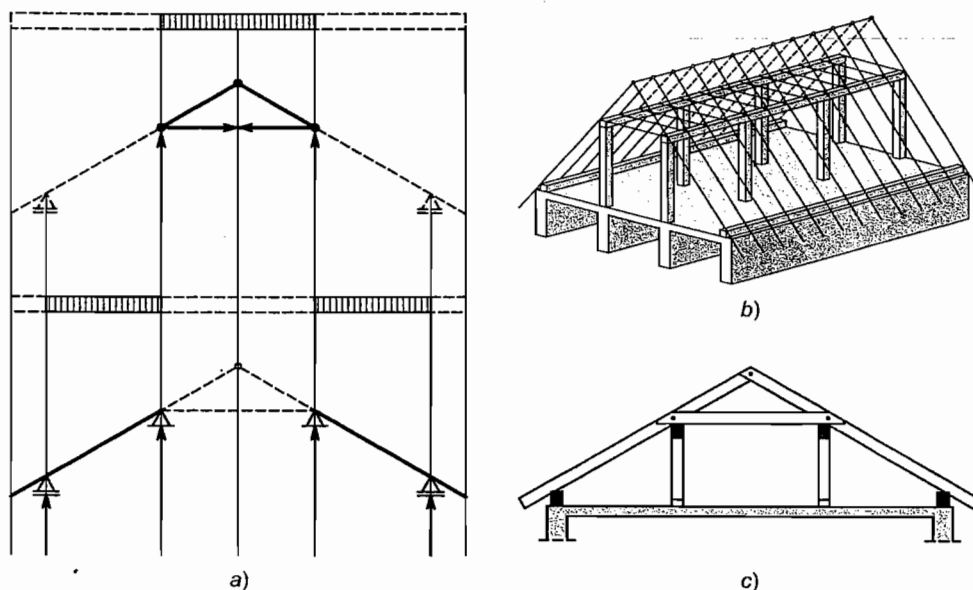
7.4.1. Podroženičko krovište s pajantama

Dobiva se od podroženičkoga krovišta bez kosnika povezivanjem roženica u sljemenu i povezivanjem svih roženica pajantama iznad podrožnica (sl. 7.34a–b). Dakle, u gornjem dijelu imamo roženičko krovište kojega horizontalne sile preuzima pajanta kao zatega, dok donji dio djeluje kao podroženičko krovište (sl. 7.34c). U odnosu na podroženičko krovište bez kosnika, moguće je ovim rješenjem postići veći raspon krovišta zbog mogućnosti povećanog razmaka stupova (do 7 m u odnosu na oko 3 m kod čistoga podroženičkoga krovišta). Ako pajante sa srednjim podrožnicama i ukrštenim dijagonalama čine krutu dijafragmu, ona prenosi horizontalne sile na zabatne i poprečne zidove (sl. 7.33a). Tada nazidnice na nastrešnim stijenama ne moraju biti dimenzionirane na horizontalne sile (sl. 7.33b).



Sl. 7.33. Podroženičko krovište s pajantama, koje su s podrožnicama i dijagonalama povezane u krutu dijafragmu:
a) aksonometrijski prikaz;
b) prikaz prijenosa sile od opterećenja vjetrom

Sl. 7.34. Podroženičko krovšte s pajantama:
a) prikaz prijenosa sila od vertikalnog opterećenja;
b) aksonometrija;
c) konstrukcija

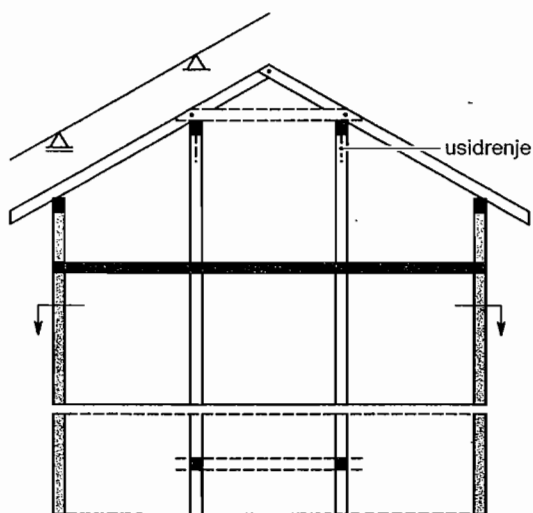


7.4.2. Podroženičko krovšte s armiranobetonskim stupovima

Moguće je predvidjeti armiranobetske stupove krovšta koji prolaze i donjom etažom – bilo samostalno, bilo u obliku vertikalnog serklaža odgovarajućeg zida (sl. 7.35.). Zbog kontinuiteta stupovi krovšta upeti su i mogu

preuzeti horizontalne sile u oba smjera, pa nisu potrebne nikakve daljnje mjere ukrućenja. Podrožnice trebaju biti usidrene u armiranobetske stupove na odgovarajući način. Ovim rješenjem može se postići veća sloboda oblikovanja, npr. nesimetrični krov, tj. različiti nagib krova na dvije strane, zatim slobodniji raspored stupova, tj. ne nužno na istom pravcu u poprečnom smjeru. Jedini uvjet koji treba poštovati jest da se osigura prikladan raspon rožnica (do ~3,5 m) i podrožnica (do ~4 m).

Sl. 7.35. Podroženičko krovšte s ab-stupovima: gore presjek, dolje tlocrt



8. UZDRŽAVANJE I POJAČAVANJE KONSTRUKCIJA

8.1. UVOD

Kao što je poznato već iz „Nosivih konstrukcija I“, konstrukcije se projektiraju i grade tako da imaju određena tražena svojstva – sigurnost, uporabljivost, trajnost i dr.

8.1.1. Definicije osnovnih pojmova

Definicije pojmova povezanih s uzdržavanjem uzimamo prema njemačkoj normi DIN 31051, pa uza svaki pojam dajemo i njemački naziv.

Uzdržavanje (*Instandhaltung*) uključuje sve mjere za očuvanje i ponovno uspostavljanje traženih svojstava, kao i utvrđivanje i ocjenu postojećeg stanja neke konstrukcije. Uzdržavanje obuhvaća:

- održavanje (*Wartung*): mjere za očuvanje traženih svojstava
- preglede (*Inspektion*): mjere za utvrđivanje i ocjenu postojećeg stanja
- popravak (*Instandsetzen*): mjere za ponovno uspostavljanje traženih svojstava.

Poznati primjeri održavanja jesu obnavljanje zaštitnog naliča čeličnih i drvenih konstrukcija, te obnova žbuke i boje kod zidova od opeke. Primjer za preglede daje jedan propis za betonske konstrukcije, koji određuje učestalost kontrolnih pregleda konstrukcija na:

- 10 godina za javne i stambene zgrade
- 5 godina za industrijske građevine
- 2 godine za mostove.

Najmanji predviđeni opseg pregleda jest vizualni pregled sa snimanjem položaja te veličina pukotina i svih oštećenja bitnih za sigurnost konstrukcije, a po potrebi i mjerenje progiba. Popravak je potreban ako pregled pokaže da stanje konstrukcije ne zadovoljava tražena svojstva. Njemu redovito prethode opsežni istražni radovi radi utvrđivanja postojećeg stanja, te potrebnog načina i opsega popravka. Poznate su tri strategije uzdržavanja:

- strategija zamjene: mjere se poduzimaju tek kada dođe do štete
- strategija kontrole: poduzimaju se redoviti kontrolni pregledi s namjerom da se pravodobnim popravkom ograniči šteta
- preventivna strategija: redoviti pregledi i zamjena dijelova u određenim rokovima, bez obzira na to jesu li otkazali. Rokovi kada se dijelovi konstrukcije zamjenjuju određeni su analizama na temelju teorije vjerojatnosti.

Stvarna strategija uzdržavanja ovisi o značenju građevine i pojedinih konstrukcijskih elemenata. Za sve građevine (osim sporednih i privremenih) strategija zamjene sigurno nije prihvatljiva u odnosu na sigurnost. Naime, najčešće tijekom vremena više malih odstupanja od traženih svojstava dovodi do jednoga većeg odstupanja, a onda dostaje još samo jedno malo odstupanje (koje samo za sebe ne znači ništa) da dođe do otkazivanja konstrukcije. To pokazuje značenje sustavnog uzdržavanja koje bi – uklanjanjem moguća samo malih šteta – spriječilo kasnije otkazivanje konstrukcije.

Uzdržavanju građevina trebalo bi pristupiti smišljeno, pri čemu bi svaki vlasnik zgrade trebao raspolagati ovom osnovnom dokumentacijom:

- projektnom dokumentacijom (statika, arhitektura, instalacije, podaci o temeljnom tlu) ili, još bolje, ali u nas zasad rijetko, dokumentacijom izvedenog stanja: to je projektna dokumentacija u koju su unesene sve promjene nastale tijekom izvedbe
- izvještajima o kontrolnim pregledima (nadnevak, opis utvrđenih oštećenja)
- zapisnikom o radovima održavanja
- dokumentacijom izvedenih popravaka (izvještaj o istražnim radovima, projektna dokumentacija odnosno dokumentacija izvedenog stanja).

Pojačavanje uključuje sve mjere za poboljšanje određenih svojstava konstrukcije (nosivost, krutost) u odnosu na projektirano stanje. Uzdržavanje i pojačavanje odnose se na postojeće konstrukcije, za razliku od projektiranja i izvedbe novih konstrukcija. Stručnjaci u svijetu sve se više bave postojećim konstrukcijama zbog:

- sve većeg broja postojećih konstrukcija, čime donekle pada potreba za novim – npr. stručnjaci za mostogradnju u Njemačkoj bave se 80% vremena uzdržavanjem postojećih, a samo 20% vremena projektiranjem i građenjem novih mostova
- nedostatnih saznanja o trajnosti betonskih konstrukcija (pouzdana saznanja novijeg su datuma: još prije tridesetak godina većina je inženjera mislila da je beton vječan, pa prilikom izvedbe nije vođeno računa o njegovoj trajnosti, zbog čega velik broj konstrukcija propada)
- sve češće potrebe za prenamjenom građevina, što znači promjenu zahtjeva i potrebu za ocjenom podobnosti konstrukcije za te zahtjeve.

8.2. UZROCI PROPADANJA KONSTRUKCIJA

Uzroci propadanja konstrukcija su brojni:

- klimatski: radijacija (sunčana i dr.), temperaturne promjene, voda (snijeg, led, tekućina, para), normalni sastojci zraka (kisik, ozon, ugljični dioksid), onečišćeni zrak, ciklusi smrzavanja-odmrzavanje, vjetar
- biološki: mikroorganizmi, lišaj, bakterije
- opterećenja
- nekompatibilnost: kemijska, fizička
- uporaba: instalacije i njihovo uzdržavanje, pogrešna uporaba.

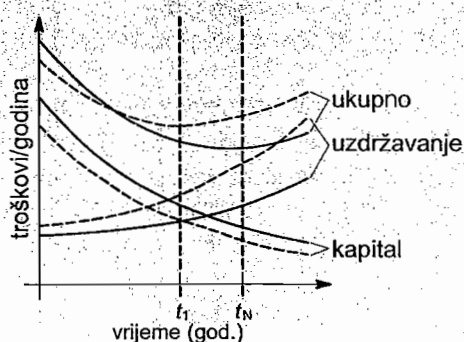
Pojavni su oblici propadanja:

- korozija (lat. *corrodere* = rastočiti, izglatiti): postupno razaranje materijala, počevši od površine, zbog vanjskih kemijskih ili elektrokemijskih djelovanja
- raspucavanje
- ljuštenje, odlamanje
- površinsko trošenje (abrazija) i dr.

Procesi propadanja slijede smjer koji opisuje drugi zakon termodinamike, a koji glasi: „Sustav nikad sam od sebe ne prelazi u stanje znatno manje vjerojatnosti“. Statistički je najvjerojatnije stanje potpunog izjednačenja, tj. najvećega mogućeg nereda, odnosno stanje najmanje energije. Iz toga proizlazi da je potreban određen utrošak energije za održavanje uređenog stanja koje predstavlja neko gradivo, konstrukcijski element ili organizam. Kod tehničkih uređaja i građevina taj se utrošak zove uzdržavanje.

8.3. TRAJNOST KONSTRUKCIJA

Očito je da je utrošak za uzdržavanje građevina to manji što je veća trajnost gradiva i konstrukcije. Stoga se isplati poduzeti odgovarajuće mjere prilikom projektiranja i izvedbe građevine kojima će se povisiti trajnost konstrukcije. Podsjetimo se („Nosive konstrukcije I”, str. 22), zahtjev trajnosti glasi: Konstrukcije treba projektirati, izvesti i upotrebljavati tako da pod očekivanim utjecajima okoliša održe svoju sigurnost, uporabljivost i prihvatljiv izgled tijekom određenog razdoblja bez nepredviđeno velikih troškova uzdržavanja. Trajnost ima velik utjecaj na ukupne troškove, pa svaki investitor treba o tome voditi računa, posebice o važnim konstrukcijskim elementima kojih je popravak ili zamjena obično težak i skup. Ukupne troškove neke zgrade čini zbroj troškova izgradnje i troškova uzdržavanja. Iz dijagrama troškova za dvije zgrade na slici 8.1. vidimo da je „skuplja” a trajnija zgrada već u vremenu t_1 jeftinija od „jeftinije” zbog manjih troškova uzdržavanja. Još je izraženija razlika za vrijeme t_N – predviđeni rok trajanja zgrade. Ovakva razmatranja učinila su da mnogi investitore grade betonske, armiranobetonske i prednapete betonske konstrukcije (koje je moguće izgraditi tako da imaju vrlo male troškove uzdržavanja) te da za pojedine građevine propišu dodatne tehničke uvjete izvedbe usmjerene na poboljšanje trajnosti. Takve uvjete propisalo je npr. njemačko ministarstvo prometa za mostove na prometnicama.



Sl. 8.1. Dijagrami prosječnih ukupnih troškova za dvije zgrade

— „skuplja” zgrada
- - - „jeftinija” zgrada

Planirani vijek trajanja betonskih elemenata, uz minimalne troškove uzdržavanja, jest prosječno:

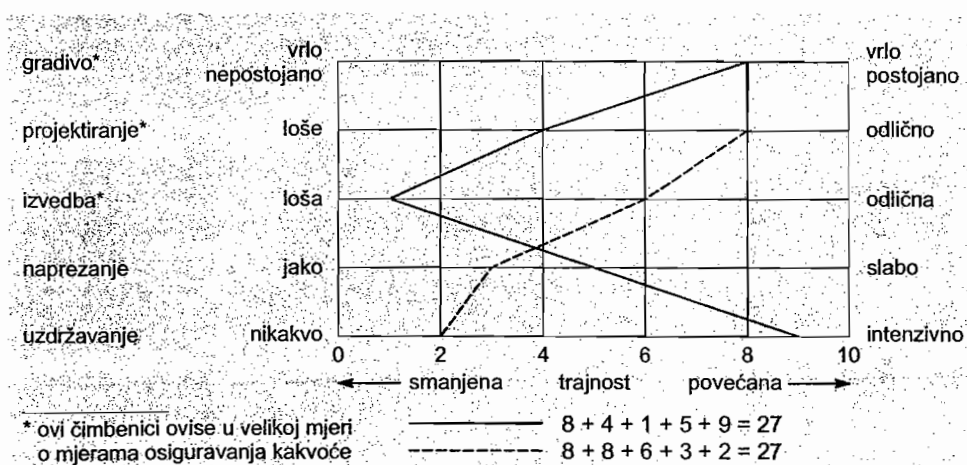
- 80 godina za nosivu konstrukciju zgrada
- 40 godina za armiranobetonske balkonske ograde
- 30–50 godina za betonski crijep.

Na temelju opsežnih ispitivanja utvrđeno je da su prijevremene štete uzrokovane:

- u 40% slučajeva pogreškama u projektiranju i razradi pojedinosti
- u 40% slučajeva pogreškama u izvedbi
- u 20% slučajeva pogreškama u materijalu i neispravnom uporabom.

Jednodušan je zaključak stručnjaka da se pretežiti dio promatranih pogrešaka mogao izbjeći i tako smanjiti troškove uzdržavanja. Pritom je najvažnija činjenica da se to moglo postići bez većih dodatnih ulaganja, pa je međunarodna literatura upozorila na to kako je krajnje vrijeme da se ne samo vrlo važne i skupe građevine – kao nuklearne elektrane i off-shore platforme – projektiraju i izvedu tako da im se jamči određeni vijek trajanja već i „obične” građevine – poslovne zgrade, neboderi, pokrivena parkirališta i dr. Masters i Brandt predložili su (1987.) polukvalitativnu prosudbu trajnosti s pomoću „zbroja (profila) trajnosti” na temelju nekoliko čimbenika koji utječu na trajnost. Na slici 8.2. prikazan je takav profil trajnosti za dvije građevine, pri čemu se prosuđuje utjecaj pet čimbenika na trajnost: kakvoća gradiva, kakvoća projektiranja, kakvoća izvedbe, veličina naprezanja (opterećenja) i intenzitet uzdržavanja. Vidljiv je golem utjecaj čimbenika koji uvelike ovise o mjerama osiguravanja kakvoće – gradiva, projektiranja i izvedbe, a time i veliko značenje sustava osiguravanja kakvoće. Poboljšanje kakvoće projekti-

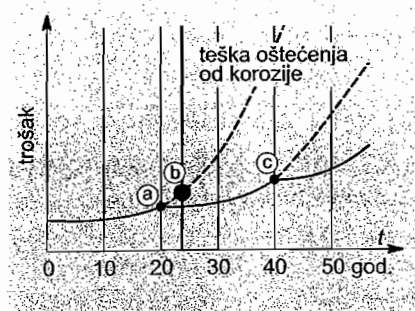
Sl. 8.2. Profil trajnosti
za dvije građevine



Važnost ispravnog projektiranja i izvedbe naglašava „de Sitterov zakon petica“. Naime, ako se propadanje konstrukcije razdjeli u četiri faze:

- faza A – projektiranje i izvedba: tu je moguće posijati sjeme nezadovoljavajućeg ponašanja konstrukcije
- faza B – korozija još nije nastupila, ali kloridi i karbonatizacija napreduju brže negoli je to poželjno (stanje se može popraviti odgovarajućim mjerama, npr. nanošenjem zaštitnog premaza betona)
- faza C – lokalna pojava korozije: na nekim mjestima postaju vidljive mrlje od korozije i odlamanje – očito je potreban popravak
- faza D – korozija po cijeloj konstrukciji: neophodan je popravak, a možda i zamjena cijelih konstrukcijskih elemenata.

Sl. 8.3. Trošak popravka ovisi o trenutku kada se poduzima



- a 1. popravak
- b početak korozije
- c 2. popravak

Tvrdnja glasi: 1 dolar utrošen u ispravno projektiranje i izvedbu (faza A) ima učinak 5 dolara utrošenih u fazi B, 25 dolara u fazi C ili 125 dolara u fazi D. Dakle gledajući po fazama, trošak raste eksponencijalno ($5^0 \rightarrow 5^1 \rightarrow 5^2 \rightarrow 5^3$). Iz toga slijedi i to da se izdaci za popravak mogu svesti na minimum tako da se popravci provedu dosta rano, dok još nije došlo do znatnog zama-ha korozije, jer tada je izdatak za popravak višestruko veći (sl. 8.3.).

8.4. PREGLEDI KONSTRUKCIJA

8.4.1. Uvod

Pod pregledima konstrukcija podrazumijevamo sve moguće istražne radove koji služe da bi se dobile informacije o konstrukciji, zatim prosudba tih informacija i ocjena zadovoljava li konstrukcija traženim zahtjevima. Pregledi se poduzimaju:

- kao redoviti u određenim razmacima ako je prihvaćena strategija pregleda
- kada se pojave oštećenja koja upućuju na to da konstrukcija možda više ne zadovoljava tražene zahtjeve

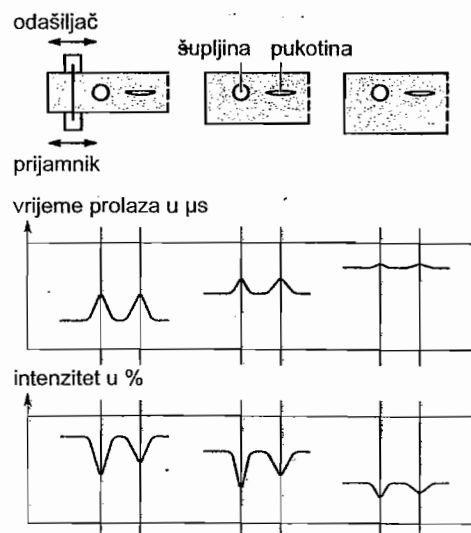
- nakon izvanrednih događaja, kao što su požar, potres, poplava, eksplozija, udar vozila i sl.
- kod prenamjene građevine, što često znači povećano korisno opterećenje
- za slučaj potrebe preprojektiranja građevine, koja uključuje promjene konstruktivnog sustava.

8.4.2. Postupci istraživanja postojećeg stanja konstrukcije

- Prvo što treba poduzeti jest prikupljanje svih mogućih podataka o konstrukciji (anamneza). Tu pripadaju:
 - sva moguća dokumentacija (vidi točku 8.1.)
 - podaci o uporabi konstrukcije: opterećenja i drugi utjecaji, havarije i dr.
- Nakon toga poduzimaju se radovi na samoj građevini, odnosno pregledi, terenska ispitivanja i uzimanje uzoraka. Najizravniji način ispitivanja jest ispitivanje konstrukcije probnim opterećenjem, s mjerenjem progiba i eventualno napona, te opažanje eventualnog raspucavanja. Radi se o skupim i dugotrajnim radovima. Mnogo su jednostavniji vizualni pregledi, eventualno s pomoću povećala (za opažanje raspucavanja) ili dalekozora (za opažanje udaljenih dijelova u slučaju kada nema skele). Za takve je preglede često potrebna radna skela, ljestve i sl.
- Da bi se prosudila otpornost konstrukcije, često je potrebno ispitivanje fizikalnih značajki gradiva. U to pripada, prije svega:
 - ispitivanje tlačne čvrstoće betona vađenjem probnih valjaka i njihovim ispitivanjem
 - ispitivanje vlačne čvrstoće betona pokusom čupanja (*pull-off test*).

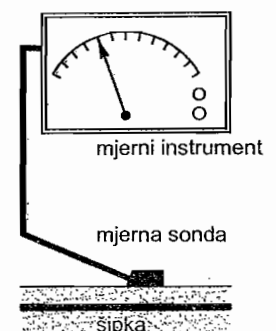
I jedno i drugo jesu **razorna ispitivanja**, baš kao i kvalitativno ispitivanje površinskog sloja betona probnim štemanjem.

- Moguće je i **nerazorno ispitivanje** čvrstoće sklerometrom ili Schmidtovim čekićem, koji mjeri odskok čelične šipke nakon udara o beton, pa se po tvrdoći površinskog sloja zaključuje o čvrstoći betona (to je prilično nepouzdana) i ujednačenosti kvalitete betona (vrlo pouzdano). Dakle, optimalno je provesti velik broj ispitivanja sklerometrom, koja su brza i jeftina, uz minimalan broj ispitivanja valjaka, koja su skupa i ostavljaju oštećenja u konstrukciji.
- Ispitivanje defektnih mjesta i (putem modula elastičnosti) čvrstoće betona moguće je provesti ultrazvukom. Kao što se vidi na slici 8.4., produženo vrijeme prolaza i smanjeni intenzitet ultrazvuka upućuju na defekte unutar betonskog elementa.
- Mjerenje debljine zaštitnog sloja betona te lokacije i presjeka armaturnih šipaka moguće je provesti razorno – odštemavanjem zaštitnog sloja, i bezrazorno – elektromagnetskim tražilom armature (pahometar i drugi nazivi), i to na bazi indukcije (sl. 8.5.). Kad mjerna sonda dođe iznad armature, inducirana se struja pokaže na mjernom instrumentu. Na taj se način vrlo pouzdano određuje lokacija armature, a u povoljnim okolnostima i debljina zaštitnog sloja i promjer šipke.



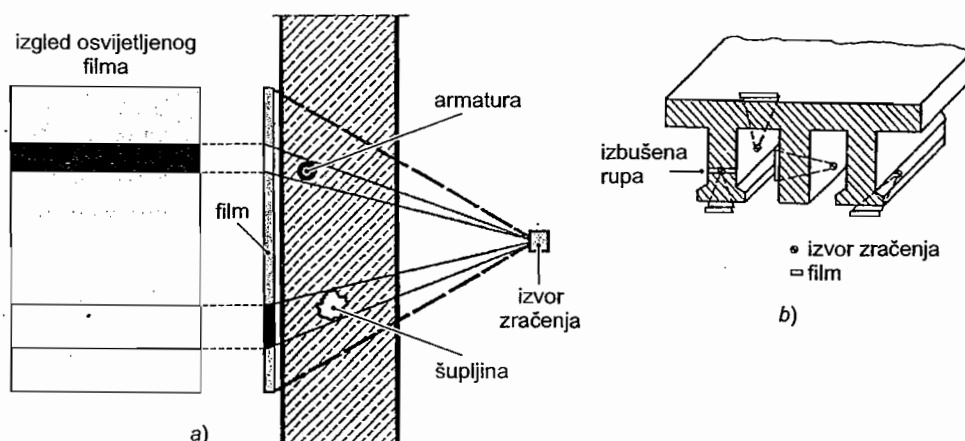
Sl. 8.4. Ispitivanje betonskog elementa ultrazvukom

Sl. 8.5. Elektromagnetsko tražilo armature



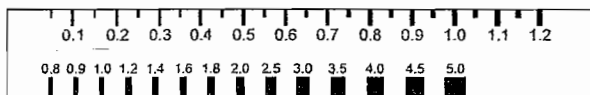
- Ispitivanje defektnih mjesta i položaja armature moguće je i prozračivanjem rendgenskim ili gama-zračenjem, koje prodire kroz gradivo i na odgovarajući način djeluje na film. S jedne strane postavlja se izvor zračenja, a s druge film (sl. 8.6.). Zračenje je oslabljeno gušćim gradivom (čelik), a pojačano na mjestima šupljina. U nas su ispitivanja betonskih konstrukcija prozračivanjem vrlo rijetka zbog potrebnih dugih vremena ekspozicije (za deblje elemente i više sati!) i opasnosti od zračenja za zdravlje osoblja.

Sl. 8.6. Ispitivanje prozračivanjem:
a) zida ili ploče;
b) rebrastog stropa



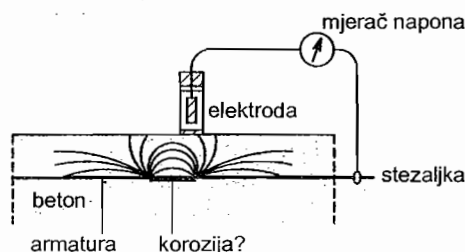
- Mjerenje širina pukotina moguće je:
 - usporednim mjerilom koje koristi sposobnost ljudskog oka za poredbeno ispitivanje (sl. 8.7.)
 - specijalnim povećalom s mjernom skalom.

Sl. 8.7. Usporedno mjerilo za mjerenje širine pukotina



- Ispitivanje kemijskih i elektrokemijskih značajki gradiva obuhvaća:
 - kemijsku analizu betona ili opeke zbog ispitivanja sadržaja klorida, sulfata i drugih škodljivih sastojaka
 - istraživanje dubine karbonatizacije mjerenjem pH-vrijednosti (indikacija ugroženosti armature korozijom): izbušeni uzorak (valjak ili istemani komad betona) namažu se otopinom fenolftaleina. Tada područje s $\text{pH} < 8,2$ ostaje bezbojno, a područje s $\text{pH} > 9,8$ oboji se crveno
 - mjerenje razlike električnog potencijala armature (sl. 8.8.) provodi se s čitavom baterijom elektroda (npr. na plohi $1 \times 2 \text{ m}$) da se utvrdi je li armatura zahvaćena korozijom. Kada je razlika potencijala:
 - $< 200 \text{ mV}$ postoji 90% vjerojatnosti da korozije nema
 - $> 350 \text{ mV}$ postoji 90% vjerojatnosti da je armatura korodirala
 - za međupodručje od 200 do 350 mV nije izvjesno je li proces korozije otpočeo, što se može interpretirati kao da postoji 50% vjerojatnosti da je nastupila korozija armature.

Sl. 8.8. Mjerenje razlike električnog potencijala armature



Cijeli proces pregleda ili ekspertize, tj. ispitivanja i ocjene stanja konstrukcije, te odluke o daljnjim mjerama koje treba poduzeti može se podijeliti na ove faze:

- 1) Priprema: prikupljanje svih relevantnih podataka o konstrukciji. Tu se pokazuje golema razlika između sustavno održavanih građevina i onih koje nisu nikako održavane, kao i u općoj kulturno-civilizacijskoj razini sredine (postojanje i održavanje gradskih arhiva).
- 2) Prvi pregled: cilj je da se sagleda opće ponašanje konstrukcije te da se, u slučaju potrebe, odaberu mjesta i načini detaljnih ispitivanja. Sastoji se od vizualnog pregleda – po potrebi pomoću dalekozora i povećala, izrade fotografija i eventualno manjeg broja nerazornih ispitivanja ili probnih štemanja.
- 3) Detaljna ispitivanja: cilj je da se prikupi dovoljno pouzdanih informacija na temelju kojih će se s dovoljnom točnošću ocijeniti stanje konstrukcije. Sastoji se od ispitivanja konstrukcije (u slučaju potrebe – probnim opterećenjem) i ispitivanja svojstava gradiva. Važan je što bolji prikaz rezultata pomoću kompjutorske grafike i statističke obrade.
- 4) Interpretacija rezultata: cilj je da se na temelju rezultata ispitivanja ocijeni sadašnje i buduće stanje konstrukcije u odnosu na zahtjeve koji se na nju postavljaju. Ova faza uključuje i sve potrebne statičke i dinamičke proračune te uzima u obzir i iskustva stečena s prije obrađenim konstrukcijama.
- 5) Preporuke o daljnjim mjerama, kao npr.:
 - stanje je zadovoljavajuće, ne treba poduzeti ništa
 - treba obaviti manje ili veće popravke
 - konstrukciju treba pojačati
 - treba poduzeti hitne mjere osiguranja (npr. podupiranje, izgradnja privremenih konstrukcija za zaštitu od padajućih dijelova), a zatim konstrukciju popraviti ili pojačati
 - konstrukciju treba srušiti ili zamijeniti.

Elaborat kojim se dokumentira cijeli proces zove se „Izveštaj o istražnim radovima sa stručnim mišljenjem o stanju konstrukcije i prijedlogom daljnjih mjera“.

S izuzetkom redovitih periodičnih pregleda, istražni radovi na konstrukciji predstavljaju uvijek zadaću optimizacije: u što kraćem vremenu, uz što manje troškove i što manji utjecaj na postojeću konstrukciju treba dobiti što opsežniju i točniju informaciju o konstrukciji. Pritom valja voditi računa o ovim čimbenicima:

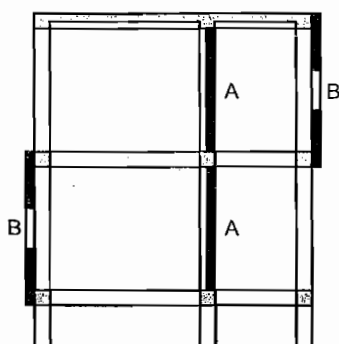
- vrijeme je često ograničeno: remont u industriji, prestanak rada u zgradi prije početka radova na popravku i sl.
- istražni radovi mogu biti dosta skupi i dugotrajni, a troškovima često treba pribrojiti i posredni gubitak zbog prestanka funkcije zgrade
- kod elemenata koji imaju male presjeke ili gustu armaturu treba izbjegavati razorna ispitivanja.

8.5. POPRAVAK I POJAČAVANJE

8.5.1. Projektiranje popravka i pojačanje

Ciljevi pri projektiranju popravka isti su kao i kod projektiranja novih konstrukcija – sigurnost, uporabljivost, trajnost i estetika. Preduvjet za uspješno projektiranje popravka jesu odgovarajući istražni radovi kojima je na zadovoljavajući način utvrđeno postojeće stanje odnosno stupanj oštećenja pojedinih elemenata (vidi prethodnu točku). Na osnovi tih saznanja – i jasne predodžbe o traženim svojstvima – može se doći do prikladnih mjera popravka. Glavni ciljevi popravka mogu biti:

- ponovno uspostavljanje zadovoljavajuće sigurnosti ili povećanje nosivosti
- održavanje ili ponovno uspostavljanje zaštite armature od korozije
- ponovno uspostavljanje betonskog presjeka sa zahtjevom na nosivost ili bez toga zahtjeva
- ponovno uspostavljanje ili povećanje otpornosti betonske površine na:
 - utjecaj mraza (i eventualno soli za odleđivanje)
 - prodiranje škodljivih tvari (za beton ili čelik)
 - habanje (mehaničke utjecaje)
 - određene atmosferske utjecaje
- ponovno uspostavljanje ili povećanje otpornosti na požar
- zatvaranje pukotina radi postizanja nosivosti ili brtvljenja
- estetski zahtjevi: boja, uklanjanje prljavštine, izbjegavanje razlike suhih i mokrih površina i dr.



Sl. 8.9. Dvije varijante pojačanja zgrade dodatnim uzdužnim ukrutnim zidovima

Složeni popravci traže visoku stručnost projektanta na području statike i razrade pojedinosti, kao i na području poznavanja gradiva. Jednako tako, zahtijevaju i vrlo stručne i iskusne izvođače. Prilikom odabira mjera popravka bitnu ulogu igraju tehnički aspekti izvedbe – prije svega dostupnost pojedinih konstrukcijskih elemenata i utjecaj na korisnike zgrade, koji treba biti što manji.

U primjeru na slici 8.9. zadaća je zgradu – koja nema uzdužnih zidova za ukrućenje – dodatno ukriti novim armiranobetonskim zidovima. Rješenje B sa zidovima na fasadi mnogo je povoljnije od rješenja A sa zidovima u unutrašnjosti zgrade zbog:

- mogućnosti izvedbe uz minimalan utjecaj na funkcioniranje zgrade i korisnike: u konkretnom slučaju, rješenje A nije ni bilo moguće jer se brojne instalacije nisu mogle premjestiti iz područja oko srednjeg zida
- lakše izvedbe temelja (iskop, betoniranje)
- lakšeg povezivanja novih zidova s postojećom konstrukcijom.

Za projektiranje i izvedbu popravaka i pojačanja postoji u nas* znatno manje normi i propisa nego za projektiranje i izvedbu novih konstrukcija, kod kojih je projektiranje i tehnologija izvedbe najčešće stvar rutine, a mjere osiguranja i kontrole kakvoće (čelik, cement, beton, armatura) pokrivene brojnim normama. S druge strane, postoji agresivni marketing proizvođača raznih materijala za popravke (koji su znatno skuplji od klasičnih gradiva), pa u tim okolnostima postoji znatna opasnost od toga da se popravkom ne postigne rezultat primjeren utrošenim sredstvima. Da se to spriječi, potrebno je izraditi mnogo opsežniji projekt popravka ili pojačanja s uključivanjem stručnjaka za poznavanje materijala. Uz dijelove projekta koji su već uvriježeni za projektiranje novih zgrada (tehnički opis, statički proračun, nacrti oplata i armature), treba propisati i potrebne mjere sigurnosti pri izvedbi

* Nasuprot tome, npr. u Njemačkoj postoje brojni propisi i preporuke za sve moguće aspekte izvedbe popravaka (materijali, izvedba, kontrola kakvoće), kao i dopunsko školovanje stručnjaka za projektiranje i izvedbu popravaka, te odredba da oni koji nisu završili to školovanje ne smiju raditi na popravcima.

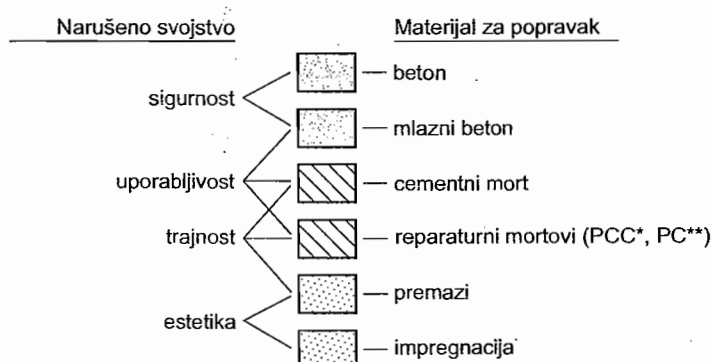
(npr. podupiranja) te izraditi **tehnološki projekt** koji za svaku pojedinu vrstu radova treba sadržavati:

- izbor potrebnih materijala (tražena svojstva)
- opis postupaka izvedbe radova
- potrebne mjere kontrole kakvoće – postupke kontrole i kriterije prosudbe rezultata.

Ponavljamo, za projekte novih zgrada tehnološki projekt nije potreban zato što su postupci izvedbe uvriježeni i poznati svim izvođačima, a gradiva su pokrivena postojećim normama.

8.5.2. Temeljna razmatranja za utvrđivanje mjera popravka

Prije svega, treba odabrati materijal za popravak, što ovisi o svojstvu građevine koje je narušeno i koje popravkom treba ponovno uspostaviti. Pregled narušenih svojstava i odgovarajućih materijala za popravak dan je na slici 8.10. Za povećanje nosivosti (sigurnost) predviđa se beton (u oplati ili mlazni), zato što je nepovoljno svojstvo dodatka polimera smanjenje modula elastičnosti (vidi tabl. 8.1.) i povećanje puzanja, čime bi popravljeni dio presjeka dobio manju krutost i preuzeo manje opterećenje u odnosu na postojeći dio presjeka, a time bi i sama svrha popravka postala upitnom.



Sl. 8.10. Materijal za popravak u ovisnosti o narušenom svojstvu konstrukcije

* Polymer Cement Composite – polimerom modificirani mort
 ** Polymer Composite – polimerni (epoksidni) mortovi

Gradivo	Sadržaj polimera [kg/m ³]	Modul elastičnosti [kN/mm ²]	Usporedba beton = 100
beton	–	35	100
beton (PCC)	200	27	77
mort (PCC)	450	19	54
masa za zalijevanje (PC)	800	10	29
epoksidna smola	–	5	14

Tabl. 8.1. Ovisnost veličine modula elastičnosti o količini dodatka polimera betonu

Kod narušenih svojstava uporabljivosti i trajnosti radi se pretežito o površinskim oštećenjima na vanjskim elementima zbog korozije armature i ostalih vanjskih utjecaja, npr. mraza. Pritom po pravilu sigurnost nije ugrožena. Umjesto statičko-konstruktivnih mjera poduzimaju se tehnološke mjere da se obnove presjeci i zaštiti gradivo. Te mjere imaju samo ekonomski i, često, estetski učinak. Za zaštitu gradiva, prije svega zaštitu armature od korozije, prikladni su materijali – polimerom modificirani mortovi i polimerni mortovi. Ako je narušena estetika zgrade, može se impregnacijom i brtvljenjima uspješno smanjiti taloženje prljavštine i iscjetavanja na fasadama. Nakon popravaka gotovo se uvijek predviđa odgovarajući premaz iz optičkih razloga –

Sl. 8.11. Oštećenja od korozije armature i razni načini popravka:

a) i d) slika oštećenja;
b) popravak mlaznim betonom ili cementnim mortom (repasivizacija);
c) popravak mortom (cementnim ili polimerom modificiranim) – repasivizacije s eventualnim premazom betona (sprječavanje pristupa vode); e) zaštitni premaz armature (epoksidna smola), uz popravak mortom i zaštitni premaz betona

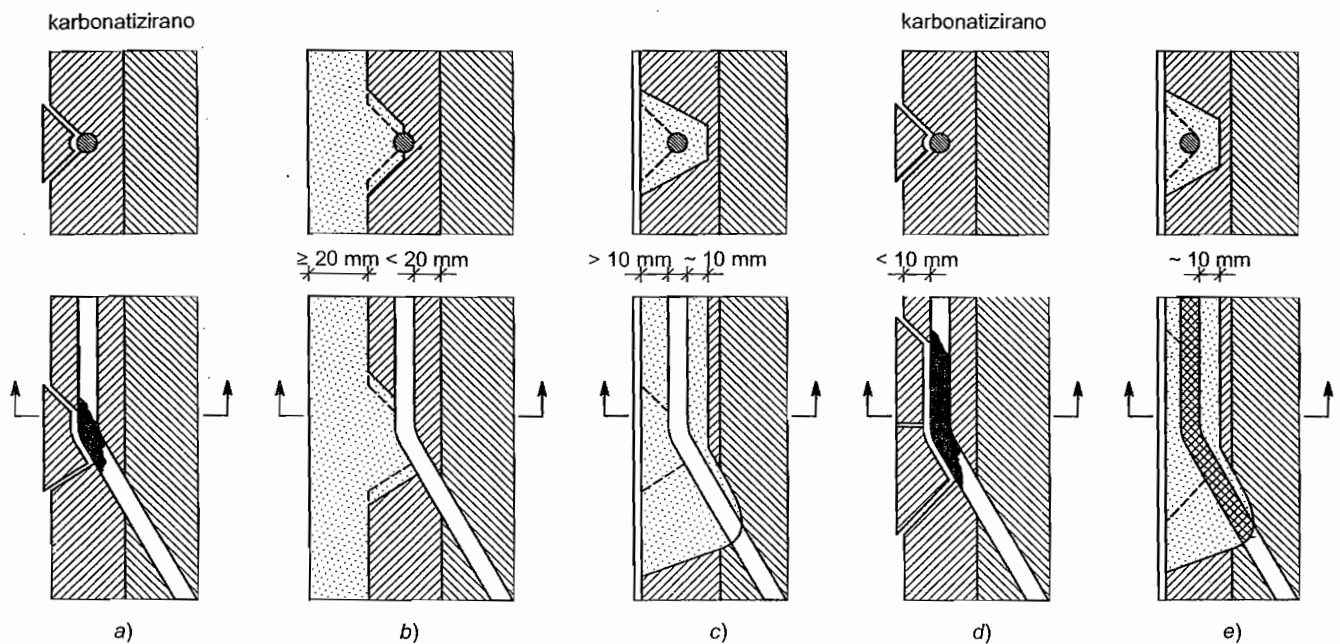
kako bi se prekrila mjesta na kojima su obavljani popravci. Svakako treba imati na umu da svi premazi i brtvljenja imaju ograničeni rok trajanja pa ih treba obnavljati u redovitim razdobljima od 10 do 20 godina.

8.5.3. Zaštita armature od korozije

Sastoji se od sprječavanja jednog ili više uzroka nastanka korozije, a to su:

- depasivizacija zbog karbonatizacije ili prodora klorida
- prisutnost vlage
- prisutnost kisika.

Na slici 8.11. prikazana su tipična oštećenja od korozije armature i razni načini popravka.



8.5.4. Pripremni radovi

8.5.4.1. Betonska podloga

U svim slučajevima kada se presjeci popravljaju ili povećavaju vrlo je važno ostvariti dobru vezu novog materijala i starog betona, dakle odgovarajuću priionljivost. Zato kontakt mora biti na neoštećenoj i dovoljno čvrstoj plohi staroga betona, u „zdravom betonu“. Pripremni radovi na betonskoj podlozi jesu:

- čišćenje površine betona od boje, premaza i drugih površinskih onečišćenja
- odstranjivanje oštećenog i labavog betona te, u slučaju potrebe, oslobađanje armature od okolnog betona
- čišćenje armature i drugih metalnih dijelova od hrđe
- čišćenje betonske podloge od vode, prašine i dr.

Spomenuti se radovi obavljaju:

- štemanjem: za uklanjanje debljih slojeva i oslobađanje armature
- vodom pod tlakom: za odstranjivanje premaza i labavih slojeva (najčešće 100 do 1000 bara)

- pjeskarenjem: za odstranjivanje premaza i čišćenje armature od hrđe
- plamenicima (acetilen + kisik, 3000 °C): za odstranjivanje organskih onečišćenja (nafta, bitumen, guma) i odstranjivanje površinskog sloja cementnog mlijeka radi oslobađanja krupnih zrna agregata.

8.5.4.2. Armatura

Čišćenje od hrđe može se obaviti ručno: čeličnim četkama ili strojno: pjeskarenjem ili vodom pod pritiskom od 500 do 1000 bara. Zaštitni premaz najčešće je na bazi epoksidnih smola.

8.5.5. Postupci popravka

8.5.5.1. Uvod

Uspjeh mjera popravaka bitno ovisi o stručnosti i savjesnosti osoblja koje izvodi radove. Pritom je od velike važnosti iskustvo stečeno na sličnim zadacima (reference!). Popravak betonskih konstrukcija razmjerno je mlada grana tehnike i iskustva nisu tako duga kao kod klasičnih tehnika građenja. To osobito vrijedi za primjenu polimera, pa prilikom odabira materijala treba biti vrlo oprezan i, po mogućnosti, birati one proizvode za koje postoji dokaz trajnosti. Materijali za popravak jesu:

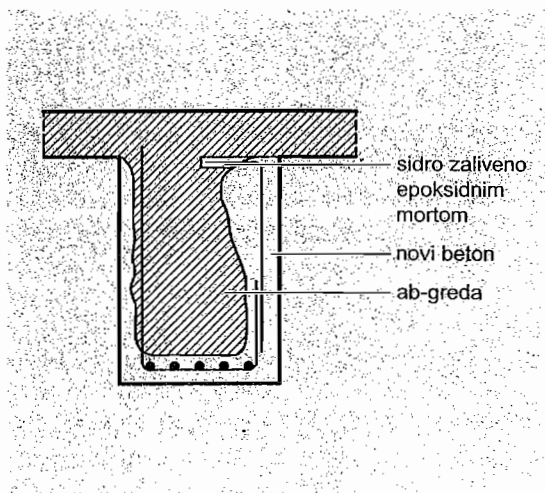
- beton: obični za slojeve debljine veće od 10 cm ili mlazni za slojeve debljine veće od 3 cm
- cementni mort za slojeve debljine od 2 do 4 cm
- polimerom modificirani mort za slojeve debljine od 1 do 4 cm
- polimerni (epoksidni) mort za slojeve debljine od 0,5 do 1,5 cm.

8.5.5.2. Popravak običnim betonom

Rabi se za vrlo različite slučajeve – od obnavljanja oštećene površine do čitavih dijelova konstrukcijskih elemenata. Često je potrebno predvidjeti dodatnu armaturu, tj. sidra za povezivanje novog i starog betona. Novi i stari beton trebaju u što većoj mjeri postati monolitna i homogena cjelina – za postizanje potrebne sigurnosti ali i uporabljivosti, dakle radi izbjegavanja širokih pukotina. Zato odgovarajućim sastavom betona i načinom izvedbe treba što više smanjiti razliku temperature starog i novog betona, kao i mjeru skupljanja novoga betona.

Primjer popravka armiranobetonske grede prikazan je na slici 8.12. Faze popravka jesu:

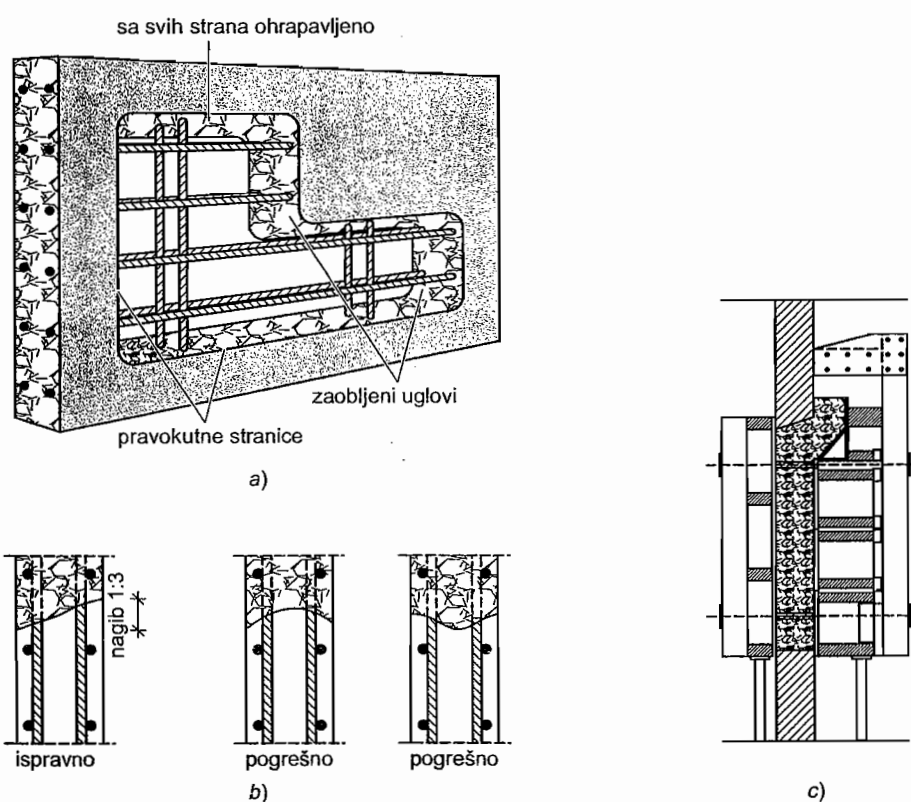
- odštemavanje oštećenog betona
- uklanjanje sasvim zahrđale armature i čišćenje preostale otkrivene armature
- dodatak nove armature i njezino sidrenje
- ugradnja novog betona u oplati, ili gletanjem i utiskivanjem ili mlaznim betonom.



Sl. 8.12. Popravak armiranobetonske grede

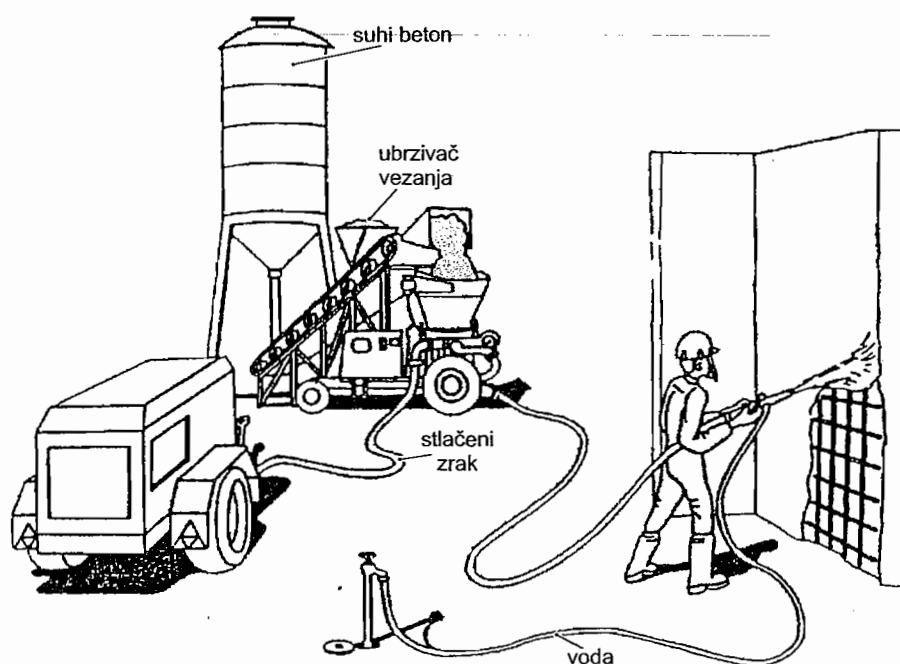
Pri popravku zida, otvor koji nastaje uklanjanjem oštećenog i labavog betona treba odgovarajuće obraditi kako bi se novi beton što lakše ugradio. Kao što se vidi na slici 8.13a, otvori za zapunjavanje moraju biti pravokutni sa zaobljenim kutovima. Oplata i ugradnja trebaju omogućiti dobro zapunjavanje novim betonom bez uključivanja zraka, što bi poslije rezultiralo šupljinama (sl. 8.13b). Prilikom zapunjavanja stražnja oplata može biti u jednom komadu, dok se prednja oplata u slučaju potrebe sastoji od više dijelova (sl. 8.13c: 4 dijela), koji se postupno dodaju s napredovanjem betoniranja odozdo prema gore. Najviši dio ugrađuje se s pomoću lijevka, tako da se „kvrge“ koje pritom nastanu izvan zida mogu ukloniti štemanjem nakon skidanja vertikalne oplata (do jedan dan nakon betoniranja), i to prilično lako jer beton u tom trenutku još nema punu čvrstoću.

Sl. 8.13. Popravlak armiranobetonskog zida:
a) oblikovanje otvora u zidu;
b) ispravno i pogrešno oblikovanje ruba otvora;
c) oplata za zatvaranje otvora u presjeku



8.5.5.3. Popravlak mlaznim betonom

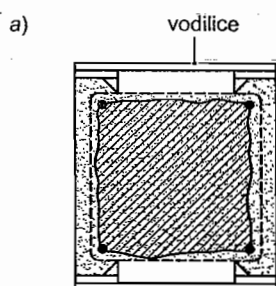
Mlazni (prskani, torkret) beton je klasični materijal za popravke i pojačanja. Od običnog ga betona razlikuje samo način ugradnje i zbijanja. Naime, kod mlaznog su betona transport, ugradnja i zbijanje sadržani u jednom jedinom postupku – prskanju. Oplata i vibratori nisu potrebni. Velika energija udara osigurava i dobro zbijanje i dobru priornljivost za podlogu. Za debljine nanošenja veće od 5 cm treba predvidjeti konstruktivnu armaturu koju kod ploče i zidova treba usidriti u zid čeličnim sidrima zalivenim s pomoću epoksidne smole ili morta u rupe izbušene u starom betonu. Najčešće se upotrebljava tzv. suhi postupak (sl. 8.14. i 8.16.), kod kojega se suha smjesa cementa, agregata i eventualnih dodataka dovodi do mlaznice, gdje se dodaje voda. Vještina, znanje i iskustvo radnika na mlaznici presudni su za kakvoću betona i troškove izvedbe.



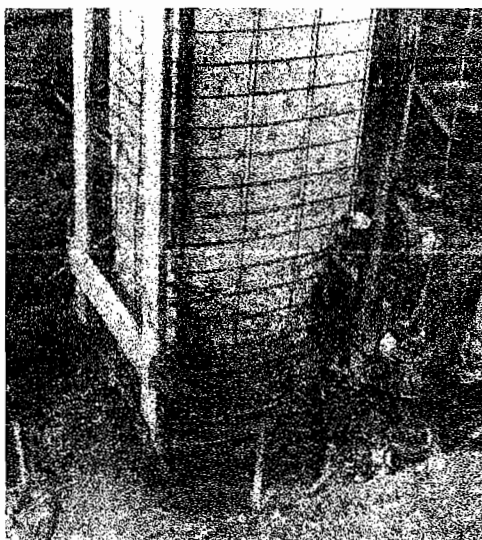
Sl. 8.14. Ugradnja mlaznog betona suhim postupkom

Sljedeći je primjer popravak stupa mlaznim betonom (sl. 8.15. i 8.17.). Faze rada jesu:

- postaviti i učvrstiti vodilice te izvesti I. fazu – dvije nasuprotne stranice (sl. 8.15a)
- pomno očistiti sve labave dijelove preostale od I. faze i izvesti II. fazu, tj. dvije preostale stranice (sl. 8.15b).



Sl. 8.15. Popravak stupa mlaznim betonom:
a) prva faza; b) druga faza



Sl. 8.16. Popravak zida mlaznim betonom
Sl. 8.17. Popravak stupa mlaznim betonom

8.5.5.4. Popravci mortovima

- Cementni mort (CC) razlikuje se od betona veličinom agregata (do 4 mm). Upotrebljava se za popunjavanje defektnih mjesta u betonu nastalih odlamanjem, pogreškama u izvedbi („gnijezda“) i dr., kao i za popravke površine i uglova.
- Zbog slabijih svojstava cementnoga morta, u tanjim slojevima sve se više koristi polimerom modificirani cementni mort (PCC), koji se dobiva tako da se cementnom mortu doda određeni polimer. Time se poboljšavaju svojstva obradljivosti (sposobnost zapunjavanja kalupa), zadržavanja vode potrebne za hidrataciju, rastezljivosti (mogućnost produljenja bez nastanka pukotina) i prionljivosti. Poboljšanja se pokazuju osobito kod tankih slojeva.
- Polimerni mort (PC) sastoji se od epoksidne smole i agregata. Rabi se za površinske popravke u ovim slučajevima:
 - kada je potrebno vrlo brzo očvršćivanje (skela je na raspolaganju kratko vrijeme)
 - kada treba izbjegavati vodu na mjestu popravka (potrebnu za naknadnu njegu mortova na bazi cementa)
 - kada su slojevi manji od minimalnih za cementni mort
 - kada su veliki zahtjevi na čvrstoću (npr. uglovi), otpornost na habanje, otpornost na kemijske utjecaje
 - kada se traže plohe koje se lako čiste, odnosno koje trebaju biti slobodne od prašine.
- Epoksidni mortovi odlikuju se u odnosu na cementne visokom gustoćom (nema kapilarnih pora), brzim očvršćivanjem i visokom vlačnom čvrstoćom. S druge strane, epoksidni mortovi zahtjevniji su od cementnih glede potrebnog znanja i iskustva onih koji rade s njima, a osim toga znatno su i skuplji od polimerom modificiranih mortova.

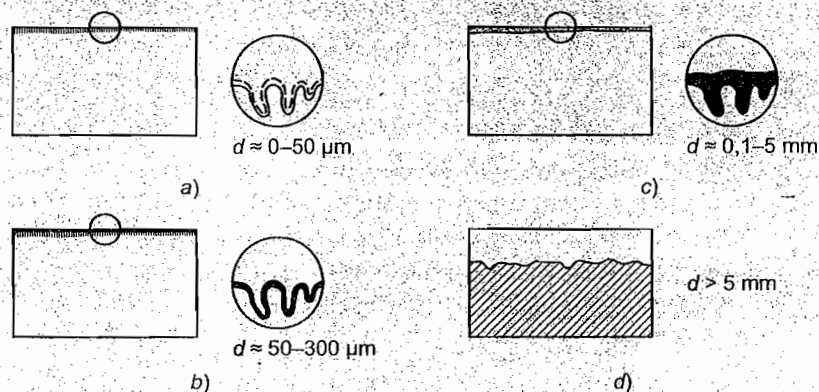
8.5.5.5. Zaštita betonskih površina

Riječ je o poboljšanju trajnosti i nekih drugih uporabnih svojstava, što se odnosi i na nove građevine i na popravke. Prije svega, nastoji se povećati otpornost na karbonatizaciju (sprječavanje prodora CO_2) i spriječiti prodor vlage te klorida i drugih škodljivih sastojaka zraka. Prema debljini slojeva zaštitne se mjere dijele na:

- impregnacije npr. silanom ili siloksanom: to su tzv. „molekularna sita“ za sprečavanje prolaza škodljivih tvari, kojih su molekule veće od molekula vode i zraka, dakle materijal i dalje „diše“ (sl. 8.18a)

Sl. 8.18. Zaštita betonskih površina:

- impregnacijama;
- brtvljenjima;
- premazima;
- betonom i mortom



- brtvljenja koja čine neprekinuti film te daju veću otpornost i bolji izgled (sl. 8.18b)
- premaze koji čine neprekinuti film i zapunjavaju pore (sl. 8.18c)
- beton i mort za nanošenje na velike površine (sl. 8.18d).

Razni materijali koji se upotrebljavaju za zaštitu betonskih površina i stupanj zaštite koji jamče pojedine mjere predstavljaju vrlo složenu problematiku i ne razrađuju se u sklopu ovoga kolegija.

8.5.5.6. Sustavi za popravak betona

Radi se o industrijski proizvedenoj seriji materijala za površinske štete na betonskim konstrukcijama nastalim korozijom armature. Trajnost popravka ne ovisi samo o trajnosti pojedinih materijala nego i o njihovu međusobnom zajedničkom djelovanju, pri čemu je osnovni preduvjet međusobna kompatibilnost. Materijali se uklapaju u ovaj tipični redoslijed radova:

1. štemanje oštećenog betona, priprema površine betona i armature
2. nanošenje zaštitnog premaza armature
3. nanošenje adhezijskog sloja (za bolju vezu starog i novog betona)
4. nanošenje reparaturnog morta (grubog)
5. nanošenje finog morta za zaravnanje
6. nanošenje zaštitnog premaza betona.

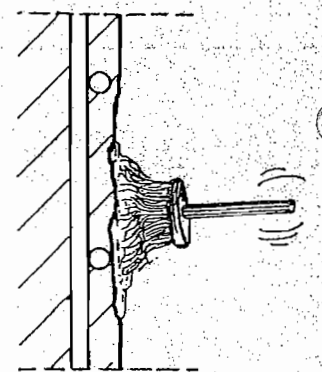
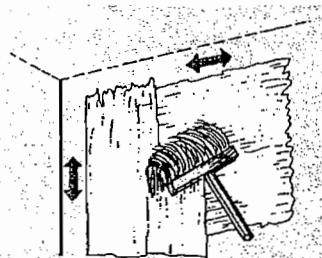
U određenim okolnostima neke faze mogu i otpasti, npr. u slučaju popravka mlaznim betonom otpadaju 2., 3. i 4. faza.

• Kao primjer navest ćemo sustav materijala jednoga domaćeg proizvođača. Sustav se sastoji od ovih proizvoda:

- fluidonepropusni sloj: za poboljšanje kvalitete zaštitnog sloja armature i zaštitu od vlage – materijal se nanosi četkom u dva sloja (sl. 8.19.)
- adhezijski sloj: za ostvarivanje dobre veze između staroga betona i novih slojeva reparaturnog morta – nanosi se četkom s utrljavanjem (sl. 8.20.)
- niz reparaturnih mortova: fini za oštećenja 5 mm i izravnjanja, s plastičnim vlaknima za oštećenja do 30 mm i grubi za oštećenja do 50 mm – nanošenje utiskivanjem s pomoću gletera (sl. 8.21.) ili kao mlazni mort
- završni premaz: za oštećenja do 5 mm i izravnjanje, te poboljšanje nepropusnosti, tvrdoće, otpornosti na habanje i žilavosti, tj. otpornosti na pojavu pukotina – nanosi se četkom ili gleterom
- brzovezni mort: za sprečavanje prodora procjedne vode na poroznim spojevima, za sprječavanje koncentriranih prodora vode i zalijevanje sidara u slučaju kada je potrebna nosivost u kratkom vremenu (mort veže za nekoliko minuta!) – nanosi se rukom uz uporabu zaštitnih rukavica (sl. 8.22.)
- zaštita armature: polimerna smjesa s inhibitorima korozije za zaštitu armature kod popravaka ili novih konstrukcija – nanosi se četkom, prskanjem ili potapanjem u odgovarajuće kade
- zaštita betona: polimerna disperzija koja štiti mladi beton od isušivanja, kiše i vjetrova – na površini betona stvara nepropustan film koji nakon nekog vremena nestaje, ne ostavljajući nikakve mrlje – nanosi se četkom ili prskanjem.

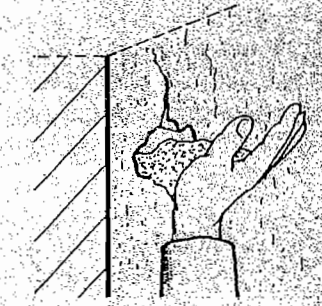
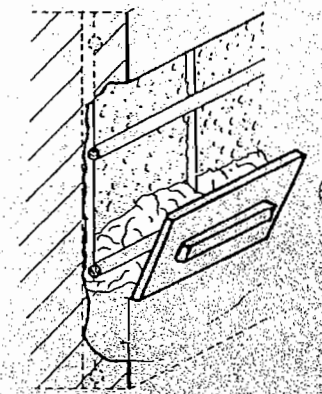
Sl. 8.19. Nanošenje fluidonepropusnog sloja

Sl. 8.20. Nanošenje adhezijskog sloja



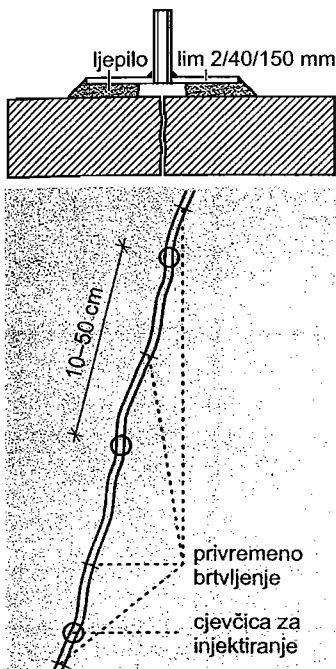
Sl. 8.21. Nanošenje reparaturnog morta

Sl. 8.22. Nanošenje brzoveznog morta



Sl. 8.23. Cjevčica za
injektiranje pukotine

Sl. 8.24. Prikaz injektiranja
pukotine u pogledu



8.5.5.7. Zatvaranje pukotina

Pukotine su u armiranom betonu normalna pojava – sve dok ne prijeđu odgovarajuću širinu, kada mogu ugroziti trajnost i uporabljivost, a rjeđe i nosivost konstrukcije. Prije nego se pristupi zatvaranju škodljivih pukotina, treba svakako utvrditi:

- uzroke raspucavanja
- „rade“ li pukotine ili su se „smirile“
- točan cilj i svrhu popravka.

Ciljevi popravka mogu biti:

1. zatvaranje pukotina: protiv prodora škodljivih tvari
2. brtvljenje pukotina (spreminici, tuneli, zidovi podruma)
3. istezljivost: povezivanje krajeva pukotina koje „rade“
4. konstruktivno povezivanje: lijepljenje koje omogućuje prijenos vlačnih i posmičnih sila preko pukotine.

Ciljem 3 postiže se i cilj 2 kod pukotina koje mijenjaju debljinu. Isto se postiže i nekim premazima.

Zapunjavanje se može provesti:

- natakanjem (impregnacijom) bez tlaka
- injektiranjem pod tlakom.

Materijali za zapunjavanje jesu:

- epoksidne smole za čvrsto zatvaranje: primjenjuje se za pukotine koje ne „rade“, dakle postižu se ciljevi navedeni pod 1 i 4
- poliuretanske smole: primjenjuju se za elastično zatvaranje, dakle postižu se ciljevi pod 2 i 3
- cementne smjese za vrlo široke i vlažne pukotine (veće od 1 cm) – postižu se ciljevi pod 1 i 2.

Zapunjavanje pukotina najčešće se izvodi injektiranjem. Duž pukotine postavljaju se cjevčice za injektiranje (sl. 8.23.), a između njih pukotina se privremeno zabrtvi epoksidnim mortom. Injektiranje počinje na najnižoj cjevčici. Kada se smjesa pojavi na prvoj višoj cjevčici, nastavi se injektiranje na njoj i tako do gornjega kraja pukotine, gdje treba biti cjevčica za odzračivanje (sl. 8.24.).

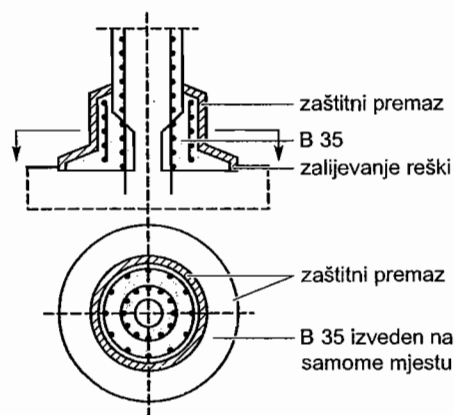
8.5.5.8. Primjeri popravaka

A) Popravak pokrivenog parkirališta

- Istražnim radovima utvrđeno je da je došlo do:
 - odlamanja betona na dnu stupova zbog-korozije armature
 - oslabljenja presjeka armature zbog korozije
 - visoke koncentracije klorida u betonu uz armaturu.
- Prosudba stanja konstrukcije glasila je da je ugrožena i sigurnost konstrukcije i njezina trajnost.
- Projekt popravka sastojao se od:
 - statičkog proračuna za novo stanje
 - izvedbenih nacrtā
 - projekta podupiranja kao mjere sigurnosti
 - tehnološkog projekta koji je uključio izbor materijala i opis postupaka izvedbe.

- Izvedba radova (sl. 8.25.) uključila je:

- uklanjanje betona u kojemu je sadržaj klorida veći od određene granične vrijednosti i ispiranje vodom
- pjeskarenje radi čišćenja postojeće armature od hrđe
- postavljanje dodatne armature
- postavljanje oplata i betoniranje uz pojačanu kontrolu
- njegu betona
- zaštitni premaz betona.



Sl. 8.25. Popravak stupova pokrivenog parkirališta: gore vertikalni presjek, dolje horizontalni presjek

B) Popravak fasade nebodera

- Istražnim radovima utvrđeno je da je došlo do:
 - mjestimičnog odlamanja betona zbog korozije armature,
 - karbonatizacije betona, koja je uglavnom doprla do armature.
- Prosudba stanja konstrukcije glasila je da je ugrožena trajnost i estetski izgled zgrade (dakle – zasad nije ugrožena nosivost!).
- Projektom popravka predviđena je primjena prikladnog sustava za popravak.
- Izvedba radova uključila je:
 - čišćenje vodom pod tlakom s dodatkom šljake
 - uklanjanje betona štemanjem na mjestu oštećenja
 - čišćenje armature od hrđe pjeskarenjem
 - nanošenje zaštitnog premaza na armaturu
 - nanošenje adhezijskog sloja za vezu starog betona i novih slojeva
 - nanošenje grubog reparaturnog mortu
 - zaglađivanje finim reparaturnim mortom
 - nanošenje zaštitnog premaza betona.

8.6. OSNOVNA NAČELA POJAČAVANJA KONSTRUKCIJE

Pojačavanje konstrukcija složena je i opsežna tema koja se u sklopu ovoga kolegija tretira samo načelno, uz ilustraciju glavnih načela primjerima. Postoje načelno dvije metode pojačavanja konstrukcija:

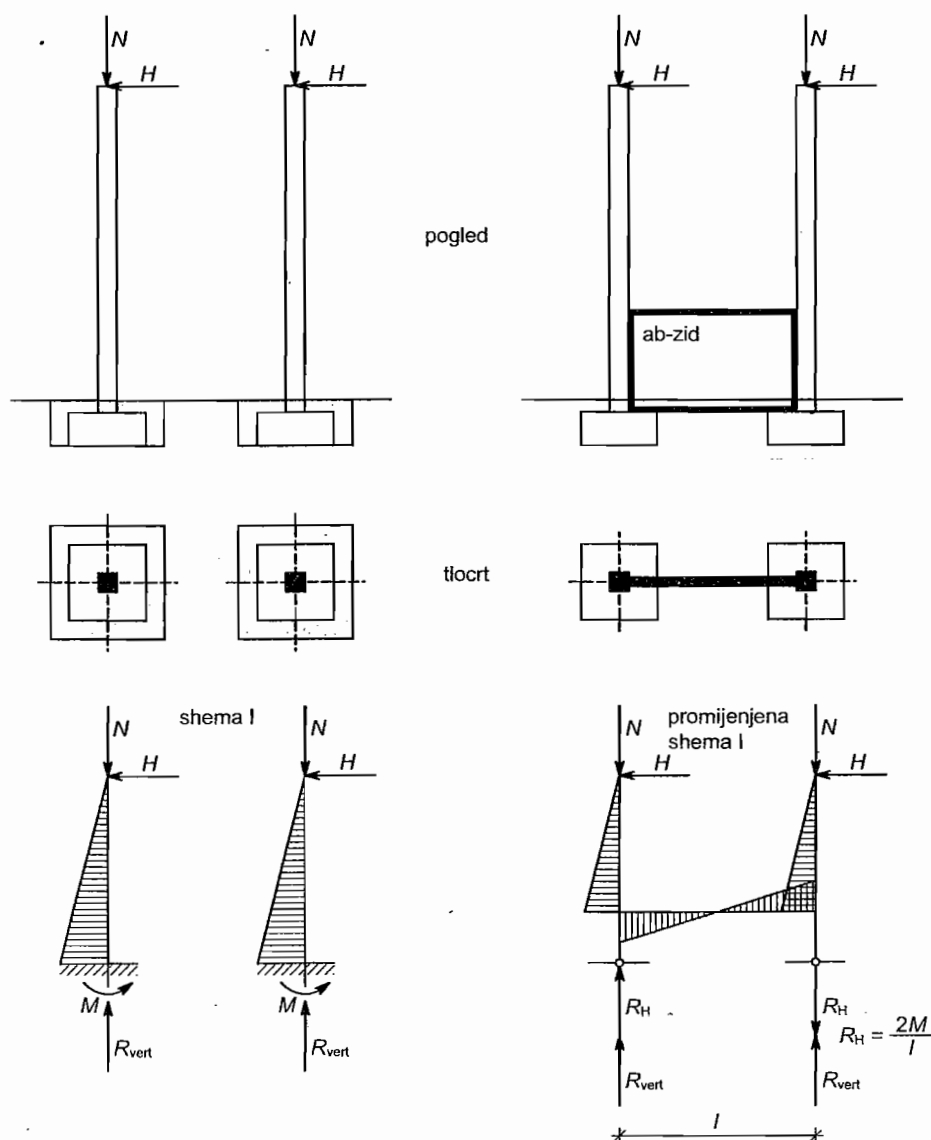
- metoda pojačanja presjeka
- metoda promjene statičkog sustava (konstrukcijski elementi koji u prvotnom sustavu ne zadovoljavaju nosivost, u promijenjenom sustavu zadovoljavaju zbog manjeg raspona, uvjeta oslanjanja i sl.):

Obje metode objasniti će se na primjeru konstrukcije neke hale koja se sastoji od stupova upetih u temelje. Konstrukcija ne zadovoljava zato što su temelji preslabi, dakle od djelovanja vertikalnih i horizontalnih sila naponi su u stopi temelja preveliki:

$$\sigma = N/A \pm M/W.$$

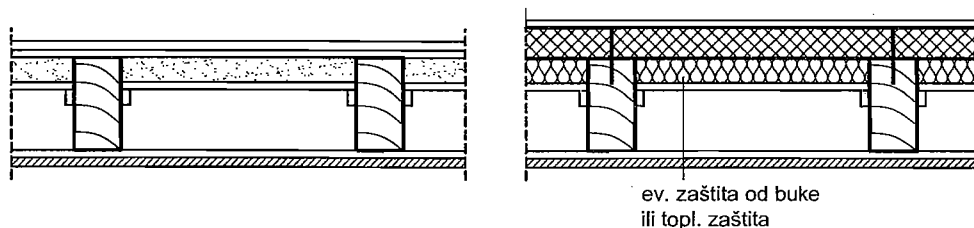
Na slici 8.26. prikazana su dva rješenja pojačanja konstrukcije: **metodom pojačanja presjeka** (lijevo) i **metodom promjene statičkog sustava** (desno). Prvo rješenje sastoji se od pojačanja temelja izvedbom odgovarajuće „kape“ na postojeće temelje s povezivanjem novog i starog betona na vertikalnim stranicama postojećeg temelja. Zbog povećane ploštine (A) i momenta otpora (W) temeljne stope, naponi tla bit će bitno manji, pa će temelji zadovoljiti zahtjev sigurnosti. Drugo rješenje sastoji se od izvedbe novoga armiranobetonskog zida između dva stupa, i to tako da su stupovi i novi zid povezani čeličnim sidrima. Time se statički sustav mijenja pa umjesto dvije konzole dobivamo okvirnu konstrukciju koja se sastoji od stupova i vrlo krute prečke – novog zida. Sada momente savijanja preuzima kruta prečka, a postojeći se temelji mogu računati kao opterećeni samo centričnom silom što rezultira znatno manjim naponima tla u stopama temelja (jer otpada faktor M/W iz gornje formule) te je time ispunjen zahtjev sigurnosti.

Sl. 8.26. Pojačanje stupova hale s preslabim temeljima: lijevo – pojačanjem temelja, desno – promjenom sheme dodavanjem novog armiranobetonskog zida koji povezuje dva stupa. Dolje su sheme sustava s opterećenjem i reakcijama te momentnim dijagramima



Sljedeći je primjer **pojačanje postojeće drvene stropne konstrukcije** spre-
zanjem s novom armiranobetonskom pločom, koje se vrlo često primjenjuje
prilikom adaptacija postojećih zgrada, posebice u povijesnim jezgrama
(sl. 8.27.).

- Ciljevi su pojačanja:
 - povećanje nosivosti stropa: npr. kod nadogradnje kata pod tavana pos-
taje pod normalnog stropa, dakle mora preuzeti veće opterećenje
 - povećanje otpornosti zgrade na seizmička opterećenja: nova armirano-
betonska ploča predstavlja krutu dijafragmu koja povezuje nosive zido-
ve, pa se time zadovoljava zahtjev propisa za izgradnju zgrada u seiz-
mičkom području.
- Izvedba radova uključuje:
 - uklanjanje postojećeg poda i šute
 - bušenje greda i ugradnju čeličnih trnova za vezu postojećih greda s
betonom nove ploče
 - postavljanje armature ploče
 - podupiranje postojećeg drvenoga stropa (u slučaju potrebe s pomoću
privremene konstrukcije iznad stropa)
 - betoniranje ploče
 - izvedbu novog poda.



Sl. 8.27. Pojačanje postojeće
drvene stropne konstrukcije
sprezanjem s novom
armiranobetonskom pločom:
lijevo postojeće stanje, desno
novo stanje

PRILOG

ZBIRKA

RIJEŠENIH ISPITNIH ZADATAKA

ZADATAK br. 1

Za industrijsku zgradu približnih tlocrtnih dimenzija 25×85 m, katnosti P + 1 (potrebni slobodni prostori bez stupova minimalnih dimenzija 12×12 m, svijetle katne visine min 4 m), treba dati mogućnosti rješenja **predgotovljene betonske konstrukcije** s komentarom i odgovarajućim skicama (tlocrt – shema konstrukcije i poprečni presjek):

- raspored i približne dimenzije vertikalnih nosivih elemenata
- sustav stropne i krovne konstrukcije s približnim dimenzijama konstrukcijskih elemenata
- sustav temeljnih konstrukcija s približnim dimenzijama pod pretpostavkom da je $\sigma_{dop, tla} = 200 \text{ kN/m}^2$ i
- kratak opis prijenosa vertikalnih i horizontalnih opterećenja od mjesta nastajanja do temelja.

- **Primjedba 1:** Za potrebnu površinu stupova vrijedi približna formula:

$$A_{st, potr} [\text{cm}^2] = 10 \cdot A [\text{m}^2] \cdot n.$$

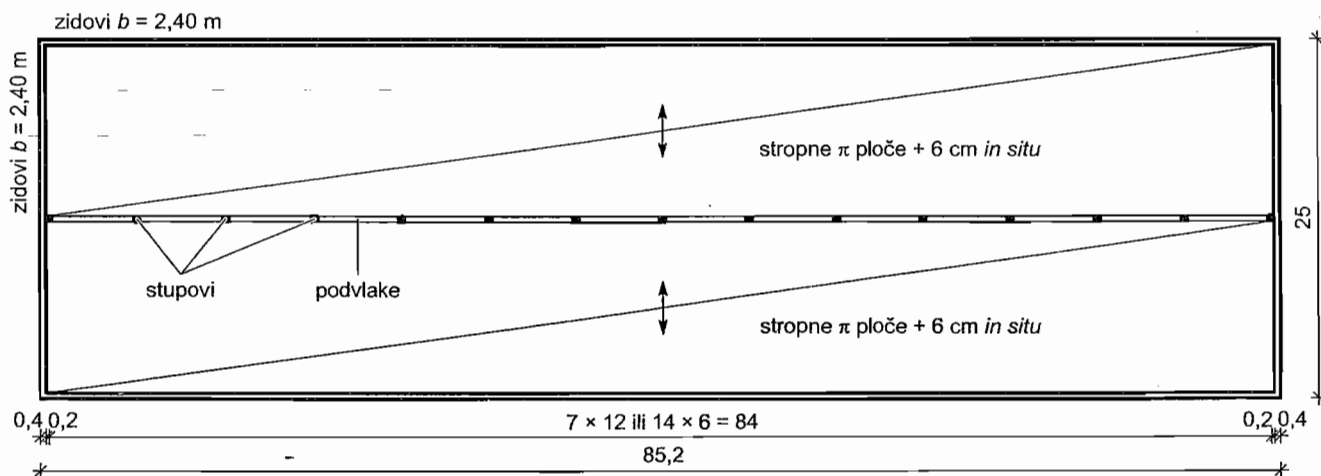
- **Primjedba 2:** Za potrebnu površinu temelja vrijedi približna formula:

$$A_{tem, potr} [\text{m}^2] = 14 \cdot A [\text{m}^2] \cdot n / \sigma_{dop, tla},$$

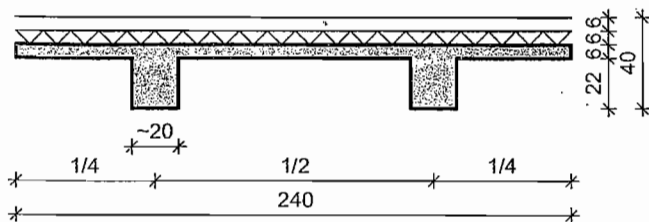
gdje je: A = ploština dijela stropa s kojeg se opterećenje prenosi na stup odnosno odgovarajući temelj; n = broj etaža.

■ RJEŠENJE

Shema konstrukcije – Tlocrt

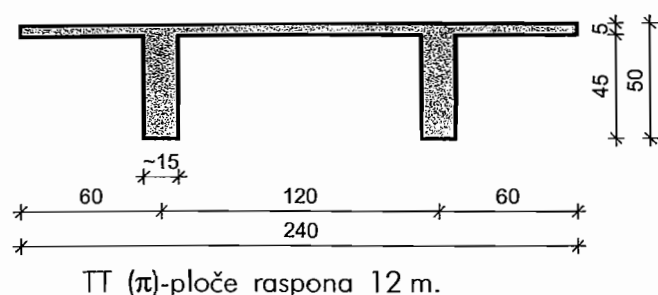


Vertikalni nosivi elementi



- vanjski nosivi zidovi kroz dvije etaže prenose vertikalno i horizontalno opterećenje
- unutarnji stupovi na razmaku 6 (12) m
- $A_{potr} = 10 \cdot 12 \cdot 6 (12) = 1440 (2880) \text{ cm}^2$.
Odabran kvadratni stup 40/40 cm (60/60 cm).

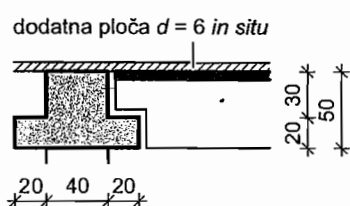
Stropna i krovna konstrukcija



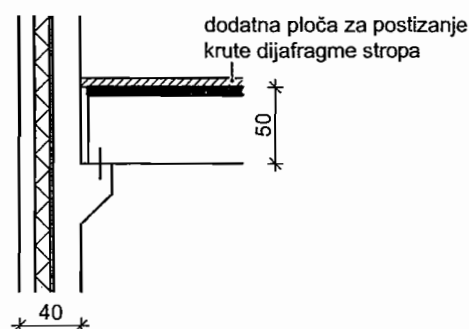
Temeljna konstrukcija

- tračni temelj zida na fasadama:
 $A_{\text{potr}}/m' = b = 14 \cdot 6 \cdot 1 \cdot 2/200 = 0,84$.
 Odabrano $b \approx 90$ cm
- pojedinačni temelji (člašasti) stupova:
 $A_{\text{potr}} = 14 \cdot 12 \cdot 6 (12) \cdot 2/200 =$
 $= 10,08 (20,16) \text{ m}^2$.
 Odabrano 3,20/3,20 (4,50/4,50) m.

Podvlake na unutarnjim stupovima



Veza zid – stropna ploča



Prijenos opterećenja

- vertikalno: ploča → podvlaka → stup → temelj ili ploča → zid → temelj
- horizontalno: ploča kao dijafragma → obodni zidovi u ravnini → tračni temelji uzdužno
- *Primjedba:* Dilatacija nije potrebna jer se radi o **predgotovljenoj** konstrukciji (svaki spoj je reška!).

ZADATAK br. 2

Za stambenu zgradu približnih tlocrtnih dimenzija 16×90 m, katnosti P + 4 (središnji hodnik, stanovi uz duže fasade, na kojima ne smiju biti ni grede ni zidovi, dva stubišta s krakovima širine oko 1,5 m), treba dati **moгуćnosti rješenja konstrukcije** s komentarom i odgovarajućim skicama (tlocrt tipičnoga kata, tlocrt krovšta, poprečni presjek):

- dilatacijske reške
- raspored i približne dimenzije vertikalnih nosivih elemenata s obzirom na zahtjeve prijenosa vertikalnih i horizontalnih opterećenja
- sustav stropnih konstrukcija s približnim dimenzijama
- sustav dvostrešne krovne konstrukcije
- sustav temeljne konstrukcije s približnim dimenzijama ako je $\sigma_{dop, tla} = 175 \text{ kN/m}^2$ i
- kratak opis prijenosa vertikalnih i horizontalnih opterećenja od mjesta nastajanja do temelja.
- *Primjedba 1:* Za visine (debljine) stropnih elemenata uzeti u obzir granične odnose l/d za grede i ploče u zgradarstvu, za koje nije potreban računski dokaz progiba prema EC2 („Nosive konstrukcije I”).

Statički sustav	Veliki naponi betona (grede)	Mali naponi betona (ploče)
Slobodno oslonjena greda; slobodno oslonjena obična ili križna ploča	18	25
Krajnje polje kontinuirane grede ili obične ploče; krajnje polje križne ploče s kontinuitetom duž veće stranice	23	32
Srednje polje grede ili obične ili križne ploče	25	35

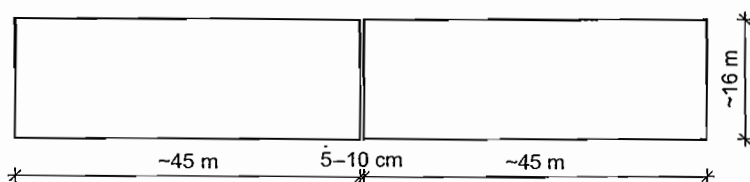
- *Primjedba 2:* Za potrebnu površinu temelja primijeniti formulu:

$$A_{\text{tem, potreb}} [\text{m}^2] = 14 \cdot A [\text{m}^2] \cdot n / \sigma_{dop, tla},$$

gdje je: A = ploština dijela stropa s kojeg se opterećenje prenosi na temelj; n = broj etaža.

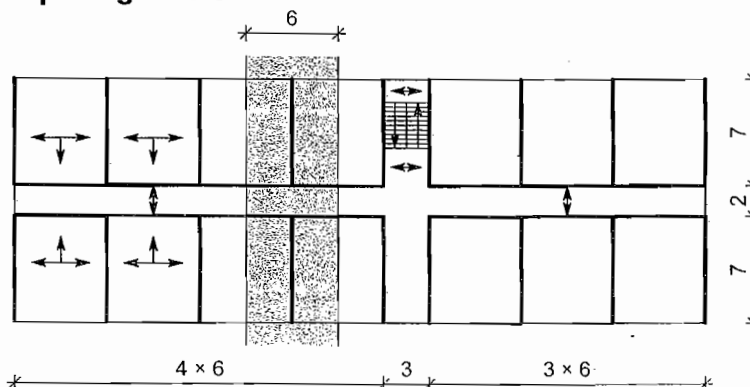
■ RJEŠENJE

Dilatacije

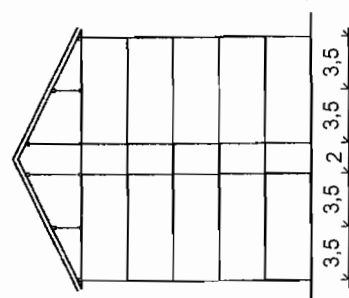


- zidovi $d = 16\text{--}20$ cm
- dvostrane ploče (oslonjene na tri strane) $d = 600/32 = 18,75$.
Odabrano 20 cm.

Tlocrt tipičnoga kata

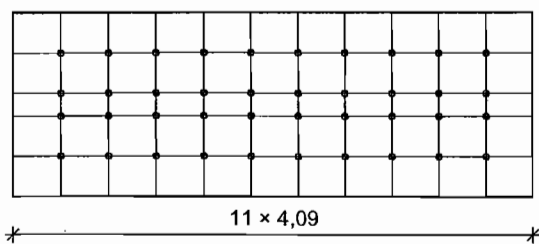


Poprečni presjek

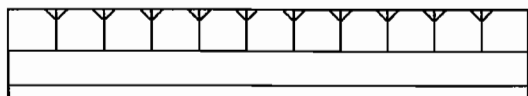


Krovište

Tlocrt



Presjek

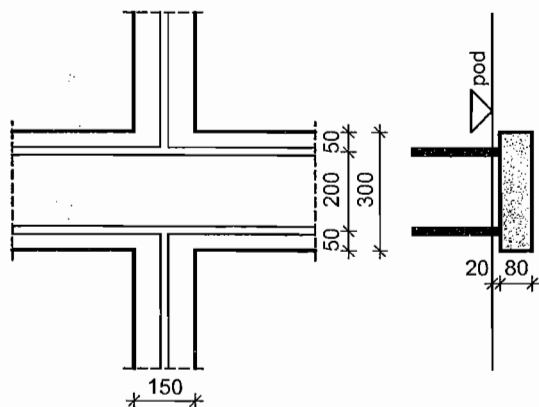


Odabran je podroženički krov:

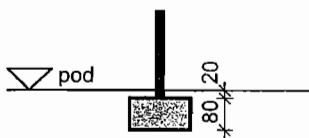
- roženice na rasponu 3,5 m
- podrožnice s rukama na rasponu 4,09 m
- stupci oslonjeni na ab-ploču
- nazidnice usidrene u stropnu konstrukciju.

Skica tipičnog dijela temeljne konstrukcije

Tlocrt



Presjek



Tračni temelji nosivih zidova

Uzima se u obzir tipični dio tlocrta (jedno polje, pola širine zgrade):

$$A = 6 \cdot 8 = 48 \text{ cm}^2$$

$$\Sigma l_{\text{traka}} = 6 + 7 = 13 \text{ m}$$

$$A_{\text{tem.potr}} = b \cdot 13 = 14 \cdot 48 \cdot 5/175 = 19,2 \text{ m}^2$$

$$b_{\text{potr}} = 19,2/13 = 1,48 \text{ m.}$$

Odabrana širina trake $b = 1,50 \text{ m.}$

S obzirom na to da su uzdužni zidovi na razmaku od 2 m, bolje je spojiti temelje uzdužnih zidova. Trake su armirane.

ZADATAK br. 3

Za bolničku zgradu približnih tlocrtnih dimenzija 14×50 m, katnosti P + 4 (u katovima sobe: raster 3,0 do 3,6 m, u prizemlju veći prostori koji zahtijevaju dva puta veći raster), treba dati **možnosti rješenja konstrukcije** s komentarom i odgovarajućim skicama (tlocrt prizemlja, tlocrt tipičnoga kata i poprečni presjek):

- raspored i približne dimenzije vertikalnih nosivih elemenata s obzirom na zahtjeve prijenosa vertikalnih i horizontalnih opterećenja
- sustav stropnih konstrukcija s približnim dimenzijama konstrukcijskih elemenata
- sustav temeljnih konstrukcija s približnim dimenzijama ako je $\sigma_{dop, tla} = 200 \text{ kN/m}^2$.
- **Primjedba 1:** Za potrebnu površinu stupova vrijedi približna formula:

$$A_{st, potr} [\text{cm}^2] = 10 \cdot A [\text{m}^2] \cdot n.$$

- **Primjedba 2:** Za potrebnu površinu temelja vrijedi približna formula:

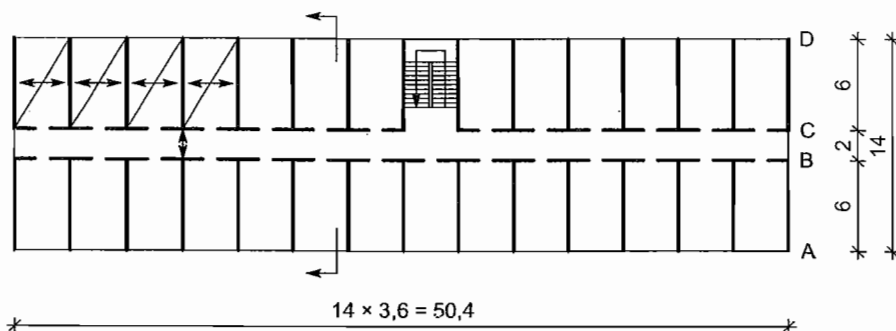
$$A_{tem, potr} [\text{m}^2] = 14 \cdot A [\text{m}^2] \cdot n / \sigma_{dop, tla},$$

gdje je: A = ploština dijela stropa s kojeg se opterećenje prenosi na stup odnosno odgovarajući temelj; n = broj etaža.

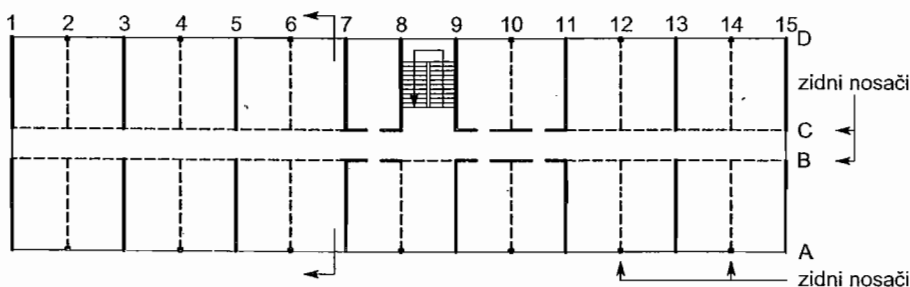
■ RJEŠENJE

Shema nosive konstrukcije

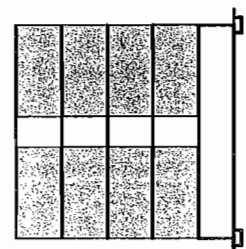
Tlocrt katova



Tlocrt prizemlja



Presjek



Vertikalni nosivi elementi

- zidovi: $d = 15\text{--}20\text{ cm}$
- u katovima: u svim poprečnim osima i osima B i C
- u prizemlju: u osima 1, 3, 5 ... 15, te uzdužno samo dijelom, npr. B i C od 7 do 11.

U prizemlju su u osima 2, 4, 6, 10, 12 i 14, visokostijeni (zidni) nosači prema presjeku, u osi 8 samo u jednom polju, dok su u uzdužnom presjeku zidni nosači na svim mjestima gdje u katu postoji zid, a u prizemlju ne.

- obodni stupovi prizemlja:

$$A = 3,6 \cdot 7 = 25,2\text{ m}^2$$

$$A_{\text{stupa}} = 10 \cdot 25,2 \cdot 5 = 1260\text{ cm}^2.$$

Odabran stup 30/45 cm.

Stropna konstrukcija

- jednostrana ploča $d = 14\text{ cm}$
- debljina ploče je konstruktivna (zbog zaštite od buke).

Na mjestu soba ploče su nosive u uzdužnom smjeru, a na mjestu hodnika u poprečnom smjeru.

- *Primjedba:* Sustav je isti i u prizemlju, gdje se ploče oslanjaju na zidove i visokostijene (zidne) nosače.

Temelji zidova – trake

- Poprečni zidovi u osima 3, 5, 7... – trake; pripadajuća površina opterećenja $A/m' = 3,6\text{ m}$
 $A_{\text{trake}}/m' = b_{\text{trake,potr}} = 14 \cdot 3,6 \cdot 5/200 = 1,26\text{ m}$.
 Odabrane trake $b = 1,30\text{ m}$.

Alternativno se može izvesti i uzdužna traka duljine dva polja umanjena za širinu tračnog temelja zida, dakle:

$$L = 2 \cdot 3,6 - 1,3 = 5,9\text{ m}.$$

Njezina je potrebna širina:

$$b_{\text{potr}} = \frac{8,82}{7,2 - 1,3} = 1,49.$$

Odabire se traka širine 1,50 m.

Temelji stupova – pojedinačni

$$A = 3,6 \cdot 7 = 25,2\text{ m}^2$$

$$A_{\text{tem}} = 14 \cdot 25,2 \cdot 5/200 = 8,82\text{ m}^2.$$

Odabire se pojedinačni temelj dimenzija 3/3 m.

ZADATAK br. 4

Za zgradu skladišta katnosti P + 2, približnih tlocrtnih dimenzija 30×50 m, treba dati **moгуćnosti rješenja konstrukcije** s komentarom i odgovarajućim skicama (tlocrt tipične etaže i presjek):

- raspored i približne dimenzije vertikalnih nosivih elemenata s obzirom na zahtjeve prijenosa vertikalnih i horizontalnih (potres) opterećenja
- sustav stropnih konstrukcija s približnim dimenzijama konstrukcijskih elemenata
- sustav temeljnih konstrukcija s približnim dimenzijama ako je $\sigma_{\text{dop, tlo}} = 175 \text{ kN/m}^2$.
- **Primjedba 1:** Za potrebnu površinu stupova primijeniti formulu:

$$A_{\text{st, potr}} [\text{cm}^2] = 20 \cdot A [\text{m}^2] \cdot n,$$

gdje je: A = ploština dijela stropa s kojeg se opterećenje prenosi na stup odnosno odgovarajući temelj; n = broj etaža.

- **Primjedba 2:** Za visine (debljine) stropnih elemenata uzeti u obzir granične odnose l/d za grede i ploče u zgradarstvu, za koje nije potreban računski dokaz progiba prema EC2 („Nosive konstrukcije I”).

Statički sustav	Veliki naponi betona (grede)	Mali naponi betona (ploče)
Slobodno oslonjena greda; slobodno oslonjena obična ili križna ploča	18	25
Krajnje polje kontinuirane grede ili obične ploče; krajnje polje križne ploče s kontinuitetom duž veće stranice	23	32
Srednje polje grede ili obične ili križne ploče	25	35
Ploča izravno oslonjena na stupove (veći raspon)	21	30

- **Primjedba 3:** Za potrebnu površinu temelja primijeniti formulu:

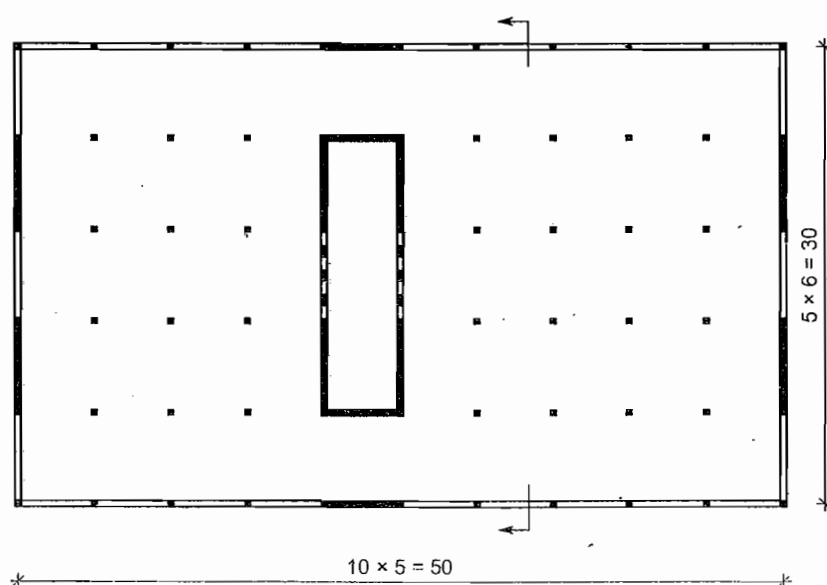
$$A_{\text{tem, potr}} [\text{m}^2] = 22 \cdot A [\text{m}^2] \cdot n / \sigma_{\text{dop, tlo}},$$

gdje je značenje A i n kao u primjedbi 1.

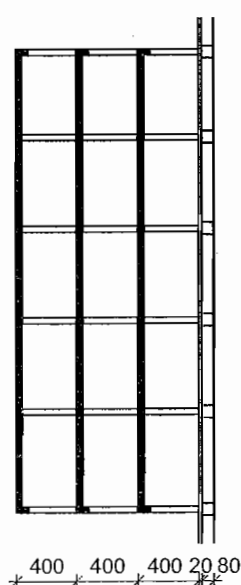
■ RJEŠENJE

Shema konstrukcije

Tlocrt



Presjek



Vertikalni nosivi elementi

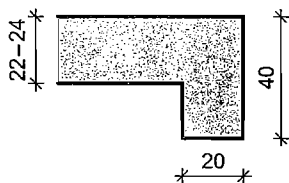
- zidovi za ukrućenje: $d = 20$ cm (konstruktivne dimenzije zbog izvedbe)
- stupovi: $A_{st,postr} = 20 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 3 = 1800 \text{ cm}^2$.
Odabran je stup dimenzija 45/45 cm.

Stropne konstrukcije

- točkasto oslonjena ploča $d_{min} = \frac{600}{30} = 20$ cm
(za točkastu ploču – veći raspon!)

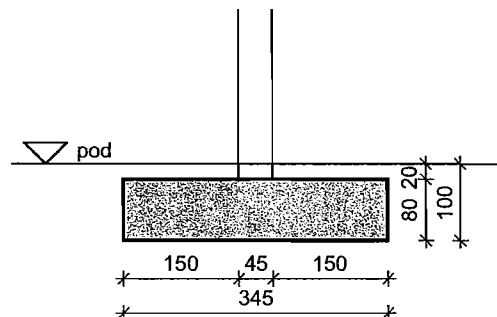
Zbog velikog opterećenja (skladište!) bolje je birati nešto deblju ploču $d = 22$ do 24 cm te, po potrebi, predvidjeti i kapitele.

- obodne grede $d \cong \frac{600}{15} = 40$ cm
(zajedno s pločom)



Temeljne konstrukcije

- temelj srednjeg stupa – pojedinačni:
 $A = 5 \cdot 6 = 30 \text{ m}^2$



$$A_{tem,postr} = 22 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 3 / 175 = 11,3 \text{ m}^2$$

Odabran je armirani temelj dimenzija 345/345 cm.

- temelj fasadnih zidova i stupova – traka

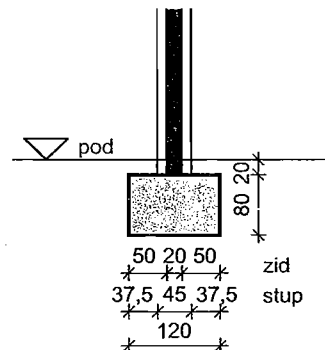
Za duljinu jednog polja, tj. 5 m:

$$A_{tem,postr} = 5 \cdot b = 22 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 3 / 175 = 5,66 \text{ m}^2$$

$$b_{postr} = 1,13 \text{ m.}$$

Odabrana je širina trake $b = 1,20$ m.

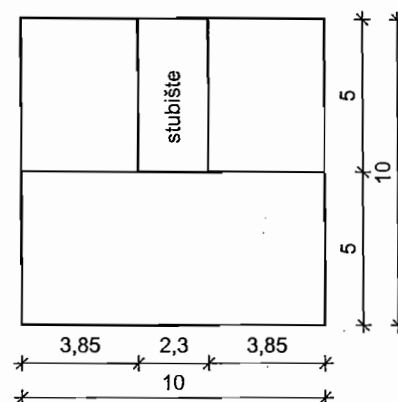
Traka je armirana!



ZADATAK br. 5

Za obiteljsku zgradu katnosti P + 1 (krovište kao prostor stana – nastrešna stijena visine 1,20 m), kojoj su (na skici desno) označene osi nosivih zidova od opeke s otvorima (do 2 m), treba dati **moгуćnosti rješenja konstrukcije** s komentarom i odgovarajućim skicama (tlocrti i presjek):

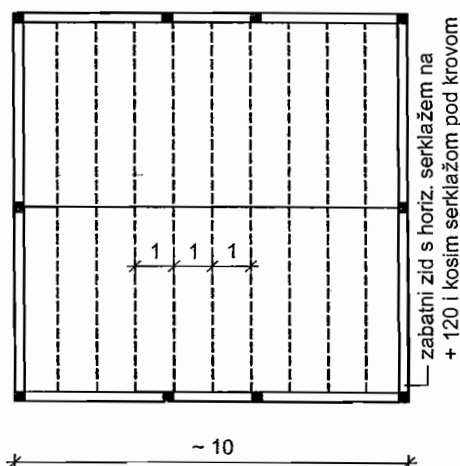
- dimenzije zidova od opeke s obzirom na zahtjeve prijenosa vertikalnih i horizontalnih opterećenja
- sustav polumontažne stropne konstrukcije s približnim dimenzijama
- konstrukcija pločastog betonskog stubišta s približnim dimenzijama
- sustav konstrukcije krovišta
- sustav temeljne konstrukcije minimalnih (konstruktivnih) dimenzija.



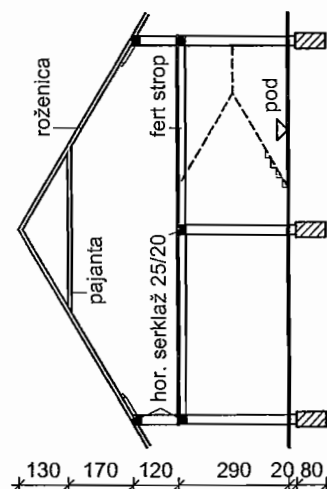
RJEŠENJE

Shema konstrukcije

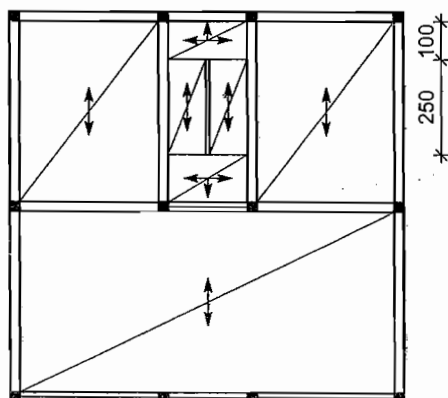
Tlocrt kata – krovište



Presjek



Tlocrt prizemlja



Zidovi: $d = 25$ cm s vertikalnim serklažima 25/25 cm

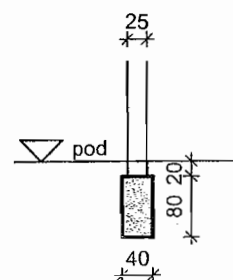
Stropna konstrukcija prizemlja:

fert strop $16 + 4 = 20$ cm

Pločasto stubište: ploče kra-kova i podesta $d = 12$ cm

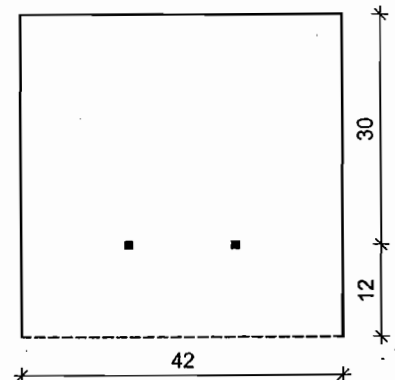
Krovište: roženičko s pajantom
Opterećenja se predaju na horizontalni serklaž koji horizontalnu komponentu prenosi na vertikalne serklaže.

Temeljna traka: nearmirana minimalnih dimenzija



ZADATAK br. 6

Za prizemnu prodajno-skladišnu zgradu približnih tlocrtnih dimenzija 42×42 m, prema skici desno, prednja fasada (crtkano) ima stupove, a ostale su zatvorene (zidovi s pojačanjima na mjestu oslanjanja greda nisu predmet zadatka, no njihovi temelji jesu). Visina je zgrade $H=7,50$ m, pokrov je trapezno profilirani lim koji predviđeno opterećenje krova nosi do raspona od 5 m, nagib je krova 2%. Treba dati mogućnosti rješenja **predgotovljene skeletne betonske konstrukcije** s komentarom i odgovarajućim skicama (tlocrt – shema konstrukcije i poprečni presjek):



- raspored i približne dimenzije kvadratnih stupova,
- sustav sekundarnih i glavnih nosača – na raspolaganju su grede T-presjeka visine 60 i 90 cm te prednapeti I-nosači dimenzija 1,20 do 1,80 m (korak 30 cm). Sekundarni nosači i I-nosači mogu biti minimalnih dimenzija ($d \cong L/20$), dok glavni T-nosači trebaju imati optimalne dimenzije ($d \geq L/15$).
- sustav temeljnih konstrukcija s približnim dimenzijama, pod pretpostavkom da je $\sigma_{dop, tla} = 200$ kN/m²
- kratak opis prijenosa vertikalnih i horizontalnih opterećenja od mjesta nastajanja do temelja.
- *Primjedba 1:* Za potrebnu površinu stupova (minimalna dimenzija 30/30 cm) vrijedi približna formula:

$$A_{st, potr} [cm^2] = 8 \cdot A [m^2].$$

- *Primjedba 2:* Za potrebnu površinu temelja vrijedi približna formula:

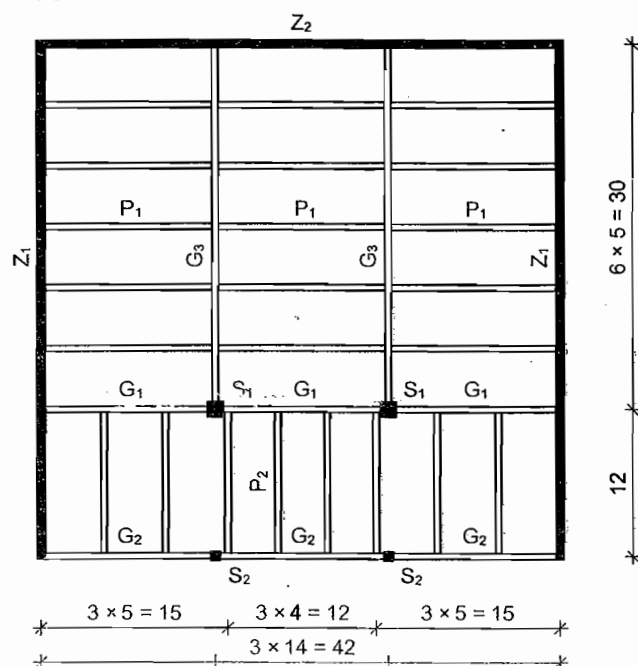
$$A_{tem, potr} [m^2] = 9 \cdot A [m^2] / \sigma_{dop, tla},$$

gdje je: A = ploština dijela krova s kojeg se opterećenje prenosi na stup odnosno odgovarajući temelj.

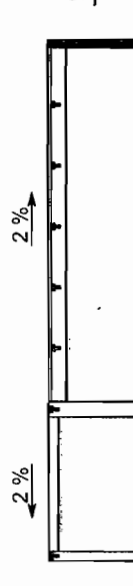
■ RJEŠENJE

Shema konstrukcije

Tlocrt



Presjek



Stupovi

- stup S_1

$$A = \frac{30+12}{2} \cdot 14 = 294 \text{ m}^2$$

$$A_{st, potr} = 8 \cdot 294 = 2352 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{potr} = 48,5 \text{ cm.}$$

Odabran je stup 50/50 cm.

- stup S_2

$$A = 6 \cdot 14 = 84 \text{ m}^2$$

$$A_{st, potr} = 8 \cdot 84 = 672 \text{ m}^2$$

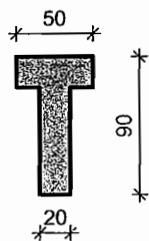
$$\sigma_{potr} \cong 26 \text{ cm.}$$

Odabran je stup 30/30 cm.

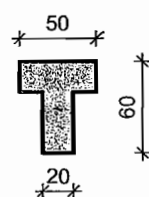
Sekundarni nosači

– $P_1 \quad h = \frac{1400}{20} = 70 \text{ cm.}$

Odabrano: $h = 90 \text{ cm.}$



– $P_2 \quad h = \frac{1200}{20} = 60 \text{ cm.}$



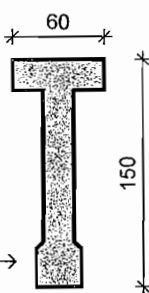
Glavni nosači

– $G_1 \text{ i } G_2 \quad h = \frac{1400}{15} = 93,3 \text{ cm.}$

Odabran presjek kao P_1 .

($h = 90 \text{ cm}$)

– $G_3 \quad h = \frac{3000}{20} = 150 \text{ cm} \rightarrow$



Temelji

– temelj stupa S_1

$A_{\text{potr}} = \frac{9,294}{200} = 13,23 \text{ m}^2 \quad a_{\text{potr}} = 3,65 \text{ m.}$

Odabran armirani temelj samac 370/370 cm.

– temelj stupa S_2

$A_{\text{potr}} = \frac{9,84}{200} = 3,78 \text{ m}^2 \quad a_{\text{potr}} = 1,94 \text{ m.}$

Odabran armirani temelj samac 200/200 cm.

– temelj zida Z_1

$b_{\text{potr}} = \frac{9,7}{200} = 0,315 \text{ m.}$

Odabrana nearmirana traka $b = 40 \text{ cm}$, visine minimalno 80 cm.

– temelj zida Z_2

$b_{\text{potr}} = \frac{9,15}{200} = 0,657 \text{ m.}$

Odabrana nearmirana traka $b = 70 \text{ cm}$, visine minimalno 80 cm.

Prijenos opterećenja

- vertikalno: pokrov → sekundarni nosači → glavni nosači → stupovi (ili zidovi) → temelji
- horizontalno: pokrov → sekundarni nosači → glavni nosači → zidovi u ravnini ili stupovi kao konzole → temelji.

ZADATAK br. 7

Za uredsku zgradu približnih tlocrtnih dimenzija 17×22 m, katnosti P+3 (nosivi elementi samo na fasadi, stubište je vanjsko i nije predmet zadatka), treba dati rješenje **predgotovljene betonske konstrukcije** s komentarom i odgovarajućim skicama (tipični tlocrt s dispozicijom elemenata, poprečni presjek, načelna rješenja tipičnih elemenata, načelna rješenja spojeva):

- raspored vertikalnih nosivih elemenata i približne dimenzije tipičnog elementa s obzirom na zahtjeve prijenosa vertikalnih i horizontalnih opterećenja
- sustav stropnih konstrukcija s približnim dimenzijama tipičnog elementa
- sustav temeljnih konstrukcija s približnim dimenzijama ako je $\sigma_{\text{dop, tla}} = 300 \text{ kN/m}^2$.
- **Primjedba 1:** Kod fasadnih i krovnih elemenata ne zaboraviti na potrebu toplinske zaštite!
- **Primjedba 2:** Za potrebnu površinu temelja vrijedi približna formula:

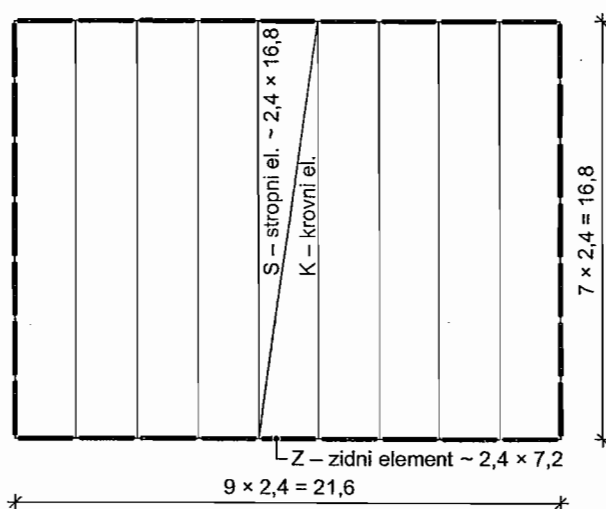
$$A_{\text{tem, potreba}} [\text{m}^2] = 14 \cdot A [\text{m}^2] \cdot n / \sigma_{\text{dop, tla}}$$

gdje je: A = ploština dijela stropa s kojeg se opterećenje prenosi na element koji se temelji (stup ili zid); n = broj etaža.

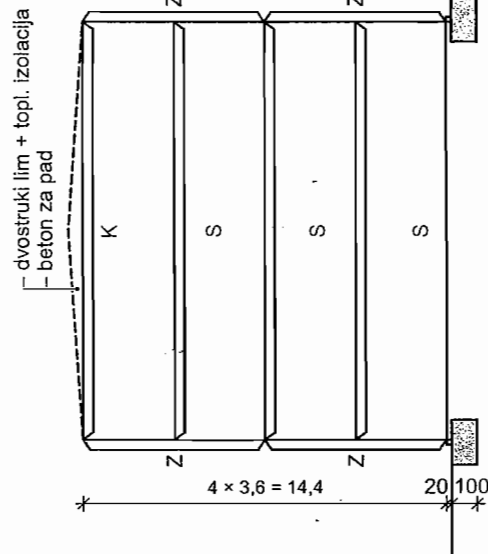
■ RJEŠENJE

Shema konstrukcije

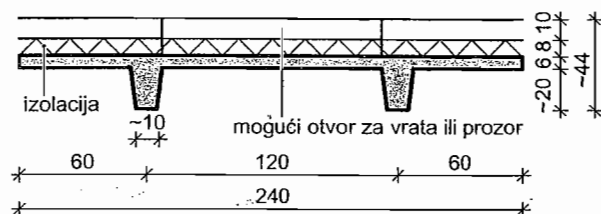
Tlocrt – dispozicija



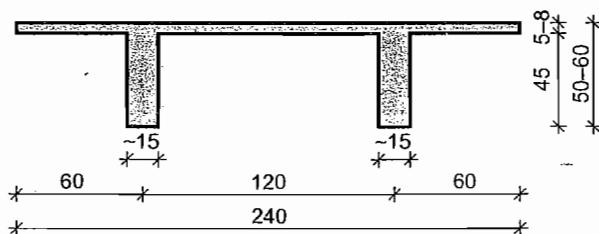
Presjek



Fasadni element – Presjek



Stropni element – Presjek



Međusobni spojevi: duž reške i/ili putem stropnih ploča.

Tračni temelj: $b_{\text{potr}} \approx 14 \cdot 8.4 / 300 = 1.57 \text{ m}$.

Odabran armirani tračni temelj
širine $b = 1.60 \text{ m}$.

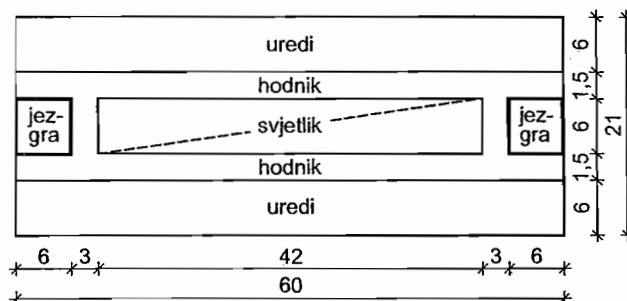
Međusobni spojevi: monolitnom pločom 5–8 cm ili zavarenim spojevima u reškama (u trećinama ili četvrtinama).

Krovni element: kao stropovi s dodatkom izolacije i pada.

ZADATAK br. 8

Za poslovnu zgradu katnosti P + 4 prema priloženoj funkcionalnoj shemi – desno (sve crte ne predstavljaju nužno raster konstrukcije, vanjska i unutarnja fasada je staklena, osim na mjestu jezgre – veliki otvori, postoji zahtjev fleksibilnosti tlocrta), treba dati **moгуćnosti rješenja konstrukcije** s komentarom i odgovarajućim skicama (tlocrt tipičnog kata, poprečni presjek):

- raspored i približne dimenzije vertikalnih nosivih elemenata s obzirom na zahtjeve prijenosa vertikalnih i horizontalnih opterećenja
- sustav stropnih konstrukcija s približnim dimenzijama – teži se što manjim visinama
- sustav temeljne konstrukcije s približnim dimenzijama ako je $\sigma_{dop,fla} = 250 \text{ kN/m}^2$.
- *Primjedba 1:* Za visine (debljine) stropnih elemenata uzeti u obzir granične odnose l/d za grede i ploče u zgradarstvu, za koje nije potreban računski dokaz progiba prema EC2 („Nosive konstrukcije I”).



Statički sustav	Veliki naponi betona (grede)	Mali naponi betona (ploče)
Slobodno oslonjena greda; slobodno oslonjena obična ili križna ploča	18	25
Krajnje polje kontinuirane grede ili obične ploče; krajnje polje križne ploče s kontinuitetom duž veće stranice	23	32
Srednje polje grede ili obične ili križne ploče	25	35

- *Primjedba 2:* Za potrebnu površinu stupova vrijedi približna formula:

$$A_{st,potr} [\text{cm}^2] = 10 \cdot A [\text{m}^2] \cdot n.$$

- *Primjedba 3:* Za potrebnu površinu temelja primijeniti formulu:

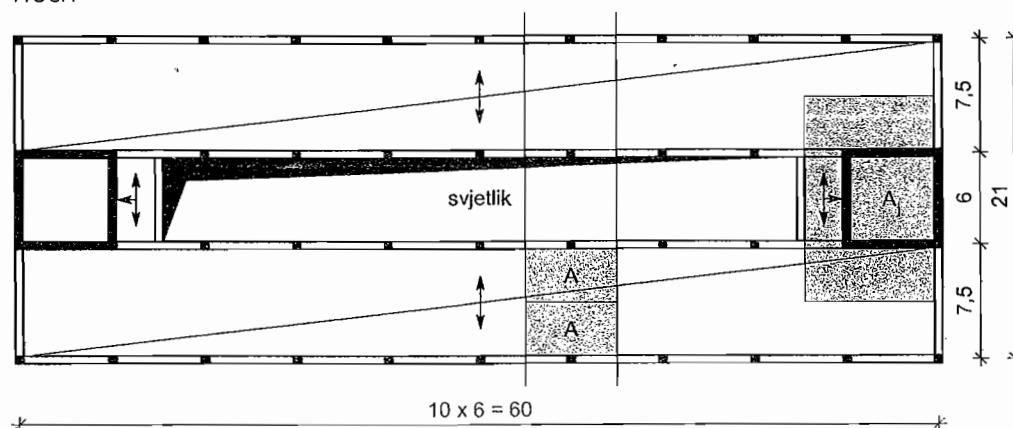
$$A_{tem,potr} [\text{m}^2] = 14 \cdot A [\text{m}^2] \cdot n / \sigma_{dop,fla},$$

gdje je: A = ploština dijela stropa s kojeg se opterećenje prenosi na stup odnosno odgovarajući temelj; n = broj etaža.

■ RJEŠENJE:

Schema konstrukcije

Tlocrt



Vertikalni nosivi elementi

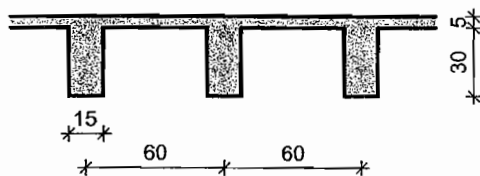
- jezgra – zidovi: $d = 20$ do 30 cm
 $A \cong (6 + 3) \cdot (6 + 7,5) = 121,5 \text{ m}^2$.

Treba zadovoljiti uvjet duktilnosti: $n = \frac{F}{A_c \cdot f_B} \leq 0,2$.

- stupovi
 $A = 6 \cdot 7,5 / 2 = 22,5 \text{ m}^2$
 $A_{st, \text{potr}} = 10 \cdot 22,5 \cdot 5 = 1125 \text{ m}^2$
Odabran kvadratni stup $35/35$ cm ili okrugli $\varnothing 40$ cm.

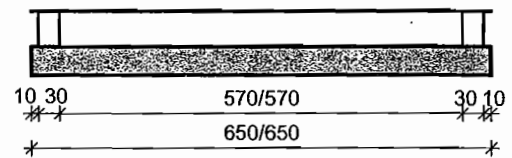
Stropovi

- rebrasta ploča $d_{\min} = \frac{750}{25} = 30 \text{ cm}$.
Odabrano $d = 30 + 5 = 35 \text{ cm}$.



- grede $d_{\min} = \frac{600}{23} = 26,1 \text{ cm}$.
Odabrana greda visine kao i ploča: $50/35 \text{ cm}$.

Temeljna konstrukcija



- jezgra
 $A_{\text{potr}} = 14 \cdot 121,5 \cdot 5/250 = 34,0 \text{ m}^2 < 6 \cdot 6 = 36 \text{ m}^2$.
Odabrana ploča ispod jezgre $d_{\min} = 40 \text{ cm}$.
- temelji stupova (samci)
 $A_{\text{potr}} = 14 \cdot 22,5 \cdot 5/250 = 6,3 \text{ m}^2$.
Odabran armirani temelj $2,60 \cdot 2,60 \text{ m}$.
Alternativno je moguće predvidjeti i temeljne grede
ispod stupova $b_{\text{potr}} = \frac{6,3}{6,0} = 1,05$.
Odabrano $b = 1,10 \text{ m}$.

ZADATAK br. 9

Za hotelsku zgradu približnih tlocrtnih dimenzija 18×54 m, katnosti P+4 (u katovima sobe – raster $3,0$ do $3,6$ m, hodnik u sredini, u prizemlju potrebni slobodni prostori $18 \cdot 18$ m na krajevima zgrade, uz uže fasade), treba dati **mogućnosti rješenja konstrukcije** s komentarom i odgovarajućim skicama (tlocrt prizemlja, tlocrt tipičnog kata i poprečni presjek):

- raspored i približne dimenzije vertikalnih nosivih elemenata s obzirom na zahtjeve prijenosa vertikalnih i horizontalnih opterećenja
- sustav stropnih konstrukcija s približnim dimenzijama konstrukcijskih elemenata
- sustav temeljnih konstrukcija s približnim dimenzijama
- kratak opis prijenosa vertikalnih i horizontalnih opterećenja od mjesta nastajanja do temelja.

- *Primjedba 1:* Za potrebnu površinu stupova vrijedi približna formula:

$$A_{st, potr} [cm^2] = 10 \cdot A [m^2] \cdot n.$$

- *Primjedba 2:* Za potrebnu površinu temelja vrijedi približna formula:

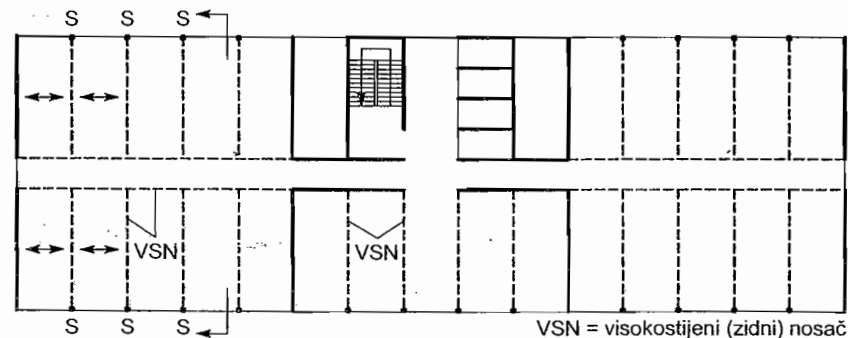
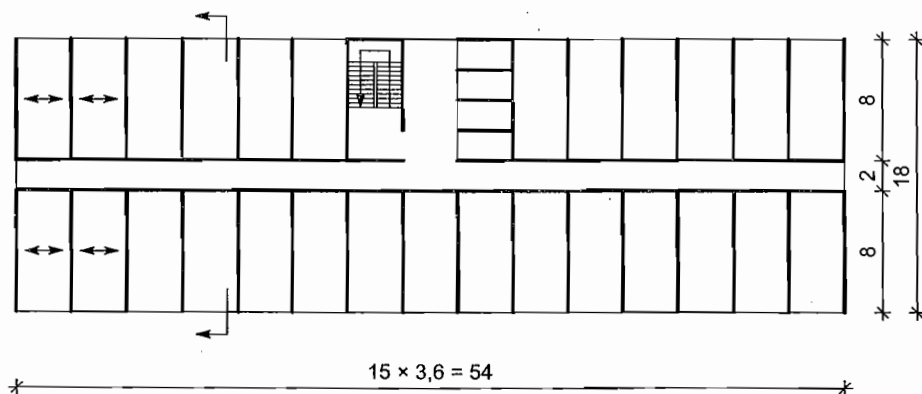
$$A_{tem, potr} [m^2] = 14 \cdot A [m^2] \cdot n / \sigma_{dop, tla},$$

gdje je: A = ploština dijela stropa s kojeg se opterećenje prenosi na stup odnosno odgovarajući temelj; n = broj etaža; $\sigma_{dop, tla} = 300$ kN/m².

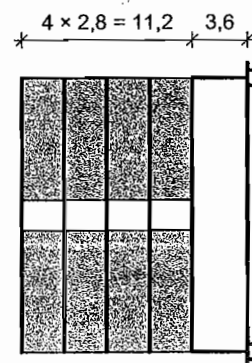
■ RJEŠENJE

Shema konstrukcije

Tlocrt tipičnog kata



Tlocrt prizemlja



Presjek

Zidovi

debljine $d = 16-20$ cm
konstruktivno, radi izvođenja.

Stupovi

$A_{\max} = 3,6 \cdot 9 = 32,4 \text{ m}^2$
 $A_{\text{potr, st}} = 10 \cdot 32,4 \cdot 5 = 1620 \text{ cm}^2$.
Odabrani stupovi presjeka 30/55 cm.

Stropne ploče

$d = 14$ cm
konstruktivno, radi zaštite od buke.

Prijenos opterećenja

- vertikalno opterećenje: stropna ploča → zidovi izravno → temelj (ili stropna ploča → poprečni zidovi / zidni nosači + membransko djelovanje stropova → stupovi → temelj)
- horizontalno opterećenje: stropne ploče kao dijafragma → zidovi → temelji.

Temelj krajnjeg zida

$$A = 1,8 \text{ m}^2/\text{m}'$$

$$b_{\text{potr}} = \frac{14 \cdot 1,8 \cdot 5}{300} = 0,42.$$

Odabrana traka širine $b = 50$ cm.

Temelj srednjeg zida

$$A \cong 3,6 \text{ m}^2/\text{m}'$$

$$b_{\text{potr}} = 2 \cdot 0,42 = 0,84 \text{ m}.$$

Odabrana traka širine $b = 90$ cm.

Temeljna greda pod stupovima

$$A = 32,4 \text{ m}^2$$

$$b_{\text{trake}} = \frac{14 \cdot 32,4 \cdot 5}{300 \cdot 3,60} = 2,1 \text{ m}.$$

ZADATAK br. 10

Za izložbenu zgradu približnih tlocrtnih dimenzija 30×30 m, katnosti P + 2 (potrebni slobodni prostori bez stupova približnih dimenzija 10×10 m, nije moguće predvidjeti nosive zidove, svijetle katne visine oko 3 m), treba dati **mogućnosti rješenja betonske konstrukcije** s komentarom i odgovarajućim skicama (tlocrt – shema konstrukcije i poprečni presjek):

- raspored i približne dimenzije stupova
- sustav stropne i krovne konstrukcije s približnim dimenzijama konstrukcijskih elemenata
- sustav stubišta smještenog u sredini zgrade (načelno)
- sustav temeljnih konstrukcija s približnim dimenzijama, pod pretpostavkom da je $\sigma_{dop, tla} = 100 \text{ kN/m}^2$ (slabo tlo podložno nejednolikim slijeganjima)
- kratak opis prijenosa vertikalnih i horizontalnih opterećenja od mjesta nastajanja do temelja.

- *Primjedba 1:* Za potrebnu površinu stupova vrijedi približna formula:

$$A_{st, potr} [\text{cm}^2] = 14 \cdot A [\text{m}^2] \cdot n.$$

- *Primjedba 2:* Za potrebnu debljinu ploča i visine greda vrijede približne formule:

$$d_{pl} = l_{pl}/30 \text{ ili min } 12 \text{ cm}$$

$$d_{gr} = l_{gr}/12 \text{ do } l_{gr}/15.$$

- *Primjedba 3:* Za potrebnu površinu temelja vrijedi približna formula:

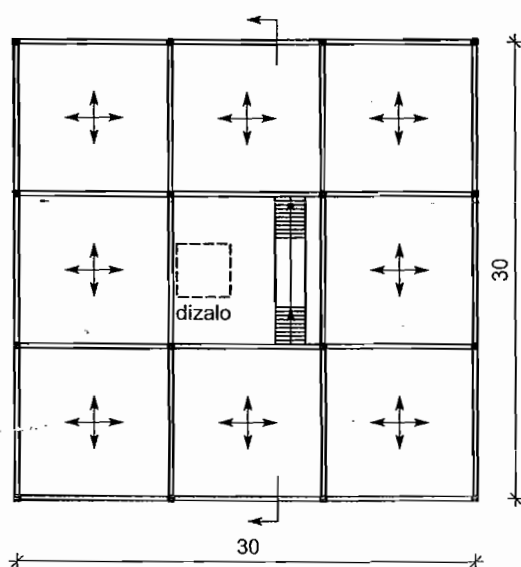
$$A_{tem, potr} [\text{m}^2] = 14 \cdot A [\text{m}^2] \cdot n / \sigma_{dop, tla}$$

gdje je: A = ploština dijela stropa s kojeg se opterećenje prenosi na stup odnosno odgovarajući temelj; n = broj etaža.

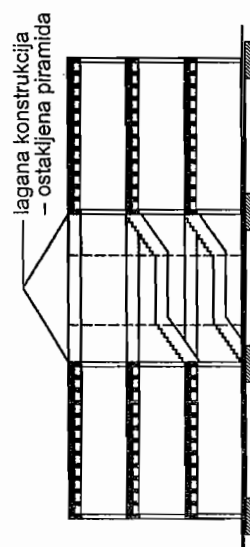
■ RJEŠENJE

Shema konstrukcije

Tlocrt



Presjek

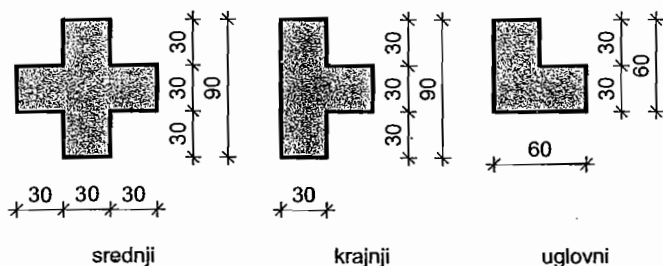


Stupovi

- nose i vertikalno i horizontalno opterećenje (kao dijelovi okvira)

$$A = 10 \cdot 10 = 100 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{potr}} = 14 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 3 = 4200 \text{ cm}^2.$$



Odabrani su kvadratni stupovi 65/65 cm ili, bolje (zbog povećane krutosti na savijanje – važno jer su stupovi dijelovi okvira!), razvedeni stupovi prema skici. Pritom srednji stup X-presjeka ima površinu od 4500 cm² (dakle nešto više od minimalno potrebnih 4200 cm²), krajnji stup T-presjeka 3600 cm², a uglovni stup L-presjeka 2700 cm².

Stropna konstrukcija

- grede (nose i vertikalno i horizontalno opterećenje kao dijelovi okvira):

$$h \geq \frac{1000}{15} \approx 67 \text{ cm} \text{ ili } h \geq \frac{1000}{12} \approx 83 \text{ cm}.$$

Odabran presjek grede 30/80 cm.

- kasetirana stropna ploča $h = \frac{1000}{30} \approx 35 \text{ cm}$

Odabrana kasetirana ploča
 $h = 23 + 12 = 35 \text{ cm}.$

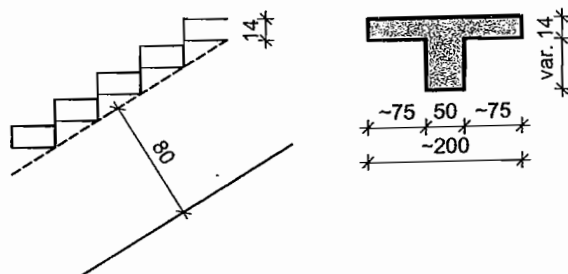
- *Primjedba:* Dizalo je samostojeće unutar lagane ostakljene konstrukcije koja nije ukrutni element.

Prijenos opterećenja

- vertikalno: kasetirana ploča → greda → stup → temeljni roštilj → tlo
- horizontalno: ploča kao kruta dijafragma → okviri (po četiri u svakom smjeru) → temeljni roštilj → tlo.

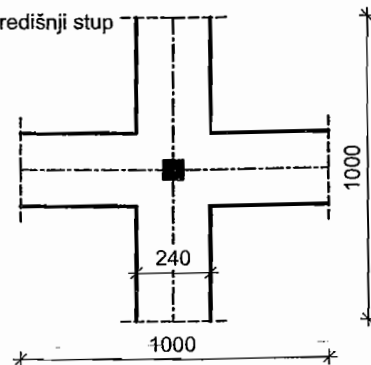
Stubište

Odabrano je pravo dvokrako stubište s međupodestom, koje se sastoji od središnje grede presjeka 50/80 cm s pločom debljine 14 cm i širine oko 2 m.



Temeljna konstrukcija

dio temelja uz središnji stup



Odabran je roštilj traka zbog slabog tla.

- za srednji stup $A = 100 \text{ m}^2$
 $A_{\text{tem,otr}} = 14 \cdot 100 \cdot 3/100 = 42 \text{ m}^2$
- ako je širina trake b , onda vrijedi da je
 $A_{\text{tem}} = b (2 \cdot 10 - b) = 42 \text{ m}^2.$

Tu je jednadžbu moguće riješiti izravno ili pokušanjem.

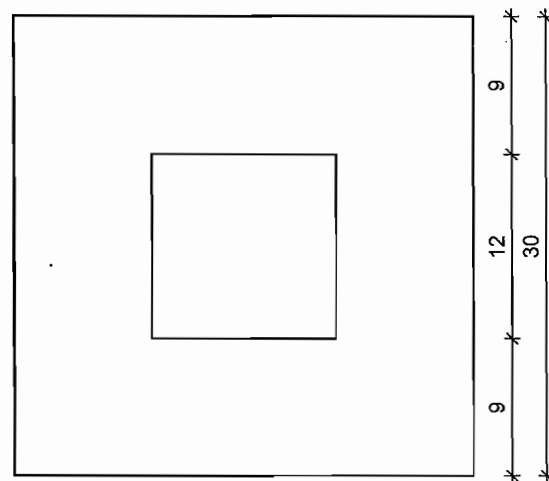
- za odabranu širinu od $b = 2,40 \text{ m}$
 $A_{\text{tem}} = 2,4 (2 \cdot 10 - 2,4) = 42,24 \text{ m}^2$, dakle ta širina zadovoljava.

ZADATAK br. 11

Za stambenu zgradu približnih tlocrtnih dimenzija kao na skici (tlocrt je kvadratni!) katnosti P + 4 treba dati **mogućnosti rješenja konstrukcije** s komentarom i odgovarajućim skicama (tlocrt tipičnog kata, tlocrt krovišta, tlocrt temelja, presjek):

- raspored i približne dimenzije vertikalnih nosivih elemenata s obzirom na zahtjeve prijenosa vertikalnih i horizontalnih opterećenja (uz unutarnju fasadu hodnik, uz vanjsku stanovi)
- sustav stropnih konstrukcija s približnim dimenzijama
- sustav dvostrešne krovne konstrukcije (malen nagib krova, tavan se ne koristi)
- sustav temeljne konstrukcije ako je $\sigma_{dop, tla} = 200 \text{ kN/m}^2$.

- *Primjedba 1:* Za visine (debljine) stropnih elemenata uzeti u obzir granične odnose l/d za grede i ploče u zgradarstvu, za koje nije potreban računski dokaz progiba prema EC2 („Nosive konstrukcije I”).



Statički sustav	Veliki naponi betona (grede)	Mali naponi betona (ploče)
Slobodno oslonjena greda; slobodno oslonjena obična ili križna ploča	18	25
Krajnje polje kontinuirane grede ili obične ploče; krajnje polje križne ploče s kontinuitetom duž veće stranice	23	32
Srednje polje grede ili obične ili križne ploče	25	35

- *Primjedba 2:* Za potrebnu površinu temelja primijeniti formulu:

$$A_{\text{tem, polr}} [\text{m}^2] = 14 \cdot A [\text{m}^2] \cdot n / \sigma_{dop, tla,}$$

gdje je: A = ploština dijela stropa s kojeg se opterećenje prenosi na zid odnosno odgovarajuću temeljnu traku; n = broj etaža.

Uputa: Raditi po m dužine trake ako se radi o temelju zida!

- *Primjedba 3:* Za potrebnu površinu stupova (u slučaju da bude stupova) vrijedi približna formula:

$$A_{\text{st, polr}} [\text{cm}^2] = 10 \cdot A [\text{m}^2] \cdot n,$$

gdje je: A = ploština dijela stropa s kojeg se opterećenje prenosi na stup; n = broj etaža.

■ RJEŠENJE

Zidovi $d = 16 \text{ cm}$

na razmacima $7,5 + 6 + 3 + 6 + 7,5 \text{ m}$

ili poprečni $7,5 + 3 \cdot 5 + 7,5 \text{ m}$,

te unutarnji između hodnika i stanova. Zidovi imaju potrebne otvore za vrata i prozore.

Uglovni stup

$$A_{\text{polr}} = 10 \cdot \left(\frac{7,5}{2} \right)^2 \cdot 5 = 703,1 \text{ cm}^2.$$

Odabran kvadratni stup 30/30 cm.

Stropna konstrukcija

– puna ploča: $b_{\text{polr}} = \frac{750}{32} \approx 23 \text{ cm}$ u uglovima

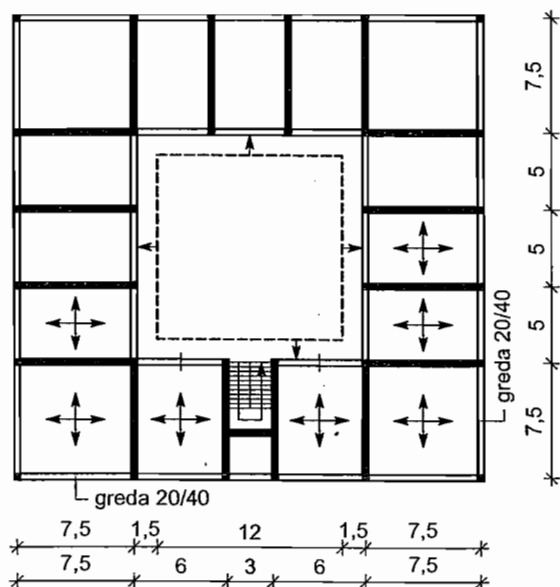
– ostale ploče mogu biti: $b_{\text{polr}} = \frac{600}{32} \approx 20 \text{ cm}$

– grede po vanjskoj fasadi: $b_{\text{polr}} = \frac{750}{23} \approx 32,6 \text{ cm}$.

Odabrano 20/40 cm.

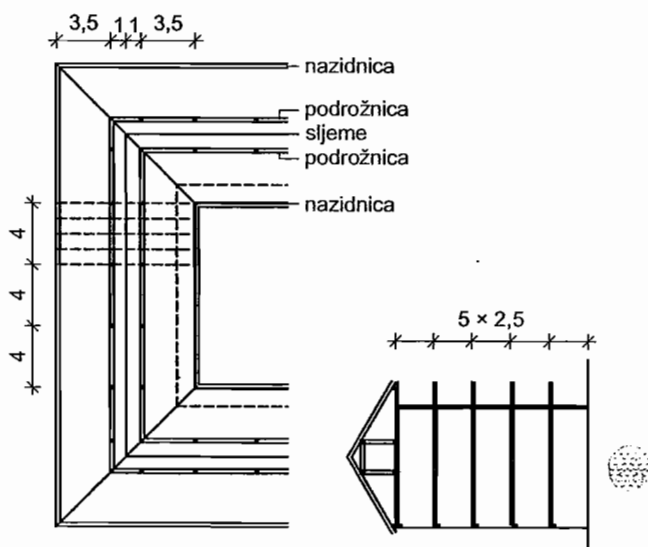
Shema konstrukcije

Tlocrt tipične etaže

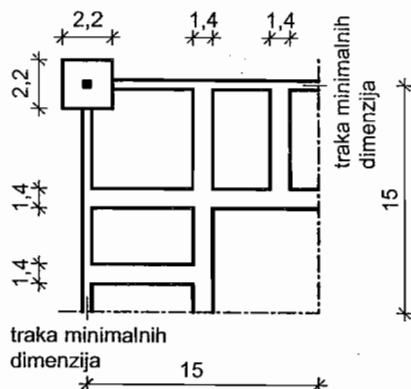


Tlocrt krovišta

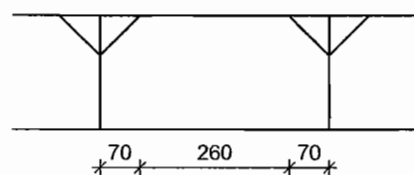
Poprečni presjek



Temeljna konstrukcija



Krovn konstrukcija



Predviđa se podroženički krov

- elementi su: stupovi na razmaku od 4 m, podrožnice, roženice na razmaku od 0,8 do 1 m i nazidnice. Raspon podrožnica je 4 m smanjen rukama prema skici.

- obrađuje se jedna četvrtina zgrade!

- pojedinačni temelj uglovnog stupa:

$$A = (7,5/2)^2 = 14,06 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{tem, potr}} = 14 \cdot 14,06 \cdot 5/200 = 4,92 \text{ m}^2$$

$$a_{\text{potr}} = 2,22 \text{ m.}$$

Odabran je armirani temelj dimenzija 2,20/2,20 m.

- trake pod zidovima:

$$A = 15^2 - 6^2 - 14,06 \cong 174,94 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{tem, ukupno}} = 14 \cdot 174,94 \cdot 5/200 = 61,23 \text{ m}^2.$$

Ukupna dužina temeljnih traka

$$l = 4 \cdot 7,5 + 2 \cdot 1,5 \cdot 5 = 45 \text{ m}$$

$$\text{širina trake } b_{\text{potr}} = \frac{61,23}{45} = 1,36.$$

Odabrano $b = 1,40 \text{ m.}$

ZADATAK br. 12

Za uredsku zgradu približnih tlocrtnih dimenzija 20×50 m, katnosti P + 8, treba dati rješenje **armiranobetonske konstrukcije** s komentarom i odgovarajućim skicama (tipični tlocrt s dispozicijom elemenata, poprečni presjek, načelna rješenja tipičnih elemenata):

- raspored vertikalnih nosivih elemenata te približne dimenzije stupova i zidova s obzirom na zahtjeve prijenosa vertikalnih i horizontalnih opterećenja; postoji zahtjev fleksibilnosti tlocrta – rasponi do 10 m, predviđena je staklena fasada
- sustav stropnih konstrukcija s približnim dimenzijama konstrukcijskih elemenata
- treba težiti što manjoj visini konstrukcije
- sustav temeljnih konstrukcija s približnim dimenzijama ako je $\sigma_{dop,lla} = 300$ kN/m².
- *Primjedba 1:* Za potrebnu površinu stupova vrijedi približna formula:

$$A_{st,poth} [cm^2] = (6 \text{ do } 10) \cdot A [m^2] \cdot n,$$

gdje je: A = ploština dijela stropa s kojeg se opterećenje prenosi na stup odnosno odgovarajući temelj; n = broj etaža.

- *Primjedba 2:* Za visine (debljine) stropnih elemenata uzeti u obzir granične odnose l/d za grede i ploče u zgradarstvu, za koje nije potreban računski dokaz progiba prema EC2 („Nosive konstrukcije I”).

Statički sustav	Veliki naponi betona (grede)	Mali naponi betona (ploče)
Slobodno oslonjena greda; slobodno oslonjena obična ili križna ploča	18	25
Krajnje polje kontinuirane grede ili obične ploče; krajnje polje križne ploče s kontinuitetom duž veće stranice	23	32
Srednje polje grede ili obične ili križne ploče	25	35
Ploča izravno oslonjena na stupove (veći raspon)	21	30

- *Primjedba 3:* Za potrebnu površinu temelja vrijedi približna formula:

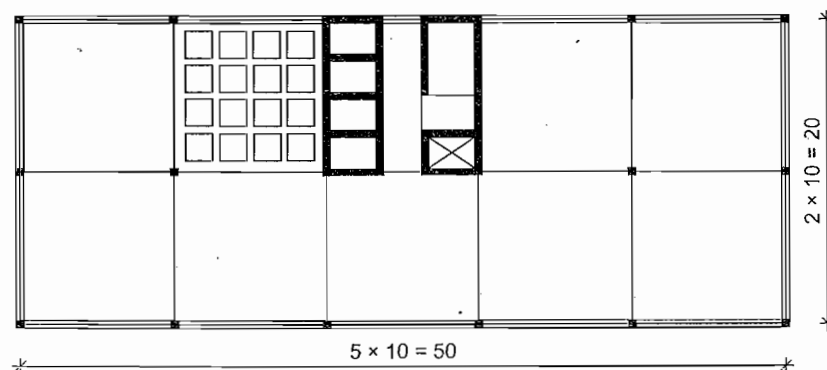
$$A_{tem,poth} [m^2] = 14 \cdot A [m^2] \cdot n / \sigma_{dop,lla},$$

gdje A i n imaju isto značenje kao i u formuli uz primjedbu 1.

■ RJEŠENJE

Shema konstrukcije

Tlocrt



Zidovi jezgre

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

$$\text{Uvjet duktilnosti je } \frac{N}{A_c} \leq 0,2 f_b.$$

Stupovi

- srednji stup

$$A = 10^2 = 100 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{potr}} = 6 \cdot 100 \cdot 9 = 5400 \text{ cm}^2 \sim a_{\text{potr}} = 73,5 \text{ cm.}$$

Odabran kvadratni stup: 74/74 cm.

Ako se želi smanjiti na npr. 60/60 cm, treba izvesti spregnuti čelično-betonski stup, tj. s armaturom >6%.

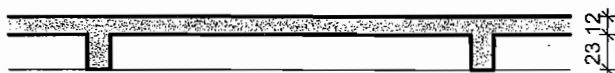
- fasadni stup

$$A = 10 \cdot 5 = 50 \text{ m}^2.$$

$$A_{\text{potr}} = 2700 \text{ cm}^2.$$

Odabran kvadratni stup: 52/52 cm.

Stropna konstrukcija



- ploča

predviđa se točkasto oslonjena kasetirana ploča s punom visinom oko srednjih stupova
 $d_{\text{pl}} = 1000/30 = 33,3$

Odabrano: $d = 35 \text{ cm}$

- obodna greda

$$d_{\text{min}} = 43,5$$

Odabrano: 60/45 cm

Temeljna konstrukcija

- temelj jezgre

$$A = 20 \cdot 15 = 300 \text{ m}^2$$

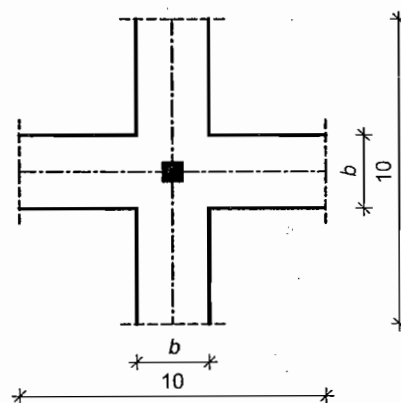
$A_{\text{tem, potr}} = 300 \cdot 9 \cdot 14/300 = 126 \text{ m}^2$ (to je približno $11 \cdot 11 \text{ m}$), dakle ploča ispod cijele jezgre, s time da vanjsku konturu ploče treba uskladiti s tračnim temeljima stupova.

- temelj obodnih stupova – traka

$$A = b \cdot 1 = 5 \text{ m}^2/\text{m}'$$

$$A_{\text{tem, potr}} = 1 \cdot b_{\text{tem, potr}} = 14 \cdot 5 \cdot 9/300 = 2,10 \text{ m}$$
 (armirana traka)

- temelj srednjih stupova: $A = 100 \text{ m}^2$



- za samac

$$A_{\text{tem, potr}} = 14 \cdot 100 \cdot 9/30 = 42 \text{ m}^2$$

to daje dimenzije pojedinačnog temelja oc 6,5/6,5 m, što je previše pa se predviđa roštilj temeljnih traka:

$$b_{\text{trake}} \cdot (2 \cdot 10 - b_{\text{trake}}) = 42 \quad (A)$$

$$\text{U svakom slučaju, } b_{\text{trake}} = \frac{42}{2 \cdot 10} = 2,1 \text{ m.}$$

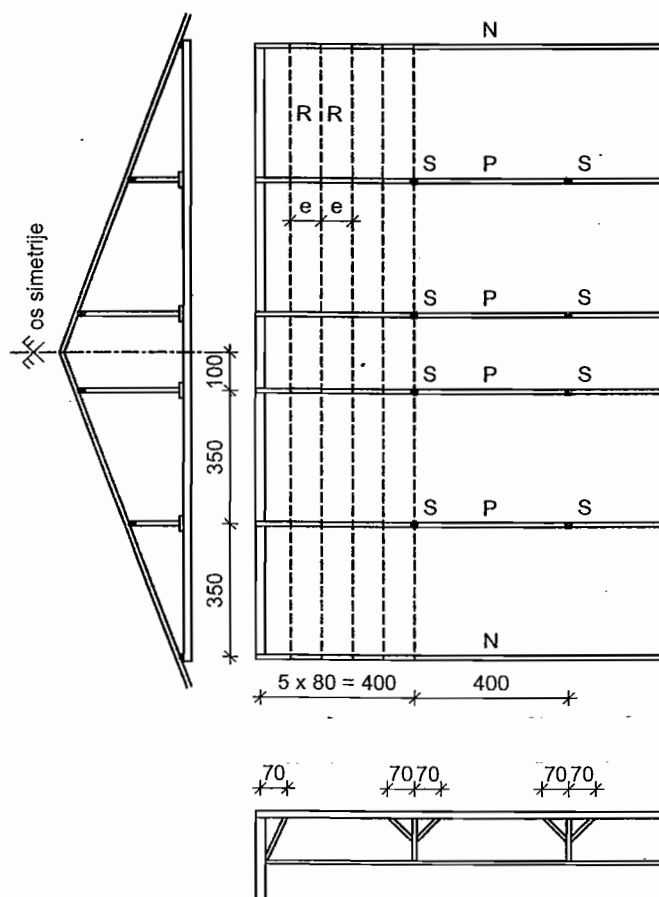
Pokušamo s $b = 2,40 \text{ m}$.

$$A = 2,40 \cdot (20 - 2,40) = 42,24 \text{ m}^2 > 42 \text{ m}^2, \text{ dakle širina od } 2,40 \text{ m zadovoljava!}$$

• *Primjedba:* Moguće je iz jednadžbe (A) postaviti kvadratnu jednadžbu: $b^2 - 20b + 42 = 0$ i dobiti točno rješenje $b \approx 2,38 \text{ m} \approx 2,40 \text{ m}$, ali tolika natančnost nije potrebna i pokušavanjem brže dolazimo do prihvatljiva rezultata.

Podroženičko krovšte

- R – roženice 10/12 cm $e = 80$ cm
P – podrožnice 14/18 cm s rukama
N – nazidnice 12/10 cm
S – stupci 12/12 cm



Temelji

- a) povezani temelji u srednjem dijelu širine:

$$\bar{s} = \frac{6,0 + 3,0}{2} = 4,5 \text{ m}$$

$$A = 4,5 \cdot 16 = 72 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{tem,poth}} = 14 \cdot 72 \cdot 4/180 = 22,4 \text{ m}^2$$

$$l_{\text{trake}} = 16 + 2 \cdot 4,5 + 1,5 = 26,5 \text{ m}$$

$$b_{\text{trake}} > \frac{22,4}{26,5} = 0,85 \text{ m.}$$

Odabrana traka širine $b = 90$ cm.

- b) povezani temelji uz unutarnji zid stana širine 4,5 m

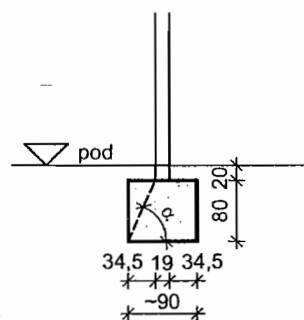
$$A = 4,5 \cdot 16 = 72 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{tem,poth}} = 14 \cdot 72 \cdot 4/180 = 22,4 \text{ m}^2$$

$$l_{\text{trake}} = 16 + 1,5 + 2 \cdot 4,5 + 2 \cdot 3 = 32,5$$

$$b_{\text{trake}} > \frac{22,4}{32,5} = 0,69 \text{ m.}$$

Odabrane trake unutarnjih zidova $b = 90$ cm, vanjskih zidova $d = 70$ cm.



$$\text{tg } \alpha = 80/34,5 = 2,318$$

$$\alpha = 66,7 > 60^\circ.$$

Odabrani nearmirani temelji.

ZADATAK br. 14

Za poslovnu zgradu približnih tlocrtnih dimenzija 30×75 m, katnosti P + 4 (potrebni slobodni prostori bez stupova minimalnih dimenzija oko $7,5 \times 10$ m, svijetle katne visine min 4,5 m), treba dati mogućnosti rješenja betonske konstrukcije koja se sastoji od **predgotovljene skeletne konstrukcije** s elementima za ukrućenje, izvedenim na samome mjestu – uz komentar i odgovarajuće skice (tlocrt – shema konstrukcije i poprečni presjek):

- raspored i približne dimenzije vertikalnih nosivih elemenata
- sustav stropne i krovne konstrukcije s približnim dimenzijama konstrukcijskih elemenata
- sustav temeljnih konstrukcija s približnim dimenzijama pod pretpostavkom da je $\sigma_{\text{dop, tla}} = 350 \text{ kN/m}^2$
- kratak opis prijenosa vertikalnih i horizontalnih opterećenja od mjesta nastajanja do temelja.

• **Primjedba 1:** Za potrebnu površinu stupova vrijedi približna formula:

$$A_{\text{st, potr}} [\text{cm}^2] = 10 \cdot A [\text{m}^2] \cdot n.$$

• **Primjedba 2:** Za potrebnu površinu temelja vrijedi približna formula:

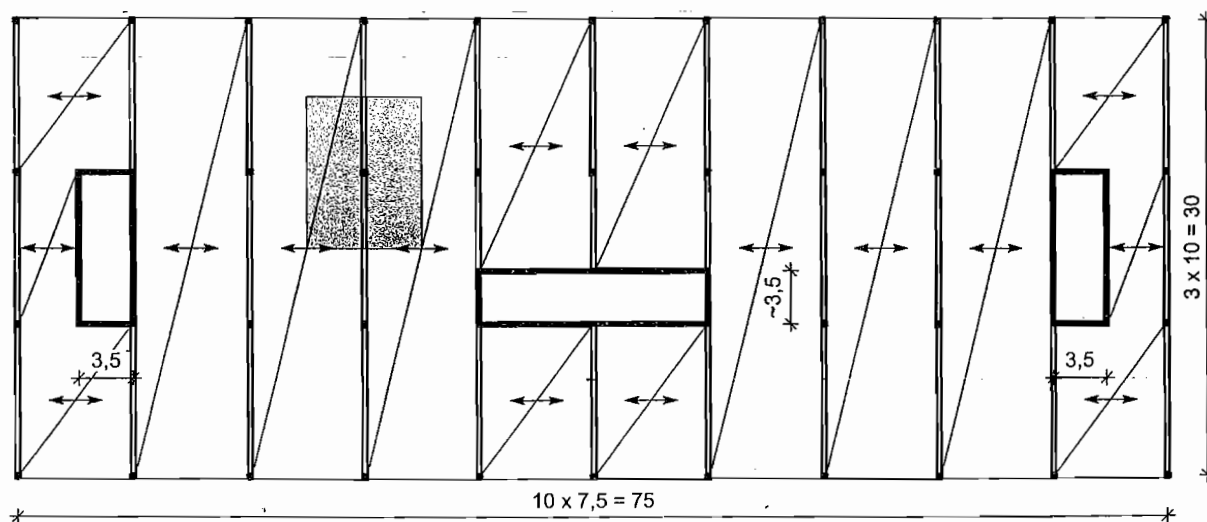
$$A_{\text{tem, potr}} [\text{m}^2] = 14 \cdot A [\text{m}^2] \cdot n / \sigma_{\text{dop, tla}},$$

gdje je: A = ploština dijela stropa s kojeg se opterećenje prenosi na stup odnosno odgovarajući temelj; n = broj etaža.

• **Primjedba 3:** Zbog velikih opterećenja vitkost (odnos raspona i visine) stropnih elemenata treba biti za ploče najviše 20, a za grede najviše 12.

■ RJEŠENJE

Shema konstrukcije – Tlocrt



Stupovi

$$A = 10 \cdot 7,5 = 75 \text{ m}^2$$

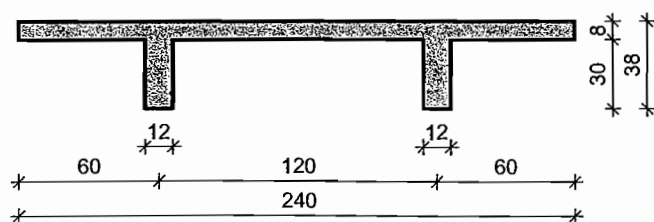
$$A_{\text{st, potr}} = 10 \cdot 75 \cdot 7 = 3750 \text{ cm}^2$$

$$a = 61,2 \text{ cm.}$$

Odabrani stupovi 60/60 cm.

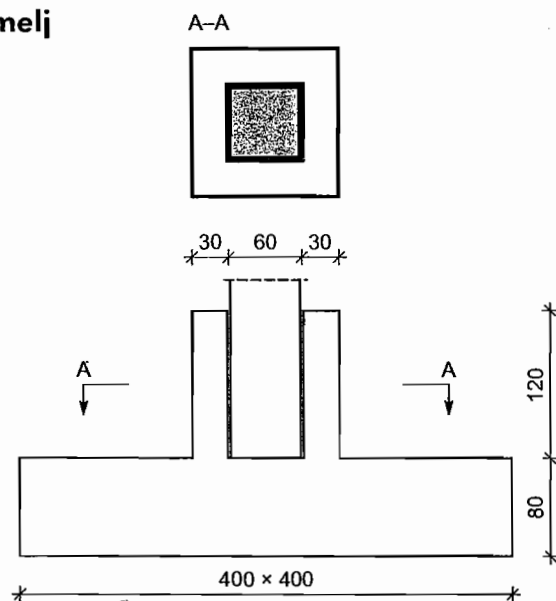
Zidovi jezgri $d = 20\text{--}30 \text{ cm.}$

Stropna konstrukcija



- π -ploče u uzdužnom smjeru $l = 7,5$ m,
 $d \geq \frac{750}{20} = 37,5$ cm
- grede u poprečnom smjeru $l = 10$ m,
 $d \geq \frac{1000}{12} = 83,3$
- ploča *in situ* $d = 6$ cm za postizanje krute dijafragme stropa.
Odabrano: 30/85.

Temelj



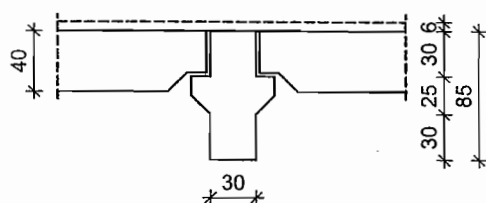
$$A = 75 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{potr}} = 14 \cdot 75 \cdot 5/350 = 15 \text{ m}^2$$

$$\sigma = 3,88 \text{ m.}$$

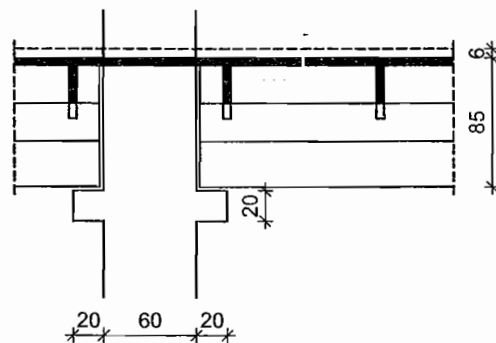
Odabran je čašasti temelj s armiranom pločom dimenzija 400/400 cm.

Veza ploča-greda



- *Primjedba:* Moguće je predvidjeti i ploče $l = 10$ m u poprečnom smjeru i grede $l = 7,5$ m u uzdužnom smjeru!

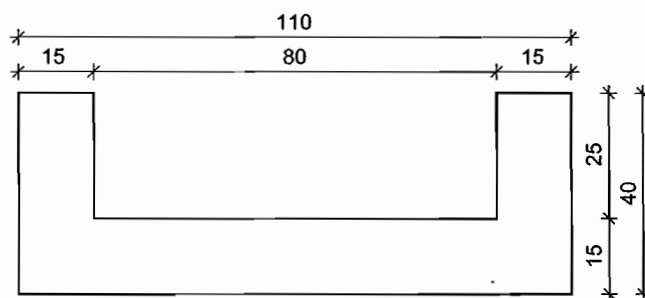
Veza greda-stup



ZADATAK br. 15

Za stambenu zgradu približnih tlocrtnih dimenzija kao na skici desno, katnosti P + 4 (stanovi uz uzdužne fasade sa središnjim hodnikom), treba dati **moгуćnosti rješenja konstrukcije** s komentarom i odgovarajućim skicama:

- dilatacijske reške
- raspored i približne dimenzije nosivih zidova s obzirom na zahtjeve prijenosa vertikalnih i horizontalnih opterećenja (zbog različitih veličina stanova po etažama treba biti što manje poprečnih zidova)
- sustav stropnih konstrukcija s približnim dimenzijama
- sustav dvostrešne krovne konstrukcije (malen nagib krova, tavan se ne koristi)
- sustav temeljne konstrukcije, ako je $\sigma_{dop,lla} = 150 \text{ kN/m}^2$.
- *Primjedba 1:* Za visine (debljine) stropnih elemenata uzeti u obzir granične odnose l/d za grede i ploče u zgradarstvu, za koje nije potreban računski dokaz progiba prema EC2 („Nosive konstrukcije I”).



Statički sustav	Veliki naponi betona (grede)	Mali naponi betona (ploče)
Slobodno oslonjena greda; slobodno oslonjena obična ili križna ploča	18	25
Krajnje polje kontinuirane grede ili obične ploče; krajnje polje križne ploče s kontinuitetom duž veće stranice	23	32
Srednje polje grede ili obične ili križne ploče	25	35

- *Primjedba 2:* Za potrebnu površinu temelja primijeniti formulu:

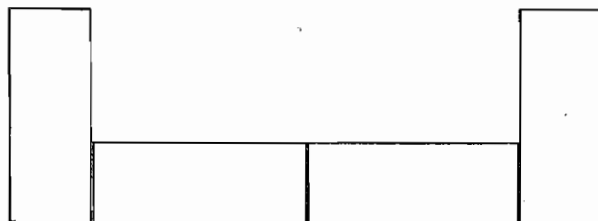
$$A_{\text{tem, potr}} [\text{m}^2] = 14 \cdot A [\text{m}^2] \cdot n / \sigma_{dop,lla}$$

gdje je: A = ploština dijela stropa s kojeg se opterećenje prenosi na zid odnosno odgovarajuću temeljnu traku; n = broj etaža.

Uputa: Raditi po m dužine trake ako se radi o temelju zida!

■ RJEŠENJE

Dilatacijske reške



- četiri dilatacijska odsječka tlocrtnih dimenzija $15 \times 40 \text{ m}$, reške 5–10 cm.
- Dalje se prikazuje samo jedan odsječak.

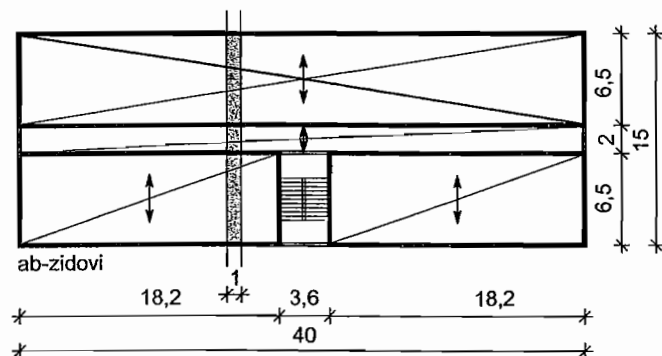
Nosivi armiranobetonski zidovi

- uzdužni nosivi zidovi fasade (s prozorima) i hodnika (s vratima): $d = 15\text{--}20 \text{ cm}$
- poprečni zidovi za ukrućenje zabata i stubišta: $d = 15\text{--}20 \text{ cm}$.

Stropna konstrukcija

- jednostrana ploča: $d = \frac{650}{32} \approx 20 \text{ cm}$.

Tlocrt tipičnog kata



Temelji

- temelj fasadnog zida – traka:

$$A = 3,25 \text{ m}^2/\text{m}'$$

$$b_{\text{potr}} = 14 \cdot 3,25 \cdot 5/150 = 1,52 \sim 1,60 \text{ m}$$

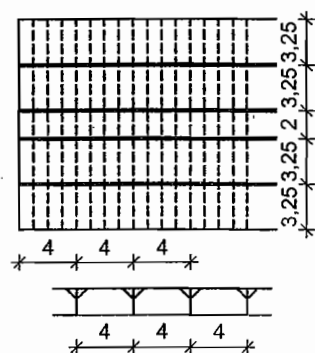
- temelj srednjih zidova – traka:

$$A = \frac{6,5}{2} \cdot 2 + 2,0 = 8,5 \text{ m}^2/\text{m}$$

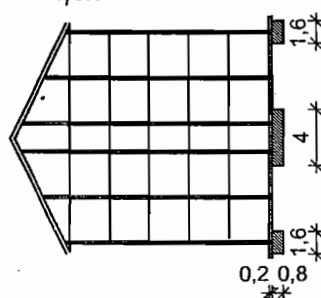
$$b_{\text{potr}} = 14 \cdot 8,5 \cdot 5/150 = 3,97 \sim 4,0 \text{ m}$$

Odabrane su armirane temeljne trake
160/80 cm i 400/80 cm.

Krovište (dio)



Presjek



Krovište

- roženice na razmaku 80–100 cm; $l = 3,25$
- podrožnice na razmaku 3,25 i 2 m; $l = 4,0$ m
- stupci u rasteru:
 $4 \cdot (3,25 + 3,25 + 2,0 + 3,25 + 3,25) \text{ m}$.

ZADATAK br. 16

Za dio (dilatacijski odsječak) uredske zgrade bez stubišta i dizala približnih tlocrtnih dimenzija 12×42 m, katnosti P+10 (vertikalni konstrukcijski elementi zbog fleksibilnosti prostora samo na vanjskom rubu tlocrta, veličina modula – širine kancelarije 3 m, s pripadajućim prozorom širine 1,5 m; središnji hodnik u uzdužnom smjeru širine 2 m, svijetle katne visine 3,80 m), treba dati **moгуćnosti rješenja betonske konstrukcije** s komentarom i odgovarajućim skicama (tlocrt – shema konstrukcije i poprečni presjek):

- raspored i približne dimenzije vertikalnih nosivih elemenata
- sustav stropne i krovne konstrukcije ako je ukupna visina konstrukcije ograničena na najviše 35 cm (vrlo velika vitkost!)
- sustav temeljnih konstrukcija s približnim dimenzijama pod pretpostavkom da je $\sigma_{dop, tla} = 350 \text{ kN/m}^2$
- *Primjedba 1:* Za potrebnu površinu vertikalnih elemenata vrijedi približna formula:

$$A_{potr} [\text{cm}^2] = 12 \cdot A [\text{m}^2] \cdot n.$$

- *Primjedba 2:* Za potrebnu površinu temelja vrijedi približna formula:

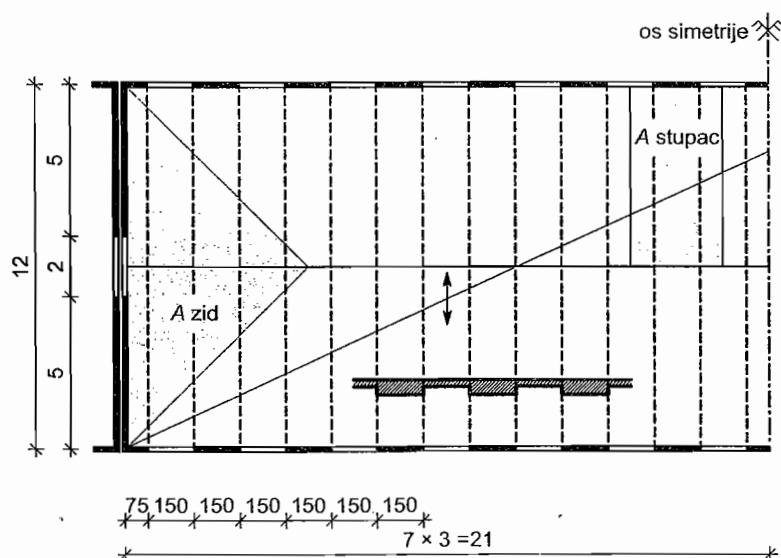
$$A_{tem, potr} [\text{m}^2] = 14 \cdot A [\text{m}^2] \cdot n / \sigma_{dop, tla},$$

gdje je: A = ploština dijela stropa s kojeg se opterećenje prenosi na stup odnosno odgovarajući temelj; n = broj etaža.

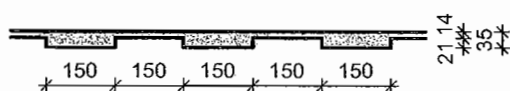
■ RJEŠENJE

Shema tipičnog kata

Tlocrt



Stropna konstrukcija



- vitkost $1200/35 = 34,3$
- jednostrana rebrasta prednapeta ploča

Uzdužni zid

- stupci $d/150 \text{ cm}$
- $A_{st} = 3 \cdot 6 = 18 \text{ m}^2$
- $A_{st, potr} = 12 \cdot 18 \cdot 11 = 2376 \text{ cm}^2 = 150 d$
- $d = 15,84 \approx 16 \text{ cm}.$

Poprečni zid: $d = 16 \text{ cm}$, dimenzije konstruktivne **Temelj poprečnog zida**

Temelj uzdužnog zida

– traka $b_{tr}/80 \text{ cm}$

$A = 18 \text{ cm}^2$ za 3 m'

$$A_{tem, potr} = 14 \cdot 18 \frac{11}{350} = 7,92 \text{ m}^2 =$$

$$= b_{tr} \cdot 3 \rightarrow b_{tr} = 2,64 \text{ m.}$$

Odabrana je armirana traka širine $b = 2,60 \text{ m}$.

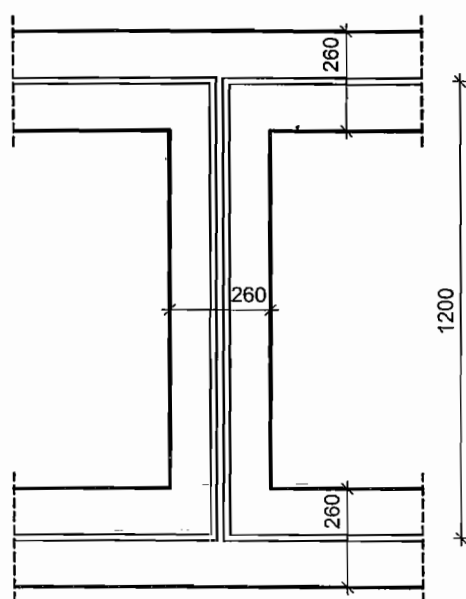
– traka $b_{tr}/80 \text{ cm}$

$$A_{zid} = \frac{12 \cdot 6}{2} = 36 \text{ m}^2 \text{ za } 12 \text{ m}$$

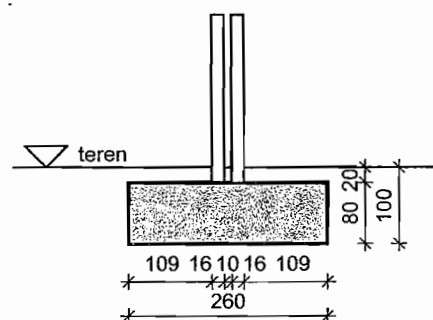
$$A_{tem, potr} = 14 \cdot 36 \frac{11}{350} = 15,84 \text{ m}^2 = b_{tr} \cdot 12$$

$b_{tr} = 1,32 \text{ m}$, što vrijedi samo za promatrani dilatacijski odsječak. U slučaju jednakoga susjednog odsječka širina je trake $b_{tr} = 2 \cdot 1,32 \approx 2,60 \text{ cm}$ (armirana traka).

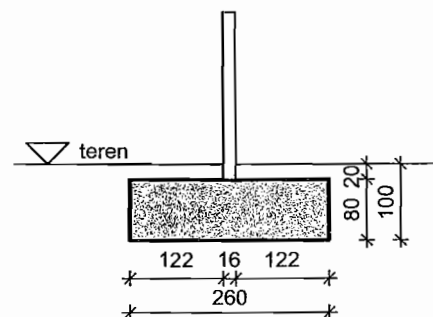
Tlocrt temelja



Presjek poprečne temeljne trake



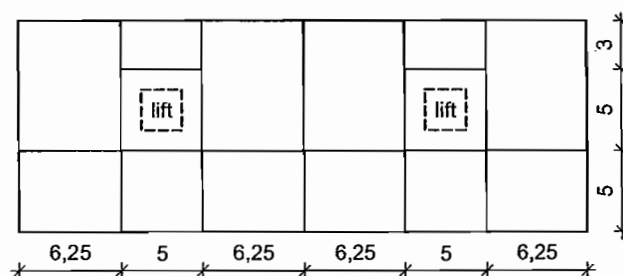
Presjek uzdužne temeljne trake



ZADATAK br. 18

Za stambeno-poslovnu zgradu približnih tlocrtnih dimenzija 13×35 m, katnosti P + 6, prema priloženoj skici konstruktivnog rastera treba dati **moćnosti rješenja konstrukcije** s komentarom i odgovarajućim skicama (tlocrt tipičnog kata i prizemlja, tlocrt krovišta, poprečni presjek) ako su zadani ovi funkcionalni zahtjevi:

- Jezgre stubišta i dizala 5×5 m te poprečni zidovni zidovi imaju po cijeloj visini samo minimalan broj otvora širine do 1 m.
- Uzdužne su fasade nekonstruktivne zbog velikih otvora i zahtjeva izvedbe.
- Ostali poprečni zidovi u prizemlju, gdje se predviđaju trgovine i poslovni prostori, imaju otvore najveće moguće širine (i do oko 5 m), dok u katovima, gdje se predviđaju stanovi, imaju otvore minimalne širine (do 1,5 m):
- Uzdužni nosivi zid (osim na mjestu jezgara) ima u prizemlju otvore velike širine (do 4,5 m), a u katovima otvore minimalne širine (do 1 m).



Treba dati ove elemente rješenja:

- raspored i približne dimenzije vertikalnih nosivih elemenata s obzirom na zahtjeve prijenosa vertikalnih i horizontalnih opterećenja – uključivo stupove u prizemlju
- sustav stropnih konstrukcija (naznačiti kako se prenosi opterećenje s ploče na vertikalne nosive elemente) s približnim dimenzijama
- sustav dvostrešne krovne konstrukcije (malen nagib krova, tavan se ne koristi)
- sustav temeljne konstrukcije s približnim dimenzijama ako je $\sigma_{dop,lla} = 250 \text{ kN/m}^2$
- kratak opis prijenosa vertikalnih i horizontalnih opterećenja od mjesta nastajanja do temelja.
- *Primjedba 1:* Za visine (debljine) stropnih elemenata uzeti u obzir granične odnose l/d za grede i ploče u zgradarstvu, za koje nije potreban računski dokaz progiba prema EC2 („Nosive konstrukcije I”).

Statički sustav	Veliki naponi betona (grede)	Mali naponi betona (ploče)
Slobodno oslonjena greda; slobodno oslonjena obična ili križna ploča	18	25
Krajnje polje kontinuirane grede ili obične ploče; krajnje polje križne ploče s kontinuitetom duž veće štranice	23	32
Srednje polje grede ili obične ili križne ploče	25 -	35

- *Primjedba 2:* Za potrebnu površinu stupova vrijedi približna formula:

$$A_{st,poir} [\text{m}^2] = 10 \cdot A [\text{m}^2] \cdot n.$$

- *Primjedba 3:* Za potrebnu površinu temelja primijeniti formulu:

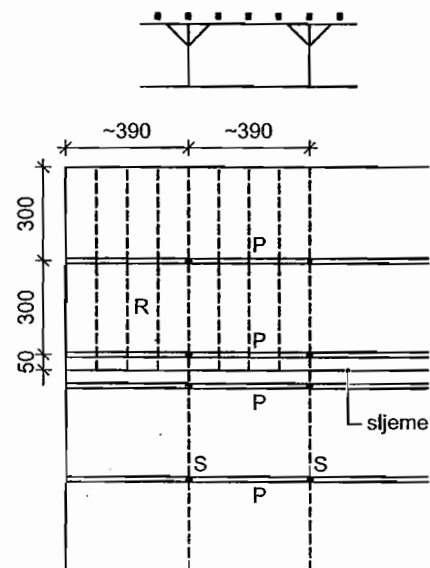
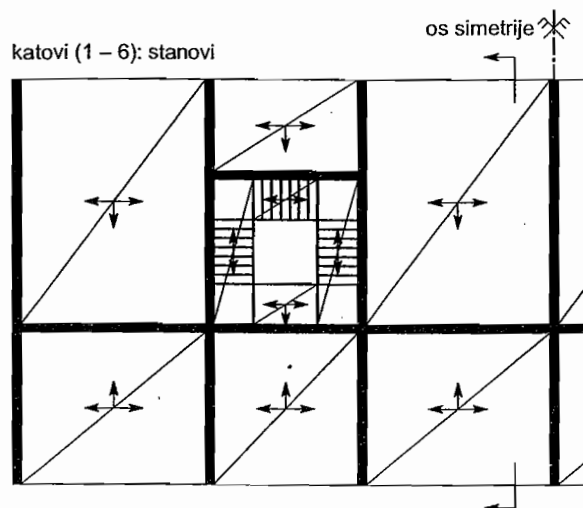
$$A_{tem,poir} [\text{m}^2] = 14 \cdot A [\text{m}^2] \cdot n / \sigma_{dop,lla}$$

gdje je: A = ploština dijela stropa s kojeg se opterećenje prenosi na stup odnosno odgovarajući temelj; n = broj etaža.

■ RJEŠENJE:

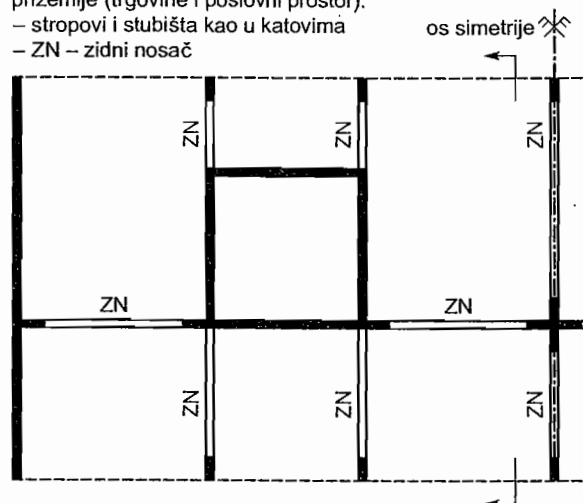
Schema konstrukcije

Tlocrti

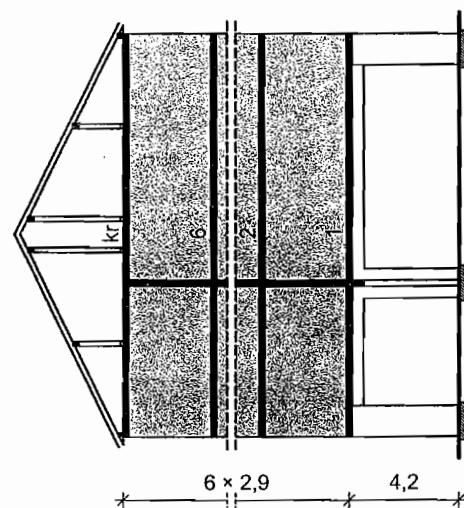


krovište: podroženičko
R – rožnice na oko 1 m razmaka
P – podrožnice s rukama
S – stupci na betonskoj ploči

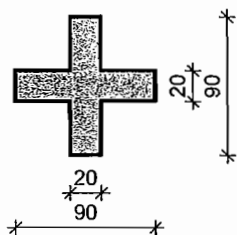
prizemlje (trgovine i poslovni prostor):
– stropovi i stubišta kao u katovima
– ZN – zidni nosač



Poprečni presjek



Srednji stup



$$A = 6,25 \cdot 6,5 = 40,625 \text{ m}^2$$

$$A_{st, potr} = 10 \cdot 40,6 \cdot 7 = 2844 \text{ cm}^2$$

$$A_{st, fakt} = (90 + 70) \cdot 20 = 3200 \text{ cm}^2$$

Odabrani presjek zadovoljava!

Krajnji stup

$$A = 6,25 \cdot 4 = 25 \text{ m}^2$$

$$A_{st} = 10 \cdot 25 \cdot 7 = 1750 \text{ cm}^2$$

Odabran je stup presjeka 30/60 cm.

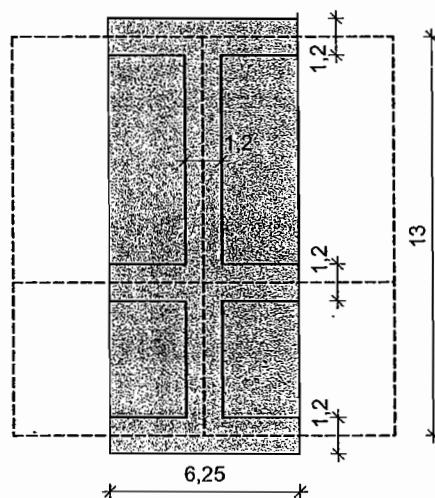
Svi zidovi: debljina $d = 16\text{--}20 \text{ cm}$ – konstruktivno!

Stropna ploča

– dvosmjerna: $d_{\min} = \frac{625}{32} = 19,5 \text{ cm}$.

Odabire se debljina za sve ploče $d = 20 \text{ cm}$.

Temelji



– roštilj traka (srednji dio):

$$A = 13 \cdot 6,25 = 81,25 \text{ m}^2$$

$$A_{potr} = 14 \cdot 81,25 \cdot 7/250 = 31,85 \text{ m}^2$$

$$b_{trake} \geq \frac{31,85}{6,25 \cdot 3 + 13,0} \approx 1,00$$

Odabrana je traka $b = 120 \text{ cm}$.

$$A_{fakt} = 1,20(3,65 + 13,0 + 2 \cdot 1,2) = 35,2 \text{ m}^2 > A_{potr}$$

Dakle, odabrana širina trake zadovoljava.

Prijenos opterećenja

- vertikalne sile: stropne ploče → zidovi (i zidni nosači) → (stupovi) → temelji
- horizontalne sile: stropne ploče kao dijafragme → zidovi za ukrućenje (jezgre i zabati) → temelji.

ZADATAK br. 19

Za poslovnu zgradu približnih tlocrtnih dimenzija 22×22 m, katnosti $4Po + P + 16$, treba dati **mo-
gućnosti rješenja konstrukcije** s komentarom i odgovarajućim skicama:

- raspored i približne dimenzije vertikalnih nosivih elemenata s obzirom na zahtjeve prijenosa vertikalnih i horizontalnih opterećenja: postoji zahtjev za fleksibilnim tlocrtom i staklenim fasadama
- sustav stropnih konstrukcija s približnim dimenzijama: teži se što manjim visinama
- sustav temeljne konstrukcije s približnim dimenzijama pod pretpostavkom da je $\sigma_{dop, tla} = 300$ kN/m².
- **Primjedba 1:** Za potrebnu površinu stupova vrijedi približna formula:

$$A_{st, potr} [cm^2] = 10 \cdot A [m^2] \cdot n,$$

gdje je: A = ploština dijela stropa s kojeg se opterećenje prenosi na stup; n = broj etaža.

- **Primjedba 2:** Za visine (debljine) stropnih elemenata uzeti u obzir granične odnose l/d za grede i ploče u zgradarstvu, za koje nije potreban računski dokaz progiba prema EC2 („Nosive konstrukcije I”).

Statički sustav	Veliki naponi betona (grede)	Mali naponi betona (ploče)
Slobodno oslonjena greda; slobodno oslonjena obična ili križna ploča	18	25
Krajnje polje kontinuirane grede ili obične ploče; krajnje polje križne ploče s kontinuitetom duž veće stranice	23	32
Srednje polje grede ili obične ili križne ploče	25	35
Ploča izravno oslonjena na stupove (veći raspon)	21	30

- **Primjedba 3:** Za potrebnu površinu temelja vrijedi približna formula:

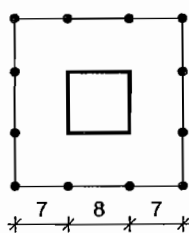
$$A_{tem, potr} [m^2] = 14 \cdot A [m^2] \cdot n / \sigma_{dop, tla},$$

gdje je: A = ploština dijela stropa s kojeg se opterećenje prenosi na odgovarajući temelj; n = broj etaža.

■ RJEŠENJE

Shema konstrukcije

Tlocrt



Vertikalni nosivi elementi

- jezgra za ukrućenje
- zidovi 20 do 30 cm, uvjet duktilnosti $\sigma_{b, vert} \leq 0,2 f_B$
- obodni stupovi $A = 7 \frac{7+8}{2} = 52,5$ m²
 $A_{st, potr} = 10 \cdot 52,5 \cdot 17 = 8925$ cm²
 95/95 cm ili Ø110 cm.

To su prevelike dimenzije, pa se može pribjeći posebnim rješenjima: stup s armaturom $>6\%$, spregnuti stupovi, čelični stupovi.

- obodni zidovi podrumskih etaža: $d_{min} = 30$ cm.

Stropne konstrukcije

- ploča (u uglovnom području točkasto oslonjena):

$$d \cong \frac{700}{30} = 23,3 \text{ cm} \rightarrow \text{odabrano: } d = 24 \text{ cm}$$

- obodna greda:

$$d_{min} = \frac{700}{23} = 30,5 \text{ cm} \quad d_{min} = \frac{800}{25} = 32 \text{ cm.}$$

Odabrana greda presjeka 100/35 cm

Temeljna konstrukcija

- Temeljna ploča ima jednaku shemu kao stropne ploče, a preuzima ukupno opterećenje svih njih (21 ploča!). Ako je mjera otpornosti ploče moment otpora $W^0 = \frac{l \cdot d^2}{6}$, tada bi za temeljnu ploču, koja bi imala otpornost jednaku zbroju otpornosti svih ploča, vrijedilo: $d_{tem, pl}^2 = 21 \cdot d_{st, pl}^2$, iz čega slijedi da je $d_{tem, pl} = \sqrt{21} \cdot d_{st, pl} = 110$ cm.

ZADATAK br. 20

Za diplomatsku zgradu visokog rizika približnih tlocrtnih dimenzija 25×50 m, katnosti P + 6, treba dati **možnosti rješenja konstrukcije** s komentarom i odgovarajućim skicama:

- raspored i približne dimenzije vertikalnih nosivih elemenata s obzirom na zahtjeve prijenosa vertikalnih i horizontalnih opterećenja; postoji zahtjev za fleksibilnim tlocrtom i za zaštitom od eksplozivnog udara izvana (zidovi minimalne debljine 30 cm i stropne ploče minimalne debljine 20 cm)
- sustav stropnih konstrukcija s približnim dimenzijama
- sustav temeljne konstrukcije s približnim dimenzijama pod pretpostavkom da je $\sigma_{\text{dop, tla}} = 300 \text{ kN/m}^2$
- **Primjedba 1:** Za potrebnu površinu stupova vrijedi približna formula:

$$A_{\text{st, potr}} [\text{cm}^2] = 12 \cdot A [\text{m}^2] \cdot n.$$

gdje je: A = ploština dijela stropa s kojeg se opterećenje prenosi na stup; n = broj etaža.

- **Primjedba 2:** Za visine stropnih elemenata uzeti u obzir ove granične odnose l/d za grede i ploče:

- za ploče $l_0/35$, gdje je l_0 razmak nultočaka momenata
- za kontinuirane ploče može se uzeti približno $4/5$ raspona ploče i
- za grede približno $l/15$.

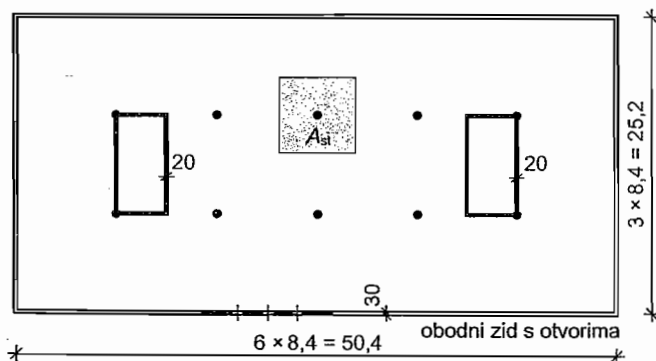
- **Primjedba 3:** Za potrebnu površinu temelja vrijedi približna formula:

$$A_{\text{tem, potr}} [\text{m}^2] = 15 \cdot A [\text{m}^2] \cdot n / \sigma_{\text{dop, tla}},$$

gdje je: A = ploština dijela stropa s kojeg se opterećenje prenosi na odgovarajući temelj; n = broj etaža.

■ RJEŠENJE

Shema konstrukcije – Tlocrt



Zidovi

- obodni zid $d = 30$ cm, s otvorima za prozore
- (event.) unutarnji zidovi oko stubišta i dizala $d = 20$ cm.

Stupovi

$$A_{\text{st}} = 8,4^2 \text{ m}^2; A_{\text{st, potr}} = 12 \cdot 8,4^2 \cdot 7 = 5927 \text{ cm}^2$$

$$a = 77 \approx 80 \text{ cm, odnosno } \varnothing 87 \approx \varnothing 90 \text{ cm}$$

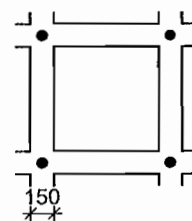
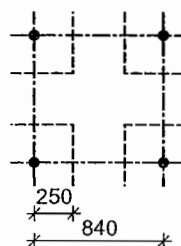
To je prilično velika dimenzija, pa bi se barem u 2–3 donje etaže moglo izvesti spregnute stupove 60/60 ili 65/65 cm s većim postotkom armature, uključivo čelične I-profile.

Stropovi

$$h_{\text{potr}} = \frac{0,8 \cdot 840}{35} = 19,2 \approx 20 \text{ cm} \left(l_0 = \frac{4 \cdot 840}{5} \right).$$

Temelji

- temelji stupova $A_{\text{tem, potr}} = 15 \cdot 8,4^2 \cdot 7 / 300 = 24,7 \text{ m}^2$
 - pojedinačni temelj 5/5 m (donja slika lijevo)
 - debljina – uvjet sigurnosti protiv proboja
- $$d_{\text{min}} \geq \frac{500 - 60}{2 \cdot 4} = 55 \text{ cm} \rightarrow \text{odabrano: } 80 \text{ cm}$$



- alternativno rješenje su trake u oba smjera (na gornjoj slici desno):

$$b_{\text{potr}} \cdot (2 \cdot 8,40 - b_{\text{potr}}) = 24,7 \text{ m}^2$$

$$\text{za } b = 1,70 \text{ m } A = 25,7 > 24,7 \text{ m}^2$$

dakle zadovoljavaju trake širine 1,70 m

- temelji obodnih zidova – traka:

$$b_{\text{potr}} \geq \frac{15 \cdot 4,2 \cdot 7}{300} = 1,47 \text{ m.}$$

Odabire se traka širine 1,50 m.

ZADATAK br. 21

Zadana je prodajno-skladišna zgrada katnosti P + 1 približnih tlocrtnih dimenzija 36×36 m. I u prizemlju i u katu potrebni su slobodni prostori u jednom smjeru oko 12 m, a u drugom smjeru oko 7 m. Katne su visine po 4,5 m. Nema mogućnosti za smještaj zidova za ukrućenje, dakle predviđa se skeletni sustav. Stubište se smješta izvana i nije predmet zadatka. Pokrov je trapezno profilirani lim koji predviđeno opterećenje krova može nositi do raspona od 7,5 m, nagib je krova 2%. Treba dati mogućnosti rješenja **predgotovljene skeletne betonske konstrukcije** s komentarom i odgovarajućim skicama (tlocrti prizemlja i kata – sheme konstrukcije i poprečni presjek):

- raspored i približne dimenzije kvadratnih stupova
- sustav krovne konstrukcije: na raspolaganju su grede T-presjeka ($d \geq l/20$)
- sustav stropne konstrukcije što manje ukupne visine: rebraste TT-ploče ($d \geq l/20$) i grede obrnutog T-presjeka (pravokutne s konzolicama na donjem rubu, $d \geq l/15$)
- sustav temeljnih konstrukcija s približnim dimenzijama pod pretpostavkom da je $\sigma_{dop, tla} = 220 \text{ kN/m}^2$
- kratak opis prijenosa vertikalnih i horizontalnih opterećenja od mjesta nastajanja do temelja.

• *Primjedba 1:* Za potrebnu površinu stupova vrijedi približna formula:

$$A_{st, potr} [\text{cm}^2] = 18 \cdot A [\text{m}^2] \cdot n.$$

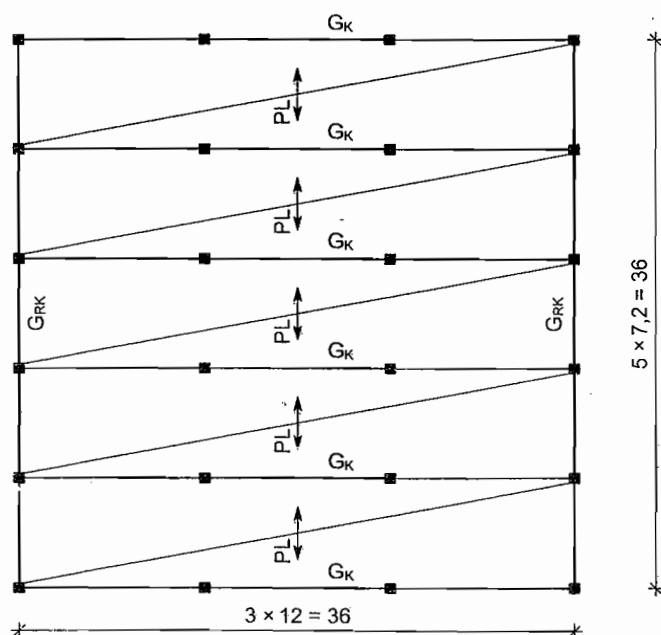
• *Primjedba 2:* Za potrebnu površinu temelja vrijedi približna formula:

$$A_{tem, potr} [\text{m}^2] = 15 \cdot A [\text{m}^2] \cdot n / \sigma_{dop, tla},$$

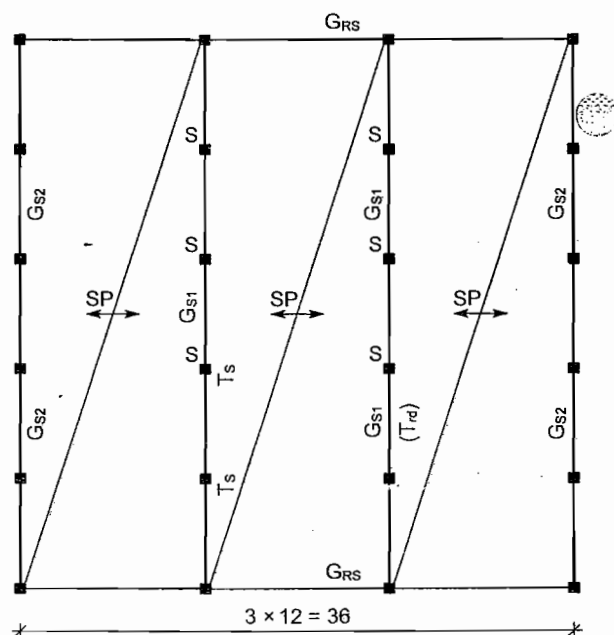
gdje je: A = ploština dijela krova ili stropa (u m^2), s kojeg se opterećenje prenosi na stup odnosno odgovarajući temelj; $n = 2$ (broj etaža).

■ RJEŠENJE

Shema konstrukcije krova



Shema konstrukcije stropa



Stupovi

$$A_{\text{potr}} = 18 \cdot 12 \cdot 7,2 \cdot 2 = 3110,4 \text{ cm}^2$$

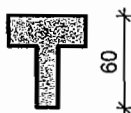
$$a = 55,8 \text{ cm}$$

Odabrani su stupovi presjeka 60/60 cm.

Krovnna konstrukcija

PL – profilirani lim potrebne visine za $l = 7,2 \text{ m}$

G_k – T-greda $d \geq 1200/20 = 60 \text{ cm}$



G_{rk} – rubna greda: konstruktivne dimenzije
(za opterećenje od fasadnih elemenata)

Temelji

T_s – srednji temelj stupa

$$A_{\text{potr}} = 15 \cdot 12 \cdot 7,2 \cdot 2/220 = 11,78 \text{ m}^2$$

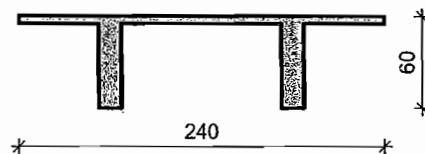
$$a = 3,43 \text{ m}$$

pojedinačni 350/350 cm

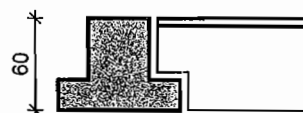
Alternativno je rješenje traka T_{tr} u \uparrow smjeru:

$$b_{\text{trake}} = 11 \cdot 78/7,2 = 1,64 \sim 1,70 \text{ m}$$

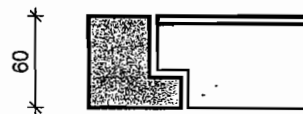
Stropna konstrukcija



SP



G_{s1}



G_{s2}

SP – stropne π -ploče:

$$d_{\text{potr}} = 1200/20 = 60 \text{ cm}$$

G_{s1} – srednje grede

G_{s2} – rubne grede

$$d_{\text{potr}} = 720/15 = 48 \text{ cm}$$

Odabrana je visina 60 cm.

G_{rs} – nenosiva rubna greda

– dimenzije konstruktivne (za opterećenje od fasadnih elemenata).

SUMMARY

This book is written as a textbook for students at the Faculty of Architecture, University of Zagreb. However, it can also be used by practicing architects as a manual in their everyday design practice. For the students in the course Structural Systems in Buildings II (until school year 2006/2007) it can be used for preparation of examination. For the students of reformed study according to the Bologna Declaration it can be used to work out the projects of the course Structural Systems in Buildings IV and for the Technical Studio. For all of them the book will be useful for design of structures connected with projects in the studios Architectural Design.

The general aims of the book are:

- Introduction to structural systems of entire buildings including precast concrete structures;
- Introduction to maintenance of buildings including assessment, repair and strengthening;
- Mastering the design of structures for different sorts of buildings in accordance with specific demands.

After the main text, which corresponds to the lectures, a selection of solved problems is added.

Although architects usually do not engage in calculation of structures, the author's view is that they should be able to design structures of ordinary buildings with a moderate number of floors – on the level of conceptual design. In that, the design of the structure as a subsystem should be understood as a part of an integral process of the design of a building.

According to the general aims, the book is divided into two parts:

- A. Structural systems of buildings;
- B. Maintenance of structures including assessment, repair and strengthening; as well as an Annex: Collection of solved problems.

The first part comprises seven chapters:

- Precast concrete structures;
- The structure of a simple hall – the elements of load transfer (vertical and horizontal);
- Floor structures;
- Systems of vertical structural members;
- Staircases;
- Foundations;
- Roof structures.

The second part consists of only one chapter – Maintenance and strengthening of structures: definitions of basic terms and strategies of maintenance; causes of decay of structures and importance of durability; assessment methods; methods of repair and strengthening of structures.

The Author

Zagreb, January 2007

LITERATURA

1. GRUBE, H.; KERN, E.; QUITMANN, H.-D.: *Instandhaltung von Betonbauwerken*, Beton-Kalender, Teil II, W. Ernst & Sohn, Berlin, 1990.
2. KÖNIG, G.: *Hochhäuser aus Stahlbeton*, Beton-Kalender, Teil II, W. Ernst & Sohn, Berlin, 1975.
3. KÖNIG, G.; LIPHARDT, S.: *Hochhäuser aus Stahlbeton*, Beton-Kalender, Teil II, W. Ernst & Sohn, Berlin, 1990.
4. KRAUSS/WILLEMS: *Grundlagen der Tragwerklehre 2*, Rudolf Müller, Köln, 1995.
5. LEWICKI, B.; KARWŌWSKI, A.; PAWLIKOWSKI, J.: *Wohngebäude aus Beton und Stahlbeton*, Werner-Verlag, Düsseldorf, 1971.
6. NONVEILLER, E.: *Mehanika tla*, Tehnička enciklopedija, VIII, JLZ, Zagreb, 1982.
7. NONVEILLER, E.: *Temeljenje*, Tehnička enciklopedija, XII, JLZ, Zagreb, 1992.
8. PODHORSKY, I.: *Betonske konstrukcije*, Predavanja za studente III. godine Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 1994.
9. PODHORSKY, I.; ILIČKOVIĆ, V.; NEIDHARDT, V.: *Nova zgrada Nacionalne i sveučilišne knjižnice*, „Građevinar“, 47, 10, 601-612, Zagreb, 1995.
10. RADAS, A.; PODHORSKY, I.; UKRAINCZYK, V.: *Projekt poslovnih prostorija od kontejnera*, Coca Cola, Zagreb, 1993.
11. ROSMAN, R.: *Slobodno podestno stubište*, „Naše građevinstvo“, 35, 5, Beograd, 1981.
12. ROSMAN, R.: *Sistemi zidova za ukrućenje zgrada*, Građevinski kalendar, SGI-TJ, Beograd, 1981.
13. ROSMAN, R.: *Pločasta stubišta*, „Izgradnja“, 8, Beograd, 1982.
14. ROSMAN, R.: *Prilog dizajnu dvokrakoga slobodnog podestnog stubišta*, „Građevinar“, 37, 8, Zagreb, 1985.
15. ROSMAN, R.: *Projektiranje, konstrukcijsko*, Tehnička enciklopedija, XI, JLZ, Zagreb, 1988.
16. ROSMAN, R.: *Stropne konstrukcije*, Društvo građevinskih konstruktora Hrvatske, Zagreb, 1990.
17. TARDOZZI, D.; PODHORSKY, I.: *Projekt stambeno-poslovnog kompleksa Folnegovićevo naselje sjeverozapad*, IGH, Zagreb, 1994.
18. UKRAINCZYK, V.: *Poznavanje materijala*, „Građevinar“, Zagreb, 1991.
19. UKRAINCZYK, V.; STANUGA, G.; PODHORSKY, I.: *Projekt montažnog fasadnog panoi od lakog (MEPS) betona*, Zagreb, 1994.
20. WALTHER, R.; TRELEANI, J.: *Construire en béton – Synthèse pour architectes*, Presses polytechniques et universitaires Romandes, Lausanne, 1993.
21. *** *Holzbau-Taschenbuch*, (Halasz, R. v.; Scheer, C.), W. Ernst & Sohn, Berlin, 1974.
22. *** *Repair of Concrete Structures*, (ur.: Allen, R.T.L.; Edwards, S.C.), Blackie, Glasgow/London, 1987.
23. *** *Durable Concrete Structures*, CEB Bulletin d'Information N° 183, Thomas Telford, London, 1992.
24. *** *Materijali za sanacije armiranobetonskih konstrukcija*, „Herbos“ d.d., Sisak, 1993.
25. *** *Prospekti tvrtke Flohr & Söhne Cadolto GmbH*, Bau 97, München, 1997.

BILJEŠKA O AUTORU



Prof. dr. sc. **Ivo Podhorsky** rođen je 1939. u Zagrebu. Diplomirao je 1963. godine na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Na istom je fakultetu magistrirao 1982. godine, a doktorat tehničkih znanosti stekao je 1988. godine obranivši disertaciju »Protupotresna izolacija građevina elastomernim i elastomerno-teflonskim ležajevima«.

Više od deset godina radio je na projektiranju i proračunu konstrukcija, a ostalih tridesetak godina bavio se projektiranjem paralelno s nastavnim i znanstvenim djelatnostima. Izradio je konstruktorske projekte pedesetak značajnih stambenih, poslovnih, industrijskih i javnih zgrada. Tijekom rada u Institutu građevinarstva Hrvatske (IGH) izradio je brojne ekspertize – izvještaje o istražnim radovima s ocjenom stanja konstrukcije i prijedlogom daljnjih mjera, kao i brojne projekte sanacije (popravaka) konstrukcija.

Od 1981., kada je imenovan predavačem, do 1987. godine predaje *Betonske konstrukcije* na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, smjer Organizacija građenja, od toga dvije godine i na odgovarajućem studiju u Osijeku.

Godine 1993. imenovan je izvanrednim profesorom, a 2002. godine i redovitim profesorom. Od 1993. do 2003. godine predaje *Betonske konstrukcije* na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci, a od 2001. na istom fakultetu i *Predgotovljene betonske konstrukcije* na poslijediplomskom znanstvenom studiju građevinarstva. Od 1996. godine predaje na Arhitektonskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu predmete *Nosive konstrukcije I* i *Nosive konstrukcije II*.

Od 1993. godine ovlašten je revident za kontrolu betonskih i zidanih konstrukcija. U tom svojstvu izvršio je kontrole tridesetak konstrukcija velikih i značajnih građevina.

Godine 2003. objavljen mu je sveučilišni udžbenik »Nosive konstrukcije«, a uskoro se očekuje izlazak drugoga, promijenjenog izdanja.

Objavio je 14 članaka u domaćim i stranim časopisima, te 25 radova na domaćim i stranim znanstvenim skupovima. Od 1983. do 1990. godine bio je pridruženi član Stalne komisije VII. (Armatura: Tehnologija i kontrola kvalitete) CEB-a (Comité Euro-International du Béton) i na taj je način sudjelovao u izradi Predložka propisa (Model Code) 1990.

Član je Odbora Zagrebačke nadbiskupije za obnovu katedrale od 1990. godine, od 1992. do 1995. godine bio je član Upravnog odbora Hrvatskoga društva za normizaciju. Od 1993. do 2005. godine član je Tehničkog odbora za kontrolu projekata pri Ministarstvu zaštite okoliša i prostornog uređenja Republike Hrvatske (od 1993. do 1998. i predsjednik). Sudjeluje u radu Državnoga zavoda za norme u Tehničkom odboru za konstrukcijske eurokodove.

