

PRIRUČNIK Sika® CarboDur® software

MARCH, 2014 / 1.1.0 / SIIKA SERVICES AG /

SADRŽAJ

1	UVOD	3
2	TEORETSKE OSNOVE	3
2.1	OJAČANJE NA SAVIJANJE	3
2.1.1	POČETNO STANJE	4
2.1.2	GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI (GSN)	6
2.1.3	GRANIČNO STANJE UPORABIVOSTI (GSU)	8
2.1.4	PROVJERA PRI DJELOVANJU POŽARA	10
2.1.5	ZONA SIDRENJA	12
2.2	OJAČANJE NA POSMIK	16
2.3	OJAČANJE STUPA	18
3	KORIŠTENJE Sika® CarboDur® software-a	20
3.1	INSTALIRANJE I AKTIVIRANJE	20
3.2	UVOD	20
3.3	OJAČANJE NA SAVIJANJE	23
3.3.1	POPREČNI PRESJEK I BETON	23
3.3.2	ČELIČNA ARMATURA	26
3.3.3	OPTEREĆENJA	28
3.3.4	CFRP OJAČANJE	32
3.3.5	PROVJERA SIDRENJA	36
3.3.6	ISPIS	38
3.4	OJAČANJE NA POSMIK	38
3.4.1	POPREČNI PRESJEK I BETON	38
3.4.2	OPTEREĆENJE	39
1.1.1	OJAČANJA	39
3.4.3	ISPIS DOKUMENTA	41
3.5	OJAČANJE STUPA	41
3.5.1	POPREČNI PRESJEK I BETON	41
1.1.2	OJAČANJA	42
3.5.2	ISPIS	44

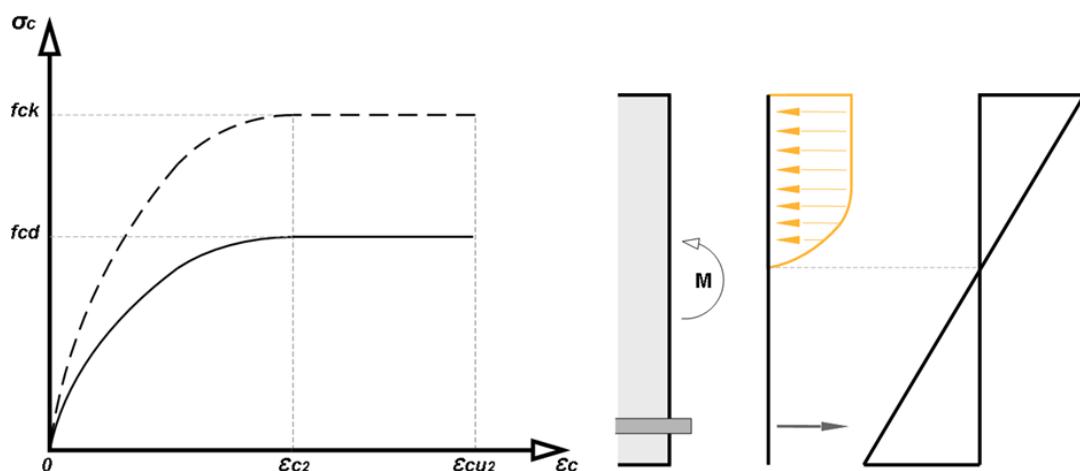
1 UVOD

Cilj ovog software-a je da pomogne korisniku u izračunu dimenzija CFRP potrebnih za (a) ojačanje na savijanje, (b) ojačanje na posmik i (c) ojačanje stupa. Ova tri područja su objašnjena u slijedećim poglavljima, koja predstavljaju teoretske osnove proračuna.

Postupci proračuna primjenjeni u ovom programu se temelje na *fib Bulletin No. 14: "Design and use of Externally Bonded FRP Reinforcement for RC Structures"*. Dodatni i pomoći postupci proračuna su uzeti iz *"Eurocode 2: Design of concrete structures"*, kao i *"Eurocode 2: Basis of structural design"*.

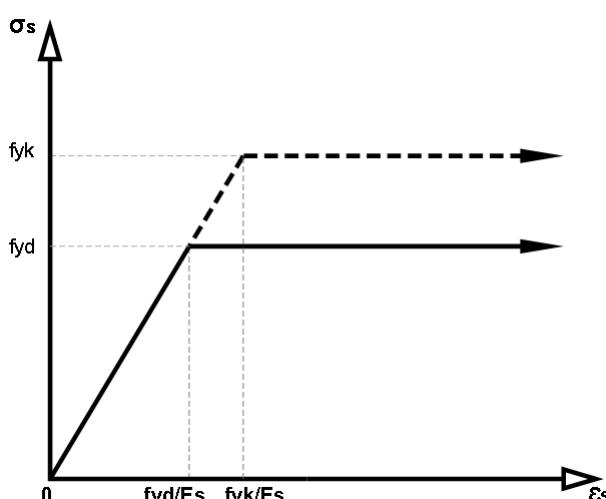
2 TEORETSKE OSNOVE

2.1 OJAČANJE NA SAVIJANJE



Slika 2-1: Dijagram naprezanja za beton u tlaku oblika parabola-pravokutnik (lijevo) i greda pri savijanju (desno)

Armirano-betonski elementi, kao grede, ploče i stupovi, mogu se ojačati na savijanje koristeći FRP kompozite lijepljene epoksidnim ljepilom na njihovim vlačnim zonama sa vlaknima u smjeru paralelnom velikim vlačnim naprezanjima (osima elemenata). Proračuni prikazani ispod obuhvaćaju Granično Stanje Nosivosti (GSN) i Granično Stanje Uporabivosti (GSU).



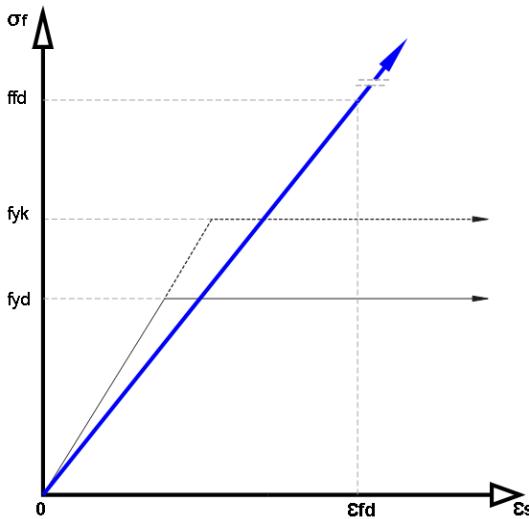
Slika 2-2: pojednostavljeni računski dijagram naprezanje-deformacija za čeličnu armaturu (vlačni i tlačni)

Za projektiranje, metoda parabola-pravokutnik se koristi u software-u da se odredi omjer deformacije i naprezanja pri tlaku za beton po visini presjeka (sl. 2-1).

Projektne vrijednosti za čeličnu armaturu se dobivaju iz karakterističnih vrijednosti, f_{yk} . U slučaju GSN, software koristi pojednostavljeni bi-linearni dijagram, sa horizontalnom linijom koja počinje iz položaja gdje je dostignuto f_{yd} (sl. 2-2).

$$\sigma_s = E_s \varepsilon_s \quad (2.1a)$$

Za projektiranje, vrijednost modula elastičnosti, E_s , iznosi 200 GPa.



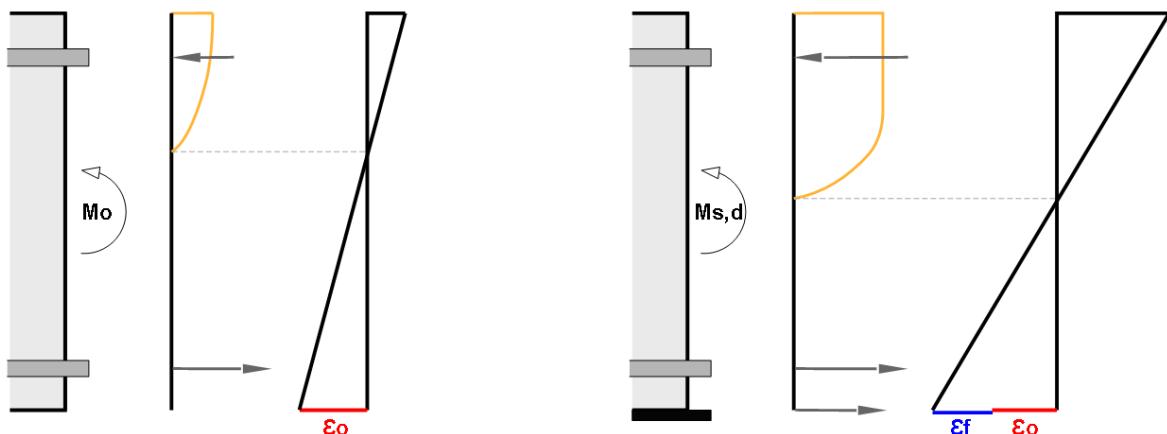
Projektne vrijednosti Sika® CarboDur® ojačanja su dobivene uz pretpostavku bi-linearnog dijagrama (Fig. 2-3):

$$\sigma_f = E_f \varepsilon_f \quad (2.1b)$$

Slika 2-3: pojednostavljeni računski dijagram naprezanja-deformacije za CFRP kompozite (plavo) u usporedbi sa čelikom.

2.1.1 POČETNO STANJE

Prvi korak u proračunu je određivanje početne deformacije, ε_o , koja je prisutna u rubnom vlaknu poprečnog presjeka tijekom postupka ojačanja. Ova deformacija je rezultat momenta M_o (korisnog momenta, bez faktora sigurnosti) koji djeluje na kritični poprečni presjek za vrijeme ojačanja (na primjer, zbog vlastite težine konstrukcije i svih dodatnih opterećenja koja djeluju u fazi ojačanja), i može se proračunati na temelju ravnoteže unutarnjih sila i momenata (sl. 2-4).



Slika 2-4: Određivanje početne deformacije na rubnom vlaknu (lijevo), i njegovom utjecaju na opterećeni, ojačani element (desno)

Proračun početne deformacije na rubnom vlaknu se temelji na karakteristikama presjeka sa pukotinom. Koristi se dijagram naprezanja za beton oblika parabola-pravokutnik (sl. 2-5). Faktor sigurnosti za beton γ_c i koeficijent dugotrajne izloženosti za beton α_{cc} su zanemareni u proračunu distribucije deformacija.

Naprezanja u betonu se određuju na slijedeći način:

za $f_{ck} < 50 \text{ MPa}$:

$$\sigma_c = f_{ck} \left(1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{0,002}\right)^2\right) \quad \text{for } 0 \leq \varepsilon_c \leq 2\% \quad (2.1.1a)$$

$$\sigma_c = f_{ck} \quad \text{za } 2\% \leq \varepsilon_c \leq 3,5\% \quad (2.1.1b)$$

za $f_{ck} \geq 50 \text{ MPa}$:

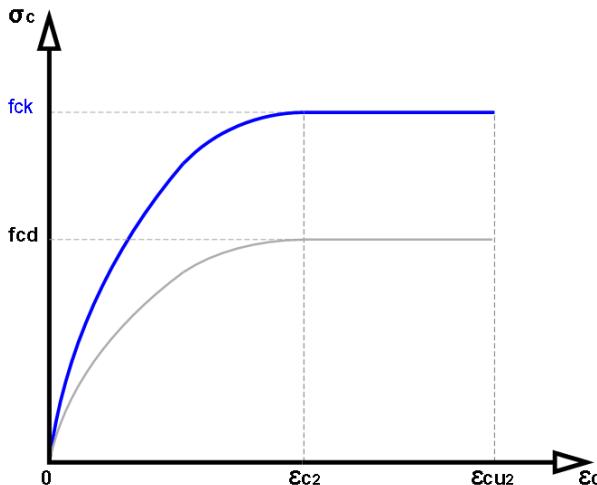
$$\varepsilon_{c2}(\%) = 2,0 + 0,085(f_{ck} - 50)^{0,53} \quad (2.1.1c)$$

$$\varepsilon_{cu2}(\%) = 2,6 + 35 \left(\frac{90-f_{ck}}{100} \right)^4 \quad (2.1.1d)$$

$$n = 1,4 + 23,4 \left(\frac{90-f_{ck}}{100} \right)^4 \quad (2.1.1e)$$

$$\sigma_c = f_{ck} \left(1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right) \quad \text{za } 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2} \quad (2.1.1f)$$

$$\sigma_c = f_{ck} \quad \text{za } \varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu2} \quad (2.1.1g)$$



Slika 2-5: Shema parabola-pravokutnik (plavo) namijenjena za određivanje deformacije betona u početnom stanju.

Utjecaj početna deformacija ε_o na proračun je obično ograničen. Međutim, njezin utjecaj na Graničnom Stanje Uporabivosti može uzrokovati velike razlike u potrebnoj količini FRP-a. Stoga, korisnik treba unijeti realističnu vrijednost M_o za očekivani moment za vrijeme ugradnje CFRP.

Zatim:

Ravnoteža unutarnjih sila (početna situacija):

$$F_c + F_{s2} = F_{s1} \quad (2.1.1h)$$

$$F_{s2} = A_{s2} \cdot \varepsilon_{s2} \cdot E_s \quad (2.1.1i)$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot \varepsilon_{s1} \cdot E_s \quad (2.1.1j)$$

U software-u se točno određuju vrijednosti δ i F_c vrijednosti postupkom iteracije.

Ako prepostavimo da je $\varepsilon_{co} < 2\%$, vrijednosti tlačne sile dobivene iz naprezanja oblika parabole, mogu se dobiti iz jednadžbe:

$$F_c = \frac{f_{ck}}{12} \cdot b \cdot x_o \cdot 1000 \cdot \varepsilon_{co} (6 - 1000 \cdot \varepsilon_{co}) \quad (2.1.1k)$$

Udaljenost tlačne sile od tlačnog ruba δ se može odrediti:

$$\delta = x_o - \frac{x_o}{1000 \cdot \varepsilon_{co}} \cdot \left[2 - \frac{3 \cdot (4 - 1000 \cdot \varepsilon_{co})^2}{4 \cdot (6 - 1000 \cdot \varepsilon_{co})} \right] \quad (2.1.1l)$$

Ravnoteža momenata (početno stanje):

$$M_o = F_{s1}(h - d_1 - \delta) + F_{s2}(\delta - d_2) \quad (2.1.1m)$$

gdje je x_o udaljenost neutralne osi od tlačnog ruba i F_{s1} , F_{s2} su sile donje i gornje zone armature, odnosno, f_{ck} je karakteristična čvrstoća betona (cilindar).

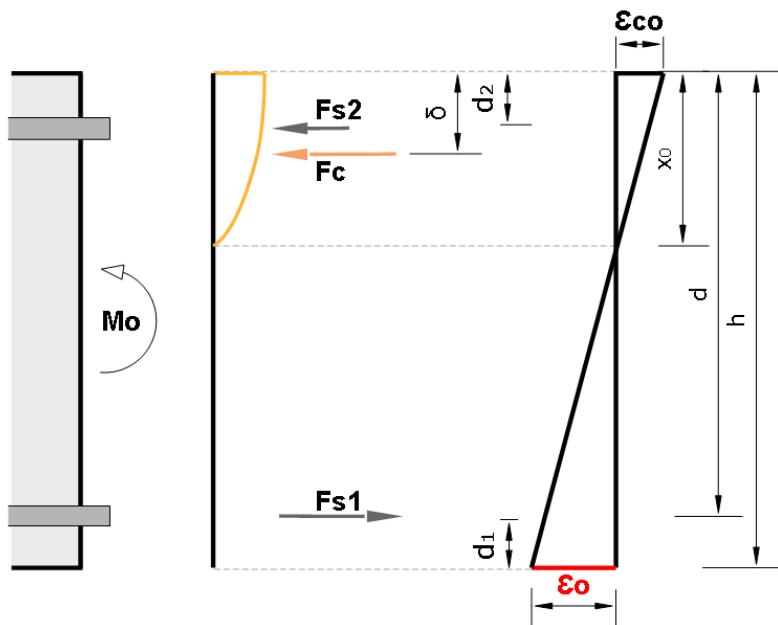
Iz numeričkog rješenja ovih jednadžbi mogu se izračunati, maksimalna tlačna deformacija betona, ε_{co} , udaljenost neutralne osi, x_o . Konačno, početna deformacija ε_o je dana sa:

$$\varepsilon_o = \varepsilon_{co} \left(\frac{h-x_o}{x_o} \right) \quad (2.1.1n)$$

Priručnik

Sika® Carbodur® software

Prosinac, 2013, 1.0.0.



Slika 2-6: Izgled naprezanja i deformacija pri djelovanju momenata za vrijeme postupka ojačanja.

2.1.2 GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI (GSN)

Granično stanje nosivosti je povezano, između ostalog, sa slomom elementa konstrukcije i općenito se odnosi na sigurnost ljudi.

Za verifikaciju graničnog stanja nosivosti, djelovanja ne smiju prekoračiti projektnu otpornost konstrukcije.

Kada se izračuna ε_o , provodi se analiza kritičnog poprečnog presjeka za GSN (Granično Stanje Nosivosti) prema sl.2-7, koja pokazuje profil naprezanja i unutarnje sile pri Graničnom Stanju Nosivosti.

Ravnoteža sila se određuje koristeći dijagram oblika parabola-pravokutnik, prema EC2 (sl. 2-8).

Naprezanje u betonu se određuje slijedećim jednadžbama:

za $f_{ck} < 50 \text{ MPa}$:

$$\sigma_c = f_{cd} \left(1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{0,002}\right)^2\right) \quad \text{za } 0 \leq \varepsilon_c \leq 2\% \quad (2.1.2a)$$

$$\sigma_c = f_{cd} \quad \text{za } 2\% \leq \varepsilon_c \leq 3,5\% \quad (2.1.2b)$$

za $f_{ck} \geq 50 \text{ MPa}$:

$$\varepsilon_{c2}(\%) = 2,0 + 0,085(f_{ck} - 50)^{0,53} \quad (2.1.2c)$$

$$\varepsilon_{cu2}(\%) = 2,6 + 35 \left(\frac{90-f_{ck}}{100}\right)^4 \quad (2.1.2d)$$

$$n = 1,4 + 23,4 \left(\frac{90-f_{ck}}{100}\right)^4 \quad (2.1.2e)$$

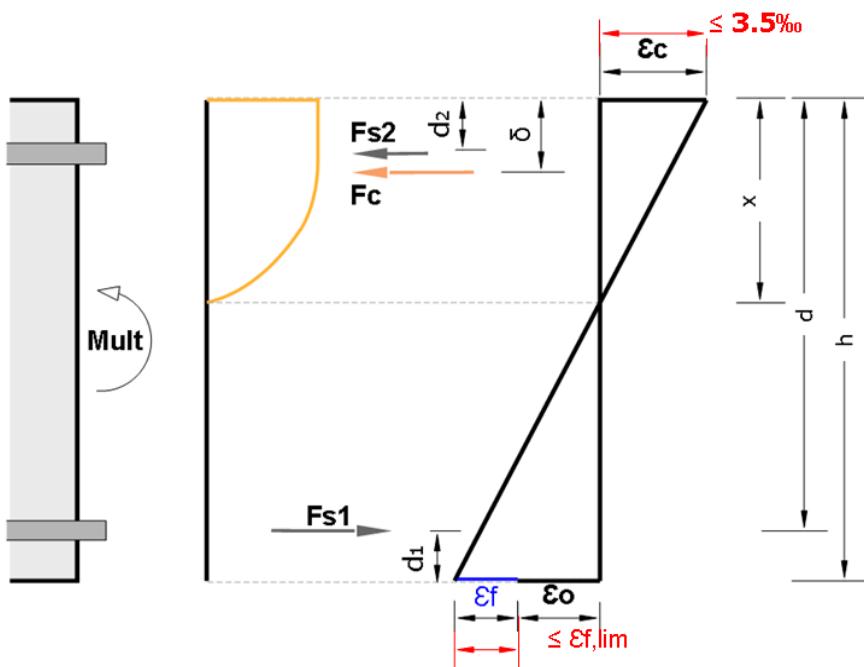
$$\sigma_c = f_{cd} \left(1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}}\right)^n\right) \quad \text{za } 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2} \quad (2.1.2f)$$

$$\sigma_c = f_{cd} \quad \text{za } \varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu2} \quad (2.1.2g)$$

slijedi :

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_c} \quad (2.1.2h)$$

gdje je γ_c parcijalni faktor za beton, a α_{cc} je koeficijent koji uzima u obzir dugotrajne efekte na tlačnu čvrstoću.



Slika 2-7: Profili neprezanja i deformacija za granično stanje nosivosti, ojačan element. Vidi se da su deformacije ograničene (crveno) maksimalnom tlačnom deformacijom betona ($3,5\%$ u slučaju betona klase $\leq 50 \text{ MPa}$), i graničnom deformacijom CFRP-a, $\varepsilon_{f,lim}$.

Maksimalna deformacija ε_c je ograničena sa ε_{cu2} ($3,5\%$ for $f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$). Na isti način, CFRP deformacija, ε_f , je ograničena sa graničnom deformacijom odvajanja, $\varepsilon_{f,lim}$, (sl. 2-7).

Obje vrijednosti se trebaju odabrati prema parametrima EC2 i važećim Nacionalnim Aneksima.

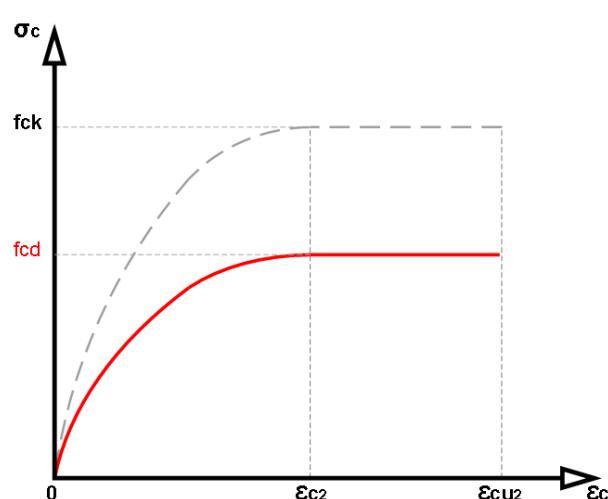
Naprezanje u čeliku je određeno jednadžbom:

$$\sigma_s = \varepsilon_s E_s \leq f_{yd} \quad (2.1.2i)$$

gdje je

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad (2.1.2j)$$

a γ_s je parcijalni faktor čelika.



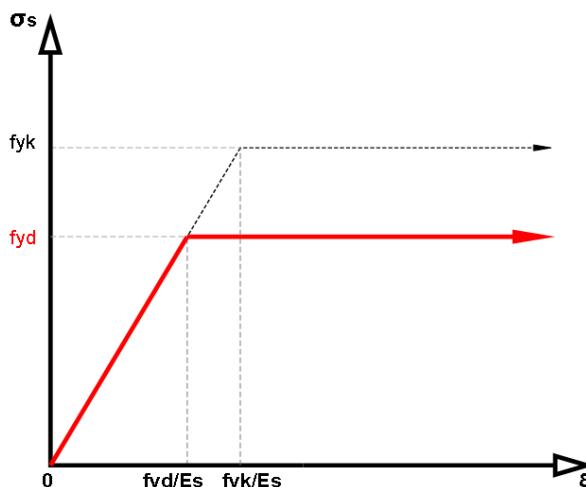
Slika 2-8: Shema parabola-pravokutnik (crveno) koja se koristi za određivanje granične deformacije betona.

Za konstrukcije ojačane sa CFRP-om, proračuni se temelje na pretpostavci da jedan od slijedeća dva poželjna modela sloma uzrokuje:

- Nakon puzanja unutarnje vlačne čelične armature, dolazi do sloma betona u tlačnoj zoni, kako deformacija na tlačnom rubu prekoračuje ε_{cu2} ($3,5\%$ za $f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$).
- Nakon puzanja unutarnje vlačne čelične armature, FRP dostiže graničnu deformaciju, $\varepsilon_{f,lim}$ (ovo je pojednostavljen način da se spriječi odvajanje FRP-a u području gdje savijanje dominira reakcijom, na primjer srednji raspon jednostavnih greda).

Neka lokalna pravila mogu također ograničiti maksimalnu deformaciju puzanja unutarnje armature pri graničnom stanju nosivosti. Informacija dobivena

software-om uključuje potrebne grafičke i numeričke podatke koji omogućuju korisniku da provjeri ove zahtjeve po potrebi, i promjeni količinu CFRP laminata da zadovolji uvjete.



Slika 2-9: Pojednostavljena bilinerana shema (crveno) za armaturni čelik, koji se koristi u analizi GSN..

Ravnoteža unutarnjih sila (GSN):

$$F_c + F_{s2} = F_{s1} + F_f, \quad (2.1.2k)$$

gdje je:

F_c je tlačna sila u betonu iz površine ispod dijagrama parabola-pravokutnik, i automatski se određuje u software-u postupkom iteracije.

$$F_{s2} = A_{s2} \cdot \varepsilon_{s2} \cdot E_s, \text{ gdje je } \varepsilon_{s2} \cdot E_{s2} \leq f_{yd} \quad (2.1.2l)$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot \varepsilon_{s1} \cdot E_s, \text{ gdje je } \varepsilon_{s1} \cdot E_{s1} \leq f_{yd} \quad (2.1.2m)$$

$$F_f = A_f \cdot \varepsilon_f \cdot E_f, \text{ gdje je} \quad (2.1.2n)$$

$$\varepsilon_f = \frac{\varepsilon_c(h-x)}{x} - \varepsilon_0 \leq \varepsilon_{f,lim} \quad (2.1.2o)$$

Ravnoteža momenata (GSN):

$$M_{s,d} = F_{s1}(h - d_1 - \delta) + F_{s2}(\delta - d_2) + F_f(h - \delta) \quad (2.1.2p)$$

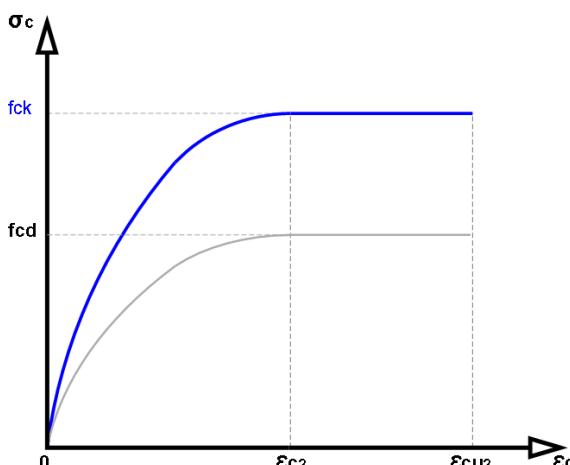
Rješenja jednadžbi 2.1.2k i 2.1.2p dobivena su numerički postupkom iteracije, a iz njih potrebni FRP presjekare A_f .

2.1.3 GRANIČNO STANJE UPORABIVOSTI (GSU)

Granično Stanje Uporabivosti odnosi se na funkciju konstrukcije ili elemenata konstrukcije u normalnoj uporabi.

Za GSU (Granično Stanje Uporabivosti), provodi se analiza kritičnog poprečnog presjeka, prema parametrima Eurokod-a, za dvije moguće kombinacije opterećenja: *Karakteristična kombinacija opterećenja* i *Kvazi-stalnu kombinaciju opterećenja*.

Za *Karakterističnu kombinaciju opterećenja*, proračuni se izvode kao i za GSN, sa slijedećim modifikacijama:



Slika 2-10: Shema parabola-pravokutnik (plavo) koja se koristi za određivanje granične deformacije betona.

- Naprezanje u dijagramu parabola-pravokutnik se određuje koristeći karakterističnu čvrstoću betona (sl. 2-10).
- $M_{s,d}$ se zamjenjuje momentom djelovanje (za karakterističnu kombinaciju) $M_{ser,ck}$;

Pri karakterističnoj kombinaciji opterećenja, naprezanja u čeliku i betonu su ograničena na:

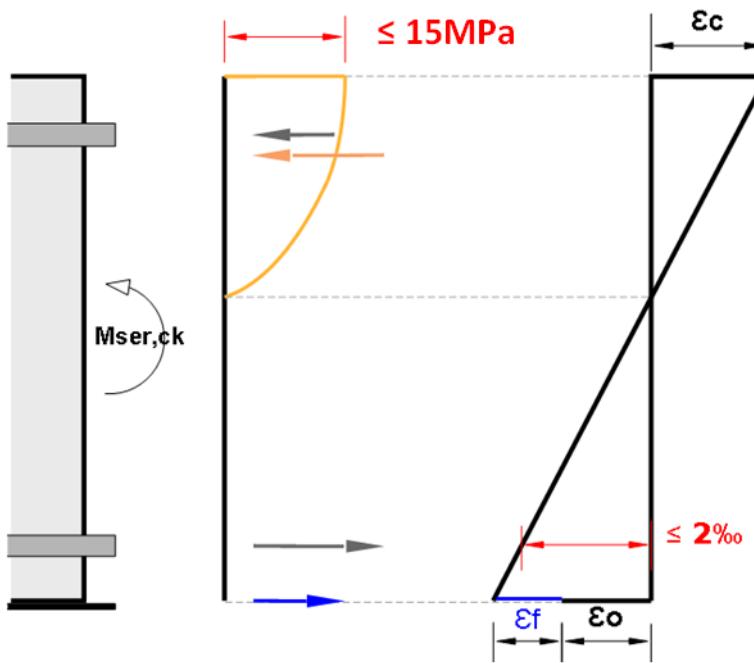
$$\varepsilon_{s1} \cdot E_s \leq 0,8 f_{yk} \quad (2.1.3a)$$

$$\sigma_c \leq 0,6 f_{ck} \quad (2.1.3b)$$

Kao primjer (sl. 2-11), koristeći beton klase C25 i čelik oznake B500 ($E=200.000 \text{ MPa}$):

$$\varepsilon_{s1} \leq 0,8 \frac{f_{yk}}{E_s} \leq 0,8 \frac{500 \text{ MPa}}{200.000 \text{ MPa}} \leq 2\% \quad (2.1.3c)$$

$$\sigma_c \leq 0,6 f_{ck} \leq 0,6 \cdot 25 \text{ MPa} \leq 15 \text{ MPa} \quad (2.1.3d)$$



Slika 2-11: Profili naprezanja i deformacija za granično stanje uporabivosti pri karakterističnim opterećenjima, ojačanog elementa. (Ograničenja su označena crveno, npr. na bazi betona klase C25 i čelika oznake B500)

Naprezanje u betonu je zadano sa slijedećim odnosom naprezanje-deformacija u betonu:

za $f_{ck} < 50 \text{ MPa}$:

$$\sigma_c = f_{ck} \left(1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{0,002}\right)^2\right) \quad \text{za } 0 \leq \varepsilon_c \leq 2\% \quad (2.1.3e)$$

za $f_{ck} \geq 50 \text{ MPa}$:

$$\varepsilon_{c2}(\%) = 2,0 + 0,085(f_{ck} - 50)^{0,53} \quad (2.1.3f)$$

$$n = 1,4 + 23,4 \left(\frac{90-f_{ck}}{100}\right)^4 \quad (2.1.3g)$$

$$\sigma_c = f_{ck} \left(1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}}\right)^n\right) \quad \text{za } 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2} \quad (2.1.3h)$$

U slučaju kvazi-stalne kombinacije opterećenja, proračun se izvodi kao i u slučaju karakterističnog opterećenja, sa slijedećim modifikacijama:

- $M_{ser,ck}$ se zamjenjuje momentom djelovanja (pri kvazi-stalnoj kombinaciji opterećenja) $M_{ser,qp}$;
- Za kvazi-stalnu kombinaciju opterećenja, software zima u obzir puzanje koristeći pojednostavljeni model puzanja. Analiza je izvedena u jednom koraku (puzanje se uzima u obzir sa početnog opterećenja, bez faza srednjeg opterećenja) uzimajući u obzir kvazi-stalne kombinacije opterećenja.
- Koefficijent puzanja ($\varphi = 2$) se koristi za određivanje tlačnih deformacija betona.

Prethodni modeli uzimaju u obzir tlačne deformacije betona pri kratkotrajnim opterećenjima (ε_c), kao i deformacije uslijed puzanja povezane sa dugotrajnim opterećenjima (ε_{cc}).

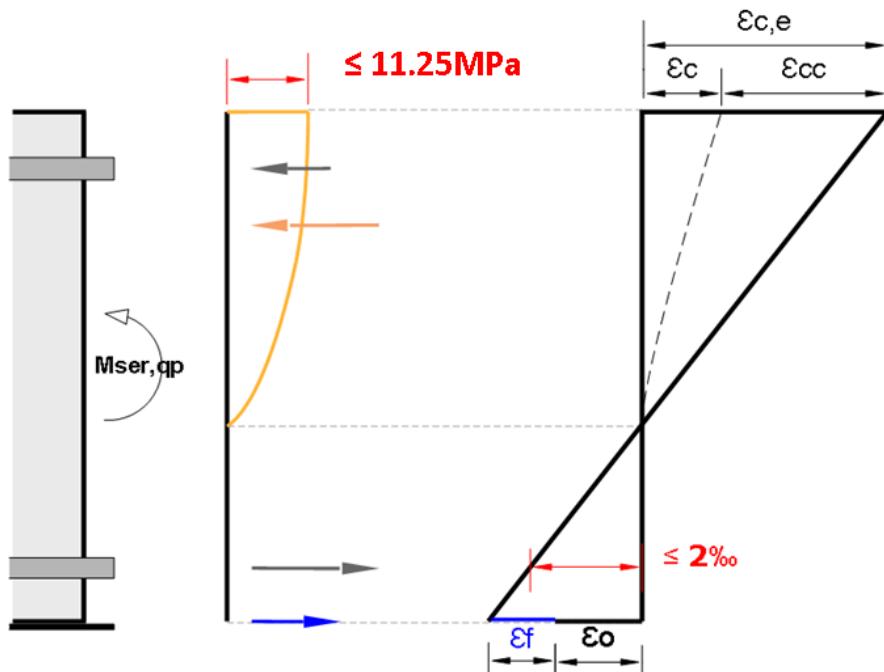
$$\varepsilon_{c,e} = \varepsilon_c + \varepsilon_{cc} = \frac{\sigma_c}{E_{cm}} + \varphi \frac{\sigma_c}{E_c} = \frac{\sigma_c}{E_{cm}} + \varphi \frac{\sigma_c}{1,05 E_{cm}} \quad (2.1.3i)$$

Prema naprezanju ispod parabole koja se koristi u ovom software-u, i uz pretpostavku $E_c \approx E_{cm}$:

$$\varepsilon_{c,e} \sim (1 + \varphi) \cdot \varepsilon_c \quad (2.1.3j)$$

Puzanje je povezano sa povećanjem deformacije kroz vrijeme zbog trajnih djelovanja. Stoga, očekivana deformacija betona je $(1 + \varphi)$ puta veća od one dobivene primjenom kratkotrajnih opterećenja iste veličine. Kao posljedica

dodatne deformacije uslijed puzanja, i kako bi se zadržala kompatibilnost deformacija, udaljenost do neutralne osi se povećava (u usporedbi sa onom za kratkotrajna opterećenja). Ova također utječe na razvoj deformacije u čeliku.



Slika 2-12: Profili naprezanja i deformacija za granično stanje uporabivosti pri kvazi-stalnim opterećenjima, ojačanog elementa. (Ograničenja su označena crveno, npr. za beton klase C25 i čelik oznake B500).

d) Pri kvazi-stalnoj kombinaciji opterećenja, naprezanja u betonu i čeliku su ograničena na:

$$\epsilon_{s1} \cdot E_s \leq 0,8 f_{yk} \quad (2.1.3k)$$

$$\sigma_c \leq 0,45 f_{ck} \quad (2.1.3l)$$

Kao primjer (sl. 2-12), koristeći beton klase C25 i čelik oznake B500 ($E=200.000 \text{ MPa}$):

$$\epsilon_{s1} \leq 0,8 \frac{f_{yk}}{E_s} \leq 0,8 \frac{500 \text{ MPa}}{200.000 \text{ MPa}} \leq 2\% \quad (2.1.3m)$$

$$\sigma_c \leq 0,45 f_{ck} \leq 0,45 \cdot 25 \text{ MPa} \leq 11.25 \text{ MPa} \quad (2.1.3n)$$

2.1.4 PROVJERA PRI DJELOVANJU POŽARA

Požar je slučajni događaj koji uključuje izvanredne uvjete projektiranja konstrukcije i opterećenja.

U slučaju požara, pri visokoj temperaturi, pretpostavlja se da će nezaštićeni CFRP biti uništen. Stoga, neojačani element je izložen reduciranim računskim opterećenjima, kao što to nalažu lokalne norme i pravilnici.

Software uključuje pojednostavljenu provjeru otpornosti neojačanog elementa u slučaju požara, prema

EC2: *Projektiranje betonskih konstrukcija -- Dio 1-2: Opća pravila -- Projektiranje konstrukcija na djelovanje požara*

Kombinacija djelovanja koja se koristi u software-u za provjeru čvrstoće neojačanog elementa se temelji na pojednostavljenoj metodi navedenoj u EC2: - Dio 1-2, 2.4.2 koristeći koeficijent redukcije ($\eta_{fi} = 0.7$) koji se primjenjuje na računski moment pri graničnom stanju nosivosti.

$$M_{fire,d} = \eta_{fi} \cdot M_{s,d} \quad (2.1.4a)$$

Ako obuhvatite proračun GSU, software uključuje mogućnost korištenja kvazi-stalne kombinacije opterećenja za slučaj požara, prema preporukama iz *Eurokoda 1: Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-2: Opća djelovanja -- Djelovanja na konstrukcije izložene požaru*.

$$M_{fire,d} = M_{ser,qp,d} \quad (2.1.4b)$$

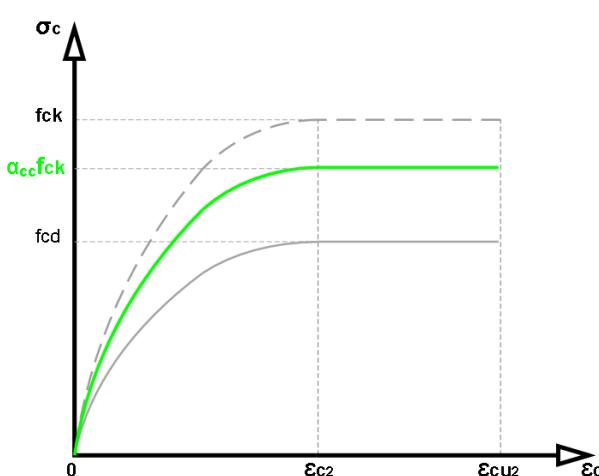
Alternativno, korisnici mogu također definirati računski moment u slučaju požara, prema njihovim potrebama ili lokalnim pravilnicima.

Parcijalni koeficijenti sigurnosti materijala su uzeti 1.0, prema preporukama iz *Eurokoda 2: - Dio 1-2, 2.3: Projektne vrijednosti za karakteristike materijala*.

$$\gamma_{c,fire} = 1 \quad (2.1.4c)$$

$$\gamma_{s,fire} = 1 \quad (2.1.4d)$$

Slijedi:



Slika 2-13: Shema parabola-pravokutnik (zeleno) koja se koristi za određivanje deformacije betona izloženog savjanju u slučaju požara.

$$f_{cd,fire} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_{c,fire}} = \alpha_{cc} f_{ck} \quad (2.1.4e)$$

za $f_{ck} < 50 \text{ MPa}$:

$$\sigma_c = f_{cd,fire} \left(1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{0,002}\right)^2\right) \quad \text{za } 0 \leq \varepsilon_c \leq 2\% \quad (2.1.4f)$$

$$\sigma_c = f_{cd,fire} \quad \text{za } 2\% \leq \varepsilon_c \leq 3,5\% \quad (2.1.4g)$$

za $f_{ck} \geq 50 \text{ MPa}$:

$$\varepsilon_{c2}(\%) = 2,0 + 0,085(f_{ck} - 50)^{0,53} \quad (2.1.4h)$$

$$\varepsilon_{cu2}(\%) = 2,6 + 35 \left(\frac{90-f_{ck}}{100}\right)^4 \quad (2.1.4i)$$

$$n = 1,4 + 23,4 \left(\frac{90-f_{ck}}{100}\right)^4 \quad (2.1.4j)$$

$$\sigma_c = f_{cd,fire} \left(1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}}\right)^n\right) \quad \text{za } 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2} \quad (2.1.4k)$$

$$\sigma_c = f_{cd,fire} \quad \text{za } \varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu2} \quad (2.1.4l)$$

A za čeličnu armaturu:

$$f_{yd,fire} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{s,fire}} = f_{yk} \quad (2.1.4m)$$

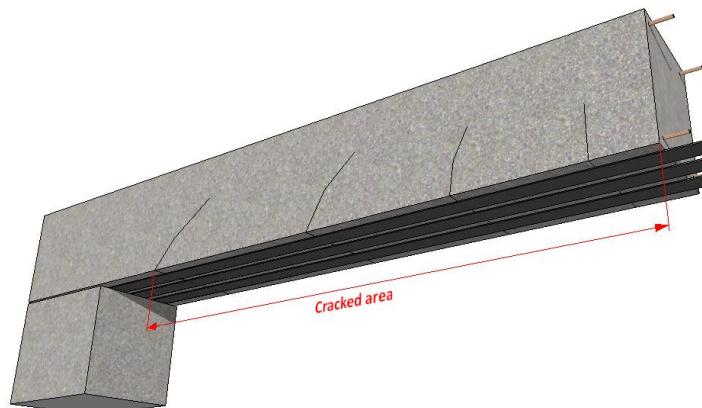
Software provjerava ako je čvrstoća neojačanog elementa dovoljna da preuzme očekivana opterećenja u slučaju požara, bez doprinosa CFRP. Inače se moraju koristiti Sikacrete® 213F ili drugi postupci zaštite od požara, kako bi se osigurala zaštita CFRP.

Software ne analizira ponašanje konstrukcije armirano-betonskog elementa kroz vrijeme, za slučaj požarnog opterećenja.

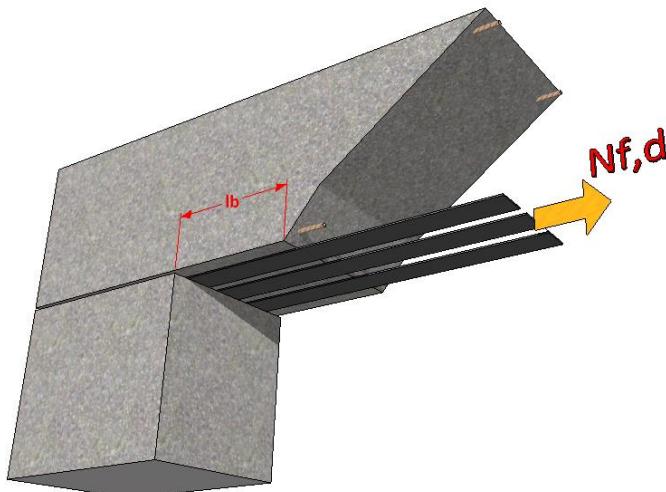
2.1.5 ZONA SIDRENJA

U elementima sa dovoljno unutarnje i vanjske posmične armature, odvajanje CFRP ojačanja je obično povezano sa otvaranjem pukotina nastalih uslijed savijanja, koje se šire horizontalno duž grede ili ploče, u smjeru smanjenja momenta.

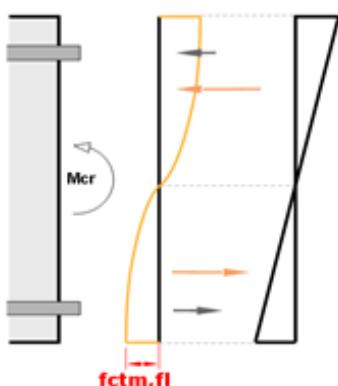
Kako se te pukotine otvaraju, stvaraju velike unutarnja posmična naprezanja koje mogu uzrokovati odvajanje CFRP-a.



Slika 2-14: konačno stanje distribucije pukotina nastalih uslijed savijanja, ojačani element



Slika 2-15: Rubno sidrenje u zoni betona bez pukotina.



Slika 2-16: profil naprezanja i deformacija u fazi nastanka pukotine

Iz toga razloga, potrebno je osigurati dovoljno sidrenje CFRP-a na beton bez pukotina iza rubne pukotine nastale uslijed savijanja u graničnom stanju naprezanja. Povećanje sile sa CFRP u presjeku koji odgovara rubnoj pukotini ($N_{f,d}$) treba se usidriti na raspoloživu duljinu betona bez pukotina (l_b) (sl. 2-15).

Software uključuje 2 različite mogućnosti za verifikaciju sidrenja na rubu:

Opcija a): Približni proračun za jednostavno oslonjene elemente sa homogenom distribucijom opterećenja. Proračun obuhvaća sve međukorake, uključujući:

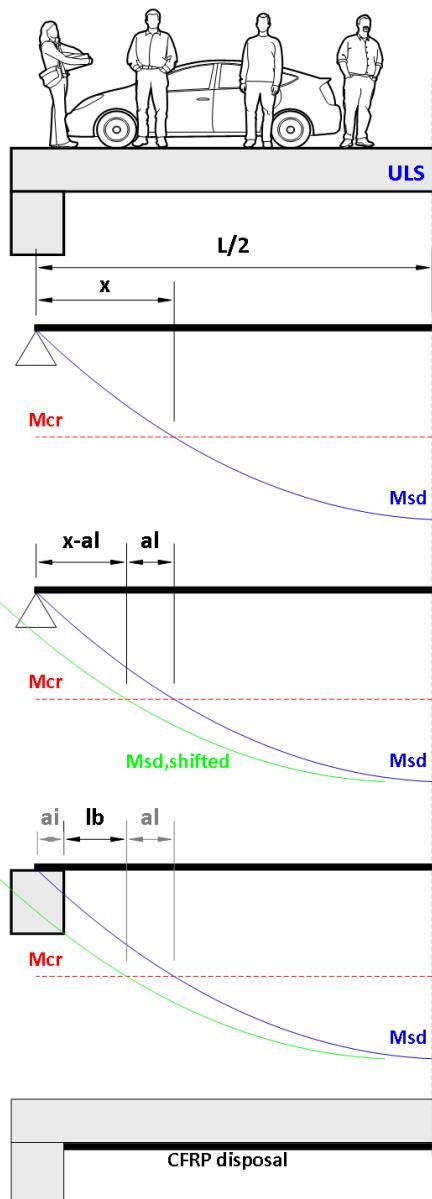
- Određivanje veličine momenta pri pojave prve pukotine na gredi/ploči, uzimajući u obzir stvarnu distribuciju čelične armature u području uz ležaj.
- Očekivanu poziciju krajnje pukotine pri graničnom stanju nosivosti.
 - Proračun sila koju daje CFRP ojačanje u tom presjeku.
 - Proračun maksimalne sile sidrenja, ovisno o klasi betona, kompaktnosti površine betona, duljini betona bez pukotina, te geometriji elementa i CFRP ojačanja.

Software određuje moment savijanja (M_{cr}) pri kojem je vlačna sila u najdonjem vlaknu jednaka srednjoj vlačnoj čvrstoći uslijed savijanja na odabranom betonu ($f_{ctm,fl}$), kao što slijedi:

$$f_{ctm,fl} = \max \left(\left(1,6 - \frac{h}{1000} \right) \cdot f_{ctm}; f_{ctm} \right) \quad (2.1.5a)$$

gdje je:

- h je ukupna visina elementa (u mm)



Slika 2-17

Potrebno imati točne podatke o distribuciji opterećenja kako bi se odredila neutralna točka linije momenta savijanja.

Određivanje duljine sidrenja u slučaju kontinuiranih greda i pozitivnih momenata savijanja može se izvesti na slijedeći način (sl. 2-18):

Mora se odrediti pozicija gdje je linija momenta savijanja jednaka nuli (x).

Nakon toga se uzima u obzir horizontalni pomak (a_l), prema "pravilu pomaka" navedenom u EC 2.

Iz definiranog dijela, projektant mora odrediti maksimalnu duljinu sidrenja, $l_{b,max}$, prema:

$$l_{b,max} = \sqrt{\left(\frac{E_f t_f}{c_2 f_{ctm}}\right)} \quad (2.1.5f)$$

- f_{ctm} je srednja aksijalna vlačna čvrstoća betona:
- $f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}}$ za klasu betona $\leq C50/60$ (2.1.5b)
- $f_{ctm} = 2,12 \cdot \ln(1 + \left(\frac{f_{cm}}{10}\right))$ za klasu betona $> C50/60$ (2.1.5c)

Doprinos CFRP za ovaj proračun se zanemaruje, pa se uklanja.

Kada se dobije vrijednost M_{cr} , očekivana pozicija krajnje pukotine nastale savijanjem se određuje uz pretpostavke:

- Jednostavno oslonjen element.
- Homogena distribucija opterećenja.
- CFRP doprinos je zanemariv.

Procjena pozicije (sl. 2-17), može se postići određivanjem točke u kojoj momentna linija pri GSN odgovara vrijednosti M_{cr} , prije izračunatoj.

Software uzima u obzir "pravilo pomak" prema EC2. Ono obuhvaća horizontalni pomak (a_l) linije momenta savijanja, uzima u obzir naprezanja nastala u području kao sekundarnu posljedicu posmičnih sila u gredi/ploči. Prema tome, inicijalna raspoloživa duljina za sidrenje (x) je reducirana.

Horizontalni pomak se određuje software-om na jednostavniji način, prema statičkoj visini (d) i po kriteriju:

$$a_l = 0.45 \cdot d \quad (2.1.5d)$$

za grede, uz pretpostavku da postoji unutarnja posmična armatura,

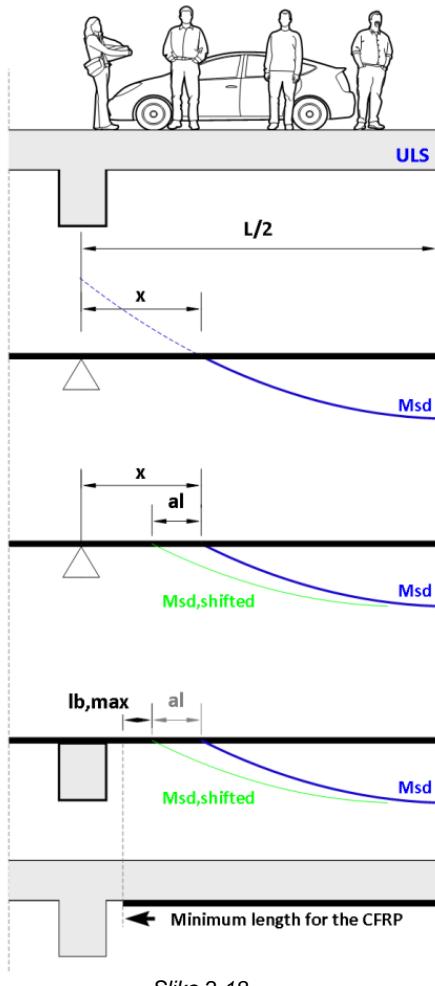
$$a_l = 0.9 \cdot d \quad (2.1.5e)$$

za ploče, uz pretpostavku da postoji reducirana ili da nema unutarnje posmične armature.

Konačno, raspoloživa duljina sidrenja (l_b) je definirana oduzimanjem nedostupne duljine koja se nalazi unutar ležaja (a_i).

U slučaju kontinuiranih greda/ploča, aproksimativno određivanje raspoložive duljine sidrenja nije uključeno u software.

Sidrenje se ostvaruje produljenjem CFRP na tlačnu zonu, pri tome je potrebno imati točne podatke o distribuciji opterećenja kako bi se odredila neutralna točka linije momenta savijanja.



Slika 2-18

Prema tome, software određuje početnu deformaciju u rubnom vlačnom vlaknu (ne-napuknuti presjek) koji odgovara očekivanom početnom momentu ($M_{o,cr}$).

Proračun se temelji na kompatibilnosti deformacija, uzimajući u obzir djelovanje betona (u tlaku i vlaku) kao i postojeće čelične armature u presjeku uz ležaj (sl. 2-20).

Nakon toga, novi proračun se izvodi na temelju ojačanog napuknutog presjeka kako bi se odredila deformacija ($\varepsilon_{f,cr}$) stvorena sa CFRP u GSN (sl. 2-21).

Slično, u slučaju negativnog momenta savijanja, CFRP se sidri u tlačnoj zoni.

Na isti se način uzima "pravilo pomaka" kako bi se uzele u obzir posmične sile (sl. 2-19).

Kako pozicija koja odgovara momentu "nula" značajno varira ovisno o različitim kombinacijama opterećenja, neke smjernice preporučuju korištenje:

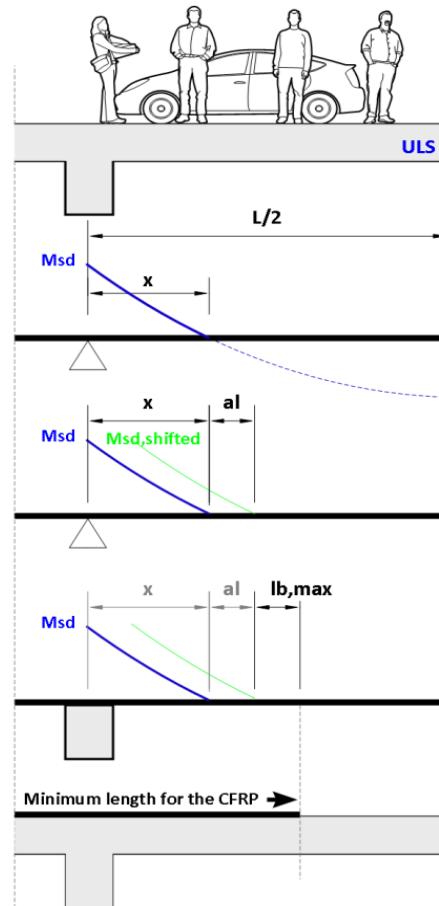
$$l_{b,\max} = \sqrt{\left(\frac{E_f \cdot t_f}{c_2 f_{ctm}}\right)} \geq 1m \quad (2.1.5g)$$

za sidrenje CFRP, korištenog za povećanje kapaciteta negativnog momenta.

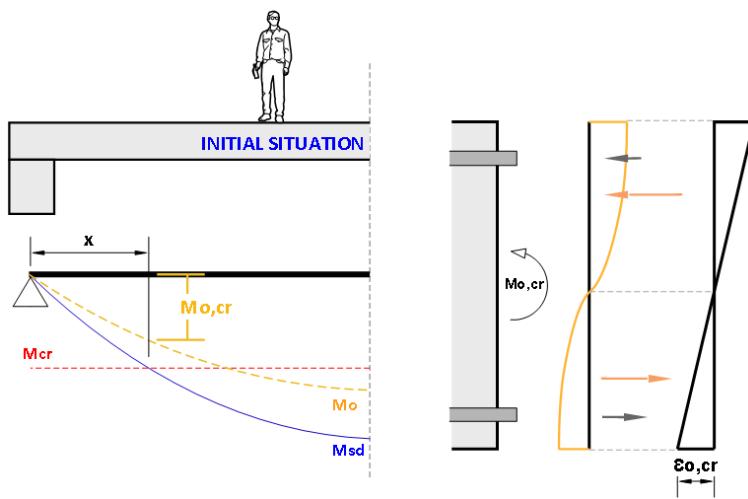
U ovoj fazi, software određuje početnu deformaciju koja se očekuje u donjem vlaknu presjeka kao posljedicu postojećeg opterećenja u trenutku ojačavanja.

Zbog pojednostavljenja, početni očekivani moment ($M_{o,cr}$) u određenom krajnjem napuknutom presjeku se dobije kao rezultat omjera između računskog momenta (M_{sd}) ojačanog elementa u sredini raspona, i početnog momenta u sredini raspona (M_o).

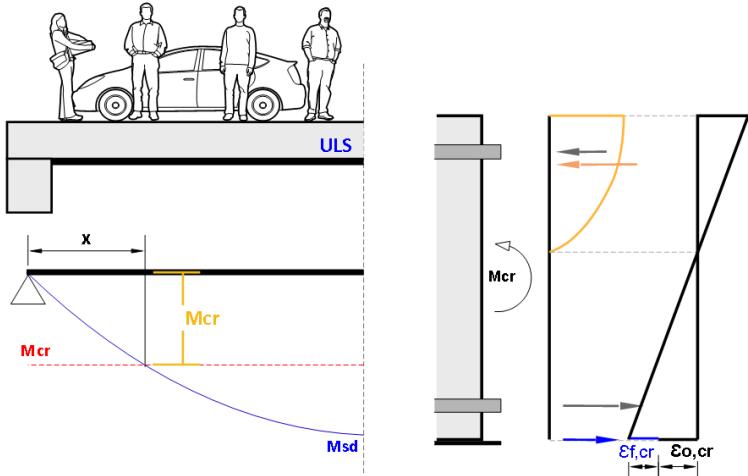
Prema tome, software određuje početnu deformaciju u rubnom vlačnom vlaknu (ne-napuknuti presjek) koji odgovara očekivanom početnom momentu ($M_{o,cr}$).



Slika 2-19



Slika 2-20



Slika 2-21

Kao posljedica ove očekivane deformacije, sila CFRP se može odrediti prema:

$$N_{f,d} = A_f \cdot \varepsilon_{o,cr} \quad (2.1.5h)$$

gdje je A_f poprečni presjek CFRP ojačanja.

Kada se dostigne sila CFRP ($N_{f,d}$) u rubnoj savojnoj pukotini, potrebno je provjeriti da li se može usidriti; na prethodno dobivenoj dostupnoj duljini sidrenja (l_b).

U slučaju gdje je $l_b \geq l_{b,max}$, uzimajući u obzir:

$$l_{b,max} = \sqrt{\left(\frac{E_f t_f}{c_2 f_{ctm}}\right)} \quad (2.1.5i)$$

maksimalna sila koja se može usidriti ($N_{fa,max}$) može se odrediti:

$$N_{fa,max} = 0,64 \cdot k_c \cdot k_b \cdot b \cdot \sqrt{E_f \cdot t_f \cdot f_{ctm}} \quad (2.1.5j)$$

gdje je k_c faktor koji uzima u obzir stupanj zbijenosti betona (općenito se može uzeti jednako 1.0 , ali vrijedi $k_c=0.67$ za CFRP lijepljen na površinu betona niske zbijenosti), a k_b je geometrijski faktor:

$$k_b = 1,06 \cdot \sqrt{\left(\frac{2-\frac{b_f}{b}}{1+\frac{b_f}{400}}\right)} \geq 1 \quad (2.1.5k)$$

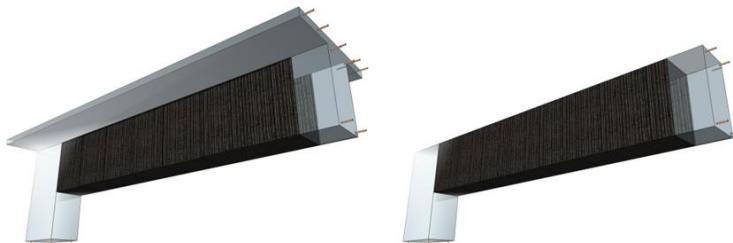
U slučaju gdje je dostupna duljina sidrenja $l_b < l_{b,max}$, maksimalna sila sidrenja se određuje prema:

$$N_{fa} = N_{fa,max} \cdot \frac{l_b}{l_{b,max}} \cdot \left(2 - \frac{l_b}{l_{b,max}}\right) \quad (2.1.5l)$$

Opcija b): Točan proračun, vrijedi za sve tipove greda ili ležajeva. U ovoj opciji, korisnik definira vrijednost koja odgovara momentu pojave prve pukotine na ojačanom elementu, kao i dostupnoj duljini ne-napuklog betona. Software određuje silu koju prenosi CFRP u tom presjeku, ovisno o karakteristikama grede/ploče, i potvrđuje ako se očekivana sila u CFRP ($N_{f,d}$) može sidriti na duljini dostupnoj na ne-napukloj površini betona (l_b).

2.2 OJAČANJE NA POSMIK

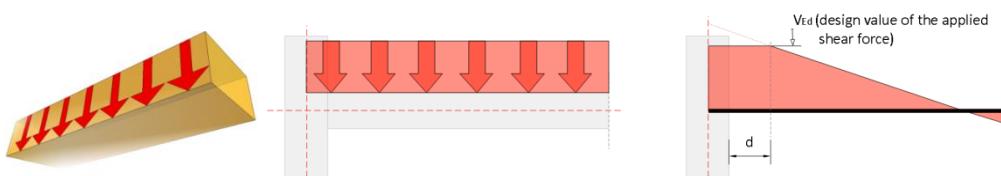
Ojačanje na posmik AB elemenata koristeći FRP može se izvesti lijepljenjem ojačanja na površini sa odgovarajućim smjerom vlakana paralelnim sa maksimalnim vlačnim naprezanjima, tako da se optimizira efektivnost FRP. Za konvencionalne slučajeve konstruktivnih elemenata izloženih korisnim opterećenjima, trajektorije maksimalnim naprezanjima u zonama kritičnog posmika nalaze se otprilike pod kutem od 45° u odnosu na os elementa. Međutim, praktičnije je ugraditi površinsko CFRP ojačanje sa smjerom vlakana okomitim na os elementa. (sl. 2-22).



Slika 2-22

Omatanje ili adekvatno usidrenje trake su uvijek boja rješenja od djelomičnog omatanja, jer se pri djelovanju korisnog opterećenja može očekivati prijevremeno odvajanje, a tako se smanjuje u efektivnost CFRP.

Za elemente izložene pretežno jednolikom raspoređenom opterećenju, računska posmična sila treba se provjeriti na udaljenosti manjoj od d od početka ležaja (dodatno se treba potvrditi da posmik na ležaju nije veći od $V_{Rd,max}$) (sl. 2-23).



Slika 2-23

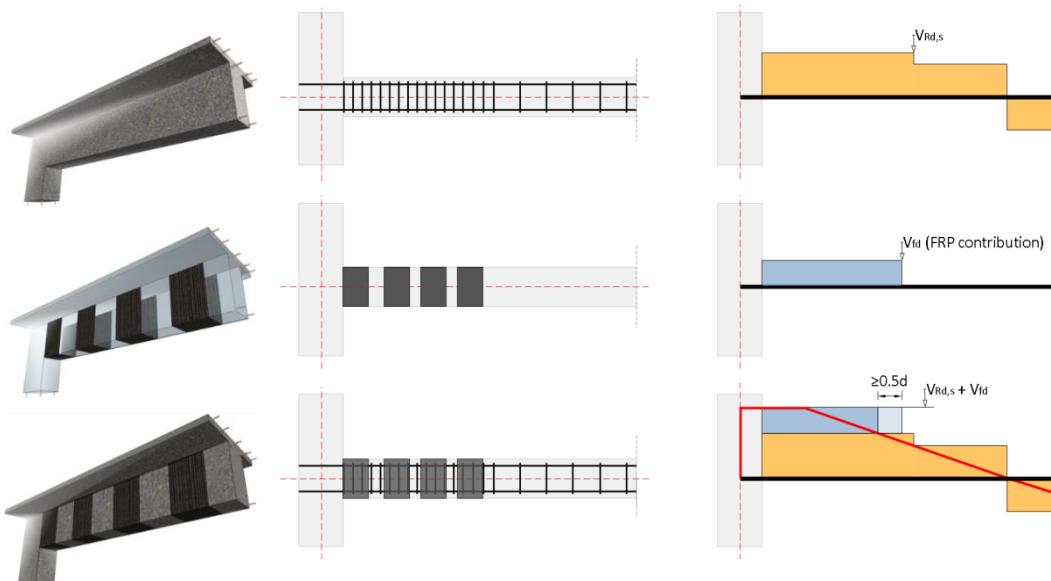
Površinsko FRP ojačanje može se promatrati kao unutarnja čelična armatura (uz napomenu da CFRP prenosi normalna naprezanja u smjeru vlakana), uz pretpostavku da pri GSN u posmiku (dijagonalni posmik u betonu) CFRP preuzima efektivnu deformaciju u smjeru vlakana $\varepsilon_{f,e}$ koji je općenito manji od vlačne deformacije pri slomu, ε_{fu} . Efektivna deformacija ovisi o stupnju odvajanja CFRP kada se dostigne posmični kapacitet AB elementa; odnosno, o

tipu sidrenja (ispravno usidren CFRP, npr. potpuno omatanje, u odnosu na loše sidrenje CFRP, parcijalnim omatanjem). Pri tome, posmični kapacitet ojačanog elementa može se proračunati na slijedeći način (npr. u EC 2 formatu):

$$V_{rd} = \min (V_{Rd,s} + V_{fd}, V_{Rd,max}) \quad (2.2a)$$

gdje je V_{fd} , doprinos FRP na posmični kapacitet elementa (sl. 2-24), zadan slijedećim izrazom:

$$V_{fd} = 0.9 \cdot \varepsilon_{fd,e} \cdot E_f \rho_f \cdot b_w d (1 + \cot \alpha) \sin \alpha \quad (2.2b)$$



Slika 2-24

U gornjoj jednadžbi E_f je modul elastičnosti CFRP kompozita, ovisno o karakteristikama određene SikaWrap® tkanine i Sikadur® ljeplila, b_w je širina poprečnog presjeka, d je statička (ili efektivna) visina, α je kut između određene FRP orientacije vlakna i uzdužne osi elementa (90° za vertikalne CFRP sheme u gredama), $\varepsilon_{fd,e}$ je računska vrijednost efektivne FRP deformacije i ρ_f je volumni omjer FRP kompozita is the FRP kompozita, jednak $(2t_f/b_w)\sin\alpha$ za kontinuirano ljepljenje CFRP debljine t_f , ili $(2t_f/b_w)(b_f/s_f)$ za CFRP ojačanja u obliku traka ili tkanina širine b_f (okomito na orientaciju vlakana) na razmaku s_f (udaljenost od osi do osi duž osi elementa). Jednadžba 2.2b može se riješiti za debljinu CFRP potrebnog za postizanje posmične otpornosti V_{fd} .

Računska vrijednost efektivne CFRP deformacije može se odrediti prema:

- Potpuno omatanje ili ispravno sidrenje CFRP:

$$\varepsilon_{fd,e} = \min \left[\frac{0.8 \cdot 0.17 \varepsilon_{fu} \left(\frac{f_{cm}}{E_f \rho_f} \right)^{0.3}}{1.2}, 0.6\% \right], 1.2 \quad (2.2c)$$

- Parcijalno omatanje CFRP:

$$\varepsilon_{fd,e} = \min \left[\frac{0.8 \cdot 0.17 \varepsilon_{fu} \left(\frac{f_{cm}}{E_f \rho_f} \right)^{0.3}}{1.2}, \frac{0.8 \cdot 0.65 \cdot 10^{-3} \left(\frac{f_{cm}}{E_f \rho_f} \right)^{0.56}}{1.3}, \frac{0.6\%}{1.3} \right] \quad (2.2d)$$

Gore navedena, f_{cm} je srednja tlačna čvrstoća betona u N/mm² i E_f je uzet u kN/mm².

2.3 OJAČANJE STUPA

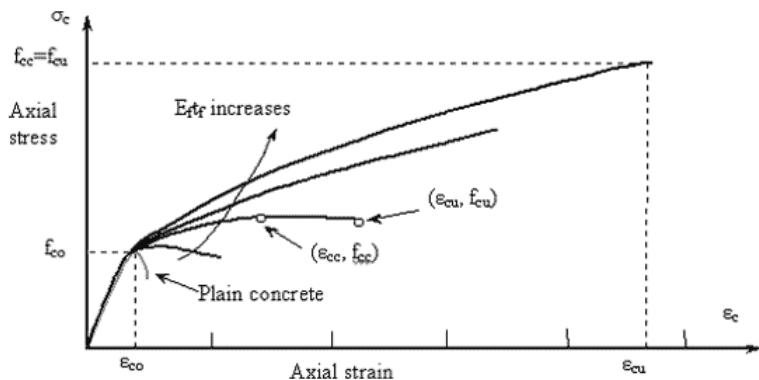
Glavni ciljevi ojačanja su:

- a. povećanje čvrstoće betona i kapaciteta deformacije,
- b. osiguravanje ležaja za uzdužnu armaturu i
- c. sprečavanje degradacije zaštitnog sloja betona.

U slučaju stupova kružnog presjeka, ovi ciljevi se mogu postići ugradnjom površinskih FRP omota, kontinuirano preko površine, ili diskontinuirano kao trake. U slučaju stupova pravokutnog presjeka, ojačanje se može postići pravokutnim lamenama, sa zaobljenim kutovima prije lijepljenja. Napomena, ojačanje pravokutnih stupova, iako moguće, manje je efektivno jer se ojačanje nalazi uglavnom na kutovima i treba se koristiti velika debljina ojačanja između kutova kako bi se spriječilo kasnije odvajanje i izvijanje armature.

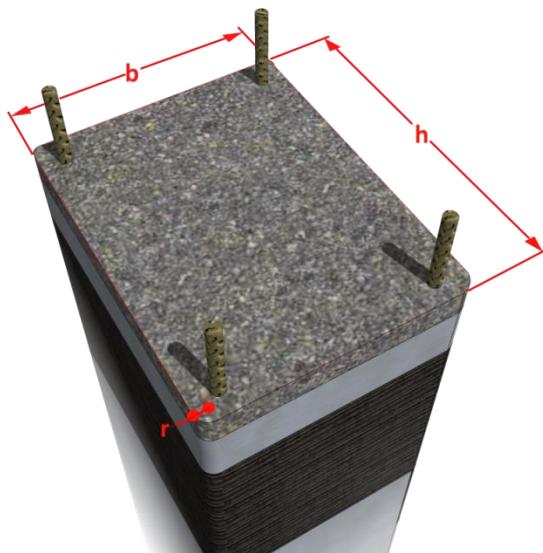
Dijagram naprezanje-deformacija betona ojačanog CFRP je prikazan na sl. 2.25. Slika prikazuje gotovo bi-linearan dijagram sa oštrom prijelaznom zonom pri vrijednosti naprezanja koja je približno jednaka čvrstoći neojačanog betona, f_{co} . Nakon ovog naprezanja, tangenta tvrdoće se neznatno mijenja, sve dok beton ne dostigne graničnu čvrstoću f_{cc} kada omot dostigne slom u vlaku pri naprezanju f_{fe} i odgovarajuću deformaciju $\varepsilon_{fu,e}$, koja je općenito manja od uni-aksijalne vlačne čvrstoće ε_{fu} .

Redukcija naprezanja pri slomu posljedica je : (a) tri-aksijalnog stanja naprezanja u CFRP (zbog aksijalnog opterećenja i postupka ojačanja, ali i zbog savijanja, npr. na kutovima malog polumjera); i (b) kvalitet izvedbe (potencijalne lokalne nepravilnosti vlakana zbog neujednačenosti, i prenaprezanja drugih; oštećena vlakna na oštrim kutovima ili lokalni prodori itd.).



Slika 2-25: Krivulje naprezanje-deformacija za neojačani i FRP ojačani beton.

Za pravokutni poprečni presjek sa dimenzijama b i h , efekt CFRP ojačanja može se proračunati na temelju slijedećih izraza za ojačani beton čvrstoće f_{cc} i odgovarajuće deformacije ε_{cu} :



Slika 2-26: Pravokutni poprečni presjek sa radijusom "r" na kutovima.

$$f_{cc} = E_{sec,u} \cdot \varepsilon_{cu} \geq f_{co} \quad (2.3a)$$

$$\varepsilon_{cu} = \varepsilon_{co} [1 + 5(\alpha_1 \alpha_2 - 1)] \left[\frac{E_{cc}(E_c - E_{sec,u})}{E_{sec,u}(E_c - E_{cc})} \right]^{1 - \frac{E_{cc}}{E_{co}}} \quad (2.3b)$$

gdje je

$$E_{sec,u} = \frac{E_c}{1 + 2\beta\varepsilon_{fu,e}} \quad (2.3c)$$

$$\beta = \frac{E_c}{f_{co}} - \frac{1}{\varepsilon_{co}} \quad (2.3d)$$

$$E_{cc} = \frac{\alpha_1 \alpha_2 f_{co}}{\varepsilon_{co} [1 + 5(\alpha_1 \alpha_2 - 1)]} \quad (2.3e)$$

$$\alpha_1 = 2.254 \cdot \sqrt{1 + 7.94 \frac{\sigma_{1,b}}{f_{co}}} - 2 \frac{\sigma_{1,b}}{f_{co}} - 1.254 \quad (2.3f)$$

$$\alpha_2 = 1 - \left[0.6 \left(\frac{h}{b} \right)^2 - 1.4 \frac{h}{b} + 0.8 \right] \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{1,b}}{f_{co}}} \quad (2.3g)$$

$$\sigma_{1,b} = \frac{2t_f}{h} k_e \cdot f_{f,e} \quad (2.3h)$$

$$k_e = 1 - \frac{(b - 2R)^2 + (h - 2R)^2}{3A_g} \quad (\text{Koeficijent efektivnosti ojačanja}) \quad (2.3i)$$

gdje je:

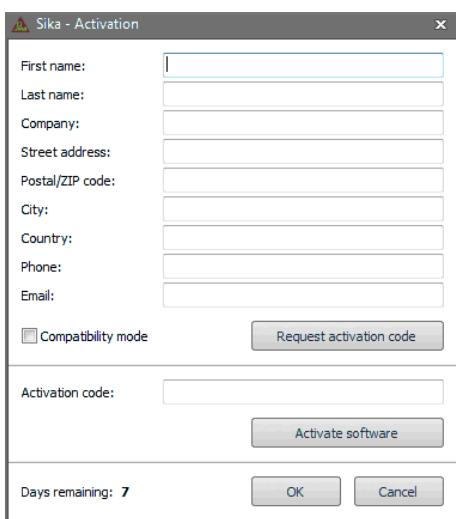
- E_c = početni tangentni modul elastičnosti betona.
- $\varepsilon_{co} = 0.002$ (deformacija odgovara naprezanju f_{co}).
- A_g = najveći poprečni presjek betona.

3 KORIŠTENJE Sika® CARBODUR® SOFTWARE-a

3.1 INSTALIRANJE I AKTIVIRANJE

Kada se instalira, software se treba aktivirati kako bi se osiguralo vremenski neograničeno korištenje. U protivnom, korisnik ga može koristiti samo na ograničeni vremenski period.

Kako bi zatražili aktivacijski kod, korisnik mora unijeti tražene podatke u aktivacijski upitnik (sl. 3-1). Za vrijeme ograničenog vremenskog perioda, software se može pokrenuti odabirom opcije "Kompatibilan mod" bez prethodne aktivacije.



Slika 3-1

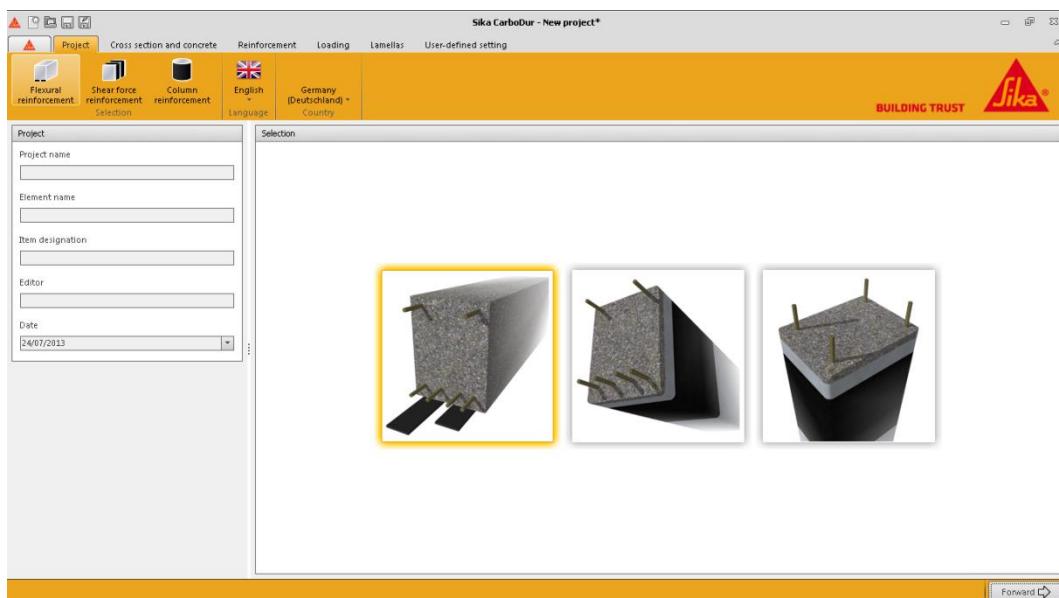
Automatski e-mail se bude stvorio i poslao u Sika-u. Korisnik bude primio aktivacijski kod unutar nekoliko dana, koji se mora upisati u odgovarajuću rubriku, i pokrenuti pritiskom na "Aktiviraj software".

U slučaju novih verzija ili dodatnih modifikacija, software se automatski nadograđuje ako se poveže sa internatom. Postupak nadogradnje se može pokrenuti manuelno ili podesiti pritiskom na prvu traku u kutu gore-ljevo (Sika logo), i odabirom opcije "Sika CarboDur Update".

3.2 UVOD

Paket software-a **Sika® CarboDur®** je pristupačan korisniku, jednostavan i pouzdan projektantski alat, za odabir potrebnih dimenzija CFRP kako bi se omogućilo ojačanje na savijanje, posmik ili omatanje stupova na AB elementima.

Kada se program pokrene, korisnika se pita da odabere jedan od sljedeća tri slučaja: *ojačanje na savijanje, ojačanje na posmik, ojačanje stupa* (sl. 3-2).

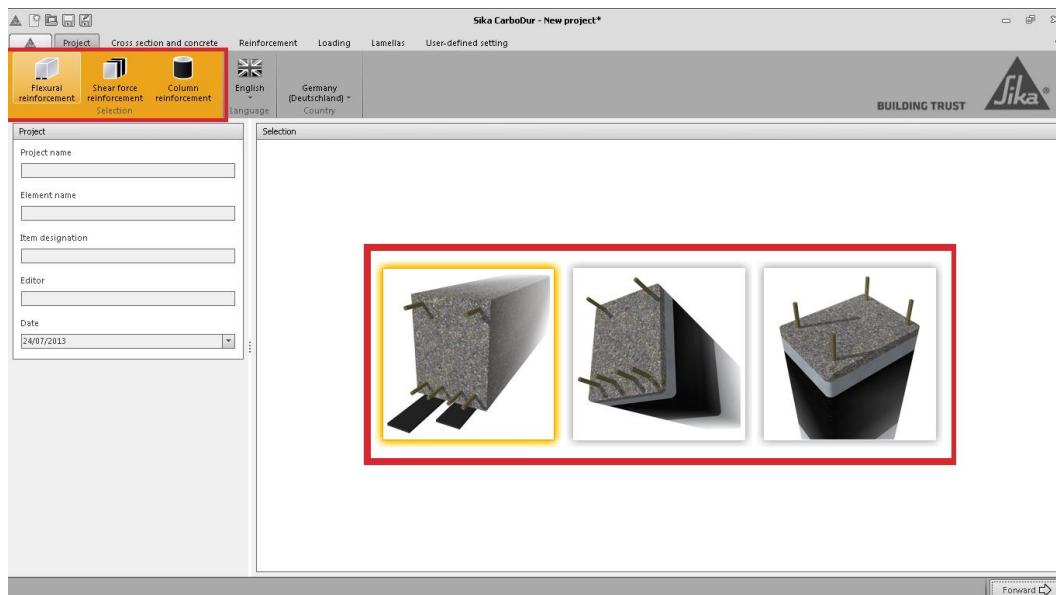


Slika 3-1

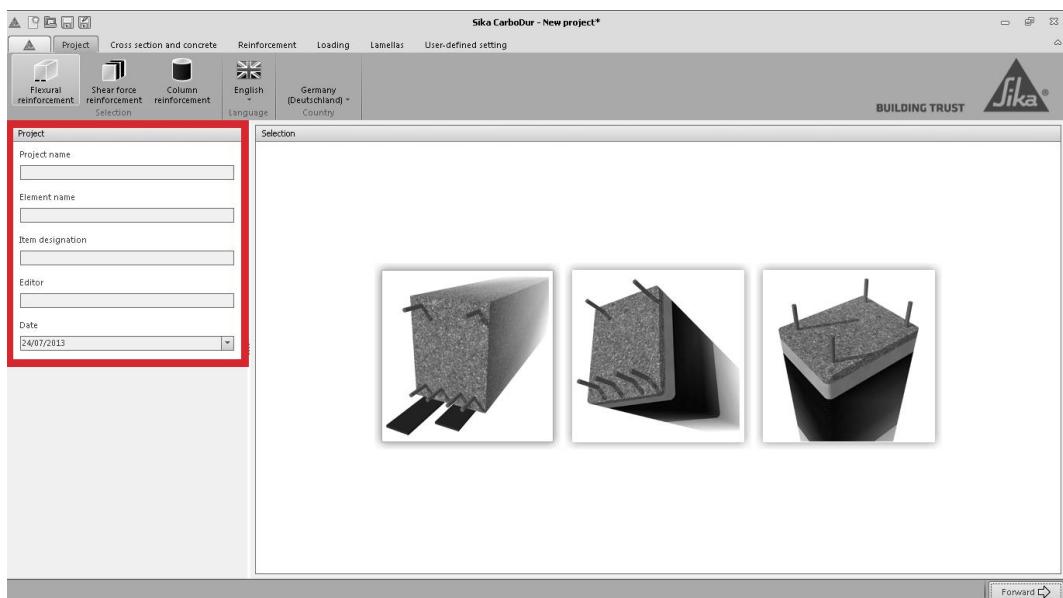
Odabir se može napraviti odabiranjem jedne od shematskih ikona u gornjem lijevom uglu, ili jedne od glavnih crteža prikazanih na pregledniku (sl. 3-3).

Područje na lijevoj strani ekrana sadrži informacije o projektu, koje se budu uključile u ispis dokumenta (sl. 3-4).

Odabir jezika i zemlje se pojavljuje na gornjoj traci. Odabirom zemlje, baza podataka software se prilagođava raspoloživom Sika® izboru proizvoda za to područje (sl. 3-5).



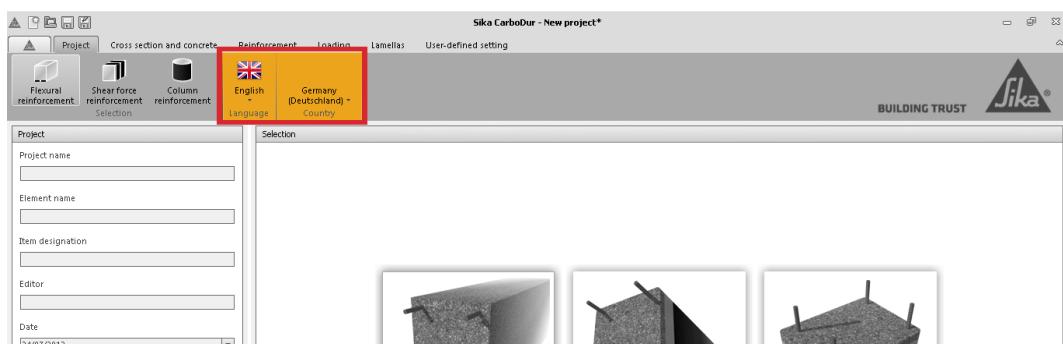
Slika 3-2



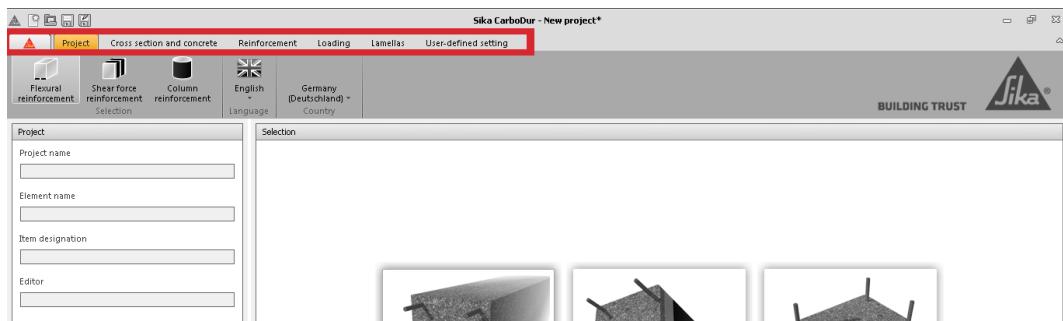
Slika 3-3

Neovisno o tipu odabranog ojačanja, postupak proračuna je organiziran u uzastopne korake, koji su prikazani u kućicama na vrhu ekrana. Tip i broj koraka se mijenja kao funkcija odabranog postupka ojačanja i podacima unesenim od strane korisnika (sl. 3-6).

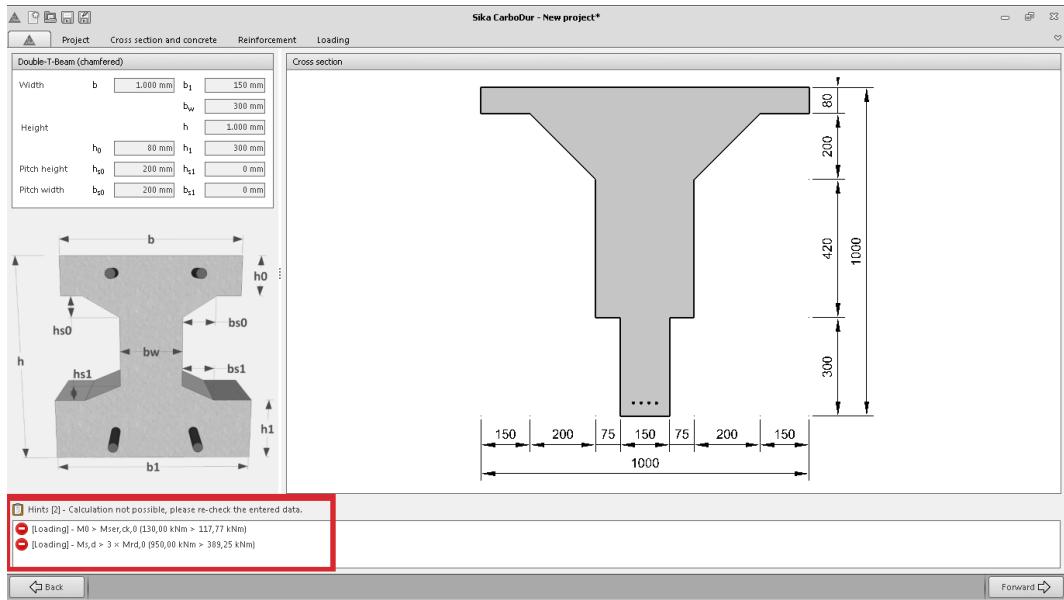
Ako se unesu nedopustive ili nedosljedne vrijednosti za vrijeme postupka proračuna, u donjem lijevom području ekrana pojavit će se napomena. Korisnik se može direktno prebaciti na odgovarajući ekran dvostrukim pritiskom na tekst napomene (sl. 3-7).



Slika 3-4



Slika 3-5



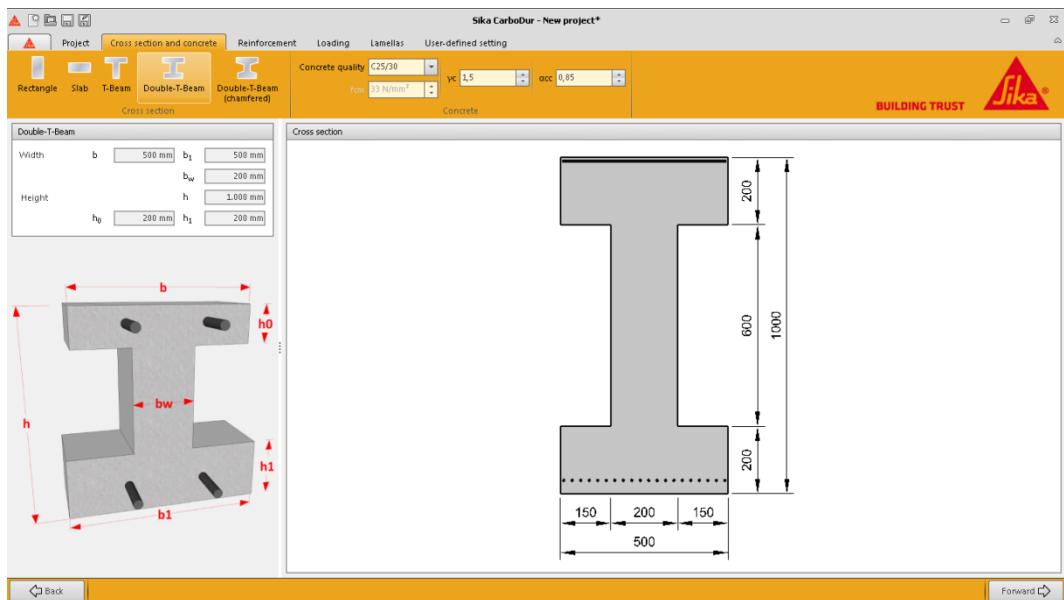
Slika 3-6

3.3 OJAČANJE NA SAVIJANJE

Proračun ojačanja na savijanje uključuje potrebne proračune za ojačanje na savijanje betonskih greda i ploča sa Sika® CarboDur® ili SikaWrap® CFRP kompozitima u uvjetima GSN.

Proračuni za potvrdu graničnog stanja uporabivosti (**GSU**), **situacije pri požaru i duljina sidrenja** su također sastavni dio programa, i mogu se uključiti ili isključiti od strane korisnika ovisno o potrebama, dostupnim informacijama o postojećoj konstrukciji i očekivanim opterećenjima.

3.3.1 POPREČNI PRESJEK I BETON



Slika 3-7

Korisnik treba unijeti podatke prema opisu ispod:

Odabir geometrije

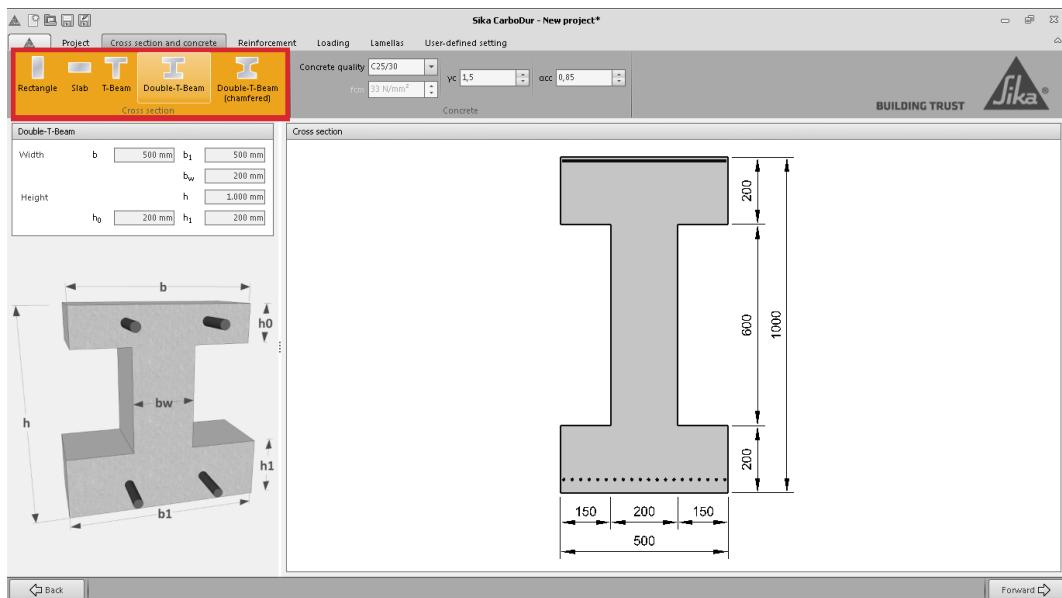
Gornje lijevo područje ekranu pokazuje profile karakterističnih betonskih elemenata opterećenih savijanjem (sl. 3-9).

Piručnik

Sika® Carbodur® software

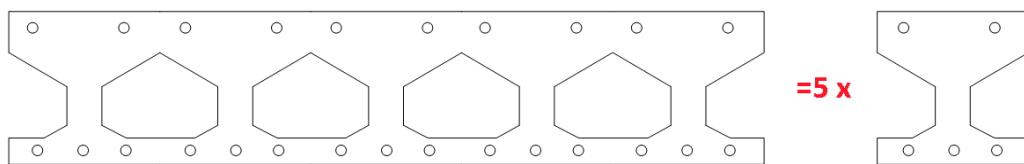
Prosinac, 2013, 1.0.0.

Opcija dvostrukih T grede je dostupna odabiranjem ikone "dvostruka T greda". Kada se odabere, software modificira interne parametre za proračun grede, kao što su distribucija CFRP, geometrijska ograničenja presjeka i neke parametra vezane za provjeru duljine sidrenja.



Slika 3-8

Napomena; odabirom adekvatnog presjeka, korisnik može kreirati složene elemente (sl. 3-10).



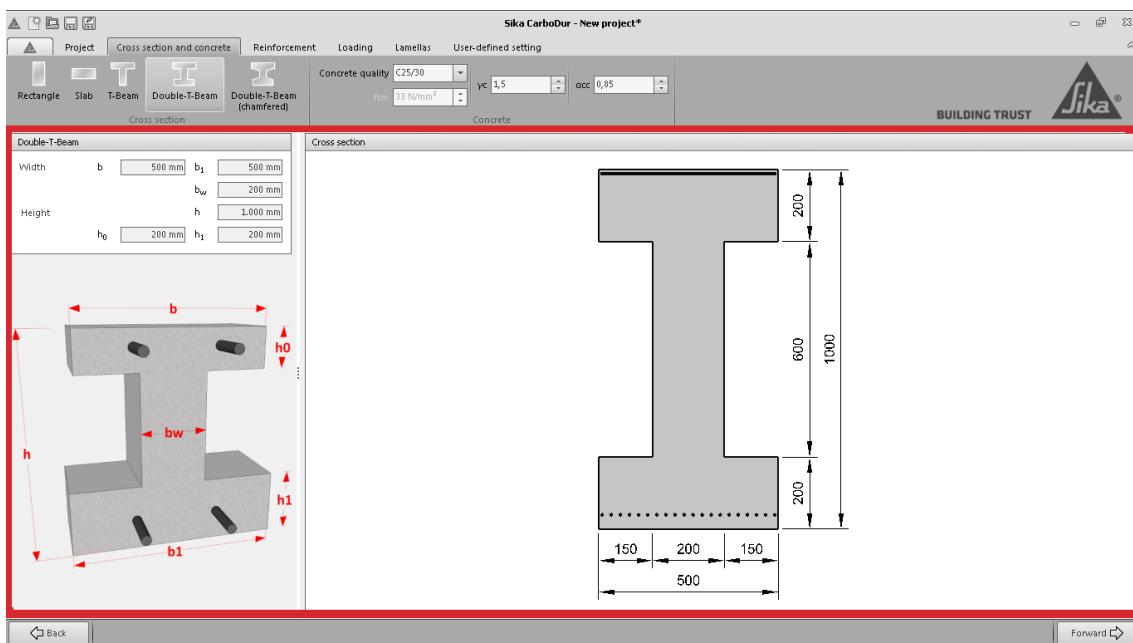
Slika 3-9

Definicija geometrije

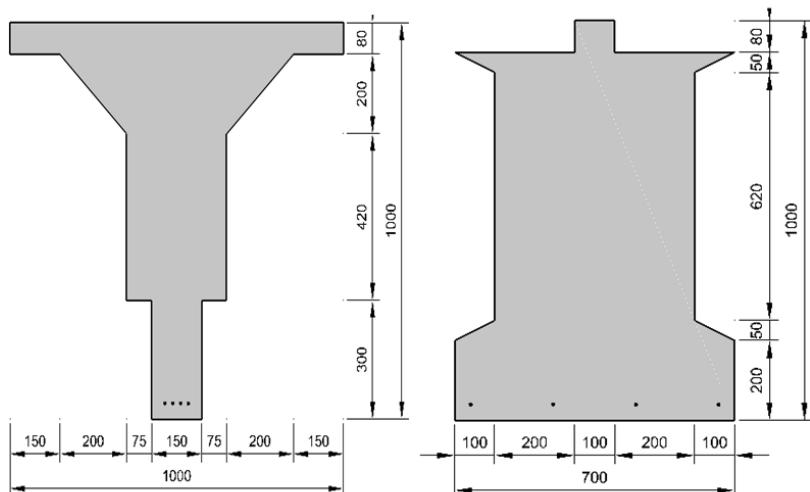
Kada se odabere presjek, korisnik može definirati različite dimenzije. Karakteristični model sa različitom nomenklaturom dimenzija je prikazan na lijevoj strani ekranra. Stvarni izgled presjeka, prikazan na glavnom ekranu, se stvara ovisno o dimenzijama koje unese korisnik (sl. 3-11).

Imajte na umu da se složeni presjeci mogu dobiti koristeći opcije karakterističnih presjeka (sl. 3-12).

Software ima neka geometrijska ograničenja kako bi se smanjio rizik da korisnik unese pogrešne vrijednosti.



Slika 3-10



Slika 3-11

Definiranje betona

Korisnik definira beton, odabirom klase betona ili upisivanjem srednje tlačne čvrstoće betona.

Imajte na umu da je klasa betona definirana prema EC 2. Sastoji se određene karakteristične (5%) tlačne čvrstoće cilindra f_{ck} , i tlačne čvrstoće kocke $f_{ck,cube}$, određene nakon 28 dana, prema HRN EN 206-1..

Srednja tlačna čvrstoća je doređena sa $f_{cm}=f_{ck}+8 \text{ MPa}$.

Na primjer:

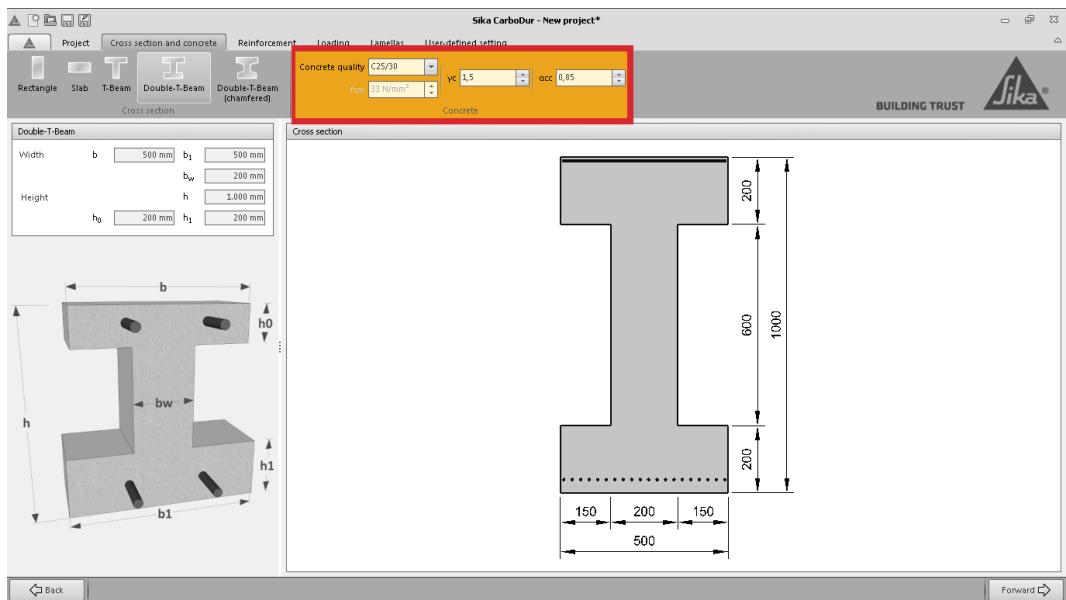
Klasa betona C25/30:

- Karakteristična (5%) tlačna čvrstoća cilindra betona: $f_{ck}=25 \text{ MPa}$.
- Karakteristična (5%) tlačna čvrstoća kocke betona: $f_{ck,cube}=30 \text{ MPa}$.
- Srednja tlačna čvrstoća: $f_{cm}=25 \text{ MPa} + 8 \text{ MPa} = 33 \text{ MPa}$.

Priručnik

Sika® CarboDur® software

Prosinac, 2013, 1.0.0.



Slika 3-12

Korisnik mora također definirati dodatne parametre betona (sl. 3-13), kao što su:

- γ_c , parcijalni faktor sigurnosti betona. Ovaj faktor reducira tlačnu čvrstoću betona za proračun GSN.
- α_{cc} koeficijent uzima u obzir dugotrajne efekte na tlačnu čvrstoću i neželjene efekte koji rezultiraju iz način nanošenja opterećenja. Smanjuje vrijednost tlačnih naprezanja za proračun GSN i otpornost na savijanje postojećeg elementa u situaciji požara.

Faktor puzanja ($\varphi = 2$) za beton se automatski koristi kako bi se odredila tlačna deformacija betona za slučajeve dugotrajnog opterećenja (GSU, kvazi-stalna kombinacija opterećenja).

3.3.2 ČELIČNA ARMATURA

Korisnik unosi postojeću čeličnu armaturu u slijedećem koraku programa. Sastoji se od univerzalnog preglednika koji omogućuje unos kompleksne raspodjele čelika (Fig. 3-14).

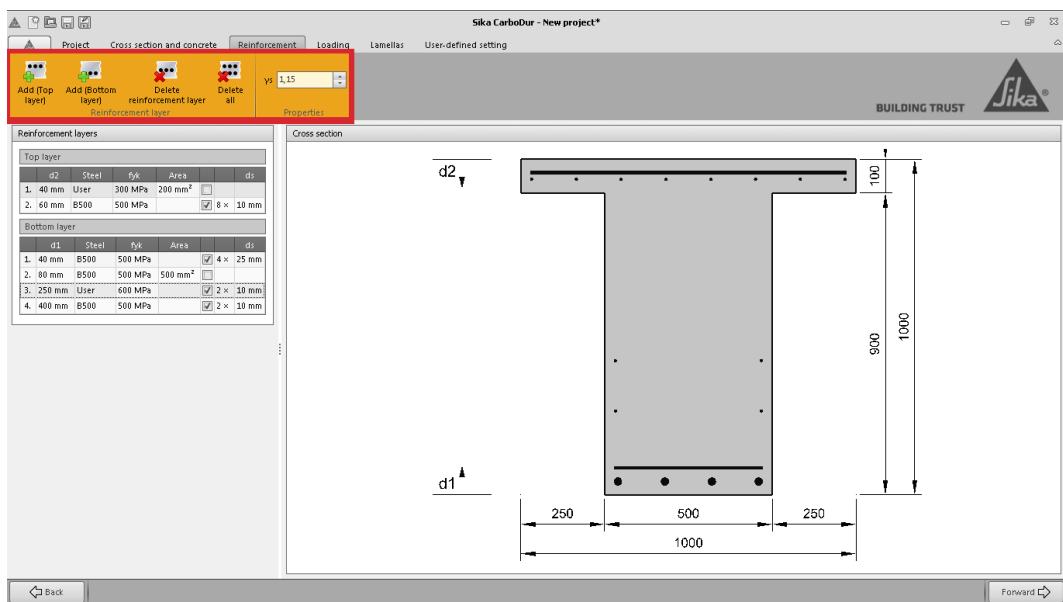
Sadrži neke mogućnosti, kao:

- Unošenje nekoliko slojeva čelika (maks. 10).
- Presjek armature po sloju.
- Svaki sloj se definira ili svojim efektivnim poprečnim presjekom, ili brojem i promjerom šipki.

Reinforcement layers						
Top layer						
d2	Steel	f _{yk}	Area		ds	
1. 40 mm	B500	500 MPa		<input checked="" type="checkbox"/>	4 x 10 mm	
2. 60 mm	User	300 MPa	500 mm ²	<input type="checkbox"/>		
Bottom layer						
d1	Steel	f _{yk}	Area		ds	
1. 40 mm	B500	500 MPa		<input checked="" type="checkbox"/>	4 x 10 mm	
2. 80 mm	B500	500 MPa	400 mm ²	<input type="checkbox"/>		
4. 350 mm	User	400 MPa		<input checked="" type="checkbox"/>	2 x 10 mm	
3. 200 mm	B500	500 MPa		<input checked="" type="checkbox"/>	2 x 10 mm	

Slika 3-13

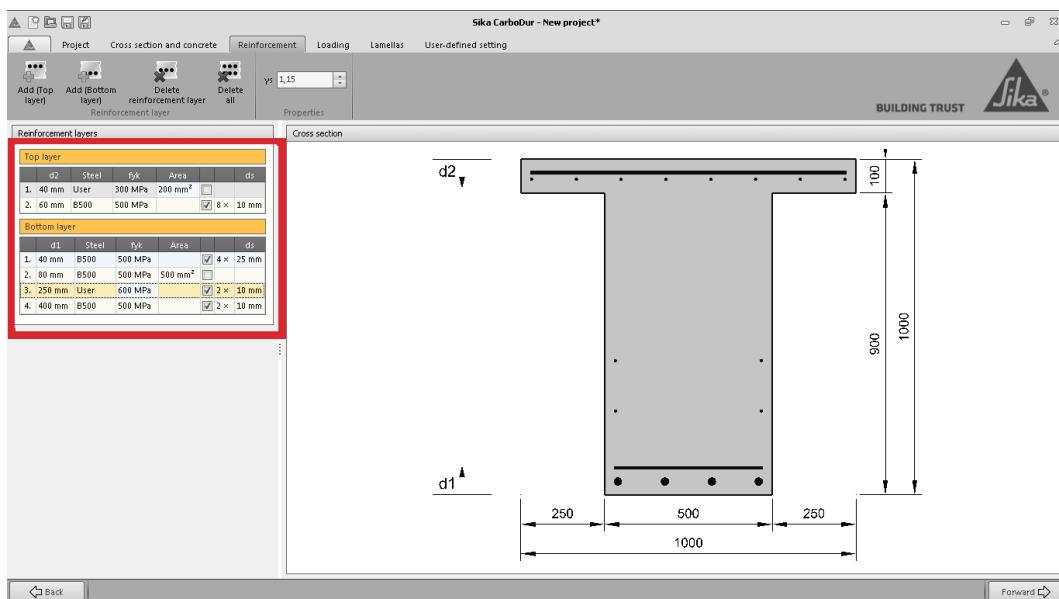
Preglednik na vrhu sadrži alat za dodaj/ukloni slojeve čelika. Također se sastoji od parcijalnih faktora sigurnosti za čeličnu armaturu (γ_s) (sl. 3-15).



Slika 3-14

Alat definiranja čelika se nalazi na lijevom stupcu. Korisnik može odabrati i promijeniti parametre za svaki pojedinačni sloj, uključujući visinu sloja, efektivni poprečni presjek/definiciju rebra, i karakterističnu čvrstoću čelika (sl. 3-16).

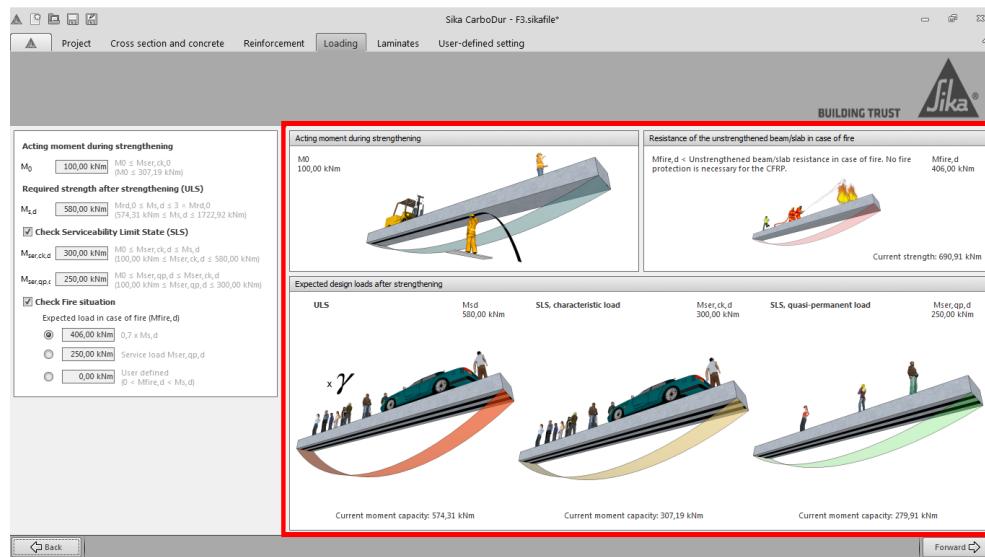
Konačno, presjek prikazan na glavnom ekranu se nadograđuje ovisno o unosu vrijednosti čelične armature. Imajte na umu da su armaturne šipke prikazane jednoliko raspoređene na presjeku. U slučaju slojeva definiranih poprečnim presjekom armature, prikazana je homogena linija umjesto čeličnih šipki. Najmanje je jedan sloj donje vlačne armature potreban za proračun. Uzimaju se u obzir neka ograničenja koja se tiču zaštitnog sloja betona i maksimalnog broj čeličnih šipki u sloju, kako bi se smanjile greške prilikom upisivanja podataka.



Slika 3-15

3.3.3 OPTEREĆENJA

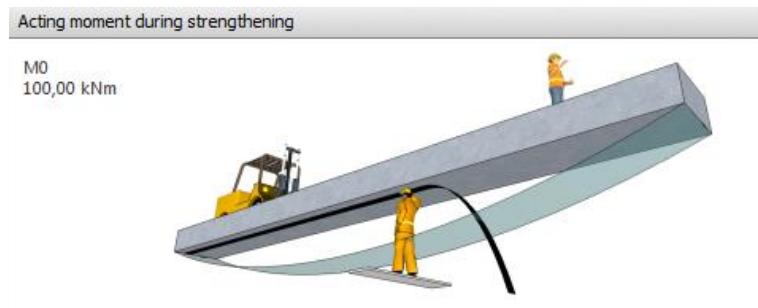
Kada se definira geometrija i materijali postojećih elemenata, korisnik mora unijeti podatke o postojećim opterećenjima na element u trenutku ugradnje CFRP, kao i projektne momente nakon što se CFRP ugradi.



Slika 3-16

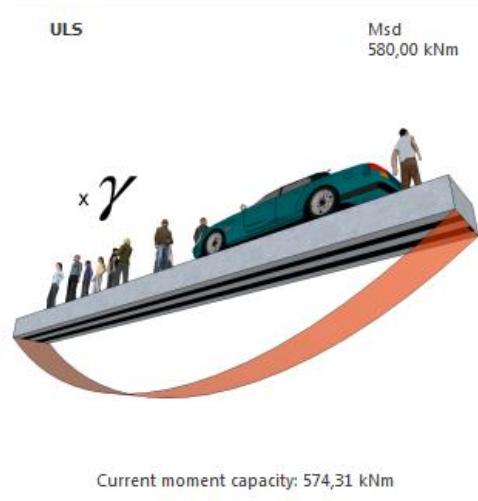
Glavni ekran prikazuje dodatne informacije (sl. 3-17) u grafičkom obliku, uključujući:

- Moment koji djeluje na moment za vrijeme ojačanja:



Slika 3-17

- Postojeće (donje) i potrebne (gornje) čvrstoće elementa pri GSN:



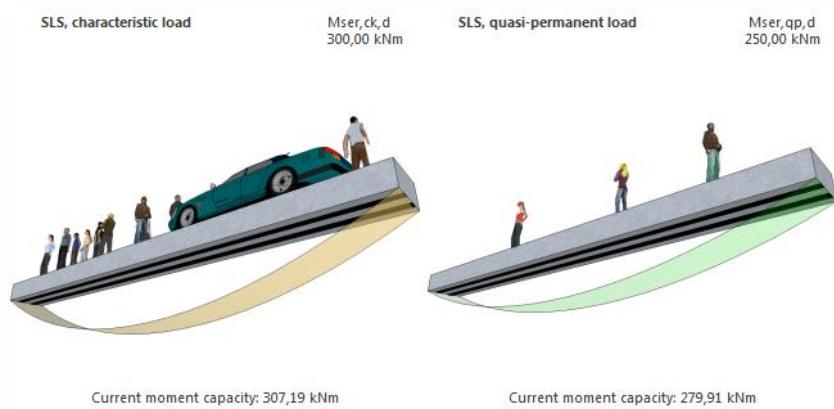
Slika 3-18

Priročnik

Sika® Carbodur® software

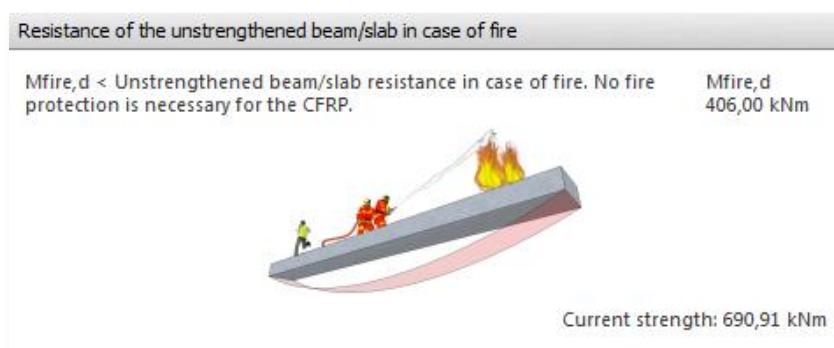
Prosinac, 2013, 1.0.0.

- Postojeće (donje) i potrebne (gornje) čvrstoće elementa pri GSU, uzimajući u obzir karakteristične i kvazi-stalne kombinacije opterećenja (ako je uključeno GSU):



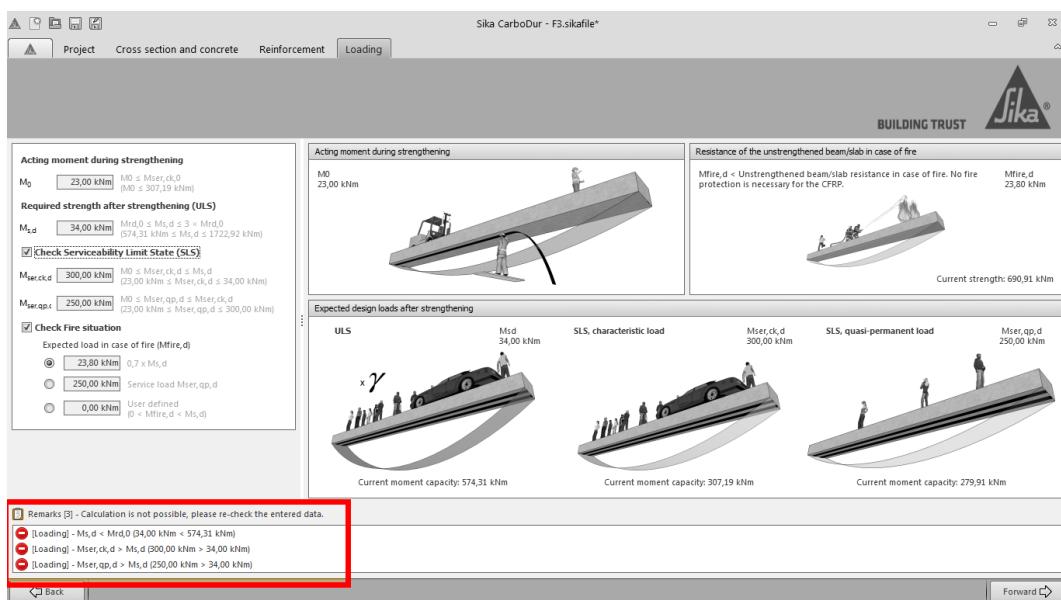
Slika 3-19

- Aktualna čvrstoća postojećeg, neojačanog elementa (dolje) i procijenjeno djelovanje (gore) u slučaju požara (ako je uključen slučaj požara):



Slika 3-20

Lijevo područje uključuje polja za numerički upis. Granične vrijednosti su prikazane uz polja za upis. U slučaju neprikladnih vrijednosti, pojavljuje se tekst upozorenja na donjem dijelu ekrana (sl. 3-22).



Slika 3-21

Definicija opterećenja se sastoji od 3 različita koraka:

- a) Minimalno potrebno opterećenje za proračun ojačanja po GSN; ovaj dio obuhvaća definiciju momenta koji djeluje za vrijeme ojačanja (M_0), i čvrstoču koju traži korisnik kao posljedicu CFRP ojačanja ($M_{s,d}$) (sl. 3-23).

Acting moment during strengthening	
M_0	500,00 kNm ($M_0 \leq 313,60$ kNm)
Required strength after strengthening (ULS)	
$M_{s,d}$	500,00 kNm ($373,03$ kNm $\leq M_{s,d} \leq 1119,08$ kNm)

Slika 3-22

Kao što je objašnjeno u 2.1.1., važno je naglasiti da postojeći moment za vrijeme ojačanja (M_0) stvara trajne deformacije čelika u vlaku koje se ne mogu povratiti osim ako se ne izvede prednapinjanje CFRP.aj moment može imati velik utjecaj na količinu potrebnog CFRP u GSU, u slučaju velikog početnog momenta.

Iz toga razloga, korisnik mora unijeti stvarnu vrijednost za postojeći moment (M_0) koji se očekuje za vrijeme postupka ojačanja. To ne uključuje faktore sigurnosti opterećenja i sastoji se od postojećih stalnih opterećenja i reducirane kombinacije očekivanih korisnih opterećenja za vrijeme ugradnje ojačanja. Iz sigurnosnih razloga, ova vrijednost ne smije prekoračiti:

- Čvrstoču neojačanog elementa pri Graničnom Stanju Uporabivosti (karakteristično opterećenje), ako je uključen proračun po GSU.
- 80% čvrstoče neojačanog elementa pri Graničnom Stanju Uporabivosti (karakteristično opterećenje), ako nije uključen proračun po GSU.

Granične vrijednosti su prikazane uz okvir za unos podataka.

Nakon toga, korisnik mora unijeti potrebnu čvrstoču elementa nakon ojačanja, tj. očekivani moment koji odgovara faktoriziranim graničnim momentima ($M_{s,d}$). Iz sigurnosnih razloga, maksimalna čvrstoča elementa nakon CFRP ojačanja je ograničena slijedećim vrijednostima:

- 3x stvarne granične čvrstoče neojačanog elementa, ako je uključen proračun po graničnom stanju uporabivosti (GSU).
- 1,6x stvarne granične čvrstoče neojačanog elementa ako korisnik ne uključi proračun po GSU.

Iz očitih razloga, korisnik ne može unositi čvrstoču manju od postojeće nosivosti prije ojačanja.

- b) Provjera graničnog stanja uporabivosti (GSU) (sl. 3-24):

<input checked="" type="checkbox"/> Check Serviceability Limit State (SLS)	
$M_{ser,r,d}$	195,00 kNm ($500,00$ kNm $\leq M_{ser,r,d} \leq 500,00$ kNm)
$M_{ser,qp,d}$	185,00 kNm ($500,00$ kNm $\leq M_{ser,qp,d} \leq 195,00$ kNm)

Slika 3-23

Ako uključimo ovu opciju, software provjerava svojstva armirano-betonskog elementa pri kvazi-stalnim i karakterističnim kombinacijama opterećenja:

Ova korisna opterećenja odgovaraju nefaktoriziranim kombinacijama opterećenja, kao što je navedeno u Eurokodu, Eurokodu 2 i važećim Nacionalnim Normama.

-Kvazi-stalna kombinacija opterećenja odgovara zbroju trajnog opterećenja i ograničenom postotku promjenjivih djelovanja. Ova vrijednost se određuje tako da ukupni vremenski period u kojem će biti prekoračena predstavlja velik dio referentnog vremenskog perioda.

-Karakteristična kombinacija opterećenja odgovara zbroju trajnih opterećenja i velikom postotku promjenjivih djelovanja. Ova veličina se odabire tako da odgovara propisanoj vjerojatnosti da ne bude prekoračena na neželjeni način za vrijeme referentnog perioda, uzimaju u obzir računski životni vijek konstrukcije i trajanje projektne situacije.

Kao što je prikazano u 2.1.3, deformacije i naprezanja koja nastaju u betonu u tlaku i čeliku u vlaku, moraju se ograničiti određenim vrijednostima, kako bi se izbjeglo naknadno puzanje i/ili pucanje.

Korisnik mora unijeti očekivane projektne momente prema GSU za ojačan element:

Karakteristična kombinacija opterećenja mora biti jednaka ili veća od očekivane vrijednosti kvazi-stalne kombinacije opterećenja, ali ne smije prekoračiti vrijednost prema GSN.

c) Provjera u slučaju požara:

Kada korisnik uključi opciju (sl. 3-24), software analizira svojstva postojećeg (neojačanog) elementa u slučaju požara, koristeći čvrstoću betona i čelika bez faktora sigurnosti, kao što je propisano u Eurokodu 2.

Korisnik mora odrediti računsko opterećenje. U slučaju požara postoje 3 opcije:

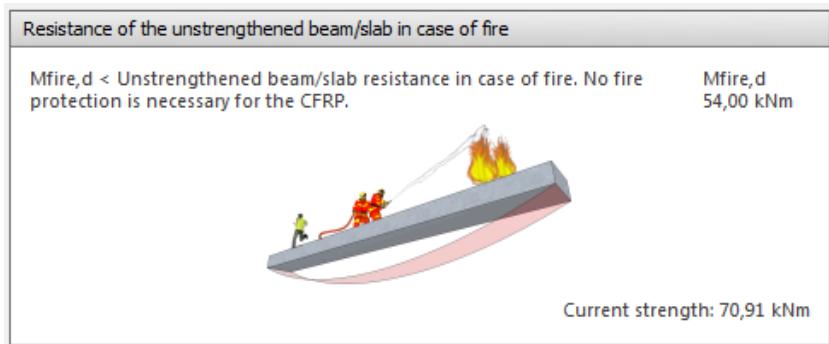


Slika 3-24

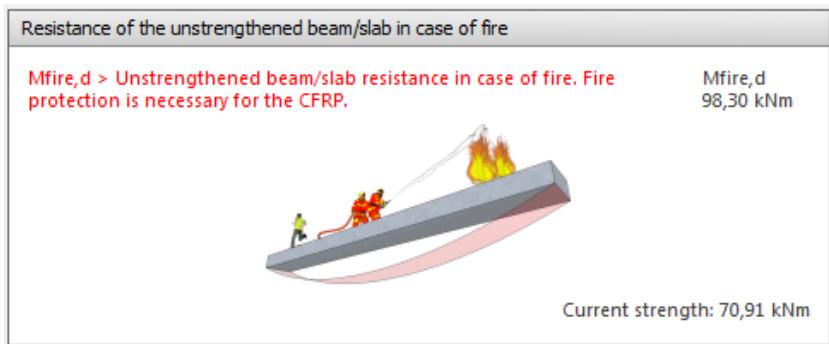
Ako se definiraju opterećenja prema GSU, software uzima kvazi-stalno opterećenja ($M_{ser,qp,d}$, Jednadžba 2.1.4b) kao zadani vrijednosti. Ako se ne definiraju, zadana vrijednost se uzima kao 70% računskog graničnog opterećenja ($0.7xM_{s,d}$, Jednadžba 2.1.4a).

Korisnik može direktno upisati vrijednost koristeći treću opciju, koja dozvoljava unos specifične vrijednosti na temelju točnog proračuna kombinacije opterećenja pri požaru, prema lokalnim pravilima.

Nakon toga, informacija je prikazana na crtežu, zajedno sa porukom koja prikazuje da li CFRP ojačanje treba zaštitu u slučaju požara, prema očekivanom opterećenju i čvrstoći neojačanog elementa (sl. 3-26 i 3-27).



Slika 3-25



Slika 3-26

Software proračunava početnu čvrstoću neojačanog elementa i očekivana opterećenja u slučaju požara, prema podacima iz fib Bulletin 14, dijelovi 3.1.2.5 i 3.2.2. Eventualna zaštita za armirano-betonski elementa kao rezultat stvaranja naprezanja u slučaju požara (beton i/ili čelična armatura) moraju se nezavisno odrediti.

3.3.4 CFRP OJAČANJE

Nakon unosa adekvatnog početnog i računskog opterećenja, napomene u dnu ekrana budu nestale, i pojavit će se novi izbornici ("ojačanja" i "korisnički izbornik") na vrhu ekrana.

Oba izbornika omogućuju korisniku da odabere potrebne Sika® CarboDur® ili SikaWrap® CFRP proizvode;

Prva opcija (ojačanja) automatski daje korisniku one proračunske kombinacije na temelju točnog broja CFRP proizvoda specificirane veličine/tipa, kako bi se zadovoljili zahtjevi GSN i GSU (ako se uključi), prema dostupnoj širini konstruktivnog elementa.

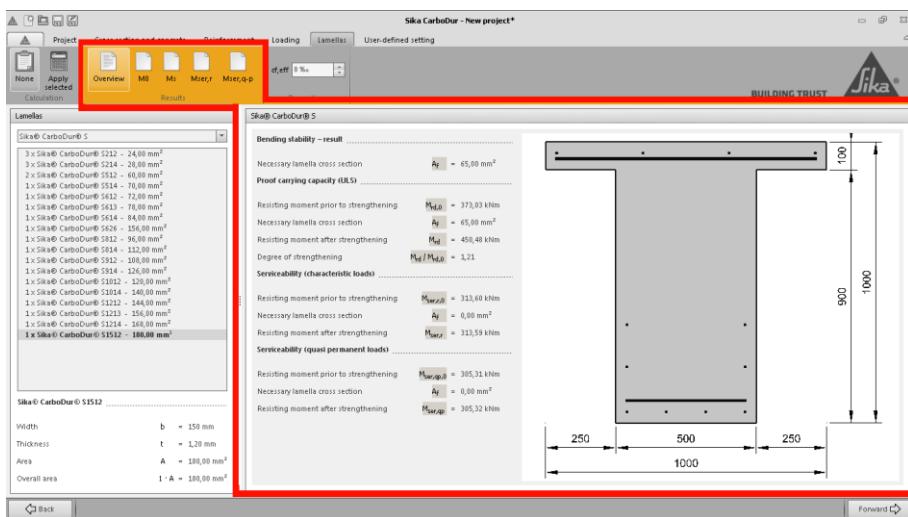
Druga opcija (korisnički izbornik) omogućuje korisniku veću fleksibilnost, dopuštajući kombinaciju svih tipova i količina CFRP slojeva.

Obje opcije mogu se koristiti naizmjenično.

Ojačanja

Kada se odaberu, software automatski određuje potrebnu količinu CFRP koja bi zadovoljila zahtjeve prema GSN (i prema GSU ako se uključi), koji odgovara efektivnoj CFRP deformaciji $\varepsilon_{f,eff}$, koja se unosi na vrhu izbornika (8% kao zadana vrijednost).

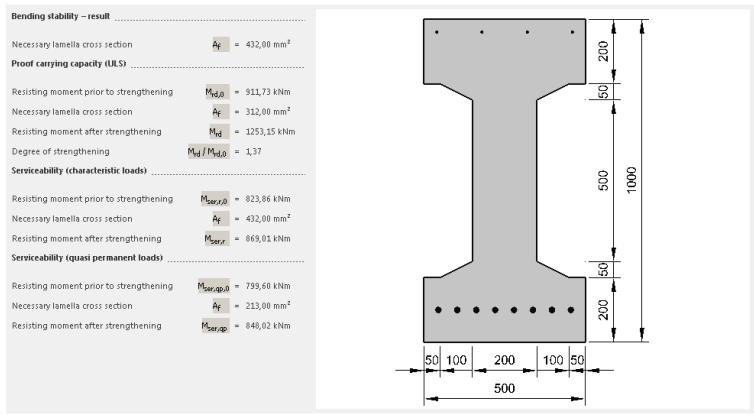
Prema ovom početnom proračunu, korisnik ima pristup svim informacijama u vezi različitih faza opterećenja, postupkom odabiranja ikona na vrhu izbornika; glavni izbornik, koji prikazuje brojčane i grafičke podatke, se bude mijenjao ovisno o odabiru (sl. 3-28).



Slika 3-27

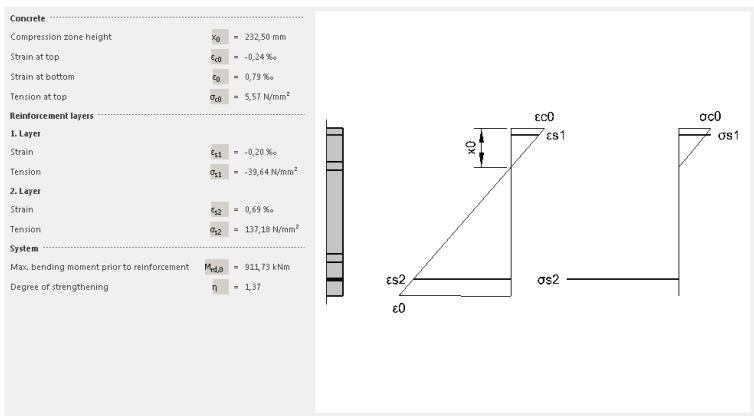
Različite opcije uključuju:

Overview: zbraja potrebni CFRP poprečni presjek i momente otpora u različitim fazama, uključujući neojačani i ojačani element (sl. 3-29).



Slika 3-28

M₀: prikazuje informaciju vezanu za početno stanje elementa, pri momentu koji djeluje za vrijeme ojačanja (sl. 3-30).



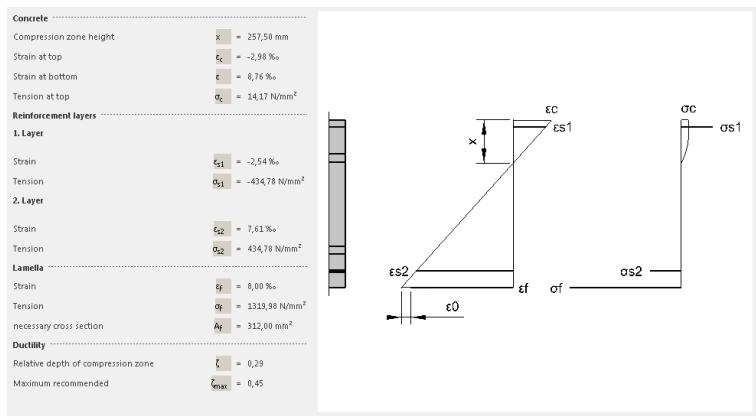
Slika 3-29

Priročnik

Sika® CarboDur® software

Prosinac, 2013, 1.0.0.

M_s: prikazuje raspodjelu graničnih deformacija i naprezanja ojačanog elementa, kao i provjeru duktilnosti, kao što je zahtjev prema fib Bulletin 14, dio 3.3 (sl. 3-31).



Slika 3-30

M_{ser,ck}: daje informacije vezane za stanje ojačanog elementa prema GSU, karakterističnom opterećenju (sl. 3-32).

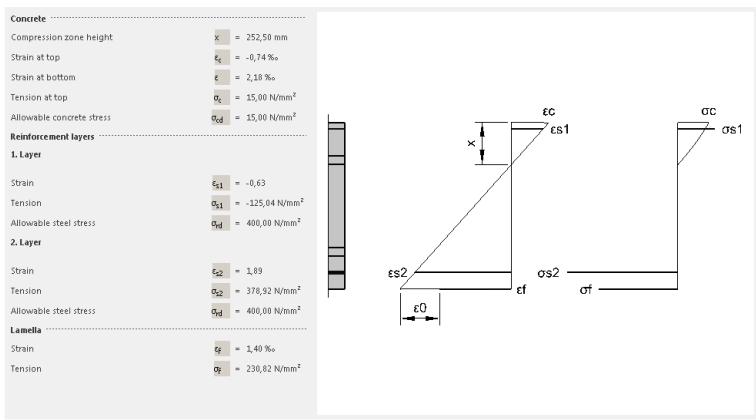
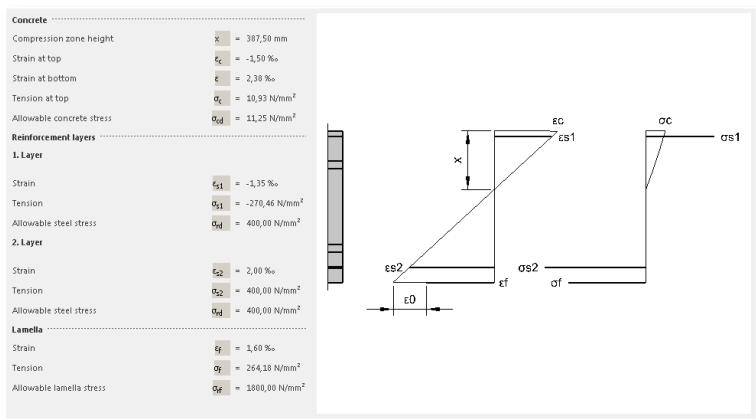


Figure 3-31

M_{ser,ap}: konačno, ova faza prikazuje naprezanja i deformacije ojačanog elementa pri kvazi-stalnoj kombinaciji opterećenja, uzimajući u obzir utjecaj puzanja (sl. 3-33).



Slika 3-32

Korisnik mora odabrati adekvatnu kombinaciju CFRP proizvoda. Nakon odabira tipa CFRP (vrh), software automatski prikazuje odgovarajući broj i faze potrebne za postizanje potrebnog poprečnog-presjeka (sl. 3-34).

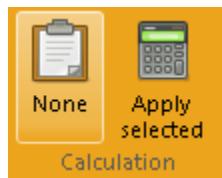
Sika® CarboDur® S	
69 x Sika® CarboDur® S212 - 24,00 mm ²	
59 x Sika® CarboDur® S214 - 28,00 mm ²	
28 x Sika® CarboDur® S512 - 60,00 mm ²	
24 x Sika® CarboDur® S514 - 70,00 mm ²	
23 x Sika® CarboDur® S612 - 72,00 mm ²	
22 x Sika® CarboDur® S613 - 78,00 mm ²	
20 x Sika® CarboDur® S614 - 84,00 mm ²	
11 x Sika® CarboDur® S626 - 156,00 mm ²	
18 x Sika® CarboDur® S812 - 96,00 mm ²	
15 x Sika® CarboDur® S814 - 112,00 mm ²	
16 x Sika® CarboDur® S912 - 108,00 mm ²	
14 x Sika® CarboDur® S914 - 126,00 mm ²	
14 x Sika® CarboDur® S1012 - 120,00 mm ²	
12 x Sika® CarboDur® S1014 - 140,00 mm ²	
12 x Sika® CarboDur® S1212 - 144,00 mm ²	
11 x Sika® CarboDur® S1213 - 156,00 mm ²	
10 x Sika® CarboDur® S1214 - 168,00 mm ²	
10 x Sika® CarboDur® S1512 - 180,00 mm ²	

Slika 3-33

Prema geometriji presjek betona, software automatski isključuje (sivo) one kombinacije koje se ne mogu ugraditi zbog pomanjkanja prostora. Imajte na umu da maksimalni broj Sika® CarboDur® slojeva koji se mogu prikazati je 3, i minimalna udaljenost od ruba grede treba biti jednaka debljini zaštitnog sloja betona (fib Bulletin 14, dijelovi 7.2.1.1 i 7.2.1.2). Maksimalni broj SikaWrap® slojeva koji se može prikazati je 5.

Važna napomena: u slučaju korištenja SikaWrap® tkanina, proračun software-a se temelji na stvarnim svojstvima CFRP kompozita, koje se dobiju kao rezultat korištenja odabrane SikaWrap® i Sikadur® smole, kao što je navedeno u odgovarajućem Tehničkom Listu, i prema HRN EN 2561 metodi ispitivanja. Dakle, dobiveni rezultat se ne može primijeniti na kompozite dobivene sa drugim smolama ili na druge sustave koji se razlikuju od podataka iz Tehničkog Lista.

Odabrana opcija se konačno primjenjuje odabirom ikone "Primjeni odabranu" koja se nalazi u gornjem lijevom uglu ekrana. Pritisnite "none" za ponistavanje odabira.



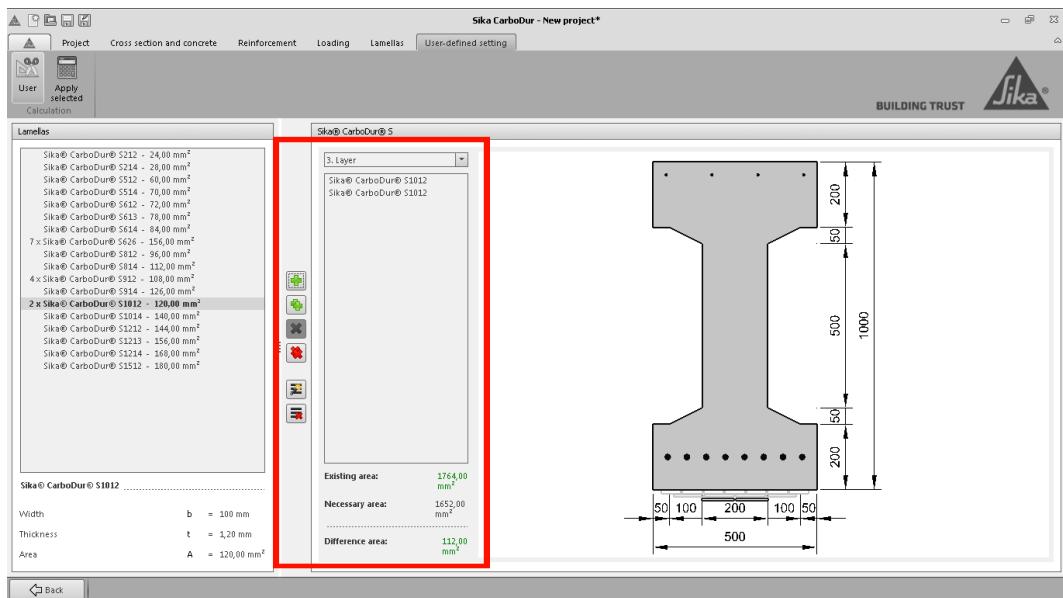
Slika 3-34

Nakon što su odabrani broj i tip CFRP-a, automatski se stvaraju svi grafički i brojčani podaci.

Korisnički izbornik

U ovom izborniku korisnik može slobodno kombinirati odgovarajuću količinu i tip proizvoda, tako da zadovolji ili prekorači potrebni CFRP poprečni presjek.

Prikaz je sličan onomu prikazanom u prethodnoj fazi, osim središnje površine, koja uključuje potreban alat za distribuciju različitih slojeva armature (sl. 3-36).



Slika 3-35

Ovaj izbornik uključuje:

- Ikone dodaj/ukloni, uključujući opciju za popunjavanje postojećeg sloja ili sve moguće slojeve, koristeći odabranu lamelu, sa jednim pritiskom.
- Odabir slojeva, koristeći izbornik na vrhu.
- Informacije vezane za ukupnu odabranu CFRP površinu, kao i preostalu površinu potrebnu da se zadovolji potrebna površina, prikazana na dnu.

Kada se projekt pohrani sa vrijednosti savojne čvrstoće armirano-betonskog elementa, odabrana kombinacija CFRP proizvoda se automatski pohrani "User-defined setting". Dakle, korisnik mora samo otvoriti ovu fazu kako bi ušao u odabrani sustav kada otvara postojeći projekt.

3.3.5 PROVJERA SIDRENJA

Otvaranjem ove faze, korisnik može provjeriti da li se sila koju preuzima CFRP može sidriti na dostupni beton bez pukotina.

Postupak započinje pritiskom na izbornik koji se nalazi u gornjem lijevom uglu (sl. 3-37).



Slika 3-36

Pritiskom, počinje postupak proračuna. Korisnik mora provjeriti raspodjelu uzdužne čelične armature u presjeku uz ležaj, budući da ta raspodjela utječe na lokaciju rubne savojne pukotine. U slučaju "točan proračun" (vidi ispod), ova provjera nije potrebna. Korisniku je automatski prikazana distribucija čelične armature koja odgovara vrijednosti iz sredine raspona (prethodno unesen u fazi definiranja čelične armature) kao zadana (sl. 3-37).

Top layer						
	d2	Steel	f _{yk}	Area		ds
1.	40 mm	B500	500 MPa		<input checked="" type="checkbox"/>	4 × 10 mm
Bottom layer						
	d1	Steel	f _{yk}	Area		ds
2.	60 mm	B500	500 MPa		<input checked="" type="checkbox"/>	4 × 10 mm
1.	40 mm	B500	500 MPa		<input checked="" type="checkbox"/>	4 × 10 mm

Slika 3-37

Software također uključuje mogućnost smanjivanja kapacitet lijepljenja sidra, kao posljedicu slabo zbijene površine betona (npr. ako površina nije bila u kontaktu sa oplatom za vrijeme ugradnje betona).

Low compaction concrete surface

Slika 3-38

Konačno, korisnik može odabrati direktni proračun, unošenjem dostupne duljine sidrenja i vrijednosti koja odgovara momentu pojave prve pukotine ojačanog elementa.

Exact calculation

Available anchorage length l_b 100 mm

Cracking moment [strengthened member] M_{cr} 23,12 kNm

Slika 3-39

Ili, za jednostavno oslonjene grede ili ploče, gdje određivanje sidrenja može biti kritično zbog maksimalne savojne pukotine, software uključuje opciju koja automatski određuje poziciju rubne pukotine, kao i potrebne parametre za određivanje mogućnosti izvođenja rubnog sidrenja (sl. 3-41).

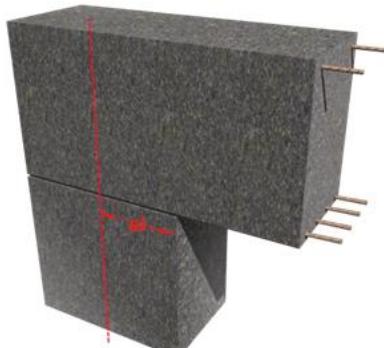
Approximate calculation (simply supported members)

Span length L 15,00 m

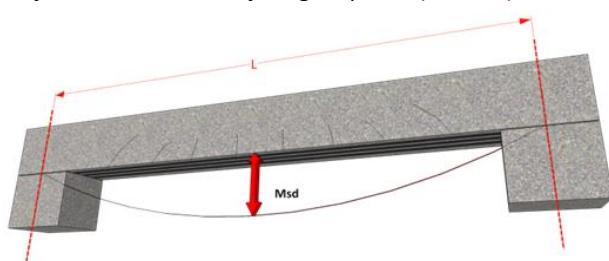
Design moment at midspan M_{sd} 1.000,00 kNm

Distance from axis to inner face at support a_i 0,20 m

Slika 3-40



Gdje a_i odgovara udaljenosti od sredine ležaja do unutarnjeg ruba, a L označava duljinu slobodno oslonjenog raspona. (sl. 3-42).



Slika 3-41

Imajte na umu da ovaj Približni proračun vrijedi samo za homogenu raspodjelu opterećenja, i za grede sa dovoljno unutarnje i vanjske posmične armature.

3.3.6 ISPIS

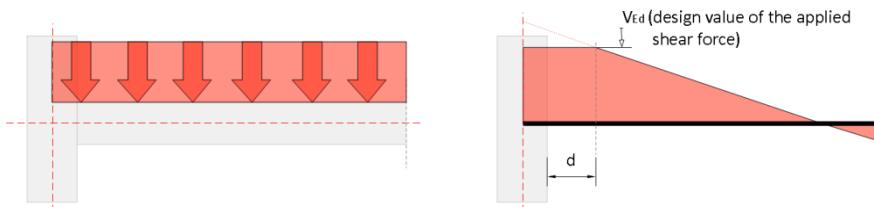
Odabirjem opcije Ispis, software automatski stvara dokument za ispis sa informacijama dobivenim kroz postupak proračuna.

3.4 OJAČANJE NA POSMIK

Ojačanje na posmik se proračuna na temelju doprinosa SikaWrap® tkanine na posmičnu nosivost ojačanog elementa prema **GSN**.

Dakle, korisni mora prethodno odrediti projektnu vrijednost nove posmične sile (V_{Ed}). Ta vrijednost mora biti jednaka ili veća zbroju projektne vrijednosti posmične sile koja se može dobiti sa postojećom posmičnom armaturom ($V_{Rd,s}$) i doprinosom CFRP (V_{fd}).

Za elemente izložene pretežno jednolikoj raspodjeli opterećenja, posmična sila se treba provjeriti na udaljenosti manjoj od d od ruba ležaja (*dodatak, treba se provjeriti da posmik na ležaju ne prekoračuje $V_{Rd,max}$*) (sl. 3-43).



Slika 3-42

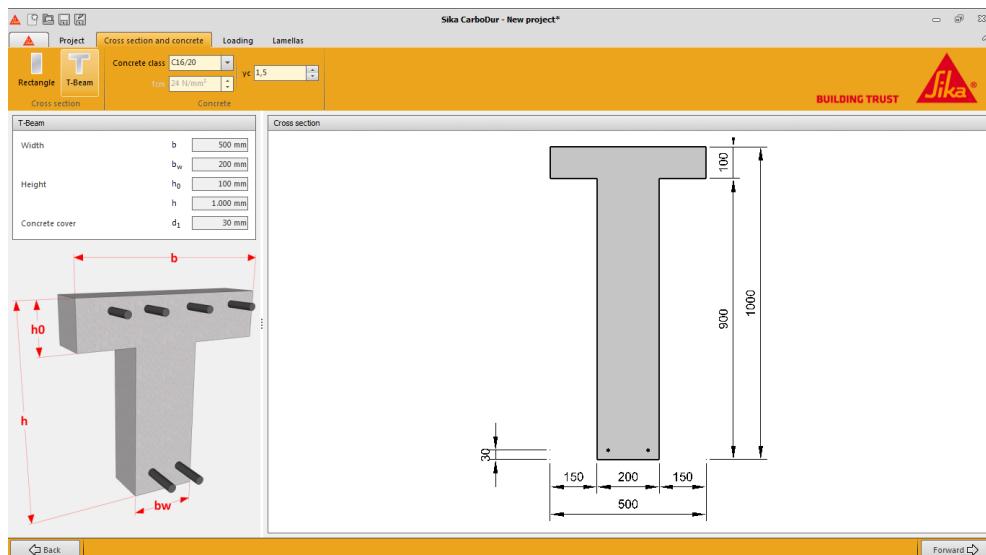
$$V_{Rd} = \min (V_{Rd,s} + V_{fd}, V_{Rd,max}) \quad (3.3a)$$

3.4.1 POPREČNI PRESJEK I BETON

U prvoj fazi bili se definiraju geometrija i klasa betona (sl. 3-44).

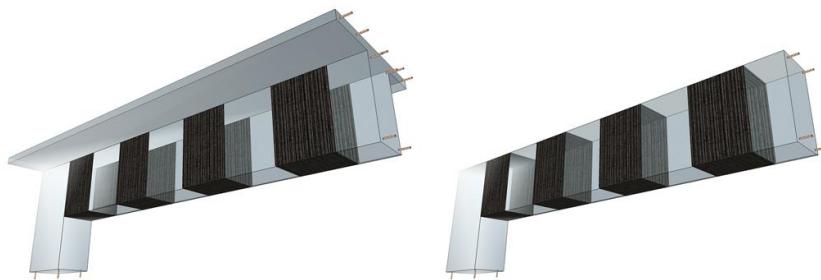
Izbornik na vrhu uključuje odabir geometrije, kao i definiranje karakteristika betona. Čvrstoća betona se može definirati koristeći karakterističnu (f_{ck}) ili srednju tlačnu čvrstoću (f_{cm}).

U lijevom dijelu ekrana, od korisnika se traži da unese podatke vezane za odabranu geometriju, koja je prikazana na crtežu u sredini. Imajte na umu da je potrebno unijeti zaštitni sloj betona, kao bi se odredila statička visina elementa.



Slika 3-43

Opcija "Pravokutna" ili "T-greda" se odabire kako bi se odredila shema omatanja CFRP-a (potpuno omatanje u slučaju pravokutnog presjeka, i omatanje U-oblika u slučaju T greda, gdje potpuno omatanje nije moguće) (sl. 3-45).



Slika 3-44

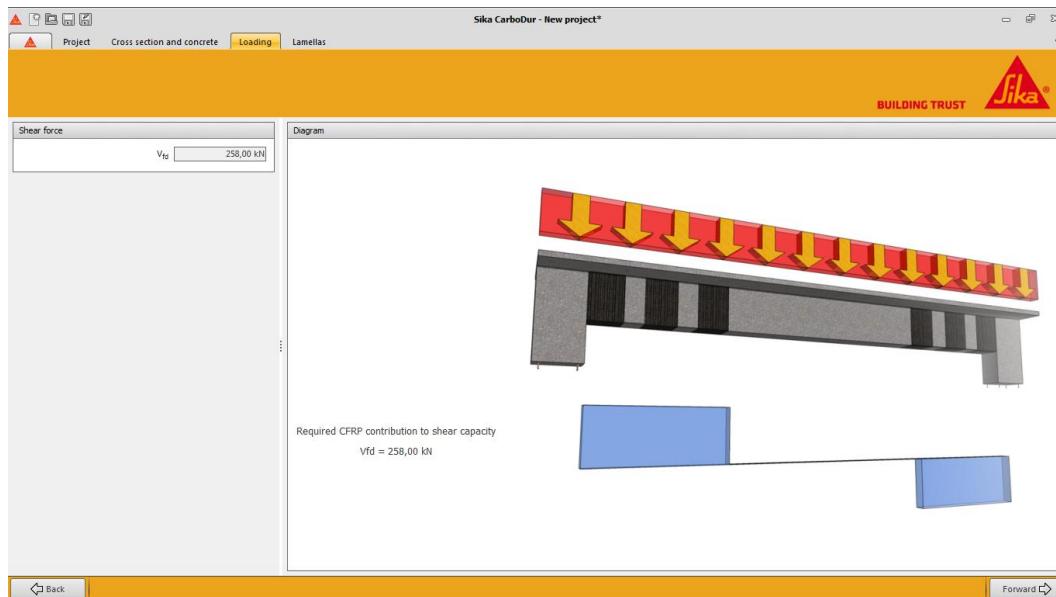
U situaciji gdje su sve 4 strane dostupne, posmično ojačanje stupova obično je zatvorenog tipa. Posmično ojačanje T-greda se može isto smatrati zatvorenog tipa, ako se izvede sustav mehaničkog sidrenja koji osigurana savršeno sidrenje FRP-a u tlačnu zonu. To je situacija gdje se mogu primijeniti CarboShear elementi, ako je moguća dovoljna duljina sidrenja kroz ploču.

3.4.2 OPTEREĆENJE

Potrebnu vrijednost koju treba prenijeti CFRP ojačanje (V_{fd}) unosi korisnik (sl. 3-46).

Imajte na umu da CFRP posmično ojačanje djeluje na sličan način kao vanjske čelične armature vilice. Prema tome, one pridonose povećanju računske vrijednosti posmične sile koja se može prenijeti popuštanjem posmične čelične armature ($V_{Rd,s}$).

Nakon toga, rezultat je prikazan u slijedećoj fazi.



Slika 3-45

1.1.1 OJAČANJA

Korisnik ima opciju ili da odabere shemu **kontinuiranog omatanja** ili konfiguraciju **razmaknutih traka**, u izborniku koji se nalazi u gornjem lijevog uglu (sl. 3-47).



Slika 3-46

Uzmite u obzir da, ako se odabere opcija razmaka traka, važno je unijeti vrijednost razmaka osi traka (s_f). Iz sigurnosnih razloga, ta vrijednost je ograničena na $0,8d$ (0,8 x statička visina elementa), tako da može nastati dijagonalna pukotina koja neće presjecati traku.

Na isti način, minimalna vrijednost razmaka jednaka je širini odabrane SikaWrap® tkanine (b_f), jer inače bi CFRP shema izgleda kao kontinuirano omatanje.

Zbog tih ograničenja, opcija razmaka traka nije moguća za grede sa ograničenom visinom i/ili širinom SikaWrap® tkanine.

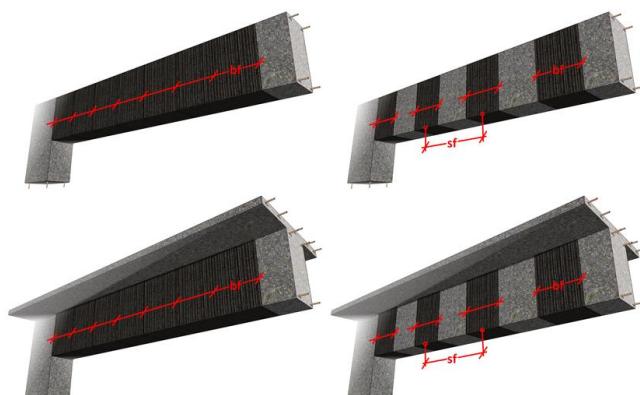
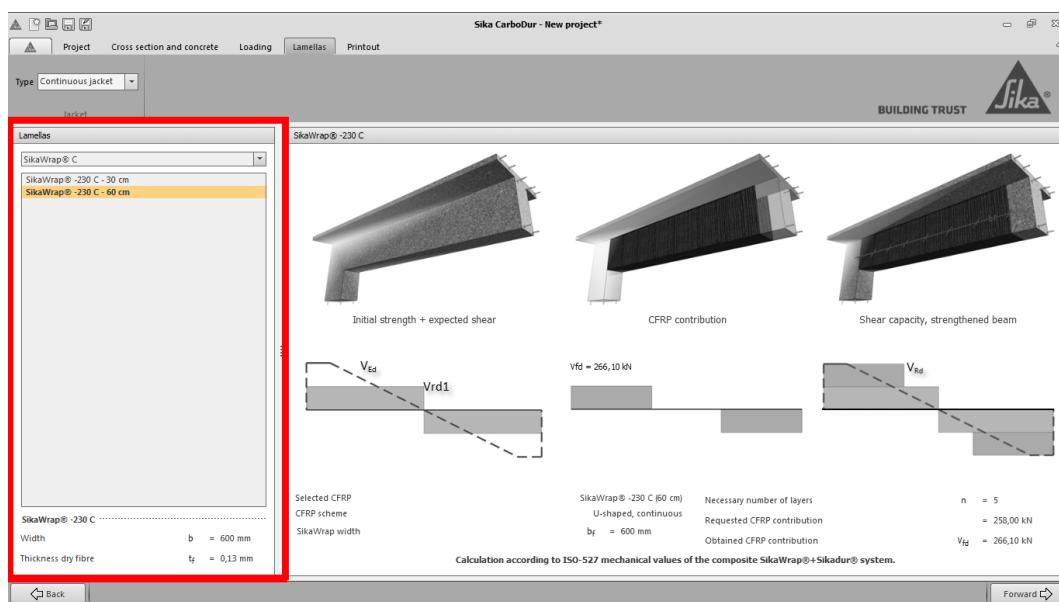


Figure 3-47

Imajte na umu da su moguće, prema geometriji presjeka i shemi omatanja, 4 različite konfiguracije (sl. 3-48):

Izbornik lijevo prikazuje dostupne SikaWrap® proizvode, ovisno o državi. Donji dio ekrana prikazuje širinu i suhu debljinu SikaWrap® tkanine. Proračun se bude izveo prema odabranom proizvodu. (sl. 3-49).



Slika 3-48

Konačno, glavni ekran prikazuje grafičke informacije vezane za SikaWrap® konfiguraciju i CFRP doprinos na posmičnu čvrstoću elementa. Na dnu ekrana, prikazani su brojčani podaci, uključujući potrebnii broj slojeva odabrane SikaWrap® tkanine, kao i stvarni doprinos posmičnoj čvrstoći, prema konačnom broju slojeva (sl. 3-50).

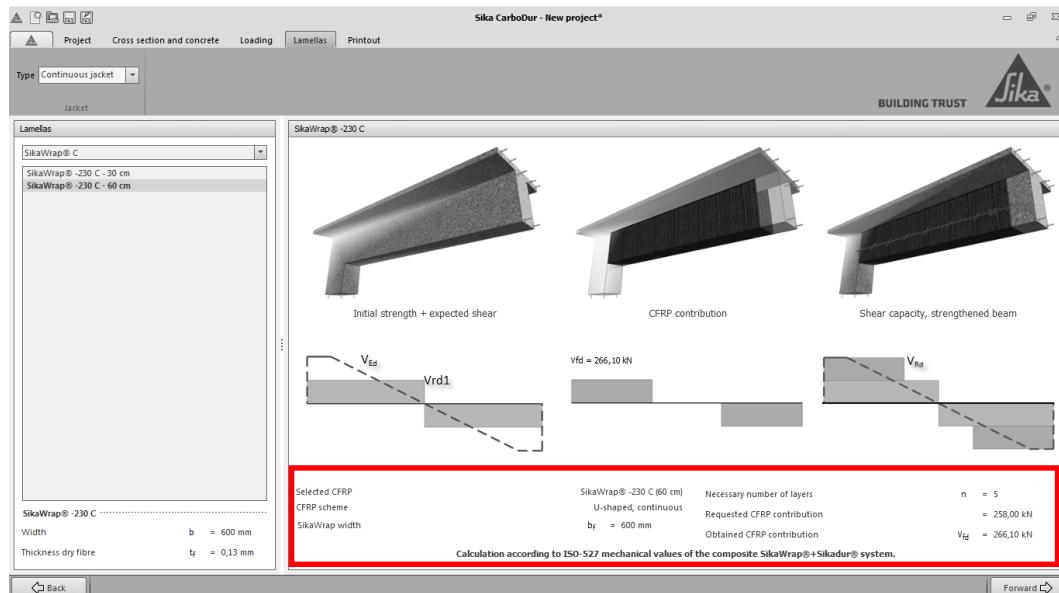


Figure 3-49

Važna napomena: proračun software-a se temelji na stvarnim performansama CFRP kompozita dobivenih kao rezultat korištenja odabrane SikaWrap® tkanine i odgovarajuće Sikadur® smole, kao što je navedeno u odgovarajućem Tehničkom Listu i prema HRN EN 2561 metodi ispitivanja. Prema tome, prikazani rezultat se ne može primijeniti na kompozite dobivene korištenjem neke druge smole ili drugog sustava koji se karakteristikama razlikuje od podataka navedenim u Tehničkom Listu.

3.4.3 ISPIS DOKUMENTA

Odabriom Ispis opcije, software automatski stvara dokument za ispis sa informacijama dobivenim postupkom proračuna.

3.5 OJAČANJE STUPA

Postupak omatanja se obično koristi na elemente u tlaku, sa funkcijom povećavanja njihove nosivosti pod aksijalnim opterećenjem.

Vanjsko omatanje stupova se izvodi orientacijom vlakana u smjeru okomitom na uzdužnu os elementa.

Model ojačanja stupa se sastoji od dvije faze, navedene u slijedećem tekstu.

3.5.1 POPREČNI PRESJEK I BETON

Korisnik definira geometriju i klasu betona (sl. 3-51).

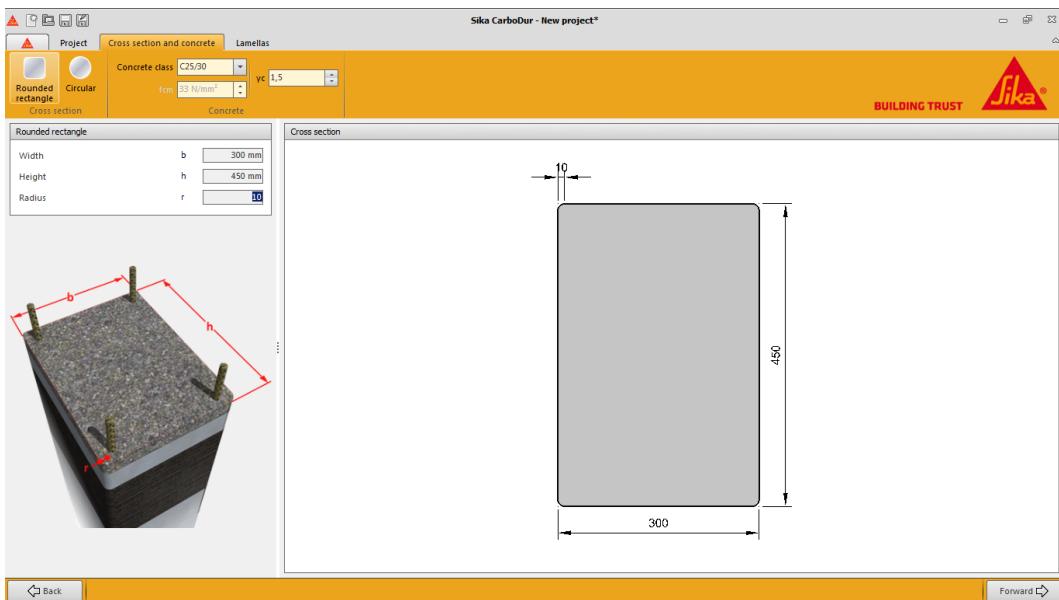
Na gornjem dijelu ekrana nalazi se geometrija, kao i karakteristike betona. Čvrstoća betona se može definirati koristeći karakterističnu (f_{ck}) ili srednju čvrstoću (f_{cm}) betona.

U lijevom dijelu ekrana, korisnik unosi podatke vezane za geometriju presjeka, koji se onda prikazuju u crtežu glavnog ekrana.

Opcija "Zaobljeni pravokutnik" ili "Kružni" se može odabratiti kako bi se definirala geometrija stupa. Napomena, u slučaju pravokutnog presjeka:

- Važno je unijeti polomer ruba. Veći radius povećava efektivnost ojačanja. Minimalni prihvativivi radius je 10mm.

- Pravokutni stupovi sa omjerom stranica $h/b > 2$ nisu dopušteni, jer je efekt ojačanja zanemariv.

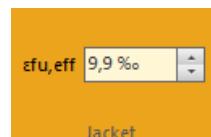


Slika 3-50

1.1.2 OJAČANJA

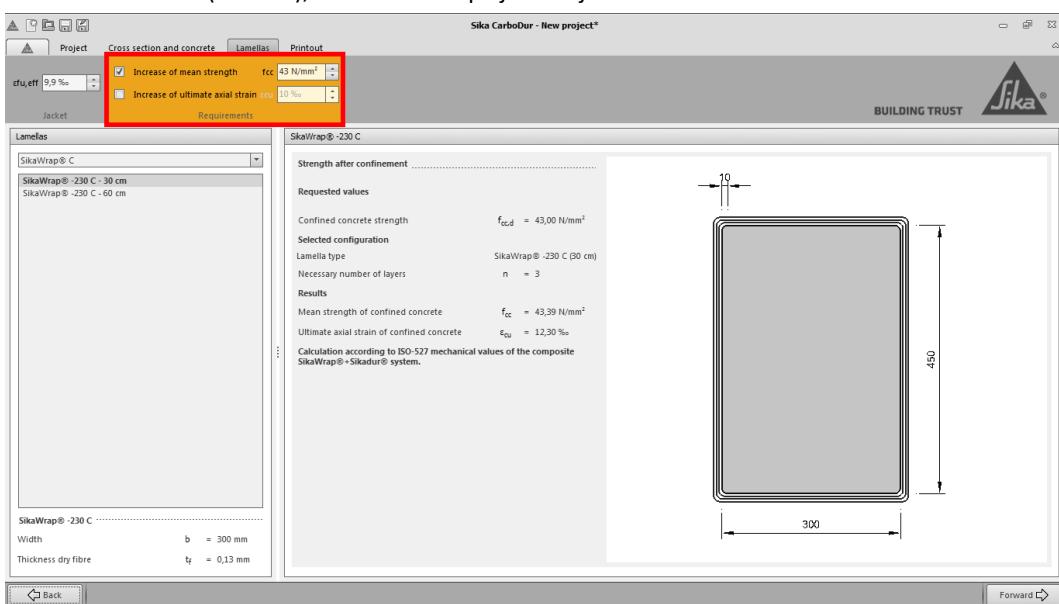
Ovaj se ekran sastoji od nezavisnih područja: na u gornjem lijevom uglu, prikazuje se efektivna granična deformacija CFRP ojačanja. Efektivna granična deformacija će biti manja od granične deformacije CFRP ojačanja zbog naprezanja u više smjerova u FRP ojačanju i kvaliteti ugradnje (sl. 3-52).

Napomena: Odabrana prikazana vrijednost efektivne CFRP deformacije (sl. 3-52) se temelji na faktoru učinkovitosti 0.55 predloženom u ACI 440.2R-08, dio 12.1. Prema tome:
 $\epsilon_{fu,eff} = 0,55 \times \epsilon_{fu}$. (3.4.2a)



Slika 3-51

Koristeći izbornike na vrhu (sl. 3-53), korisnik ima opciju zahtijevati:



Slika 3-52

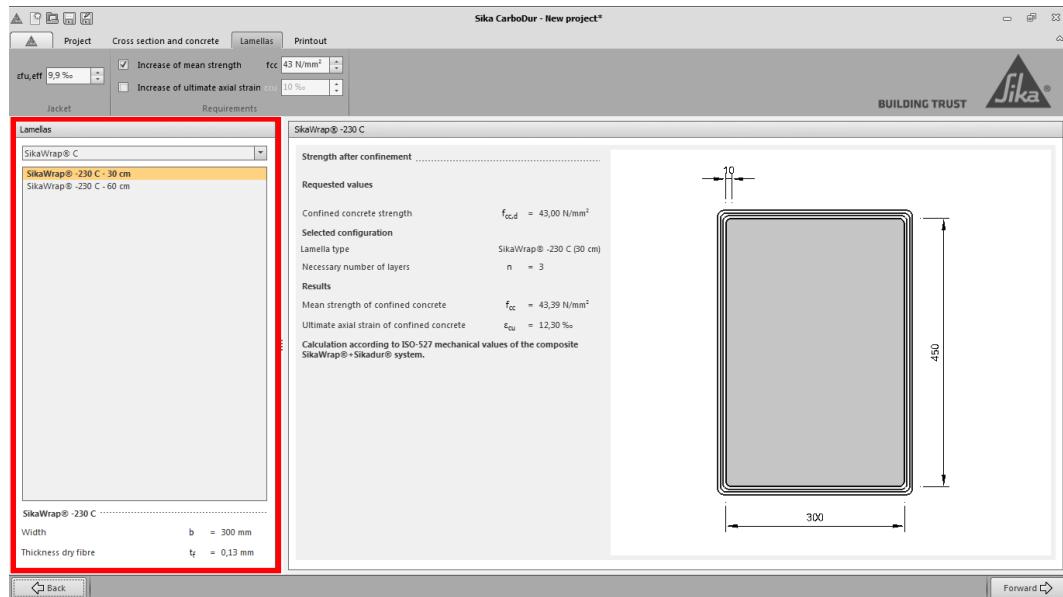
- **Povećanje srednje čvrstoće f_{cc} :** Unesite traženu čvrstoću ojačanog betona (tražena vrijednost nakon ojačanja), i/ili

Priručnik

Sika® Carbodur® software

Prosinac, 2013, 1.0.0.

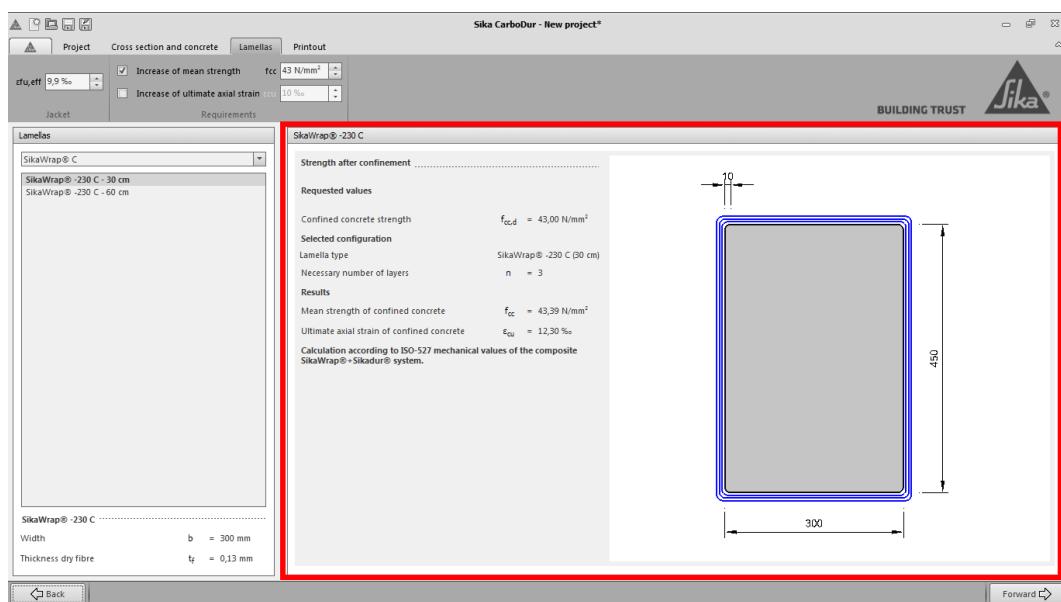
- Povećanje granične aksijalne deformacije ϵ_{cu} :** Unesite traženu graničnu aksijalnu deformaciju ojačanog betona (tražena vrijednost nakon).



Slika 3-53

Područje na lijevom dijelu ekrana prikazuje dostupne SikaWrap® proizvode u odabranoj državi. Donji dio ekrana prikazuje širinu i suhu debljinu SikaWrap® tkanine. Proračun će biti proveden na temelju odabranih proizvoda (sl. 3-54).

Konačno, glavni ekran (sl. 3-55) prikazuje grafičke informacije vezane za SikaWrap® konfiguraciju i novu čvrstoću ojačanog betona koja rezultira iz postupka ojačanja. Na lijevoj strani ekrana, prikazani su brojčani podaci, koji prikazuju potreban broj slojeva odabrane SikaWrap® tkanine, kao i graničnu aksijalnu deformaciju ojačanog betona.



Slika 3-54

Važna napomena: proračun software-a se temelji na stvarnim svojstvima CFRP kompozita dobivenih kao rezultat uporabe odabranih SikaWrap® tkanina i odgovarajuće Sikadur® smole, kao što je navedeno u odgovarajućem Tehničkom Listu, i prema HRN EN 2561 metodi ispitivanja. Prema tome, prikazani rezultati se ne mogu primjeniti na kompozite dobivene uporabom drugih smola ili drugog sustava, koji se razlikuje od onog navedenog u Tehničkom Listu.

3.5.2 ISPIS

Odabirom opcije "Ispis", software automatski stvara dokument za ispis sa informacijama dobivenim kroz proces proračuna.

PRAVNA NAPOMENA

Ova softverska aplikacija je zaštićena autorskim pravima i međunarodnim ugovorima o autorskim pravima. Ova aplikacija je licencirani proizvod, nije prodana.

Ova softverska aplikacija i rezultati proizašli njenom upotrebom služe samo za profesionalnu upotrebu korisnika sa stručnim znanjem na području ciljane primjene. Korisnici sami moraju provjeriti rezultate prije bilo kakve uporabe, te uzeti u obzir uvjete na gradilištu i tijekom primjene, tehnički list proizvoda i dokumentaciju o proizvodu, trenutno važeće tehničke standarde, kao i lokalne važeće standarde i propise.

Što se tiče ove softverske aplikacije i rezultata proizašlih njenom upotrebom, S IKA NE JAMČI NJIHOVU TOČNOST, POUZDANOST, POTPUNOST, ZA PRODAJU ILI BILO KOJU SVRHU. OVA SOFTVERSKA APLIKACIJA SE NUDI " KAO INDIKATIVNA " I SIKA SE IZRIČITO ODRIČE BILO KAKVIH JAMSTAVA KOJI SE TIČU NJE I REZULTATA KOJI NASTAJU NJENOM UPORABOM.

Sika neće biti odgovorna ni za kakvu posljedičnu, kaznenu, slučajnu ili posebnu štetu (uključujući, ali ne ograničavajući se na, gubitak poslovne prilike ili gubitak dobiti) koja je proizašla iz ocjenjivanja ili korištenja softverske aplikacije i rezultata dobivenih njenom uporabom.

Podaci i, posebice, preporuke koje se odnose na primjenu i krajnje korištenje Sika® proizvoda, dani su u najboljoj namjeri temeljem sadašnjih saznanja i iskustava Sika®-e za proizvode kada su pravilno skladišteni, korišteni i primijenjeni pod normalnim uvjetima u skladu sa Sika®-inim preporukama. U stvarnosti, razlike u materijalu, podlozi i stvarnim uvjetima primjene su takve da nema jamstva u odnosu na mogućnost prodaje ili pogodnosti proizvoda za određenu namjenu, niti ikakva odgovornost može nastati temeljem bilo kakvog zakonskog odnosa, temeljem zaključaka na osnovi ovih podataka ili bilo kakvih pismenih preporuka ili bilo kakvog drugog ponuđenog savjeta. Korisnik proizvoda mora ispitati prikladnost proizvoda za namjeravanu primjenu i svrhu. Sika® zadržava pravo promjene karakteristika njenih proizvoda. Vlasnička prava trećih strana moraju se razmotriti. Sve narudžbe se prihvataju na osnovu naših važećih uvjeta prodaje i isporuke. Za odabrani proizvod, korisnici trebaju uvijek koristiti naše posljednje izdanje Tehničkog lista proizvoda, čiju kopiju mogu dobiti na zahtjev.

Ova licenca je regulirana i tumači se i provoditi u skladu sa zakonima o materijalima države Švicarske. Neobavezne odredbe o sukobu zakona se isključuju. Isključivo relevantni sudovi su sudovi u Zürichu, Švicarskoj.

Sika®, Sikadur®, CarboDur® i SikaWrap® su registrirane zaštićene marke tvrtke Sika AG.

Svi drugi proizvodi i nazivi marki mogu biti zaštitne trgovачke marke ili registrirane zaštitne marke njihovih vlasnika.

Copyright Sika Services AG 2013

Sika Services AG
TM Refurbishment

Version given by
Vázquez David
Phone:
Fax:
Mail: vazquez.david@es.sika.com

Priručník
Sika® Carbodur® software
Prosinac, 2013, 1.0.0.