

1. METODA IZOTERME 500°C

Metodo lahko uporabljamo v povezavi s standardnimi in parametričnimi požari (s faktorjem odprtin $O \geq 0.14 \text{ m}^{1/2}$). Primerna je za armirane in prednapete betonske prereze pri osni, upogibni in kombinirani osni upogibni obremenitvi, z nizko vsebnostjo vlage ter za običajno stopnjo armiranja. Temelji na predpostavki, da se del betona s temperaturo višjo od 500°C (poškodovani beton) pri računu nosilnosti zanemari, medtem ko beton s temperaturo pod 500°C ohrani polno trdnost.

Podobno kot pri računu odpornosti nosilca pri sobni temperaturi tudi pri metodi izoterme 500°C prispevajo k osno-upogibni odpornosti armiranobetonskih prečnih rezov nosilcev med požarom tlačno obremenjeni beton s temperaturo nižjo kot 500°C ter natezna in tlačna vzdolžna armatura. Na podlagi eksperimentalnih in teoretičnih ugotovitev je ta predpostavka zelo konzervativna, saj ima beton iz kremenčevega agregata pri 500°C skladno s SIST EN 1992-1-2: 2005 še 60 % tlačne trdnosti betona pri sobni temperaturi, beton iz apnenčevega agregata pa celo 74 %. Tako zanemaritev odpornosti betona pri temperaturah, višjih od 500°C, delno nadomestimo tako, da za tlačno obremenjene betonske dele prečnih rezov nosilcev, s temperaturami nižjimi od 500°C, upoštevamo pri računu požarne odpornosti prečnega rezeta tlačno trdnost betona pri sobni temperaturi. Prispevke armaturnih palic k požarni odpornosti prečnega rezeta nosilca pa moramo upoštevati skladno s temperaturno odvisnimi reduksijskimi faktorji. Zaradi večje preglednosti predstavimo metodo izoterme 500°C še z enačbami.

V požarnem projektnem stanju je značilni prečni rez armiranobetonskega nosilca obremenjen z osno silo $N_{Ed,t,fi}$ in z upogibnim momentom $M_{Ed,t,fi}$. S pomočjo ravnotežja osnih sil v prečnem rezetu ($N_s - N'_s - N_c - N_{Ed,t,fi} = 0$) izračunamo lego nevtralne osi, x , z enačbo (glej sliko 5):

$$x = \frac{N_s - N'_s - N_{Ed,t,fi}}{0.8 b_{fi} f_{cd}}, \quad (1)$$

kjer je:

$$N_s = \sum_i A_{s,i} \cdot f_{sd,fi,i}, \quad (2)$$

$$N'_s = \sum_j A'_{s,j} \cdot f_{sd,fi,j}. \quad (3)$$

Pri izpeljavi smo upoštevali konstanten potek tlačnih napetosti v betonskem delu prečnega rezeta. V enačbi (1) je b_{fi} reducirana širina prečnega rezeta, f_{cd} je projektna tlačna trdnost betona pri sobni temperaturi, $f_{sd,fi,i}$ in $f'_{sd,fi,j}$ v enačbi (2) oziroma (3) pa sta od temperature odvisni projektni trdnosti i -te spodnje oziroma j -te zgornje vzdolžne armaturne palice med požarom. Izračunamo ju z naslednjim izrazom:

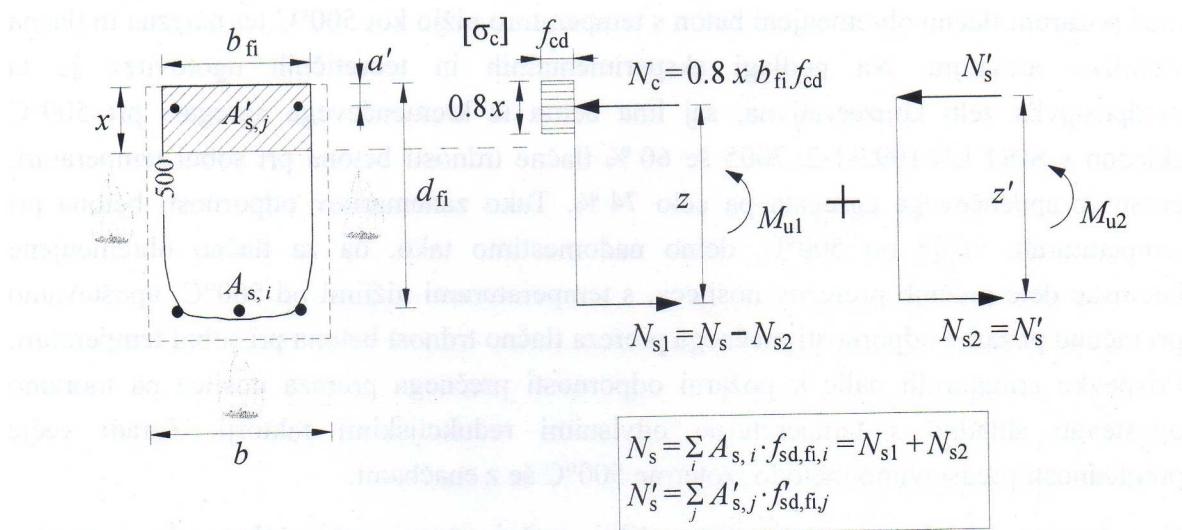
$$f_{sd,fi,i} = k_{s,T,i} \cdot \frac{f_{yk,j}}{\gamma_{s,fi}} \quad \text{in} \quad f_{sd,fi,j} = k_{s,T,j} \cdot \frac{f_{yk,j}}{\gamma_{s,fi}}, \quad (4)$$

kjer je $k_{s,T,i(j)}$ redukcijski faktor trdnosti spodnje oziroma zgornje armature.

Upogibno nosilnost, ki temelji na učinkovitem prerezu, izračunamo z enačbo:

$$M_{500} = M_{u1} + M_{u2} = N_c \cdot z + N'_s \cdot z' = N_c \cdot (d_{fi} - 0,4x) + N'_s \cdot (d_{fi} - a'), \quad (5)$$

kjer je z ročica notranjih sil, z' je razdalja med težiščema spodnje in zgornje vzdolžne armature, d_{fi} je statična višina prečnega prereza v pogojih požara, a' pa je oddaljenost težišča zgornje (tlačne) armature od zgornjega roba (slika 1).



Slika 1: Obremenitev armiranobetonskega prečnega prereza v požarnem projektnem stanju.

Projektno odpornost armiranobetonskega prečnega prereza nosilca v požarnem projektnem stanju (v tem primeru upogibno odpornost $M_{Rd,t,fi}$) pa izračunamo z enačbo:

$$M_{Rd,t,fi} = M_{500} \cdot k_m, \quad (6)$$

kjer je k_m redukcijski faktor, ki je za normalne betone enak 1 za visoko trdne betone pa je podan v SIST EN 1992-1-2 v preglednici 6.2N (dodatek N).

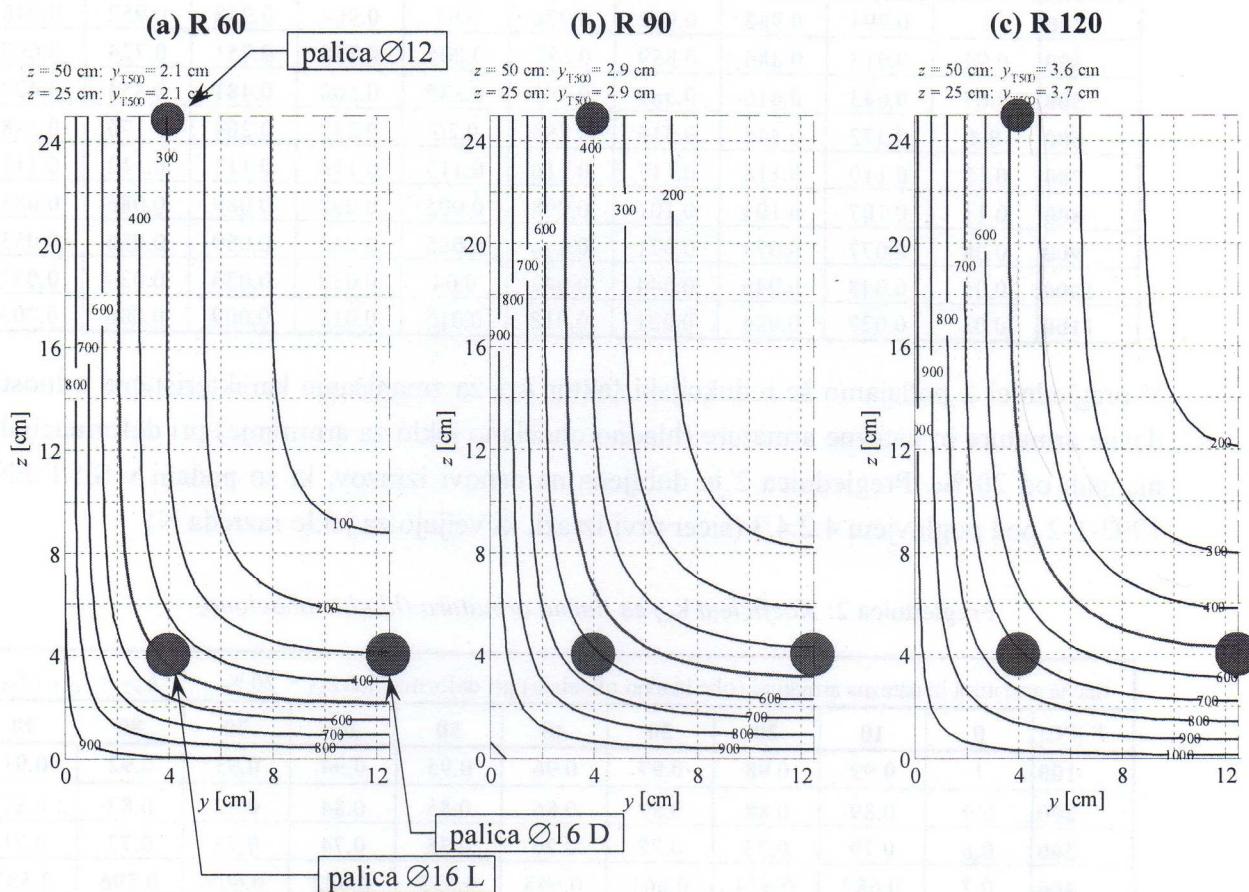
Ker se nekatere količine, kot so to reducirana širina prečnega prereza, globina nevtralne osi, trdnostne lastnosti armaturnih palic, med požarom spreminjajo, moramo skladno z enačbo (39) požarno odpornost armiranobetonskega nosilca preveriti pri različnih časovnih intervalih med trajanjem požara. Pri tem moramo skladno z osnovno zahtevko o odpornosti dokazati, da velja:

$$M_{Rd,t,fi} \geq M_{Ed,t,fi}. \quad (7)$$

1.1 DODATEK, Temperaturni profil in redukcijski faktorji za hladno obdelano jeklo

1.1.1 Toplotna analiza

Nosilec je s treh strani izpostavljen standardni krivulji temperatura-čas. Predpostavimo, da je temperatura celotnega požarnega prostora ali pa vsaj dela na območju vzdolž nosilca enakomerna, kar bistveno poenostavi toplotno analizo. V tem primeru potrebujemo časovno razporeditev temperatur med požarom le v karakterističnem prečnem prerezu nosilca, saj se temperatura vzdolž nosilca ne spreminja. Temperaturni profili za pravokotni prerez $b/h = 25/35$ cm so podani spodaj. Na sliki 4 prikazujemo temperaturne profile za polovico prečnega prereza, izpostavljenega standardnemu požaru s treh strani. Prikazujemo tudi lego spodnjih armaturnih palic $\varnothing 16$ ter zgornje armaturne palice $\varnothing 12$.



Slika 2: Temperaturni profili za pravokotni prečni prerez 25/35 cm po 60, 90 in 120 minutah izpostavljenosti standardnemu požaru s treh strani

S pomočjo temperaturnih profilov ocenimo temperature v armaturnih palicah po 60, 90 in 120 minutah izpostavljenosti standardnemu požaru.

Za račun nosilnosti prispevka natezne in tlačne armature potrebujemo redukcijske koeficiente, ki opišejo zmanjšanje trdnosti v odvisnosti od temperature. Velja, da sta

reduksijska faktorja za natezno in tlačno armaturo različna. V preglednici 1 podajamo reduksijski faktor $k_{s,T}$ za zmanjšanje karakteristične trdnosti natezne armature (hladno obdelano jeklo za armiranje) pri deformacijah večjih od 20 %. Preglednica je dobljena na osnovi Preglednice 3.2a) in sicer stolpec 3 (za hladno obdelano armaturo) iz standarda SIST EN 1992-1-2.

Preglednica 1: Koeficient $k_{s,T}$ za natezno armaturo (hladno obdelano)

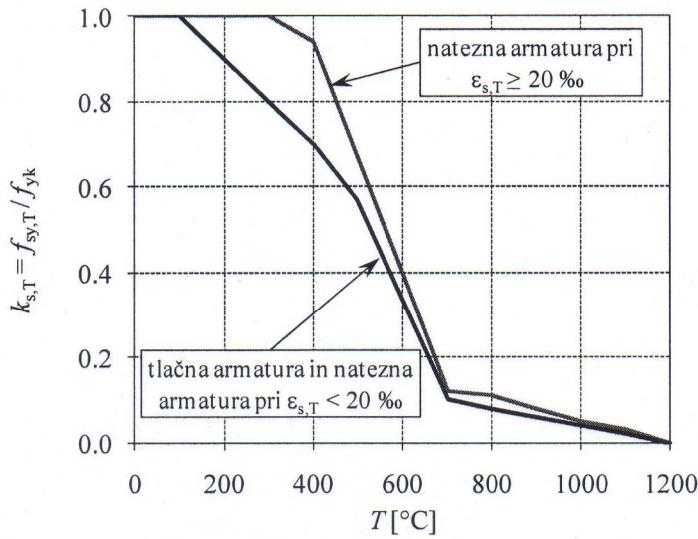
T [°C]	natezna armatura (hladno obdelana) pri deformacijah $\varepsilon_{s,T} \geq 20\%$									$k_{s,T} = f_{sy,T} / f_{yk}$
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	
100	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
200	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
300	1	0.994	0.988	0.982	0.976	0.97	0.964	0.958	0.952	0.946
400	0.94	0.913	0.886	0.859	0.832	0.805	0.778	0.751	0.724	0.697
500	0.67	0.643	0.616	0.589	0.562	0.535	0.508	0.481	0.454	0.427
600	0.4	0.372	0.344	0.316	0.288	0.26	0.232	0.204	0.176	0.148
700	0.12	0.119	0.118	0.117	0.116	0.115	0.114	0.113	0.112	0.111
800	0.11	0.107	0.104	0.101	0.098	0.095	0.092	0.089	0.086	0.083
900	0.08	0.077	0.074	0.071	0.068	0.065	0.062	0.059	0.056	0.053
1000	0.05	0.048	0.046	0.044	0.042	0.04	0.038	0.036	0.034	0.032
1100	0.03	0.027	0.024	0.021	0.018	0.015	0.012	0.009	0.006	-0.003

V preglednici 2 podajamo še reduksijski faktor $k_{s,T}$ za zmanjšanje karakteristične trdnosti tlačne armature in natezne armature (hladno obdelano jeklo za armiranje) pri deformacijah manjših od 20 %. Preglednica 2 je dobljena na osnovi izrazov, ki so podani v SIST EN 1992-1-2 pod poglavjem 4.2.4.3 (sicer prvi izrazi, ki veljajo za jeklo razreda N)

Preglednica 2: Koeficient $k_{s,T}$ za tlačno armaturo (hladno obdelano)

T [°C]	tlačna armatura in natezna armatura (obe hladno obdelani) pri deformacijah $\varepsilon_{s,T} < 20\%$									$k_{s,T} = f_{sy,T} / f_{yk}$
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	
100	1	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91
200	0.9	0.89	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83	0.82	0.81
300	0.8	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71
400	0.7	0.687	0.674	0.661	0.648	0.635	0.622	0.609	0.596	0.583
500	0.57	0.547	0.523	0.500	0.476	0.453	0.429	0.406	0.382	0.359
600	0.335	0.312	0.288	0.265	0.241	0.218	0.194	0.171	0.147	0.124
700	0.1	0.098	0.096	0.094	0.092	0.09	0.088	0.086	0.084	0.082
800	0.08	0.078	0.076	0.074	0.072	0.07	0.068	0.066	0.064	0.062
900	0.06	0.058	0.056	0.054	0.052	0.05	0.048	0.046	0.044	0.042
1000	0.04	0.038	0.036	0.034	0.032	0.03	0.028	0.026	0.024	0.022
1100	0.02	0.018	0.016	0.014	0.012	0.01	0.008	0.006	0.004	0.002

Na sliki 5 prikazujemo še redukcijski faktor $k_{s,T}$ za zmanjšanje karakteristične trdnosti natezne oziroma tlačne armature pri jeklu razreda N (hladno obdelano jeklo za armiranje). Kot vidimo je zmanjšanje trdnosti natezne armature nekoliko višje kot natezne.



Slika 3: Redukcijski faktor za karakteristično trdnost jekla za armiranje pri povišanih temperaturah skladno s SIST EN 1992-1-2:2005