

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Kravos, M., 2015. Grafični vmesnik za določanje požarne odpornosti enostavnih konstrukcijskih elementov skladno s standardi Evrokod. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Hozjan, T., somentor Srpčič, S.): 78 str.

Datum arhiviranja: 01-04-2015

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Kravos, M., 2015. Grafični vmesnik za določanje požarne odpornosti enostavnih konstrukcijskih elementov skladno s standardi Evrokod. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Hozjan, T., co-supervisor Srpčič, S.): 78 pp.

Archiving Date: 01-04-2015

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM GRADBENIŠTVO
KONSTRUKCIJSKA SMER

Kandidat:

MARKO KRAVOS

**GRAFIČNI VMESNIK ZA DOLOČANJE POŽARNE
ODPORNOSTI ENOSTAVNIH KONSTRUKCIJSKIH
ELEMENTOV SKLADNO S STANDARDI EVROKOD**

Diplomska naloga št.: 3429/KS

**GRAPHICAL INTERFACE FOR DETERMINING FIRE
RESISTANCE OF SIMPLE TIMBER AND
REINFORCED CONCRETE STRUCTURAL ELEMENTS
IN ACCORDANCE WITH EUROCODE STANDARDS**

Graduation thesis No.: 3429/KS

Mentor:

doc. dr. Tomaž Hozjan

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

izr. prof. dr. Stanislav Srpčič

Član komisije:

prof. dr. Tatjana Isaković

Ljubljana, 27. 03. 2015

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Marko Kravos izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »Grafični vmesnik za določanje požarne odpornosti enostavnih konstrukcijskih elementov skladno s standardi Evrokod«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Nova Gorica, marec 2015

Marko Kravos

IZJAVA O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali učitelji konstrukcijske smeri:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	614.84:624.01(043.2)
Avtor:	Marko Kravos
Mentor:	doc. dr. Tomaž Hozjan
Somentor:	izr. prof. dr. Stanislav Srpčič
Naslov:	Grafični vmesnik za določanje požarne odpornosti enostavnih konstrukcijskih elementov skladno s standardi Evrokod
Tip dokumenta:	Dipl. nal. - UNI
Obseg in oprema:	78 str., 21 pregl., 47 sl., 67 en.
Ključne besede:	računalniški program, grafični vmesnik, požarne krivulje, poenostavljene požarne metode

Izvleček

V diplomski nalogi predstavimo avtorski računalniški program za določanje požarne odpornosti enostavnih lesenih in armiranobetonskih konstrukcijskih elementov skladno s standardi Evrokod. Program je izdelan v programskem okolju Matlab® R2013a z uporabo orodja za razvoj grafičnih uporabniških vmesnikov GUIDE. Kot možnosti požarnih obremenitev uporabimo več nominalnih in eno modelirano (parametrično) požarno krivuljo. V primeru armiranobetonskih elementov uporabimo za določitev upogibne odpornosti metodo izoterme 500°C. Razpored temperatur po prečnem prerezu med požarom določimo s temperaturno analizo, ki jo izvedemo v povezavi z vključenim programom Heatko (Hozjan, 2009). V primeru lesenih elementov odpornost določimo z metodo zmanjšane prečnega prereza in z metodo zmanjšanih materialnih karakteristik. Pri vsakem izračunu določimo začetno nosilnost in čas porušitve elementa pri kombinaciji vplivov za nezgodna projektna stanja. Nosilnost v odvisnosti od časa prikažemo na grafu. Program predstavimo z njegovo teoretično osnovo, navodili za uporabo in petimi različnimi primeri.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	614.84:624.01(043.2)
Author:	Marko Kravos
Supervisor:	Assist. Prof. Tomaž Hozjan, Ph.D.
Co-supervisor:	Assoc. Prof Stanislav Srpčič, Ph.D.
Title:	Graphical interface for determining fire resistance of simple timber and reinforced concrete structural elements in accordance with Eurocode standards
Document type:	Graduation Thesis – University Studies
Notes:	78 p., 21 tab., 47 fig., 67 eq.
Key words:	računalniški program, grafični vmesnik, požarne krivulje, poenostavljene požarne metode

Abstract:

The thesis introduces a computer program for determining fire resistance of simple timber and reinforced concrete structural elements in accordance with Eurocode standards. The program is developed in the programming environment Matlab® R2013a, using graphical user interface development tool named GUIDE. Thermal actions used in the program include a selection of nominal fire curves as well as one of the natural fire models – the parametric curve. The method used to determine fire resistance of reinforced concrete elements is the 500°C isotherm method. The temperature layout across the cross-section is determined by temperature analysis, which is done in conjunction with the implemented program Heatko (Hozjan, 2009). For timber elements the fire resistance is calculated by the reduced cross-section method and by the reduced properties method (simultaneously). The results for each calculation consist of initial capacity, time of failure and a graph displaying bearing capacity loss over time. The program is presented by its theoretical background, instructions for use and five different practical examples.

ZAHVALA

Za vso strokovno razlago, napotke in vzpodbudo se iskreno zahvaljujem mentorju doc. dr. Tomažu Hozjanu in somentorju izr. prof. dr. Stanislavu Srpčiču.

Za pomoč pri povezovanju programa Fido s programom Heatko se zahvaljujem Anžetu Egartu.

Iz srca se zahvaljujem družini, ki mi je tako v času izdelave diplomske naloge, kakor tudi v času celotnega študija, vedno stala ob strani.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
2 POSTOPKI PROJEKTIRANJA POŽARNOVARNIH KONSTRUKCIJ SKLADNO S STANDARDI EVROKOD	2
2.1 Metode dokazovanja	2
2.2 Kombinacije vplivov za nezgodna projektna stanja (požar)	2
2.3 Požarni scenarij	3
2.3.1 Standardna požarna krivulja	4
2.3.2 Požarna krivulja zunanjega požara.....	4
2.3.3 Ogljikovodikova požarna krivulja.....	4
2.3.4 Parametrična krivulja (modelirana).....	5
2.4 Poenostavljene računske metode za armiranobetonske nosilne elemente.....	9
2.4.1 Projektne vrednosti lastnosti materialov	9
2.4.1.1 Mehanske lastnosti	9
2.4.1.2 Toplotne lastnosti	10
2.4.2 Nosilnost elementa	10
2.4.2.1 Metoda izoterme 500°C.....	11
2.4.2.2 Toplotne in mehanske lastnosti betona in jekla za armiranje pri povišanih temperaturah	13
2.5 Poenostavljene računske metode za les.....	14
2.5.1 Projektne vrednosti lastnosti materialov	14
2.5.2 Metoda z zmanjšanim prečnim prerezom	15
2.5.3 Metoda z zmanjšanimi materialnimi karakteristikami	17
2.5.4 Oglenenje lesa v primeru standardnega požara	18
2.5.5 Oglenenje lesa pri parametrični požarni izpostavljenosti.....	19
3 PROGRAM FIDO	21
3.1 Diagrami poteka	21
3.1.1 Uporabniški algoritem: armiranobetonski elementi	22

3.1.2 Uporabniški algoritem: leseni elementi	23
3.1.3 Algoritem glavnega izračuna: armiranobetonski elementi	24
3.1.4 Algoritem glavnega izračuna: les	25
3.2 Uporaba programa Fido.....	26
3.2.1 Namestitvev, zagon in začetek uporabe.....	26
3.2.2 Vmesnik za računanje armiranobetonskih elementov	27
3.2.2.1 Vnos podatkov: Element.....	29
3.2.2.2 Vnos podatkov: Način določitve poteka temperatur.....	31
3.2.2.3 Vnos podatkov: Trajanje temperaturne analize	32
3.2.2.4 Vnos podatkov: Temperaturna analiza	32
3.2.2.5 Vnos podatkov: Ročni vnos temperatur.....	34
3.2.2.6 Mehanska analiza in prikaz rezultatov.....	35
3.2.3 Vmesnik za računsko analizo lesenih elementov v požaru.....	38
3.2.3.1 Vnos podatkov: Element.....	40
3.2.3.2 Vnos podatkov: Požarni scenarij	41
3.2.3.3 Mehanska analiza in prikaz rezultatov.....	41
3.2.4 Ostalo.....	42
3.2.4.1 Parametrična krivulja.....	42
3.2.4.2 Shranjevanje in odpiranje primerov	44
4 PRIMERI	45
4.1 Primer 1: Armiranobetonski nosilec	45
4.1.1 Vhodni podatki za ročni izračun.....	46
4.1.2 Ročni izračun požarne odpornosti AB nosilca	47
4.1.3 Izračun s programom Fido.....	52
4.2 Primer 2: Primerjava natančnosti končnega izračuna pri uporabi milimetrске in centimetrске mreže za določitev nadomestnega prečnega prereza betonskega prereza	56
4.3 Primer 3: Požarna odpornost lesenega nosilca	59
4.3.1 Ročni izračun.....	59

4.3.1.1 Metoda zmanjšanega efektivnega prečnega prereza ($t = 45$ min)	60
4.3.1.2 Metoda zmanjšanih materialnih karakteristik ($t = 45$ min)	61
4.3.2 Izračun s programom Fido	63
4.4 Primer 4: Požarna odpornost lesenega stebra.....	65
4.4.1 Ročni izračun.....	66
4.4.1.1 Metoda zmanjšanega efektivnega prečnega prereza ($t = 45$ min)	66
4.4.1.2 Metoda zmanjšanih materialnih karakteristik ($t = 45$ min)	67
4.4.2 Izračun s programom Fido	69
4.5 Primer 5: Vpliv različnega prezračevanja v požarnem sektorju na upogibno nosilnost lesenega prostoležečega nosilca	71
4.5.1 Izračun potrebnih vhodnih podatkov za parametrično analizo.....	72
4.5.2 Izračun s programom.....	72
5 ZAKLJUČEK.....	76
6 ZGOŠČENKA S PROGRAMOM.....	77

KAZALO SLIK

Slika 1: Faze požarnega scenarija.....	3
Slika 2: Požarne krivulje v skladu s standardom SIST EN 1992-1-2:2002.....	9
Slika 3: Primer upogibne obremenitve pri požarnem projektnem stanju	12
Slika 4: Redukcijski faktor za karakteristično trdnost jekla za armiranje pri povišanih temperaturah skladno s SIST EN 1992-1-2:2005	13
Slika 5: Efektivni in rezidualni prečni prerez v skladu s standardom SIST EN 1995-1-2:2005	16
Slika 6: Vrednosti faktorja k_0 po SIST EN 1995-1-2:2005	16
Slika 7: Okno z osnovnimi podatki in pogoji uporabe	26
Slika 8: Okno za izbiro konstrukcijskega materiala	27
Slika 9: Glavno okno za armiranobetonske elemente.....	28
Slika 10: Vnos podatkov o elementu.....	29
Slika 11: Direktn vnos notranjih sil	30
Slika 12: Prikaz izbranega prečnega prereza.....	31
Slika 13: Izbira načina delovanja programa	31
Slika 14: Sprememba funkcije gumba.....	32
Slika 15: Spreminjanje končnega časa trajanja analize pri računu s temperaturno analizo.....	32
Slika 16: Okno za izbiro požarnega scenarija	33
Slika 17: Statusna vrstica temperaturne analize	34
Slika 18: Okno za ročni vnos temperatur v armaturi in debeline betona zunaj izoterme 500°C	34
Slika 19: Rezultati mehanske analize AB elementa po temperaturni analizi	37
Slika 20: Prikaz rezultatov temperaturne analize	38
Slika 21: Glavno okno vmesnika za lesene elemente.....	39
Slika 22: Vnos podatkov o lesenem elementu.....	40
Slika 23: Izbira požarne krivulje; pri lesu sta na voljo samo dve opciji.....	41
Slika 24: Rezultati mehanske analize lesenega elementa	42
Slika 25: Izbira parametrične krivulje	43
Slika 26: Grafični podatki obravnavanega prostoležečega nosilca	45
Slika 27: Upogibna nosilnost elementa med standardnim požarom po metodi izoterme 500°C.....	52
Slika 28: Vneseni vhodni podatki o elementu, obtežbi in požarnem scenariju	53
Slika 29: Rezultati mehanske analize obravnavanega primera.....	54
Slika 30: Primerjava peš izračuna s tistim iz programa.....	55
Slika 31: Grafični podatki obravnavanega primera	56
Slika 32: Efektiven betonski prerez pri centimetrski in milimetrski mreži	57
Slika 33: Efektivna širina b_{fi} s centimetrsko mrežo (levo) in milimetrsko mrežo (desno).....	58

Slika 34: Upogibna nosilnost obravnavanega primera s centimetrsko mrežo in milimetrsko mrežo ...	58
Slika 35: Primer nosilca iz lameliranega lepljenega lesa	59
Slika 36: Graf izračunanih vrednosti.....	62
Slika 37: Vneseni vhodni podatki o elementu, obtežbi in požarnem scenariju.....	63
Slika 38: Rezultati izračuna iz programa	64
Slika 39: Grafični prikaz podatkov obravnavanega stebra.....	65
Slika 40: Graf izračunanih vrednosti.....	69
Slika 41: Vneseni vhodni podatki o elementu, obtežbi in požarnem scenariju.....	70
Slika 42: Primerjava peš izračuna s tistim iz programa	70
Slika 43: Kontinuirani nosilec preko treh polj dolžine 5 m	71
Slika 44: Ponazoritev požarnega sektorja z obravnavanim nosilcem	72
Slika 45: Primerjava parametričnih krivulj pri različnih površinah vertikalnih odprtih A_v	74
Slika 46: Upogibna nosilnost obravnavanega lesenega elementa pri različnih velikostih odprtih A_v z metodo zmanjšane prečnega prereza.....	75
Slika 47: Upogibna nosilnost obravnavanega lesenega elementa pri različnih velikostih odprtih A_v z metodo zmanjšanih materialnih karakteristik	75

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Karakteristična gostota požarne obtežbe $q_{f,k}$	7
Preglednica 2: Faktor nevarnosti nastanka požara glede na velikost prostora δ_{q1}	7
Preglednica 3: Faktor nevarnosti nastanka požara glede na namen uporabe prostora δ_{q2}	7
Preglednica 4: Vrednosti faktorjev δ_{ni} , za zajem aktivnih ukrepov gašenja.....	8
Preglednica 5: Redukcijski faktor upogibne nosilnosti za betone visoke trdnosti k_m	12
Preglednica 6: Vrednosti faktorja k_{fi}	15
Preglednica 7: Hitrosti oglenenja β_n za različne tipe lesa.....	19
Preglednica 8: Prikaz zapisa podatkov v datoteki BAZA_BETON.txt.....	28
Preglednica 9: Prikaz zapisa podatkov v datoteki BAZA_AR_JEKLO.txt.....	28
Preglednica 10: Prikaz zapisa tekstovne datoteke input_fire.txt z označbami stolpcev.....	33
Preglednica 11: Prikaz zapisa podatkov v datoteki BAZA_LES.txt.....	39
Preglednica 12: Omejitve pri parametrični krivulji.....	44
Preglednica 13: Širina betona, ki ga pri računu nosilnosti zanemarimo (y_{T500}) in efektivna širina prereza (b_{fi}).....	46
Preglednica 14: Temperature na mestih armaturnih palic [°C].....	46
Preglednica 15: Vrednosti redukcijskih faktorjev $k_s(T)$	47
Preglednica 16: Predstavitev rezultatov v preglednici.....	52
Preglednica 17: Primerjava med temperaturami v zgornji armaturi iz programa Fido ter odčitanimi temperaturami iz temperaturnih profilov.....	54
Preglednica 18: Primerjava med temperaturami v spodnji armaturi iz programa Fido ter odčitanimi temperaturami iz temperaturnih profilov.....	55
Preglednica 19: Rezultati za obe uporabljeni metodi.....	62
Preglednica 20: Rezultati za obe uporabljeni metodi.....	68
Preglednica 21: Rezultati parametričnih krivulj in upogibne nosilnosti obravnavanega lesenega elementa.....	73

1 UVOD

Pri zagotavljanju nosilnosti gradbenih konstrukcij je treba upoštevati vse vplive, ki tekom življenjske dobe posameznega objekta nanj delujejo. Vplive v splošnem razdelimo na stalne, spremenljive ter nezgodne. Slednji so sicer redki, vendar je njihovo upoštevanje ključnega pomena pri zagotavljanju splošne varnosti objektov. Eden od takšnih nezgodnih vplivov je požar. Z naraščanjem temperatur ter posledičnim nastajanjem poškodb elementov konstrukcije se nosilnost zmanjšuje, deformabilnost pa povečuje. Problem rešujemo z načrtovanjem požarne odpornosti, s katero zagotavljamo čas, v katerem konstrukcija ohranja potrebno nosilnost.

Požarno odpornost gradbenih konstrukcij določamo na dva načina, eksperimentalno ter računsko. Zaradi dolgega trajanja in visokih cen eksperimentov se običajno poslužujemo računskih metod ali t.i. požarnih analiz. Evropski standardi Evrokod ločijo napredne in poenostavljene računske metode. Napredne računske metode so zahtevne in obširne in v večini primerov še vedno prezapletene za vsakodnevno uporabo. V praksi zato pogosteje uporabljamo poenostavljene računske metode. Te omogočajo približno oceno nosilnosti enostavnih elementov, kot so nosilci in stebri, pri požarni obremenitvi. Poenostavljene računske metode so opredeljene v standardih SIST EN 1992-1-2:2005 za betonske konstrukcije, SIST EN 1993-1-2:2005 za jeklene konstrukcije, SIST EN 1994-1-2:2005 za sovprežne konstrukcije iz jekla in betona ter v SIST EN 1995-1-2:2005 za lesene konstrukcije.

Cilj diplomske naloge je bil, izdelati program z grafičnim vmesnikom, ki bo omogočal izračun nosilnosti enostavnih lesenih in armiranobetonskih konstrukcijskih elementov pri požarni obremenitvi na osnovi poenostavljenih računskih metod. Razviti je bilo treba programski vmesnik, ki bo omogočal nadaljnji razvoj in morebitne posodobitve, ob tem pa ustvariti uporabniku prijazno in intuitivno okolje.

Pri izračunu program upošteva in združuje določila, ki jih predpisujejo Evrokodi v okviru poenostavljenih računskih metod. Za določanje vpliva požara na konstrukcije je uporabljen standard SIST EN 1991-1-2:2004, za določitev požarne odpornosti armiranobetonskih konstrukcijskih elementov standard SIST EN 1992-1-2:2005 ter za lesene elemente standard SIST EN 1995-1-2:2005. Namen je, v enem programu združiti vsa določila, ki jih predpisujejo Evrokodi, in s tem olajšati delo ter približati uporabo poenostavljenih metod študentom in projektantom.

Diplomska naloga je, poleg uvoda, sestavljena še iz štirih poglavij. V drugem poglavju predstavimo postopke projektiranja požarnovarnih konstrukcij v skladu s standardi SIST EN 1991-1-2:2004, SIST EN 1992-1-2:2005 ter SIST EN 1995-1-2:2005. V tretjem poglavju sledi predstavitev samega programa, njegovo delovanje in zgradba ter navodila za uporabo. V četrtem poglavju so prikazani praktični primeri, izračunani z običajno uporabo omenjenih metod ter z uporabo programa. Ob vsakem primeru so dodani še komentarji in primerjave.

2 POSTOPKI PROJEKTIRANJA POŽARNOVARNIH KONSTRUKCIJ SKLADNO S STANDARDI EVROKOD

2.1 Metode dokazovanja

Pri analizi požarne varnosti konstrukcije oziroma njenega dela se poslužujemo računskega modela konstrukcijskega sistema, za katerega moramo dokazati, da v celotnem času t izpostavljenosti požaru velja:

$$R_{d,t,fi} \geq E_{d,t,fi}, \quad (2.1)$$

kjer je $E_{d,t,fi}$ projektni učinek zunanjih vplivov v požarnem projektnejem stanju (SIST EN 1991-1-2:2004), $R_{d,t,fi}$ pa pripadajoča projektna odpornost v požarnem projektnejem stanju, odvisna od materiala in drugih specifikacij obravnavane konstrukcije. Požarna odpornost elementov gradbenih konstrukcij je v standardih definirana kot sposobnost zagotavljanja funkcij nosilnosti (R), celovitosti (E) in izolativnosti (I) za nek vnaprej določen čas.

Zahtevo (2.1) lahko zapišemo tudi kot časovno zahtevo:

$$t_{d,fi} \geq t_{fi,requ}, \quad (2.2)$$

kjer je $t_{d,fi}$ projektna vrednost požarne odpornosti, $t_{fi,requ}$ pa zahtevan čas požarne odpornosti.

2.2 Kombinacije vplivov za nezgodna projektna stanja (požar)

Kombinacijo vplivov za nezgodna projektna stanja, med katera spada tudi požar, zapišemo z izrazom, definiranim v standardu SIST EN 1990:2004:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_d + (\psi_{1,1} \text{ ali } \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}, \quad (2.3)$$

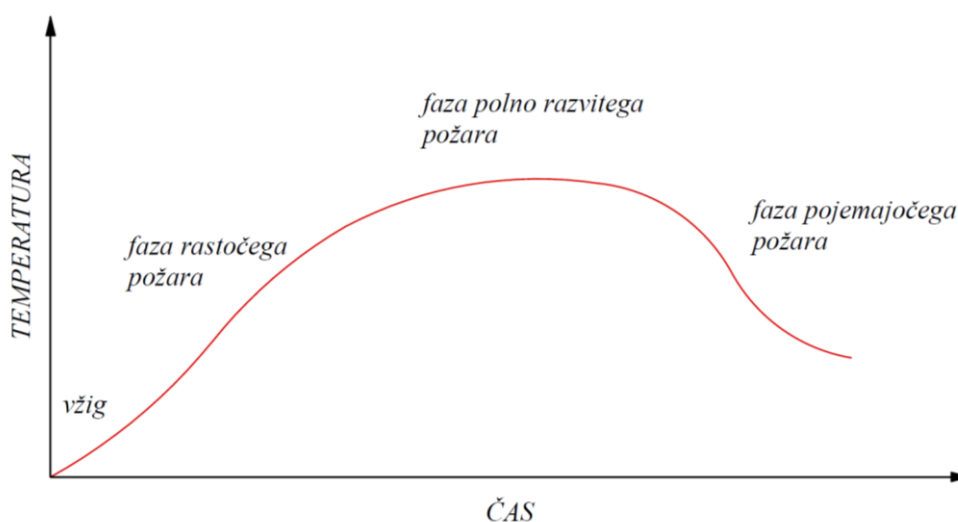
kjer $G_{k,j}$ predstavlja vse stalne vplive, A_d predstavlja vpliv požara, $Q_{k,1}$ predstavlja prevladujoči spremenljivi vpliv in $Q_{k,i}$ ($i > 1$) predstavlja druge spremenljive vplive zunanjih obtežb. Vrednosti faktorjev Ψ_1 in Ψ_2 so podane v standardu SIST EN 1990:2004 v obliki preglednice. Skladno z nacionalnim dodatkom, ki privzema priporočilo iz standarda, prevladujoči spremenljivi vpliv $Q_{k,1}$ kombiniramo s faktorjem za pogosto obtežbo Ψ_1 .

Za določitev vplivov pri projektiranju požaru izpostavljenih objektov se poslužujemo standarda SIST EN 1991-1-2:2004. V njem so definirani različni požarni scenariji in uporaba požarnih krivulj.

V naslednjem poglavju predstavimo koncept požarnega scenarija in požarnih krivulj, v poglavju 2.4 prikažemo poenostavljen postopek za določitev nosilnosti armiranobetonskih elementov skladno s standardom SIST EN 1992-1-2:2005, v poglavju 2.5 pa poenostavljen postopek za določitev nosilnosti lesenih elementov skladno s standardom SIST EN 1995-1-2:2005.

2.3 Požarni scenarij

Požarni scenarij je fazni opis poteka požara, iz katerega so razvidni vsi bistveni dogodki, zaradi katerih se obravnavani požar razlikuje od drugih. Dogodki ali faze si časovno sledijo od začetka požara preko faze polno razvitega požara do faze ohlajanja oziroma pojemajočega požara (slika 1).



Slika 1: Faze požarnega scenarija

Zaradi različnih dejavnikov, ki vplivajo na potek posameznega požara ter potrebe po čim večji ekonomičnosti pri analizi požarne odpornosti, so bile razvite poenostavljene metode za opisovanje jakosti požara v obliki različnih požarnih krivulj. Te podajajo spreminjanje temperature plinov v okolici elementa kot funkcijo časa. Ločimo med:

- **nominalnimi požarnimi krivuljami:** standardna krivulja, krivulja zunanjega požara, ogljikovodikova krivulja
- **modeliranimi požarnimi krivuljami:** poenostavljeni in naprednejši modeli.

Program, opisan v tej diplomski nalogi, omogoča poleg uporabe nominalnih krivulj tudi uporabo parametrične krivulje, ki predstavlja poenostavljen model naravnega požara. Definiramo jo z različnimi fizikalnimi parametri, ki opisujejo pogoje v obravnavanem požarnem sektorju.

2.3.1 Standardna požarna krivulja

Standardna požarna krivulja, predstavlja polno razvit požar v požarnem sektorju s požarno obtežbo celuloznega tipa. Zapišemo jo z izrazom:

$$T_g = 20 + 345 \cdot \log_{10}(8 \cdot t + 1), \quad (2.4)$$

kjer je T_g temperatura plinov v okolici elementa v °C, t pa je čas v minutah.

2.3.2 Požarna krivulja zunanjega požara

Požarna krivulja zunanjega požara predstavlja model požara za zunanji del ločilnih zunanjih sten, ki so lahko izpostavljene požaru iz različnih smeri. Definirana je z izrazom:

$$T_g = 660 \cdot (1 - 0.687 \cdot e^{-0.32 \cdot t} - 0.313 \cdot e^{-3.8 \cdot t}) + 20, \quad (2.5)$$

kjer je T_g temperatura plinov v okolici elementa v °C, t pa je čas v minutah.

2.3.3 Ogljikovodikova požarna krivulja

Ogljikovodikova požarna krivulja predstavlja model polno razvitega požara v sektorju v primeru gorenja ogljikovodikov. Njen potek je definiran z izrazom:

$$T_g = 1080 \cdot (1 - 0.325 \cdot e^{-0.167 \cdot t} - 0.675 \cdot e^{-2.5 \cdot t}) + 20, \quad (2.6)$$

kjer je T_g temperatura plinov v okolici elementa v °C, t pa je čas v minutah.

2.3.4 Parametrična krivulja (modelirana)

Parametrična krivulja je poenostavljen model naravnega požara in predstavlja temperaturo plinov v sektorju kot funkcijo časa. Definiramo jo z zgolj nekaterimi odločilnimi parametri, ki opisujejo karakteristike požarnega sektorja in samega požara: površina sektorja, velikost in višina odprtin, toplotne lastnosti materiala oboda, gostota požarne obremenitve, hitrost razvoja požara, ... Pri tem talna površina sektorja ne sme presegati 500 m², strop mora biti brez odprtin, višina stropa pa je lahko največ 4 m. Predpostavljeno je, da požarna obremenitev izgori v celoti. Krivulja temperatura-čas je za fazo segrevanja definirana z naslednjim izrazom:

$$T_g = 1325 \cdot (1 - 0.324 \cdot e^{-0.2 \cdot t^*} - 0.204 \cdot e^{-1.7 \cdot t^*} - 0.472 \cdot e^{-19 \cdot t^*}) + 20, \quad (2.7)$$

kjer je T_g temperatura plinov v požarnem sektorju v °C, t^* pa je reducirana časovna koordinata, definirana z naslednjim izrazom:

$$t^* = t \cdot \Gamma. \quad (2.8)$$

Pri tem je t čas v urah. Brezdimenzijski parameter Γ zajema geometrijske in materialne lastnosti oboda požarnega sektorja in je podan z izrazom:

$$\Gamma = \frac{\left(\frac{O}{b}\right)^2}{\left(\frac{0.04}{1160}\right)^2} = 841 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{O}{b}\right)^2. \quad (2.9)$$

O je faktor odprtin v m^{1/2}, b [J/(m² s^{1/2} K)] pa upošteva toplotne lastnosti materiala oboda. Izračunamo ju z enačbama:

$$O = A_v \cdot \sqrt{h_{eq} / A_t}, \quad (2.10)$$

$$b = \sqrt{\rho \cdot c \cdot \lambda}, \quad (2.11)$$

pri čemer je A_v celotna površina vertikalnih odprtin v vseh stenah v m², h_{eq} je uteženo povprečje višin oken v vseh stenah v metrih, A_t je celotna površina oboda v m² (t.j. sten, stropov in tal vključno z odprtinami), ρ je gostota ločilnega oboda v kg/m³, c je specifična toplota v J/kgK, λ pa je toplotna prevodnost oboda v W/mK. Uteženo višino vseh oken v sektorju izračunamo z izrazom:

$$h_{eq} = \sum_i \frac{A_i \cdot h_i}{A}, \quad (2.12)$$

kjer je A_i površina okna i v m², h_i višina okna i v m, A pa skupna površina vseh oken v m².

V fazi segrevanja nastopi najvišja temperatura plina T_{\max} pri času $t^* = t_{\max}^*$. Čas t_{\max}^* izračunamo z enačbo:

$$t_{\max}^* = t_{\max} \cdot \Gamma, \quad (2.13)$$

$$t_{\max} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0.0002 \cdot \frac{q_{t,d}}{O} \\ t_{\lim} \end{array} \right. . \quad (2.14)$$

Pri tem je $q_{t,d}$ projektna vrednost gostote požarne obremenitve v MJ/m², t_{\lim} pa čas v urah, ki je odvisen od predvidene hitrosti razvoja požara. Določata ju naslednji enačbi:

$$q_{t,d} = q_{f,d} \cdot A_f/A_t, \quad \text{omejitev: } 50 \leq q_{t,d} \leq 1000 \text{ MJ/m}^2 \quad (2.15)$$

$$t_{\lim} = \begin{cases} 25 \text{ min} & \text{za počasi razvijajoč se požar,} \\ 20 \text{ min} & \text{za srednje hitro razvijajoč se požar,} \\ 15 \text{ min} & \text{za hitro razvijajoč se požar.} \end{cases} \quad (2.16)$$

A_f je površina tal sektorja v m², $q_{f,d}$ pa projektna vrednost gostote požarne obremenitve, predstavljena v nadaljevanju. Kadar je $t_{\max} = t_{\lim}$, se čas t^* v enačbi (2.8) nadomesti z izrazom:

$$t^* = t \cdot \Gamma_{\lim}, \quad (2.17)$$

$$\Gamma_{\lim} = \begin{cases} k \cdot \frac{\left(\frac{O_{\lim}}{b}\right)^2}{\left(\frac{0.04}{1160}\right)^2} & \text{če je } O > 0.04 \text{ in } q_{t,d} < 75 \text{ in } b < 1160, \\ \frac{\left(\frac{O_{\lim}}{b}\right)^2}{\left(\frac{0.04}{1160}\right)^2} & \text{sicer.} \end{cases} \quad (2.18)$$

Pri tem je O_{\lim} podan z izrazom:

$$O_{\lim} = 0.0001 \cdot q_{t,d} / t_{\lim}, \quad (2.19)$$

faktor k pa z:

$$k = 1 + \left(\frac{O - 0.04}{0.04}\right) \cdot \left(\frac{q_{t,d} - 75}{75}\right) \cdot \left(\frac{1160 - b}{1160}\right). \quad (2.20)$$

Parameter $q_{f,d}$ v enačbi (2.15) predstavlja projektno vrednost gostote požarne obremenitve v MJ/m² in ga izračunamo z enačbo:

$$q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n, \quad (2.21)$$

$$\delta_n = \prod_{i=1}^{10} \delta_{n,i}. \quad (2.22)$$

Pri tem je $q_{f,k}$ karakteristična vrednost gostote požarne obtežbe v MJ/m² (preglednica 1), m je faktor izgorevanja (za pretežno celulozne materiale predpostavimo $m = 0.8$), δ_{q1} je faktor, ki upošteva nevarnost nastanka požara glede na velikost sektorja (preglednica 2), δ_{q2} je faktor, ki upošteva nevarnost požara glede na rabo (preglednica 3), δ_n je faktor, ki upošteva uporabo različnih aktivnih ukrepov gašenja (preglednica 4).

Preglednica 1: Karakteristična gostota požarne obtežbe $q_{f,k}$ v MJ/m² iz SIST EN 1991-1-2:2004 (dodatek E)

Raba	Povprečje	80% kvantil
Stanovanje	780	948
Bolnišnice (sobe)	230	280
Hoteli (sobe)	230	377
Knjižnice	1500	1824
Pisarne	420	511
Šolski razredi	285	347
Nakupovalna središča	600	730
Dvorane (kino)	300	365
Transport (javni prostori)	100	122

Preglednica 2: Faktor nevarnosti nastanka požara glede na velikost prostora δ_{q1} iz SIST EN 1991-1-2:2004 (dodatek E)

Talna površina sektorja A_f [m ²]	δ_{q1}
25	1.1
250	1.5
2500	1.9

Preglednica 3: Faktor nevarnosti nastanka požara glede na namen uporabe prostora δ_{q2} iz SIST EN 1991-1-2:2004 (dodatek E)

Primeri rabe prostora	δ_{q2}
Galerije, muzeji, plavalni bazeni	0.78
Pisarne, bivališča, hoteli, papirna industrija	1.00
Tovarne strojev in motorjev	1.22
Kemični laboratoriji, slikarske delavnice	1.44
Proizvodnje pirotehnike, Tovarne barv	1.66

Preglednica 4: Vrednosti faktorjev δ_{ni} , za zajem aktivnih ukrepov gašenja iz SIST EN 1991-1-2:2004 (dodatek E)

δ_{ni} – faktorji aktivnih ukrepov gašenja				
Ukrepi avtomatskega gašenja	Avtomatski gasilni sistem	δ_{n1}		0.61
	Neodvisna preskrba z vodo	0	δ_{n2}	1.00
		1		0.87
		2		0.70
Avtomatsko zaznavanje požara	Avtomatsko zaznavanje požara in alarm	po toploti	δ_{n3}	0.87
		po dimu	δ_{n4}	0.73
	Avtomatsko javljanje gasilski enoti	δ_{n5}		0.87
Ukrepi za gašenje	Notranja gasilska enota	δ_{n6}		0.61
	Zunanja gasilska enota	δ_{n7}		0.78
	Varne dostopne poti	nadtlak v stopnišču	δ_{n8}	0.90
		so predvidene		1.00
		niso predvidene		1.50
	Pripomočki za gašenje	so predvideni	δ_{n9}	1.00
		niso predvideni		1.50
	Sistem za odvajanje dima	so predvideni	δ_{n10}	1.00
		niso predvideni		1.50

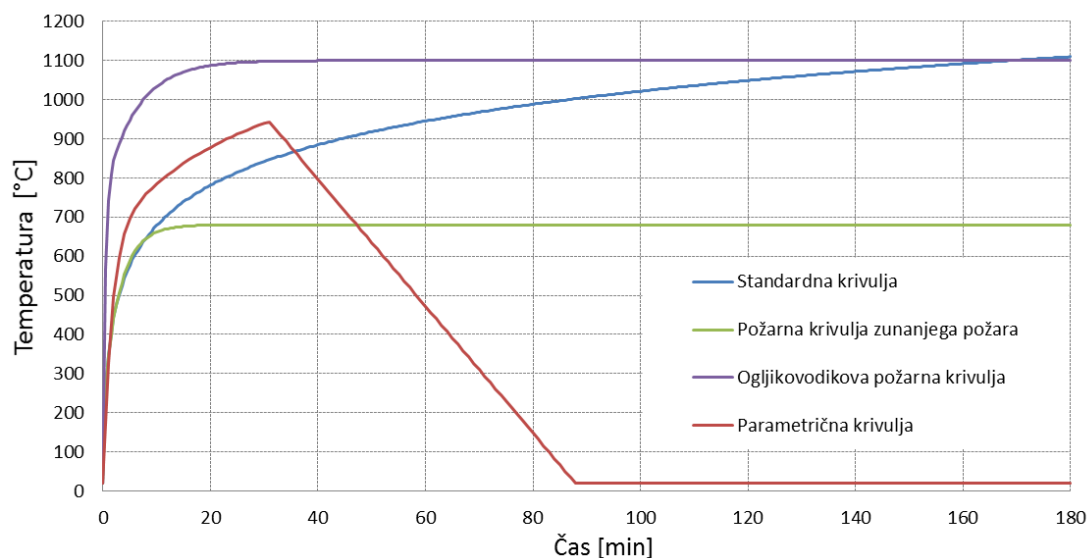
Parametrična krivulja ima razen faze segrevanja tudi fazo ohlajanja, za katero je podana krivulja temperatura-čas z naslednjo enačbo:

$$T_g = \begin{cases} T_{\max} - 625 \cdot (t^* - t^*_{\max} \cdot x) & \text{za } t^*_{\max} \leq 0.5, \\ T_{\max} - 250 \cdot (3 - t^*_{\max}) \cdot (t^* - t^*_{\max} \cdot x) & \text{za } 0.5 < t^*_{\max} < 2, \\ T_{\max} - 250 \cdot (t^* - t^*_{\max} \cdot x) & \text{za } t^*_{\max} \geq 2. \end{cases} \quad (2.23)$$

Pri tem je:

$$t^*_{\max} = 0.0002 \cdot q_{t,d} / O \cdot \Gamma \quad \text{in} \quad (2.24)$$

$$x = \begin{cases} 1 & \text{za } t_{\max} > t_{\text{lim}}, \\ \frac{t_{\text{lim}} \cdot \Gamma}{t^*_{\max}} & \text{za } t_{\max} = t_{\text{lim}}, \end{cases} \quad (2.25)$$



Slika 2: Požarne krivulje v skladu s standardom SIST EN 1992-1-2:2002

2.4 Poenostavljene računske metode za armiranobetonske nosilne elemente

Poenostavljene računske metode projektiranja so namenjene približni oceni požarne odpornosti enostavnih konstrukcijskih elementov, sestavljene pa so iz treh ločenih delov, in sicer iz požarnega scenarija, temperaturne analize in mehanske analize. Program, predstavljen v tej diplomski nalogi, zajema vse tri, s tem da se temperaturna analiza izvede s pomočjo programa HEATKO (Hozjan, 2009). V nadaljevanju je prikazana analiza upogibne nosilnosti, še prej pa projektne vrednosti lastnosti materialov.

2.4.1 Projektne vrednosti lastnosti materialov

2.4.1.1 Mehanske lastnosti

Projektne vrednosti mehanskih (trdnostnih in deformacijskih) lastnosti materiala izračunamo na naslednji način:

$$X_{d,fi} = k_T \cdot \frac{X_k}{\gamma_{M,fi}}. \quad (2.26)$$

Pri tem je X_k karakteristična vrednost mehanske lastnosti materiala za projektiranje pri običajni temperaturi, k_T je temperaturno odvisni redukcijski faktor trdnosti ali deformabilnosti, $\gamma_{M,fi}$ pa je delni varnostni faktor za ustrezno lastnost materiala v požarnem projektne stanju. Skladno s standardom SIST EN 1992-1-2:2005 je $\gamma_{M,fi}$ za mehanske lastnosti betona, jekla za armiranje in jekla za prednapenjanje enak 1.

2.4.1.2 Toplotne lastnosti

Projektne vrednosti toplotnih lastnosti materiala izračunamo z izrazom:

$$X_{d,fi} = \frac{X_{k,T}}{\gamma_{M,fi}} \quad \text{ozioroma} \quad X_{d,fi} = \gamma_{M,fi} \cdot X_{k,T} \quad (2.27)$$

Enačba (2.27) je zapisana v dveh oblikah, med katerima izbiramo glede na ugoden oziroma neugoden vpliv spremembe toplotne lastnosti na varnost. Oznaka $X_{k,T}$ predstavlja vrednost toplotne lastnosti materiala v požarnem projektne stanju, ki je v splošnem odvisna od temperature, $\gamma_{M,fi}$ pa je delni varnostni faktor za ustrezno lastnost materiala v požarnem projektne stanju. Skladno s standardom SIST EN 1992-1-2:2005 je $\gamma_{M,fi}$ za toplotne lastnosti betona, jekla za armiranje in jekla za prednapenjanje enak 1.

2.4.2 Nosilnost elementa

Standard SIST EN 1992-1-2:2005 dovoljuje uporabo treh načinov za zagotavljanje pogoja iz enačbe (2.1). Prvi način je z upoštevanjem v standardu predpisanih rešitev, ki so zasnovane tako, da preprečujejo morebitno luščenje betona in prekomerno segrevanje armaturnih palic. Pri drugem načinu odpornost armiranobetonskega nosilca izračunamo z eno izmed poenostavljenih računskih metod. Tretji način pa predvideva uporabo naprednih računskih metod za simulacijo obnašanja konstrukcije ali njenega dela.

V nadaljevanju je natančneje predstavljena poenostavljena metoda izoterme 500°C. Ta metoda je tudi uporabljena v programskem vmesniku.

2.4.2.1 Metoda izoterme 500°C

Osnovna ideja metode izoterme 500°C je, da pri računu odpornosti betonskega elementa zanemarimo tisti (zunanji) del prečnega prereza, pri katerem je temperatura večja od 500°C. Metodo uporabljamo pri armiranih in prednapetih elementih, ki so obremenjeni z osno, upogibno ali kombinirano obtežbo. Za razvoj temperature v okolici elementa lahko upoštevamo nominalne in parametrične požarne krivulje.

Osno-upogibno odpornost armiranobetonskega elementa po tej metodi izračunamo kot prispevek tlačnega betona ter natezne in tlačne vzdolžne armature. Za razliko od nosilnosti pri običajnih temperaturah pri tem upoštevamo samo tisti del betonskega prereza, v katerem temperatura ne presega 500°C. V delu prereza, kjer je temperatura nižja od 500°C, upoštevamo polno tlačno trdnost oziroma tlačno trdnost pri sobni temperaturi, kjer je temperatura višja od 500°C pa tlačno trdnost betona v celoti zanemarimo. Do zmanjšanja osno-upogibne nosilnosti elementa pride razen oslabitve betonskega dela tudi zaradi segrevanja vzdolžne armature. Prispevek posameznih palic k nosilnosti zmanjšamo skladno s temperaturno odvisnimi redukcijskimi faktorji. V nadaljevanju metodo izoterme 500°C predstavimo še z enačbami.

Predpostavimo, da je prečni prerez armiranobetonskega nosilca obremenjen z osno silo $N_{Ed,t,fi}$ in upogibnim momentom $M_{Ed,t,fi}$. Ob pogoju ravnotežja osnih sil v prečnem prerezu:

$$N_s - N'_s - N_c - N_{Ed,t,fi} = 0, \quad (2.28)$$

izračunamo lego nevtralne osi x :

$$x = \frac{N_s - N'_s - N_{Ed,t,fi}}{0.8 \cdot b_{fi} \cdot f_{cd}}. \quad (2.29)$$

Pri tem je b_{fi} reducirana širina prečnega prereza, f_{cd} pa projektna tlačna trdnost betona pri sobni temperaturi. N_s in N'_s sta sili v natezni oziroma tlačni armaturi, N_c pa je rezultanta tlačnih napetosti v betonskem delu prečnega prereza, izračunana ob predpostavki, da je potek teh napetosti konstanten. Nosilnost natezne oziroma tlačne vzdolžne armature izračunamo z naslednjimi izrazi:

$$N_s = \sum_i A_{s,i} \cdot f_{sd,fi,i}, \quad (2.30)$$

$$N'_s = \sum_j A'_{s,j} \cdot f'_{sd,fi,j}, \quad (2.31)$$

kjer sta $f_{sd,fi}$ in $f'_{sd,fi}$ od temperature odvisni trdnosti i -te natezne oziroma j -te tlačne vzdolžne armature palice med požarom. Izračunamo ju z naslednjima izrazoma:

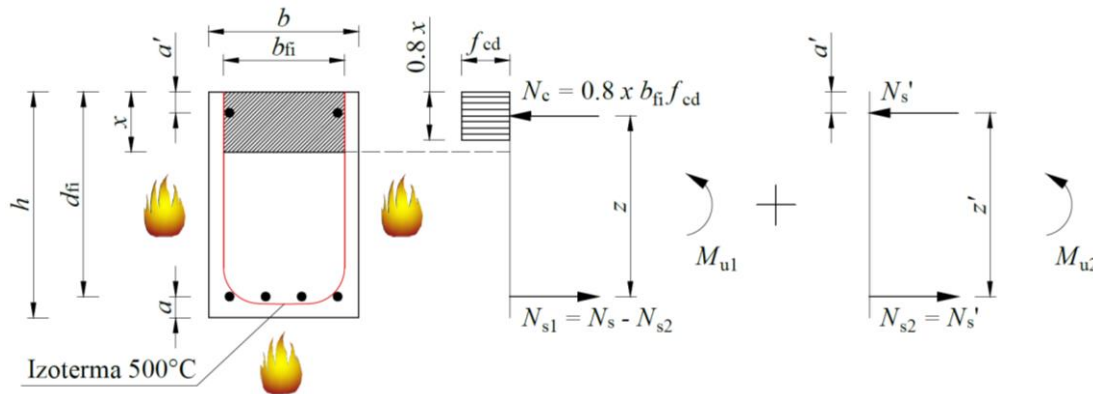
$$f_{sd,fi,i} = k_{s,T,i} \cdot \frac{f_{yk,i}}{\gamma_{s,fi}} \quad \text{in} \quad f_{sd,fi,j} = k_{s,T,j} \cdot \frac{f_{yk,j}}{\gamma_{s,fi}}, \quad (2.32)$$

kjer sta $k_{s,T,i}$ in $k_{s,T,j}$ od temperature odvisna redukcijska faktorja trdnosti natezne oziroma tlačne armature (slika 4).

Upogibno odpornost prečnega prereza, ki torej temelji na efektivnem betonskem prerezu in reducirani nosilnosti vzdolžne armature, izračunamo z naslednjim izrazom:

$$M_{500} = M_{u1} + M_{u2} = N_c \cdot z + N'_s \cdot z' = N_c \cdot (d_{fi} - 0.4 \cdot x) + N'_s \cdot (d_{fi} - a'), \quad (2.33)$$

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 oddaljenost težišča tlačne vzdolžne armature od tlačnega roba (slika 3).



Slika 3: Primer upogibne obremenitve pri požarnem projektnejem stanju

Projektno upogibno nosilnost armiranobetonskega prečnega prereza $M_{Rd,t,fi}$ izračunamo z naslednjim izrazom:

$$M_{Rd,t,fi} = M_{500} \cdot k_m, \quad (2.34)$$

kjer je upoštevan redukcijski faktor upogibne nosilnosti za betone visoke trdnosti k_m , podan v preglednici 5. V primeru običajnih tlačnih trdnosti betona ($f_{ck} < 50$ MPa) upoštevamo, da je vrednost faktorja k_m enaka 1.

Preglednica 5: Redukcijski faktor upogibne nosilnosti za betone visoke trdnosti k_m iz SIST EN 1992-1-2:2004

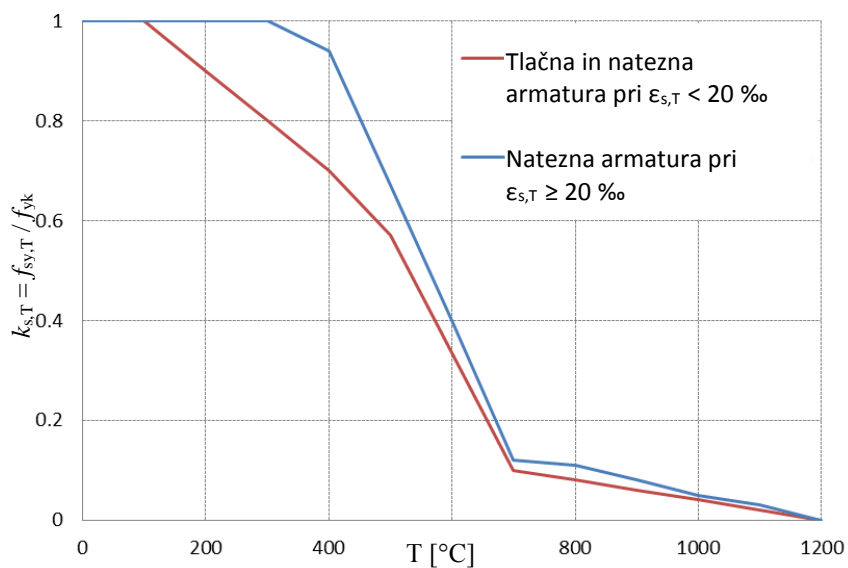
Konstrukcijski elementi	Razred 1	Razred 2
Nosilci	0.98	0.95

Dobljeno upogibno nosilnost karakterističnega prečnega prereza obravnavanega elementa skladno z izrazom (2.1) primerjamo z učinki kombinacije vplivov za nezgodno (požarno) projektno stanje:

$$M_{Rd,t,fi} \geq M_{Ed} \cdot \quad (2.35)$$

2.4.2.2 Toplotne in mehanske lastnosti betona in jekla za armiranje pri povišanih temperaturah

Pri mehanski analizi požarne odpornosti je zmanjšanje trdnosti materialov bistvenega pomena. Skladno s standardom SIST EN 1992-1-2:2005 za uporabo poenostavljenih računskih metod moramo poznati trdnost materiala kot funkcijo temperature. V primeru, ko je za mehansko analizo uporabljena metoda izoterme 500°C, potrebujemo samo redukcijski faktor $k_{s,T}$ za zmanjšanje karakteristične trdnosti natezne oziroma tlačne armature pri jeklu (slika 4). Za tlačno trdnost betona, katerega temperatura ne presega 500°C, namreč upoštevamo vrednost pri referenčni (sobni) temperaturi 20°C.



Slika 4: Redukcijski faktor za karakteristično trdnost jekla za armiranje pri povišanih temperaturah skladno s SIST EN 1992-1-2:2005

2.5 Poenostavljene računske metode za les

S poenostavljenimi računskimi metodami, predstavljenimi v tem razdelku, ocenimo mehansko odpornost lesenih elementov pri pogojih požara. Pri tem lahko od nominalnih uporabimo samo standardno krivuljo temperatura-čas, možna pa je tudi uporaba parametrične krivulje. Standard SIST EN 1995-1-2:2005 opredeljuje dve poenostavljeni metodi, in sicer:

- **metoda z zmanjšanim prečnim prerezom** in
- **metoda z zmanjšanimi materialnimi karakteristikami.**

V nadaljevanju sta predstavljeni obe metodi, še prej pa pogledjmo projektne vrednosti lastnosti materialov.

2.5.1 Projektne vrednosti lastnosti materialov

Projektne vrednosti trdnostnih in togostnih karakteristik lesa so določene kot:

$$f_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}}, \quad (2.36)$$

$$S_{d,fi} = k_{\text{mod},fi} \cdot \frac{S_{20}}{\gamma_{M,fi}}, \quad (2.37)$$

kjer je $f_{d,fi}$ projektna trdnost, $S_{d,fi}$ projektna togost v požaru, f_{20} je 20% fraktila trdnosti pri sobni temperaturi, S_{20} je 20% fraktila togosti pri sobni temperaturi in $\gamma_{M,fi}$ je delni varnostni faktor za les v požaru. Skladno s standardom SIST EN 1995-1-2:2005 je za $\gamma_{M,fi}$ priporočena vrednost 1. Faktor $k_{\text{mod},fi}$ je modifikacijski faktor v primeru požara in predstavlja zmanjšanje trdnosti in togosti zaradi povišanih temperatur.

Vrednosti 20% fraktil trdnosti in togosti določimo z naslednjimi izrazi:

$$f_{20} = k_{fi} \cdot f_k, \quad (2.38)$$

$$S_{20} = k_{fi} \cdot S_{05}, \quad (2.39)$$

V enačbah (2.38) in (2.39) predstavlja f_k karakteristično trdnost pri sobni temperaturi, S_{05} je 5% fraktila modula elastičnosti oziroma strižnega modula, k_{fi} pa je faktor podan v preglednici 6.

Preglednica 6: Vrednosti faktorja k_{fi} skladno s SIST EN 1995-1-2:2005

Vrsta lesa	k_{fi}
Masiven les	1.25
Lameliran lepljen les	1.15
Leseni paneli	1.15
Lepljen furnir	1.1

2.5.2 Metoda z zmanjšanim prečnim prerezom

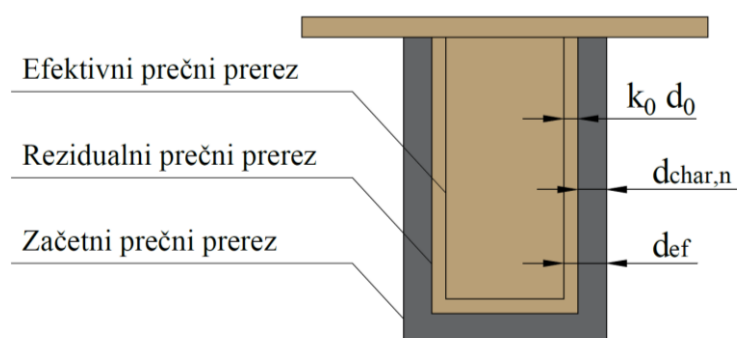
Pri tej metodi požarno odpornost lesenega elementa računamo ob upoštevanju efektivnega prečnega prereza. Med požarno obremenitvijo začne les ogleneti na vseh ognju izpostavljenih straneh. Zoglenela plast nima trdnosti, zato je pri računu nosilnosti ne upoštevamo. Dodatno upoštevamo, da se trdnost lesa zmanjša tudi v območju pirolize. To je plast, v kateri se temperatura lesa z vrednostjo okrog 300°C, pri kateri les gori, zanemari (slika 5). Preostalemu prerezu pravimo efektivni prečni prerez, za katerega upoštevamo nereducirane trdnostne in togostne materialne karakteristike (2.40) torej enake kot pri sobni temperaturi.

$$k_{\text{mod},fi} = 1.0 \rightarrow f_{d,fi} = f_{20}, \quad (2.40)$$

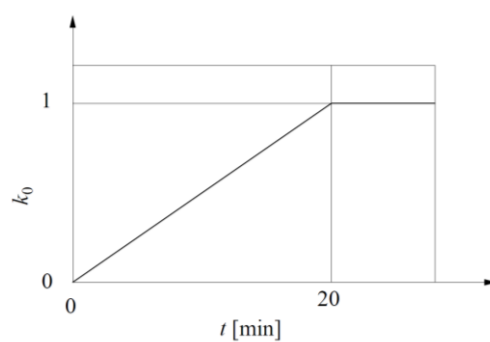
Efektivni prečni prerez lesenega elementa določimo tako, da od začetnega prereza odštejemo efektivno debelino zoglenele plasti d_{ef} , ki jo izračunamo z naslednjim izrazom:

$$d_{\text{ef}} = d_{\text{char},n} + k_0 \cdot d_0, \quad (2.41)$$

kjer $d_{\text{char},n}$ predstavlja nominalno debelino zoglenele plasti in vključuje vpliv vogalnega oglenenja, z vrednostjo $k_0 d_0$ pa zajamemo zmanjšanje trdnosti lesa na območju pirolize. Faktor k_0 je časovno odvisen in je pred začetkom požara ($t = 0$) enak 0, pri času 20 minut pa enak 1. Za vmesne čase ga določimo z linearno interpolacijo (slika 6).



Slika 5: Efektivni in rezidualni prečni prerez v skladu s standardom SIST EN 1995-1-2:2005

Slika 6: Vrednosti faktorja k_0 po SIST EN 1995-1-2:2005

Nosilnost za metodo z zmanjšanim prečnim prerezom izračunamo z naslednjimi izrazi:

$$M_{Rd,t,fi} = W_{ef} \cdot f_{m,d,fi} \quad \text{za upogibno nosilnost,} \quad (2.42)$$

$$N_{Rd,t,fi} = A_{ef} \cdot k_c \cdot f_{c,0,d,fi} \quad \text{za osno tlačno nosilnost,} \quad (2.43)$$

$$N_{Rd,t,fi} = A_{ef} \cdot f_{t,0,d,fi} \quad \text{za osno natezno nosilnost.} \quad (2.44)$$

Pri tem je W_{ef} odpornostni moment efektivnega prečnega prereza, $f_{m,d,fi}$ upogibna projektna trdnost lesa, A_{ef} površina efektivnega prečnega prereza, k_c uklonski faktor, $f_{c,0,d,fi}$ projektna tlačna trdnost lesa vzporedno z vlakni in $f_{t,0,d,fi}$ projektna natezna trdnost lesa vzporedno z vlakni. Skladno z izrazom (2.40) lahko zapišemo:

$$M_{Rd,t,fi} = W_{ef} \cdot f_{m,20} \quad \text{za upogibno nosilnost,} \quad (2.45)$$

$$N_{Rd,t,fi} = A_{ef} \cdot k_c \cdot f_{c,0,20} \quad \text{za osno tlačno nosilnost,} \quad (2.46)$$

$$N_{Rd,t,fi} = W_{ef} \cdot f_{t,0,20} \quad \text{za osno natezno nosilnost.} \quad (2.47)$$

Uklonski faktor k_c v splošnem izračunamo za vsako os posebej, vendar ga lahko ob predpostavki, da je uklonska dolžina v obeh smereh enaka, določimo glede na os, okrog katere je vztrajnostni moment efektivnega prečnega prereza I_{ef} najmanjši. Pri tem je treba poudariti, da se zaradi oglenenja med požarom os z najmanjšim vztrajnostnim momentom lahko spremeni.

$$i = \sqrt{\frac{\min(I_{ef,y}, I_{ef,z})}{A_{ef}}}, \quad (2.48)$$

$$\lambda_{rel} = \frac{l_u}{i \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}, \quad (2.49)$$

$$k = 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel} - 0.3) + \lambda_{rel}^2), \quad (2.50)$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}}, \quad (2.51)$$

kjer je i vztrajnostni radij prečnega prereza, l_u je uklonska dolžina elementa, $f_{c,0,k}$ je karakteristična vrednost tlačne trdnosti lesa vzporedno z vlakni, $E_{0,05}$ je karakteristična vrednost modula elastičnosti vzporedno z vlakni pri 5% fraktili, λ_{rel} pa je relativna vitkost elementa. S koeficientom β_c upoštevamo geometrijsko nepopolnost. njegova vrednost pa je odvisna od vrste lesa.

2.5.3 Metoda z zmanjšanimi materialnimi karakteristikami

Metoda je v standardu SIST EN 1995-1-2:2005 definirana samo za pravokotne prereze, ki so požaru izpostavljeni s treh ali štirih strani in okrogle prereze, ki so požaru izpostavljeni po celotnem obodu. Pri izračunu nosilnosti upoštevamo zmanjšan – rezidualni prerez ter zmanjšane trdnostne in togostne karakteristike lesa, kot je razvidno iz enačb (2.36) in (2.37).

Modifikacijski faktor v primeru požara $k_{mod,fi}$ določimo z naslednjimi izrazi:

- za upogibno trdnost:

$$k_{mod,fi} = 1.0 - \frac{1}{200} \cdot \frac{p}{A_{rez}}, \quad (2.52)$$

- za tlačno trdnost:

$$k_{\text{mod,fi}} = 1.0 - \frac{1}{125} \cdot \frac{p}{A_{\text{rez}}}, \quad (2.53)$$

– za natezno trdnost in modul elastičnosti:

$$k_{\text{mod,fi}} = 1.0 - \frac{1}{330} \cdot \frac{p}{A_{\text{rez}}}, \quad (2.54)$$

kjer je p obseg ognju izpostavljenega dela rezidualnega prečnega prereza v m, A_{rez} pa predstavlja ploščino rezidualnega prečnega prereza v m². Pri začetnem času požara ($t = 0$) je vrednost faktorja $k_{\text{mod,fi}}$ enaka 1, pri času, večjem od 20 minut, pa velja vrednost iz enačb (2.52) do (2.54). Za časovni interval med začetkom požara in časom 20 minut vrednost faktorja $k_{\text{mod,fi}}$ določimo z linearno interpolacijo.

Rezidualni prerez se od efektivnega razlikuje po tem, da zmanjšane nosilnosti dela prereza ob zogleneli plasti ne upošteva z dodatno debelino zoglenele plasti, temveč z redukcijo nosilnosti celotnega nezoglenelega prereza (slika 5).

$$d_{\text{rez}} = d_{\text{char,n}} \quad (2.55)$$

Nosilnost za metodo z zmanjšanimi materialnimi karakteristikami izračunamo z naslednjimi izrazi:

$$M_{\text{RD,t,fi}} = W_{\text{rez}} \cdot f_{m,d,fi} \quad \text{za upogibno nosilnost}, \quad (2.56)$$

$$N_{\text{RD,t,fi}} = A_{\text{rez}} \cdot k_c \cdot f_{c,0,d,fi} \quad \text{za osno tlačno nosilnost}, \quad (2.57)$$

$$N_{\text{RD,t,fi}} = A_{\text{rez}} \cdot f_{t,0,d,fi} \quad \text{za osno natezno nosilnost}, \quad (2.58)$$

kjer je W_{rez} odpornostni moment rezidualnega prereza, $f_{m,d,fi}$ upogibna projektna trdnost lesa. A_{rez} površina rezidualnega prečnega prereza, k_c uklonski faktor, $f_{c,0,d,fi}$ tlačna projektna trdnost lesa vzporedno z vlakni in $f_{t,0,d,fi}$ natezna projektna trdnost lesa vzporedno z vlakni.

Uklonski koeficient k_c določimo podobno kot pri metodi z zmanjšanim prečnim prerezom (2.48 - 2.51), le da za izračun vztrajnostnega radija i uporabimo geometrijske karakteristike rezidualnega prečnega prereza:

$$i = \sqrt{\frac{\min(I_{\text{rez,y}}, I_{\text{rez,z}})}{A_{\text{rez}}}}. \quad (2.59)$$

2.5.4 Oglenenje lesa v primeru standardnega požara

Debelino zoglenele plasti $d_{\text{char,n}}$ izračunamo z naslednjim izrazom:

$$d_{\text{char},n} = \beta_n \cdot t, \quad (2.60)$$

kjer β_n predstavlja hitrost oglenenja pri standardni požarni obremenitvi v mm/min (preglednica 7), t pa čas od začetka požara v minutah.

Preglednica 7: Hitrosti oglenenja β_n za različne tipe lesa iz SIST EN 1995-1-2:2005

	β_n mm/min
Mehak les in bukev	
Lapljen lameliran les, $\rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$	0.7
Masiven les, $\rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$	0.8
Trdi les	
Masiven ali lepljen les, $\rho_k = 290 \text{ kg/m}^3$	0.7
Masiven ali lepljen les, $\rho_k \geq 450 \text{ kg/m}^3$	0.55

2.5.5 Oglenenje lesa pri parametrični požarni izpostavljenosti

V primeru parametrične požarne izpostavljenosti hitrost oglenenja izračunamo s pomočjo brezdimenzijskega parametra Γ iz enačbe (2.9) in hitrosti oglenenja β_n iz preglednice 5 po enačbi:

$$\beta_{\text{par}} = 1.5 \cdot \beta_n \cdot \frac{0.2 \cdot \sqrt{\Gamma} - 0.04}{0.16 \cdot \sqrt{\Gamma} + 0.08}. \quad (2.61)$$

Globino zoglenele plasti določimo po naslednji metodi:

$$d_{\text{char}} = \begin{cases} \beta_{\text{par}} \cdot t & \text{za } t \leq t_0, \\ \beta_{\text{par}} \cdot \left(1.5 \cdot t - \frac{t^2}{4 \cdot t_0} - \frac{t_0}{4} \right) & \text{za } t_0 \leq t \leq 3t_0, \\ 2 \cdot \beta_{\text{par}} \cdot t_0 & \text{za } 3t_0 \leq t \leq 5t_0, \end{cases} \quad (2.62)$$

kjer je t_0 časovna perioda pri konstantni stopnji oglenenja, določimo pa jo z naslednjim izrazom:

$$t_0 = 0.009 \cdot \frac{q_{t,d}}{O}. \quad (2.63)$$

Parametrično požarno izpostavljenost lahko pri lesenih elementih uporabljamo pri naslednjih pogojih:

$$\begin{aligned} t_0 &\leq 40 \text{ min}, \\ d_{\text{char}} &\leq \frac{b}{4}, \\ d_{\text{char}} &\leq \frac{h}{4}. \end{aligned}$$

Kot je bilo že omenjeno, lahko metodo efektivnega prečnega prereza in metodo zmanjšanih materialnih karakteristik uporabljamo le pri standardni in parametrični požarni obremenitvi, za kateri so v standardu definirane stopnje oglenjenja (preglednica 7 in enačba 2.61). V kolikor nas zanima obnašanje lesenega elementa pri kakem drugem požarnem scenariju, je potrebno na prerezu elementa izvesti temperaturno analizo, s katero bi dobili potek izoterme 300°C. Standard SIST EN 1995-1-2:2004 namreč navaja izotermo 300°C kot globino zoglenele plasti pri večini mehkih in trdih vrst lesa.

3 PROGRAM FIDO

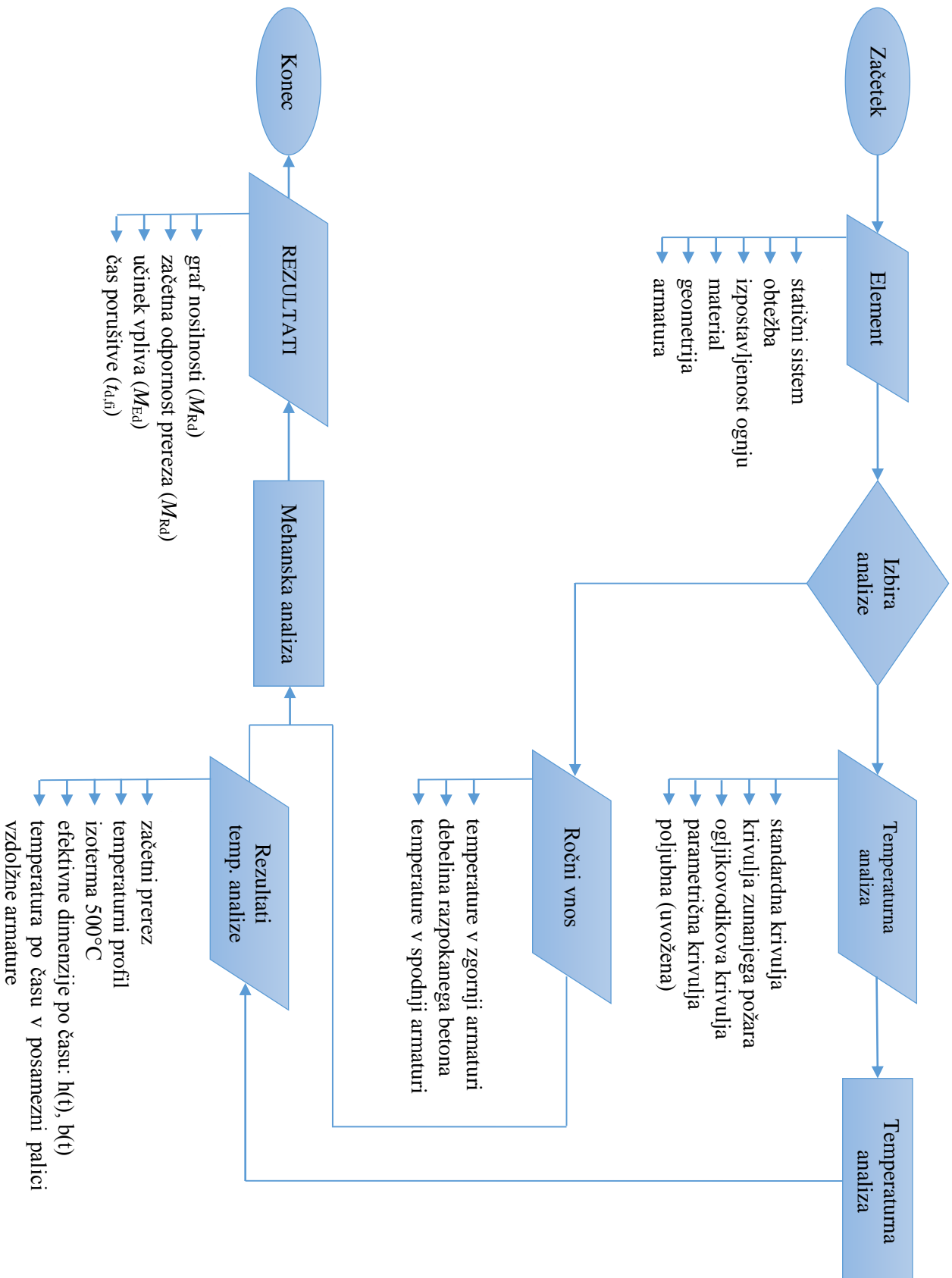
Osnovni namen programa Fido je, študentom in projektantom približati poenostavljene računske postopke za določitev požarne odpornosti lesenih in armiranobetonskih elementov skladno s standardi SIST EN 1992-1-2:2005 in SIST EN 1995-1-2:2005. S preglednim grafičnim vnosom vhodnih podatkov in prikazom rezultatov dobi uporabnik boljši pregled nad dogajanjem v elementu med požarno obremenitvijo, prav tako pa lahko opazuje spremembe pri različnih obremenitvah, elementih in materialih. Program je v osnovi sestavljen iz dveh podprogramov, sestavljenih iz več uporabniških oken, ki služijo vnašanju podatkov in predstavljanju rezultatov. Vsa okna so povezana tako, da tvorijo logično celoto. Program je zasnovan v programskem okolju Matlab® R2013a, na osnovi katerega tudi deluje. Za oblikovanje grafičnega vmesnika je uporabljeno programsko orodje GUIDE.

V nadaljevanju tega poglavja z diagrami poteka predstavimo princip delovanja celotnega programa in posameznih funkcij ter uporabo programa v obliki navodil za uporabo.

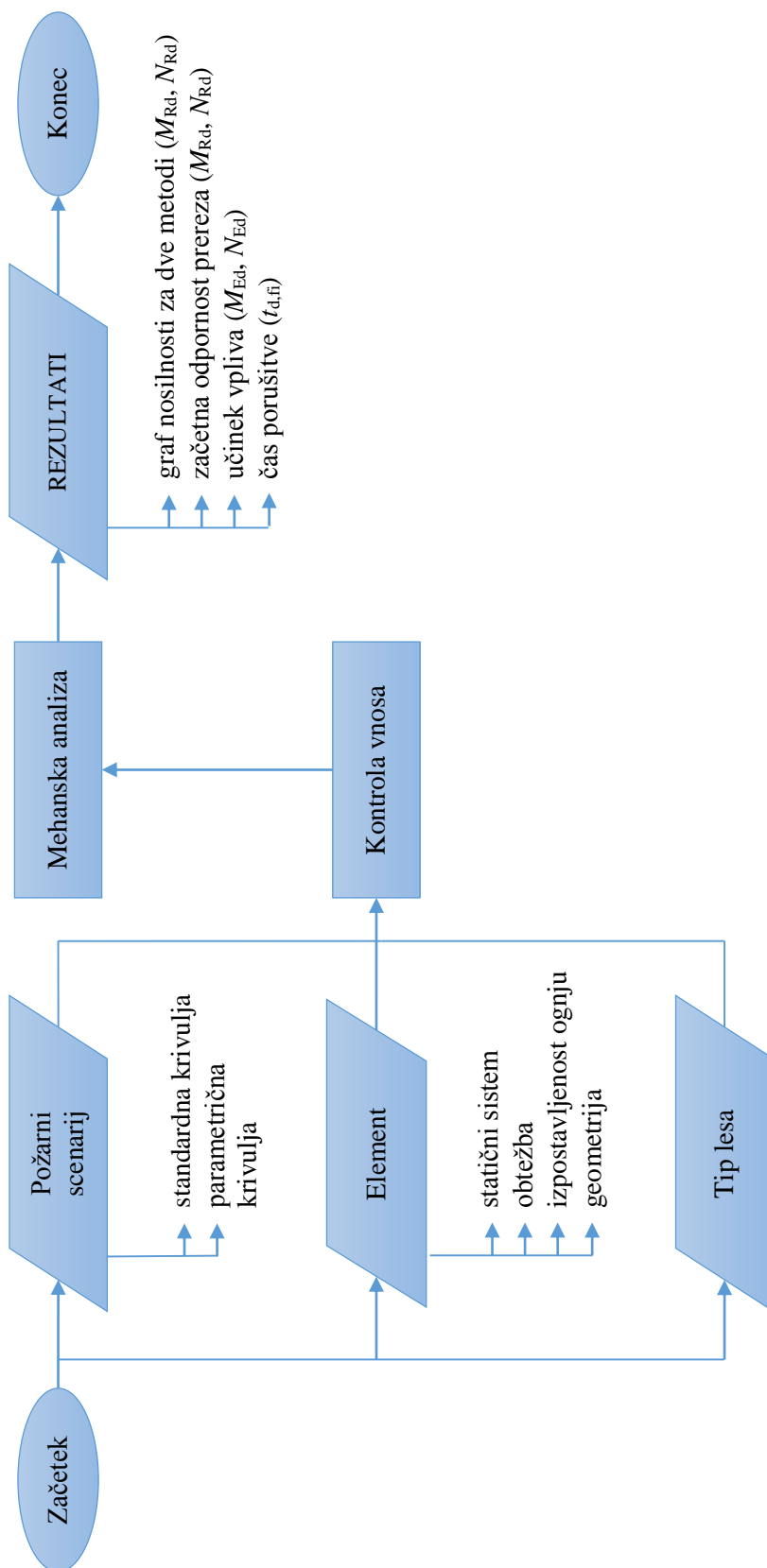
3.1 Diagrami poteka

Predstavljeni sta dve vrsti diagramov poteka. V prvi predstavimo diagrame poteka uporabe, ki predstavljajo shematičen potek dela s programom. Gre za vrstni red vnosa podatkov in ostalih operacij, ki uporabnika vodijo od zagona do končnih rezultatov. Druga vrsta diagramov poteka pa predstavlja potek izračuna glavnih funkcij, t.j. funkcij ki se izvedejo ob pritisku na gumb »IZRAČUN«. Oba tipa algoritmov sta posebej predstavljena za poenostavljeno računsko analizo armiranobetonskih in lesenih elementov v požaru.

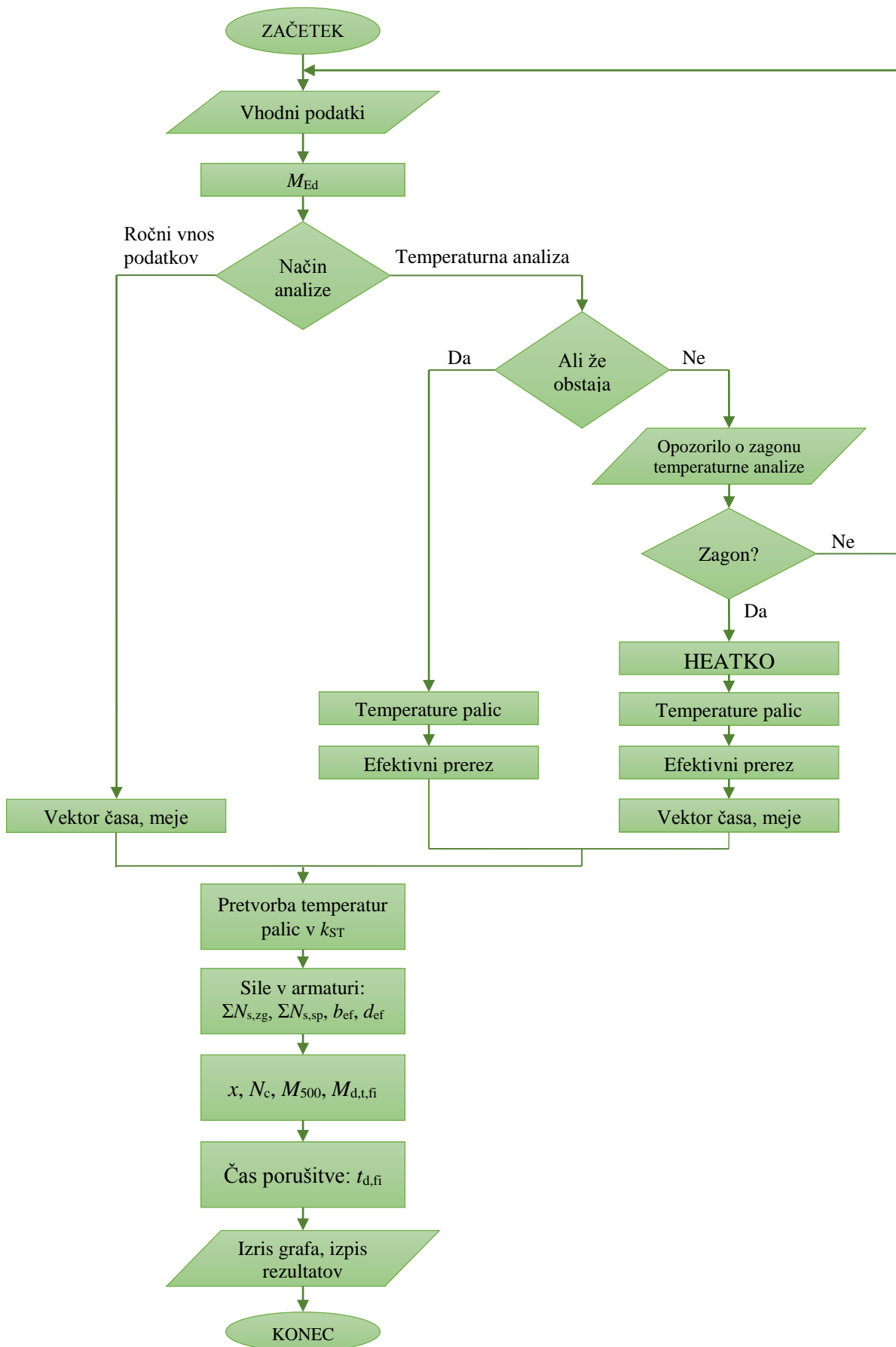
3.1.1 Uporabniški algoritem: armiranobetonski elementi



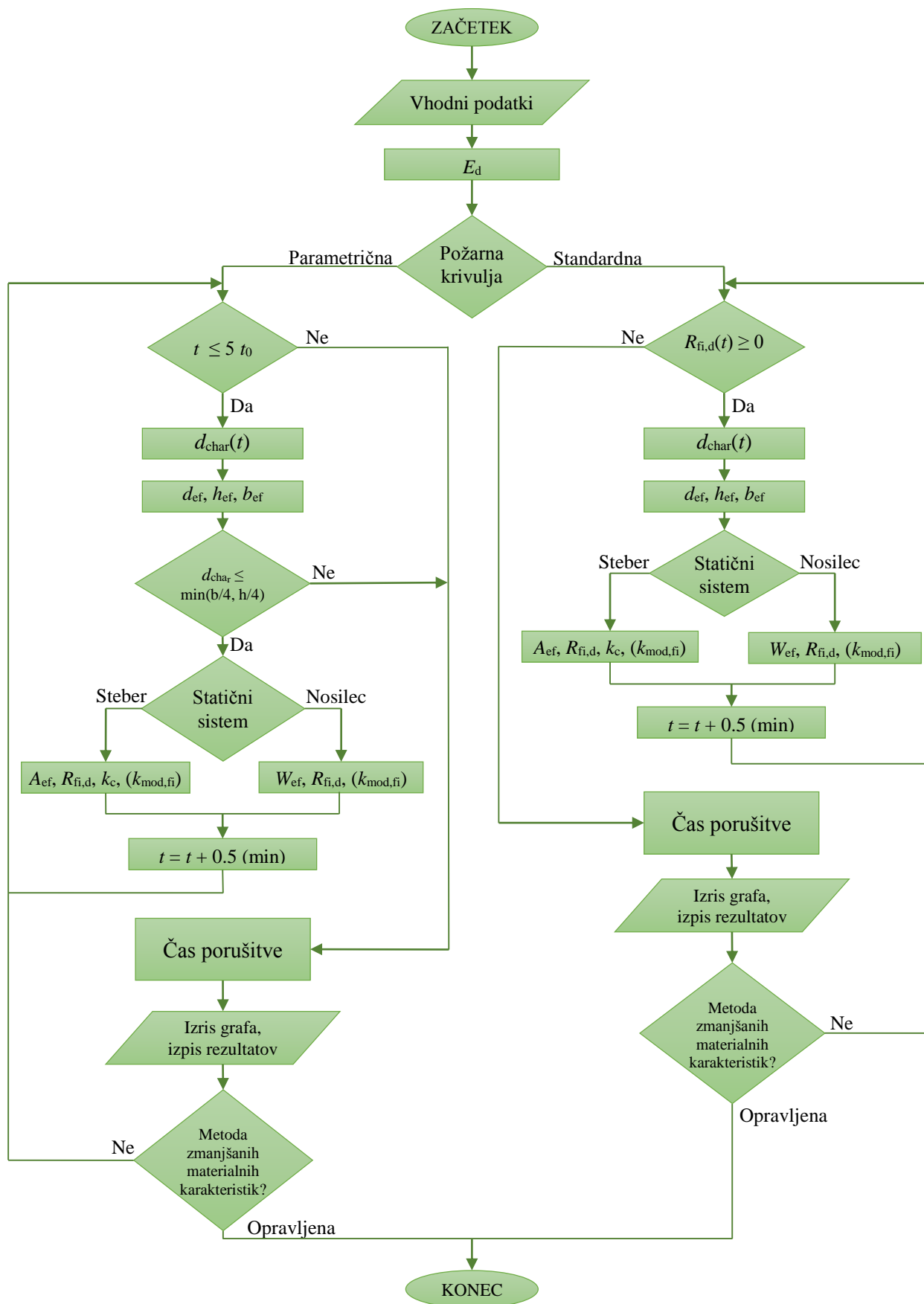
3.1.2 Uporabniški algoritem: leseni elementi



3.1.3 Algoritem glavnega izračuna: armiranobetonski elementi



3.1.4 Algoritem glavnega izračuna: les



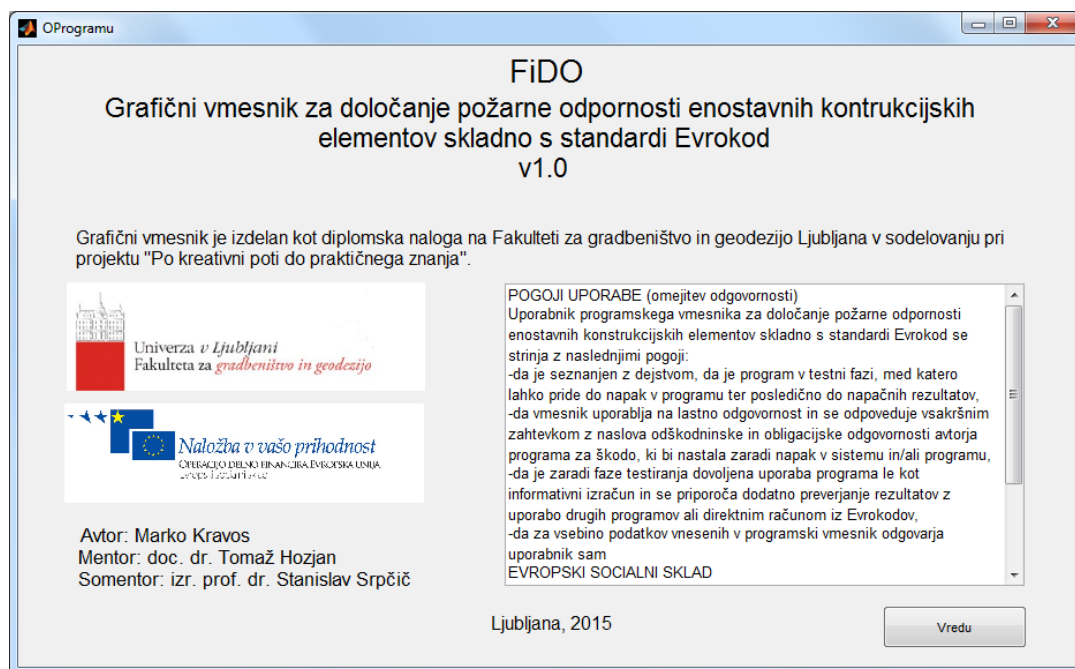
3.2 Uporaba programa Fido

Kot smo že omenili, je grafični vmesnik zasnovan na način, da je njegova uporaba intuitivna in ne zahteva posebnega učenja. Program je razdeljen na dva osnovna podprograma, ki se med seboj ločita na osnovi konstrukcijskega materiala: les in armirani beton. V tem poglavju je predstavljena raba celotnega programa skozi posamezna uporabniška okna in funkcije.

3.2.1 Namestitev, zagon in začetek uporabe

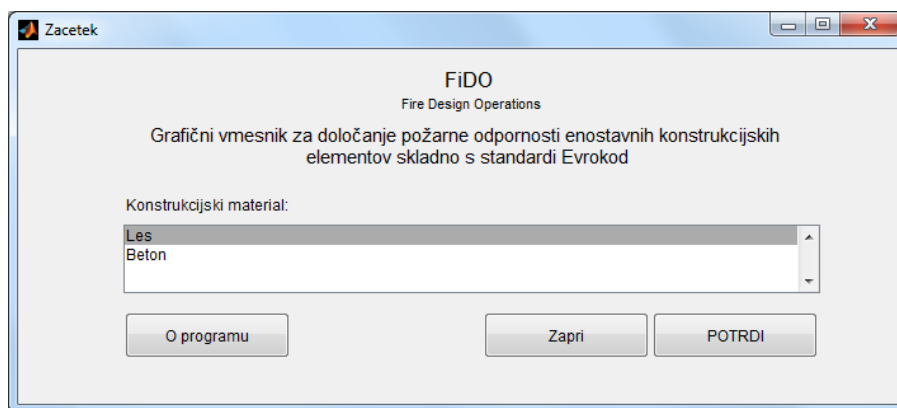
Program je izdelan v programskem okolju Matlab[®], s katerim ni mogoče generirati projektov, ki bi bili v obliki popolnoma samostojnih izvršljivih datotek. V ta namen je pred prvim zagonom potrebno na računalnik namestiti priloženi skupek knjižnic MCR (Matlab Compiler Runtime). To storimo z zagonom paketne datoteke FIDO_pkg, ki se ob tem razširi in avtomatično zažene čarovnika za namestitev omenjenih knjižnic. Ko je namestitev končana, program zaženemo z datoteko FIDO.exe.

Ob zagonu se nam pojavita dve okni. V ospredju je okno z osnovnimi podatki o programu in pogoji uporabe (slika 7). Drugih uporabnih funkcij nima, zato ga lahko zapremo. To storimo s klikom na gumb »V redu« ali pa »Zapri«.



Slika 7: Okno z osnovnimi podatki in pogoji uporabe

Drugo okno pa že predstavlja uporabniški del grafičnega vmesnika s katerim izbiramo material konstrukcijskega elementa, ki ga želimo obravnavati (slika 8). V izbirnem polju izberemo željen material in s klikom na gumb »POTRDI« nadaljujemo. Glede na izbran material se zažene ustrezen podprogram.



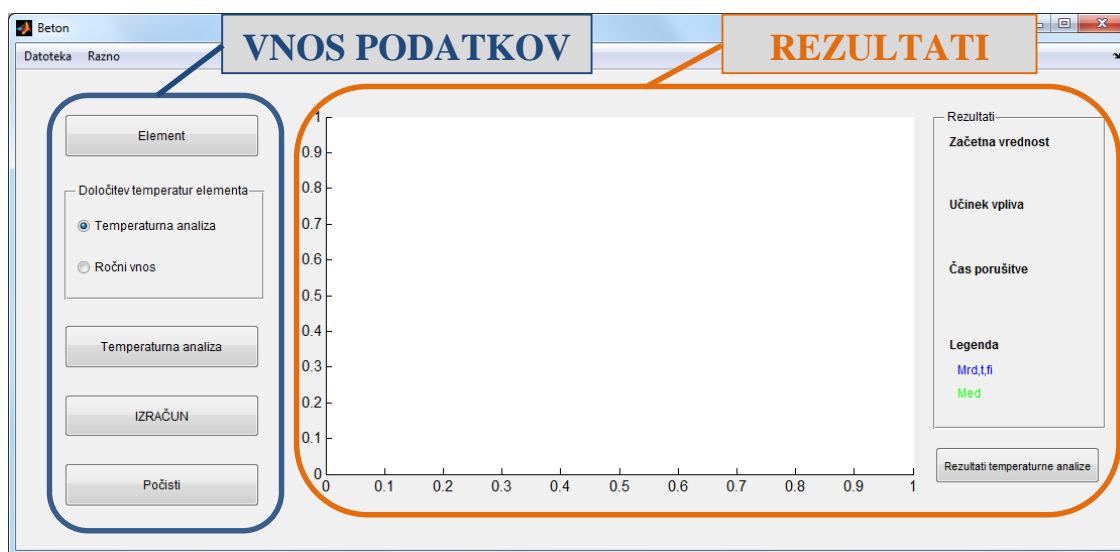
Slika 8: Okno za izbiro konstrukcijskega materiala

Če želimo konstrukcijski material zamenjati, se na začetno okno lahko vedno vrnemo, ne glede na to v katerem od podprogramov se nahajamo. To storimo s klikom na gumb »Nazaj« v meniju »Datoteka«.

Pred prvo uporabo programa moramo poznati tudi način vnosa numeričnih vrednosti. Pri vnašanju decimalnih vrednosti kot ločilo uporabljamo piko. Če uporabimo vejico bo program število prebral kot celo, posledično pa vrnil napačne rezultate. Vsa vnosna okna, namenjena vnosu numeričnih vrednosti, so narejena tako, da se pred potrditvijo vnesene vrednosti preverijo. Nekatere podatke lahko po želji izpustimo, nekateri pa so za končni izračun obvezni. Slednje moramo vnesti, v nasprotnem primeru nas bo program opozoril, da so podatki pomanjkljivi. Prav tako bo preveril ali se v vnosih nahajajo napake v obliki znakov, ki niso števila.

3.2.2 Vmesnik za računanje armiranobetonskih elementov

Ob zagonu podprograma za obravnavanje armiranobetonskih elementov se nam prikaže glavno okno (slika 9), s katerim dostopamo do vseh ostalih, ki služijo vnosu podatkov in prikazu rezultatov. Na levi strani okna se nahajajo ukazni gumbi, s katerimi upravljamo vnos podatkov in izračun. Osrednji in desni del pa služita predstavitvi rezultatov mehanske analize v obliki grafa in numeričnih vrednosti. Gumb na spodnji desni strani je namenjen prikazu rezultatov toplotne analize.



Slika 9: Glavno okno za armiranobetonske elemente

V meniju »Razno« lahko s klikom na gumba »Odpri BAZA_BETON.txt« in »Odpri BAZA_AR_JEKLO.txt« odpremo tekstovni datoteki, ki služita kot bazi podatkov za konstrukcijski material. Podatke lahko spreminjamo in dodajamo, ohraniti pa moramo obliko zapisa, kot je prikazana v preglednicah 8 in 9.

Preglednica 8: Prikaz zapisa podatkov v datoteki BAZA_BETON.txt

Ime	f_{ck} [kN/cm ²]
C12/15	1.2
C16/20	1.6
C20/25	2.0
.	.
.	.
.	.

Preglednica 9: Prikaz zapisa podatkov v datoteki BAZA_AR_JEKLO.txt

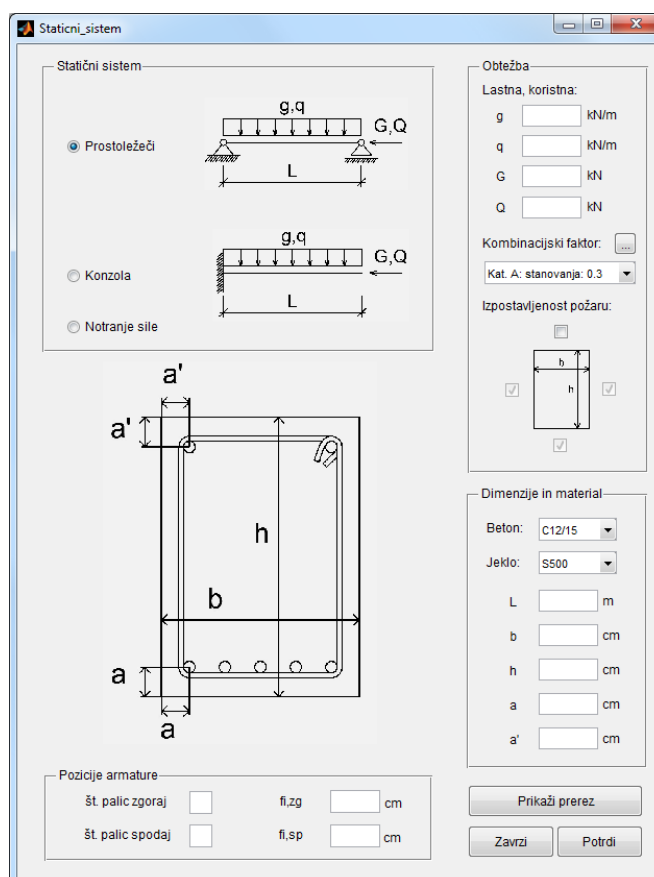
Ime	f_{yk} [kN/cm ²]
S500	50

Program je zastavljen tako, da najprej vnesemo vse potrebne vhodne podatke. V splošnem so to podatki o obravnavanem elementu ter požaru, kateremu je le-ta izpostavljen. Kateri podatki so za določen

izračun potrebni, je odvisno od samega elementa ter od izbranega načina določitve temperatur. Temu primerno se program sproti prilagodi, zato pa mora uporabnik vhodne podatke vnašati po vrsti od zgoraj navzdol (glej algoritem 3.1.1). V nasprotnem primeru bo program javil, da nekateri podatki manjkajo oziroma so ti neustrezni.

3.2.2.1 Vnos podatkov: Element

S klikom na gumb »Element« se nam prikaže okno, s katerim definiramo vse potrebne podatke o obravnavanem elementu (slika 10). Najprej določimo statični sistem. Izbiramo lahko med prostoležečim in konzolnim nosilcem.



Slika 10: Vnos podatkov o elementu

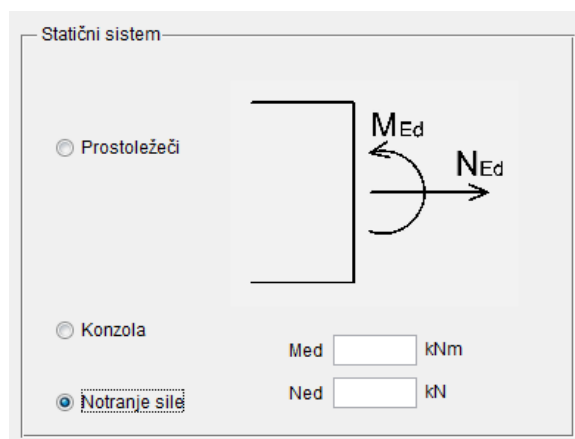
Naslednji korak je določitev obtežbe. Najprej vnesemo stalno (g) in koristno (q) enakomerno porazdeljeno obtežbo, nato stalno (G) in koristno (Q) osno obtežbo ter končno še kombinacijski faktor za pogosto obtežbo ψ_1 . Slednjega lahko izberemo iz pojavnega menija, kjer so na voljo kategorijske

vrednosti iz SIST EN 1990, lahko pa vnesemo poljubno vrednost s klikom na gumb »...«. Projektne vrednosti vpliva q_{Ed} in Q_{Ed} program izračuna po enačbi (2.3). Glede na izbrani statični sistem pa program sam določi absolutno maksimalni učinek vpliva po enačbah:

$$M_{Ed} = \begin{cases} \frac{q_{Ed} \cdot L^2}{8} & \text{za prostoležeči nosilec,} \\ -\frac{q_{Ed} \cdot L^2}{2} & \text{za konzolni nosilec,} \end{cases} \quad (3.1)$$

$$N_{Ed} = -Q_{Ed} \cdot \quad (3.2)$$

V kolikor ne želimo obravnavati celotnega elementa, temveč zgolj prečni prerez, lahko to storimo z izbiro opcije »notranje sile« v okvirju »Statični sistem« (slika 11). V tem primeru ni treba vnesti podatkov o obtežbi in dolžini elementa, ampak samo notranje sile. Na skici so prikazane njihove pozitivne vrednosti.



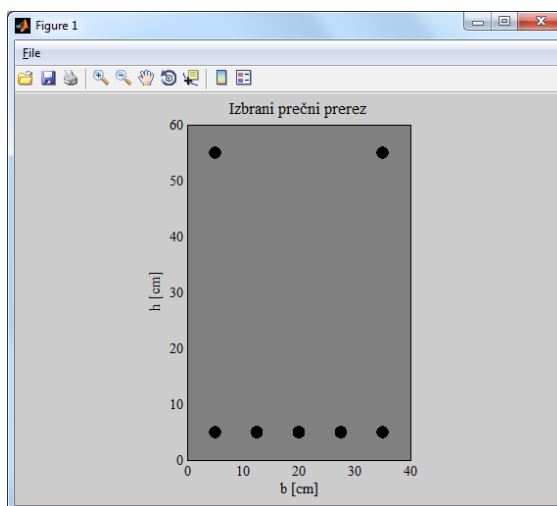
Slika 11: Direkten vnos notranjih sil

V okvirju »Obtežba« določimo še požarno izpostavljenost. Privzeto je ogrevanje nosilca iz treh strani in sicer spodaj, levo in desno, z obkljukanjem zgornjega kvadratika pa dodamo še požar z zgornje strani.

Naslednji so na vrsti podatki o dimenzijah in materialu. V tekstovna polja vnesemo zahtevane vrednosti v enotah, ki so pripisane. Za lažjo predstavbo se na levi strani nahaja skica, na kateri so dimenzije označene. Material izberemo na podlagi trdnostnih razredov.

Kot zadnje na tem oknu vnesemo število in premer vzdolžnih armaturnih palic. Vnesemo lahko spodnjo in zgornjo računsko armaturo, vendar za vsako samo po en nivo. Palice se po prečnem prerezu samodejno porazdelijo tako, da se skrajno levo in desno upoštevata oddaljenosti a oziroma a' , med posameznimi palicami pa je razdalja enakomerna. V kolikor katere od obeh ni, vnesemo vrednost 0 (nič) ali pa pustimo polje prazno.

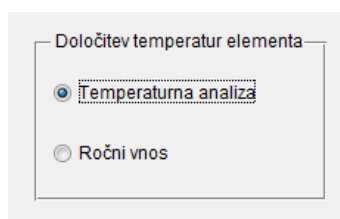
Ko so vrednosti vnesene, lahko prečni prerez izrišemo s pritiskom na gumb »Prikaži prerez«. Izriše se nam velikost prereza z razporeditvijo vzdolžnih armaturnih palic (slika 12). Če smo z vnesenim zadovoljni, pritisnemo na gumb »Potrdi«. V kolikor je vnos ustrezen, nas bo program vrnil na glavno okno, v nasprotnem primeru pa nas bo obvestil o pomanjkljivem oziroma napačnem vnosu.



Slika 12: Prikaz izbranega prečnega prereza

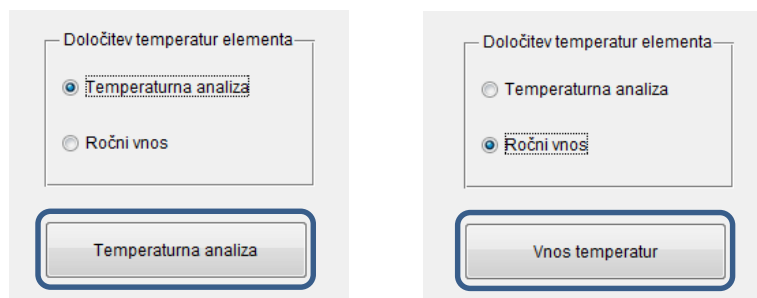
3.2.2.2 Vnos podatkov: Način določitve poteka temperatur

Naslednje kar je treba določiti, je način kako bo program upošteval časovni razpored temperature po prečnem prerezu. Program namreč omogoča dva načina. Prvi je ročni vnos, pri katerem moramo ročno vnesti temperature v posameznih vzdolžnih armaturnih palicah med požarom in debelino nenosilnega betona – del prereza zunaj izoterme 500°C. Drugi način je temperaturna analiza po metodi končnih elementov, ki se izvede s pomočjo vključenega programa Heatko (Hozjan, 2009).



Slika 13: Izbira načina delovanja programa

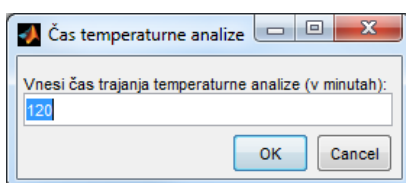
Med obema načinoma izbiramo v glavnem oknu s pomočjo izbirnih gumbov (slika 13). V odvisnosti od izbrane možnosti bo gumb pod izbirnim okvirjem spremenil funkcijo in odprl ustrezno okno za nadaljnji vnos (slika 14).



Slika 14: Sprememba funkcije gumba

3.2.2.3 Vnos podatkov: Trajanje temperaturne analize

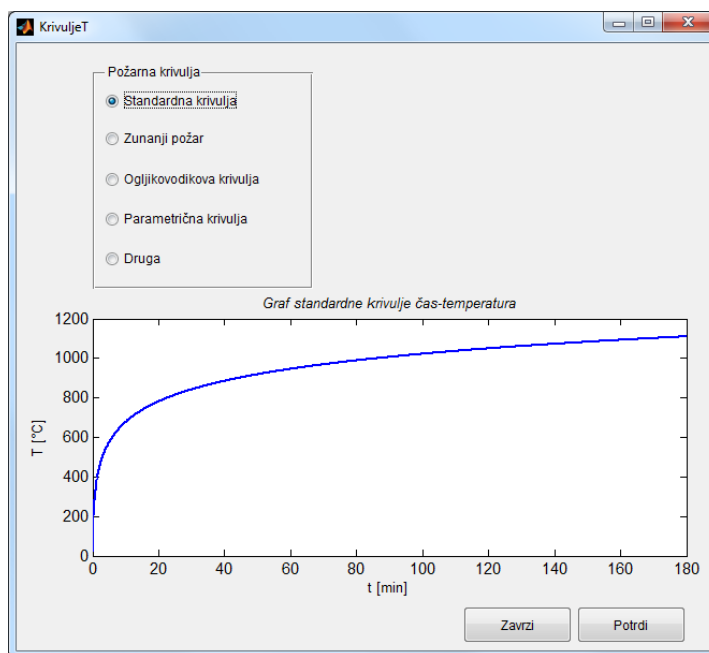
V fazi temperaturne analize, je čas, ki ga program potrebuje za izračun, odvisen tudi od njenega predvidenega končnega časa. Zato je privzet nekoliko krajši čas 120 minut, ki pa ga lahko po potrebi spremenimo. To storimo s pritiskom na gumb »Nastavitve« v meniju »Razno«. Pojavi se manjše pogovorno okno, kjer lahko končni čas spremenimo (slika 15). Novo vrednost vnesemo v minutah.



Slika 15: Spreminjanje končnega časa trajanja analize pri računu s temperaturno analizo

3.2.2.4 Vnos podatkov: Temperaturna analiza

Če je za določitev temperatur znotraj nosilca izbrana temperaturna analiza, se nam odpre okno, s katerim izbiramo med požarnimi krivuljami (slika 16). Okno je sestavljeno iz polja izbirnih gumbov in polja z grafom. S preklapljanjem med posameznimi možnostmi se na grafu izrisujejo ustrezne krivulje.



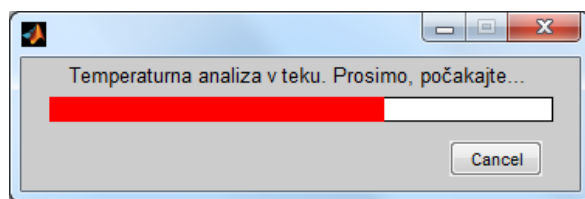
Slika 16: Okno za izbiro požarnega scenarija

Razen treh nominalnih krivulj požara lahko izbiramo še med možnostma »Parametrična krivulja« in »Druga«. Vnos in izračun parametrične krivulje sta natančneje opisana v poglavju 3.2.4.1, opcija »Druga« pa služi vnosu poljubnega požarnega scenarija v obliki tabelarično podane funkcije spreminjanja temperature po času. Vnos izvedemo tako, da v datoteko `input_fire.txt` podamo dva stolpca na način kot je prikazan v preglednici 10. Ko je datoteka naložena in shranjena, lahko ob izbrani opciji »Druga« pritisnemo na gumb »Naloži«. Program prebere spreminjanje temperature po času in izriše graf.

Preglednica 10: Prikaz zapisa tekstovne datoteke `input_fire.txt` z označbami stolpcev

Čas [s]	Temperatura [°C]
0	20
36	381.4
72	557.1
108	647.4
144	698.1
180	730.3
.	.
.	.
.	.

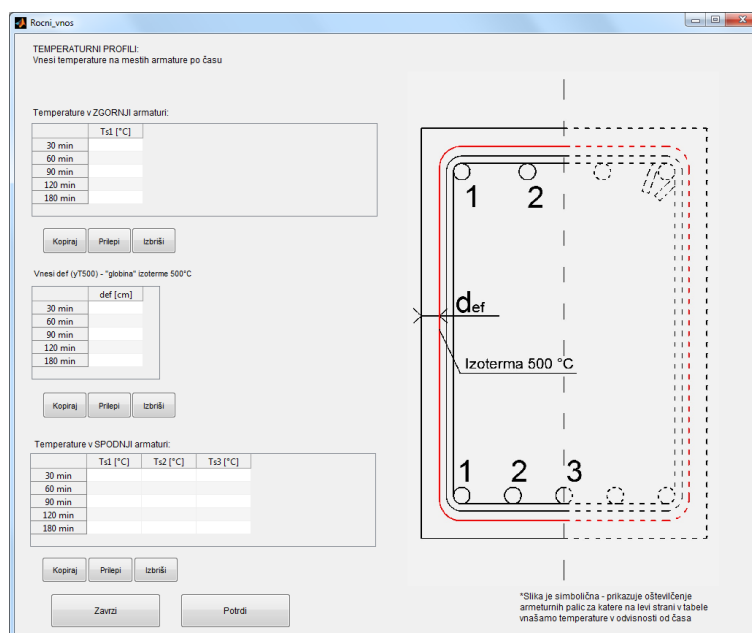
Ko je izbrana zelena krivulja, pritisnemo na gumb »Potrdi«. V kolikor je vnos izveden pravilno, nas program obvesti o trajanju temperaturne analize in vpraša ali želimo nadaljevati. S pritiskom na gumb »Da« požnemo temperaturno analizo po metodi končnih elementov. Čas izračuna je v glavnem odvisen od velikosti izbranega prereza in požarnega scenarija, trajal pa naj bi največ nekaj minut. Napredovanje poteka analize lahko spremljamo na statusni vrstici, ki se pojavi na novem oknu (slika 17), kjer lahko analizo tudi prekinemo s pritiskom na gumb »Cancel«.



Slika 17: Statusna vrstica temperaturne analize

3.2.2.5 Vnos podatkov: Ročni vnos temperatur

Če smo za določitev temperatur v elementu izbrali ročni vnos, se po pritisku na gumb »Vnos temperatur« odpre nekoliko večje okno z dvema ali tremi tabelami (slika 18), odvisno od razporeditve armature.



Slika 18: Okno za ročni vnos temperatur v armaturi in debeline betona zunaj izoterme 500°C

Na levi strani okna imamo tabele za vnos, na desni pa simbolično sliko prečnega prereza, ki služi za lažjo predstavbo novemu uporabniku. Slika namreč prikazuje način označevanja posameznih armaturnih palic, za katere je treba vnesti podatke o temperaturi. Zaradi simetrije vnesemo podatke samo za levo polovico prereza.

Tabele so postavljene tako, da je zgornja tabela namenjena temperaturam v zgornji armaturi in analogno je spodnja tabela namenjena temperaturam v spodnji armaturi. Tabela v sredini služi vnosu debeline nenosilnega betona – oddaljenost izoterme 500°C od roba prereza. Vsak stolpec v spodnji ali zgornji tabeli predstavlja temperature v posamezni palici tekom analize. Pri tem je pomembno, da vnašamo temperature v ustrezne stolpce tako, kot je prikazano na simbolični sliki (npr.: za palico 1 vnesemo temperature v stolpec Ts1). Vedno moramo vnesti podatke v vse stolpce, saj je njihovo število že prirejeno številom palic, ki je bilo določeno pri vnosu elementa. Vrstice v vseh tabelah predstavljajo čase 30, 60, 90, 120 in 180 minut.

V kolikor nas ne zanima časovni potek spreminjanja odpornosti, ampak le neko določeno stanje, lahko v vsaki od tabel vnesemo le po eno vrstico z ustreznimi vrednostmi (ni pomembno v katero od vrstic). Program bo samodejno privzel, da so vse ostale vrednosti enake, kar pomeni da bo nosilnost prereza od 30. minute naprej konstantna.

Za začetni čas program privzame, da je temperatura v vseh palicah enaka sobni ter da je debelina poškodovanega sloja betona enaka 0 (nič).

Pri vnosu količin si lahko pomagamo z gumbi »Kopiraj«, »Prilepi« in »Izbriši«, ki delujejo za vsako tabelo posebej. Funkciji kopiraj in prilepi delujeta v kombinaciji s programom Microsoft® Office Excel. Kopiramo lahko le tabele, ki se ujemajo po številu vrstic in stolpcev. Na tem mestu je potrebno paziti na decimalno ločilo, saj program uporablja piko, medtem ko je v Excelu običajno privzeta vejica.

3.2.2.6 Mehanska analiza in prikaz rezultatov

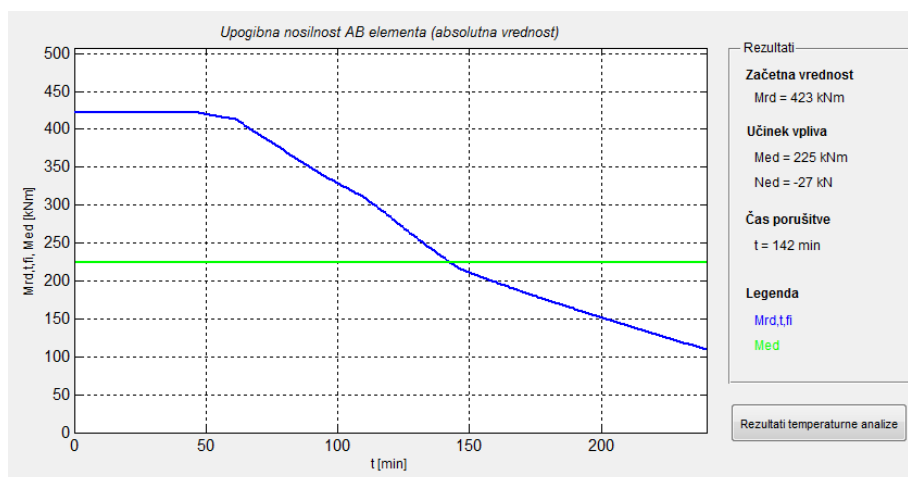
Potem, ko so bili vneseni vsi potrebni podatki, oziroma ko je bila izvedena temperaturna analiza, lahko opravimo še mehansko analizo. To storimo s pritiskom na gumb »IZRAČUNAJ« na glavnem oknu. Čas trajanja izračuna je odvisen od tega, ali je bila izbrana temperaturna analiza ali ne.

V primeru ročnega vnosa se mehanska analiza izvede samo za čase 0, 30, 60, 90, 120 in 180 minut. Vnesene temperature v armaturnih palicah program pretvori v redukcijske faktorje $k_{s,T}$, iz debeline pregretega betona d_{ef} pa določi efektiven betonski prerez. Izračun v tem primeru traja zelo malo časa, vendar je natančnost rezultatov zaradi majhnega števila časovnih korakov manjša.

V primeru temperaturne analize lahko izračun traja nekoliko dlje, saj se odpornost prereza izračuna v bistveno več časovnih korakih. Na podlagi izračunanih temperaturnih profilov za celoten čas analize, se za vsako od armaturnih palic odčitajo temperature, ki se nato pretvorijo v redukcijske koeficiente $k_{s,T}$. Ker nas pri računu upogibne nosilnosti poleg temperature v armaturi zanima tudi trenutna lega in oblika tlačene cone, se za celoten čas odčita potek izoterme 500°C . Kako nato program določi reducirano širino b_{fi} in višino h_{fi} , je odvisno od predznaka upogibnega momenta in smeri izpostavljenosti elementa ognju. V primeru pozitivnega momenta in izpostavljenosti elementa ognju s treh strani je tlačena cona pravokotne oblike in se pri reducirani širini prereza b_{fi} upošteva izoterma na srednji višini prereza, višina h_{fi} pa na nosilnost nima vpliva. V ostalih primerih, ko se tlačena cona nahaja na ognju izpostavljenem delu prečnega prereza, pa program izračuna nov nadomestni prerez tako, da ohranja površino in vztrajnostna momenta okoli osi y in z . Na ta način dobimo širino b_{fi} in višino h_{fi} obenem pa upoštevamo zaokrožitev izoterme 500°C preko tlačene cone.

Tako pri ročnem vnosu kot pri temperaturni analizi se upogibna nosilnost elementa izračuna z enačbami od (2.29) do (2.34). V primeru, da zaradi povišane temperature postane nosilnost tlačne armature večja od natezne, daje enačba (2.33) nesmiselne rezultate. To je precej pogost pojav, saj se prostoležeči nosilec pri običajnem principu segrevanja s treh strani bolj segreje na mestu natezne armature, ki posledično izgubi nosilnost. V ta namen je v drugem delu izraza (2.33) namesto nosilnosti tlačene armature N_s' upoštevana manjša od vrednosti N_s (2.30) in N_s' (2.31). Za globino nevtralne osi x iz enačbe (2.29) pa je predpostavljeno, da je njena zaloga vrednosti $x \geq 0$.

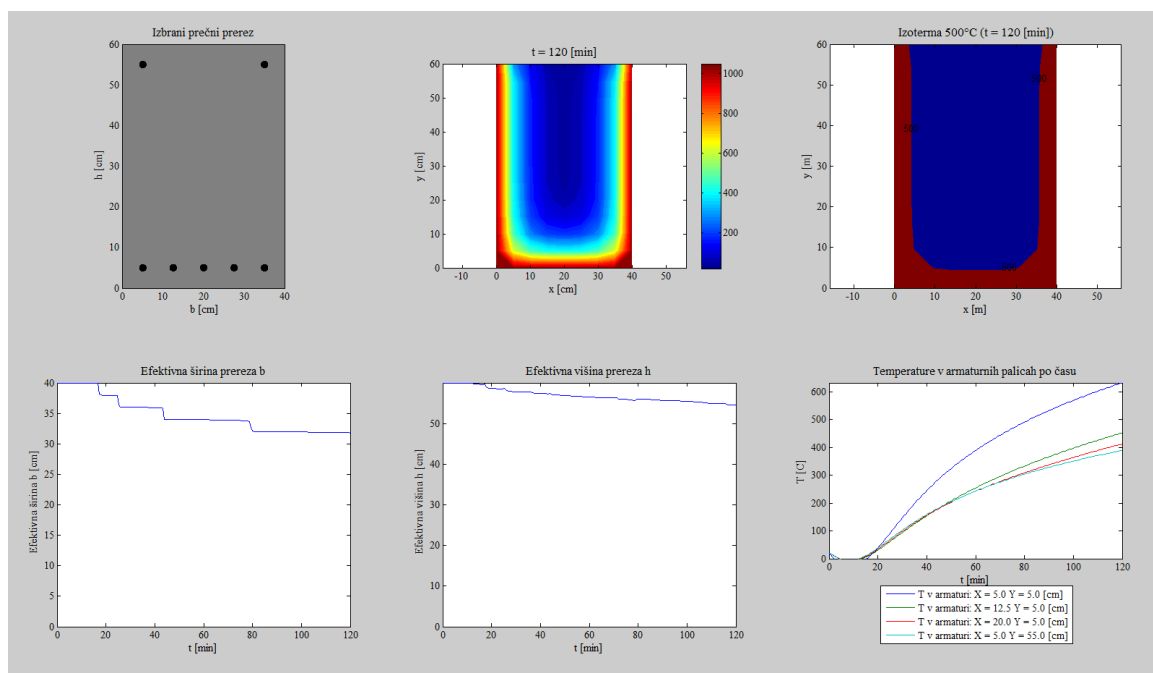
Prikaz rezultatov mehanske analize je za oba načina enak (slika 19). Na grafu je z modro barvo prikazana upogibna nosilnost elementa med požarom, z zeleno pa učinek vpliva. Njuno presečišče predstavlja porušitev elementa, t.j. trenutek, ko postane odpornost manjša od obremenitve. Poleg grafa se na desni strani okna izpišejo še rezultati v številkah, in sicer začetna odpornost, učinek vpliva in čas porušitve.



Slika 19: Rezultati mehanske analize AB elementa po temperaturni analizi

Kadar želimo opraviti nov izračun, lahko to storimo na dva načina. S pritiskom na gumb »Počisti« vrnemo celoten vmesnik na začetek in ponovimo celoten proces vnašanja podatkov, lahko pa samo spremenimo poljubne vrednosti predhodnemu, že izračunanemu primeru. Po spremembi ponovno pritisnemo »IZRAČUNAJ«. Če smo spremenili podatke, ki so ključni za temperaturno analizo, nas program o tem obvesti in nas vpraša ali jo želimo ponovno zagnati. V nasprotnem primeru program uporabi podatke iz prejšnje temperaturne analize in prikaže rezultate nove mehanske analize.

Pri uporabi temperaturne analize si lahko posebej ogledamo tudi njene končne rezultate. Do njih pridemo s pritiskom na gumb »Rezultati temperature analize«, ki se nahaja na spodnji desni strani glavnega okna. Ob tem se pojavi novo celozaslonsko okno (slika 20). Rezultati so sestavljeni iz slike prečnega prereza, razporeditve temperatur po betonskem prerezu, poteka izoterme 500°C, grafov spreminjanja efektivnih širine in višine ter spreminjanje temperatur vsake od vzdolžnih palic armature.

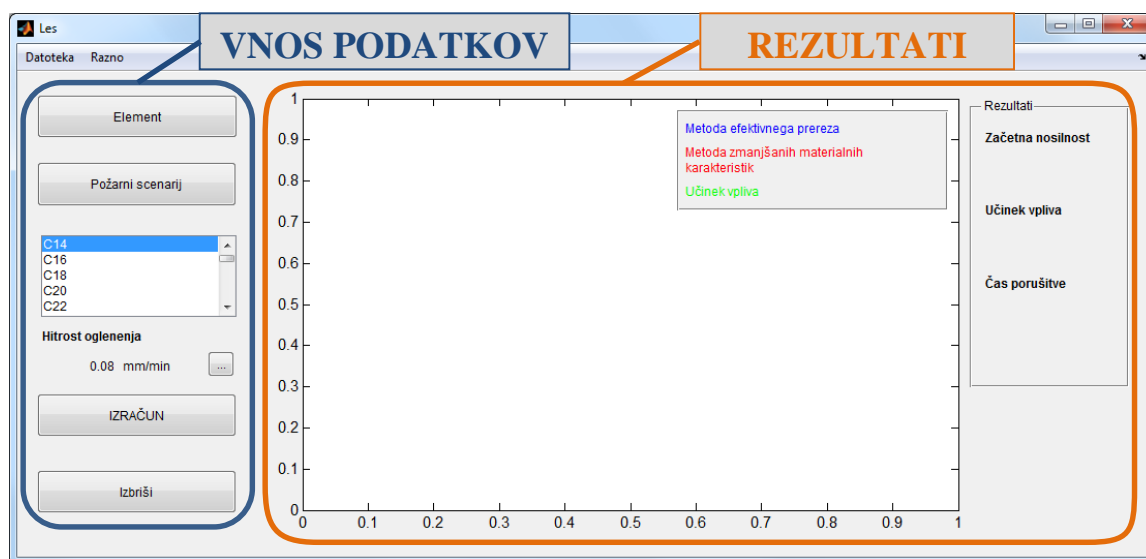


Slika 20: Prikaz rezultatov temperaturne analize

Pri grafih efektivnih širine in višine lahko prihaja do nenadnih padcev, ki so posledica računanja s centimetrsko mrežo kvadratov, na katero je razdeljen prečni prerez. Na ta način je izračun hitrejši, razlika pri rezultatih mehanske analize v primerjavi z mrežo iz manjših – milimetrskih elementov pa zanemarljiva. Primerjava rezultatov centimetrske in milimetrske mreže je prikazana v poglavju 4.2.

3.2.3 Vmesnik za računsko analizo lesenih elementov v požaru

Princip delovanja vmesnika za obravnavanje lesenih elementov je podoben tistemu pri armiranobetonskih elementih. Ob zagonu se pojavi glavno okno, s katerim dostopamo do vseh ostalih, hkrati pa služi predstavitvi rezultatov. Levi del je namenjen vnosu podatkov, osrednji in desni del pa predstavitvi rezultatov (slika 21). Vrstni red vnosa podatkov je poljuben, pomembno je le, da so vneseni vsi zahtevani podatki. V kolikor ti podatki manjkajo ali pa so neustrezni, nas program o tem obvesti.



Slika 21: Glavno okno vmesnika za lesene elemente

Od vmesnika za obravnavanje armiranobetonskih elementov se glavno okno razlikuje po tem, da v njem izbiramo med vrsto oziroma kvaliteto konstrukcijskega materiala – lesa. Klasifikacija, njene karakteristične vrednosti in ostali podatki, s katerimi program računa, so iz standardov SIST EN 338:2003, SIST EN 1194:1999 in SIST EN 1995-1-2:2005. Po potrebi lahko materiale tudi dodajamo oziroma jim spreminjamo karakteristike. V datoteki BAZA_LES.txt so podatki zapisani na način, kot ga prikazuje preglednica 11. Datoteko lahko tudi neposredno odpremo s klikom na ukaz »Odpri BAZA_LES.txt« v meniju »Razno«. Za dodajanje materiala vnesemo novo vrstico z vsemi podatki, spremenimo pa lahko katerikoli podatek. Po urejanju datoteko shranimo.

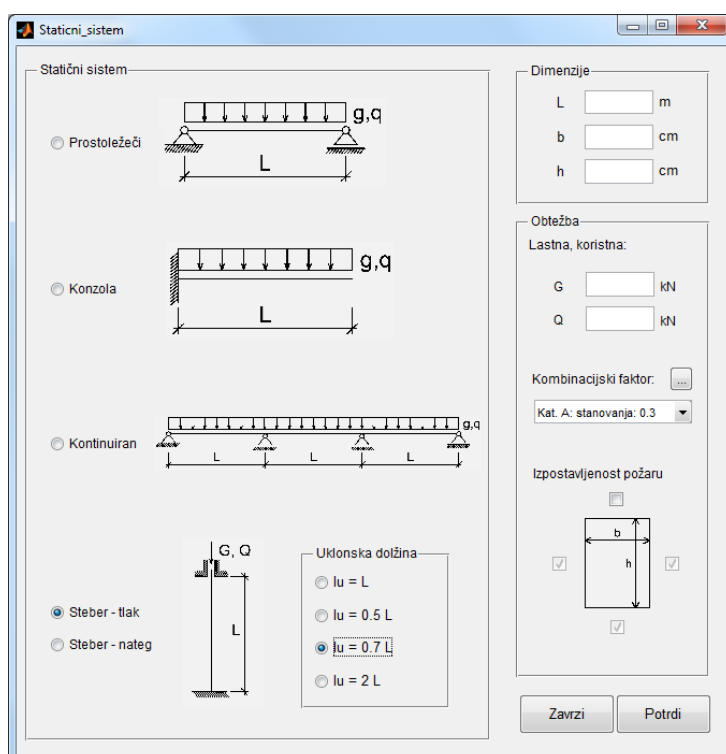
Preglednica 11: Prikaz zapisa podatkov v datoteki BAZA_LES.txt z materialnimi karakteristikami lesa

Ime	$f_{m,k}$ [kN/cm ²]	$f_{v,k}$ [kN/cm ²]	$f_{c,0,k}$ [kN/cm ²]	$f_{t,0,k}$ [kN/cm ²]	β_n [mm/min]	$E_{0,05}$ [kN/cm ²]	ρ_{mean} [kg/m ³]
C14	1.4	0.17	1.6	0.8	0.8	470	350
C16	1.6	0.18	1.7	1.0	0.8	540	370
C18	1.8	0.20	1.8	1.1	0.8	600	380
C20	2.0	0.22	1.9	1.2	0.8	640	390
.
.
.

Ob izbiri vrste lesa se nam izpiše tudi hitrost oglenjenja β_n , ki je predpisana za to vrsto lesa. Po potrebi lahko določimo hitrost oglenjenja tudi sami, kar storimo s pritiskom na gumb »...«.

3.2.3.1 Vnos podatkov: Element

Element in obtežbo določimo s pritiskom na gumb »Element«. Odpre se okno za vnos podatkov (slika 22). Izbiramo lahko med štirimi statičnimi sistemi, in sicer med prostoležečim nosilcem, konzolnim nosilcem, kontinuirnim nosilcem in stebrom, ki je lahko obremenjen natezno ali pa tlačno. Pri slednjem je treba izbrati še uklonsko dolžino glede na način podpiranja. Podatke vnašamo tako kot pri armiranobetonskih elementih, vse mere in količine so tudi tu prikazane na skicah.



Slika 22: Vnos podatkov o lesenem elementu

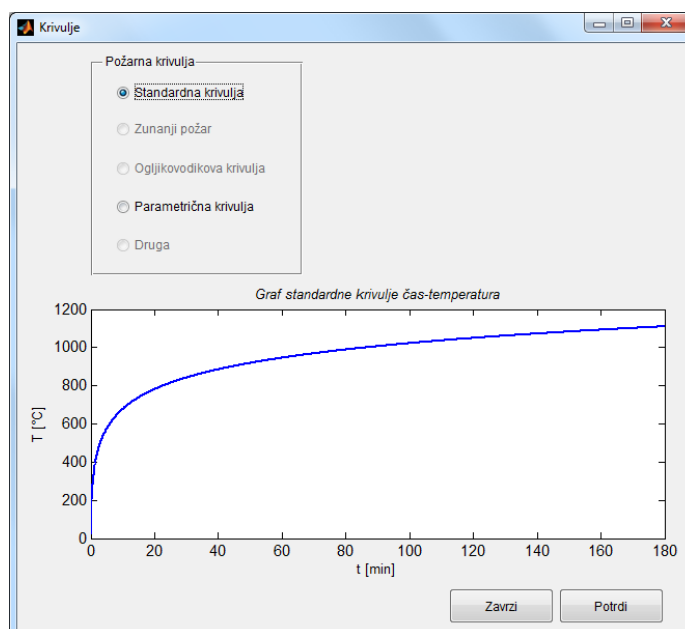
Projektne vrednosti vpliva q_{Ed} ali Q_{Ed} program izračuna po enačbi (2.3). Glede na izbrani statični sistem pa program sam določi absolutno maksimalni učinek vpliva po enačbah:

$$M_{Ed} = \begin{cases} \frac{q_{Ed} \cdot L^2}{8} & \text{za prostoležeči nosilec,} \\ -\frac{q_{Ed} \cdot L^2}{2} & \text{za konzolni nosilec,} \\ -\frac{q_{Ed} \cdot L^2}{10} & \text{za kontinuirani nosilec,} \end{cases} \quad (3.3)$$

$$N_{Ed} = Q_{Ed}, \quad \text{za steber.} \quad (3.4)$$

3.2.3.2 Vnos podatkov: Požarni scenarij

S klikom na gumb »Požarni scenarij« izberemo željeno požarno krivuljo. Poenostavljene računske metode za lesene elemente, ki so uporabljene v programu, omogočajo uporabo samo dveh različnih požarnih krivulj, in sicer standardno in parametrično, zato nam program v izbiro dopušča samo ti dve možnosti (slika 23). Način vnosa parametrične požarne krivulje je predstavljen v podpoglavju 3.2.4.1.

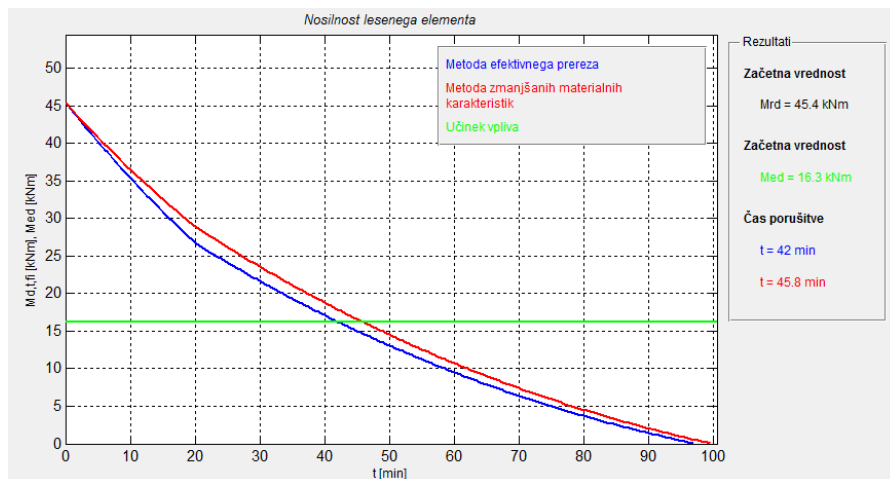


Slika 23: Izbira požarne krivulje; pri lesu sta na voljo samo dve opciji

3.2.3.3 Mehanska analiza in prikaz rezultatov

Potem ko so bili vneseni vsi potrebni podatki, pritisnemo na gumb »IZRAČUN«. Na osrednjem delu glavnega okna se pojavi graf, na desni strani pa numerični rezultati. Mehanska odpornost lesenih elementov se izračuna po metodah iz standarda SIST EN 1995-1-2:2005, in sicer metodi zmanjšane prečnega prereza ter po metodi z zmanjšanimi materialnimi karakteristikami. Nosilnost se izračuna po enačbah (2.45) do (2.47) in (2.56) do (2.58). Program istočasno predstavi rezultate obeh metod. Na grafu imamo poleg učinka vpliva tako še dve krivulji, ki prikazujeta odpornost prereza elementa v odvisnosti od časa – modra barva predstavlja metodo efektivnega prereza, rdeča barva pa metodo z zmanjšanimi

materialnimi karakteristikami. Zaradi odstopanja rezultatov med obema metodama sta v barvah krivulj podana tudi različna časa porušitve (slika 24).



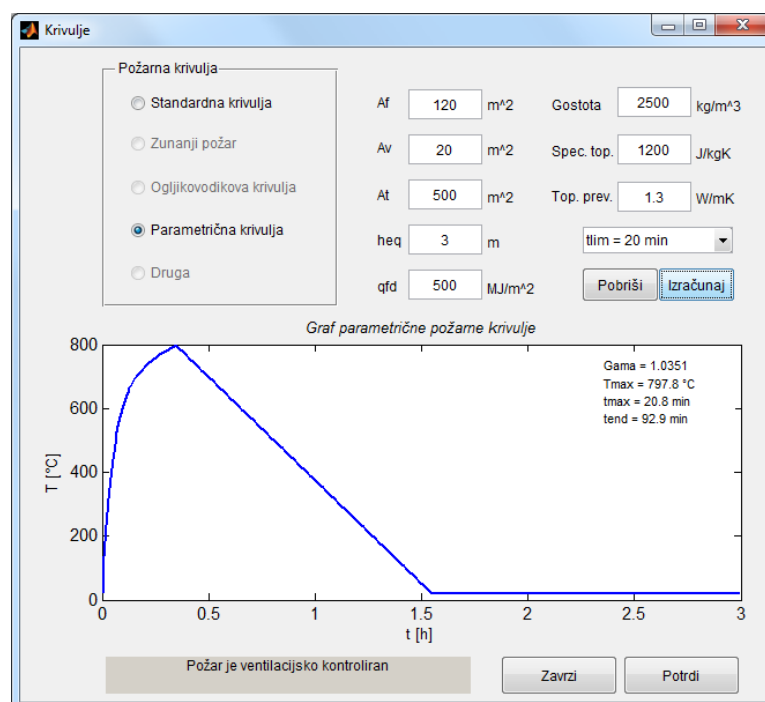
Slika 24: Rezultati mehanske analize lesenega elementa

Za ponovni izračun lahko pritisnemo na gumb »Izbriši« in ponovimo celoten proces vnosa podatkov ali pa spremenimo samo kateregakoli od že vnesenih in pritisnemo »IZRAČUN«.

3.2.4 Ostalo

3.2.4.1 Parametrična krivulja

Pri izbiri požarne krivulje imamo pri obeh konstrukcijskih materialih možnost upoštevanja parametrične požarne krivulje. Kot je opisano že v drugem poglavju, gre za poenostavljen model požara, za katerega je treba definirati določene parametre. Z njimi opišemo karakteristike sektorja in samega požara.



Slika 25: Izbira parametrične krivulje

Ob izbrani možnosti »Parametrična krivulja« se na desni strani okna pojavi več vnosnih polj (slika 25), v katere vnesemo naslednje parametre:

- A_f – tlorisna površina sektorja [m²],
- A_v – celotna površina odprtin v vseh stenah [m²],
- A_t – celotna površina oboda sektorja, t.j. stropov, sten in odprtin [m²],
- h_{eq} – uteženo povprečje višin oken v vseh stenah [m],
- $q_{i,d}$ – projektna vrednost gostote požarne obtežbe [MJ/m²],
- $Gostota$ – gostota oboda sektorja [kg/m³],
- $Spec. top.$ – specifična toplota oboda [J/kgK],
- $Top. prev.$ – toplotna prevodnost oboda [W/mK],
- t_{lim} – čas odvisen od hitrosti razvoja požara [min].

Njihove vrednosti določimo kot je to opisano v poglavju 2.3.4. Ko so vneseni vsi parametri, pritisnemo na gumb »Izračunaj«, ki se nahaja pod vnosnimi polji. Na grafu se izriše parametrična krivulja in rezultati kot so najvišja temperatura, čas nastopa najvišje temperature in čas trajanja požara vključno s fazo ohlajanja. Pod grafom se izpiše ali je požar odvisen od zaloge gorljivega materiala ali pa ventilacijsko kontroliran.

Preden se parametrična krivulja izračuna, program preveri, ali so vsi parametri znotraj predpisanih omejitev (preglednica 12). Te so odvisne tudi od tega, ali obravnavamo lesene ali armiranobetonse elemente. V kolikor so vrednosti zunaj omejitev, nas program o tem obvesti in prikaže kateri od parametrov izstopa, njegovo vrednost in njegove omejitve.

Preglednica 12: Omejitve pri parametrični krivulji iz SIST EN 1991-1-2:2004, SIST EN 1992-1-2:2005 in SIST EN 1995-1-2:2005

Parameter	Enačba	Armiranobetonski elementi	Leseni elementi
A_f		$\leq 500 \text{ m}^2$	$\leq 500 \text{ m}^2$
h_{eq}	2.13	$\leq 4 \text{ m}$	$\leq 4 \text{ m}$
$q_{t,d}$	2.16	$50 \leq q_{t,d} \leq 1000 \text{ MJ/m}^2$	$50 \leq q_{t,d} \leq 1000 \text{ MJ/m}^2$
O	2.11	$0.14 \leq O \leq 0.2 \text{ m}^{1/2}$	$0.02 \leq O \leq 0.2 \text{ m}^{1/2}$
b	2.12	$100 \leq b \leq 2000 \text{ J}/(\text{m}^2\text{s}^{1/2}\text{K})$	$100 \leq b \leq 2000 \text{ J}/(\text{m}^2\text{s}^{1/2}\text{K})$

Ko smo definirali ustrezno parametrično krivuljo, pritisnemo na gumb »Potrdi« in nadaljujemo z delom kakor je opisano v tretjem poglavju.

3.2.4.2 Shranjevanje in odpiranje primerov

Zaradi lažjega dela s programom je možno tudi shranjevanje in odpiranje izračunanih primerov. Ne glede na to, ali delamo z lesenimi ali pa z armiranobetonskimi elementi, lahko primer shranimo s pritiskom na gumb »Shrani« v meniju »Datoteka« ali pa s tipkami Ctrl+S. Datoteko lahko shranimo na katerokoli mesto na računalniku, pod katerimkoli imenom. Končnica datoteke je *.mat.

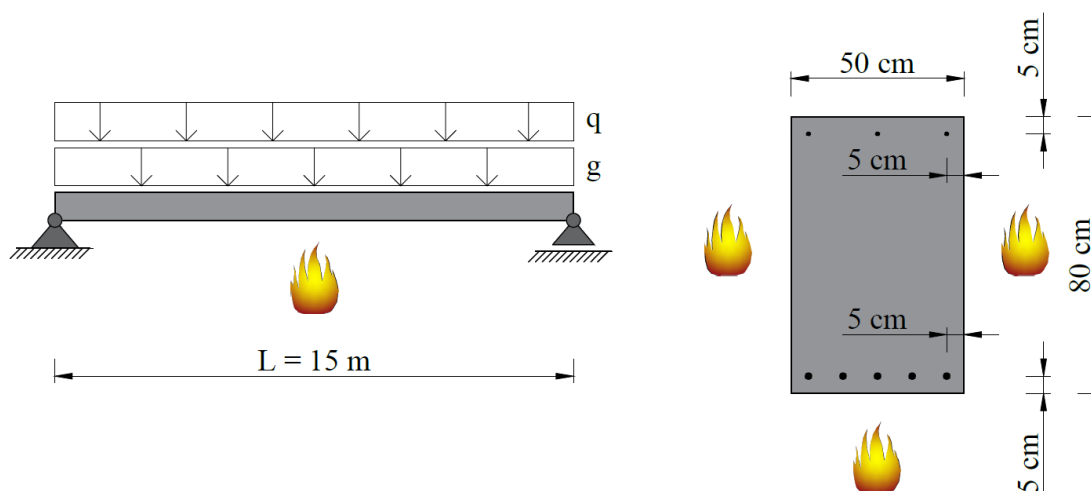
Shranjene datoteke odpremo s pritiskom na gumb »Odpri« v meniju »Datoteka« ali pa s tipkami Ctrl+O. Pri tem je pomembno, da iz ustreznega podprograma odpremo ustrezno datoteko. Torej, če želimo odpreti primer lesenega elementa, moramo to storiti iz podprograma za lesene elemente. V nasprotnem primeru nas program obvesti, da smo izbrali neustrezno datoteko.

4 PRIMERI

Praktični primeri računske določitve požarne odpornosti armiranobetonskih in lesenih nosilnih elementov po poenostavljenih računskih metodah so namenjeni podrobnejši predstavitvi delovanja programa, možnosti njegove uporabe in verifikaciji rezultatov z ročnim računom. Predstavljenih je pet primerov – dva za elemente iz armiranega betona in trije za elemente iz lesa. V primeru 4.1 izvedemo verifikacijo programa na primeru prostoležečega armiranobetonskega elementa. V primeru 4.2 primerjamo uporabo centimetrske in milimetrsk mreže pri določevanju nadomestnega betonskega prereza. V primerih 4.3 in 4.4 opravimo verifikacijo programa na dveh različnih lesenih elementih. Pri vseh treh verifikacijskih primerih rezultate primerjamo z ročnim računom. V primeru 4.5 preverimo vpliv prezračevanja v požarnem sektorju na upogibno nosilnost kontinuirnega lesenega nosilca. Pri vsakem primeru je opisan problem, njegova rešitev in komentar.

4.1 Primer 1: Armiranobetonski nosilec

Obravnavamo armiranobetonski prostoležeči nosilec z razponom 15 m s pravokotnim prečnim prerezom dimenzij $b/h = 50/80$ cm. Spodaj je nosilec armiran s petimi palicami premera 18 mm, zgoraj pa s tremi palicami premera 10 mm. Lega armature je prikazana na sliki 26. Uporabljen je beton razreda C30/37 in armatura S500. Stalna porazdeljena obtežba g_k znaša 6 kN/m, koristna porazdeljena obtežba q_k pa 2 kN/m (kategorija stavbe je F: $\Psi_1 = 0.9$). Nosilec je izpostavljen standardnemu požaru (standardna krivulja) s treh strani. Zanima nas upogibna odpornost nosilca v časih 90, 120, 180, 240 minut oziroma čas, za katerega je zagotovljena funkcija nosilnosti.



Slika 26: Grafični podatki obravnavanega prostoležečega nosilca

PODATKI

$$L = 15 \text{ m}$$

$$b/h = 50/80 \text{ cm}$$

Beton: C30/37

Armatura: S500

Armatura zgoraj: 3 Φ 10 mm

Armatura spodaj: 5 Φ 18 mm

$$g_k = 6 \text{ kN/m}$$

$$q_k = 2 \text{ kN/m} (\Psi_1 = 0.9)$$

4.1.1 Vhodni podatki za ročni izračun

Iz temperaturnih profilov v standardu SIST EN 1992-1-2:2004 (dodatek A) odčitamo debelino betona s temperaturo, večjo od 500°C ter temperature na pozicijah armature. Odčitki so za vse čase podani v preglednicah 13 in 14.

Preglednica 13: Širina betona, ki ga pri računu nosilnosti zanemarimo (y_{T500}) in efektivna širina prereza (b_{fi}).
Odčitano iz SIST EN 1992-1-2:2004

Čas [min]	y_{T500} [cm]	b_{fi} [cm]
60	2	46
90	3	44
120	4	42
180	4.9	40.2
240	6	38

Preglednica 14: Temperature na mestih armaturnih palic [°C]. Zaradi simetrije so prikazane temperature le za polovico prereza. Temperature, nižje od 100°C, ne vplivajo na nosilnost, zato lahko predpostavimo sobno temperaturo

Čas [min]	Temperature v zgornji armaturi [°C]		
0	20	20	
60	240	< 100	
90	330	< 100	
120	400	< 100	
180	500	< 100	
240	570	< 100	
Čas [min]	Temperature v spodnji armaturi [°C]		
0	20	20	20
60	390	250	250
90	530	340	330
120	630	420	400
180	780	540	510
240	860	630	590

V preglednici 14 smo zaradi simetrije prečnega prereza in požarne obtežbe odčitali in prikazali temperature samo za polovico prereza. Kjer je temperatura nižja od 100°C, natančen odčitek ni mogoč, vendar ta ni pomemben, saj takšne temperature pri mehanski analizi na nosilnost elementa nimajo vpliva. Redukcijske faktorje za karakteristične trdnosti jekla za armiranje pri povišanih temperaturah $k_s(T)$ dobimo skladno z grafom na sliki 4. Vrednosti faktorja za obravnavani primer so predstavljene v preglednici 15.

Preglednica 15: Vrednosti redukcijskih faktorjev $k_s(T)$

Čas [min]	Vrednosti faktorja $k_s(T)$ za zgornjo armaturo		
	0	1.0	1.0
60	0.860	1.0	
90	0.770	1.0	
120	0.700	1.0	
180	0.570	1.0	
240	0.406	1.0	
Čas [min]	Vrednosti faktorja $k_s(T)$ za spodnjo armaturo		
	0	1.0	1.0
60	0.946	1.0	1.0
90	0.589	0.976	0.982
120	0.316	0.886	0.940
180	0.112	0.562	0.643
240	0.092	0.316	0.427

4.1.2 Ročni izračun požarne odpornosti AB nosilca

Obtežbo izračunamo s kombinacijo vplivov za nezgodna projektna stanja iz enačbe (2.3) maksimalni moment pa z izrazom za prostoležeči nosilec (3.1):

$$q_{Ed} = g_k + \psi_1 \cdot q_k = 6.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 0.9 \cdot 2.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 7.8 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Ed} = \frac{q_{Ed} \cdot L^2}{8} = \frac{7.8 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 15^2 \text{ m}^2}{8} = 219.4 \text{ kNm}$$

Odpornost prereza:

Začetna odpornost

$$b_{fi} = b - 2 \cdot y_{T500} = 50 \text{ cm} - 2 \cdot 0 \text{ cm} = \mathbf{50 \text{ cm}}$$

$$d_{fi} = h - a = 80 \text{ cm} - 5 \text{ cm} = \mathbf{75 \text{ cm}}$$

Sile v armaturi izračunamo skladno z enačbami (2.30) in (2.31):

$$N_s = \sum_i A_{s,i} \cdot f_{sd,fi,i} = 5 \cdot 2.54 \text{ cm}^2 \cdot 1.0 \cdot \frac{50 \text{ kN}}{1.0 \text{ cm}^2} = \mathbf{636.2 \text{ kN}}$$

$$N'_s = 3 \cdot 0.79 \text{ cm}^2 \cdot 1.0 \cdot \frac{50 \text{ kN}}{1.0 \text{ cm}^2} = \mathbf{117.8 \text{ kN}}$$

Lego nevtralne osi dobimo z izrazom (2.29):

$$x = \frac{N_s - N'_s - N_{Ed,t,fi}}{0.8 \cdot b_{fi} \cdot f_{cd}} = \frac{636.2 \text{ kN} - 117.8 \text{ kN}}{0.8 \cdot 50 \text{ cm} \cdot 3.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = \mathbf{4.32 \text{ cm}}$$

Upogibna odpornost nosilca sledi iz enačb (2.33) in (2.34):

$$\begin{aligned} M_{500} &= N_c \cdot (d_{fi} - 0.4 \cdot x) + N'_s \cdot (d_{fi} - a') = \\ &= 518.4 \text{ kN} \cdot (75 \text{ cm} - 0.4 \cdot 4.32 \text{ cm}) + 117.8 \text{ kN} \cdot (75 \text{ cm} - 5 \text{ cm}) = \mathbf{462.3 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

$$M_{d,t,fi} = M_{500} \cdot k_m = 462.3 \text{ kNm} \cdot 1.0 = \mathbf{462.3 \text{ kNm}}$$

R60

$$b_{fi} = b - 2 \cdot y_{T500} = 50 \text{ cm} - 2 \cdot 2.0 \text{ cm} = \mathbf{46 \text{ cm}}$$

$$d_{fi} = h - a = 80 \text{ cm} - 5 \text{ cm} = \mathbf{75 \text{ cm}}$$

Sile v armaturi izračunamo skladno z enačbami (2.30) in (2.31):

$$N_s = 2 \cdot 2.54 \text{ cm}^2 \cdot 0.946 \cdot \frac{50 \text{ kN}}{1.0 \text{ cm}^2} + 3 \cdot 2.54 \text{ cm}^2 \cdot 1.0 \cdot \frac{50 \text{ kN}}{1.0 \text{ cm}^2} = \mathbf{622.4 \text{ kN}}$$

$$N'_s = 2 \cdot 0.79 \text{ cm}^2 \cdot 0.860 \cdot \frac{50 \text{ kN}}{1.0 \text{ cm}^2} + 0.79 \text{ cm}^2 \cdot 1.0 \cdot \frac{50 \text{ kN}}{1.0 \text{ cm}^2} = \mathbf{106.8 \text{ kN}}$$

Lego nevtralne osi dobimo z izrazom (2.29):

$$x = \frac{622.4 \text{ kN} - 106.8 \text{ kN}}{0.8 \cdot 46 \text{ cm} \cdot 3.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = \mathbf{4.67 \text{ cm}}$$

Upogibna odpornost nosilca sledi iz enačb (2.33) in (2.34):

$$M_{500} = 515.6 \text{ kN} \cdot (75 \text{ cm} - 0.4 \cdot 4.67 \text{ cm}) + 106.8 \text{ kN} \cdot (75 \text{ cm} - 5 \text{ cm}) = \mathbf{451.9 \text{ kNm}}$$

$$M_{d,t,fi} = 451.9 \text{ kNm} \cdot 1.0 = \mathbf{451.9 \text{ kNm}}$$

R90

$$b_{fi} = b - 2 \cdot y_{T500} = 50 \text{ cm} - 2 \cdot 3.0 \text{ cm} = \mathbf{44 \text{ cm}}$$

$$d_{fi} = h - a = 80 \text{ cm} - 5 \text{ cm} = \mathbf{75 \text{ cm}}$$

Sile v armaturi izračunamo skladno z enačbami (2.30) in (2.31):

$$N_s = 2 \cdot 2.54 \text{ cm}^2 \cdot 0.589 \cdot \frac{50 \text{ kN}}{1.0 \text{ cm}^2} + 2 \cdot 2.54 \text{ cm}^2 \cdot 0.976 \cdot \frac{50 \text{ kN}}{1.0 \text{ cm}^2} + \\ + 2.54 \text{ cm}^2 \cdot 0.982 \cdot \frac{50 \text{ kN}}{1.0 \text{ cm}^2} = \mathbf{523.2 \text{ kN}}$$

$$N'_s = 2 \cdot 0.79 \text{ cm}^2 \cdot 0.770 \cdot \frac{50 \text{ kN}}{1.0 \text{ cm}^2} + 0.79 \text{ cm}^2 \cdot 1.0 \cdot \frac{50 \text{ kN}}{1.0 \text{ cm}^2} = \mathbf{99.7 \text{ kN}}$$

Lego nevtralne osi dobimo z izrazom (2.29):

$$x = \frac{523.2 \text{ kN} - 99.7 \text{ kN}}{0.8 \cdot 44 \text{ cm} \cdot 3.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = \mathbf{4.01 \text{ cm}}$$

Upogibna odpornost nosilca sledi iz enačb (2.33) in (2.34):

$$M_{500} = 423.4 \text{ kN} \cdot (75 \text{ cm} - 0.4 \cdot 4.01 \text{ cm}) + 99.7 \text{ kN} \cdot (75 \text{ cm} - 5 \text{ cm}) = \mathbf{380.6 \text{ kNm}}$$

$$M_{d,t,fi} = 380.6 \text{ kNm} \cdot 1.0 = \mathbf{380.6 \text{ kNm}}$$

R120

$$b_{fi} = b - 2 \cdot y_{T500} = 50 \text{ cm} - 2 \cdot 4.0 \text{ cm} = \mathbf{42 \text{ cm}}$$

$$d_{fi} = h - a = 80 \text{ cm} - 5 \text{ cm} = \mathbf{75 \text{ cm}}$$

Sile v armaturi izračunamo skladno z enačbami (2.30) in (2.31):

$$N_s = 2 \cdot 2.54 \text{ cm}^2 \cdot 0.316 \cdot \frac{50 \text{ kN}}{1.0 \text{ cm}^2} + 2 \cdot 2.54 \text{ cm}^2 \cdot 0.886 \cdot \frac{50 \text{ kN}}{1.0 \text{ cm}^2} +$$

$$+ 2.54 \text{ cm}^2 \cdot 0.94 \cdot \frac{50 \text{ kN}}{1.0 \text{ cm}^2} = \mathbf{425.5 \text{ kN}}$$

$$N'_s = 2 \cdot 0.79 \text{ cm}^2 \cdot 0.70 \cdot \frac{50 \text{ kN}}{1.0 \text{ cm}^2} + 0.79 \text{ cm}^2 \cdot 1.0 \cdot \frac{50 \text{ kN}}{1.0 \text{ cm}^2} = \mathbf{94.2 \text{ kN}}$$

Lego nevtralne osi dobimo z izrazom (2.29):

$$x = \frac{425.5 \text{ kN} - 94.2 \text{ kN}}{0.8 \cdot 42 \text{ cm} \cdot 3.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = \mathbf{3.29 \text{ cm}}$$

Upogibna odpornost nosilca sledi iz enačb (2.33) in (2.34):

$$M_{500} = 331.2 \text{ kN} \cdot (75 \text{ cm} - 0.4 \cdot 3.29 \text{ cm}) + 94.2 \text{ kN} \cdot (75 \text{ cm} - 5 \text{ cm}) = \mathbf{310.0 \text{ kNm}}$$

$$M_{d,t,fi} = 310.0 \text{ kNm} \cdot 1.0 = \mathbf{310.0 \text{ kNm}}$$

R180

$$b_{fi} = b - 2 \cdot y_{T500} = 50 \text{ cm} - 2 \cdot 4.9 \text{ cm} = \mathbf{40.2 \text{ cm}}$$

$$d_{fi} = h - a = 80 \text{ cm} - 5 \text{ cm} = \mathbf{75 \text{ cm}}$$

Sile v armaturi izračunamo skladno z enačbami (2.30) in (2.31):

$$N_s = 2 \cdot 2.54 \text{ cm}^2 \cdot 0.112 \cdot \frac{50 \text{ kN}}{1.0 \text{ cm}^2} + 2 \cdot 2.54 \text{ cm}^2 \cdot 0.562 \cdot \frac{50 \text{ kN}}{1.0 \text{ cm}^2} +$$

$$+ 2.54 \text{ cm}^2 \cdot 0.643 \cdot \frac{50 \text{ kN}}{1.0 \text{ cm}^2} = \mathbf{253.3 \text{ kN}}$$

$$N'_s = 2 \cdot 0.79 \text{ cm}^2 \cdot 0.58 \cdot \frac{50 \text{ kN}}{1.0 \text{ cm}^2} + 0.79 \text{ cm}^2 \cdot 1.0 \cdot \frac{50 \text{ kN}}{1.0 \text{ cm}^2} = \mathbf{84.0 \text{ kN}}$$

Lego nevtralne osi dobimo z izrazom (2.29):

$$x = \frac{253.3 \text{ kN} - 84.0 \text{ kN}}{0.8 \cdot 40.2 \text{ cm} \cdot 3.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = \mathbf{1.76 \text{ cm}}$$

Upogibna odpornost nosilca sledi iz enačb (2.33) in (2.34):

$$M_{500} = 169.3 \text{ kN} \cdot (75 \text{ cm} - 0.4 \cdot 1.76 \text{ cm}) + 84.0 \text{ kN} \cdot (75 \text{ cm} - 5 \text{ cm}) = \mathbf{184.6 \text{ kNm}}$$

$$M_{d,t,fi} = 184.6 \text{ kNm} \cdot 1.0 = \mathbf{184.6 \text{ kNm}}$$

R240

$$b_{fi} = b - 2 \cdot y_{T500} = 50 \text{ cm} - 2 \cdot 6.0 \text{ cm} = \mathbf{38 \text{ cm}}$$

$$d_{fi} = h - a = 80 \text{ cm} - 5 \text{ cm} = \mathbf{75 \text{ cm}}$$

Sile v armaturi izračunamo skladno z enačbami (2.30) in (2.31):

$$N_s = 2 \cdot 2.54 \text{ cm}^2 \cdot 0.092 \cdot \frac{50 \text{ kN}}{1.0 \text{ cm}^2} + 2 \cdot 2.54 \text{ cm}^2 \cdot 0.316 \cdot \frac{50 \text{ kN}}{1.0 \text{ cm}^2} +$$
$$+ 2.54 \text{ cm}^2 \cdot 0.427 \cdot \frac{50 \text{ kN}}{1.0 \text{ cm}^2} = \mathbf{158.2 \text{ kN}}$$

$$N'_s = 2 \cdot 0.79 \text{ cm}^2 \cdot 0.406 \cdot \frac{50 \text{ kN}}{1.0 \text{ cm}^2} + 0.79 \text{ cm}^2 \cdot 1.0 \cdot \frac{50 \text{ kN}}{1.0 \text{ cm}^2} = \mathbf{71.2 \text{ kN}}$$

Lego nevtralne osi dobimo z izrazom (2.29):

$$x = \frac{158.2 \text{ kN} - 71.2 \text{ kN}}{0.8 \cdot 38 \text{ cm} \cdot 3.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = \mathbf{0.95 \text{ cm}}$$

Upogibna odpornost nosilca sledi iz enačb (2.33) in (2.34):

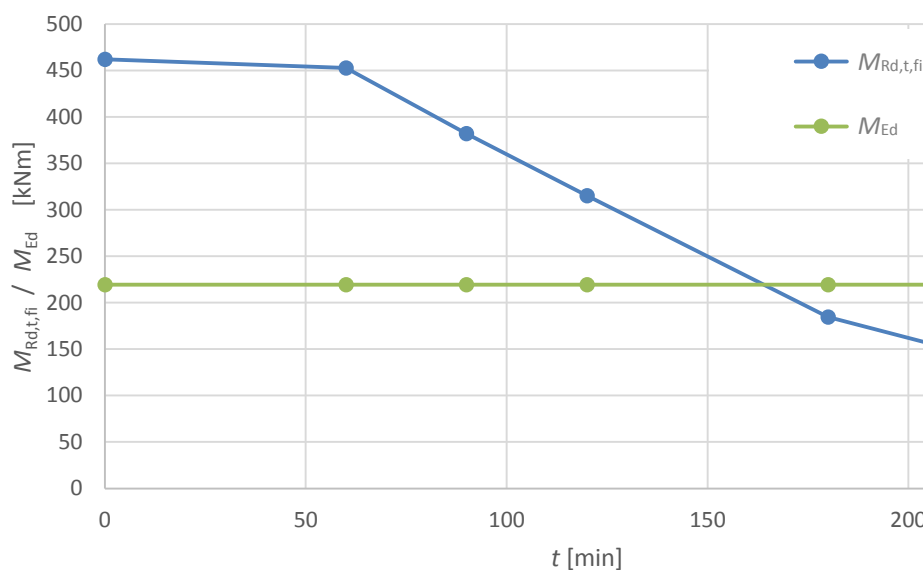
$$M_{500} = 87.0 \text{ kN} \cdot (75 \text{ cm} - 0.4 \cdot 0.95 \text{ cm}) + 71.2 \text{ kN} \cdot (75 \text{ cm} - 5 \text{ cm}) = \mathbf{114.7 \text{ kNm}}$$

$$M_{d,t,fi} = 114.7.1 \text{ kNm} \cdot 1.0 = \mathbf{114.7 \text{ kNm}}$$

Rezultate izračuna prikažemo še v preglednici 16 in na sliki 27 od koder je razviden čas zagotovljene funkcije stabilnosti.

Preglednica 16: Predstavitev rezultatov v preglednici.

Čas [min]	$M_{Ed,t,fi}$ [kNm]	M_{Ed} [kNm]
0	462.3	219.4
60	452.8	219.4
90	382.0	219.4
120	315.5	219.4
180	184.7	219.4
240	117.1	219.4

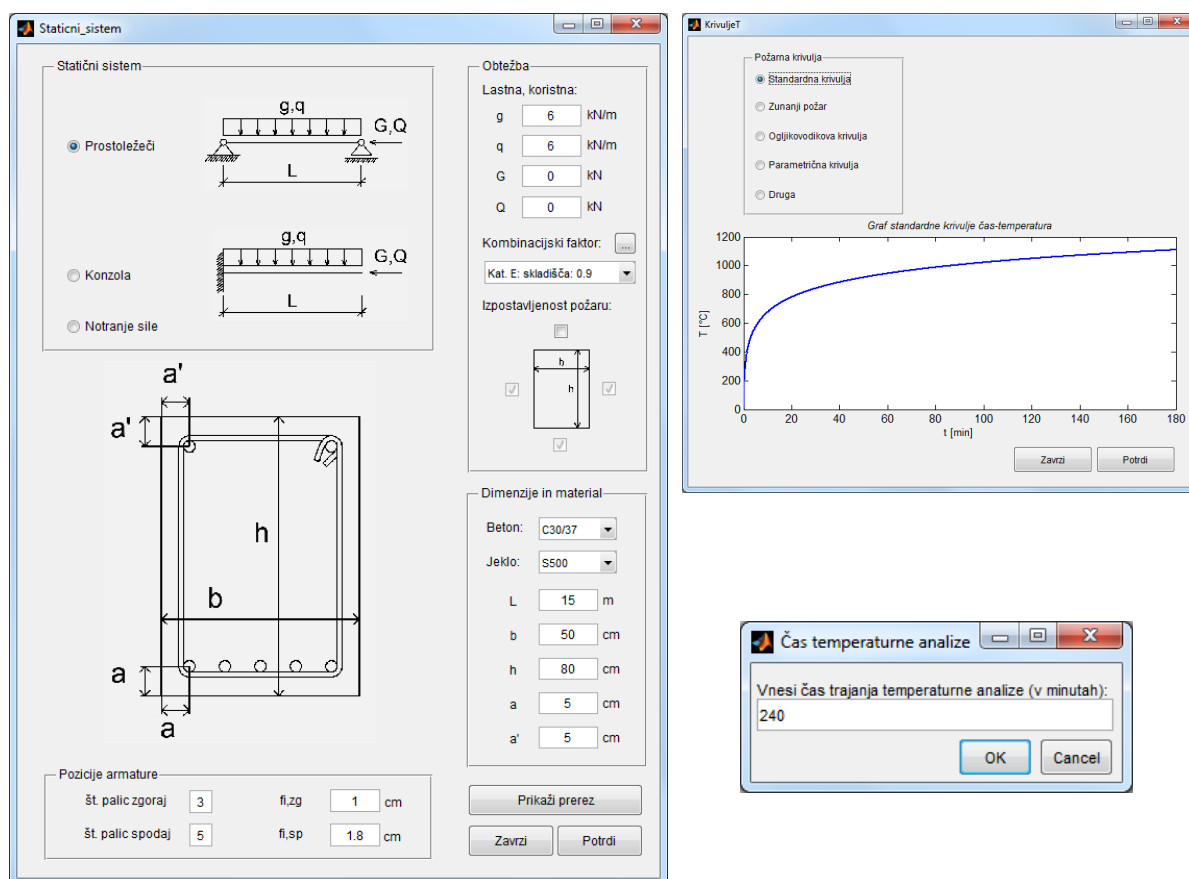


Slika 27: Upogibna nosilnost elementa med standardnim požarom po metodi izoterme 500°C

Izračun je v tem primeru opravljen samo za 5 različnih časov kar pomeni, da je za vmesne intervale na grafu (slika 27) predpostavljen linearen potek padanja odpornosti. Iz rezultatov lahko z linearno interpolacijo določimo, da do porušitve pride približno v času 165 minut, kar pomeni, da element ustreza standardni požarni odpornosti R120.

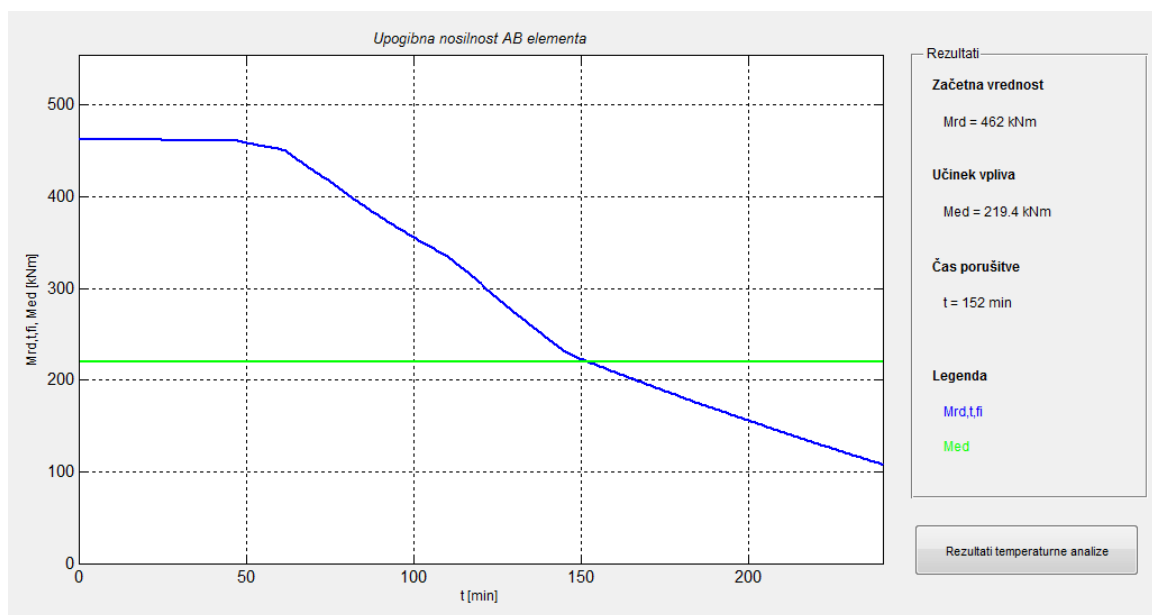
4.1.3 Izračun s programom Fido

V program vnesemo podatke na način, kot je prikazano na sliki 28. Pri tem upoštevamo navodila iz tretjega poglavja.



Slika 28: Vneseni vhodni podatki o elementu, obtežbi in požarnem scenariju

Ko zaženemo mehansko analizo, program vrne rezultate, prikazane na sliki 29. Poleg začetne upogibne odpornosti elementa in učinka vpliva, se izpiše tudi čas, pri katerem pride do porušitve.



Slika 29: Rezultati mehanske analize obravnavanega primera

Če primerjamo temperature v armaturnih palicah, ki nam jih je vrnil program Fido s tistimi, ki smo jih odčitali iz temperaturnih profilov (preglednica 17 in preglednica 18), opazimo določena odstopanja. Velikosti odstopanj nikjer ne presežejo vrednosti 10°C zato lahko sklepamo, da napake nastanejo pri odčitavanju podatkov iz temperaturnih profilov.

Preglednica 17: Primerjava med temperaturami v zgornji armaturi iz programa Fido ter odčitanimi temperaturami iz temperaturnih profilov

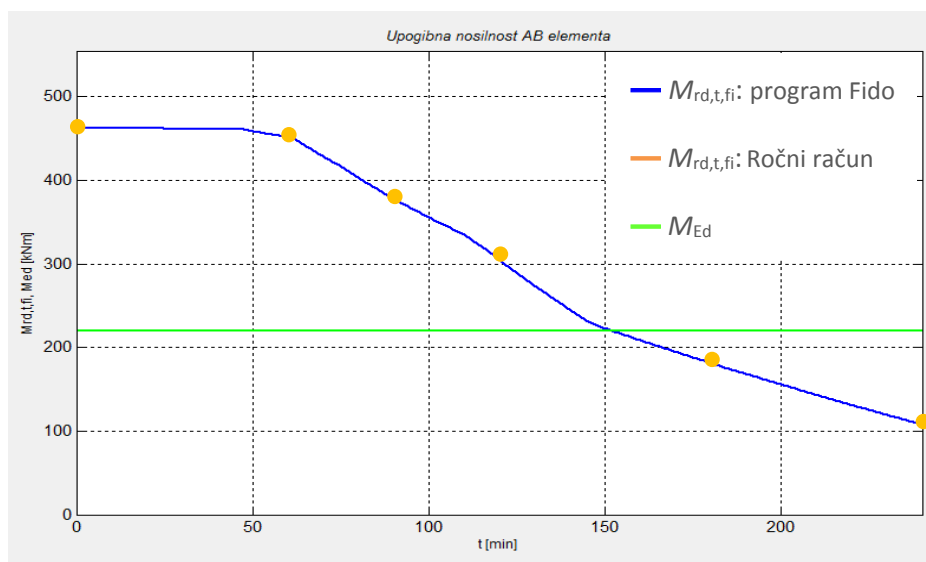
Čas [min]	Temperature v zgornji armaturi [$^{\circ}\text{C}$]			
	S programom Fido		Iz temperaturnih profilov	
0	20	20	20	20
60	247.8	19.9	240	< 100
90	339.4	20.3	330	< 100
120	406.6	28.3	400	< 100
180	504.6	60.5	500	< 100
240	577.3	101.8	570	< 100

Preglednica 18: Primerjava med temperaturami v spodnji armaturi iz programa Fido ter odčitanimi temperaturami iz temperaturnih profilov

Temperature v spodnji armaturi						
Čas [min]	S programom Fido			Iz temperaturnih profilov		
0	20	20	20	20	20	20
60	389.4	243.7	243.9	390	250	250
90	532.5	345.9	335.9	530	340	330
120	632.5	425.1	405.0	630	420	400
180	770.3	546.4	511.3	780	540	510
240	865.3	639.5	596.2	860	630	590

Na sliki 30 najdemo primerjavo rezultatov med obema izračunoma. Opazimo, da so vrednosti upogibne nosilnosti, ki smo jih izračunali ročno, praktično enake tistim, ki jih je vrnil program. Izkaže se torej, da odstopanja, do katerih je prišlo pri odčitavanju temperatur, na končno nosilnost nimajo velikega vpliva.

Odstopanje se pojavi pri izračunu časa porušitve. Pri ročnem računu smo določili porušitev v času 165 minut, program Fido pa izračuna, da do nje pride že pri času 152 minut. Kritični čas, ki smo ga določili s programom, je natančnejši, saj smo požarno odpornost AB nosilca izračunali vsakih 40 sekund. Element še vedno ustreza standardni požarni odpornosti R120.

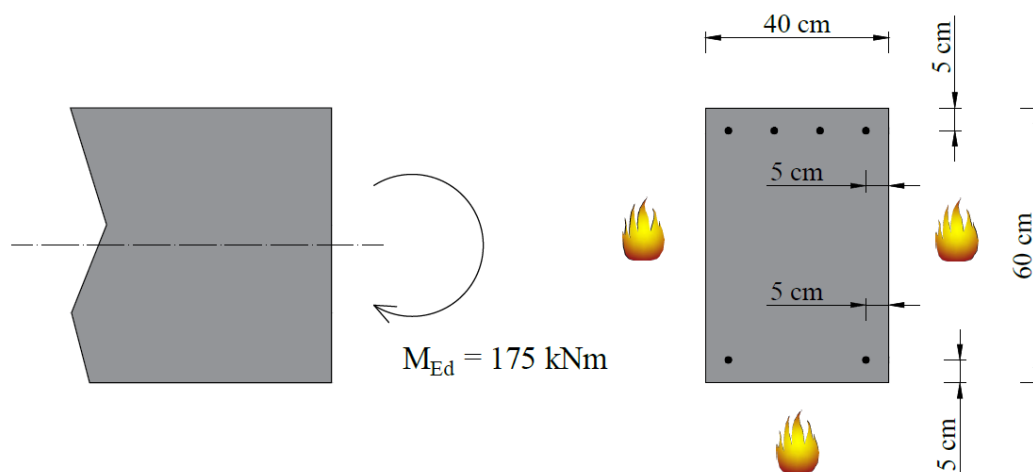


Slika 30: Primerjava peš izračuna s tistim iz programa

4.2 Primer 2: Primerjava natančnosti končnega izračuna pri uporabi milimetske in centimetske mreže za določitev nadomestnega prečnega prereza betonskega prereza

Primer je namenjen utemeljitvi uporabe centimetske mreže za račun nadomestnega prečnega prereza pri betonskih elementih, katerih tlačena cona je zaradi poteka izoterme 500°C zaokrožena. Pri spreminjanju efektivne širine in višine namreč lahko z uporabo centimetske mreže prihaja do nenadnih padcev (slika 20). V kolikor program uporablja milimetro mrežo, teh padcev ni, zato pa izračun traja bistveno dlje. V nadaljevanju je na primeru prikazan vpliv uporabe obeh mrež na končno nosilnost.

Obravnavamo armiranobetonski nosilec s pravokotnim prečnim prerezom dimenzij $b/h = 40/60$ cm, ki je obremenjen z upogibnim momentom -175 kNm. Spodaj je nosilec armiran z dvema palicama premera 14 mm, zgoraj pa je armiran s štirimi palicami premera 14 mm. Uporabljen je beton razreda C25/30 in armatura S500. Nosilec je izpostavljen požaru pri gorenju ogljikovodikov (ogljikovodikova požarna krivulja) s treh strani.



Slika 31: Grafični podatki obravnavanega primera

PODATKI

$b/h = 40/60$ cm

Beton: C25/30

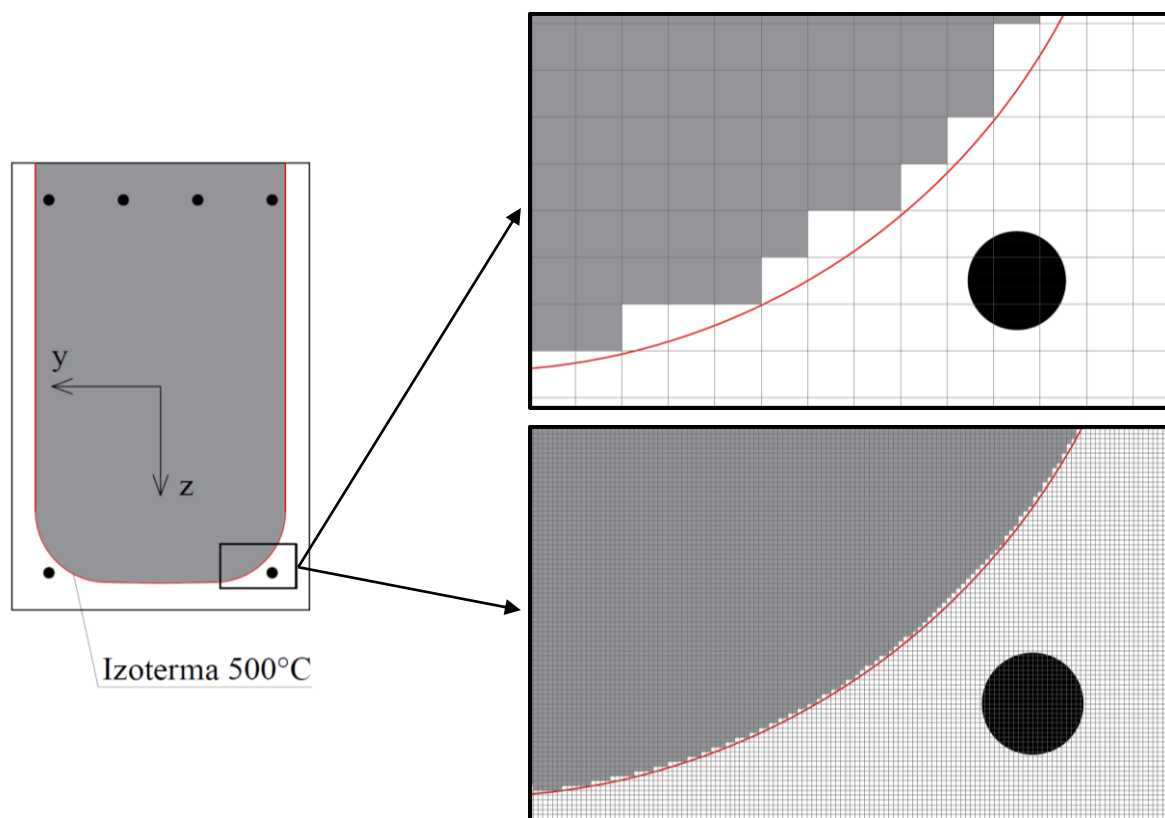
Armatura: S500

Armatura zgoraj: 4 Φ 14 mm

Armatura spodaj: 2 Φ 14 mm

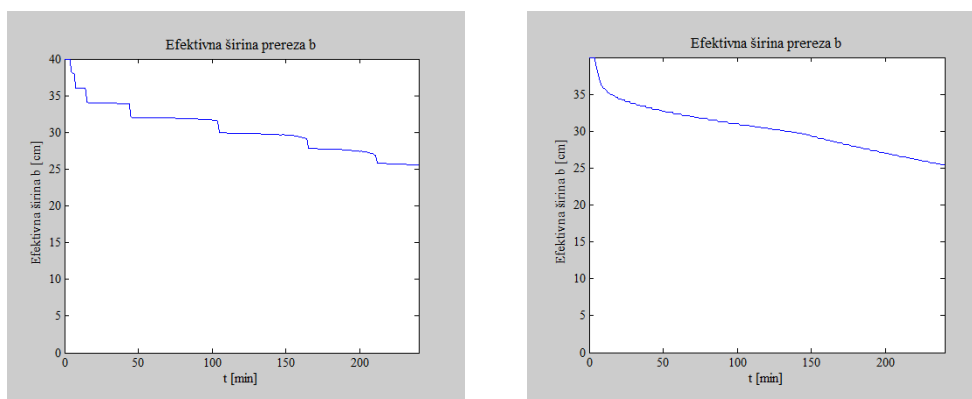
$M_{Ed} = -175$ kNm

V program vnesemo podatke in izračunamo upogibno nosilnost. Nato postopek ponovimo s tem, da uporabimo milimetrsko mrežo. Program uporabniku ne omogoča neposredne izbire med obema mrežama, zato je za ta primer sprememba opravljena v programski kodi.



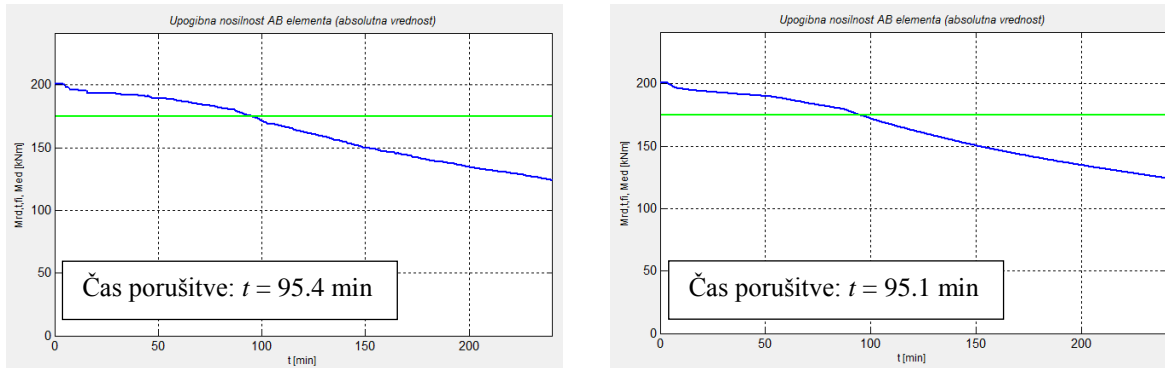
Slika 32: Efektiven betonski prerez pri centimetrski in milimetrski mreži

Spreminjajoče dimenzije nadomestnega prečnega prereza so tiste, pri katerih je razlika med obema variantama mreže najbolj opazna. Pri centimetrski mreži se s premikanjem izoterme 500°C proti notranjosti efektivna širina b_{fi} spreminja z izrazitimi skoki, ki so posledica izpada večjega dela betonskega prereza naenkrat. Pri milimetrski mreži tega pojava ni opaziti (slika 33). Efektivna višina h_{fi} v obravnavanem primeru nima skokov, ker element ni segrevan z vseh štirih strani.



Slika 33: Efektivna širina b_{fi} s centimetrsko mrežo (levo) in milimetrsko mrežo (desno)

Potek padanja upogibne nosilnosti je pri obeh tipih mrež podoben, razlika je le v gladkosti (slika 34). Krivulja je pri milimetrski mreži bolj gladka, kar v obravnavanem primeru pomeni tudi manjše odstopanje pri časih porušitve. Časa porušitve znašata 95.1 minut pri centimetrski in 95.4 minut pri milimetrski mreži.

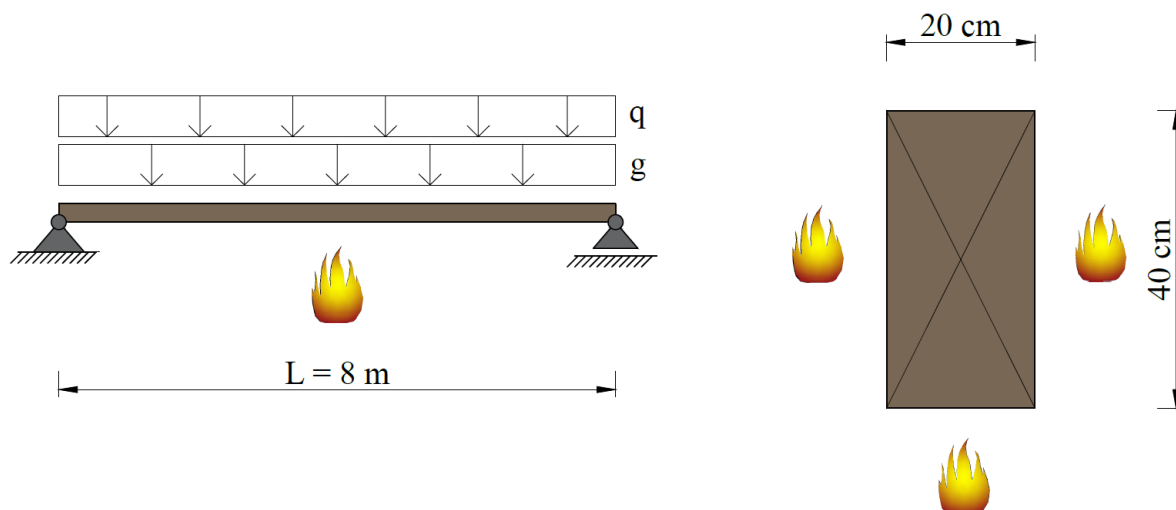


Slika 34: Upogibna nosilnost obravnavanega primera s centimetrsko mrežo (levo) in milimetrsko mrežo (desno)

Izkaže se torej, da je razlika v poteku padanja upogibne nosilnosti med obema mrežama minimalna. Poenostavljene računske metode so namenjene zgolj oceni odpornosti elementov in zato natančnost na desetinko minute ni potrebna – v programu se izpisuje informativno zaradi primerjanja rezultatov. Zaradi manjšega časa izračuna je torej smiselna uporaba centimeterske mreže, saj so rezultati za inženirsko rabo dovolj natančni.

4.3 Primer 3: Požarna odpornost lesenega nosilca

Podobno kot v primeru 4.1 najprej izvedemo verifikacijo programa Fido z ročnim izračunom. Obravnavamo lesen prostoležeči nosilec dolžine 8 m. Uporabljen je lameliran lepljen les trdnostnega razreda GL24h s prečnim prerezom dimenzij $b/h = 18/40$ cm. Nosilec je bočno podprt tako, da je bočna zvrnitev preprečena. Stalna porazdeljena obtežba g_k znaša 3 kN/m, koristna porazdeljena obtežba q_k pa 6 kN/m (kategorija stavbe je B: $\Psi_1 = 0.5$). Nosilec je izpostavljen standardnemu požaru z treh strani. Preverimo, koliko časa je nosilec sposoben prenašati obtežbo.



Slika 35: Primer nosilca iz lameliranega lepljenega lesa

PODATKI

$$L = 8 \text{ m}$$

$$b/h = 20/40 \text{ cm}$$

Les: GL24h

$$g_k = 3 \text{ kN/m}$$

$$q_k = 6 \text{ kN/m} (\Psi_1 = 0.5)$$

4.3.1 Ročni izračun

Za določitev časa zagotavljanja funkcije nosilnosti (R) izbranega elementa izvedemo več računov pri različnih časih. Zaradi ponavljanja postopka, ki ga takšno računanje zahteva, je v nadaljevanju

predstavljen ročni izračun pri času 45 minut. Za ostale čase so rezultati v primeru ročnega izračuna podani tabelarično in grafično.

Obremenitev izračunamo z upoštevanjem nezgodnega projektnega stanja (2.3), maksimalni moment pa z izrazom za prostoležeči nosilec (3.3):

$$q_{Ed} = 3.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 0.5 \cdot 6.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 6.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Ed} = \frac{6.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 8^2 \text{ m}^2}{8} = 48.0 \text{ kNm}$$

4.3.1.1 Metoda zmanjšanega efektivnega prečnega prereza ($t = 45 \text{ min}$)

Debelina zoglenega sloja (2.41 in 2.60):

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 = \beta_n \cdot t + k_0 \cdot d_0 = 0.70 \frac{\text{mm}}{\text{min}} \cdot 45 \text{ min} + 1.0 \cdot 7 \text{ mm} = \mathbf{38.5 \text{ mm}}$$

Širina, višina ter odpornostni moment efektivnega prečnega prereza:

$$b_{ef} = b - 2 \cdot d_{ef} = 20 \text{ cm} - 2 \cdot 3.85 \text{ cm} = \mathbf{12.3 \text{ cm}}$$

$$h_{ef} = h - d_{ef} = 40 \text{ cm} - 3.85 \text{ cm} = \mathbf{36.2 \text{ cm}}$$

$$W_{ef} = \frac{b_{ef} \cdot h_{ef}^2}{6} = \frac{12.3 \text{ cm} \cdot 36.2^2 \text{ cm}^2}{6} = \mathbf{2679.0 \text{ cm}^3}$$

Projektna vrednost upogibne trdnosti (2.36 in 2.38):

$$f_{m,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{m,20}}{\gamma_{M,fi}} = k_{mod,fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot f_{m,g,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1.0 \cdot \frac{1.15 \cdot 2.4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1.0} = \mathbf{2.760 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}$$

Na koncu opravimo še kontrolo napetosti:

$$\sigma_{m,d,fi} = \frac{M_{Ed,fi}}{W_{ef}} = \frac{4800 \text{ kNcm}}{2679.0 \text{ cm}^3} = \mathbf{1.792 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} \leq \mathbf{2.760 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}$$

Kontrola napetosti se po 45 minutah standardnega požarne obremenitve izide. Upogibna nosilnost stebra je torej enaka (2.42):

$$M_{Rd,t,fi} = W_{ef} \cdot f_{m,d,fi} = 2679.0 \text{ cm}^3 \cdot 2.76 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = \mathbf{73.9 \text{ kNm}}$$

4.3.1.2 Metoda zmanjšanih materialnih karakteristik ($t = 45 \text{ min}$)

Debelina zoglenelega sloja (2.55 in 2.60):

$$d_{rez} = d_{char,n} = \beta_n \cdot t = 0.70 \frac{\text{mm}}{\text{min}} \cdot 45 \text{ min} = \mathbf{31.5 \text{ mm}}$$

Širina, višina in odpornostni moment prečnega prereza:

$$b_{rez} = b - 2 \cdot d_{rez} = 20 \text{ cm} - 2 \cdot 3.15 \text{ cm} = \mathbf{13.7 \text{ cm}}$$

$$h_{rez} = h - d_{rez} = 40 \text{ cm} - 3.15 \text{ cm} = \mathbf{36.85 \text{ cm}}$$

$$W_{rez} = \frac{b_{rez} \cdot h_{rez}^2}{6} = \frac{13.7 \text{ cm} \cdot 36.85^2 \text{ cm}^2}{6} = \mathbf{3100.6 \text{ cm}^3}$$

Projektna vrednost upogibne trdnosti (2.52, 2.36 in 2.38):

$$k_{mod,fi} = 1.0 - \frac{1.0}{200} \cdot \frac{p}{A_{rez}} = 1.0 - \frac{1.0}{200} \cdot \frac{2 \cdot b_{rez} + 2 \cdot h_{rez}}{b_{rez} \cdot h_{rez}} =$$
$$= 1.0 - \frac{1.0}{200} \cdot \frac{0.137 \text{ m} + 2 \cdot 0.369 \text{ m}}{0.137 \text{ m} \cdot 0.369 \text{ m}} = \mathbf{0.913}$$

$$f_{m,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{m,20}}{\gamma_{M,fi}} = k_{mod,fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot f_{m,g,k}}{\gamma_{M,fi}} = 0.913 \cdot \frac{1.15 \cdot 2.4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1.0} = \mathbf{2.521 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}$$

Na koncu opravimo še kontrolo napetosti:

$$\sigma_{m,d,fi} = \frac{M_{Ed,fi}}{W_{rez}} = \frac{4800 \text{ kNcm}}{3100.6 \text{ cm}^3} = \mathbf{1.548 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} \leq \mathbf{2.521 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}$$

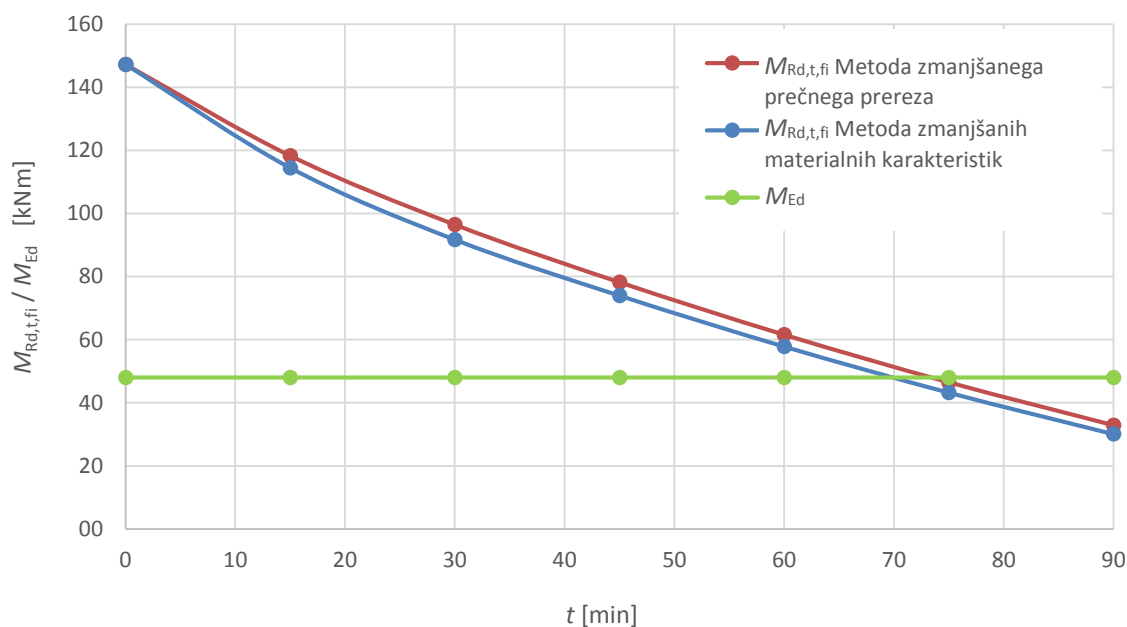
Kontrola napetosti se po 45 minutah požara izide. Upogibna nosilnost nosilca je torej enaka (2.56):

$$M_{Rd,t,fi} = W_{rez} \cdot f_{m,d,fi} = 3100.6 \text{ cm}^3 \cdot 2.521 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = \mathbf{78.2 \text{ kNm}}$$

Rezultati odpornosti elementa so zaradi boljšega pregleda predstavljeni v preglednici 19 in grafu na sliki 36. Izračun je opravljen za časovne korake dolžine 15 minut.

Preglednica 19: Rezultati za obe uporabljeni metodi

Čas [min]	Metoda zmanjšane prečnega prereza				Metoda zmanjšanih materialnih karakteristik				M_{Ed} [kNm]
	b_{ef} [cm]	h_{ef} [cm]	$f_{m,d,fi}$ [kN/cm ²]	$M_{Rd,t,fi}$ [kNm]	b_{rez} [cm]	h_{rez} [cm]	$f_{m,d,fi}$ [kN/cm ²]	$M_{Rd,t,fi}$ [kNm]	
0	20.0	40.0	2.760	147.2	20.0	40	2.760	147.2	48.0
15	16.85	38.4	2.760	114.4	17.9	39.0	2.613	118.3	48.0
30	14.4	37.2	2.760	91.7	15.8	37.9	2.549	96.4	48.0
45	12.3	36.2	2.760	73.9	13.7	36.9	2.521	78.2	48.0
60	10.2	35.1	2.760	57.8	11.6	35.8	2.484	61.5	48.0
75	8.1	34.1	2.760	43.2	9.5	34.8	2.430	46.5	48.0
90	6.0	33.0	2.760	30.1	7.4	33.7	2.346	32.9	48.0

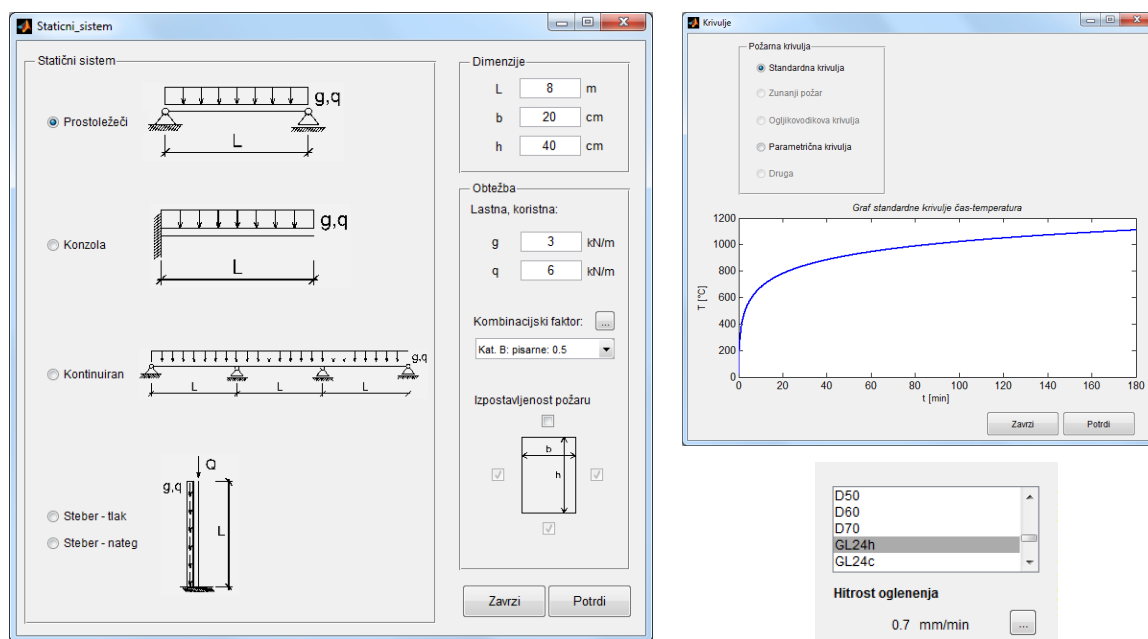


Slika 36: Graf izračunanih vrednosti

Iz grafa (slika 36) vidimo, da v skladu z uporabljenimi poenostavljenimi računskimi metodami porušitev nastopi med 60 in 75 minutami. Z linearno interpolacijo lahko ugotovimo, da porušitev pri metodi z zmanjšanim prečnim presežkom nastopi v času 70.1 minut, pri metodi z zmanjšanimi materialnimi karakteristikami pa v času 73.5 minut. Izkaže se, da je metoda z zmanjšanim prečnim presežkom bolj konservativna od tiste z zmanjšanimi materialnimi karakteristikami.

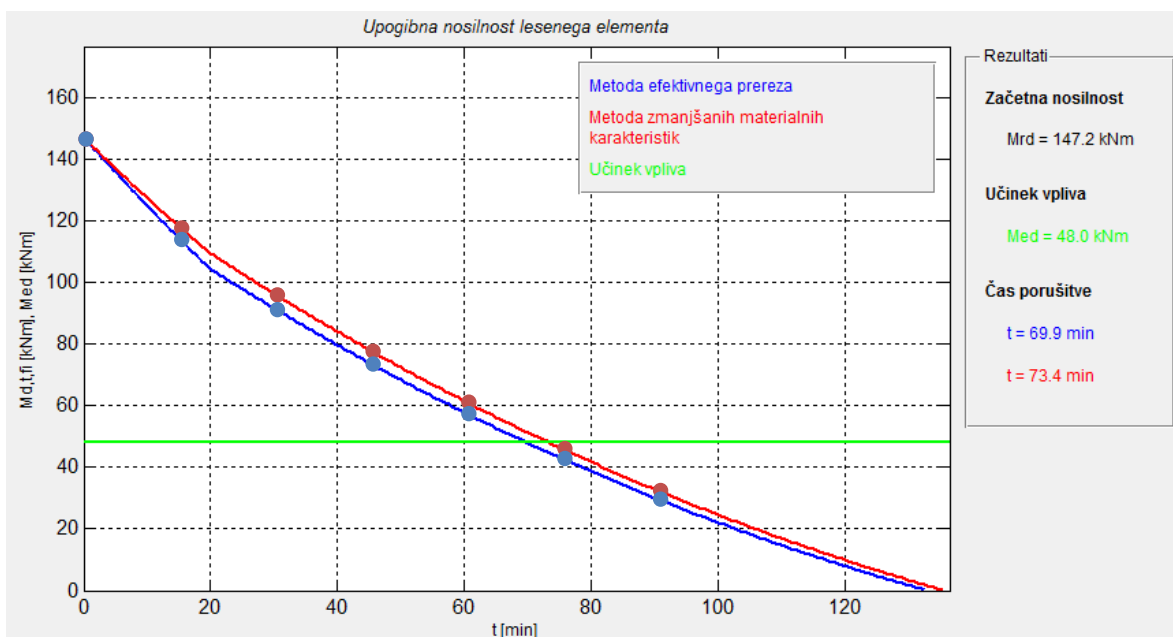
4.3.2 Izračun s programom Fido

V program vnesemo podatke na način, kot je prikazano na sliki 37. Pri tem upoštevamo navodila iz tretjega poglavja.



Slika 37: Vneseni vhodni podatki o elementu, obtežbi in požarnem scenariju

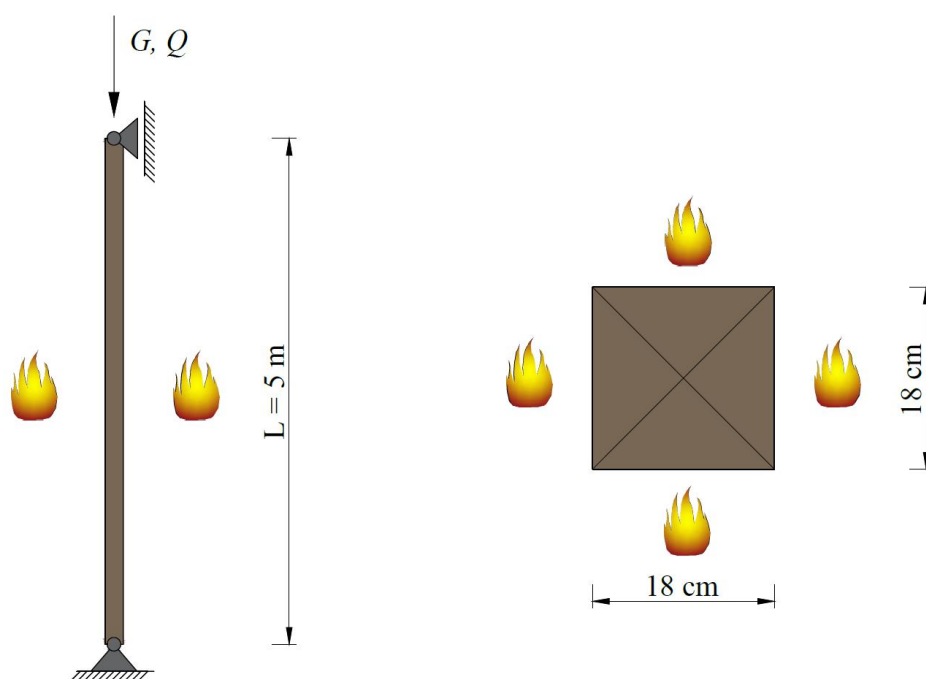
Program vrne rezultate, kot so prikazani na sliki 38. Potek padanja nosilnosti elementa ter čas porušitve sta prikazana za obe uporabljeni metodi. Poleg rezultatov iz programa so na sliki z zaznamki označeni rezultati, ki smo jih izračunali na prejšnjih straneh.



Rezultati se v vseh točkah izračuna kakor tudi v časih porušitve ujemajo, saj v tem primeru peš račun ni odvisen od kakršnihkoli odčitkov. Če smo pri ročnem računu izračunali porušitev v časih 70.1 minut in 73.5 minut, rezultati programa kažejo, da do nje pride že pri časih 69.9 minut in 73.4 minut. Kritični čas, ki smo ga določili s programom, je natančnejši, saj smo požarno odpornost lesenega nosilca izračunali vsakih 30 sekund. Nosilec ustreza standardni požarni odpornosti R60.

4.4 Primer 4: Požarna odpornost lesenega stebra

Obravnavamo lesen steber višine 5 m s kvadratnim prečnim prerezom s stranico 18 cm. Steber je dvakrat členkasto podprt (slika 39), uporabljen pa je les trdnostnega razreda C30. Obremenjen je z osno tlačno silo zaradi delovanja stalne obtežbe $G_k = 12$ kN in koristne obtežbe $Q_k = 12$ kN (kategorija stavbe je A: $\Psi_1 = 0.5$). Steber je izpostavljen standardnemu požaru z vseh štirih strani. Preverimo, koliko časa je steber sposoben prenašati obtežbo.



Slika 39: Grafični prikaz podatkov obravnavanega stebra

PODATKI

$$L = 5 \text{ m}$$

$$b/h = 18/18 \text{ cm}$$

Les: C30

$$G_k = 12 \text{ kN/m}$$

$$Q_k = 12 \text{ kN/m} (\Psi_1 = 0.5)$$

4.4.1 Ročni izračun

Za določitev časa zagotavljenе funkcije nosilnosti (R) izbranega elementa izvedemo več računov pri različnih časih. Zaradi ponavljanja postopka, ki ga takšno računanje zahteva, je v nadaljevanju predstavljen samo izračun pri času 45 minut. Za ostale čase so rezultati podani tabelarično in grafično.

Obremenitev izračunamo z upoštevanjem nezgodnega projektne stanja (2.3 in 3.4):

$$N_{Ed} = G + 0.6 \cdot Q = 12 \text{ kN} + 0.5 \cdot 12 \text{ kN} = \mathbf{18 \text{ kN}}$$

4.4.1.1 Metoda zmanjšanega efektivnega prečnega prereza ($t = 45 \text{ min}$)

Debelina zoglenelega sloja (2.41 in 2.60):

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 = \beta_n \cdot t + k_0 \cdot d_0 = 0.8 \frac{\text{mm}}{\text{min}} \cdot 45 \text{ min} + 1.0 \cdot 7 \text{ mm} = \mathbf{43 \text{ mm}}$$

Efektivna širina in višina prečnega prereza:

$$b_{ef} = h_{ef} = b - 2 \cdot d_{ef} = 18 \text{ cm} - 2 \cdot 4.3 \text{ cm} = \mathbf{9.4 \text{ cm}}$$

Projektna vrednost tlačne trdnosti vzporedno z vlakni (2.36 in 2.38):

$$f_{c,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{c,20}}{\gamma_{M,fi}} = k_{mod,fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1.0 \cdot \frac{1.25 \cdot 2.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1.0} = \mathbf{2.875 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}$$

Element, ki ga obravnavamo, je vitek, zato je potrebno upoštevati tudi uklon. Ker obravnavamo kvadraten prerez ter požarno obtežbo, ki deluje z vseh strani, sta uklonska redukcijska koeficienta k_c okoli osi y in z enaka (2.48 do 2.51).

$$i = \sqrt{\frac{I_{ef}}{A_{ef}}} = \frac{h_{ef}}{\sqrt{12}} = \frac{b_{ef}}{\sqrt{12}} = \frac{9.4 \text{ cm}}{\sqrt{12}} = \mathbf{2.714 \text{ cm}}$$

$$\lambda_{rel} = \frac{l_u}{i \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{500 \text{ cm}}{2.714 \text{ cm} \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{2.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{800 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}} = \mathbf{3.145}$$

$$k = 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel} - 0.3) + \lambda_{rel}^2) =$$

$$= 0.5 \cdot (1 + 0.2 \cdot (3.145 - 0.3) + 3.145^2) = \mathbf{5.730}$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{5.730 + \sqrt{5.730^2 - 3.145^2}} = \mathbf{0.095}$$

Na koncu opravimo še kontrolo napetosti:

$$\sigma_{c,d,fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{A_{ef}} = \frac{18 \text{ kN}}{9.4^2 \text{ cm}^2} = \mathbf{0.204 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} \leq 0.095 \cdot 2.875 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = \mathbf{0.273 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}$$

Kontrola napetosti se po 45 minutah standardne požarne obremenitve izide. Tlačna odpornost stebra je torej enaka (2.43):

$$N_{Rd,t,fi} = A_{ef} \cdot k_c \cdot f_{c,d,fi} = 9.4^2 \text{ cm}^2 \cdot 0.095 \cdot 2.875 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = \mathbf{24.2 \text{ kN}}$$

4.4.1.2 Metoda zmanjšanih materialnih karakteristik ($t = 45 \text{ min}$)

Debelina zoglenelega sloja (2.55 in 2.60):

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t = 0.8 \frac{\text{mm}}{\text{min}} \cdot 45 \text{ min} = \mathbf{36 \text{ mm}}$$

Rezidualna širina in višina prečnega prereza:

$$b_{rez} = h_{rez} = b - 2 \cdot d_{char,n} = 18 \text{ cm} - 2 \cdot 3.6 \text{ cm} = \mathbf{10.8 \text{ cm}}$$

Projektna vrednost tlačne trdnosti vzporedno z vlakni (2.53, 2.36 in 2.38):

$$k_{mod,fi} = 1.0 - \frac{1.0}{125} \cdot \frac{p}{A_{rez}} = 1.0 - \frac{1.0}{125} \cdot \frac{2 \cdot b_{rez} + 2 \cdot h_{rez}}{b_{rez} \cdot h_{rez}} =$$
$$= 1.0 - \frac{1.0}{125} \cdot \frac{2 \cdot 0.108 \text{ m} + 2 \cdot 0.108 \text{ m}}{0.108^2 \text{ m}^2} = \mathbf{0.704}$$

$$f_{c,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{c,20}}{\gamma_{M,fi}} = k_{mod,fi} \cdot \frac{k_{fi} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_{M,fi}} = 0.704 \cdot \frac{1.25 \cdot 2.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1.0} = \mathbf{2.023 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}$$

Izračun uklonskega redukcijskega koeficienta k_c (2.59, 2.49 do 2.51):

$$i = \sqrt{\frac{I_{\text{rez}}}{A_{\text{rez}}}} = \frac{h_{\text{rez}}}{\sqrt{12}} = \frac{10.8 \text{ cm}}{\sqrt{12}} = \mathbf{3.118 \text{ cm}}$$

$$\lambda_{\text{rel}} = \frac{l_u}{i \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{500 \text{ cm}}{3.118 \text{ cm} \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{2.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{800 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}} = \mathbf{2.737}$$

$$k = 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{\text{rel}} - 0.3) + \lambda_{\text{rel}}^2) =$$

$$= 0.5 \cdot (1 + 0.2 \cdot (2.548 - 0.3) + 2.548^2) = \mathbf{4.490}$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{\text{rel}}^2}} = \frac{1}{3.972 + \sqrt{3.972^2 - 2.548^2}} = \mathbf{0.124}$$

Na koncu opravimo še kontrolo napetosti:

$$\sigma_{c,d,fi} = \frac{N_{\text{Ed},fi}}{A_{\text{rez}}} = \frac{18 \text{ kN}}{10.8^2 \text{ cm}^2} = \mathbf{0.154 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} \leq 0.124 \cdot 2.023 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = \mathbf{0.251 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}$$

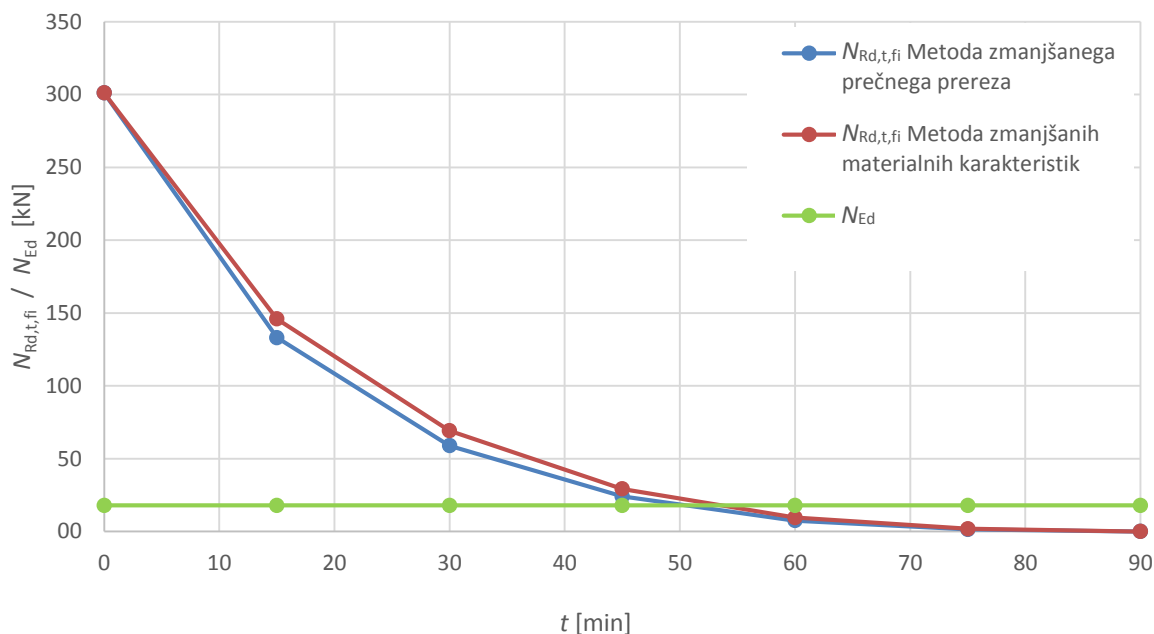
Kontrola napetosti se po 45 minutah požara izide. Tlačna odpornost stebra je torej enaka (2.57):

$$N_{\text{Rd},t,fi} = A_{\text{rez}} \cdot k_c \cdot f_{c,d,fi} = 10.8^2 \text{ cm}^2 \cdot 0.124 \cdot 2.023 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = \mathbf{29.3 \text{ kN}}$$

V nadaljevanju (preglednica 20 in slika 40) so predstavljeni rezultati odpornosti elementa za vse časovne korake, da dobimo pregled nad potekom spreminjanja nosilnosti med požarom.

Preglednica 20: Rezultati za obe uporabljeni metodi

Čas [min]	Metoda zmanjšanege prečnega prereza			Metoda zmanjšanih materialnih karakteristik			N_{Ed} [kN]
	$b_{\text{ef}} = h_{\text{ef}}$ [cm]	$f_{c,d,fi}$ [kN/cm ²]	$N_{\text{Rd},t,fi}$ [kN]	$b_{\text{rez}} = h_{\text{rez}}$ [cm]	$f_{c,d,fi}$ [kN/cm ²]	$N_{\text{Rd},t,fi}$ [kN]	
0	18.0	2.875	301.1	18.0	2.875	301.1	18.0
15	14.2	2.875	121.2	15.6	2.285	138.5	18.0
30	11.8	2.875	58.9	13.2	2.178	69.1	18.0
45	9.4	2.875	24.2	10.8	2.023	29.3	18.0
60	7.0	2.875	7.5	8.4	1.780	9.6	18.0
75	4.6	2.875	1.4	6.0	1.342	1.9	18.0
90	2.2	2.875	0.1	3.6	0.319	0.1	18.0

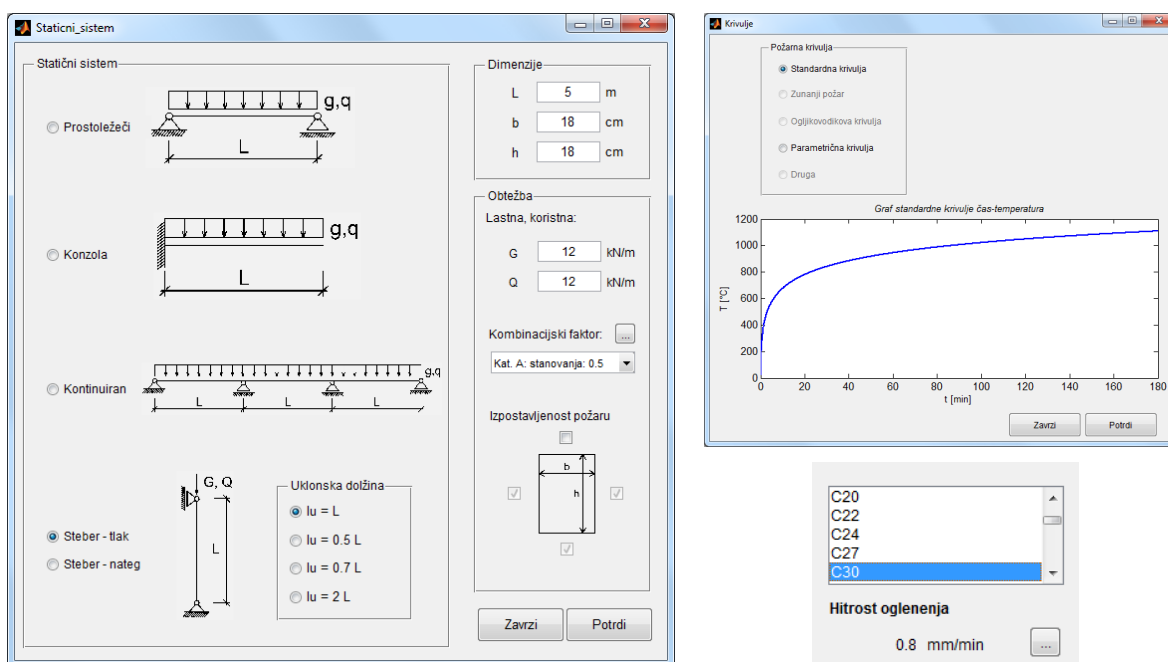


Slika 40: Graf izračunanih vrednosti

Iz rezultatov je razvidno, da po 75 minutah požara zogleni praktično celoten prerez. Nosilnost najhitreje pada na začetku, saj takrat prečni prerez najhitreje izgublja efektivno oziroma rezidualno površino. Po obeh uporabljenih metodah porušitev nastopi med 40 in 60 minutami. Z linearno interpolacijo izračunamo, da porušitev pri metodi z zmanjšanim prečnim prerezom nastopi pri času 50.6 minut, pri metodi z zmanjšanimi materialnimi karakteristikami pa pri času 53.6 minut. Tudi tu je razvidno, da je metoda z zmanjšanim efektivnim prerezom bolj konservativna od tiste z zmanjšanimi materialnimi karakteristikami, kar velja v vseh primerih.

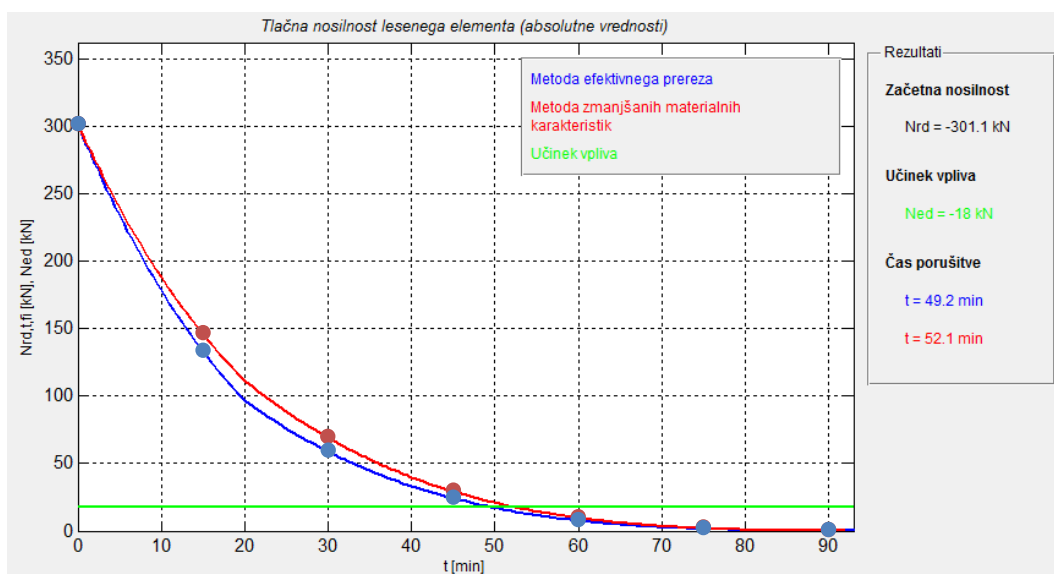
4.4.2 Izračun s programom Fido

V program vnesemo podatke na način, kot je prikazano na sliki 41. Pri tem upoštevamo navodila iz tretjega poglavja.



Slika 41: Vneseni vhodni podatki o elementu, obtežbi in požarnem scenariju

Program vrne rezultate, kot so prikazani na sliki 42. Potek padanja nosilnosti elementa ter čas porušitve sta prikazana za obe uporabljeni metodi. Poleg rezultatov programa so na sliki z zaznamki označeni rezultati, ki smo jih izračunali ročno.

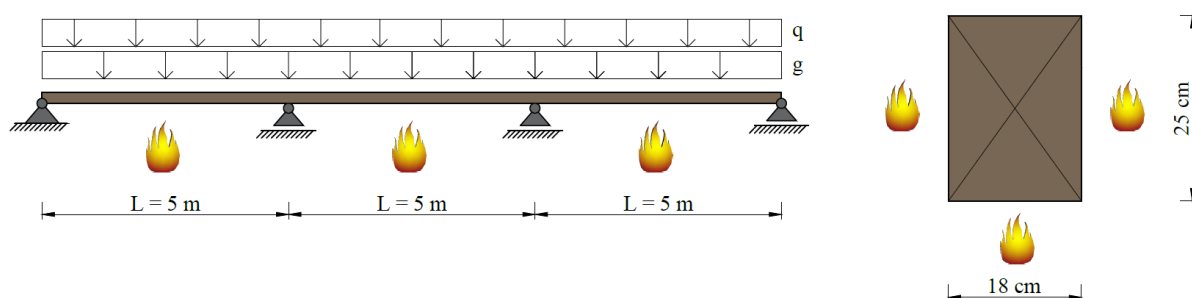


Slika 42: Primerjava peš izračuna s tistim iz programa

Tudi v tem primeru se izračuna v izbranih časovnih korakih ujemata. Čas porušitve nastopi v času 49.2 minut oziroma 52.1 minut kar je nekoliko manj od vrednosti, ki smo jih dobili z linearno interpolacijo prejšnjih rezultatov. Odstopanja se pričakovano pojavijo le v intervalih med obravnavanimi točkami, kar lahko glede na obliko obeh krivulj nosilnosti privede do manjših odstopanj pri časih porušitve. Nosilnost elementa se v izbranih točkah ujema z ročnim računom, kar dokazuje natančnost izračuna programa.

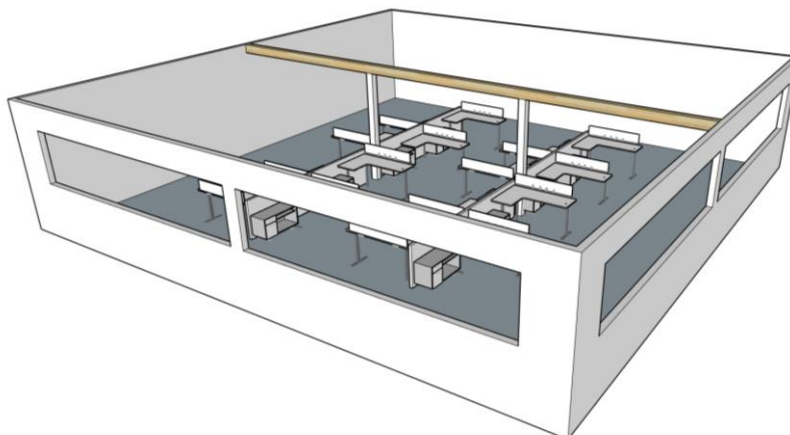
4.5 Primer 5: Vpliv različnega prezračevanja v požarnem sektorju na upogibno nosilnost lesenega prostoležečega nosilca

Obravnavamo lesen kontinuirni nosilec preko treh polj. Dolžina vsakega polja znaša 5 m. Uporabljen je lameliran lepljen les trdnostnega razreda GL24h s prečnim prerezom dimenzij $b/h = 18/25$ cm. Nosilec je bočno podprt tako, da je bočna zvrnitev preprečena. Stalna porazdeljena obtežba g_k znaša 8 kN/m, koristna porazdeljena obtežba q_k pa 7 kN/m (kategorija stavbe je B: $\Psi_1 = 0.5$).



Slika 43: Kontinuirani nosilec preko treh polj dolžine 5 m

Požarni sektor je pisarna kvadratnega tlorisa z dimenzijo stranice 15 m. Višina pisarne je 3.5 m. Za obod upoštevamo beton z gostoto $\rho_c = 2500$ kg/m³, specifično toploto $c_c = 880$ J/kgK in toplotno prevodnostjo $\lambda_c = 1.36$ W/mK. Na objektu so predvideni običajni aktivni oziroma gasilski ukrepi – varne dostopne poti, gasilski pripomočki in sistem za odvajanje dima ($\delta_n = 1$). Vpliv različnega prezračevanja skladno s parametrično krivuljo, podano v SIST EN 1991-1-2:2004, zajamemo s faktorjem odprtin O . Faktor odprtin je odvisen od površine in višine odprtin ter od površine celotnega oboda požarnega sektorja (2.10). Da zajamemo spreminjanje faktorja odprtin od spodnje do zgornje meje (0.02 m^{1/2} $\leq O \leq 0.2$ m^{1/2}) spreminjamo površino oken A_v pri čemer višino odprtin h_{eq} ohranimo v vseh primerih enako in sicer 2.5 m. Vrednosti faktorja odprtin so podane v preglednici 21.



Slika 44: Ponazoritev požarnega sektorja z obravnavanim nosilcem

PODATKI

$$L = 15 \text{ m } (3 \cdot 5 \text{ m})$$

$$b/h = 18/25 \text{ cm}$$

Les: GL24h

$$g_k = 8 \text{ kN/m}$$

$$q_k = 7 \text{ kN/m } (\Psi_1 = 0.5)$$

$$\rho_c = 2500 \text{ kg/m}^3$$

$$c_c = 880 \text{ J/kgK}$$

$$\lambda_c = 1.36 \text{ W/mK}$$

$$h_{eq} = 2.5 \text{ m}$$

$$0.02 \text{ m}^{1/2} \leq O \leq 0.2 \text{ m}^{1/2}$$

4.5.1 Izračun potrebnih vhodnih podatkov za parametrično analizo

Izračunamo in določimo potrebne parametre za vnos v program:

$$A_f = 15 \text{ m} \cdot 15 \text{ m} = \mathbf{225 \text{ m}^2}$$

$$A_t = 2 \cdot 15 \text{ m} \cdot 15 \text{ m} + 4 \cdot 15 \text{ m} \cdot 3.5 \text{ m} = \mathbf{760 \text{ m}^2}$$

$$q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n = 511 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \cdot 0.8 \cdot 1.46 \cdot 1.0 \cdot 1.0 = \mathbf{595.0 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}}$$

Za površino vertikalnih odprtin izberemo vrednosti 20 m^2 , 30 m^2 , 50 m^2 in 70 m^2 .

4.5.2 Izračun s programom

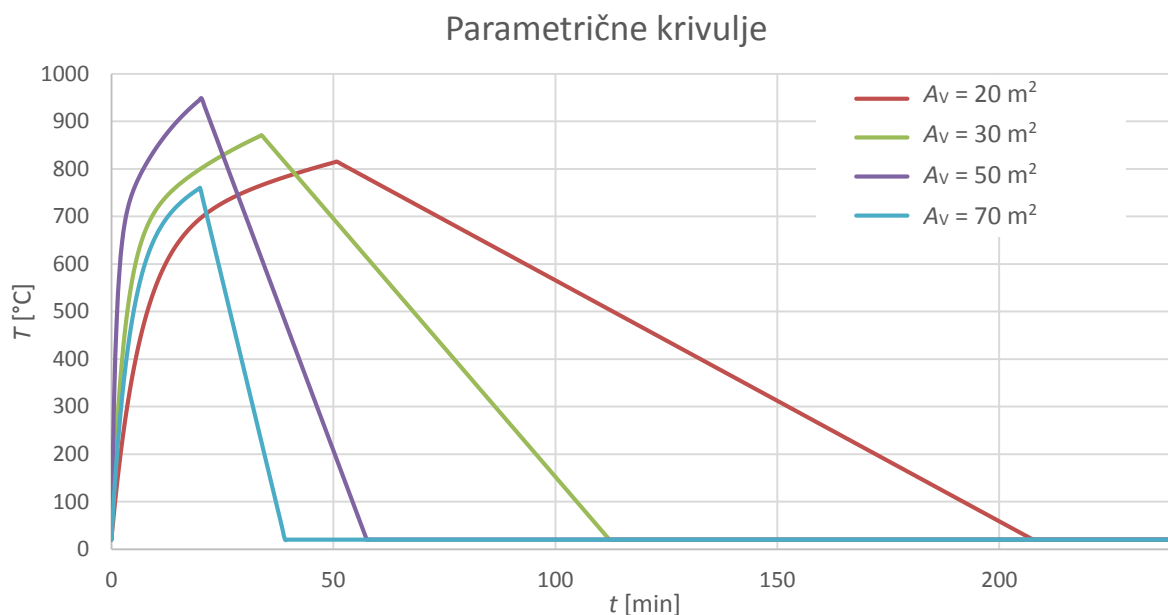
Za vsako izbrano vrednost parametra A_v opravimo izračun parametrične krivulje in izračun upogibne nosilnosti. Začetna upogibna nosilnost izbranega prečnega prereza znaša $\pm 51.8 \text{ kNm}$, učinek vpliva pa

je največji nad vmesno podporo in znaša -28.8 kNm (v nadaljevanju uporabljamo absolutne vrednosti momentov). Ostale rezultate predstavimo v obliki preglednic in grafov.

Preglednica 21: Rezultati parametričnih krivulj in upogibne nosilnosti obravnavanega lesenega elementa; $M_{Rd,kon}$ predstavlja končno upogibno nosilnost elementa po ohladitvi, kljub morebitni predhodni porušitvi

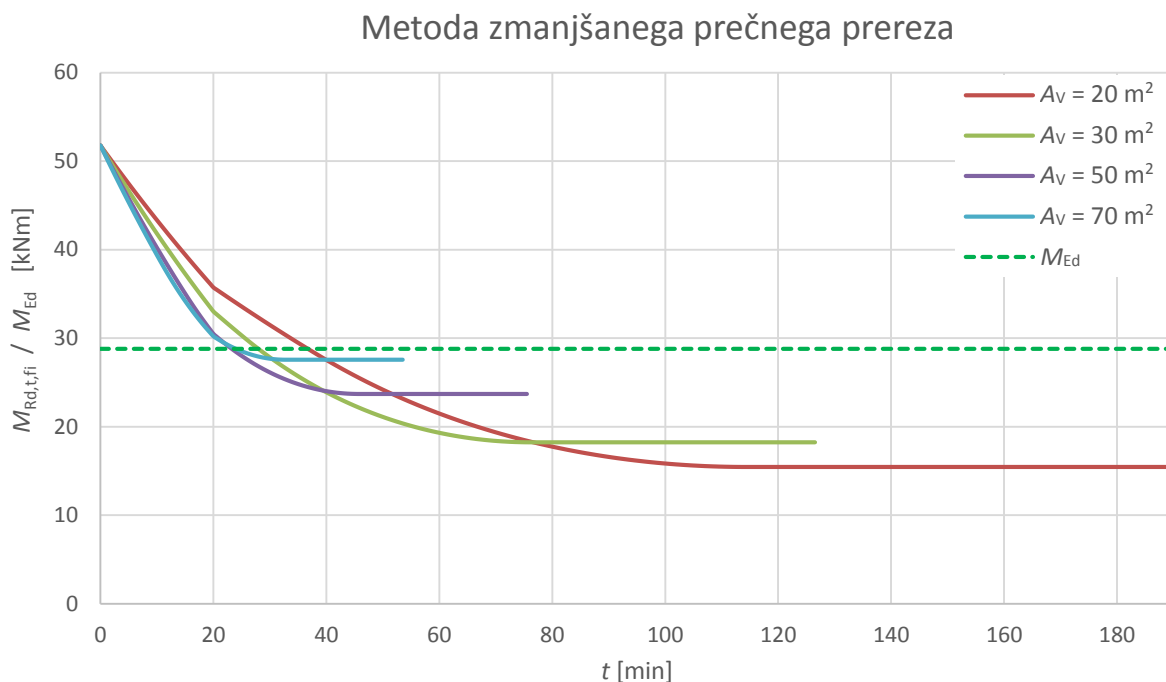
		Parametrične požarne krivulje				Nosilnost elementa			
						Metoda zmanjšane prečnega prereza		Metoda zmanjšanih materialnih karakteristik	
						A_v [m ²]	O [m ^{1/2}]	T_{max} [°C]	t_{max} [min]
20	0.042	815	50.8	208	od prezračevanja	36.9	15.5	42.1	16.9
30	0.062	871	33.9	112	od prezračevanja	28.1	18.2	32.4	19.8
50	0.104	949	20.3	57.5	od prezračevanja	23.3	23.7	28.1	25.5
70	0.146	760	20.0	39.1	od zaloge goriva	24.1	27.6	ni porušitve	29.6

Primerjava parametričnih krivulj (slika 45) pokaže, da je učinek spreminjanja parametra A_v najbolj opazen v coni ohlajevanja – večje odprtine pomenijo tudi hitrejše ohlajevanje prostora. Z večanjem odprtin se, dokler je požar kontroliran ventilacijsko (do vključno 50 m²), veča tudi hitrost naraščanja temperature ter njena maksimalna dosežena vrednost. V zadnjem koraku ($A_v = 70$ m²) je požar kontroliran v odvisnosti od zaloge gorljivega materiala.

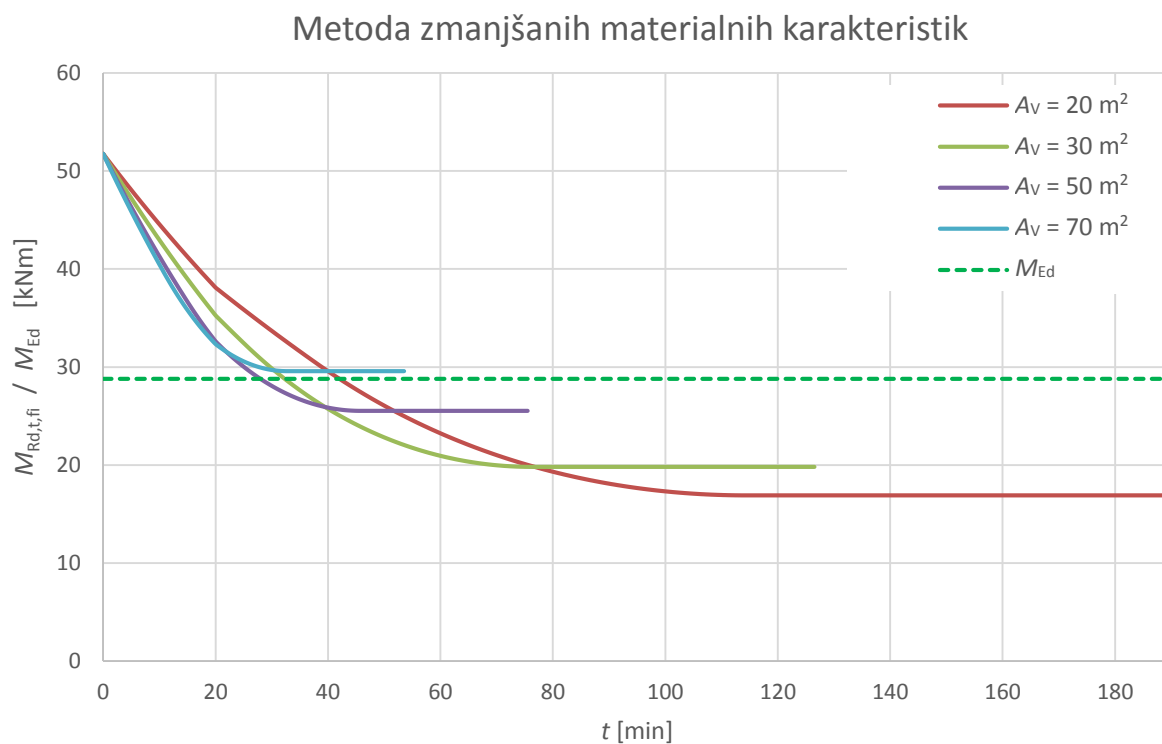


Slika 45: Primerjava parametričnih krivulj pri različnih površinah vertikalnih odprtin A_v

Primerjava pokaže, da ima prezračevanje požarnega sektorja na upogibno nosilnost lesenega nosilca pomemben vpliv. Najbolj se poškodujejo elementi, ki so največ časa izpostavljeni visokim temperaturam, do tega pa pride v primerih z manjšimi odprtinami oziroma manjšim faktorjem odprtin (slika 45). Pri metodi z zmanjšanim prečnim prerezom do porušitve pride v vseh primerih, pri metodi z zmanjšanimi materialnimi karakteristikami pa v primeru največjega faktorja odprtin element ohrani funkcijo nosilnosti skozi celoten požar. Vpliv prezračevanja se pokaže tudi na hitrosti oglenjenja. Najhitreje namreč oglenijo elementi v sektorjih z večjimi odprtinami oziroma večjim faktorjem odprtin (enačbi 2.62 in 2.63), saj v teh primerih temperatura naraste hitreje in doseže večjo vrednost.



Slika 46: Upogibna nosilnost obravnavanega lesenega elementa pri različnih velikostih odprtin A_v z metodo zmanjšanega prečnega prereza



Slika 47: Upogibna nosilnost obravnavanega lesenega elementa pri različnih velikostih odprtin A_v z metodo zmanjšanih materialnih karakteristik

5 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi smo predstavili avtorski računalniški program z grafičnim vmesnikom za računsko ugotavljanje nosilnosti enostavnih armiranobetonskih in lesenih konstrukcijskih elementov med požarom po poenostavljenih računskih metodah iz standardov Evrokod za projektiranje požarnovarnih konstrukcij. Program smo izdelali v programskem okolju Matlab® R2013a s pomočjo orodja za razvoj grafičnih uporabniških vmesnikov GUIDE. Poleg same uporabe smo opisali tudi način, na katerega program pridobi vmesne in končne rezultate. Nazadnje smo delovanje programa predstavili na petih različnih primerih.

Kot možnosti požarnih obremenitev smo uporabili nominalne požarne krivulje ter modelirane požarne krivulje oziroma parametrične krivulje. Pri slednjih smo predstavili vse parametre ter način kako jih določimo, preden jih vnesemo v program.

Pri analizi armiranobetonskih elementov smo omogočili dva načina uporabe. Pri prvem temperature armature in poškodovani sloj betona uporabnik predhodno določi sam, pri drugem pa program opravi temperaturno analizo in na podlagi njenih rezultatov izračuna padanje odpornosti elementa. Za slednjega smo izdelali povezavo z že obstoječim programom HEATKO (Hozjan, 2009). Za izračun nosilnosti smo uporabili metodo izoterme 500°C, ki predpostavlja, da del betonskega prereza s temperaturo, višjo od 500°C, zanemarimo, medtem ko preostali del ohrani polno trdnost. Padec trdnosti jekla za armiranje smo zajeli z redukcijskimi koeficienti skladno s standardom SIST EN 1992-1-2:2005. Za določanje nosilnosti lesenih elementov smo uporabili dve metodi, in sicer metodo z zmanjšanim prečnim prerezom in metodo z zmanjšanimi materialnimi karakteristikami. Ugotovili smo, da je metoda z zmanjšanim prečnim prerezom strožja od metode z zmanjšanimi materialnimi karakteristikami.

S primeri smo pojasnili nekatere principe delovanja ter program verificirali tako, da smo njegove rezultate primerjali s tistimi iz ročnega izračuna. Dokazali smo, da se rezultati ujemajo. V zadnjem primeru smo opravili študijo vpliva prezračevanja v požarnem sektorju na upogibno nosilnost lesenega elementa. Prikazali smo, da porušitev, v kolikor do nje pride, nastopi hitreje v prostorih z večjim faktorjem odprtin, torej z boljšim prezračevanjem.

Ena od smernic pri razvoju programa je bila tudi možnost kasnejšega razvoja in ažuriranja vsebine. Vse tipe materialov, ki jih program ponuja v izbiro, smo podali v bazah podatkov, ki jih lahko uporabnik po želji spreminja in dodaja. Uporabniška okna smo zasnovali tako, da jih lahko z manjšimi popravki uporabimo tudi v primeru dodatka za račun požarne nosilnosti jeklenih elementov. Programu se v prihodnosti lahko doda še več vsebine, na primer metoda izoterme 300°C pri lesenih elementih, možnost vnosa različnejših prečnih prerezov, možnost temeljitejšega prikaza rezultatov ter možnost izvoza rezultatov v tekstovne ali druge vrste datotek.

6 ZGOŠČENKA S PROGRAMOM

Zgoščenska vsebuje naslednje:

- program (z vključeno knjižnico MCR): FIDO_pkg
- diplomsko nalogo: Grafični vmesnik za določanje požarne odpornosti enostavnih konstrukcijskih elementov skladno s standardi Evrokod, v .pdf obliki.

VIRI

Hozjan, T. 2009. 2D analiza prevajanja toplote po mediju: program HEATKO. Ljubljana, UL FGG

SIST EN 338:2003: Konstrukcijski les – Trdnostni razredi

SIST EN 1194:1999: Lesene konstrukcije – Lepljeni lamelirani les in lepljeni masivni les

SIST EN 1991-1-2:2004 – Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-2. del Splošni vplivi – Vplivi na konstrukcije, izpostavljene požaru.

SIST EN 1992-1-2:2005 – Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij – 1-2. del: Splošna pravila – Projektiranje požarnovarnih konstrukcij.

SIST EN 1995-1-2:2005 – Evrokod 5: Projektiranje lesenih konstrukcij – 1-2. del: Splošna pravila – Projektiranje požarnovarnih konstrukcij

Ostali viri:

Chapman, S. J. 2005. MATLAB Programing fo Engineers. Tretja izdaja. Toronto. Thomson: 540 str