УНИВЕРЗИТЕТ СВ. „КИРИЛ И МЕТОДИЈ“ ВО СКОПЈЕ

АРХИТЕКТОНСКИ КОНСТРУКЦИИ

ОСНОВНИ КОНСТРУКТИВНИ СИСТЕМИ

ВОН. ПРОФ. Д-Р АЛЕКСАНДАР ПЕТРОВСКИ

СКОПЈЕ, 2026

АРХИТЕКТОНСКИ КОНСТРУКЦИИ

ОСНОВНИ КОНСТРУКТИВНИ СИСТЕМИ

АВТОР

ВОН. ПРОФ. Д-Р АЛЕКСАНДАР ПЕТРОВСКИ

СКОПЈЕ, 2026

Издавач:
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ во Скопје
Бул. „Гоце Делчев“ бр. 9, 1000 Скопје
www.ukim.edu.mk

Уредник за издавачка дејност на УКИМ:
проф. д-р Биљана Ангелова, ректор

Уредник на публикацијата:
вон. проф.д-р Александар Петровски

Рецензенти:
проф.д-р Огнен Марина и проф. д-р Ана Тромбева-Гаврилоска

Техничка обработка:
вон. проф. д-р Александар Петровски

Лектура на македонски јазик:
Весна Ѓоршоска-Петровска

Илустратор:
вон. проф.д-р Александар Петровски

CIP - Каталогизација во публикација
Национална и универзитетска библиотека "Св. Климент Охридски", Скопје

721.012.1:624.01(075.8)
721.012.1:69(075.8)

ПЕТРОВСКИ, Александар
Архитектонски конструкции [Електронски извор] : основни конструктивни системи / автор Александар Петровски ; [илустратор Александар Петровски]. - Скопје : Универзитет "Св. Кирил и Методиј", 2026

Начин на пристапување (URL): https://ukim.edu.mk/e-book/00153. - Текст во PDF формат, содржи 127 стр., илустр. - Наслов преземен од екранот. - Опис на изворот на ден 27.01.2026. - Фусноти кон текстот. - Библиографија: стр. -127

ISBN 978-9989-43-547-8

а) Архитектонски конструкции -- Проектирање -- Градежни објекти -- Вискошколски учебници

COBISS.MK-ID 67978757

Содржина

Список на слики v

Предговор x

1 Структура и архитектонски конструкции 1

2 Конструктивни елементи и системи 9

2.1 Видови товари кај објектите 11

2.2 Конструктивни елементи 13

2.3 Конструктивен систем 17

2.4 Модуларност на конструктивниот систем и графичко прикажување 19

2.5 Просторна поделба на објектите 22

3 Масивен конструктивен систем 24

3.1 Принципи при проектирање на масивен конструктивен систем: 29

3.1.1 Распони и димензионирање 29

3.1.2 Ред во масивниот систем – конструктивна мрежа 31

3.2 Недостатоци на масивниот систем 34

3.2.1 Стабилност на системот 34

3.2.2 Отвори во носечки ѕидови 35

3.3 Материјали и изведба на носечки ѕидови 37

3.3.1 Ѕидани носечки ѕидови 38

3.3.2 Носечки ѕидови од тула 39

3.3.3 Ѕидови со либажи 44

3.3.4 Армирани ѕидани ѕидови 44

3.3.5 Носечки ѕидови од бетонски блокови 45

3.3.6 Ѕидови од армиран бетон 45

3.3.7 Изведба на армиранобетонскиот масивен конструктивен систем 46

4 Скелетен конструктивен систем 50

4.1 Рамковни системи 52

4.2 Скелетен систем 54

4.2.1 Столбови 55

4.2.1 Греди 56

4.3 Принципи на проектирање скелетен конструктивен систем 57

4.3.1 Распони и димензионирање 57

4.3.2 Ред во скелетниот систем 59

4.4 Материјали и начини на изведба на скелетниот конструктивен систем 63

4.4.1 Армиранобетонски скелетен конструктивен систем 65
4.4.2 Скелетен систем од челик 72
4.4.1 Хибриден скелетен систем 78
4.4.2 Скелетен систем од дрво 79
5 Мешовит конструктивен систем 82
6 Меѓукатна конструкција 88
6.1 Армиранобетонски плочи за конвенционални распони 89
6.2 Отвори во меѓукатна плоча 92
6.3 Конзоли 93
7 Дилатација на носечката конструкција 96
Прилог - Материјали за изведба на носечки конструктивни системи 99
Библиографија 103

Список на слики

Слика 1.1 Пантеонот во Рим 4

Слика 1.2 Противпожарна станица Витра 8

Слика 2.1 Елементи во објектите 10

Слика 2.2 Приказ на различни конструктивни елементи 10

Слика 2.3 Видови товари 12

Слика 2.4 Основни напрегања во конструктивните елементи 15

Слика 2.5 Основни напрегања во конструктивните елементи 16

Слика 2.6 Конструктивен систем и основни напрегања 17

Слика 2.7 Графичко прикажување елементи 20

Слика 2.8 Примена на конструктивен модул 20

Слика 2.9 Означување елементи во масивен систем 21

Слика 2.10 Високи објекти 23

Слика 3.1 Формирање масивен систем 24

Слика 3.2 Типови масивен конструктивен систем 25

Слика 3.3 Аксонометриски приказ на масивни системи 26

Слика 3.4 Пренесување на товарите кај масивен систем 27

Слика 3.5 Шематски приказ на мешовит носив систем 28

Слика 3.6 Конструктивни оски и конструктивен модул 29

Слика 3.7 Потпирање на меѓукатната конструкција кај армиранобетонски масивен систем 30

Слика 3.8 Потпирање на меѓукатната конструкција кај масивен систем од камени блокови 30

Слика 3.9 Масивен систем кај станбен објект во Мексико 31

Слика 3.10 Повеќекатни објекти од подолжен и мешовит масивен систем 31

Слика 3.11 Ортогонален и неортогонален систем 32

Слика 3.12 Масивен систем во криволиниска мрежа и комбинација со ортогонална мрежа 33

Слика 3.13 Интернационален музеј на барокот 33

Слика 3.14 Вкрутување на носив ѕид нормално на неговата површина 34

Слика 3.15 Вкрутување на масивен систем 35

Слика 3.16 Можни начини за вкрутување на масивен систем 35

Слика 3.17 Отвори во носечки ѕидови 36

Слика 3.18 Отвори во носечки ѕидови 37

Слика 3.19 Премостување отвор кај ѕидан ѕид 37

Слика 3.20 Носиви ѕидови од камен 38

Слика 3.21 Носиви ѕидови од тула во Св. Пантелејмон 40

Слика 3.22 Типови тули 40

Слика 3.23 Пренесување на товарите низ ѕидот 41

Слика 3.24 Типови ѕидарски врски 41

Слика 3.25 Ѕидање носиви ѕидови од тула 42

Слика 3.26 Пример за намалување на пресекот на ѕидовите по вертикала 43

Слика 3.27 Хоризонтални и вертикални либажи 44

Слика 3.28 Носечки ѕидови од „натур" бетон 46

Слика 3.29 Префабрикувани АБ-ѕидни панели 47

Слика 3.30 Полумонтажни ѕидови од префабрикувани бетонски блокови 47

Слика 3.31 Изведба на префабрикувани носечки АБ-ѕидови 48

Слика 3.32 Изведба на АБ-носечки ѕидови со лизгачка оплата 48

Слика 3.33 Изведба на АБ-носечки ѕидови со тунелска оплата 49

Слика 4.1 Скелетен систем на египетски храм во Луксор 50

Слика 4.2 Категралата Саграда фамилија 51

Слика 4.3 Основни носечки елементи на скелетен систем 52

Слика 4.4 Форми на рамковен систем 53

Слика 4.5 Рамковен систем 53

Слика 4.6 Рамковен систем кај индустриски објект 54
Слика 4.7 Столбови и греди кај скелетен систем 55
Слика 4.8 Столбови и греди кај скелетни системи 56
Слика 4.9 Еднонасочно потпрена плоча 57
Слика 4.10 Крстасто-армирана плоча 58
Слика 4.11 Вертикален континутет на конструктивната мрежа 58
Слика 4.12 Пример за промена на димензиите на столбовите и гредите 59
Слика 4.13 Ритам на конструктивната мрежа 60
Слика 4.14 Криволиниска мрежа, КОАФ „паметен" центар 61
Слика 4.15 Слободна мрежа на столбови во Институтот Кангава 62
Слика 4.16 Павилјонот Ванке 62
Слика 4.17 Материјали за изведба на скелетен конструктивен систем 63
Слика 4.18 Изведба на скелетен конструктивен систем со лиење во оплата 64
Слика 4.19 Скелетен систем во Вила Савоја 65
Слика 4.20 Можни форми на армиранобетонските столбови 66
Слика 4.21 Продолжување на арматура во АБ-столбови 66
Слика 4.22 Седиштето на Унеско 67
Слика 4.23 Амбасадата на Италија во Бразилија 67
Слика 4.24 Основно училиште во Португалија 68
Слика 4.25 Зграда на IBM 68
Слика 4.26 Сложено обликување на столбовите во Саграда фамилија 69
Слика 4.27 Нермирана и армирана бетонска греда 69
Слика 4.28 Височина и широчина на греда 70
Слика 4.29 Поставување арматура во греда 71
Слика 4.30 Постнапрегната/преднапрегната греда 71
Слика 4.31 Видови вути 72
Слика 4.32 Капители кај столбови во Собранието во Чандигар 72
Слика 4.33 Зградата Сиграм 73

Слика 4.34 Скелетен систем изведен од челик 74
Слика 4.35 Спрегови кај челичен скелетен систем 74
Слика 4.36 Видови челични профили 75
Слика 4.37 Видови челични профили 76
Слика 4.38 Композитни столбови од челични профили и бетон 76
Слика 4.39 Напречни пресеци на челични греди 77
Слика 4.40 Методи за огноотпорна заштита на челик 78
Слика 4.41 Армиранобетонски и челичен конструктивен систем 79
Слика 4.42 Зграда Т3 во Минеаполис 80
Слика 4.43 Највисоката зграда од дрво во Европа 81
Слика 4.44 Највисока зграда изградена од дрво 81
Слика 5.1 Влијание на системот и формата врз крутоста и стабилноста на објектот 82
Слика 5.2 Стабилност на објектот 83
Слика 5.3 Мешовит конструктивен систем 83
Слика 5.4 Вкрутување на скелетниот систем со платна 84
Слика 5.5 Вкрутување на скелетниот систем со платна 85
Слика 5.6 Мешовит систем 85
Слика 5.7 Стабилност на објектот 86
Слика 5.8 Конструктивни системи за високи згради 87
Слика 6.1 Основни слоеви на меѓукатната конструкција 88
Слика 6.2 Правец на потпирање на меѓукатната плоча 89
Слика 6.3 Проста и континуирана плоча 90
Слика 6.4 Пресек низ армиранобетонска плоча 91
Слика 6.5 Оплатирање и армирање на греди столбови и плоча 91
Слика 6.6 Формирање отвор околу скали 92
Слика 6.7 Поставување „греда на греда" за формирање отвор во меѓукатна плоча 93
Слика 6.8 Шематски приказ на плочи и плочи со испуст-конзоли 93
Слика 6.9 Приказ на конзолни плочи 94

Слика 6.10 Конзолни плочи кај станбена зграда во Милано 95
Слика 7.1 Причини за дилатирање на конструктивниот систем 97
Слика 7.2 Дилатација на конструктивниот систем 98
Слика 7.3 Дилатација на конструктивниот систем 98
Слика 10.1 Глатка арматура 101
Слика 10.2 Ребреста арматура 101
Слика 10.3 Арматурна мрежа 102

Предговор

Почитувани,

Учебникот кој го имате пред себе Ви е наменет Вам, студентите на Архитектонскиот факултет при УКИМ. Тој е комплементарен со препорачаната литература и е дел од наставата по предметот Архитектонски конструкции 1.

Елаборирани се основните конструктивни системи од кои се формираат објектите и материјата која е изложена претставува основа за вашето понатамошно самостојно и конзистентно индивидуално проучување. Книгата има за цел да ви помогне во осознавањето на основните архитектонски конструктивни системи, принципите за нивното решавање, како и нивната апликација и интеграција при архитектонското проектирање и изработката на архитектонските проекти.

Разработените теми, како и изложените цртежи и илустрации од нашата и светската практика ќе Ви овозможат разбирливо и ефикасно учење и ќе дадат придонес во Вашата стручна едукација за оваа значајна област од архитектурата, а пред сè во Вашиот професионален раст како идни архитекти.

Скопје, 2026 Со почит,

вон. проф. д-р Александар Петровски

1 Структура и архитектонски конструкции

„Архитектурата започнува со внимателно поставување две тули заедно.“

Лудвид Мис Ван Дер Рое

При учењето архитектура се среќаваме и ги употребуваме термините: **структура, систем, конструкции, архитектура** и нив во продолжение накусо ќе ги опишеме.

Структура

Сите физички објекти имаат структура.

За да се разберат објектите, како се проектирани и изградени, потребно е да се разбере нивната структура. Уште повеќе, за да може архитектите да проектираат објекти со архитектонска вредност, имајќи ја на ум сета сложеност на објектот и проектните барања, нужно е да се владее знаењето за структурите, односно конструкциите кои ги формираат објектите.

Според толковникот *Меријам-Вебстер*[1], структура е:

1. чинот на градење: конструирање,
2. нешто што е конструирано, како што се објектите,
3. нешто што е распоредено во конечна шема на организација,
4. воспоставување поединечни елементи во одредено тело итн.

Според толковникот *Кембриџ*[2]

„структура е начинот на кој елементите од системот или објектот се распоредени или организирани или пак системот кој е организиран на овој начин."

Слично на претходните дефиниции, кај архитектонските објекти под структура се подразбира **нешто што е проектирано и изградено од различни елементи или делови, но исто така се подразбираат и правилата (ред, поредок) за организирање на архитектонските (градежни) елементи и простори на објектот.**

[1] https://www.merriam-webster.com/dictionary
[2] https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english

Систем

Според толковникот *Меријам-Вебстер*, под систем се подразбира:

1. Група од предмети/објекти кои се меѓусебно поврзани или меѓузависни, притоа формирајќи единствена целина. Неколку примери кои може да го илустрираат овој термин се:
    a. група тела кои се заемно поврзани под влијание на одредени сили (пр. гравитационен систем);
    b. збир од елементи кои тежат кон рамнотежа (пр. термодинамички систем);
    c. група човечки органи кои заедно извршуваат една или повеќе витални функции итн.

Понатаму, според толковникот *Кембриџ*:

"*систем е збир од поврзани нешта или уреди кои функционираат заедно; пр. збир од органи или структури на телото кои имаат специфична цел и слични аналогни толкувања за потребите на поединечни професии*."

При проектирањето на објектите, задача на архитектите е да ја проектираат структурата, различните просторни и програмски целини на објектот, како и да го проектираат конструктивниот систем, а сите тие заедно треба да ја формираат единствената и логична целина на објектот.

Оттука, поврзувањето на поединечни елементи од објектот според одредени правила овозможува формирање различни системи во објектите, како**: носечки конструктивен систем, фасаден систем, кровен систем итн.**

Иако понудените толкувања не се осврнуваат директно на прашањето на архитектурата и нејзините составни елементи, лесно можеме да донесеме заклучок дека:

архитектонскиот објект може да биде разгледуван како архитектонски систем кој е сочинет од различни видови системи, потсистеми и елементи, а има за цел да ги исполни барањата поради кои тој е проектиран.

Архитектура

Именката архитектура содржи богата лингвистичка историја, која укажува како старите градители го разбирале чинот на градење и создавање објекти. Имено, во етимолошка смисла, зборот архитектура, е составен од два збора и тоа, *архи (arhi)*, кој означува главен и *тектон (tekton)*, што значи создавач (градител).

Така, во историска смисла, со компонентата *архи* се укажува на некој што го замислувал, организирал и насочувал процесот на градење, воедно нагласувајќи ја неговата одговорност во таквите процеси. Втората компонента, *тектон*, посочува дека

се работи за вешт мајстор со знаење за изградба на објектите, нагласувајќи ја тактилната, односно материјалната реалност на професијата и директното учество на главниот градител во нивната изведба.

Дополнително, зборот *техне (techne* или *techni)*, иако не е експлицитно содржан во архитектурата, длабоко е поврзан со *тектон,* а означува вештина, занает или уметност на грчки јазик. Под *техне*, се подразбира и креативноста, која ја збогатуваат способноста и знаењето на главниот градител, кои, пак, му овозможуваат да создаде објект кој е убав и корисен. За Аристотел[3], *техне* означува една од доблестите на интелектот кои се еднакво важни како и доблестите на карактерот. Доблестите се исклучителен квалитет што луѓето го поседуваат, додека *техне* се вештините и прикажувањето исклучителна способност на луѓето да создаваат дела.

Така, *техне* означува и рационална примена на вештините со цел поврзување на интелектуалните и практичните способности. Во архитектурата, *техне* се манифестира преку спојување на корисното и убавото, каде што објектите треба да ги задоволат потребите на корисниците, а воедно потребно е и да инспирираат со својата убавина.

Оттука, етимолошкото потекло укажува на *архи,* кој замислува и насочува, *тектон* е оној што гради, а *текне* ги поврзува заедно, додавајќи му на градителскиот процес креативност и цел. Аналогно, архитектите во денешна смисла ги преземаат сите одговорности што ги носи оваа етимолошка историја, подразбирајќи дека тие треба да имаат способности и знаења за раководење (*архи),* инженерство и градителство (*тектон),* како и уметнички квалитети (*текне).*

Слично и зборот тектоника означува уметност на градење и притоа не е само:

„активност која значи материјално создавање одредена конструкција за да се задоволат одредени потреби, туку е активност која со таквата изградба создава уметничко дело."

Така, во самата нејзина природа, **архитектурата претставува наука и уметност за проектирање и градење на објектите.**

Архитектонски конструкции

Архитектонските конструкции се сите оние физички елементи од кои е изграден еден објект. **Областа на архитектонските конструкции го прочува физичкото создавање на просторот, односно таа е наука и уметност за конструирање на просторот од архитектонски елементи и материјали, со цел создавање архитектонски простор, односно објект со архитектонски квалитети,** слика 1.1.

Како што прочитавме претходно, доколку под поимот структура се подразбираат **правилата за организирање** на архитектонски (градежни) елементи и простори на

[3] Aristoteles, *The Nicomachean Ethics*, ed. Hugh Tredennick, Further revised edition, Penguin Classics (London: Penguin Books, 2004).

објектот, тогаш може да се каже дека конструкцијата е физичка манифестација на тие правила. Но, според другото значење кое го прочитавме, под поимот структура подразбираме и архитектонски (градежни) елементи, поради што поимите **структура и конструкција се употребуваат како синоними за физичката манифестација на тие елементи**.

Слика 1.1 Пантеонот во Рим[4]

Проектирањето на конструкцијата на објектите се одвива паралелно со проектирањето на просторите на објектот и вградување на намените и содржините во самиот објект. Притоа, во мисловниот процес на архитектот нужно е сите процеси на проектирање да бидат нераздвојни еден од друг. Односно, додека се проектира просторот потребно е да се проектира и конструкцијата на објектот и обратно. Затоа што интеграцијата на содржината и конструкцијата во поставената структура на објектот, се појдовни, но не и единствени, детерминанти кои одредуваат колку објектот ќе претставува успешно архитектонско дело.

Впрочем, една од основните динамики во проектирањето на објектите е токму дијалектичната поврзаност на конструкцијата и просторот на објектот, односно отелотворувањето на содржината на објектот (програмата) во физичка форма. Интеграцијата на содржината, конструкцијата и формата го создава единството во објектот и неговата целост. Интеракцијата на содржината, конструкцијата и формата е во постојана динамичка дијалектика, наметнувајќи сложени интелектуални мисловни процеси кај архитектите за нивно успешно решавање.

[4] Авторска фотографија.

Во историјата на архитектурата, дијалектиката меѓу содржината и формата на објектите зазема посебно место на истражување. Така, во одредени периоди од развојот на човековата цивилизација, култура и технолошки развој, интеграцијата на содржината и формата различно била интерпретирана од страна на архитектите. Така, архитектонскиот правец функционализам се води по принципот дека *„формата ја следи функцијата (содржината)"*. Односно, тие се водат по максимата дека *„рационално проектиран објект не значи дека е убав, но ниеден објект не може да биде убав доколку нема рационално проектирана структура"*[5]. Спротивно на тоа, постои правец наречен формализам, кој предност ѝ дава на формата на објектот, ризикувајќи притоа да не бидат задоволени проектните барања во објектот и функциите кои во него треба да бидат вградени. Без оглед на архитектонскиот правец и мисла, архитектонското проектирање подразбира создавање простор преку употреба на архитектонски елементи и конструкции.

Крајната цел на спојувањето на архитектонските елементи е создавањето архитектонски објект, кој притоа не е само едноставен збир од различни материјали, системи и конструкции, туку целта е создавањето објект и простор со архитектонски вредности. Оттука, за да поседува објектот архитектонски вредности, потребно е повеќе од едноставно познавање на елементите и начинот на нивното спојување, а зависи од севкупното знаење, умеење, но и од дарбата и сензибилитетот на архитектот.

При изучувањето на архитектонските конструкции во оваа книга ќе применуваме индуктивен и дедуктивен пристап. Со индуктивниот пристап ќе ги изучуваме поединечните конструктивни елементи за да го осознаеме начинот на кој нив ќе ги поврзуваме во конструктивен систем. Преку дедуктивниот пристап ќе ја согледуваме целоста на конструкцијата, која ќе ја разложиме на нејзините составни елементи. Воедно, како што индуктивниот и дедуктивниот пристап се применливи во процесот на учење, така тие се присутни и во процесот на архитектонското проектирање, односно поаѓајќи од поединечните елементи, се формира конструктивен систем и обратно, поаѓајќи од системот, се анализираат и проектираат неговите составни елементи.

Карактеристики на просторот

Кус осврт е направен и на карактеристиките на архитектонскиот простор којшто е формиран од архитектонските конструкции. Тие карактеристики произлегуваат од специфичниот просторен распоред на објектот во однос на неговото опкружување, распоредот и просторната логика на архитектонските елементи, како и од карактеристиките на различните материјали од кои може да бидат изведени архитектонските објекти, а кои имаат свои специфични својства, како: боја, текстура итн.

[5] Максима на архитектот Луис Саливен која се базира на архитектонската теорија на Виолет Ле Дук.

Витрувие уште во 15 г. пр.н.е ни ги посочува следните три основни карактеристики на архитектурата, како:

- → трајност (durabilitas),
- → функционалност (utilitas) и
- → убавина (venustas).

Надоврзувајќи се на дефинирањето на карактеристиките на просторот Витрувие вели:

„Објектот влијае врз атмосферата во него и му задава специфичен карактер... и заедно со осветлувањето, материјалите, површините, текстурите и боите се создава ефектот на просторот."

Теоретичарот Рудолф Арнхајм, во книгата „Динамика на архитектонскиот простор"[6] го дефинира просторот како:

- → зададеност која им претходи на предметите кои ги содржи - рамка во која секое нешто го зазема своето место - бесконечен простор,
- → физички се одредува со простирање на материјалните тела кои меѓусебно се граничат (мерливи категории - растојание, премин на количина светлина, сили на гравитација) - одвоен од нив не може да се каже дека просторот физички постои.

Во таа насока, Арнхајм воочува дека доживувањето на просторот настанува ако се присутни нешта кои се видливи во него. Притоа, тој дефинира дека просторот има свои атрибути (карактеристики), при што:

- → просторот е создаден од одредена констелација од природни и вештачки (градежни) елементи и нивен сооднос,
- → секој архитектонски објект воспоставува сопствена просторна рамка,
- → просторот создава физички и психолошки искуства и различни визуелни доживувања произлезени од соодносите меѓу предметите,
- → просторот помеѓу елементите не е празен.

Понатаму, Цонис и Лефевр[7], се надоврзуваат на тријадата на Витрувие и ги истражуваат трите основни принципи на класичното проектирање на објектите, како што се:

- → матрица (taxis) – односно ред во и на просторот,
- → елементи (genera) и

[6] Rudolf Arnheim, *The Dynamics of Architectural Form, 30th Anniversary Edition*, First edition (Berkeley: University of California Press, 2009).
[7] Alexander Tzonis and Liane Lefaivre, *Classical Architecture: The Poetics of Order* (Cambridge, Mass: MIT Press, 1986).

→ симетрија - поредок меѓу елементите и матрицата што ги поврзува во логички целини (логика на формирање на системи, просторни склопови итн.).

Матрица се однесува на систематската композиција и ред на елементите во објектот. Таа претставува принцип со кој се одредува поставувањето и организирањето на архитектонските елементи, со што се обезбедува јасна читливост на просторот и негова кохерентност. Така, матрицата не е само практична алатка при проектирањето, туку е и основна рамка која ја рефлектира намената на објектот и културниот контекст. Пример за матрица кај античките храмови е распоредот на столбовите, каде што нивното ритмично поставување не е случајно, туку е одредено со намерна матрица која воедно ја изразува стабилноста и процестија која е карактеристична за храмовите.

Понатаму, генера се однесува на класификацијата или типологијата на архитектонската форма. Така, препознаваме т.н. редови во класичната архитектура (јонски, дорски и коринтски), од кои секој има свои карактеристики. Принципот на генера им овозможува на архитектите да работат преку воспоставени конвенции на проектирање и нивно адаптирање на специфични потреби и иновации. Совладувањето на принципот на генера значи разбирање како формата на објектот носи свое значење и како историските примери може да се реинтерпретираат на современ начин.

Конечно, под симетрија подразбираме пропорција меѓу деловите на објектот која ги поврзува нив во една балансирана целина. Во современа смисла, симетријата може да означува и динамична рамнотежа на архитектонската форма каде што секој елемент на објектот е во хармонија со останатите. Како што истакнуваат Цонис и Лефевр [8] , симетријата го подигнува квалитетот на објектот од едноставна конструкција кон уметност.

Барања за градбите

Објектите претставуваат значаен ресурс на едно општество и нивната изградба претставува значајна инвестиција, поради што неопходно е тие да исполнат одредени критериуми со кои ќе се обезбеди нивниот квалитет. Таквите барања за градбата се пропишани во Законот за градење во нашата земја, при што тие се нарекуваат основни барања за градбата и се однесуваат на:

1. Механичка опорност,
2. Стабилност и сеизмичка заштита,
3. Санитарна и здравствена заштита,
4. Сигурност при употреба,
5. Ефикасно користење енергија,
6. Напречен пристап и движење,
7. Технички својства на градежните производи,
8. Комфор.

[8] Tzonis and Lefaivre.

Архитектонските објекти исто така е потребно да исполнат мноштво други барања, како: функционалност, убавина, економичност, одржливост и други, а со кои тие ќе станат објекти со архитектонски вредности, наместо едноставен збир на архитектонски елементи. Реализирањето на таквите барања, архитектонскиот објект ги постигнува преку својата форма, системи, структура и материјали соодветно применети и приспособени на претходно наведените барања кои објектот треба да ги исполни. Така, на слика 1.2 е прикажан објект на противпожарна станица чие обликување произлегува од намената на објектот, но воедно, архитектите преку експресивниот облик ја изразуваат и динамичноста на работата на станицата.

За да ги разбереме архитектонските конструкции, понатаму ќе извршиме декомпонирање на нивните составни елементи, кои ќе ги класифицираме според конструктивната и функционалната улога. На тој начин ќе ги осознаеме нивните карактеристики и ќе согледаме како со нивната креативна примена се создаваат архитектонските објекти, архитектонскиот простор и конечно, убавина во просторот.

Во оваа книга ќе ги изучуваме основните конструктивни системи од кои се формираат архитектонските објекти, а посложените конструктивни системи се изучуваат во повисоките години на студиите по архитектура.

Слика 1.2 Противпожарна станица Витра[9]

[9] Авторска фотографија.

2 Конструктивни елементи и системи

„...надворешниот изглед на добар објект не може и не смее, да биде ништо друго освен видлива експресија на ефикасна структура или конструктивна реалност. Со други зборови, формата мора да биде неопходен резултат, а не иницијална појдовна точка на структурата."

Пјер Луиџи Нерви

Архитектонските конструкции според својата конструктивна улога можат да се класифицираат како **носечки (конструктивни) или неносечки**.

Носечката архитектонска конструкција (носечкиот конструктивен систем) е суштинска за објектите, бидејќи таа има за цел да се спротивстави на товарите кои се нанесени на објектот, нив да ги преземе и да ги пренесе на тлото. Неносечката конструкција, од друга страна, не презема товари и од неа не зависи стабилноста на објектот.[10] Неносечката конструкција ја нарекуваме и секундарна конструкција. Со носечката конструкција се обезбедува интегритетот на објектот и неговата **доверливост**, која се дефинира преку три параметри и тоа[11]:

- → **Сигурност** – способност на конструкцијата (при усвоен коефициент на сигурност да ги издржи сите предвидени влијанија.
- → **Употребливост** – способност на конструкцијата и нејзините делови да одговори на основната намена и влијанијата кои можат да се предвидат.
- → **Трајност** – способност на конструкцијата да ја издржи предвидената сигурност и употребливост во текот на определено времетраење.

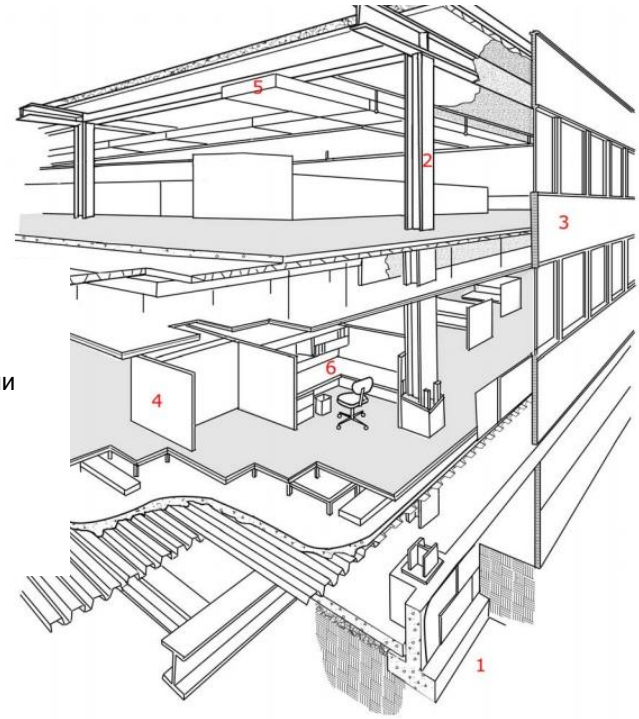
Според **позицијата и функцијата во објектот**, носечките и неносечките архитектонските конструкции (системи) ги именуваме како, слика 2.1, 2.2:

- носив конструктивен систем (масивен, скелетен и мешовит систем),
- меѓукатна конструкција,
- кровна конструкција (кровен систем),
- темели (систем на темелна конструкција),
- фасадни ѕидови (фасаден систем),
- скали итн.

[10] Во архитектонската анализа се прави јасна дистинкција кои конструктивни системи и елементи се носечки, а кои се неносечки.

[11] Андреј Спасов и Весна Трајковска, *Градежни Конструкции* (Скопје: „Универзитет Св. Кирил и Методиј", 1994).

1. Темели
2. Носива конструкција
3. Фасаден ѕид
4. Внатрешни преградни ѕидови
5. Механички системи
6. Мебел и опрема



Слика 2.1 Елементи во објектите[12]

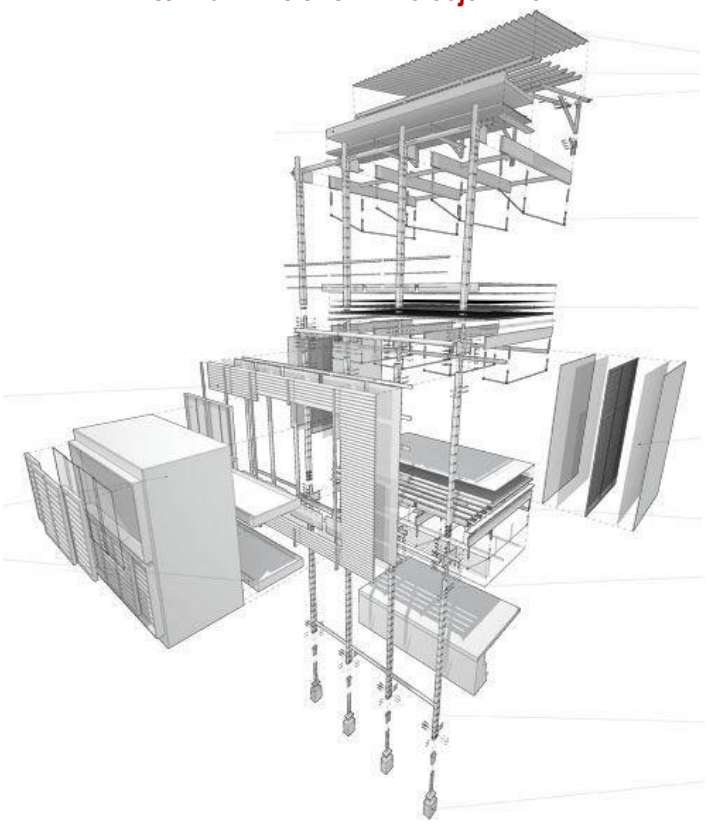
Кров (кровен систем)

Систем на меѓукатната конструкција (под, меѓукатна, плафон)

Преграден ѕид (систем на преградни ѕидови)

Фасаден ѕид (фасаден систем)

Фасаден ѕид (фасаден систем)



Слика 2.2 Приказ на различни конструктивни елементи[13]

[12] Richard Rush, ed., *The Building Systems Integration Handbook: The American Institute of Architects* (Boston: Architectural Press, 1991).
[13] Rush.

Како што е наведено претходно, архитектонските конструкции може да бидат разгледувани и како архитектонски системи, бидејќи склопот на различни архитектонски елементи во објектите создава различни архитектонски конструкции, односно системи кои заедно ја создаваат целоста на објектот.

Освен архитектонските системи, во објектите се вградуваат и други видови системи, како:

- водоводен и канализационен систем,
- електричен, електронски и комуникациски систем,
- климатизационен и вентилационен систем,
- безбедносен систем и
- други специјализирани системи.

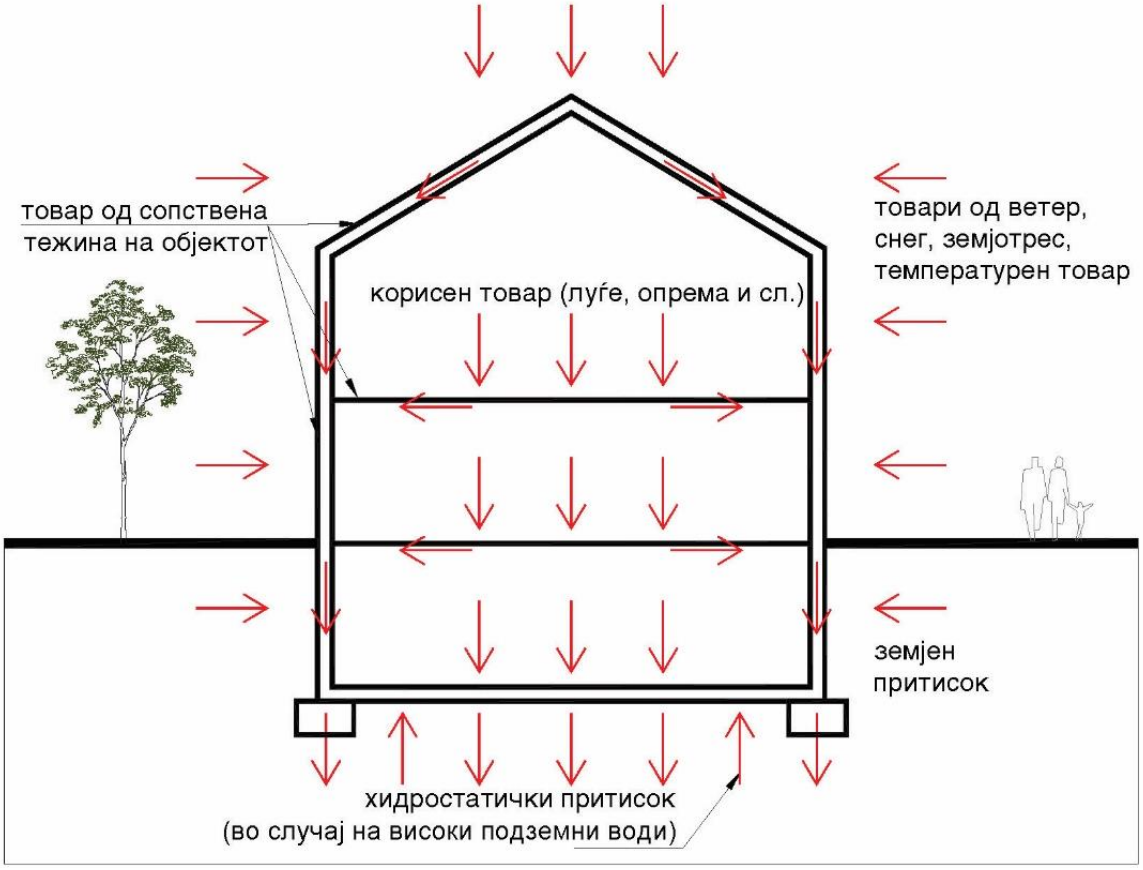
Во следните точки ќе се осврнеме на различните видови товари кои се јавуваат кај објектите, по што подетално ќе ги разгледаме носечките конструктивни системи и нивните елементи.

2.1 **Видови товари кај објектите**

Објектите, во текот на нивната употреба, се изложени на различни видови товари, слика 2.3., како и различни комбинации на товари и нивно истовремено делување, а кои може да се разгледуваат низ неколку класификации.

Според начинот на настанување, товарите се делат во три групи и тоа:

1. **Гравитациони (под дејство на земјината гравитација)**
   - некорисни (сопствена тежина на градежните елементи) и
   - корисни (луѓе, опрема, мебел и сл.).
2. **Инерциски товари**
   - влијание на земјотрес и земјотресно забрзување.
3. **Товари од флуиди**
   - ветер, вода, ударен воздушен бран во случај на експлозија и сл.



Слика 2.3 Видови товари

Според видот и времетрањето, товарите се категоризирани како:

1. **Основни (постојани) товари:**
   - сопствена тежина на носечкиот систем,
   - тежина на подовите, ѕидовите и сл.,
   - тежина на постојана и привремена опрема,
   - земјен притисок (кај подрумски ѕидови),
   - хидростатички притисок (во случај на високи подземни води) и др.
2. **Менливи (подвижни) товари:**
   - корисен товар од луѓе,
   - товар од снег,
   - товар од ветер,
   - температурни промени,
   - собирање и ширење на бетонот.
3. **Случајни товари:**
   - нерамномерно слегнување на почвата,

- сеизмички товари и др.

Понатаму, товарите може да бидат категоризирани и како:

1. **статични** (конструктивни елементи, мебел, фиксна опрема и сл.) и
2. **динамични** (подвижна опрема, машини, земјотреси, ветер и сл.)

Товарите кои се спомнати претходно, може да се појават под кој било агол во однос на конструктивниот систем на објектот, односно тие можат да бидат вертикални, хоризонтални и коси. Но, за симплифициран приказ ги класифицираме, како:

1. **вертикални** (сопствена тежина, снег, опрема, вертикален земјотрес и сл.) и
2. **хоризонтални** товари (ветер, хоризонтален земјотрес и сл.).

Различните видови товари и можните комбинации на симултано делување врз објектот предизвикуваат внатрешни сили и напрегања во архитектонските конструкции и системи, при што најголеми се влијанијата во носечките конструктивни елементи, чија главна цел е да ги преземат сите товари и да ги пренесат на тлото.

2.2 **Конструктивни елементи**

Според положбата на конструктивните елементи во конструктивниот систем, разликуваме вертикални и хоризонтални конструктивни елементи, и тоа:

1. Вертикални конструктивни елементи:

- столбови,
- носечки ѕидови,
- вертикални спрегови и др.

2. Хоризонтални конструктивни елементи:

- меѓукатна конструкција,
- греди,
- хоризонтални спрегови,
- темели и сл.

Покрај поделбата на вертикални и хоризонтални елементи, конструктивните елементи исто така можат да бидат поставени под одреден агол, односно да се коси елементи, како: кровни елементи, плоча, столб, греда и др.

Функција на носечките елементи кои ги формираат конструктивните системи:

- → **Столб** е конструктивен елемент чија главна намена е прифаќање на товарите од елементите кои налегнуваат на него и нивно пренесување сè до темелите. За столбови се сметаат елементите чиј сооднос на страните на попречниот пресек е помал од 5.
- → **Греда** е структурен елемент чија главна намена е пренесување на товарите од меѓукатната или кровната конструкција на столбовите.
- → **Носив ѕид** е крут носив елемент кој со целата своја површина и подолжен пресек ги пренесува товарите се до темелите. Ѕид е елемент чиј сооднос на страните е поголем од 5.
- → **Плоча** е елемент кој ги пренесува товарите до потпорите, како што се греди или носечки ѕидови.
- → **Темели** се носечки елементи кои ги прифаќаат товарите од столбовите и носечките ѕидови и ги предаваат на тлото.

Товарите кои дејствуваат на конструктивните елементи ги дефинираме како надворешни сили кои во елементите предизвикуваат различни видови напрегања и моменти. Засега, во анализата на преносот на товарите (силите) низ конструктивните елементи, ќе се задржиме само на двете основни напрегања, а тоа се, слика 2.4:

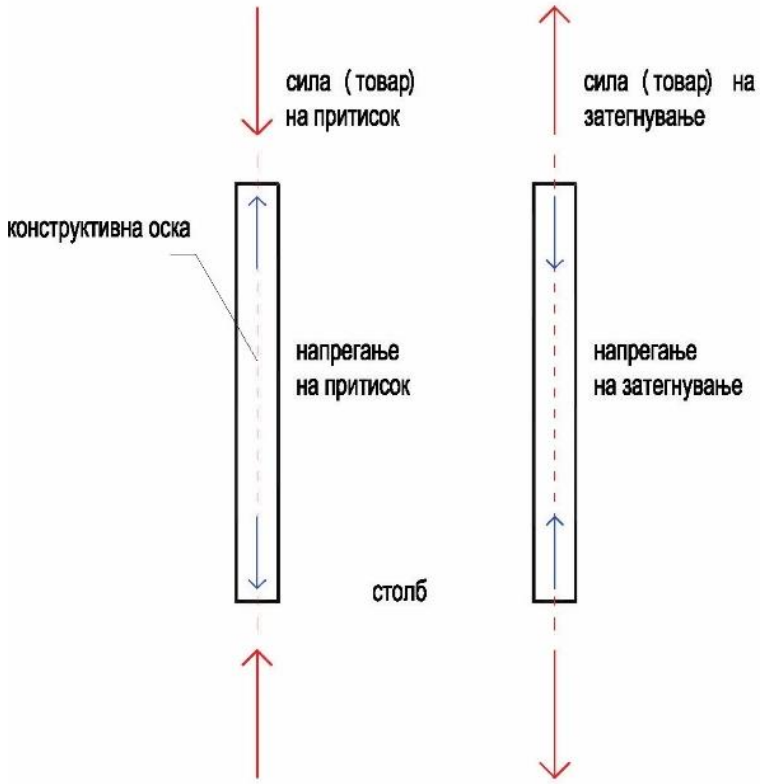
- → **аксијалните напрегања**
  - → напрегање на притисок и
  - → напрегање на затегнување,
- → **напрегањата на свиткување.**

Товарите доколку делуваат на мала површина, ги разгледуваме како **концентрирана сила**, а графички ги прикажуваме како **вектори**. Товарите кои се нанесени на поголема површина ги прикажуваме како **површиниски рамномерно или нерамномерно распределени товар**, слика 2.4.

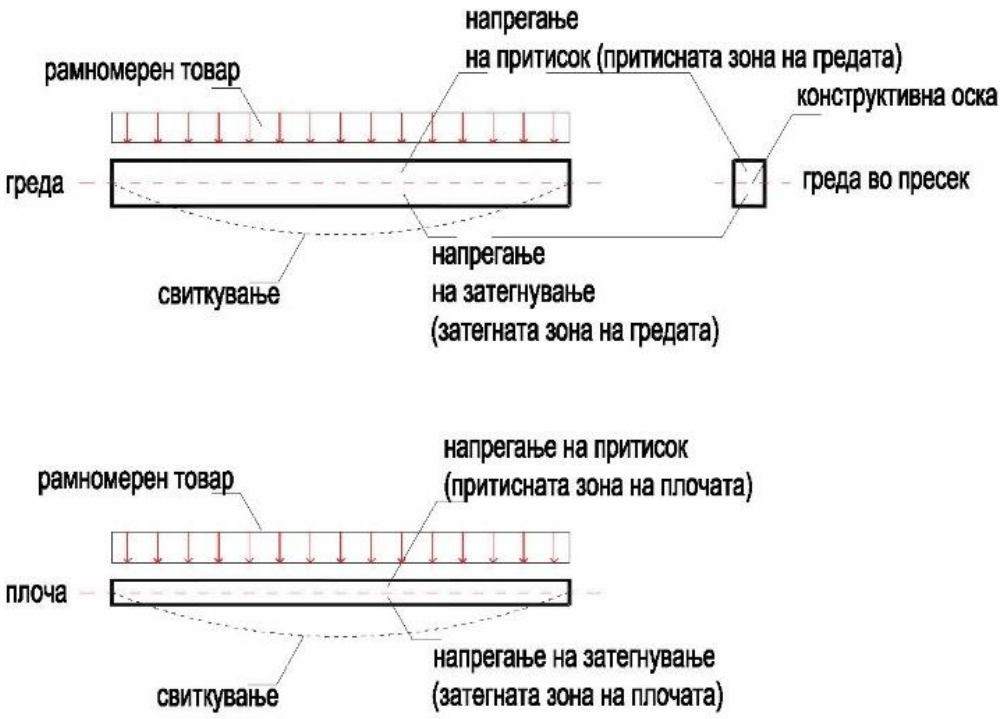
Доколку на конструктивниот елемент делуваат надворешни товари (сили) долж неговата оска, а со насока кон средиштето на елементот, во него се јавува реакција која се спротивставува на тие надворешните товари, односно се јавува аксијално **напрегање на притисок**, слика 2.4.а.

Ако на конструктивниот делуваат надворешни товари долж неговата оска, а со насока спротивна од средиштето на елементот, во него се јавува аксијално **напрегање на затегнување**, слика 2.4.б.

Во случај кога надворешните товари се нанесени нормално на оската на елементот, во него се јавуваат нападни моменти, трансверзални сили, а доколку аголот не е прав, тогаш се јавуваат и аксијални сили, а елементот е напрегнат на свиткување, како што е прикажано во случај на греда и меѓукатна плоча, слика 2.4.в.



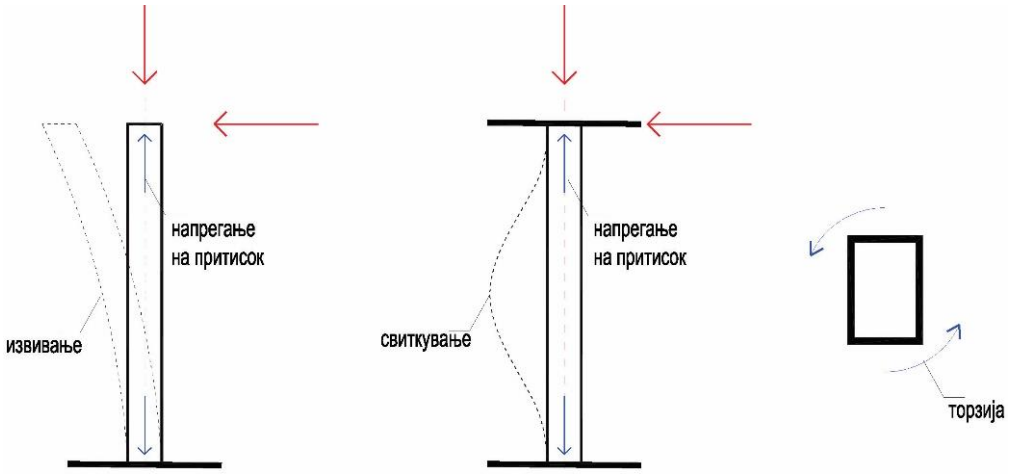
Слика 2.4.а. Слика 2.4.б.



Слика 2.4.в.

Слика 2.4 Основни напрегања во конструктивните елементи

Кај конвенционалните конструктивни системи претходно наведените напрегања се поизразени кај одреден тип конструктивен елемент. Така, на пример, кај столбовите најчест случај се аксијалните напрегања на притисок. Но, мора да се напомене дека во случај на наизменични товари во столбовите може да дојде до напрегање на затегнување, слика 2.5, (особено при земјотреси) поради дејство на хоризонтални товари, поради што настануваат сложени напрегања во елементите (пр. торзија и др.)



Слика 2.5 Основни напрегања во конструктивните елементи

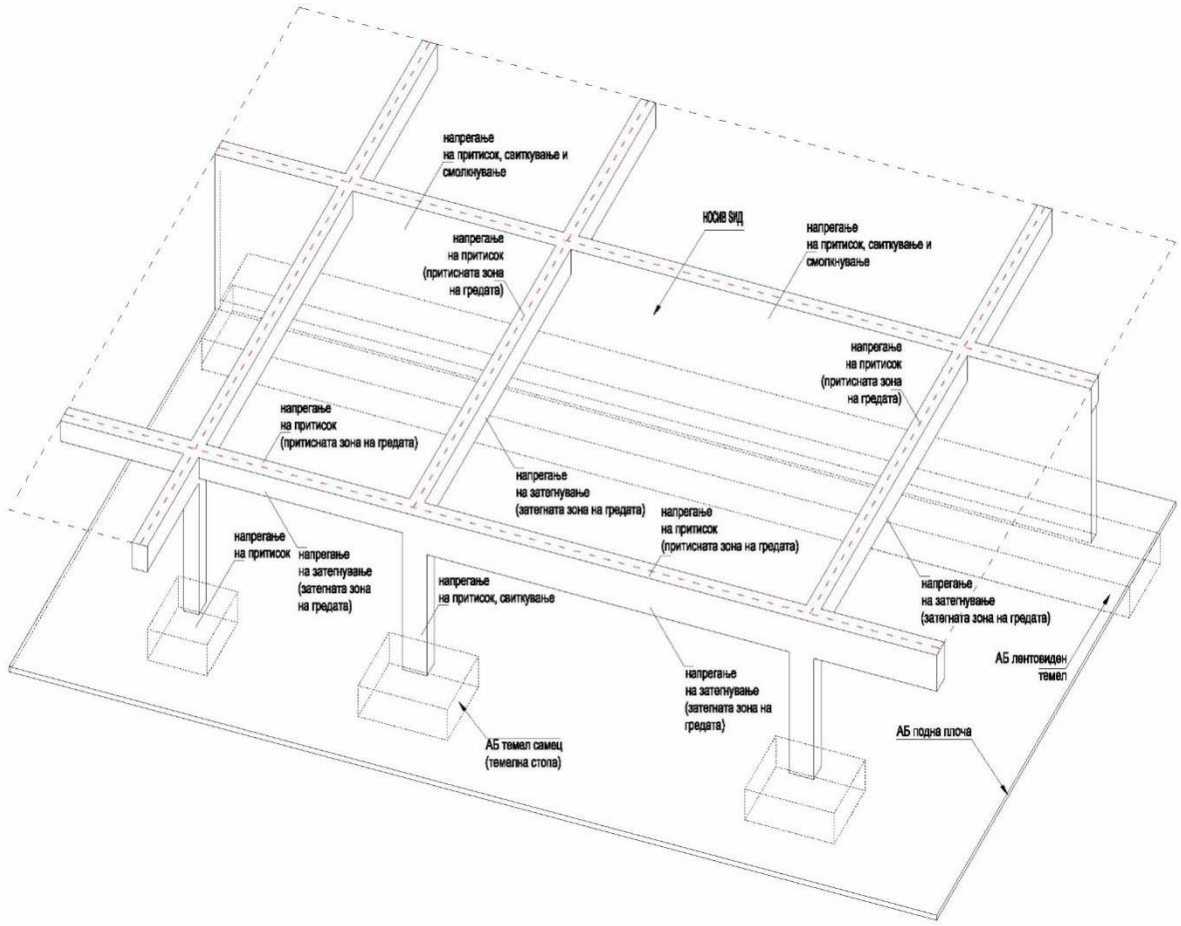
Оттука, **доминантните напрегања** кај конструктивните елементи се, слика 2.6:

- **столб -** напрегање на притисок;
- **греда -** напрегање на свиткување што доведува до појава на напрегање на притисок во горната зона на гредата и напрегање на затегнување во долната зона на гредата;
- **носив ѕид -** напрегања на притисок, свиткување и смолкнување;
- **плоча -** напрегања на притисок во горната зона на елементот и напрегања на затегнување во долната зона;
- **темел –** напрегање на свиткување поради дејството на товарот од столбот и реакцијата на тлото на кое лежи.[14]

Претходно наведените носечки елементи, според просторните карактеристики како тие го пренесуваат товарот, се делат на линиски, површински и просторни, при што, слика 2.6**:**

- **линиски** носечки елементи се: столбовите и гредите;
- **површински** носечки елементи се: носечки ѕидови, меѓукатна конструкција;
- **просторни** носечки елементи се: темели, просторни решетки и сл.

[14] Во одредени случаи се јавуваат и напрегања на затегнување (кај напредни конструкции како што се кабелските конструкции).



Слика 2.6 Конструктивен систем и основни напрегања

2.3 **Конструктивен систем**

Конструктивен систем е збир од носечки елементи на објектот кои ги примаат и пренесуваат товарите низ составните делови на структурата сè до тлото, без да се надмине нивната носивост и обезбедува стабилност и трајност на објектот.

Конструктивните системи ги преземаат вертикалните и хоризонталните товари и ги пренесуваат сè до темелната конструкција и тлото, при што доаѓа до појава на напрегања во градежните елементи на конструктивниот систем. Доколку напрегањата или деформациите се поголеми од дозволените може во градежните елементи да се појави свиткување, појава на прснатини или во краен случај, лом на елементот. За да се избегнат наведените непосакувани последици, потребно е да се обезбеди потребната носивост и употребливост на конструктивните елементи, односно потребни е тие правилно да се димензионираат.

Важно е да се истакне дека **крутоста, јакоста и стабилноста се три различни карактеристики на конструктивниот систем**, при што:

- ➔ **Крутоста** е способност на конструкцијата да се спротивстави на деформациите кои се јавуваат под дејство на товарите.
- ➔ **Јакоста или носивоста** е способност на елементите да ги прифатат и пренесат максималните товари, при тоа да не дојде до лом во нив.
- ➔ **Стабилноста** е карактеристика која зависи од формата на конструктивниот систем, формата и големината на објектот, товарите, тлото и др. Стабилноста на објектот се обезбедува преку спречување на превртување, лизгање, извивање итн.

Како што е усвоено од Институцијата на конструктивни инженери (Institution of Structural Engineers), **стабилноста** е дефинирана со тоа што:

- мала промена во нејзината форма, состојба, при нормално натоварување или опрема, која нема да предизвика делумен или целосен колапс на објектот; или
- објектот го сочувува својот интегритет при случајни промени или други активности.

Конструктивните системи изложени на земјотреси потребно е да поседуваат и **дуктилност,** која означува способност на системот да се деформира сè до постигнување на граничната носивост на системот. При проектирањето на конструктивните ситеми потребно е да се обезбедат и други барања, како крутостен континуитет и др., а кои се надвор од доменот на архитектонската професија.

Во зависност од применетите носечки елементи, разликуваме **три главни типа носечки конструктивни системи,** и тоа**:**

1. **Масивен конструктивен систем -**

→ систем од носечки ѕидови (потребно е да се поставени во двата правци на објектот) кои ги преземаат товарите од меѓукатната конструкција и преку темелната конструкција ги пренесуваат до тлото.

2. **Скелетен конструктивен систем -**

→ систем од столбови и греди кои ги преземаат товарите од меѓукатната конструкција и преку темелната конструкција ги пренесуваат на тлото.

3. **Мешовит (комбиниран) конструктивен систем-**

→ примена на елементите од масивен и скелетен систем, односно примена на столбови, носив ѕид, греди и темелна конструкција.

Според просторниот концепт конструктивните системи можат да бидат:

1. **Линиски конструктивен систем** (систем од проста греда).
2. **Површински конструктивен систем** (рамковни системи и сл.) и
3. **Просторен конструктивен систем** (масивен, скелетен и мешовит систем).

При изборот и димензионирањето на конструктивниот систем на објектите влијаат повеќе аспекти, како што се:

1. формата, големината и височината на објектот,
2. функционалната организација на внатрешните простории,
3. видот на почвата (т.н. геомеханички услови),
4. товарите,
5. економичноста,
6. брзина на изградбата,
7. технологијата на изградба итн.

Во нашата земја, најчесто се применуваат скелетниот и мешовитиот армиранобетонски конструктивни системи. Во оваа книга ќе ги проучиме трите основни вида конструктивни системи (масивен, скелетен и мешовит), како и архитектонскиот пристап за нивно проектирање во следните поглавја.

2.4 **Модуларност на конструктивниот систем и графичко прикажување**

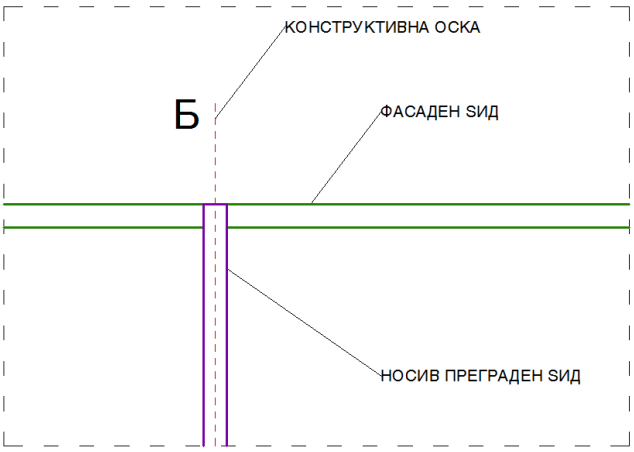
При проектирањето на објектите и нивниот конструктивен систем се применува модуларна координација, односно модуларна мрежа составена од модули.

Разликуваме неколку типови модули и тоа:

- → основен модул – 10 cm
- → конструктивен модул (КМ) - 30 cm
- → проектантски модул (ПМ) – 60 (80) cm

При проектирањето на конструктивниот систем се применува **конструктивна мрежа** составена од **конструктивни оски.** Конструктивните оски се линии кои минуваат низ средината на конструктивните елементи, а растојанието помеѓу оските е одредено со мултипликација на конструктивниот модул, а доколку е потребно, на него се додава и основен модул, слика 2.7, слика 2.8.

Конструктивните оски се најчесто симетрично поставени, односно по средината на носечките елементи (носечкиот ѕид, столбот, гредата или темелот), а по целата нивна должина/височина. Во одредени случаи оската може да биде и асиметрично поставена во однос на средината на конструктивниот елемент.

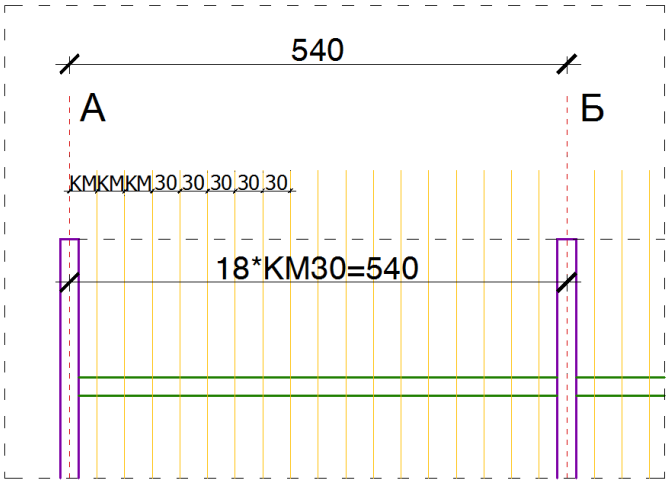


Слика 2.7 Графичко прикажување елементи

Така, растојанието помеѓу носечките елементи (столбови или носечки ѕидови), односно нивното оскино растојание се добива со, слика 2.8:

- → мултипликација на конструктивен модул N * КМ - (>300 - 600 <), при што се формираат распони со димензии на пр. 330, 360....450, 480 итн. или, пак,
- → комбинација од конструктивен модул и основен модул, со што се добиваат распони како 310, 320, 340, 430 итн.

Притоа, како растојание помеѓу носечките елементи (носечки ѕидови или столбови) се смета растојанието помеѓу конструктивните оски на носечките ѕидови или столбовите, слика 2.8.



Слика 2.8 Примена на конструктивен модул

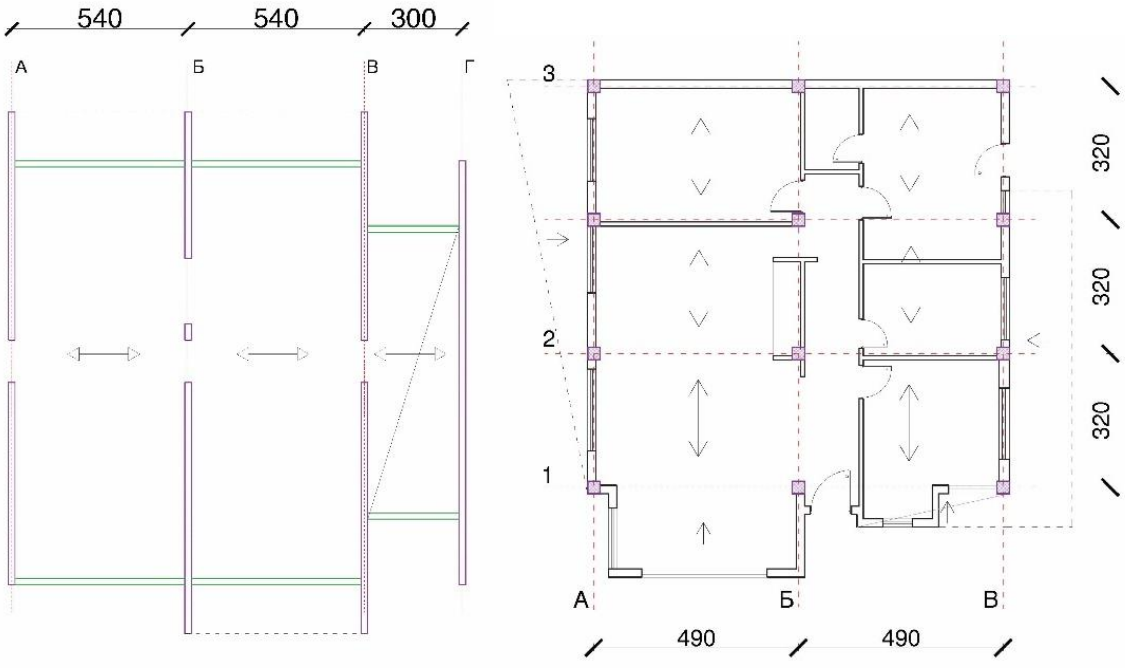
Доколку е употребен само еден тип модул, тогаш станува збор за континуирана мрежа. Мрежата може да се проектира и како дисконтинуирана при примената на носечки ѕидови, а дисконтинуитетот е одреден со дебелината на носечкиот ѕид.

Конструктивната мрежа, составена од конструктивните оски, може да биде поставена во:

- → **ортогонален систем,**
- → **неортогонален систем,**
- → **криволиниски систем,**
- → **нивна комбинација или**
- → **„слободна“ мрежа.**

При решавањето на конструктивните системи користиме систем на ознаки, прикажан на слика 2.9, составен од:

- → означување на конструктивните оски со нумерички ознаки во Y-правецот, а со алфабетски ознаки во X-правецот,
- → линиски коти со кои се котира оскиното растојание меѓу носечките ѕидови (кај масивен систем, слика 2.9.а) и столбовите, односно гредите (кај скелетен систем, слика 2.9.б), како и коти за означување на дебелината на носечките елементи.



Слика 2.9.а. Масивен систем

Слика 2.9.б. Скелетен систем

Слика 2.9 Означување елементи во масивен систем

2.5 **Просторна поделба на објектите**

Објектите може да бидат приземни или повеќекатни (повеќеетажни). Соред нивната позиција во однос на околниот терен нивоата (етажите) во објектот, ги дефинираме како:

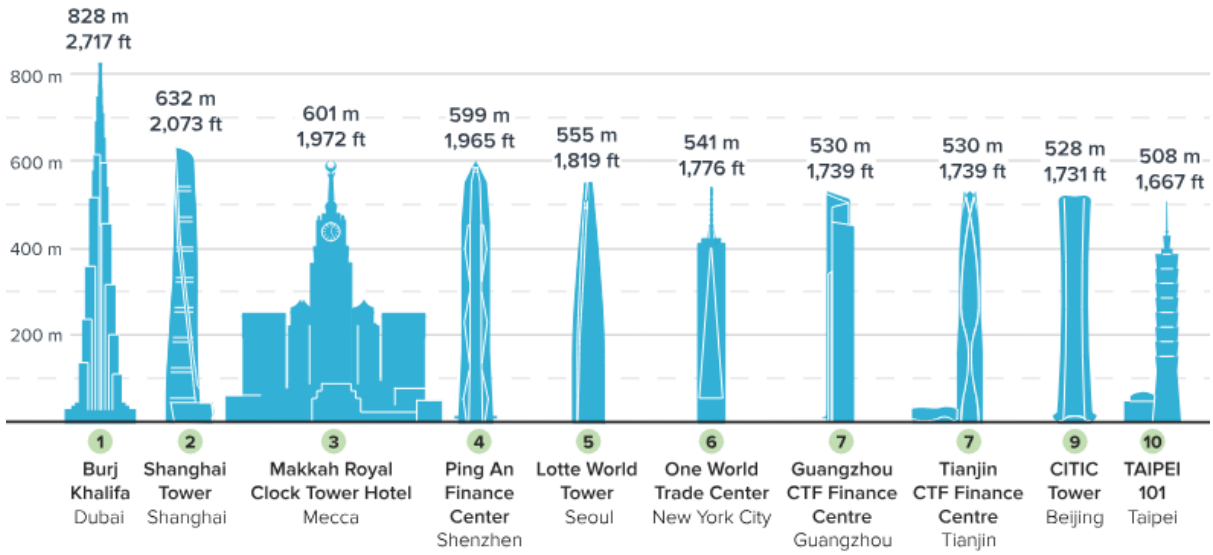
- → **подрум** - подземно ниво кое е целосно вкопано или делумно вкопано (повеќе од половина од неговата височина е под теренот),
- → **сутерен** - подземно ниво кое е делумно вкопано (повеќе од половина од неговата височина е над теренот),
- → **приземје** - ниво во кое се пристапува во објектот и почнува од теренот или е подигнато од околниот терен за максимум 120 cm (според македонските прописи),
- → **мезанин** - ниво кое може да се појави над приземјето и е најчесто со помала височина споредено со останатите нивоа (2,2-2,4 m),
- → **кат** - ниво/нивои кое е над приземјето и
- → **поткровен простор** - ниво кое може да се формира под кровната конструкција на објектот.

Иако не е воспоставена класификација за височината на објектите, тие може да се поделат на, слика 2.10:

- → еднокатни објекти,
- → повеќекатни,
- → високи објекти (до 91m),
- → супервисоки објекти (до 300m),
- → мегависоки објекти (над 600m).

Градителските искуства покажале дека чистите скелетни конструктивни системи се економични за објекти со катност од 12 до 15 нивоа. Над оваа катност потребно е да се подобри крутоста на објектот и се додаваат носечки ѕидови - платна, јадра, дијафрагми и сл., при што објектите може да имаат до 40 нивоа. За објекти со поголема катност се применуваат посложени конструктивни системи како туби, стебла, вретена итн.

Со развојот на градителската технологија постојано се освојуваат нови височини, достигнувајќи височини до 1000 m. Сите објекти кои припаѓаат над категоријата високи се решаваат со посебни типови конструктивни системи кои се надвор од опсегот на оваа наставна материја.



Слика 2.10 Високи објекти[15]

[15] https://www.ctbuh.org/

3 Масивен конструктивен систем

„Јас ја нарекувам архитектурата замрзната музика.“

Гете

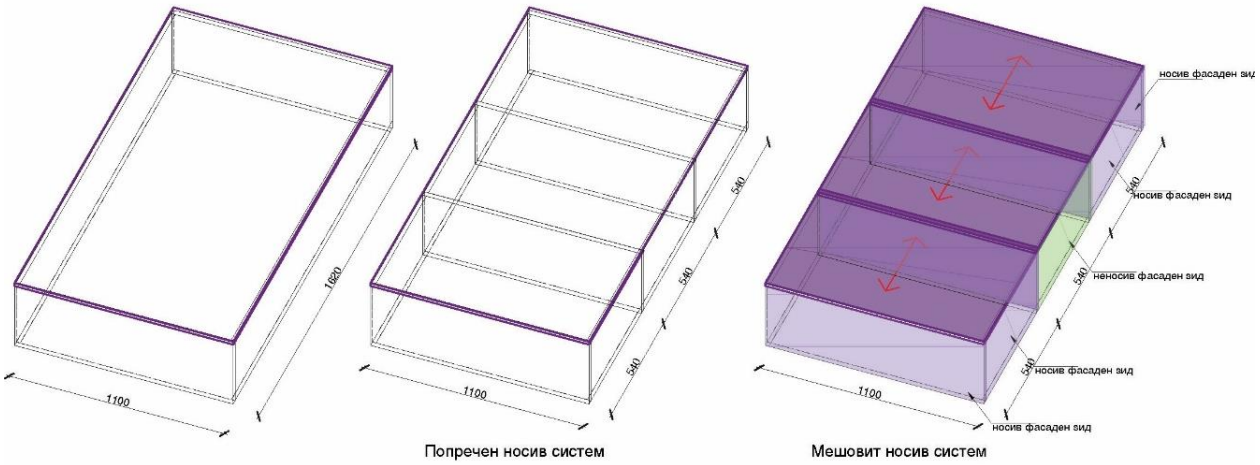
Масивниот конструктивен систем е применуван од самите почетоци на градителската историја на човештвото.

Масивниот систем се состои од носечки ѕидови во двата ортогонални правци и хоризонтални елементи, како што е меѓукатната конструкција, односно плоча, при што носечките ѕидови ги пренесуваат товарите до темелната конструкција, која нив ги пренесува на тлото.

Масивниот конструктивен систем е составен од следните носечки конструктивни елементи: **носечки ѕидови, меѓукатна плоча и темелна конструкција.**

Носечките ѕидови, во зависност од нивната позиција во објектот може да бидат, слика 3.1:

- → **фасадни носечки ѕидови и**
- → **внатрешни носечки ѕидови.**

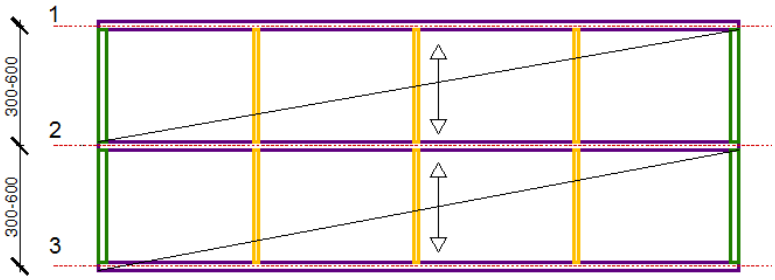


Слика 3.1 Формирање масивен систем

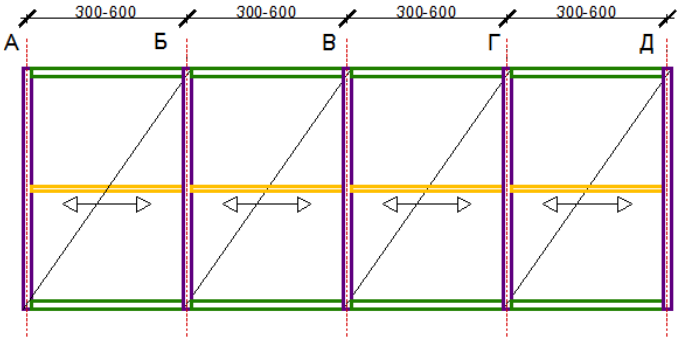
Во масивниот конструктивен систем вообичаено има **неносечки ѕидови** кои, исто така, во зависност од нивната позиција може да бидат **фасадни неносечки ѕидови или внатрешни неносечки ѕидови,** слика 3.1.

Во зависност од позицијата на носечките ѕидови во објектот може да се формираат **три типа масивен систем** кои се разликуваат во зависност од позицијата на носечките ѕидови и според тоа, разликуваме, слика 3.2:

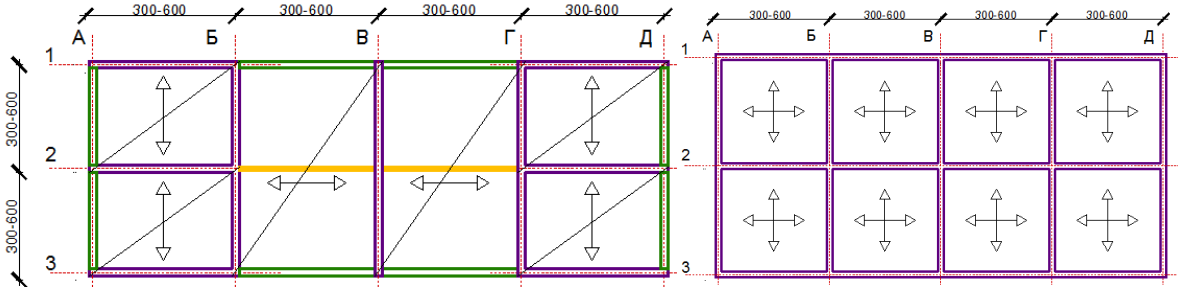
- → **масивен систем со подолжни носечки ѕидови,** слика 3.2.а.,
- → **масивен систем со попречни носиви ѕидови,** слика 3.2.б.,
- → **мешовит (комбиниран) масивен систем,** слика 3.2.в.



Слика 3.2.а. Масивен систем со подолжни носечки ѕидови



Слика 3.2.б. Масивен систем со попречни носечки ѕидови

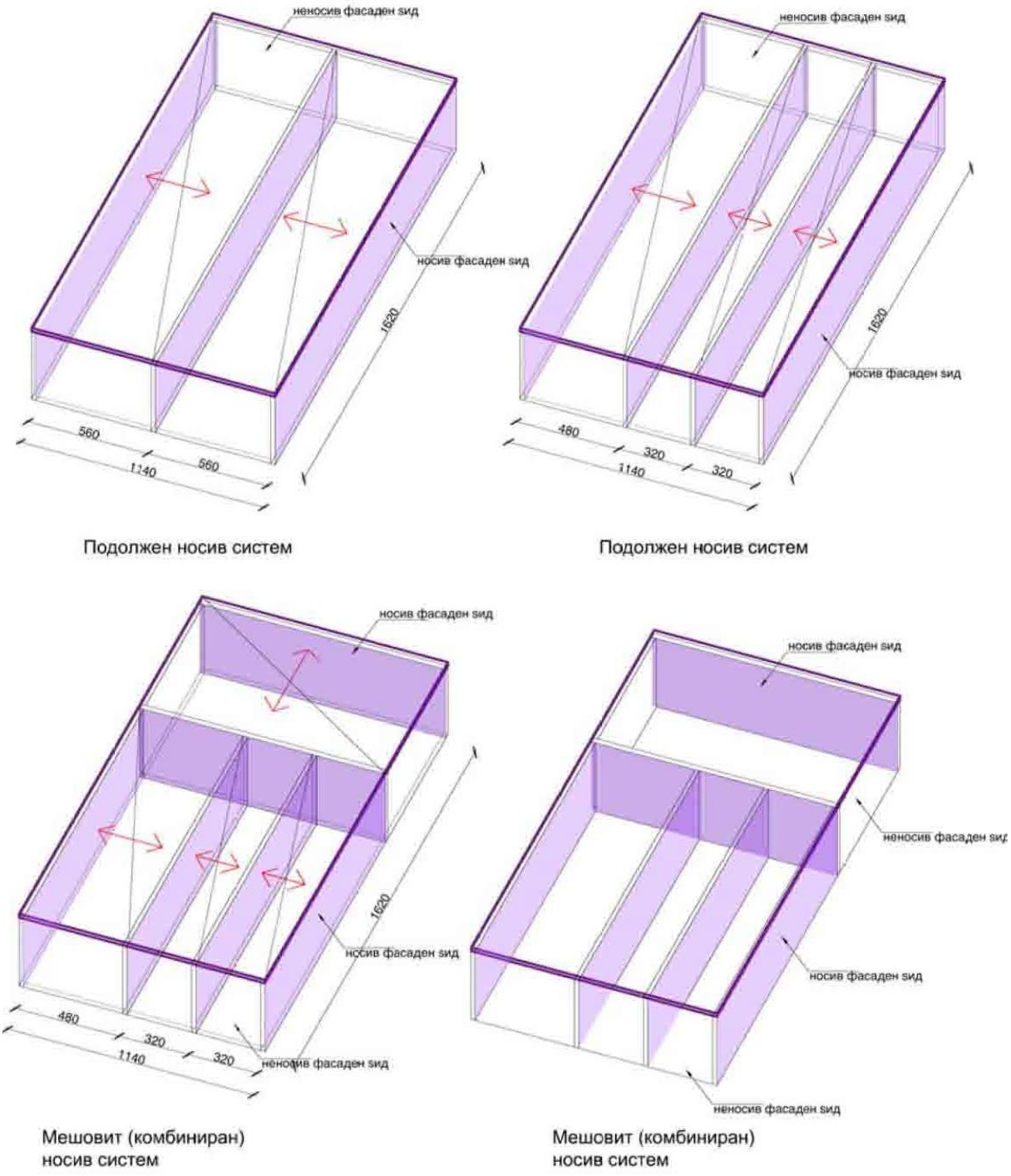


Слика 3.2.в. Мешовит (или комбиниран) масивен систем со подолжни и попречни ѕидови

Слика 3.2 Типови масивен конструктивен систем

Масивен систем со подолжни носечки ѕидови се формира кога носечките ѕидови се поставени паралелно со долгата страна на објектот, а ако тие се поставени попречно на издолжената оска на објектот, тогаш станува збор за масивен систем со попречни носечки ѕидови, слика 3.3. Доколку основата е квадратна, се разбира, не разликуваме попречен или подолжен систем.

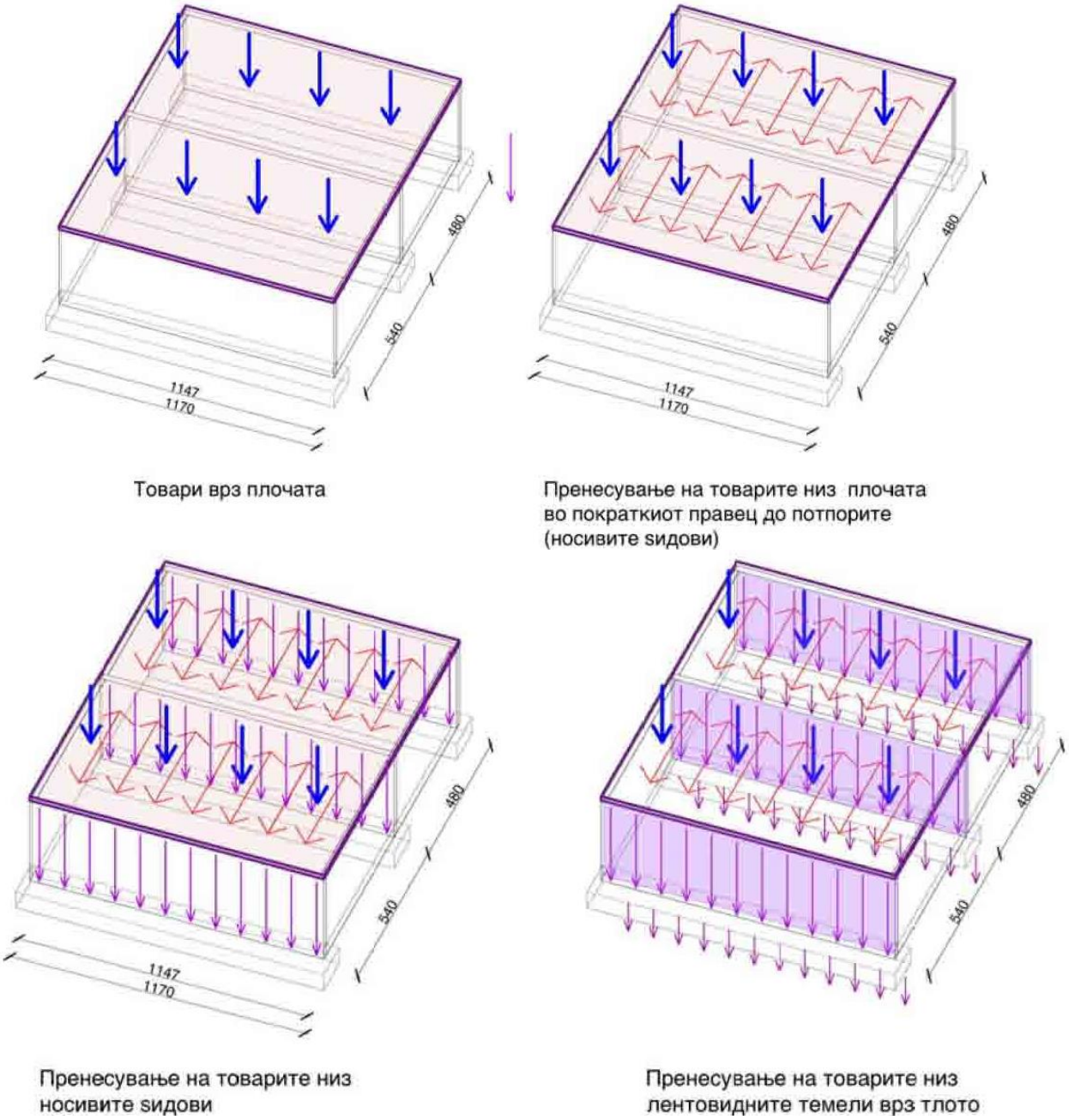
Во нашата земја, според прописите, при проектирањето на масивниот систем нужно е да се постават носечки ѕидови во двата ортогонални правци, поради што се применува **мешовитиот масивен конструктивен систем, слика 3.3.**



Слика 3.3 Аксонометриски приказ на масивни системи

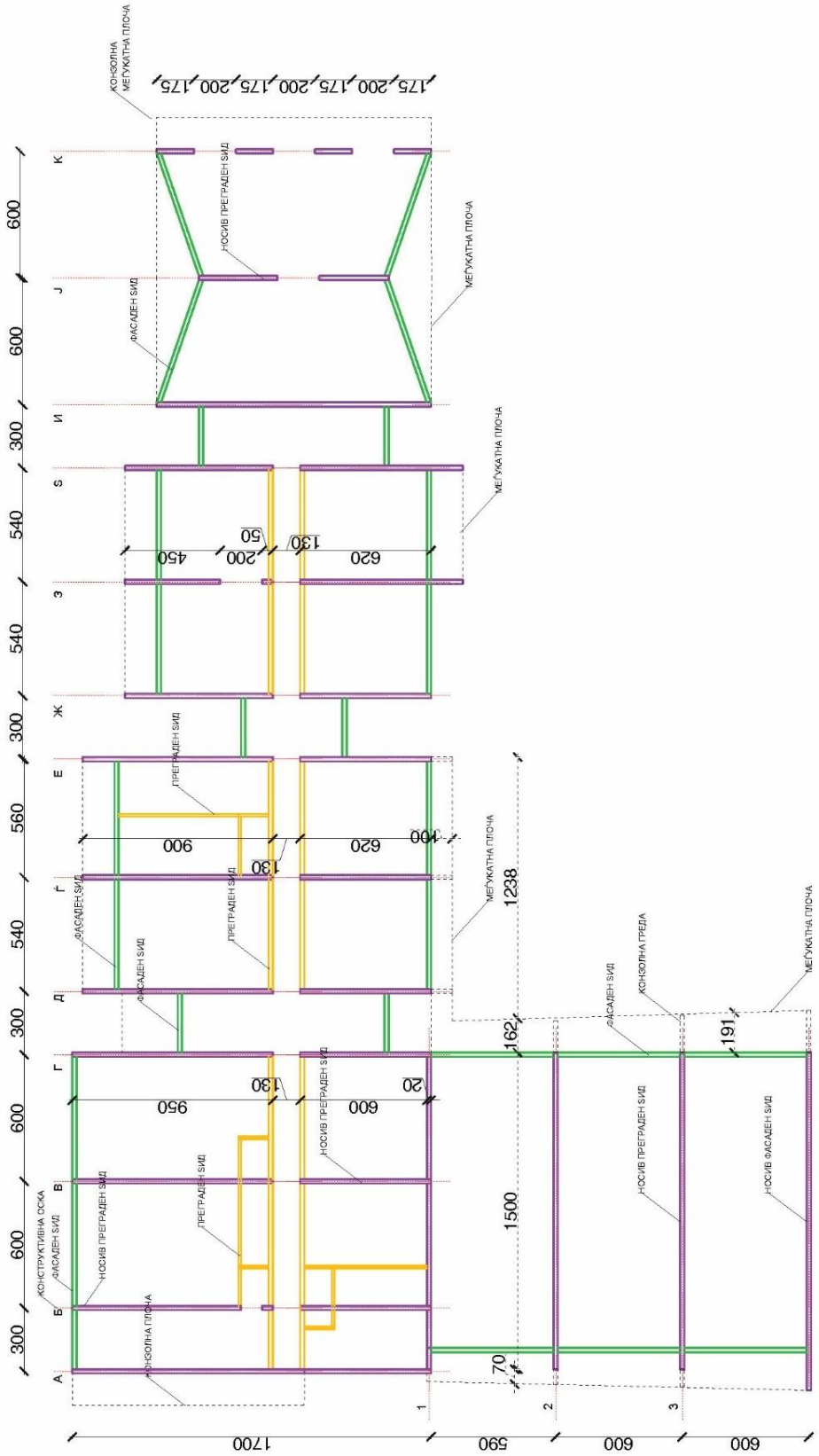
Пренесувањето на товарите низ масивниот систем се одвива преку меѓукатните конструкции кои се потпираат на носечките ѕидови и ги пренесуваат товарите на нив.

Понатаму, товарите се пренесуваат низ носечките ѕидови до темелната конструкција (која се обработува во друг учебник), кои ги предаваат товарите на тлото, слика 3.4.



Слика 3.4 Пренесување на товарите кај масивен систем

Водејќи сметка за дозволените распони, односно растојанието помеѓу ѕидовите, нивната поставеност во основата на објектот треба да овозможи да се постигне максимална функционалност на просторот и да се овозможи целост на поединечните простории во објектот, слика 3.5. Односно, неопходно е носечките ѕидови да не попречуваат во начинот на користење на просториите, ниту да произведат неправилни форми во просториите со кои би се отежнала нивната употреба или, пак, би се отежнала организацијата на опремата и мебелот.



Слика 3.5 Шематски приказ на мешовит носив систем

3.1 Принципи при проектирање на масивен конструктивен систем:

При проектирањето на масивен конструктивен систем потребно е да се водиме по воспоставени емпириски насоки, односно принципи, како што се:

1. Распони и димензионирање,
2. Ред во системот,
3. Меѓукатна плоча,
4. Отвори во ѕидови.

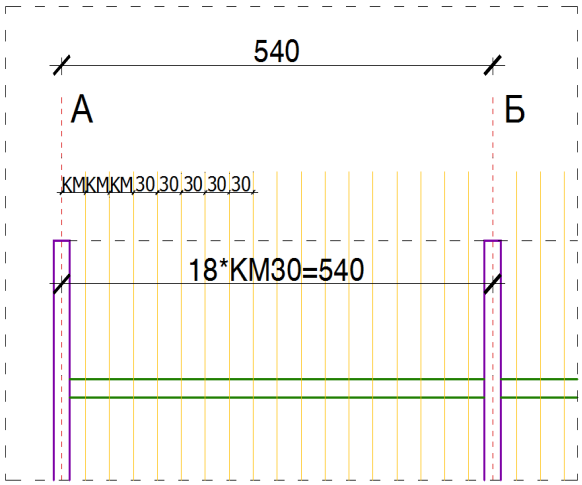
3.1.1 Распони и димензионирање

Најважни принципи при проектирањето на масивниот систем се:

→ Оптимален распон на потпирање на меѓукатните плочи (распонот помеѓу носечките ѕидови) е 3 - 6 m.

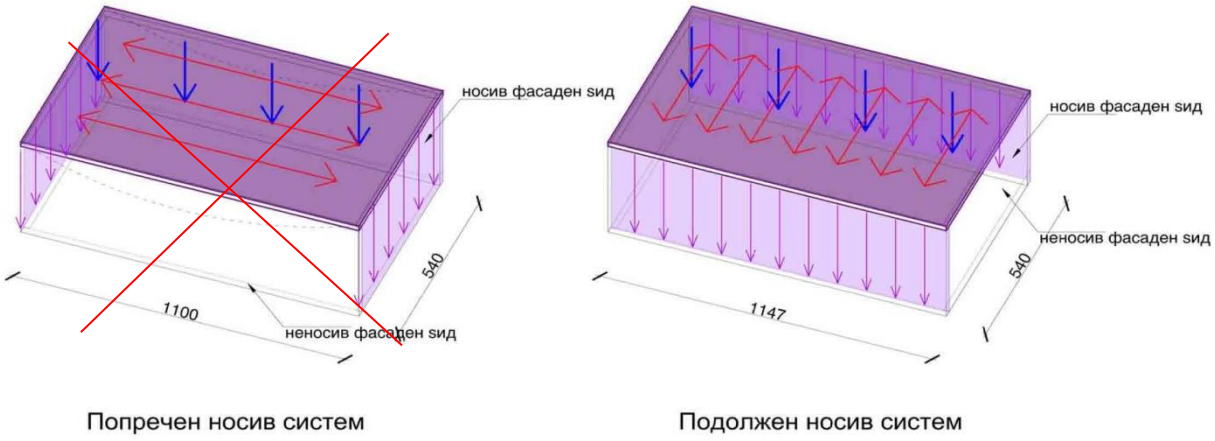
→ Меѓукатните плочи да се потпираат во пократкиот правец на полињата формирани со носечките ѕидови.

Распонот кај масивниот систем се смета осовинското растојание помеѓу носечките ѕидови, слика 3.6. Оптималното растојание меѓу носечките ѕидови произлегува од оптималната дебелина на конвенционалните меѓукатни плочи. Односно, меѓукатните плочи кои се потпираат на распони од 3-6m имаат оптимална дебелина. Распоните може да бидат поголеми од оптималните, но доколку распонот се зголеми, тогаш и дебелината на меѓукатната плоча ќе се зголеми при што ќе се зголеми некорисниот (постојаниот) товар од објектот и конструкцијата ќе биде неекономична.



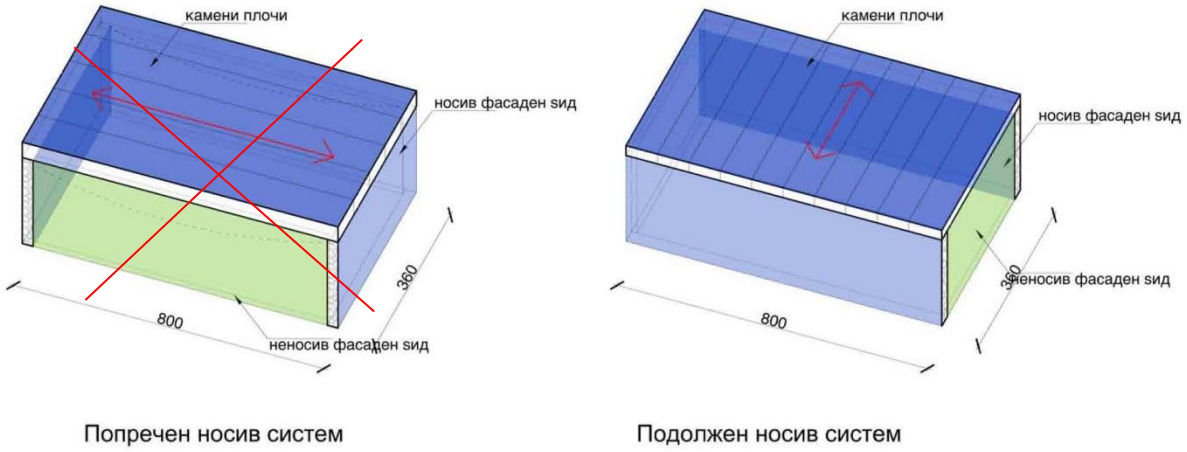
Слика 3.6 Конструктивни оски и конструктивен модул

На слика 3.7 се прикажани две решенија на објект формиран од два носечки ѕида и два неносечки ѕида, кои заедно формираат едно поле со димензии 5,4/11 m. Решението од левата страна е неточно, бидејќи плочата се потпира на носечките ѕидови кои се поставени на подолгото растојание на полето, односно на растојание од 11 m, што е многу повеќе од оптималните 6 m. Во решението од десната страна плочата се потпира на пократкото растојание, кое е во оптималните градници до 6 m.



Слика 3.7 Потпирање на меѓукатната конструкција кај армиранобетонски масивен систем

Ако направиме аналогија со изградбата на масивен систем изведен од камен кој бил применуван од старите цивилизации, правецот на потпирањето на камените блокови од меѓукатната конструкција мора да биде кон пократката страна на објектот, во спротивно, димензијата на камените блокови значително ќе се зголеми и конструкцијата ќе биде нерационална, слика 3.8 .

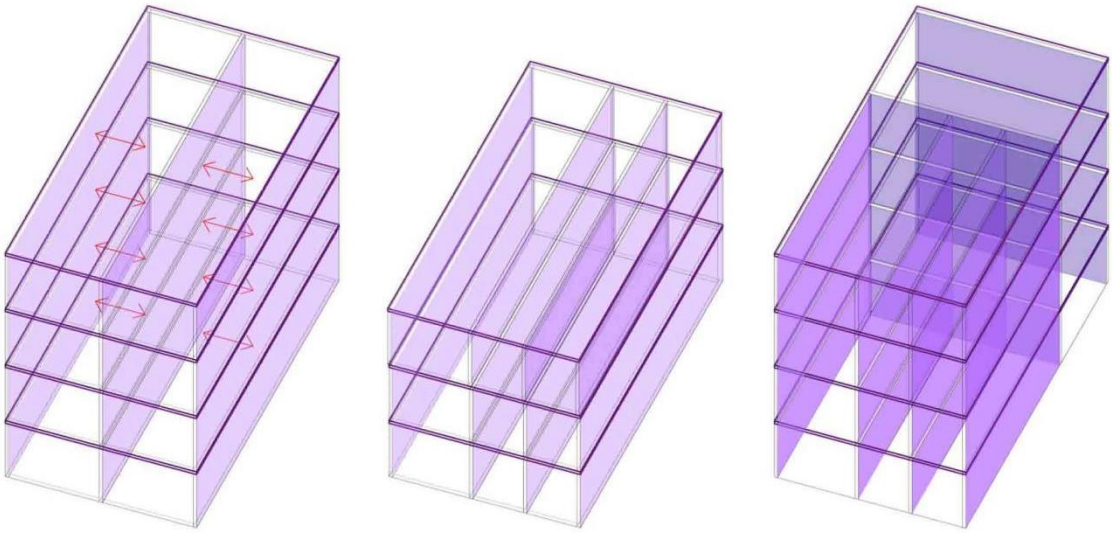


Слика 3.8 Потпирање на меѓукатната конструкција кај масивен систем од камени блокови

Дебелина на носечките ѕидови од армиран бетон се одредува со статичка и сеизмичка пресметка, а е во зависност од формата на објектот, распоните, товарите и сл. Вообичаена конвенционална дебелина на носечките ѕидови при конвенционални распони од 3-6 m изнесува 15-20 cm. Односот на должината наспрема висината на носечкиот ѕид не треба да е помал од 2.

Со примена на масивниот систем може да се изведуваат и повеќекатни објекти, слика 3.9, слика 3.10, иако во денешната архитектонска практика нивната застапеност е мала поради нивните недостатоци, кои ќе бидат посочени во подоцнежните точки.

Слика 3.9 Масивен систем кај станбен објект во Мексико[16]



Слика 3.10 Повеќекатни објекти од подолжен и мешовит масивен систем

3.1.2 Ред во масивниот систем – конструктивна мрежа

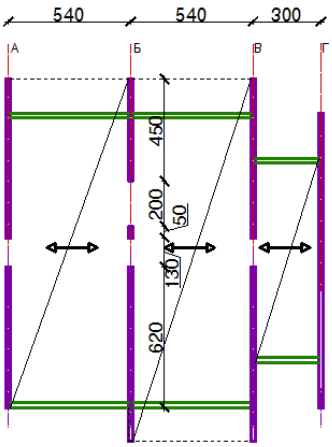
При проектирањето на масивен конструктивен систем применуваме конструктивна мрежа која е формирана од конструктивните оски на носивите ѕидови.

Така разликуваме три конструктивни мрежи:

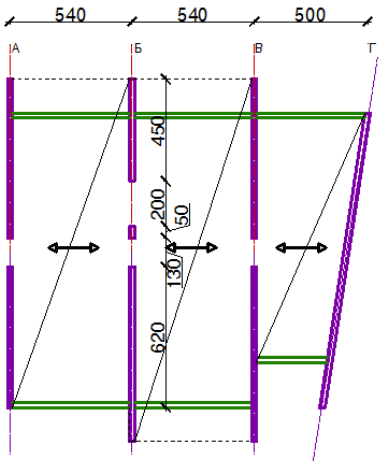
[16] "DPS Apartments / Estudio MMX + Olga Romano," ArchDaily, June 28, 2019, https://www.archdaily.com/919798/dps-apartments-estudio-mmx-plus-olga-romano.

- → **ортогонална,**
- → **неортогонална,**
- → **криволиниска и**
- → **нивна комбинација.**

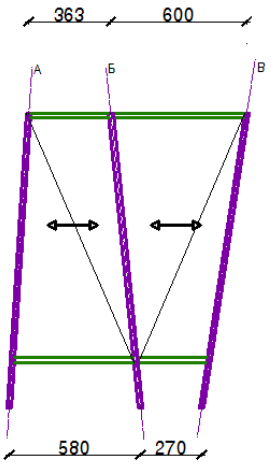
Кај ортогоналната конструктивна мрежа конструктивните оски се поставуваат паралелно и под прав агол меѓу себе, а растојанието помеѓу нив е одредено со мултипликација на конструктивниот модул, слика 3.11.а, слика 3.11.в. Кај неортогоналната мрежа конструктивните оски не се паралелни и не се поставуваат под прав агол меѓусебе, слика 3.11.б.

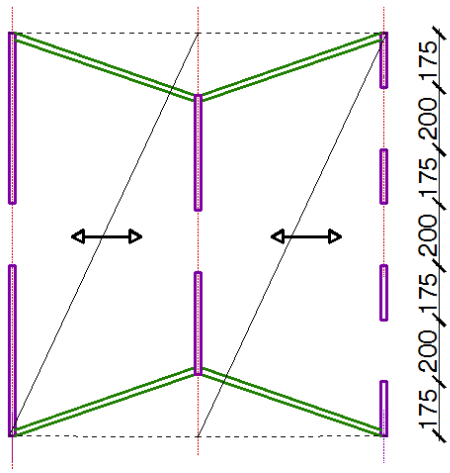


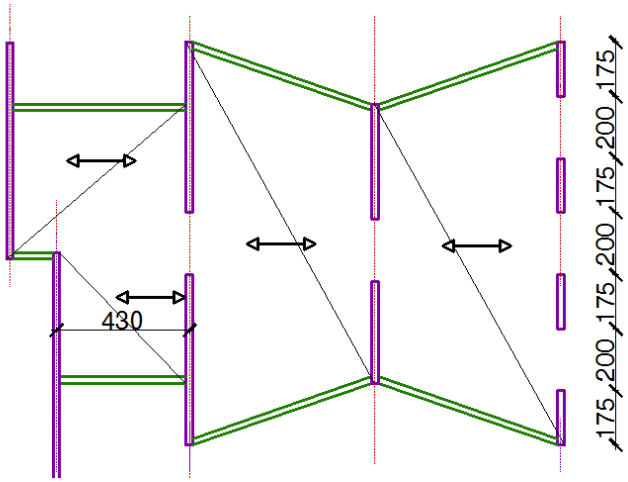
Слика 3.11.а. Ортогонална мрежа



Слика 3.11.б. Неортогонална мрежа



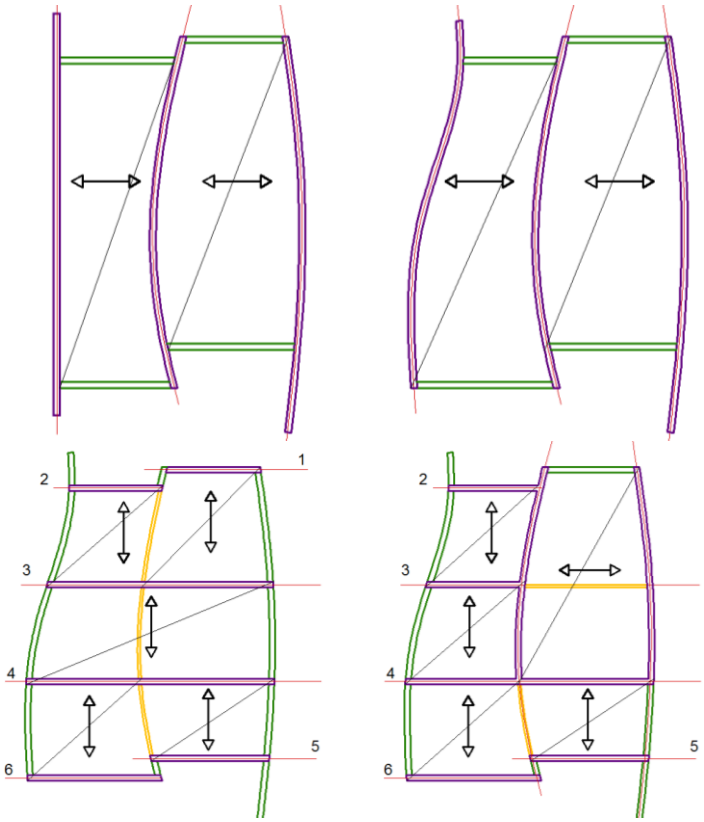




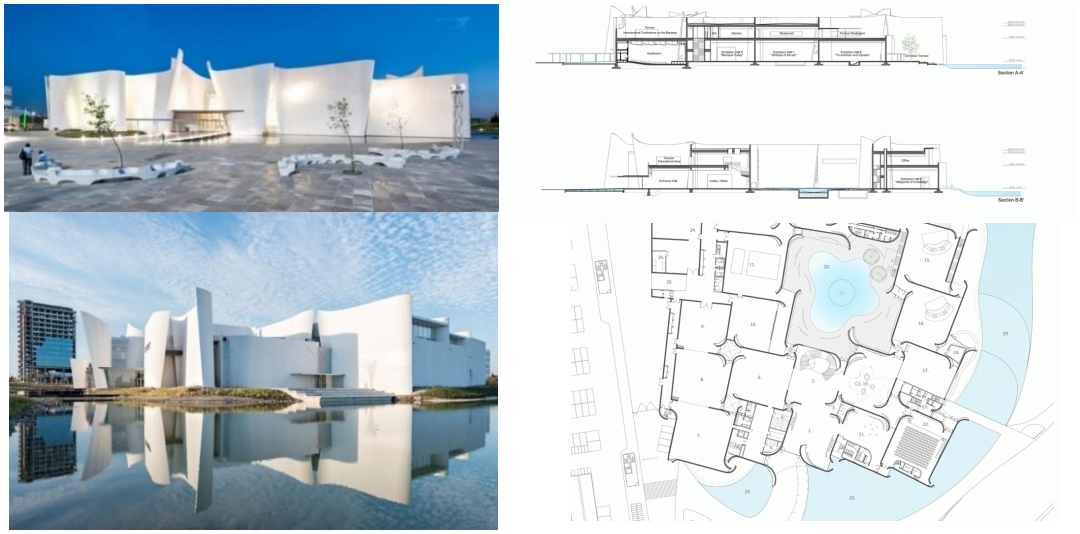
Слика 3.11.в. Ортогонална мрежа

Слика 3.11 Ортогонален и неортогонален систем

Исто така, масивниот систем може да се проектира и во слободна (органска), криволиниска мрежа, слика 3.12, слика 3.13, во која владее ред постигнат преку систем на пропорции, примена на модул итн.



Слика 3.12 Масивен систем во криволиниска мрежа и комбинација со ортогонална мрежа



Слика 3.13 Интернационален музеј на барокот[17]

[17]"https://www.dezeen.com/2016/04/29/museo-internacional-del-barroco-toyo-ito-fluted-white-concrete-walls-baroque-art-museum-mexico/.

3.2 Недостатоци на масивниот систем

Масивниот конструктивен систем има неколку недостатоци на кои треба да се обрне внимание при нивното решавање, како:

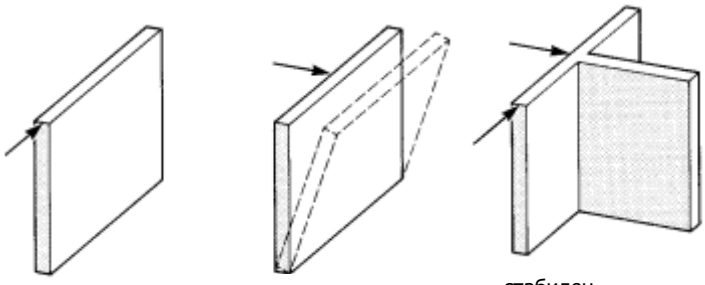
1. стабилност на системот во двата правци на основата,
2. димензија на отворите во носечките ѕидови,
3. можна појава на термички мостови[18],
4. пренесување звук низ носечките ѕидови и меѓукатната плоча,
5. голема сопствена тежина и неекономичност.

Ќе се осврнеме само на првите два недостатока, додека останатите се надвор од опфатот на наставната материја.

3.2.1 Стабилност на системот

Недостаток на масивните системи со носечки ѕидови во еден правец е што тие имаат голема крутост во правецот на носечките ѕидови, но мала крутост во попречниот правец, кој е нормален на носечките ѕидови, слика 3.14-3.15.

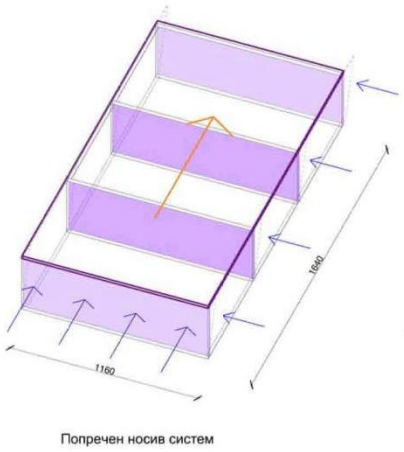
Оттука, за подобрување на крутоста на масивниот систем, потребно е да се предвидат носечки ѕидови во спротивниот правец и со тоа да се формира мешовит масивен систем. Кај армиранобетонски масивен систем важна е вкупната површина на носечки ѕидови во двата правца со цел да се обезбеди крутоста на системот по x и y правецот во основата на објектот, слика 3.14-16.



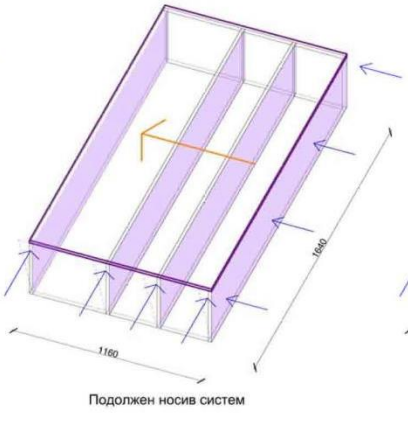
Слика 3.14 Вкрутување на носив ѕид нормално на неговата површина

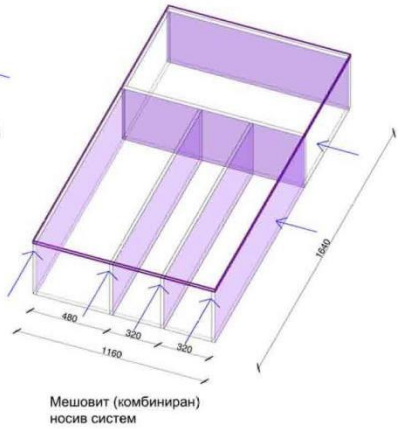
Растојанието помеѓу попречните носечки ѕидови зависи од крутоста на носечкиот ѕид, како и геометријата на објектот, товарите и слично. Масивниот систем може да се проектира како безгредов систем, а доколку е потребно, може да се појават и греди во системот од носечки ѕидови.

[18] Овие аспекти ќе се обработат во темите: ѕидови и меѓукатна конструкција.



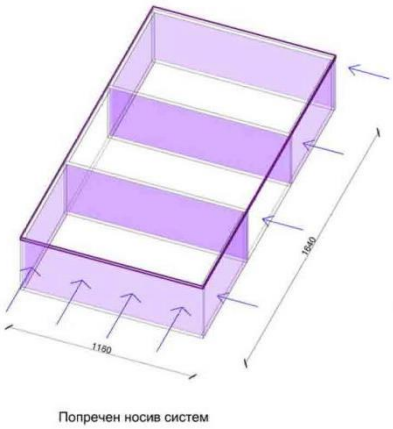
Слика 3.15.а. Нестабилност на систем во правец попречно на носечките ѕидови

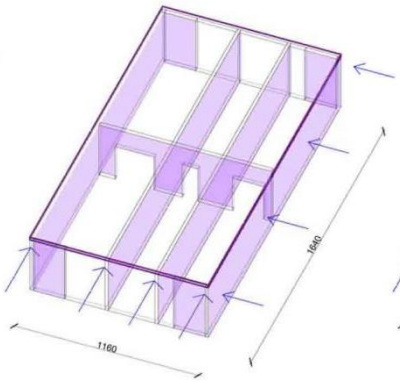


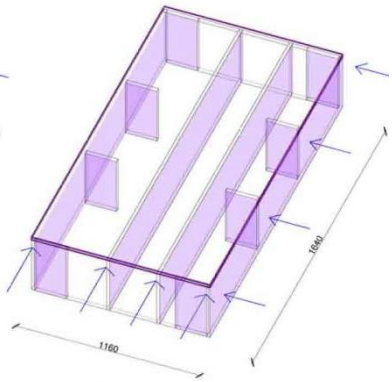


Слика 3.15.б. Мешовитиот систем е вкрутен во двата правци

Слика 3.15 Вкрутување на масивен систем







Слика 3.16 Можни начини за вкрутување на масивен систем

3.2.2 Отвори во носечки ѕидови

Во носечките ѕидови може да се формираат отвори за врати и прозорци, иако со значајни ограничувања. Носечките ѕидови носат со својата површина и поставувањето отвори ја намалува нивната ефективна површина со која тие носат. Во таа смисла масивниот систем ја ограничува слободата на архитектонскиот простор и ги ограничува димензиите на отворите за прозорци и врати во носечките ѕидови. Но, и покрај овој недостаток, со умешно познавање на системот и материјалите, архитектите можат да проектираат современи архитектонски дела, слика 3.17.

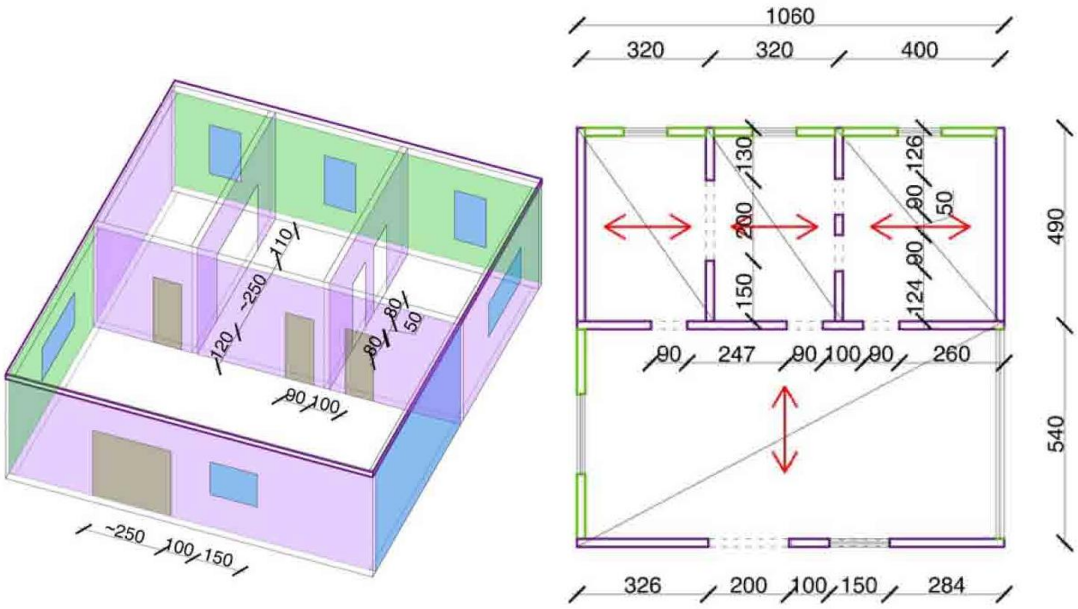
Слика 3.17 Отвори во носечки ѕидови[19]

При димензионирањето на отворите кај носечките ѕидани ѕидови, се водиме по следните принципи, слика 3.18:

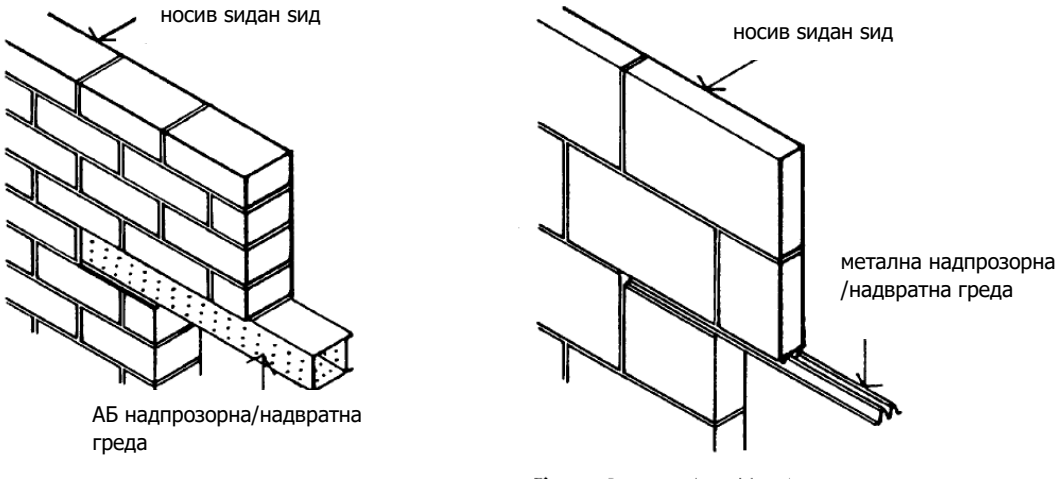
- → Емпириска насока за димензионирање на отворите за прозорци и врати во носечките ѕидови е: широчината на отворите да изнесува до 2,5 m (одредени случаи до 3.5 m), а во зависност од степенот на сеизмичност на подрачјето каде се гради објектот. Прецизно одредување на димензиите на отворите се врши со статичка и сеизмичка пресметка.
- → Широчината на растојанието помеѓу отворите да не е помало од 2/3 од широчината на самиот отвор за прозорец/врата.
- → Отворот може да се зголеми за 30% ако се врами со армиранобетонски елементи, поврзани со либажи во височина на меѓукатните конструкции.
- → Димензијата и бројот на отворите (прозорци, врати и сл.) кај неносечките ѕидови не е ограничена.

Носечките ѕидови, освен како армиранобетонски, може да бидат и изведени од елементи за ѕидање, а кои е потребно дополнително да бидат зајакнати, иако во современото градежништво ретко се применуваат. Формирањето отвори кај ѕидовите од ѕидани елементи е прикажано на долната слика и се прави со поставување на надпрозорна или надвратна греда изведена од **армиран бетон, камен или метален профил**, а со која се премостува отворот, слика 3.19.

[19] https://www.re-thinkingthefuture.com/case-studies/a7612-zollverein-school-of-management-and-design-by-sanaa-set-inbetween-history/



Слика 3.18 Отвори во носечки ѕидови



Слика 3.19 Премостување отвор кај ѕидан ѕид[20]

3.3 **Материјали и изведба на носечки ѕидови**

Масивните системи во минатото се изведувале како ѕидани ѕидови од камени блокови или тула, а во денешно време масивните системи најчесто се изведуваат од армиран бетон. Носечките ѕидови може да бидат изведени од различни материјали, како:

1. полна тула,
2. камен,

[20] Robin Barry, *The Construction of Buildings, Volume 1*, 7th edition (Oxford, UK ; Malden, MA: Wiley-Blackwell, 1999).

3. бетонски блокови,
4. армиран бетон.

Значајни историски објекти сведочат за знаењето и умешноста на градителите од различни временски и цивилизациски епохи да го обликуваат каменот за нивното создавање, слика 3.20.

Слика 3.20.а. Градска порта во Микена

Слика 3.20.б. Киклопски ѕид во Олантајтамбо

Слика 3.20 Носиви ѕидови од камен

Иако масивниот систем има поретка примена споредено со скелетниот систем, тој е често пати употребуван кај објекти кои заземаат значајно место во современата архитектура на Европа, особено по периодот на модерната кога се употребуваат префабрикувани[21] масивни системи.

3.3.1 Ѕидани носечки ѕидови

Носечките ѕидови изведени од тула, камен или бетонски блокови се нарекуваат **ѕидани носечки ѕидови**. Така, **под ѕидарија се подразбира ѕидан ѕид кој е создаден од основните структурни елементи (тули, блокови и сл.), а кои се поставени на одреден начин и поврзани меѓусебе со малтер или друго врзно средство.** Ѕидаријата е нехомоген, неизотропен композитен елемент, кој може да постои во различни форми и да е составен од елементи со различна форма, големина или физички карактеристики. За ѕидови ги сметаме оние елементи чиј однос на страните на попречниот пресек е поголем од 5.

Носивоста на притисок на ѕидаријата зависи од повеќе фактори, како:

→ носивост на малтерот,

→ носивост на елементите (тулите),

[21] Префабрикацијата е технологија на изведба со која елементите се изведуваат во фабрика, а се монтирани на местото каде што се гради објектот. Префабрикуваните системи се напредни системи кои се сретнуваат и во Македонија, како што се населбите со повеќесемејни станбени згради во Карпош, кои се изведени од АБ префабрикувани носиви ѕидови и други примери.

- → релативни вредности на носивост на тулите и малтерот,
- → сооднос на височината и должината на ѕидот,
- → ориентација на елементите во однос на насоката на нанесениот товар,
- → дебелината на фугата.

Ѕидањето мора да биде со правилни ѕидарски врски, при што преклопот е најмалку една четвртина до една половина од должината на ѕидниот елемент. Елементите се врзуваат со врзно средство кое формира фуги и **дебелината на хоризонталните фуги не смее да е поголема од 15 mm, а на вертикалните фуги да е помеѓу 10-15 mm.**

Попречните и подолжните ѕидови на зградата мораат да бидат на спојот меѓусебно поврзани со ѕидарско врзување. Должината на одделните ѕидови на зградата изведени од од тули не може да изнесува повеќе од 50 m. Кај ѕидови изведени од тула, растојанието помеѓу попречните носечки ѕидови на зградата кои служат за вкрутување, чија дебелина мора да изнесува најмалку 20 cm, не може да биде поголемо од 7,5 m.

Во сеизмички подрачја како што е Македонија, дефинирани се прописи за проектирање на масивен конструктивен систем, според кои:

- → Ѕиданите конструкции се проектираат со носечки ѕидови во двата ортогонални правци, со дебелина поголема од 19cm.
- → Во подрачја со VII и VIII степен на интензитет на сеизмичност се употребува малтер со најмала цврстина, од M25. Во подрачја со IX степен на сеизмичност се употребува малтер со поголема цврстина од M50[22].
- → За ѕидовите на згради не смеат да се употребуваат елементи од глина со марка помала од M100, ниту елементи за носечки ѕидови од лесен или тежок бетон со марка помала од M75.

3.3.2 Носечки ѕидови од тула

Иако ѕиданите ѕидови од тула и блокови се применуваат неколку милениуми од човековата историја, методите за проектирање вакви ѕидови базирани на научни принципи се развиени во доцниот 20 век.

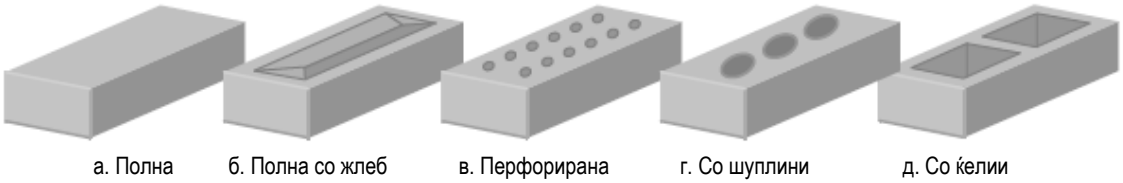
Масивниот конструктивен систем изграден од тула и камен е применуван во минатото кај објектите градени низ еден голем временски период почнувајќи од цивилизациите во антиката (Стар Египет, Персија и др.), продолжувајќи низ Средниот век, ренесансата сè до Новиот век. На слика 3.21 е прикажана црквата Св. Пантелејмон во Скопје, која е многу значајна црква од византискиот период во Македонија изградена од тула.

[22] Марка на малтер е номиналната цврстина на малтерот изразена во MPa.

Слика 3.21 Носиви ѕидови од тула во Св. Пантелејмон[23]

Индустријализацијата на процесот на изработка на тули е започнат во средината на 19 век и денес обликувањето на глината за производство на тулите се одвива преку екструзија или преку обликување во калапи.

Носивоста на ѕиданиот ѕид зависи од повеќе фактори, меѓу кои е и носивоста на неговите составни елементи, т.е. тули или блокови. Постојат различни типови тули како: полни тули, шупливи, фасадни, специјални (лиени по нарачка) итн., слика 3.22.



Слика 3.22 Типови тули

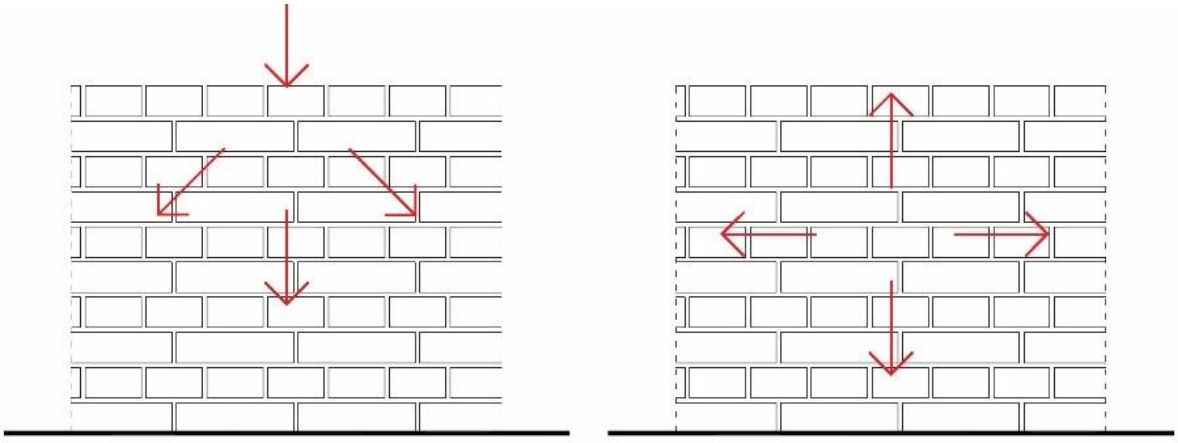
Според материјалот за изработка тулите можат да бидат: калциум силикатна тула, глинена, бетонска тула, лиен камен (симулира природен камен) и др.

Основна стандардизирана димензија на тулата изнесува 6,5/12/25 cm, а може да се сретнат и тули со други димензии во зависност од земјата на производство, како 6,5/10,2/21,5 cm во Британија и др.

Основен принцип при ѕидањето со елементи за ѕидање (тула, камен итн.), е поместување на редовите (слоевите) за 1/2-1/4 од должината на елементот за ѕидање, слика 3.23-3.25. Со таквиот начин на формирање ѕидови се овозможува интеграција и остварување добра врска помеѓу елементите, како и рамномерна распределба на товарите кои тулата ги презема од тулите кои се над неа

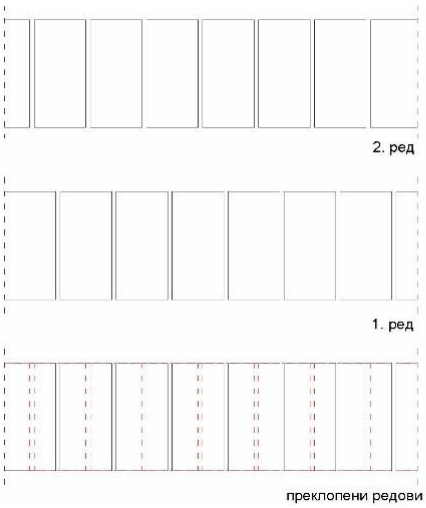
[23] Brko, "St Panteleimon (SV Pantejlemon) in the Village of Gorno Nerezi," Journey Macedonia (blog), April 10, 2016, http://journeymacedonia.com/churchesmonasteries/skopje-eparchy/nerezi-st-panteleimon/.

и ги предава кон тулите под неа, на кои таа се потпира. Повеќе за технологијата на сидање и материјалите ќе се осврнеме во друга книга.

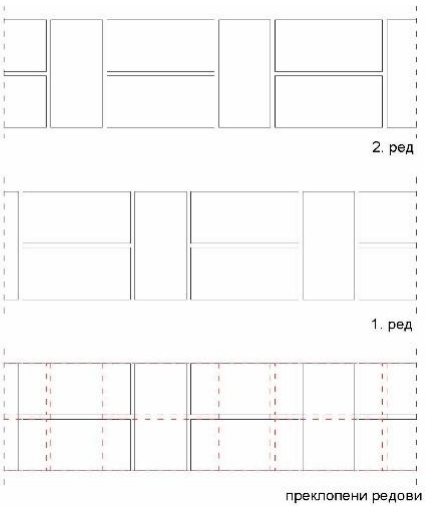


Слика 3.23 Пренесување на товарите низ ѕидот

Начинот на редење на тулите или блоковите во ѕидот формира ѕидарски врски, кои можат да бидат: *англиска ѕидарска врска, готска, фламанска* и др., слика 3.24.



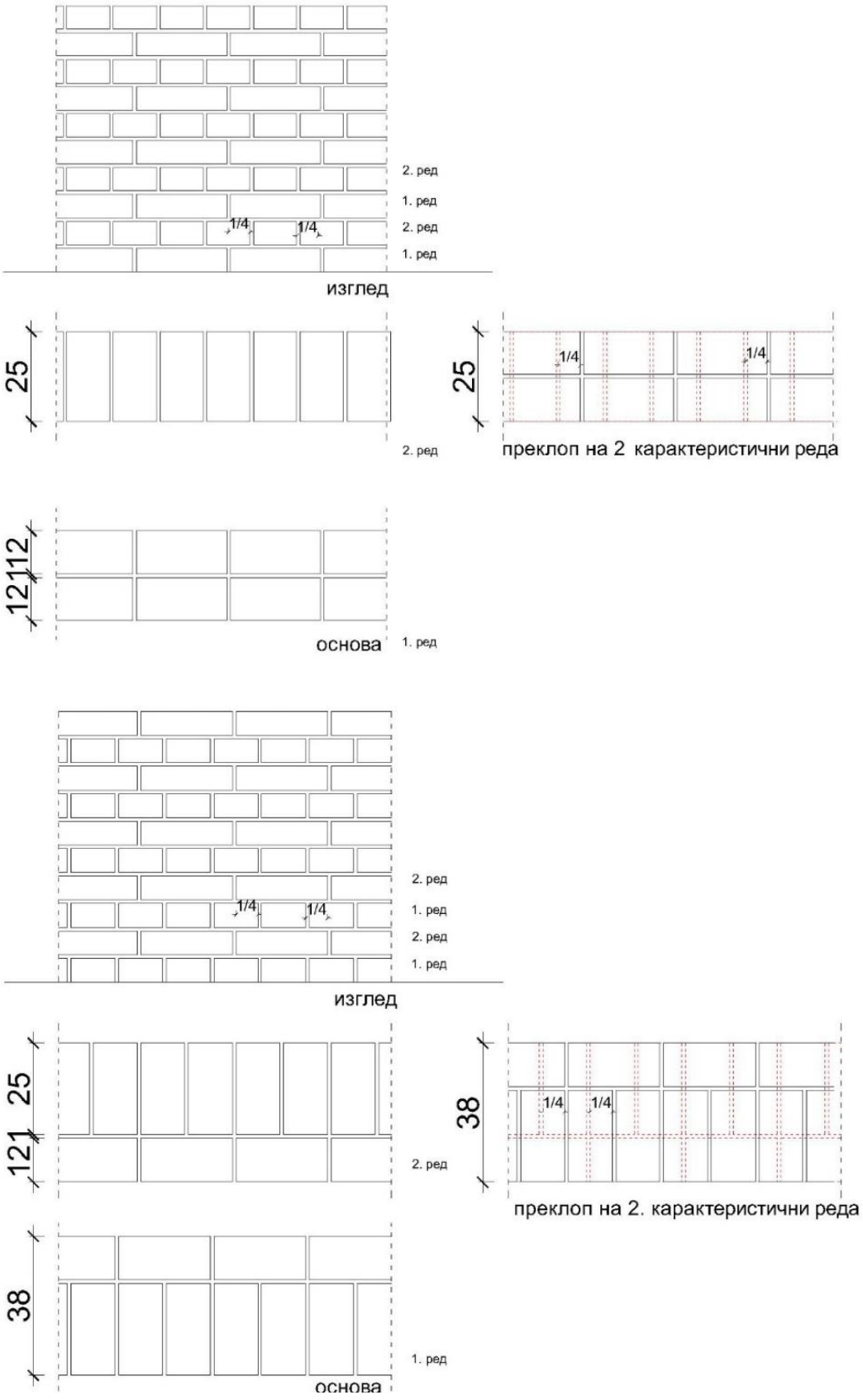
Слика 3.24.а. Англиска врска



Слика 3.24.б. Фламанска врска

Слика 3.24 Типови ѕидарски врски

Според начинот на редењето на тулите се формираат носечки ѕидови со широчина d=25, 38, 51 cm итн., слика 3.24. Различните дебелини се употребуваат во зависност од потребната носивост на ѕидот, која се изразува преку единица мерка - марка на ѕидот (MS).



Слика 3.25 Sидање носиви sидови од тула

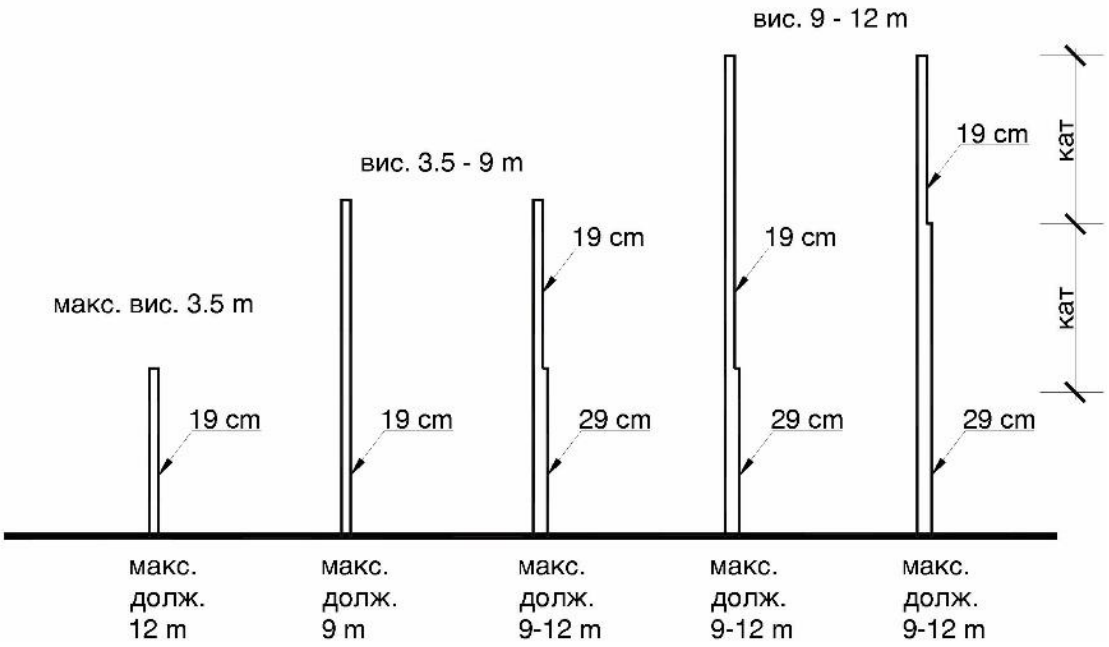
При изведба на масивен конструктивен систем од полна тула ѕидањето на ѕидовите се изработува во продолжен малтер 1:2:6 или 1:3:9, а во подрумите тоа се прави со цементен малтер 1:3, заради подобрена водонепропустливост и јакост на ѕидот што е во контакт со тлото.

Во сеизмички активни подрачја како што е Македонија, при ѕидани носечки ѕидови од тула дозволена е употреба само на продолжен малтер и не е дозволена употреба на чист цементен малтер.

Широчината на носечкиот ѕидан ѕид зависи од повеќе параметри, како што се: товарите, формата на основата итн. Емпириските насоки за одредување на растојанието помеѓу носечките ѕидани ѕидови и во однос на нивната широчината изнесуваат:

- → 5 m за ѕидови со d=19 cm
- → 6 m за ѕидови со d=25 cm
- → 6,5 m за ѕидови со d=30 cm и
- → 7,5 m за ѕидови со d=38 cm.

Кај повеќекатните објекти, дебелината на ѕидот се намалува кон погорните нивоа од објектот, слика 3.26.



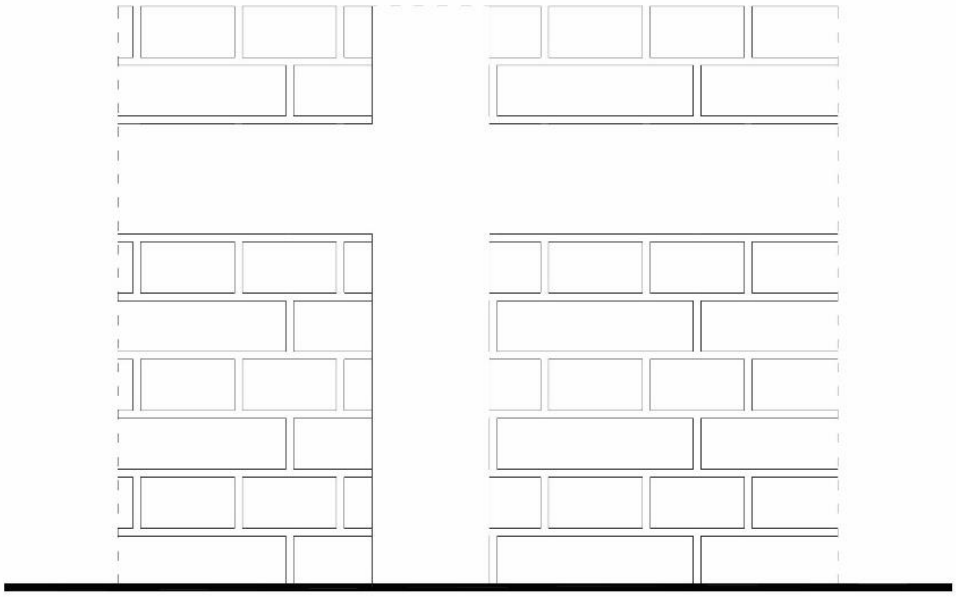
Слика 3.26 Пример за намалување на пресекот на ѕидовите по вертикала

3.3.3 Ѕидови со либажи

Кај ѕидовите се изведуваат хоризонтални и вертикални либажи со цел да се намали свиткувањето на рамнината на ѕидот и со цел рамномерно пренесување на вертикалните товари од меѓукатните конструкции на ѕидовите. Либажите во минатото се изведувале и од дрвени греди, а во денешно време се изведуваат како армиранобетонски.

Хоризонтален либаж се изведува кај сите ѕидови кои имаат широчина поголема од 19 cm. Хоризонталниот либаж може да има широчина колку што е носечкиот ѕид или да е помал за 5 cm (заради поставување термичка изолација), а неговата височина е најмалку 20 cm. Ѕиданите ѕидови со вертикални либажи се ѕидови кои се зајакнати со вертикални столбови поставени во ѕидаријата. Кај носечките ѕидови со поголема должина, максималното растојание помеѓу вертикалните либажи не смее да е поголемо од 5 m. Вертикалните либажи немаат функција за преземање на вертикални товари од меѓукатната плоча туку служат за зајакнување на ѕидот. Вертикалниот либаж мора да биде со дебелина еднаква на дебелината на ѕидаријата и не помал од 19 cm. Вертикални либажи се поставуваат на местото на спојување со друг ѕид, на сите агли на објектот, како и на слободните краеви на ѕидовите.

Со употреба на вертикални и хоризонтални либажи се добива т.н. **врамена ѕидарија,** слика 3.27.



Слика 3.27 Хоризонтални и вертикални либажи

3.3.4 Армирани ѕидани ѕидови

Армирани ѕидови се ѕидани ѕидови со арматура во хоризонталните спојници, арматура во средината на ѕидот и арматура по обемот на надворешните страни на ѕидот, ѕидани во продолжен малтер со цврстина од М50. Армирањето на ѕиданите

конструкции во спојниците се изведува со хоризонтална арматура, при што количината на арматурата мора да изнесува најмалку 2Ф6, на секои 20 cm височина.

3.3.5 Носечки ѕидови од бетонски блокови

Примената на лесни бетонски блокови овозможува релативно брза изведба на носечки ѕидови, без потребното оплатирање како во случајот на лиени АБ носечки ѕидови. Материјалите кои се употребуваат се: бетон, аерирани бетонски блокови и сл.

Лесните бетонски блокови како автоклавните аерирани бетонски блокови, овозможуваат и подобра термичка заштита споредено со армираниот бетон, а воедно и подобра звучна изолација. Бидејќи се полесни од армираниот бетон, тие овозможуваат и поекономична носечка конструкција, темели и сл.

Нивната примена е ограничена во зависност од височината на објектот. Во зависност од видот на блокот, изградбата со блокови може да е ограничена на објекти до 20 m, односно 6-катни објекти.

Блоковите од автоклавен аериран бетон се на калциум силикатна база и се произведуваат во стандардни должини од 60 cm и височина од 25 cm, а дебелината може да варира во зависност од потребите. Исто така се изработуваат и фасонски елементи за специфични позиции од објектот, како надвратник, надпрозорник итн.

Должината на одделните ѕидови на зградата изведени од бетонски блокови во непрекинато ѕидарско врзување не може да изнесува повеќе од 40 m.

3.3.6 Ѕидови од армиран бетон

Масивниот конструктивен систем во денешно време најчесто се изведува од армиранобетонски носечки ѕидови. Како и за останатите носечки ѕидови, димензионирањето на ѕидовите од армиран-бетон се врши со статичка и сеизмичка пресметка, а е во зависност од распоните, товарите, геометријата на објектот и сл.

Во продолжение се зададени неколку принципи на проектирање на носечките ѕидови, како:

- → Односот на височината спрема широчината на ѕидот не смее да биде помал од 2.
- → Дебелината на армиранобетонските ѕидови вообичаено изнесува 15-20 cm при конвенционални распони од 3-6 (8) m (прецизно се утврдува со статичка и сезмичка пресметка).
- → Површината на попречниот пресек на носечките ѕидови не смее да биде помала од 1.5% од бруто-површината на основата на објектот.
- → Димензиите на отворите во носечките ѕидови се избираат на тој начин што помалку да ја намалуваат носивоста при сеизмичко дејство.

3.3.7 Изведба на армиранобетонскиот масивен конструктивен систем

Според технологијата на изведба, масивниот носив систем може да се изведе на три начина и тоа како:

1. **Лиен (монолитен) начин на изведба –** значи дека **вградувањето на армираниот бетон се прави на самото место.** Потребна е изведба на оплата во која се поставува арматура и се врши лиење на бетонот во оплатата. На тој начин се формираат носечките елементи при што се создаваат **монолитни и крути врски помеѓу конструктивните елементи**, слика 3.28.
2. **Префабрикуван (монтажен) начин на изведба –** подразбира дека носечките ѕидови во форма на блокови или панели **се изведуваат во фабрика, а се монтираат на градилиштето од објектот, со што се формира конструктивниот систем**, слика 3.29.
3. **Полупрефабрикуван (полумонтажен) начин на изведба –** значи дека се применува комбинација на лиени и префабрикувани елементи, слика 3.30.

Слика 3.28 Носечки ѕидови од „натур“ бетон[24]

[24] Авторска фотографија.

Слика 3.29 Префабрикувани АБ-ѕидни панели[25]

Слика 3.30 Полумонтажни ѕидови од префабрикувани бетонски блокови[26]

При начинот на изведба со префабрикација, ѕидните панели со кои се формираат носечките ѕидови, се монтираат во објектот и потребно е да се поврзат меѓу себе, како и со останатите конструктивни елементи од објектот, како: меѓукатната конструкција, темелната конструкција и сл., слика 3.31. Поврзувањето на елементите се прави на повеќе начини, како: заливање, анкерување и сл.

[25] https://www.bft-international.com/en/artikel/bft_Cutting-edge_technology_for_DSK_Blok_in_St._Petersburg_1868231.html
[26] https://www.constructionspecifier.com/durable-waterproofing-for-concrete-masonry-walls-redundancy-required/

Слика 3.31 Изведба на префабрикувани носечки АБ-ѕидови[27]

Изведбата на носечки ѕидови на самото место во случај на високи објекти се прави со т.н. лизгачка оплата. Бидејќи за секој носив ѕид најпрвин е потребно да се постави оплата, со цел да се искористи еднаш поставената оплата, по завршување на бетонирањето, таа наместо да се демонтира и помести кон горниот кат, како една целина се придвижува нагоре, со што се заштедува време, правејќи ја изведбата поекономична, слика 3.32.

Слика 3.32 Изведба на АБ-носечки ѕидови со лизгачка оплата[28]

Изведба со лиење на армиранобетонски носечки ѕидови може да биде и со т.н. тунелска оплата, која е прикажана на слика 3.33.

[27] https://www.hillandgriffith.com/
[28] Ibid.

Слика 3.33 Изведба на АБ-носечки ѕидови со тунелска оплата[29][30][31]

[29] https://www.pranavinfra.com/project-details.htm?handlerType=static&page=project-details&project_id=1
[30] https://risemedia.net/2019/07/16/global-construction-sealants-market/
[31] https://www.researchgate.net/publication/258239549_Seismic_performance_evaluation_of_tall_and_nonseismic-designed_wall-type_structures_by_shaking_table_tests_published/figures?lo=1

4 Скелетен конструктивен систем

„...архитектурата треба да ги задоволи потребите на луѓето. Јас мислам дека луѓето сакаат да се чувствуваат добро во просторот... Од една страна е потребно да се обезбеди засолниште, но исто така се работи за овозможување задоволство (на корисниците, н.з.)."

Заха Хадид

Скелетниот конструктивен систем се јавува како потреба за поефикасно, поекономично и порационално решавање на конструктивниот систем на објектот, односно со помала количина на употребен градежен материјал, споредено со масивниот систем, поефикасно да се премостат распоните и да се пренесат товарите до тлото. Овој навидум едноставен рационален пристап им отворил можности на старите градители за создавање безвремени архитектонски дела, при што културолошките и технолошките достигнувања на цивилизациите, нивните светогледи и аспирации биле изразени низ објектите, а воедно и низ скелетниот конструктивен систем, слика 4.1.

Слика 4.1 Скелетен систем на египетски храм во Луксор[32]

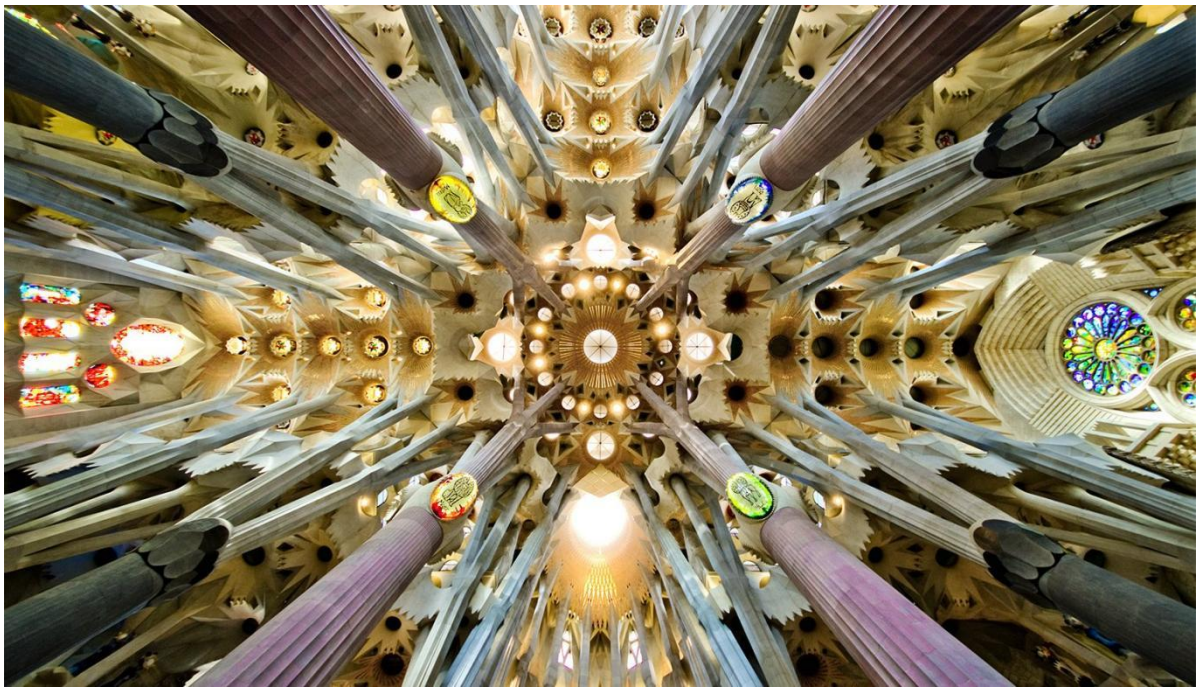
Така, умешноста на градителите зависи многу повеќе само од нивното едноставно познавање на градежниот материјал и можностите за неговата обработка и создавање конструкции. Потрагата за убавите пропорции на објектите и стремежот за создавање убавина резултира со создавање архитектонски објекти кои ги отсликуваат

[32] https://mark-tisdale.pixels.com/

културните и естетските вредности на цивилизациите, нивните градители и општества. Создавањето добра архитектура се рефлектира подеднакво низ целиот објект, вклучувајќи ја и неговата носива конструкција.

Во минатото скелетниот систем се изведувал од тогаш достапните материјали, како: камен, дрво и тула, а во денешно време најчесто се применуваат армираниот бетон, челикот и дрвото. Притоа, развојот на градителската технологија им овозможил на градителите да изведат импресивни, сложени и безвремени архитектонски дела, притоа искористувајќи ги можностите на материјалите за нивно обликување до крајните граници.

Еден таков пример на скулптурално обликување на столбовите е катедралата *Саграда фамилија* проектирана и делумно градена под раководството на архитектот Антонио Гауди, чие завршување се очекува во наредните години, по повеќе од 100-на години изградба, слика 4.2.

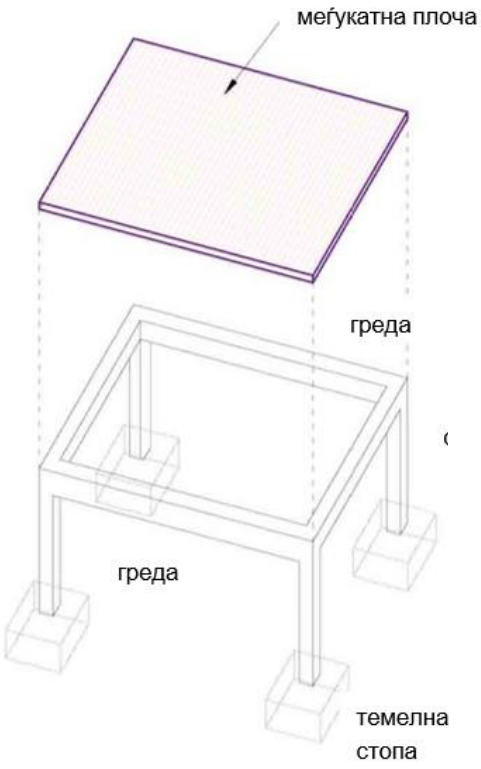


Слика 4.2 Категралата Саграда фамилија[33]

Скелетниот конструктивен систем се состои од следните носечки елементи, слика 4.3:

- **меѓукатна плоча,**
- **столбови,**
- **греди**
- **и темели.**

[33] Авторска фотографија.



Слика 4.3 Основни носечки елементи на скелетен систем

Товарите преку меѓукатната плоча се пренесуваат на гредите, кои ги пренесуваат до столбовите, а преку темелите тие се пренесуваат врз тлото.

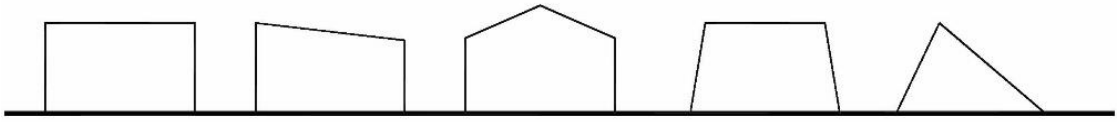
Со примената на столбови и греди формираме два типа системи и тоа:

- → **рамковен и**
- → **скелетен систем.**

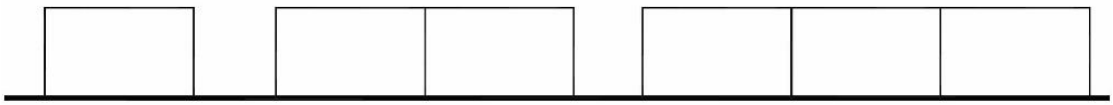
4.1 **Рамковни системи**

Рамковните системи се формираат од т.н. рамки, при што рамката е составена од два столба и греда поврзани со крута врска, слика 4.4.а. Крутата врска овозможува да се пренесат моментите на свиткување, како и трансверзалната и аксијалната сила од хоризонталниот на вертикалниот елемент.

Рамковниот конструктивен систем е површински систем. Рамки на еден етаж (еден кат) се применуваат кај индустриските хали. Со поставување на рамките една до друга се формираат еден или повеќе „бродови" во објектот, слика 4.4.б.



Слика 4.4.а Можни форми на рамки

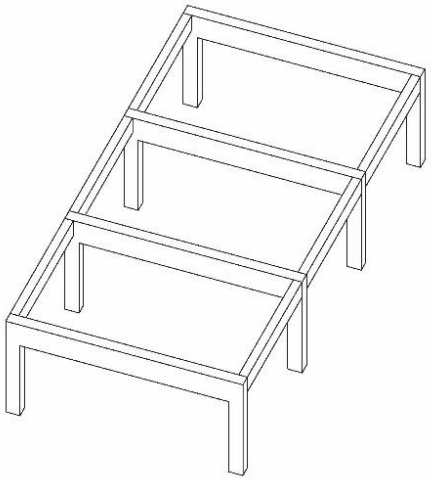


Слика 4.4.б. Мултипликација на „бродови“

Слика 4.4 Форми на рамковен систем

Рамковниот систем може да се смета за најелементарен конструктивен систем на објектите со големи распони, рационален за распон до 20 m, при класична изведба во армиран бетон (зависно од материјалот кој е применет, товарите и спецификациите на системот), бидејќи при поголеми распони од 20 m гредата на рамката добива голема висина, а со тоа и голема сопствена тежина, со што таа станува неекономична.

За совладување поголеми распони може да се употреби преднапрегнат бетон, челик или ламелирано дрво. Така, рамковните системи се употребуваат кај објекти каде што се потребни поголеми распони, како при изградба на хали, мостови и сл. Со додавање рамки по хоризонтала се добиваат т.н. сложени рамковни системи, а со додавање рамки по вертикалната рамнина се работи за повеќе катни објект, слика 4.5.

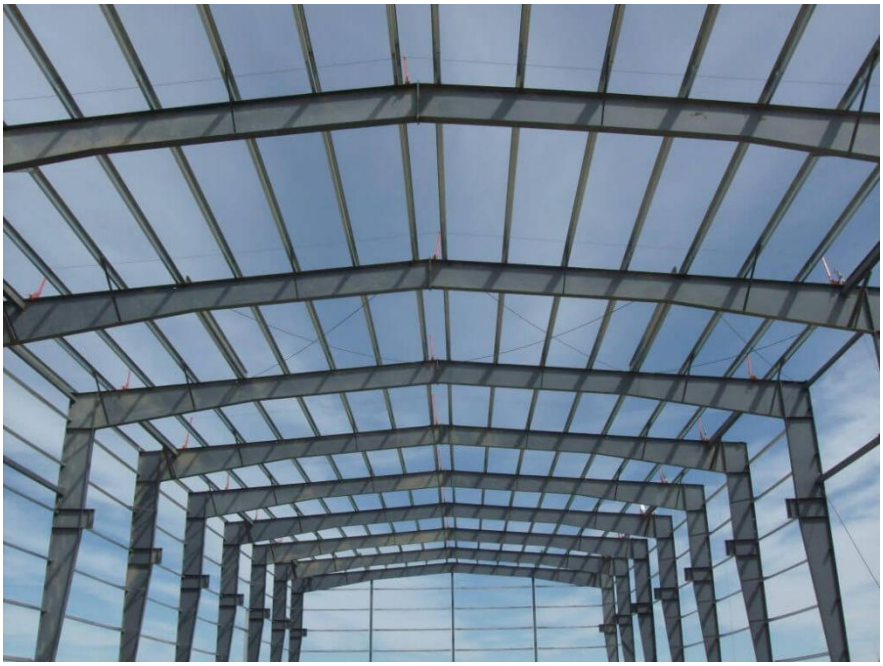


Слика 4.5 Рамковен систем

Овие системи можат да бидат статички одредени или неодредени, а основни типови рамковни системи се: рамка на три зглоба, рамка на два зглоба и вклештена рамка, слика 4.4. Примената на овие типови зависи од видот на почвата, товарите, распоните итн.

Вклештениот систем е најрационален поради минималната потрошувачка на материјалот за изведба на овој систем. За да функционира рамковниот систем, потребно е потпорите на рамката да се непомерливи.

Карактеристика за рамковните системи е што можат да прифатат натоварување кое е нанесено врз нив од кој било правец, но тие го пренесуваат само во својата рамнина формирана од столбовите и гредите, слика 4.6.



Слика 4.6 Рамковен систем кај индустриски објект[34]

4.2 **Скелетен систем**

Со поставување рамки во двата правци во основата на објектот се формира просторна рамковна конструкција, односно **скелетен конструктивен систем[35]**.

Скелетниот систем е просторен конструктивен систем. Тој е најчесто применуван систем во градежништвото денес, поради своите предности во однос на масивниот систем.

Дел од карактеристиките и предностите на скелетниот систем се:

1. пренесување вертикални и хоризонтални товари со помалку вграден материјал,
2. ефикасна искористеност на карактеристиките на материјалите при совладување распони,
3. намалување на некорисниот товар,
4. флексибилност при поставување ѕидови (надворешни и внатрешни) и употребата на просторот,

[34] https://www.cecobuildings.com/
[35] Во литературата може да се сретне и како рамковно скелетен конструктивен систем.

5. можност за примена на лесни преградни и фасадни ѕидови,
6. економичност на изведбата,
7. побрза изведба,
8. флексибилност при поставување отвори (прозорци и врати),
9. можност за префабрикација,
10. поголема дуктилност[36] во споредба со масивниот систем и др.

Кај скелетниот систем или рамковниот систем поврзувањето на гредата и столбот е во т.н. **јазел**. Врската во јазелот помеѓу овие два елемента е крута, што значи дека дека влијанијата од гредата се пренесуваат на столбот и обратно, од столбот на гредата. На слика 4.7 е прикажан скелетен систем на објект кој е изведен од армиран бетон, но скелетните системи можат бидат изведени и од челик, дрво, како и нивно комбинирање.

Слика 4.7 Столбови и греди кај скелетен систем[37]

4.2.1 Столбови

Столбовите се вертикални (или поставени под одреден агол) елементи кои служат пред сѐ за прием и пренос на напрегања на притисок, а се задолжени и за прием на моменти на свиткување (кои првенствено потекнуваат од хоризонтални товари како земјотреси).

[36] Дуктилност е способност на материјалот, односно конструктивниот систем, да издржи одреден степен на деформации сѐ додека не настане губење на конструктивниот интегритет и носивоста, односно сѐ до појавата на лом во материјалот или конструктивниот систем.
[37] Авторска слика

За столбови ги сметаме оние елементи чиј однос на страните на попречниот пресек е помал од 5, а доколку е поголем, тогаш станува збор за ѕидови.

Носивоста на столбовите зависи од нивната попречна површина и виткост, а основен параметар при одредување на димензиите на столбовите е површината на нивниот попречен пресек.

4.2.1 Греди

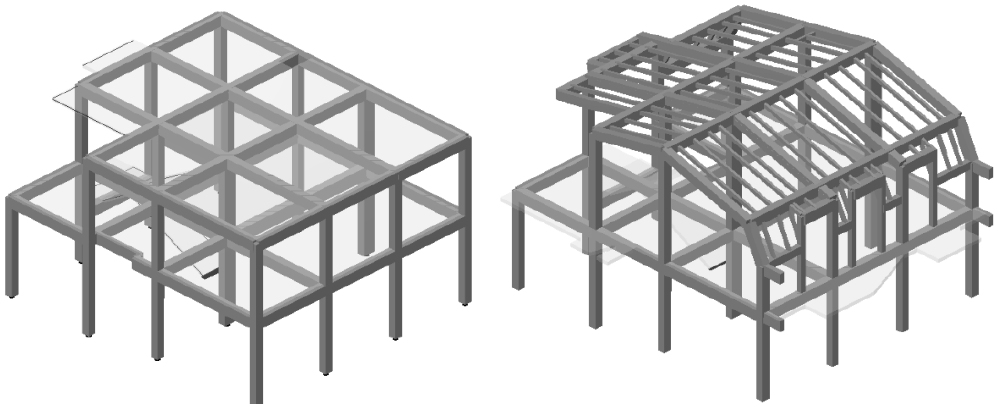
Гредите се носечки конструктивни елементи кај кои што должината е значајно поголема од останатите две димензии. Како што е посочено претходно, гредата е крут структурен елемент, кој служи за пренесување на товарите до потпорите и се најподложни на свиткување.

Во објектите тие се употребуваат како носечки елементи на меѓуспратните конструкции, кај кровните конструкции и кај темелните системи. Гредните носачи се поставуваат како составни делови на посложени склопови, како: рамовски конструкции, скелетен конструктивен системи, гредна скара, решеткасти носачи итн.

Според нивната функција во конструктивниот систем, гредите може да бидат: **примарни, секундарни** итн.

Гредите може да се потпираат на едно или повеќе лежишта. Гредите кои се потпираат на само две лежишта ги нарекуваме **прости греди**, а оние на повеќе од две лежишта се **континуирани греди**.

Гредите може да се проектираат и изведат како хоризонтални или коси греди, слика 4.8.



Слика 4.8 Столбови и греди кај скелетни системи[38]

[38] МДЦ Архитектоника, 2022

4.3 Принципи на проектирање скелетен конструктивен систем

При проектирање на скелетен конструктивен систем треба да се водиме според следните емпириски принципи, како што се:

1. Распони
2. Ред во системот
3. Материјали и изведба

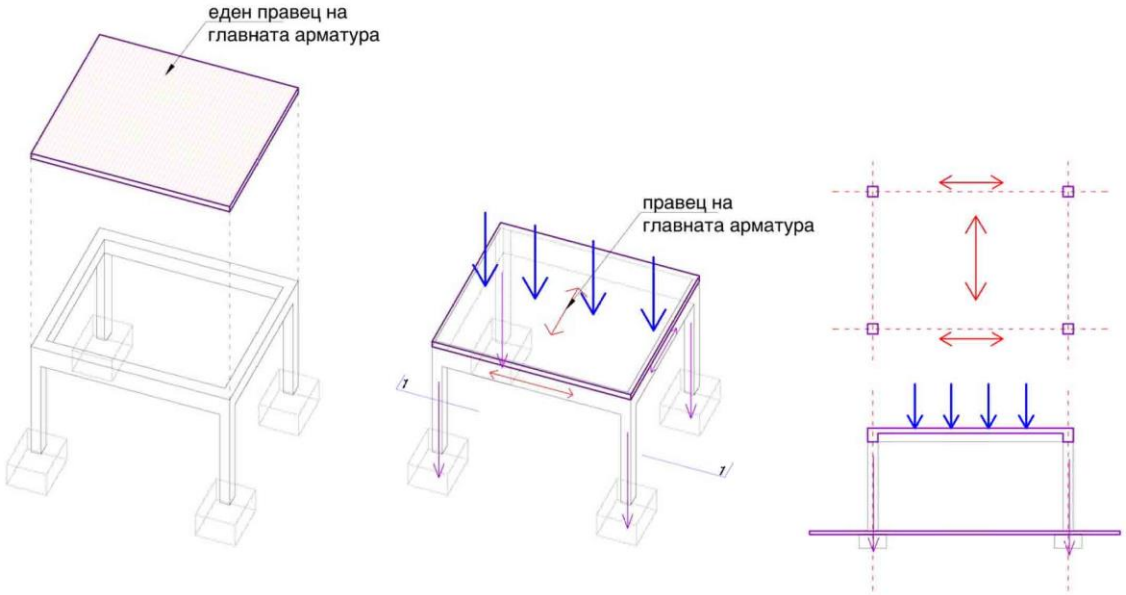
4.3.1 Распони и димензионирање

Оптимален распон кај скелетниот систем изнесува од 3-6 (8) m разгледувано во двата правци на секое поединечно поле кое е дефинирано со греди од сите негови страни.

Во зависност од соодносот на полињата формирани со конструктивната мрежа, меѓукатните плочи може да бидат **еднонасочни и крстасто-армирани плочи, при што:**

→ доколку соодносот на страните е **поголем или еднаков на 2** тогаш се работи за **еднонасочно потпрена плоча**, слика 4.9,

→ доколку соодносот е **помал од 2** тогаш се применува **крстасто-армирана плоча,** слика 4.10.

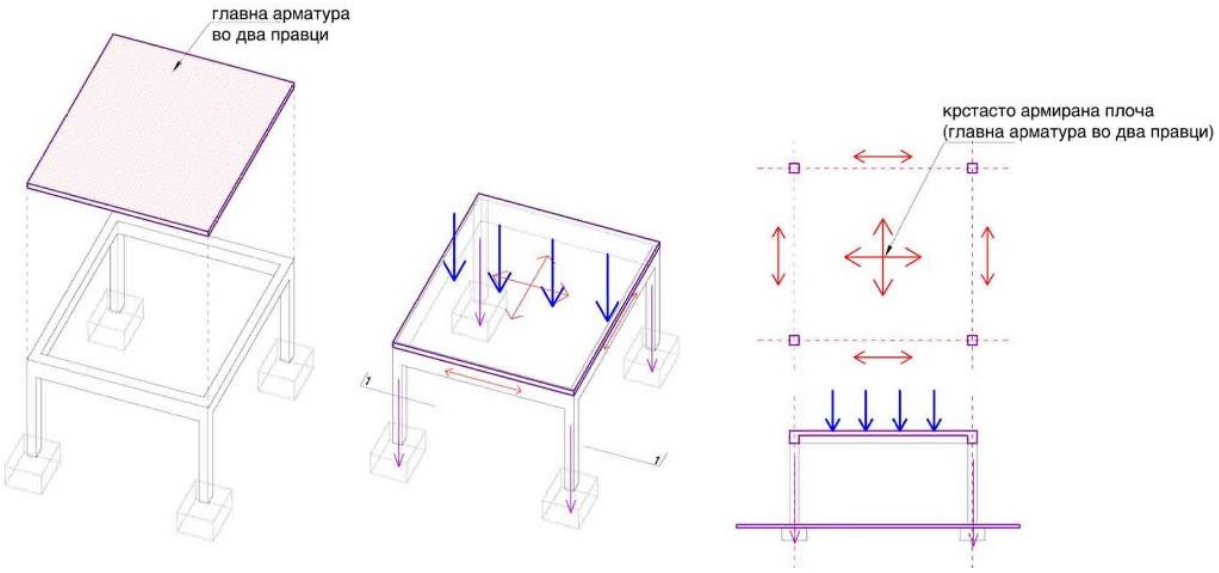


Слика 4.9 Еднонасочно потпрена плоча

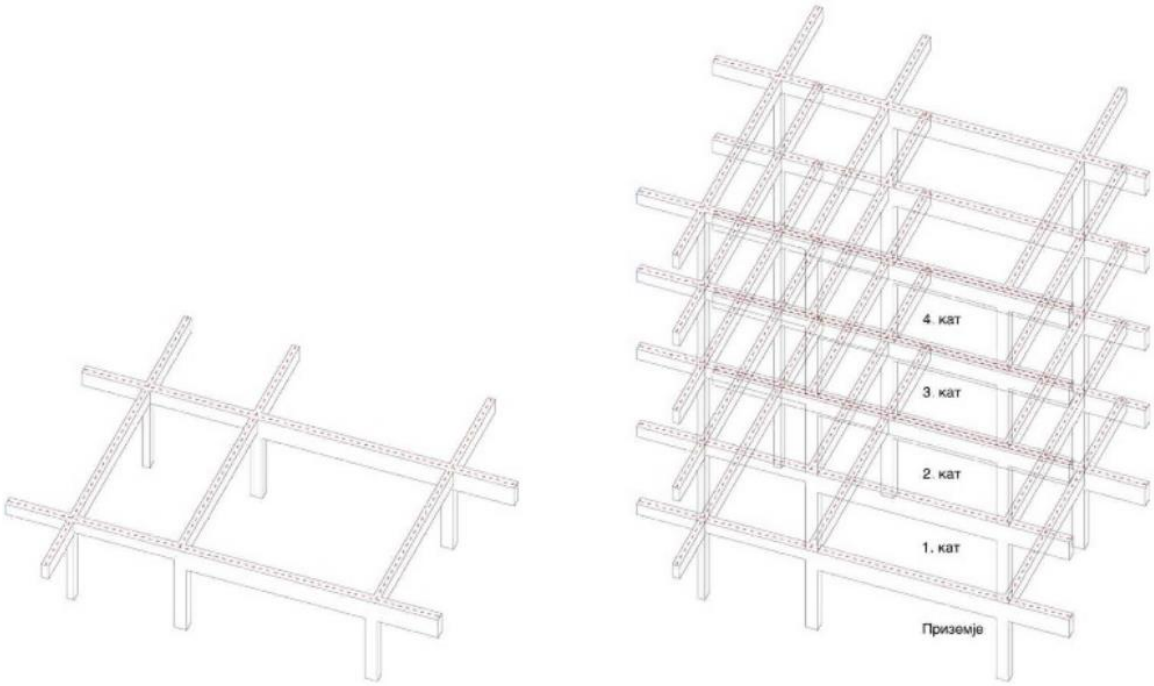
Во скелетен систем може да се употребуваат и поголеми распони од 6 m, како распони до 10-12 m и повеќе, а за што се употребуваат посебен тип меѓукатни плочи

како: ситноребраста, плоча зајакната со греди итн., кои ќе бидат обработени во друга книга.

Скелетниот систем е прикладен за изведба на повеќекатни објекти. Притоа се запазува принципот на вертикално наддавање на столбовите, при што нивната вертикална оска се поклопува во континуитет, слика 4.11.



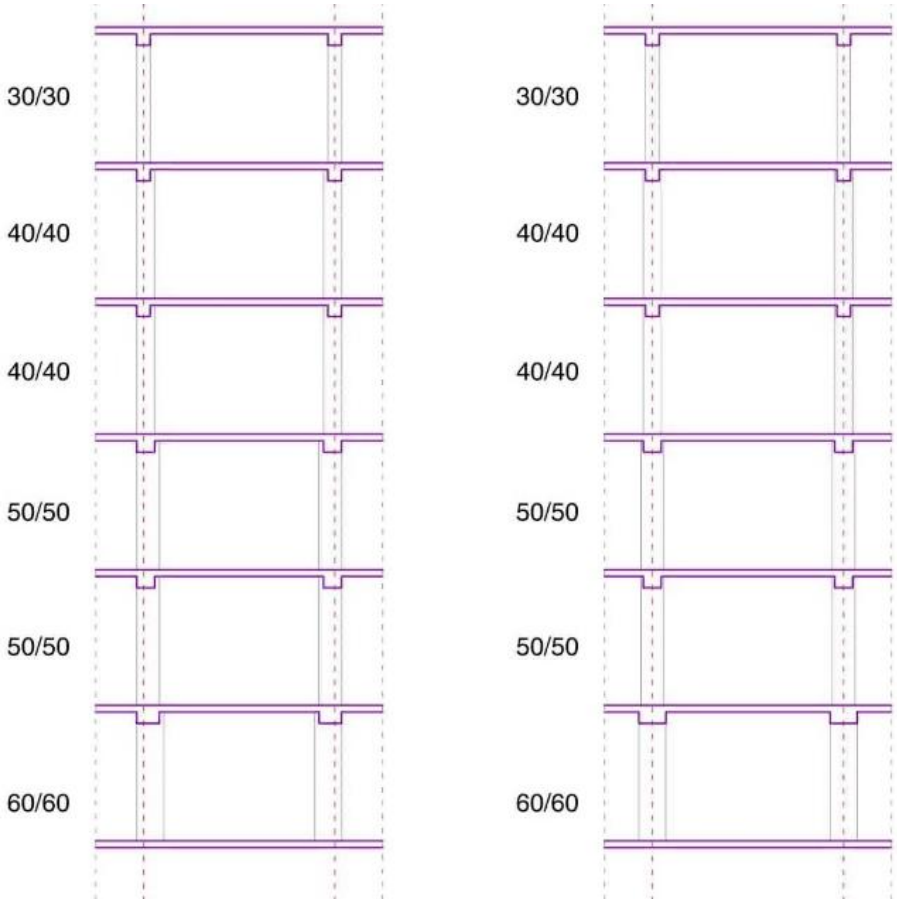
Слика 4.10 Крстасто-армирана плоча



Слика 4.11 Вертикален континутет на конструктивната мрежа

Кај повеќекатните објекти столбовите на различните нивоа имаат и различно ниво на натовареност. Столбовите на најгорните катови поради помалата изложеност на товари од сопствената тежина, преземаат најмалку товари споредено со нивоата под нив.

Односно, столбовите од секое ниво ги преземаат товарите од нивоата над него, со што столбовите на најдолното ниво ги преземаат товарите од сите нивоа. Поради различната натовареност на столбовите, се прави корекција на нивните димензии по височина, така што димензиите на попречниот пресек на столбот се намалуваат со зголемување на катноста, што се утврдува со статичка и семизчка пресметка, слика 4.12.



Слика 4.12 Пример за промена на димензиите на столбовите и гредите

4.3.2 Ред во скелетниот систем

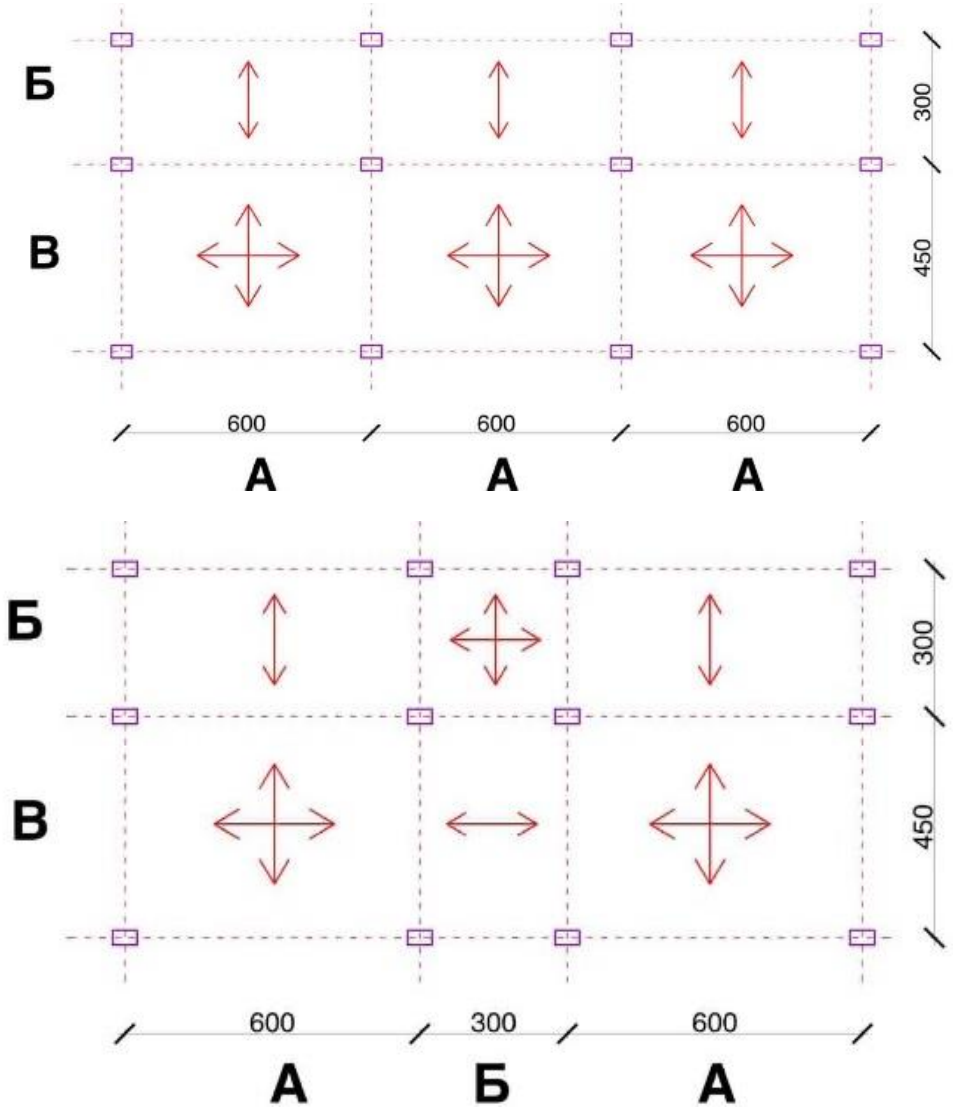
Поредок во конструктивниот систем се обезбедува со примена на конструктивен модул - М30 или нивно комбинирање со М10. Ритамот на поставување столбови во основата може да биде со еднакви распони или комбинација од неколку различни распони, а со цел да се постигне единство на просторите и конструктивниот систем на објектот и да се обезбеди задоволување на функцијата за која објектот е наменет.

Со тоа може да се добие различен ритам на конструктивниот систем, како:

- → А/А/А...,
- → А/Б/Б/А...,
- → А/Б/А/Б...,
- → А/Б/В/Б/А... и
- → многу други можни комбинации на ритам.

Притоа, важно е да се применуваат и различни композициски техники, како: симетрија, повторување, пропорција и сл., слика 4.13.

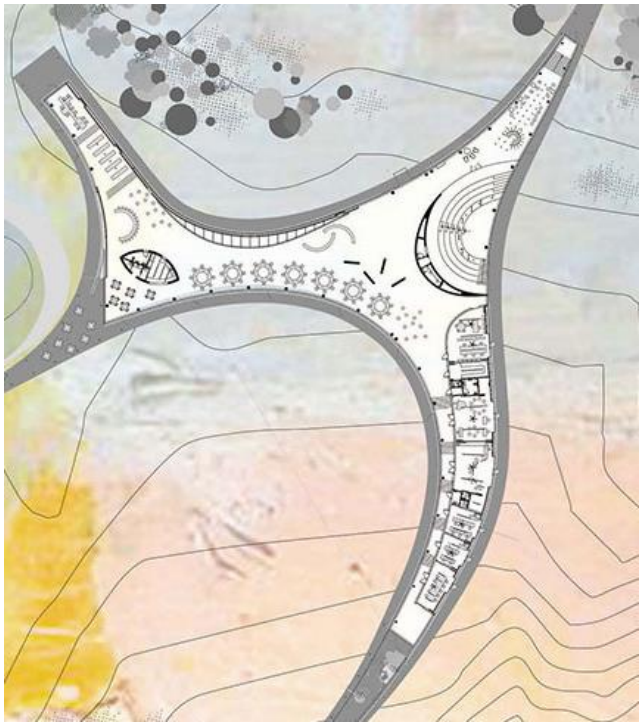
Целта на одбирање соодветен поредок на скелетниот систем е да се постигне интеграција на структурните и архитектонските елементи, односно на позицијата на ѕидовите и распоредот на просторите во објектот во согласност со намената на објектот.



Слика 4.13 Ритам на конструктивната мрежа

Со цел формирање ред, скелетниот систем може да се постави во:

- → **ортогонална мрежа –** конструктивните оски се поставени под прав агол,
- → **неортогонална мрежа –**конструктивните оски или дел од нив се поставени под агол различен од 90°,
- → **криволиниска мрежа –** конструктивните оски се криволиниски, слика 4.14,
- → „**слободна" мрежа** – поставување на столбовите слободно не следејќи прави или криви линии на конструктивната мрежа. Но, сепак и оваа мрежа е базирана на одреден ред, правила и конструктивна логика, слика 4.15.

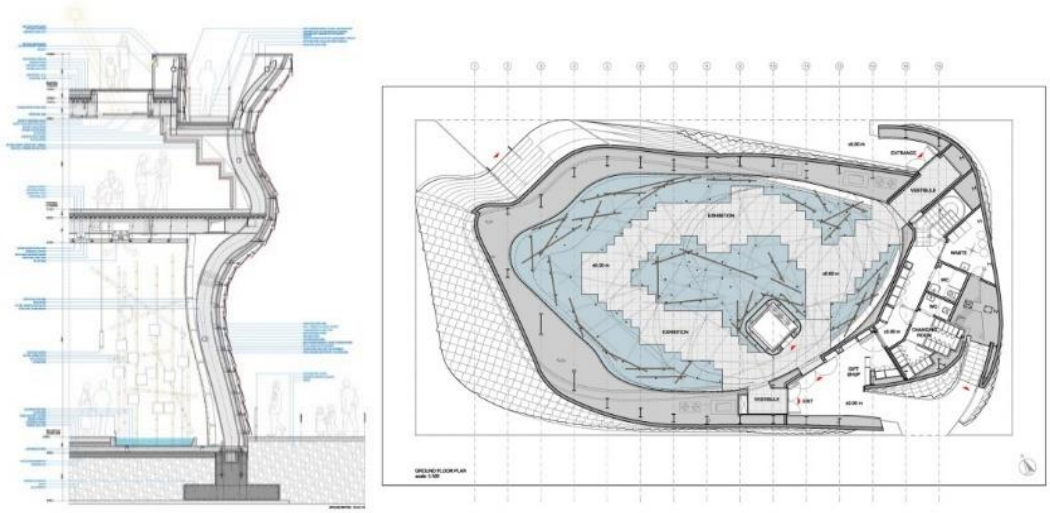


Слика 4.14 Криволиниска мрежа, КОАФ „паметен" центар[39]

[39] http://archeyes.com

Слика 4.15 Слободна мрежа на столбови во Институтот Кангава[40]

Слободата на обликување која ја овозможува скелетниот систем се однесува и по вертикалата на објектот, а особено со примена на скелетен систем од челични столбови и греди, слика 4.16.



Слика 4.16 Павилјонот Ванке[41]

[40] http://archeyes.com

4.4 Материјали и начини на изведба на скелетниот конструктивен систем

Скелетниот конструктивен систем може да се изведе од различни видови градежни материјали, како:

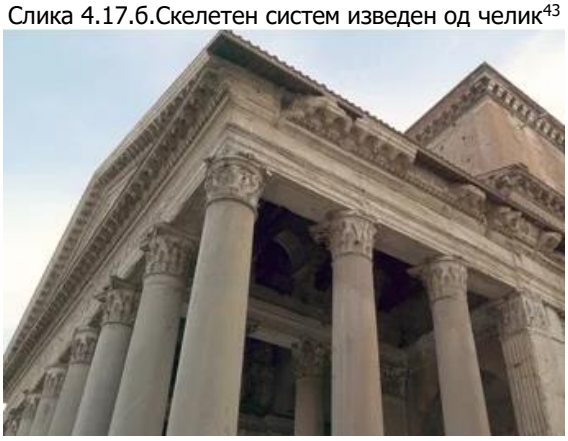
1. армиран бетон, слика 4.17.а,
2. челични конструкции, слика 4.17.б,
3. масивно дрво, лепено ламелирано дрво, слика 4.17.в,
4. камен, тула, слика 4.17.г,
5. комбинација од претходно наведените материјали.

Поради економичноста и достапноста, во нашата земја, скелетниот систем најчесто се изведува како армиранобетонски.

Слика 4.17.а. Армиранобетонски скелетен систем[42]

Слика 4.17.б.Скелетен систем изведен од челик[43]

Слика 4.17.в. Скелетен систем од дрво[44]



Слика 4.17.г. Столбови и греди од камен[45]

Слика 4.17 Материјали за изведба на скелетен конструктивен систем

[41] https://www.archdaily.com
[42] https://depositphotos.com
[43] https://www.dunkerley.co.uk
[44] https://timberdevelopment.uk
[45] https://www.pond5.com

Според технологијата на изведба, односно начинот на градење, скелетните системи може да бидат:

1. **Лиени** (монолитни) – изведбата е на самото место на градилиште.
2. **Монтажни (префабрикувани)** – сите елементи на системот се произведени во фабрика.
3. **Полумонтажни (полупрефабрикувани)** – дел од конструкцијата е произведена во фабрика и се монтира на градилиштето, а дел се изведува на лице место на градилиште.

Кај **лиениот начин, вградувањето на армираниот бетон се прави на самото место.** Се изведува оплата за секој елемент од скелетниот систем, во која се поставува арматура, по што се врши лиење на бетонот во оплатата. На тој начин се формираат носечките елементи при што се создаваат **монолитни и крути врски помеѓу конструктивните елементи**, слика 4.18.

При **монтажниот начин,** армиранобетонските елементи се изведени во фабрика и преку спојни елементи се поврзуваат помеѓу себе на градилиштето, со што се формира скелетниот конструктивен систем.

Полумонтажниот начин на изградба е комбинација на лиениот и монтажниот систем, односно се изведуваат елементи од системот преку лиење и со префабрикација, со чие поврзување се формира скелетниот систем.

Слика 4.18 Изведба на скелетен конструктивен систем со лиење во оплата[46]

[46] МДЦ Архитектоника, 2019.

4.4.1 Армиранобетонски скелетен конструктивен систем

Армиранобетонски столбови

Армираниот бетон, како еден од најчесто применуваните материјали за изведба на скелетен систем, овозможува скулпторално обликување на столбовите и гредите кај скелетниот систем, слика 4.20.

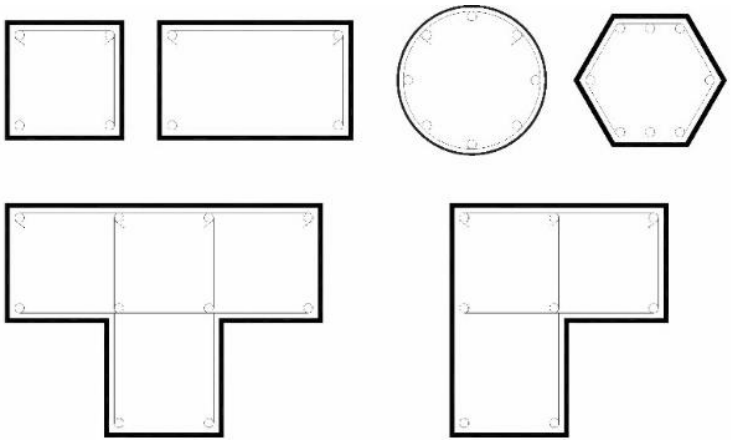
Слика 4.19 Скелетен систем во Вила Савоја[47]

Генерално, во Македонија, армиранобетонските столбови не треба да бидат со димензии помали од 30/30 cm, а нивната точна димензија се одредува со статичка и сеизмичка пресметка, зависно од повеќе аспекти како: распоните, катноста, товарите, сеизмичното подрачје во кое се наоѓа објектот и сл.

Како што е посочено, кај столбовите основен параметар е површината на нивниот попречен пресе. Оттука, формата на попречниот пресек може да биде различна доколку се предвиди потребната површина на пресекот на столбот, слика 4.19.

Пример: доколку се работи за армиранобетонски столб со димензии 30/30 cm, тогаш површината на неговиот пресек е 900 cm^2, а формата може да биде кружна, квадратна итн., во рамки на потребната површина.

[47] Авторска фотографија.



Слика 4.20 Можни форми на армиранобетонските столбови

Армиранобетонскиот скелетен систем, како што претходно е посочено, вообичаено е составен од столбови, греди и меѓукатни плочи. Но, се среќава и скелетен систем без греди, т.н. **безгредов скелетен систем**, каде што улогата на вкрутувањето на гредите, во нивно отсуство ја презема меѓукатната конструкција. Во безгредовиот систем се појавуваат т.н. скриени греди, кои ќе се изучуваат во друга книга.

Кај повеќекатните објекти, столбовите вертикално се наддаваат еден над друг, при што за конструктивно поврзување на столбовите арматурата од долните столбови наизменично се испушта пред да се изведат столбовите од нивото над нив, слика 4.21.

Слика 4.21 Продолжување на арматура во АБ-столбови[48]

[48] МДЦ Архитектоника, 2019

Поставувањето на столбовите по вертикала е еден над друг со надоврзување на нивната конструктивна оска. Иако најчесто тие се исклучиво вертикално поставени, столбовите може да имаат одредена инклинација во однос на нивната вертикална оска, слика 4.22-4.24.

Слика 4.22 Седиштето на Унеско[49]

Слика 4.23 Амбасадата на Италија во Бразилија[50]

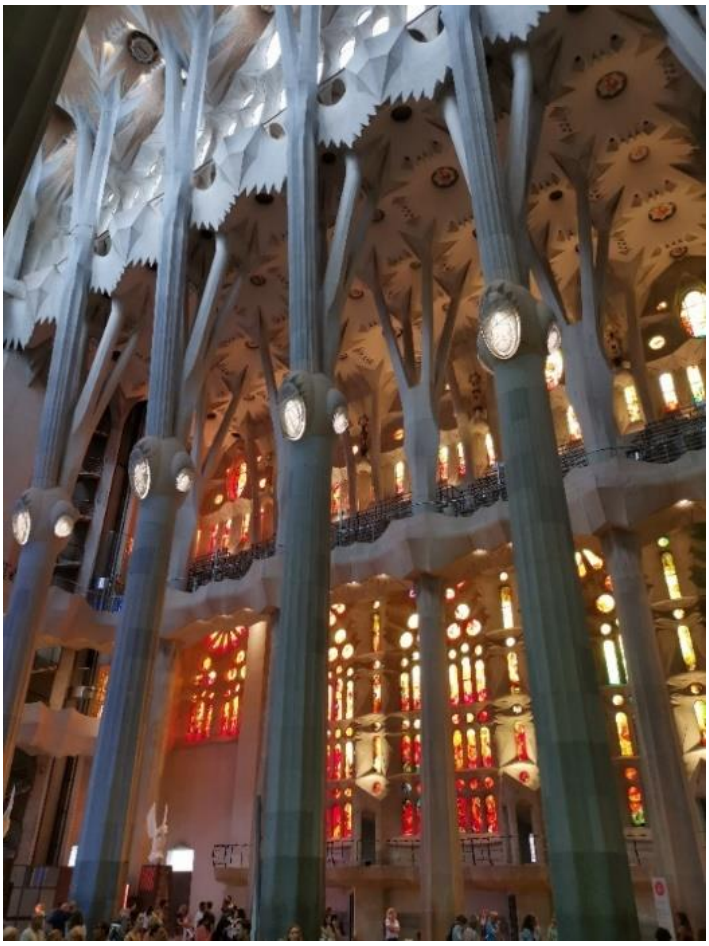
Како што е потенцирано претходно, столбот носи со неговата попречна површина. Односно, за дадена потребна површина на попречниот пресек, столбот може да има различна форма, но, исто така, столбот може да ја менува формата на неговиот попречен пресек по неговата височина, слика 4.25, слика 4.26.

[49] https://www.geoplastglobal.com/en/insights/top-5-pier-luigi-nervi-concrete-constructions/
[50] ibid.

Слика 4.24 Основно училиште во Португалија[51]

Слика 4.25 Зграда на IBM[52]

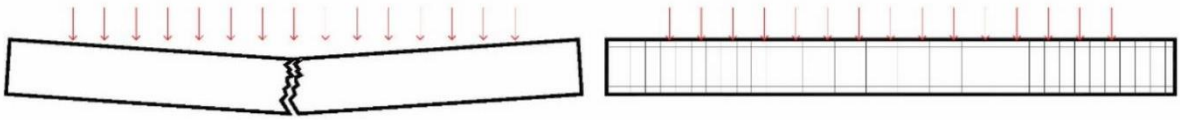
[51] https://www.dezeen.com
[52] Авторска фотографија.



Слика 4.26 Сложено обликување на столбовите во Саграда фамилија[53]

Армиранобетонски греди

При дејство на вертикални товари кај гредите, поради свиткувањето, во долната зона се јавуваат напрегања на затегнување, а во горната зона се јавува напрегање на притисок. Поради тоа, кај армиранобетонските греди, бетонот ги презема напрегањата на притисок, а арматурата ги презема напрегањата на затегање поради што се поставува во долната зона, слика 4.27.



а. неармирана греда б. армирана греда

Слика 4.27 Нермирана и армирана бетонска греда

[53] Авторска фотографија.

Височината на различни типови греди емпириски може да се пресмета според следните формули, слика 4.28:

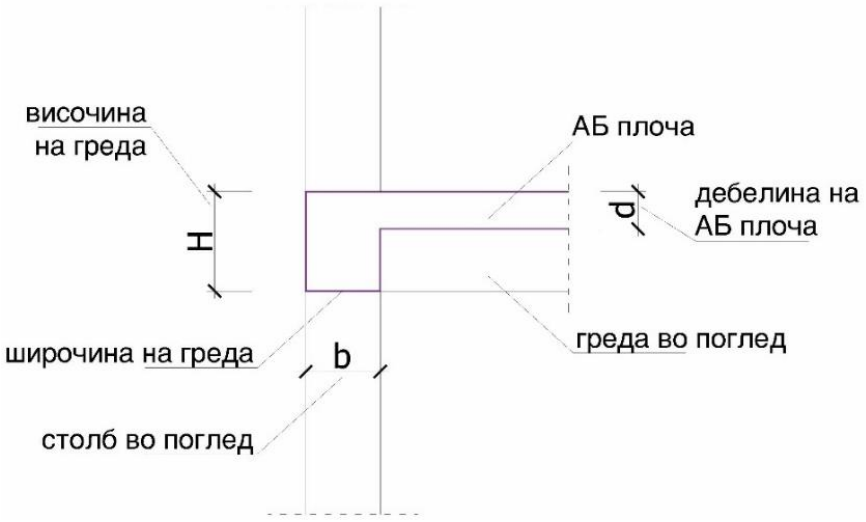
1. **армиранобетонска проста греда** (со константна височина на пресекот)
   h ≈ L/10 - L/12

2. **армиранобетонска греда** (со променлива височина на пресекот)
   во средината на распонот h ≈ L/10 , над потпорите h ≈ L/25

3. **преднапрегнати греди** (со константна височина на пресекот)
   прости греди h ≈ 1/20
   континуирани греди h ≈ 1/20 -1/35

4. **преднапрегнати греди** (со променлива височина на пресекот)
   кај слемето h≈ L/16 – L/14, над потпорите h≈ L/35

При емпириската пресметка на височината на гредите во зависност од распонот, височината на гредата се заокружува на 0 или 5 cm (пр. 40 cm, 45 cm итн.)



Слика 4.28 Височина и широчина на греда

Во гредите се поставува арматура по нејзината должина, а попречно на неа се поставуваат т.н. узенгии, изведени исто така од арматура, слика 4.29.

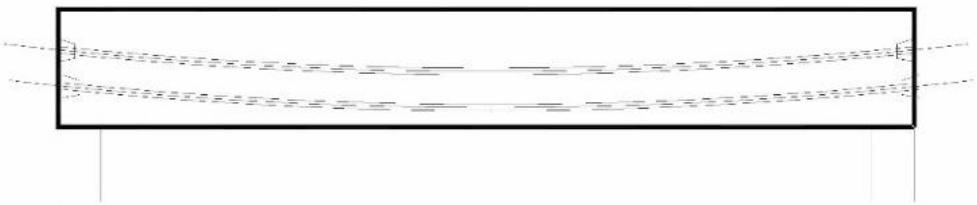
Армиранобетонските греди е пожелно да се изведуваат до распони од 12 m, бидејќи тоа е приближната граница до која широчината на прснатините во затегнатата зона на бетонот ги надминува дозволените граници.

Слика 4.29.а. Армирање греда

Слика 4.29.б. Узенгии

Слика 4.29 Поставување арматура во греда[54]

При распони од 12 – 30 m, потребно е да се изведуваат постнапрегнати или преднапрегнати греди кај кои арматурата е претходно напрегната до границата на нејзино развлекување, а со тоа е однапред постигната нејзина носивост, односно пред да се нанесат товарите на неа, слика 4.30.



Слика 4.30 Постнапрегната/преднапрегната греда

При поголеми распони на гредите може да се изведат вути, кои претставуваат зголемување на височината на гредата над потпорите со цел да се спротивстави на моментите над потпорите и да се намали височината на гредата.

Вутите се честопати застапени кај префабрикуваните гредни носачи (кога проширувањето на пресекот ја зголемува носивоста на прием на силата на затегнување во зоните на потпорите, каде таа е најголема). Вутите, според формата, можат да бидат праволиниски или криволински, слика 4.31.

[54] Авторски фотографии.

Слика 4.31 Видови вути

Слика 4.32 Капители кај столбови во Собранието во Чандигар[55]

Столбовите може да имаат проширувања на нивниот врв кои ги нарекуваме капители и се применуваат често кај меѓукатни конструкции без греди (безгредов систем), слика 4.32.

4.4.2 Скелетен систем од челик

Челикот со своите извонредни механички својства може да се употреби за изработка на скелетен систем, слика 4.33. Современа технологија на изградба е со примена на монтажен начин на градење или монолитизација со заварување.

[55] https://www.damnmagazine.net

Слика 4.33 Зградата Сиграм[56]

Челичниот скелетен систем овозможува поголеми распони и поголема височина на објектите, со неспоредливо помали пресеци во однос на армиранобетонскиот скелетен конструктивен систем. Притоа, тој е поеластичен и пофлексибилен во споредба со армиранобетонскиот систем, што може да претставува и недостаток кој се елиминира со потребното вкрутување на челичниот систем.

Системот изведен од челични конструктивни елементи се употребува најчесто за градење индустриски објекти каде што е потребно да се совладаат поголеми распони, но и деловни објекти, слика 4.34, а во помала мера станбени објекти.

[56] https://www.archdaily.com

Слика 4.34 Скелетен систем изведен од челик[57]

Споредено со скелетниот систем во армиран бетон, челичниот систем има мала хоризонтална крутост која се надополнува со изработка на хоризонтални и вертикални спрегови, слика 4.35.

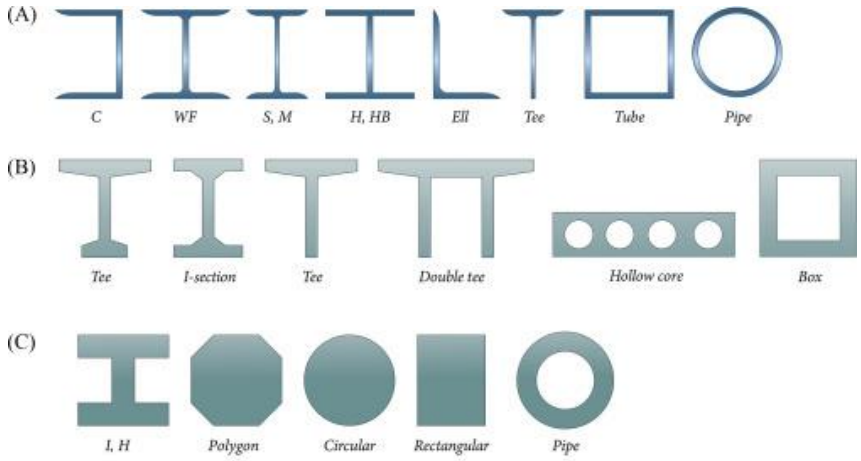
Слика 4.35 Спрегови кај челичен скелетен систем[58]

[57] Авторска фотографија.
[58] Ренцо Пиано и Ричард Роџерс, Центарот Помпиду (авторска фотографија).

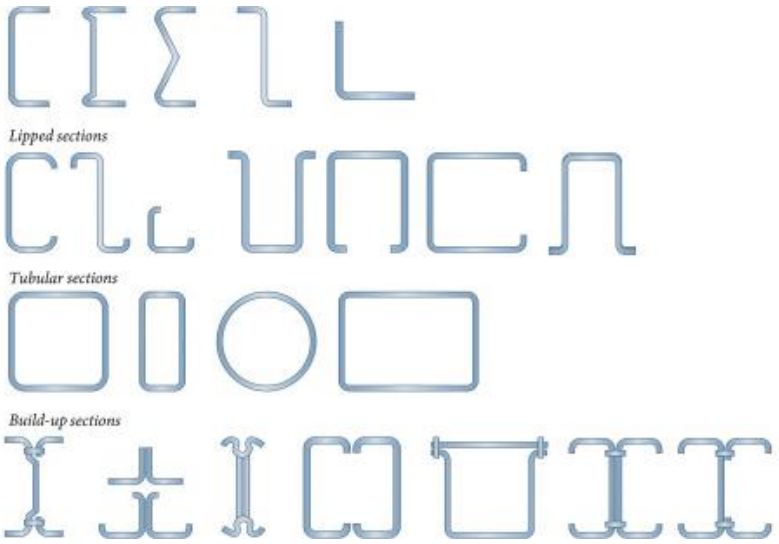
Кај челичниот конструктивен систем, меѓукатната конструкција најчесто се проектира како композитна меѓукатна конструкција од армиран бетон и челични лимови, која ќе биде изучувана во друга книга.

Во зависност од производството, челичните профили се делат на:

- → топловалани пресеци, слика 4.36.а и
- → ладновалани пресеци, слика 4.36.б.



Слика 4.36.а.Топловалани челични профили



Слика 4.36.б.Ладновалани челични профили

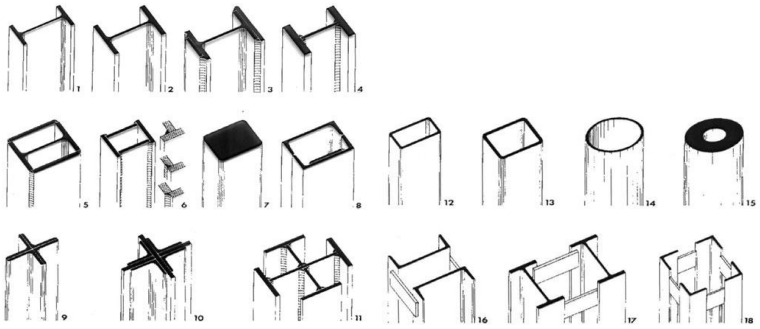
Слика 4.36 Видови челични профили[59]

Челични столбови

Кај челичен конструктивен систем, столбовите може да бидат изведени од полни челични профили или заварени лимени носачи, а при поголеми распони и

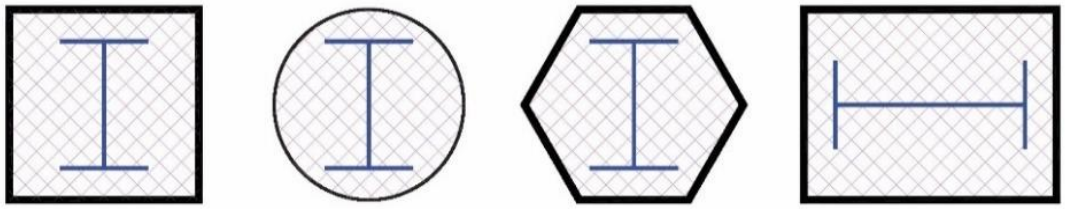
[59] https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/rolled-steel-section

натоварување се употребуваат решеткастки носачи или нивна комбинација со челични профили и др., слика 4.37.



Слика 4.37 Видови челични профили[60]

Челичните столбови имаат поголема виткост во споредба со армиранобетонските столбови. Поради тоа челичните профили може да се употребуваат во комбинација со бетон/армиран бетон и да се формираат композитни столбови со подобрена виткост и носивост. Изведбата на овие столбови е на начин што бетонот може да се употреби или како исполна на пресекот на челичните столбови или пак да се излие околу челичниот столб, слика 4.38.



Слика 4.38 Композитни столбови од челични профили и бетон

Челични греди

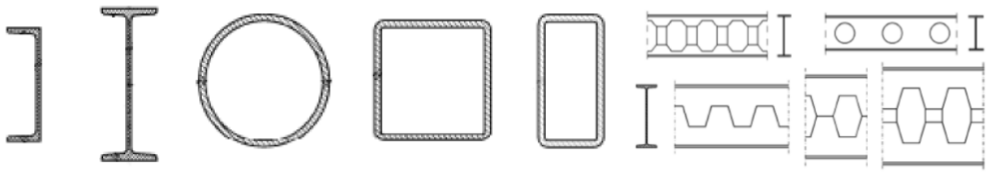
Челичните гредни носачи најчесто може да бидат формирани од различни видови челични носачи, а при поголеми распони се употреубваат челични решетки, слика 4.39. Тие може да се постават на челични или армиранобетонски столбови.

Височината на челичните греди, емпириски се пресметува според следната формула:

$$H=L/25 - L/30$$

Доколку се користат како секундарни носачи во конструктивниот систем, како што е гредна скара или рожници, тогаш нивниот распон се движи во границите од 6-10 m, во зависност од статичкиот систем.

[60] https://www.mec-engineering-spreadsheets.com/documentation-area/steel-framework-joints/



Слика 4.39 Напречни пресеци на челични греди

Противпожарна заштита на челичната конструкција

Недостаток на челичниот систем е неговата помала отпорност на пожар, во споредба со армиранобетонскиот систем. Поради тоа, челичниот конструктивен систем е потребно е да се заштити од пожарно дејство, што се прави на повеќе начини како, слика 4.40:

- → огноотпорни експандирачки премази и бои, слика 4.40.а,
- → заштита со лиење бетон околу челичниот профил, слика 4.40.б,
- → огноотпорни ќебиња, слика 4.40.в,
- → огноотпорен нанос со спреј (вермикулит, цементен нанос и сл.), слика 4.40.г,
- → огноотпорен малтер, слика 4.40.д,
- → огноотпорни плочи. слика 4.40.ѓ.

Слика 4.40.а. Огноотпорни премази

Слика 4.40. б. Композитен столб од челик и бетон

Слика 4.40.в. Огноотпорни ќебиња

Слика 4.40. г. Нанос со спреј на вермикулит

Слика 4.40.д. Огноотпорен малтер

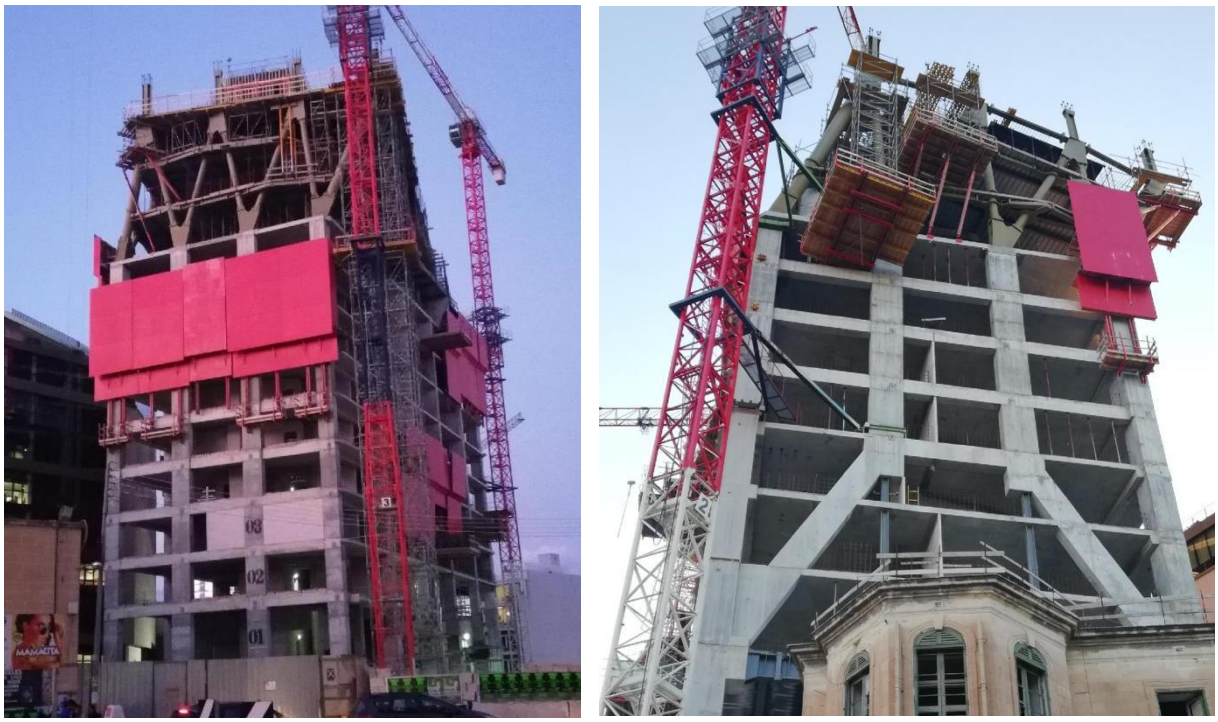
Слика 4.40. ѓ. Огноотпорни плочи

Слика 4.40 Методи за огноотпорна заштита на челик

4.4.1 Хибриден скелетен систем

Во зависност од формата на објектот, односно конструктивниот систем, како и други проектни барања, може да се употребат разнородни градежни материјали за формирање на скелетниот систем. Така, може да се примени челичниот конструктивен систем заедно со армиранобетонскиот систем со цел да се искористат нивните предности, а воедно да се минимизираат недостатоците кои ги има секој од нив.

На слика 4.41 е прикажан објект од проектантското биро „Заха Хадид“, каде што долните нивоа на објектот се изведени од армиранобетонски скелетен систем, а кај горните нивоа, каде што настанува промена во геометријата на конструктивниот систем, применета е челична конструкција. Столбовите кои се изведени во челик се коси и минуваат низ три нивоа. На задната страна на кулата, проектирана е конструкција со поголем распон со кој се премостува постојниот објект кој се наоѓа во рамките на кулата. Може да се забележи дека вертикалните армиранобетонски столбови минуваат во коси армиранобетонски сè до вертикалните столбови на аглите од објектот, а дел од товарите се прифатени со вертикални челични столбови.



Слика 4.41 Армиранобетонски и челичен конструктивен систем[61]

4.4.2 Скелетен систем од дрво

Скелетниот систем изведен од дрвени столбови и греди се применува кај индивидуални станбени објекти, стопански објекти, објекти за мало стопанство и сл., а тие ќе се изучуваат во повисоките години.

Постојат различни видови конструктивно дрво, како: масивно дрво, лепено ламелирано дрво (Glulam), попречно ламелирано дрво (cross-laminated timber-CLT) итн. Поради неговите одржливи карактеристики, односно поради тоа што е обновлив ресурс, можноста за рециклирање, реупотреба и фактот што при неговото производство емисиите на CO_2 се во голема мера намалени или целосно елиминирани, го дефинираат како градежен материјал кој е сè повеќе соодветен за употреба во градежништвото.

Воедно, со развојот на технологијата за производство се овозможува подобрување на носечките карактеристики на дрвото, како и неговата отпорност на атмосферски влијанија и трајност. Поради тоа, тој е соодветен и за изградба на повеќекатни објекти, слика 4.42-44.

[61] Заха Хадид Архитекти, Кулата *Меркур* во Малта (авторски фотографии).

Слика 4.42 Зграда T3 во Минеаполис[62]

62 https://www.architectmagazine.com/technology/t3-becomes-the-first-modern-tall-wood-building-in-the-us_o

Слика 4.43 Највисоката зграда од дрво во Европа[63]

Слика 4.44 Највисока зграда изградена од дрво[64]

[63] https://gbdmagazine.com/tallest-mass-timber-buildings/
[64] Највисока зграда од дрво до 2025 год. https://gbdmagazine.com/tallest-mass-timber-buildings/

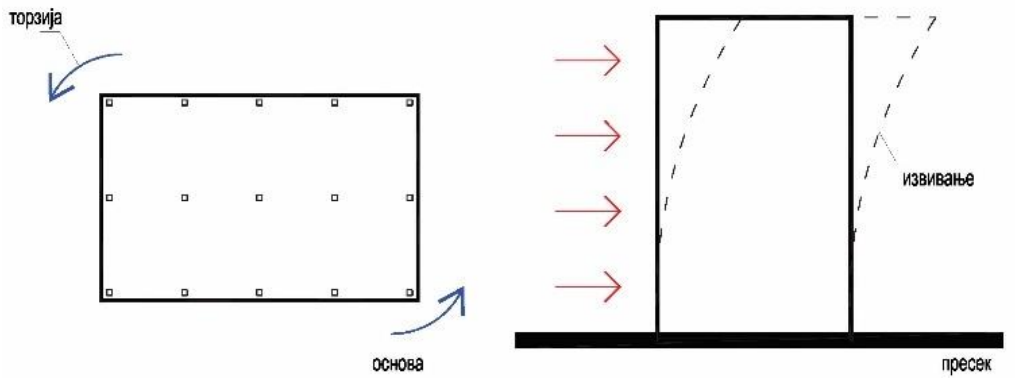
5 Мешовит конструктивен систем

„Сите добри архитектонски вредности се човечки вредности, инаку не се добри."

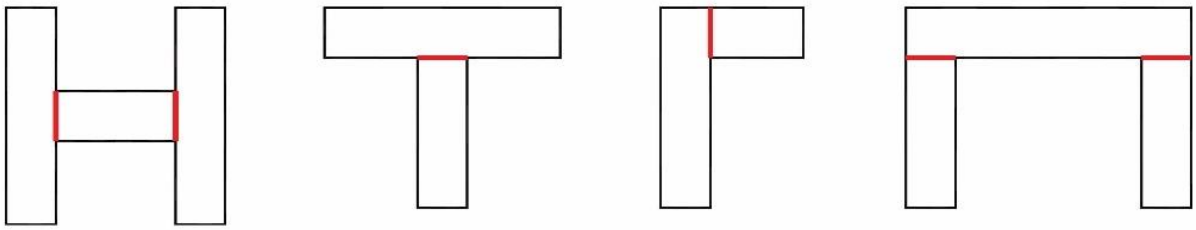
Френк Лојд Рајт

Во претходните поглавја е елаборирано дека скелетниот систем има помала крутост од масивниот систем, што значи дека скелетниот систем е пофлексибилен, слика 5.1.а. Односно, крутоста на објектот зависи од носечкиот систем и материјалите од кој тој е изведен.

Но, исто така и формата на основата на објектот, како и регуларноста по висина, влијае на неговата крутост и стабилност. Така, кај неправилни форми влијанието на земјотресите може да предизвика дополнителни проблеми на конструкцијата во целина, особено на местата кај споевите на основните геометриски форми, слика 5.1.б.



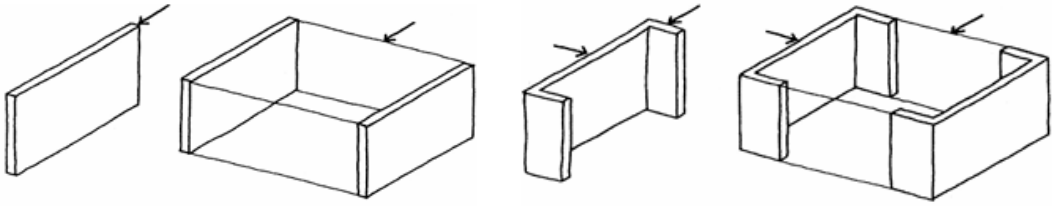
Слика 5.1.а. Влијание на видот на конструктивниот систем врз флексибилноста на објектот



Слика 5.1.б. Влијание на формата

Слика 5.1 Влијание на системот и формата врз крутоста и стабилноста на објектот

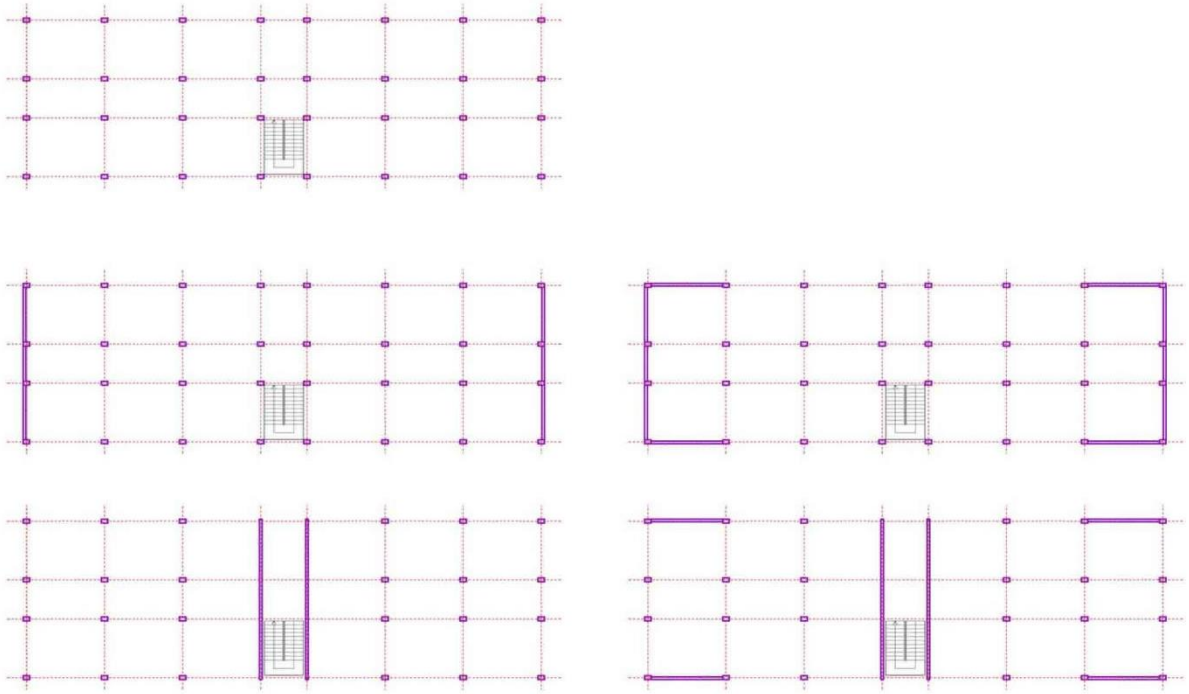
За подобрување на хоризонталната крутост на **армиранобетонскиот скелетен систем** може да се постават носечки ѕидови, односно армиранобетонски ѕидови, кои ги нарекуваме и армиранобетонски ѕидови (платна), во двата ортогонални правци, со што се добива **мешовит конструктивен систем,** слика 5.2.



Слика 5.2.а. Во еден правец Слика 5.2.б. Во два правца

Слика 5.2 Стабилност на објектот

Односно, со комбинирањето на скелетниот систем и масивниот систем се добива **мешовит конструктивен систем**, со што се користат предностите на скелетниот и масивниот систем. армиранобетонските платна пожелно е да се поставуваат во зависност од формата на објектот симетрично во двата ортогонални правци и може да се појават на страничните краеви на објектот, околу скалишните јадра итн., слика 5.3.



Слика 5.3 Мешовит конструктивен систем

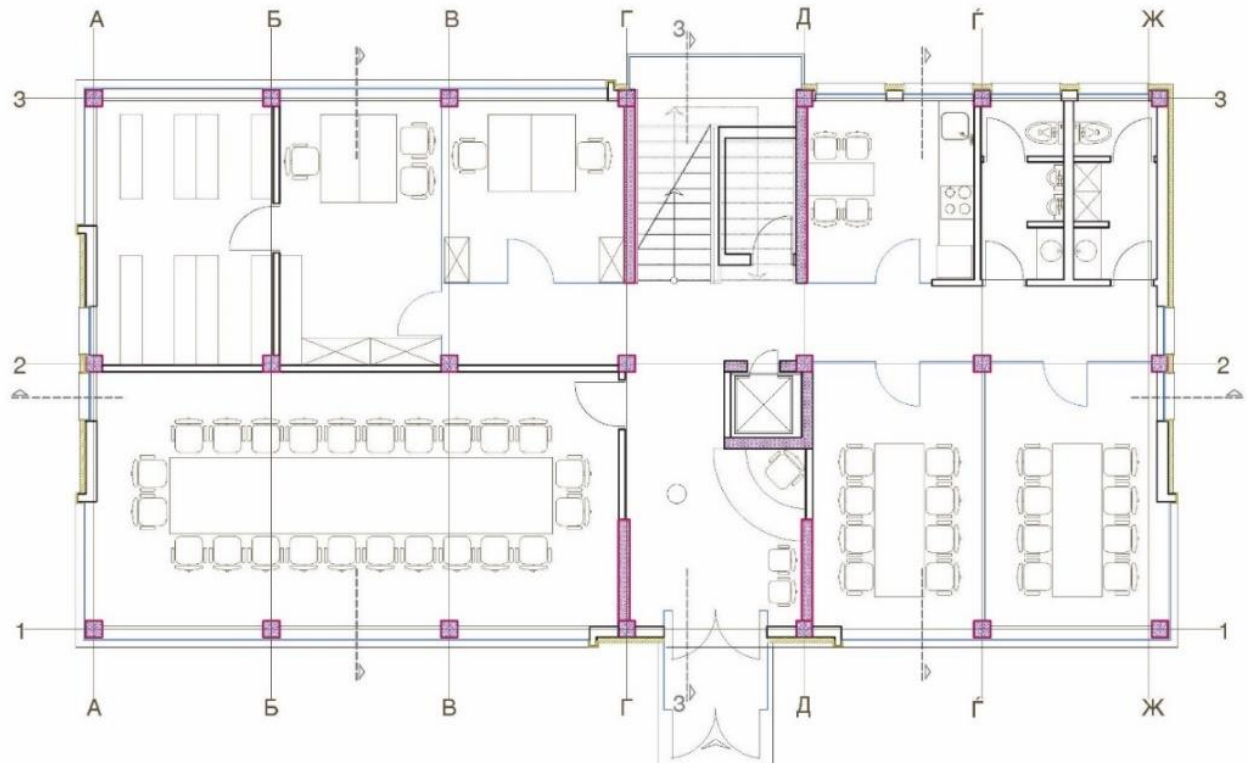
Поради тоа, **мешовитиот конструктивен систем** се состои од, слика 5.4:

- → **носечки ѕидови,**
- → **столбови,**
- → **греди,**
- → **меѓукатна конструкција и**
- → **темелна конструкција.**

Армиранобетонските платна примаат најголем дел од хоризонталните сили кои се јавуваат под дејство на ветер или сеизмички сили, со што се контролираат максималните поместувања на објектот.

На слика 5.4. е прикажан објект кој е изведен како мешовит систем. Односно применет е скелетен конструктивен систем кој овозможува послободна функционална организација при проектирањето, а воедно е поекономичен, а во средишниот дел, околу скалите и делумно кај влезниот дел се додадени армиранобетонски платна, слика 5.4.

При проектирањето на конструктивниот систем на објектот потребна е блиска соработка помеѓу архитектот и градежниот инженер со цел да се најде најповолно решение од архитектонски, но и од градежен аспект. Така, во текот на проектирањето на објектот на слика 5.4 тестирани се неколку можни позиции на армиранобетонските платна. Во првичните варијанти предложени од градежниот инженер платната се позиционирани на фасадните ѕидови, на аглите на објектот, помеѓу оските А-Б и Ѓ и Ж. Но, од архитектонски аспект, таа позиција е неповолна со оглед на тоа дека се ограничува поставувањето отвори на фасадата, а воедно се попречуваат визурите кон надворешноста. Поради тоа, предложено е решение каде што платната нема да пречат од архитектонско-проектантски аспект, како што е прикажано на слика 5.4.



Слика 5.4 Вкрутување на скелетниот систем со платна[65]

[65] Административен објект, МДЦ Архитектоника, 2020

Вкрутувањето на објектот кое е извршено на неговите страници со примена на платна е прикажано на слика 5.5. Воедно вкрутувањето на објектот не мора да се спроведе по целата негова височина доколку пресметките го покажат тоа, слика 5.6. Така, армиранобетонските платна може да се појават во долните зони на објектот, а над платното да се надоврзат армиранобетонски столбови, со цел да се постигне поекономична конструкција во која ќе се намали сопствената тежина на конструктивните елементи.

Слика 5.5.а. Станбен објект во Лисабон

Слика 5.5.б. Станбен објект во Скопје

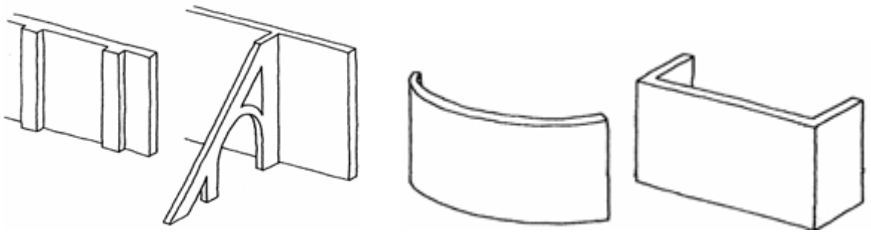
Слика 5.5 Вкрутување на скелетниот систем со платна[66]

Овој систем може да ја поттикне креативната проектантска слобода, како на примерот на објектот на архитектите Херцог и Де Меурон во Мајами, слика 5.6. Иако објектот има утилитарна намена како катна гаража, архитектите создаваат возбудлива и динамична структура од коси ѕидови, платна и променлива катна височина.

Слика 5.6 Мешовит систем[67]

[66] Авторски фотографии.

На слика 5.7. се прикажани и други можни начини за вкрутување на објектите. Еден начин е со додавање конструктивни елементи, како што се потпорите (контрафори). Друг начин за постигнување поголема крутост и стабилност на објектот е преку неговата геометрија, односно пркеу севкупната форма на објектот.

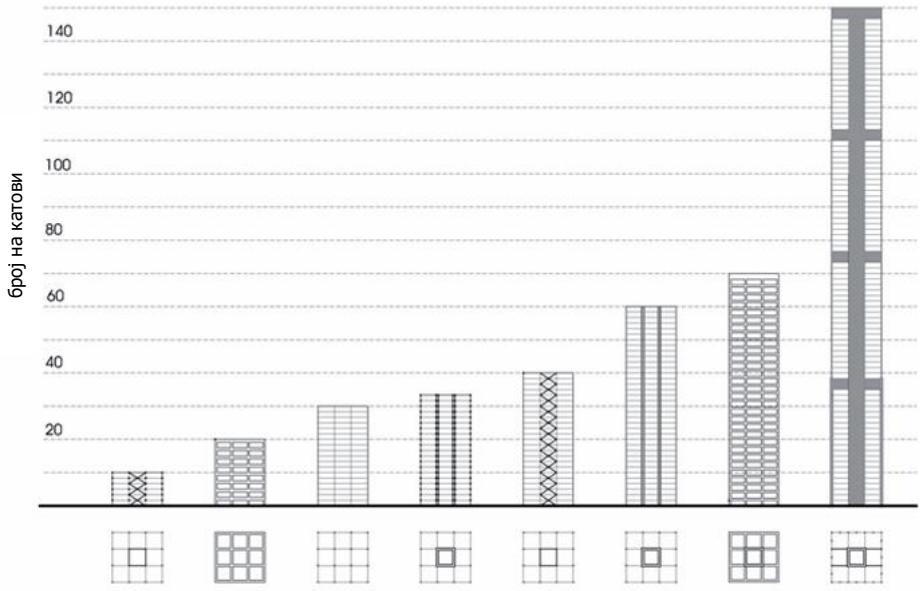


Слика 5.7.а. Потпори за стабилност Слика 5.7.б. Стабилност преку форма

Слика 5.7 Стабилност на објектот

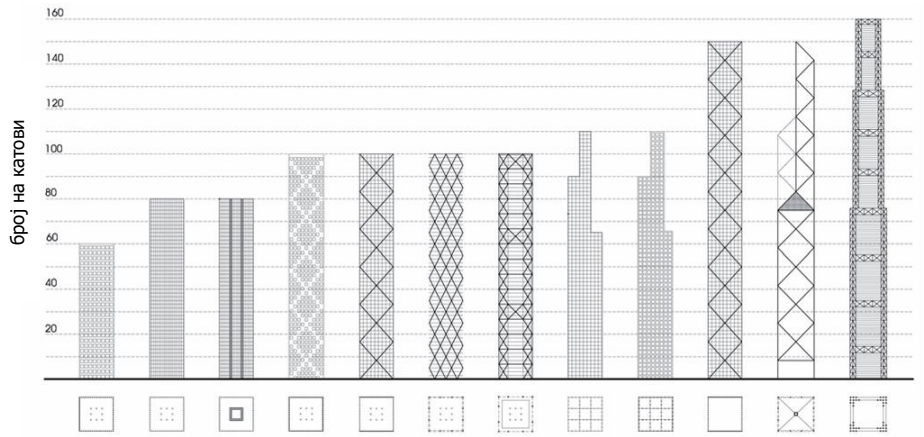
Кај челичен скелетен систем се употребуваат вертикални и хоризонтални спрегови, како и армиранобетонски платна за подобрување на крутоста на системот.

Потребата од подобрувањето на крутоста е особено иразена кај високите објекти, што се прави со понапредни системи кои се изучуваат во повисоките години на студирање. Така, кај висококатните објекти се применуваат внатрешни системи, слика 5.8.а, како што се: рамки, платна и спрегови. Исто така, вкрутувањето може да се прави и со надворешни системи за вкрутување, слика 5.8.б., како што се: тубуларните системи, диагрид системите и др.



Слика 5.8.а. Внатрешни структури за вкрутување – рамки, платна и спрегови

[67] Станбен објект во Лисабон (авторска фотографија)



Слика5.68.б. Надворешни структури за вкрутување – тубуларни и диагрид системи, просторна решетка, суперрамка итн.

Слика 5.8 Конструктивни системи за високи згради[68]

Во однос на технологијата на изведба, мешовитиот систем, идентично како и масивниот и скелетниот систем, може да се изведе на три начина, и тоа како: **лиен, префабрикуван и полупрефабрикуван.**

[68] Mir M. Ali and Kyoung Sun and Moon, "Structural Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects," *Architectural Science Review* 50, no. 3 (September 2007): 205–23, https://doi.org/10.3763/asre.2007.5027.

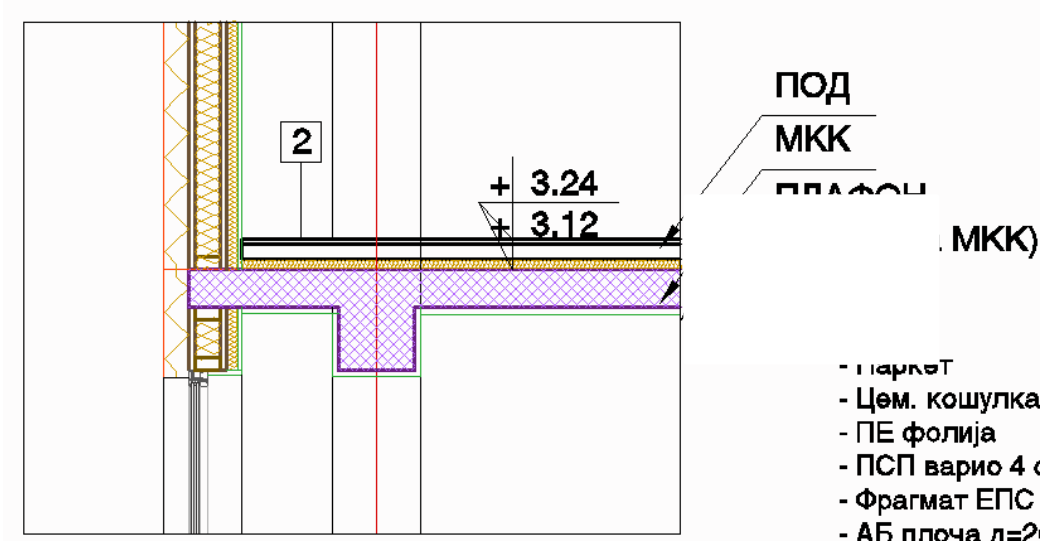
6 Меѓукатна конструкција

„Архитектурата е волјата на епохата преведена во простор."

Мис Ван дер Рое

Системот на меѓукатната конструкција се состои од следните елементи, слика 6.1:

- → под
- → носив дел - плоча
- → плафон.



Слика 6.1 Основни слоеви на меѓукатната конструкција

Плочите кај конструктивните систем може да бидат изведени од различни материјали и во зависност од тоа, се проектира оптималниот распон на потпирање на плочите, односно растојанието меѓу носечките елементи. Според тоа, разликуваме:

- → АБ-плочи: 3-6 (8) m,
- → дрвена конструкција (талпи и греди): 3-4.5 (5) m,
- → композитна плоча: 4-6 (8) m

Се разбира дека распонот може да биде и поголем, при што е потребно да се направи техно-економска анализа или да се применат посложени меѓукатни конструкции. Во овој дел е даден краток осврт на принципите на потпирање на армиранобетонските

меѓукатни конструкции, а подетално целиот систем на меѓукатната конструкција, како и сложени меѓукатни системи ќе бидат изучувани во друга книга.

6.1 **Армиранобетонски плочи за конвенционални распони**

Меѓукатните плочи изведени како армиранобетонски плочи се најчесто употребуваните. Тие се потпираат на систем од носечки ѕидови (масивен систем) или пак систем од греди и столбови (скелетен систем).

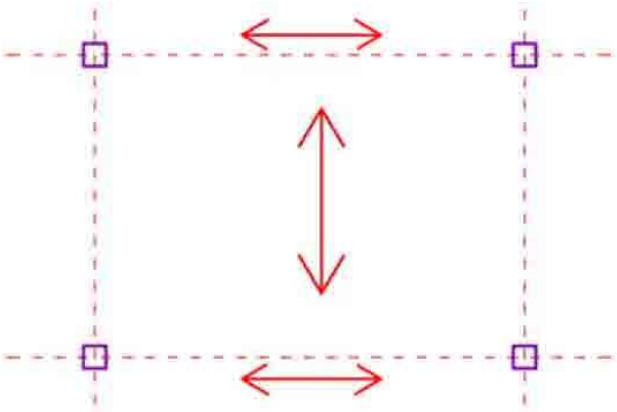
Како што е посочено претходно, оптималното растојание помеѓу носечките елементи на системот (носечки ѕидови или греди и столбови) изнесува од 3 до 6 (8) m, а тоа е растојанието кое треба да го совлада меѓукатната конструкција и да ги пренесе товарите од неа на потпорите (носечки ѕидови кај масивен систем или греди кај скелетен систем).

Основно правило при решавањето на меѓукатните плочи е што тие мора да се потпираат во пократкиот правец на оформеното поле.

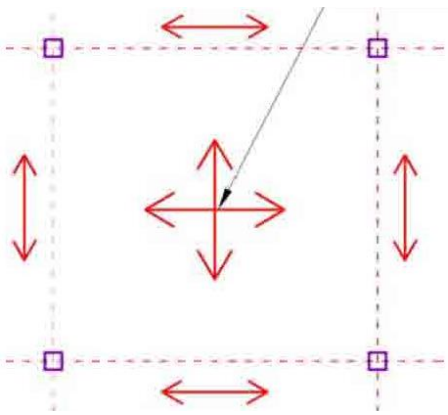
Доколку меѓукатната плоча се потпира во еден правец, тогаш станува збор за еднонасочно потпрена плоча, слика 6.2.а, а доколку се потпира во двата правци, тогаш е крстасто-армирана плоча, слика 6.2.б.

Одредувањето на **правецот на потпирање**, се прави според анализа на соодносот на страните на полето, слика 6.2:

- → **еднонасочна плоча** - каде што соодносот на страните изнесува > 2,
- → **крстасто-армирана плоча**[69] - каде што соодносот на страните е < 2.



Слика 6.2.а.Еднонасочно потпрена плоча



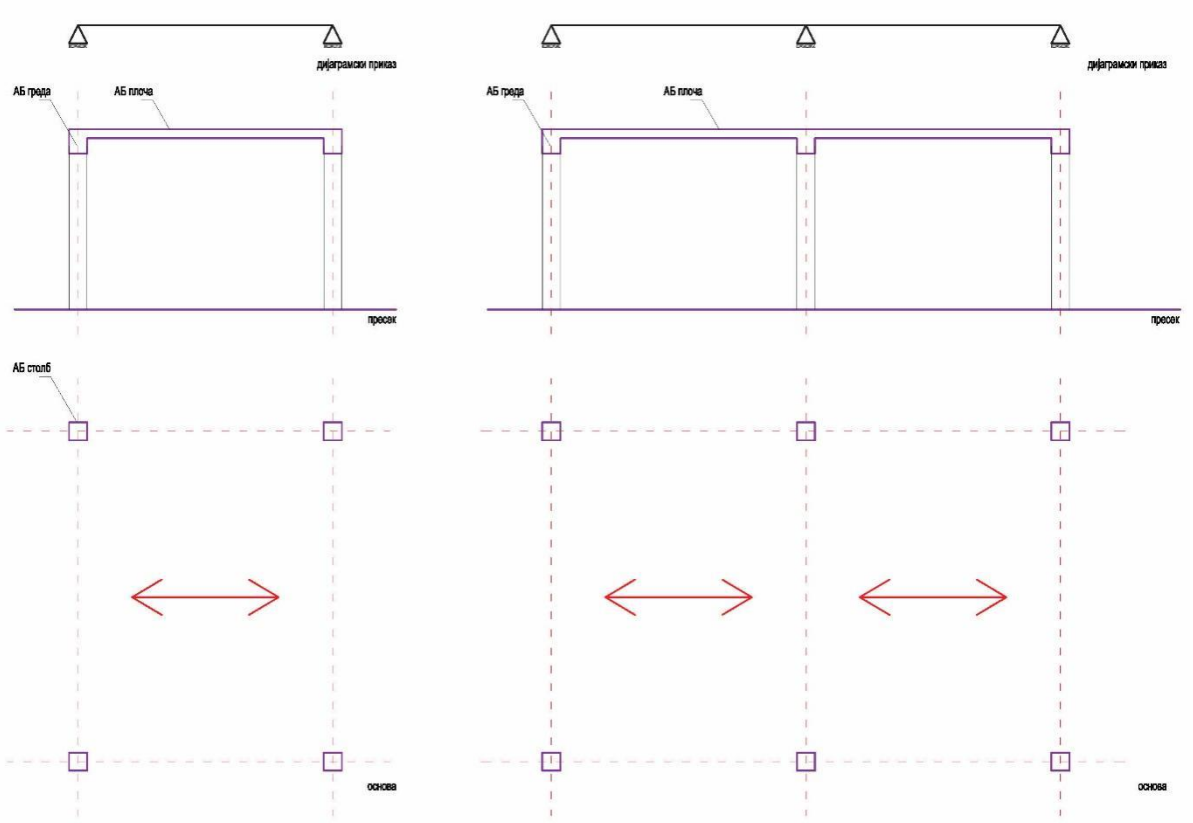
Слика 6.2.б. Крстасто-армирана плоча

Слика 6.2 Правец на потпирање на меѓукатната плоча

[69] Во литературата може да се сретне и како вкрстено-армирана плоча.

Според **бројот на лежишта** на кои се потпира одредена плоча, разликуваме, слика 6.3:

- → **проста плоча** - потпрена на две лежишта, слика 6.3.а и
- → **континуирана** - потпрена на повеќе лежишта, слика 6.3.б.



Слика 6.3.а. Проста плоча Слика 6.3.б. Континуирана плоча

Слика 6.3 Проста и континуирана плоча

Емпириското димензионирање на дебелините на армиранобетонските плочи се прави според следните формули:

- → Еднонасочно потпрената плоча се пресметува по емпириската формула:

$$d=L/20\text{-}27$$

- → Крстасто-армираната плоча се пресметува по емпириската формула

$$d=L/35,$$

каде што L е осовинскиот распон на плочата.

При совладување поголеми распони како, 7-12 m и повеќе, се употребуваат и посебни типови армиранобетонски меѓукатни конструкции (ситноребраста меѓукатна, касетирана меѓукатна итн.). Исто така, при големи распони од 20-30 m и повеќе се

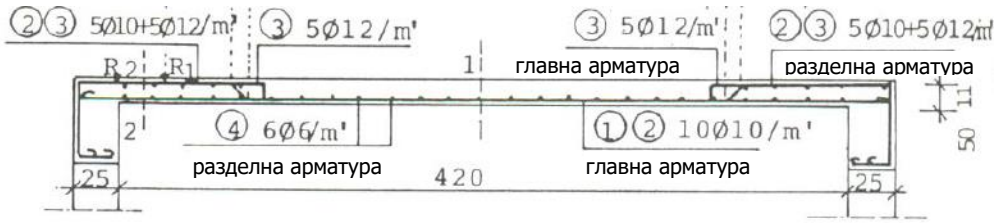
применуваат секундарни греди, преднапрегнати или постнапрегнати конструктивни греди како и специјални типови меѓукатни конструкции.

Кај армиранобетонските плочи, заемното делување на арматурата и бетонот ги пренесува товарите до потпорите, односно носечките ѕидови кај масивниот систем или гредите и столбовите кај скелетниот систем.

Кај армиранобетонските плочи, бетонот ги презема товарите на притисок, а арматурата товарите на затегнување.

Разликуваме неколку типови арматура во плочите, слика 6.4:

- → главна арматура,
- → разделна арматура (спротивно на правецот на главната арм.).



Слика 6.4 Пресек низ армиранобетонска плоча

Слика 6.5 Оплатирање и армирање на греди столбови и плоча[70]

Доколку станува збор за еднонасочна плоча, тоа значи дека главната арматура во плочата е поставена во пократкиот правец, односно правецот на потпирање на меѓукатната плоча. Главната арматура е поставена во зоната на затегнување, а врз неа се поставува разделна арматура во спротивниот правец. Кај крстасто-армирана плоча, главната арматура се поставува во двата правци.

[70] МДЦ Архитектоника, 2016

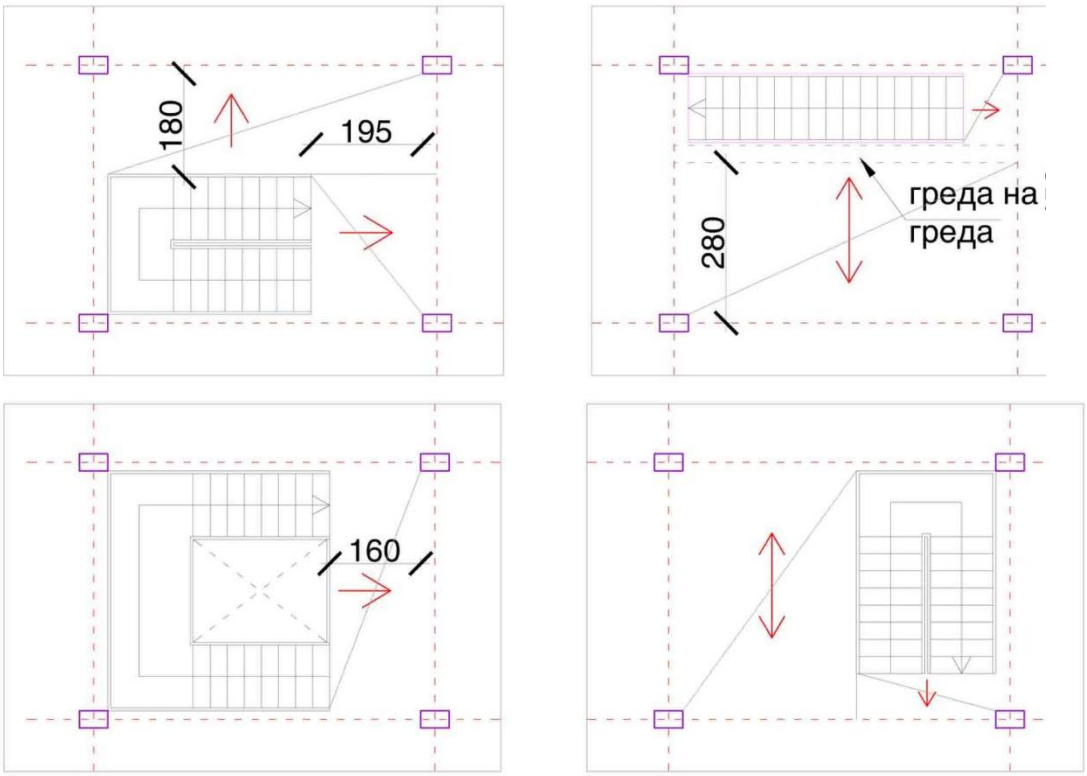
Плочите се армираат со главна и разделна арматура, при што во средишниот дел од плочата арматурите се поставуваат во долната зона, а над потпорите се поставуваат во долната и горната зона на плочата.

6.2 **Отвори во меѓукатна плоча**

Доколку објектот има повеќе нивоа (етажи), во плочите се појавуваат отвори за скали, атриуми, галерии и сл. и притоа треба да се внимава на начинот на потпирањето на меѓукатната плоча.

При формирањето на поголеми отвори во меѓукатната конструкција, како оние за скали, непоходно е да се сочува интегритетот на системот од греди, односно не смее тие да бидат прекинати. Односно, потребно е да се внимава на правецот на потпирање на плочата и не смее да има прекин на главната арматура.

Така, при решавањето на отворите околу скалите може да се примени и конзолна плоча или поставување секундарна греда која се потпира на примарните греди од системи (т.н. поставување греда на греда), слика 6.6, слика 6.7.



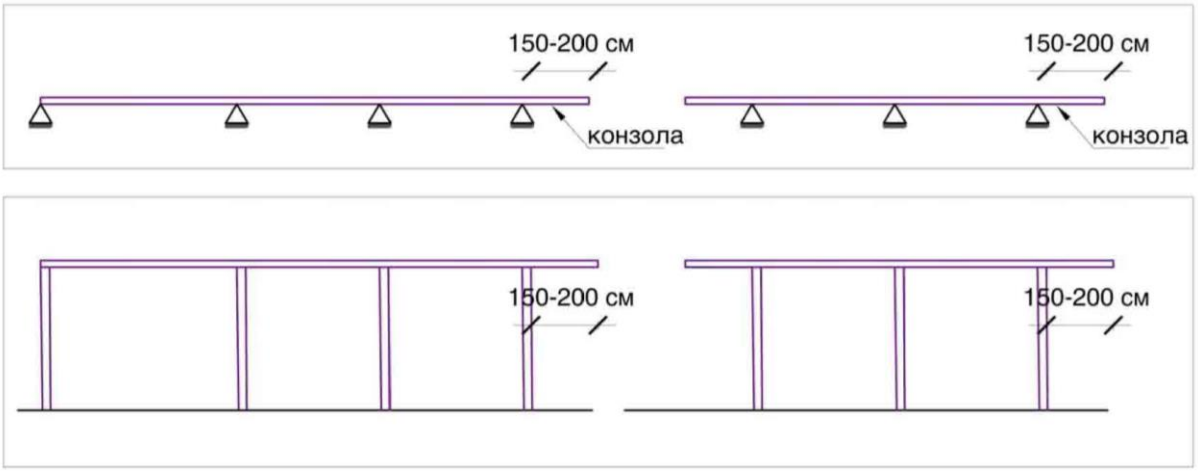
Слика 6.6 Формирање отвор околу скали

Воедно, околу отворите се јавува концентрација на напрегања на краевите и таму се прави зајакнување на плочата.

Слика 6.7 Поставување „греда на греда“ за формирање отвор во меѓукатна плоча[71]

6.3 **Конзоли**

Конзолната плоча е конструкција која е вклештена на едниот крај, а на другиот крај е слободна, односно не е потпрена. Таа може да се вклешти за носив ѕид, греда или пак да биде продолжение на меѓукатната конструкција (кај безгредова плоча). Конзолните плочи може да се користат како составен дел од внатрешните простори на објектот, како тераси, стреи за засенчување и тие претставуваат значаен дел од архитектонската пластика на објектот, слика 6.8-6.9.

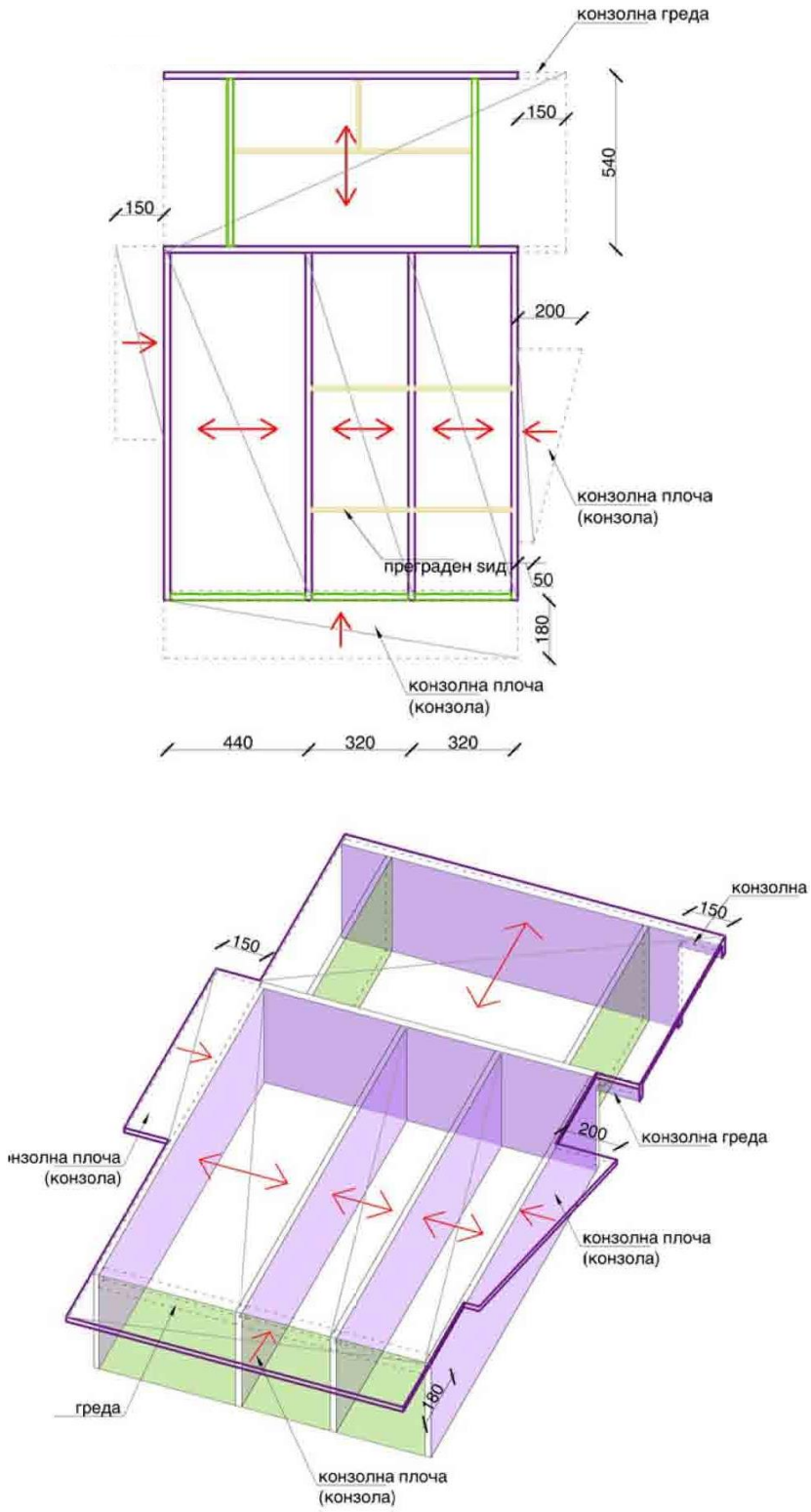


Слика 6.8 Шематски приказ на плочи и плочи со испуст-конзоли

Конзолниот испуст зависи од конструктивниот систем и се препорачува да изнесува до 1,5 m (1,8 m) во сеизмички активни подрачја, но испустот може да биде и поголем.

[71] Архитекти Алберто Песоа и др., Калусте Гулбенкиан музеј, 1969 (авторска слика)

Дебелината на конзолната плоча емпириски се пресметува со следната формула: dmin = L/10-12.



Слика 6.9 Приказ на конзолни плочи

Слика 6.10 Конзолни плочи кај станбена зграда во Милано[72]

[72] https://www.archdaily.com/777498/bosco-verticale-stefano-boeri-architetti/564e7b71e58ece8c420003a9-bosco-verticale-stefano-boeri-architetti-photo

7 Дилатација на носечката конструкција

„Без архитектура, немаме душа на нашата цивилизација.“

Френк Лојд Рајт

Како што е претходно објаснето, објектите, освен на постојани товари, се изложени на дополнителни товари, меѓу кои се хоризонтални сили од земјотрес, ветар, како и термички товари од сончево загревање на површината на објектот, кои може да предизвикуваат термички дилатации кај фасадните и кровните системи, а секако и кај конструктивниот систем. Под дејство на овие товари и сили, велиме дека објектот „работи“, односно се јавуваат издолжувања во неговите елементи.

Со зголемување на должината на објектите, овие издолжувања се поголеми и нивната должина зависи од карактеристиките на применетот материјал за изведба на конструктивниот систем, начинот на спојување на конструктивните елементи и др. Како резултат на консолидација на почвата, кај објектите со поголема должина можно е да дојде и до нерамномерно слегнување на различни делови од објектот. Сите овие напрегања кои може да се јават во објектот може да предизвикаат напукнувања во неносечките елементи, а што е особено значајно, може да се појават напукнувања и во носечките елементи од кои е тој составен, при што може да настане и загрозување на интегритетот на конструкцијата и нејзината носивост.

За да се избегнат овие состојби, се врши **прекинување на конструктивниот систем, кое го нарекуваме дилатација.** Должината на прекинување на конструктивниот систем зависи од материјалот од кој тој е изведен. Кај армиранобетонските конструктивни системи прекинувањето се прави на 20-30[73] m, со што се формираат два или повеќе независни конструктивни системи. Со примена на адекватна технологија на изведба на армиранобетонските плочи дилатацијата може да се изврши на 40-50 m.

Причините за појава на дилатација на конструктивниот систем, слика 7.1:

1. голема должина на системот, слика 7.1.а,
2. делови од објектот се со различна висина, слика 7.1.б,
3. нерегуларност на основата, слика 7.1.в,
4. различна носивост на тлото, слика 7.1.г,
5. различни конструктивни системи во објектот, слика 7.1.д,

6. поставување нов објект до постоен објект, слика 7.1.ѓ,
7. различно натоварување на објектот, слика 7.1.е.

а. Згради со поголема должина

б. Делови од објектот се со различна висина

в. Нерегуларност на основата

г. Објектот лежи на тло со различен (нехомоген) квалитет и носивост

д.Примена на различни конструктивни системи

ѓ. Поставување до постоен објект

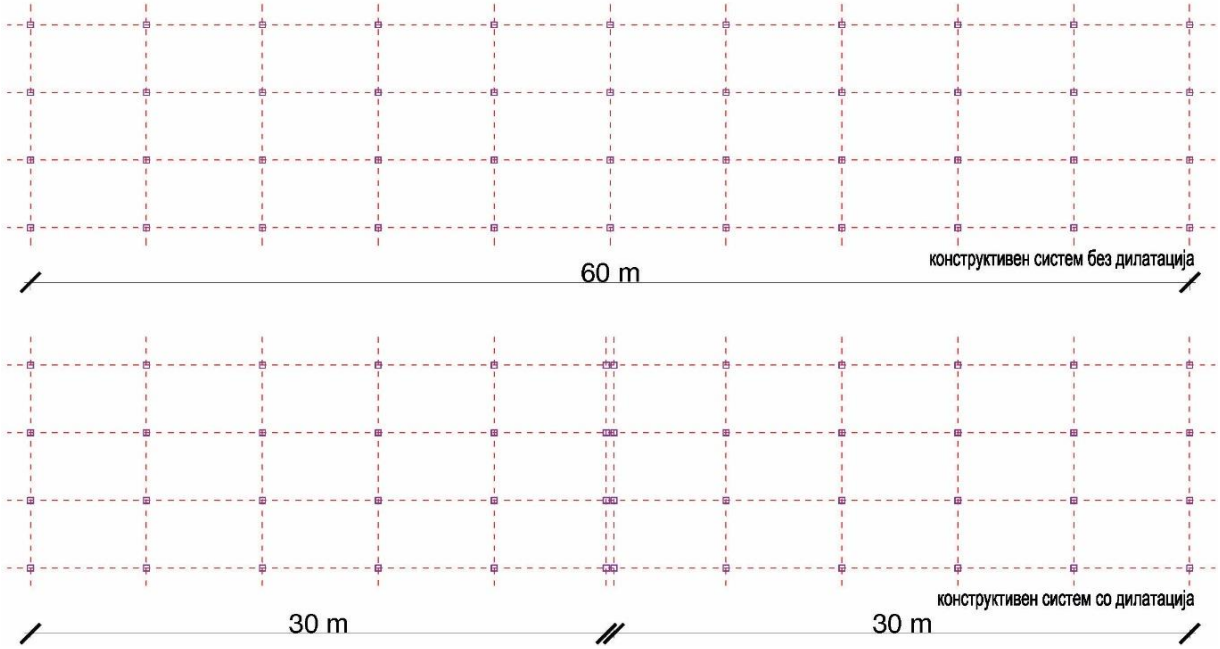
д. Различно товарени делови од објектот

Слика 7.1 Причини за дилатирање на конструктивниот систем

Широчината на дилатациите, треба да изнесува најмалку 3 cm, а вообичаено се изведува со 5 cm широчина. За објекти повисоки од 5 m, при секое зголемување на височината за 3 m се зголемува широчината на фугата за 1 cm. Кај објекти повисоки од 15 m, но и за пофлексибилни конструкции (како скелетен систем без вкрутување), широчината на фугата се определува со пресметка, а е во зависност од:

- → конструктивниот систем,
- → материјалот од кој е направен системот,
- → височината и катноста на објектот,
- → видот на почвата,
- → сеизмичкото подрачје и сл.

Дилатациониот простор кој се формира помеѓу конструктивните системи може да биде празен, а најчесто се пополнува со меки еластични или термоизолациони материјали (експандиран полистирен, камена волна и сл.) слика 7.2, слика 7.3.



Слика 7.2 Дилатација на конструктивниот систем

Слика 7.3 Дилатација на конструктивниот систем[74]

[74] Авторска фотографија.

Прилог - Материјали за изведба на носечки конструктивни системи

„Ние ги обликуваме објектите, а тие нè обликуваат нас.“

Винстон Черчил

Материјалите од кои можат да бидат изведени разгледуваните конструктивни системи се:

- → блокови од камен (масивен и скелетен систем),
- → тула (масивен и скелетен систем),
- → бетонски блокови (масивен систем),
- → армиран бетон (масивен, скелетен и мешовит систем),
- → челични елементи (скелетен систем),
- → масивно дрво (скелетен систем)
- → ламелирано дрво (масивен и скелетен систем),
- → комбинаран систем од армиран-бетон и челик итн.

Со развојот на технологијата на производство на нови материјали со подобрена носивост, во одредена мера може да се појави стаклото како носив материјал (за павилјони и приземни структури), различни композитни материјали базирани на јаглеводородни влакна (карбон-фибер) и пластични маси итн.

Кај нас, најпримењувани материјали за изведба на овие конструктивни системи се: армираниот бетон (АБ), кај индустриските објекти се употребува челикот, а дрвото се применува кај станбени објекти со помала катност.

Армиран бетон

Бетонот е еден од најчесто употребуваните материјали, добиен од мешавина и правилен сооднос на: цемент, агрегат (ситен и крупен) и вода (а по потреба и адитиви). Поради природата на материјалите од кои тој е направен, како и поради начинот на неговото создавање, транспорт, вградување во објектите и нега (процес на одржување во текот на неговото вградување и сушење сè до постигнување на проектираната јакост на притисок), тој е материјал чиј квалитет и својства се варијабилни. Воедно, бетонот има голема јакост на притисок и значително помала

јакост на затегнување. Неговиот недостаток во однос на малата јакост на затегнување се анулира со додавањето арматура, која има поголема јакост на затегнување.

Со тоа се добива армиран бетон, кој е композитен материјал[75] составен од бетон и арматура (челични жици, прачки или мрежи) и со нивна синергија овозможува тие да се надополнуваат и да ги дадат своите најдобри карактеристики во рамки на новиот, композитен материјал.

Заедничкото работење на двата различни материјали во рамки на армираниот бетон е овозможено поради неколку фактори:

- → На контактната површина меѓу бетонот и арматурата се јавуваат сили на триење, како и атхезија меѓу нив која е од хемиска природа како резултат на лепливоста на цементот.
- → Арматурата и бетонот имаат приближна вредност на коефициентот на термичко ширење, поради што овие материјали функционираат заедно при пренесувањето на товарите, како еден композитен материјал.

Така, карактеристиките на армираниот бетон се:

- → Бетонот и челикот (арматурата) се во конструктивна, спрегната врска и работат како хомогена статичка целина.
- → Бетонот носи на притисок (јакоста на затегање е 10% од онаа на притисок), а челикот на затегнување.
- → Бетонот ја заштитува арматурата од надворешните атмосферски влијанија и спречува појава на корозија, а воедно ја заштитува арматурата и од пожарно дејство, бидејќи таа има пониска точка на топење за разлика од бетонот.
- → Лиениот бетон по 7 дена има 60% од бараната јакост на бетон.
- → Бетонот ја постигнува потребната јакост по 28 дена, а е во зависност од временските услови.
- → Носивоста на бетонот се изразува преку јакост на притисок која се нарекува - марка на бетон (пр. МБ30 - означува јакост на притисок од 30 MPa за старост на бетонот од 28 дена).
- → Кај носечки конструкции се употребува МБ30, МБ40 но и повеќе.

Во армираниот бетон, по потреба може да се додаваат и адитиви, кои се хемиски соединенија, со цел да подобрат одредени карактеристики на армираниот бетон, како: побрзо сушење или пак побавно сушење зависно од временските услови, подобрување на пластичните карактеристики на бетонот за полесно вградување, подобрени хидроизолациони карактеристики, подобрени термоизолациони карактеристики итн.

[75] Композитен материјал е оној што е составен од два или повеќе разнородни материјали кои во рамки на новосоздадениот материјал ги задржуваат своите карактеристики, а композитот ги потенцира најдобрите карактеристики на неговите составни материјали.

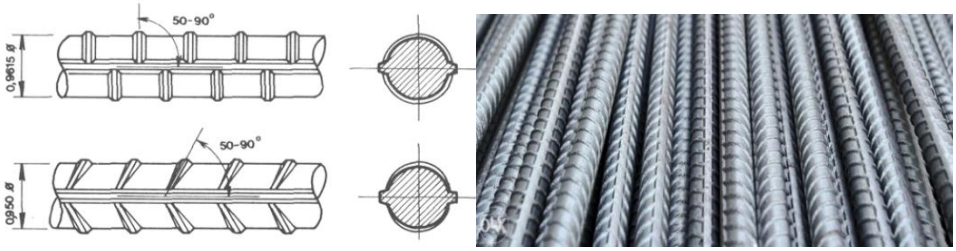
Арматура

Под арматура се подразбираат арматурни жици, прачки или мрежи кои служат за прифаќање на напрегањата на затегнување во армиранобетонските елементи како плочи, греди, столбови и др. Арматурата најчесто се изведува од високојаглероден челик, а поретко се употребува композитна арматура од гласфибер, карбонфибер и сл.

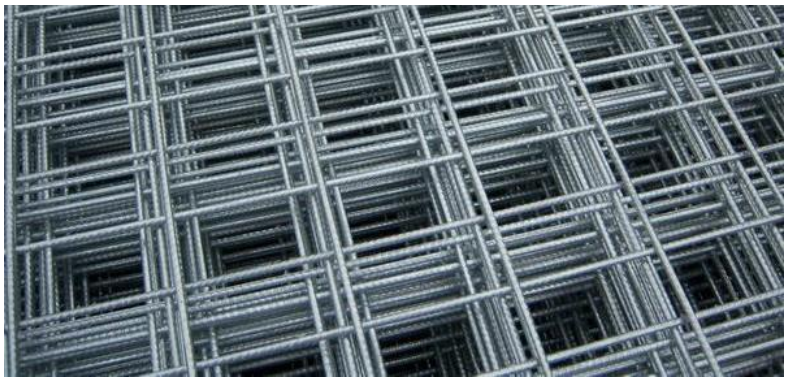
За армирање на конструкциите и елементите од бетон се употребуваат челични жици (Ф<=12 mm) или челични прачки (Ф>12 mm) од глатка арматура - GA, високовреден ребраст челик - RA, мрежаста арматура - MAG (глатка арматура) или MAP (ребраста арматура). Односно, за армирање може да се користат следните видови арматура, и тоа:

1. **Глатка арматура** – (GA 240/360) се изработува во вид на челични жици (Ф<=12 mm) или челични прачки (Ф>12 mm) со кружен попречен пресек со дијаметар: 5, 6, 8, 10 итн. се до 36 mm, слика 10.1.
2. **Ребреста арматура** – (RA 400/500) се добива од високовреден челик кој се изработува во вид на жици ил прачки кои имаат надолжни и напречни ребра кои се поставени под различни агли. Дијаметарот изнесува 6, 8, 10, 12 mm итн., слика 10.2.
3. **Мрежеста арматура** – се изработува со студено влечена жица од мазен челик (MAG 500/560) и оребрен челик (MAR 500/560), при што мрежата се формира од заварени жици поставени нормално, а со пречник од 4-12 mm, слика 10.3.

Слика 10.1 Глатка арматура



Слика 10.2 Ребреста арматура



Слика 10.3 Арматурна мрежа

Зависно од конструктивната улога, односно од видот на товарите кои арматурата треба да ги носи, таа се дели на:

- **Главна арматура** – има за цел да ги прифати напрегањата на затегнување и пренесе до потпорите, поради што се употребува во сите армиранобетонски конструктивни елементи.
- **Разделна арматура** – се поставува врз главната арматура кај армиранобетонските плочи, се поврзува за неа и има за цел да ги распредели концентрираните товари на поголеми површини, да ги држи прачките од главната арматура на проектираните растојанија и да обезбеди нивно заедничко работење во конструктивниот елемент, да спречи појава на прснатини од температурни промени и собирање на бетонот итн.
- **Узенгии** – најчеста примена е кај столобвите и гредите, а во одредени случаи кај плочите кои имаат поголема дебелина. Намената на узенгиите е да го обвиткаат и стегнат целиот пресек на конструктивниот елемент, поврзувајќи ги меѓусебно притиснатата и затегнатата зона, а служат и како носива арматура за прием на коси главни напрегања.

Прачките најчесто се произведуваат со должини до 12 m, жиците се произведуваат во котури, а мрежите се формираат во парчиња со широчини до 2,2 m и должини до 8 m. Мрежите се формираат со заварување прачки, поставени нормално едни во однос на други, а кои може да имаат еднаков дијаметар (Q-мрежа која носи во двата правци) или различен дијаметар (R-мрежа која носи во еден правец). Притоа, мрежите освен за армирање армиранобетонски меѓукатни плочи се употребуваат и за армиранобетонски ѕидови.

Библиографија

Amrose, James, Tripeny, Patrick. *Building Structures.* 3rd Edition. John Wiley and Sons, Inc., 2012.

Aristoteles. *The Nicomachean Ethics*. Further revised edition. Edited by Hugh Tredennick. Penguin Classics. Penguin Books, 2004.

Arnheim, Rudolf. *The Dynamics of Architectural Form, 30th Anniversary Edition*. First edition. University of California Press, 2009.

Barry, Robin. *The Construction of Buildings, Volume 1*. 7th edition. Wiley-Blackwell, 1999.

Charleson, Andrew W. *Structure as Architecture: A Source Book for Architects and Structural Engineers*. Architectural Pr, 2006.

Deplazes, Andrea. *Constructing Architecture: Materials, Processes, Structures : A Handbook*. 2nd ed. 2008. 2nd printing edition. Birkhäuser Architecture, 2009.

Macdonald, Angus J. *Structure and Architecture*. 2nd edition. Routledge, 2001.

Maulden, Robert. "Tectonics in Architecture : From the Physical to the Meta-Physical." Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 1986.

Mckenzie, W. M. C. Le. *Design of Structural Elements*. Palgrave Macmillan, 2003.

Rush, Richard, ed. *The Building Systems Integration Handbook: The American Institute of Architects*. Architectural Press, 1991.

Schodek, D. *Structures, 5th Edn.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 2003.

Tzonis, Alexander, and Liane Lefaivre. *Classical Architecture: The Poetics of Order*. MIT Press, 1986.

Спасов, Андреј, and Весна Трајковска. *Градежни Конструкции*. „Универзитет Св. Кирил и Методиј", 1994.

Ниту еден дел од оваа публикација не смее да биде репродуциран на било кој начин без претходна писмена согласност на авторот.

Е-издание: https://ukim.edu.mk/e-book/00153