



HRVATSKA KOMORA INŽENJERA GRAĐEVINARSTVA

Dani Hrvatske komore inženjera građevinarstva

Opatija, 2019.


Procjena nosivosti čelične hale nakon požara

Davor Skejić

Izv.prof.dr.sc. Davor Skejić, dipl.ing.građ., Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet

UVODNO

- Buktinja u Zadru:

U velikom požaru
stradao servisni
centar (Izvor )

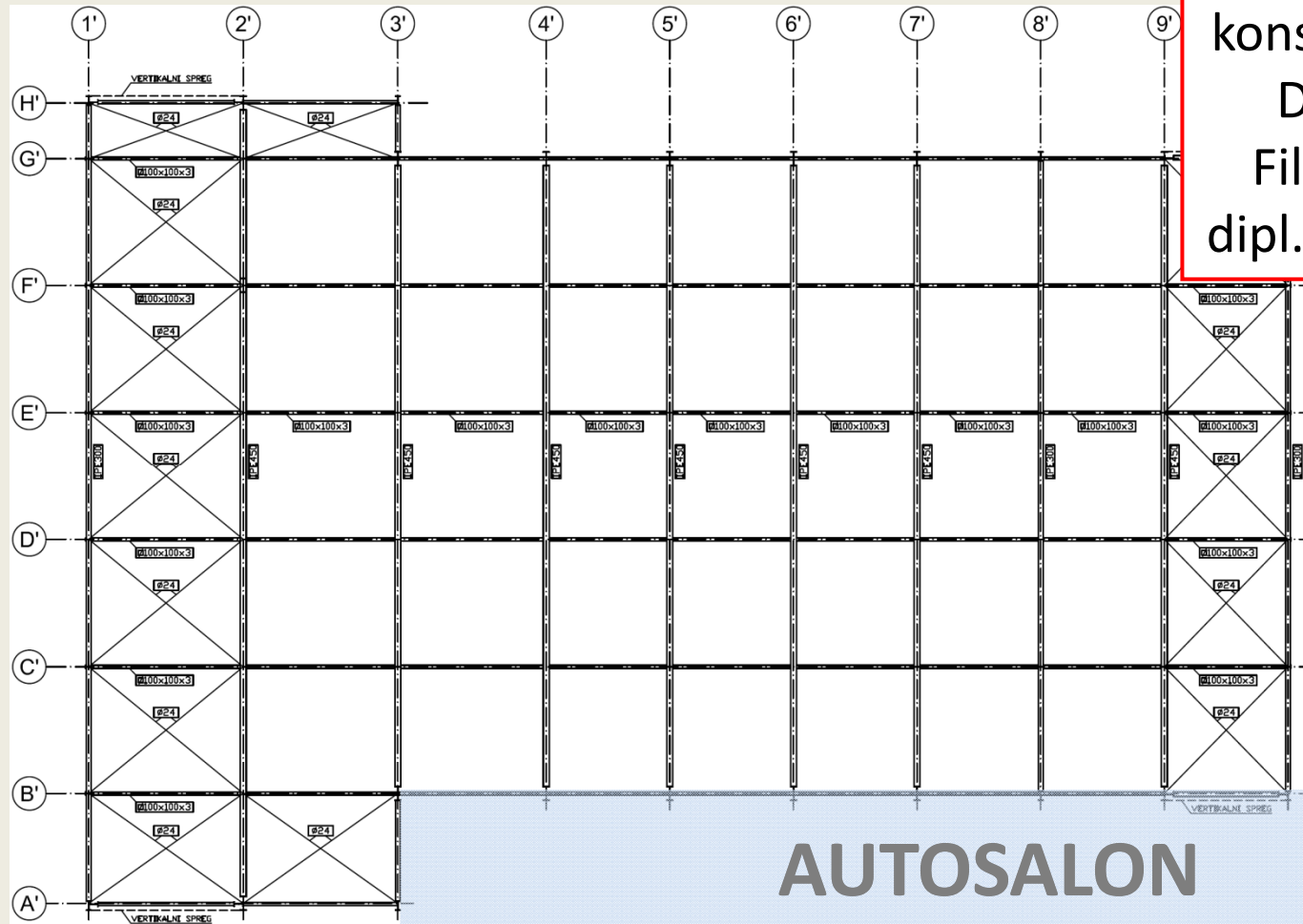
- 25.12.2017.
- Uzrok:
Pad ostatka
rakete na krov i
zapaljenje oko
svjetlarnika



OPIS KONSTRUKCIJE

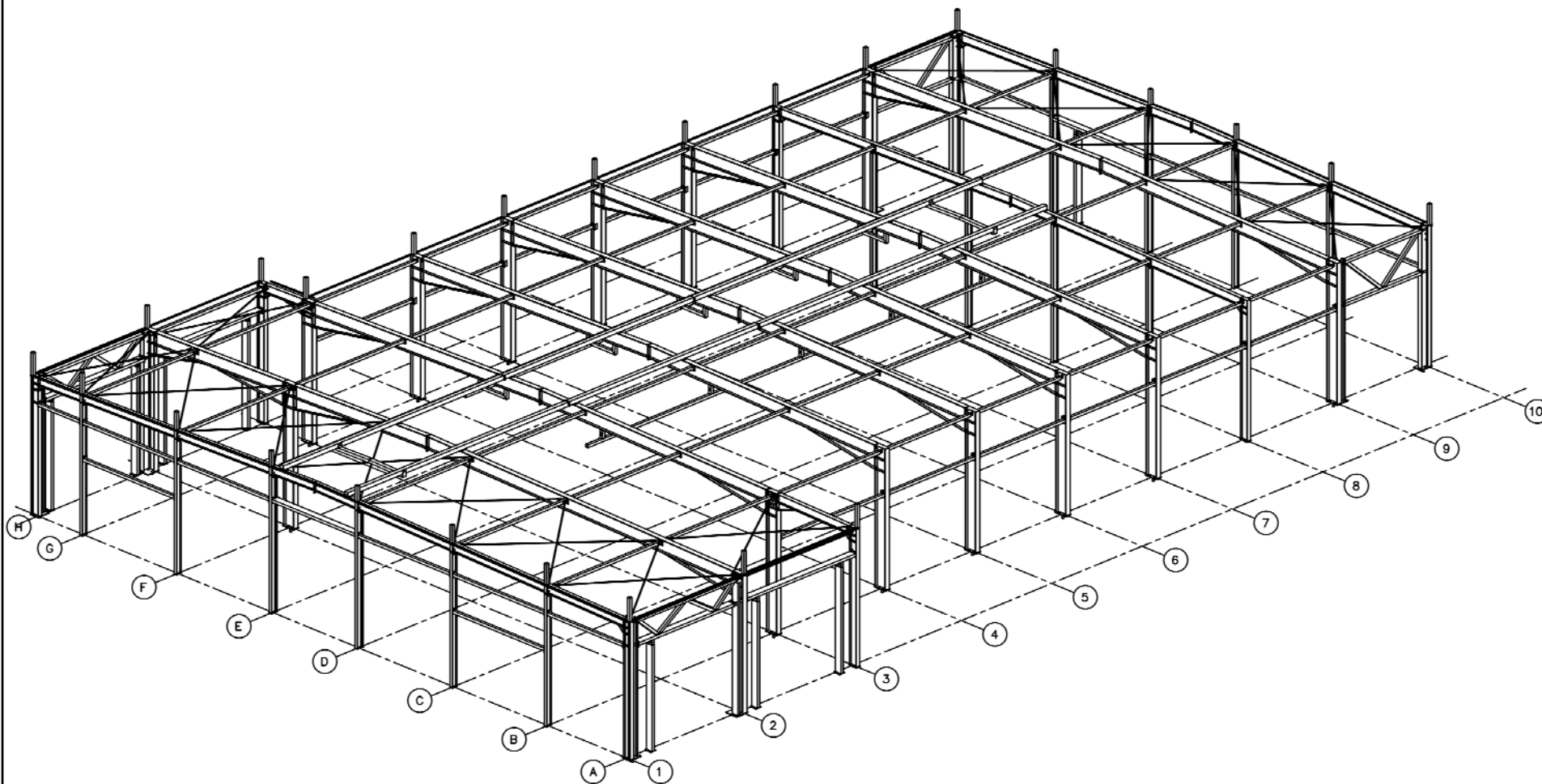
- Konstrukcija opečarene servisne hale

Projektant
konstrukcije:
Danijel
Filaković,
dipl.ing.građ.



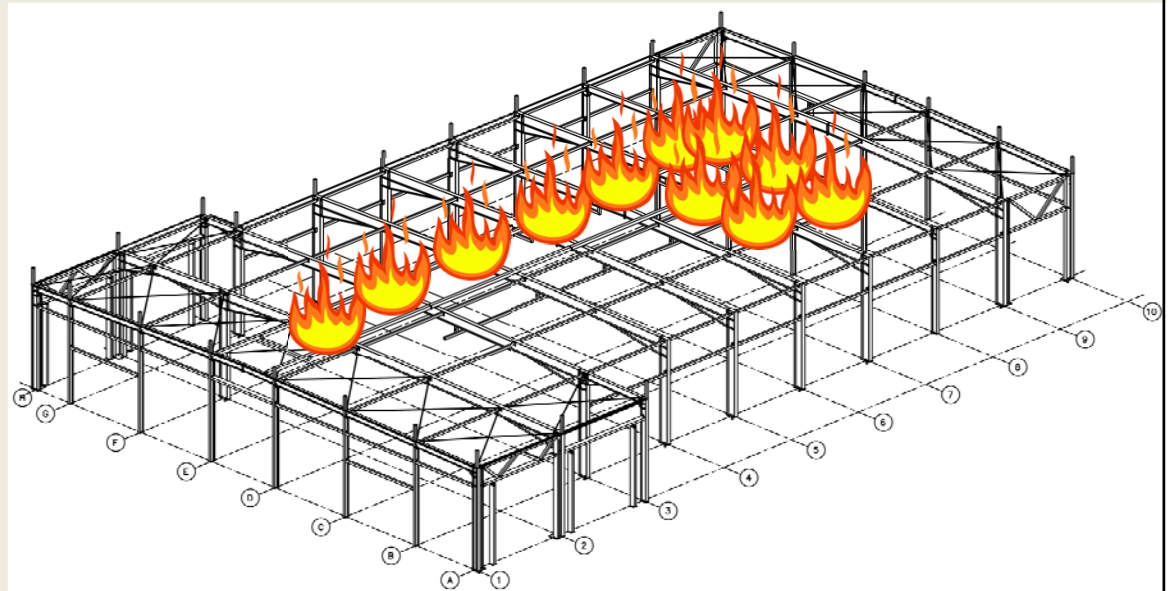
OPIS KONSTRUKCIJE

- Konstrukcija opečarene servisne hale - 3D model



RAZVOJ POŽARA

- Prema prikupljenim informacijama, požar je izbio nakon pada rakete na krov u blizini plastičnog svjetlarnika približno u osi 1 i 2 te D i E.
- To je vjerojatno dovelo do zapaljenja plastičnog svjetlarnika, te se požar širio od osi 1 prema osi 8.



RAZVOJ POŽARA

- Na krovu je izgorila hidroizolacija praktično u cijelom području između osi A do H te od osi 1 do osi 8.



RAZVOJ POŽARA

- U unutrašnjosti hale servisa požar je bio najintenzivniji između osi 7 i 8, te između osi B i E (zid prema zgradi VW autosalona).



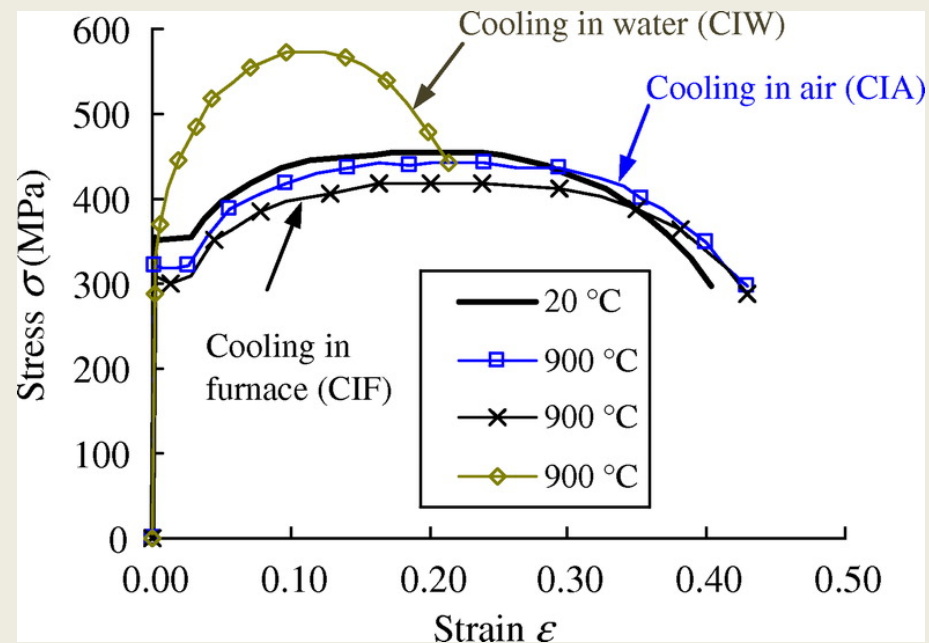
STANJE NAKON POŽARA

- Ekspertiza
 - GF Zagreb, Katedra za metalne konstrukcije
- Praktično pravilo
 - *If it's bent - cut it, if it's straight - paint it!*
- Vizualni pregled
 - Ne postoje vidljive deformacije elemenata koje bi ukazale na eventualnu pojavu visokih temperatura za vrijeme trajanja požara što bi imalo za posljedicu značajan pad modula elastičnosti čelika.
- Sve je OK?



STANJE NAKON POŽARA

- Zašto moramo biti oprezni?
- Gašenje požara vodom - postupak analogan kaljenju!



- Budući da nema vidljivih deformacija za pretpostaviti je da temperatura u čeliku nije dosegla 600 °C.

STANJE NAKON POŽARA

- Kako bi se provjerilo da nije došlo do promjene mehaničkih svojstava čelika, provedeno je ispitivanje tvrdoće postupkom bez razaranja.
- Radi utvrđivanja referentnih vrijednosti mehaničkih svojstava čelika, istim su postupkom ispitani elementi koji nisu bili zahvaćeni požarom.

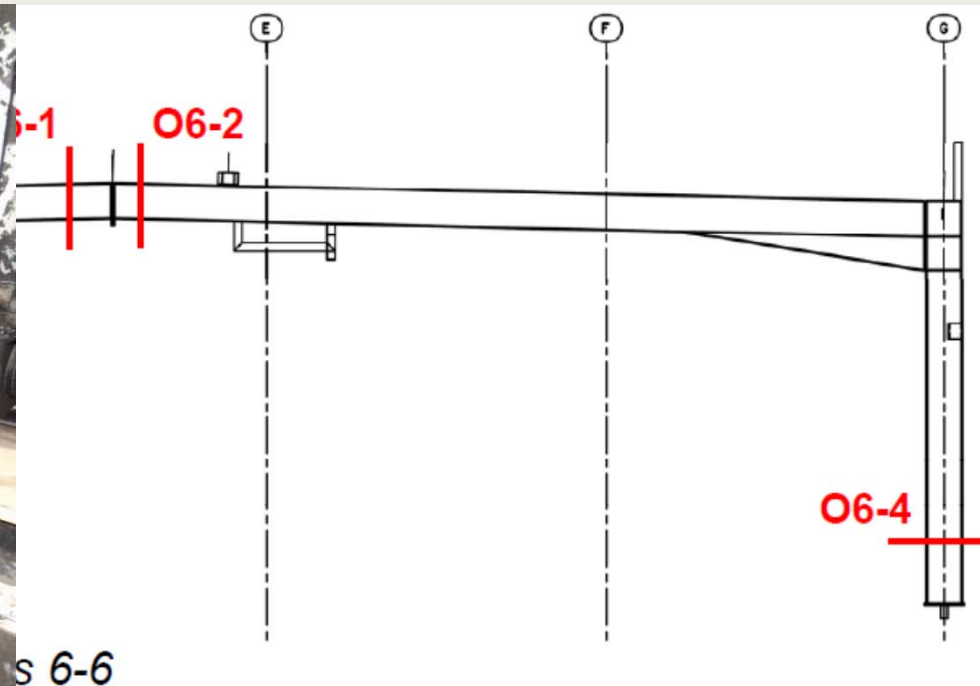
	Brinell Hardness Number	Vickers Hardness Number	Ultimate Tensile Strength N/mm ²
			637
			608
			559
			539
Gr	156	165	530
Grades S275	149	157	500
	143	150	481
	137	144	481
	131	138	461
	126	133	451
	121	127	431

Odstupanja između opožarenog i požarom nezahvaćenog čelika viša od 10% nisu prihvatljiva.



STANJE NAKON POŽARA

- Mjerenje tvrdoće (čvrstoće)
 - 12 pozicija na prečkama i 3 pozicije na stupovima okvira, čime su obuhvaćena ukupno 43 mjerna mjesta.
 - Na svakom mjernom mjestu izvršeno 5 mjerenja.



STANJE NAKON POŽARA

- Vrijednosti čvrstoće [MPa]- prečke okvira

Prečke okvira izložene požaru		
POZICIJA	Srednja vrijednost [N/mm ²]	Standardna devijacija [N/mm ²]
O2-1	404	15,9
O2-2	406	24,6
O4-1	402	13,8
O4-2	401	28,0
O6-1	421	24,2
O6-2	422	22,2
O6-3	463	31,8
O7-1	387	24,1
O7-2	400	29,6
O7-3	424	29,1
UKUPNO	413	24,3

Prečke okvira neizložene požaru		
POZICIJA	Srednja vrijednost [N/mm ²]	Standardna devijacija [N/mm ²]
O3-1	415	25,1
O4-3	426	46,1
UKUPNO	421	35,6

Razlika manja od 10%.



STANJE NAKON POŽARA

- Vrijednosti čvrstoće [MPa]- stupovi okvira

Stupovi okvira izložene požaru		
POZICIJA	Srednja vrijednost [N/mm ²]	Standardna devijacija [N/mm ²]
O7-4	430	37,9
UKUPNO	430	37,9

Stupovi okvira neizložene požaru		
POZICIJA	Srednja vrijednost [N/mm ²]	Standardna devijacija [N/mm ²]
O3-2	440	20,9
O6-4	432	22,7
UKUPNO	437	21,6

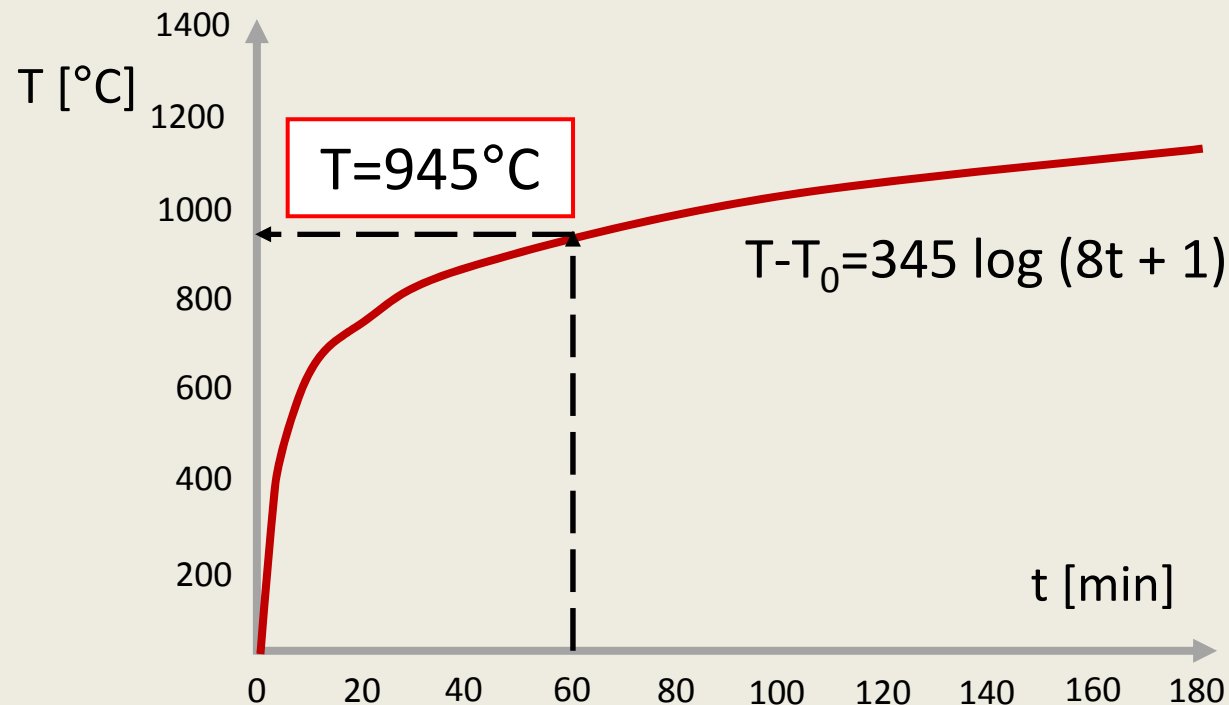
Razlika manja od 10%.

- Nisu uočene značajne razlike u čvrstoći (tvrdoći) pa možemo zaključit da požar nije uzrokovao značajne promjene u mikrostrukturi čelika te da se glavna konstrukcije može dalje koristit (naravno, uz sanaciju AKZ).



PRORAČUN NA STANDARDNI POŽAR

- Simulacija na standardni požar (ISO 834 krivulja)
 - Čelična konstrukcija 'nema šanse'.



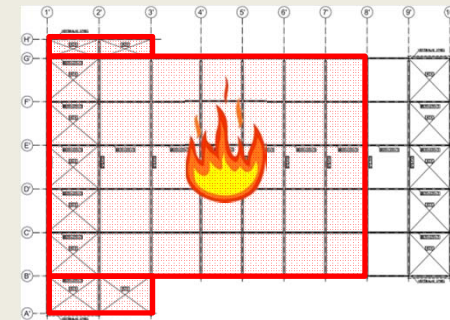
SIMULACIJA POŽARNIH SCENARIJA

- Simulacija požara - Ozone V.2
 - Simuliran prostor - (kvadar, tlocrtno 20,6 x 30,8 m)
 - Pod, zidovi, strop (ravni krov)
 - Otvori (vrata i prozori)
- Parametri požara - EN 1991-1-2 Dodatak E (Gustoće požarnih opterećenja)
 - Površina požarnog sektora
 - Karakteristično požarno opterećenje
 - Maksimalna rata oslobađanja topline
 - Rata razvoja požara
 - Faktor aktivnih mjera za borbu protiv požara (automatsko otkrivanje požara, automatsko i ručno sprječavanje požara)
 - ...

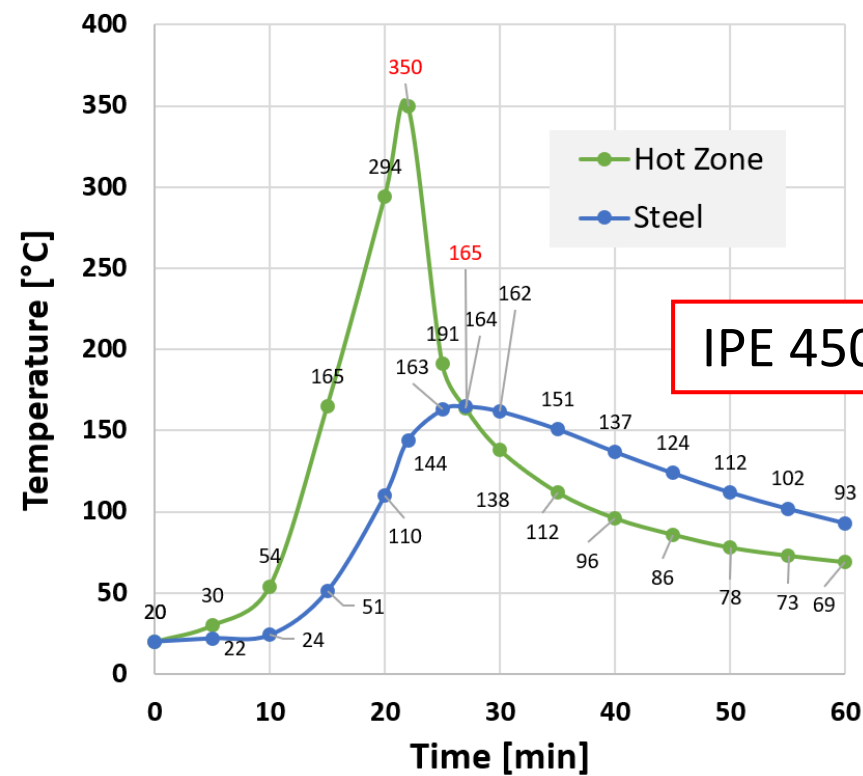


SIMULACIJA POŽARNIH SCENARIJA

- Slučaj 1
 - Cijela površina je izložena požaru.
 - Otvori pucaju na **400 °C**.

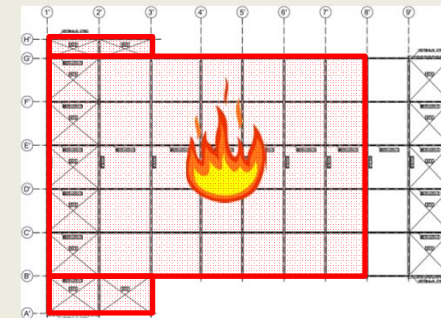


Time [min]	Hot Zone [°C]	Steel [°C]
0	20	20
5	30	22
10	54	24
15	165	51
20	294	110
22	350	144
25	191	163
27	164	165
30	138	162
35	112	151
40	96	137
45	86	124
50	78	112
55	73	102
60	69	93

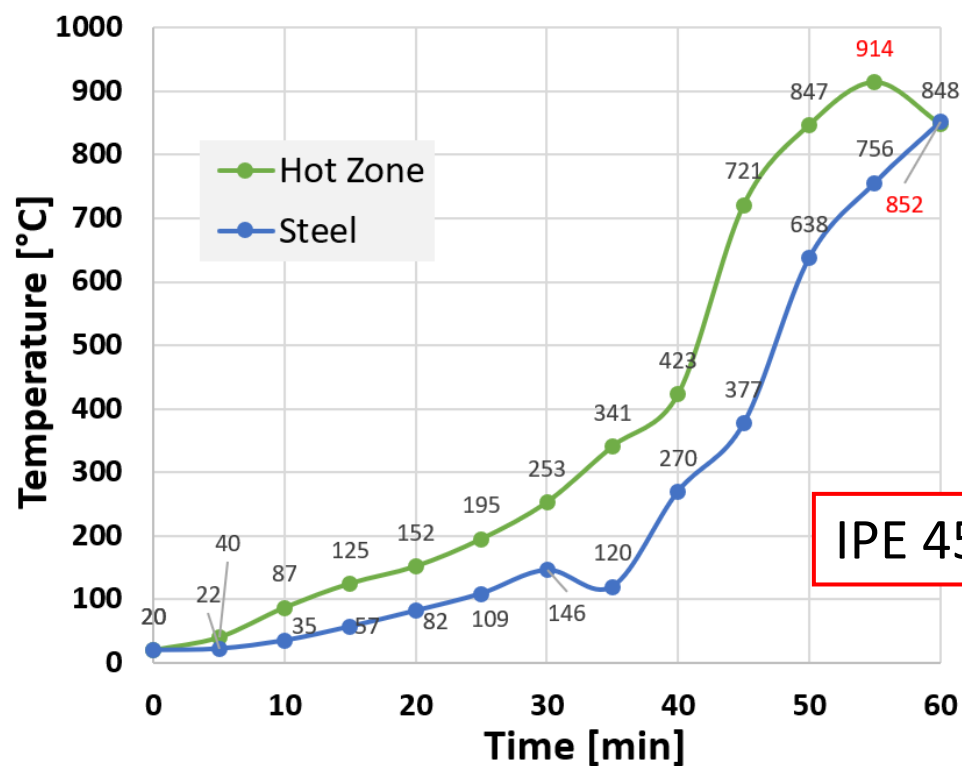


SIMULACIJA POŽARNIH SCENARIJA

- Slučaj 2
 - Cijela površina je izložena požaru.
 - Otvori pucaju postupno na **50 °C**.

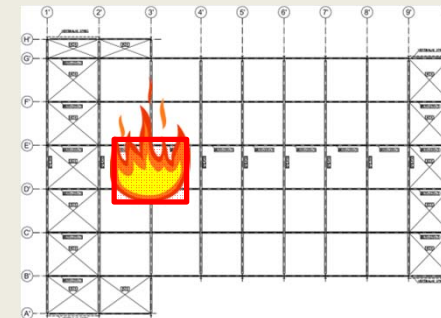


Time [min]	Hot Zone [°C]	Steel [°C]
0	20	20
5	40	22
10	87	35
15	125	57
20	152	82
25	195	109
30	253	146
35	341	120
40	423	270
45	721	377
50	847	638
55	914	756
60	848	852

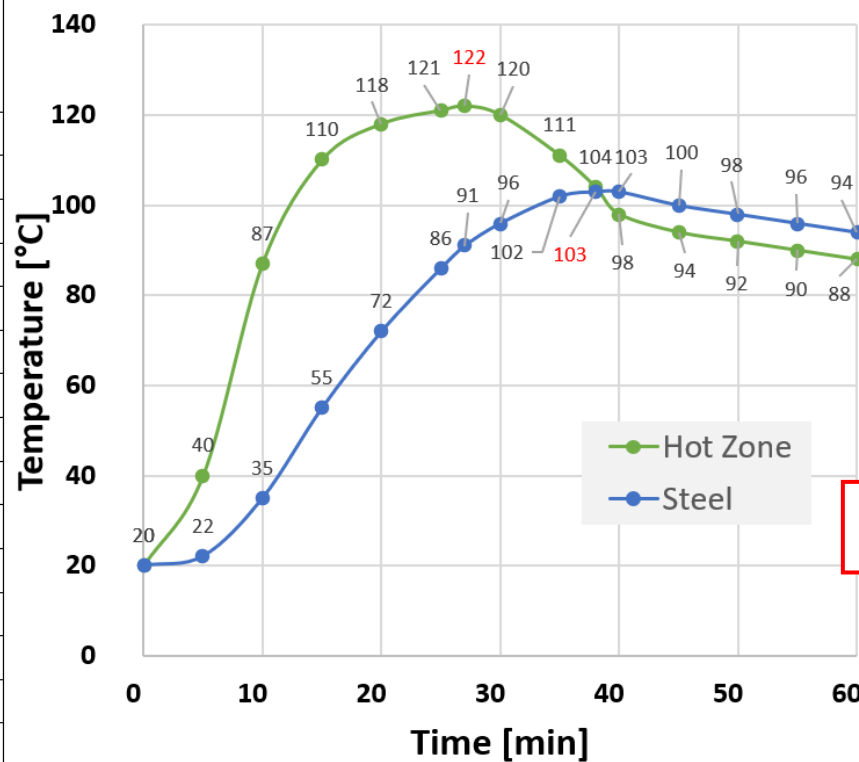


SIMULACIJA POŽARNIH SCENARIJA

- Slučaj 3
 - Lokalizirani požar na 20 m².
 - Otvori pucaju postupno na 50 °C.



Time [min]	Hot Zone [°C]	Steel [°C]
0	20	20
5	40	22
10	87	35
15	110	55
20	118	72
25	121	86
27	122	91
30	120	96
35	111	102
38	104	103
40	98	103
45	94	100
50	92	98
55	90	96
60	88	94

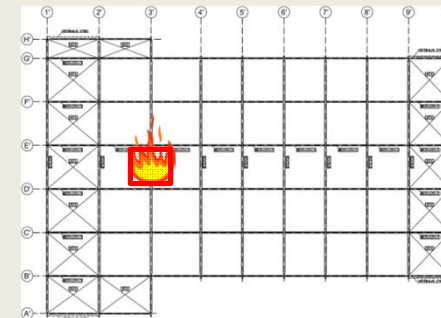


IPE 450, S355

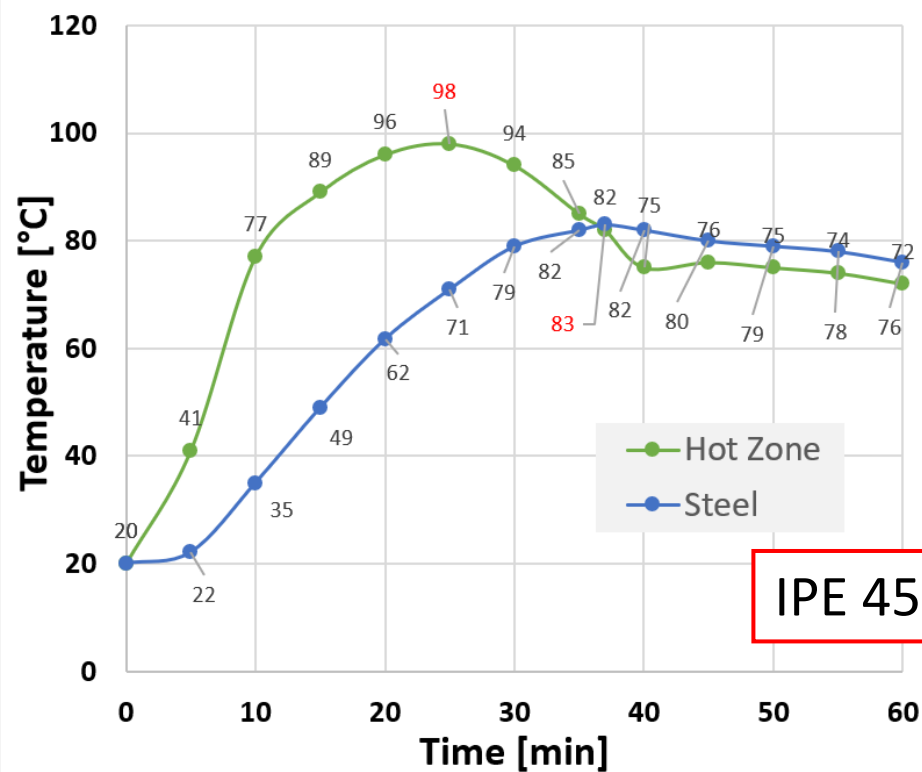


SIMULACIJA POŽARNIH SCENARIJA

- Slučaj 4
 - Lokalizirani požar na 10 m².
 - Otvori pucaju linearno na 50 °C.

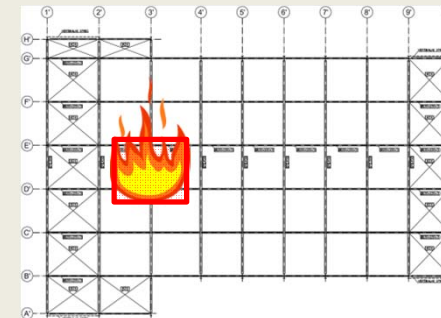


Time [min]	Hot Zone [°C]	Steel [°C]
0	20	20
5	41	22
10	77	35
15	89	49
20	96	62
25	98	71
30	94	79
35	85	82
37	82	83
40	75	82
45	76	80
50	75	79
55	74	78
60	72	76

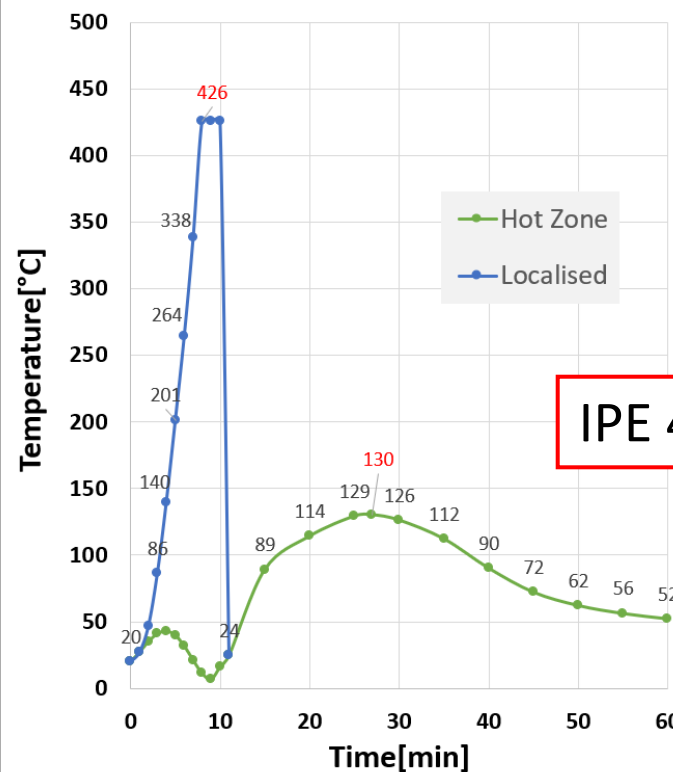


SIMULACIJA POŽARNIH SCENARIJA

- Slučaj 5
 - Lokalizirani požar na 20 m².
 - Otvori pucaju linearno na 400 °C.

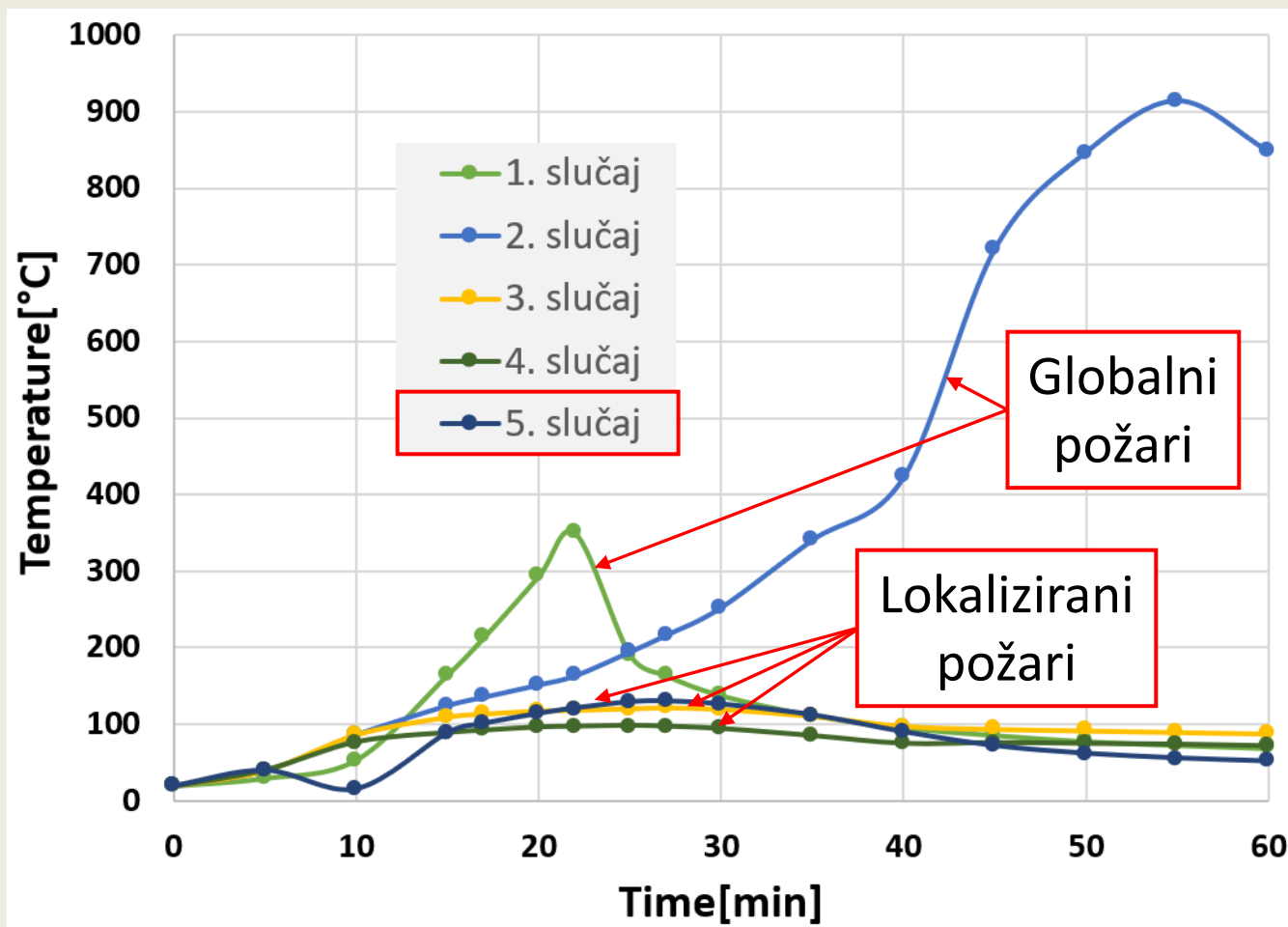


Time [min]	Hot Zone [°C]	Steel [°C]
0	20	20
1	27	27
2	35	47
3	41	86
4	43	140
5	40	201
6	32	264
7	21	338
8	11	426
9	7	426
10	16	426
11	24	24
15	89	
20	114	
25	129	
27	130	
30	126	
40	90	
50	62	
60	52	



SIMULACIJA POŽARNIH SCENARIJA

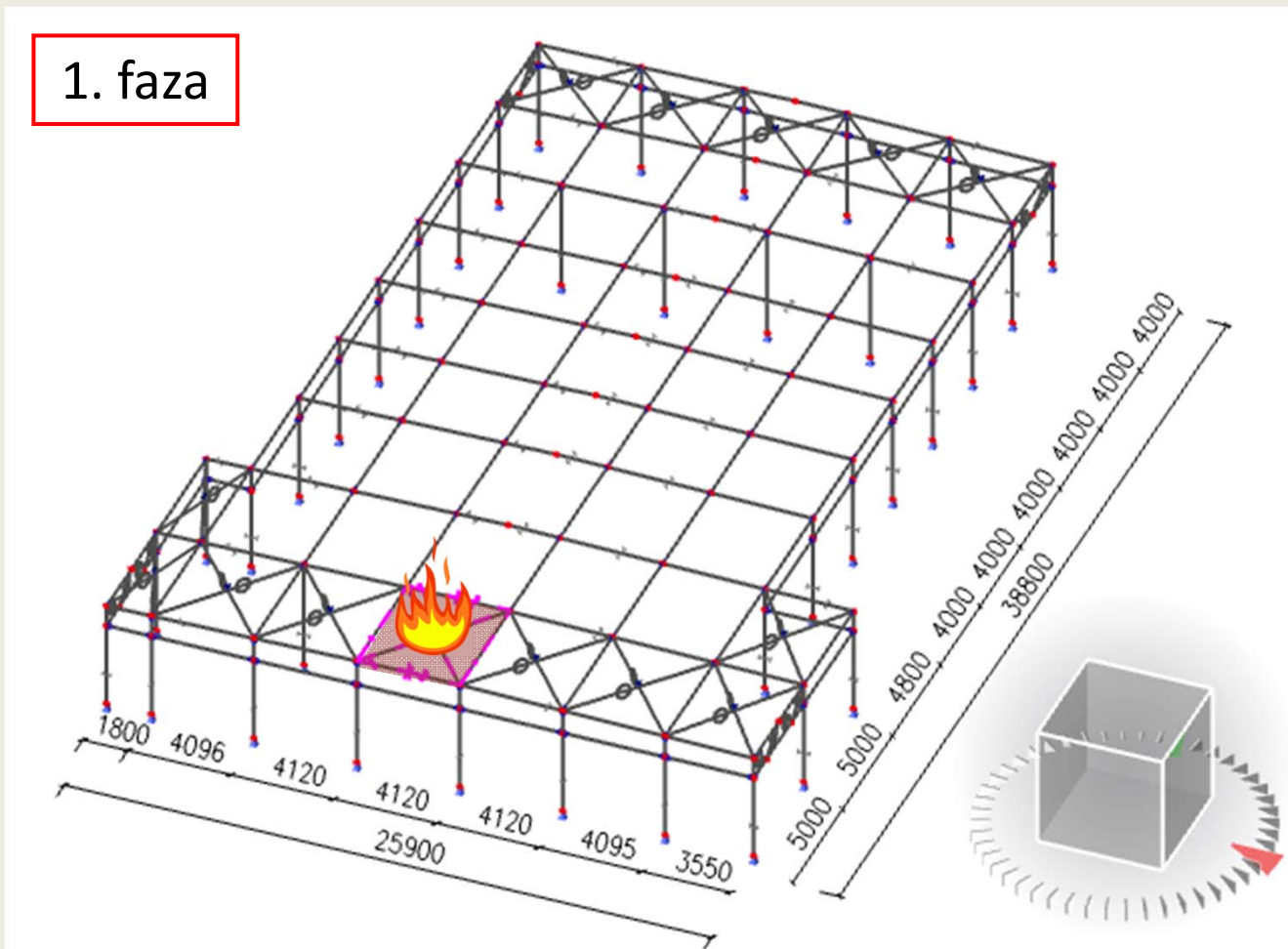
- Rezime analiziranih scenarija



ANALIZA I PRORAČUN

- Simulacija napredovanja požara - 3 faze

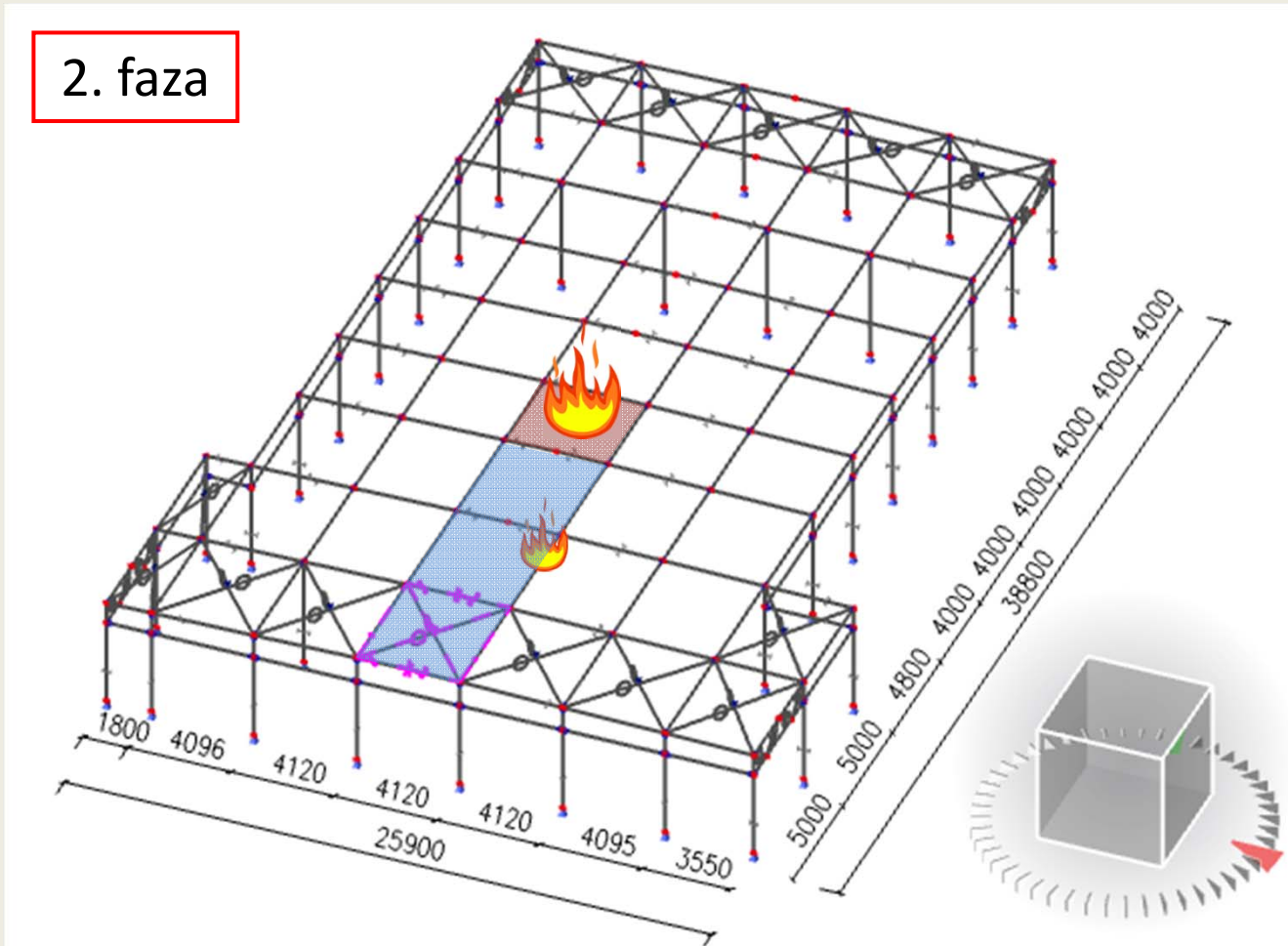
1. faza



ANALIZA I PRORAČUN

- Simulacija napredovanja požara - 3 faze

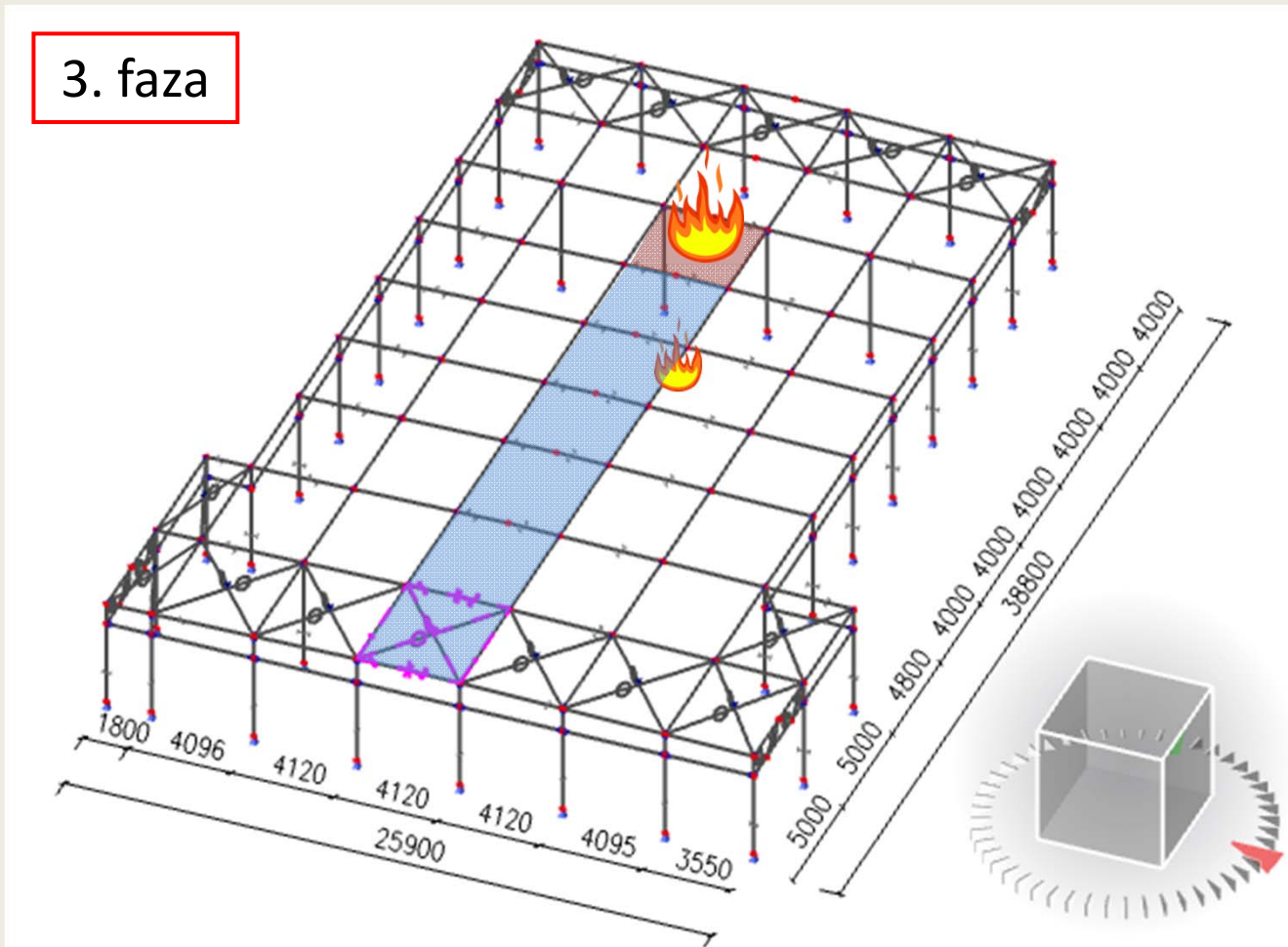
2. faza



ANALIZA I PRORAČUN

- Simulacija napredovanja požara - 3 faze

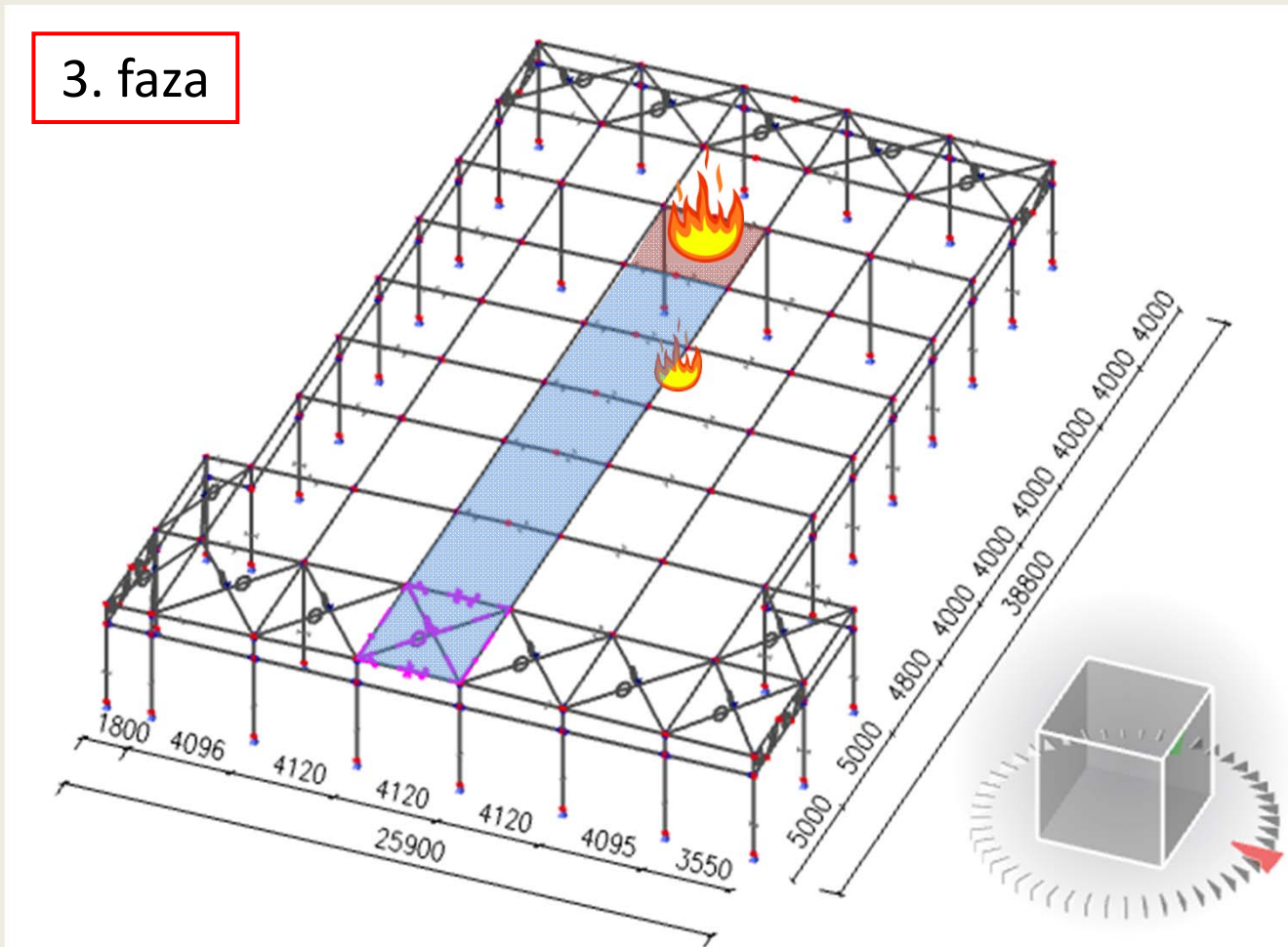
3. faza



ANALIZA I PRORAČUN

- Simulacija napredovanja požara - 3 faze

3. faza



ANALIZA I PRORAČUN

- Kombinacije djelovanja (HRN) EN 1990 - izraz 6.11b:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + (\psi_{1,1} \text{ ili } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} + A_d$$

- **NAD:** HRN EN 1991-1-2:2012/NA_2012:

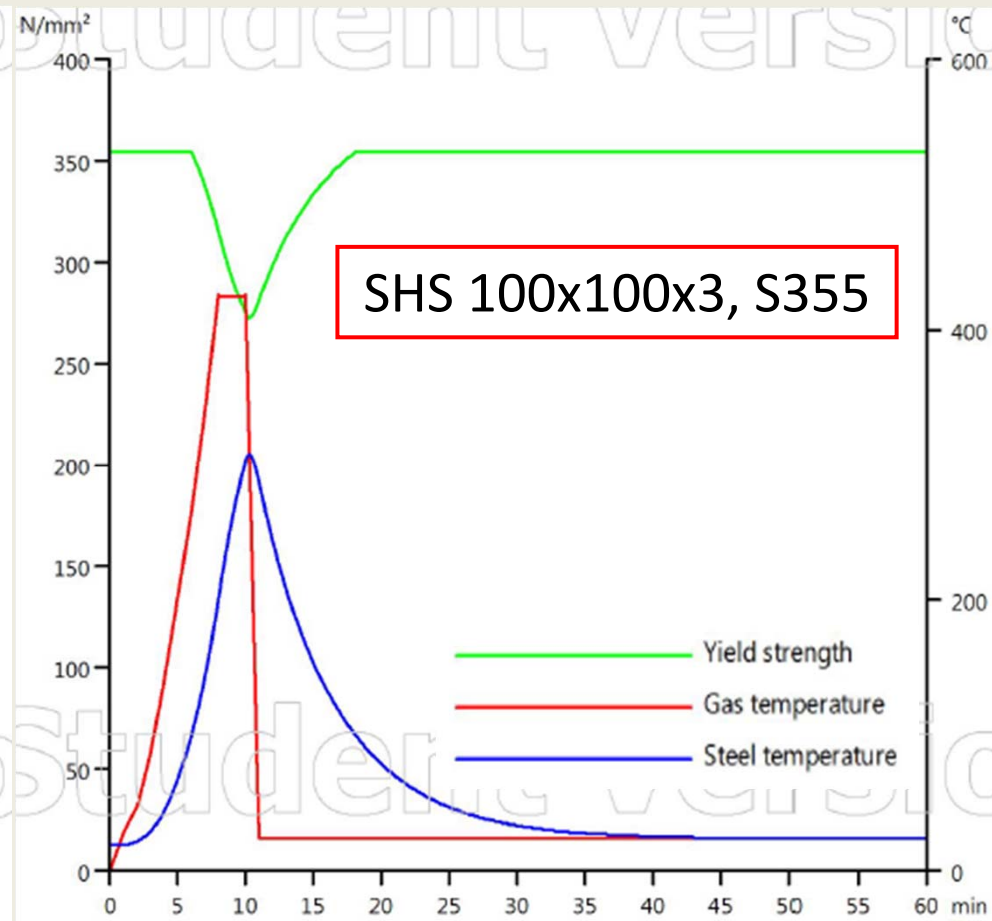
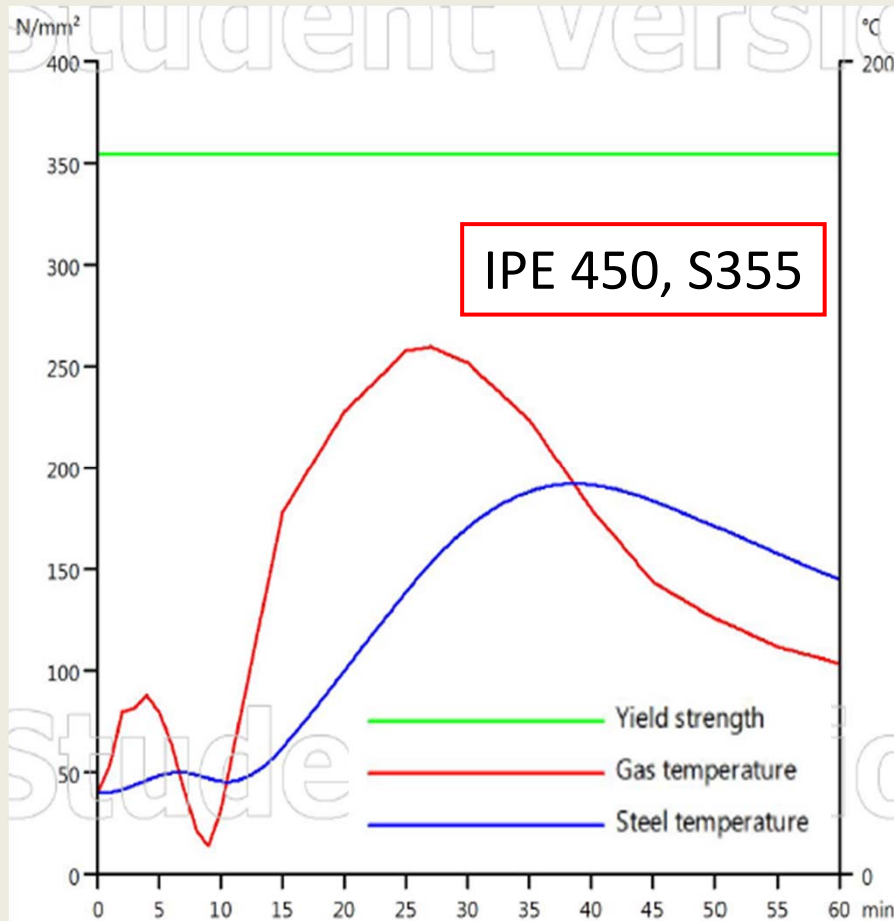
$$E_d = G_k + \psi_{2,1} Q$$

- vjetar $\psi_{2,1} = 0,0$
- snijeg ($H < 1000$ m.n.v.) $\psi_{2,1} = 0,0$



ANALIZA I PRORAČUN

- Dimenzioniranje - (HRN) EN 1993-1-2



ZAKLJUČAK

- Požar nije uzrokovao pojavu visokih temperatura, te nije došlo do gubitka mehaničkih svojstava nosive konstrukcije.
- Konzervativna analiza uz primjenu požarne ISO krivulje uzrokuje havariju konstrukcije te bi konstrukciju trebalo štiti za R60.
- Prikazane realne analize potvrđuju nalaze pregleda i upućuju na zaključak da je za ekonomično projektiranje čeličnih konstrukcija nužno čim realnije procijeniti razvoj požara.

