

SANACIJA I OJAČANJE AB KONSTRUKCIJA

1. Uvod i definicije

Oštećenja: Smanjenje ili gubitak nosivosti, funkcionalnosti i/ili trajnosti konstrukcije ili njenih elemenata usljed dejstva spoljašnjih uticaja

Sanacija: Vraćanje konstrukcije (elementa) u stanje projektovane nosivosti, funkcionalnosti i/ili trajnosti koje je imala prije oštećenja

Ojačanje: Dovođenje konstrukcije (elementa) u stanje povećane nosivosti, funkcionalnosti i/ili trajnosti u odnosu na projektovano (izvedeno) stanje

2. Uzroci oštećenja

2.1. Agresivna dejstva sredine

2.1.1. Fizičko-mehanička dejstva

- habanje (od kretanja vozila, opreme, ljudi...)
- temperaturne promjene (mraz, požar, termička nekompatibilnost cementnog morta i kamenog agregata)
- erozija (od turbulentnog kretanja tečnosti i gasova - kavitacija)

2.1.2. Hemijska dejstva

- promjena zapremine - bubrenje i raspadanje
- sulfati (jedinjenja sumpora u zagađenoj atmosferi gradova i industrijskih zona)
- hloridi (jedinjenja hlora od industrijske soli za održavanje puteva i u vazduhu u primorskim mjestima)

2.2. Preopterećenja

- incidentna preopterećenja - udari, eksplozije, zemljotresi, neravnomjerna slijeganja oslonaca, požari ...
- osnovna i dopunska opterećenja

2.3. Greške

- projektantske (koncept konstrukcije, proračunski modeli, opterećenja, proračuni, detalji - sidrenja, zaštitni slojevi betona...)
- izvođačke (imperfekcije u geometriji, podbačaj u kvalitetu ugrađenih materijala - MB, VDP, M - loše izvedeni detalji - sidrenje, nastavljanje, zaštitni slojevi ...)

3. Ocjena (snimak) postojećeg stanja konstrukcije

3.1. Snimak i analiza izvedenog stanja

- prikupljanje i analiza projektne, gradilišne i atestne dokumentacije (glavni i izvođački projekti, građevinski dnevnik, dokazi kvaliteta ugrađenih materijala, zapisnici o primopredaji radova ...)
- snimak izvedene geometrije i upoređenje sa projektovanom
- ispitivanje kvaliteta ugrađenih materijala - betona, armature, kablova, maltera, opeke ...
- određivanje rasporeda i količine armature (kablova za PN)
- određivanje veličine i kvaliteta zaštitnog sloja betona

3.2. Snimak i analiza oštećenja

- stanje betonskih površina - vizuelna promjena površinske strukture, tragovi korozije betona i armature, segregacija, oljuskavanje...
- morfologija - pravac pružanja i veličina otvora prslina ($a_p < 0,5$ mm) i pukotina ($a_p \geq 0,5$ mm)
- stanje armature - korozija, pojave tečenja
- indicirano naprezanje - mogući uzročnik loma, figura loma

4. METODE SANACIJE I OJAČANJA AB KONSTRUKCIJA

4.1. Smanjenje uticaja

P: Postojeći AB element ne može da ponese projektovano opterećenje

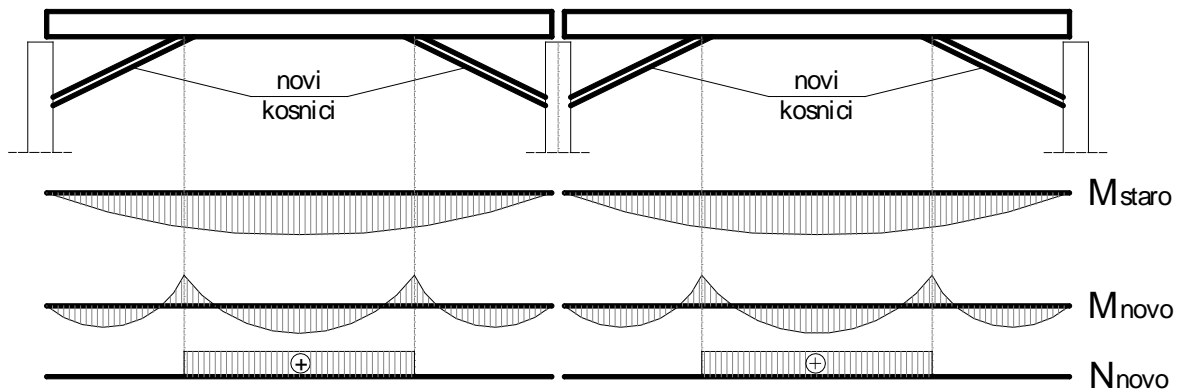
Uzrok: Podbačaj kvaliteta betona i/ili kvaliteta i količine armature

Mjera: Smanjenje stalnog tereta (slojevi podova i sl.)
Ograničenje korisnog opterećenja

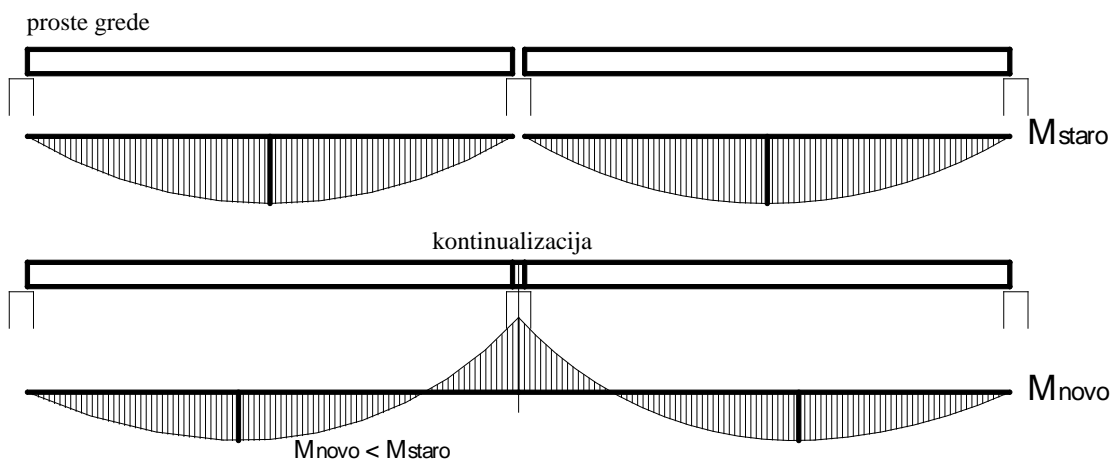
4.2. Promjena statičkog sistema

P: Postojeći AB element ne može da ponese projektovano opterećenje
Povećanje stalnog i/ili korisnog opterećenja zbog prenamjene

a) Ubacivanje novih oslonaca



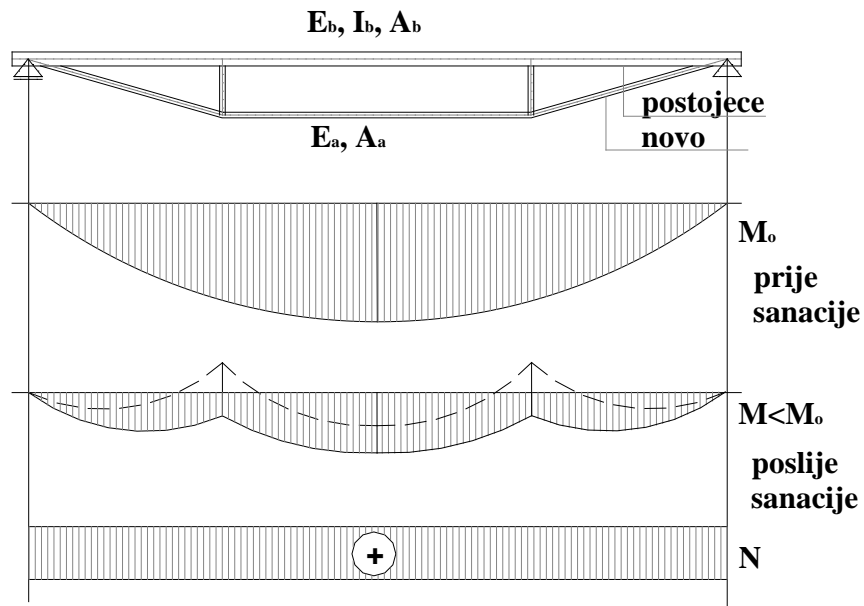
b) Kontinualizacija nad osloncima



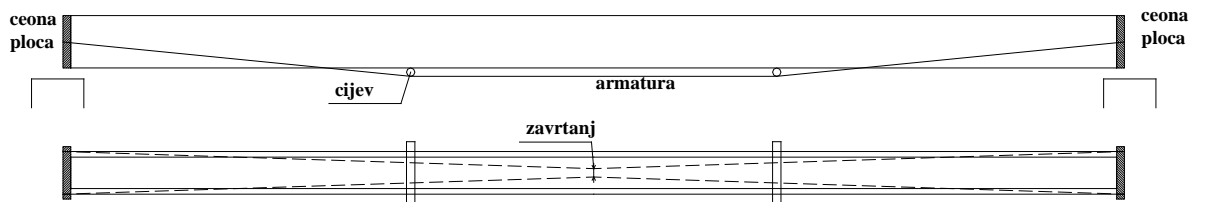
- kontinualizacija za g+s+p: obavezno podupiranje elemenata
- kontinualizacija za s+p: bez podupiranja elemenata

c) Elastično podupiranje

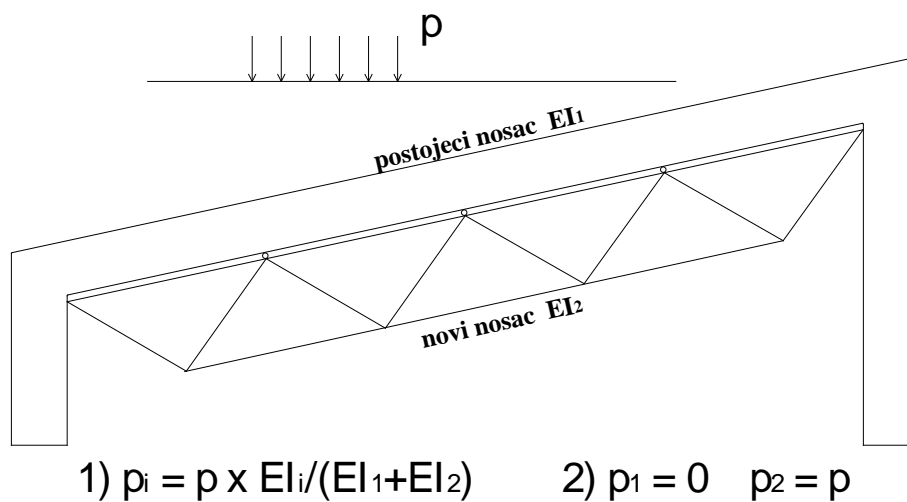
c.1)



c.2) Privremeno «osiguranje» oštećenog nosača



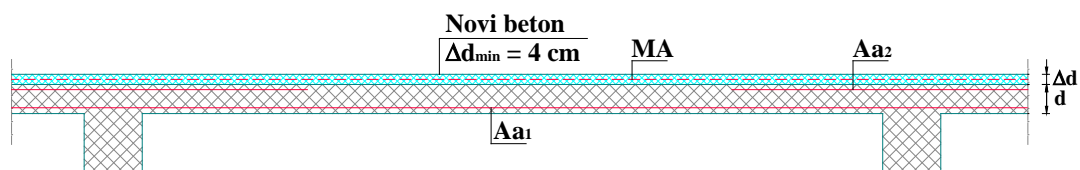
d) Ubacivanje novog nosača



4.3. Ojačanje poprečnih presjeka

4.3.1. Ojačanje ploča

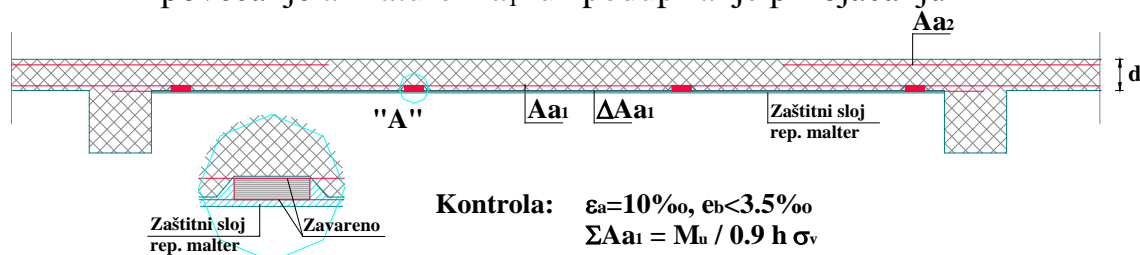
- a) P: $M_u^* < M_u$ i ojačanje je moguće izvesti sa gornje strane
 → povećanje debljine ploče bez povećanja armature Aa_1



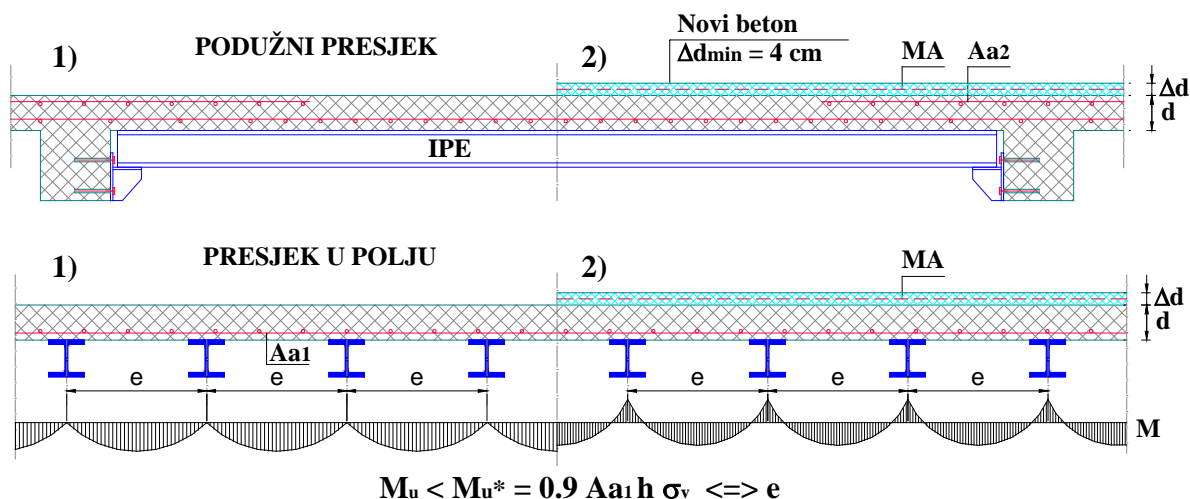
Sa podupiranjem: $Aa_1 = M_u^P(g+p) / 0.9 h_n \sigma_v \rightarrow h_n = M_u / 0.9 Aa_1 \sigma_v \rightarrow \Delta d$
 $\Delta Aa_2 = M_u^O(g+p) / 0.9 h_n \sigma_v - Aa_2$

Bez podupiranja: $Aa_1^I = M_u^P(g+\Delta g) / 0.9 h_s \sigma_v$
 $Aa_1^{II} = Aa_1 - Aa_1^I = M_u^P(s+p) / 0.9 h_n \sigma_v \rightarrow \Delta d$
 $Aa_2^I = M_u^O(g+\Delta g) / 0.9 h_s \sigma_v$
 $Aa_2^{II} = Aa_1 - Aa_1^I = M_u^O(s+p) / 0.9 h_n \sigma_v$
 $\Delta Aa_2 = Aa_2^I + Aa_2^{II} - Aa_2$

- b) P: $M_u^* < M_u$ i ojačanje je moguće izvesti sa donje strane
 → povećanje armature Aa_1 uz podupiranje pri ojačanju

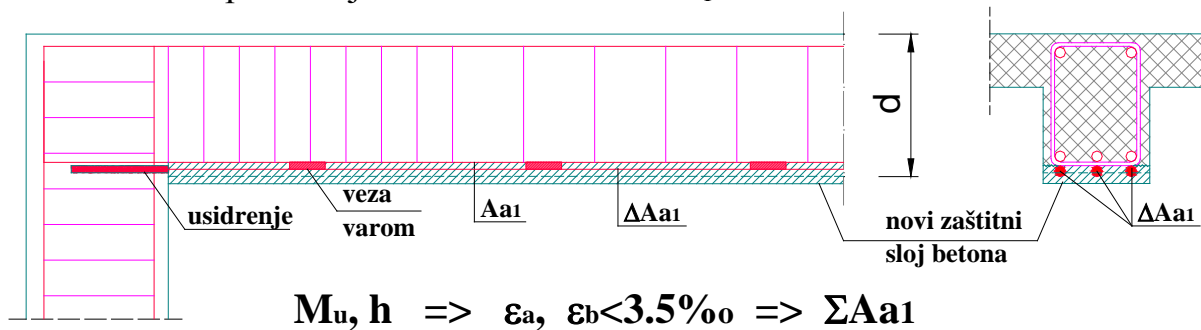


- c) P: $M_u^* \ll M_u \rightarrow$ smanjenje raspona i uvođenje novih oslonaca ploče

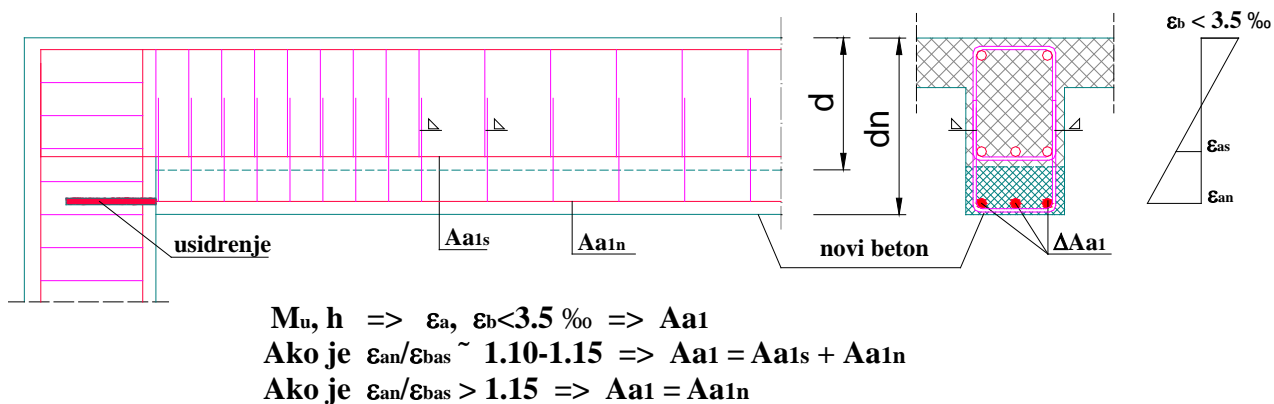


4.3.2. Ojačanje greda

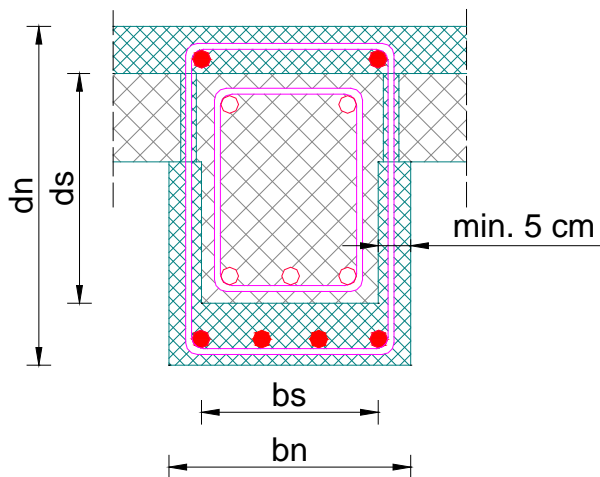
- a) P: $M_u^* < M_u$ i ojačanje je moguće izvesti sa donje strane
 → povećanje količine armature A_{a1}



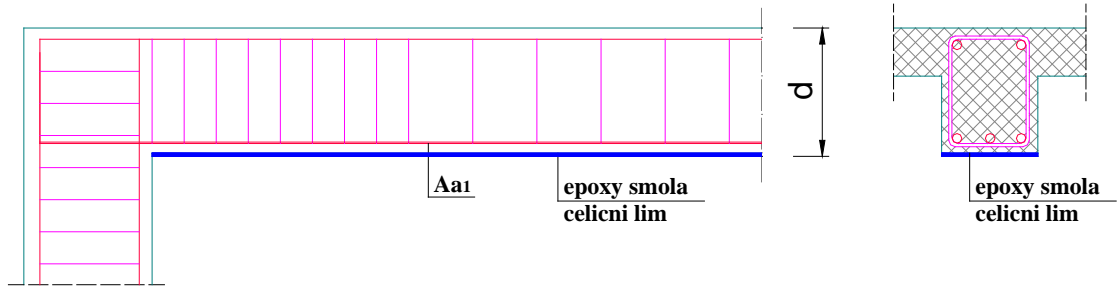
- b) P: $M_u^* < M_u$ i $\epsilon_b > 3.5\text{‰}$ → povećanje visine presjeka



- c) P: $M_u^* \ll M_u$ i $T_u^* \ll T_u$ → ojačanje obavijanjem presjeka



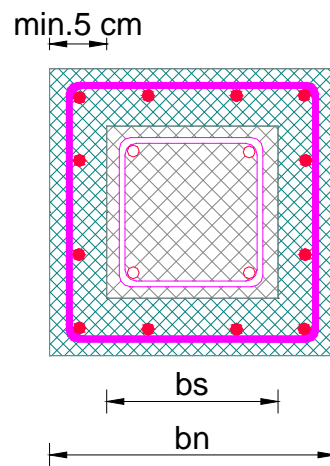
d) Ojačanje čeličnim limovima (trakama)



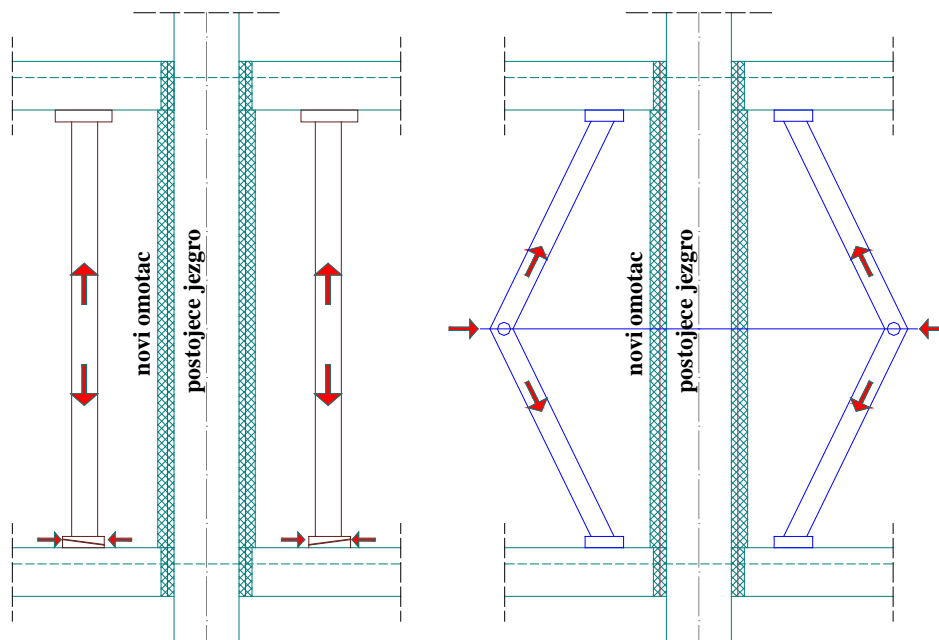
Proračun: kao za armaturu

4.3.3. Ojačanje stubova

Obavijanje jezgra novim omotačem od betona i armature



Rasterećenje postojećih stubova u toku ojačanja

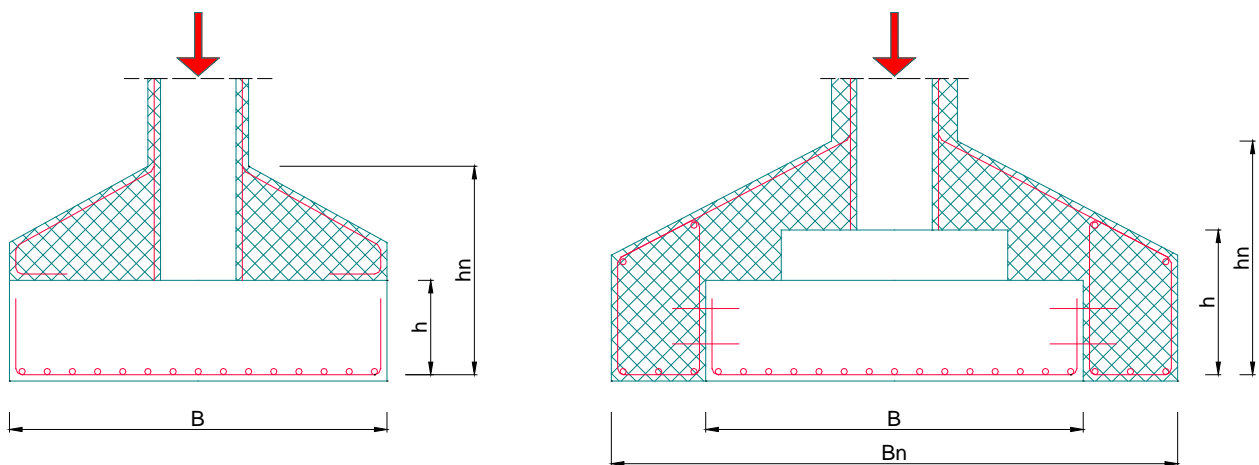


4.3.4. Ojačanje temelja

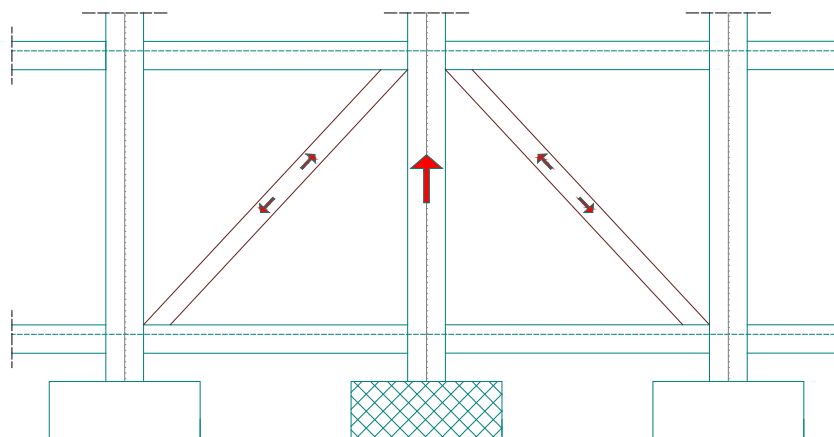
a) Plitko fundiranje

Kriterijumi za ojačanje:

- 1) Naponi u tlu $\sigma_{tla} > \sigma_{dop}$ → povećanje kontaktne površine temelja
- 2) Savijanje $M_u > M_u^*$ → povećanje visine temelja
- 3) Smicanje $T_u > T_u^*$ → povećanje visine temelja
- 4) Proboj $\tau > \gamma_2 \tau_b$ → povećanje visine temelja
- 5) Preturanje $M_s < \gamma_p M_p$ → povećanje širine temelja



Rasterećenje temelja

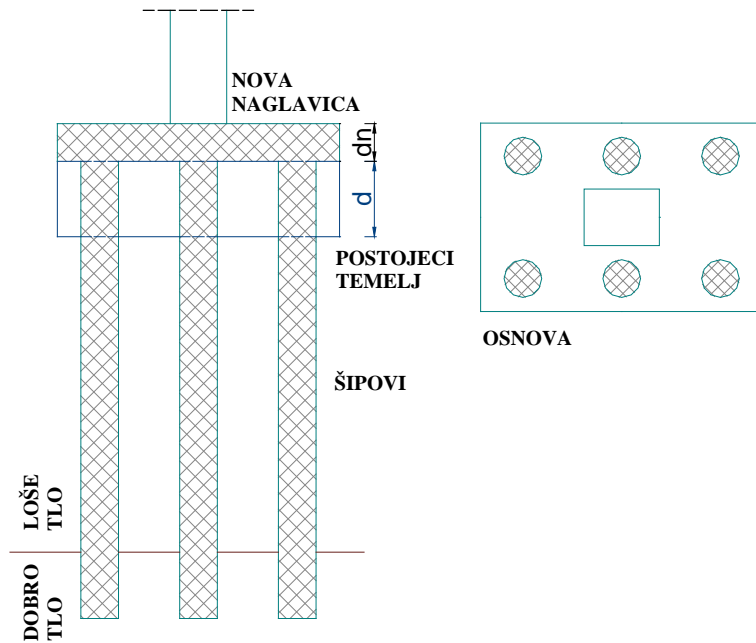


b) Duboko fundiranje

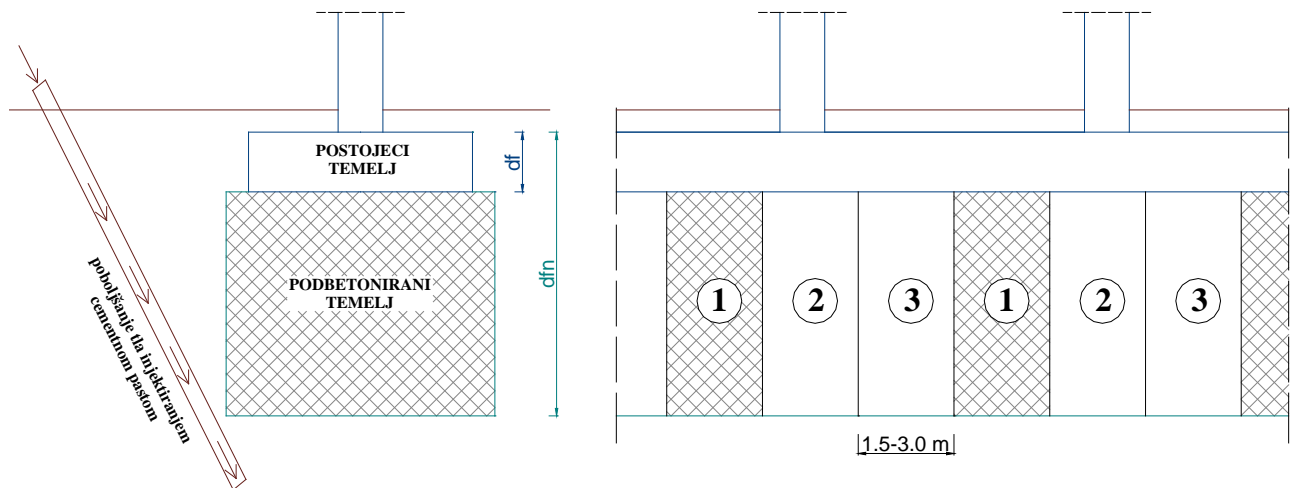
Povod za sanaciju: prekomjerno slijeganje i nedovoljna nosivost tla

Cilj: dostizanje tla veće nosivosti

1) Sanacija šipovima



2) Produbljenje temelja



5. SANACIJA I OJAČANJE ABK POMOĆU POLIMERA OJAČANIH VLAKNIMA

Kompozitni materijal:

Vlakna: karbon, staklo, polipropilen
 Medijum (matrica): epoxy smole
 Lijepak: epoxy smole

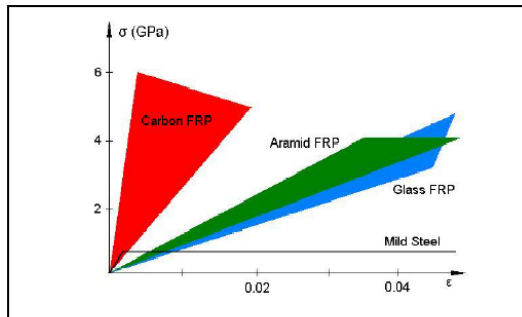
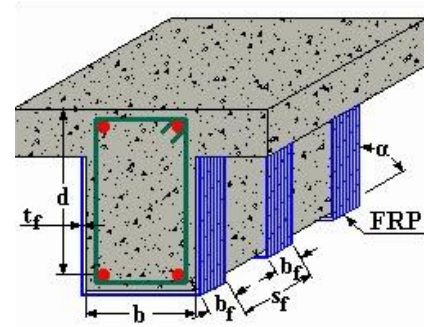


Fig. 4.2 Uniaxial stress-strain diagrams for different unidirectional FRP's [2].



Material	Elastic Modulus (GPa)	Tensile Strength (MPa)	Ultimate Tensile Strain (%)
Carbon	165-700	2100-4800	0.2-2.0
Aramid	70-130	3500-4100	2.5-5.0
Glass	70-90	1900-4800	3.0-5.5

Table 4.1 Typical properties of fibres

PROIZVODI I PRIMJENA

karbonske trake



karbonska platna



PREDNOSTI

- Odlična koroziona otpornost
- Mala težina (1/4 do 1/5 u odnosu na čelik)
- Dobra hemijska otpornost
- Laka montaža i oblikovanje
- Visoka čvrstoća na zamor
- Dobre reološke osobine

NEDOSTACI

- Krto ponašanje - idealno elastičan
- Skupe sirovine
- Termička nekompatibilnost sa betonom
- Razaranje veze sa betonom pri visokoj temperaturi

OSNOVE PRORAČUNA

a) Savijanje

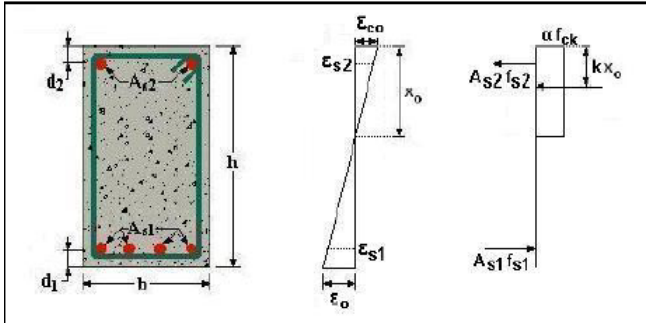


Fig. 5.1 Initial situation – equivalent stress block approach: The moment M_o acting during strengthening results in the development of an initial strain ϵ_o at the extreme tensile concrete fibre

Internal force equilibrium (initial situation):

$$\alpha \cdot f_{ck} \cdot b \cdot x_o + A_{s2} f_{s2} = A_{s1} f_{s1} \quad (5.1.1)$$

Moment equilibrium (initial situation):

$$M_o = A_{s1} f_{s1} (h - d_1 - k \cdot x_o) + A_{s2} f_{s2} (k \cdot x_o - d_2) \quad (5.1.2)$$

where x_o is the depth of neutral axis from the extreme compressive fibre and f_{s1} , f_{s2} are the stresses in the bottom and top steel reinforcement, respectively.

$$f_{s1} = \epsilon_{co} \frac{h - d_1 - x_o}{x_o} E_s \leq f_{yk} \quad (5.1.3)$$

$$f_{s2} = \epsilon_{co} \frac{x_o - d_2}{x_o} E_s \leq f_{yk} \quad (5.1.4)$$

$$\epsilon_o = \epsilon_{co} \frac{h - x_o}{x_o} \quad (5.1.7)$$

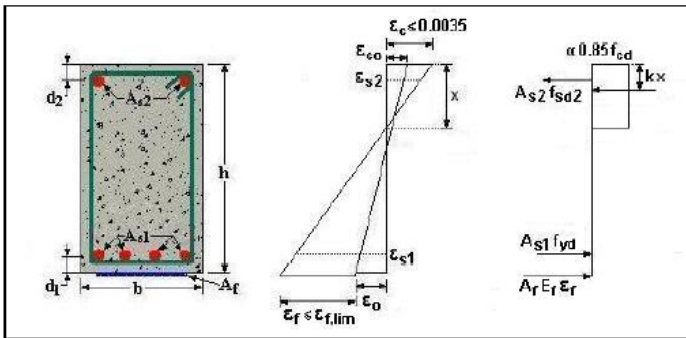


Fig. 5.2 Analysis of rectangular cross section (strain profile and internal forces) for the ultimate limit state in bending.

Internal force equilibrium:

$$\alpha \cdot 0.85 f_{cd} \cdot b \cdot x + A_{s2} f_{sd2} = A_{s1} f_{yd} + A_f E_f \epsilon_f \quad (5.1.8)$$

Resisting design moment:

$$M_{nd} = A_{s1} f_{yd} (h - d_1 - k \cdot x) + A_{s2} f_{sd2} (k \cdot x - d_2) + A_f E_f \epsilon_f (h - k \cdot x) \quad (5.1.9)$$

where A_s , E_s and ϵ_s is the cross section area, elastic modulus and strain of FRP reinforcement, respectively. The FRP strain and the stress in the top steel reinforcement are given in terms of the maximum compressive concrete strain, ϵ_c , and the neutral axis depth as follows:

$$f_{sd2} = \epsilon_c \frac{x - d_2}{x} E_s \leq f_{yd} \quad (5.1.10)$$

$$\epsilon_f = \epsilon_c \frac{h - x}{x} - \epsilon_o \leq \epsilon_{f,lim} \quad (5.1.11)$$

Kontrola sidrenja

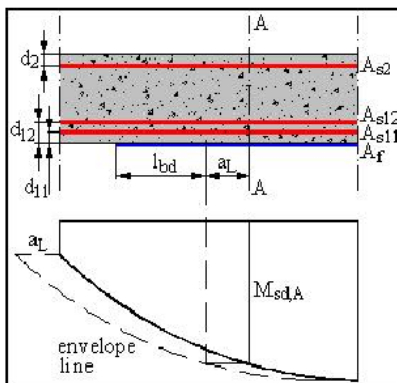
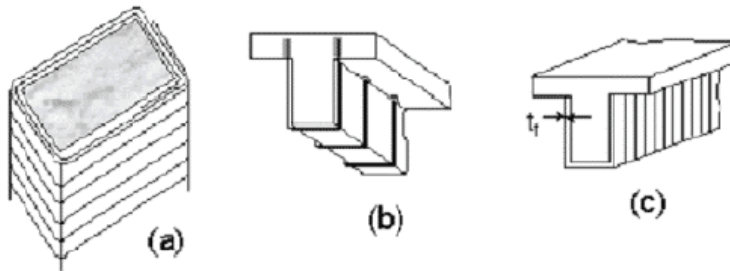


Fig. 5.3 Bending moment envelope line and definition of bond length corresponding to section A.

$$l_{bd,A} = l_{bd,max} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{N_{fd,A}}{N_{bd,max}} \right)} \right] \quad (5.1.16)$$

b) Smicanje

$$V_{fd} = 0.9 \cdot \varepsilon_{fd,e} \cdot E_f \rho_f \cdot bd(1 + \cot a) \sin a \quad (5.1.18)$$



$$V_{Rd} = \min(V_{cd} + V_{wd} + V_{fd}, V_{Rd2}) \quad (5.1.17)$$

Fig. 5.4 Examples of shear strengthening with: (a) closed (properly anchored) jackets; (b) discrete strips anchored in the compression zone, and (c) open jackets.

c) Obavijanje (utezanje) karbonskim platnom

Ciljevi: povećanje čvrstoće i duktilnosti
prijem smicanja od torzije
zaštita betona i armature

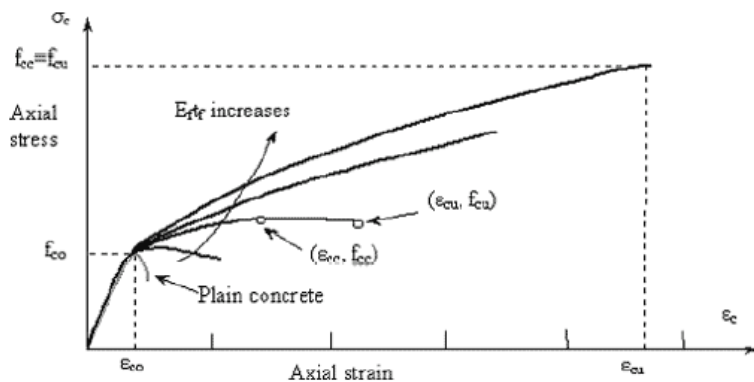


Fig. 5.5 Stress-strain curves for plain (unconfined) and FRP-confined concrete.

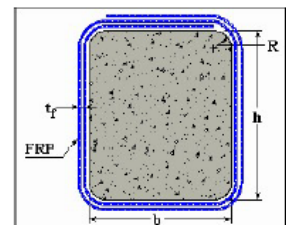


Fig. 5.6 Rectangular cross section with radius R at corners.



Fig. 9.5 Shear and Flexural Strengthening of a beam.

6. SANACIJA KONSTRUKCIJA ZGRADA OŠTEĆENIH ZEMLJOTRESOM

6.1 KLASIFIKACIJA OŠTEĆENJA

- procjena mogućnosti daljeg (ne)korišćenja objekata
- procjena štete i donošenje društvenih planova obnove

6.2 OPŠTI PRINCIPI SANACIJE I OJAČANJA

- analiza osobina i kvaliteta ugrađenih materijala (beton, armatura, zidarija, spojnice)
- snimak postojećih konstrukcijskih elemenata
- analiza seizmičkog odgovora postojeće (ne)oštećene konstrukcije
- procjena očekivanog (mogućeg) seizmičkog opterećenja
- izbor sanacionog rješenja:
 - korekcija "neregularnosti" objekta
 - obezbjeđenje potrebne nosivosti i duktilnosti konstrukcije
- analiza racionalnosti (izvodljivosti) i ekonomičnosti sanacionog zahvata

6.3 SANACIJA ARMIRANO BETONSKIH ZGRADA

6.3.1. Sanacija oštećenja bez promjene dimenzija elemenata i konstrukcijskog sistema

- primjena: manji stepen oštećenja
- cilj: dovođenje elemenata u prethodno stanje nosivosti
- metodologija: popravka oštećenih zona i injektiranje pukotina
- materijali: ekspanzivni malteri i betoni, cementne i epoxy emulzije

6.3.2. Sanacija uz promjenu dimenzija i uvođenjem novih elemenata konstrukcije

- primjena: veći stepen oštećenja i nepovoljan odgovor postojeće konstrukcije;
- cilj: obezbjeđenje povoljnog seizmičkog odgovora konstrukcije;
- metode ojačanja:
 - grede i stubovi: uklanjanje oštećenih zona betona i armature i obavijanje presjeka novim betonom i armaturom, uz obavezno podupiranje (u slučaju velikih oštećenja slijedi zamjena pojedinih elemenata);
 - AB zidovi: ojačanje mrežastom armaturom, malterom ili betonom $d=3-5$ cm;
 - međuspratne tavanice: po potrebi povećanje krutosti (debljine) i poboljšanje veze sa vertikalnim elementima radi obezbjeđenja njihovog zajedničkog rada;
 - ubacivanje novih AB zidova, spregova i/ili stubova: osiguranje zajedničkog rada preko sigurne veze sa MT \Rightarrow po potrebi ojačanje zona kontakta sa MT; novi elementi treba da smanje nepovoljna rješenja postojeće dispozicije (efekte torzije, diskontinuitete krutosti, prevelika pomjeranja itd.);
 - temelji: povećanje površine temeljne spojnice, izrada novih temelja ispod novih elemenata, međusobno povezivanje (sprječavanje razmicanja) temelja, poboljšanje osobina temeljnog tla;
 - primjena prethodnog naprezanja: korekcija naponskog stanja i veza starih i novih djelova i elemenata;
- analiza: proračun deformacijskih osobina starih i novih elemenata, prihvatanje vertikalnih tereta i raspodjela seizmičkih sila.

6.4 SANACIJA ZIDANIH ZGRADA

6.4.1. Opšti principi

- ojačanje postojećih nosivih zidova,
- povezivanje postojećih zidova i ukrućenje međuspratnih tavanica,
- poboljšanje rješenja (dispozicije) zgrade u osnovi

6.4.2. Sanacija i ojačanje zidova

- cilj: povećanje nosivosti na pritisak i smicanje
- metode:
 - injektiranje cementnom emulzijom;
 - preziđivanje oštećenih i dislociranih ("prosutih") zidova;
 - izrada obloga od mrežaste armature i maltera/betona $d=3-5$ cm;
 - uvođenje horizontalnih i vertikalnih AB serklaža;
 - prethodno naprezanje.

6.4.3. Povezivanje zidova, ojačanje i ukrućenje međuspratnih tavanica

- cilj: zajednički rad svih zidova
- metode:
 - zamjena drvene MT sa AB MT i AB horizontalnim serklažima;
 - utezanje zidova čeličnim zategama i injektiranje u nivou drvenih tavanica;
 - uvođenje dijagonalnih zatega, uz ojačanje veze drvenih greda i zidova.

6.4.4. Ojačanje temelja

- cilj: ojačanje zidova u donjem dijelu (kod kamenih zgrada najčešće pravih temelja nema) i sprječavanje razmicanja zidova;
- metode: izrada AB "prstena" oko objekta u dnu zidova i sprječavanje ispiranja od atmosferskih i/ili kanalizacionih voda.