



Универзитет у Београду – Грађевински факултет
www.grf.bg.ac.rs

Студијски програм: **ГРАЂЕВИНАРСТВО ДИПЛОМСКЕ АКАДЕМСКЕ СТУДИЈЕ**

Modul: **КОНСТРУКЦИЈЕ**

Година/Семестар: **I година / I семестар**

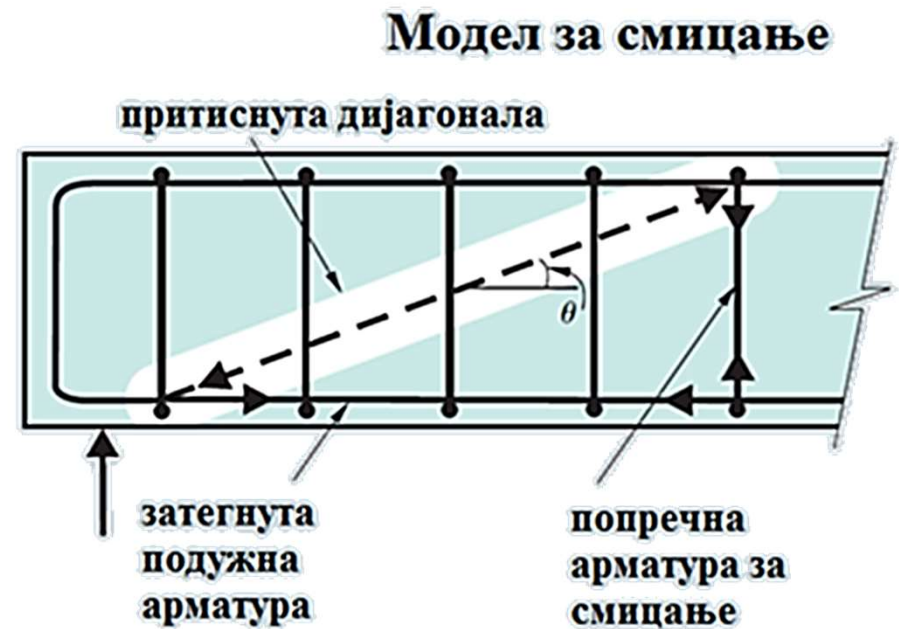
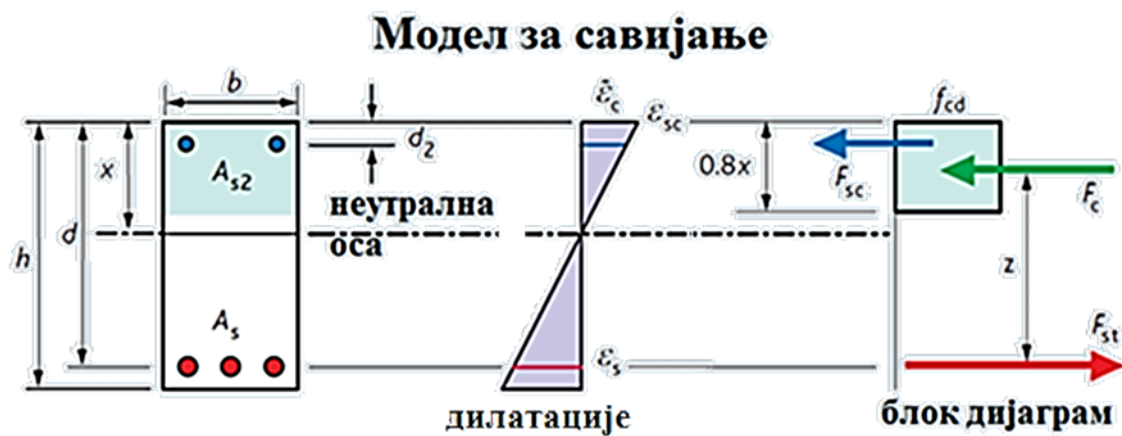
Назив предмета (шифра): **САНАЦИЈЕ, РЕКОНСТРУКЦИЈЕ И
ОДРЖАВАЊЕ БЕТОНСКИХ КОНСТРУКЦИЈА
(м0к1сб)**

Наставник : **В. Проф. Др Снежана Машовић**

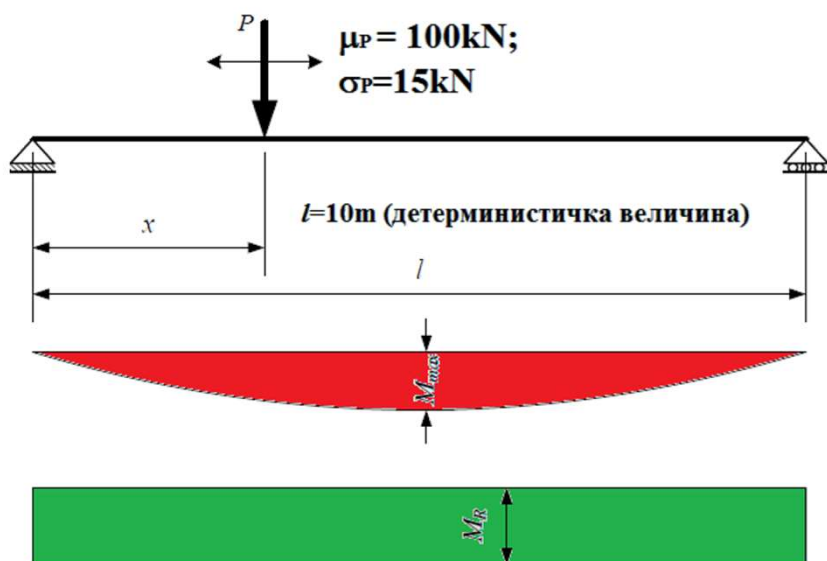
Наслов предавања: **Прорачунски модели у контролним
прорачуну**

Датум : **23.11.2022.**

Прорачунски модели отпорности



Процена коришћењем аналитичких модела одговора конструкције

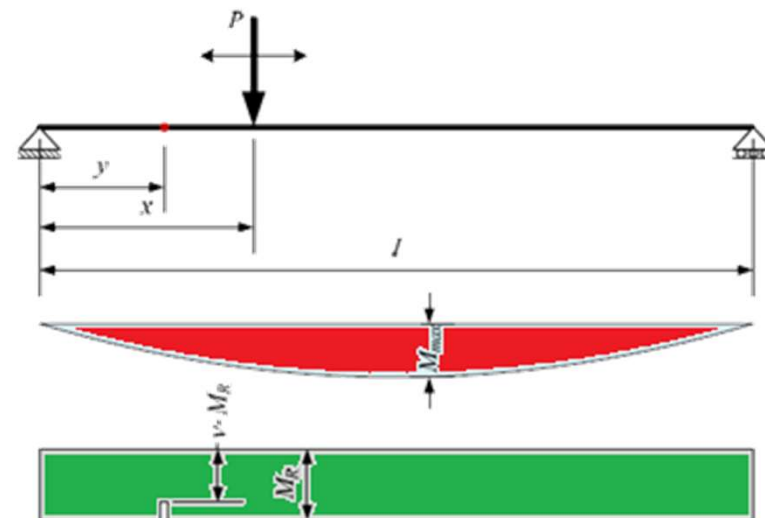


$$\mu_{M_R} = 500\text{kNm};$$

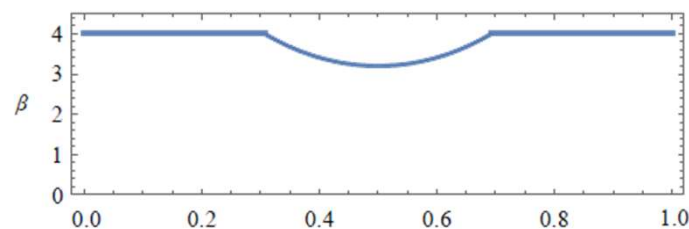
$$\sigma_{M_R} = 50\text{kNm}$$

$$\beta = \frac{\mu_{M_R} - \frac{\mu_P \cdot l}{4}}{\sqrt{\sigma_{M_R}^2 + \left(\frac{\sigma_P \cdot l}{4}\right)^2}} = \frac{500 - 250}{\sqrt{50^2 + \left(\frac{150}{4}\right)^2}} = 4.0$$

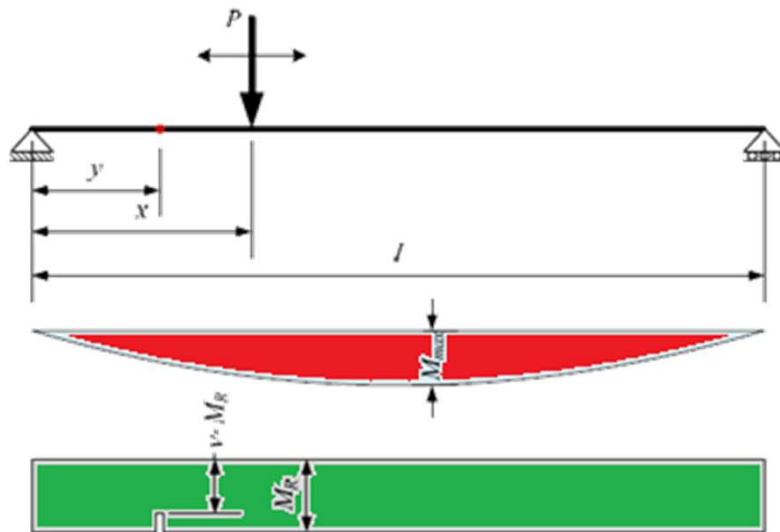
$$P_f = 3.17 \cdot 10^{-5}$$



$$\beta = \text{Min} \left(\frac{v \cdot \mu_{M_R} - \mu_P \cdot \xi \cdot (1 - \xi) \cdot l}{\sqrt{\sigma_{M_R}^2 + (\sigma_P \cdot \xi \cdot (1 - \xi) \cdot l)^2}}, 4 \right)$$



Непоузданост података и ажурирање



$$P_f = \int_0^1 \Phi \left(-\text{Min} \left(\frac{\nu \cdot \mu_{M_R} - \mu_P \cdot \xi \cdot (1-\xi) \cdot l}{\sqrt{\sigma_{M_R}^2 + (\sigma_P \cdot \xi \cdot (1-\xi) \cdot l)^2}}, 4 \right) \right) \cdot d\xi$$

$$= \int_0^1 \Phi \left(-\text{Min} \left(\frac{0.9 \cdot \mu_{M_R} - 100 \cdot \xi \cdot (1-\xi) \cdot 10}{\sqrt{50^2 + (15 \cdot \xi \cdot (1-\xi) \cdot 10)^2}}, 4 \right) \right) \cdot d\xi = 15.69 \cdot 10^{-5}$$

$$\beta = -\Phi^{-1}(P_f) = 3.6$$

губитак пресека арматуре	5%	10%	15%	20%
вероватноћа	60%	20%	10%	10%

$$P_f = 0.6 \cdot \int_0^1 \Phi \left(-\text{Min} \left(\frac{0.95 \cdot \mu_{M_R} - 100 \cdot \xi \cdot (1-\xi) \cdot 10}{\sqrt{50^2 + (15 \cdot \xi \cdot (1-\xi) \cdot 10)^2}}, 4 \right) \right) \cdot d\xi +$$

$$+ 0.2 \cdot \int_0^1 \Phi \left(-\text{Min} \left(\frac{0.9 \cdot \mu_{M_R} - 100 \cdot \xi \cdot (1-\xi) \cdot 10}{\sqrt{50^2 + (15 \cdot \xi \cdot (1-\xi) \cdot 10)^2}}, 4 \right) \right) \cdot d\xi +$$

$$+ 0.1 \cdot \int_0^1 \Phi \left(-\text{Min} \left(\frac{0.85 \cdot \mu_{M_R} - 100 \cdot \xi \cdot (1-\xi) \cdot 10}{\sqrt{50^2 + (15 \cdot \xi \cdot (1-\xi) \cdot 10)^2}}, 4 \right) \right) \cdot d\xi +$$

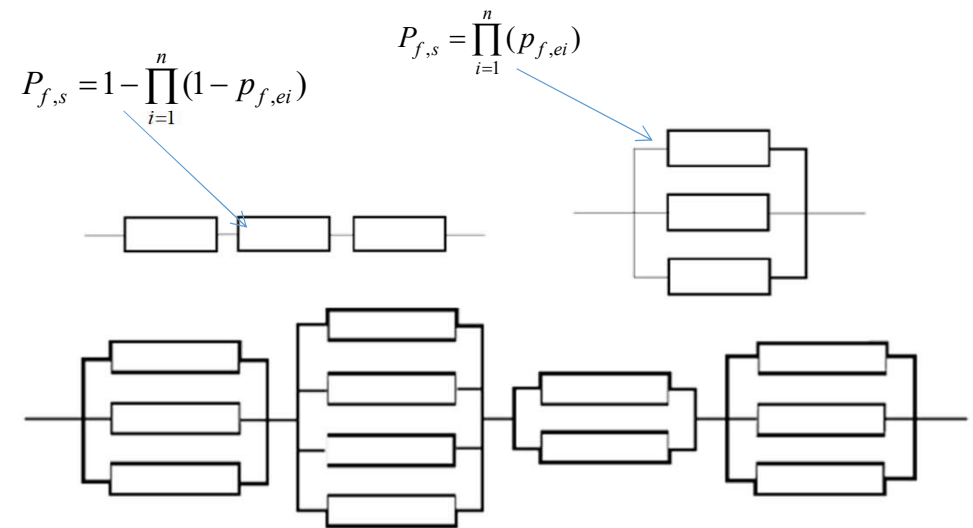
$$+ 0.1 \cdot \int_0^1 \Phi \left(-\text{Min} \left(\frac{0.8 \cdot \mu_{M_R} - 100 \cdot \xi \cdot (1-\xi) \cdot 10}{\sqrt{50^2 + (15 \cdot \xi \cdot (1-\xi) \cdot 10)^2}}, 4 \right) \right) \cdot d\xi$$

$$= 0.6 \cdot 5.134 \cdot 10^{-5} + 0.2 \cdot 15.69 \cdot 10^{-5} + 0.1 \cdot 56.62 \cdot 10^{-5} + 0.1 \cdot 190.55 \cdot 10^{-5} = 30.94 \cdot 10^{-5}$$

$$\beta = 3.42$$

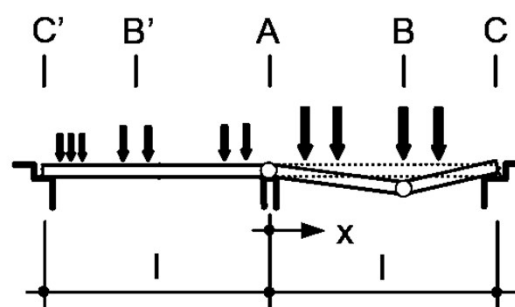
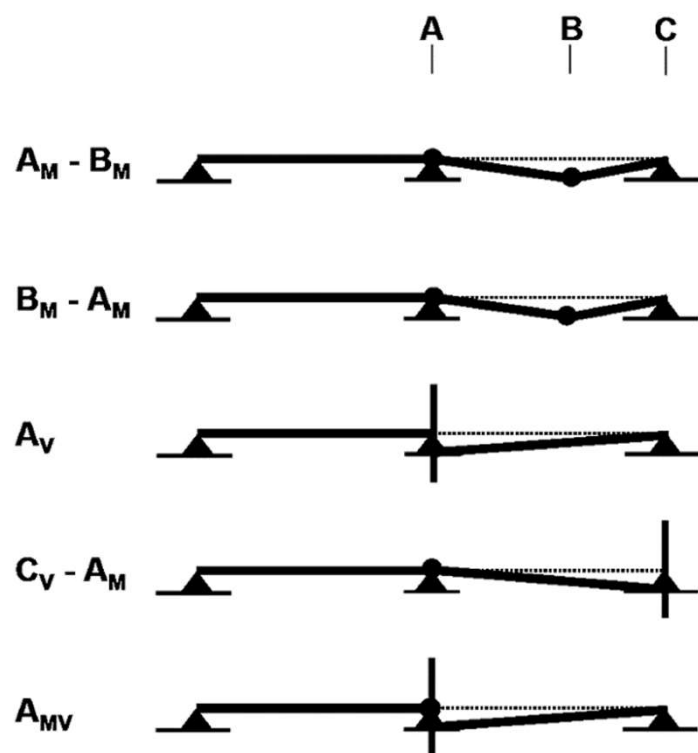
Лом конструкције

- Конструкција је сиситем која може да има више од једног елемента – статичка неодређеност.
- Слом једног елемента не мора да значи колапс конструкције.
- Чак и код статички одређених конструкција постоји више типа лома (момент, трансверзална сила, извијање...).
- Значи треба испитати понашање система пошто је његов колапс најкритичнији, од интереса је колапс конструкције који је последица колапса појединих елеменета.
- Логички модели – серијски и паралелни.
- Серијски – отказује ако је отказала најслабија карика.
 - Лом једног елемента (најслабије карике) је и лом конструкције.
 - Статички одређени системи су заправо серијски системи. Али и код њих може да постаји више типа лома.
- Паралелни отказује ако су отишле све карике.
 - Статички неодређене – паралелни систем ?
 - Зависи од типа лома
 - Дуктилан – могућа прерасподела
 - Крт – систем отказује ако је отказао неки елемент.



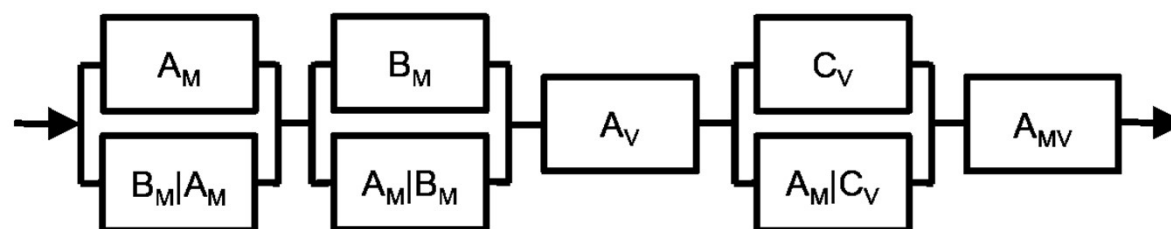
Корелација типа отказа

Логички модели



могући механизми лома

A_M лом савијањем у пресеку A
 $B_M|A_M$ лом савијањем у пресеку B под условом да се десио лом савијањем пресека A



Процена на бази прикупљених информација



Контролни прорачун

- На основу прикупљених података из постојеће документације и прегледа конструкције и материјала:

- Ажурирају се (реконструишу) цртежи конструкције
- Формира се прорачунски модел са:
 - Утврђеним карактеристикама материјала (квалитет бетона и арматуре)
 - Утврђеним димензијама елемената
 - Распоредом сталног оптерећења
 - Корисно оптерећење(?)

Препоручује се започети процену једноставним и конзервативним поступцима.

1. ЈЕДНОСТАВНЕ МЕТОДЕ

- Конзервативне методе, доња граница
- Линеарни прорачунски модели са еластичним понашањем материјала
- Оптерећење према прописима

2. СЛОЖЕНЕ МЕТОДЕ ПРОРАЧУНА

- Методе коначних елемената уз нелинеарно понашање материјала
- Скривене резерве у конструкцији и смањење конзервитизма
- Примена теорије пластичности

3. ПРИЛАГОЂЕНЕ МЕТОДЕ ПРОРАЧУНА

- Ажурирање карактеристика конструкције и оптерећења, уз пробабилстичке методе одређивања индекса поузданости

Стандарди за процену постојећих мостова

Базирани на смањеном индексу поузданости

- Базирани су на критеријуму сигурности људи, економских разматрања и редукованом преосталом животном веку.
- Прописана максимална годишња вероватноћа "отказа" према ISO 2394
- Канада - CAN/CSA-S6-06
- УСА – MBE
- Холандија - NEN 8700

Базирани на смањењу неизвесности уз прописани индекс поузданости

- Аустрија - ONR 24008
- Швајцарска - SIA 269
- Немачке смернице - Richtlinie zur achrechnung von Strassenbrücken im Bestand
- Мостови који не задовољавају критеријуме за нове конструкције се проверавају на другом нивоу на семипробабистички начин са смањеним коефицијентом сигурности за стални терет $\gamma_G = 1,20$ са мереним вредностима овог оптерећења уз утврђене вредности попречних пресека и материјала. Парцијални фактори за промењива дејства и комбинације се задржавају према прописма за нове конструкције.

Преглед различитих стандарда за процену мостова

Стандард	β		Референтни период		Парцијални коефицијент			
	Нове	Постојеће	Нове	Постојеће	$\gamma_{G1} (\gamma_{G2})$		γ_Q (саобр.)	
					Нове	Постојеће	Нове	Постојеће
CAN/CSA-S6-06	3.75	2.50	100	5	1.20(1.50)	1.10(1.25)	1.70	1.35
MBE	3.50	2.50	75	5	1.25(1.50)	1.25(1.50)	1.75	1.35
NEN 8700	4.30	3.30	100	15	1.40	1.25	1.50	1.25
ONR 24008	4.30	4.30	100	/	1.35	1.20	1.35	1.35
SIA 269	4.30	4.30	100	/	1.35	1.20	1.50	1.50
BASt	4.30	4.30	100	/	1.35	1.20	1.50	1.50

SIA 269

Циљани индекси поузданости за референтни период 1 год.

Ефикасност мера EF_M $EF_M = \frac{\Delta R_M}{SC_M}$	Класа последица $\rho = \frac{C_F}{C_W}$		
	мале $\rho < 2$	средње $2 < \rho < 5$	велике $5 < \rho < 10$
мала: $EF_M < 0,5$	$\beta_0 = 3,1 (P_f \approx 10^{-3})$	$\beta_0 = 3,3 (P_f \approx 5 \cdot 10^{-4})$	$\beta_0 = 3,7 (P_f \approx 10^{-4})$
средња: $0,5 \leq EF_M \leq 2,0$	$\beta_0 = 3,7 (P_f \approx 10^{-4})$	$\beta_0 = 4,2 (P_f \approx 10^{-5})$	$\beta_0 = 4,4 (P_f \approx 5 \cdot 10^{-5})$
велика: $EF_M > 2,0$	$\beta_0 = 4,2 (P_f \approx 10^{-5})$	$\beta_0 = 4,4 (P_f \approx 5 \cdot 10^{-5})$	$\beta_0 = 4,7 (P_f \approx 10^{-6})$

Фактори прилагођавања за оптерећење LM1 (ЕС 1991-2)

Тип конструкције моста		Span [m]	$\alpha_{Q1,oct}$	$\alpha_{Q2,oct}$	$\alpha_{q1,oct} \alpha_{qr,oct}$
греда	сандук	20 – 80	0,70	0,50	0,50
	два ребра	20 – 80			0,40
	више ребара	15 – 35			
плоча	плоче	10 – 30			

Актуелизација прорачунског модела - Теореме теорије пластичности

- Статичка теорема или теорема о доњој граници:

Свако оптерећење, за које је у конструкцији могуће одредити такво статички дозвољено стање напона да оно задовољава услов течења, не прекорачује носивост конструкције.

- Кинематичка теорема или теорема о горњој граници:

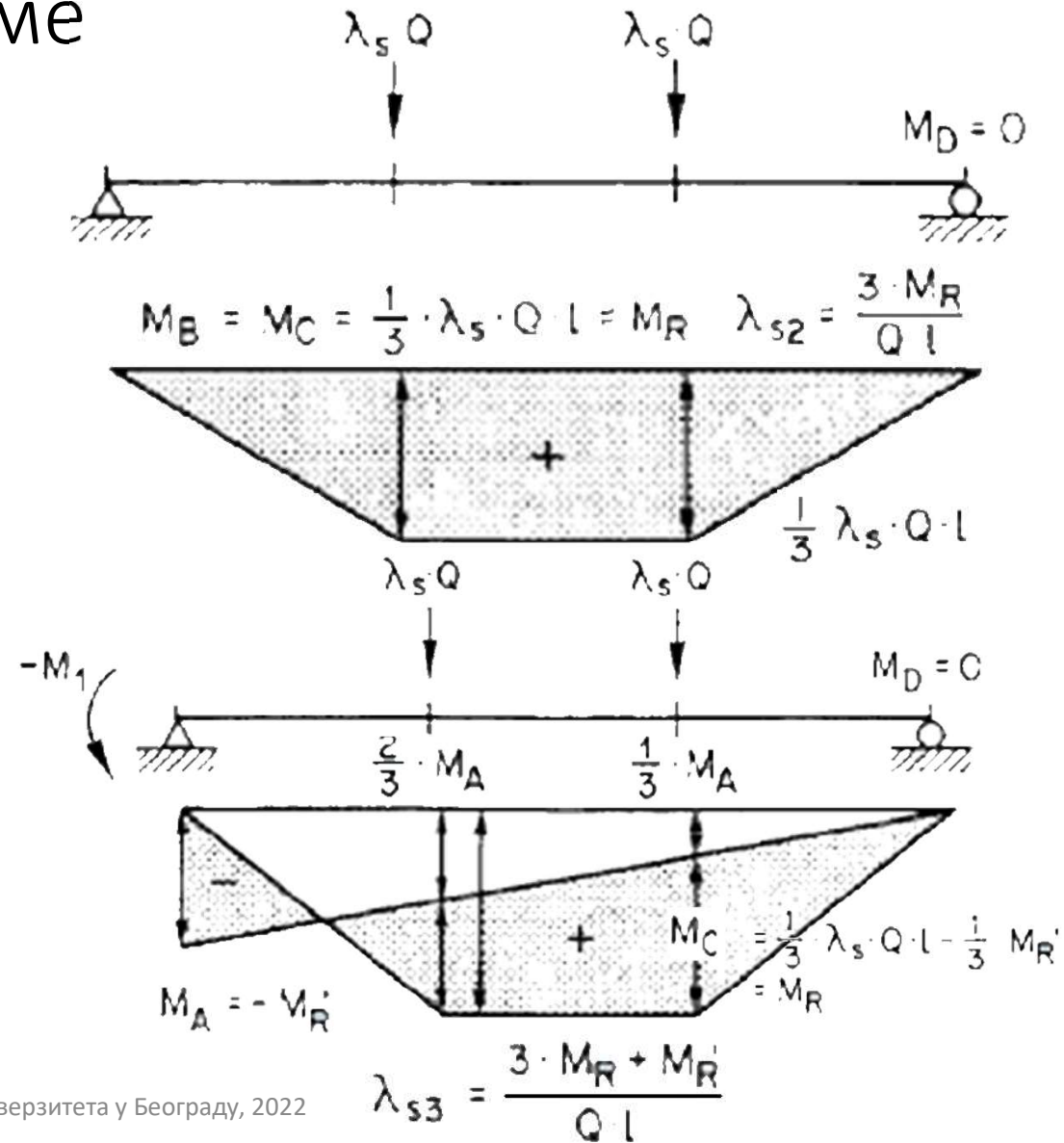
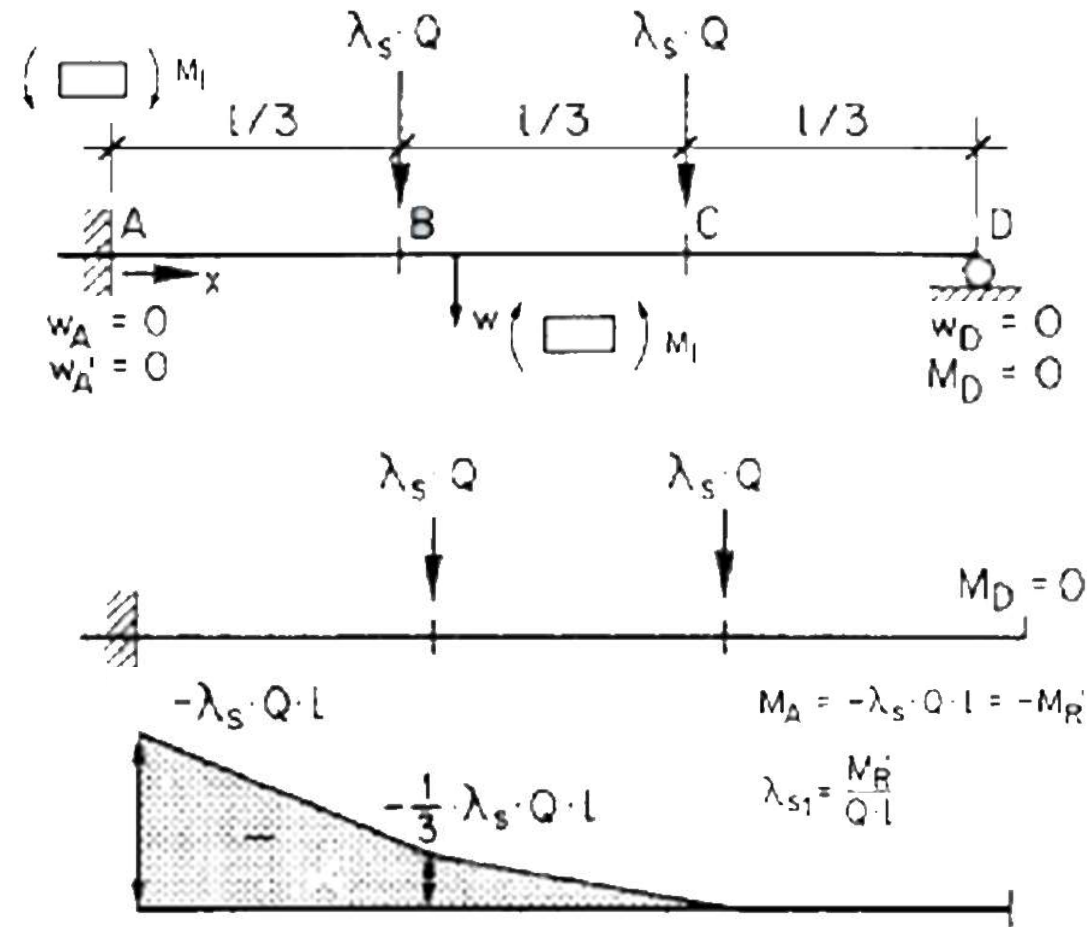
Свако оптерећење, за које се у конструкцији може одредити такво кинематички дозвољено стање деформација чији је дисипациони рад једнак раду тог оптерећења, прекорачује или је једнако носивости конструкције.

Услови	Статичка теорема	Тачно решење	Кинематичка теорема
Равнотежа	задовољена	задовољена	задовољена
Услов течења	задовољен	задовољен	?
Механизам	?	да	да
Резултат	Доња граница $Q_S \leq Q_T$		Горња граница $Q_K \geq Q_T$
Метода	Статичка		Кинематичка

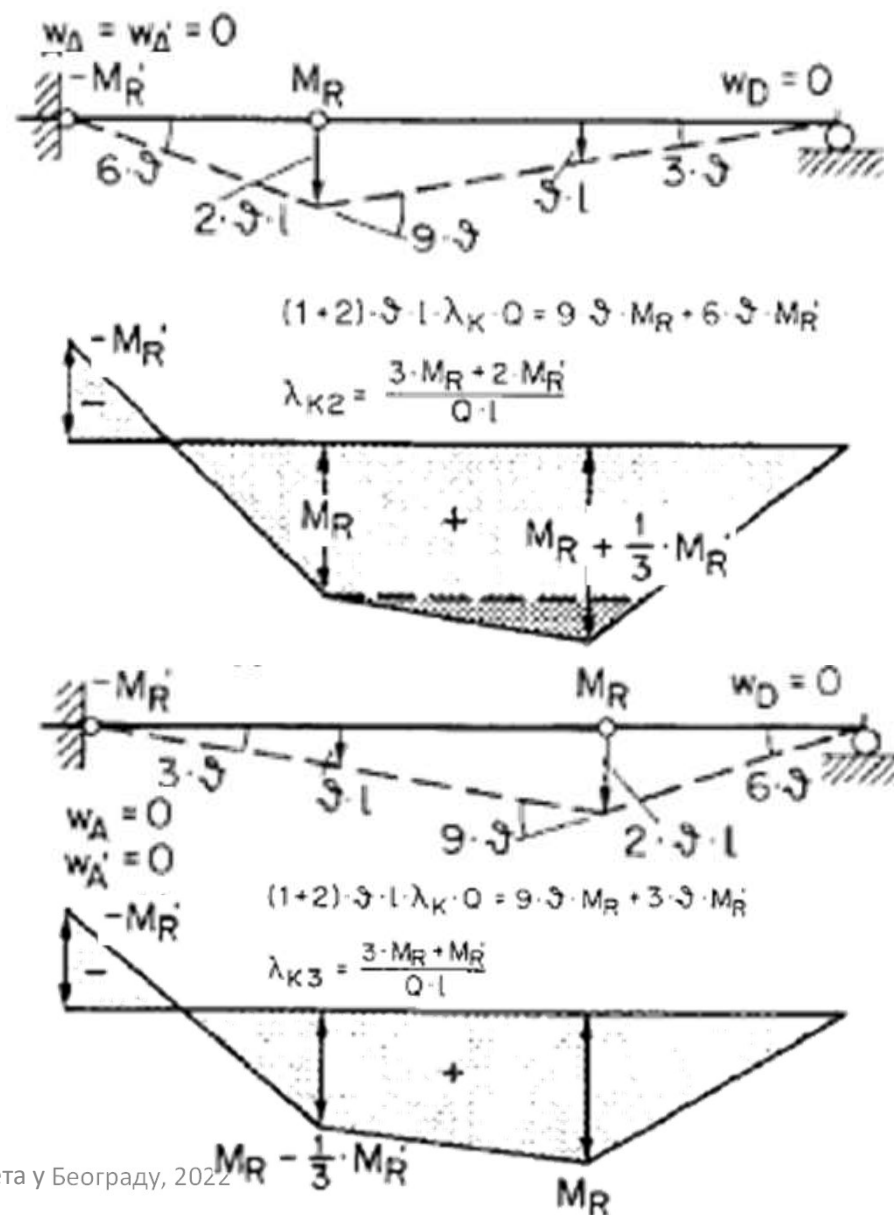
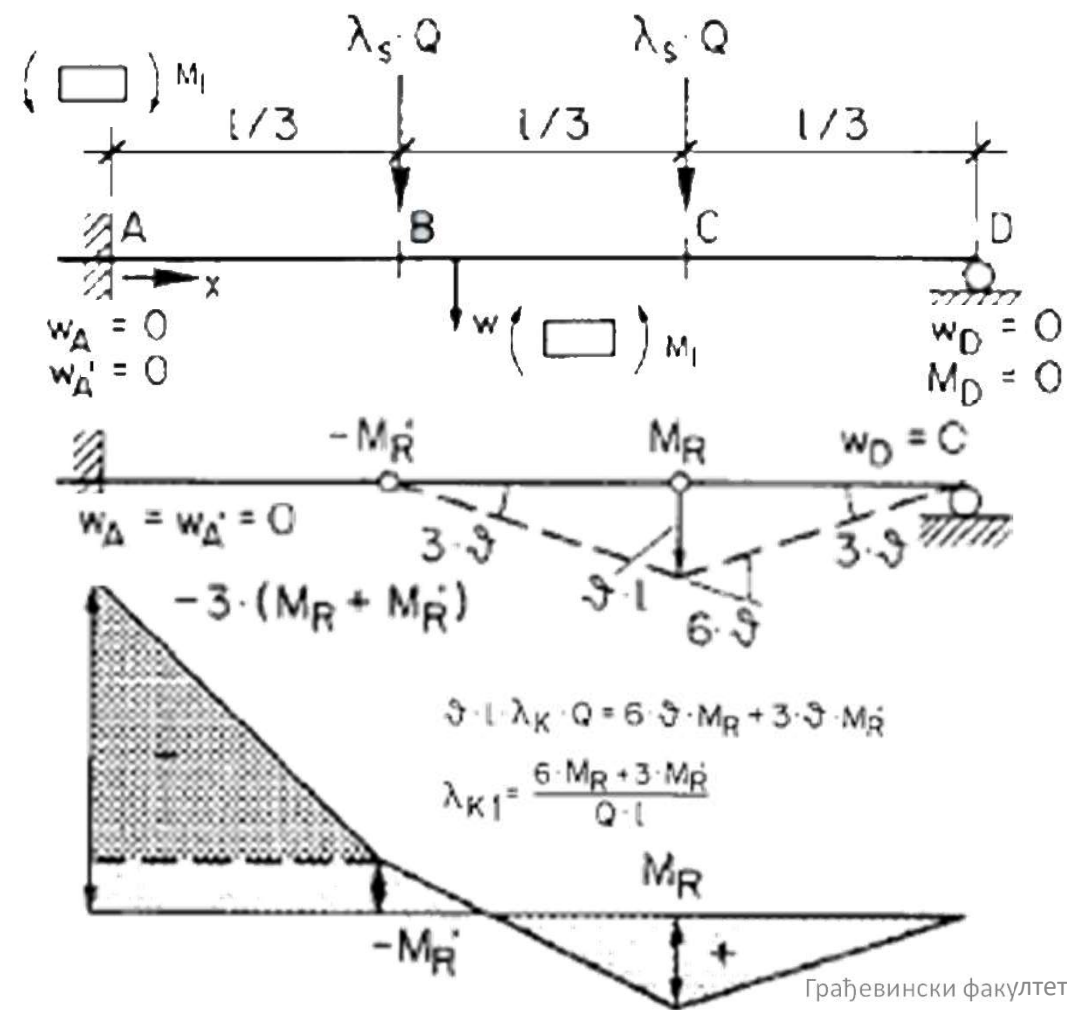
Теорема о једнозначности

Оптерећење, за које се у конструкцији могуће одредити такво статички дозвољено стање напона да оно задовољава услов течења и коме је могуће законом течења придружити кинематички дозвољено стање деформација, једнако је носивости конструкције

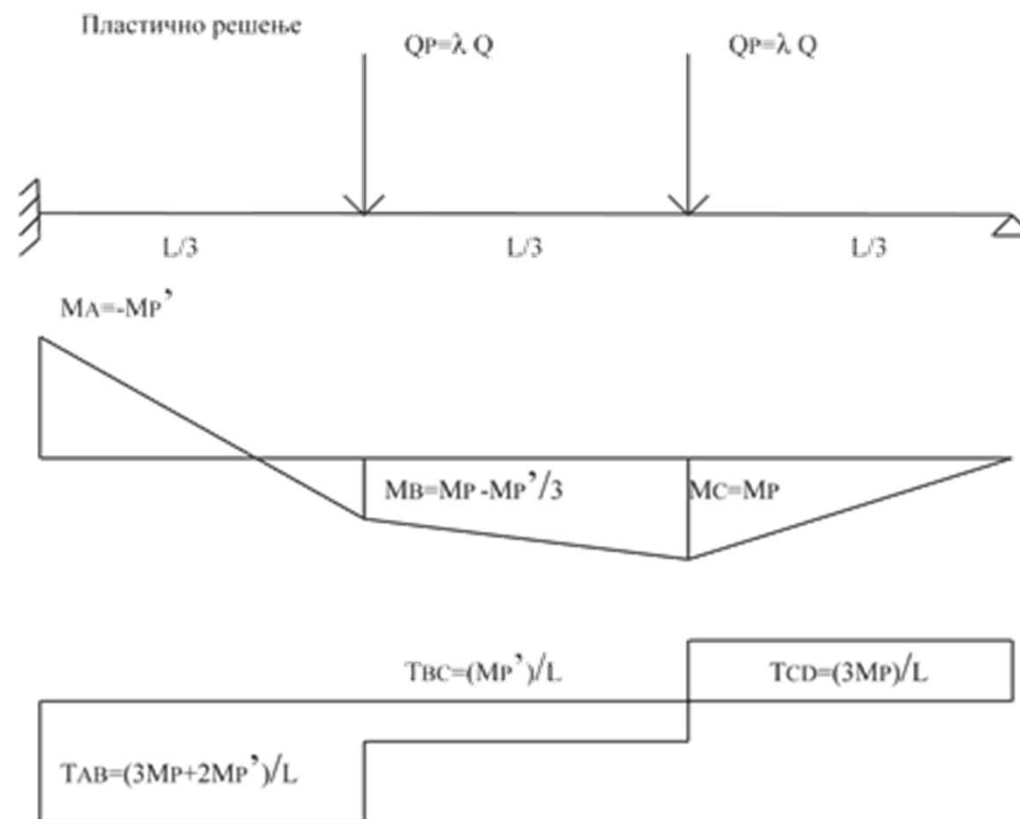
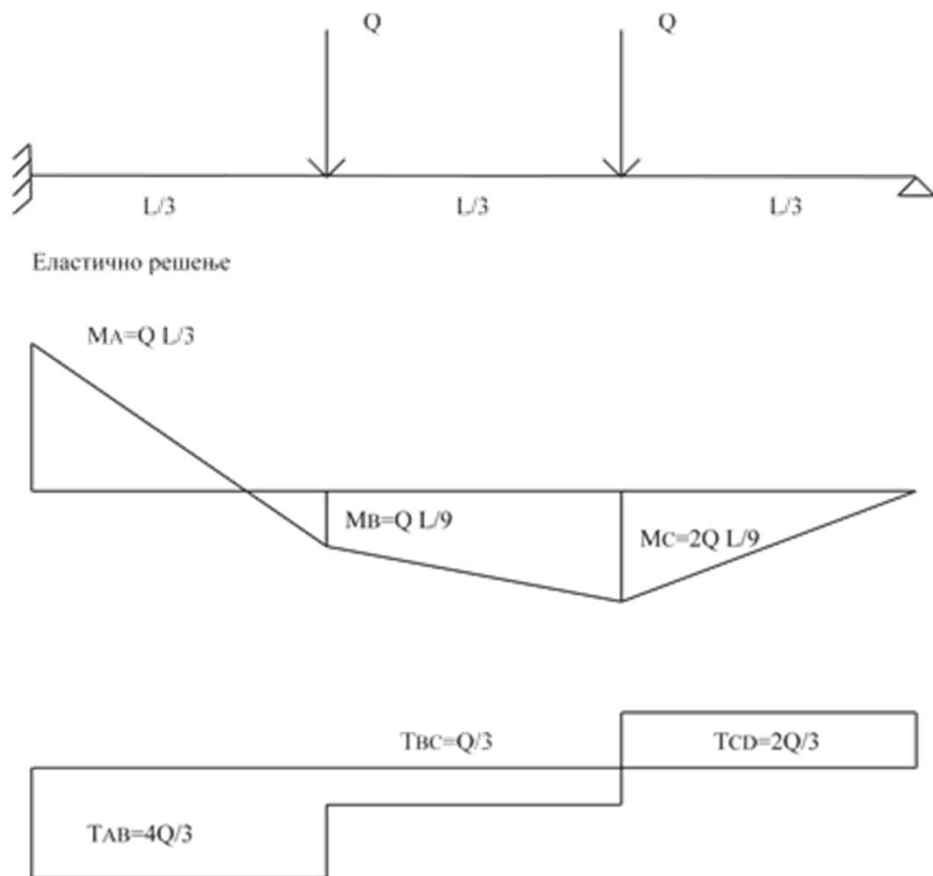
Примена статичке теореме



Примена кинематичке теореме

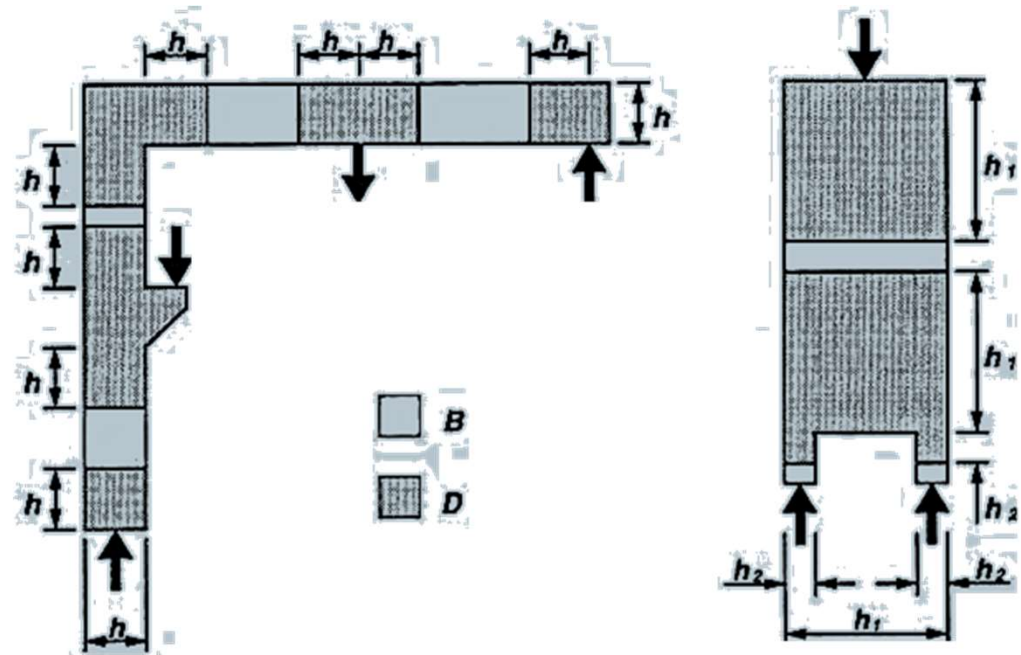


Еластично и пластично решење

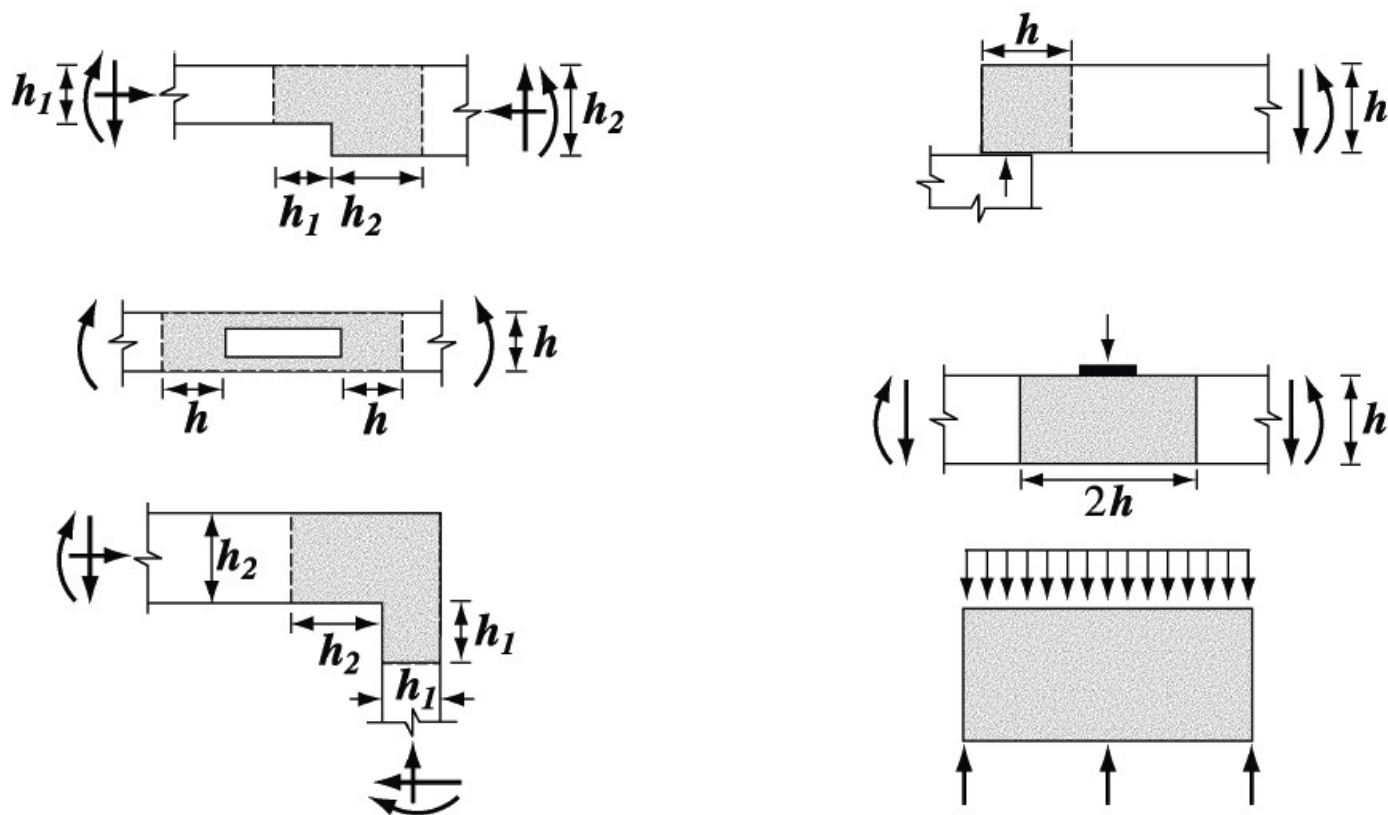


Модел решетке -Strut-and-Tie

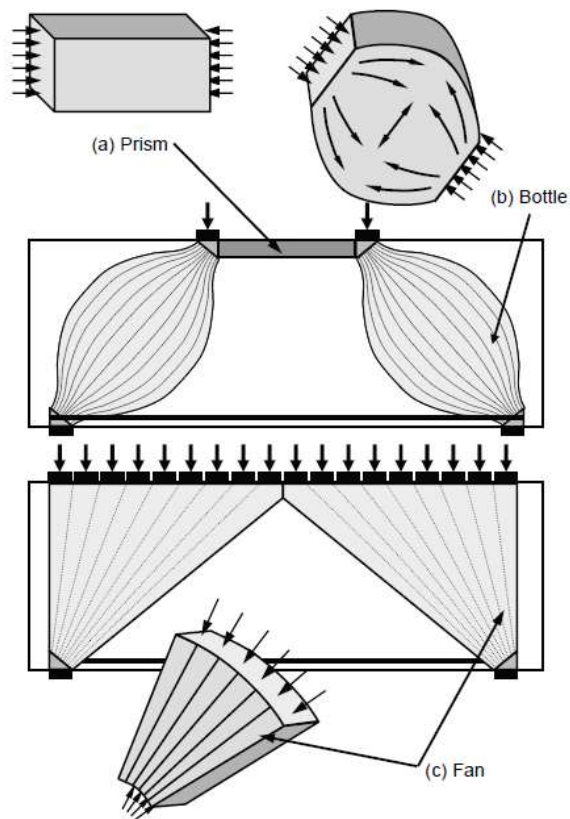
- Веома коришћен метод у области конструкција изложеним смицању
- У регионима где се уносе силе у елемент (disturbed regions – D области)



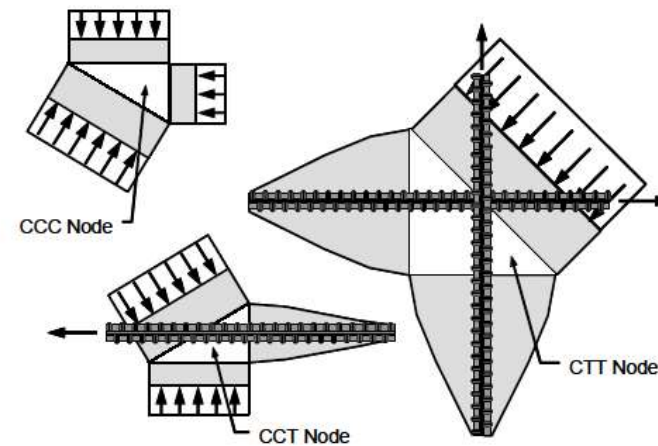
Типичне области дисконтинуитета



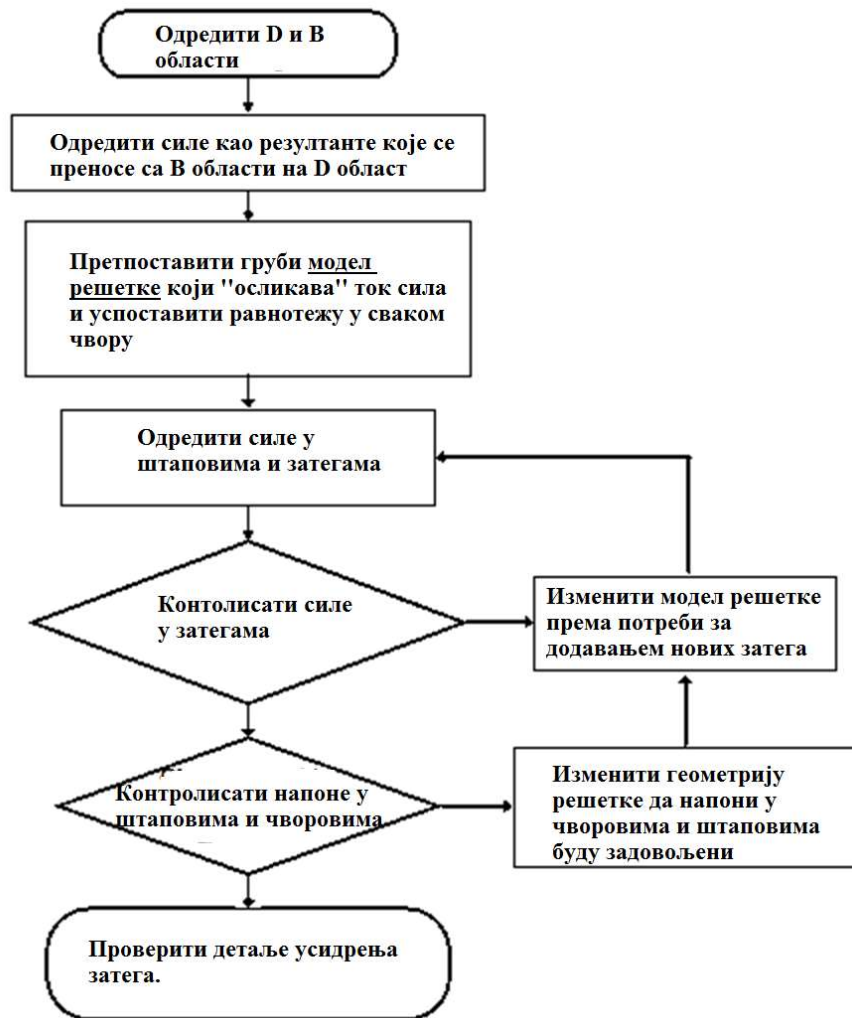
Концепт модела решетке



Strut - подупирач	Tie - затега	Node - чвор
Притиснути елемент	Затегнути елемент	везни елемент
Бетон	Арматура или узенгије	бетон

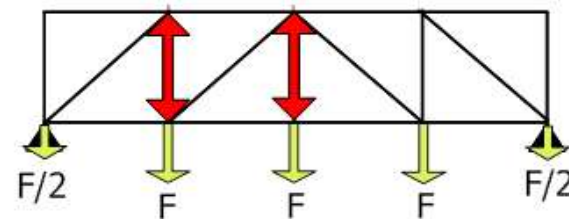
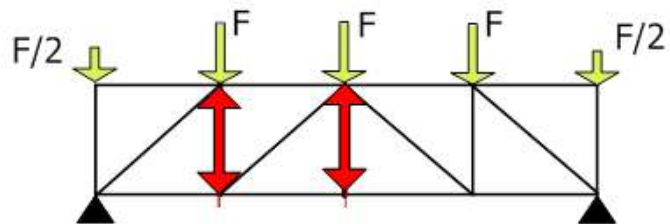
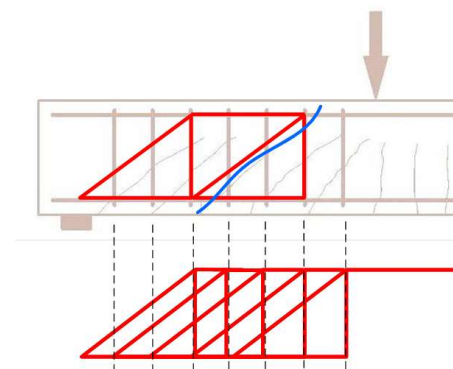
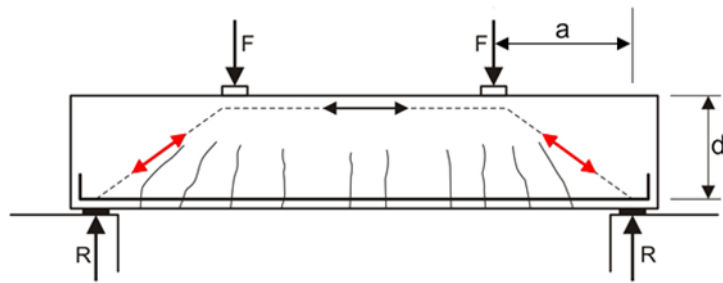


Процедура за формирање модела

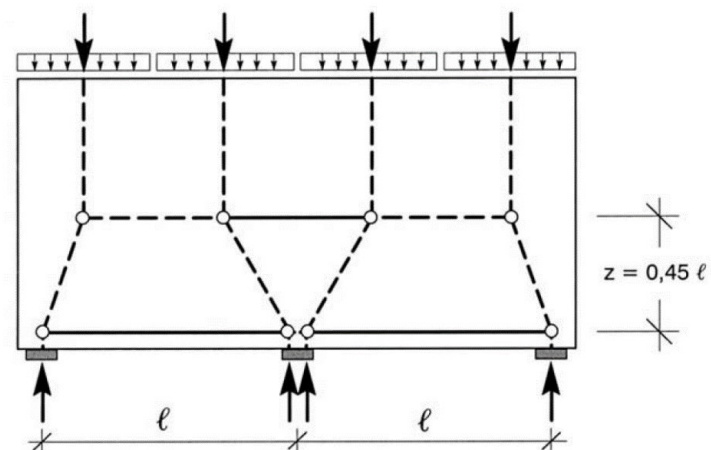
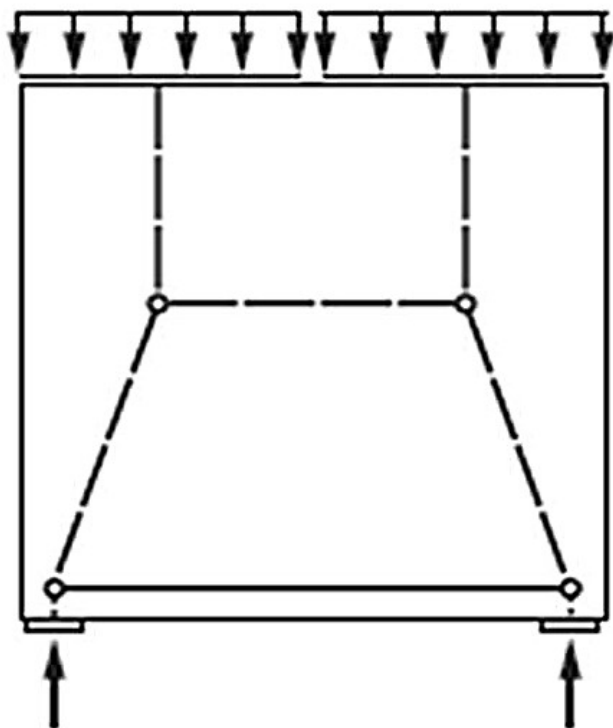


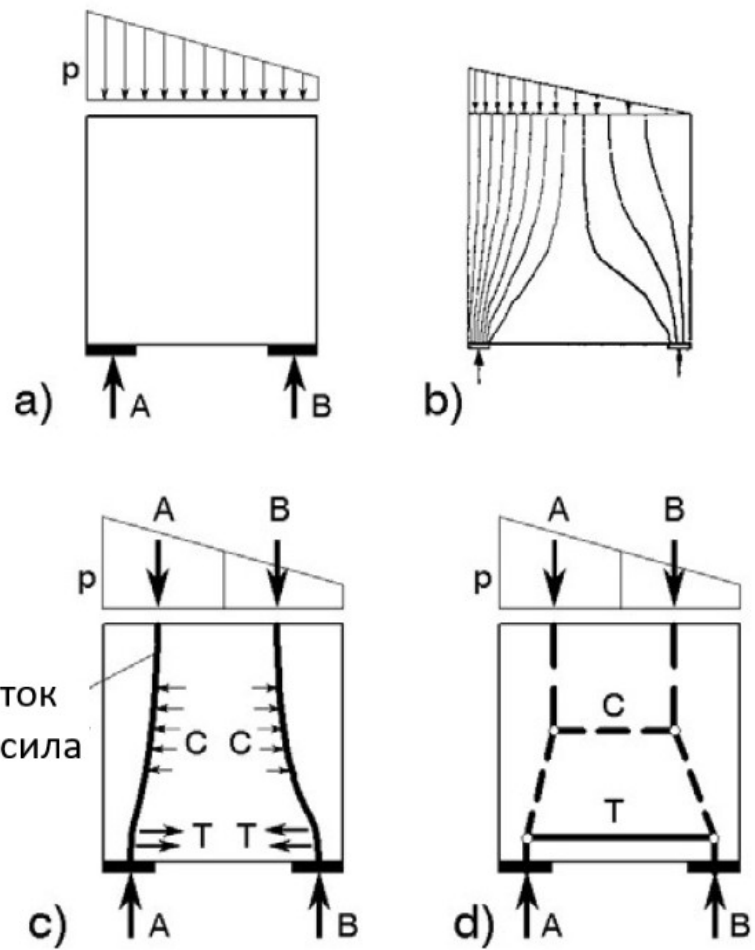
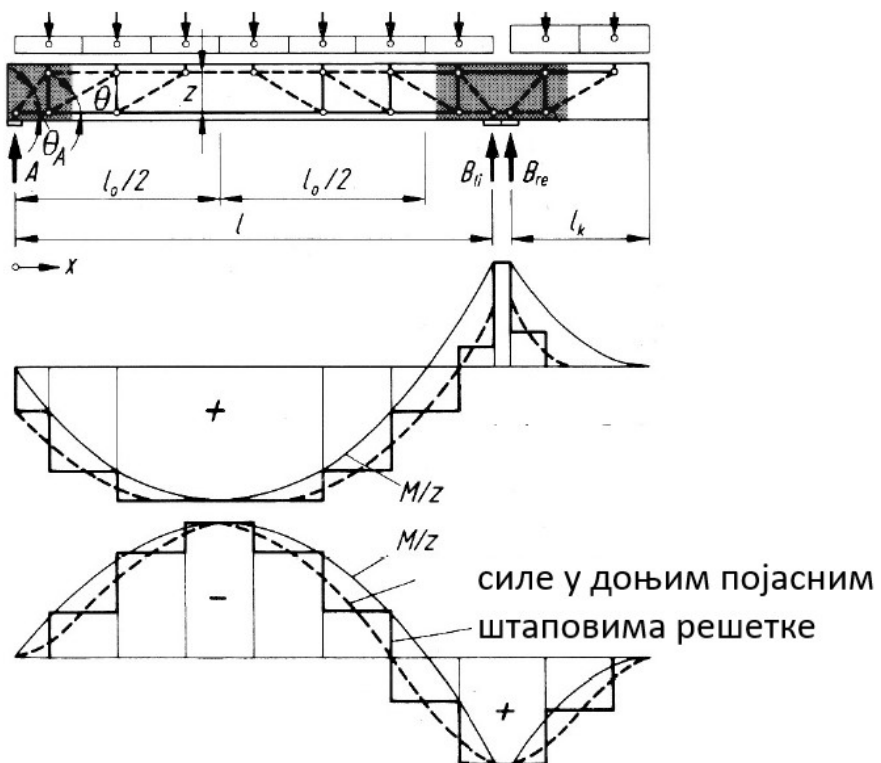
- Препоручљиво је да се полазна решетка усвоји као статички одређена јер се онда силе могу лако одредити из услова равнотеже.
- Силе (оптерећење) се аплицира у чворове решетке.
- Тада силе не зависе од димензија штапова које у иначе непознате.
- Димензије бетонских штапова се могу одредити само на местима где је геометрија чворова дефинисана ослоначким плочицама.
- Препоручљиво је започети модел на основу већ постојећих модела решетки за сличне ситуације.

Решетка у савијеној греди



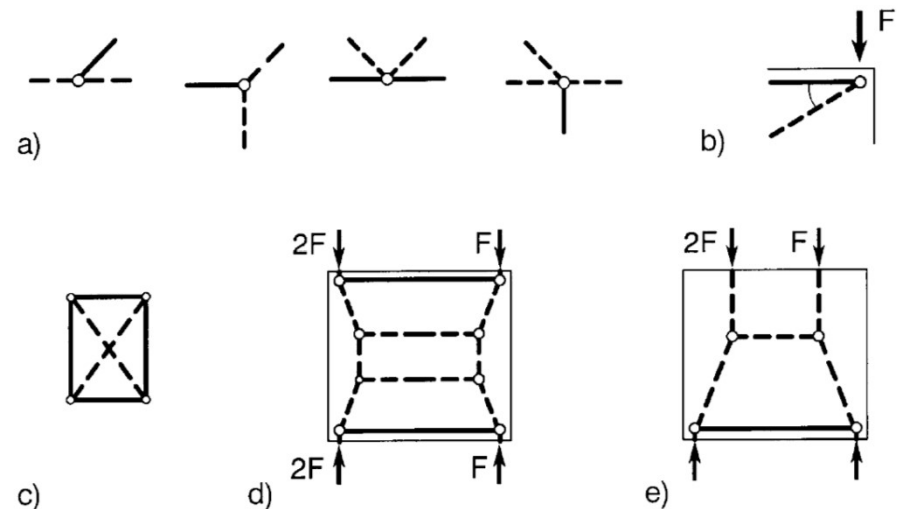
Зидни носач

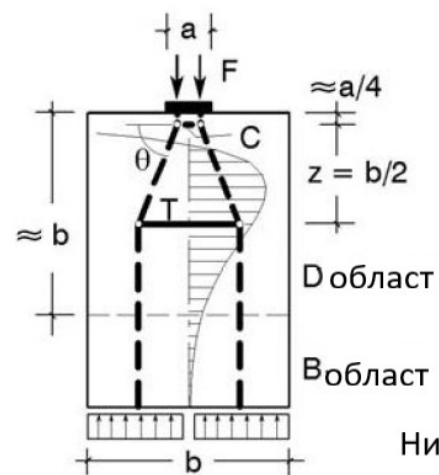
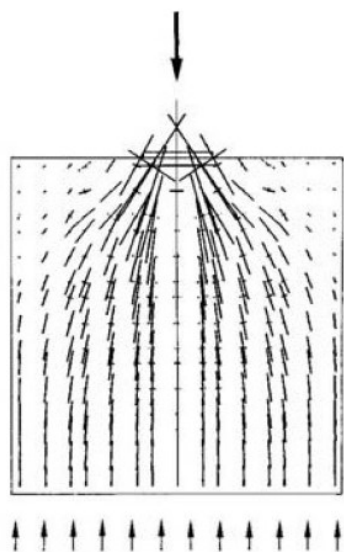




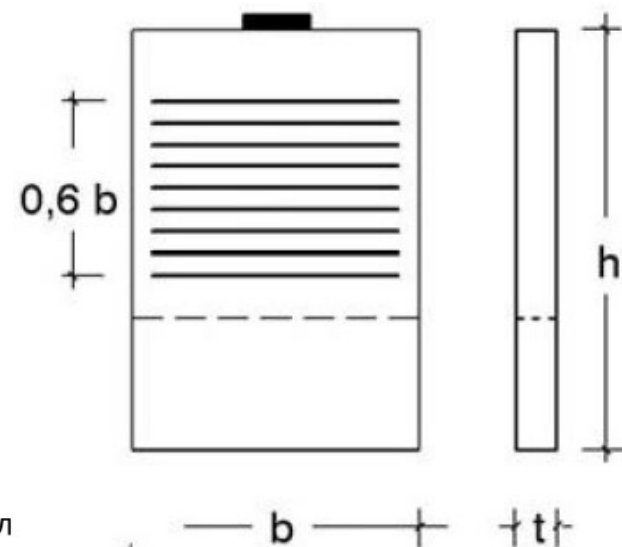
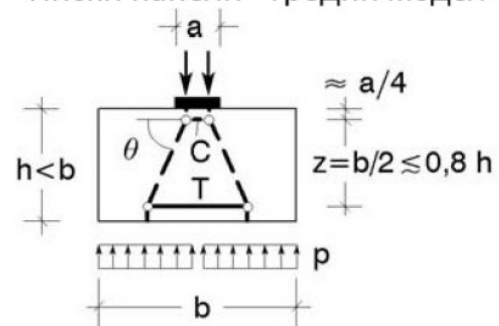
Грешке у формирању решетке

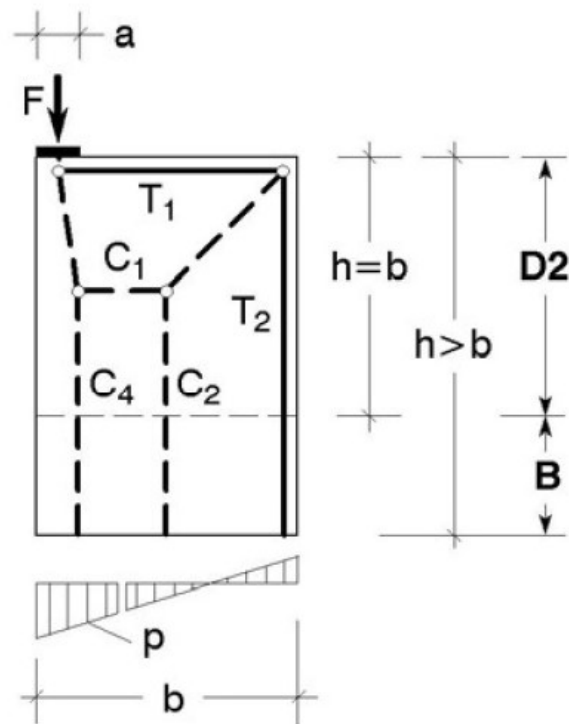
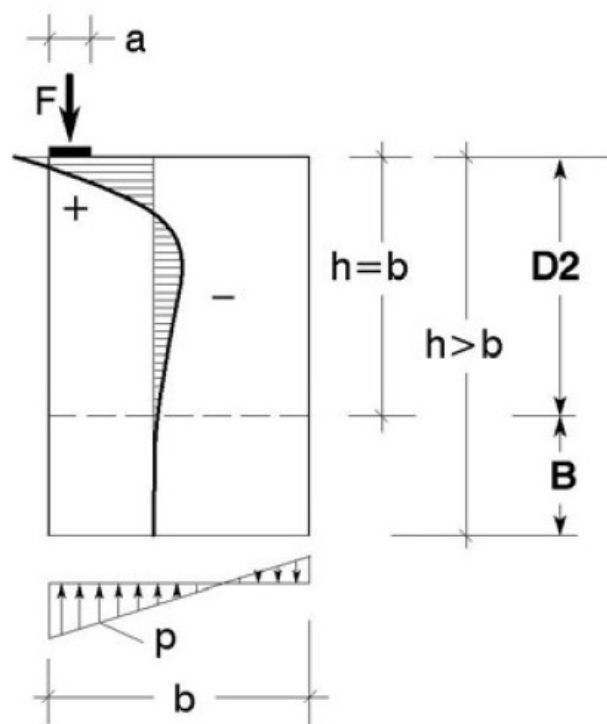
- а) Нема равнотеже чвора
- б) Угао притиснутог штапа сувише мали
- ц) Прекоброји штап, статички неодређен
- д) Неправилан положај унутрашњих чворова, нема равнотеже у кинематичком систему
- е) Пут оптерећења са различитим силама на оба краја, недостаје једна путања оптерећења, нема равнотеже у кинематичкој систему

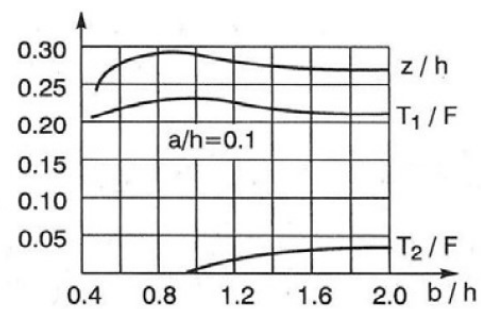
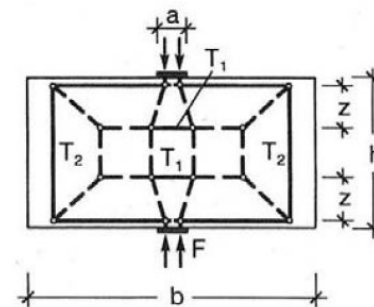
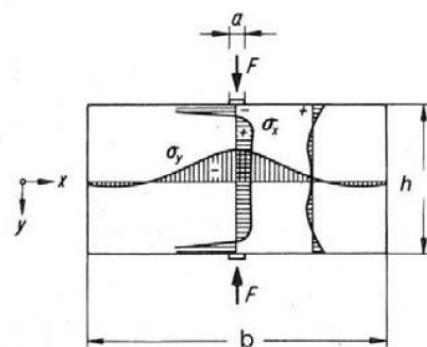
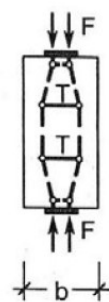
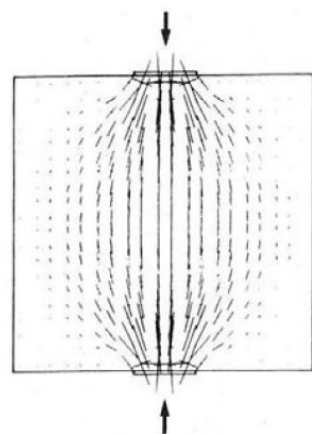


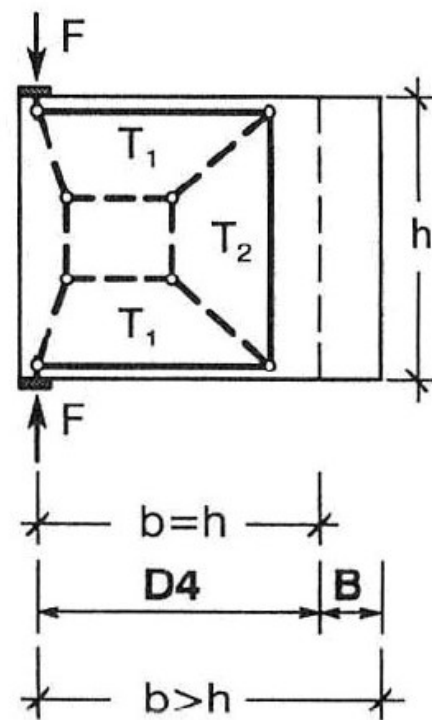
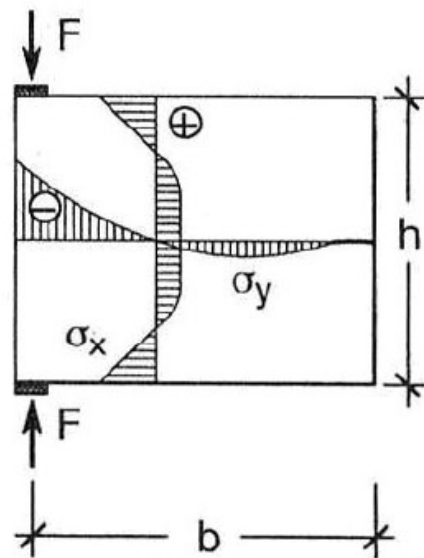
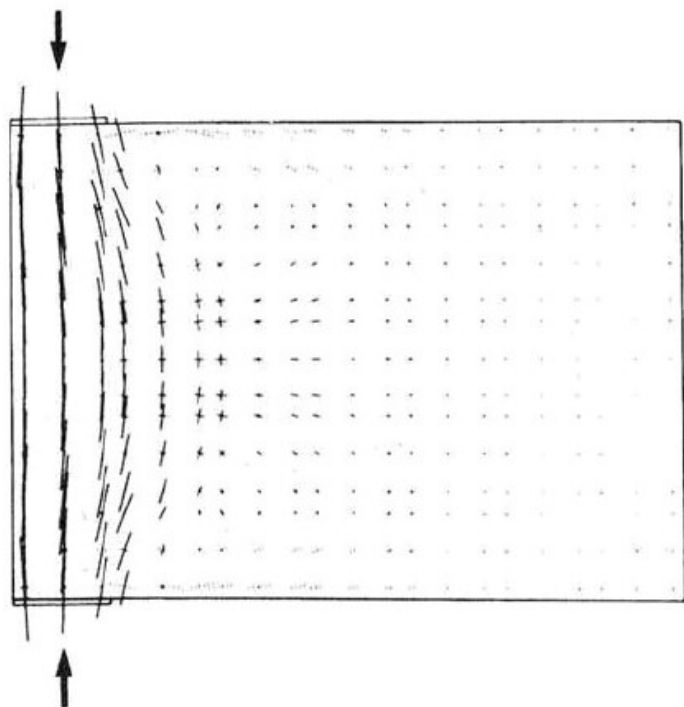


Ниски панели - гредни модел

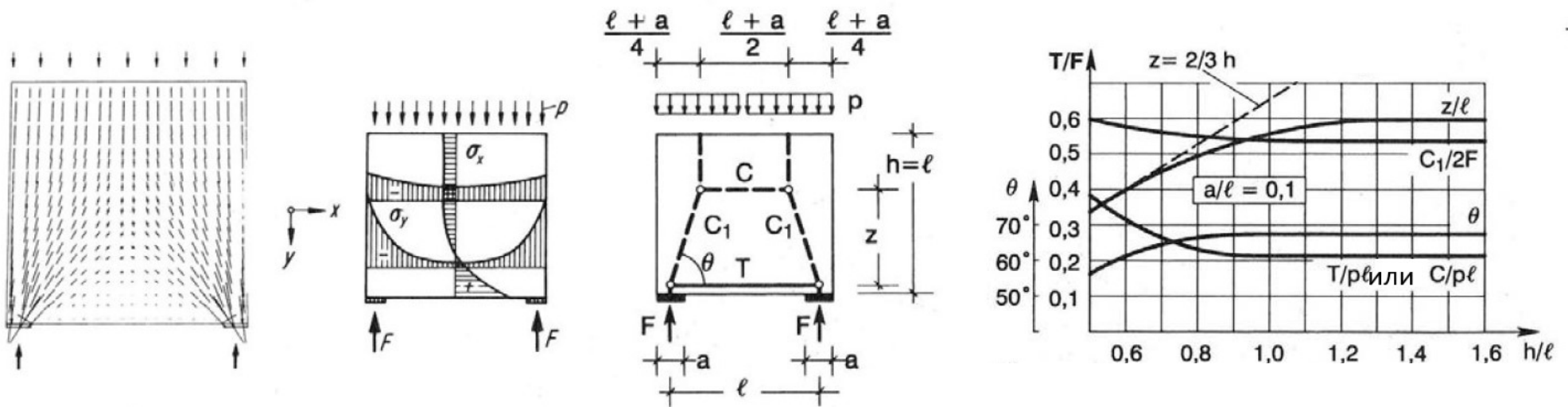


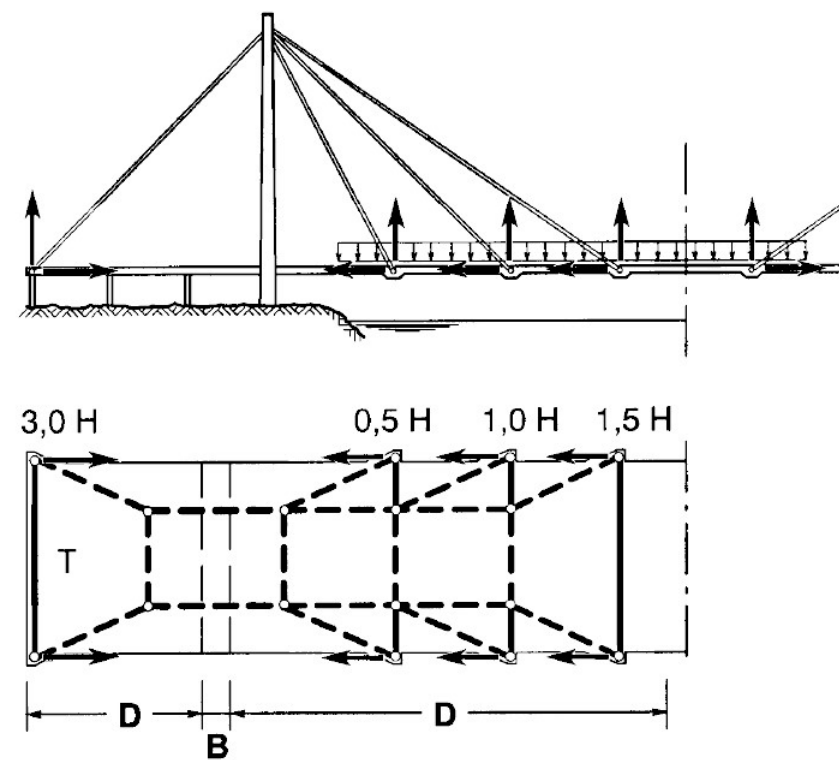
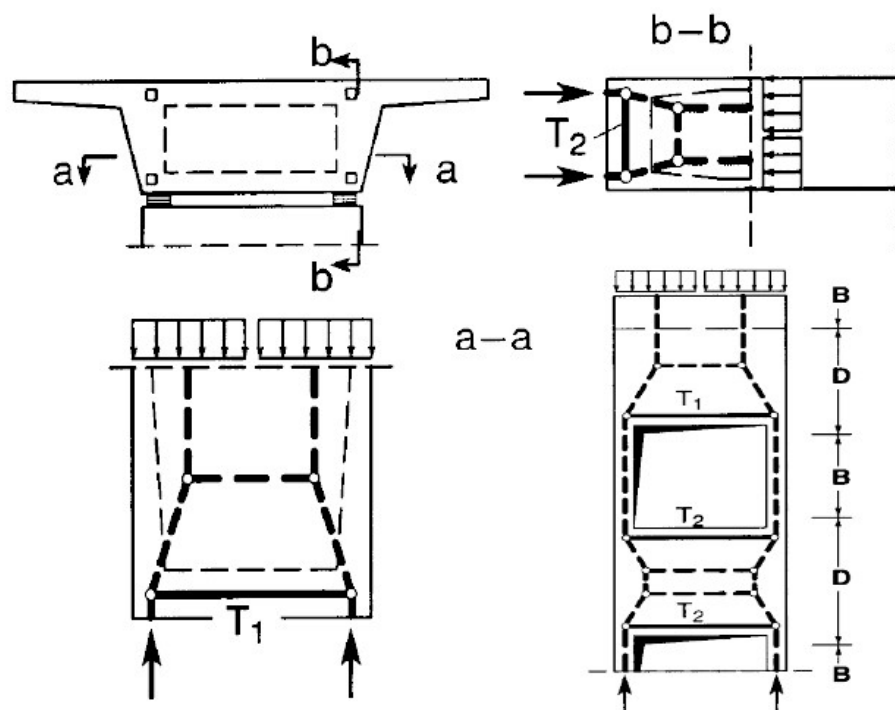




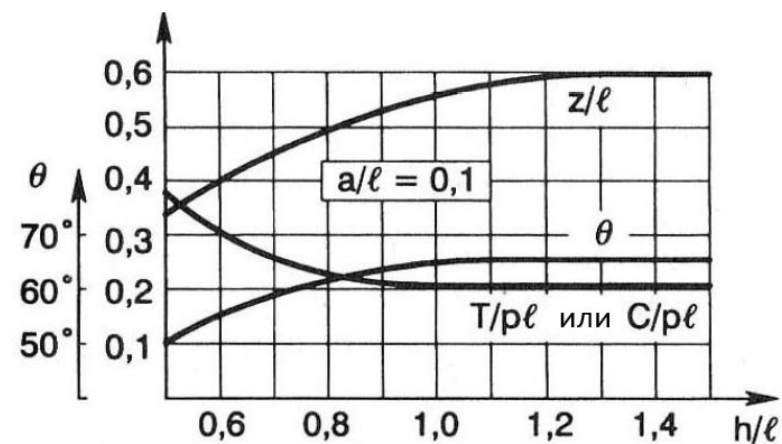
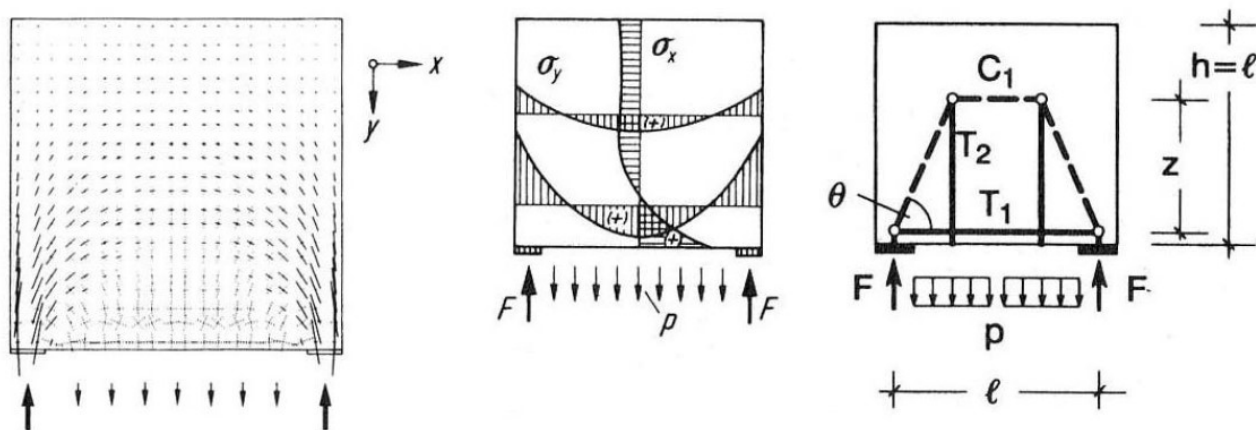


Зидна платна

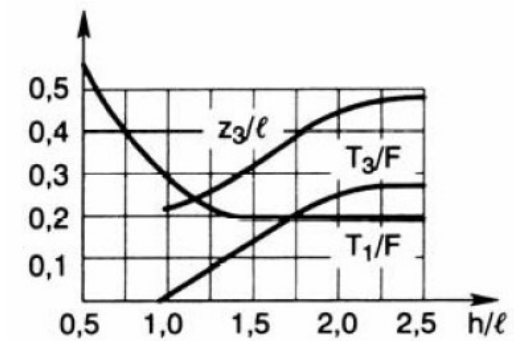
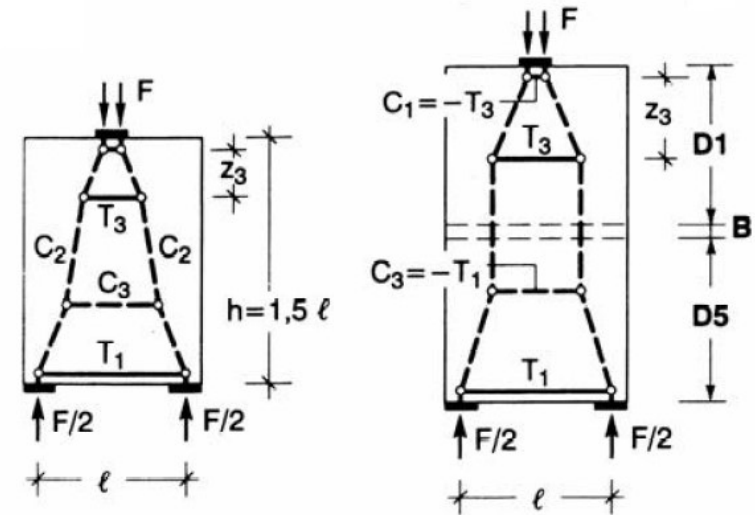
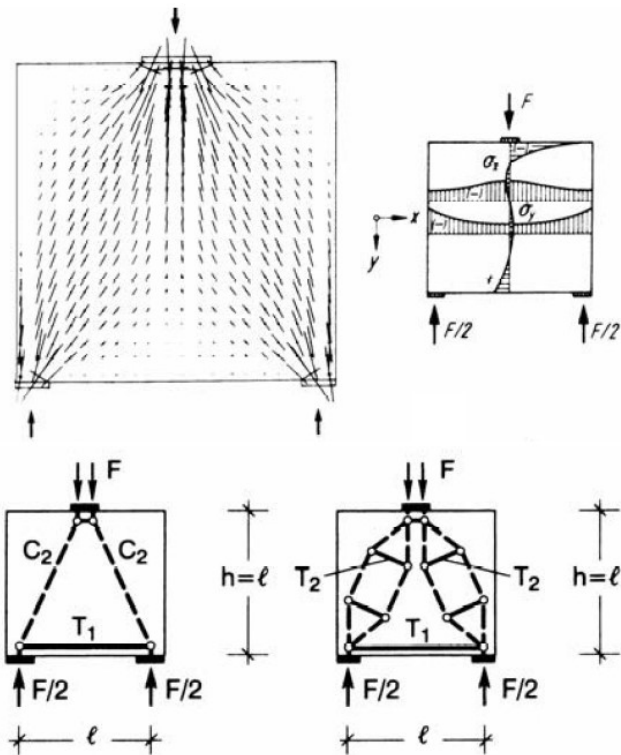


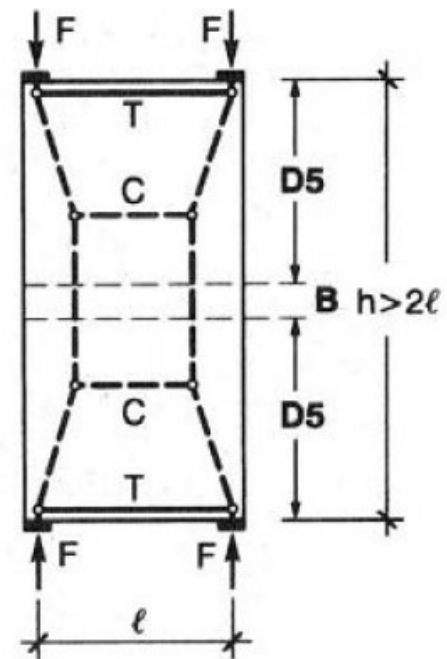
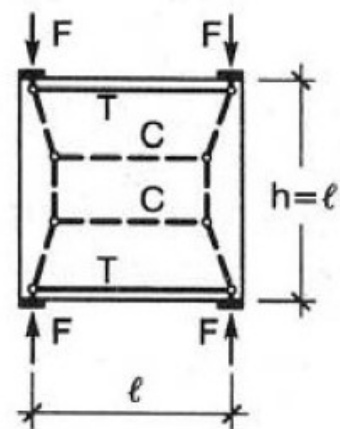
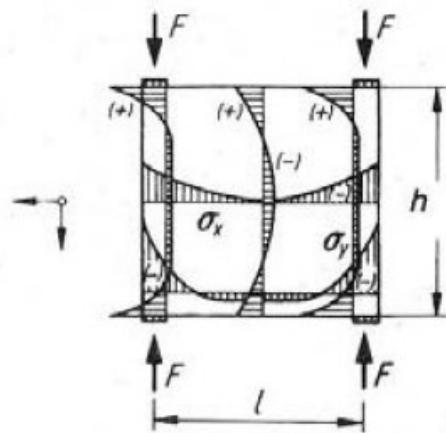
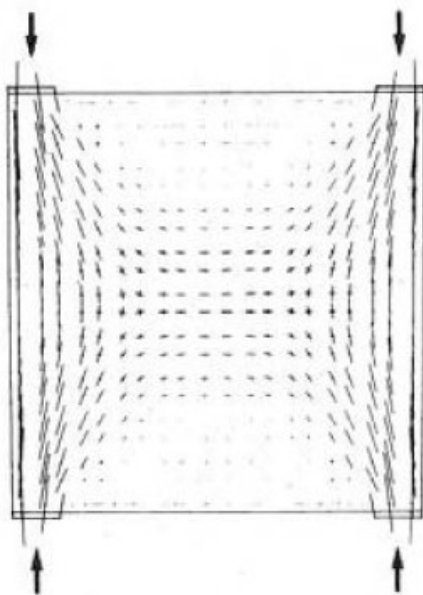


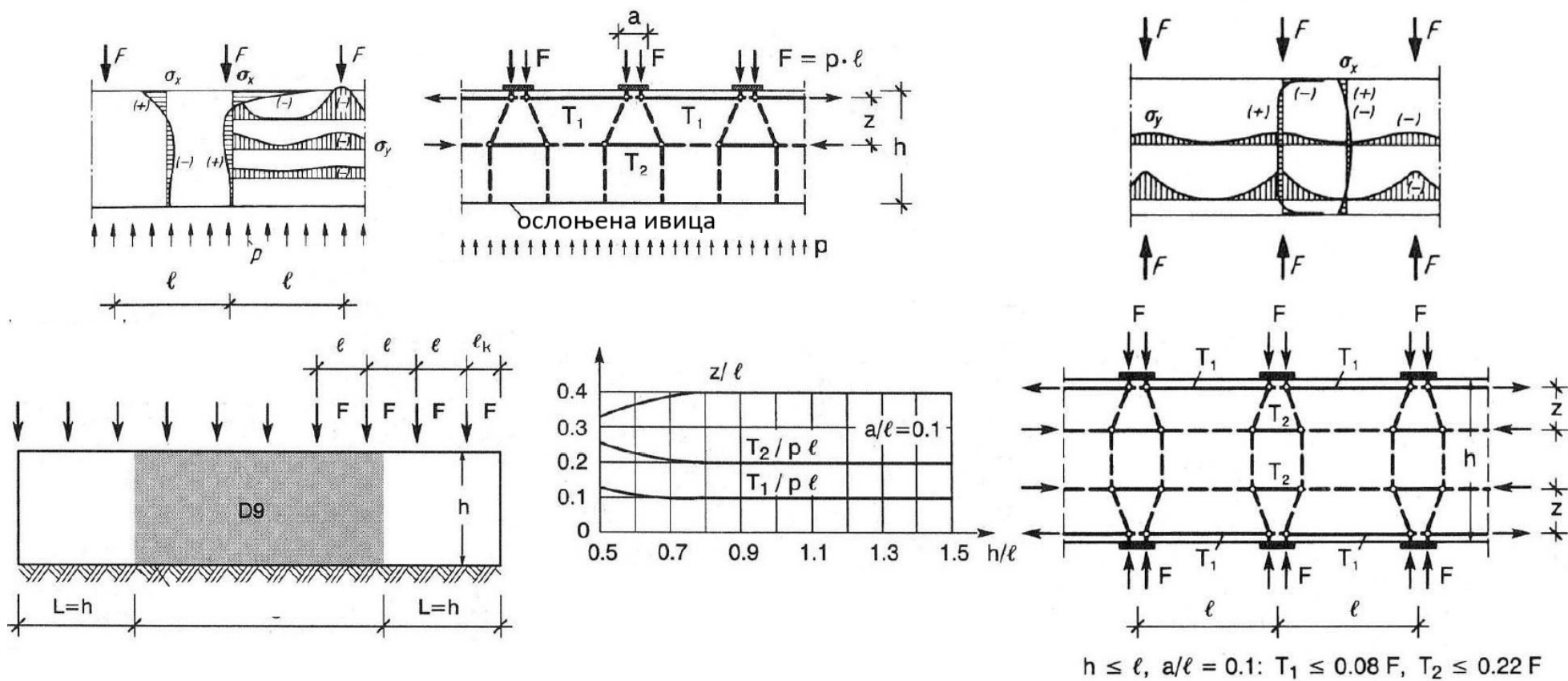
Овешано оптерећење

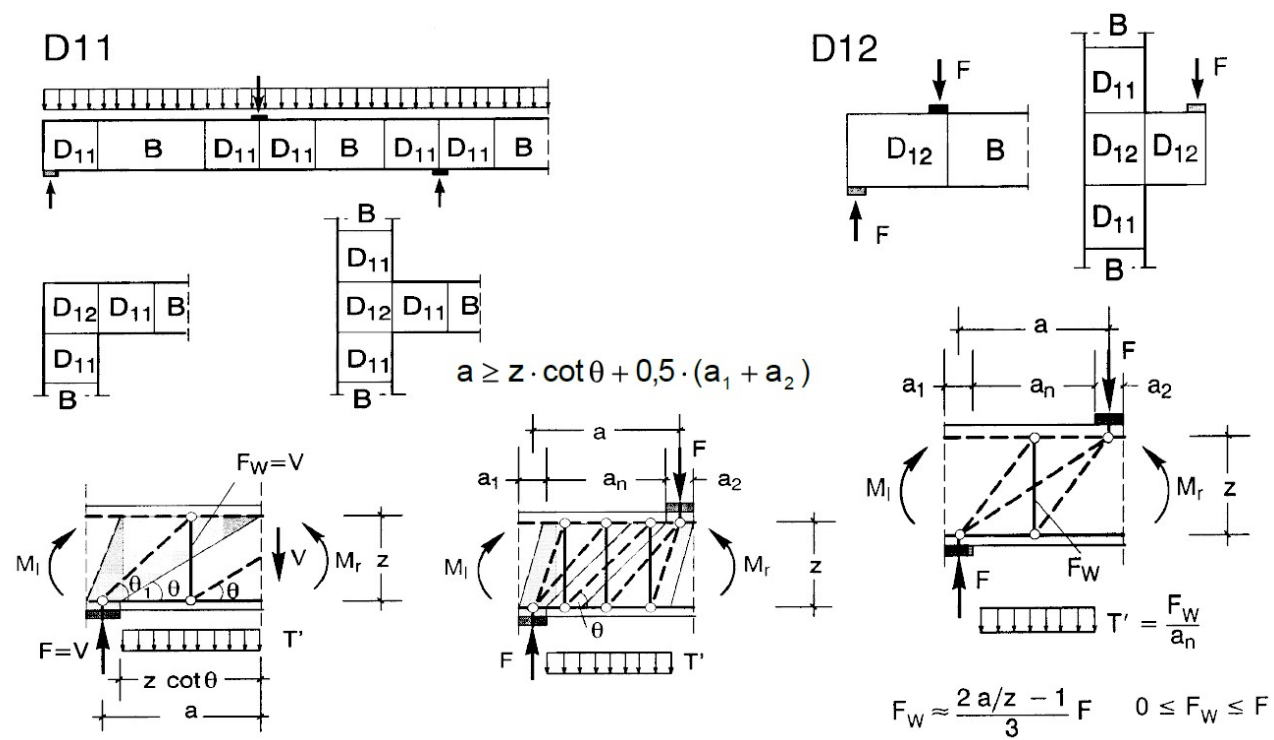


Однос страна панела

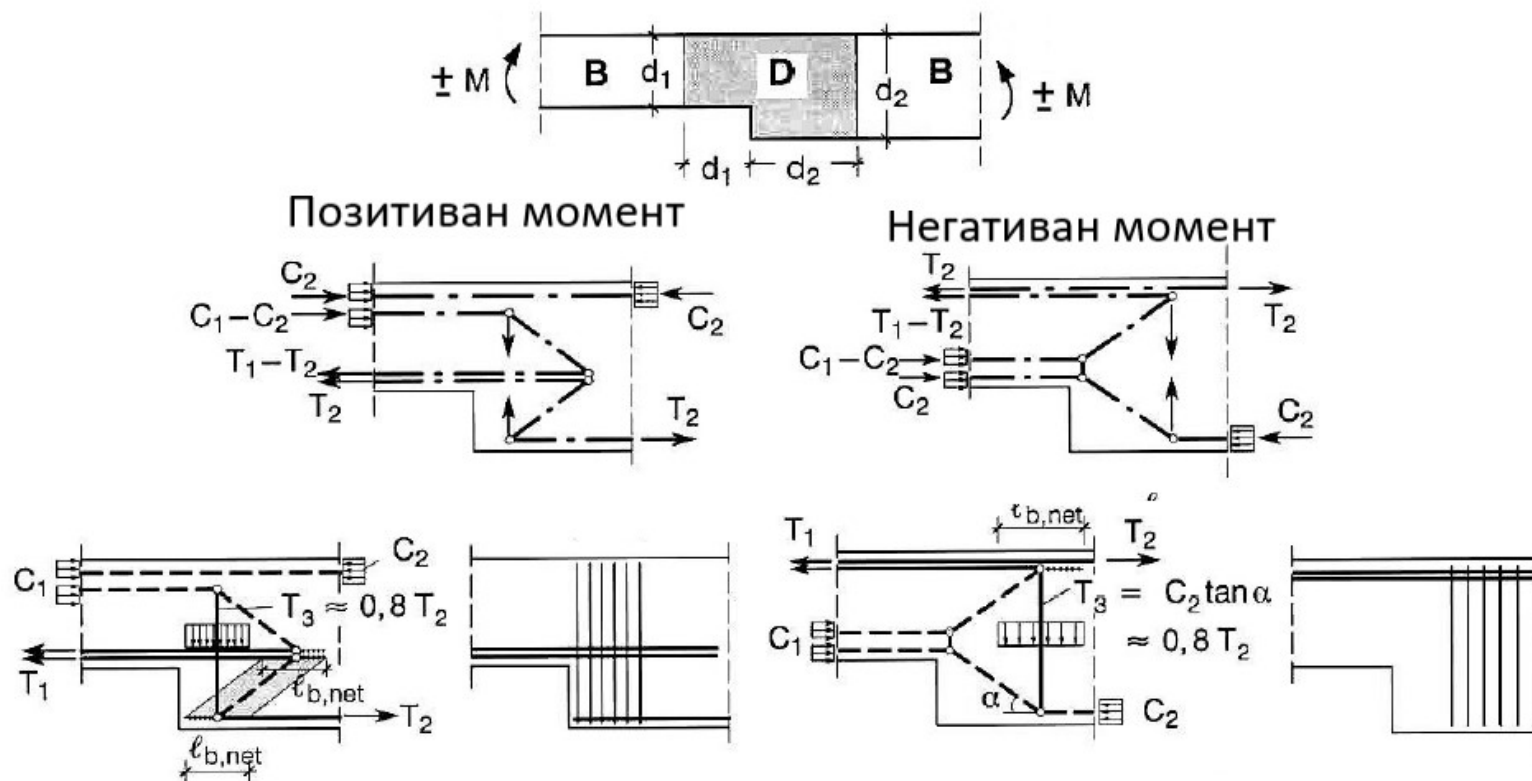




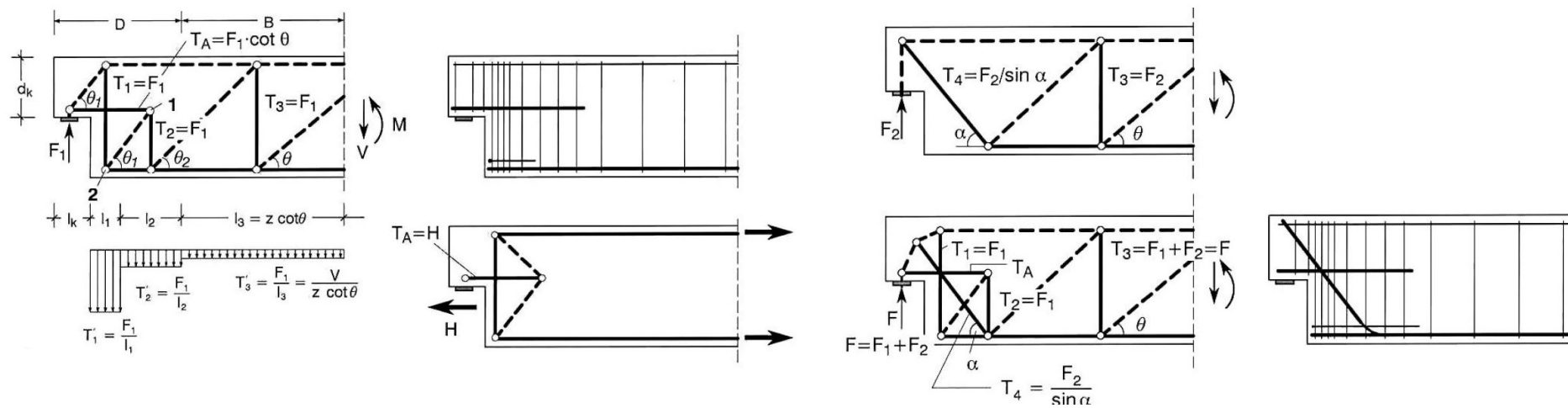




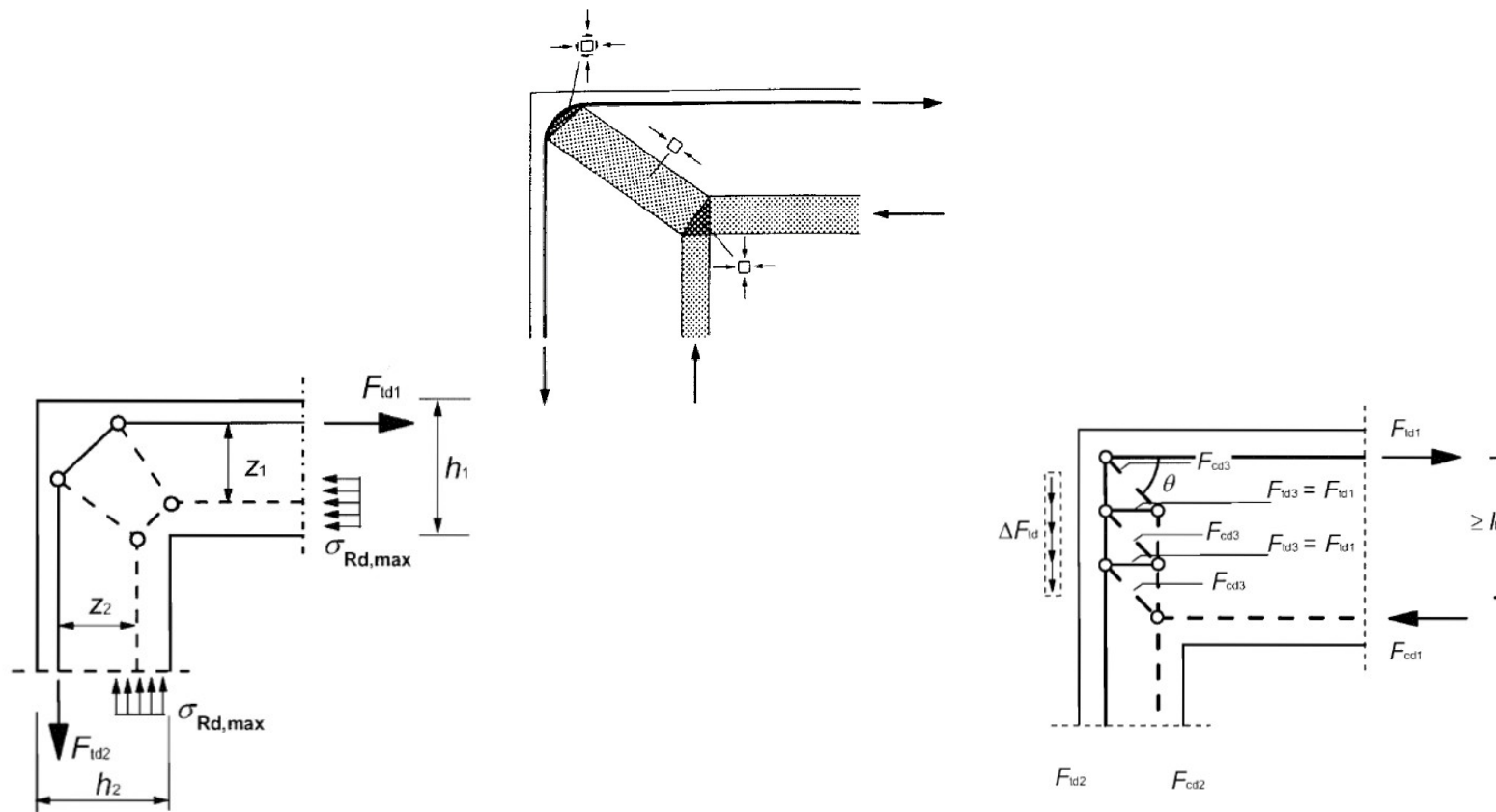
Нагла промена пресека



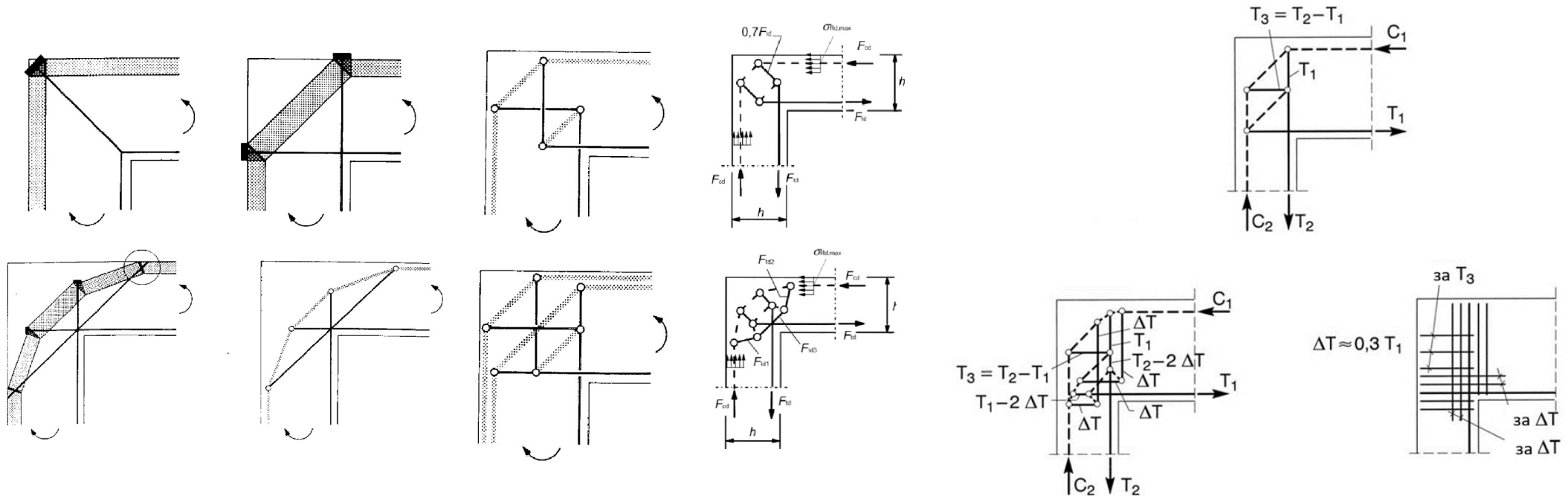
Комбиноване решетки



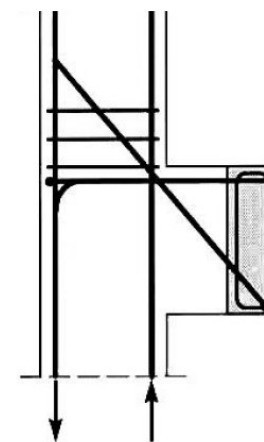
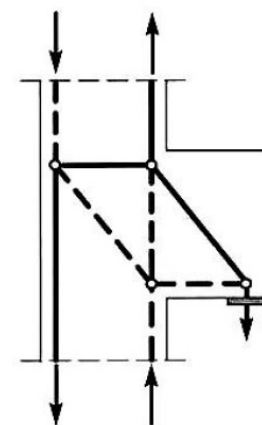
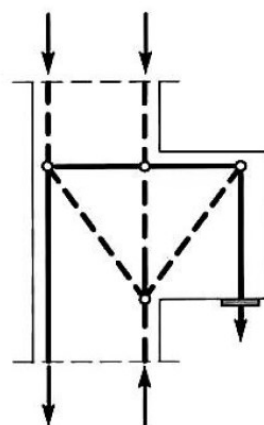
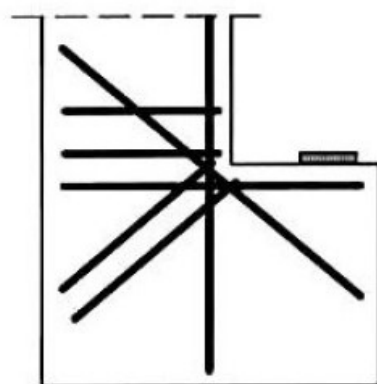
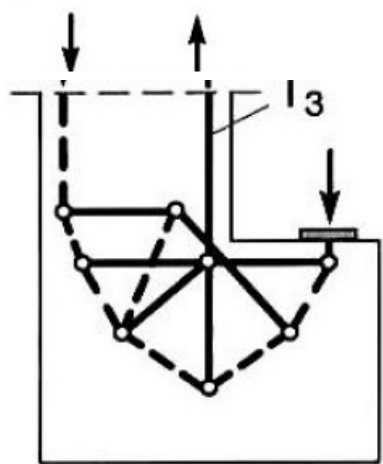
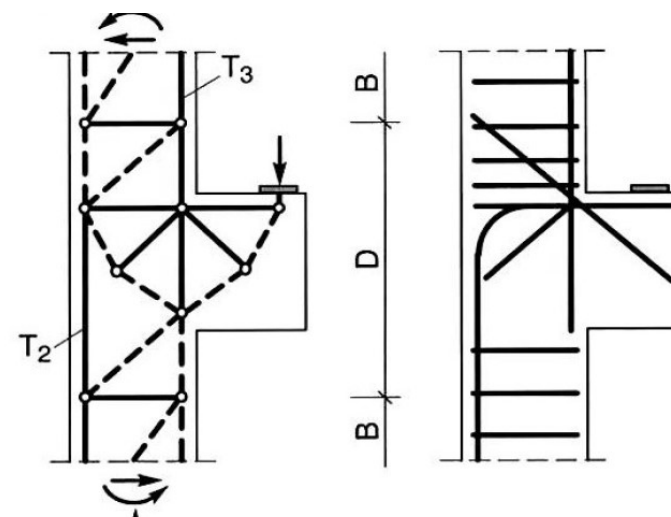
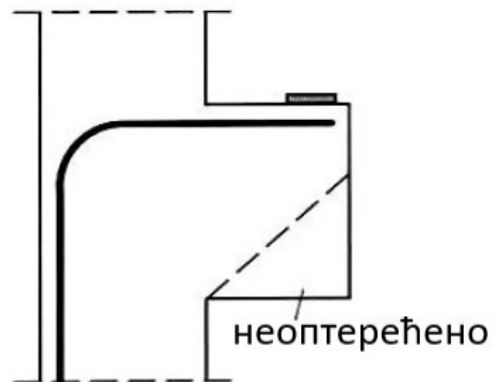
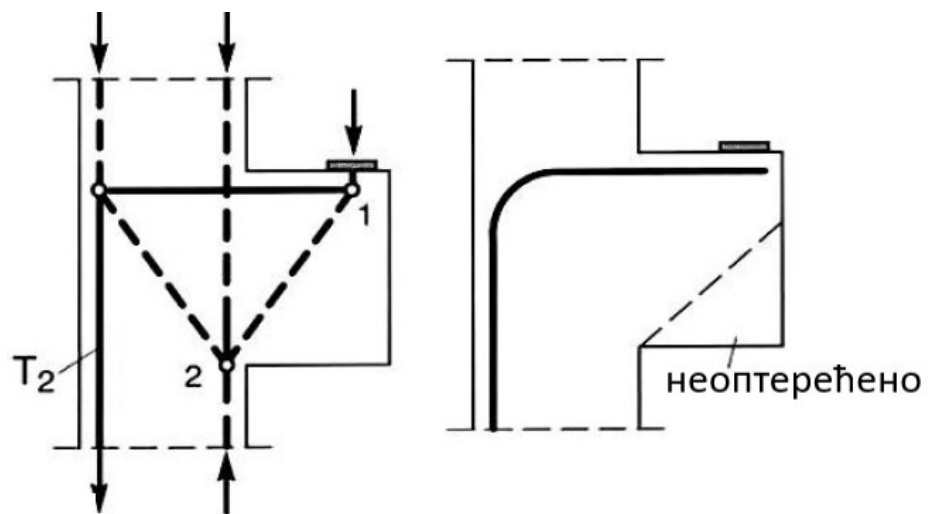
Негативан момент у чвору



Позитиван момент у чвору рама (момент који отвара чвор)

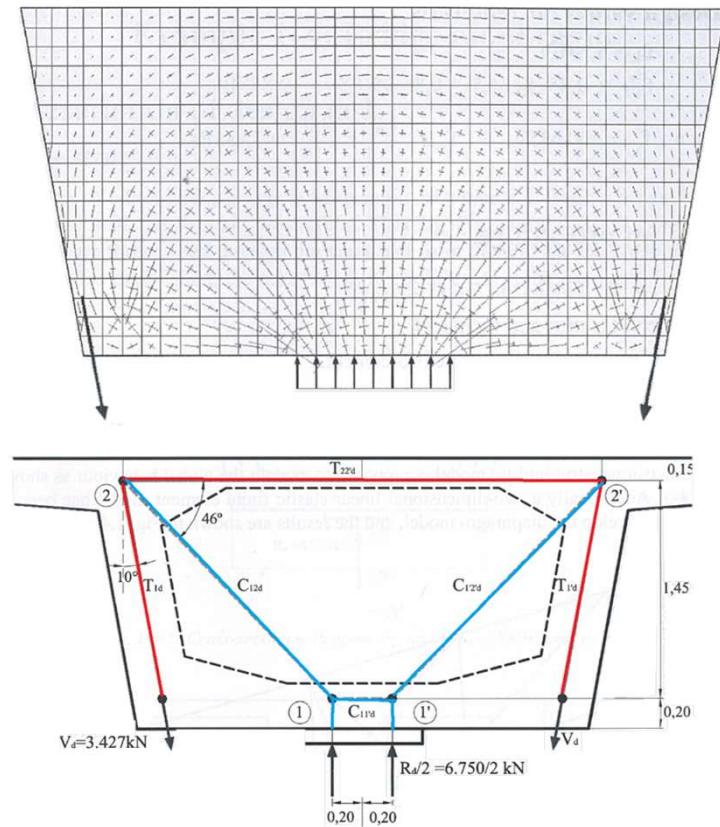
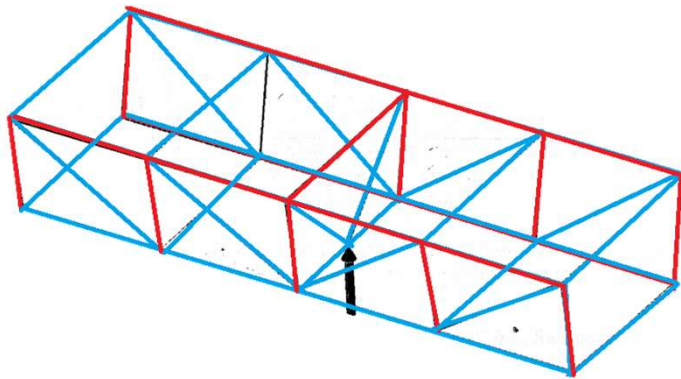


Кратки елементи



петље за вешање

Решетка система сандучастог попречног пресека моста



Чворови

