

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:

Gregorič, R., 2016. Parametrična študija požarne odpornosti enostavnih lesenih elementov. Diplomna naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Hozjan, T., somentorica Ogrin, A.): 65 str.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5963/>

Datum arhiviranja: 13-10-2016

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:

Gregorič, R., 2016. Parametrična študija požarne odpornosti enostavnih lesenih elementov. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Hozjan, T., co-supervisor Ogrin, A.): 65 pp.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5963/>

Archiving Date: 13-10-2016

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
HIDROTEHNIČNA SMER

Kandidat:

ROBERT GREGORIČ

**PARAMETRIČNA ŠTUDIJA POŽARNE ODPORNOSTI
ENOSTAVNIH LESENIH ELEMENTOV**

Diplomska naloga št.: 3525/HS

**PARAMETRIC STUDY OF THE FIRE RESISTANCE OF
SIMPLE TIMBER ELEMENTS**

Graduation thesis No.: 3525/HS

Mentor:

doc. dr. Tomaž Hozjan

Somentorica:

Anita Ogrin

Ljubljana, 23. 09. 2016

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

»Ta stran je namenoma prazna«

IZJAVA O AVTORSTVU

Spodaj podpisani študent **Robert Gregorič**, vpisna številka **26103853**, avtor/-ica pisnega zaključnega dela študija z naslovom: **Parametrična študija požarne odpornosti enostavnih lesenih elementov**

IZJAVLJAM

1. Obkrožite eno od variant a) ali b)

- a) **da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;**
b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V Ljubljani 26.8.2016

Podpis študenta: _____

»Ta stran je namenoma prazna«

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	624.011.1:699.81(043.2)
Avtor:	Robert Gregorič
Mentor:	doc. dr. Tomaž Hozjan, univ. dipl. inž. grad.
Somentor:	Anita Treven, univ. dipl. inž. grad.
Naslov:	Parametrična študija požarne odpornosti enostavnih lesenih elementov
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – UNI
Obseg in oprema:	65 str., 19 pregl., 49 sl., 79 graf., 3 pril.
Ključne besede:	požarna odpornost, leseni elementi, hitrost oglenjenja, nenosilni sloj

IZVLEČEK

V diplomskem delu je prikazan vpliv razvoja požara na požarno odpornost enostavnih lesenih nosilnih elementov skladno s standardoma SIST EN 1991-1-2 in SIST EN 1995-1-2. Požarna analiza lesenih nosilnih elementov je razdeljena v tri faze. V prvi fazi so s parametrično analizo vpliva parametrov na razvoj požara zasnovani požarni scenariji. Na osnovi pridobljenih rezultatov v drugi fazi sledi temperaturna analiza s katero je določena globina oglenjenja lesenega stebra in lege za posamezni požarni scenarij. V zadnji fazi analize je določena požarna odpornost lesenega elementa za posamezni požarni scenarij. Parametrične študije pokažejo, da na požarno odpornost enostavnih lesenih elementov najbolj vplivajo izbrani aktivni ukrepi, največja hitrost sproščanja toplote požara na kvadratni meter, število in velikost odprtin v objektu ter toplotna absorptivnost konstrukcijskih sklopov. Medtem ko hitrost razvoja požara nima posebnega vpliva na požarno odpornost lesenih elementov.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	624.011.1:699.81(043.2)
Author:	Robert Gregorič
Supervisor:	assist. prof. Tomaž Hozjan, Ph. D.
Co-advisor:	Anita Treven, B.Sc.
Title:	Parametric study of the fire resistance of simple timber elements
Document type:	Graduation Thesis – University studies
Scope and tools:	65 p., 19 tab., 49 fig., 79 graph., 3 ann.
Keywords:	fire resistance, timber elements, charring rate, zero strength layer

ABSTRACT

The graduation thesis presents the influence of fire development on fire resistance of simple timber bearing elements according to SIST EN 1991-1-2 and SIST EN 1995-1-2. The fire analysis of timber bearing elements is divided into three phases. Parametric analysis of influence of certain parameters on fire development is performed in the first phase. On the basis of acquired results second phase follows in which, thermal analysis of timber elements is conducted. Here, charring depths for timber elements for every fire scenario are determined. In the third, last part of analysis, fire resistance of timber elements is determined. Parametric studies show that fire resistance of simple timber elements is mostly affected by chosen active fire protection systems, the maximum rate of heat release per square meter, number and size of openings in the object and lastly thermal absorptivity of structural assemblies. However, fire growth rate does not have any special influence on fire resistance of timber elements.

ZAHVALA

Za pomoč in nasvete ob nastajanju diplomskega dela se iskreno zahvaljujem mentorju doc. dr. Tomažu Hozjanu in somentorici Aniti Treven univ.dipl.inž.grad., ki sta mi vseskozi bila na voljo in v pomoč.

Zahvala tudi Markotu Arliču dipl.inž.grad. za veliko pomoč pri statičnem izračunu.

Predvsem pa velika zahvala staršem, ki sta me v času študija podpirala ter verjela vame in ženi Tjaši, ki me je spodbujala in nudila oporo ob pisanju diplomskega dela.

»Ta stran je namenoma prazna«

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA	I
IZJAVA O AVTORSTVU.....	III
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	V
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT.....	VI
ZAHVALA.....	VII
1 UVOD.....	1
2 OSNOVNE PREDPOSTAVKE, OPIS KONSTRUKCIJE IN OPIS POSTOPKA POŽARNE ANALIZE.....	3
2.1 Namen in cilj.....	3
2.2 Postopek poteka analize	3
2.3 Osnovni pojmi.....	3
2.4 Osnovna konstrukcija.....	5
2.5 Statični izračun lesenih elementov	7
2.6 Požarna krivulja temperatura - čas	7
2.7 Modeli naravnih požarov	8
2.8 Določitev požarne obtežbe	9
3 PARAMETRIČNA ANALIZA RAZVOJA POŽARA – I.FAZA.....	10
3.1 Hitrost razvoja požara	12
3.2 Aktivni ukrepi	13
3.3 Največja hitrost sproščanja toplote na kvadratni meter.....	16
3.4 Faktor odprtin.....	18
3.5 Toplotna absorptivnost konstrukcijskih sklopov.....	20
4 TEMPERATURNANALIZA – FAZA II	23
4.1 Temperaturna analiza za primere različnih hitrosti razvoja požara.....	25
4.2 Temperaturna analiza za primere različnih aktivnih ukrepov	28

4.3	Temperaturna analiza za primere različnih največjih hitrosti sproščanja toplote na kvadratni meter.....	31
4.4	Temperaturna analiza za različne vrednosti faktorja odprtin.....	34
4.5	Temperaturna analiza za različne toplotne absorptivnosti konstrukcijskih sklopov	37
5	MEHANSKA ANALIZA – FAZA III.....	41
5.1	Vpliv hitrosti razvoja požara na požarno odpornost lesene lege in stebra.....	45
5.2	Vpliv različnih aktivnih ukrepov na požarno odpornost lesene lege in stebra	46
5.3	Vpliv hitrosti sproščanja toplote na požarno odpornost lesene lege in stebra	48
5.4	Vpliv faktorja odprtin na požarno odpornost lesene lege in stebra	49
5.5	Vpliv toplotne absorptivnosti konstrukcijskih sklopov na požarno odpornost lesene lege in stebra	50
5.6	Analiza rezultatov mehanske analize po metodi zmanjšanih materialnih karakteristik	51
5.7	Mehanska analiza z metodo zmanjšanega prečnega prereza	53
5.8	Analiza rezultatov mehanske analize po metodi zmanjšanega prečnega prereza.....	63
6	ZAKLJUČEK	65
VIRI	67

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Opis primerov hitrosti razvoja požara	12
Preglednica 2: Opis primerov aktivnih ukrepov.....	14
Preglednica 3: Opis primerov RHR_f analize.....	16
Preglednica 4: Opis primerov z različnimi faktorji odprtin.....	18
Preglednica 5: Opis primerov različnih konstrukcijskih sklopov.....	20
Preglednica 6: Toplotna absorptivnost b posameznega konstrukcijskega sklopa in celotnega sektorja	21
Preglednica 7: Globine oglečenja za referenčni primer	25
Preglednica 8: Globine oglečenja za različne hitrosti razvoja požara.....	27
Preglednica 9: Globine oglečenja za različne aktivne ukrepe	30
Preglednica 10: Globine oglečenja za različne RHR_f	33
Preglednica 11: Globine oglečenja za različne faktorje odprtin	35
Preglednica 12: Globine oglečenja za različne konstrukcijske sklope.....	38
Preglednica 13: Začetna in končna požarna odpornost za referenčni primer.....	44
Preglednica 14: Začetne in končne požarne odpornosti za različne hitrosti razvoja požara	45
Preglednica 15: Začetne in končne požarne odpornosti za različne aktivne ukrepe	47
Preglednica 16: Začetne in končne požarne odpornosti za različne RHR_f	48
Preglednica 17: Začetne in končne požarne odpornosti za faktorje odprtin	49
Preglednica 18: Začetne in končne požarne odpornosti za različne konstrukcijske sklope	51
Preglednica 19: Končne požarne odpornosti ob različnih izotermah.....	57

»Ta stran je namenoma prazna«

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Hitrost sproščanja toplote – referenčni primer	10
Grafikon 2: Požarna krivulja – referenčni primer	11
Grafikon 3: Primerjava hitrosti sproščanja toplote pri različnih hitrostih razvoja požara.....	12
Grafikon 4: Primerjava požarnih krivulj pri različnih hitrostih razvoja požara	13
Grafikon 5: Primerjava hitrosti sproščanja toplote pri različni aktivnih ukrepah.....	14
Grafikon 6: Primerjava hitrosti sproščanja toplote brez aktivnih ukrepov.....	15
Grafikon 7: Primerjava požarnih krivulj pri različnih aktivnih ukrepah.....	15
Grafikon 8: Primerjava požarnih krivulj brez aktivnih ukrepov	16
Grafikon 9: Primerjava hitrosti sproščanja toplote pri različnih vrednostih parametra RHR_f	17
Grafikon 10: Primerjava požarnih krivulj pri različnih vrednostih parametra RHR_f	17
Grafikon 11: Primerjava hitrosti sproščanja toplote pri različnih faktorjih odprtin.....	19
Grafikon 12: Primerjava požarnih krivulj pri različnih faktorjih odprtin.....	19
Grafikon 13: Primerjava hitrosti sproščanja toplote pri različnih konstrukcijskih sklopih.....	22
Grafikon 14: Primerjava požarnih krivulj pri različnih konstrukcijskih sklopih	22
Grafikon 15: Globina oglenjenja lege s spodnje strani za referenčni primer	24
Grafikon 16: Globina oglenjenja lege s strani za referenčni primer.....	24
Grafikon 17: Globina oglenjenja stebra za referenčni primer	24
Grafikon 18: Globina oglenjenja lege s spodnje strani za različne hitrost razvoja požara.....	26
Grafikon 19: Globina oglenjenja lege s strani za različne hitrost razvoja požara	26
Grafikon 20: Globina oglenjenja stebra glede na različne hitrosti razvoja požara.....	26
Grafikon 21: Globina oglenjenja lege s spodnje strani za različne aktivne ukrepe.....	28
Grafikon 22: Globina oglenjenja lege s strani za različne aktivne ukrepe	28
Grafikon 23: Globina oglenjenja lege s spodnje strani za primer 2.4	29
Grafikon 24: Globina oglenjenja lege s strani za primer 2.4.....	29
Grafikon 25: Globina oglenjenja stebra za različne aktivne ukrepe.....	29
Grafikon 26: Globina oglenjenja stebra za primer 2.4	29
Grafikon 27: Globina oglenjenja lege s spodnje strani za različne RHR_f	32

Grafikon 28: Globina oglenjenja lege s strani za različne RHR_f	32
Grafikon 29: Globina oglenjenja stebra za različne RHR_f	32
Grafikon 30: Globina oglenjenja lege s spodnje strani za različne faktorje odprtín.....	34
Grafikon 31: Globina oglenjenja s lege s strani za različne faktorje odprtín.....	34
Grafikon 32: Globina oglenjenja stebra za različne faktorje odprtín.....	35
Grafikon 33: Globina oglenjenja lege s spodnje strani za različne konstrukcijske sklope	38
Grafikon 34: Globina oglenjenja lege s strani za različne konstrukcijske sklope	38
Grafikon 35: Globina oglenjenja stebra za različne konstrukcijske sklope.....	38
Grafikon 36: Požarna odpornost lege za referenčni primer	44
Grafikon 37: Požarna odpornost stebra za referenčni primer	44
Grafikon 38: Požarna odpornost lege za različne hitrosti razvoja požara	45
Grafikon 39: Požarna odpornost stebra za različne hitrosti razvoja požara	45
Grafikon 40: Požarna odpornost lege za različne aktivne ukrepe	46
Grafikon 41: Požarna odpornost stebra za različne aktivne ukrep	46
Grafikon 42: Požarna odpornost lege za različne aktivne ukrepe – primer 2.4.....	47
Grafikon 43: Požarna odpornost stebra za različne aktivne ukrepe – primer 2.4.....	47
Grafikon 44: Požarna odpornost lege za različne RHR_f	48
Grafikon 45: Požarna odpornost stebra za različne RHR_f	48
Grafikon 46: Požarna odpornost lege za različne faktorje odprtín	49
Grafikon 47: Požarna odpornost stebra za različne faktorje odprtín	49
Grafikon 48: Požarna odpornost lege za različne konstrukcijske sklope	50
Grafikon 49: Požarna odpornost stebra za različne konstrukcijske sklope	50
Grafikon 50: Stolpčni prikaz normirane nosilnosti glede na referenčni primer za lego	52
Grafikon 51: Stolpčni prikaz normirane nosilnosti glede na referenčni primer za steber	52
Grafikon 52: Prikaz požarnih krivulj za izbrane primere	54
Grafikon 53: Požarna odpornost lege za referenčni primer	54
Grafikon 54: Požarna odpornost stebra za referenčni primer	54
Grafikon 55: Požarna odpornost lege za primer 2.2	55
Grafikon 56: Požarna odpornost stebra za primer 2.2	55

Grafikon 57: Požarna odpornost lege za primer 3.2.....	55
Grafikon 58: Požarna odpornost stebra za primer 3.2.....	55
Grafikon 59: Požarna odpornost lege za primer 4.2.....	56
Grafikon 60: Požarna odpornost stebra za primer 4.2.....	56
Grafikon 61: Požarna odpornost lege za primer 5.3.....	56
Grafikon 62: Požarna odpornost stebra za primer 5.3.....	56
Grafikon 63: Debelina nosilnega sloja za lego s spodnje strani v referenčnem primeru.....	58
Grafikon 64: Debelina nosilnega sloja za lego s strani v referenčnem primeru.....	58
Grafikon 65: Debelina nosilnega sloja za steber v referenčnem primeru.....	58
Grafikon 66: Debelina nosilnega sloja za lego s spodnje strani v primeru 2.2.....	59
Grafikon 67: Debelina nosilnega sloja za lego s strani v primeru 2.2.....	59
Grafikon 68: Debelina nosilnega sloja za steber v primeru 2.2.....	59
Grafikon 69: Debelina nosilnega sloja za lego s spodnje strani v primeru 3.2.....	60
Grafikon 70: Debelina nosilnega sloja za lego s strani v primeru 3.2.....	60
Grafikon 71: Debelina nosilnega sloja za steber v primeru 3.2.....	60
Grafikon 72: Debelina nosilnega sloja za lego s spodnje strani v primeru 4.2.....	61
Grafikon 73: Debelina nosilnega sloja za lego s strani v primeru 4.2.....	61
Grafikon 74: Debelina nosilnega sloja za steber v primeru 4.2.....	61
Grafikon 75: Debelina nosilnega sloja za lego s spodnje strani v primeru 5.3.....	62
Grafikon 76: Debelina nosilnega sloja za lego s strani v primeru 5.3.....	62
Grafikon 77: Debelina nosilnega sloja za steber v primeru 5.3.....	62
Grafikon 78: Stolpčni prikaz normirane požarne odpornosti za lego določene po metodi zmanjšanega prečnega prereza.....	63
Grafikon 79: Stolpčni prikaz normirane požarne odpornosti za steber, določene po metodi zmanjšanega prečnega prereza.....	64

»Ta stran je namenoma prazna«

KAZALO SLIK

Slika 1: Trikotnik gorenja [http://www.gasilec.net/modules/simplemod/datoteke/1-NTG/1-NTG-prosojnice-POZARNA-PREVENTIVA.ppt (Pridobljeno 10.07.2016)]	4
Slika 2: Razvoj notranjega požara [http://www.gasilec.net/modules/simplemod/datoteke/1-NTG/1-NTG-prosojnice-POZARNA-PREVENTIVA.ppt (Pridobljeno 10.07.2016)]	5
Slika 3: Osnovna konstrukcija.....	5
Slika 4: Medetažna konstrukcija	6
Slika 5: Zunanja stena	6
Slika 6: Streha	7
Slika 7: Prikaz prehoda iz dvoconskega v enoconski računski model	8
Slika 8: Mreža z 1800 končnimi elementi za lego	23
Slika 9: Mreža z 900 končnimi elementi za steber.....	23
Slika 10: Prikaz območja oglenjenja lege za referenčni primer	25
Slika 11: Prikaz območja oglenjenja stebra za referenčni primer	25
Slika 12 Prikaz območja oglenjenja lege za primer 1.1	27
Slika 13: Prikaz območja oglenjenja stebra za primer 1.1	27
Slika 14: Prikaz območja oglenjenja lege za primer 1.2	27
Slika 15: Prikaz območja oglenjenja stebra za primer 1.2	27
Slika 16: Prikaz območja oglenjenja lege za primer 1.3	28
Slika 17: Prikaz območja oglenjenja stebra za primer 1.3	28
Slika 18: Prikaz območja oglenjenja lege za primer 2.1	30
Slika 19: Prikaz območja oglenjenja stebra za primer 2.1	30
Slika 20: Prikaz območja oglenjenja lege za primer 2.2	30
Slika 21: Prikaz območja oglenjenja stebra za primer 2.2	30
Slika 22: Prikaz območja oglenjenja lege za primer 2.3	31
Slika 23: Prikaz območja oglenjenja stebra za primer 2.3	31
Slika 24: Prikaz območja oglenjenja lege za primer 2.4	31
Slika 25: Prikaz območja oglenjenja stebra za primer 24	31

Slika 26: Prikaz območja oglenjenja lege za primer 3.1.....	33
Slika 27: Prikaz območja oglenjenja stebra za primer 3.1.....	33
Slika 28: Prikaz območja oglenjenja lege za primer 3.2.....	33
Slika 29: Prikaz območja oglenjenja stebra za primer 3.2.....	33
Slika 30: Prikaz območja oglenjenja lege za primer 3.3.....	34
Slika 31: Prikaz območja oglenjenja stebra za primer 3.3.....	34
Slika 32: Prikaz območja oglenjenja lege za primer 4.1.....	36
Slika 33: Prikaz območja oglenjenja stebra za primer 4.1.....	36
Slika 34 Prikaz območja oglenjenja lege za primer 4.2.....	36
Slika 35: Prikaz območja oglenjenja stebra za primer 4.2.....	36
Slika 36 Prikaz območja oglenjenja lege za primer 4.3.....	36
Slika 37: Prikaz območja oglenjenja stebra za primer 4.3.....	36
Slika 38: Prikaz območja oglenjenja lege za primer 4.4.....	37
Slika 39: Prikaz območja oglenjenja stebra za primer 4.4.....	37
Slika 40: Prikaz območja oglenjenja lege za primer 4.5.....	37
Slika 41: Prikaz območja oglenjenja stebra za primer 4.5.....	37
Slika 42: Prikaz območja oglenjenja lege za primer 5.1.....	39
Slika 43: Prikaz območja oglenjenja stebra za primer 5.1.....	39
Slika 44: Prikaz območja oglenjenja lege za primer 5.2.....	39
Slika 45: Prikaz območja oglenjenja stebra za primer 5.2.....	39
Slika 46: Prikaz območja oglenjenja lege za primer 5.3.....	40
Slika 47: Prikaz območja oglenjenja stebra za primer 5.3.....	40
Slika 48: Računski prečni prerez lege	41
Slika 49: Računski prečni prerez stebra	41

1 UVOD

Kot član operativne enote prostovoljnega gasilskega društva Sečovlje se večkrat srečujem z notranjimi požari. Po statističnih podatkih je vsako leto približno od 2000 do 2200 notranjih požarov. V večini primerov so to požari v starejših objektih, kjer so prisotni leseni nosilni konstrukcijski elementi (lesene etažne plošče in lesene strešne konstrukcije). Običajno na mesto požara pridemo 10 do 15 minut po pozivu regijskega centra za obveščanje (RCO). Dejansko nikoli točno ne vemo, kdaj se je požar pričel, kakšna je stopnja razvitosti požara v notranjosti objekta in v kakšnem stanju je lesena nosilna konstrukcija znotraj objekta.

Zaradi povečane nevarnosti se v večini primerov v tak objekt ne vstopa, še posebej, če se v objektu ne nahajajo ljudje. Največkrat se v takih primerih izvede primarno varovanje sosednjih objektov, da se ne bi požar razširil na sosednje objekte. Najprej se izvede hlajenje notranjih plinov z vodo. Veliko večjo težavo pa predstavljajo objekti s starejšimi stanovalci, ki se sami niso več sposobni pravočasno rešiti in zapustiti objekta. V takih primerih pa je primarna naloga gasilca rešiti stanovalce oziroma ljudi, ki so se iz kakršnih koli razlogov znašli znotraj gorečega objekta. Zato pridejo v takih trenutkih v poštev samo taktični pristopi, ki se jih gasilec nauči v času šolanja in med različnimi izobraževanji v sklopih napredovanja v gasilskih veščinah.

Toda marsikdaj nastopi trenutek, ko se vprašamo, kaj bi lahko bilo, če bi bilo. Zaradi tega smo se odločil, da v diplomski nalogi preučimo požarno odpornost lesenih elementov znotraj mansardnega objekta, ki so izpostavljeni pogojem, ki vladajo v naravnih požarih.

Na osnovi študije požarne odpornosti enostavnih lesenih elementov bi radi ugotovili, kako razvoj požara vpliva na lesene konstrukcijske elemente znotraj objekta. Obenem pa tudi, kako lahko posamezni dejavniki vplivajo na sam razvoj in potek požara znotraj objekta. Poskušali bom preučiti sledeče parametre in ugotoviti njihov vpliv:

- hitrost širjenja požara,
- vgrajena gasilna sredstva (aktivni ukrepi),
- hitrost sproščanja toplote požara,
- velikost odprtin in
- različni konstrukcijski sklopi.

Glede na dejstvo, da na začetno fazo gorenja lahko vpliva veliko parametrov, je vedno težko oceniti, kako se bo požar razvil in kako dolgo bo trajal, še težje pa je napovedati njegovo časovno dinamiko oz. celoten potek. Zato bi s tem diplomskim delom radi prišli vsaj do ugotovitve kaj pričakovati od požara, če za posamezni objekt poznamo njegove karakteristike in namembnost. Tako bi na osnovi

hitre analize bili sposobni oceniti, koliko časa bo objekt še varen in posledično, koliko časa je na voljo za varno evakuacijo ljudi, ki so ostali ujeti znotraj objekta.

Vsekakor je potrebno poudariti, da bo objekt po požaru najverjetneje vidno poškodovan in ga bo potrebno obnoviti, če ne kar porušiti. Vendar, če predpostavimo, da se na osnovi hitrih odločitev lahko reši kakšno dodatno življenje in se pri tem dodatno ne izpostavi gasilca, bo ta študija lahko veliko pripomogla k lažjemu razumevanju poteka požara v prostorih kot so mansarde.

Diplomska naloga ima poleg uvoda še pet poglavij. V drugem poglavju opisujemo osnovne predpostavke in postopek izvedbe analize. V tretjem poglavju se posvetimo parametrični analizirazvoja požara v mansardi, v četrtem poglavju izvedemo temperaturno analizo in določimo debelino zoglenele plasti lesenih elementov, v petem poglavju pa določim požarno odpornost lesenega stebra in lege. V zadnjem poglavju podamo zaključke.

2 OSNOVNE PREDPOSTAVKE, OPIS KONSTRUKCIJE IN OPIS POSTOPKA POŽARNE ANALIZE

2.1 Namen in cilj

Namen diplomske naloge je analizirati vpliv različnih parametrov na potek požara ter na odziv konstrukcijskih elementov preproste lesene konstrukcije. Ob upoštevanju SIST EN 1991-1-2 (Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-2: Splošni vplivi – Vplivi požara na konstrukcije) in SIST EN 1995-1-2 (Evrokod 5: Projektiranje lesenih konstrukcij- 1-2.del: Splošna pravila – Projektiranje požarno varnih konstrukcij) je pri požarni analizi potrebno upoštevati naslednje korake:

- izbira za projektiranje ustreznih požarnih scenarijev (predfaza),
- določitev ustreznih projektnih požarov (I.faza),
- izračun razvoja temperaturnega polja v konstrukcijskih elementih (II.faza),
- izračun mehanskega obnašanja konstrukcije, izpostavljene požaru (III.faza).

2.2 Postopek poteka analize

Za vsako fazo požarne analize bo uporabljena ustrezna programska oprema, in sicer:

- I.faza – račun razvoja temperatur vročih plinov v požarnem sektorju s programskim orodjem OZONE [Cadorin, J.F., Pintea, D., Franssen, J.M., 2001, The desig fire tool OZone V2.2],
- II.faza – račun razvoja temperatur po lesenem elementu s programskim orodjem HEATKO [Hozjan, T., 2009, 2D analiza prevajanja toplote po mediju: program HEATKO],
- III.faza – račun požarne odpornosti lesenega elementa skladno s SIST EN 1995-1-2.

2.3 Osnovni pojmi

Pred pričetkom preučevanja osnovnega problema diplomske naloge je potrebno razumeti osnovne pojme in si odgovoriti na vprašanja, kaj je ogenj, kaj je požar in kaj je gorenje.

Ogenj – pojav, pri katerem oddaja snov ob spajanju s kisikom svetlobo, toploto in dim.

Požar – ogenj, ki povzroča škodo, ogenj brez nadzora.

Gorenje – eksotermna kemijska reakcija med gorljivo snovjo in kisikom.

Vzroki za nastanek požara so lahko:

- človeška nepazljivost, malomarnost ali namerni požigi,
- vroča dela na neustreznih mestih brez požarne straže,
- naravni pojavi,
- električna energija,

- gradbene pomanjkljivosti,
- samovžigi,
- eksplozije,
- drugo....

Pojem gorenja lahko na pregleden način predstavimo s tako imenovanim trikotnikom gorenja (slika 1), ki združuje tri potrebne elemente za gorenje. To so toplota, kisik in gorljiva snov. Gorenje preneha, če katero izmed komponent odstranimo.



Slika 1: Trikotnik gorenja [<http://www.gasilec.net/modules/simplemod/datoteke/1-NTG/1-NTG-prosojnice-POZARNA-PREVENTIVA.ppt>] (Pridobljeno 10.07.2016)]

Obravnavani primeri v diplomski nalogi so tipični primeri notranjega požara. Zato je dobro spoznati vse faze poteka notranjega požara, od začetka požara do ugašanja.

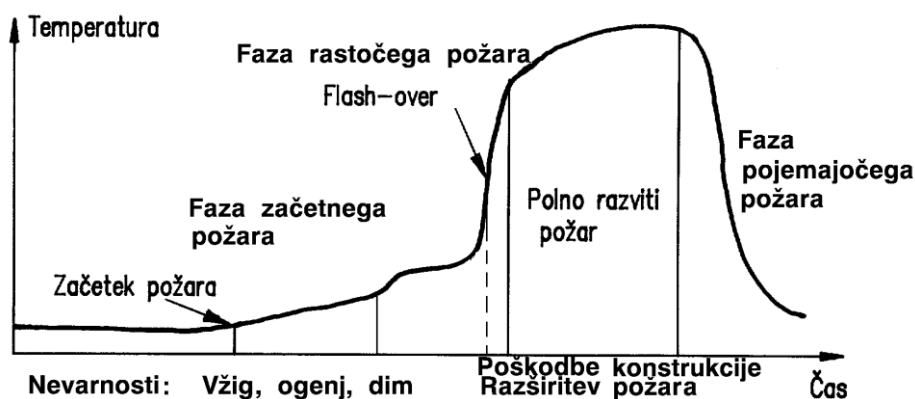
Da bi se izognili požaru, je potrebno v fazi projektiranja in pri gradnji objektov upoštevati:

- gradbene ukrepe,
- tehnološke ukrepe,
- tehnične ukrepe,
- organizacijske ukrepe in
- specifične ukrepe v dejavnostih.

Na sliki 2 so razvidne vse faze gorenja ter možne nevarnosti, ki pretijo. Faze si sledijo v naslednjem zaporedju:

- faza začetnega požara,
- faza rastočega požara,
- faza pojemajočega požara.

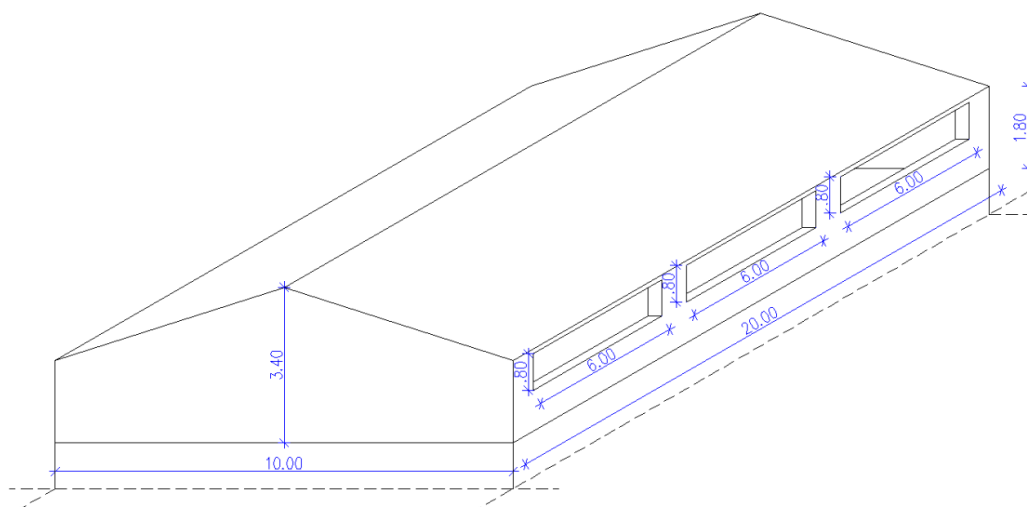
S pravilnim posredovanjem v fazi začetnega požara lahko požar omejimo in pogasimo brez nastanka večje škode, vendar bolj kot se približujemo požarnemu preskoku (flash-overju), tem manj možnosti ostaja, da bi požar obvladali brez pomoči gasilske enote.



Slika 2: Razvoj notranjega požara [<http://www.gasilec.net/modules/simplemod/datoteke/1-NTG/1-NTG-prosojnice-POZARNA-PREVENTIVA.ppt> (Pridobljeno 10.07.2016)]

2.4 Osnovna konstrukcija

Da bodo rezultati primerljivi med seboj, je potrebno definirati osnovno konstrukcijo, ki bo služila kot referenčni primer. Na osnovi referenčnega primera se bodo izvedle posamezne analize in primerjave. Osnovna konstrukcija je maksimalnih gabaritov $D \times \check{S} \times V = 20,00 \text{ m} \times 10,00 \text{ m} \times 3,40 \text{ m}$, pri čemer je streha pravilna dvokapnica, na daljših stranicah so enakomerno razporejene tri okenske odprtine dimenzij $0,80 \text{ m} \times 6,00 \text{ m}$ (slika 3). Namembnost obravnavanega objekta so pisarniški prostori.



Slika 3: Osnovna konstrukcija

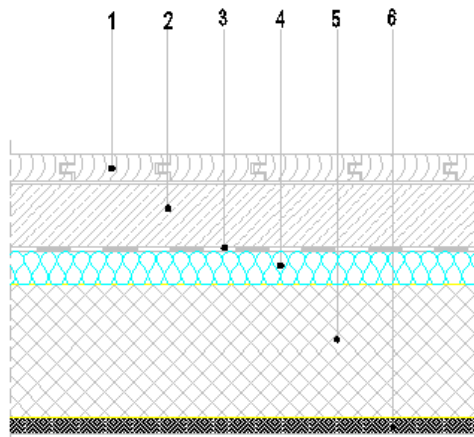
Potrebno je poznati tudi sestavo posameznega konstrukcijskega sklopa, in sicer:

- sestavo medetažne konstrukcije (slika 4),
- sestavo zunanje stene (slika 5),
- sestavo poševne strešne konstrukcije (slika 6).

Konstrukcijski sklopi so privzeti iz programske opreme URSA Gradbena fizika 4.0 [<http://www.ursa.si/sl-si/arhitekti/strani/program-gradbena-fizika.aspx> (Pridobljeno 14.7.2016.)]. Tako izbrani konstrukcijski sklopi zadostujejo tudi ostalim gradbenim zahtevam.

Medetažna konstrukcija (slika 4) je sestavljena iz sledečih plasti:

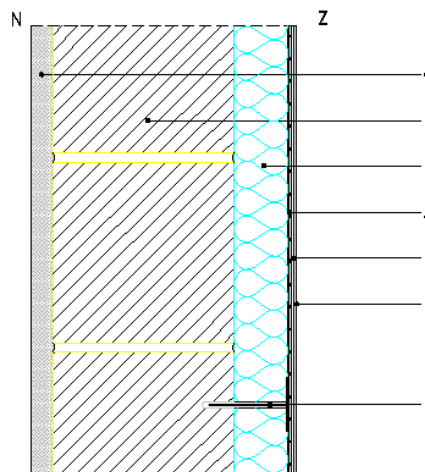
- | | |
|-----------------------------|---------|
| 1. Finalna talna obloga | 2,0 cm |
| 2. Armirani cementni estrih | 5,0 cm |
| 3. Polietilenska folija | |
| 4. Toplotna izolacija | 4,0 cm |
| 5. Armirano betonska plošča | 15,0 cm |
| 6. Omet | 2,5 cm |



Slika 4: Medetažna konstrukcija

Zunanja stena (slika 5) je sestavljena iz sledečih plasti:

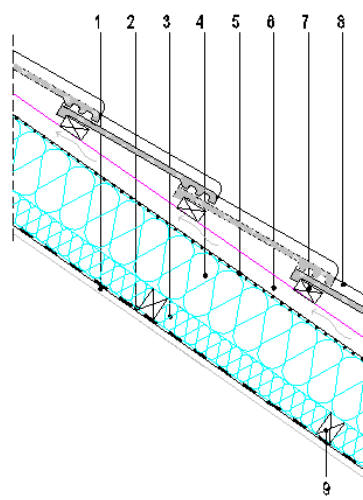
- | | |
|--|---------|
| 1. Notranji omet | 2,0 cm |
| 2. Nosilni zid | 29,0 cm |
| 3. Toplotna izolacija | 16,0 cm |
| 4. Prvi sloj gradbenega lepila
s stekleno mrežico | |
| 5. Drugi sloj gradbenega lepila –
izravnalni sloj | |
| 6. Zaključni sloj fasadnega ometa | |
| 7. Pritrdilni čep K | |



Slika 5: Zunanja stena

Strešna konstrukcija (slika 6) je sestavljena iz sledečih plasti:

1. Finalna obloga 1,25 cm
2. Parna ovira
3. Toplotna izolacija pod špirovci 8,0 cm
4. Toplotna izolacija med špirovci 14,0 cm
5. Paropropustna folija
6. Lesena letev – prezračevani prostor
7. Strešna letev
8. Strešna kritina
9. Lesena podkonstrukcija



Slika 6: Streha

2.5 Statični izračun lesenih elementov

Glede na to, da bomo analizirali samo slemensko lego in steber pod slemensko lego, je statični izračun izveden samo za ta dva konstrukcijska elementa, ki je podan kot priloga A.

Na osnovi statičnega izračuna sta bila izbrana elementa sledečih dimenzij:

- lega: 20 cm x 24 cm,
- steber: 20 cm x 20 cm.

2.6 Požarna krivulja temperatura - čas

Požarno krivuljo temperatura – čas bomo določili s pomočjo programskega orodja OZONE V2.2. Pri conskih modelih se predpostavi, da je temperatura v coni enakomerna. Da bi lahko izdelali conski model v programskem orodju, moramo poznati geometrijo požarnega sektorja (dimenzije objekta, dimenzije elementov, število in velikosti odprtin), materialne karakteristike konstrukcijskih in izolativnih elementov ter informacije o požaru (požarna obtežba, hitrost sproščanja toplote, ...).

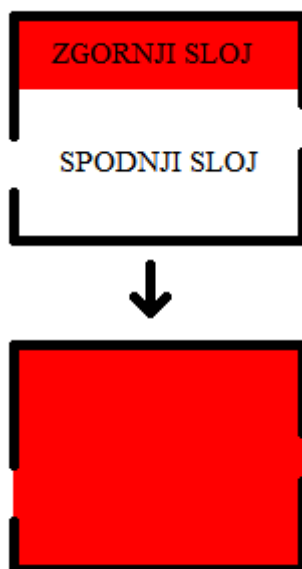
V primeru dveh con predstavlja zgornja cona dim in ostanke produktov izgorevanja, medtem ko je spodnja cona, ki je hladnejša, pomembna za oceno požarne varnosti. Tako je za dvoconski model pomembna tudi višina posamezne cone v odvisnosti od časa.

2.7 Modeli naravnih požarov

V praksi poznamo različne tipe požarov. Posledično obstajajo tudi različni požarni modeli. Med modele naravnih požarov spadajo:

- poenostavljen požarni model:
 - o sektorski požar,
 - o lokalizirani požar,
- conski modeli,
- točnejši požarni modeli.

Za potrebe analize bo uporabljen kombiniran dvoconski požarni model, ki je kombinacija enoconskega in dvoconskega računskega modela. Pri enoconskem modelu se predpostavlja, da je temperatura plinov enakomerna v celotnem sektorju, medtem ko je pri dvoconskem modelu temperatura plinov razdeljena v dve coni, in sicer zgornji (vroč) sloj ter spodnji (hladni) sloj (slika 7). V vsakem sloju je predpostavljena enakomerna temperatura plinov.



Slika 7: Prikaz prehoda iz dvoconskega v enoconski računski model

Kot je razvidno iz slike 7, je v začetni fazi model dvoconski, dokler ni izpolnjen vsaj eden od naslednjih pogojev:

- temperatura v zgornji plasti $\geq 500^{\circ}\text{C}$,
- temperatura plinov v območju zgorevanja \geq temperature vžiga, ki znaša 300°C ,
- višina malo zadimljene cone $\leq 0,2$ x višina objekta in

- območje požara $\geq 0,25$ x površina obravnavanega objekta.

Ko je eden izmed pogojev izpolnjen, pride do požarnega preskoka in takrat računski model preskoči iz dvoconskega v enoconski računski model.

2.8 Določitev požarne obtežbe

Požarna obtežba je vsota toplotnih energij, ki se sproščajo pri zgorevanju vseh vnetljivih snovi v prostoru (vsebina stavbe in konstrukcijski elementi, če so le ti gorljivi). Zato je potrebno predpostaviti ustrezno požarno obtežbo ($Q_{fi,k}$) znotraj osnovne konstrukcije in je določena z enačbo (2.1). Le ta predstavlja vse vnetljive snovi ter določa koliko toplote se lahko med požarom sprosti. Predpostavimo sledečo požarno obtežbo, in sicer:

- | | |
|-----------------------------------|---|
| - omara (dim 80 x 200 x 45 cm) | 60 kg x 24 kom. |
| - miza (dim 120 x 80 x 80 cm) | 30 kg x 32 kom. |
| - stol | 16 kg x 24 kom. |
| - predalnik (dim 55 x 60 x 45 cm) | 30 kg x 8 kom |
| - lesena tla (parket) | 16 kg/m ² x 93,75 m ² |

Skupna teža znaša: 4524 kg

$$Q_{fi,k} = M_{k,i} * H_{ui} * \psi_i, \quad (2.1)$$

$$Q_{fi,k} = 4524 \text{ kg} * 20 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} * 1 = 90480 \text{ MJ} = \mathbf{25,133 \text{ MWh.}}$$

Pri čemer so:

$M_{k,i}$ količina gorljivega materiala,

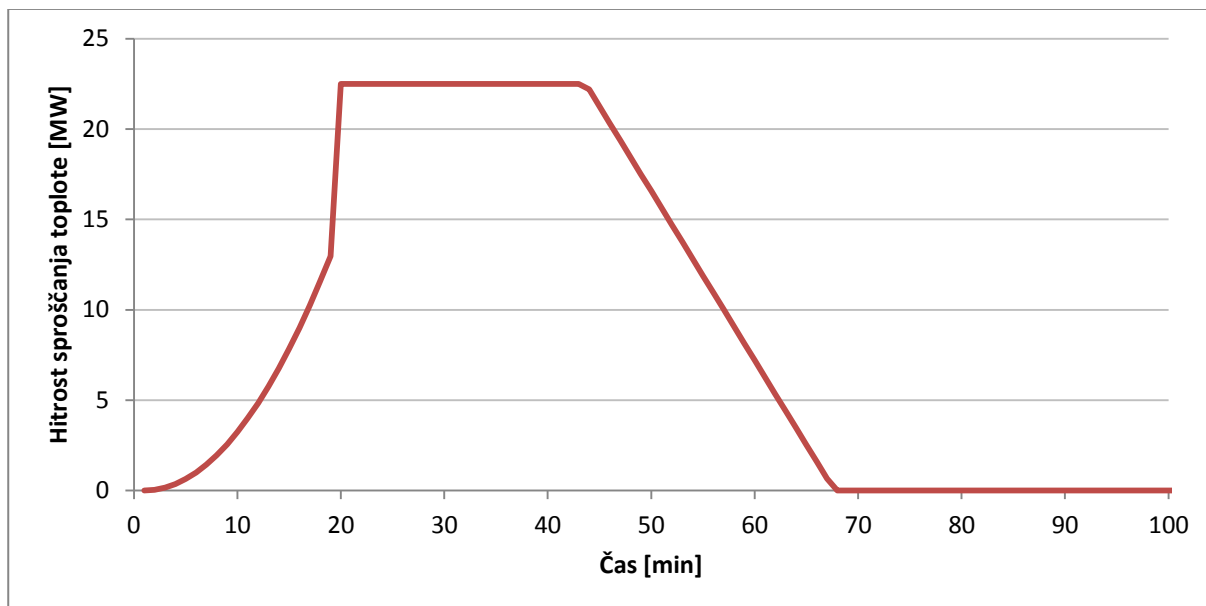
$H_{u,i}$ neto kalorična vrednost suhega materiala,

ψ_i faktor zaščitenosti požarne obtežbe.

3 PARAMETRIČNA ANALIZA RAZVOJA POŽARA – I.FAZA

Pred pričetkom parametrične analize je potrebno na podlagi osnovne konstrukcije definirati osnovni računski model (referenčni primer) skladno s SIST EN 1991-1-2, ki bo služil kot primerjava pri ugotavljanju vpliva posameznega parametra na razvoj požara. Namembnost analiziranega objekta so pisarniški prostori, zato so začetni parametri temu ustrezno izbrani, in sicer:

- koeficient hitrosti razvoja požara: srednja hitrost $t_a = 300$ s,
- faktor, ki upošteva nevarnost nastanka požara glede na velikost sektorja $\delta_{q1} = 1,50$,
- faktor, ki upošteva nevarnost nastanka požara glede na rabo $\delta_{q1} = 1,00$,
- privzeti aktivni ukrepi: varne intervencijske poti, gasilski pripomočki in sistem za odvod dima,
- največja hitrost sproščanja toplote na kvadratni meter $RHR_f = 250$ kW/m²,
- gostota požarne obtežbe (80% kvantil) $q_{f,k} = 511$ MJ/m².



Grafikon 1: Hitrost sproščanja toplote – referenčni primer

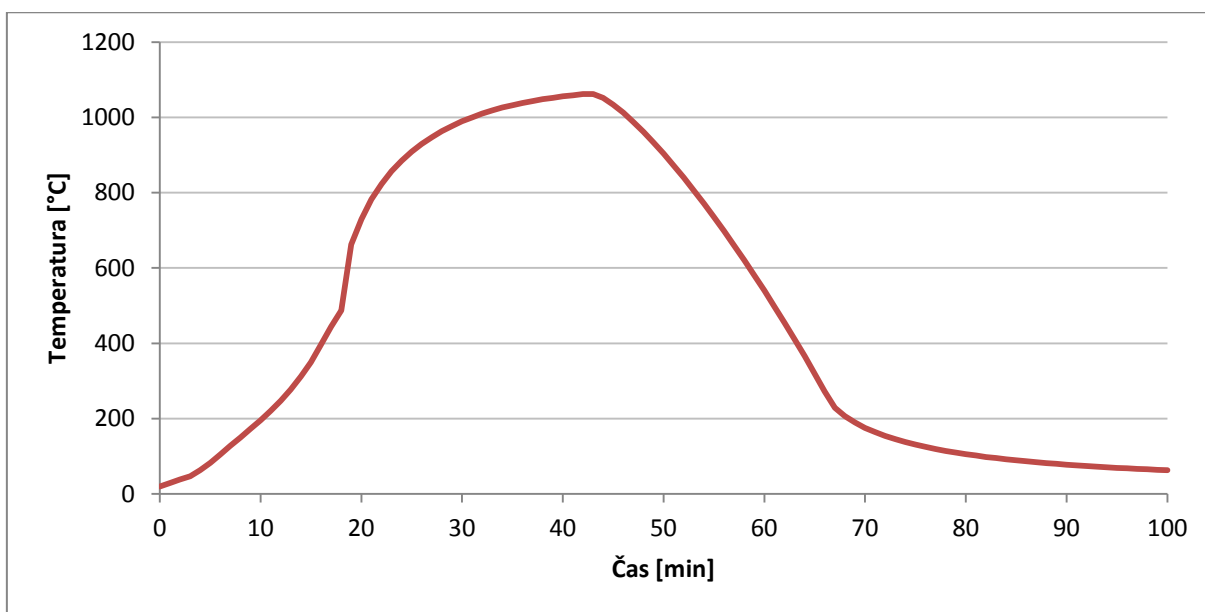
Iz grafikona 1 je razviden potek hitrosti sproščanja toplote za referenčni primer določen s programom OZONE V2.2. Površina pod krivuljo predstavlja karakteristično požarno obtežbo $Q_{fi,k}$, ki znaša 102200 MJ, kar je primerljivo s požarno obtežbo izračunano v poglavju 2.6 na podlagi količine gorljivih materialov v požarnem sektorju. Za primerjavo si pogledjmo še, koliko gorljive snovi celuloznega tipa je potrebno za sprostitvev tolikšne energije

$$M = \frac{Q_{fi,k}}{H_{ui} * \psi_i}, \quad (3.1)$$

$$M = \frac{53911,5 \text{ MJ}}{H_{ui} * 20 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} * 1} = 2695,58 \text{ kg}$$

Ob upoštevanju enačbe (3.1) ugotovimo, da bi v referenčnem primeru zgorelo približno 60% celotne mase predpostavljenih gorljivih materialov, ki je določena v poglavju 2.7.

Potek temperature plinov v požarnem sektorju tekom požara je razviden iz požarne krivulje (grafikon 2).



Grafikon 2: Požarna krivulja – referenčni primer

V parametrični študiji bo prikazan vpliv sledečih parametrov na požarno odpornost enostavnih lesenih elementov:

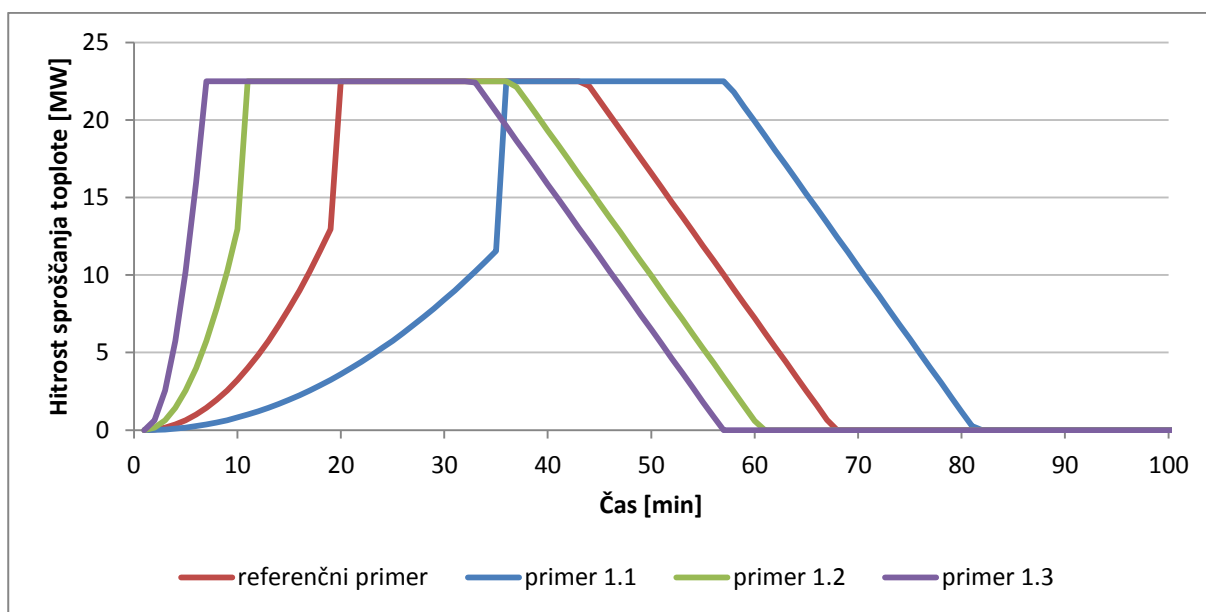
- hitrost razvoj požara (t_a),
- aktivni ukrepi (δ_{qh}),
- največja hitrost sproščanja toplote na kvadratni meter (RHR_f),
- vpliv različnih faktorjev odprtin - različno število in velikost odprtin (O),
- toplotna absorptivnost različnih konstrukcijskih sklopov (b).

3.1 Hitrost razvoja požara

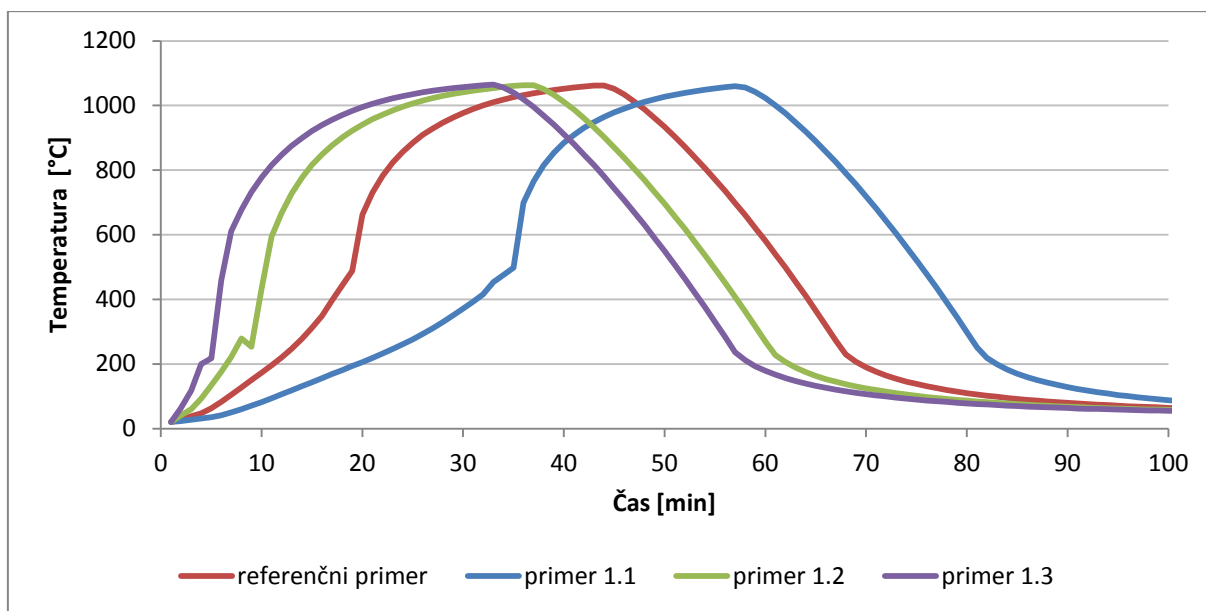
Pri analizi hitrosti razvoja požara prikažemo vpliv parametra t_{α} , ki predstavlja čas, ki je potreben za sprostitvev 1 MW toplote. Po SIST EN 1991-1-2 je privzeta stopnja hitrosti širjenja požara za pisarniške prostore srednja hitrost ($t_{\alpha} = 300$ s), ki je upoštevana v referenčnem primeru. V preglednici 1 so prikazana imena analiz in vrednosti parametra t_{α} .

Preglednica 1: Opis primerov hitrosti razvoja požara

	Hitrost razvoja požara	t_{α}
Referenčni primer	srednja	300
Primer 1.1	počasna	600
Primer 1.2	hitra	150
Primer 1.3	izredno hitra	75



Grafikon 3: Primerjava hitrosti sproščanja toplote pri različnih hitrostih razvoja požara



Grafikon 4: Primerjava požarnih krivulj pri različnih hitrostih razvoja požara

Iz grafikonov 3 in 4 je razviden potek in čas trajanja posamezne faze požara. V vseh primerih doseže požar enako maksimalno hitrost sproščene toplote in približno enako maksimalno temperaturo, vendar počasnejši kot je razvoj požara, kasneje nastopi prehod iz faze začetnega v fazo rastočega požara.

3.2 Aktivni ukrepi

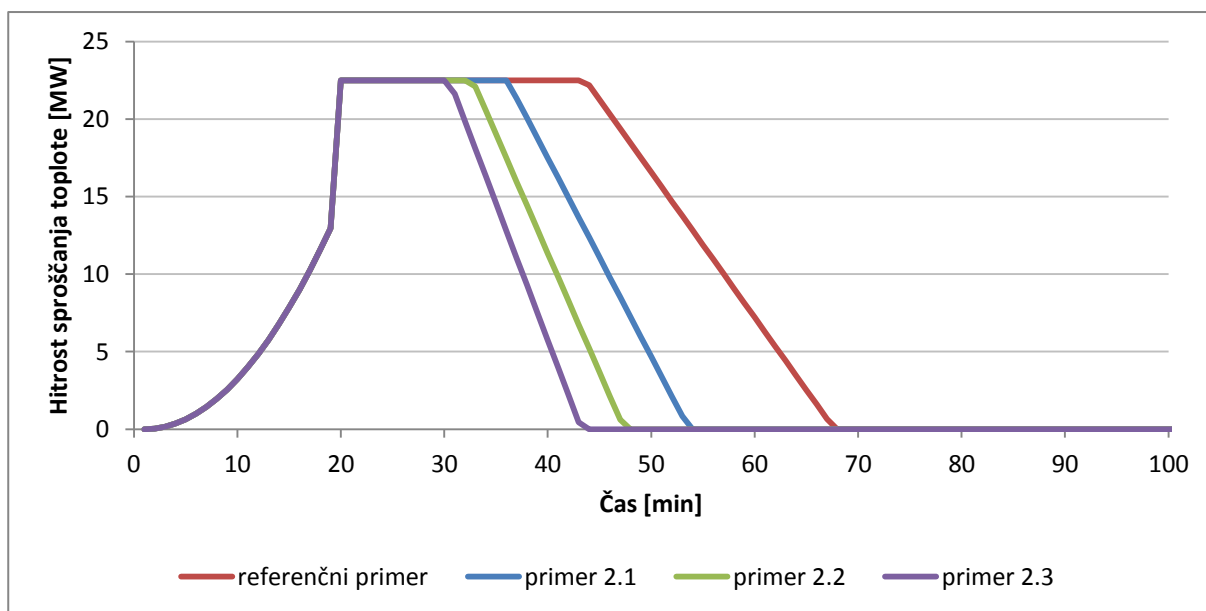
Med aktivne ukrepe za preprečevanje požara štejemo:

- avtomatsko preprečevanje požara:
 - o avtomatski vodni gasilni sistem,
 - o neodvisna oskrba z vodo,
- avtomatsko zaznavanje požara:
 - o avtomatsko zaznavanje požara in alarm:
 - s toploto,
 - z dimom,
 - o avtomatska povezava alarma z gasilsko enoto,
- ročno preprečevanje požara:
 - o lastna gasilska enota,
 - o zunanja gasilska enota,
 - o varne intervencijske poti,
 - o gasilski pripomočki,
 - o sistem za odvod dima.

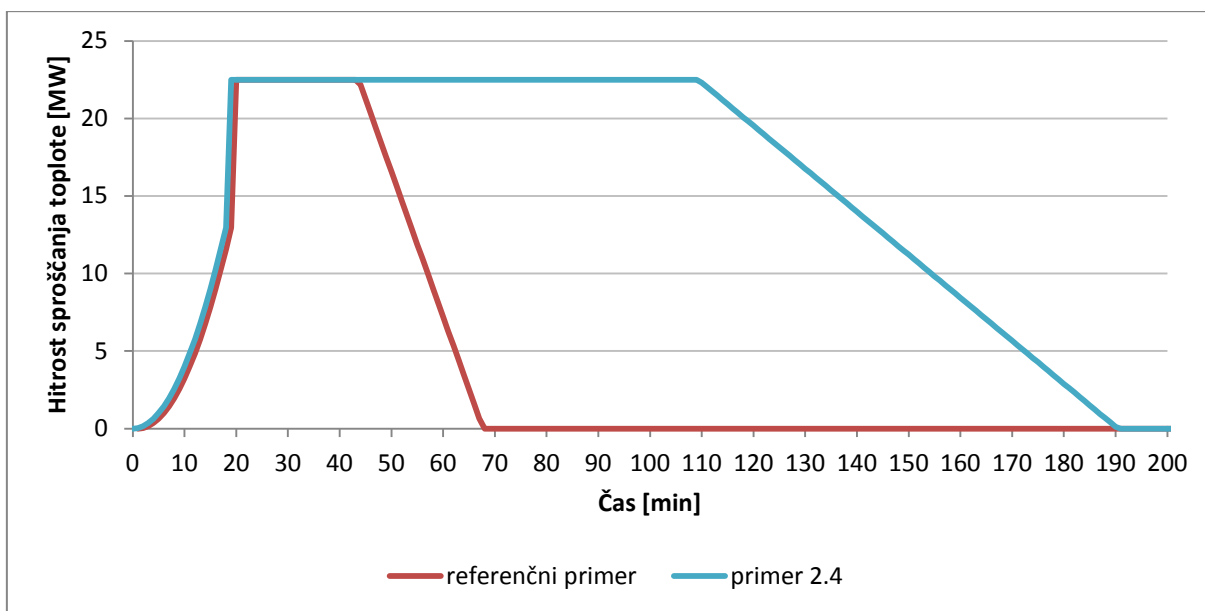
Po SIST EN 1991-1-2 so privzeti aktivni ukrepi za pisarniške prostore varne intervencijske poti, gasilski pripomočki in sistem za odvod dima. Pri tej analizi bomo prikazali vpliv posameznega aktivnega ukrepa na razvoj požara oziroma omejevanje razvoja požara. Poleg osnovnega primera so izvedene še štiri analize, ki prikazujejo vpliv posameznih aktivnih ukrepov. Analizirani primeri so prikazani v preglednici 2.

Preglednica 2: Opis primerov aktivnih ukrepov

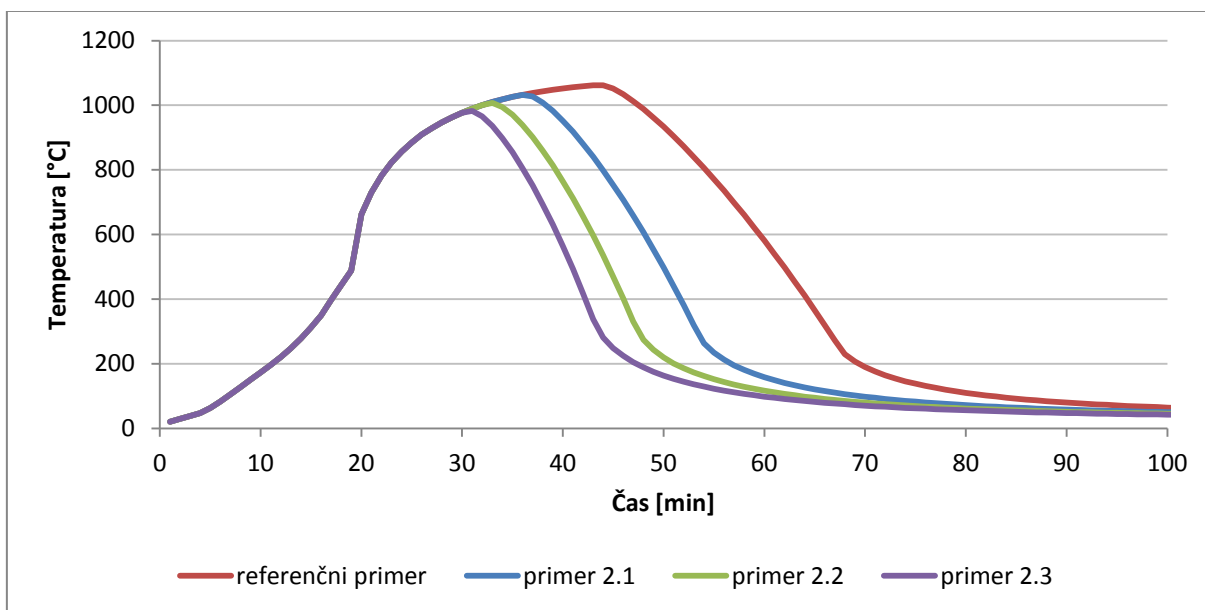
	Aktivni ukrepi
Referenčni primer	varne intervencijske poti + gasilski pripomočki + sistem za odvod dima
Primer 2.1	referenčni primer + avtomatsko zaznavanje toplote + avtomatsko zaznavanje dima
Primer 2.2	referenčni primer + avtomatski vodni gasilni sistem
Primer 2.3	referenčni primer + avtomatsko zaznavanje toplote + avtomatski vodni gasilni sistem
Primer 2.4	brez ukrepov



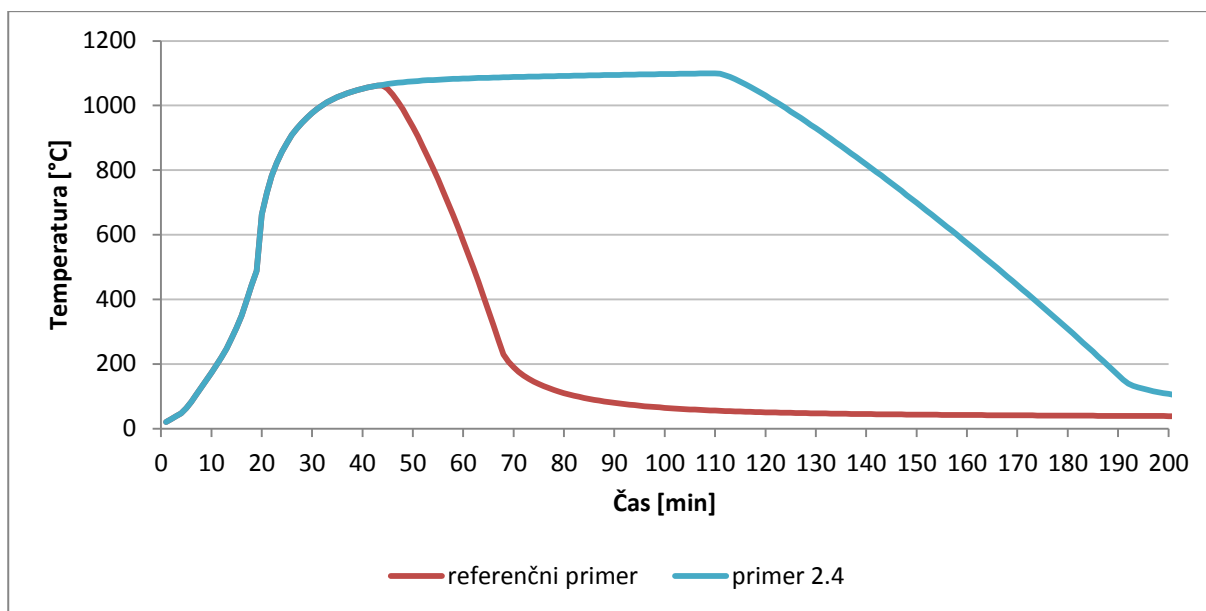
Grafikon 5: Primerjava hitrosti sproščanja toplote pri različni aktivnih ukrepih



Grafikon 6: Primerjava hitrosti sproščanja toplote brez aktivnih ukrepov



Grafikon 7: Primerjava požarnih krivulj pri različnih aktivnih ukrepih



Grafikon 8: Primerjava požarnih krivulj brez aktivnih ukrepov

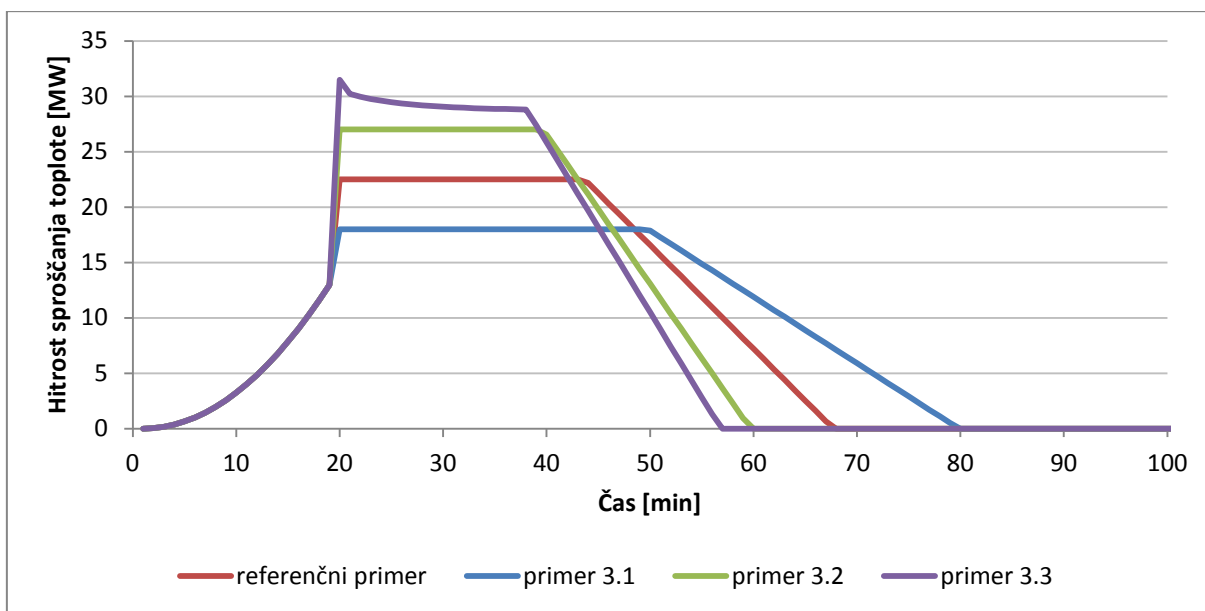
Iz grafikona 6 oz. 8 je razvidno, da bi brez varnostnih ukrepov požar trajal trikrat dlje kot v osnovnem primeru. Če vključimo več varnostnih ukrepov, se čas obvladovanja požara bistveno zmanjša, kar lahko opazimo iz grafikona 5 oz. 7. Hkrati se moramo zavedati, da nam aktivne naprave lahko služijo le, če so redno vzdrževane in delujoče.

3.3 Največja hitrost sproščanja toplote na kvadratni meter

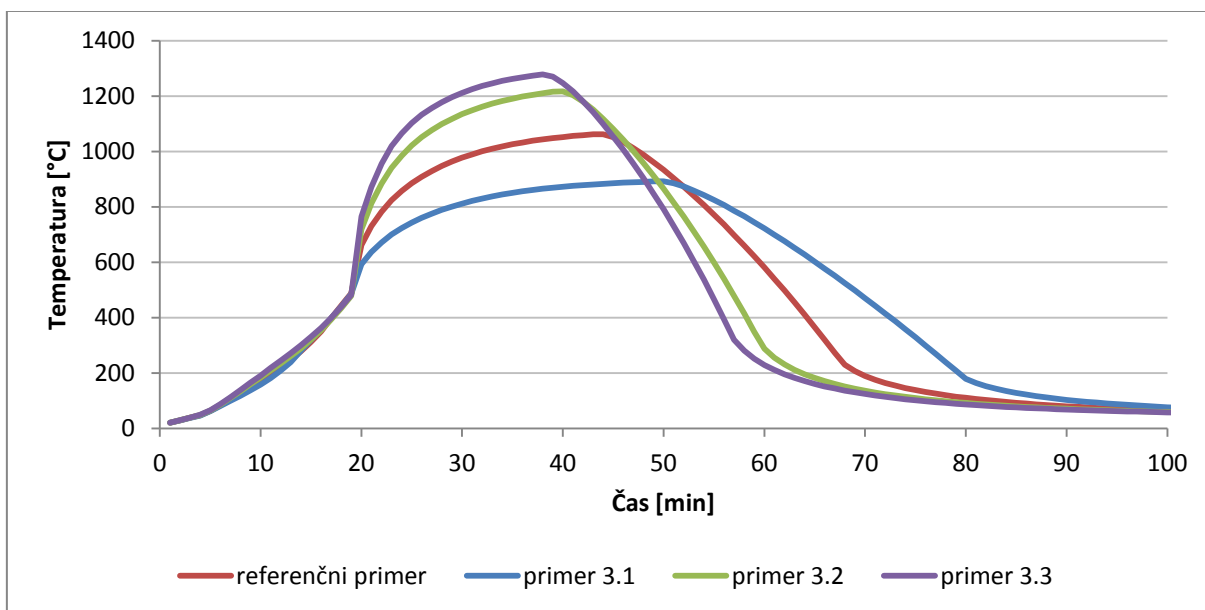
Pri analizi največje hitrosti sproščanja toplote bo prikazan vpliv spreminjanja parametra RHR_f , ki predstavlja največjo hitrost sproščanja toplote na kvadratni meter. Po SIST EN 1991-1-2 je največja hitrost sproščanja toplote na kvadratni meter (RHR_f) za pisarniške prostore 250 kW/m^2 , pri čemer mora biti faktor δ_{q2} , ki upošteva nevarnost nastanka požara glede na rabo enak 1,0. Imena analiziranih primerov z izbranim parametrom RHR_f so podani v preglednici 3.

Preglednica 3: Opis primerov RHR_f analize

	RHR_f
Referenčni primer	250
Primer 3.1	200
Primer 3.2	300
Primer 3.3	350



Grafikon 9: Primerjava hitrosti sproščanja toplote pri različnih vrednostih parametra RHR_f



Grafikon 10: Primerjava požarnih krivulj pri različnih vrednostih parametra RHR_f

Na grafikonu 9 je razvidno, da višji parameter RHR_f povzroči večjo sproščeno toploto s krajšim trajanjem požara. Grafikon 10 pa prikazuje, kako višji parameter RHR_f povzroči višjo maksimalno temperaturo. Skratka, višja največja hitrost sproščanja toplote na kvadratni meter (parameter RHR_f) povzroči krajši in intenzivnejši požar.

3.4 Faktor odprtín

Na razvoj požara vpliva tudi dotok kisika, ki je, kot je razvidno iz trikotnika gorenja (slika 1), ena od glavnih sestavin pri gorenju. Zato je izdelanih več računskih modelov z različnim številom in velikostjo odprtín. Za boljšo primerjavo rezultatov vpliv velikosti odprtín predstavimo s faktorjem odprtín O , kot ga definiram standard SIST EN 1991-1-2.

V osnovnem računskem modelu je šest odprtín v velikosti 6,00 m x 0,80 m.

$$O = \frac{A_v * \sqrt{h_{eq}}}{A_t} \quad (3.2)$$

Pri čemer so:

O faktor odprtín,

A_v celotna površina navpičnih odprtín v vseh stenah,

h_{eq} uteženo povprečje višin oken v vseh stenah,

A_t celotna površina oboda (stene, stropi in tla, vključno z odprtínami).

Pri osnovnem modelu znaša faktor odprtín:

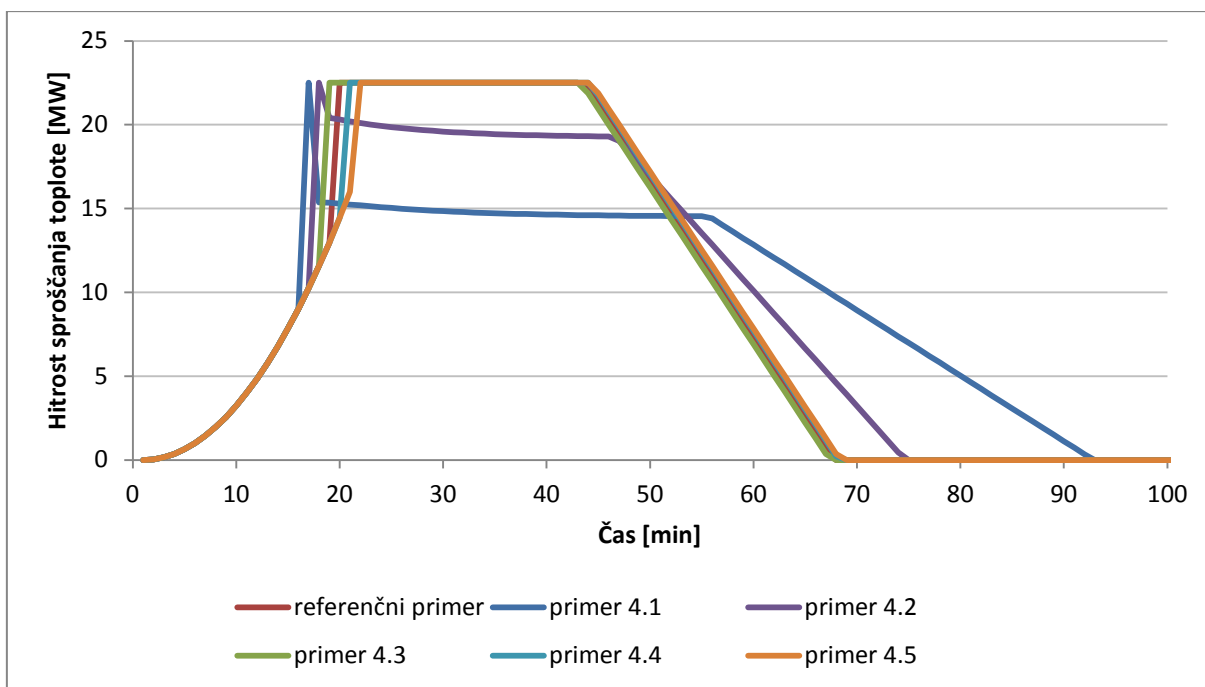
$$O = \frac{28,8 \text{ m}^2 * \sqrt{0,8 \text{ m}}}{534 \text{ m}^2}$$

$$O = 0,048$$

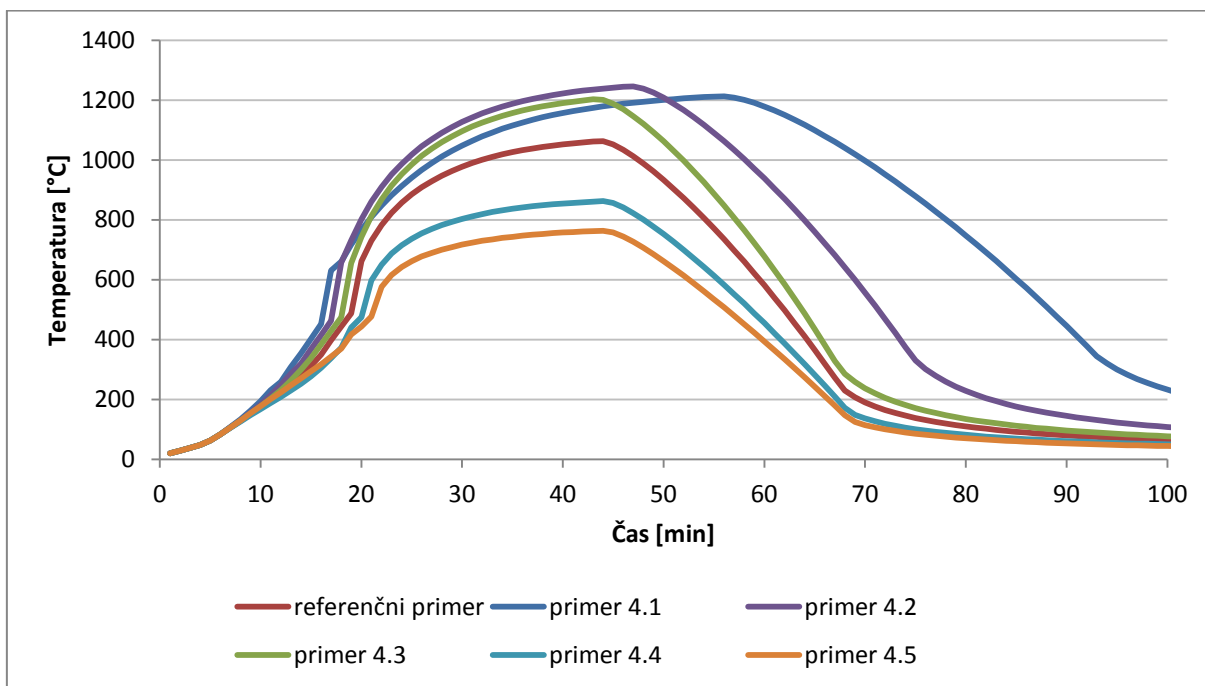
Glede na to, da predstavlja vsaka odprtina med gorenjem vir dotoka zraka, je izvedenih 5 primerov z različnimi faktorji odprtín, kar je razvidno iz preglednice 4. Večja vrednost faktorja odprtín predstavlja večje število odprtín in obratno. Rezultati analiz so prikazani na grafikonu 11 in 12.

Preglednica 4: Opis primerov z različnimi faktorji odprtín

	Faktor odprtín
Referenčni primer	0,048
Primer 4.1	0,024
Primer 4.2	0,032
Primer 4.3	0,040
Primer 4.4	0,064
Primer 4.5	0,100



Grafikon 11: Primerjava hitrosti sproščanja toplote pri različnih faktorjih odprtin



Grafikon 12: Primerjava požarnih krivulj pri različnih faktorjih odprtin

Na grafikonu 11 je razvidno, kako nižje število odprtin povzroči manjši dotok in posledično nižjo hitrost sproščanja toplote, vendar je čas trajanja požara v tem primeru daljši. Omenimo še, da je v primeru, kadar primanjkuje kisika, požar ventilacijsko kontroliran (primer 4.1 in 4.2). To pomeni, da je kisika v prostoru premalo, da bi lahko zagoreli vsi vnetljivi plini v prostoru, posredno pa se čas trajanja požara podaljša. Na grafikonu 12 pa je lepo razviden vpliv večjega števila odprtin. Namreč, če

je odprt in preveč, le te omogočajo povečano odvajanje toplote in posledično je temperatura vročih plinov v prostoru nižja (primer 4.4 in 4.5).

3.5 Toplotna absorptivnost konstrukcijskih sklopov

Glede na to, da obstajajo različni materiali in različni načini izvedbe posameznih konstrukcijskih sklopov (talne plošče, stene in streha), je potrebno preučiti različne primere in preveriti njihov vpliv na požarno odpornost.

Posamezni material ima lahko drugačen vpliv znotraj take analize. Na primer, če privzamemo lesena tla, bodo obravnavana kot dodatno gorljivo sredstvo, medtem ko keramična ne bodo. Isto velja za stenske in stropne obloge, kjer stena ali strop v klasičnem ometu ali z mavčno-apnenimi ploščami ne bosta predstavljala dodatnega gorljivega sredstva, medtem ko ga bodo lesene obloge na stenah ali stropu. Hkrati pa različni konstrukcijski sklopi predstavljajo tudi različno izgubo toplote. Tako bo v primeru bolj izolativnega sklopa izguba toplote med požarom manjša kot v primeru manj izolativnega sklopa.

V preglednici 5 so opisane sestave posameznih konstrukcijskih sklopov, ki so upoštevane pri izvedbi te parametrične analize.

Preglednica 5: Opis primerov različnih konstrukcijskih sklopov

	Sestava medetažne konstrukcije	Sestava zunanje stene	Sestava strešne konstrukcije
Referenčni primer	parket 2,0 cm armirani cementni estrih 5,0 cm toplotna izolacija 5,0 cm armirano betonska plošča 15,0 cm	mavčni omet 2,0 cm nosilni opečni zid 29,0 cm toplotna izolacija 16,0 cm	mavčna plošča 1,2 cm toplotna izolacija 8,0 cm toplotna izolacija 14,0 cm
Primer 5.1	kamnita talna obloga 2,0 cm armirani cementni estrih 5,0 cm toplotna izolacija 5,0 cm armirano betonska plošča 15,0 cm	mavčni omet 2,0 cm nosilni opečni zid 29,0 cm toplotna izolacija 16,0 cm	mavčna plošča 1,2 cm toplotna izolacija 8,0 cm toplotna izolacija 14,0 cm
Primer 5.2	parket 2,0 cm armirani cementni estrih 5,0 cm toplotna izolacija 12,0 cm	lesena obloga 2,0 cm toplotna izolacija 20,0 cm	mavčna plošča 1,5 cm toplotna izolacija 8,0 cm toplotna izolacija 14,0 cm
Primer 5.3	kamnita talna obloga 2,0 cm armirani cementni estrih 5,0 cm toplotna izolacija 5,0 cm armirano betonska plošča 15,0 cm	mavčni omet 2,0 cm nosilni opečni zid 29,0 cm toplotna izolacija 16,0 cm	mavčna omet 2,0 cm armirano betonska plošča 15,0 cm toplotna izolacija 16,0 cm

Za lažjo interpretacijo posameznega konstrukcijskega sklopa iz preglednice 5 je v preglednici 6 določena toplotna absorptivnost b za posamezni konstrukcijski sklop v skladu s standardom SIST EN 1991-1-2:

$$b = \sqrt{\rho_i * c_i * \lambda_i} \quad (3.3)$$

Glede na to, da je posamezni konstrukcijski sklop sestavljen iz različnih plasti materiala, velja:

Če je $b_1 < b_2$, je $b = b_1$, če je $b_1 > b_2$, se mejna debelina s za izpostavljeni material izračuna z enačbo:

$$s_{lim} = \sqrt{\frac{3600 * t_{max} * \lambda_1}{c_1 * \rho_1}} \quad (3.4)$$

$$t_{max} = \max[(0,2 * 10^{-3} * \frac{q_{t,d}}{o}); t_{im}] \quad (3.5)$$

$$s_{lim} = \sqrt{\frac{3600 * t_{max} * \lambda_1}{c_1 * \rho_1}} \quad (3.6)$$

če je $s_1 > s_{lim}$, je $b = b_1$

če je $s_1 < s_{lim}$, je

$$b = \frac{s_1}{s_{lim}} * b_1 + \left(1 - \frac{s_1}{s_{lim}}\right) * b_2 \quad (3.7)$$

indeks 1 je plast, ki je neposredno izpostavljena požaru, indeks 2 pa naslednja plast

s_i debelina plasti i [m],

ρ_i gostota plasti i $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$,

c_i specifična toplota plasti i $\left[\frac{J}{kgK}\right]$,

λ_i toplotna prevodnost plasti i $\left[\frac{W}{mK}\right]$,

Na osnovi toplotne absorptivnosti za posamezni konstrukcijski sklop se določi toplotno absorptivnost celotnega sektorja:

$$b_{skupni} = \frac{\sum(b_j * A_j)}{A_t - A_v} \quad (3.8)$$

A_j površina obodne ploskve j , odprtine niso upoštevane,

b_j toplotna lastnost obodne ploskve j v skladu z izrazom (3.3),

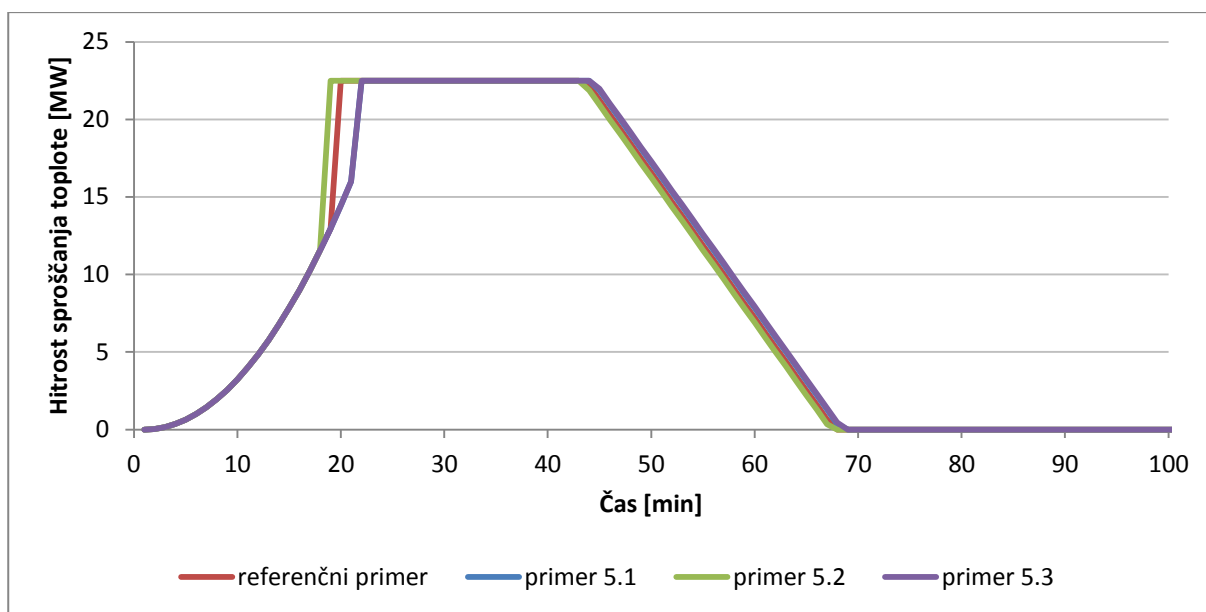
A_t celotna površina oboda (stene, stropi in tla, vključno z odprtinami),

A_v celotna površina navpičnih odprtin v vseh stenah.

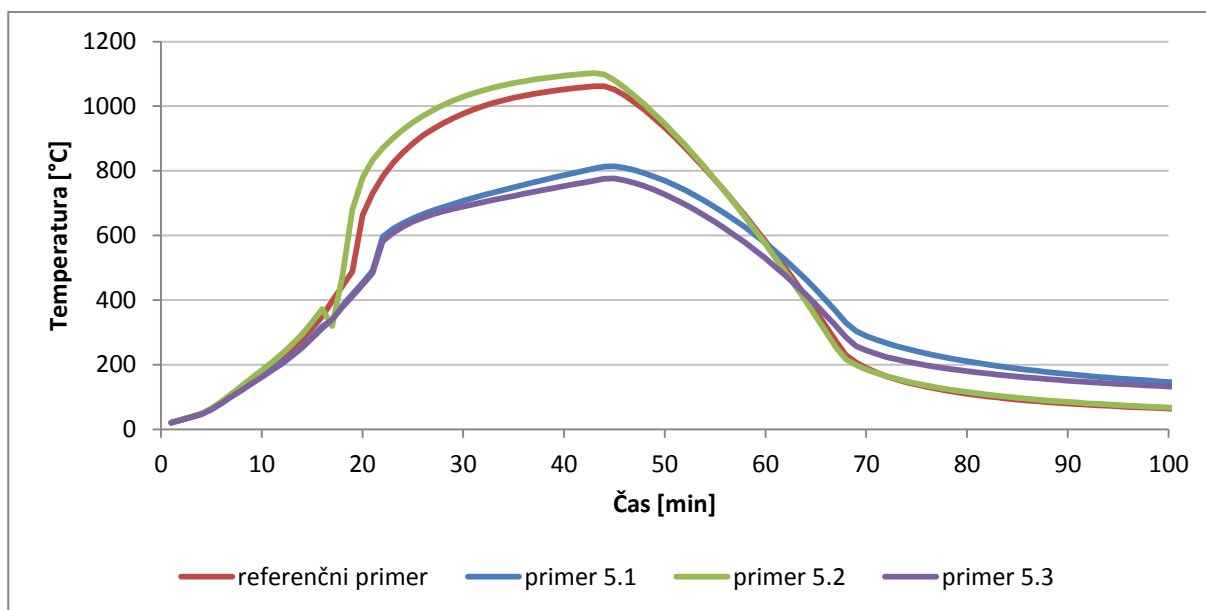
Preglednica 6: Toplotna absorptivnost b posameznega konstrukcijskega sklopa in celotnega sektorja

	b zid 1	b zid 2	b zid 3	b zid 4	b plošče	b strehe	b skupni
Referenčni primer	633	633	633	633	224	290	328
Primer 5.1	633	633	633	633	1893	290	989
Primer 5.2	212	212	212	212	224	290	249
Primer 5.3	633	633	633	633	1893	633	1132

Iz grafikona 13 je razvidno, da na hitrost sproščanja toplote konstrukcijski sklopi nimajo večjega vpliva. Krivulje se večinoma prekrivajo. Medtem ko postane na grafikonu 14 vse bolj zanimivo. Namreč, v primeru 5.2 in referenčnem primeru je vrednost parametra b precej nižja kot v preostalih dveh primerih. Vemo, da nižji parameter b pomeni boljšo izolativnost sklopa in posledično je izguba toplote skozi obodne stene v tem primeru precej nižja kot v primeru višjega parametra b oz. manj izolativnih obodnih sten. Posledično je temperatura v referenčnem primeru in primeru 5.2 bistveno višja kot v preostalih dveh primerih, kar je lepo razvidno iz grafikona 14.



Grafikon 13: Primerjava hitrosti sproščanja toplote pri različnih konstrukcijskih sklopih

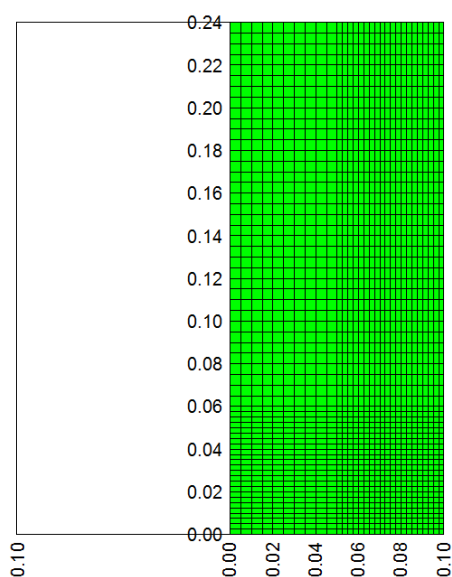


Grafikon 14: Primerjava požarnih krivulj pri različnih konstrukcijskih sklopih

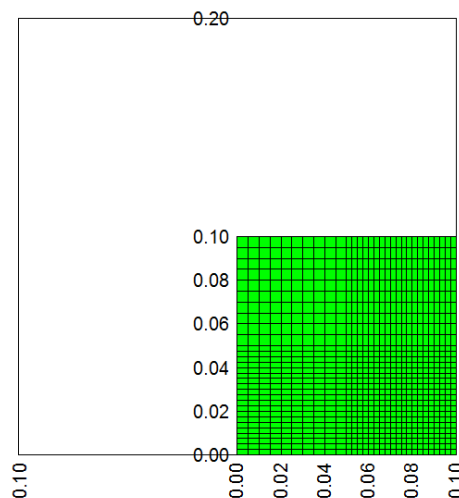
4 TEMPERATURNA ANALIZA – FAZA II

Na podlagi izračunanih projektnih požarov v tretjem poglavju sledi temperaturna analiza. Temperaturna analiza se izvede za celotno trajanje požara, vključno s fazo ohlajanja. Rezultati temperaturne analize pa bodo debeline zoglele plasti obravnavanih elementov, to je nosilca (slemenske lege) in stebra (pod slemensko lego) za vsak obravnavani projektni požar, ki je predstavljen v poglavju 3. Skupaj je, poleg referenčnega primera, analiziranih še 18 požarnih scenarijev.

Skladno s standardom SIST EN 1995-1-2 privzamemo, da v lesenem elementu nastopi oglenenje pri temperaturi 300°C. Na podlagi te temperature določim globino zoglele plasti, ki jo poimenujemo izoterma 300. Zaradi potrebe programskega orodja Heatko [Hozjan, T. 2009] je potrebno izdelati mrežo končnih elementov. V območju, kjer predvidevamo, da bo nastopilo oglenenje, mrežo končnih elementov zgostimo. Končna gostota mreže končnih elementov je bila določena na podlagi predhodnih konvergenčnih študij.



Slika 8: Mreža z 1800 končnimi elementi za lego

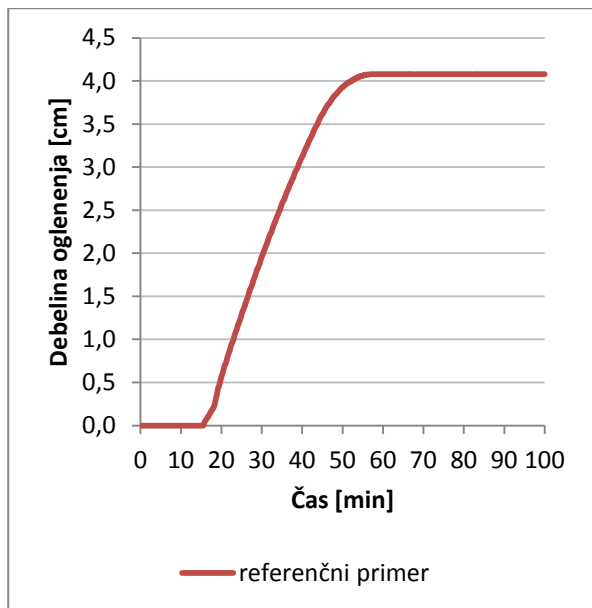


Slika 9: Mreža z 900 končnimi elementi za steber

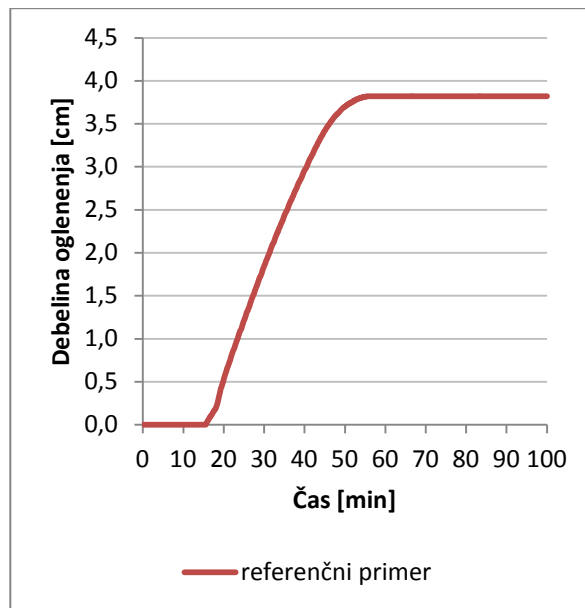
V računu upoštevamo, da je slemenska lega izpostavljena požaru s spodnje strani in s strani, na zgornji strani pa je zaščitena, torej je požaru izpostavljena s treh strani. Zaradi simetrije prereza in požarne obtežbe v računu upoštevamo samo polovico lege (10 cm x 24 cm), za drugo polovico prevzamemo simetričen potek temperature. Mreža končnih elementov za lego je prikazana na sliki 8. Glede stebra pa velja dvojna simetrija, saj bo požar prisoten z vseh štirih strani (slika 9). Zgoščeno območje

končnih elementov je pri obeh elementih v območju četrtine od izpostavljenega roba prereza, kar je lepo prikazano na sliki 8 in 9.

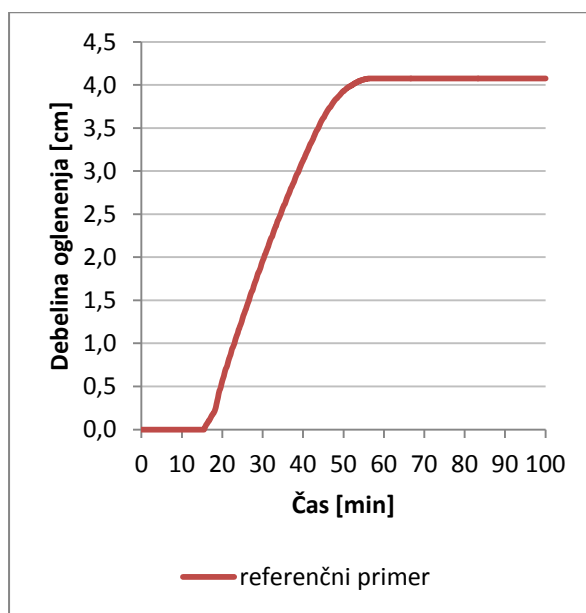
Kot v tretjem poglavju bo najprej analiziran referenčni računski model. Iz rezultatov prikazanih na grafikoni 15 do 17 lahko odčitamo čas, v katerem nastopi maksimalna globina oglenjenja (izoterma 300) za posamezni element referenčnega primera in debelino zoglenele plasti. Ti rezultati so prikazani v preglednici 7.



Grafikon 15: Globina oglenjenja lege s spodnje strani za referenčni primer



Grafikon 16: Globina oglenjenja lege s strani za referenčni primer

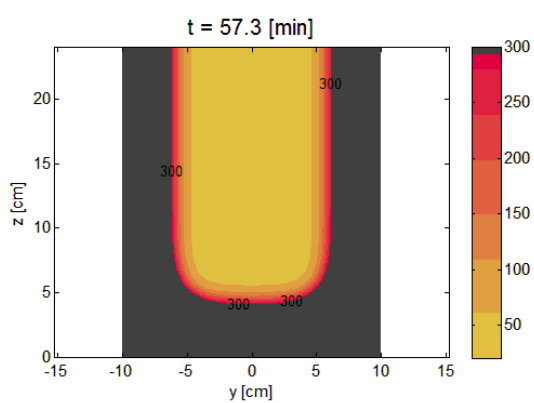


Grafikon 17: Globina oglenjenja stebra za referenčni primer

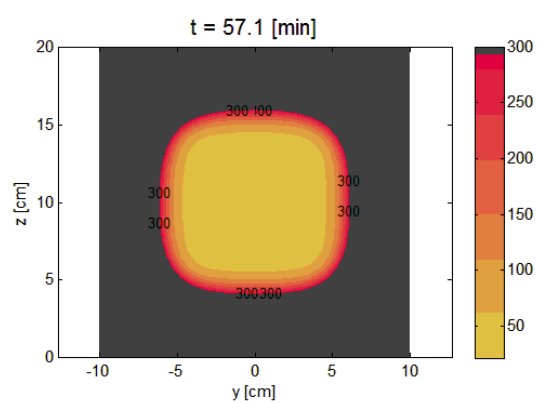
Na slikah 10 in 11 je nazorno prikazano končno območje oglenjenja za lego in steber v referenčnem primeru (obarvano črno).

Preglednica 7: Globine oglenjenja za referenčni primer

		Lega		Steber
		Spodaj	S strani	
Referenčni primer	Čas [min]	57,17	56,50	57,08
	Debelina [cm]	4,077	3,822	4,076



Slika 10: Prikaz območja oglenjenja lege za referenčni primer

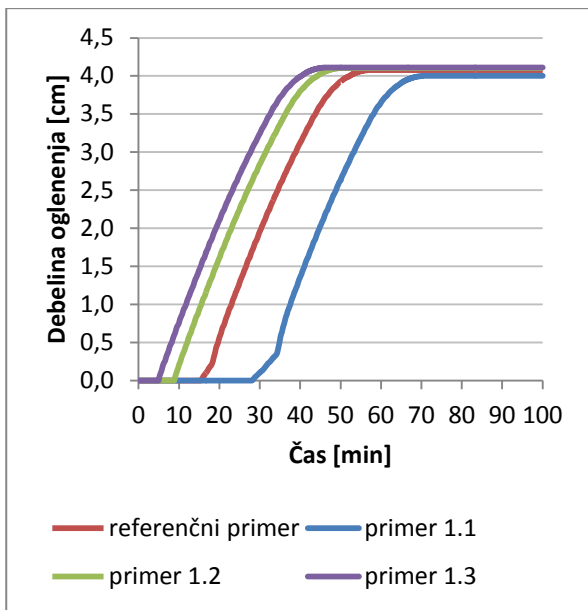


Slika 11: Prikaz območja oglenjenja stebra za referenčni primer

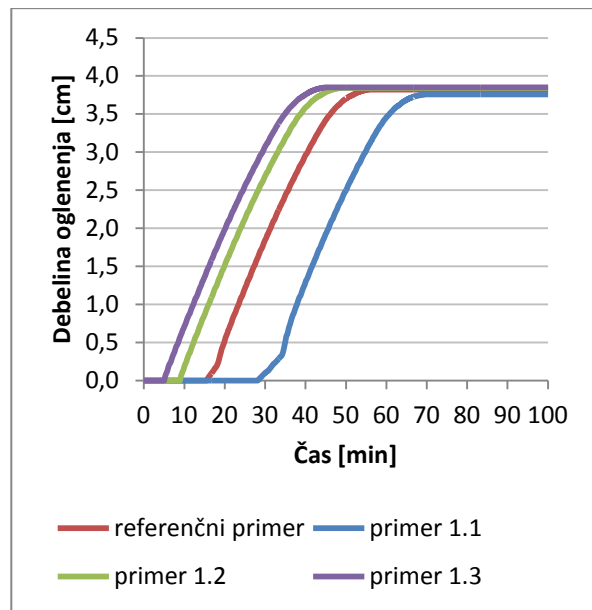
4.1 Temperaturna analiza za primere različnih hitrosti razvoja požara

V poglavju 3.1 smo prikazali, kako hitrost razvoja požara vpliva na njegov potek. Sedaj pa lahko preverimo, kako hitrost razvoja požara vpliva na oglenenje lesenih elementov.

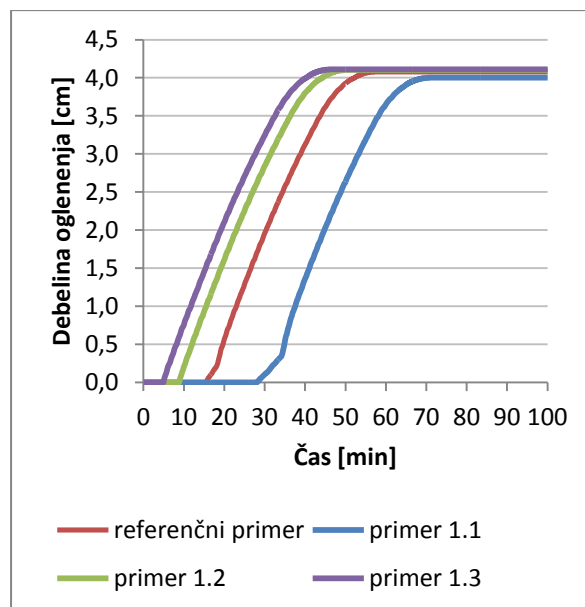
Na grafikonih 18, 19 in 20 vidimo potek oglenjenja za različne vrednosti hitrosti razvoja požara. Vsi elementi zoglejijo do približno iste debeline, vendar počasnejša kot je hitrost razvoja požara, kasneje nastopi oglenenje. Kdaj dosežemo maksimalno debelino oglenjenja, pa je prikazano v preglednici 8.



Grafikon 18: Globina oglenjenja lege s spodnje strani za različne hitrost razvoja požara



Grafikon 19: Globina oglenjenja lege s strani za različne hitrost razvoja požara

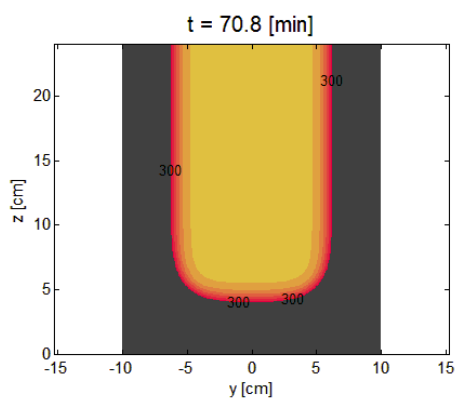


Grafikon 20: Globina oglenjenja stebra glede na različne hitrosti razvoja požara

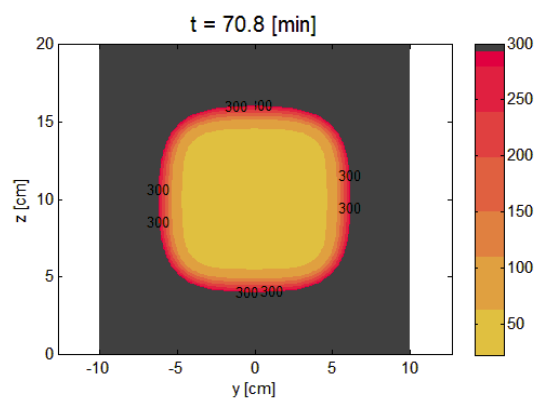
Na slikah 12 do 17 so prikazane maksimalne debeline oglenjenja za posamezne primere hitrosti razvoja požara (obarvano črno).

Preglednica 8: Globine oglenenja za različne hitrosti razvoja požara

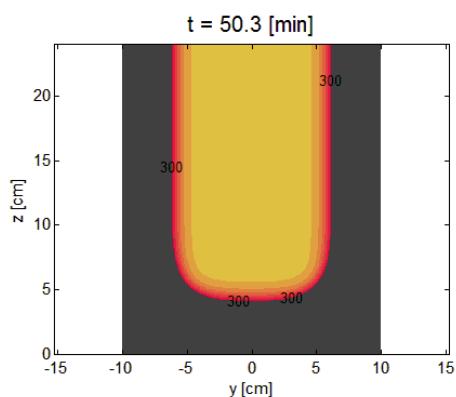
		Legra		Steber
		Spodaj	S strani	
Referenčni primer	Čas [min]	57,17	56,50	57,08
	Debelina [cm]	4,077	3,822	4,076
Primer 1.1	Čas [min]	70,83	70,17	70,75
	Debelina [cm]	4,001	3,759	4,000
Primer 1.2	Čas [min]	50,17	49,42	50,08
	Debelina [cm]	4,103	3,844	4,101
Primer 1.3	Čas [min]	46,50	45,75	46,33
	Debelina [cm]	4,111	3,851	4,110



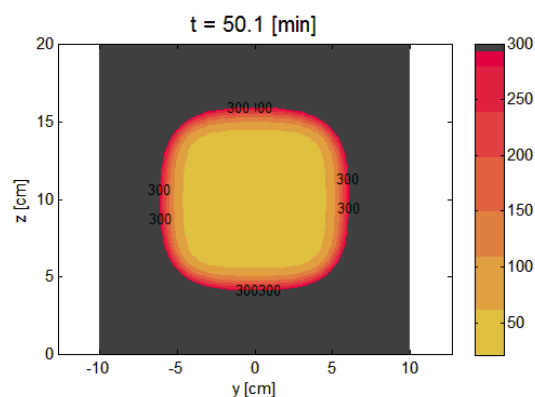
Slika 12 Prikaz območja oglenenja lege za primer 1.1



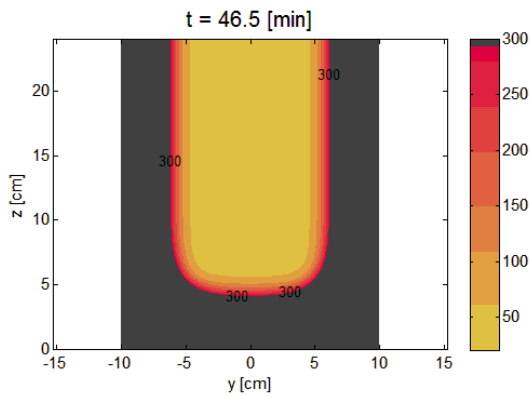
Slika 13: Prikaz območja oglenenja stebra za primer 1.1



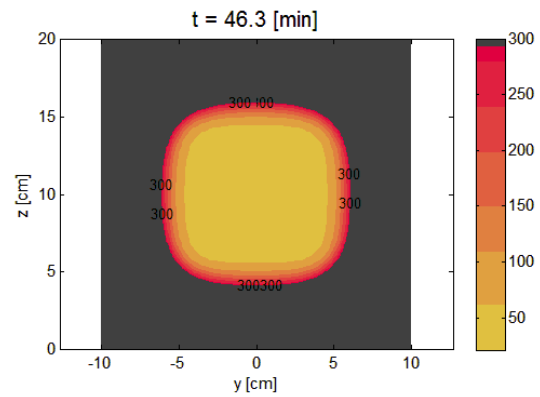
Slika 14: Prikaz območja oglenenja lege za primer 1.2



Slika 15: Prikaz območja oglenenja stebra za primer 1.2



Slika 16: Prikaz območja oglenjenja lege za primer 1.3

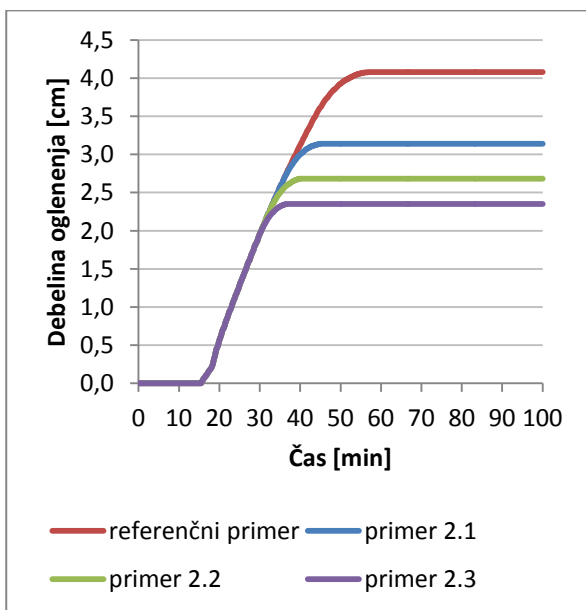


Slika 17: Prikaz območja oglenjenja stebra za primer 1.3

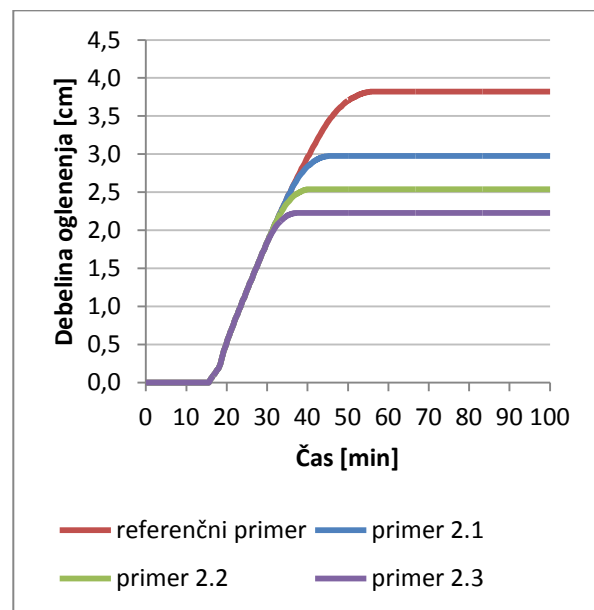
4.2 Temperaturna analiza za primere različnih aktivnih ukrepov

Kako aktivni ukrepi pomagajo omejiti negativen vpliv požara smo prikazali v poglavju 3.2. Sledi prikaz, kako posamezni aktivni ukrep pomaga pri zmanjševanju debeline oglenelega dela lesenega elementa.

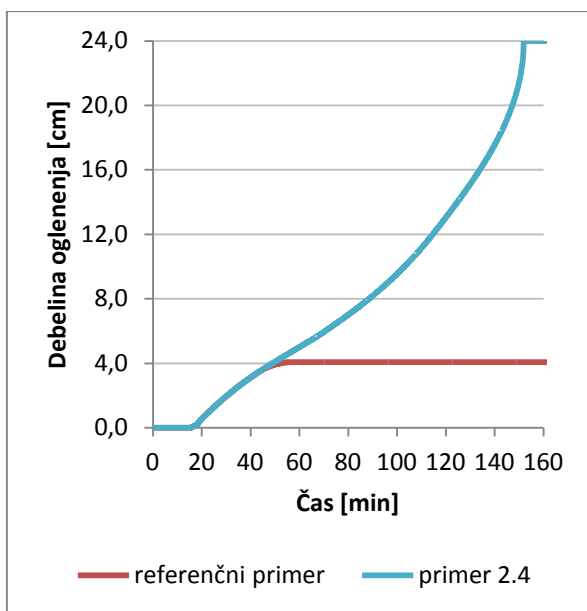
Na grafikonih od 21 do 26 je prikazan vpliv posameznega aktivnega ukrepa na oglenenje. V primeru 2.4, kjer ni nobenega aktivnega ukrepa, bi elementa v celoti zoglenela.



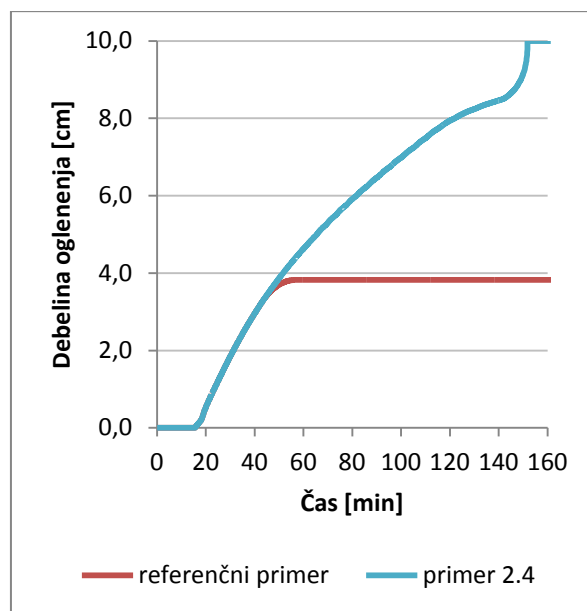
Grafikon 21: Globina oglenjenja lege s spodnje strani za različne aktivne ukrepe



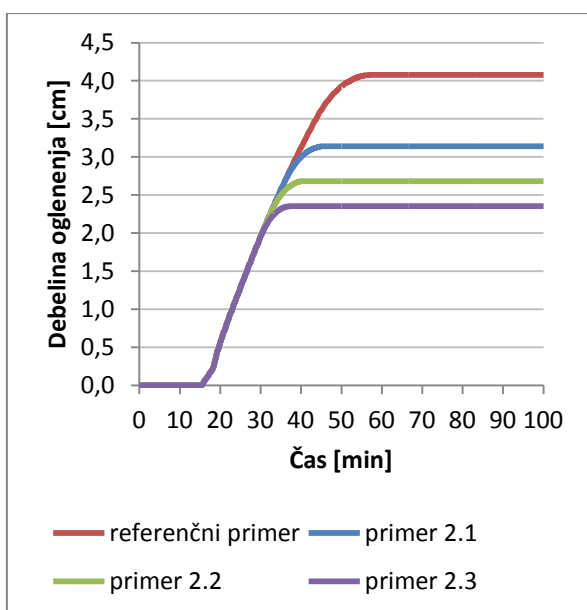
Grafikon 22: Globina oglenjenja lege s strani za različne aktivne ukrepe



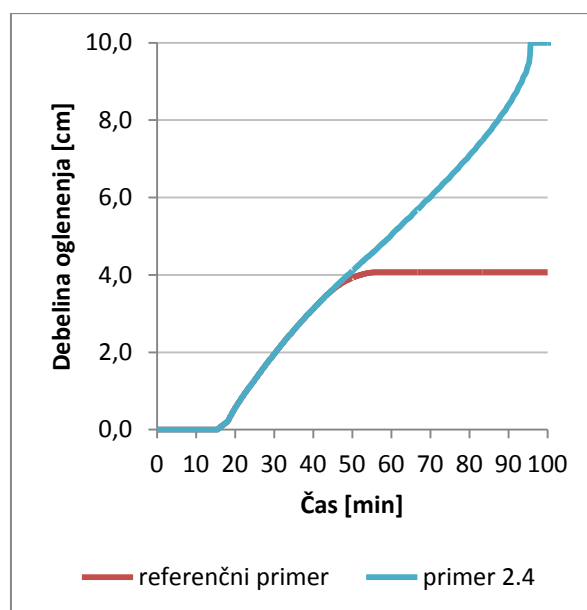
Grafikon 23: Globina oglenjenja lege s spodnje strani za primer 2.4



Grafikon 24: Globina oglenjenja lege s strani za primer 2.4



Grafikon 25: Globina oglenjenja stebra za različne aktivne ukrepe

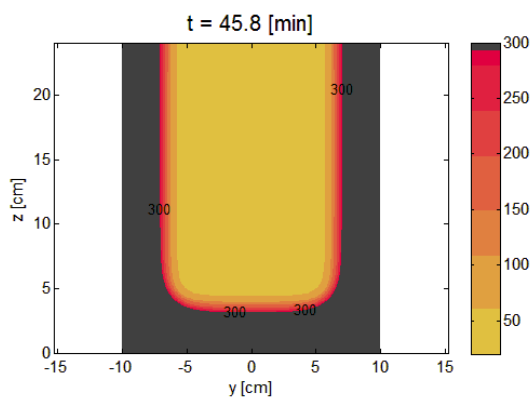


Grafikon 26: Globina oglenjenja stebra za primer 2.4

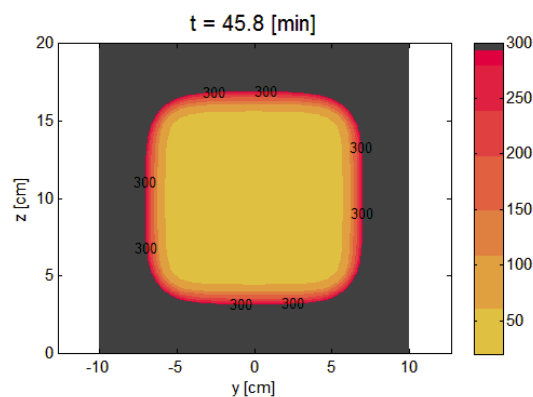
Časi in debelina maksimalne zoglenele plasti so prikazani v preglednici 9. Na slikah od 18 do 25 so prikazane maksimalne debeline oglenjenja za posamezni aktivni ukrep.

Preglednica 9: Globine oglečenja za različne aktivne ukrepe

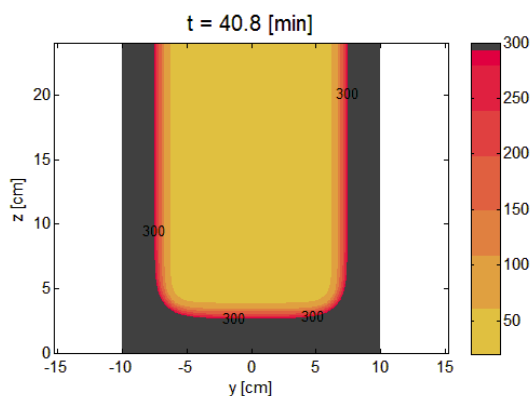
		Lega		Steber
		Spodaj	S strani	
Referenčni primer	Čas [min]	57,17	56,50	57,08
	Debelina [cm]	4,077	3,822	4,076
Primer 2.1	Čas [min]	45,67	45,67	45,67
	Debelina [cm]	3,141	2,976	3,141
Primer 2.2	Čas [min]	40,67	40,67	40,67
	Debelina [cm]	2,684	2,541	2,684
Primer 2.3	Čas [min]	37,33	37,33	37,33
	Debelina [cm]	2,352	2,227	2,352
Primer 2.4	Čas [min]	151,92	151,92	95,67
	Debelina [cm]	24,000	10,000	10,000



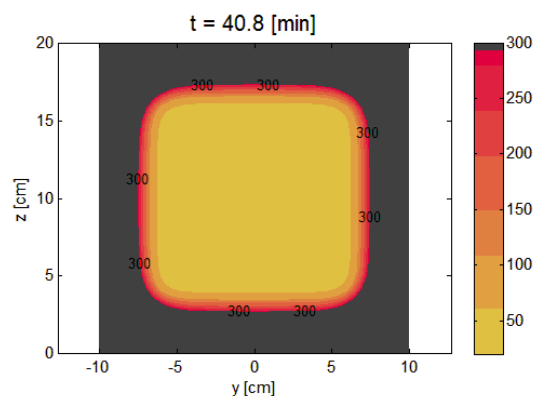
Slika 18: Prikaz območja oglečenja lege za primer 2.1



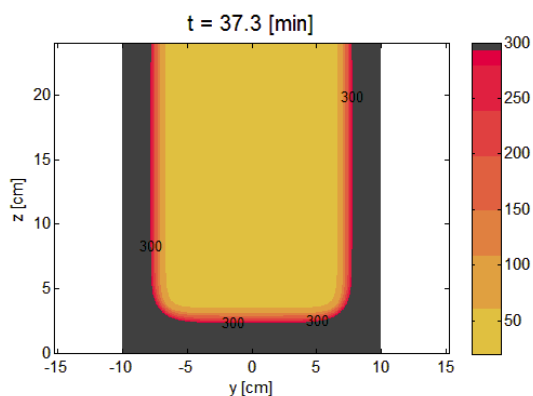
Slika 19: Prikaz območja oglečenja stebra za primer 2.1



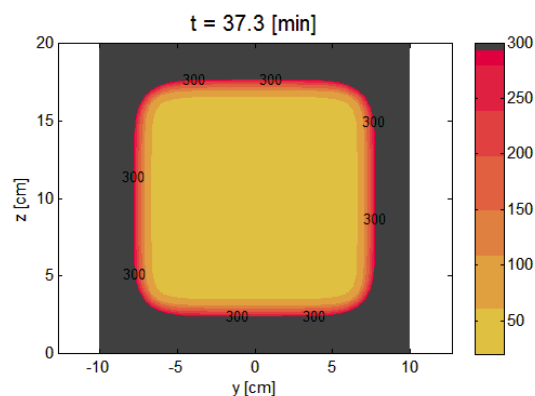
Slika 20: Prikaz območja oglečenja lege za primer 2.2



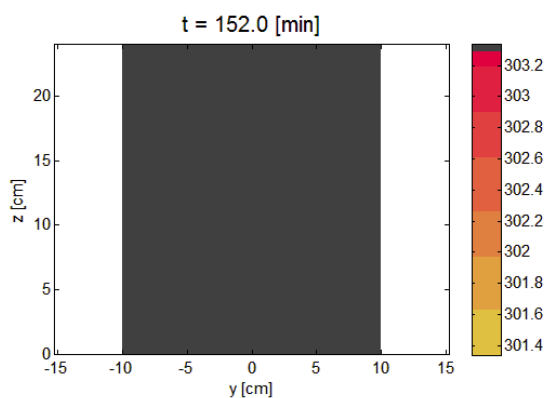
Slika 21: Prikaz območja oglečenja stebra za primer 2.2



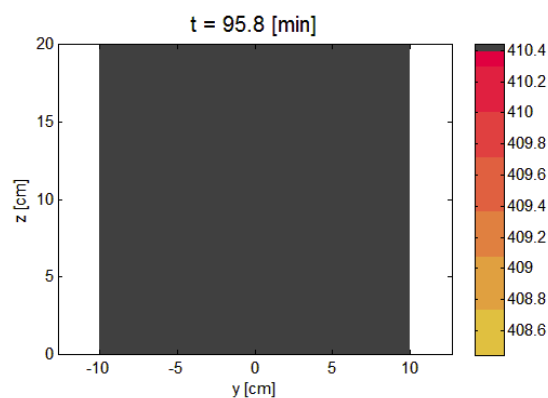
Slika 22: Prikaz območja oglečenja lege za primer 2.3



Slika 23: Prikaz območja oglečenja stebra za primer 2.3



Slika 24: Prikaz območja oglečenja lege za primer 2.4



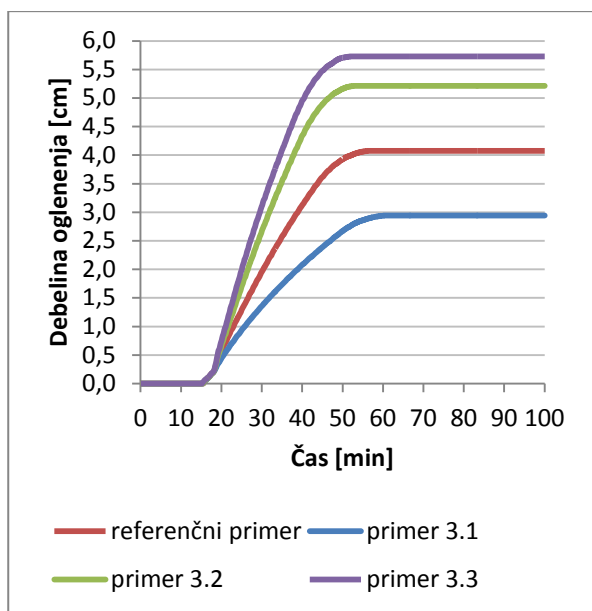
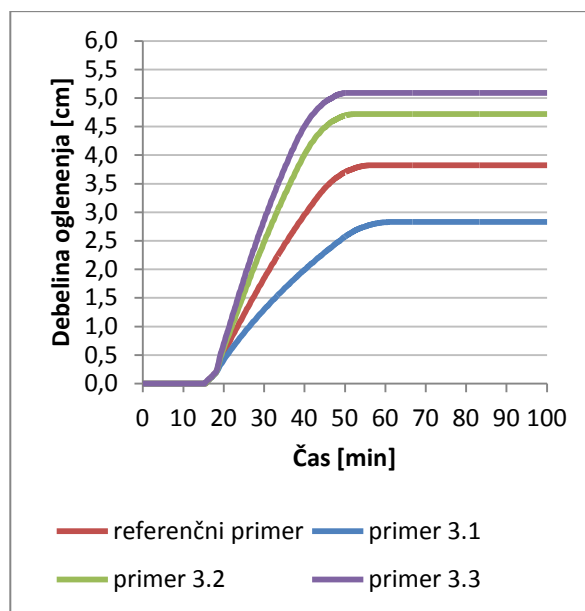
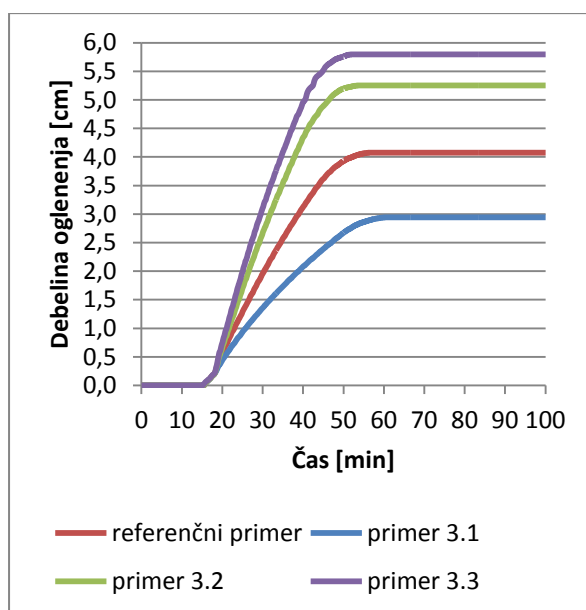
Slika 25: Prikaz območja oglečenja stebra za primer 24

Iz pridobljenih rezultatov je razvidno, da aktivni ukrepi zelo vplivajo na razvoj in potek požara ter posledično na potek oglečenja. Z več aktivnimi ukrepi je objekt bolj varen pred požarom, kar se dobro vidi iz rezultatov primera 2.3, kjer nastopi najtanjša zoglenela plast. Medtem ko bi v primeru 2.4, kjer ni nobenega aktivnega ukrepa, elementa v celoti zgorela.

4.3 Temperaturna analiza za primere različnih največjih hitrosti sproščanja toplote na kvadratni meter

Vpliv RHR_f faktorja na razvoj požara je prikazan v poglavju 3.3. Tukaj prikažemo še njegov vpliv na oglečenje lesenih elementov.

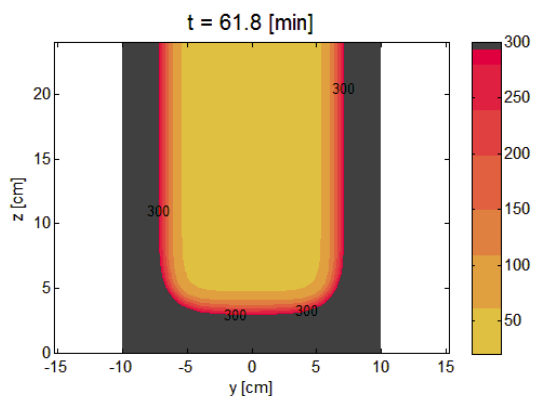
Iz dobljenih grafikonov od 26 do 29 lahko odčitamo, kdaj nastopi maksimalna globina zoglenele plasti za posamezni element v primerjavi z referenčnim primerom. Rezultati so prikazani v preglednici 10.

Grafikon 27: Globina oglenjenja lege s spodnje strani za različne RHR_f Grafikon 28: Globina oglenjenja lege s strani za različne RHR_f Grafikon 29: Globina oglenjenja stebra za različne RHR_f

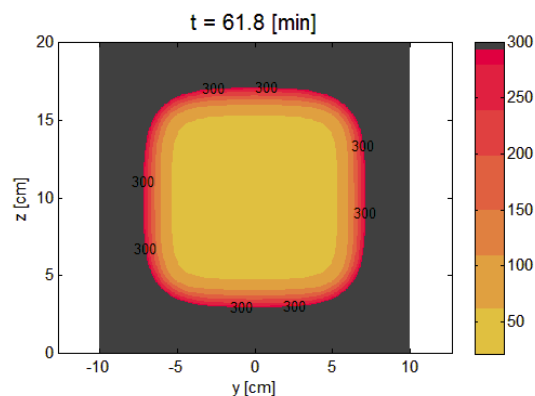
Globine oglenjenja za vpliv faktorja RHR_f so prikazane na slikah od 26 do 31.

Preglednica 10: Globine oglenenja za različne RHR_f

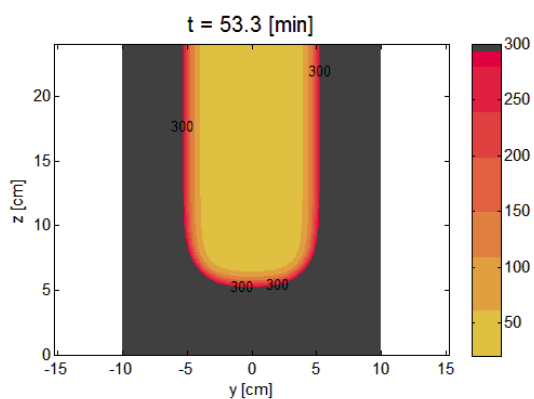
		Lega		Steber
		Spodaj	S strani	
Referenčni primer	Čas [min]	57,17	56,50	57,08
	Debelina [cm]	2,945	3,822	4,076
Primer 3.1	Čas [min]	61,67	61,42	61,67
	Debelina [cm]	2,945	2,829	2,945
Primer 3.2	Čas [min]	53,33	52,50	53,67
	Debelina [cm]	5,215	4,719	5,250
Primer 3.3	Čas [min]	52,25	50,58	51,92
	Debelina [cm]	5,728	5,090	5,793



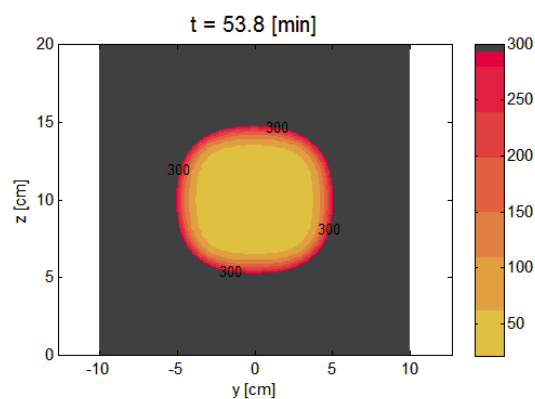
Slika 26: Prikaz območja oglenenja lege za primer 3.1



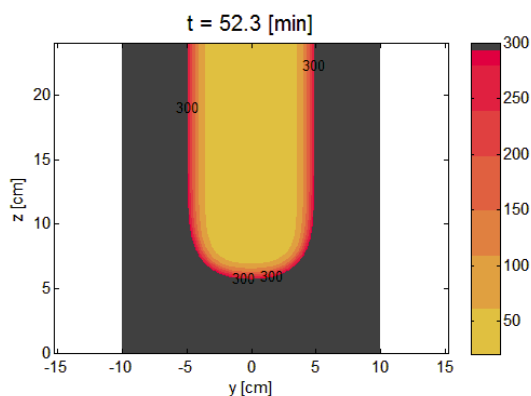
Slika 27: Prikaz območja oglenenja stebra za primer 3.1



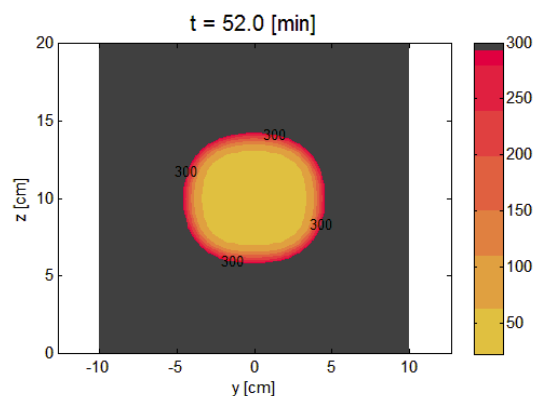
Slika 28: Prikaz območja oglenenja lege za primer 3.2



Slika 29: Prikaz območja oglenenja stebra za primer 3.2



Slika 30: Prikaz območja oglenjenja lege za primer 3.3

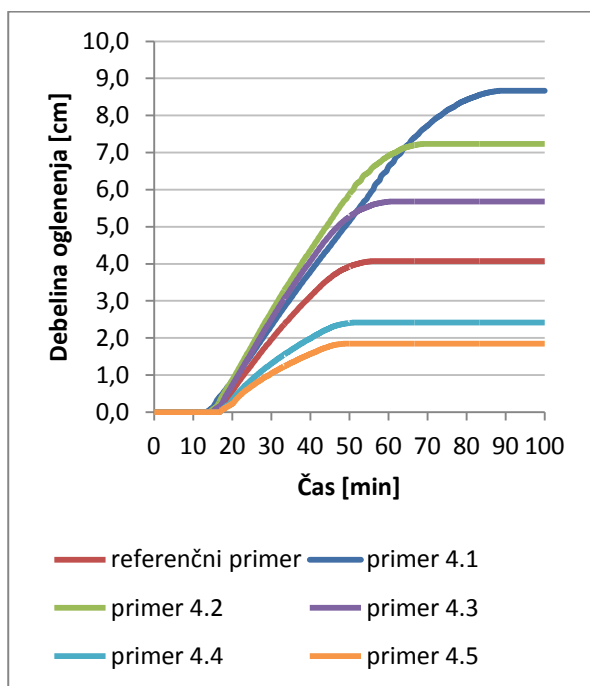


Slika 31: Prikaz območja oglenjenja stebra za primer 3.3

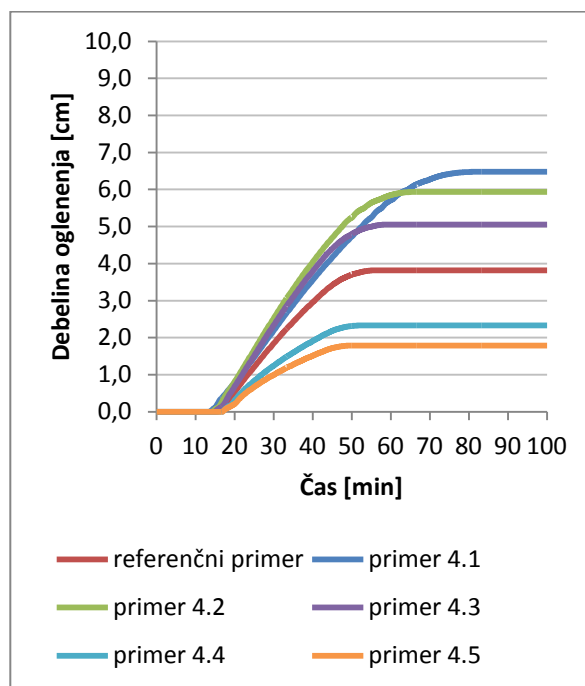
Na podlagi pridobljenih rezultatov je razvidno, da z višjo hitrostjo sproščanja toplote nastane debelejša plast zoglenelega dela lesenih elementov.

4.4 Temperaturna analiza za različne vrednosti faktorja odprtin

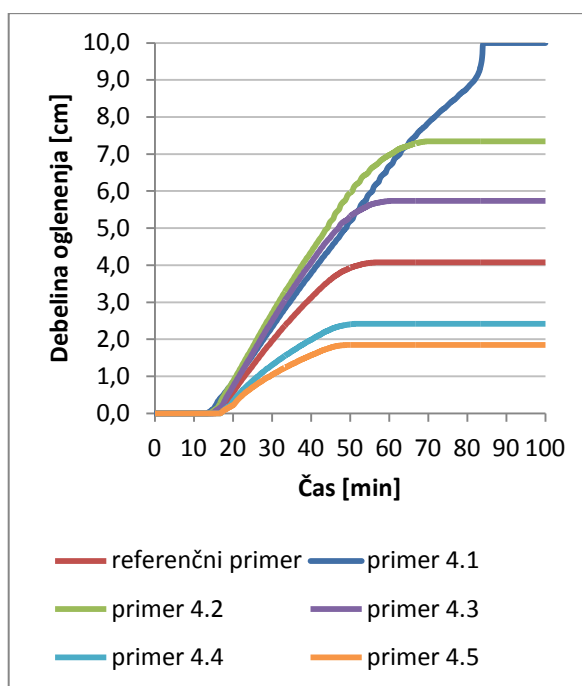
V poglavju 3.4 smo prikazali vpliv površine odprtin na razvoj požara. Zdaj pa bomo prikazali, kako površina odprtin vpliva na oglenenje lesenih elementov. Iz dobljenih rezultatov v grafikonih od 30 do 32 lahko odčitamo, kdaj nastopi maksimalna globina oglenjenja (izoterme 300) za posamezni element in to primerjamo z referenčnim primerom. Rezultati so prikazani v preglednici 11.



Grafikon 30: Globina oglenjenja lege s spodnje strani za različne faktorje odprtin



Grafikon 31: Globina oglenjenja s lege s strani za različne faktorje odprtin

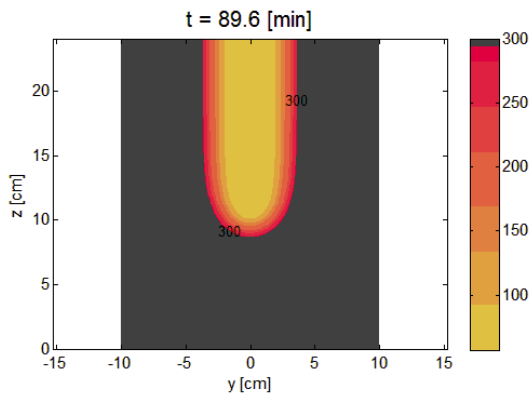


Grafikon 32: Globina oglenjenja stebra za različne faktorje odprtin

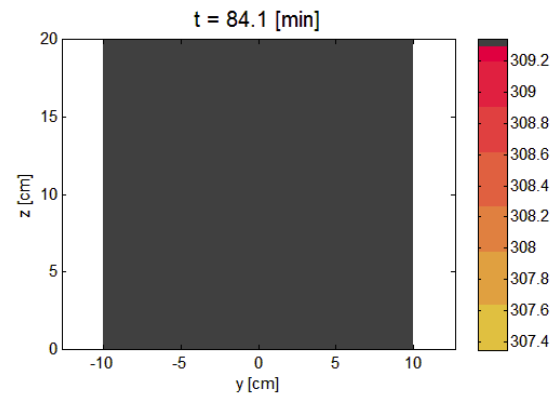
Preglednica 11: Globine oglenjenja za različne faktorje odprtin

		Legra		Steber
		Spodaj	S strani	
Referenčni primer	Čas [min]	57,17	56,50	57,08
	Debelina [cm]	4,077	3,822	4,076
Primer 4.1	Čas [min]	89,58	81,33	84,08
	Debelina [cm]	8,669	6,476	10,000
Primer 4.2	Čas [min]	70,17	65,92	70,58
	Debelina [cm]	7,236	5,934	7,347
Primer 4.3	Čas [min]	60,92	58,92	60,75
	Debelina [cm]	5,679	5,054	5,735
Primer 4.4	Čas [min]	52,33	52,25	52,33
	Debelina [cm]	2,419	2,330	2,419
Primer 4.5	Čas [min]	49,83	49,92	49,83
	Debelina [cm]	1,848	1,788	1,848

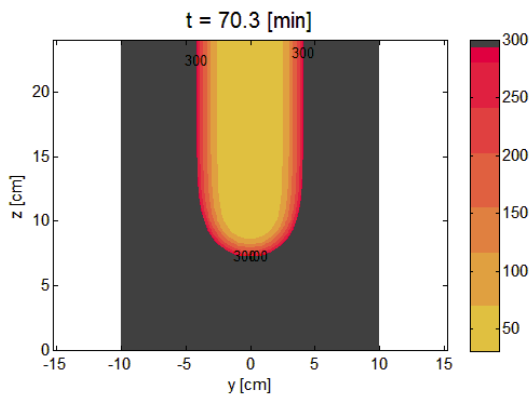
Iz pridobljenih rezultatov je razvidno, da večji faktor odprtin ugodneje vpliva na lesene elemente. Večji kot je faktor odprtin, tanjša je zoglenela plast. To je razvidno tudi iz slik od 32 do 41, na katerih prikazane maksimalne debeline zoglenele plasti za lego ter steber.



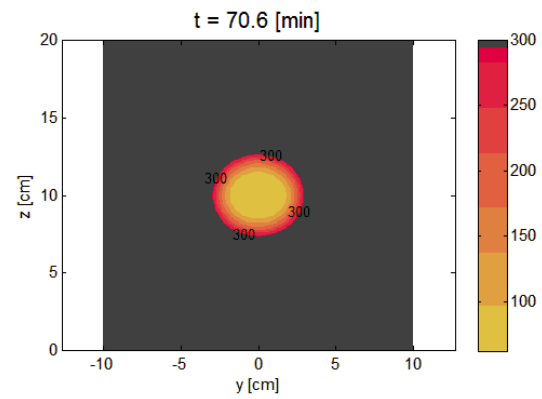
Slika 32: Prikaz območja oglenjenja lege za primer 4.1



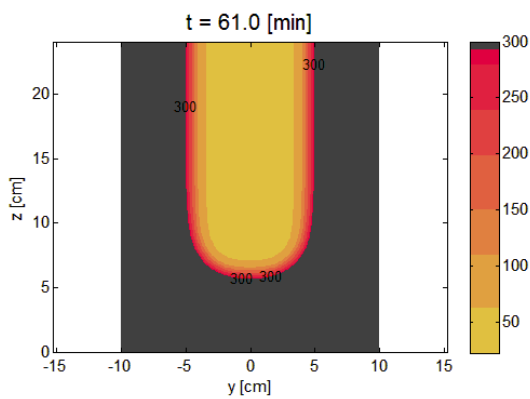
Slika 33: Prikaz območja oglenjenja stebra za primer 4.1



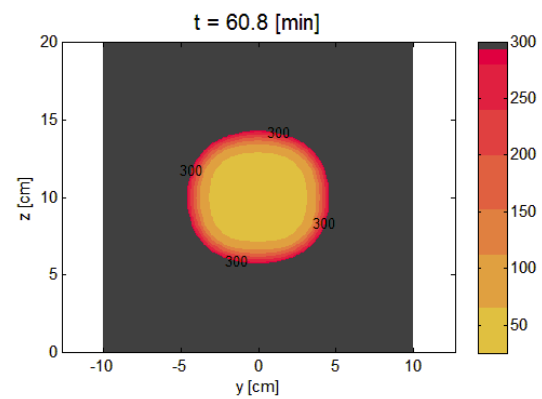
Slika 34 Prikaz območja oglenjenja lege za primer 4.2



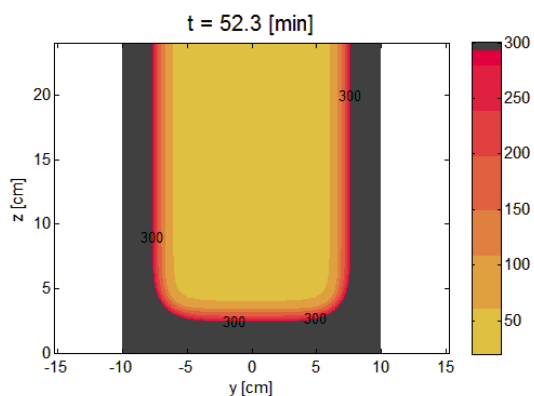
Slika 35: Prikaz območja oglenjenja stebra za primer 4.2



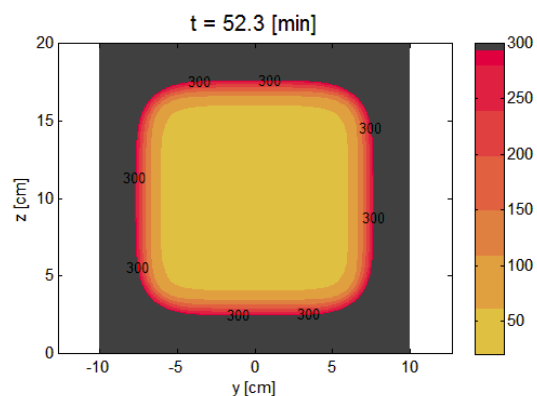
Slika 36 Prikaz območja oglenjenja lege za primer 4.3



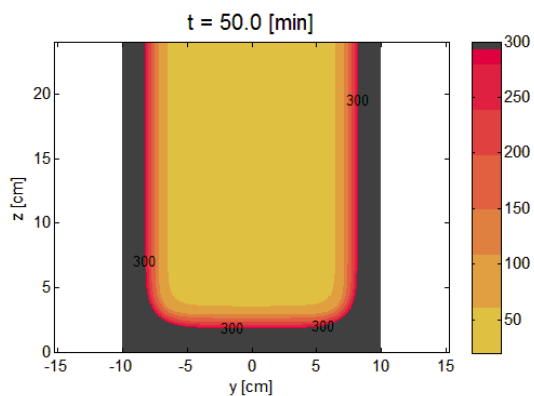
Slika 37: Prikaz območja oglenjenja stebra za primer 4.3



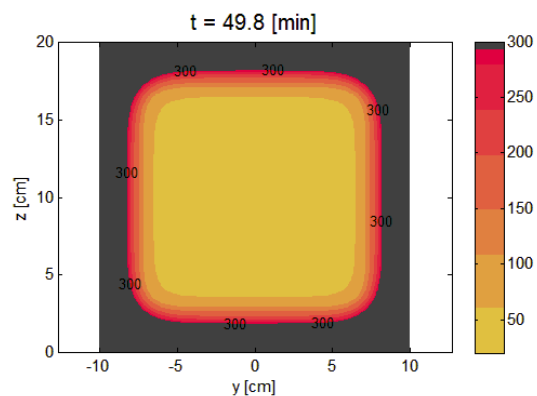
Slika 38: Prikaz območja oglečenja lege za primer 4.4



Slika 39: Prikaz območja oglečenja stebra za primer 4.4



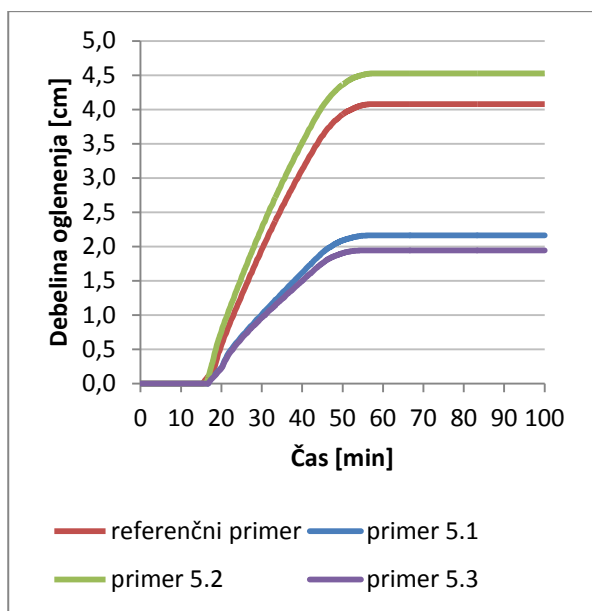
Slika 40: Prikaz območja oglečenja lege za primer 4.5



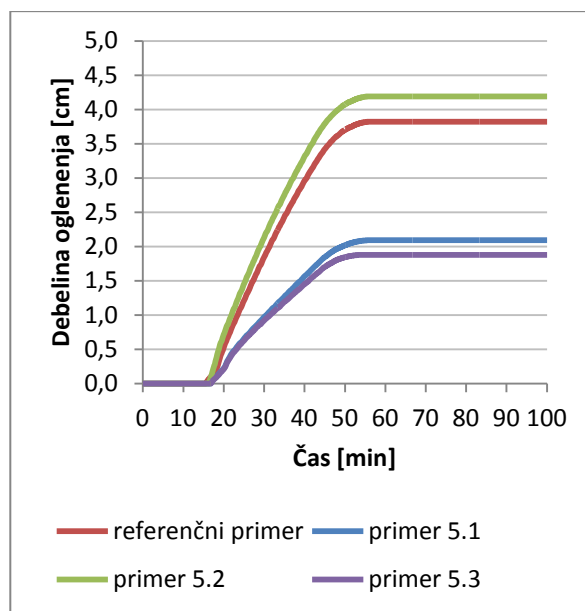
Slika 41: Prikaz območja oglečenja stebra za primer 4.5

4.5 Temperaturna analiza za različne toplotne absorptivnosti konstrukcijskih sklopov

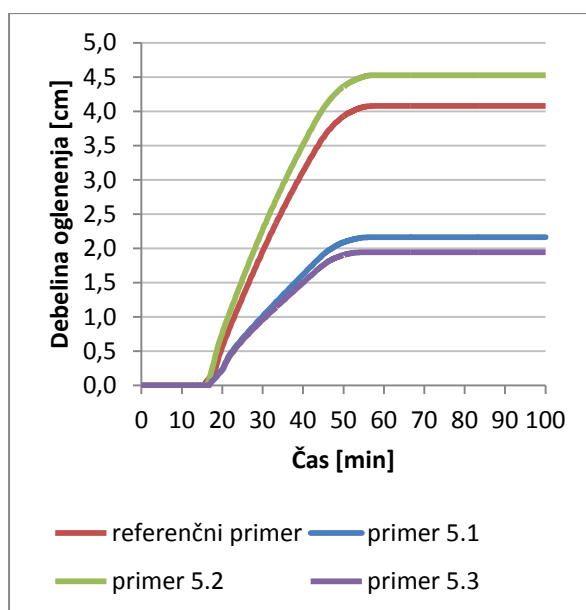
Vpliv toplotne absorptivnosti konstrukcijskih sklopov na razvoj požara so prikazane v poglavju 3.5. Njihov vpliv na oglečenje lesenih elementov bo prikazan v nadaljevanju. Čas, v katerem nastopi maksimalna globina oglečenja (maksimalna izoterma 300), lahko odčitamo na grafikonih od 33 do 35 za posamezni element v primerjavi z referenčnim primerom. Rezultati so prikazani v preglednici 12.



Grafikon 33: Globina oglenjenja lege s spodnje strani za različne konstrukcijske sklope



Grafikon 34: Globina oglenjenja lege s strani za različne konstrukcijske sklope



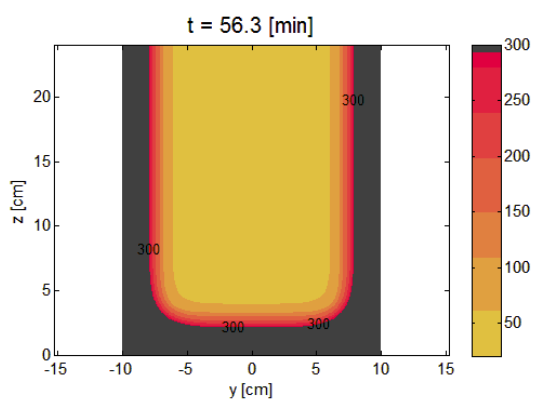
Grafikon 35: Globina oglenjenja stebra za različne konstrukcijske sklope

Preglednica 12: Globine oglenjenja za različne konstrukcijske sklope

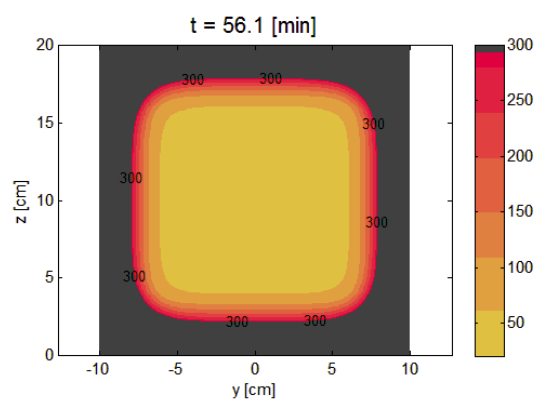
		Lega		Steber
		Spodaj	S strani	
Referenčni primer	Čas [min]	57,17	56,50	57,08
	Debelina [cm]	4,077	3,822	4,076

Primer 5.1	Čas [min]	56,08	56,17	56,08
	Debelina [cm]	2,161	2,092	2,161
Primer 5.2	Čas [min]	57,33	56,33	57,33
	Debelina [cm]	4,525	4,192	4,526
Primer 5.3	Čas [min]	54,33	54,42	54,33
	Debelina [cm]	1,941	1,880	1,941

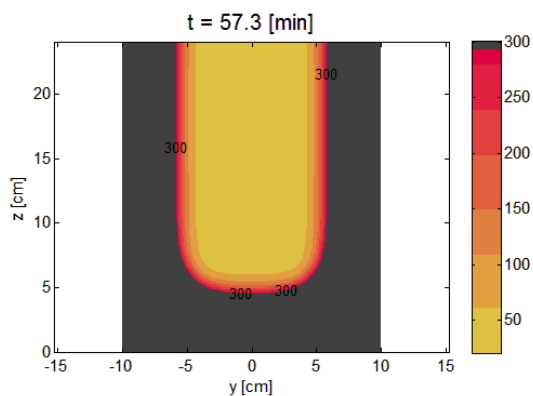
Iz pridobljenih podatkov je razvidno, da konstrukcijski sklopi z lesenimi oblogami povzročijo intenzivnejši požar. Kot posledica nastopi tudi večje oglenenje na lesenih elementih (slike 42 do 47). Zanimiva je ugotovitev, da v primeru brez lesenih oblog dosežemo pol manjše oglenenje kot v primeru z lesenimi oblogami.



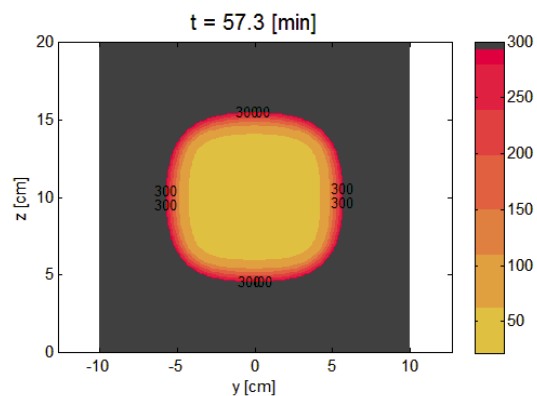
Slika 42: Prikaz območja oglenenja lege za primer 5.1



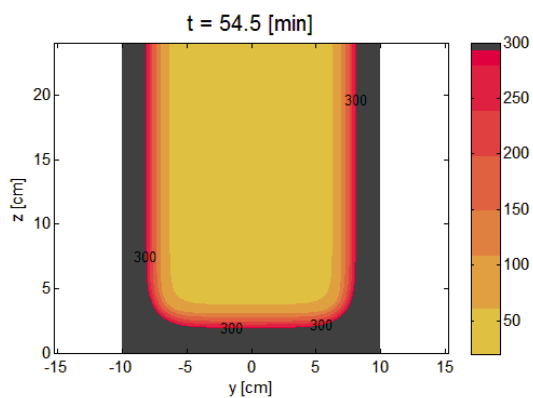
Slika 43: Prikaz območja oglenenja stebra za primer 5.1



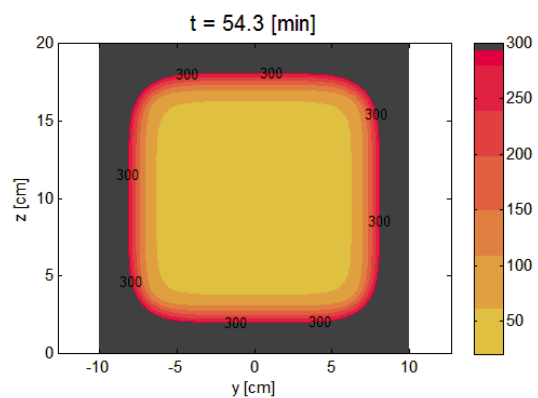
Slika 44: Prikaz območja oglenenja lege za primer 5.2



Slika 45: Prikaz območja oglenenja stebra za primer 5.2



Slika 46: Prikaz območja oglenenja lege za primer 5.3



Slika 47: Prikaz območja oglenenja stebra za primer 5.3

5 MEHANSKA ANALIZA – FAZA III

Požarno odpornost $R_{fi,d,t}$ lesenih elementov preverimo skladno s SIST EN 1995-1-2 (Projektiranje lesenih konstrukcij – 1-2. del – Splošna pravila – Projektiranje požarnih konstrukcij). Skladno s SIST EN 1995-1-2 odpornost lesenega elementa lahko določimo na dva načina, in sicer:

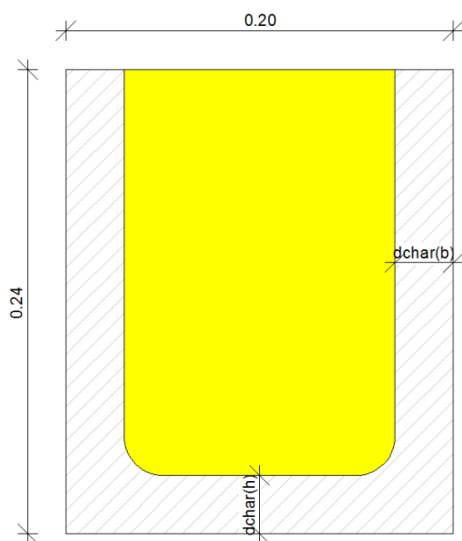
- metoda z zmanjšanim prečnim prerezom in
- metoda z zmanjšanimi materialnimi karakteristikami.

Požarno odpornost lege in stebra bomo določili po metodi z zmanjšanimi materialnimi karakteristikami za vse analizirane primere ter po metodi z zmanjšanimi materialnimi karakteristikami le za izbrane analizirane primere. Najprej na kratko slednji način določitve požarne odpornosti lege in stebra, medtem ko metodo z zmanjšanimi materialnimi karakteristikami na kratko predstavimo v poglavju 5.7, računski postopek pa je podan v prilogi C.

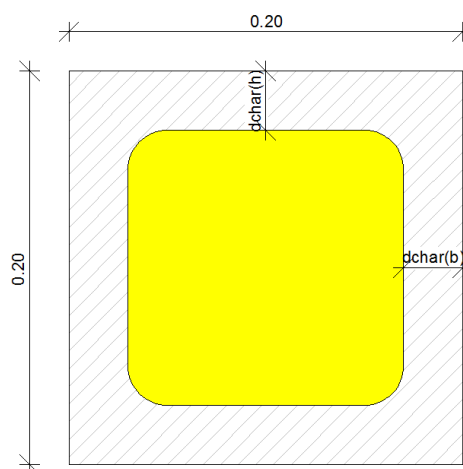
Račun požarne odpornosti lege in stebra z metodo z zmanjšanimi materialnimi karakteristikami

Debelino oglenjenja določimo iz toplotne analize, kjer upoštevamo, da zogleni del prečnega prereza, ki se segreje nad 300°C . Odpornost elementa določimo na osnovi rezidualnega prečnega prereza [vir od SIST 1995-1-2]. Vpliv povišanih temperatur na materialne karakteristike pa zajamemo z modifikacijskim faktorjem $k_{\text{modi,fi}}$.

Na slikah 48 in 49 je z rumeno barvo prikazan rezidualni prečni prerez lege in stebra. To je del, ki ni zoglenel in je merodajen za izvedbo analize.



Slika 48: Računski prečni prerez lege



Slika 49: Računski prečni prerez stebra

Skladno s standardom SIST EN 1991-1-2 je kriteriju nosilnosti R zadoščeno, če velja:

$$R_{fi,d,t} \geq E_{fi,d,t} \dots \text{kriterij nosilnosti v času } t, \text{ kjer je} \quad (5.1)$$

$R_{fi,d,t}$... pripadajoča nosilnost konstrukcije pri požarnem projektnejem stanju in

$E_{fi,d,t}$... projektna vrednost notranjih sil pri požarnem projektnejem stanju.

Postopek izvedbe analize za lego, ki je upogibno obremenjena in požaru izpostavljena s treh strani, je sledeč:

b ... širina lege,

h ... višina lege,

$d_{char}(h)_t$... globina zoglenele plasti s spodnje strani, določena s toplotno analizo pri času t ,

$d_{char}(b)_t$... globina zoglenele plasti s strani, določena s toplotno analizo pri času t ,

$$h_{rez,t} = h - d_{char}(h)_t \dots \text{višina rezidualna prereza pri času } t, \quad (5.2)$$

$$b_{rez,t} = b - 2 * d_{char}(b)_t \dots \text{širina rezidualna prereza pri času } t, \quad (5.3)$$

$$W_{rez,t} = \frac{b_{rez,t} * h_{rez,t}^2}{6} \dots \text{odpornostni moment prereza pri času } t, \quad (5.4)$$

$$p_t = b_{rez,t} + 2 * h_{rez,t} \dots \text{obseg rezidualnega prereza pri času } t, \quad (5.5)$$

$$A_{r,t} = b_{rez,t} * h_{rez,t} \dots \text{površina rezidualnega prereza pri času } t, \quad (5.6)$$

$$k_{mod,fi,t} = 1.0 - \frac{1}{200} * \frac{p_t}{A_{r,t}} \dots \text{modifikacijski faktor za upogibno trdnost pri času } t, \quad (5.7)$$

$$f_{fi,m,d,t} = k_{mod,fi,t} * k_{fi} * \frac{f_{m,k}}{\gamma} \dots \text{projektna trdnost pri požarnem projektnejem stanju ob} \quad (5.8)$$

času t ,

$k_{fi} = 1,25$... koeficient za masivni les,

$$f_{mk} = 2,4 \frac{kN}{cm^2} \dots \text{karakteristična upogibna trdnost lesa,}$$

$$R_{fi,d,t} = W_{rez,t} * f_{fi,m,d,t} \dots \text{požarna odpornost pri času } t, \quad (5.9)$$

Za osno obremenjeni steber, ki je požaru izpostavljen s štirih strani, pa je postopek sledeč:

b ... širina stebra,

h ... širina stebra,

$d_{\text{char}}(h)_t$... globina zoglenele plasti s spodnje strani, določena s toplotno analizo pri času t ,

$d_{\text{char}}(b)_t$... globina zoglenele plasti s strani, določena s toplotno analizo pri času t ,

$$h_{\text{rez},t} = h - 2 * d_{\text{char}}(h)_t \dots \text{višina rezidualna prereza pri času } t, \quad (5.10)$$

$$b_{\text{rez},t} = b - 2 * d_{\text{char}}(b)_t \dots \text{širina rezidualna prereza pri času } t, \quad (5.11)$$

$$p_t = 2 * b_{\text{rez},t} + 2 * h_{\text{rez},t} \dots \text{obseg rezidualnega prereza pri času } t, \quad (5.12)$$

$$A_{r,t} = b_{\text{rez},t} * h_{\text{rez},t} \dots \text{površina rezidualnega prereza pri času } t, \quad (5.13)$$

$$k_{\text{mod,fi},t} = 1.0 - \frac{1}{330} * \frac{p_t}{A_{r,t}} \dots \text{modifikacijski faktor za tlačno trdnost pri času } t, \quad (5.14)$$

$$I_{\text{rez},t} = \frac{b_{\text{rez},t} * h_{\text{rez},t}^3}{12} \dots \text{vztrajnostni moment prereza pri času } t, \quad (5.15)$$

$$i_{\text{rez},t} = \sqrt{\frac{I_{\text{rez},t}}{A_{r,t}}} \dots \text{vztrajnostni radij pri času } t, \quad (5.16)$$

$$\lambda_{\text{rel},t} = \frac{l_{\text{uz}}}{\pi * i_{\text{rez},t}} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \dots \text{relativna vitkost elementa pri času } t, \quad (5.17)$$

$$l_{\text{uz}} = h - h_{\text{lege}} \dots \text{uklonska dolžina stebra,} \quad (5.18)$$

$$f_{c,0,k} = 2,1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \dots \text{karakteristična tlačna trdnost lesa,}$$

$$E_{0,05} = 740 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \dots 5\% \text{ modula elastičnosti,}$$

$$k_y = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{\text{rel},t} - 0,3) + \lambda_{\text{rel},t}^2), \quad (5.19)$$

$\beta_c = 0,2$... za masivni les,

$$k_c = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{\text{rel}}^2}} \dots \text{uklonski koeficient,} \quad (5.20)$$

$$f_{c,d,f,t} = k_{\text{mod,fi},t} * k_{\text{fi}} * \frac{f_{c,k}}{\gamma} \dots \text{projektna tlačna trdnost pri požarnem projektnejem stanju} \quad (5.21)$$

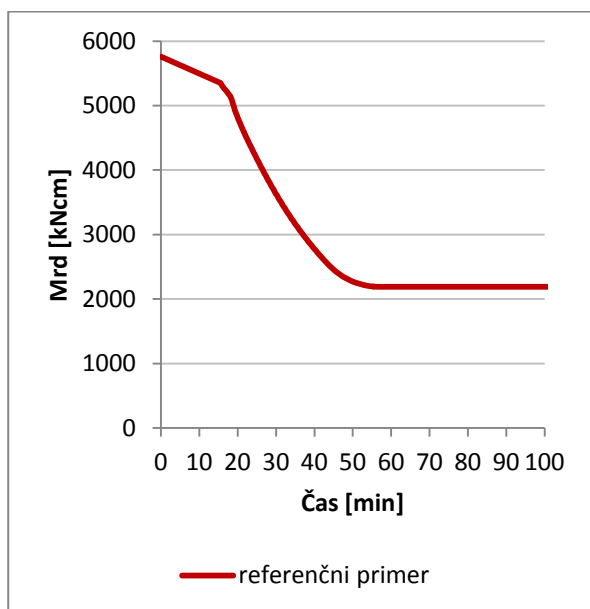
pri času t ,

$$R_{fi,d,t} = \begin{cases} b_{rez,t} * h_{rez,t} * f_{c,d,f,t} \dots \lambda_{rel,t} \leq 0,3 \\ k_c * b_{rez,t} * h_{rez,t} * f_{c,d,f,t} \dots \lambda_{rel,t} > 0,3 \end{cases} \dots \text{požarna odpornost stebra pri času } t. \quad (5.22)$$

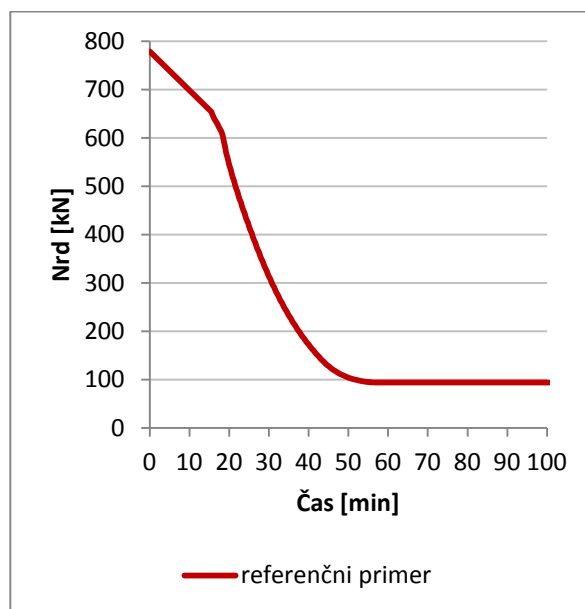
Vrednosti $d_{char(h)t}$ in $d_{char(b)t}$ sta pridobljeni iz temperaturne analize prikazane v poglavju 4. Postopek za odpornosti pa je izveden po zgoraj prikazanem postopku. Posebno pozornost je potrebno posvetiti določitvi ustreznih koeficientov pri računu modifikacijskega faktorja za upogibno oziroma tlačno trdnost.

Iz grafikonov 36 in 37 ter preglednice 13 lahko razberemo vrednosti končne nosilnosti lesenih elementov za referenčni primer. Pri legi požarna odpornost pade na tretjino začetne vrednosti, medtem ko pri stebru na osmino začetne vrednosti.

Čas, ko je dosežena končna požarna odpornost zaradi preglednosti bomo poimenovali končni čas.



Grafikon 36: Požarna odpornost lege za referenčni primer



Grafikon 37: Požarna odpornost stebra za referenčni primer

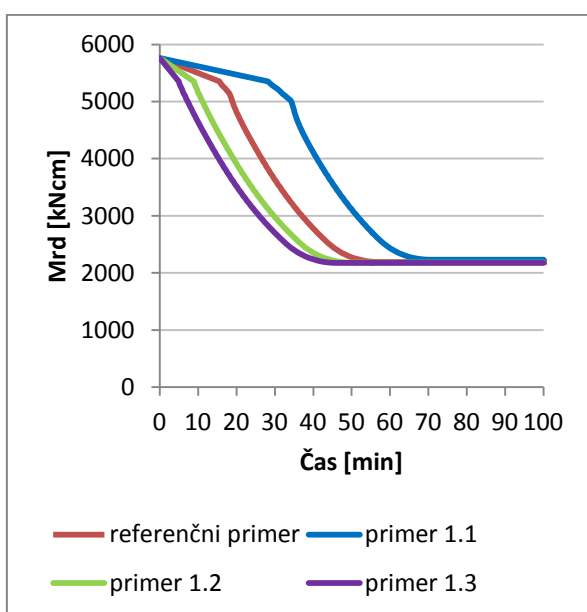
Preglednica 13: Začetna in končna požarna odpornost za referenčni primer

		Legra	Steber
Referenčni primer	Začetni čas [min]	0,00	0,00
	Začetna požarna odpornost [kNcm], [kN]	5760,00	778,59
	Končni čas [min]	57,17	57,08
	Končna požarna odpornost [kNcm], [kN]	2192,09	94,47

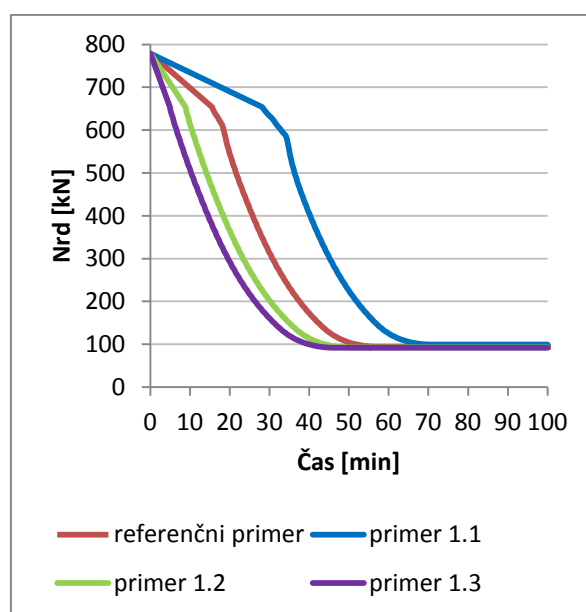
Za vse ostale primere požarno odpornost lege in stebra določimo po istem postopku. V nadaljevanju prikažemo rezultate za posamezno skupino analiz.

5.1 Vpliv hitrosti razvoja požara na požarno odpornost lesene lege in stebra

Časovni potek mehanske odpornosti za različne hitrosti razvoja požara prikazujemo na grafikonih 38 in 39. Preglednica 14 pa prikazuje začetno in končno požarno odpornost lege in stebra za različne hitrosti razvoja požara.



Grafikon 38: Požarna odpornost lege za različne hitrosti razvoja požara



Grafikon 39: Požarna odpornost stebra za različne hitrosti razvoja požara

Preglednica 14: Začetne in končne požarne odpornosti za različne hitrosti razvoja požara

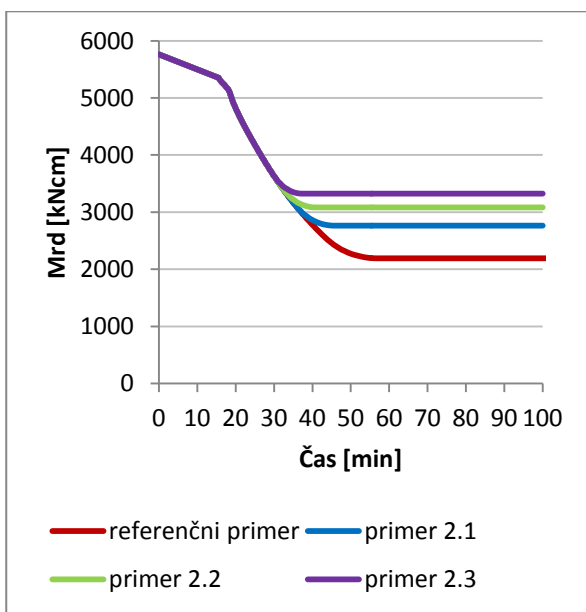
		Legra	Steber
Referenčni primer	Začetni čas [min]	0,00	0,00
	Začetna požarna odpornost [kNcm], [kN]	5760,00	778,59
	Končni čas [min]	57,17	57,08
	Končna požarna odpornost [kNcm], [kN]	2192,09	94,47
Primer 1.1	Končni čas [min]	70,83	70,75
	Končna požarna odpornost [kNcm], [kN]	2233,92	99,52
Primer 1.2	Končni čas [min]	50,17	50,00
	Končna požarna odpornost [kNcm], [kN]	2178,06	92,79
Primer 1.3	Končni čas [min]	46,50	46,33
	Končna požarna odpornost [kNcm], [kN]	2173,35	92,24

Iz grafikonov 38 in 39 ter preglednice 14 lahko ugotovimo, da hitrost razvoja požara bistveno ne vpliva na končno požarno odpornost. Ugotovimo lahko tudi, da hitrejši kot je razvoj požara, prej bo dosežena končna požarna odpornost.

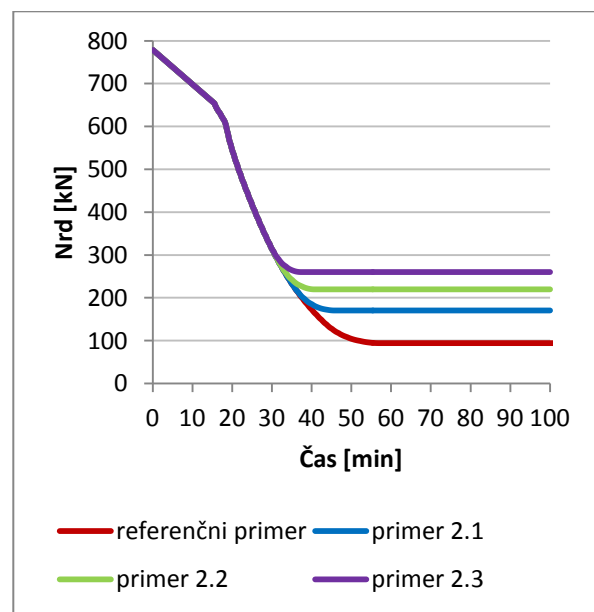
5.2 Vpliv različnih aktivnih ukrepov na požarno odpornost lesene lege in stebra

Spreminjanje mehanske odpornosti lege in stebra s časom za različne aktivne ukrepe prikazujemo na grafikonih 40 do 43.

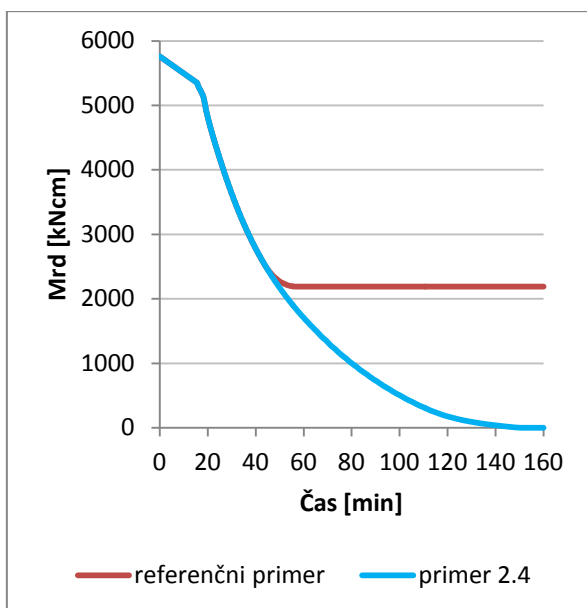
Iz grafikonov od 40 do 43 in preglednice 15 se ugotovi, da več aktivnih ukrepov omogoča ohranitev večje požarne odpornosti. V primeru brez aktivnih ukrepov pa je razvidno, kako požarna odpornost pade na 0. V tem primeru požarna odpornost stebra zaradi večje izpostavljenosti ognju in manjšega prereza pade na 0 bistveno prej kot za lego.



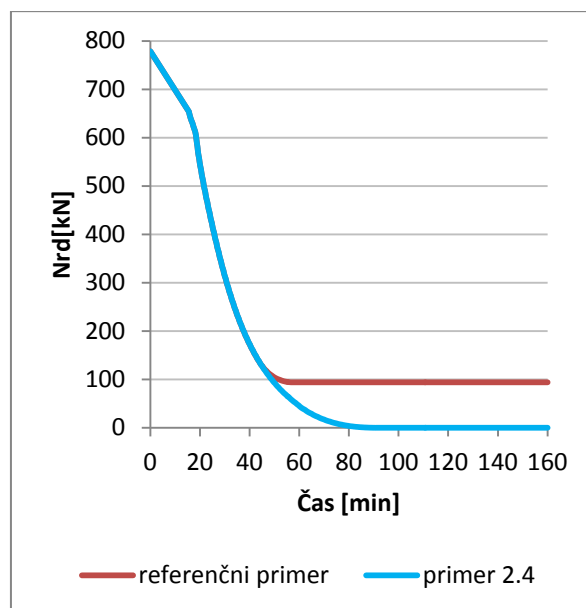
Grafikon 40: Požarna odpornost lege za različne aktivne ukrepe



Grafikon 41: Požarna odpornost stebra za različne aktivne ukrepe



Grafikon 42: Požarna odpornost lege za različne aktivne ukrepe – primer 2.4



Grafikon 43: Požarna odpornost steber za različne aktivne ukrepe – primer 2.4

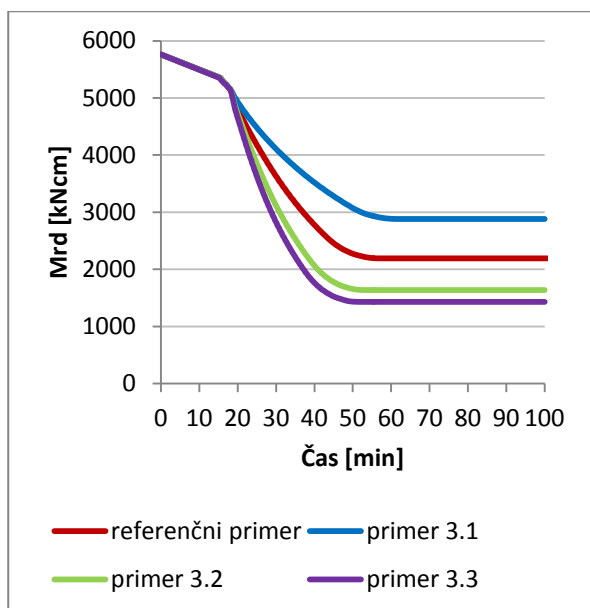
Preglednica 15: Začetne in končne požarne odpornosti za različne aktivne ukrepe

		Legra	Steber
Referenčni primer	Začetni čas [min]	0,00	0,00
	Začetna požarna odpornost [kNcm], [kN]	5760,00	778,59
	Čas končne požarne odpornosti [min]	57,17	57,08
	Končna požarna odpornost [kNcm], [kN]	2192,09	94,47
Primer 2.1	Čas končne požarne odpornosti [min]	45,67	45,42
	Končna požarna odpornost [kNcm], [kN]	2765,32	170,89
Primer 2.2	Čas končne požarne odpornosti [min]	40,67	40,67
	Končna požarna odpornost [kNcm], [kN]	3082,35	219,68
Primer 2.3	Čas končne požarne odpornosti [min]	37,33	37,33
	Končna požarna odpornost [kNcm], [kN]	3324,08	260,00
Primer 2.4	Čas končne požarne odpornosti [min]	150,83	90,08
	Končna požarna odpornost [kNcm], [kN]	0,00	0,00

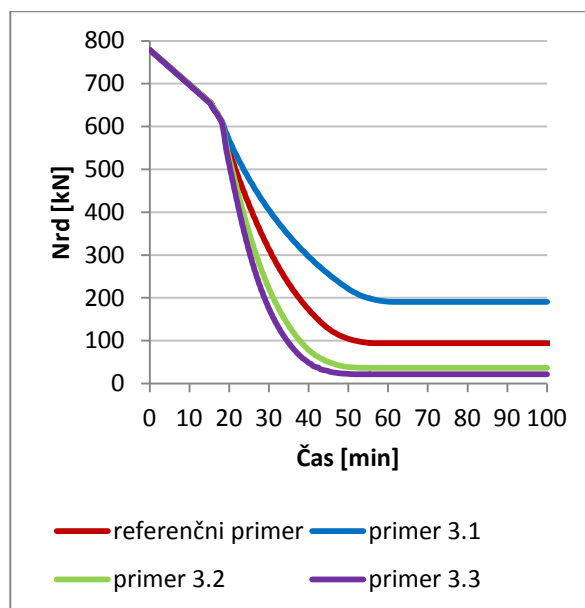
5.3 Vpliv hitrosti sproščanja toplote na požarno odpornost lesene lege in stebra

Na grafikonih 44 in 45 prikazujemo časovni potek mehanske odpornosti lege in stebra za primere različnih največjih hitrosti sproščanja toplote.

Iz grafikonov 44 in 45 ter preglednice 16 se ugotovi, da sta RHR_f in požarna odpornost obratno sorazmerna; večji kot je RHR_f , nižja je požarna odpornost in obratno.



Grafikon 44: Požarna odpornost lege za različne RHR_f



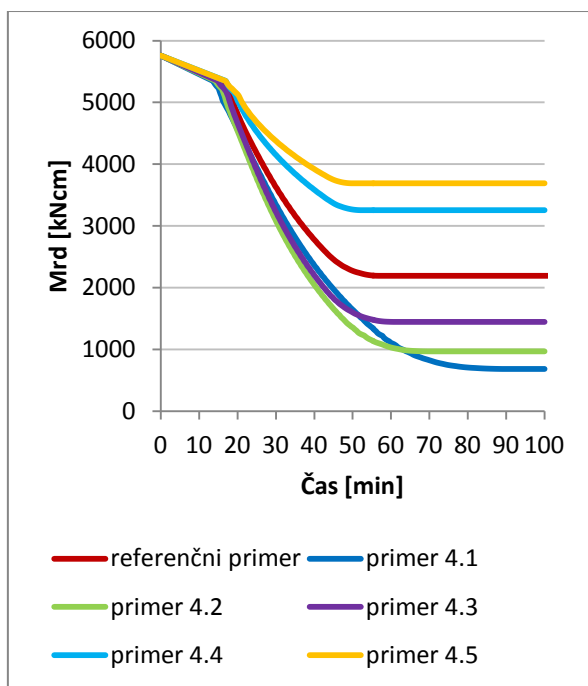
Grafikon 45: Požarna odpornost stebra za različne RHR_f

Preglednica 16: Začetne in končne požarne odpornosti za različne RHR_f

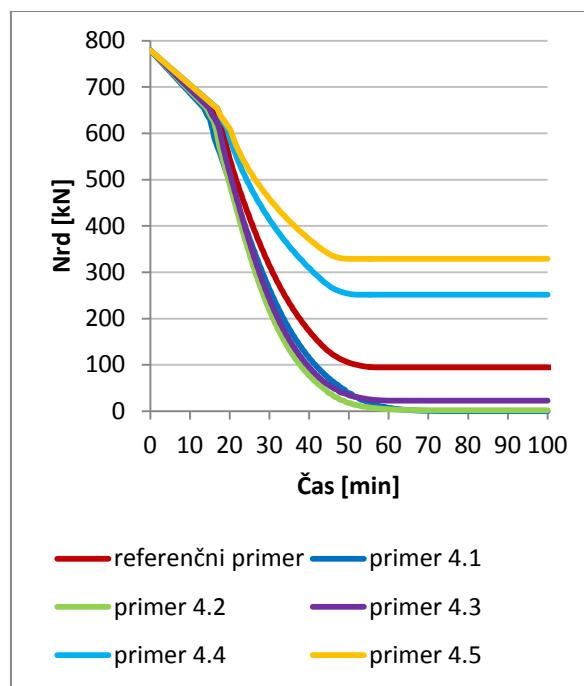
		Lege	Steber
Referenčni primer	Začetni čas [min]	0,00	0,00
	Začetna požarna odpornost [kNcm], [kN]	5760,00	778,59
	Končni čas [min]	57,17	57,08
	Končna požarna odpornost [kNcm], [kN]	2192,09	94,47
Primer 3.1	Končni čas [min]	61,67	61,50
	Končna požarna odpornost [kNcm], [kN]	2881,70	190,84
Primer 3.2	Končni čas [min]	53,33	53,67
	Končna požarna odpornost [kNcm], [kN]	1637,66	36,92
Primer 3.3	Končni čas [min]	52,25	51,92
	Končna požarna odpornost [kNcm], [kN]	1427,41	21,56

5.4 Vpliv faktorja odprtin na požarno odpornost lesene lege in stebra

Časovni potek požarne odpornosti za različne faktorje odprtin je prikazan na grafikonih 46 in 47.



Grafikon 46: Požarna odpornost lege za različne faktorje odprtin



Grafikon 47: Požarna odpornost stebra za različne faktorje odprtin

Iz grafikonov 46 in 47 ter preglednice 17 se ugotovi, da večji kot je faktor odprtin, večja bo požarna odpornost in obratno. Na grafikonih 46 in 47 je to lepo prikazano, ker imajo vsi primeri z nižjim faktorjem odprtin kot referenčni primer nižjo požarno odpornost, medtem ko imata primer 4.1 in 4.4 z večjim faktorjem odprtin kakor referenčni primer, višjo požarno odpornost.

Preglednica 17: Začetne in končne požarne odpornosti za faktorje odprtin

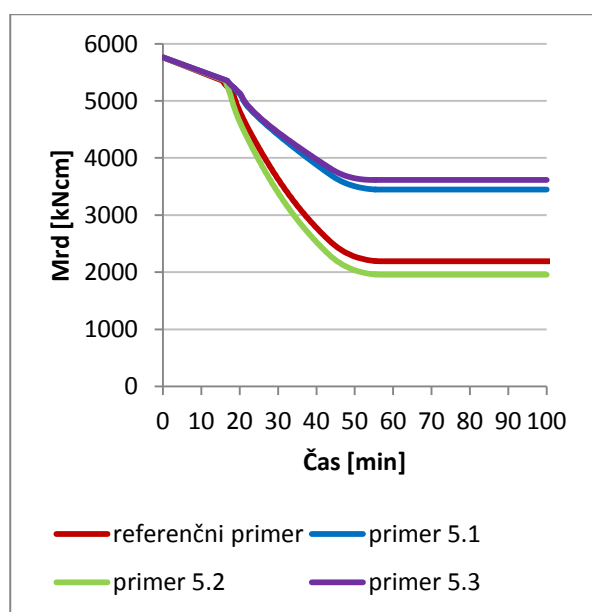
		Legra	Steber
Referenčni primer	Začetni čas [min]	0,00	0,00
	Začetna požarna odpornost [kNcm], [kN]	5760,00	778,59
	Končni čas [min]	57,17	57,08
	Končna požarna odpornost [kNcm], [kN]	2192,09	94,47
Primer 4.1	Končni čas [min]	89,58	75,83
	Končna požarna odpornost [kNcm], [kN]	683,70	0,00

Primer 4.2	Končni čas [min]	70,17	70,58
	Končna požarna odpornost [kNcm], [kN]	967,95	2,27
Primer 4.3	Končni čas [min]	60,92	60,75
	Končna požarna odpornost [kNcm], [kN]	1447,10	22,94
Primer 4.4	Končni čas [min]	52,33	52,33
	Končna požarna odpornost [kNcm], [kN]	3256,53	251,56
Primer 4.5	Končni čas [min]	49,92	49,83
	Končna požarna odpornost [kNcm], [kN]	3693,25	329,16

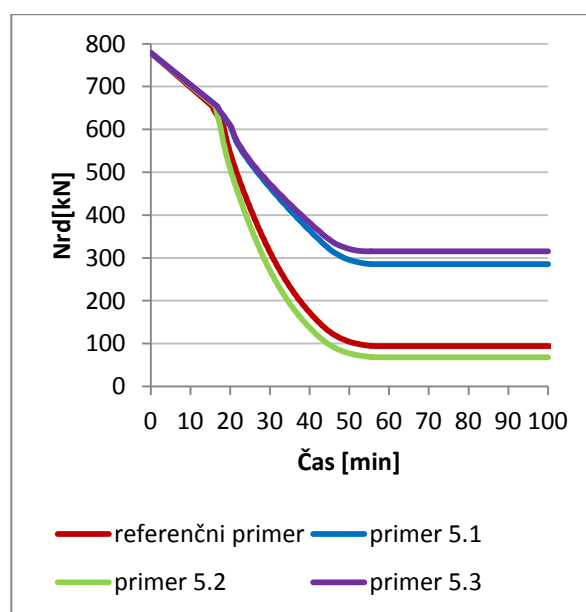
5.5 Vpliv toplotne absorptivnosti konstrukcijskih sklopov na požarno odpornost lesene lege in stebra

Požarno odpornost lege in stebra v odvisnosti od časa za različne absorptivnosti konstrukcijskih sklopov prikazujemo na grafikonih 48 in 49.

Iz grafikonov 48 in 49 ter preglednice 18 ugotovimo, da je požarna odpornost lesenih elementov nižja za konstrukcijske sklope z manjšo toplotno absorptivnostjo.



Grafikon 48: Požarna odpornost lege za različne konstrukcijske sklope



Grafikon 49: Požarna odpornost stebra za različne konstrukcijske sklope

Preglednica 18: Začetne in končne požarne odpornosti za različne konstrukcijske sklope

		Lege	Steber
Referenčni primer	Začetni čas [min]	0,00	0,00
	Začetna požarna odpornost [kNcm], [kN]	5760,00	778,59
	Končni čas [min]	57,17	57,08
	Končna požarna odpornost [kNcm], [kN]	2192,09	94,47
Primer 5.1	Končni čas [min]	56,17	56,08
	Končna požarna odpornost [kNcm], [kN]	3447,03	285,19
Primer 5.2	Končni čas [min]	57,33	57,33
	Končna požarna odpornost [kNcm], [kN]	1956,82	67,89
Primer 5.3	Končni čas [min]	54,42	54,33
	Končna požarna odpornost [kNcm], [kN]	3618,30	315,65

5.6 Analiza rezultatov mehanske analize po metodi zmanjšanih materialnih karakteristik

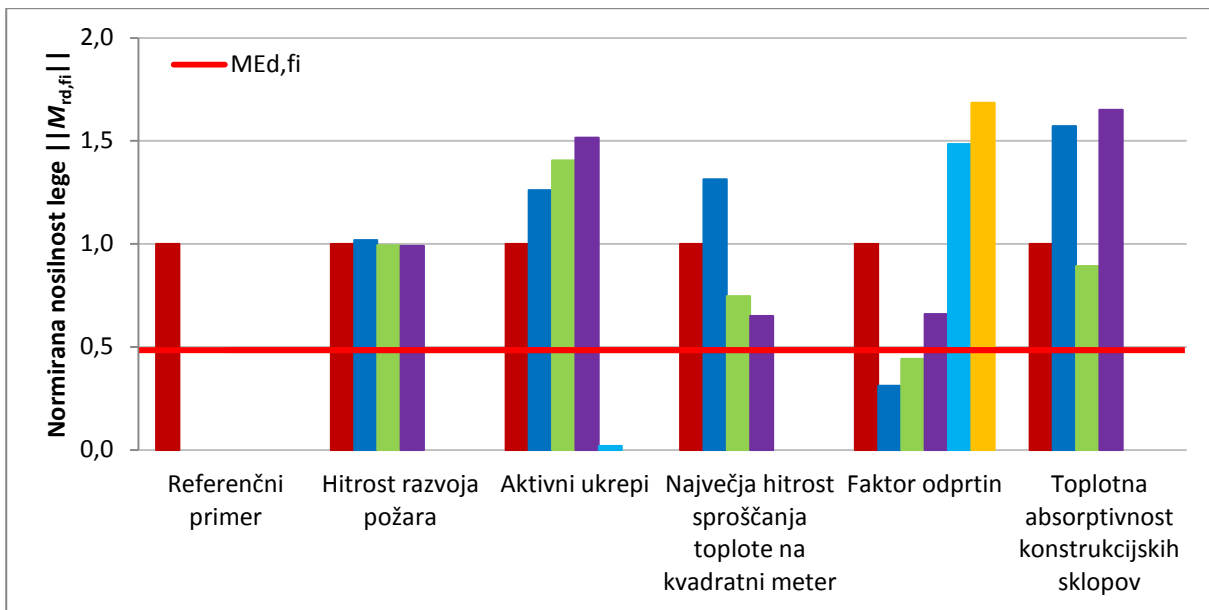
Za lažje ovrednotenje rezultatov nosilnosti za posamezni primer v primerjavi z referenčnim primerom pri mehanski analizi po metodi zmanjšanih materialni karakteristik, so rezultati prikazani kot normirane vrednost glede na referenčni primer. Tako hitreje ovrednotimo, kaj posamezni parameter razvoja požara pomeni v primerjavi z referenčnim primerom in v kakšnih okoliščinah bi požar povzročil manjši padec nosilnosti lege in stebra ter obratno.

Rezultati so prikazani v stolpčnih grafikonih 50 in 51, kjer so analize posameznega parametra združene med seboj. Izračun obremenitev lege $M_{Ed,fi}$ in stebra $N_{Ed,fi}$ pri požarnem projektnem stanju je prikazan v prilogi A.

Normirano nosilnost lege določimo z naslednjim izrazom:

$$\|M_{Rd,fi}\| = \frac{M_{Rd,tfi}}{M_{Rd,tfi,ref}}, \quad (5.23)$$

Maksimalna obremenitev lege pri požarnem stanju je $M_{Ed,fi} = 1061\text{kNcm}$. Izkoriščenost lege, ki je na grafikonu 50 označena z rdečo črto, tako znaša 0,48.

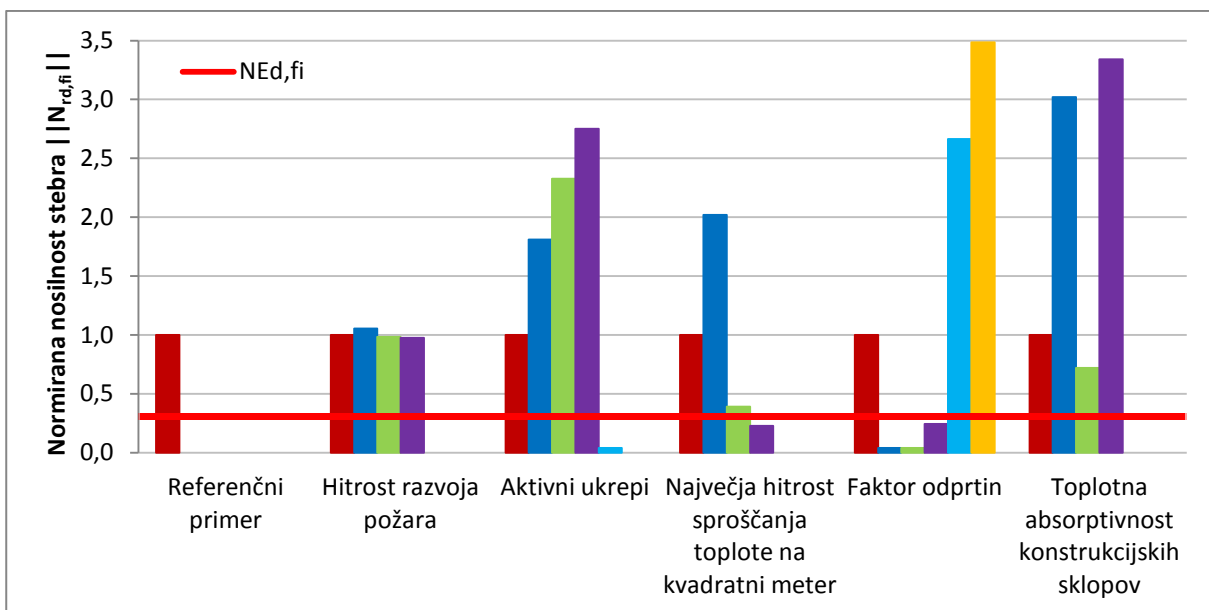


Grafikon 50: Stolpni prikaz normirane nosilnosti glede na referenčni primer za lego

Normirano nosilnost stebra določimo kot:

$$\|N_{Rd,fi}\| = \frac{N_{Rd,t,fi}}{N_{Rd,t,ref}} \quad (5.24)$$

Maksimalna obremenitev stebra pri požarnem stanju je $N_{Ed,fi} = 28,78\text{kN}$. Izkoriščenost stebra, ki je na grafikonu 51 označena z rdečo črto, tako znaša 0,30.



Grafikon 51: Stolpni prikaz normirane nosilnosti glede na referenčni primer za steber

Iz grafikonov lahko razberemo, kako velikost parametrov razvoja požara vpliva na požarno odpornost lesenih elementov primeru požara v mansardi. Iz rezultatov je razvidno:

- hitrost razvoja požara nima bistvenega vpliva na požarno odpornost lesenih elementov,
- aktivni ukrepi lahko veliko pripomorejo k ohranjanju požarne odpornosti,
- višja kot je največja hitrost sproščanja toplote na kvadratni meter (RHR_f), nižja je požarna odpornost,
- večja kot je površina odprtin, večja je požarna odpornost,
- konstrukcijski sklopi z manjšo absorptivnostjo imajo manjšo požarno odpornost kakor konstrukcijski sklopi z višjo absorptivnostjo,
- v primerih, kjer je nosilnost manjša od odpornosti konstrukcijskega elementa (stolpec je nižji od rdeče linije na grafikonu 50 in 51, bi prišlo do porušitve lege oz. stebra. Lega bi se porušila v primerih 2.4, 4.1 in 4.2, steber pa v primerih 2.4, 3.3, 4.1, 4.2 in 4.3.

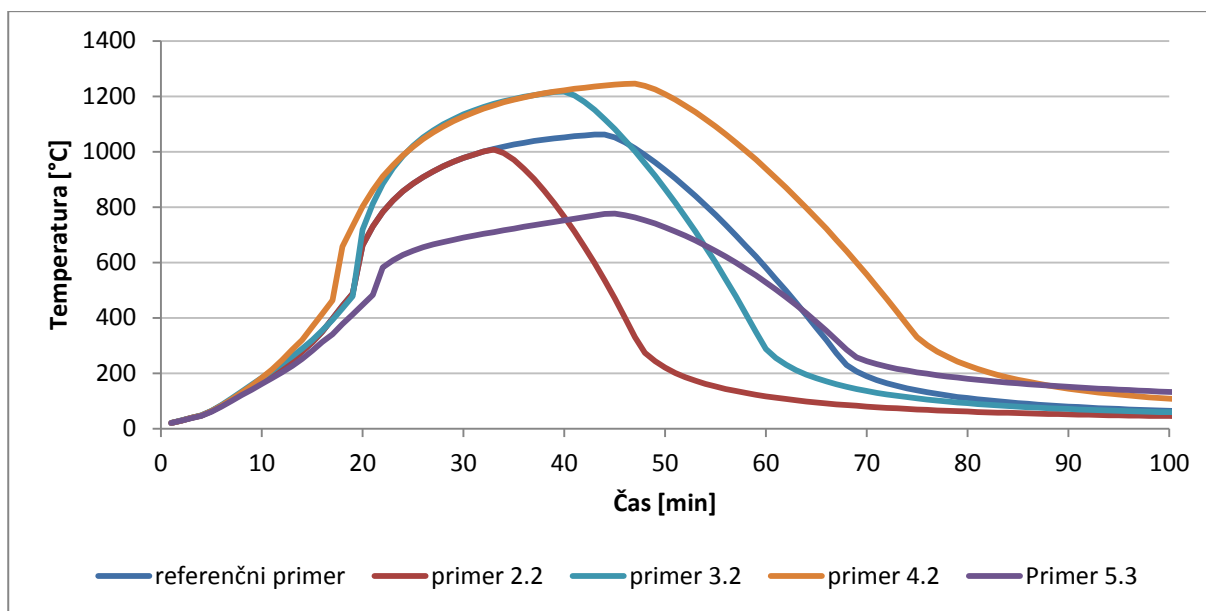
5.7 Mehanska analiza z metodo zmanjšanega prečnega prereza

Pri metodi zmanjšanega prečnega prereza določamo požarno odpornost elementa glede na njegov efektivni prečni prerez [EN 1995-1-2]. Materialne karakteristike privzamemo, da so enake kot pri sobni temperaturi. Postopek določanja požarne odpornosti po metodi zmanjšanega prečnega prereza je prikazan v prilogi C.

Efektivni prečni prerez v skladu s SIST EN 1995-1-2 izračunamo tako, da od začetnega prereza, poleg zoglenega dela d_{char} , odštejemo še nenosilni sloj lesa $k_0 * 7$ mm, ki je poškodovan zaradi višjih temperatur, vendar še ni zoglenel. Debelino zoglenele plasti d_{char} enako kot pri metodi zmanjšanih materialnih karakteristik določimo pri izotermi 300°C. Parameter k_0 pri naravnem požaru preden se začne ogledenje upoštevamo z vrednostjo 0, po začetku ogledenja pa z vrednostjo 1. Omenimo, da je debelina nenosilnega sloja $k_0 * 7$ mm, ki jo podaja SIT EN 1995-1-2 mm, veljavna za standardni požara ISO 834. Zato bomo v nadaljevanju skušali določiti debeline nenosilnega sloja v primeru naravnega požara s pomočjo različnih izoterm.

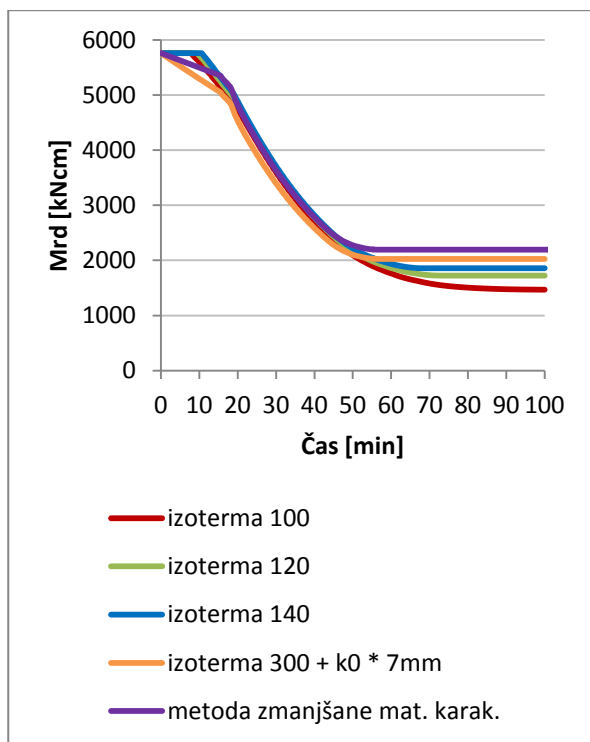
Izbran način izračuna efektivnega prečnega prereza, ni v skladu s standardom SIST EN 1995-1-2. Efektivni prečni prerez določimo na podlagi izoterm pri temperaturah 100 °C, 120 °C in 140 °C. Dobljene mehanske odpornosti in debeline nenosilnega sloja lesenih elementov za vse štiri izračune primerjamo med sabo. Izoterme 100, 120 in 140 so bile izbrane na podlagi povprečne temperature v globini prereza na meji med nosilnim in nenosilnim slojem, izračunane v skladu s standardom SIST EN 1995-1-2 za steber, izpostavljen standardni požarni krivulji. Povprečna temperatura na meji nosilnega in nenosilnega sloja je bila 117 °C.

Glede na stolpična grafikona iz poglavja 5.6 izberemo med seboj čim bolj različne primere za analizo. Poleg referenčnega primera analiziramo še primer 2.2, primer 3.2, primer 4.2, in primer 5.3. Zaradi preglednosti so na grafikonu 52 najprej prikazane požarne krivulje za izbrane primere.

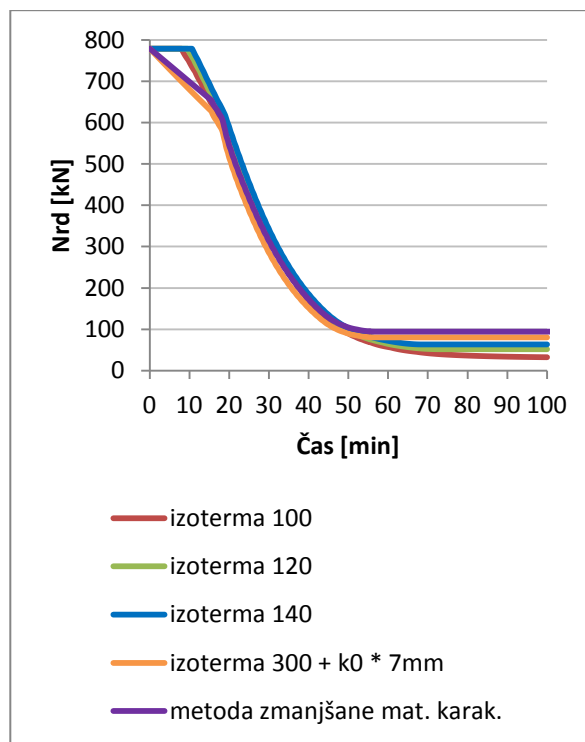


Grafikon 52: Prikaz požarnih krivulj za izbrane primere

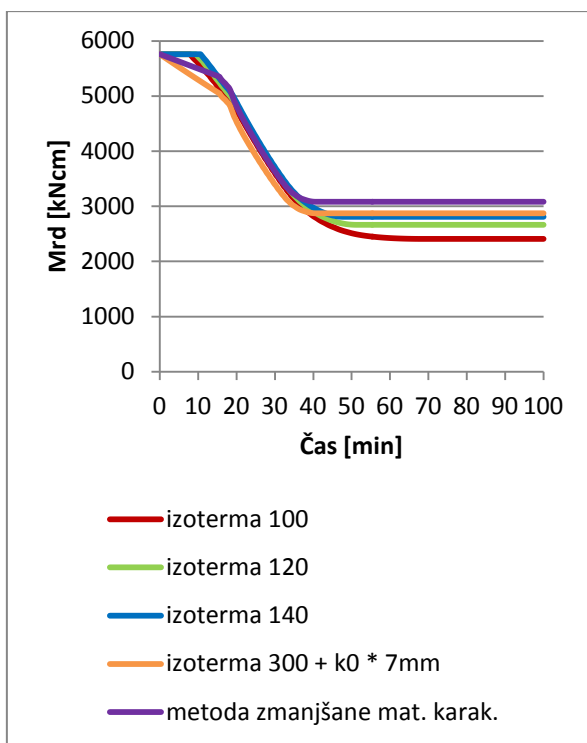
Na grafikonih od 53 do 63 sledijo prikazi požarne odpornosti za izbrane primere za račun efektivnega prečnega prereza z »izoterma 100«, »izoterma 120«, »izoterma 140«, »izoterma $300 + k_0 * 7 \text{ mm}$ « in za primerjavo še rezultati po metodi zmanjšanih materialnih karakteristik, določene v poglavju 5.2 do 5.6.



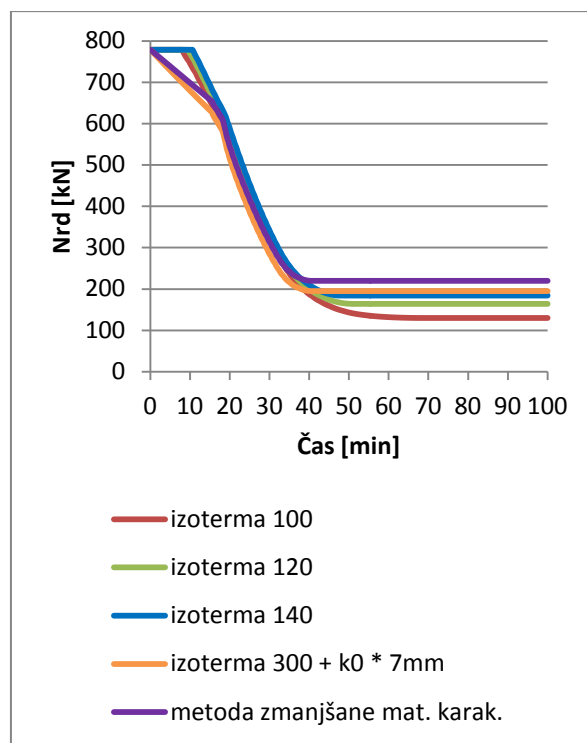
Grafikon 53: Požarna odpornost lege za referenčni primer



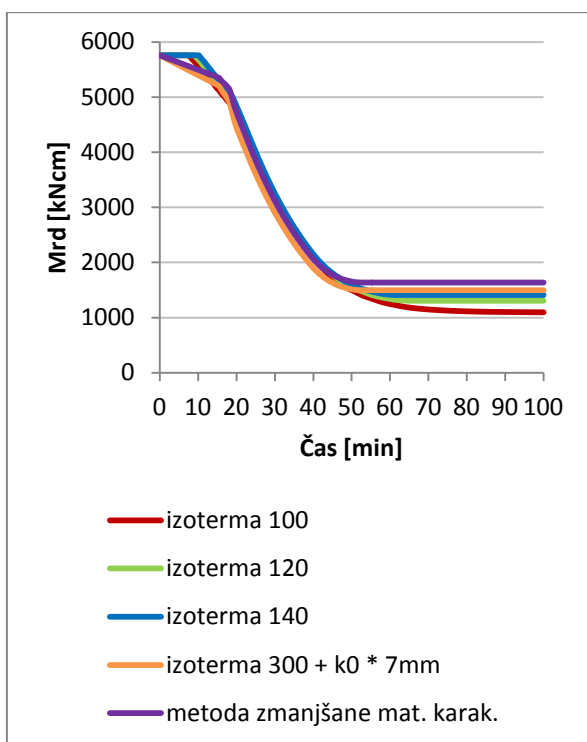
Grafikon 54: Požarna odpornost stebra za referenčni primer



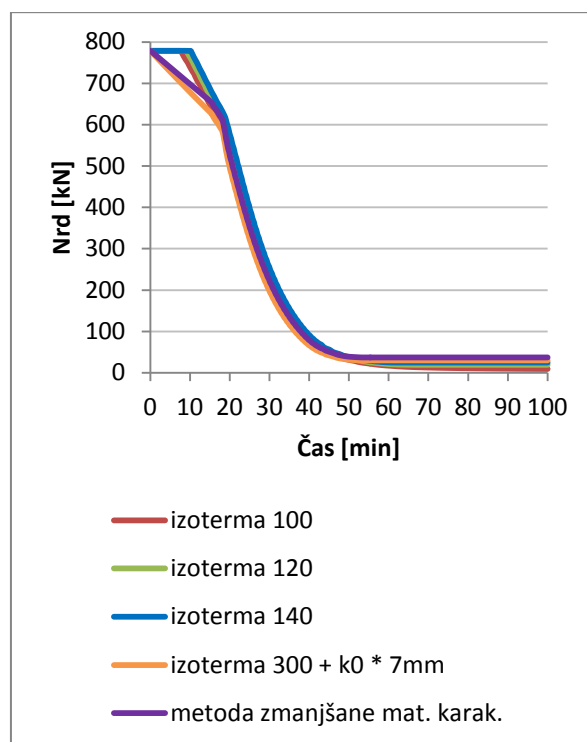
Grafikon 55: Požarna odpornost lege za primer 2.2



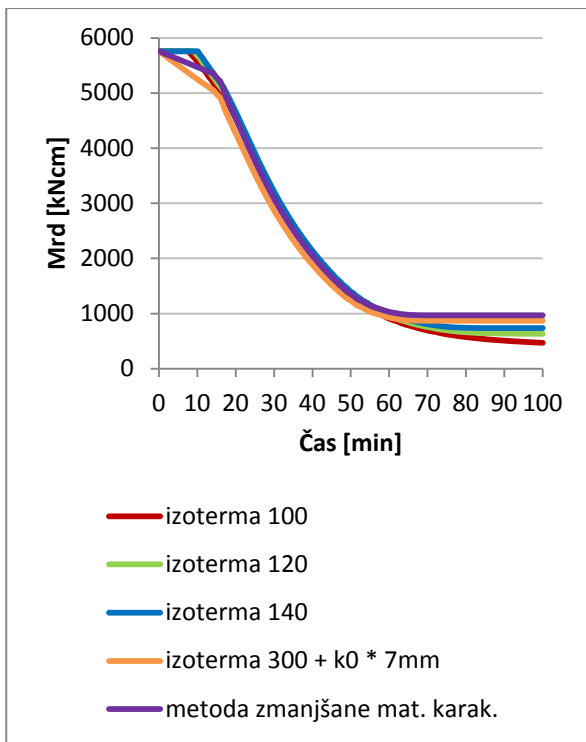
Grafikon 56: Požarna odpornost stebra za primer 2.2



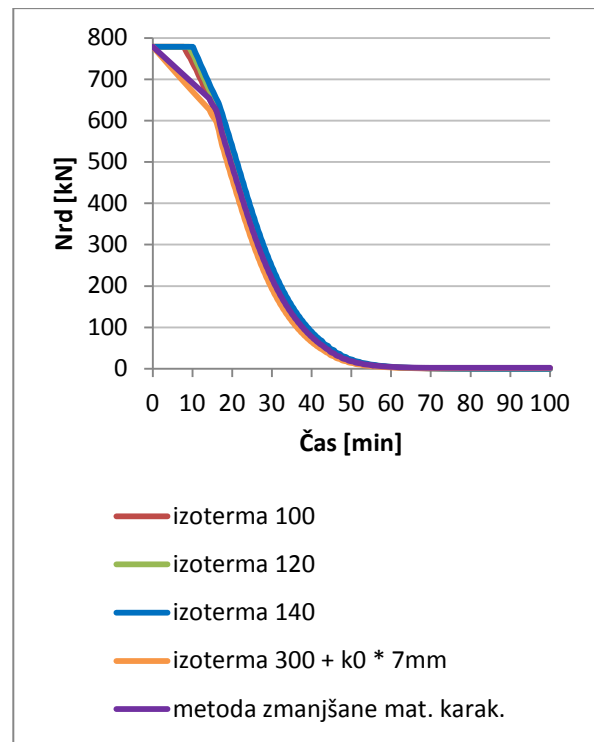
Grafikon 57: Požarna odpornost lege za primer 3.2



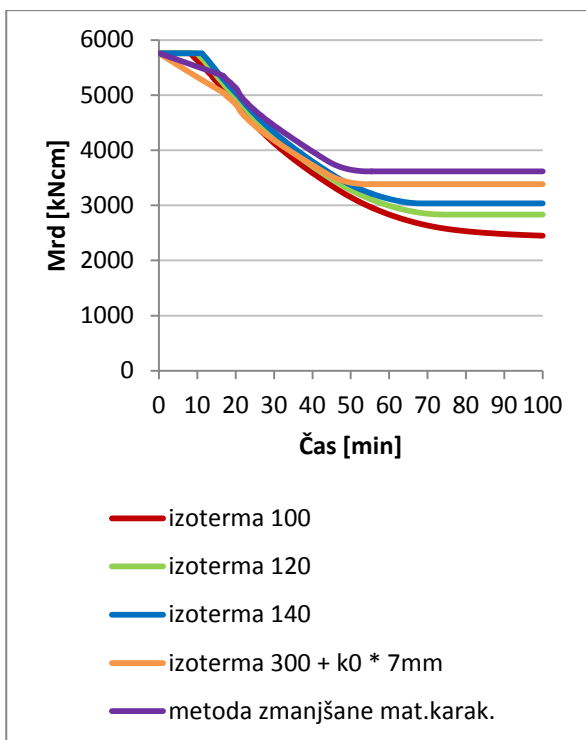
Grafikon 58: Požarna odpornost stebra za primer 3.2



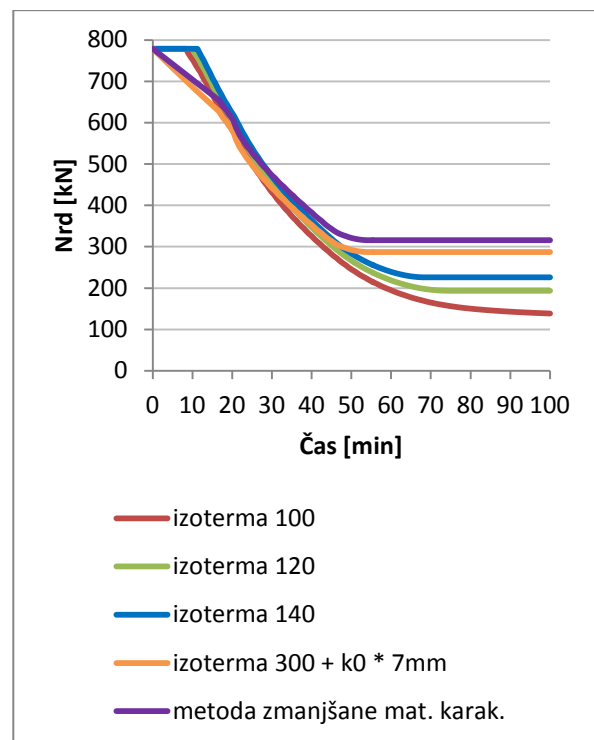
Grafikon 59: Požarna odpornost lege za primer 4.2



Grafikon 60: Požarna odpornost stebra za primer 4.2



Grafikon 61: Požarna odpornost lege za primer 5.3



Grafikon 62: Požarna odpornost stebra za primer 5.3

Iz grafikona 53 do grafikona 62 je razvidna požarna odpornost lesenih elementov za metodo zmanjšanega prečnega prereza ob poteku izoterme 100, izoterme 120, izoterme 140 in izoterme 300 + $k_0 * 7\text{mm}$, v primerjavi z že izračunanim potekom izoterme 300 po metodi zmanjšanih materialnih karakteristik. Vrednosti končne požarne odpornosti pa so prikazane v preglednici 19.

Preglednica 19: Končne požarne odpornosti ob različnih izotermah

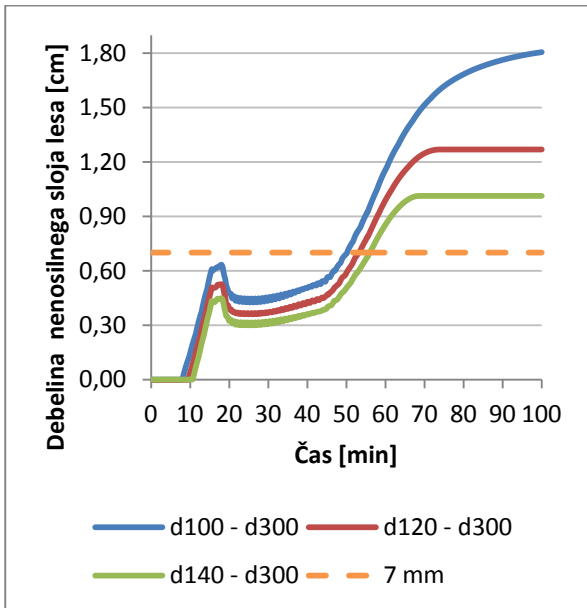
	Izoterma 100		Izoterma 120		Izoterma 140		Izoterma 300		Izoterma 300 - metoda zmanjšanih mat. karak.	
	Lega	Steber	Lega	Steber	Lega	Steber	Lega	Steber	Lega	Steber
	Mrd [kNcm]	Nrd [kN]	Mrd [kNcm]	Nrd [kN]	Mrd [kNcm]	Nrd [kN]	Mrd [kNcm]	Nrd [kN]	Mrd [kNcm]	Nrd [kN]
Ref. primer	1470,79	32,13	1721,25	51,68	1859,50	63,34	2024,14	80,28	2192,09	94,47
Primer 2.2	2408,85	129,71	2667,01	164,36	2806,99	184,56	2872,58	195,28	3082,35	219,68
Primer 3.2	1095,19	9,45	1305,65	19,33	1412,95	24,56	1498,44	30,00	1637,66	36,92
Primer 4.2	469,58	0,00	631,89	0,00	734,41	0,17	868,48	1,70	967,95	2,27
Primer 5.3	2452,04	138,45	2832,56	193,79	3038,19	226,37	3385,03	287,02	3618,30	315,65

Iz preglednice 19 lahko ugotovimo, da je požarna odpornost pri »izotermi 100« najmanjša, pri »izotermi 300 + $k_0 * 7\text{ mm}$ « pa največja. Rezultati so smiselni, ker je debelina nenosilnega sloja v primeru »izoterme 100« največja in je posledično efektivni prečni prerez, na osnovi katerega določimo požarno odpornost, najmanjši.

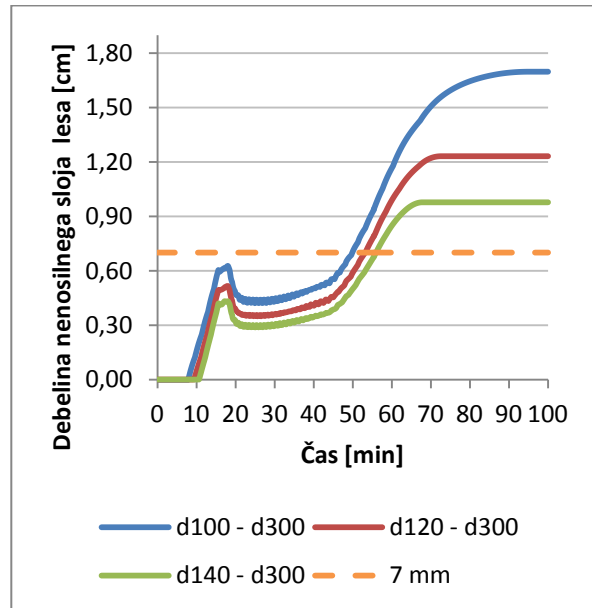
S primerjavo metode zmanjšanega prečnega prereza za primer »izoterme 300 + $k_0 * 7\text{ mm}$ « in metode zmanjšanih materialnih karakteristik ugotovimo, da je metoda zmanjšanega prečnega prereza konzervativnejša, zato so nosilnosti nižje.

Opazimo, da je v začetnih fazah požara odpornost prereza v primeru »izoterma 300 + $k_0 * 7\text{ mm}$ « manjša kot v primerih »izoterma 100«, »izoterma 120« in »izoterma 140«, saj je debelina nenosilnega sloja manjša od 7 mm, kar je razvidno iz grafikonov od 63 do 77. Na njih so prikazane debeline nenosilnega sloja lesa, določene z razliko med izotermami:

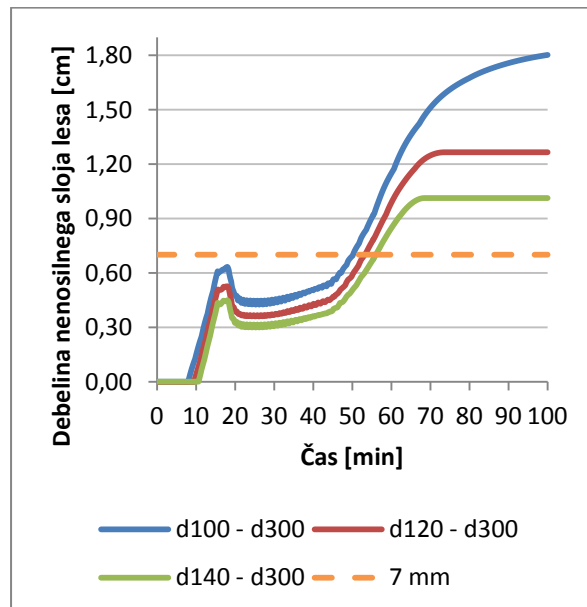
- $d_{100} - d_{300} = \text{»izoterma 100«} - \text{»izoterma 300«}$,
- $d_{120} - d_{300} = \text{»izoterma 120«} - \text{»izoterma 300«}$,
- $d_{140} - d_{300} = \text{»izoterma 140«} - \text{»izoterma 300«}$.

Rezultati za referenčni primer:

Grafikon 63: Debelina nosilnega sloja za lego s spodnje strani v referenčnem primeru

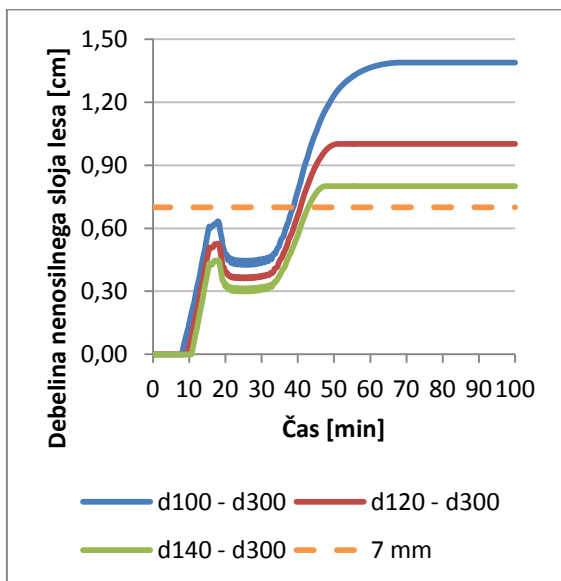


Grafikon 64: Debelina nosilnega sloja za lego s strani v referenčnem primeru

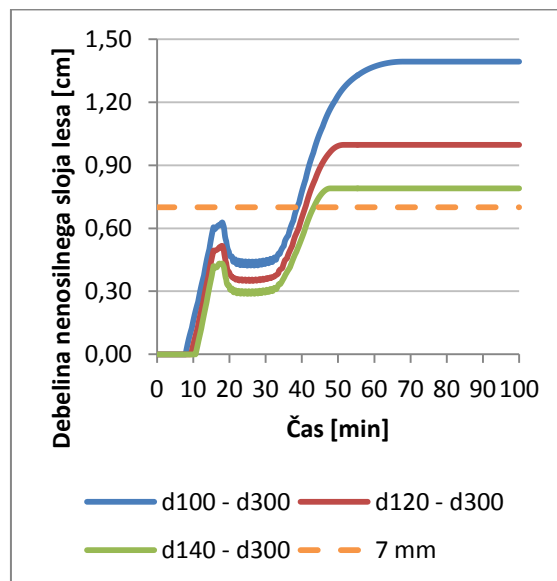


Grafikon 65: Debelina nosilnega sloja za steber v referenčnem primeru

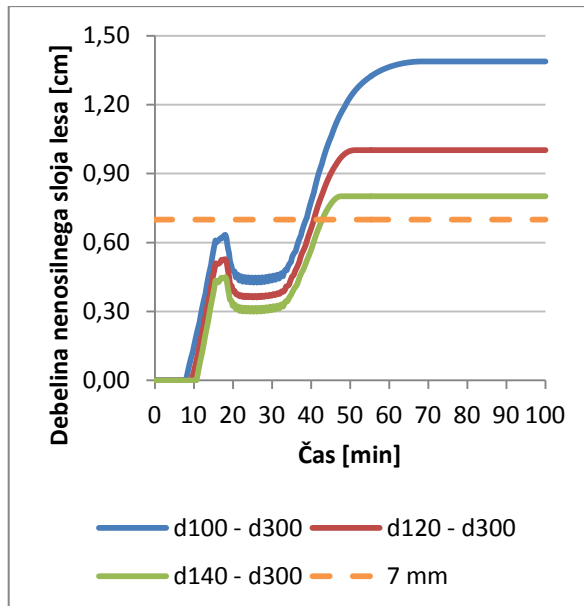
Rezultati za primer 2.2:



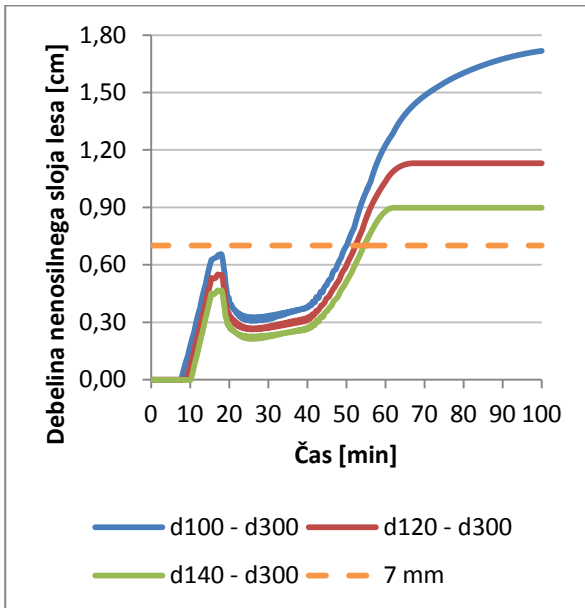
Grafikon 66: Debelina nosilnega sloja za lego s spodnje strani v primeru 2.2



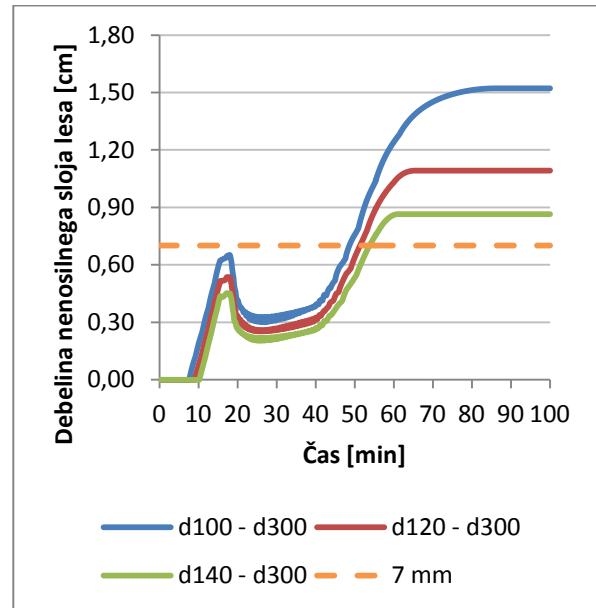
Grafikon 67: Debelina nosilnega sloja za lego s strani v primeru 2.2



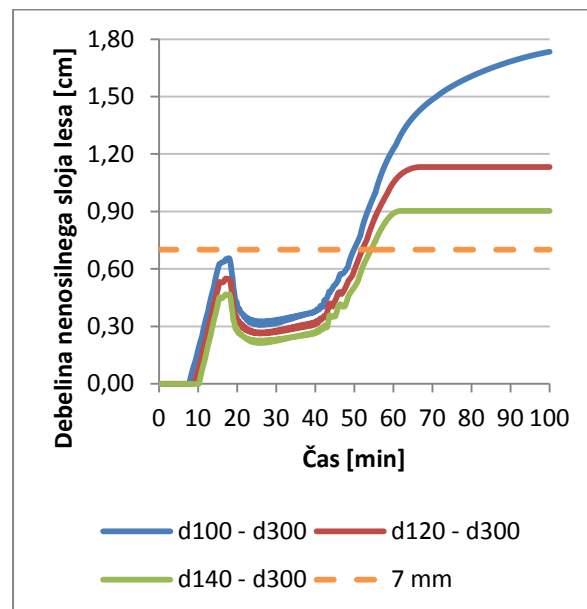
Grafikon 68: Debelina nosilnega sloja za steber v primeru 2.2

Rezultati za primer 3.2:

Grafikon 69: Debelina nosilnega sloja za lego s spodnje strani v primeru 3.2

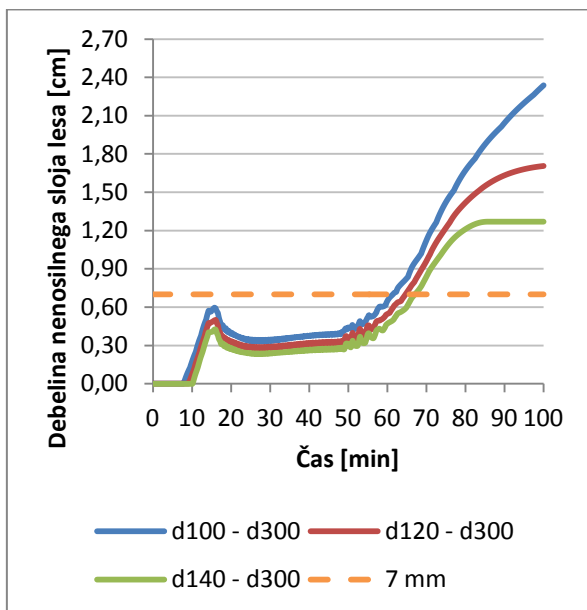


Grafikon 70: Debelina nosilnega sloja za lego s strani v primeru 3.2

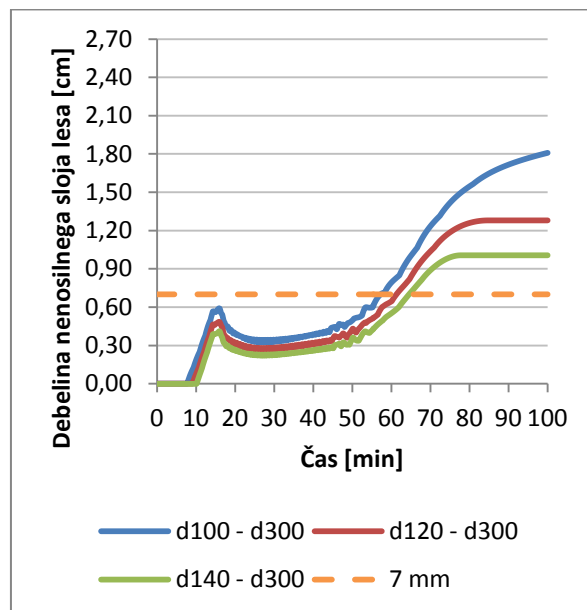


Grafikon 71: Debelina nosilnega sloja za steber v primeru 3.2

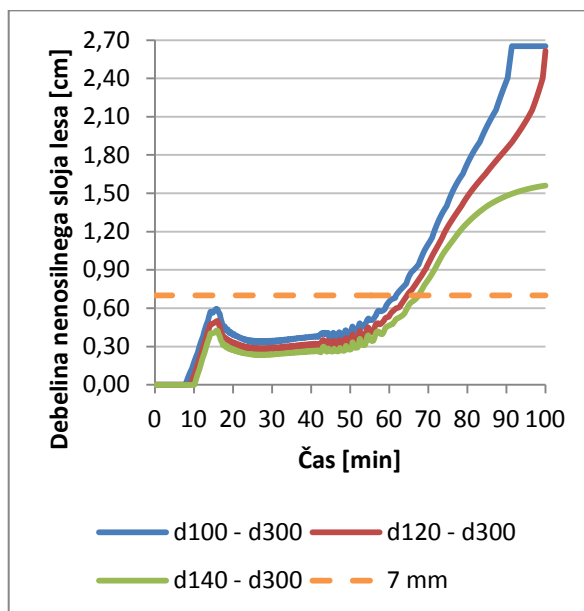
Rezultati za primer 4.2:



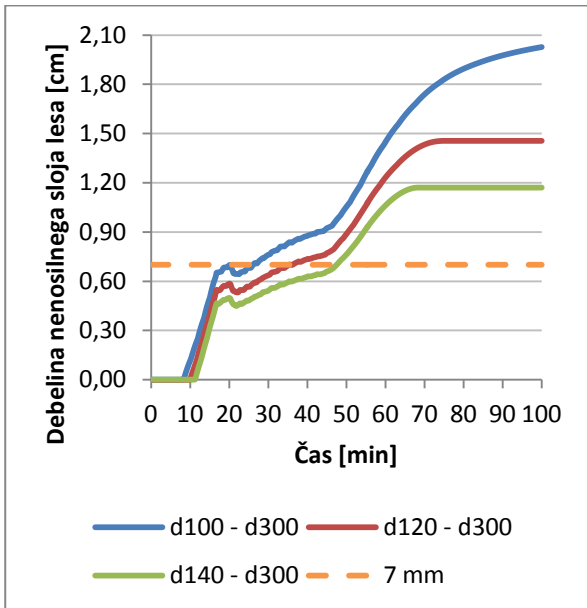
Grafikon 72: Debelina nenosilnega sloja za lego s spodnje strani v primeru 4.2



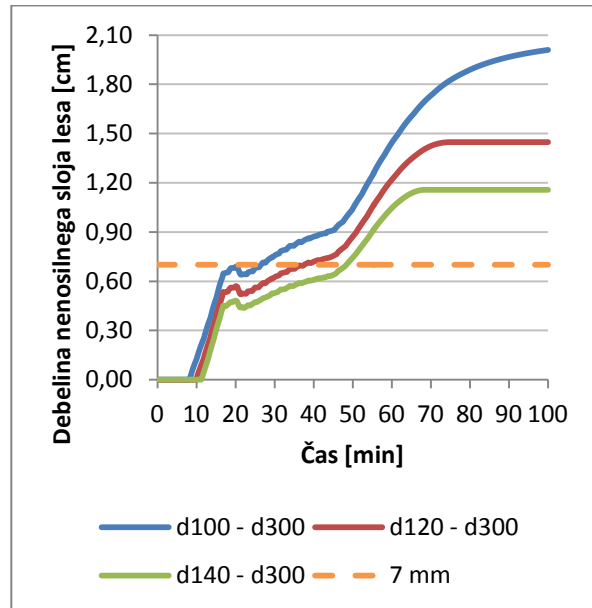
Grafikon 73: Debelina nenosilnega sloja za lego s strani v primeru 4.2



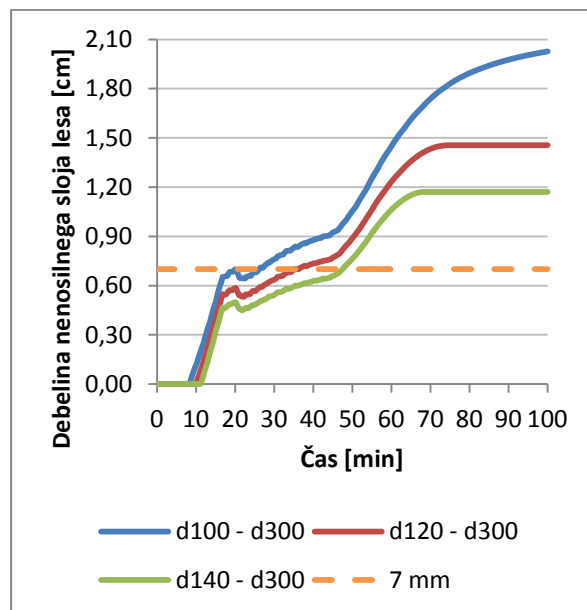
Grafikon 74: Debelina nenosilnega sloja za steber v primeru 4.2

Rezultati za primer 5.3:

Grafikon 75: Debelina nosilnega sloja za lego s spodnje strani v primeru 5.3



Grafikon 76: Debelina nosilnega sloja za lego s strani v primeru 5.3



Grafikon 77: Debelina nosilnega sloja za steber v primeru 5.3

5.8 Analiza rezultatov mehanske analize po metodi zmanjšanega prečnega prereza

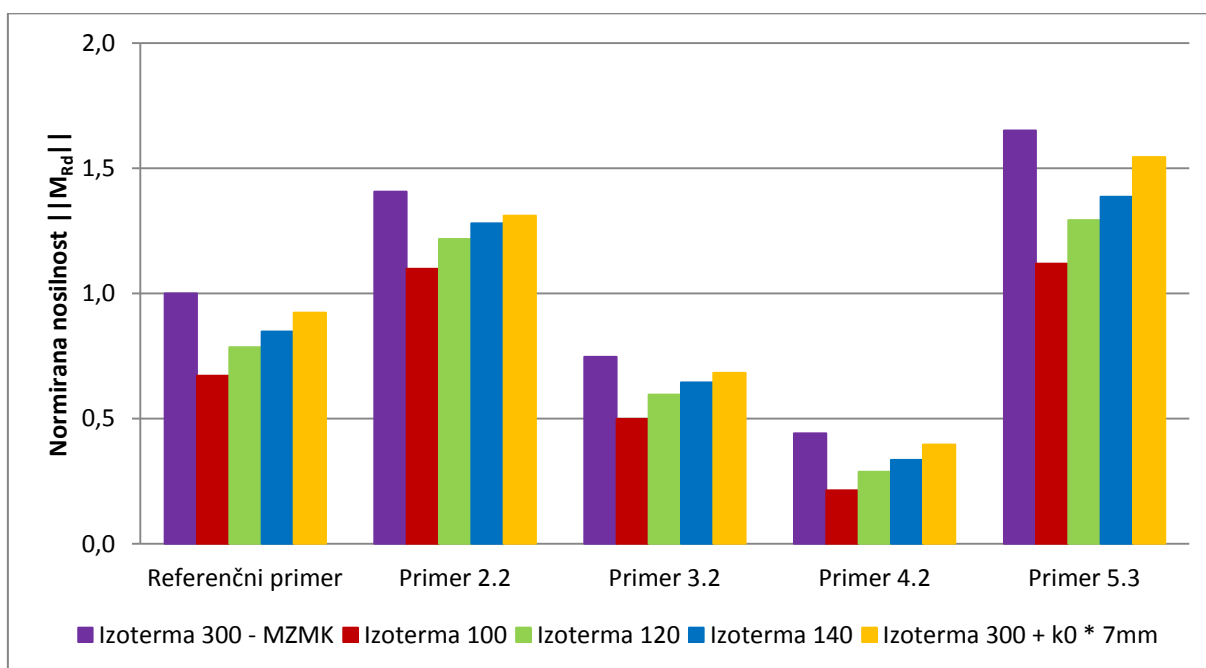
Za lažje ovrednotenje rezultatov nosilnosti po metodi zmanjšanega prečnega prereza za izbrane primere v primerjavi z referenčnim primerom skladno z metodo zmanjšanih materialni karakteristik (MZMK), rezultate prikazemo kot normirane vrednosti glede na referenčni primer.

Rezultati so prikazani v stolpčnih grafikonih 78 in 79. Na njih je prikazana normirana vrednost požarne odpornosti za posamezni izbrani primer ob različnih izotermah.

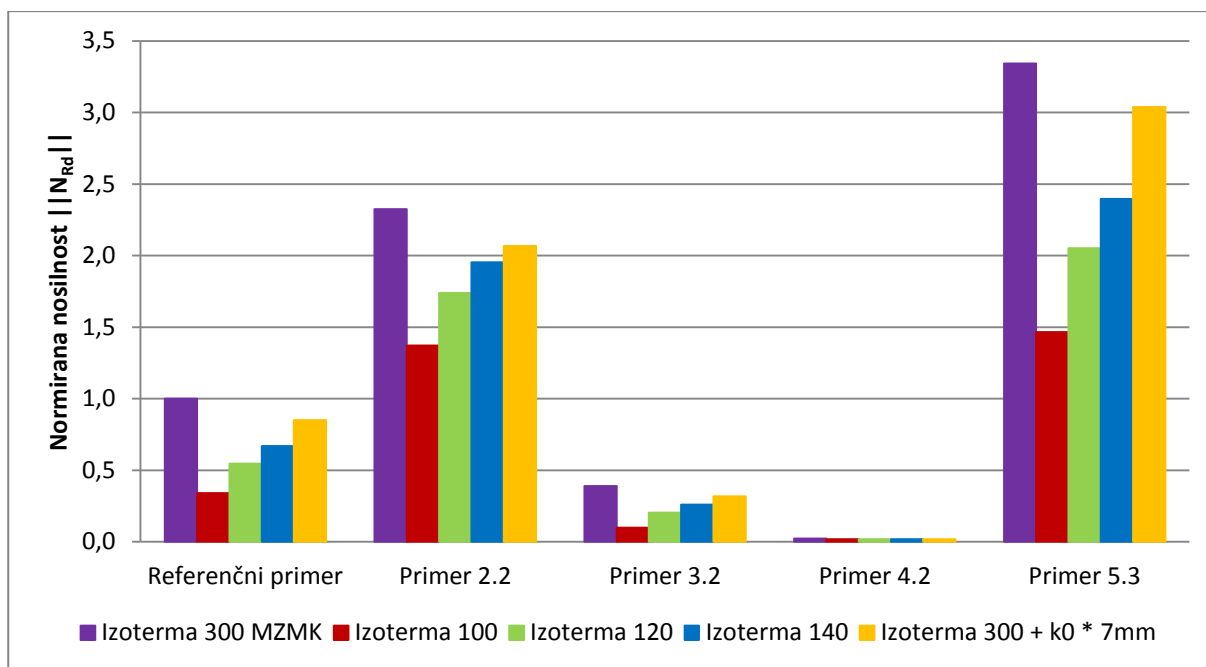
Normirano nosilnost za lego in steber določimo po sledečem izrazu:

$$\|M_{Rd}\| = \frac{M_{Rd,tfi}}{M_{Rd,tfi,ref}(MZMK)} \quad (5.25)$$

$$\|N_{Rd}\| = \frac{N_{Rd,tfi}}{N_{Rd,tfi,ref}(MZMK)} \quad (5.26)$$



Grafikon 78: Stolpčni prikaz normirane požarne odpornosti za lego določene po metodi zmanjšanega prečnega prereza



Grafikon 79: Stolpni prikaz normirane požarne odpornosti za steber, določene po metodi zmanjšane prečnega prereza

Iz grafikonov 78 in 79 vidimo, da je požarna odpornost najmanjša v primeru »izoterme 100« in se za vsako sledečo izotermo veča. Procentualne razlike v požarni odpornosti lege za referenčni primer med posameznimi izotermami glede na MZMK znašajo:

- izoterma 100 je za 32,9 % manjša od MZMK,
- izoterma 120 je za 21,5 % manjša od MZMK,
- izoterma 140 je za 15,2 % manjša od MZMK in
- izoterma 300 + k₀ * 7 mm je za 7,7 % manjša od MZMK.

Medtem ko za steber le te znašajo:

- izoterma 100 je za 65,9 % manjša od MZMK,
- izoterma 120 je za 45,3 % manjša od MZMK,
- izoterma 140 je za 32,9 % manjša od MZMK in
- izoterma 300 + k₀ * 7 mm je za 15,0 % manjša od MZMK.

Ugotovimo, da smo z uporabo »izoterme 100« v primerjavi z uporabo metode po standardu na varni strani, z eksperimenti pa bi bilo potrebno ugotoviti, kateri od načinov računa v primeru naravnega požara najbolj odraža realno stanje.

6 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi je bila podrobneje predstavljena analiza požarne odpornosti lesenih elementov skladno s SIST EN 1991-1-2:2004 ter SIST EN 1995-1-2:2005. Analiza je bila izvedena v treh fazah, in sicer I. faza - določitev ustreznih projektnih požarov, II. faza - izračun razvoja temperaturnega polja v konstrukcijskih elementih in III. faza - izračun požarne odpornosti lesenega elementa, izpostavljenega požaru.

S parametričnimi študijami je bil ugotovljen vpliv naslednjih parametrov razvoja požara na požarno odpornost lesenih elementov: hitrost razvoja požara, aktivni ukrepi, največja hitrost sproščanja toplote na kvadratni meter, število in velikost odprtih ter konstrukcijski sklopi. Za posamezni parameter je bilo izdelanih več primerov. V vsakem primeru je bil najprej določen projektni požar. Nato je bila določena debelina zoglenele plasti s pomočjo izoterme 300. Na koncu je sledil izračun požarne odpornosti lesene lege in stebra.

Račun požarne odpornosti lesenih elementov je bil izveden po dveh metodah, in sicer po metodi zmanjšanih materialnih karakteristik in po metodi zmanjšanega prečnega prereza.

Pri računu z metodo zmanjšanih materialnih karakteristik se je izkazalo, da na požarno odpornost enostavnih lesenih elementov najbolj vplivajo izbrani aktivni ukrepi, največja hitrost sproščanja toplote na kvadratni meter požarnega sektorja, število odprtih v objektu in toplotna absorptivnost konstrukcijskih sklopov. Hitrost razvoja požara pa nima posebnega vpliva na požarno odpornost lesenih elementov. Ob pregledu rezultatov se je izkazalo, da bi v večini primerov obravnavana lesena elementa predvidene požarne scenarije preživela. Lega bi se porušila v primerih 2.4, 4.1 in 4.2, steber pa v primerih 2.4, 3.3, 4.1, 4.2 in 4.3. Lahko ugotovimo, da je od obeh elementov steber šibkejši element.

Za izbrane primere po metodi zmanjšanega prečnega prereza pa se je izkazalo, da je metoda konzervativnejša in zato je nosilnost posameznega elementa, določena po tej metodi, nižja v primerjavi z nosilnostjo po metodi z zmanjšanimi materialnimi karakteristikami. Tako je požarna odpornost lege nižja od 7 % do 10 %, za steber pa od 9% do 25%.

S pomočjo analize, predstavljene v diplomski nalogi, bi lahko v primeru požara ugotovili naslednje: razpoložljiv čas za evakuacijo, kritičen čas konstrukcije, ki gasilcem omogoča varno intervencijo znotraj objekta in predvsem, s katerimi aktivnimi ukrepi je smiselno objekt opremiti, da se omejijo posledice požara.

»Ta stran je namenoma prazna«

VIRI

Cadorin, J.F., Pintea, D., Franssen, J.M., 2001, »The desig fire tool OZone V2.2 – Theoretical description and validation on experimental fire testes. Universite de Liege, department M&S, Rapport interne SPEC/2001_01: 1-49.

Egart, A., 2012. Navodila za program Heatko.

<http://www.km.fgg.uni-lj.si/PREDMETI/PozarnaVarnost/index.html> (Pridobljeno 01.08.2016.)

Hozjan, T., 2016. Določitev požarne odpornosti konstrukcijskih elementov

<http://www.km.fgg.uni-lj.si/PREDMETI/POK/POK.html> (Pridobljeno 14.07.2016.)

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

Hozjan, T., 2016. Požarna odpornost lesenih konstrukcij – določitev mehanske odpornosti

<http://www.km.fgg.uni-lj.si/PREDMETI/POK/POK.html> (Pridobljeno 01.08.2016.)

Lesene konstrukcije, 4.vaja. 2016.

http://www.fgg.uni-lj.si/kmlk/Drago/LK/2015_2016/Lesene_konstrukcije_04_vaja_2016.pdf

(Pridobljeno 06.08.2016)

Parametri termične prevodnosti. 2016.

<http://www.engineering.com/Library/ArticlesPage/tabid/85/ArticleID/152/categoryId/11/Thermal-Conductivity.aspx> (Pridobljeno 14.7.2016.)

Pečenko, R., Huč, S., Hozjan, T., 2015. Performančni način projektiranja požarne odpornosti lepljenega lesenega nosilca – 2.del: Toplotna in mehanska analiza

<http://www.km.fgg.uni-lj.si/PREDMETI/POK/POK.html> (Pridobljeno 04.08.2016.)

Pečenko, R., Hozjan, T., 2012. Požarna odpornost lesenih elementov

<http://www.km.fgg.uni-lj.si/PREDMETI/POZAR/index.html> (Pridobljeno 06.08.2016.)

Prelc, J., 2015. Dimenzioniranje jeklene hale 25 x 48 x 10 metrov na požarno projektno stanje, Magistrsko delo na študijskem programu 2 stopnje UM: (35 -38)

Program URSA Gradbena fizika 4.0. 2016.

<http://www.ursa.si/sl-si/arhitekti/strani/program-gradbena-fizika.aspx> (Pridobljeno 14.7.2016.)

SIST EN 1990:2004. Evrokod – Osnove projektiranja.

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

SIST EN 1991-1-3:2004/A101. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-3.del: Splošni vplivi – Obtežba snega.

SIST EN 1991-1-4:2005. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-4.del: Splošni vplivi – Obtežba vetra

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

Tomažin, M., 2010. Požarna preventiva.

<http://www.gasilec.net/modules/simplemod/datoteke/1-NTG/1-NTG-prosojnice-POZARNA-PREVENTIVA.ppt> (Pridobljeno 10.07.2016)

Žitnik, J., Žitnik, D., Berdajs, A., idr, 2008, Gradbeniški priročnik, četrta dopolnjena in posodobljena izdaja. Tehniška založba Slovenije: 265-286.

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: STATIČNI IZRAČUN

**PRILOGA B: IZRAČUN POŽARNE ODPORNOSTI ZA STANDARDNI POŽAR PO
METODI ZMANJŠANEGA PREČNEGA PREREZA**

**PRILOGA C: IZRAČUN POŽARNE ODPORNOSTI LEGE IN STEBRA V POGOJIH
NARAVNEGA POŽARA PO METODI ZMANJŠANEGA PREČNEGA
PREREZA**

»Ta stran je namenoma prazna«

PRILOGA A: STATIČNI IZRAČUN**OBTEŽBA:****Sneg:**

Vsi vplivi na konstrukcijo so določeni v skladu s SIST EN 1990. Obtežbo snega na konstrukcijo določimo po SIST EN 1991-1-3.

Po nacionalnem dokumentu za uporabo v Sloveniji se objekt nahaja v območju "A2", nadmorske višine 300 m. Obtežba s snegom na tleh znaša $s_k = 1,51 \text{ kN/m}^2$.

$$s_k = 1,293 * \left(1 + \left(\frac{A}{728} \right)^2 \right)$$

Streha v naklonu:

Dejanska obtežba snega glede na obliko strehe ($\alpha = 18^\circ$):

$$s = \mu_i * C_e * C_t * S_k$$

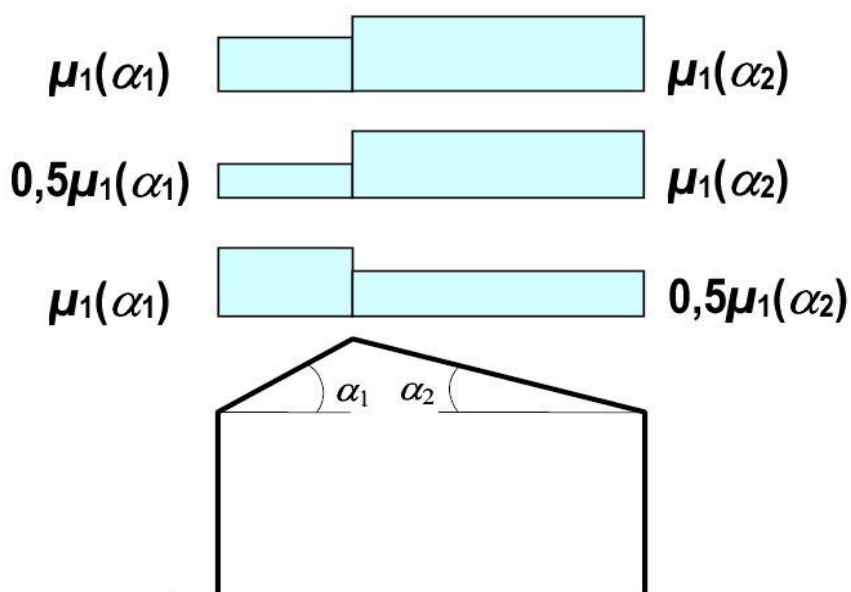
$$\mu_i = 0,8 * ((60 - \alpha) / 30)$$

$$\mu_1 = 0,8$$

$$s_1 = 0,80 * 1 * 1 * 1,51 = 1,21 \text{ kN/m}^2$$

Angle of pitch of roof α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8 \alpha/30$	1,6	--

Slika A1: Vrednost parametrov μ_1 in μ_2 [http://www.fa.uni-lj.si/filelib/1_strani_predmetov/joze_kusar/kid1112/ec-s.pdf] (pridobljeno 1.7.2016)]



Slika A2: Obtežni primeri obtežbe s snegom [SIST EN 1991-1-3, stran 23]

Veter:

Obtežbo vetra na konstrukcijo določimo po SIST EN 1991-1-4. Objekti se nahajajo v vetrovni coni "1" po nacionalnem dokumentu za uporabo v Sloveniji SIST EN 1991-1-4:2005.

Opomba:

Upoštevamo samo vpliv vetra na strehi, saj je obtežba vetra na stene objekta majhna v primerjavi s potresno obtežbo.

Referenčna hitrost vetra znaša:

Zunanji vpliv:

Osnovni tlak q_b : $q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \rightarrow q_b = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 20^2 = 250 \text{ N/m}^2 = 0,25 \text{ kN/m}^2$

v_b ... osnovna hitrost vetra $v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0}$

$C_{dir} = 1,0$ (smerni faktor)

$C_{season} = 1,0$ (faktor letnega časa)

$v_b = v_{b,0} = 20 \text{ m/s}$

$v_{b,0} = 20 \text{ m/s}$

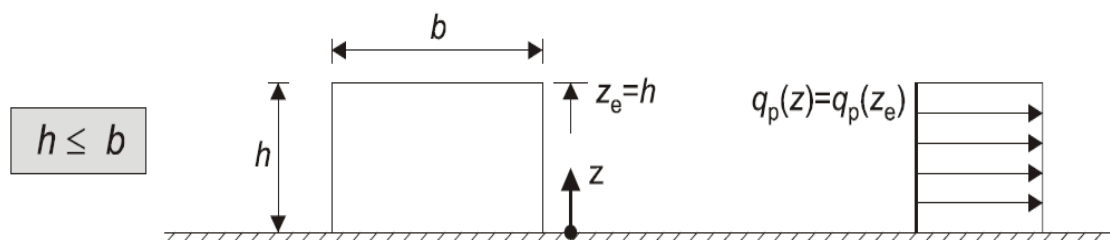
$q_b = 0,25 \text{ kN/m}^2$

Obtežba z vetrom: $w_e = q_b * C_e(z_e) * C_{pe}$

$$h_{\text{objekta}} = 3,40 \text{ m}$$

Kategorija terena : 3 kat. ($z_0 = 0,30 \text{ m}$; $z_{\text{min}} = 5 \text{ m}$)

$$z_e = h = 3,40 \text{ m}$$



Slika A3: Referenčna višina z_e v odvisnosti od h in b [SIST EN 1991-1-4, stran 35]

Karakteristični konični tlak q_p :

$$q_p = q_b * C_e = 0,25 \text{ kN/m}^2 * 1,06 = 0,264 \text{ kN/m}^2$$

Faktor izpostavljenosti C_e :

$$C_e = [1 + 7 * (kI * kr) / (C0 * Cr)] * C0^2 * Cr^2 = [1 + 7 * (1 * 0,215) / (1 * 0,522)] * 1^2 * 0,522^2 = 1,06$$

kI ... faktor turbulence $kI = 1,0$

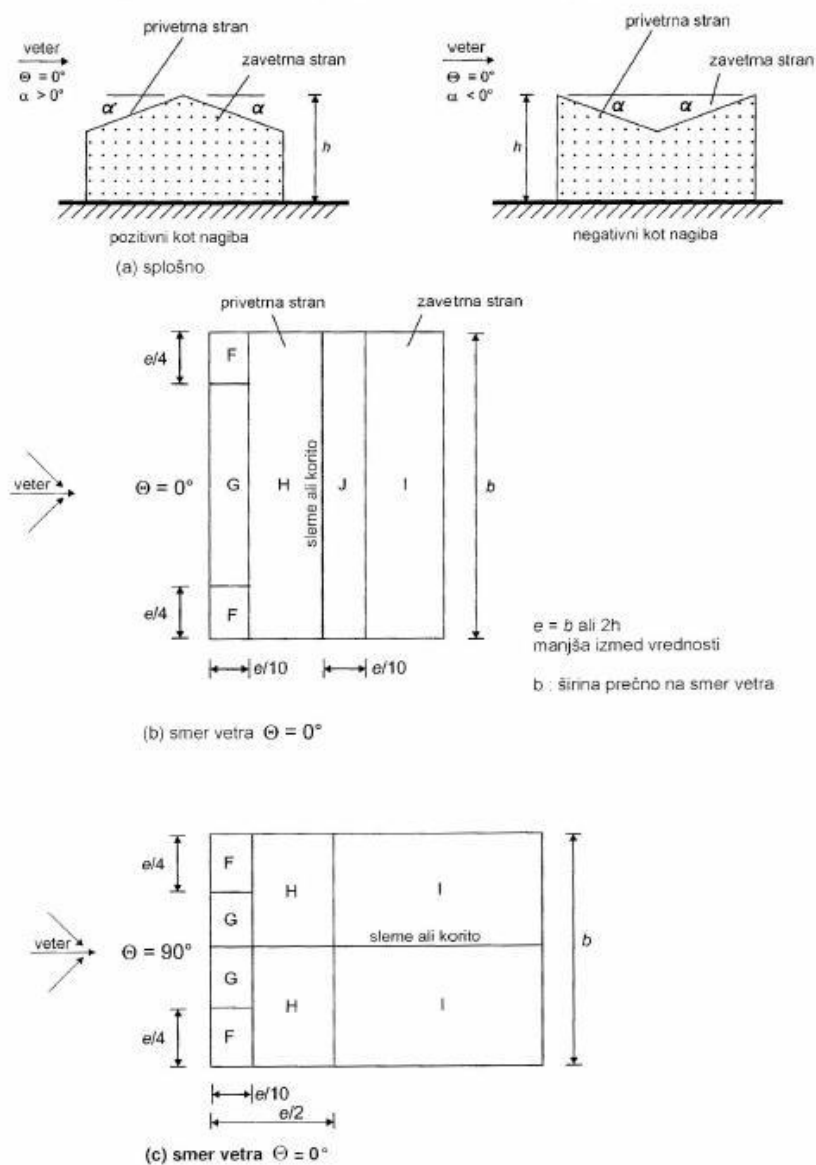
kr ... faktor terena $kr = 0,19 * (z_0 / z_{0,II})^{0,07} = 0,19 * (0,30/0,05)^{0,07} = 0,215$

$z_{0,II} = 0,05$

$C0$... faktor oblike terena $C0 = 1,0$

Cr ... faktor oblike terena $Cr = kr * \ln(z/z_0) = 0,215 * \ln(3,40/0,30) = 0,522$

SIST EN 1991-1-4 : 2005



Slika A4: Razdelitev dvokapnice na področja [[SIST EN 1991-1-4, stran 44]]

Streha: Dvokapnica z nagibom 18° Veter v smeri ($\theta = 0^\circ$):

$$b = 20,00 \text{ m}; h = 3,40 \text{ m}$$

$$e = b \text{ ali } 2 \cdot h \text{ (manjše)} \rightarrow e = 6,80 \text{ m}$$

$$2 \cdot h = 6,80 \text{ m}; b = 20,00 \text{ m}$$

Površine področij strehe:

$$F: 1,16 \text{ m}^2$$

$$G: 11,29 \text{ m}^2$$

$$H: 86,40 \text{ m}^2$$

$$I: 86,40 \text{ m}^2$$

$$J: 13,60 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} A < 1 \text{ m}^2 & C_{pe} = C_{pe,1} \\ 1 \text{ m}^2 \leq A \leq 10 \text{ m}^2 & C_{pe} = C_{pe,1} - (C_{pe,1} - C_{pe,10}) \log_{10} A \\ A > 10 \text{ m}^2 & C_{pe} = C_{pe,10} \end{aligned}$$

Privetna stran - Pritisk:

$$C_{pe,10,F,15^\circ} = 0,20$$

$$C_{pe,10,F,30^\circ} = 0,70 \quad \rightarrow C_{pe,F,18^\circ} = 0,30$$

$$C_{pe,10,G,15^\circ} = 0,20$$

$$C_{pe,10,G,30^\circ} = 0,70 \quad \rightarrow C_{pe,G,18^\circ} = 0,30$$

$$C_{pe,10,H,15^\circ} = 0,20$$

$$C_{pe,10,H,30^\circ} = 0,40 \quad \rightarrow C_{pe,H,18^\circ} = 0,24$$

$$w_{p,F,G} = 0,264 * 0,30 = 0,0792 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{p,H} = 0,264 * 0,24 = 0,0634 \text{ kN/m}^2$$

Privetna stran - Srk:

$$C_{pe,F,15^\circ} = -2,00 - (-2,00 + 0,90) \log_{10} 1,16 = -1,93$$

$$C_{pe,F,30^\circ} = -1,50 - (-1,50 + 0,50) \log_{10} 1,16 = -1,44 \quad \rightarrow C_{pe,F,38^\circ} = -1,90$$

$$C_{pe,10,G,15^\circ} = -0,80$$

$$C_{pe,10,G,30^\circ} = -0,50 \quad \rightarrow C_{pe,G,18^\circ} = -0,74$$

$$C_{pe,10,H,15^\circ} = -0,30$$

$$C_{pe,10,H,30^\circ} = -0,20 \quad \rightarrow C_{pe,H,18^\circ} = -0,28$$

$$w_{p,F} = 0,264 * (-1,90) = -0,502 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{p,G} = 0,264 * (-0,74) = -0,195 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{p,H} = 0,264 * (-0,28) = -0,074 \text{ kN/m}^2$$

Zavetrna stran - Srk:

$$C_{pe,10,I} = -0,40$$

$$C_{pe,10,J,15^\circ} = -1,00$$

$$C_{pe,10,J,30^\circ} = -0,50$$

$$\rightarrow C_{pe,G,18^\circ} = -0,90$$

$$w_{s,I} = 0,264 * (-0,40) = -0,106 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{s,J} = 0,264 * (-0,90) = -0,238 \text{ kN/m}^2$$

Veter v smeri ($\theta = 90^\circ$):

$$b = 10,00 \text{ m}; h = 3,40 \text{ m}$$

$$e = b \text{ ali } 2 * h \text{ (manjše)} \rightarrow e = 6,80 \text{ m}$$

$$2 * h = 6,80 \text{ m}; b = 10,00 \text{ m}$$

Površine področij strehe:

$$F: 1,16 \text{ m}^2$$

$$G: 2,24 \text{ m}^2$$

$$H: 13,60 \text{ m}^2$$

$$I: 83,00 \text{ m}^2$$

$$A < 1 \text{ m}^2 \quad C_{pe} = C_{pe,1}$$

$$1 \text{ m}^2 \leq A \leq 10 \text{ m}^2 \quad C_{pe} = C_{pe,1} - (C_{pe,1} - C_{pe,10}) \log_{10} A$$

$$A > 10 \text{ m}^2 \quad C_{pe} = C_{pe,10}$$

Srk:

$$C_{pe,F,15^\circ} = -2,00 - (-2,00 + 1,30) \log_{10} 1,16 = -1,955$$

$$C_{pe,F,30^\circ} = -1,50 - (-1,50 + 1,10) \log_{10} 1,16 = -1,474 \quad \rightarrow C_{pe,F,18^\circ} = -1,859$$

$$C_{pe,G,15^\circ} = -2,00 - (-2,00 + 1,30) \log_{10} 2,24 = -1,755$$

$$C_{pe,G,30^\circ} = -2,00 - (-2,00 + 1,40) \log_{10} 2,24 = -1,790 \quad \rightarrow C_{pe,G,18^\circ} = -1,762$$

$$C_{pe,H,15^\circ} = -0,60$$

$$C_{pe,H,30^\circ} = -0,80 \quad \rightarrow C_{pe,G,18^\circ} = -0,64$$

$$C_{pe,10,I} = -0,50$$

$$w_{s,F} = 0,264 * (-1,859) = -0,491 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{s,G} = 0,264 * (-1,762) = -0,465 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{s,H} = 0,264 * (-0,640) = -0,169 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{s,I} = 0,264 * (-0,50) = -0,132 \text{ kN/m}^2$$

Stalne in koristne obtežbe:

LESENO OSTREŠJE – STREHA

Kakovost lesa: C 24

Naklon strešine: 18°

- Lastna teža elementov:	upošteva program
- Kritina + lesena podkonstrukcija	1,00 [kN/m ²]
- Sneg	1,21 [kN/m ²]
- Veter-pritisk (maksimalni)	0,0792 [kN/m ²]
- Veter-srk (maksimalni)	-0,502 [kN/m ²]

OBTEŽNA KOMBINACIJA:

$$MSN: \sum_{(j)} \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} + \sum_{(i>1)} \gamma_{Q,i} * Q_{k,i}$$

$$MSU: \sum_{(j)} G_{k,j} + \psi_{1,1} * Q_{k,1} + \sum_{(i>1)} \psi_{2,i} * Q_{k,i} \text{ - pogosta kombinacija (za določitev pomikov)}$$

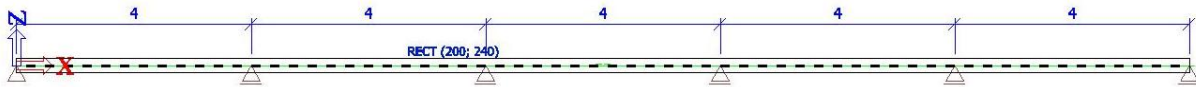
$$MSN: \sum_{(j)} G_{k,j} + \psi_{1,1} * Q_{k,1} + \sum_{(i>1)} \psi_{2,i} * Q_{k,i} \text{ - nezgodno projektno stanje (požar)}$$

Objekt je dimenzioniran v skladu s predpisi Eurocode in pripadajočimi nacionalnimi dodatki, ki veljajo v Sloveniji.

Statični izračun:

OSTREŠJE:

SLEMENSKA LEGA $b/h = 20/24$ cm



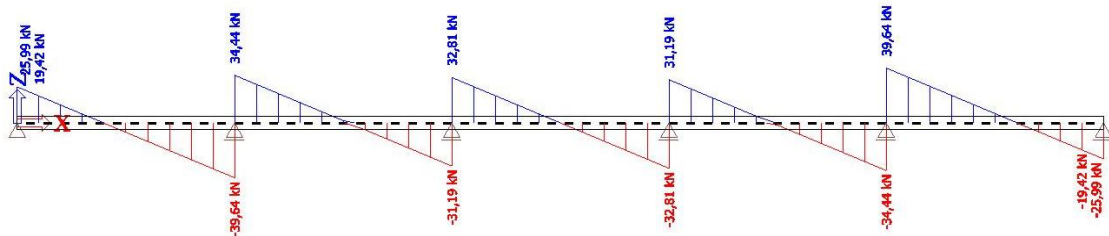
Slika A5: Statični model

Obtežba:

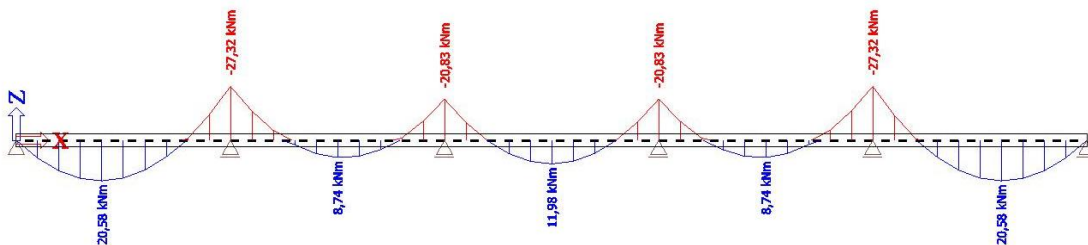
- Lastna teža elementa: upoštevava program
- Kritina + lesena podkonstrukcija $1,00 \text{ [kN/m}^2\text{]} \times 5,0 \text{ m} = 5,00 \text{ [kN/m]}$
- Sneg $1,21 \text{ [kN/m}^2\text{]} \times 5,0 \text{ m} = 6,05 \text{ [kN/m]}$
- Veter-pritisk $792 \text{ [kN/m}^2\text{]} \times 5,0 \text{ m} = 0,40 \text{ [kN/m]}$

Rezultati:

- Notranje sile

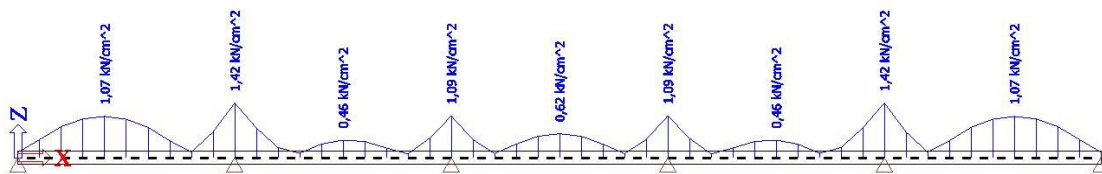


Slika A6: Prečne sile V_z

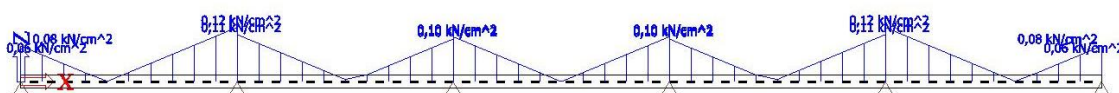


Slika A7: Upogibni momenti M_y

- Napetosti:



Slika A8: Upogibne napetosti



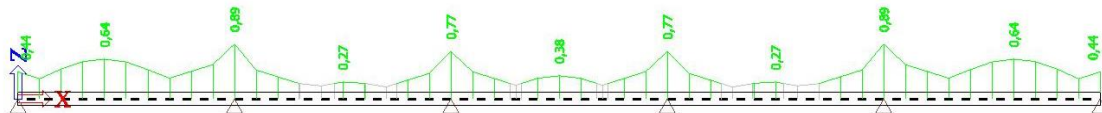
Slika A9: Strižne napetosti

- Trdnost lesa C24:

-upogib $\rightarrow f_{m,d} = 1,477 \text{ kN/cm}^2$

-strig $\rightarrow f_{v,d} = 0,154 \text{ kN/cm}^2$

- Izkoriščenost prereza:



Slika A10: Izkoriščenost

- Poves:

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q1} + u_{fin,Qi}$$

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} * (1 + k_{def}) \quad \text{za stalni vpliv, } G$$

$$u_{fin,Q1} = u_{inst,Q1} * (1 + \psi_{2,1} * k_{def}) \quad \text{za prevladujoči spremenljivi vpliv, } Q1$$

$$u_{fin,Qi} = u_{inst,Qi} * (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} * k_{def}) \quad \text{za spremljajoče spremenljive vplive, } Qi, (i > 1)$$

$$u_{inst,G}, u_{inst,Q1}, u_{inst,Qi} \quad \text{trenutne deformacije za posamezne vplive } G, Q1, Qi$$

$$\psi_{2,1} = 0,00 \quad \text{za vpliv snega in vetra}$$

$$\psi_{0,i} = 0,60 \quad \text{za vpliv vetra}$$

Prevladujoči spremenljivi vpliv je v našem primeru sneg!

$k_{\text{def}} = 0,80$ za masivni les - II. razred uporabnosti (EN 14080)

$$u_{\text{fin,G}} = (0,12 \text{ mm} + 3,67 \text{ mm}) * (1 + 0,8) = 6,822 \text{ mm}$$

$$u_{\text{fin,Q1}} = (4,44 \text{ mm}) * (1 + 0*0,8) = 4,44 \text{ mm}$$

$$u_{\text{fin,Qi}} = (0,29 \text{ mm}) * (0,6 + 0*0,8) = 0,174 \text{ mm}$$

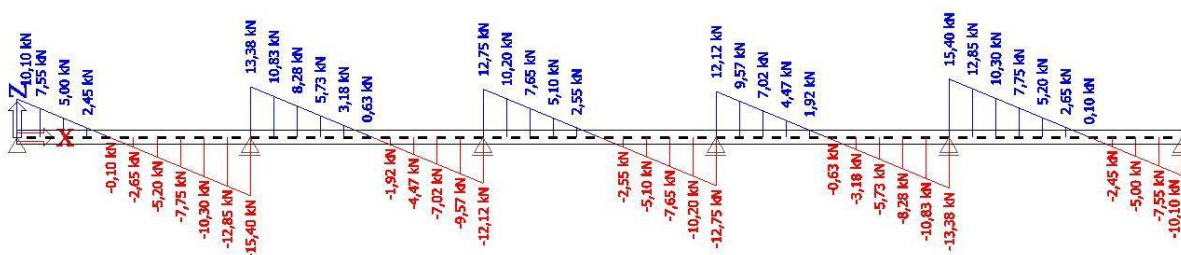
$$u_{\text{fin}} = 6,822 + 4,44 + 0,174 = 11,44 \text{ mm}$$

$$u_{\text{fin,dopustno}} = L/300 = 4000 \text{ mm} / 300 = 13,33 \text{ mm} \rightarrow u_{\text{fin}} < u_{\text{fin,dopustno}}$$

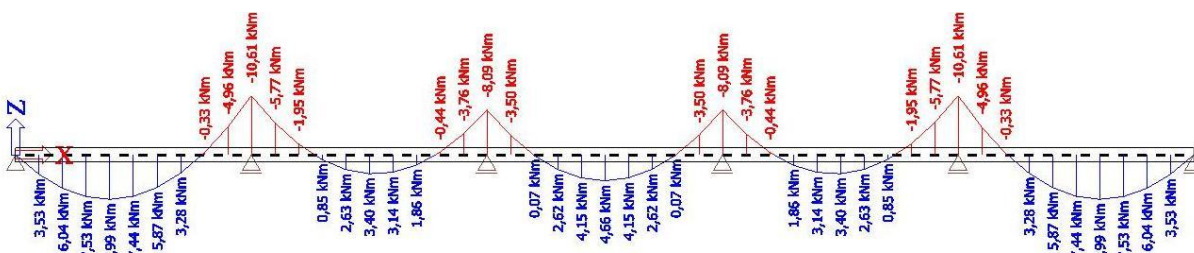
POŽARNA KOMBINACIJA

Rezultati:

- Notranje sile



Slika A11: Prečne sile Vz – požarna obtežba



Slika A12: Upogibni momenti My – požarna obtežba

$$M_{\text{ed,fi}} = 10,61 \text{ kNm}$$

$$N_{\text{ed,fi}} = 28,78 \text{ kN}$$

PRILOGA B: IZRAČUN POŽARNE ODPORNOSTI ZA STANDARDNI POŽAR PO METODI ZMANJŠANEGA PREČNEGA PREREZA

Skladno s standardom SIST EN 1991-1-2 je kriterij nosilnosti R zadoščen če velja:

$$R_{fi,d,t} \geq E_{fi,d,t} \dots \text{kriterij nosilnosti v času } t, \quad (\text{B.1})$$

$R_{fi,d,t}$... pripadajoča nosilnost konstrukcije v požarnem projektnejem stanju,

$E_{fi,d,t}$... projektna vrednost notranjih sil pri požarnem projektnejem stanju.

Postopek izvedbe analize za lego skladno s standardom SIST EN 1995-1-2 je sledeči:

b ... širina lege, h ... višina lege ,

$$d_{char,(h)_t} = \beta_0 * t \dots \text{vrednost globine oglenenja pri času } t, \quad (\text{B.2})$$

$$d_{char,(b)_t} = \beta_0 * t \dots \text{vrednost globine oglenenja pri času } t, \quad (\text{B.3})$$

$$h_{ef,t} = h - d_{char,(h)_t} - k_0 * d_0 \dots \text{efektivna višina lesenega prereza pri času } t, \quad (\text{B.4})$$

$$b_{ef,t} = b - 2 * d_{char,(b)_t} - 2 * k_0 * d_0 \dots \text{efektivna širina lesenega prereza pri času } t, \quad (\text{B.5})$$

$$k_0 = \frac{1}{t} \dots t < 20 \text{ minut} ; k_0 = 1 \dots t > 20 \text{ minut}, \quad (\text{B.6})$$

$d_0 = 7 \text{ mm}$... debelina nenosilnega dela prereza,

$$W_{ef,t} = \frac{b_{ef,t} * h_{ef,t}^2}{6} \dots \text{odpornostni moment prereza pri času } t, \quad (\text{B.7})$$

$$k_{mod,fi,t} = 1.0 \dots \text{modifikacijski faktor za upogibno trdnost pri času } t, \quad (\text{B.8})$$

za čase $0 \leq t \leq 20$ minut, se vrednost $k_{mod,fi,t}$ določi z linearno interpolacijo,

$$f_{fi,m,d,t} = k_{mod,fi,t} * k_{fi} * \frac{f_{m,k}}{\gamma} \dots \text{projektne trdnost pri požarnem projektnejem stanju pri} \quad (\text{B.9})$$

času t ,

$k_{fi} = 1,25$... koeficient za masivni les,

$$f_{mk} = 2,4 \frac{kN}{cm^2} \dots \text{trdnostni razred lesa},$$

$$R_{fi,d,t} = W_{ef,t} * f_{fi,m,d,t} \dots \text{požarna odpornost pri času } t. \quad (\text{B.10})$$

Postopek izvedbe analize za steber pa je sledeči:

b ... širina stebra, h ... širina stebra,

$$d_{\text{char}}(h)_t = \beta_0 * t \dots \text{vrednost globine oglenenja pri času } t, \quad (\text{B.11})$$

$$d_{\text{char}}(b)_t = \beta_0 * t \dots \text{vrednost globine oglenenja pri času } t, \quad (\text{B.12})$$

$$h_{\text{ef},t} = h - 2 * d_{\text{char}}(h)_t - 2 * k_0 * d_0 \dots \text{efektivna višina lesenega prereza pri času } t, \quad (\text{B.13})$$

$$b_{\text{ef},t} = b - 2 * d_{\text{char}}(b)_t - 2 * k_0 * d_0 \dots \text{efektivna širina lesenega prereza pri času } t, \quad (\text{B.14})$$

$$k_0 = \frac{1}{t} \dots t < 20 \text{ minut}; k_0 = 1 \dots t > 20 \text{ minut}, \quad (\text{B.15})$$

$d_0 = 7 \text{ mm}$... debelina nenosilnega dela prereza,

$k_{\text{mod,fi},t} = 1.0$... modifikacijski faktor za upogibno trdnost pri času t ,

$$I_{\text{ef},t} = \frac{b_{\text{ef},t} * h_{\text{ef},t}^3}{12} \dots \text{vztrajnostni moment prereza pri času } t, \quad (\text{B.16})$$

$$i_{\text{ef},t} = \sqrt{\frac{I_{\text{ef},t}}{A_t}} \dots \text{vztrajnostni radij pri času } t, \quad (\text{B.17})$$

$$\lambda_{\text{rel},t} = \frac{l_{\text{uz}}}{\pi * i_{\text{ef},t}} * \sqrt{\frac{f_{\text{c},0,k}}{E_{0,05}}} \dots \text{relativna vitkost elementa pri času } t, \quad (\text{B.18})$$

$$l_{\text{uz}} = h - h_{\text{lege}} \dots \text{uklonska dolžina stebra}, \quad (\text{B.19})$$

$$f_{\text{c},0,k} = 2,1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \dots \text{tlačna trdnost lesa},$$

$$E_{0,05} = 740 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \dots 5\% \text{ modula elastičnosti},$$

$$k_y = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{\text{rel},i} - 0,3) + \lambda_{\text{rel},t}), \quad (\text{B.20})$$

$\beta_c = 0,2$... za masivni les,

$$k_c = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{\text{rel}}^2}} \dots \text{uklonski koeficienta}, \quad (\text{B.21})$$

$$f_{\text{c},d,f,t} = k_{\text{mod,fi},t} * k_{\text{fi}} * \frac{f_{\text{c},k}}{\gamma} \dots \text{projekttna trdnost pri požarnem projektne stanju pri času } t, \quad (\text{B.22})$$

t ,

$$R_{\text{fi},d,t} = \begin{cases} b_{\text{ef},t} * h_{\text{ef},t} * f_{\text{c},d,f,t} \dots \lambda_{\text{rel}} \leq 0,3 \\ k_c * b_{\text{ef},t} * h_{\text{ef},t} * f_{\text{c},d,f,t} \dots \lambda_{\text{rel}} > 0,3 \end{cases} \dots \text{požarna odpornost stebra pri času } t. \quad (\text{B.23})$$

Prikazan bo izračun pri času $t = 30 \text{ min}$. Za ostale čase t se izračun izvede po istem postopku ob upoštevanju enačb od B.1 do B.23.

Vhodni podatki za lego:

$$b = 20 \text{ cm},$$

$$h = 24 \text{ cm},$$

$$\beta_0 = 0,07 \text{ cm/min},$$

$$f_{m,k} = 2,4,$$

$$\gamma = 1,$$

$$d_0 = 0,7 \text{ cm},$$

$$k_{fi} = 1,25,$$

$$k_{mod} = 1.$$

Izračun za lego:

$$d_{char}(h)_{30} = 2,8 \text{ cm},$$

$$d_{char}(b)_{30} = 2,8 \text{ cm},$$

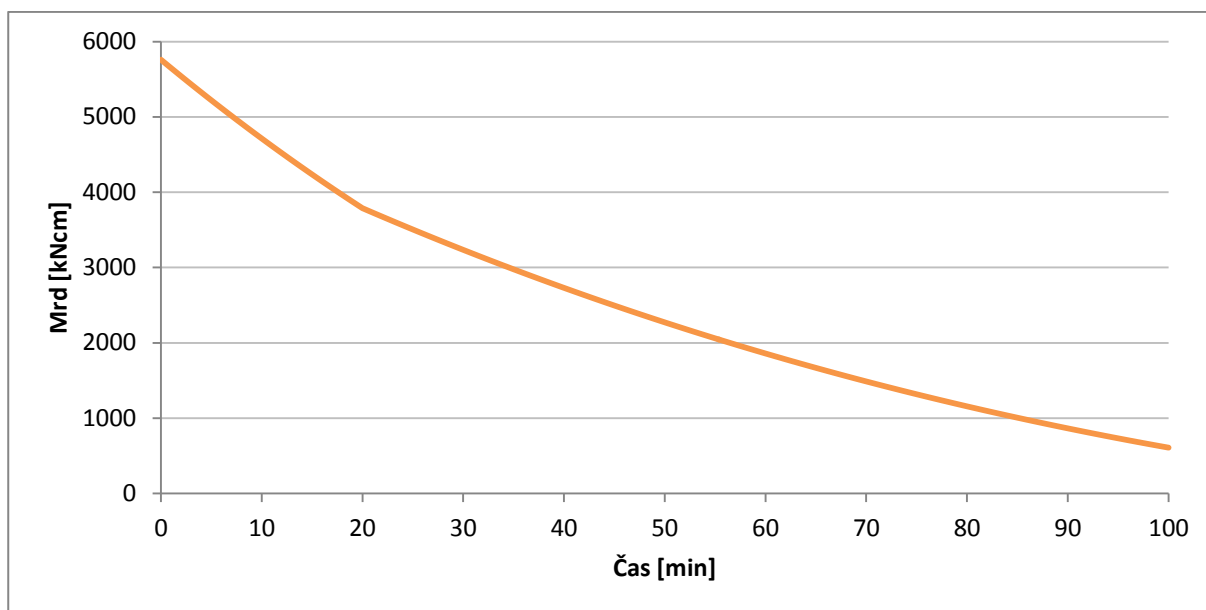
$$h_{ef30} = h - d_{char}(h)_{30} - k_0 * d_0 = 24,0 - 2,8 - 1 * 0,7 = 21,2 \text{ cm},$$

$$b_{ef30} = b - 2 * d_{char}(b)_{30} - k_0 * d_0 = 20,0 - 2,8 * 2 - 1 * 0,7 = 14,4 \text{ cm},$$

$$W_{ef30} = \frac{b_{ef30} * h_{ef30}^2}{6} = \frac{14,400 * 21,200^2}{6} = 1079 \text{ cm}^3,$$

$$f_{fi,m,d30} = k_{mod,fi30} * k_{fi} * \frac{f_{m,k}}{\gamma} = 1,0 * 1,25 * \frac{2,4}{1} = 3,0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2},$$

$$R_{fi,d30} = W_{ef30} * f_{fi,m,d30} = 1078,656 * 3,000 = 3236 \text{ kNcm}.$$



Grafikon B1: Krivulja požarne odpornosti lege za standardni požar določene po metodi z zmanjšanim prečnim prerezom skladno s SIST EN 1995-1-2

Vhodni podatki za steber:

$$b = 20 \text{ cm},$$

$$h = 20 \text{ cm},$$

$$\beta_0 = 0,07 \text{ cm/min},$$

$$f_{c,0,k} = 2,4,$$

$$\gamma = 1,$$

$$d_0 = 0,7 \text{ cm},$$

$$k_{fi} = 1,25,$$

$$k_{mod} = 1,$$

$$\beta_c = 0,200,$$

$$L_u = 340 \text{ cm} - 24 \text{ cm} = 316 \text{ cm},$$

$$E_{0,05} = 740 \text{ kN/cm}^2.$$

Izračun za steber:

$$d_{char}(h)_{30} = 2,1 \text{ cm},$$

$$d_{\text{char}}(b)_{30} = 2,1 \text{ cm},$$

$$h_{\text{ef}30} = h - 2 * d_{\text{char}}(h)_{30} - 2 * k_0 * d_0 = 20,0 - 2,1 * 2 - 2 * 1 * 0,7 = 14,4 \text{ cm},$$

$$b_{\text{ef}30} = b - 2 * d_{\text{char}}(b)_{30} - 2 * k_0 * d_0 = 20,0 - 2,1 * 2 - 2 * 1 * 0,7 = 14,4 \text{ cm},$$

$$I_{\text{ef}30} = \frac{b_{\text{ef}30} * h_{\text{ef}30}^3}{12} = \frac{14,400 * 14,400^3}{12} = 3583,2 \text{ cm}^4,$$

$$i_{\text{ef}30} = \sqrt{\frac{I_{\text{ef}30}}{A_i}} = \sqrt{\frac{3583,181}{0,144 * 0,144}} = 4,2 \text{ cm},$$

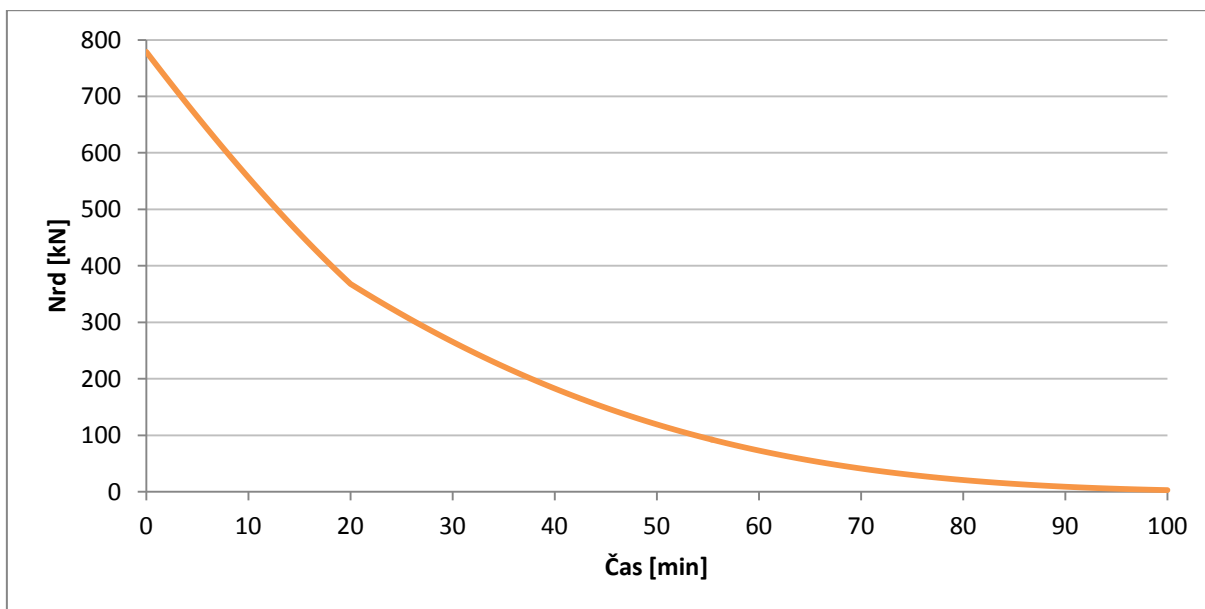
$$\lambda_{\text{rel}30} = \frac{l_{\text{uz}}}{\pi * i_{\text{ef}30}} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{316}{3,14 * 4,157} * \sqrt{\frac{2,4}{740}} = 1,3,$$

$$k_y = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{\text{ef}30} - 0,3) + \lambda_{\text{rel}30}) = 0,5 * (1 + 0,200 * (1,3 - 0,3) + 1,3^2) = 1,4$$

$$k_c = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{\text{rel}}^2}} = \frac{1}{1,4 + \sqrt{1,4^2 - 1,3^2}} = 0,5,$$

$$f_{c,d,f30} = k_{\text{mod,fi,t}} * k_{\text{fi}} * \frac{f_{c,k}}{\gamma} = 1,0 * 1,25 * \frac{2,1}{1} = 2,6,$$

$$R_{\text{fi,d}30} = k_c * b_{\text{ef}30} * h_{\text{ef}30} * f_{c,d,f30} = 0,5 * 14,4 * 14,4 * 2,6 = 265,6 \text{ kN}.$$



Grafikon B2: Krivulja požarne odpornosti stebra za standardni požar določene po metodi z zmanjšanim prečnim prerezom skladno s SIST EN 1995-1-

»Ta stran je namenoma prazna«

PRILOGA C: IZRAČUN POŽARNE ODPORNOSTI LEGE IN STEBRA V POGOJIH NARAVNEGA POŽARA PO METODI ZMANJŠANEGA PREČNEGA PREREZA

Postopek izračuna je enak kakor v Prilogi B, razlika je samo v tem, da so debeline oglenjenja $d_{\text{char}}(h)_t$ in $d_{\text{char}}(b)_t$ za lego in steber privzete iz toplotne analize ter vpliv koeficient k_0 ni več linearen do 20 minute, ampak do časa začetka oglenjenja za lego in steber, ki je odvisen od posameznega požarnega scenarija.

Prikazan je izračun za referenčni primer pri času $t = 30\text{min}$. Za ostale čase od 0 do 100 minut in ostale primere se izračun izvede po istem postopku ob upoštevanju enačb od B.1 do B.23.

Vhodni podatki za lego:

$$b = 20 \text{ cm},$$

$$h = 24\text{cm},$$

$$\beta_0 = 0,07\text{cm/min},$$

$$f_{m,k} = 2,4,$$

$$\gamma = 1,$$

$$d_0 = 0,7\text{cm},$$

$$k_{fi} = 1,25,$$

$$k_{\text{mod}} = 1.$$

Izračun za lego

$$d_{\text{char}}(h)_{30} = 1,958 \text{ cm},$$

$$d_{\text{char}}(b)_{30} = 1,846 \text{ cm},$$

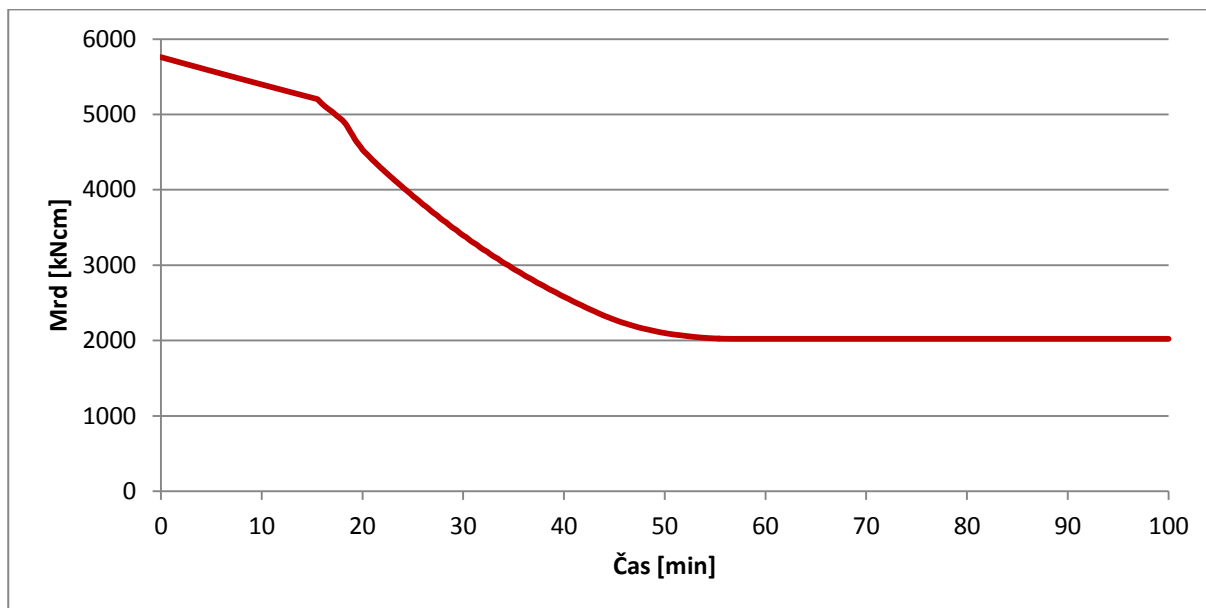
$$h_{\text{ef}30} = h - d_{\text{char}}(h)_{30} - k_0 * d_0 = 24,0 - 1,958 - 1 * 0,7 = 21,342 \text{ cm},$$

$$b_{\text{ef}30} = b - 2 * d_{\text{char}}(b)_{30} - k_0 * d_0 = 20 - 1,846 * 2 - 2 * 1 * 0,7 = 14,909 \text{ cm},$$

$$W_{\text{rez}30} = \frac{b_{\text{ef}30} * h_{\text{ef}30}^2}{6} = \frac{14,909 * 21,342^2}{6} = 1131,837 \text{ cm}^3,$$

$$f_{fi,m,d30} = k_{\text{mod},fi30} * k_{fi} * \frac{f_{m,k}}{\gamma} = 1,0 * 1,25 * \frac{2,4}{1} = 3,000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2},$$

$$R_{fi,d30} = W_{ef30} * f_{fi,m,d30} = 1131,837 * 3,000 = 3395,510 \text{ kNcm.}$$



Grafikon C1: Krivulja požarne odpornosti lege za referenčni primer v pogojih naravnega požara določena po metodi zmanjšane prečnega prereza skladno s SIST 1991-1-2

Vhodni podatki za steber:

$$b = 20 \text{ cm,}$$

$$h = 20 \text{ cm,}$$

$$\beta_0 = 0,07 \text{ cm/min,}$$

$$f_{c,0,k} = 2,4,$$

$$\gamma = 1,$$

$$d_0 = 0,7 \text{ cm,}$$

$$k_{fi} = 1,25,$$

$$k_{mod} = 1,$$

$$\beta_c = 0,200,$$

$$L_u = 340 \text{ cm} - 24 \text{ cm} = 316 \text{ cm,}$$

$$E_{0,05} = 740 \text{ kN/cm}^2.$$

Izračun za steber

$$d_{\text{char}}(h)_{30} = 1,958 \text{ cm},$$

$$d_{\text{char}}(b)_{30} = 1,958 \text{ cm},$$

$$h_{\text{ef}30} = h - 2 * d_{\text{char}}(h)_{30} - 2 * k_0 * d_0 = 20,0 - 1,958 * 2 - 2 * 1 * 0,7 = 14,685 \text{ cm},$$

$$b_{\text{ef}30} = b - 2 * d_{\text{char}}(b)_{30} - 2 * k_0 * d_0 = 20,0 - 1,958 * 2 - 2 * 1 * 0,7 = 14,685 \text{ cm},$$

$$I_{\text{ef}30} = \frac{b_{\text{ef}30} * h_{\text{ef}30}^3}{12} = \frac{14,685 * 14,685^3}{12} = 3875,315 \text{ cm}^4,$$

$$i_{\text{ef}30} = \sqrt{\frac{I_{\text{ef}30}}{A_i}} = \sqrt{\frac{3875,315}{0,14685 * 0,14685}} = 4,239 \text{ cm},$$

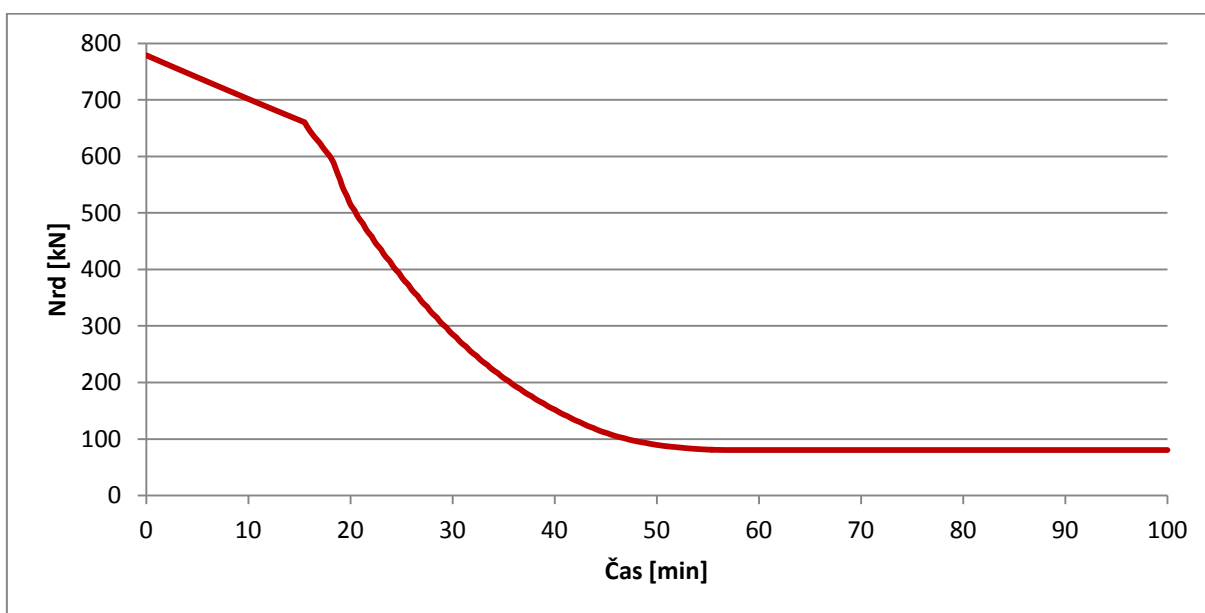
$$\lambda_{\text{rel}30} = \frac{l_{\text{uz}}}{\pi * i_{\text{ef}30}} * \sqrt{\frac{f_{\text{c},0,\text{k}}}{E_{0,05}}} = \frac{316}{3,14 * 4,239} * \sqrt{\frac{2,4}{740}} = 1,265,$$

$$k_y = 0,5 * (1 + \beta_c * (\lambda_{\text{ef}30i} - 0,3) + \lambda_{\text{ef}30}) = 0,5 * (1 + 0,200 * (1,265 - 0,3) + 1,265) = 1,396,$$

$$k_c = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{\text{ef}}^2}} = \frac{1}{1,396 + \sqrt{1,396^2 - 1,265^2}} = 0,503,$$

$$f_{\text{c},\text{d},\text{f}30} = k_{\text{mod},\text{fi}} * k_{\text{fi}} * \frac{f_{\text{c},\text{k}}}{\gamma} = 1,0 * 1,25 * \frac{2,1}{1} = 2,625,$$

$$R_{\text{fi},\text{d}30} = k_c * b_{\text{ef}30} * h_{\text{ef}30} * f_{\text{c},\text{d},\text{f}30} = 0,503 * 14,685 * 14,685 * 2,625 = 284,801 \text{ kN}.$$



Grafikon C2: Krivulja požarne odpornosti stebra za referenčni primer v pogojih naravnega požara določena po metodi zmanjšane prečnega prereza skladno s SIST 1991-1-2

»Ta stran je namenoma prazna«