

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb



**Studijní program: Integrovaná bezpečnost staveb**

**Diplomová práce**

**POŽÁRNÍ HLEDISKO DVOJITÉHO  
ZATEPLOVÁNÍ ETICS**

**FIRE ASPECTS OF THE ETICS DOUBLE INSULATION**

Bc. Jan Štecher

vedoucí práce: Ing. arch. Bc. Petr Hejtmánek, Ph.D.

2024

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Štecher Jméno: Jan Osobní číslo: 484583  
Fakulta/ústav: Fakulta stavební  
Zadávací katedra/ústav: Katedra konstrukcí pozemních staveb  
Studijní program: Integrovaná bezpečnost staveb

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Požární hledisko dvojitého zateplování ETICS

Název diplomové práce anglicky:

Fire Aspects of the ETICS double insulation

Pokyny pro vypracování:

- literární rešerše požadavků na (dvojitě/zdvojené) zateplování ETICS v ČR
- literární rešerše požadavků na (dvojitě/zdvojené) zateplování ETICS v zahraničí
- vyhodnocení velkorozměrových požárních zkoušek ETICS

Seznam doporučené literatury:

- zahraniční odborné články,
- normy řady ČSN,
- edice Zabraňujeme škodám

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. arch. Bc. Petr Hejtmánek, Ph.D. architektura a interakce budov se životním prostředím UCEEB

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: 24.09.2023

Termín odevzdání diplomové práce: 08.01.2024

Platnost zadání diplomové práce: \_\_\_\_\_

Ing. arch. Bc. Petr Hejtmánek, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Petr Hájek, CSc.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Jiří Máca, CSc.  
podpis diktařka(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta



---

## Obsah

<b>Obsah</b> .....	<b>3</b>
<b>Seznam obrázků</b> .....	<b>5</b>
<b>Seznam tabulek</b> .....	<b>11</b>
<b>Prohlášení</b> .....	<b>12</b>
<b>Poděkování</b> .....	<b>13</b>
<b>Abstrakt</b> .....	<b>14</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>14</b>
<b>Seznam použitých symbolů a zkratk</b> .....	<b>15</b>
<b>1 Úvod</b> .....	<b>17</b>
1.1 Motivace.....	17
1.2 Stanovení výzkumné otázky .....	17
1.3 Cíle práce .....	18
<b>2 Důvody pro použití dvojitého zateplení</b> .....	<b>19</b>
<b>3 Dvojité zateplení</b> .....	<b>20</b>
<b>4 Problémy při dvojitém zateplení</b> .....	<b>21</b>
4.1 Terminologie .....	21
4.2 Nepožární problematika .....	21
4.3 Požární problematika .....	21
<b>5 Řešení dvojitého zateplení</b> .....	<b>23</b>
5.1 Česká republika.....	23
5.1.1 Nepožární požadavky .....	23
5.1.2 Požární požadavky .....	24
5.2 Německo .....	25
5.2.1 Nepožární požadavky .....	25
5.2.2 Požární požadavky .....	26
5.2.3 Neřešené části .....	30
5.3 Polsko.....	30
5.3.1 Nepožární požadavky .....	31
5.3.2 Požární požadavky .....	31
5.4 Rakousko.....	32
5.4.1 Nepožární požadavky .....	32
5.4.2 Požární požadavky .....	33
5.5 Maďarsko .....	35
5.5.1 Nepožární požadavky .....	35

5.5.2	Požární požadavky .....	35
5.6	Francie.....	36
5.6.1	Nepožární požadavky .....	37
5.6.2	Požární požadavky.....	37
5.7	Slovensko .....	42
5.7.1	Nepožární požadavky .....	42
5.7.2	Požární požadavky.....	43
<b>6</b>	<b>Příprava pro požární zkoušku dvojitého zateplení.....</b>	<b>46</b>
6.1	Výběr specifického detailu.....	46
6.2	Podstata zkoušky.....	46
6.3	Stanovení teplotního namáhání .....	47
6.4	Simulace požární zkoušky pomocí softwaru .....	50
6.4.1	Okrajové podmínky simulace .....	50
6.4.2	Výsledky 1D modelu vedení tepla.....	52
6.5	Návrh řešení krycí vrstvy .....	54
<b>7</b>	<b>Velkorozměrové zkoušky.....</b>	<b>56</b>
7.1	Základní popis.....	56
7.2	Umístění termočlánků .....	58
7.3	Stanovení hodnocených kritérií velkorozměrové zkoušky .....	59
7.4	Grafické vyhodnocení pomocí programu .....	59
7.5	Velkorozměrová zkouška EPS ze dne 5. 4. 2023 .....	62
7.6	Velkorozměrová zkouška MW ze dne 4. 7. 2023 .....	64
7.7	Velkorozměrová zkouška s bariérou ze dne 4. 9. 2023 .....	67
7.8	Porovnání velkorozměrových zkoušek .....	71
<b>8</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>74</b>
	<b>Literatura .....</b>	<b>76</b>
	<b>Příloha 1 – Průměrné rozložení vnějších teplot velkorozměrové zkoušky EPS .....</b>	<b>78</b>
	<b>Příloha 2 – Průměrné rozložení vnějších teplot velkorozměrové zkoušky MW .....</b>	<b>108</b>
	<b>Příloha 3 – Průměrné rozložení vnějších teplot velkorozměrové zkoušky s bariérou ...</b>	<b>138</b>
	<b>Příloha 4 – Průměrné rozložení vnitřních teplot velkorozměrové zkoušky EPS.....</b>	<b>168</b>
	<b>Příloha 5 – Průměrné rozložení vnitřních teplot velkorozměrové zkoušky MW .....</b>	<b>198</b>
	<b>Příloha 6 – Průměrné rozložení vnitřních teplot velkorozměrové zkoušky s bariérou .</b>	<b>209</b>

## Seznam obrázků

<i>Obr. 1 – Vývoj požadavků na součinitel prostupu tepla a tepelného odporu vnějších stěn [2]</i>	19
<i>Obr. 2 – Schématický řez využití principu dvojitého zateplení pomocí ETICS .....</i>	20
<i>Obr. 3 – Řešení specifického detailu nadpraží oken při zdvojeném zateplení [7].....</i>	25
<i>Obr. 4 – Požární bariéry pro ETICS s tloušťkou do 300 mm .....</i>	29
<i>Obr. 5 – Požární bariéry pro ETICS s tloušťkou od 300 do 400 mm .....</i>	30
<i>Obr. 6 – Průběžná požární bariéra nad nadpražím otvoru - Rakousko .....</i>	34
<i>Obr. 7 – Požární bariéra s přesahem 300 mm na každou stranu nad nadpražím otvoru - Rakousko.....</i>	35
<i>Obr. 8 – Požární bariéra s přesahem 300 mm na každou stranu nad nadpražím otvoru – Maďarsko.....</i>	36
<i>Obr. 9 – Diagram zhodnocení podmínek použití řešení proti šíření požáru [15] .....</i>	38
<i>Obr. 10 – Řez požární bariérou podle řešení A s tloušťkou EPS do 200 mm.....</i>	39
<i>Obr. 11 – Průběžná požární bariéra v nadpraží otvoru – řešení A.....</i>	39
<i>Obr. 12 – Řešení B proti šíření požáru, etapa I [15].....</i>	40
<i>Obr. 13 – Řešení B proti šíření požáru, etapa II [15].....</i>	40
<i>Obr. 14 – Řešení E proti šíření požáru .....</i>	41
<i>Obr. 15 – Řešení T proti šíření požáru po povrchu ETICS [17].....</i>	41
<i>Obr. 16 – Požární bariéra nad nadpražím otvoru – Slovensko.....</i>	44
<i>Obr. 17 – Požární bariéra přímo v nadpraží otvoru .....</i>	44
<i>Obr. 18 – Instalace požárních bariér na celý objekt .....</i>	45
<i>Obr. 19 – Porovnání průběhu teplot termočlátku č. 8 s teplotní normovou křivkou ISO 834 a křivkou vnějšího požáru .....</i>	48
<i>Obr. 20 – Porovnání průběhu teplot termočlátku č. 6 s teplotní normovou křivkou ISO 834 a křivkou vnějšího požáru .....</i>	49
<i>Obr. 21 – Rozdíl teplot termočlátku č. 8 oproti teplotní normové křivce ISO 834.....</i>	49
<i>Obr. 22 – Porovnání průběhu teplot termočlátku č. 8 se speciální teplotní křivkou .....</i>	49
<i>Obr. 23 – Rozdíl teplot termočlátku č. 8 oproti speciální teplotní křivce.....</i>	50
<i>Obr. 24 – Závislost součinitele tepelné vodivosti minerální vaty na teplotě .....</i>	51
<i>Obr. 25 – Uživatelské rozhraní programu Argos pro 1D model vedení tepla.....</i>	51
<i>Obr. 26 – Průběh teplot 1D modelu s tloušťkou krycí vrstvy 20 mm minerální vaty s vyznačenou hranicí mezi minerální vatou a EPS ze softwaru Argos pro výpočtový čas 600 s .....</i>	53
<i>Obr. 27 – Průběh teplot 1D modelu s tloušťkou krycí vrstvy 20 mm minerální vaty s vyznačenou hranicí mezi minerální vatou a EPS ze softwaru Argos pro výpočtový čas 3 600 s .....</i>	53
<i>Obr. 28 – Průběh teplot 1D modelu s tloušťkou krycí vrstvy 55 mm minerální vaty s vyznačenou hranicí mezi minerální vatou a EPS ze softwaru Argos pro výpočtový čas 600 s .....</i>	53
<i>Obr. 29 – Průběh teplot na rozhraní minerální vaty a EPS pro dané 1D modely .....</i>	54
<i>Obr. 30 – Návrh řešení krycí vrstvy s požární bariérou .....</i>	55

<i>Obr. 31 – Schéma návrhu řešení krycí vrstvy pro zdvojeny ETICS.....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 32 – Pohled na hlavní a boční křídlo uskutečněné zkoušky, zdroj ČVUT.....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 33 – Rozmístění termočlánků pro velkorozměrovou zkoušku [25].....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 34 – Porovnání teplotních rozložení vnitřních termočlánků v časovém intervalu 20-22 minut a) zkouška EPS, b) zkouška MW, c) zkouška s bariérou .....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 35 – Porovnání teplotních rozložení vnitřních termočlánků v časovém intervalu 40-42 minut a) zkouška EPS, b) zkouška MW, c) zkouška s bariérou .....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 36 – Pozice zadávaných teplot v programu OriginPro.....</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 37 – Výpočetní síť pro rozložení teplot .....</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 38 – Požární zkouška EPS: a) rozevírání zateplovacího systému v nadpraží spalovací komory, b) plamenně hořící vytavený EPS ze souvrství ETICS, c) pohled svrchu do souvrství ETICS, d) detail kotvicího prvku .....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 39 – Pohled na zkoušku EPS po odstranění fasádní omítky .....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 40 – Požární zkouška MW: a) odpadnutá omítka pod sekundárním otvorem, b) stav nadpraží při dohořívání dřevěné hranice, c) rozevírání nadpraží zateplovacího systému, d) vykreslení kotvicích prvků, e) podélný řez minerální vaty, f) příčný řez minerální vatou ...</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 41 – Pohled na zkoušku MW po odstranění fasádní omítky.....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 42 – Rozvržení tepelných izolantů při velkorozměrové zkoušce s bariérou [28] .....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 43 – Požární zkouška ETICS s bariérou: a) rozevírání nadpraží zateplovacího systému v nadpraží nad spalovací komorou, b) plamenně hořící odtavený EPS na podlaze před spalovací komorou, c) požární bariéra nad sekundárním otvorem, d) puchýře na omítce.....</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 44 – Pohled na zkoušku s bariérou po odstranění fasádní omítky.....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 45 – Porovnání nárůstu teplot na interních termočláncích při zkoušce MW.....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 46 – Porovnání teplot jednotlivých zkoušek na interním termočlánci č. 17.....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 47 – Porovnání teplot jednotlivých zkoušek na interním termočlánci č. 19.....</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 48 – Porovnání pohledů: a) zkouška s EPS, b) zkouška s bariérou.....</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 49 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 0–2 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 50 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 2–4 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 51 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 4–6 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 52 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 6–8 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 53 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 8–10 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 54 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 10–12 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 55 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 12–14 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 56 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 14–16 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 57 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 16–18 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 58 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 18–20 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>87</i>
<i>Obr. 59 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 20–22 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>88</i>
<i>Obr. 60 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 22–24 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>89</i>
<i>Obr. 61 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 24–26 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>90</i>

---

<i>Obr. 62 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 26–28 minuty pro zkoušku EPS</i> .....	91
<i>Obr. 63 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 28–30 minuty pro zkoušku EPS</i> .....	92
<i>Obr. 64 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 30–32 minuty pro zkoušku EPS</i> .....	93
<i>Obr. 65 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 32–34 minuty pro zkoušku EPS</i> .....	94
<i>Obr. 66 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 34–36 minuty pro zkoušku EPS</i> .....	95
<i>Obr. 67 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 36–38 minuty pro zkoušku EPS</i> .....	96
<i>Obr. 68 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 38–40 minuty pro zkoušku EPS</i> .....	97
<i>Obr. 69 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 40–42 minuty pro zkoušku EPS</i> .....	98
<i>Obr. 70 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 42–44 minuty pro zkoušku EPS</i> .....	99
<i>Obr. 71 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 44–46 minuty pro zkoušku EPS</i> .....	100
<i>Obr. 72 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 46–48 minuty pro zkoušku EPS</i> .....	101
<i>Obr. 73 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 48–50 minuty pro zkoušku EPS</i> .....	102
<i>Obr. 74 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 50–52 minuty pro zkoušku EPS</i> .....	103
<i>Obr. 75 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 52–54 minuty pro zkoušku EPS</i> .....	104
<i>Obr. 76 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 54–56 minuty pro zkoušku EPS</i> .....	105
<i>Obr. 77 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 56–58 minuty pro zkoušku EPS</i> .....	106
<i>Obr. 78 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 58–60 minuty pro zkoušku EPS</i> .....	107
<i>Obr. 79 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 0–2 minuty pro zkoušku MW</i> .....	108
<i>Obr. 80 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 2–4 minuty pro zkoušku MW</i> .....	109
<i>Obr. 81 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 4–6 minuty pro zkoušku MW</i> .....	110
<i>Obr. 82 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 6–8 minuty pro zkoušku MW</i> .....	111
<i>Obr. 83 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 8–10 minuty pro zkoušku MW</i> .....	112
<i>Obr. 84 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 10–12 minuty pro zkoušku MW</i> .....	113
<i>Obr. 85 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 12–14 minuty pro zkoušku MW</i> .....	114
<i>Obr. 86 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 14–16 minuty pro zkoušku MW</i> .....	115
<i>Obr. 87 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 16–18 minuty pro zkoušku MW</i> .....	116
<i>Obr. 88 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 18–20 minuty pro zkoušku MW</i> .....	117
<i>Obr. 89 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 20–22 minuty pro zkoušku MW</i> .....	118
<i>Obr. 90 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 22–24 minuty pro zkoušku MW</i> .....	119
<i>Obr. 91 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 24–26 minuty pro zkoušku MW</i> .....	120
<i>Obr. 92 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 26–28 minuty pro zkoušku MW</i> .....	121
<i>Obr. 93 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 28–30 minuty pro zkoušku MW</i> .....	122
<i>Obr. 94 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 30–32 minuty pro zkoušku MW</i> .....	123
<i>Obr. 95 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 32–34 minuty pro zkoušku MW</i> .....	124
<i>Obr. 96 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 34–36 minuty pro zkoušku MW</i> .....	125
<i>Obr. 97 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 36–38 minuty pro zkoušku MW</i> .....	126
<i>Obr. 98 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 38–40 minuty pro zkoušku MW</i> .....	127
<i>Obr. 99 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 40–42 minuty pro zkoušku MW</i> .....	128

---

<i>Obr. 100 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 42–44 minuty pro zkoušku MW .....</i>	<i>129</i>
<i>Obr. 101 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 44–46 minuty pro zkoušku MW .....</i>	<i>130</i>
<i>Obr. 102 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 46–48 minuty pro zkoušku MW .....</i>	<i>131</i>
<i>Obr. 103 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 48–50 minuty pro zkoušku MW .....</i>	<i>132</i>
<i>Obr. 104 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 50–52 minuty pro zkoušku MW .....</i>	<i>133</i>
<i>Obr. 105 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 52–54 minuty pro zkoušku MW .....</i>	<i>134</i>
<i>Obr. 106 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 54–56 minuty pro zkoušku MW .....</i>	<i>135</i>
<i>Obr. 107 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 56–58 minuty pro zkoušku MW .....</i>	<i>136</i>
<i>Obr. 108 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 58–60 minuty pro zkoušku MW .....</i>	<i>137</i>
<i>Obr. 109 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 0–2 minuty pro zkoušku s bariérou .....</i>	<i>138</i>
<i>Obr. 110 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 2–4 minuty pro zkoušku s bariérou .....</i>	<i>139</i>
<i>Obr. 111 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 4–6 minuty pro zkoušku s bariérou .....</i>	<i>140</i>
<i>Obr. 112 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 6–8 minuty pro zkoušku s bariérou .....</i>	<i>141</i>
<i>Obr. 113 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 8–10 minuty pro zkoušku s bariérou .....</i>	<i>142</i>
<i>Obr. 114 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 10–12 minuty pro zkoušku s bariérou .....</i>	<i>143</i>
<i>Obr. 115 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 12–14 minuty pro zkoušku s bariérou .....</i>	<i>144</i>
<i>Obr. 116 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 14–16 minuty pro zkoušku s bariérou .....</i>	<i>145</i>
<i>Obr. 117 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 16–18 minuty pro zkoušku s bariérou .....</i>	<i>146</i>
<i>Obr. 118 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 18–20 minuty pro zkoušku s bariérou .....</i>	<i>147</i>
<i>Obr. 119 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 20–22 minuty pro zkoušku s bariérou .....</i>	<i>148</i>
<i>Obr. 120 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 22–24 minuty pro zkoušku s bariérou .....</i>	<i>149</i>
<i>Obr. 121 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 24–26 minuty pro zkoušku s bariérou .....</i>	<i>150</i>
<i>Obr. 122 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 26–28 minuty pro zkoušku s bariérou .....</i>	<i>151</i>
<i>Obr. 123 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 28–30 minuty pro zkoušku s bariérou .....</i>	<i>152</i>
<i>Obr. 124 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 30–32 minuty pro zkoušku s bariérou .....</i>	<i>153</i>
<i>Obr. 125 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 32–34 minuty pro zkoušku s bariérou .....</i>	<i>154</i>
<i>Obr. 126 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 34–36 minuty pro zkoušku s bariérou .....</i>	<i>155</i>
<i>Obr. 127 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 36–38 minuty pro zkoušku s bariérou .....</i>	<i>156</i>
<i>Obr. 128 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 38–40 minuty pro zkoušku s bariérou .....</i>	<i>157</i>
<i>Obr. 129 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 40–42 minuty pro zkoušku s bariérou .....</i>	<i>158</i>
<i>Obr. 130 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 42–44 minuty pro zkoušku s bariérou .....</i>	<i>159</i>
<i>Obr. 131 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 44–46 minuty pro zkoušku s bariérou .....</i>	<i>160</i>
<i>Obr. 132 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 46–48 minuty pro zkoušku s bariérou .....</i>	<i>161</i>
<i>Obr. 133 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 48–50 minuty pro zkoušku s bariérou .....</i>	<i>162</i>
<i>Obr. 134 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 50–52 minuty pro zkoušku s bariérou .....</i>	<i>163</i>
<i>Obr. 135 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 52–54 minuty pro zkoušku s bariérou .....</i>	<i>164</i>
<i>Obr. 136 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 54–56 minuty pro zkoušku s bariérou .....</i>	<i>165</i>
<i>Obr. 137 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 56–58 minuty pro zkoušku s bariérou .....</i>	<i>166</i>

---

<i>Obr. 138 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 58–60 minuty pro zkoušku s bariérou .....</i>	<i>167</i>
<i>Obr. 139 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 0–2 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>168</i>
<i>Obr. 140 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 2–4 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>169</i>
<i>Obr. 141 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 4–6 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>170</i>
<i>Obr. 142 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 6–8 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>171</i>
<i>Obr. 143 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 8–10 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>172</i>
<i>Obr. 144 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 10–12 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>173</i>
<i>Obr. 145 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 12–14 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>174</i>
<i>Obr. 146 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 14–16 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>175</i>
<i>Obr. 147 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 16–18 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>176</i>
<i>Obr. 148 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 18–20 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>177</i>
<i>Obr. 149 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 20–22 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>178</i>
<i>Obr. 150 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 22–24 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>179</i>
<i>Obr. 151 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 24–26 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>180</i>
<i>Obr. 152 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 26–28 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>181</i>
<i>Obr. 153 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 28–30 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>182</i>
<i>Obr. 154 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 30–32 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>183</i>
<i>Obr. 155 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 32–34 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>184</i>
<i>Obr. 156 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 34–36 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>185</i>
<i>Obr. 157 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 36–38 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>186</i>
<i>Obr. 158 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 38–40 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>187</i>
<i>Obr. 159 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 40–42 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>188</i>
<i>Obr. 160 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 42–44 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>189</i>
<i>Obr. 161 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 44–46 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>190</i>
<i>Obr. 162 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 46–48 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>191</i>
<i>Obr. 163 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 48–50 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>192</i>
<i>Obr. 164 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 50–52 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>193</i>
<i>Obr. 165 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 52–54 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>194</i>
<i>Obr. 166 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 54–56 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>195</i>
<i>Obr. 167 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 56–58 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>196</i>
<i>Obr. 168 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 58–60 minuty pro zkoušku EPS.....</i>	<i>197</i>
<i>Obr. 169 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 0–40 minuty pro zkoušku MW .....</i>	<i>198</i>
<i>Obr. 170 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 40–42 minuty pro zkoušku MW .....</i>	<i>199</i>
<i>Obr. 171 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 42–44 minuty pro zkoušku MW .....</i>	<i>200</i>
<i>Obr. 172 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 44–46 minuty pro zkoušku MW .....</i>	<i>201</i>
<i>Obr. 173 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 46–48 minuty pro zkoušku MW .....</i>	<i>202</i>
<i>Obr. 174 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 48–50 minuty pro zkoušku MW .....</i>	<i>203</i>
<i>Obr. 175 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 50–52 minuty pro zkoušku MW .....</i>	<i>204</i>

---

<i>Obr. 176 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 52–54 minuty pro zkoušku MW.....</i>	<i>205</i>
<i>Obr. 177 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 54–56 minuty pro zkoušku MW.....</i>	<i>206</i>
<i>Obr. 178 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 56–58 minuty pro zkoušku MW.....</i>	<i>207</i>
<i>Obr. 179 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 58–60 minuty pro zkoušku MW.....</i>	<i>208</i>
<i>Obr. 180 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 0–2 minuty pro zkoušku s bariérou.....</i>	<i>209</i>
<i>Obr. 181 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 2–4 minuty pro zkoušku s bariérou.....</i>	<i>210</i>
<i>Obr. 182 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 4–6 minuty pro zkoušku s bariérou.....</i>	<i>211</i>
<i>Obr. 183 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 6–8 minuty pro zkoušku s bariérou.....</i>	<i>212</i>
<i>Obr. 184 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 8–10 minuty pro zkoušku s bariérou.....</i>	<i>213</i>
<i>Obr. 185 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 10–12 minuty pro zkoušku s bariérou.....</i>	<i>214</i>
<i>Obr. 186 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 12–14 minuty pro zkoušku s bariérou.....</i>	<i>215</i>
<i>Obr. 187 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 14–16 minuty pro zkoušku s bariérou.....</i>	<i>216</i>
<i>Obr. 188 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 16–18 minuty pro zkoušku s bariérou.....</i>	<i>217</i>
<i>Obr. 189 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 18–20 minuty pro zkoušku s bariérou.....</i>	<i>218</i>
<i>Obr. 190 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 20–22 minuty pro zkoušku s bariérou.....</i>	<i>219</i>
<i>Obr. 191 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 22–24 minuty pro zkoušku s bariérou.....</i>	<i>220</i>
<i>Obr. 192 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 24–26 minuty pro zkoušku s bariérou.....</i>	<i>221</i>
<i>Obr. 193 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 26–28 minuty pro zkoušku s bariérou.....</i>	<i>222</i>
<i>Obr. 194 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 28–30 minuty pro zkoušku s bariérou.....</i>	<i>223</i>
<i>Obr. 195 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 30–32 minuty pro zkoušku s bariérou.....</i>	<i>224</i>
<i>Obr. 196 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 32–34 minuty pro zkoušku s bariérou.....</i>	<i>225</i>
<i>Obr. 197 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 34–36 minuty pro zkoušku s bariérou.....</i>	<i>226</i>
<i>Obr. 198 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 36–38 minuty pro zkoušku s bariérou.....</i>	<i>227</i>
<i>Obr. 199 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 38–40 minuty pro zkoušku s bariérou.....</i>	<i>228</i>
<i>Obr. 200 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 40–42 minuty pro zkoušku s bariérou.....</i>	<i>229</i>
<i>Obr. 201 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 42–44 minuty pro zkoušku s bariérou.....</i>	<i>230</i>
<i>Obr. 202 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 44–46 minuty pro zkoušku s bariérou.....</i>	<i>231</i>
<i>Obr. 203 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 46–48 minuty pro zkoušku s bariérou.....</i>	<i>232</i>
<i>Obr. 204 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 48–50 minuty pro zkoušku s bariérou.....</i>	<i>233</i>
<i>Obr. 205 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 50–52 minuty pro zkoušku s bariérou.....</i>	<i>234</i>
<i>Obr. 206 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 52–54 minuty pro zkoušku s bariérou.....</i>	<i>235</i>
<i>Obr. 207 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 54–56 minuty pro zkoušku s bariérou.....</i>	<i>236</i>
<i>Obr. 208 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 56–58 minuty pro zkoušku s bariérou.....</i>	<i>237</i>
<i>Obr. 209 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 58–60 minuty pro zkoušku s bariérou.....</i>	<i>238</i>



---

**Seznam tabulek**

<i>Tab. 1 – Použitelnosti materiálu dle požární výšky budovy s ohledem na klasifikaci hořlavosti dle DIN 4102-1 a EN 13501-1 .....</i>	<i>26</i>
<i>Tab. 2 – Požární klasifikace zdvojeného systému .....</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 3 – Stanovení celkové maximální tloušťky a celkové maximální hmotnost v závislosti na použitých tepelněizolačních materiálech – Německo [9].....</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 4 – Limitní hodnoty rovinnosti ETICS pro Polsko, přeloženo [11] .....</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 5 – Limitní hodnoty rovinnosti ETICS pro Rakousko, přeloženo [12] .....</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 6 – Kritéria pro použití řešení proti šíření požáru v závislosti na omítkovém systému ...</i>	<i>40</i>
<i>Tab. 7 – Stanovení celkové maximální tloušťky a celkové maximální hmotnost v závislosti na použitých tepelněizolačních materiálech – Slovensko [19] .....</i>	<i>44</i>
<i>Tab. 8 – Materiálové charakteristiky použitých materiálů v 1D modelu vedení tepla .....</i>	<i>51</i>
<i>Tab. 9 – Zhodnocení šíření požáru pro velkorozměrovou zkoušku EPS [25].....</i>	<i>62</i>
<i>Tab. 10 – Zhodnocení šíření požáru pro velkorozměrovou zkoušku MW [27].....</i>	<i>65</i>
<i>Tab. 11 – Zhodnocení šíření požáru pro velkorozměrovou zkoušku s bariérou [28] .....</i>	<i>69</i>

## **Prohlášení**

Čestně prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Požární hledisko dvojitého zateplování ETICS“ zpracoval samostatně a pod odborným vedením Ing. arch. Bc. Petra Hejtmánka, Ph.D. Veškeré použité materiály a podklady jsou uvedené v seznamu použité literatury.

Dále tímto prohlašuji, že nemám námitek proti použití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

Obrazová dokumentace ze všech velkorozměrových zkoušek je převzata od účastníků rozborového úkolu „Požární bezpečnost kontaktních zateplovacích systému fasád (ETICS)“, který je zpracováván pro Českou agenturu pro standardizaci.

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval celé rodině a nejbližším za bezmeznou podporu během celého studia a zpracování této práce. Dále děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. arch. Bc. Petru Hejtmánkovi Ph.D, za jeho vedení, trpělivost, ochotu a v neposlední řadě za cenné a odborné rady při zpracování této práce.

.....

Bc. Jan Štecher

## Abstrakt

Práce řeší požární hledisko a rizika dvojitého zateplování pomocí kontaktního zateplovacího systému (dále jen ETICS).

V první části je rozebráno technické řešení dvojitého zateplení a motivace (technické, ekonomické, environmentální důvody) k jeho provádění a také jeho technická omezení.

Druhá část seznamuje s nepožárními a požárními požadavky dvojitého zateplení v České republice a ve vybraných státech Evropské unie. Rozebrány jsou požadavky Německa, Polska, Rakouska, Maďarska nebo Francie, přičemž podklady jsou v některých případech legislativní (normové), v některých případech jde o technická doporučení nezávislých vědeckých institucí nebo doporučení průmyslu.

V poslední části je provedena analýza velkorozměrových požárních zkoušek ETICS (konkrétně celoplošný expandovaný polystyren, celoplošné minerální vlákno a řešení s požárními bariérami výšky 200 mm) - vyhodnocení rozložení teplot pomocí programu Origin, vizuální hodnocení, porovnání kritérií apod. Dále je provedena 1D teplotní analýza prohřívání souvrství tepelných izolantů. Obě analýzy poslouží k návrhu možného řešení dvojitého zateplení.

### Klíčová slova

fasáda; dvojité zateplení; požární bezpečnost fasád; velkorozměrová požární zkouška; zateplení stavby; dvojitý ETICS; OriginPro; Německo; Polsko; Rakousko; Maďarsko; Francie; kontaktní zateplovací systém; požární bariéra; požární pruh

## Abstract

The thesis solves the fire aspect and the risks of double insulation using a contact insulation system (ETICS).

The first part discusses the technical solution of double insulation and the motivations (technical, economic, environmental reasons) for its implementation as well as its technical limitations.

The second part introduces the non-combustible and combustible requirements of double insulation in the Czech Republic and in selected European Union countries. The requirements of Germany, Poland, Austria, Hungary or France are analysed, and the bases are in some cases legislative (standard), in some cases technical recommendations of independent scientific institutions or industry recommendations.

In the last part, an analysis of large-scale fire testing of ETICS (specifically full expanded polystyrene, full mineral fibre and 200 mm high fire barrier solutions) is carried out - evaluation of temperature distribution using Origin, visual assessment, comparison of criteria, etc. A 1D thermal analysis of the heating of the thermal insulation layers is carried out. Both analyses are used to design a possible solution for double insulation.

### Keywords

façade; double insulation; fire safety of facades; large-scale fire test; double ETICS; OriginPro; Germany; Poland; Austria; Hungary; France; external thermal insulation composite system; fire barrier

---

## Seznam použitých symbolů a zkratek

### Latinské symboly

$A$	$\text{m}^2$	Plocha
$c$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	Měrná tepelná kapacita
$i_s$	$\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$	Index šíření plamene po povrchu
$t$	min	Čas

### Řecké symboly

$\rho$	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	Objemová hmotnost
--------	-------------------------------	-------------------

### Zkratky

Tabulka má jenom dva sloupce – zkratka a plný název.

ETICS	External thermal insulation composite system
FDS	Fire Dynamics Simulator
OB1	Obytná budova skupiny 1
EPS	Expandovaný polystyren
kN	Kilonewton
MJ	Megajoule
WDVS	Wärmedämmverbundsystem
NP	Nadzemní podlaží
ČSN	Česká technická norma
ÖNORM	Rakouská technická norma
m	Metr
mm	Milimetr
kPa	Kilopascal
STN	Slovenská technická norma
UCEEB	Univerzitní centrum energeticky efektivních budov
ČVUT	České vysoké učení technické v Praze

CSTB	Centre Scientifique et Technigue du Bâtiment
ACERMI	Association pour la CERTification des Matériaux Isolants
RISE	Research Institutes of Sweden
MW	megawatt
kW	kilowatt
K	Kelvin

# 1 Úvod

## 1.1 Motivace

Pozemní stavitelství přikládá velikou pozornost energetické úspoře domu. Snižování energetické náročnosti budov spočívá zejména v instalaci zateplovacího systému na obvodové stěny i do střešních pláštů.

V současné době stále se zvyšující požadavky na zateplovací systém mají za důsledek, že se zvětšuje optimální tloušťka tepelného izolantu. Tuto problematiku řeší i objekty, které již zateplené jsou, nicméně tloušťka tepelného izolantu neodpovídá dnešním standardům. V případě dobrého stavu stávajícího kontaktního zateplovacího systému ETICS může být demontáž ekonomicky nevýhodná a neekologická, neboť by docházelo k produkci nadbytečného stavebního odpadu. Dochází tedy k montáži další vrstvy tepelného izolantu přímo na stávající vrstvu. Tento princip dvojitého zateplení přináší značné nejasnosti při projektování i provádění.

Zateplení objektu z hlediska požární bezpečnosti je zakotveno v českých technických normách. Otázky vyvstávají s ohledem na dvojité zateplení. V případě použití různých typů tepelných izolantů je šíření požáru po povrchu, případně uvnitř zateplovacího systému nejasný.

Požár můžeme rozdělit na vnější a vnitřní. Vnitřní plně rozvinutý požár v uzavřených prostorech, jako např. bytová jednotka, je řízen ventilací. To znamená, že požár je limitovaný pouze přístupem kyslíku. V bytové jednotce dochází k popraskání skleněné výplně okenního otvoru a vyšlehávání plamenů ven. V případě špatně provedeného zateplení může dojít k šíření požáru po fasádě a náhlému rozšíření požáru do ostatních pater objektu. Pro případ vnějšího požáru může být šíření požáru způsobeno špatným provedením specifických detailů např. nadpraží otvorů, založení ETICS.

Norma umožňuje dva přístupy řešení. Instalací požárních bariér nad otvory, nebo instalaci krycí vrstvy, jejíž aplikace je však podmíněna provedením středněrozměrové a velkorozměrové požární zkoušky. Vzhledem k prováděcí náročnosti je instalace požárních bariér složitá a těžko realizovatelná. Proto je práce zaměřena na návrh krycí vrstvy, která bude jednoduše aplikovatelná i bez dalšího dodatečného zkoušení.

Mojí motivací je stále se rozvíjející trend zateplování. Tento trend bude doplněn právě zdvojováním ETICS. Odlišnost provádění a různé typy použitých izolantů, jak již původních, tak i nových, mají významný vliv na šíření požáru po fasádě.

V rámci této práce bych se chtěl zaměřit na přístup ke dvojitému zateplení v zahraničí a porovnat ho s přístupem v České republice. Chtěl bych posoudit chování zateplovacího systému s ohledem na použité izolanty. Dále je mým cílem vyhodnotit výsledky z požárních zkoušek.

## 1.2 Stanovení výzkumné otázky

Požadavky pro dvojité zateplení odpovídají požadavkům pro normální zateplení pomocí ETICS a jsou rozšířeny o dva požadavky. Důležitým aspektem je pochopení chování dvojitého zateplení pomocí ETICS za požáru a stanovení požadavků, které zajistí bezpečné chování celého systému. Dalším podnětem je zhodnocení, zda požadavky pro dvojité zateplení

jsou dostačující, nebo zda nejsou moc striktní. Řešení požární bezpečnosti je důležitým bodem návrhu budovy, a proto je třeba k řešení problému zaujmout aktivní přístup a zhodnotit všechna rizika a opatření.

### 1.3 Cíle práce

Hlavním cílem práce je identifikace rizik požární bezpečnosti dvojitého zateplení pomocí ETICS. Pro naplnění hlavního cíle práce byly stanoveny následující dílčí cíle:

1. Zpracování literární rešerše požadavků pro dvojité zateplování ETICS pro Českou republiku;
2. Zpracování literární rešerše požadavků pro dvojité zateplování ETICS zahraničních zemí;
3. Vyhodnocení požadavku krycí vrstvy pro dvojité ETICS pomocí 1D modelu vedení tepla;
4. Vyhodnocení velkorozměrových zkoušek;
5. Návrh požadavků požární bezpečnosti pro dvojité zateplení pomocí ETICS.



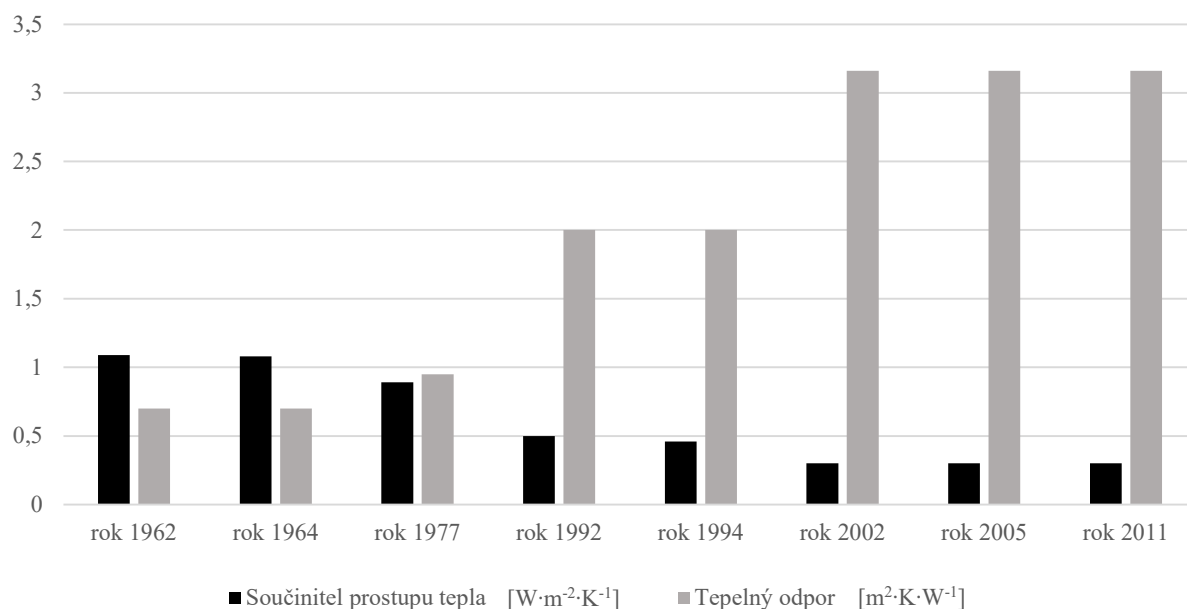
## 2 Důvody pro použití dvojitého zateplení

Tepelná ztráta a energetická náročnost je důležitým aspektem jak novostaveb, tak stávajících objektů. Využití dvojitého zateplení může nastat v těchto případech:

- zvyšující se požadavek na součinitel prostupu tepla,
- nevyhovující provedení stávajícího zateplení.

Vzhledem k historickému vývoji požadovaných hodnot [1] součinitele prostupu tepla a tepelného odporu, který je patrný z *Obr. 1*, jsou objekty zateplené v minulém století z tohoto hlediska nevyhovující. Pro splnění platných požadavků je potřeba snížit součinitel prostupu tepla obvodové konstrukce. Toho se docílí přidáním větší tloušťky tepelného izolantu. Zatímco v roce 1977 by ke zdi z cihel plných pálených o tloušťce 300 mm stačilo přidat tepelný izolant o tloušťce 50 mm, pro splnění dnešních požadavků je potřeba přidat tepelný izolant o minimální tloušťce minimálně 150 mm. Vzhledem k tomu, že řešení požárního hlediska dvojitého zateplování je nejkritičtější pro budovy s požární výškou mezi 12–22,5 m, může nastat situace, že v některých případech je odstranění stávajícího ETICS ekonomicky nevýhodné. V tomto případě dochází k přidání druhé vrstvy tepelného izolantu na stávající ETICS a využití dvojitého zateplení.

Další možnou variantou může být nevyhovující provedení stávajícího ETICS. Dvojitě zateplení tak může být použito pro eliminaci původních chyb ETICS a zvýšení tepelného odporu souvrství. V neposlední řadě lze dvojitě zateplení ETICS využít pro zlepšení jiných vlastností, například vzduchové neprůzvučnosti obvodových plášťů a akustického komfortu budovy při použití minerálních vláken.

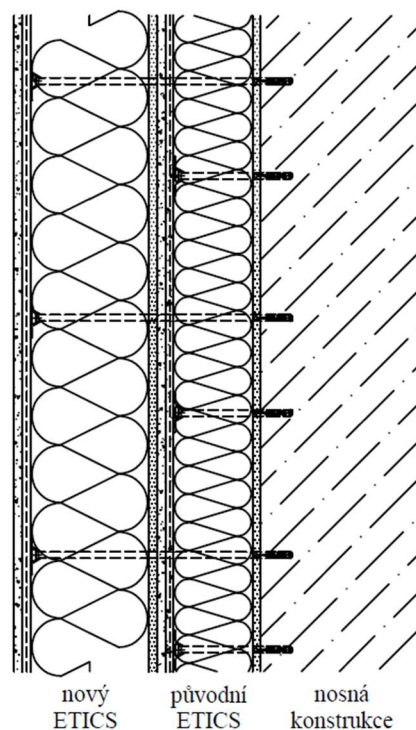


**Obr. 1** – Vývoj požadavků na součinitel prostupu tepla a tepelného odporu vnějších stěn [2]

### 3 Dvojité zateplení

Zvyšující se požadavky na energetickou náročnost budov se odrážejí i na již provedené zateplení. Jediným cílem je realizace větší tloušťky tepelného izolantu v souvrství ETICS. Na Obr. 2 je znázorněn princip dvojitého zateplení. V případě, že je původní ETICS vhodný pro zdvojení, znamená to, že je bez prachu, výkvětů, mastnot, zavlhčení, puchýřů nebo odlupujících se míst, je možné přistoupit k využití dvojitého zateplení. Dvojité zateplení znamená, že se na vhodný původní ETICS přidá druhá vrstva ETICS. Tímto řešením se zvýší tloušťka tepelného izolantu a dojde tak ke splnění požadavků na součinitel prostupu tepla pro obvodovou stěnu. [3]

Důležitým faktorem je kotvení dvojitého systému ETICS. Ukotvení systému vede ke zvýšení stability systému ETICS. Pouze při lepení izolačních desek se vlastní hmotnost systému ETICS přenáší na konstrukci zejména sřížnými silami, kde lepidlo znamená jediné místo spoje. Díky kotvení se zvýší třecí styk mezi povrchem nosné konstrukce, lepidlem a izolačním materiálem. Kotvení ETICS vede ke zvýšené odolnosti proti účinkům zatížením větru. Zatížení sáním větru se odvíjí od výšky budovy, umístění budovy či na okolní zástavbě. Návrh počtu kusů kotvicích hmoždinek se odvíjí od zjednodušeného návrhu zatížení větru, zejména pak na oblast sání. Největší zatížení sání větrem pak vzniká na hranách a rozích budov. Kotvení ETICS vede i ke zvýšení odolnosti proti vnějším vlivům prostředí. Jedná se o vlivy například vlhkosti, kolísání teplot. Tyto vlivy mají za následek tvarové deformace, které působí na připevnění systému ETICS. Tepelně izolační desky pro nedostatek možnosti roztažení se deformují a vznikají tím trhliny. Ukotvením v oblasti spár desek a středu desek se zajistí ukotvení systému ke stěně, které snižuje riziko vzniku trhlin v omítce. [4]



Obr. 2 – Schématický řez využití principu dvojitého zateplení pomocí ETICS

## 4 Problémy při dvojitém zateplení

Přidáním druhé vrstvy ETICS vyvstávají i omezení vzhledem k provádění a následnému posouzení. Jedná se především o problémy s kotvením, prořezáváním stávajícího ETICS nebo řešení specifických detailů.

### 4.1 Terminologie

Stejně tak, jako se v některých drobnostech liší způsob provádění, liší se i terminologie pro dvojitě zateplování. I z tohoto hlediska jsou obtížně dohledatelné publikace o požadavcích a způsobech provádění. Mezi nejčastější názvy se řadí dvojitě zateplení ETICS, zdvojené zateplení, zdvojení systému ETICS, sekundární izolace nebo přídatná vrstva ETICS.

Tyto terminologické nuance mohou způsobit odlišnost pochopení a výkladu nařízení a norem. V rámci zvyšující se frekvence využití dvojitě zateplování by bylo efektivní sjednotit terminologii principu dvojitě zateplení.

### 4.2 Nepožární problematika

Mezi důležité aspekty nepožární problematiky je způsob kotvení nového ETICS, který je přidán na stávající ETICS. Základní podmínkou ETICS je kontaktní spojení, které je důležité dodržet i pro dvojitě zateplení. Kotvení se navrhuje zejména na účinky větru. Vzhledem k přidání druhé vrstvy ETICS je ale nutné brát ohled i na usmýknutí jednotlivých vrstev tepelných izolantů vlastní tíhou.

Další problém při využití dvojitě zateplení může být vlhkost. Kondenzaci vodní páry uvnitř souvrství zdvojeného zateplení může mít zásadní vliv na degradaci tepelných izolantů. Jednotlivé vrstvy ETICS by se měly řídit pravidlem, že jejich difusní odpory by měly směrem od interiéru klesat. V případě dodržení těchto podmínek nedochází ke kondenzaci vodní páry v ETICS. Přidáním druhé vrstvy ETICS se ale průběh difusních tlaků změní. Pokud se pro lepení druhé vrstvy tepelného izolantu využije lepidlo s vysokým difusním odporem, může se stát, že dojde ke kondenzaci vodní páry v konstrukci a degradaci systému ETICS.

### 4.3 Požární problematika

V případě požáru je nutné zamezit jeho šíření po povrchu ETICS. Proto vyvstává požadavek, aby zateplovací systém ETICS splňoval požadavek na index šíření plamene po povrchu. Tento index značí rychlost v milimetrech za minutu, jakou se plameny šíří po povrchu konstrukce. Aby nedocházelo k šíření požáru po vnějších konstrukcích, je požadavek na ETICS, aby splňoval nulovou rychlost šíření plamene po povrchu konstrukce.

Stejně důležité, jako je zamezení šíření plamene po povrchu, je nezbytně nutné zamezit šíření přes tepelný izolant. Nejčastěji používaný tepelný izolant je expandovaný polystyren – EPS, který je hořlavý. Navíc při požáru dochází k odkapávání plameně hořících kapek, které jsou potenciálním rizikem dalšího šíření požáru. V ploše fasády se používá spolu s fasádní omítkou armovací výztuž, která do jisté míry brání proniknutí požáru do systému ETICS. Rizikovým místem, kde požár pronikne do systému ETICS je převážně ve specifických detailech, které jsou popsány níže. Mezi detaily, kterými může dojít k šíření požáru skrz tepelný izolant, patří nadpraží či ostění otvorů nebo založení ETICS.

V České republice je řešení problematiky dvojitého zateplení nejzávažnější v rozmezí požární výšky mezi 12–22,5 m. Pro objekty s požární výškou do 12 m nevystávají žádné speciální požadavky na ETICS. Objekty s požární výškou přesahující 22,5 m musí být zatepleny nehořlavým tepelným izolantem.

Dalším aspektem, který se musí při návrhu zdvojeného zateplení pomocí ETICS zohlednit, je tloušťka tepelného izolantu v závislosti na množství uvolněného tepla. Objekt zateplen hořlavým tepelným izolantem, například EPS, může být považován při určité tloušťce za částečně požárně otevřenou plochu, u níž se redukuje odstupové vzdálenosti. Limitní hodnota množství uvolněného tepla, která určuje, zda se jedná o požárně uzavřenou nebo částečně požárně otevřenou plochu, je  $150 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ . Tato hodnota vyplývá z rovnice (1):

$$Q = M \cdot H = \rho \cdot d \cdot H \quad [\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (1)$$

$Q$  ... množství uvolněného tepla  $[\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}]$

$M$  ... plošná hmotnost  $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}]$

$H$  ... výhřevnost  $[\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$

$\rho$  ... objemová hmotnost  $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$

$d$  ... tloušťka vrstvy  $[\text{m}]$

Při určování požární otevřenosti dvojitého zateplování pomocí ETICS je určující tloušťka tepelného izolantu. V rámci dvojitého zateplování vystává otázka, jestli se do výpočtu otevřené plochy konzervativně započítá celková vrstva dvojitého ETICS, nebo jen nově přidaná vrstva tepelného izolantu.

Pro znázornění je uveden dle rovnice (1) příklad stanovení množství uvolněného tepla, které je určující pro požární otevřenost fasád. Výrobce EPS je nepřeborné množství, proto dochází k nepatrným rozdílům hodnoty objemové hmotnosti. Okrajové podmínky příkladu jsou stanoveny:

- tloušťka vrstvy EPS,  $d = 0,26 \text{ m}$ ;
- objemová hmotnost EPS,  $\rho = 15 \text{ kg/m}^3$ ;
- výhřevnost EPS,  $H = 39 \text{ MJ/kg}$  [5].

$$Q = \rho \cdot d \cdot H \quad [\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}]$$

$$Q = 15 \cdot 0,26 \cdot 39 \quad [\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}]$$

$$Q = 152,1 \quad [\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}]$$

Výpočtem je stanoveno, že pro tloušťku tepelného izolantu EPS 260 mm je ETICS hodnocen jako částečně požárně otevřená plocha, protože množství uvolněného tepla je větší než maximální hodnota  $150 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$  pro částečně požárně otevřenou plochu.

## 5 Řešení dvojitého zateplení

V rámci rešerše bylo zjištěno, že některé země problematiku dvojitého zateplování neřeší. Některé země akceptují dvojité zateplení, ale přistupují k němu se stejnými požadavky jako pro normální zateplení pomocí ETICS. Jiné země se aktivně podílejí na omezení rizik spojených s dvojitým zateplováním.

Níže uvedené řešení dvojitého zateplení je zaměřeno na požadavky zemí České republiky, Německa, Polska, Rakouska, Maďarska, Francie a Slovenska. Pro každou zemi jsou uvedeny požadavky nepožární a požární. Nepožární požadavky odráží požadavky před provedením dvojitého ETICS a při realizaci dvojitého ETICS. Požární požadavky slouží především k zamezení šíření požáru a celkové požární bezpečnosti stavby.

Mezi základní nepožární požadavky, ve kterých se většina zemí shoduje patří:

- kvalitní původní ETICS,
- kotvení přes původní a nový ETICS,
- rovinnost původního ETICS,
- plošná hmotnost tepelného izolantu.

Do požárních požadavků, kde mají zmiňované země shodu lze především zařadit:

- instalace požárních bariér, zejména s šířkou 200 mm,
- maximální celková tloušťka zdvojeného ETICS,
- možnosti kombinace použitých tepelných izolantů.

### 5.1 Česká republika

#### 5.1.1 Nepožární požadavky

Problematika dvojitého zateplování není jenom v oblasti požární bezpečnosti. Řada otázek vyvstává i ohledně kondenzace vodní páry nebo způsobu provádění. Mezi základní požadavky patří, že stávající ETICS musí být bez:

- prachu,
- mastnoty,
- aktivních trhlin,
- výkvětů
- puchýřů a odlupujících se míst.

Soudržnost vnějšího souvrství stávajícího ETICS a jeho přídržnost k tepelně izolačnímu je dalším požadavkem. Vnější souvrstím je v tomto požadavku myšlena omítka, výztužná síťovina a lepidlo. Nejmenší přípustná hodnota musí být alespoň 80 kPa. Nejnižší hodnota 80 kPa musí být splněna i pro přídržnost lepicí hmoty nového ETICS k povrchu současného ETICS.

Nanesené lepidlo na deskách tepelně izolačního materiálu musí být formou pásů po obvodě desky a terčů v její ploše, nebo formou celoplošného nanesení lepidla na desku.

Mezi další požadavky patří, že odchylka rovinnosti povrchu stávajícího ETICS nesmí být větší než  $10 \text{ mm}\cdot\text{m}^{-1}$ . Dále se jedná o požadavky na soudržnost, přídržnost lepicí hmoty nového ETICS nebo na smykovou únosnost. [3]

### 5.1.2 Požární požadavky

Požadavky požární bezpečnosti staveb pro kontaktní zateplení budov se řídí normou ČSN 73 0810, čl. 3.1.3.2 [6]. Tento článek přesně definuje, jaké materiály a povrchové úpravy mohou být pro kontaktní zateplení použity. Konkrétně se jedná o tyto požadavky:

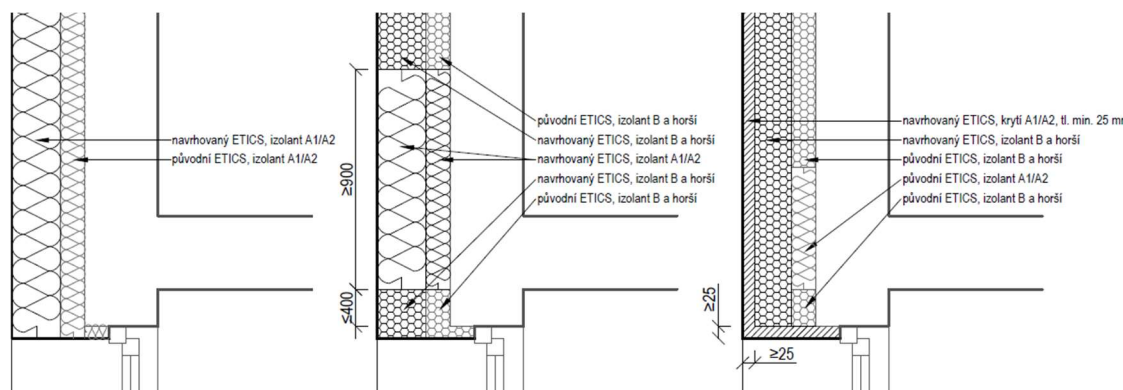
- ucelená sestava vnějšího zateplení musí vykazovat třídu reakce na oheň alespoň B;
- tepelněizolační materiál sestavy (samostatně) musí vykazovat třídu reakce na oheň alespoň E. Pokud je založení vnějšího zateplení nad terénem, je nutné v úrovni založení aplikovat požadavky článku 3.1.3.3 (tj. body a1 nebo bod b) této normy s výjimkou objektů OB1 podle ČSN 73 0833,
- ucelená sestava vnějšího zateplení musí vykazovat index šíření plamene po povrchu stavební konstrukce  $i_s = 0 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ;
- ucelená sestava vnějšího zateplení musí být kontaktně spojena se zateplovanou konstrukcí. Pokud není splněna tato podmínka, je nutné vnější zateplení navrhnout a realizovat podle článku 3.1.3.4 této normy. [6]

V návaznosti na požadavky ETICS v zateplení je nutné splnit požadavky uvedené ve druhé odrážce. Těmito požadavky se rozumí instalace pruhu 900 mm v úrovni založení, který bude z třídy reakce na oheň A1 nebo A2. Bod b článku 3.1.3.3 umožňuje jako ekvivalentní úpravu k bodům a provést řešení vyhovující zkoušce dle ČSN ISO 13785-1. Sestava ETICS musí být v místech, kde je možné při požáru předpokládat působení jeho účinků – v místě oken, vyústění vzduchotechnického systému, vyhotovena tak, aby nedošlo k šíření plamene přes úroveň 0,5 m od spodní hrany zkušební vzorku po dobu 30 minut při tepelném výkonu 100 kW. Tyto požadavky platí i pro úroveň založení.

Článek 3.1.3.6 též normy [6] stanovuje požadavky na dvojité zateplení, a to konkrétně:

- nová sestava musí být mechanicky kotvena do původních obvodových konstrukcí,
- části zateplení vyžadující třídu reakce na oheň A1 nebo A2 musí být v celé tloušťce přidávaného i stávajícího zateplení.

Druhá odrážka reflektuje požadavky například pro zřízení požárních bariér. Pro splnění požadavku dojde k vyříznutí stávajícího ETICS v místě potřeby požární bariéry. Tento proces s sebou nese i značné nedostatky při odřezávání stávajících tepelných materiálů.



**Obr. 3** – Řešení specifického detailu nadpraží oken při zdvojeném zateplení [7]

Dále norma umožňuje alternativní způsob pro objekty s požární výškou do 22,5 m viz *Obr. 3*, detail vpravo. Realizace kontaktně spojené ucelené sestavy vnějšího zateplení třídy reakce na oheň B s krycí vrstvou A1 nebo A2 tloušťky minimálně 25 mm, přičemž tato sestava musí vyhovět:

- zkoušky dle ČSN ISO 13785-1 a současně,
- zkoušky dle ISO 13785-2,

V rámci středněrozměrové zkoušky – ČSN ISO 13785-1, nesmí při výkonu 100 kW po dobu 30 minut dojít k rozšíření plamene po povrchu, nebo po tepelné izolaci přes úroveň 0,5 m. Zároveň tato sestava musí vyhovět zkoušce dle ISO 13785-2, kde je výkon 3 MW po dobu 30 minut. V rámci této zkoušky nesmí dojít k porušení celistvosti krycí vrstvy a zároveň nesmí dojít ke vzplanutí tepelněizolačního materiálu (v rámci vrstvy jiné třídy reakce na oheň než A1 nebo A2 nesmí dojít k překročení teploty vzplanutí). [6]

Žádné další požadavky vzhledem k požární bezpečnosti dvojitého zateplování, kromě článku 3.1.3.6 v ČSN 73 0810, nejsou stanoveny.

## 5.2 Německo

Aktivní přístup k řešení dvojitého zateplování zaujmul Německo, jako jedna z mála zemí Evropy. Ačkoli je terminologie odlišná – v Německu se jedná o zdvojení systému – podstata zůstává stejná.

### 5.2.1 Nepožární požadavky

Proces zdvojeného zateplení s sebou nese i značné omezení. Izolační desky dodatečného zateplení je zakázáno připevňovat lepicí pěnou. Stávající povrch zateplení musí být rovný, suchý a bez mastnot. Pro nosnou konstrukci je vyžadováno dostatečné nosnosti pro použití kotev. Pro připevnění nového ETICS se využívá kotev s evropským technickým posouzením (ETA). Nezbytnou podmínkou kotvy je průměr talířku nejméně 60 mm a nosnost kotevní desky minimálně 1,0 kN.

Německá norma DIN 4108-3:2018-10 řeší opatření proti vlhkosti a kondenzaci vodní páry. Německé normy jsou zpoplatněné a v rámci této práce k nim není přístup. Norma byla vydána roku 2018 a vzhledem k tomu není jasné, zda definuje požadavky na opatření vlhkosti a kondenzaci vodní páry pro dvojité zateplení.

## 5.2.2 Požární požadavky

Německé požadavky na stavební materiály se rozdělují do kategorií:

- nehořlavé,
- obtížně hořlavé,
- normálně hořlavé.

Rozdělení stavebních prvků se dle jejich nároku na požární odolnost klasifikují do těchto tříd:

- požárně odolné,
- vysoce požárně odolné,
- ohnivzdorné.

Klasifikace hořlavosti materiálu je hodnocena dle německé normy DIN 4102-1, která je od roku 2001 harmonizována na evropské úrovni podle normy EN 13501-1. V *Tab. 1* jsou znázorněny třídy reakce na oheň v závislosti na požární výšce, které je možné použít pro zateplení budovy. Do kategorie A1 můžeme například zařadit skelnou vatu a některá minerální vlákna. Minerální vlákna s větším obsahem organických pojiv spadají do kategorie A2. Zástupce třídy B1 je EPS a do kategorie B2 můžeme zařadit len nebo konopí.

**Tab. 1** – Použitelnosti materiálu dle požární výšky budovy s ohledem na klasifikaci hořlavosti dle DIN 4102-1 a EN 13501-1

Typ budovy – požární výška	Požadavek na klasifikace budov dle LBO	Třída dle DIN 4102-1	Třída dle DIN EN 1350-1
$h \leq 7$ m	Normálně hořlavý	B2	D-s1,d0 – E-d2
$h = 7-22$ m	Obtížně hořlavé	B1	A2-s2 A2-s3,d0 B-s1,d0 – C-s3,d2
$h \geq 22$ m	Nehořlavý	A1,A2	A1 A2-s1,d0

Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt), je německý technický úřad, který schvaluje a posuzuje vývoj nových stavebních prvků. Tato instituce vydala roku 2014 dokument, který řeší zdvojení stávajících vnějších tepelněizolačních systémů.

Nový systém musí splnit požární klasifikaci a okrajové podmínky, které jsou definovány v Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z – 33.43-61 [8], Allgemeine Bauartgenehmigung Z – 33.49-1505 [9], německým stavebním zákonem nebo normami.

V případě provedení dvojitého zateplení nastává několik variant pro celkové hodnocení hořlavosti systému viz *Tab. 2*. Tabulka hodnotí z pohledu hořlavosti stávající a nový ETICS. Je patrné, že dochází ke všem kombinacím použitých materiálůvých systémů. Požární klasifikace se provádí vždy podle nejvyšší hořlavého systému. Pokud je tedy stávající systém hořlavý, nezáleží na požární klasifikaci nového systému ETICS a celkový systém se hodnotí jako hořlavý. V případě, že je stávající systém obtížně hořlavý, celkové hodnocení systému může být jen s normální hořlavostí nebo obtížně hořlavý. Požární klasifikace celkového systému, kde stávající systém je nehořlavý, závisí na požární klasifikaci nového systému.



**Tab. 2 – Požární klasifikace zdvojeného systému**

Požární klasifikace – stávající systém	Požární klasifikace – nový systém	Celkové hodnocení systému
Normální hořlavost	Normální hořlavost	Normální hořlavost
	Obtížně hořlavé	
	Nehořlavé	
Obtížně hořlavé	Normální hořlavost	Normální hořlavost
	Obtížně hořlavé	Obtížně hořlavé
	Nehořlavé	
Nehořlavý	Normální hořlavost	Normální hořlavost
	Obtížně hořlavé	Obtížně hořlavé
	Nehořlavé	Nehořlavé

V závislosti na požární klasifikaci zdvojeného systému ETICS vyplývají omezení v použitelnosti zateplovacího systému. Obdobně jako v České republice je omezení v závislosti na požární výšce. Pro stavby do požární výšky 7 m je povolen hořlavý systém. Pro požární výšku od 7 do 22 m je potřeba instalovat obtížně hořlavý systém. Pro výškové stavby s požární výškou větší než 22 m je vyžadován nehořlavý zateplovací systém.

Dle použitého typu tepelné izolace jak u stávajícího, tak i u nově instalovaného zateplovacího systému je stanovena celková maximální tloušťka systému. Tato tloušťka a maximální dovolená celková hmotnost je uvedena v Tab. 3.

Důležitým předmětem je hodnocení hořlavosti zateplovacích systémů a jejich vliv na rozvoj požáru. Staré zateplovací systémy s tepelněizolačním materiálem z desek EPS se klasifikují jako normálně hořlavé, pokud není prokázána jejich nehořlavost. Pokud se použije minerální vlna, jedná se o systém nehořlavý. V případě aplikace cementotřískových desek o tloušťce od 25 do 100 mm se zateplovací systém klasifikuje jako nehořlavý. Pokud cementotřískové desky přesahují tloušťku přes 100 mm, je systém zařazen jako hořlavý.[9]

**Tab. 3 – Stanovení celkové maximální tloušťky a celkové maximální hmotnost v závislosti na použitých tepelněizolačních materiálech – Německo [9]**

Tepelněizolační materiál – stávající systém	Tepelněizolační materiál – nový systém	Celková maximální tloušťka [mm]	Celková maximální hmotnost [kg · m <sup>-2</sup> ]
Desky EPS/ CMT*	EPS	400	50
Desky EPS/ CMT	Desky z minerální vlny <sup>(1)</sup>	200	50
	Lamely z minerální vlny		
Desky EPS/ CMT	Desky z minerální vlny <sup>(2)</sup>	200	30
Desky z minerální vlny Lamely z minerální vlny	Desky z minerální vlny Lamely z minerální vlny	200	30
Desky z minerální vlny Lamely z minerální vlny	EPS	200	30
(*) CMT = cementotřískové desky			
<sup>(1)</sup> s příčnou pevností v tahu dle DIN EN 1607 nejméně 14 kPa			
<sup>(2)</sup> s příčnou pevností v tahu dle DIN EN 1607 menší než 14 kPa			

Nová vrstva ETICS musí splňovat od spodního kraje ETICS minimálně do výšky stropu 3.NP následující požadavky:

- desky z EPS s maximální objemovou hmotností do  $25 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,
- výztužná tkanina s plošnou hmotností nejméně  $150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ .

Aby se zabránilo šíření požáru po fasádě, zřizují se pro vícepodlažní budovy požární bariéry. Požární bariéry musí splňovat tyto požadavky:

- výška minimálně 200 mm,
- nehořlavé a rozměrově stálé do  $1\ 000 \text{ }^\circ\text{C}$ ,
- lepené po celé ploše a dostatečně kotvené schválenými kotvami.

Požární bariéry musí být zřízeny jak v novém, tak i ve starém zateplovacím systému. To znamená odstranění starého zateplovacího systému v místě požární bariéry a kotvení do nosné stěny. Pro ETICS s deskami z EPS je v úrovni maximálně 1 m pod přílehlou hořlavou konstrukcí, zejména střešním pláštěm, umístěna dodatečná požární bariéra.

### 5.2.2.1 ETICS s deskami EPS do tloušťky 300 mm

U obtížně hořlavého ETICS s deskami EPS do tloušťky 300 mm (starý a/nebo nový systém) musí být provedeny následující konstrukční opatření:

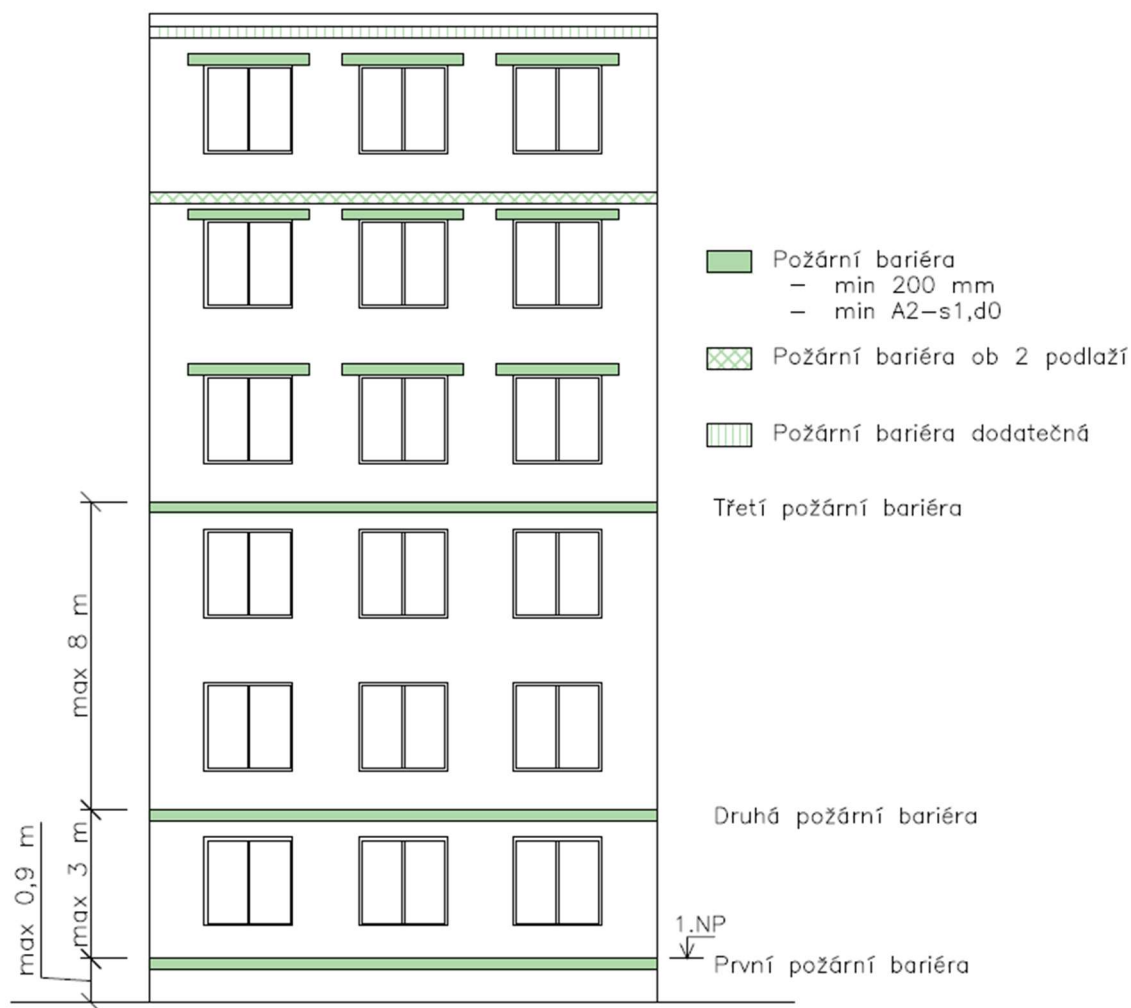
- požární bariéra při spodní hraně ETICS, případně maximálně 900 mm nad horní hranou terénu nebo přílehlé vodorovné konstrukce,
- požární bariéra v úrovni stropu 1. NP, přičemž osová vzdálenost k níže provedené požární bariéře nesmí být větší než 3 m. Pokud je tato vzdálenost větší, musí se provést další požární bariéra,
- požární bariéra v úrovni stropu 3.NP, avšak osová vzdálenost k níže umístěné požární bariéře nesmí být větší než 8 m,
- požární bariéra v místech např. průjezdů, podloubí, průchodů, které se nachází v oblasti 1. – 3. NP vystavené vnějšímu požáru.

Problematické místo okenního nadpraží řeší německé předpisy těmito způsoby:

- nad každým otvorem v oblasti nadpraží se provede požární bariéra prostupující celým souvrstvím zdvojeného ETICS. Tato požární bariéra musí být vysoká nejméně 200 mm a na každé straně otvoru přecházet o 300 mm,
- v případě instalace rolet musí být požární bariéra provedena ze tří stran – shora a z obou stran. [8]

Tato řešení mohou být vynechána v případě, že je alespoň v každém druhém podlaží provedena požární bariéra.

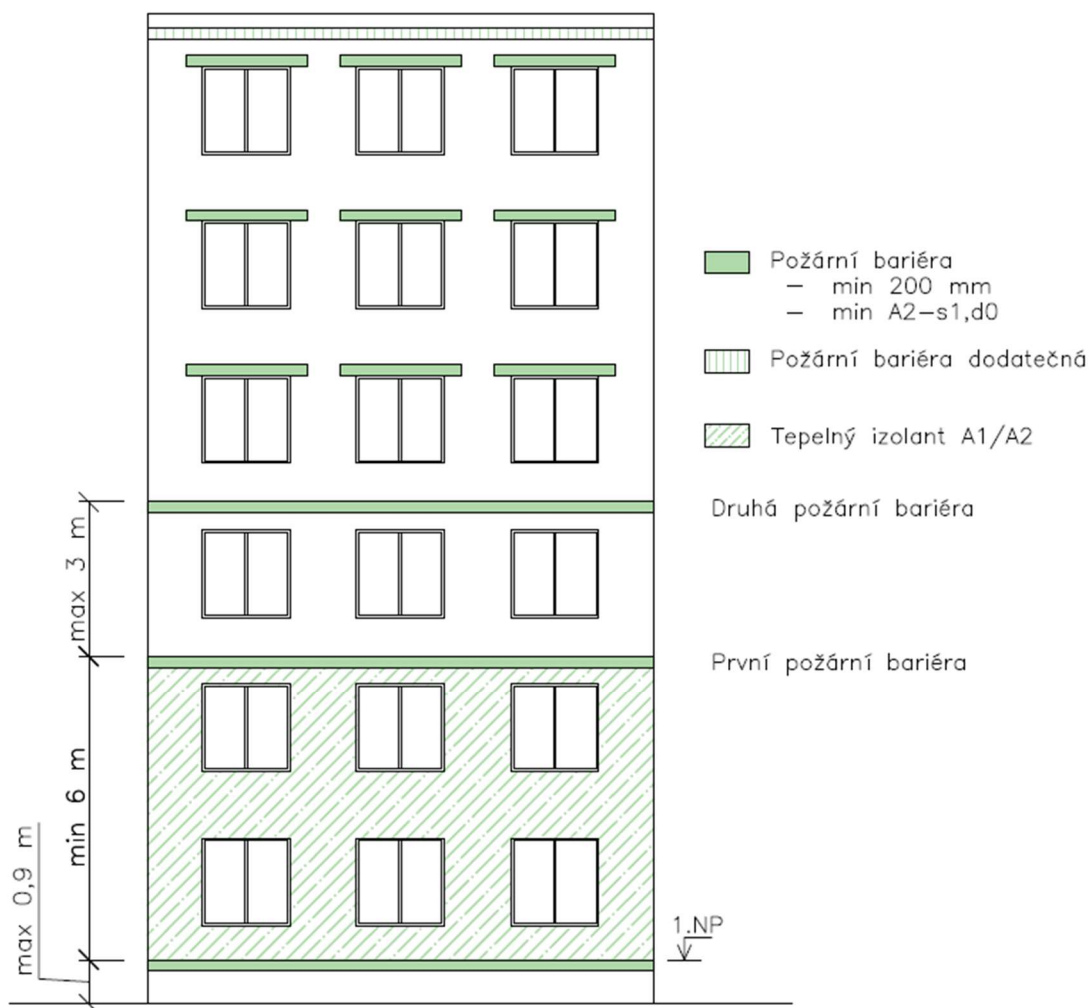
Vzdálenost spodního okraje nadpraží a požární bariéry nesmí přesáhnout 500 mm.



Obr. 4 – Požární bariéry pro ETICS s tloušťkou do 300 mm

### 5.2.2.2 ETICS s deskami EPS tloušťky od 300 do 400 mm

Požadavky pro zdvojený ETICS s tloušťkou od 300 do 400 mm jsou obdobné jako do tloušťky 300 mm. Hlavní rozdíl je v tom, že do výšky stropu 2. NP, minimálně však 6 m, musí být použit nehořlavý ETICS. V oblasti nadpraží musí být nad každým otvorem ve vyšších podlažích provedena požární bariéra s přesahem 300 mm. [8]



**Obr. 5** – Požární bariéry pro ETICS s tloušťkou od 300 do 400 mm

### 5.2.3 Neřešené části

Otázka požární otevřenosti vyvstává i pro německé řešení. Tato problematická část požární otevřenosti nikde není explicitně uvedena, avšak můžeme spatřit jisté implicitní souvislosti ohledně maximální celkové dovolené tloušťky systému.

### 5.3 Polsko

Terminologie je opět odlišná. V Polsku se jedná o sekundární zateplení. Požadavky pro navrhování ETICS udává Nařízení ministerstva infrastruktury [10] ze dne 12. dubna 2002 o technických podmínkách, které musí budovy splňovat, a o jejich umístění. Tato nařízení má právní základ ze stavebního zákona ze dne 7. července 1994. Opět se vychází z požadavků pro normální zateplení pomocí ETICS. Dalším podkladem jsou Technické podmínky provádění, hodnocení a přejímky fasádních prací s použitím ETICS z roku 2019 [11].

### 5.3.1 Nepožární požadavky

Ve fázi návrhu zateplení ETICS je i mimo jiné podmínkou provést podrobnou tepelnou a vlhkostní analýzu, ve které je přihlédnuto k aspektům energetické náročnosti stavby.

Před provedením instalace ETICS musí dojít k posouzení vhodnosti podkladu. Jedná se především o posouzení prašnosti, soudržnosti, rovinnosti podkladu, únosnosti stávajícího ETICS nebo zkouškou přilnavosti lepidla. Toto posouzení by mělo být provedeno na několika místech podkladu, aby byly zjištěné vlastnosti v souladu se skutečností.

Lepení tepelně izolačních desek je umožněno metodami, které jsou stejné jako v ostatních zemích. Jedná se buď o celoplošné lepení, nebo metodou obvodových bodů. Metoda obvodových bodů znamená, že je lepidlo nanášeno po obvodě desky a na několika bodech doprostřed desky.

Minimální počet kotev pro upevnění systému ETICS je uveden v dokumentaci ETICS. Nejmenší počet kotev však nesmí být nižší než 4 ks/m<sup>2</sup>. Typ kotev závisí na podkladu, na který je ETICS instalován. Schéma umístění kotev je buď ve tvaru písmene T nebo W. Kotvení v případě dvojitého zateplení musí opět procházet skrze obě vrstvy ETICS do nosné konstrukce.

V Tab. 4 jsou uvedeny limitní hodnoty, které musí být splněny, aby byla splněna podmínka rovinnosti podkladu s ETICS bylo možné instalovat. [11]

**Tab. 4** – Limitní hodnoty rovinnosti ETICS pro Polsko, přeloženo [11]

Prvek	Velikost tolerance [mm] na referenční délce [m] <sup>(1)</sup>				
	0,1	1	4	10	15 <sup>(2)</sup>
Stěny bez povrchové úpravy a stropy ze spodní strany bez povrchové úpravy	5	10	15	25	30
Hotové stěny a stropy ze spodní strany	3	5	10	20	25
<sup>(1)</sup> Mezilehlé hodnoty lze lineárně interpolovat					
<sup>(2)</sup> Velikost tolerance platí i pro referenční délku větší než 15 m					

### 5.3.2 Požární požadavky

Tato nařízení rozděluje stavby do tří kategorií:

- ZL – stavby pro bydlení a stavby občanské vybavenosti,
- PM – objekty výrobní a skladovací,
- IN – zemědělské stavby.

V rámci této práce bude zaměřeno na stavby kategorie ZL – stavby pro bydlení a stavby občanské vybavenosti. Kategorie ZL se dále rozděluje podle rizika ohrožení osob na tyto kategorie:

- ZL I – stavby, kde se vyskytuje více než 50 osob, ale tuto stavbu trvale nevyužívají a nejsou primárně určené osobám s omezenou schopností pohybu a orientace,

- ZL II – stavby určené pro osoby s omezenou schopností pohybu (nemocnice, školky, domovy pro seniory),
- ZL III – veřejně prospěšné stavby, které nejsou zařazeny do ZL I a ZL II,
- ZL IV – obytné budovy,
- ZL V – stavby pro hromadné bydlení, které nejsou zařazeny do ZL I a ZL II.

Stavba vzhledem ke své výšce se rozděluje do těchto skupin:

- nízkopodlažní (N) – stavby do 12 m nad úroveň terénu nebo obytné budovy do 4 NP,
- středně vysoké (SW) – stavby nad 12 do 25 m nad úroveň terénu nebo obytné budovy nad 4 do 9 NP,
- výškové budovy (W) – stavby nad 25 do 55 m nad úroveň terénu nebo obytné budovy mezi 9 až 18 NP,
- velmi vysoké (WW) – stavby nad 55 m od úrovně terénu.

Pro různé kombinace staveb ZL a výšky stavby se udávají materiály, respektive třída požární bezpečnosti, kterou lze pro daný objekt použít.

Požadavky na sekundární zateplení jsou stejné jako pro prvotní zateplení. Veliký důraz je kladen na kotvení, které musí být přes všechny vrstvy tepelné izolace až do nosné konstrukce.

U objektů ve výšce nad 25 m od úrovně terénu má být fasádní obklad, mechanické kotvení, a i tepelný izolant vyroben z nehořlavých materiálů.

Polsko na rozdíl od České republiky nebo Německa nepožaduje instalaci požárních bariér, které brání šíření požáru po fasádě objektu.

Pro stavby postavené před květnem 1995 s výškou do 11 NP, lze použít samozhášivý EPS. [10]

## 5.4 Rakousko

Požadavky vycházejí z požadavků pro normální zateplení, které jsou doplněny specifickými řešeními. Požadavky udává soubor stavebních směrnic pro požární ochranu OIB, které jsou zdarma dostupné. Tyto normy vydává Österreichisches Institut für Bautechnik. Mezi další normy, které kladou požadavky na zateplování obvodových konstrukcí, patří normy řady ÖNORM B6400, které vydává rakouská normotvorná organizace Austrian Standarts. Normy ÖNORM mají právní základ definovaný v Normotvorném zákonu vydaným roku 2016. Dále jsou požadavky uvedeny v technických předpisech.

### 5.4.1 Nepožární požadavky

Kvalitu stávajícího ETICS rozděluje prováděcí předpis do následujících kategorií:

- stávající systém ETICS je technicky v pořádku,
- stávající systém ETICS je technicky v pořádku, omítkový systém nikoliv,
- stávající systém ETICS není technicky v pořádku.

Pokud je stávající ETICS v pořádku, základním požadavkem pro možnost zdvojení je splnění rovinnosti stávajícího ETICS. Tolerance rovinnosti jsou uvedeny v *Tab. 5*.

**Tab. 5** – Limitní hodnoty rovinnosti ETICS pro Rakousko, přeloženo [12]

Prvek	Velikost tolerance [mm] na referenční délce [m] <sup>(1)</sup>				
	0,1	1	4	10	15 <sup>(2)</sup>
Stěny bez povrchové úpravy a stropy ze spodní strany bez povrchové úpravy	5	10	15	25	30
Hotové stěny a stropy ze spodní strany	2	3	8	-	-
<sup>(1)</sup> Mezilehlé hodnoty lze lineárně interpolovat					
<sup>(2)</sup> Velikost tolerance platí i pro referenční délku větší než 15 m					

Pokud má omítkový systém trhliny nebo například duté vrstvy, je zařazen do druhé kategorie. V tomto případě se stávající omítkový systém rozřeže na pásy a odstraní z izolačních desek. V případě uvolněných izolačních desek se vymění i tyto desky stejným izolačním materiálem. Povrch musí být zbrúšen do roviny, případně splnit limitní hodnoty rovinnosti dle Tab. 5, a spáry musí být utěsněny. V případě odstranění některých tepelně izolačních desek musí být zajištěno, že případné zbytky tepelného izolantu budou odstraněny. Taktéž je tomu i v případě nerovností způsobených lepidlem. Stávající lepidlo musí být odstraněno zbrúšením, popřípadě dorovnáno vhodnou omítkovou maltou. V tomto případě dorovnání lepidlem není přípustné.

Pokud technický stav stávajícího ETICS je nevyhovující, nedoporučuje se aplikovat druhou vrstvu ETICS.

V případě provádění zdvojeného zateplování pomocí ETICS musí být vždy tepelně izolační materiály lepeny v celé ploše. Kotvení musí být přes obě vrstvy ETICS až do nosné konstrukce.

Při provádění nadpraží oken a dveří se doporučuje stávající ETICS odstranit a nahradit novým. Cílem této výměny je dosažení dostatečného izolačního účinku v tomto specifickém detailu. [12]

#### 5.4.2 Požární požadavky

Obdobně jako v Německu dochází k rozdělení budov do pěti skupin, Gebäudeklassen 1 až Gebäudeklassen 5 (GK). Do skupiny GK 4 se zahrnují objekty, které mají:

- maximálně čtyři nadzemní podlaží, výšku úniku maximálně  $h \leq 11$  m, několik jednotek různého využití s plochou jedné jednotky maximálně 400 m<sup>2</sup>,
- maximálně čtyři nadzemní podlaží, výšku úniku maximálně  $h \leq 11$  m, s jednou jednotkou využití, bez limitu plochy jednotky.

Do skupiny GK5 se zařazují budovy, které převyšují tyto limity. Bytové domy lze zařadit do kategorie GK4 nebo GK5, a proto níže uvedené požadavky jsou stanoveny právě k těmto GK.

Základním požadavkem zdvojeného zateplení v Rakousku je již výše zmíněné kotvení. Opět kotvení musí být skrz nový i stávající ETICS až do nosné konstrukce. Počet kotev se odvíjí

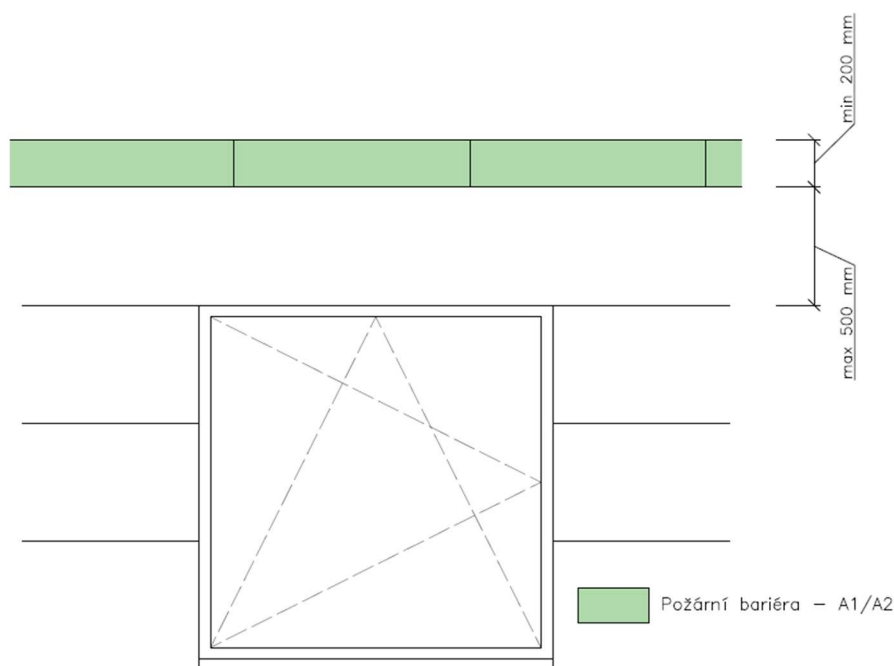
od třídy systému – Systemklasse 1–3. Minimální okrajové podmínky, které je nutné splnit pro použití tabulek na minimální počet kotev dle ÖNORM EN 1991-1-4 jsou:

- minimální hodnota síly pro vytažení kotvy z podkladu musí být  $\geq 0,8$  kN,
- plošná hmotnost systému maximálně  $50 \text{ kg/m}^2$ ,
- referenční výšky budovy maximálně 35 m,
- geometrie budovy musí splňovat poměr výšky k šířce  $\leq 2$ ,
- maximální tloušťka izolace 300 mm.

Dalším požadavkem je podmínka celoplošného lepení izolačního materiálu. Bodové lepení izolačních desek není přípustné.

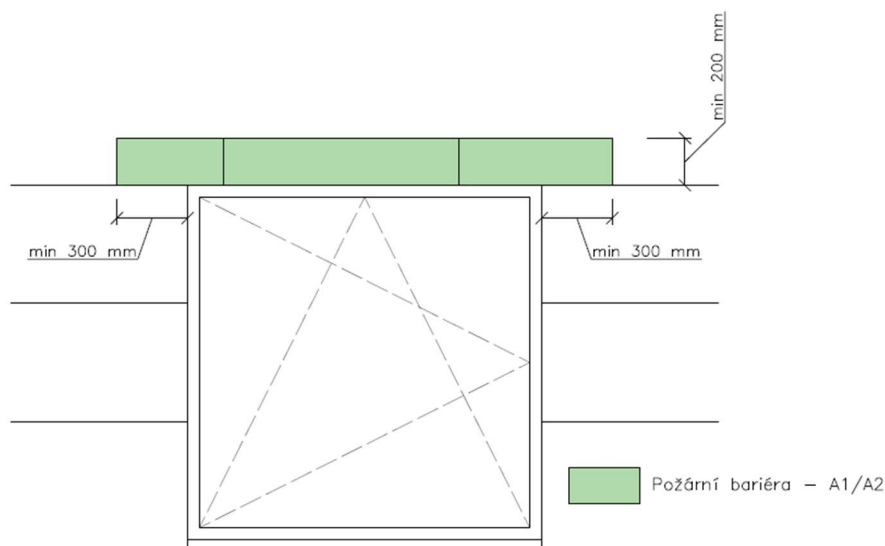
Pro budovy třídy GK4 a GK5 musí být zateplovací systém navržen tak, aby nebyl požár přenesen po fasádě. Tento požadavek je splněn při tloušťce EPS do 100 mm, nebo je použitý tepelný izolant třídy reakce na oheň A1 nebo A2. V případě tloušťky EPS převyšující 100 mm je nutné navrhnout požární bariéry z minerální vaty. Požární bariéra je vysoká 200 mm a je po celém obvodu budovy. Vzdálenost od nadpraží otvoru je maximální 500 mm viz *Obr. 6*. Alternativou k tomuto řešení je možnost instalace požární bariéry přímo nad nadpraží otvoru. Požární bariéra musí být taktéž minimálně 200 mm vysoká a s přesahem 300 mm na každou stranu otvoru viz *Obr. 7*. [12] [13]

Zajištění požární bezpečnosti musí být provedeno v souladu s technologickými požadavky. Na *Obr. 7* je vidět zajištění požární bezpečnosti, ačkoli nejsou dodrženy technologické požadavky. V rohu nadpraží vzniká průběžná spára, která může později způsobit zejména povrchovou degradaci systému ETICS. Je nezbytné, aby v tomto místě deska tepelného izolantu přesahovala přes roh nadpraží a tvořila tzv. hokejku. S ohledem na výše zmíněný požadavek bude nutné provést větší zásah do tepelného izolantu, což znamená větší pracnost při provádění.



**Obr. 6** – Průběžná požární bariéra nad nadpražím otvoru - Rakousko





*Obr. 7 – Požární bariéra s přesahem 300 mm na každou stranu nad nadpražím otvoru - Rakousko*

## 5.5 Maďarsko

V Maďarsku nejsou stanovené speciální požadavky na dvojité zateplení a vycházejí pouze z obecných požadavků pro klasické zateplení pomocí ETICS, které jsou uvedené Tűzvédelmi Műszaki Irányelv (Technická směrnice o požární bezpečnosti) z roku 2022. V případě, že se dvojité zateplování provádí, řídí se požadavky z Německa.

Firma Saint-Gobain Construction, divize Weber společně se společností ÉMI (Építésügyi Minőségellenőrző Innovációs Nonprofit), což je nezisková společnost pro kontrolu kvality a inovace ve stavebnictví, vydala prováděcí předpis [14], jehož součástí je i řešení dvojitého zateplení. Požadavky uvedené níže vychází z tohoto předpisu.

### 5.5.1 Nepožární požadavky

Mezi požadavky vyplývající z provádění zateplení je, že svislá vzdálenost mezi okenními otvory musí být větší než 1 300 mm.

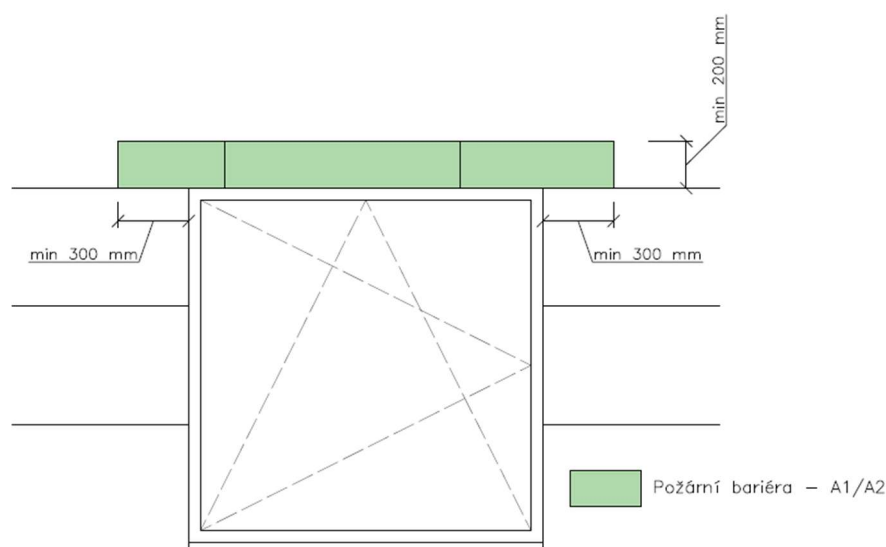
Ostatní prováděcí požadavky je nutné dodržet stejně jako pro normální ETICS. Jedná se například o kotvení, nebo použití diagonální sklotextilní síťoviny v rozích otvorů.

Kotvení musí probíhat skrze obě vrstvy ETICS a počet kotev musí být minimálně 6 ks·m<sup>-2</sup>.

### 5.5.2 Požární požadavky

Aby se zabránilo šíření požáru, dochází k požadavku na instalaci požární bariéry. Tato požární bariéra musí být minimálně 200 mm vysoká a mít přesah 300 mm na každou stranu otvoru viz *Obr. 8*. Požární bariéra musí probíhat přes stávající i nový ETICS. Izolant požární bariéry musí být třídy reakce na oheň A1 nebo A2. Požární bariéra musí být lepena celoplošně.

Jak je zmíněno v případě řešení Rakousko s instalací požární bariéry do nadpraží otvoru, je nutné i zde zajistit, aby deska tepelné izolace byla přes roh nadpraží a zajistily se tak požadavky na provádění.



**Obr. 8** – Požární bariéra s přesahem 300 mm na každou stranu nad nadpražím otvoru – Maďarsko

Podmínkou pro využití zdvojeného zateplení je dodržení maximálních tloušťek stávajícího ETICS a nově instalovaného ETICS. Maximální tloušťka stávajícího ETICS bez ohledu na typ použitého tepelného izolantu je 140 mm. Nově instalovaný ETICS je omezen tloušťku 160 mm. Celková tloušťka tedy nesmí být větší jak 300 mm.

Zdvojený ETICS lze realizovat v případě, že stávající ETICS je tvořen izolantem A1/A2 a nový ETICS má taktéž tepelný izolant A1/A2 (MW na MW) nebo E (EPS na MW). V případě stávajícího ETICS s tepelným izolantem třídy reakce na oheň E je možné instalovat také izolant třídy E (EPS na EPS) za dodržení instalace požárních bariér, nebo bez instalace požárních bariér s využitím krycí vrstvy z nehořlavého tepelného izolantu. Tento způsob využití krycí vrstvy je analogický k možnému českému řešení, který je uveden v 5.1.2.

## 5.6 Francie

Dvojitě zateplení se využívá i ve Francii. Opět dochází ke kolizi názvosloví, neboť ve Francii se jedná o přeizolování. Požadavky na ETICS jsou uvedeny ve druhém vydání dokumentu Požární ochrana pro betonové nebo zděné fasády obložené vnější tepelnou izolací tepelně izolačními systémy polystyrenu (ETICS – PSE), verze 2.0 [15]. Tuto příručku vydala tři odborná sdružení:

- l'AFIPEB, Association Française pour l'Isolation en Polystyrène Expandé dans le Bâtiment,
- le SIPEV, Syndicat National des Industries des Peintures, Enduits et Vernis,
- le SNMI, Syndicat National des Mortiers Industriels.

Výše zmíněný dokument s požadavky je schválený organizacemi EFECTIS France a CSTB. Společnost EFECTIS je nezávislá třetí strana posuzující požární odolnost výrobků, systémů nebo konstrukcí. Firma CSTB je vědeckotechnické centrum pro stavebnictví, které se snaží hájit veřejné zájmy.

Ve Francii dochází k dělení obytných a bytových budov do tzv. rodin:

- první rodina,
- druhá rodina,
- třetí rodina,
- čtvrtá rodina.[16]

Námi řešený referenční objekt bytového domu spadá do třetí rodiny, kde hlavním rozhodujícím parametrem je požární výška maximálně 28 m.

### 5.6.1 Nepožární požadavky

Ve Francii se pro povrchové vrstvy ETICS využívají dva základní typy. Prvním z nich je hydraulický systém, který má tloušťku větší než 10 mm a plošnou hmotnost v rozmezí mezi 20–30 kg/m<sup>2</sup>. Pro druhý systém se využívají tenkovrstvé vrstvy o tloušťkách od 3–8 mm.

Požadavky stanovené níže platí pro ETICS s maximální celkovou tloušťkou 200 mm. Maximální tloušťka stávajícího ETICS, aby bylo možné využít zdvojeného systému, je 120 mm. Maximální tloušťka nového ETICS je závislá na tloušťce stávajícího ETICS, avšak musí být minimálně 80 mm, neboť součet tloušťek stávajícího a nového ETICS nesmí být větší než 200 mm.

Kotvení nově přidané vrstvy ETICS musí být i přes stávající ETICS až do nosné konstrukce.

### 5.6.2 Požární požadavky

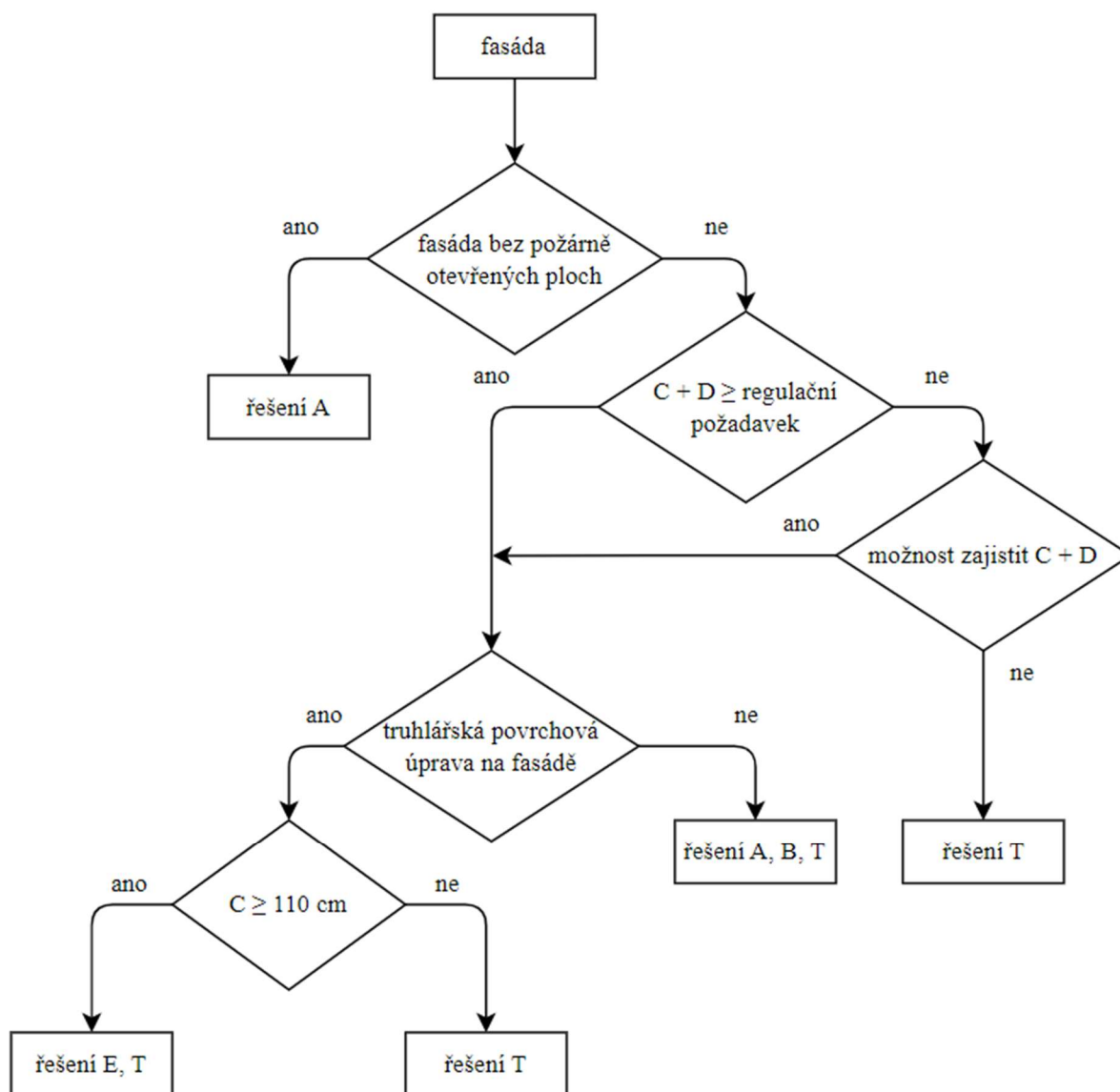
Technická příručka uvádí 4 typy provedení požárních opatření proti šíření požáru po fasádě:

- řešení A,
- řešení B,
- řešení E,
- řešení T.

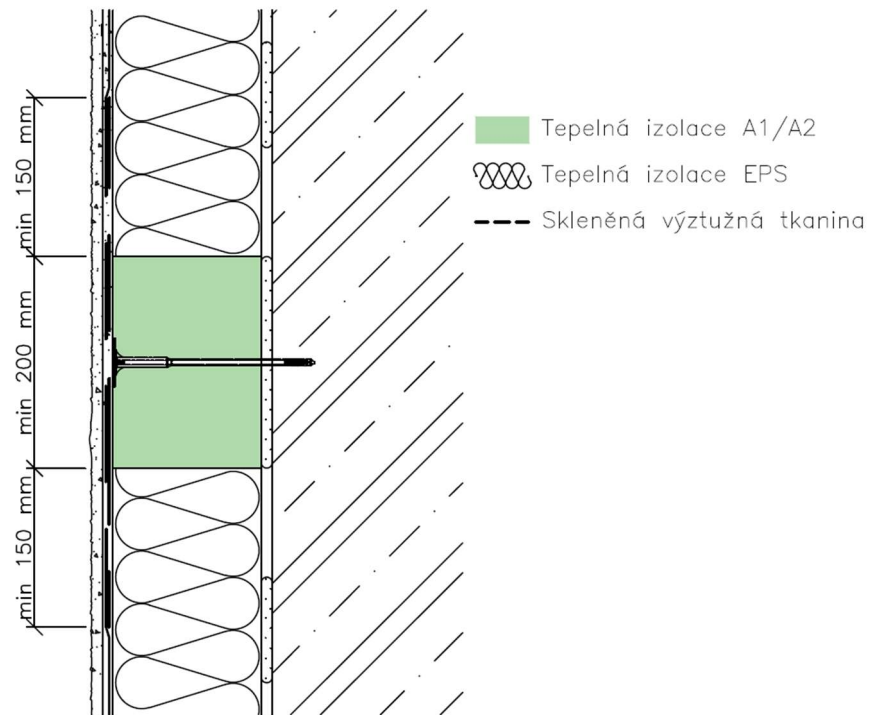
V závislosti na regulačním požadavku vzdálenosti a použití truhlářských výrobků na fasádě se odvíjí podmínky použití jednotlivých řešení proti šíření požáru viz *Obr. 9*. Regulační požadavek vzdálenosti, označovaný v *Obr. 9* jako C + D, je součet svislé vzdálenosti (C) a vodorovné vzdálenosti (D) mezi dvěma okenními otvory. Pro bytový dům s maximálně 7 nadzemními podlažními je vzdálenost C + D minimálně 600 mm. Truhlářskými výrobky na fasádě je myšleno použití například žaluzií nebo obložení.

Řešení A využívá instalaci nehořlavých požárních bariér po celém obvodu budovy. Tepelný izolant musí být třídy reakce na oheň A1, mít jmenovitou hustotu větší než 90 kg/m<sup>3</sup>, certifikaci ACERMI nebo ekvivalentní. Je-li využita minerální vata, musí být v souladu s normou NF EN 13162. Tato norma udává specifikaci pro průmyslově vyráběné výrobky z minerální vaty. Šíře požární bariéry je minimálně 200 mm viz *Obr. 10* a *Obr. 11*. Kotvení je provedeno kovovými hmoždinkami a vzdálenosti mezi jednotlivými hmoždinkami musí být maximálně 500 mm. Výztužná síťovina musí mít přesah na EPS na každé straně minimálně 150 mm viz *Obr. 10*. Řešení uvedené na *Obr. 10* je pro případ tloušťky EPS do 200 mm. V případě, že je tloušťka EPS větší, je nutné požární bariéru rozdělit do dvou tloušťek. Spojení obou kusů požární bariéry musí být celoplošné. [15]

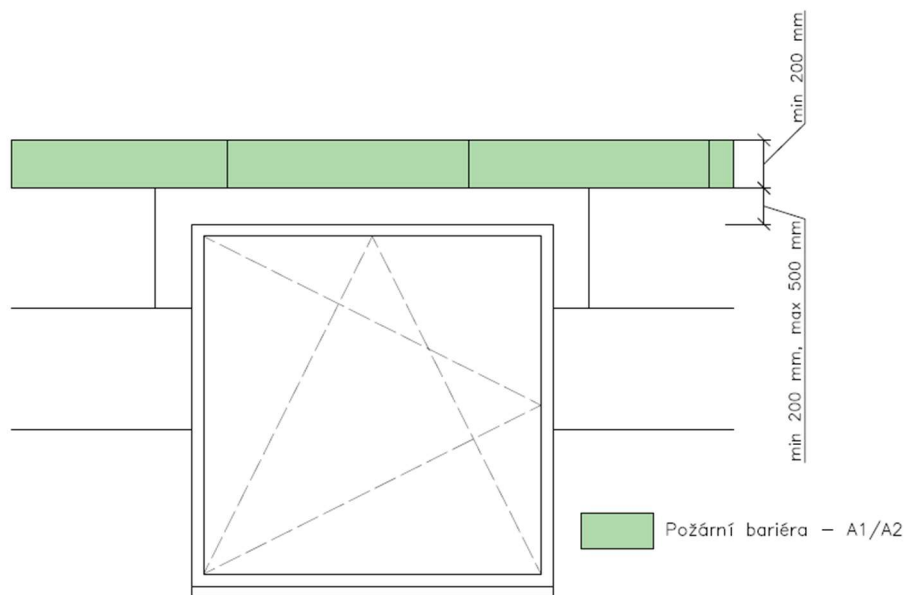
Řešení B využívá vlastností sklotextilní výztužné tkaniny. Toto řešení spočívá v instalaci celkem tří vrstev skleněné výztužné tkaniny do nadpraží otvoru. Postup provedení je rozdělen do tří etap. První etapa je osazení prvního výztužného kusu ve tvaru L po celém obvodu otvoru. Tento kus slouží i jako zakládací lišta pro tepelný izolant nad nadpražím otvoru. Tento kus se instaluje na rozhraní obvodové nosné konstrukce a tepelného izolantu viz *Obr. 12*. Po instalaci tepelného izolantu, dojde k překrytí tepelného izolantu po celém obvodu otvoru výztužným kusem ve tvaru L viz *Obr. 13*, což je druhá etapa. Následně se v rámci třetí etapy provede omítkový systém s třetí vrstvou skleněné výztužné tkaniny.



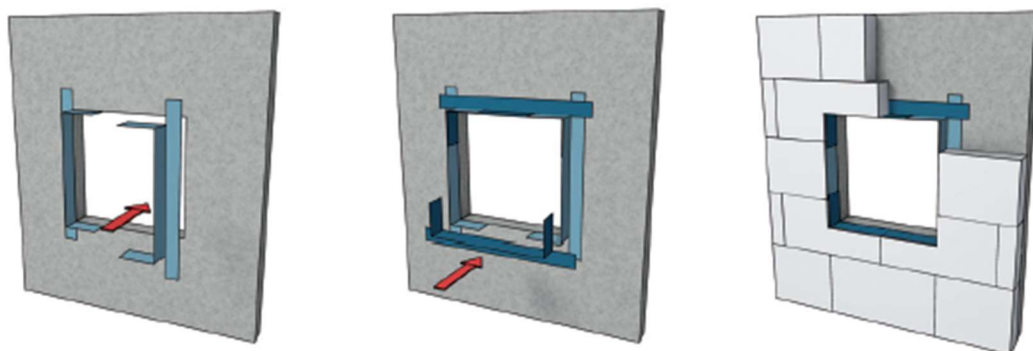
*Obr. 9 – Diagram zhodnocení podmínek použití řešení proti šíření požáru [15]*



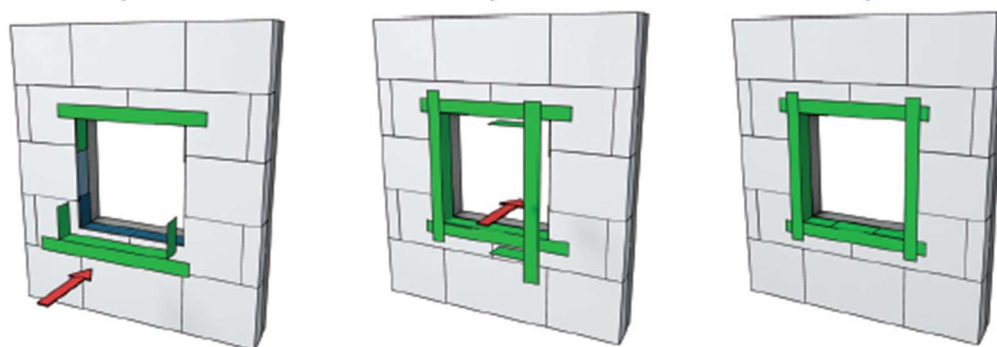
**Obr. 10** – Řez požární bariérou podle řešení A s tloušťkou EPS do 200 mm



**Obr. 11** – Průběžná požární bariéra v nadpraží otvoru – řešení A



Obr. 12 – Řešení B proti šíření požáru, etapa I [15]



Obr. 13 – Řešení B proti šíření požáru, etapa II [15]

Řešení E je možné použít v případě, že jsou na fasádě instalovány truhlářské výrobky a vzdálenost C je větší než 100 mm. Tento způsob spočívá v instalaci průběžných požárních bariér, které jsou doplněny tepelnou izolací třídy reakce na oheň A1 po obvodu otvoru do vzdálenosti nejméně 200 mm viz Obr. 14. Tato tepelná izolace musí mít ještě jmenovitou hustotu větší než  $90 \text{ kg/m}^3$ , certifikaci ACERMI nebo ekvivalentní.

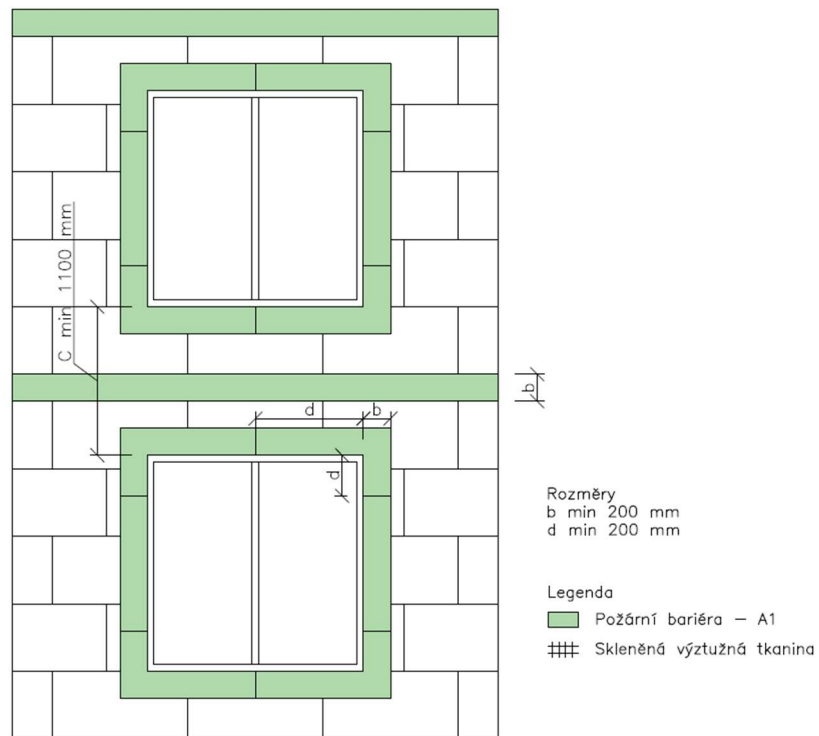
Řešení T využívá nejbezpečnější přístup z výše zmiňovaných. Pokud jsou otvory v jedné svislé rovině, musí být svislá požární bariéra instalována mezi jednotlivými otvory a zároveň musí mít minimální přesah na obě strany 300 mm viz Obr. 15.

Možnost využití řešení proti šíření požáru ovlivňuje povrchová úprava, zda se jedná o tenkovrstvou omítku, či o hydraulický systém. Vliv má také tloušťka stávajícího tepelného izolantu – zejména EPS, viz Tab. 6.

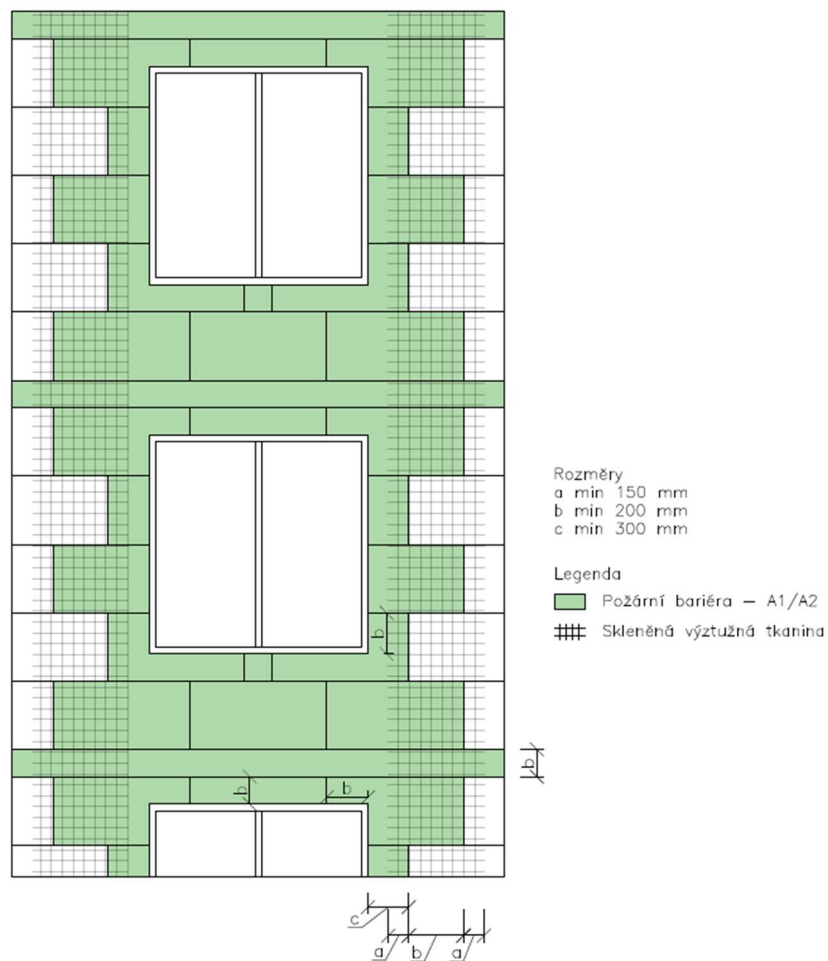
Celková maximální tloušťka zdvojeného ETICS pro tenkovrstvý systém je 300 mm. Pro hydraulický systém je celková maximální tloušťka 200 mm. [15]

Tab. 6 – Kritéria pro použití řešení proti šíření požáru v závislosti na omítkovém systému

Řešení	Hydraulický systém		Tenkovrstvý systém
	$\text{EPS} \leq 200 \text{ mm}$	$200 \text{ mm} < \text{EPS} \leq 300 \text{ mm}$	$\text{EPS} \leq 200 \text{ mm}$
A	ANO	ANO	ANO
B	NE	NE	NE
E	ANO	ANO	ANO
T	ANO	ANO	ANO



**Obr. 14** – Řešení E proti šíření požáru



**Obr. 15** – Řešení T proti šíření požáru po povrchu ETICS [17]

## 5.7 Slovensko

Princip dvojitého zateplení je možné využít i ve Slovensku. Požadavky jsou uvedeny v dokumentu Zásady navrhovania a zhotovovania zdvojenia ETICS [18] a dále Technologický predpis Tepelnoizolačné systémy – Zdvojenie od firmy Baumit [19].

Možností provedení zdvojení na Slovensku je několik:

- zhotovení nového ETICS na stávající ETICS,
- zhotovení nového ETICS na stávající ETICS po odstranění povrchové úpravy (fasádní omítka),
- zhotovení nového ETICS na stávající ETICS po odstranění povrchového souvrství (fasádní omítka + výztužná vrstva).

Odstranění povrchové úpravy se provádí v případě, že je nedostatečná soudržnost k výztužné vrstvě, nebo v případě požadavku na snížení difúzního odporu na základě tepelně-technického posouzení. V případě odstranění povrchového souvrství nejsou požadavky v Technologickém predpisu stanoveny.

Před samotným provedením zdvojení ETICS musí dojít k důkladnému posouzení stávajícího systému ETICS, zdali je vhodné využít zdvojení. Jedná se především o vizuální posouzení povrchu stávajícího ETICS, tepelně izolačního materiál a kotvení. V případě nedestruktivního posouzení se kontroluje zejména:

- vlhkost,
- výkvěty na povrchu,
- mastnota,
- biotické znečištění,
- trhliny,
- rovinnost.

U tepelně izolačního materiálu dochází ke zjištění:

- tloušťky,
- druhu,
- vlhkosti,
- pevnosti v tahu kolmo na rovinu desky.

U kotvení se zjišťuje rozmístění kotev a jejich počet na  $1 \text{ m}^2$  (např. 6 nebo 8 ks·m<sup>-2</sup>, T nebo W schéma umístění). Rozmístění kotev je možné zjistit pomocí termokamer. Znalost rozmístění a počet kotev není rozhodující pro návrh zdvojení ETICS, ale může napomoci pro zvýšení bezpečnosti ukotvení nového ETICS. Jedná se především o eliminaci kotvení v těsné blízkosti stávající kotvy. [18] [19]

### 5.7.1 Nepožární požadavky

Pro možnost realizace zdvojení ETICS je požadavek na rovinnost stávajícího ETICS. Realizace je možná, pokud maximální odchylka stávajícího ETICS není větší než  $10 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}$ .



Dalším požadavkem je dosažení minimální hodnoty soudržnosti povrchového souvrství (fasádní omítka a výztužná vrstva) a tepelné izolaci. Tato hodnota musí být minimálně 80 kPa. Stejná nebo lepší soudržnost musí být zajištěna i mezi lepicí vrstvou nového ETICS a povrchové úpravy stávajícího ETICS.

Plocha lepicí hmoty musí být alespoň na 40 % plochy desky tepelné izolace. Toto je nutné ověřit minimálně 1 sondou. Velikost sondy je velikost jedné desky tepelné izolace, avšak se doporučuje minimálně 1,2·1,2 m.

Pro splnění požadavku na pevnost v tahu kolmo na rovinu desky je zapotřebí dodržet minimální hodnoty. V případě izolace z EPS je minimální hodnota 100 kPa a pro minerální vlnu 10 kPa.

Pro kotvení existují dvě možnosti:

- mechanicky kotvený ETICS s doplňkovým lepením,
- lepený ETICS s přídatnými kotvicími prvky.

V případě mechanicky kotveného ETICS zajišťují kotvy stabilitu ETICS a navrhují se na působící zatížení. Lepicí hmota slouží pro přenesení vlastní tíhy systému a zajištění rovinnosti. Minimální počet kotev je  $6 \text{ ks} \cdot \text{m}^{-2}$ . Doporučený maximální počet je  $12 \text{ ks} \cdot \text{m}^{-2}$ .

Pro lepený ETICS s přídatnými kotvami se využívá systémového řešení. Toto řešení disponuje speciálními kotvami pro zdvojené zateplení.

Návrh zdvojení ETICS musí být zpracovaný formou projektové dokumentace. [19]

### 5.7.2 Požární požadavky

Požadavky na provedení požárních bariér se řídí normou STN 73 0802. Návrh požárních bariér je také závislý na třídě reakce na oheň stávajícího a nového ETICS a jejich tloušťky. V případě nového i stávajícího ETICS s třídou reakce na oheň alespoň B-s1,d0 a tepelnou izolací s třídou reakce na oheň E (EPS na EPS), je potřeba instalace požárních bariér. Tyto bariéry musí být třídy reakce alespoň A2-s1,d0, celoplošně lepené a procházet přes obě vrstvy ETICS. Při novém a stávajícím ETICS s třídou reakce na oheň alespoň B-s1,d0 a tloušťkou tepelné izolace do 100 mm se nepožaduje instalace požárních bariér. Zhotovuje se pouze požární bariéra v soklové oblasti a první požární bariéra v souladu s STN 73 0802 viz *Obr. 18*. Pokud je stávající systém reakce na oheň alespoň B-s1,d0 a nový systém ETICS alespoň třídy reakce na oheň A2- s1,d0 (MW na EPS) je požadavek instalovat požární bariéry. Požární bariéry jsou taktéž alespoň z třídy reakce na oheň A2-s1,d0 a instalují se do stávajícího ETICS přes celou tloušťku izolace a jsou lepené celoplošně. Požární bariéra má šířku minimálně 200 mm a instaluje se maximálně 400 mm nad napražím. Minimální odsazení od nadpraží je 150 mm. Přesah požární bariéry je na každou stranu 500 mm viz *Obr. 16*. Alternativou k tomuto řešení je možnost instalace požární bariéry přímo do nadpraží viz *Obr. 17*. Požární bariéra má přesah minimálně 100 mm pod otvor, a na každou stranu minimálně 500 mm. Celková doporučená výška požární bariéry je 500 mm. V případě instalace ETICS s izolantem A1/A2 na totožný stávající ETICS, žádné doplňující požadavky nejsou stanoveny.

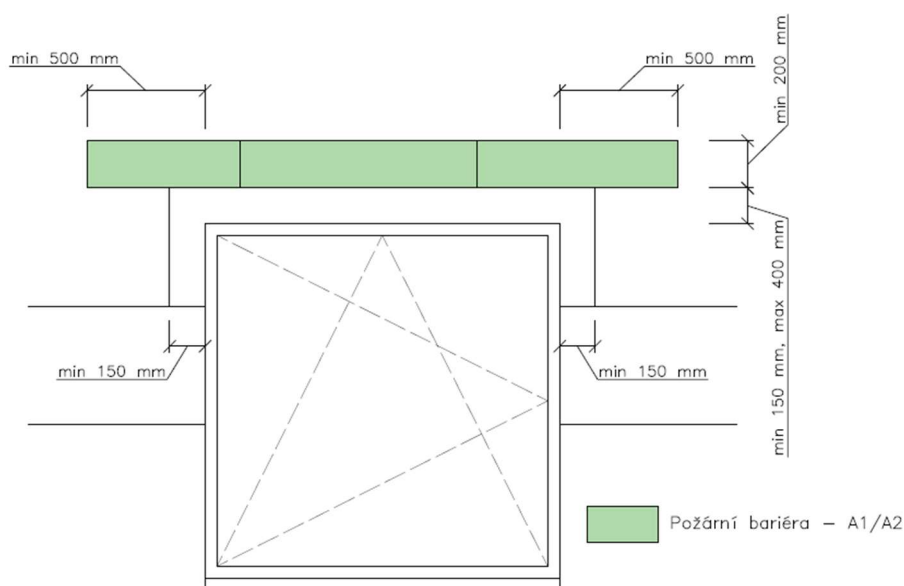
Na *Obr. 18* je vidět rozmístění požárních bariér. První požární bariéra se instaluje v maximální výšce 7 m. Následně se instalují požární bariéry přibližně v místě každého stropu s dodržением požadovaných přesahů. Při překročení požární výšky 22,5 m je nad prvními otvory vyžadován ETICS s třídou reakce na oheň A2-s1,d0.

Doporučení pro vedení hromosvodu je na konzolách s odsazením o více než 100 mm od povrchu nového ETICS.

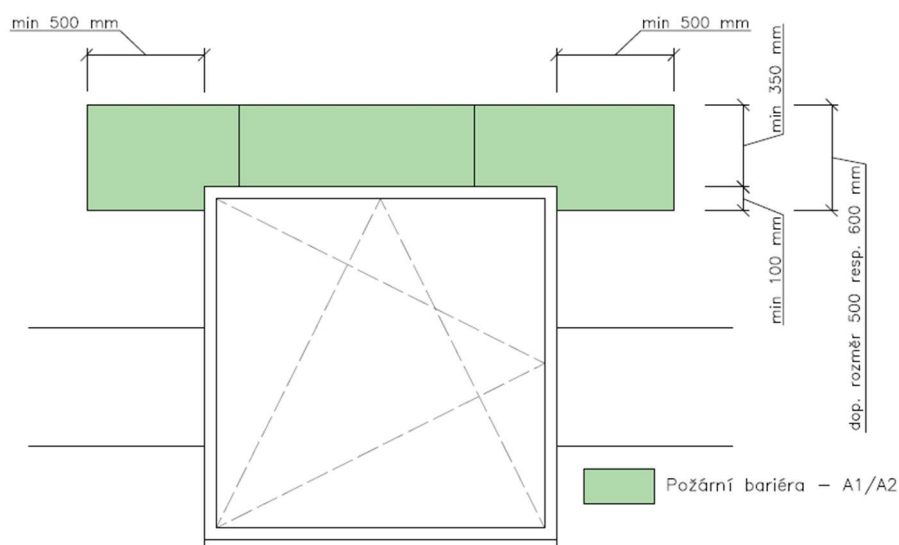
Požadavek na celkovou maximální tloušťku zdvojeného ETICS je uveden v *Tab. 7*.

**Tab. 7** – Stanovení celkové maximální tloušťky a celkové maximální hmotnosti v závislosti na použitých tepelněizolačních materiálech – Slovensko [19]

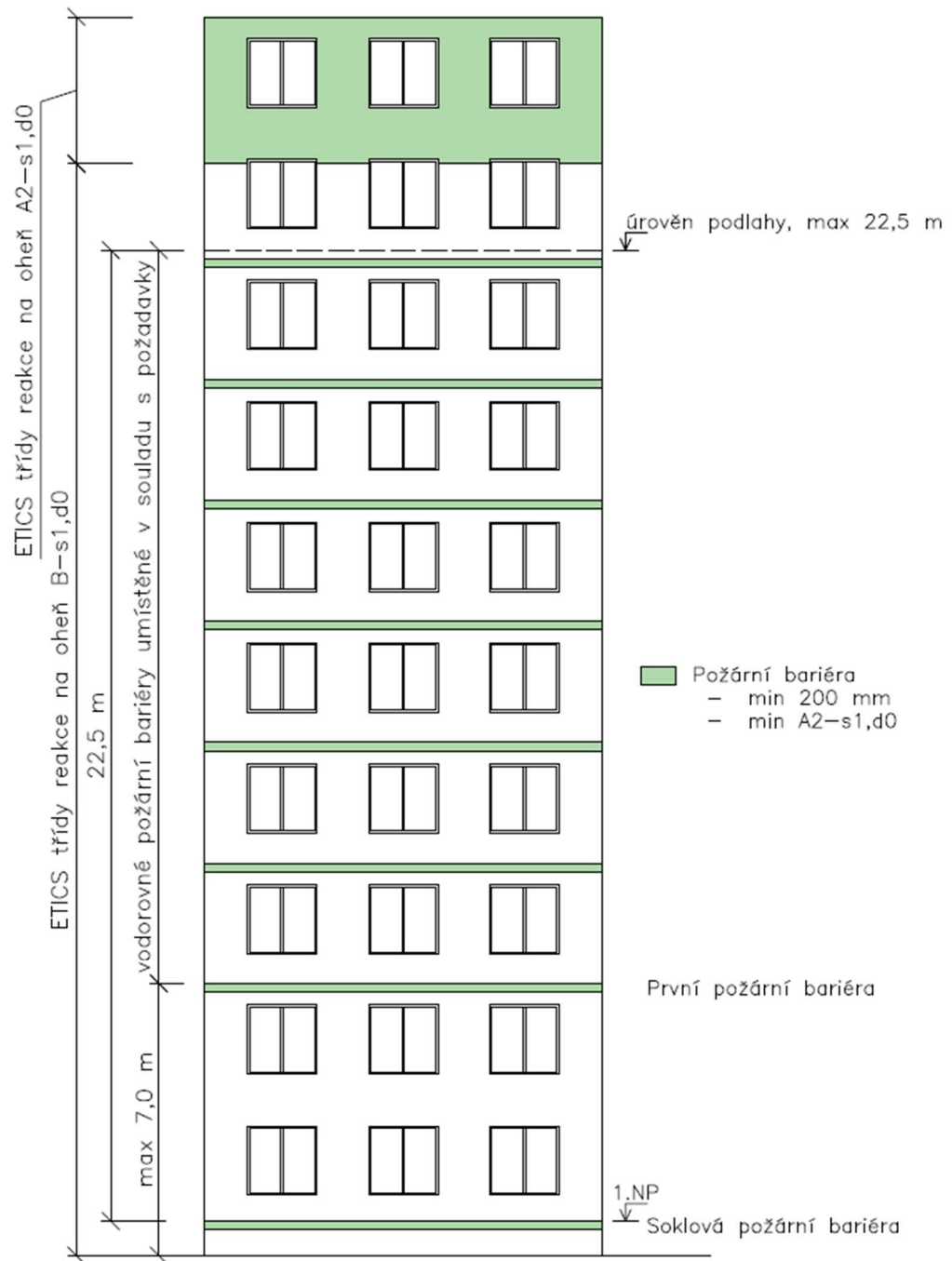
Tepelněizolační materiál – stávající systém	Tepelněizolační materiál – nový systém	Celková maximální tloušťka [mm]	Celková maximální hmotnost [kg · m <sup>-2</sup> ]
EPS	EPS	300	33
EPS	MW	200	45
MW	MW	200	55
MW	EPS	200	45



**Obr. 16** – Požární bariéra nad nadpražím otvoru – Slovensko



**Obr. 17** – Požární bariéra přímo v nadpraží otvoru



**Obr. 18** – Instalace požárních bariér na celý objekt

## 6 Příprava pro požární zkoušku dvojitého zateplení

Klíčovým procesem byl systematický sběr informací, dat a okrajových podmínek. Tato fáze byla uskutečněna s cílem získat komplexní a vypovídající informační základnu, která sloužila jako podklad pro následující kroky diplomové práce. Informace byly čerpány z již uskutečněných velkorozměrových zkoušek zateplování ETICS, které jsou součástí rozborového úkolu.

V současné době je možné požární zabezpečení provést dle normy dvěma způsoby. První způsob odráží výše provedenou řešerši. Jedná se o provedení s instalací požárních bariér nad otvory. Požární bariéra musí splňovat požadované geometrické a materiálové požadavky. Instalace představuje složité technologické úpravy, které se týkají především prořezávání stávající tepelné izolace, neboť požární bariéra musí být přes celou tloušťku dvojitého ETICS. Zároveň musí být při instalaci požárních bariér dodrženy technické požadavky na instalaci ETICS. Druhým způsobem je použití krycí vrstvy. Krycí vrstva z hlediska požární bezpečnosti znamená, že stávající ETICS bude zakryt tepelnou izolací třídy reakce na oheň A1 nebo A2 s optimální tloušťkou, které zabrání projevení účinků požáru do souvrství ETICS, a fasádním systémem. Výhodou použití krycí vrstvy je, že nedochází k materiálovému omezení stávajícího ETICS.

### 6.1 Výběr specifického detailu

V případě požáru uvnitř bytové jednotky dojde s velkou pravděpodobností k popraskání skleněné výplně. Nejkritičtějším místem z hlediska šíření požáru je nadpraží otvoru. V současné době je osazení okenních otvorů možný dvěma způsoby. Prvním způsobem je osazení do hloubky nosné konstrukce. Druhý způsob spočívá v osazení okenního otvoru na exteriérní okraj nosné konstrukce. Vzhledem k faktu, že dvojité zateplování je využíváno především u budov, které byly postavené v minulém století, je pozornost věnována osazení do hloubky nosné konstrukce.

V rovině fasády je při požáru vystavena teplotnímu namáhání primárně nová vrstva ETICS, která je do jisté míry chráněná fasádním systémem a skleněnou výztužnou tkaninou. V případě nadpraží, kde jsou teploty zplodin hoření pro fasádu největší, jsou vystaveny teplotnímu namáhání obě vrstvy ETICS. Právě možnost šíření požáru přes obě vrstvy ETICS je nejvíce rizikovým místem. Zamezení přenosu požáru do vrstev ETICS zamezuje krycí vrstva. Tato vrstva musí být klasifikována jako nehořlavá a mít optimální tloušťku, která zamezí přenosu požáru. Právě na stanovení vhodné a dostatečné tloušťky krycí vrstvy je požární zkouška zaměřena.

### 6.2 Podstata zkoušky

Jak je uvedeno výše, v případě požáru bytových jednotek dochází vlivem teplotního namáhání k popraskání skleněné výplně výplňových otvorů. Tento průběh způsobuje teplotní namáhání nadpraží, kde je možnost rozšíření požáru skrze ETICS. Vlivem použití dvojitého zateplení je toto rozšíření mnohem nebezpečnější.

V kapitole 5.1.2 je zmíněný alternativní postup, kde se zdvojená sestava ETICS opatří krycí vrstvou z materiálu třídy reakce na oheň A1 nebo A2. Stanovený požadavek na tloušťku krycí vrstvy je 25 mm. Požární zkouška představuje zateplené nadpraží, které je opatřené krycí

vrstvou z minerální vaty. Cílem požární zkoušky je vyzkoušet rozdílné tloušťky krycích vrstev a zhodnotit chování zdvojené sestavy ETICS.

### 6.3 Stanovení teplotního namáhání

V průběhu roku 2023 bylo v akreditované požární zkušebně PAVUS, a.s. – požární zkušebna provedeno několik požárních zkoušek zabývajících se problematikou ETICS. Jedná se o velkorozměrovou zkoušku popsanou níže. Právě na základě naměřených hodnot došlo ke stanovení teplotního namáhání pro požární zkoušku krycí vrstvy nadpraží.

Pro vyhodnocení teplotního namáhání byly použity termočlánky umístěné 50 mm před fasádou zkoušeného vzorku. Tyto termočlánky jsou umístěné podle navrhované evropské metodiky a požadavků dle rozborového úkolu a schéma a popis rozmístění je uvedeno v kapitole 7.2. Pro určení teplotního zatížení byly použity termočlánky s označením 6 a 8. Porovnání průběhu teplot z velkorozměrových zkoušek je provedeno s normovou teplotní křivkou ISO 834 a křivkou vnějšího požáru. Normová teplotní křivka vyjadřuje, na základě požárních statistik, mezinárodně uznávaný jednotný časový průběh teploty, které je dosaženo při požáru. Normová teplotní křivka je dána předpisem uvedeným v rovnici (2). Křivka vnějšího požáru představuje teploty, kterým je vystaven vnější líc obvodové stěny vystupujícímu z okna budovy nebo volně hořící vnější požár. Teploty dosažené křivkou vnějšího požáru dosahují menších hodnot, neboť dochází vlivem venkovního prostředí k ochlazování teploty plynů. Křivka vnějšího požáru vychází z rovnice (3).

$$\theta_g = 345 \cdot \log_{10}(8 \cdot t + 1) + 20 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (2)$$

$\theta_g$  ... teplota plynů [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t$  ... čas [ $\text{min}$ ]

$$\theta_g = 660 \cdot (1 - 0,687 \cdot e^{-0,32 \cdot t} - 0,313 \cdot e^{-3,8 \cdot t}) + 20 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (3)$$

$\theta_g$  ... teplota plynů [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t$  ... čas [ $\text{min}$ ]

Porovnání teplot bylo provedeno na základě tří velkorozměrových zkoušek. Označení křivek v *Obr. 19* a *Obr. 20* a dále v průběhu diplomové práce, je podle typu zkoušeného vzorku ETICS. Požární zkouška, uskutečněná s celoplošně lepeným EPS je označována jako zkouška EPS. Druhá požární zkouška je v této práci označována jako zkouška MW, neboť byla pro požární zkoušku instalována celoplošně lepená minerální vata. Třetí zkouška je nazvaná zkouška s bariérou, neboť byla instalována v ETICS požární bariéra. Podrobný popis všech zkoušek je uveden v kapitole 7.

Jak je patrné z *Obr. 19* a *Obr. 20*, teploty naměřené termočlánky při velkorozměrových zkouškách se výrazně liší oproti teplotní normové křivce ISO 834 a křivce vnějšího požáru. K patrnému rozdílu teplot dochází zejména v intervalu od 0. minuty do 10. minuty. Z *Obr. 21* lze určit, že největší rozdíl teplot na termočlánek č. 8 oproti teplotní normové křivce ISO 834 má křivka zkoušky s bariérou, kde je rozdíl přes 300  $^{\circ}\text{C}$ . Kladné hodnoty znamenají, že jsou teploty naměřené termočlánekem vyšší, než teploty podle teplotní normové křivky ISO 834.

Teploty z termočlánku 6 na *Obr. 20* mají menší hodnoty než na termočlánek č. 8. Důvodem je uspořádání termočlánků v průběhu zkoušky, kdy termočlánek 8 je blíže zdroji požáru. Horké plyny stoupají výše, ale v případě velkorozměrové zkoušky dochází vlivem velké výšky požární pece k ochlazování plynů při stoupání vzhůru.

Vzhledem k velkému teplotnímu rozdílu normové teplotní křivky a naměřených hodnot termočlánku, není možné pro požární zkoušku nadpraží použít právě normovou teplotní křivku. Pro požární zkoušku byla vytvořena speciální teplotní křivka, která reflektuje naměřené hodnoty z termočlánků. Základ předpisu má tato speciální teplotní křivka v křivce vnějšího požáru. Přibližně od 10 minuty požáru dochází ke konstantnímu průběhu teploty. Předpis speciální teplotní křivky je uveden v (4):

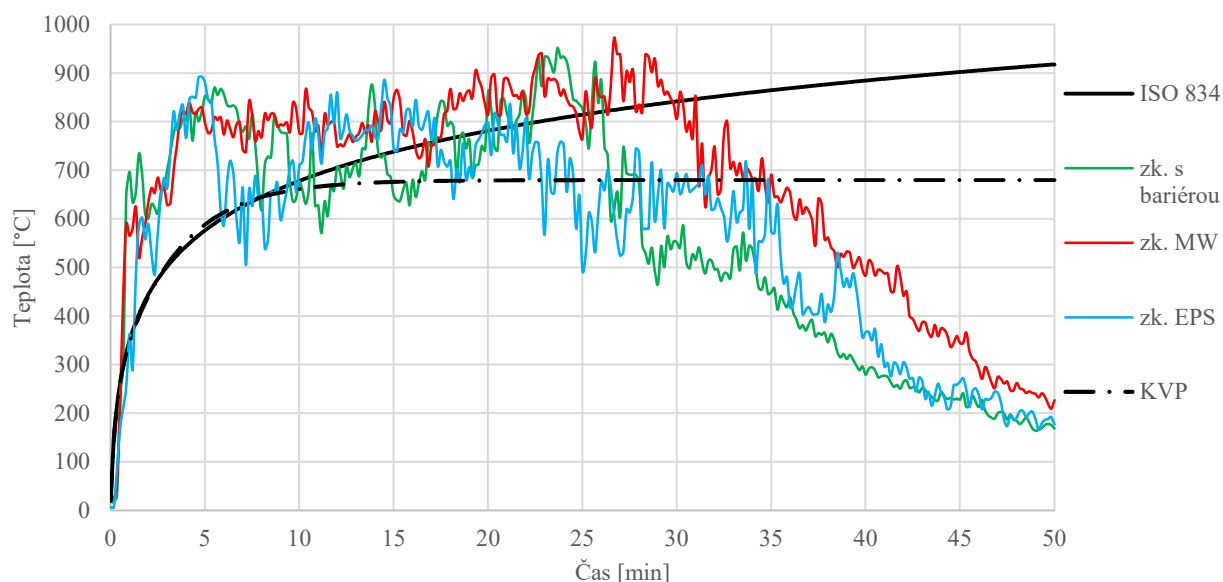
$$\theta_g = 900 \cdot (1 - 0,687 \cdot e^{-0,48 \cdot t} - 0,313 \cdot e^{-4,2 \cdot t}) + 20 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (4)$$

$\theta_g$  ... teplota plynů [ $^{\circ}\text{C}$ ]

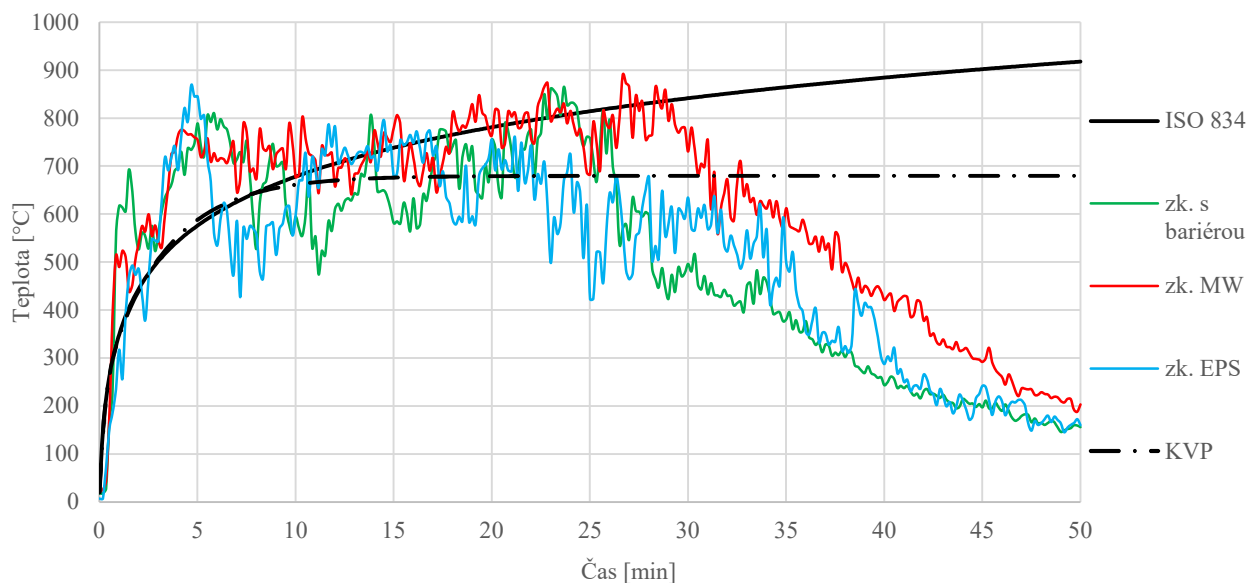
$t$  ... čas [min]

Teplotní rozdíly mezi naměřenými hodnotami a speciální teplotní křivkou jsou adekvátní. Z tohoto důvodu bude pro požární zkoušku nadpraží využita speciální teplotní křivka.

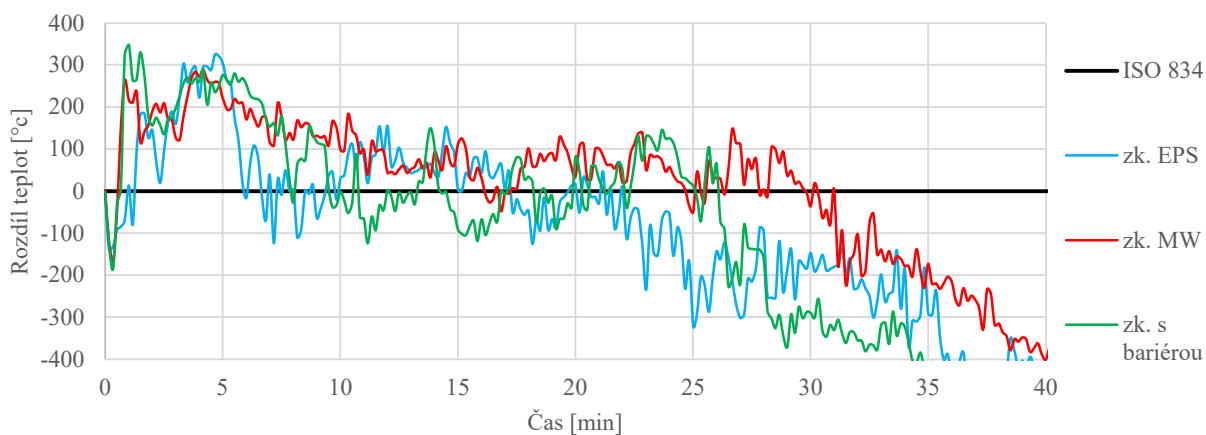
I přesto, že přibližně kolem 30. minuty dochází k poklesu teplot na termočláncích, budou v případě požární zkoušky krycí vrstvy nadpraží vzorky zatěžované teplotním namáháním podle předpisu speciální teplotní křivky a k poklesu teplot docházet nebude. V případě vzorků se jedná o nebezpečnější variantu požáru. Vzhledem k tomu faktu nemusí být časový interval požární zkoušky krycí vrstvy nadpraží totožný jako s velkorozměrovou zkouškou, tedy 60 minut.



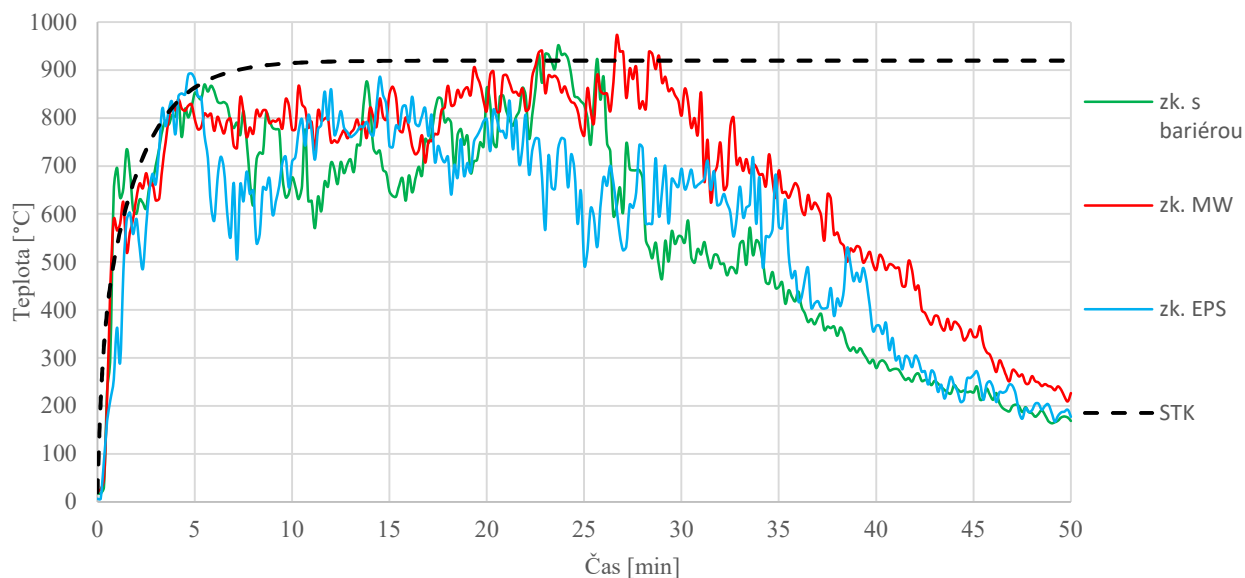
**Obr. 19** – Porovnání průběhu teplot termočlánku č. 8 s teplotní normovou křivkou ISO 834 a křivkou vnějšího požáru



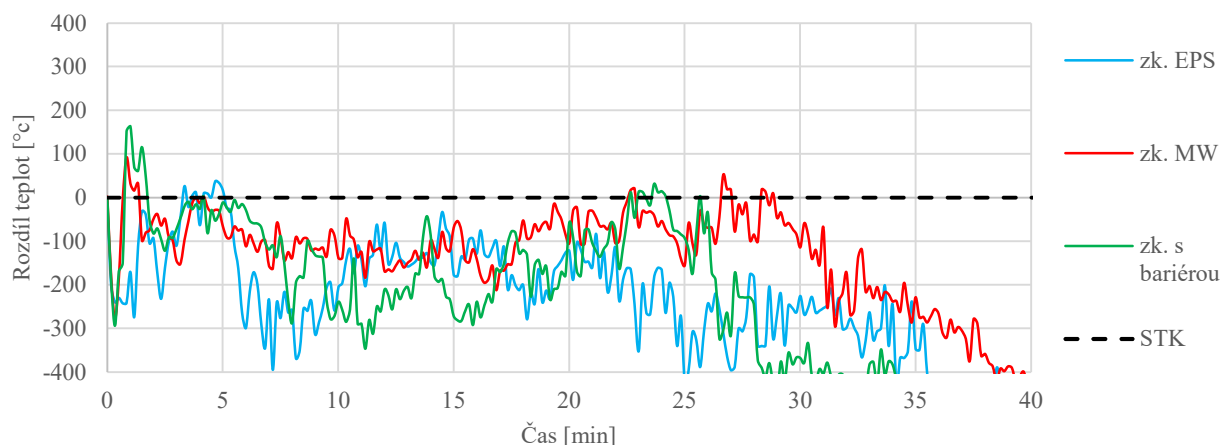
**Obr. 20** – Porovnání průběhu teplot termočláňku č. 6 s teplotní normovou křivkou ISO 834 a křivkou vnějšího požáru



**Obr. 21** – Rozdíl teplot termočláňku č. 8 proti teplotní normové křivce ISO 834



**Obr. 22** – Porovnání průběhu teplot termočláňku č. 8 se speciální teplotní křivkou



**Obr. 23** – Rozdíl teplot termočlánku č. 8 oproti speciální teplotní křivce

## 6.4 Simulace požární zkoušky pomocí softwaru

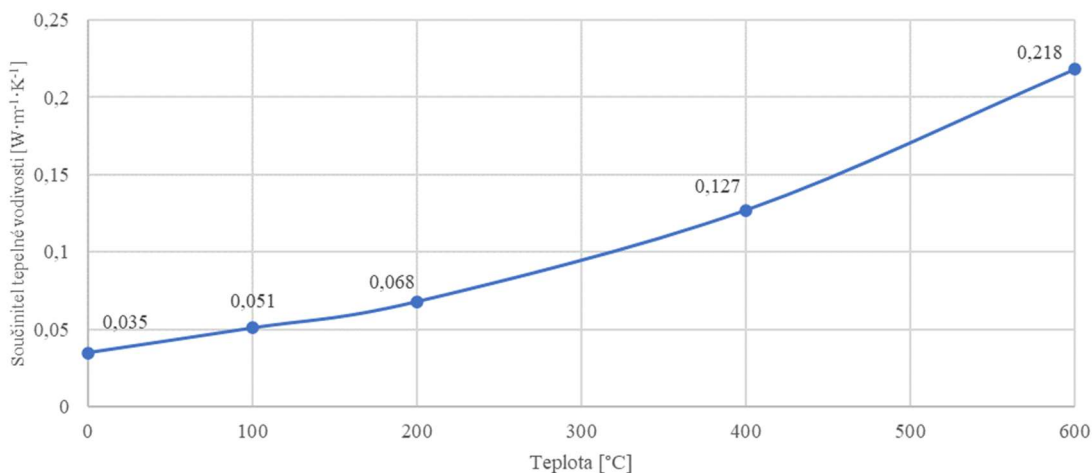
Pro predikci výsledků požární zkoušky byla provedena simulace požární zkoušky pomocí softwaru Argos. Zónový model Argos je software, který se využívá pro hodnocení požárních rizik s možností predikce šíření tepla, kouře apod. Software Argos vyvinul dánský institut Danish Institute of Fire and Security Technology. Výpočty a požární simulace jsou založeny na algoritmech dvouzónových modelů. Zónové modely požáru jsou deterministické matematické modely, které vycházejí z ideálního průběhu požáru v uzavřeném prostoru. Základním principem zónových modelů je rozdělení prostoru do jedné nebo dvou homogenních zón, kde má každá zóna stejnou teplotu plynů, koncentraci plynů a hustotu. Výpočtový program Argos mimo modelace požáru v uzavřené místnosti dokáže modelovat 1D vedení tepla v konstrukci. [20]

Vzhledem k nízkému výpočtovému času 1D modelu bylo modelováno několik příkladů s identickými okrajovými podmínkami. Měněným parametrem byla pouze tloušťky minerální vaty.

### 6.4.1 Okrajové podmínky simulace

1D model vedení tepla dokáže modelovat třívrstvou konstrukci. Do materiálové definice jednotlivých vrstev se vkládá součinitel tepelné vodivosti [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ], měrná tepelná kapacita [ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ] a hustota, respektive objemová hmotnost [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]. Software Argos umožňuje pro jednotlivé materiálové charakteristiky stanovit závislost na teplotě. Na *Obr. 24* je možné vidět závislost součinitele tepelné vodivosti minerální vaty na teplotě, kde tento průběh byl zohledněn v matematickém modelu 1D vedení tepla. Výpočtový čas byl stanoven na 600 s.





**Obr. 24** – Závislost součinitele tepelné vodivosti minerální vaty na teplotě

Argos umožňuje pro model 1D vedení tepla použít pouze tři vrstvy. Vzhledem k tomuto faktu byly použity následující vrstvy, které reflektují požární zkoušku:

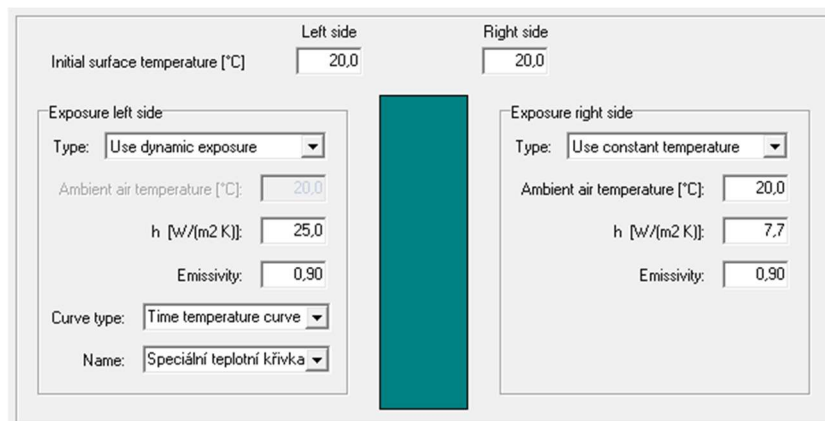
- omítkový systém, tl. 5 mm,
- minerální vata, tl, rozdílná pro modely,
- expandovaný polystyren, tl. 100 mm.

Materiálové charakteristiky jednotlivých vrstev, které byly použity ve výpočtu, jsou uvedeny v Tab. 8.

**Tab. 8** – Materiálové charakteristiky použitých materiálů v 1D modelu vedení tepla

Vrstva	Součinitel tepelné vodivosti [W · m <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]	Měrná tepelná kapacita [J · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]	Objemová hmotnost [kg · m <sup>-3</sup> ]
Omítka vápenná	0,880	840	1600
EPS	0,039	1270	15
MW	viz Obr. 24	790	150

Jako teplotní namáhání byla použita speciální teplotní křivka, jež je dána předpisem v rovnici (4) a graficky znázorněna viz Obr. 22. Počáteční teplota je stanovena na 20 °C. Levá strana, kde jsou vrstvy umístěny v tomto pořadí, omítka vápenná, minerální vata, EPS, je zatížena teplotnímu namáhání viz Obr. 25.



**Obr. 25** – Uživatelské rozhraní programu Argos pro 1D model vedení tepla

#### 6.4.2 Výsledky 1D modelu vedení tepla

V závislosti na tloušťce krycí vrstvy z minerální vaty bylo provedeno 8 modelů. Tloušťka minerální vaty byla měněna po 5 mm v intervalu od 20 mm do 55 mm.

Sledovanými parametry byly průběhy teplot skrze souvrství v závislosti na použité tloušťce krycí vrstvy z minerální vaty a teploty EPS. Mezi nejsledovanější teploty EPS se řadí 100 °C, kdy dochází k měknutí, sublimaci, tavení a teplota 360 °C, při které dojde k zapálení EPS. [22]

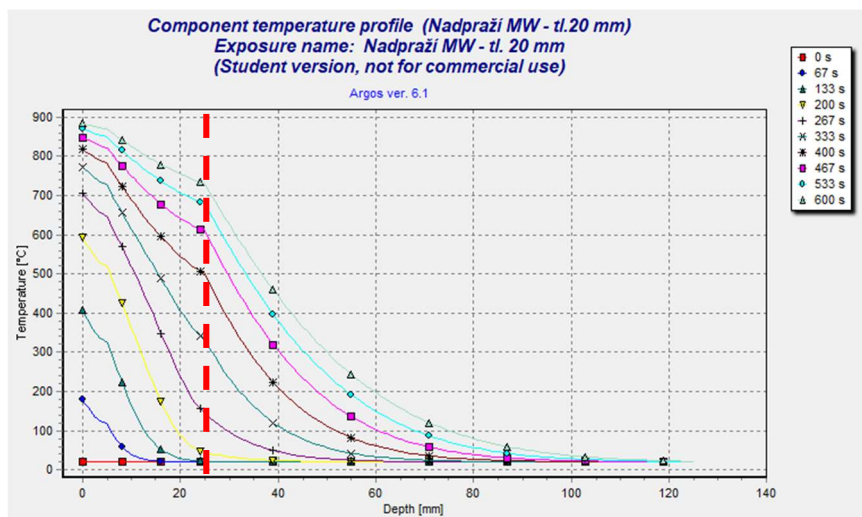
Důležitým faktorem bylo stanovení výpočtového času. Software Argos generuje pro 1D model vedení tepla pouze grafické výsledky. Ačkoli je pro velkorozměrovou požární zkoušku dán časový limit 60 minut, pro grafické zhodnocení rozložení teplot programem Argos byl tento časový interval nevhodný, neboť časový krok výpočtu je přibližně 300 s a hodnoty jsou nepřesné viz *Obr. 27*. Z tohoto důvodu byl výpočtový interval stanoven na 600 s, čímž se zkrátil časový krok výpočtu a získané hodnoty jsou přesnější.

Na *Obr. 26*, *Obr. 27* a *Obr. 28* je červenou čárkovanou čarou zvýrazněna hranice MW a EPS. Hranice je posunuta o 5 mm oproti tloušťce krycí vrstvy, neboť 5 mm tvoří omítkový systém.

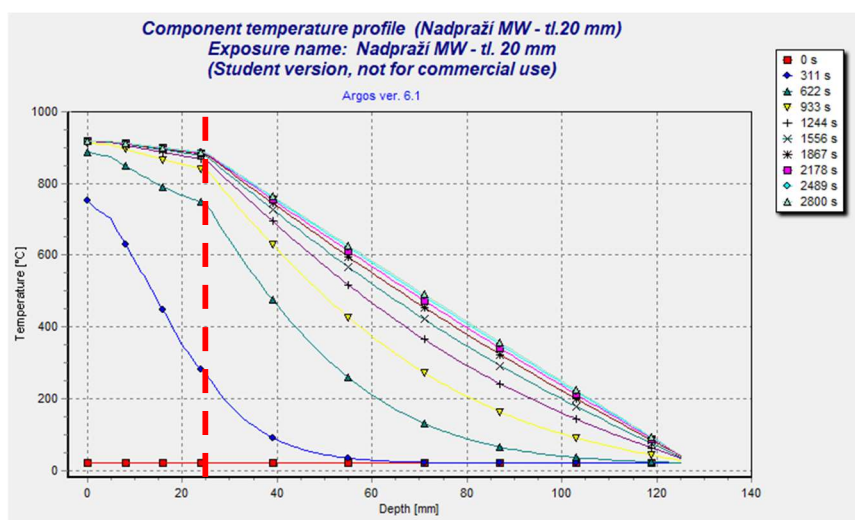
Pro názornost bylo z *Obr. 26* a *Obr. 28* provedeno odečtení hodnot na pomezí vrstvy minerální vaty a EPS. Pro ostatní modely jsou teploty na pomezí těchto vrstev pro jednoduchost uvedeny v *Obr. 29*.

Na *Obr. 29* je vyznačen průběh teplot jednotlivých 1D modelů. V obrázku jsou znázorněny sledované kritické teploty 100 °C a 360 °C. Z obrázku je patrné, že závislost mezi jednotlivými tloušťkami není lineární, tedy že průběh teplot např. pro tloušťku 40 mm není dvakrát menší, než pro tloušťku 20 mm.

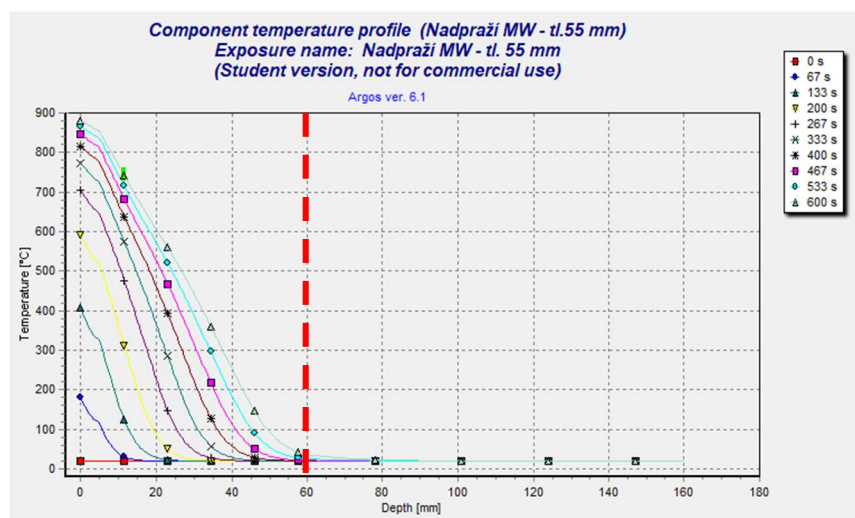
Teplotu 360 °C v relativně nízkém čase překročí tři vzorky. Vzorek s krycí vrstvou tl. 35 mm se ve sledovaném čase dostane právě na hodnotu 360 °C. Nejbezpečnější jsou vzorky s krycí vrstvou přesahující tloušťku 50 mm. Z obrázku je ale patrné, že s rostoucí tloušťkou krycí vrstvy nedochází k markantnímu zlepšení vlastností. V rámci této analýzy v čase 600 s je rozdíl teplot mezi tloušťkou 50 mm a 55 mm pouze 25 °C. Vzhledem k tomu, že teplota zapálení EPS je přibližně kolem teploty 360 °C, návrh krycí vrstvy by měl být minimálně 40 mm, protože pro tuto tloušťku je zabráněno překročení teploty 360 °C. Důležitým faktorem je mimo jiné způsob a možnost kotvení. Výsledky dosažené touto analýzou je možné aplikovat na plochu ETICS, případně do ostění otvorů, ale řešení nadpraží je nutné detailněji.



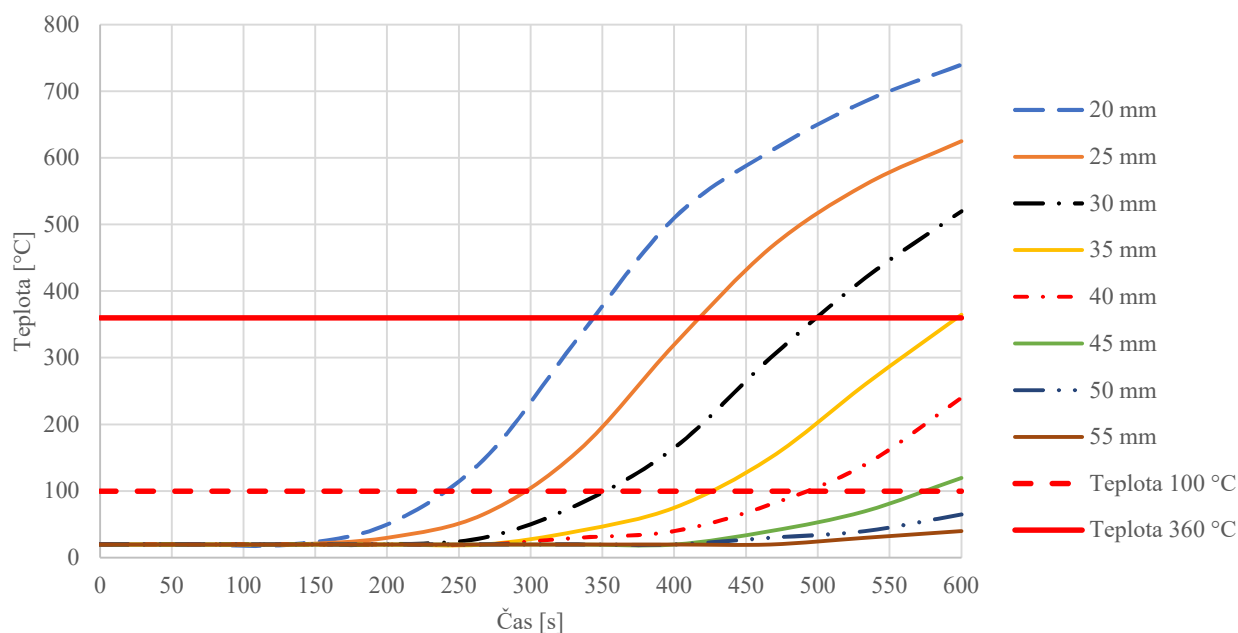
Obr. 26 – Průběh teplot 1D modelu s tloušťkou krycí vrstvy 20 mm minerální vaty s vyznačenou hranicí mezi minerální vatou a EPS ze softwaru Argos pro výpočtový čas 600 s



Obr. 27 – Průběh teplot 1D modelu s tloušťkou krycí vrstvy 20 mm minerální vaty s vyznačenou hranicí mezi minerální vatou a EPS ze softwaru Argos pro výpočtový čas 3 600 s



Obr. 28 – Průběh teplot 1D modelu s tloušťkou krycí vrstvy 55 mm minerální vaty s vyznačenou hranicí mezi minerální vatou a EPS ze softwaru Argos pro výpočtový čas 600 s



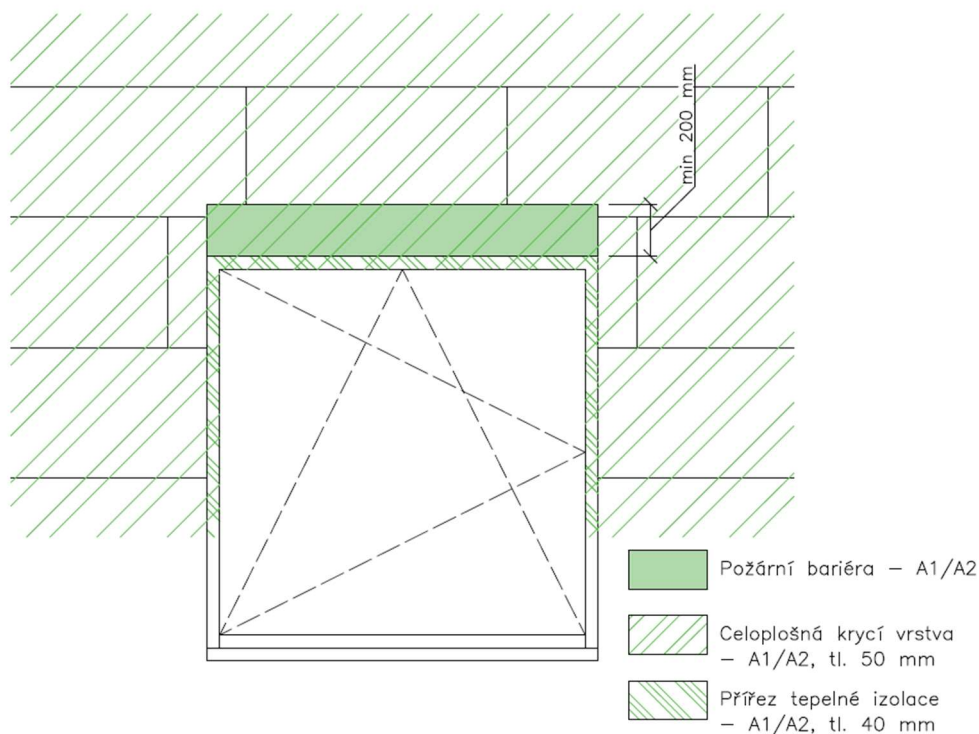
Obr. 29 – Průběh teplot na rozhraní minerální vaty a EPS pro dané 1D modely

## 6.5 Návrh řešení krycí vrstvy

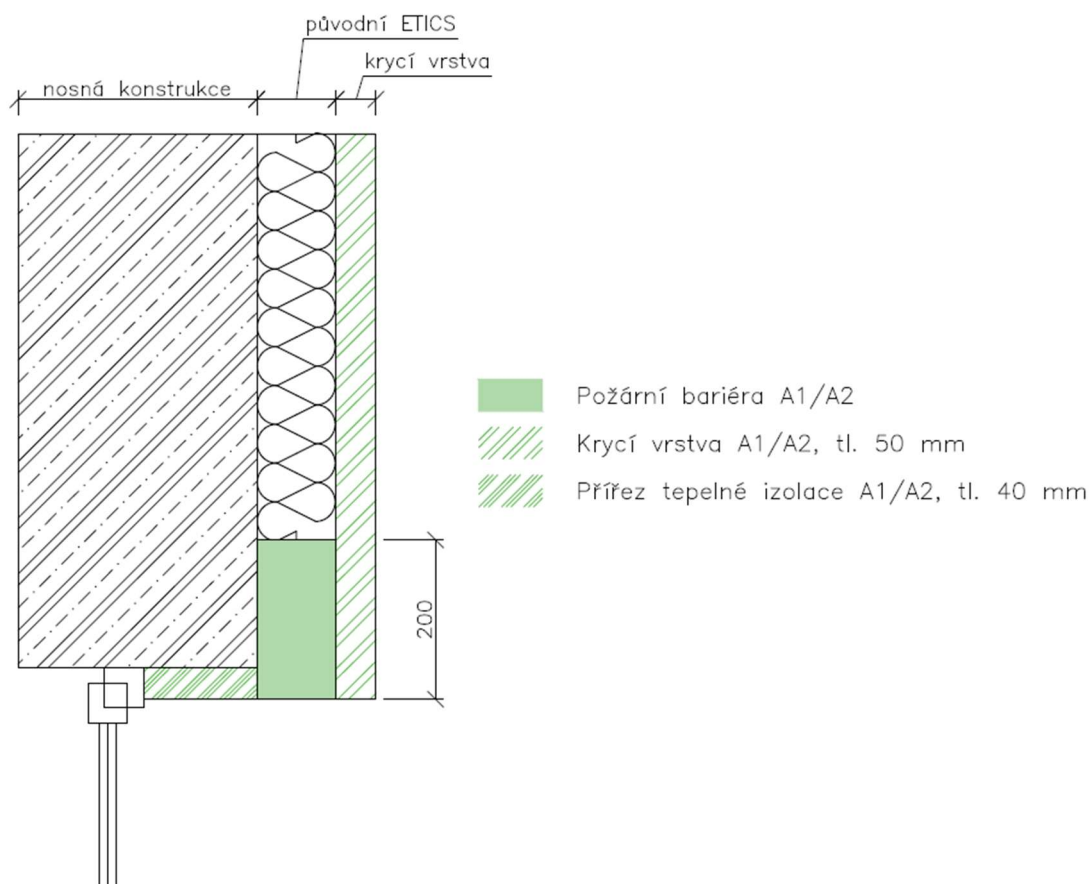
Na základě výše provedených modelů 1D vedení tepla lze stanovit tloušťku krycí vrstvy, která bezpečně zabrání pronikání tepelných účinků do souvrství zdvojeného ETICS. Krycí vrstva bude instalována v ploše ETICS, kde nedochází oproti nadpraží k tak vysokému teplotnímu namáhání. V nadpraží otvoru, které je nejkritičtější místem z hlediska působení požáru, bude současně s krycí vrstvou instalována požární bariéra, která bude instalována v místě původního ETICS viz Obr. 30 a Obr. 31. Tato požární bariéra bude mít tloušťku minimálně 200 mm a délka bude shodná s rozměrem otvoru viz Obr. 30. Mimo požární požadavky je nutné brát zřetel i na požadavky prováděcí. Zprv jde o samotnou minimální tloušťku tepelného izolantu, aby bylo možné hovořit o ETICS, která je stanovena na 50 mm. Části zateplovacího systému s menší tloušťkou jsou pouze „příslušenstvím“. To je nicméně pouze legislativní nebo terminologický problém. Zadruhé jde ale o samotnou schopnost kotvení. Dnes velmi používanou kotvou pro zateplení je kotva se zátkou, např. ejotherm® VT 2G, která díky zátku dokáže eliminovat tepelné mosty. Nicméně takové kotvy se zátkou mají hloubky hlavy okolo 40 mm a v případě srovnatelné nebo menší tloušťky by hlava kotvy kolidovala s krycí vrstvou původního zateplení. S ohledem na všechny zmíněné požadavky je navržena tloušťka krycí vrstvy 50 mm.

V případě instalace výplňového prvku do hloubky nosné konstrukce, je nutné instalovat přířez tepelné izolace. Pro zajištění požární bezpečnosti je do ostění navržen přířez z tepelného izolantu A1 nebo A2 tloušťky 40 mm.

Poznámka: Tento detail je nicméně z hlediska tepelné techniky kritickým místem, a proto bude snaha instalovat tepelné izolanty s vynikajícími tepelně izolačními schopnosti jako např. fenolická pěna. V tomto případě by bylo nutné fenolickou pěnu, případně jiný tepelně izolační materiál chránit proti účinkům požáru. Řešení detailu s hořlavým tepelným izolantem v ostění není předmětem této diplomové práce.



**Obr. 30** – Návrh řešení krycí vrstvy s požární bariérou



**Obr. 31** – Schéma návrhu řešení krycí vrstvy pro zdvojeny ETICS

## 7 Velkorozměrové zkoušky

V průběhu roku 2023 byly provedeny 3 velkorozměrové požární zkoušky, které měly veliký význam pro stanovení postoje ke dvojitému ETICS. Velkorozměrové zkoušky reflektovaly používané tepelné izolanty a možný návrh požárních bariér. Vzhledem k náročné instalaci velkorozměrových zkoušek a následném vyhodnocování po proběhlé zkoušce bylo provedeno oproti původnímu plánu o jednu požární zkoušku méně. Další velkorozměrová zkouška, která měla být zaměřena na dvojité zateplení, bohužel v době zpracování diplomové práce nebyla provedena.

### 7.1 Základní popis

Zkoušky velkého rozsahu se v historii na českém území prováděly podle mezinárodního předpisu ISO 13785-2, který je využíván v rámci Evropy i mimo ni. Tato norma ale nedefinuje jasná kritéria pro vyhodnocení dat a skutečností během zkoušky. Přestože tato norma není propojena se systémem norem ČSN, již nějaké zkoušky podle tohoto předpisu proběhly. Půdorysný tvar zkoušky je ve tvaru písmene „L“. Hlavní křídlo je dlouhé 3,0 m a vedlejší 1,2 m. Na výšku mají obě křídla 5,7 m. V hlavním křídle je otvor pro spalovací komoru. Palivem je dřevo, popřípadě jiný zdroj. [21]

I přes předpis ISO 13785-2, některé státy používají jiné normy pro velkorozměrové zkoušky, např. ve Velké Británii se používá norma BS 8414, v Německu DIN 4102-20, v Rakousku ÖNORM B 3800-5, ve Francii LEPiR2, nebo ve Švédsku SP FIRE 105. Tato nejednotnost hodnocení má veliký dopad na mezinárodní obchod a problémy v projekční rovině. [23]

Z tohoto důvodu vzniká pod vedením švédského státního výzkumného ústavu RISE jednotný evropský zkušební a klasifikační předpis. Nová evropská metodika má zajistit jednotný postup při zkušebnictví fasádních systémů v rámci jedné zkoušky, ve které jsou dvě alternativy. První varianta zkoušky odpovídá zkoušce vycházející z Velké Británie a má mít průběh s velkým účinkem požáru, tj. 3 MW. Druhá varianta má základ v provádění v Německu a reflektuje průběh se středním účinkem požáru, jehož výkon je 320 kW.

Dále v této práci dochází k popisu velkorozměrové zkoušky s velkým účinkem požáru. Aktuální návrh velkorozměrové zkoušky je založený na principu požáru po dosažení flashover efektu. Flashover efekt předchází fázi plně rozvinutého požáru. Požární scénář odráží požár v místnosti s následným rozšířením přes okenní otvor. Velkorozměrová zkouška hodnotí fasádní systém jako celek, nikoli pouze tepelný izolant.

Zkušební sestava pro velkorozměrovou zkoušku sestává z hlavního a bočního křídla ve tvaru písmene L viz *Obr. 32*. Rozměr hlavního křídla je 3 500 mm, boční křídlo má délku 2 000 mm. Výška je shodná pro obě křídla 7 900 mm. V hlavním křídle je umístěna spalovací komora a sekundární otvor, který má rozměry 1 200 mm x 1 200 mm, avšak pokud to zkouška nevyžaduje, není potřeba sekundární otvor do sestavy instalovat. Sekundární otvor představuje okenní otvor ve vyšším podlaží. Boční křídlo je vzhledem k hlavnímu napojeno v pravém úhlu.

Spalovací komora má rozměry 1 300 mm x 2 400 mm x 2 100 mm (š x d x v). V této komoře je umístěn zdroj paliva, kterým je pro tuto požární zkoušku dřevěná hranice. Dřevěná hranice má šířku 1 500 mm, délku 1 000 mm a výšku 1 100 mm. Zdrojem paliva jsou smrkové dřevěné latě s celkovou objemovou hmotností od 350 kg/m<sup>3</sup> do 650 kg/m<sup>3</sup>.



Doba velkorozměrové zkoušky je stanovena na 60 minut od zapálení. Po uplynutí této doby nebude vzorek ani zdroj požárního zatížení hašen.

Podrobný popis hodnotících kritérií je uveden níže, avšak v rámci návrhu metodiky se mezi obecné návrhy na sledované a posuzované kritéria řadí:

- rychlost svislého a vodorovného šíření požáru,
- odpadávání části fasády,
- délka nepřetržitého hoření vzorku,
- doutnání,
- pozorování styku spalovací komory a fásadního systému. [24]

Problematika dvojitého zateplování je řešena i v rámci rozborového úkolu „Požární bezpečnost kontaktních zateplovacích systému fasád (ETICS)“, který je zpracováván pro Českou agenturu pro standardizaci. Provádění velkorozměrových zkoušek se provádí dle navrhované evropské metodiky, avšak v rámci rozborového úkolu dochází k rozšíření některých požadavků, které jsou uvedeny níže.



**Obr. 32** – Pohled na hlavní a boční křídlo uskutečněné zkoušky, zdroj ČVUT

## 7.2 Umístění termočládků

V průběhu zkoušky je jedním z nejdůležitějších kritérií teplota. Teplota je měřena pomocí termočládků, které jsou umístěné ve vzorku i před fasádou. Vnější termočládky musí být umístěny  $50 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$  před vnější líc posuzované fasády. Vnitřní termočládky se umísťují doprostřed tepelné izolace a jejich umístění odpovídá pozicím vnějších termočládků. Rozmístění termočládků je patrné z *Obr. 33*.

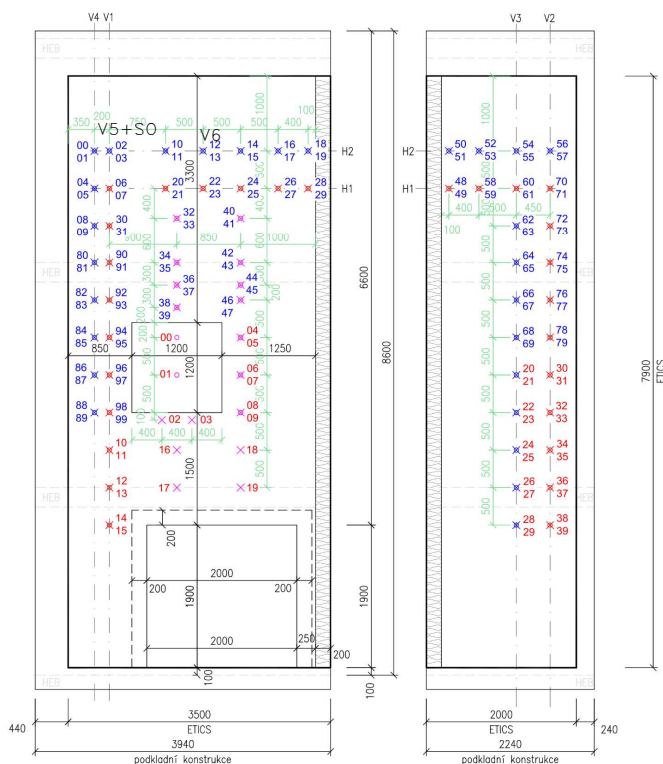
Velkorozměrová zkouška je řešena dle navrhované evropské metodiky, avšak je také předmětem řešení rozborového úkolu. Umístění termočládků – červená barva, odpovídá umístění dle návrhu evropské metodiky. Rozmístění připomíná obrácené písmenu „U“ a termočládky jsou umístěné na liniích V1, V2 a H1. Doplnění pozice termočládku dle rozborového úkolu je označeno modrou a růžovou barvou. Sloupec V4 je doplněn vzhledem k vyosení sekundárního otvoru oproti spalovací komoře. Nad spalovací komorou a v prostoru sekundárního otvoru byly umístěny termočládky, aby bylo možné sledovat šíření teploty po vertikální, ale i horizontální ose. Vzhledem k maximálnímu možnému počtu instalovaných termočládků jsou termočládky instalovány účelně. Proto například v oblasti styku obou křídel nejsou instalovány, neboť je zde vzhledem k požáru maximální teplotní účinek.

**Legenda, např.:** TC 00 = venkovní, 50 mm před fasádou  
TC 01 = vnitřní, uprostřed tloušťky izolantu 200 mm

Zkouška s velkým požárním zatížením – vzorek ETICS s tepelnou izolací z pěnového polystyrenu:

Schema rozmístění pláštových termoelektrických článků (PTČ, celkem 140ks):

- umístění PTČ dle navrhované evropské metodiky – povrch (28 ks)
- × umístění PTČ dle navrhované evropské metodiky – v izolantu (28 ks)
- umístění PTČ dle požadavku rozborového úkolu – povrch (27 ks)
- × umístění PTČ dle požadavku rozborového úkolu – v izolantu (27 ks)
- umístění PTČ dle požadavku rozborového úkolu – povrch (13 ks)
- × umístění PTČ dle požadavku rozborového úkolu – v izolantu (17 ks)



**Obr. 33** – Rozmístění termočládků pro velkorozměrovou zkoušku [25]



### 7.3 Stanovení hodnocených kritérií velkorozměrové zkoušky

Základním kritériem vycházejícím z naměřených teplot je šíření požáru. V rámci zkoušky bylo sledováno vertikální a horizontální šíření požáru. K vertikálnímu šíření požáru dojde, jestliže kterýkoli vnější nebo vnitřní termočlánek umístěný na řádku H1 překročí nárůst teploty o 500 K, resp. °C, K horizontálnímu šíření požáru dojde v případě, kdy kterýkoli vnější nebo vnitřní termočlánek umístěný na sloupcích V1 nebo V2 překročí nárůst teploty o 500 K, resp. °C, nepřetržitě po dobu 30 s během průběhu zkoušky. Vzhledem k instalaci termočláneků nad rámec navrhované metodiky bylo šíření požáru sledováno i na těchto sloupcích a liniích.

Po skončení časového intervalu zkoušky 60 minut se bude kvůli žhnutí zaznamenávat teplota, dokud na všech termočláncích neklesne teplota pod 50 °C. Maximální doba zaznamenávání je 14 hodin. Interval záznamu je maximálně 10 minut. Při řešení rozborového úkolu na ETICS, lze vzhledem k charakteru ETICS předpokládat, že odpadávání částí konstrukce nebude v případě ETICS relevantní veličinou, a tak nebude před zkušební vzorek instalována váha, která by zaznamenávala hmotnost odpadávajících konstrukcí.

Hodnoceným kritériem je i vizuální hodnocení, tedy zda dochází k nějaké deformaci či neočekávané zvláštnosti při průběhu, ale i po skončení velkorozměrové zkoušky. Dále bude pořizován videozáznam minimálně ze dvou kamer.

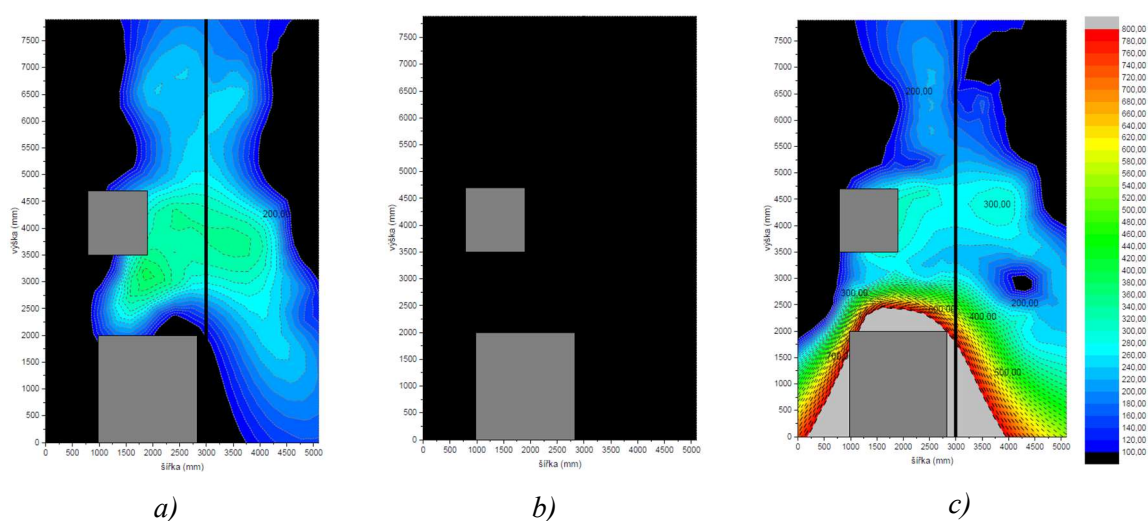
### 7.4 Grafické vyhodnocení pomocí programu

Pro grafické vyhodnocení naměřených teplot z termočláneků byl použit software OriginPro 2023b. Vyhodnocení bylo provedeno pro velkorozměrové zkoušky, které byly konané ve dnech 5. 4. 2023 (dále označovaná jako zkouška EPS), 4. 7. 2023 (dále označována jako zkouška MW) a 4. 9. 2023 (dále označována jako zkouška s bariérou). Teplotní rozložení bylo provedeno pro celou délku zkoušky tedy 0–60 minut. V rámci tohoto časového úseku, bylo vzorky vyhodnoceny průměrnou teplotou dosaženou v průběhu 2 minutového intervalu. Rozložení bylo provedeno pro vnitřní i vnější termočlánek. Výsledky rozložení teplot jsou v přílohách. Pozice zadávaných teplot v programu odpovídá pozicím termočláneků podle uskutečněných teplot. Pozice pro program jsou znázorněny černými tečkami na obr. Obr. 36.

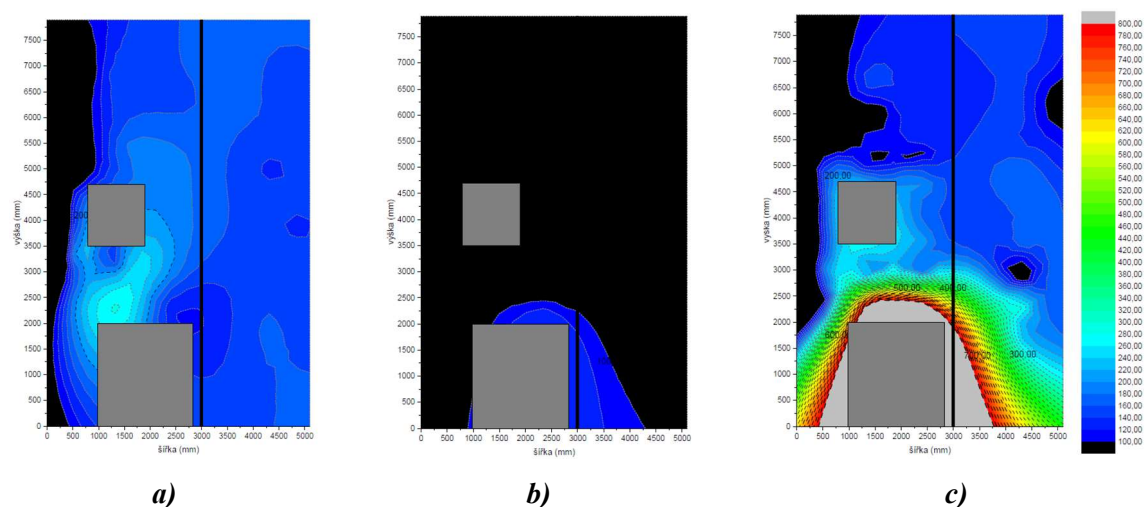
Program OriginPro využívá pro znázornění teplotního rozložení matematickou aproximaci, konkrétně lineární interpolaci. Na Obr. 37 je znázorněna výpočetní síť, kterou program využívá pro výpočet. Ve všech teplotních rozloženích je použita stejná teplotní škála pro snadné posouzení. Teploty pod 100 °C nejsou relevantní, a proto je počátek teplotní škály stanoven na 100 °C.

Cílem grafického vyhodnocení vnějších teplot je stanovení, zda má použitý tepelný izolant a použité řešení požárních bariér podíl na průběhu na vnějších teplot ETICS a zda má použitý tepelný izolant vliv na průběh požáru. Z příloh je patrné, že pro zkoušku EPS je nejvyšší teplotní profil v rozmezí teplot 14–16 minuty. Společně pro zkoušku MW a zkoušku s požární bariérou dochází k nejvyššímu teplotnímu rozložení v rozmezí 20–24 minuty. Vzhledem k podobnosti teplotních profilů všech zkoušek je evidentní, že použitý tepelný izolant nepřispívá k tepelnému namáhání a nedochází ke zvyšování teplot na vnějších termočláncích. Drobné odchylky lze přisuzovat k okrajovým podmínkám velkorozměrové zkoušky. Zkoušky, ačkoli se prováděly v interiéru, měly odlišné počáteční teploty, vlhkost a rychlost proudění vzduchu. Tomu, že tepelný izolant nepřispívá k požáru dokazuje i fakt, že průběh teplot při chladnutí

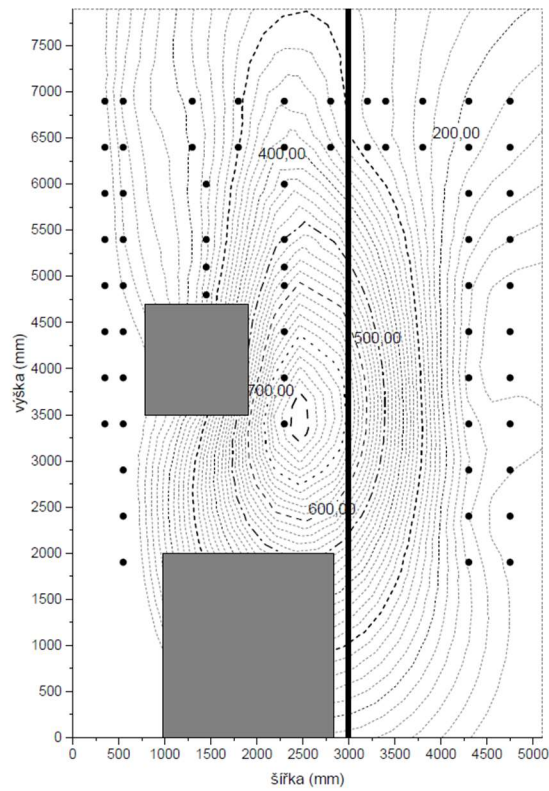
je téměř identický. Grafické vyhodnocení rozložení teplot na vnitřních termočláncích napomáhá k vyhodnocení chování systému ETICS. Z teplotních rozložení pro zkoušku EPS je zřejmé, že maximální teplota se pohybovala kolem 400 °C. Důvodem je, že vlivem působení požáru uvnitř systému ETICS došlo k vyhoření EPS. Teplota, při které dochází k hoření EPS je přibližně 350 °C. Teplotní rozložení pro vnitřní termočlánci zkoušky MW dokazují, že minerální vata odolává teplotnímu namáhání. Do 40. minuty teploty uprostřed minerální vaty nepřesahují 100 °C. Vzhledem k tomu, že je teplotní rozložení v rozmezí 0–40 minuty stejné, je v Příloze 5 uveden pouze jeden obrázek pro tento časový interval. Po 40. minutě dochází k nárůstu teplot přímo nad spalovací komorou. Toto chování je popsáno v kapitole 7.8. Pro zkoušku s bariérou je nejdůležitější aspektem vyhodnocení, že dochází k výraznému teplotnímu namáhání v oblasti požární bariéry nad spalovací komorou. Důsledkem je hořící vytavený EPS na požární bariéře. Na *Obr. 34* a *Obr. 35* je porovnání velkorozměrových zkoušek mezi sebou ve stejný časový interval 20–22 minuty a 40–42 minuty.



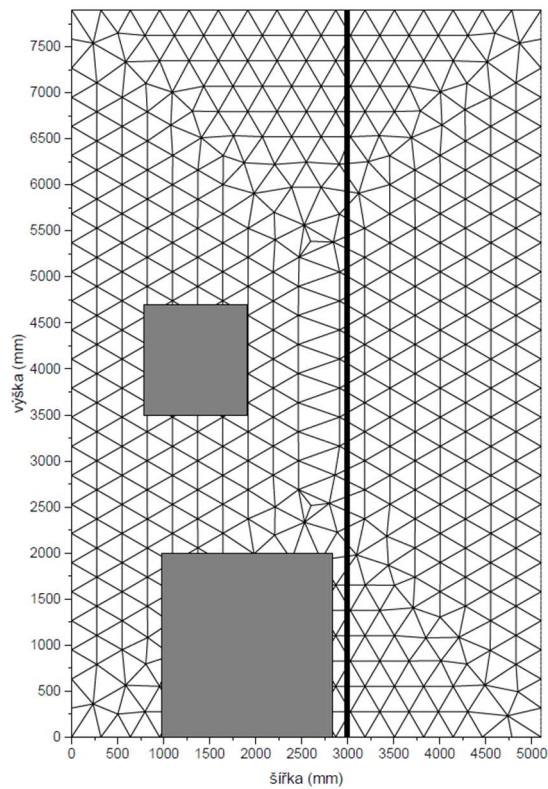
**Obr. 34** – Porovnání teplotních rozložení vnitřních termočlánců v časovém intervalu 20-22 minut  
a) zkouška EPS, b) zkouška MW, c) zkouška s bariérou



**Obr. 35** – Porovnání teplotních rozložení vnitřních termočlánců v časovém intervalu 40-42 minut  
a) zkouška EPS, b) zkouška MW, c) zkouška s bariérou



*Obr. 36 – Pozice zadávaných teplot v programu OriginPro*



*Obr. 37 – Výpočetní síť pro rozložení teplot*

## 7.5 Velkorozměrová zkouška EPS ze dne 5. 4. 2023

Jako první velkorozměrová zkouška byla provedena sestava z EPS s tloušťkou 200 mm. Pro tuto zkoušku nebyly instalovány žádné požární bariéry, a tak byl EPS na celé ploše zkušební vzorku.

Ve 4. minutě od zapálení dřevěné hranice dochází k rozevírání zateplovacího systému v nadpraží spalovací komory viz *Obr. 38 a*). Vzhledem k rozevření v oblasti nadpraží dochází téměř okamžitě k odkapávání plamenně hořících kapek EPS na desky minerální vaty viz *Obr. 38 b*), které jsou umístěné na podlaze.

Přibližně kolem 15. minuty požární zkoušky dochází k odpadávání omítky kolem sekundárního otvoru. Dále kolem sekundárního otvoru se objeví drobné plamínky. Během následujících minut požární zkoušky nedochází ke značným viditelným degradacím. Dřevěná hranice se bortí. Zhruba v 52. minutě dřevěná hranice přestává hořet plamenně.

Po ukončení zkoušky a vychladnutí vzorku došlo k demontáži ETICS, která napomůže stanovit šíření požáru. Demontáž byla započata od vrchu rozřezáním fasádní omítky. Na *Obr. 38 c*) je možné vidět pohled svrchu do souvrství ETICS. Nalevo je sekundární otvor a uprostřed obrázku je možné vidět zbytek nadpraží nad spalovací komorou. EPS se vyhořel přes celou výšku zkušební vzorku. Vlivem vyhoření EPS došlo k proudění horkých plynů mezi nosnou konstrukcí a fasádní omítkou. Důsledkem tohoto je značná tepelná degradace kotvicích prvků v systému ETICS viz *Obr. 38 d*). Na *Obr. 39* je možné vidět pohled na celý vzorek po odstranění fasádní omítky. Z černé barvy lze stanovit, že docházelo k šíření požáru skrze tepelný izolant, který se odtavil a plamenně odpadávalo dolů.

**Tab. 9** – Zhodnocení šíření požáru pro velkorozměrovou zkoušku EPS [25]

Mezní stav	Kritérium	Dosažení mezního stavu	Zhodnocení
Šíření požáru vně fasády	Horizontální (sloupec V1)	Bez dosažení	Nedochází k šíření požáru
	Horizontální (sloupec V2)	Bez dosažení	Nedochází k šíření požáru
	Vertikální (úroveň H1)	Bez dosažení	Nedochází k šíření požáru
	<i>Horizontální (sloupec V3)</i>	<i>Bez dosažení</i>	<i>Nedochází k šíření požáru</i>
	<i>Horizontální (sloupec V4)</i>	<i>Bez dosažení</i>	<i>Nedochází k šíření požáru</i>
	<i>Horizontální (sloupec V5+SO)</i>	<i>Bez dosažení</i>	<i>Nedochází k šíření požáru</i>
	<i>Horizontální (sloupec V6)</i>	<i>1 min</i>	<b><i>Dochází k šíření požáru</i></b>
	<i>Vertikální (úroveň V2)</i>	Bez dosažení	Nedochází k šíření požáru
Šíření požáru uvnitř fasády	Horizontální (sloupec V1)	Bez dosažení	Nedochází k šíření požáru
	Horizontální (sloupec V2)	Bez dosažení	Nedochází k šíření požáru
	Vertikální (úroveň H1)	Bez dosažení	Nedochází k šíření požáru
	<i>Horizontální (sloupec V3)</i>	<i>Bez dosažení</i>	<i>Nedochází k šíření požáru</i>
	<i>Horizontální (sloupec V4)</i>	<i>Bez dosažení</i>	<i>Nedochází k šíření požáru</i>
	<i>Horizontální (sloupec V5+SO)</i>	<i>Bez dosažení</i>	<i>Nedochází k šíření požáru</i>
	<i>Horizontální (sloupec V6)</i>	<i>Bez dosažení</i>	<i>Nedochází k šíření požáru</i>
	<i>Vertikální (úroveň V2)</i>	<i>Bez dosažení</i>	<i>Nedochází k šíření požáru</i>

*Tab. 9* poskytuje zhodnocení kritéria šíření požáru. V tabulce kurzívou uvedená kritéria jsou hodnocena nad rámec navrhované metodiky pro účely rozborového úkolu. V dosažení



mezního stavu je uveden časový údaj, který je na konci 30 sekundového pozorovacího intervalu. Jak je patrné, došlo k překročení teploty na termočláнку ve sloupci 6. Toto se dalo předpokládat, neboť sloupec 6 je rozmístěn přímo nad spalovací komorou a zde jsou účinky požáru největší. Nedá se tedy právoplatně zhodnotit, že došlo k šíření požáru, neboť na nárůst teploty má vliv teplota plynů ze spalovací komory.



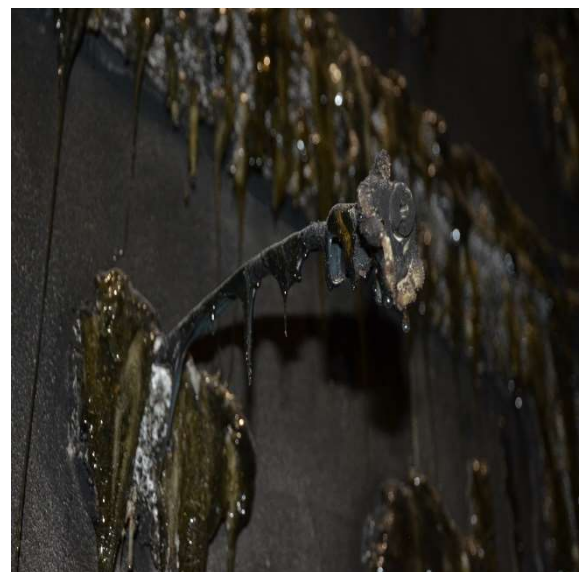
a)



b)



c)



d)

**Obr. 38** – Požární zkouška EPS: a) rozevírání zateplovacího systému v nadpraží spalovací komory, b) plamenně hořící vytavený EPS ze souvrství ETICS, c) pohled svrchu do souvrství ETICS, d) detail kotvicího prvku



*Obr. 39 – Pohled na zkoušku EPS po odstranění fasádní omítky*

## 7.6 Velkorozměrová zkouška MW ze dne 4. 7. 2023

Druhá velkorozměrová zkouška byla uskutečněna s tepelným izolantem třídy reakce na oheň A1, tedy minerální vatou. Minerální vata byla jako u zkoušky EPS instalována na celé ploše zkušebního vzorku.

Vývoj požáru ve spalovací komoře odpovídal předpokladu a průběh byl totožný s prvně provedenou požární zkouškou. Přibližně ve 3. minutě dochází k odpadávání omítky nalevo pod sekundárním otvorem, což je způsobeno přímým vystavením účinkům požáru viz *Obr. 40 a)*. Působením vysokých teplot dochází v 6. minutě k mírnému rozevírání zateplovacího systému v oblasti nadpraží spalovací komory viz *Obr. 40 c)*, jehož stav při dohořívání dřevěné hranice, kolem 60. minuty je znázorněn na *Obr. 40 b)*.

Kolem 10. minuty dochází k prokreslování kotev v okolí spalovací komory, viditelné zejména na bočním křídle viz *Obr. 40 d)*. V dalším průběhu zkoušky nejsou žádné viditelné degradace ETICS, kromě borcení dřevěné hranice.

Po vychladnutí vzorku opět došlo k rozebrání ETICS a vyhodnocení po sejmutí fasádní omítky. Vzhledem k použitému nehořlavému tepelnému izolantu, kdy nedošlo k šíření požáru skrze tepelný izolant, byl prokreslen kužel požáru na tepelný izolant viz *Obr. 41*.

Mezi nejsledovanější parametry patřila teplotní degradace minerální vaty v příčném řezu. Ačkoli je minerální vata nehořlavá, vlivem působení vysoké teploty dochází k vedení tepla skrze tepelný izolant. Na *Obr. 40 e)* je možné na podélném řezu vidět teplotní degradaci desky minerální vaty vystavené přímo nad spalovací komorou. Minerální vata o tloušťce 200 mm je na straně odvrácené od požáru téměř bez teplotní degradace. Na *Obr. 40 f)* je patrné, že levý dolní roh, který je na straně odvrácené od požáru, byl teplotně degradován. Tato degradace je ale způsobena rozevřením zateplovacího systému v oblasti nadpraží, ze které je právě deska tepelné izolace vyjmuta.

V případě zkoušky ETICS s použitým nehořlavým tepelným izolantem se nepředpokládá k šíření požáru. Důležitým hodnotícím kritériem je žhnutí. Stav žhnutí můžeme připodobnit, že materiál je v částečně zapáleném stavu, kdy vyzařuje teplo, případně světlo, a není v plamenech. Dle definice z normy [26] je žhnutí hoření materiálu v pevném skupenství bez plamene, avšak s vyzařováním světla ze zóny hoření. V případě EPS tento stav je bezpředmětný, neboť došlo k vytavení, ale pro ETICS s minerální vatou je to velice významným faktorem. Podrobnější popis žhnutí ETICS s minerální vatou je popsán níže v kapitole 7.8.

V *Tab. 10* je zhodnoceno kritérium šíření požáru. Výsledky jsou stejné jako při zkoušce EPS. Při porovnání mezních stavů se zkouškou EPS by se dalo reflektovat, že použitý tepelný izolant nemá vliv na šíření požáru, neboť jak EPS, tak minerální vata nepřispívají k šíření požáru, přestože EPS je hořlavý a minerální vata nikoli. Podrobnější vyhodnocení tohoto faktu je provedeno níže v kapitole 7.8. Překročení mezního stavu dojde na sloupci V6, také v první minutě, a jedná se opět o překročení z důvodu vysoké teploty plynů z hoření.

**Tab. 10** – Zhodnocení šíření požáru pro velkorozměrovou zkoušku MW [27]

Mezní stav	Kritérium	Dosažení mezního stavu	Zhodnocení
Šíření požáru vně fasády	Horizontální (sloupec V1)	Bez dosažení	Nedochází k šíření požáru
	Horizontální (sloupec V2)	Bez dosažení	Nedochází k šíření požáru
	Vertikální (úroveň H1)	Bez dosažení	Nedochází k šíření požáru
	<i>Horizontální (sloupec V3)</i>	<i>Bez dosažení</i>	<i>Nedochází k šíření požáru</i>
	<i>Horizontální (sloupec V4)</i>	<i>Bez dosažení</i>	<i>Nedochází k šíření požáru</i>
	<i>Horizontální (sloupec V5+SO)</i>	<i>Bez dosažení</i>	<i>Nedochází k šíření požáru</i>
	<i>Horizontální (sloupec V6)</i>	<i>1 min</i>	<b><i>Dochází k šíření požáru</i></b>
	<i>Vertikální (úroveň V2)</i>	Bez dosažení	Nedochází k šíření požáru
Šíření požáru uvnitř fasády	Horizontální (sloupec V1)	Bez dosažení	Nedochází k šíření požáru
	Horizontální (sloupec V2)	Bez dosažení	Nedochází k šíření požáru
	Vertikální (úroveň H1)	Bez dosažení	Nedochází k šíření požáru
	<i>Horizontální (sloupec V3)</i>	<i>Bez dosažení</i>	<i>Nedochází k šíření požáru</i>
	<i>Horizontální (sloupec V4)</i>	<i>Bez dosažení</i>	<i>Nedochází k šíření požáru</i>
	<i>Horizontální (sloupec V5+SO)</i>	<i>Bez dosažení</i>	<i>Nedochází k šíření požáru</i>
	<i>Horizontální (sloupec V6)</i>	<i>Bez dosažení</i>	<i>Nedochází k šíření požáru</i>
	<i>Vertikální (úroveň V2)</i>	<i>Bez dosažení</i>	<i>Nedochází k šíření požáru</i>





a)



b)



c)



d)



e)



f)

**Obr. 40** – Požární zkouška MW: a) odpadnutá omítka pod sekundárním otvorem, b) stav nadpraží při dohořívání dřevěné hranice, c) rozevirání nadpraží zateplovacího systému, d) vykreslení kotvicích prvků, e) podélný řez minerální vaty, f) příčný řez minerální vatou





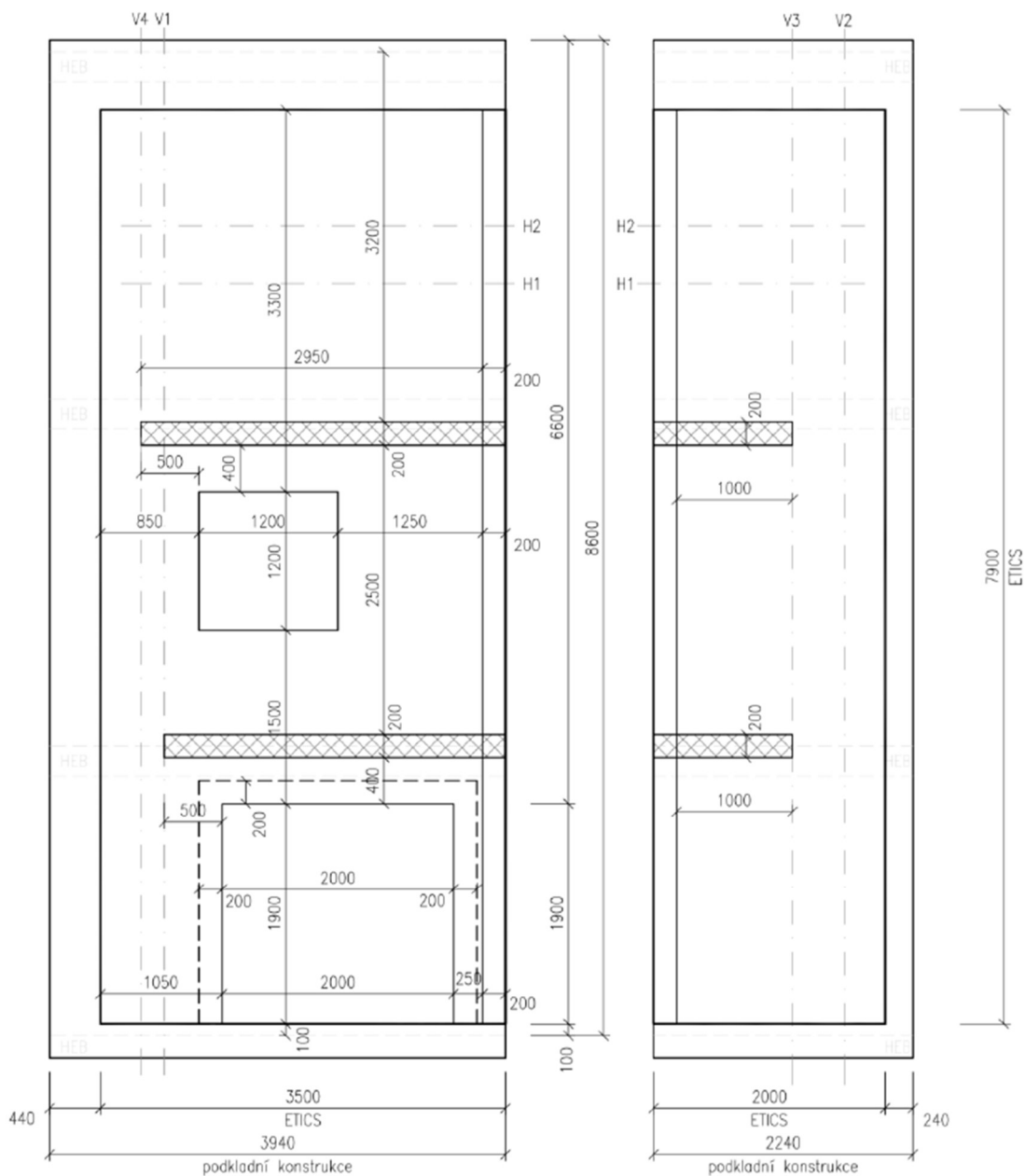
*Obr. 41 – Pohled na zkoušku MW po odstranění fasádní omítky*

### **7.7 Velkorozměrová zkouška s bariérou ze dne 4. 9. 2023**

Poslední provedenou zkouškou byla sestava EPS s instalací požárních bariér z minerální vaty o šířce 200 mm. Tato zkouška odráží zahraniční postup a byla uskutečněna pro získání pohledu na požární bariéru právě s tloušťkou 200 mm, neboť současný normový postup ukládá instalaci požární bariéry o šíři 900 mm. Rozvržení tepelných izolantů je patrné z *Obr. 42*. Od nadpraží je požární bariéra vzdálena 400 mm. Přesah požárních bariér od ostění obou otvorů je 500 mm. Z důvodu, že je sekundární otvor oproti spalovací komoře posunut o 200 mm směrem od bočního křídla, byly nad rámeček navrhované metodiky doplněny termočláanky na sloupci V4. Přesah požární bariéry na bočním křídle vzorku je 1 000 mm a obdobně i zde jsou v linii s koncem požární bariéry umístěny termočláanky na sloupci V3.

Instalace požárních bariér umožňuje jak samostatné řešení v nadpraží otvoru, tak i průběžnou požární bariéru. Požární scénář rohové dispozice je vlivem zpětné radiace nejhorším možným scénářem. Proto byla zvolena instalace průběžné požární bariéry s přesahem na boční křídlo.

Při této zkoušce došlo k degradaci souvrství zkušebního tělesa v nadpraží nad spalovací komorou. Zkušební těleso je tvořeno tvárnici Ytong, na kterých je provedena penetrace a stěrka. Zkoušený systém ETICS je instalován na povrchovou úpravu stěrky. Při opakovaném provádění velkorozměrových zkoušek došlo k vypálení penetrace. Absence vrstvy penetrace při této zkoušce způsobila, že v průběhu zkoušky došlo k odpadnutí stěrky společně s tepelným izolantem. V důsledku nesoudržnosti podkladové konstrukce nejspíše došlo k rychlejšímu otevření nadpraží otvoru nad spalovací komorou.



**Obr. 42** – Rozvržení tepelných izolantů při velkorozměrové zkoušce s bariérou [28]

Začátek nárůstu požáru byl obdobný jako v předchozích zkouškách. Přibližně v 5. minutě zkoušky došlo k rozevírání zateplovacího systému v oblasti nadpraží spalovací komory, přičemž vznikají puchýře na povrchu omítky viz *Obr. 43 a) a d)*. Z důvodu rozevírání zateplovacího systému v oblasti nadpraží dochází přibližně v 7. minutě vlivem působení vysokých teplot k tavení EPS a odkapávání plameně hořících kapek na podlahu před spalovací

komoru. Na zemi hoří vytavený EPS viz *Obr. 43 b*). Nadpraží nad spalovací komorou se stále více rozevívá, což způsobuje možnost šíření uvnitř ETICS. Kolem 19. minuty dochází ke značnému prokreslování požární bariéry nad sekundárním otvorem a odlupování omítky z těchto míst. Důvodem jsou různé materiálové charakteristiky minerální vaty a EPS. Přibližně ve 26. minutě dochází k plamennému odhořívání odtaveného EPS na spodní požární bariéře. Plameny ze spalovací komory kolem 40. minuty dosahují jen úrovně spodní požární bariéry a hranice přestává hořet plameně. Stále probíhá lokální plamenné hoření odtaveného EPS na spodní požární bariéře.

Oproti předešlým zkouškám došlo k výraznému porušení fasádní omítky viz *Obr. 43 d*). Důvodem tvorby prasklin a puchýřů je materiálové rozhraní minerální vaty a EPS. Tyto materiály mají různé materiálové vlastnosti, které mají vliv na chování fasádního souvrství. Obdobně jako v předešlých zkouškách bylo provedeno zkoumání po vychladnutí vzorku. Největší pozornost směřovala na šíření požáru přes požární bariéry. Jak je patrné z *Obr. 43 c*), požární bariéra nad sekundárním otvorem výrazně zabránila šíření požáru. Vlivem vysokých teplot došlo k tavení EPS i nad horní požární bariérou, ale z barvy taveniny EPS lze usoudit, že nedošlo k plamennému hoření EPS.

Na *Obr. 44* je možno vidět šíření požáru a vliv požární bariéry nad sekundárním otvorem. Jak je popsáno výše, požární bariéra nad sekundárním otvorem výrazně zamezila šíření požáru skrze ETICS. Patrné je to i z *Obr. 44*, kde lze porovnat tepelnou degradaci EPS nad a pod požární bariérou sekundárního otvoru v levé části. Zatímco pod požární bariérou se EPS odtavil téměř po celé délce požární bariéry, nad požární bariérou došlo k teplotní deformaci téměř až za třetí kotvou z levé strany. Závěrem lze hodnotit, že instalace požárních bariér výrazně podmiňuje požární bezpečnost ETICS a je důležitým aspektem k zamezení šíření požáru skrze ETICS.

**Tab. 11** – Zhodnocení šíření požáru pro velkorozměrovou zkoušku s bariérou [28]

Mezní stav	Kritérium	Dosažení mezního stavu	Zhodnocení
Šíření požáru vně fasády	Horizontální (sloupec V1)	Bez dosažení	Nedochází k šíření požáru
	Horizontální (sloupec V2)	Bez dosažení	Nedochází k šíření požáru
	Vertikální (úroveň H1)	Bez dosažení	Nedochází k šíření požáru
	<i>Horizontální (sloupec V3)</i>	<i>Bez dosažení</i>	<i>Nedochází k šíření požáru</i>
	<i>Horizontální (sloupec V4)</i>	<i>Bez dosažení</i>	<i>Nedochází k šíření požáru</i>
	<i>Horizontální (sloupec V5+SO)</i>	<i>Bez dosažení</i>	<i>Nedochází k šíření požáru</i>
	<i>Horizontální (sloupec V6)</i>	<i>1 min</i>	<b><i>Dochází k šíření požáru</i></b>
	<i>Vertikální (úroveň V2)</i>	Bez dosažení	Nedochází k šíření požáru
Šíření požáru uvnitř fasády	Horizontální (sloupec V1)	Bez dosažení	Nedochází k šíření požáru
	Horizontální (sloupec V2)	Bez dosažení	Nedochází k šíření požáru
	Vertikální (úroveň H1)	Bez dosažení	Nedochází k šíření požáru
	<i>Horizontální (sloupec V3)</i>	<i>Bez dosažení</i>	<i>Nedochází k šíření požáru</i>
	<i>Horizontální (sloupec V4)</i>	<i>Bez dosažení</i>	<i>Nedochází k šíření požáru</i>
	<i>Horizontální (sloupec V5+SO)</i>	<i>9 min</i>	<b><i>Dochází k šíření požáru</i></b>
	<i>Horizontální (sloupec V6)</i>	<i>10 min</i>	<b><i>Dochází k šíření požáru</i></b>
	<i>Vertikální (úroveň V2)</i>	<i>Bez dosažení</i>	<i>Nedochází k šíření požáru</i>

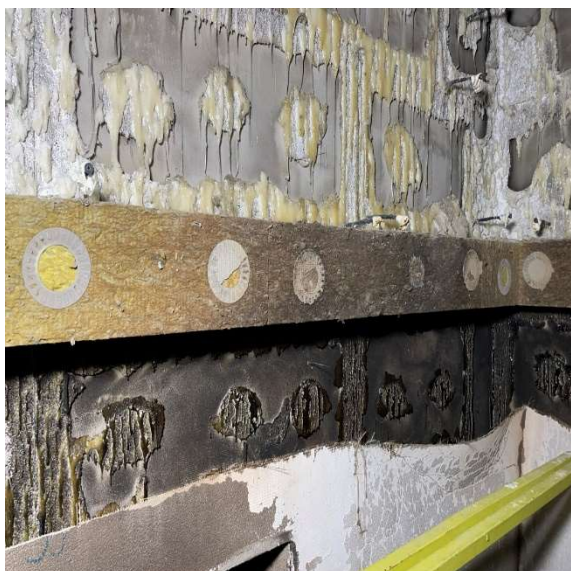
Obdobně jako u předešlých zkoušek byla zkouška vyhodnocena dle hodnotících kritérií viz *Tab. 11*. Opět došlo k překročení teploty vně fasády na sloupci V6. Opět tento údaj můžeme brát jako bezpředmětný a s určitým nadhledem. K překročení teploty došlo i na sloupci V5 + SO a V6 a to konkrétně na červeně označeném termočlánku č. 17 a č. 19. Oba tyto termočlánky jsou umístěné přímo nad spalovací komorou. Termočlánky jsou uprostřed tloušťky požární bariéry. Překročení teploty v nehořlavé tepelné izolaci je způsobeno vytavením EPS, který vlivem instalace požární bariéry neměl možnost odkapat ven ze souvrství ETICS, ale odkapával na požární bariéru, kde hořel. Vlivem hoření se akumulovala teplota i do minerální vaty, což mělo za následek nárůst teploty.



a)



b)



c)



d)

**Obr. 43** – Požární zkouška ETICS s bariérou: a) rozevírání nadpraží zateplovacího systému v nadpraží nad spalovací komorou, b) plamenně hořící odtavený EPS na podlaze před spalovací komorou, c) požární bariéra nad sekundárním otvorem, d) puchýře na omítce





*Obr. 44 – Pohled na zkoušku s bariérou po odstranění fasádní omítky*

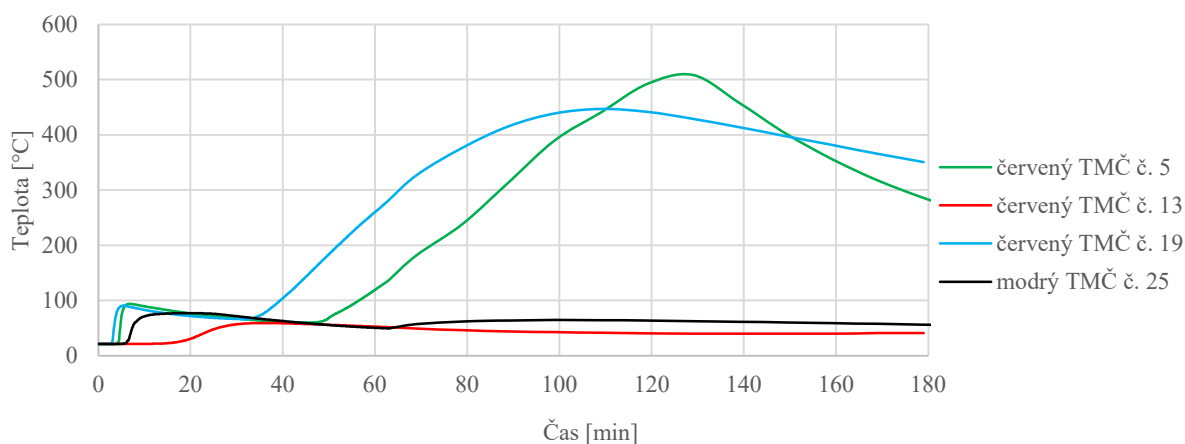
## 7.8 Porovnání velkorozměrových zkoušek

Jak je zmíněno výše, v průběhu zkoušek byly zaznamenávány teploty i uprostřed tepelného izolantu. Tyto teploty nám přiblíží chování ETICS. Ačkoliv jsou tabulky pro zhodnocení kritéria šíření požáru téměř totožné, v případě zkoušky EPS a MW zcela totožné, chování ETICS totožné není. Pro posouzení a porovnání zkoušek byl vybrán interní termočlánek č. 17 a č. 19. Jak je vidět na *Obr. 46* a *Obr. 47*, nejvyšších teplot se dosahuje při požární zkoušce s bariérou. Důvodem je vytavení EPS a usazení taveniny na požární bariéře, na které dochází následnému hoření taveniny EPS. Dalším důvodem je i usměrňování a akumulace horkých plynů v rámci souvrství ETICS. V případě zkoušky s EPS, jsou naměřené teploty o poznání nižší. Je to z toho důvodu, že dochází u EPS při teplotě 100 °C k měknutí a sublimaci,

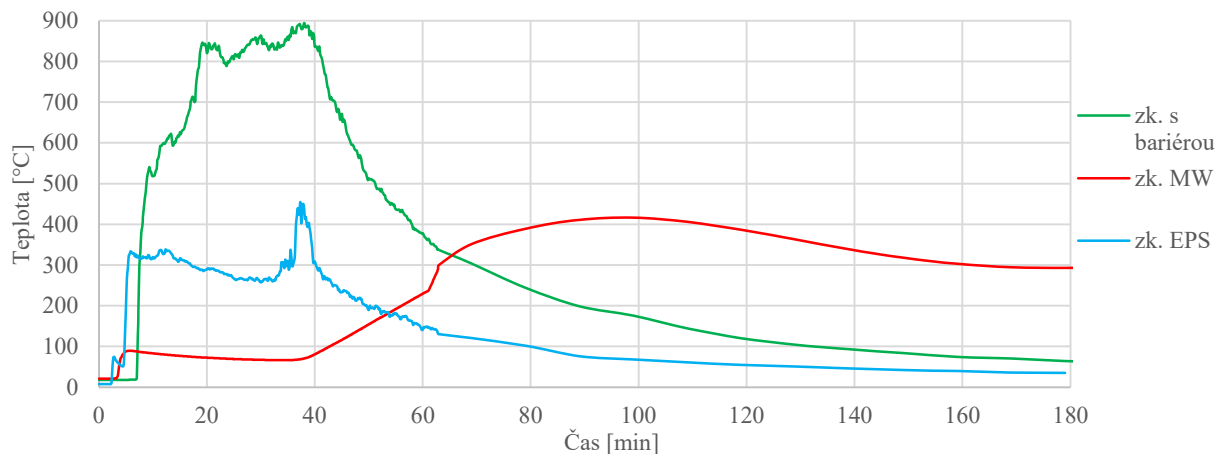
a při překročení přibližně 350 °C k hoření. V souvrství ETICS dojde k vyhoření EPS a mezera mezi fasádní omítkou a nosnou konstrukcí funguje na principu komínu. Kvůli vyhoření EPS jsou naměřené hodnoty na vnitřních termočláncích nízké a nepřevyšují teplotu 500 °C viz Příloha 4 – Průměrné rozložení vnitřních teplot velkorozměrové zkoušky EPS.

Největší a nejzásadnější rozdíl je možné vidět mezi zkouškou EPS a zkouškou s bariérou. Nejzásadněji je vidět vlastnost a podstata instalace požární bariéry. I přes fakt, že došlo k vytavení EPS při zkoušce s bariérou, lze dle barvy taveniny EPS usoudit, že nedošlo k plamennému šíření. Právě plamenné šíření skrze tepelný izolant je nejnebezpečnější variantou šíření požáru. Rozdíl je možné vidět z *Obr. 48*. Největší rozdíl je vidět v části nad požární bariérou nad sekundárním otvorem. Hodnotícím aspektem je také míra vytavení EPS, kde v případě zkoušky s požárními bariérami jsou v krajních horních rozích obou křídel nad požární bariérou nad sekundárním otvorem zbytky EPS, které sice prošly určitou tepelnou degradací, ale došlo k významně nižšímu vytavení než v porovnání se zkouškou EPS.

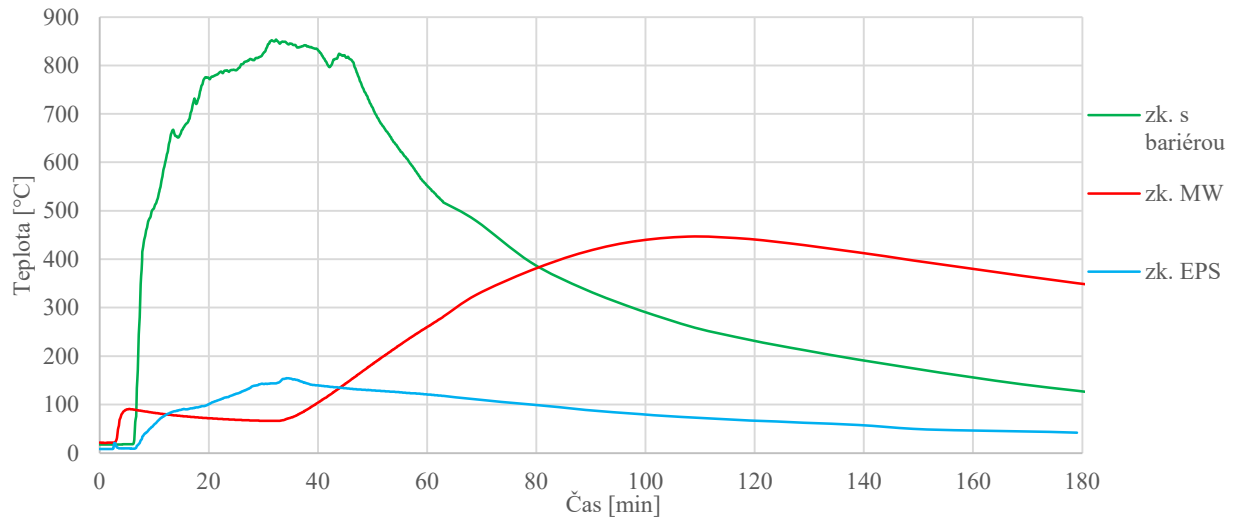
Překvapivý průběh u obrázků *Obr. 46* a *Obr. 47* má zkouška MW. Přibližně od 40. minuty zkoušky dochází k výraznému nárůstu teploty přes 400 °C. Takto výrazný nárůst teploty je způsobený žhnutím. Minerální vata, ačkoli je nehořlavá, akumuluje v průběhu požární zkoušky teplo a následně dochází k uvolňování. K akumulaci dochází zejména nad otvorem spalovací komory, kde jsou účinky hoření nejvyšší. Na termočláncích dále od spalovací komory takový teplotní nárůst není, což je patrné z *Obr. 45*.



**Obr. 45** – Porovnání nárůstu teplot na interních termočláncích při zkoušce MW



**Obr. 46** – Porovnání teplot jednotlivých zkoušek na interním termočláncu č. 17



**Obr. 47** – Porovnání teplot jednotlivých zkoušek na interním termočlátku č. 19



a)

b)

**Obr. 48** – Porovnání pohledů: a) zkouška s EPS, b) zkouška s bariérou



## 8 Závěr

Požární bezpečnost dvojitého zateplení ETICS je možné řešit dvěma způsoby. První způsob spočívá v instalaci krycí vrstvy z nehořlavého materiálu, a obalení tak hořlavého EPS. Druhým způsobem, technologicky mnohem náročnějším, je instalace požárních bariér nad otvory. Tyto požární bariéry musí být v celé tloušťce tepelného izolantu, musí tedy dojít k prořezání stávajícího tepelného izolantu. Prořezávání přináší velké komplikace mimo jiné při provádění a zaručení technologických požadavků.

Postoj zmíněných evropských zemí je téměř identický. V případě požárních bariér je požadavek na šířku 200 mm s průběhem přes obě vrstvy ETICS. Dále je mezi dalšími požadavky kotvení tepelného izolantu přes obě vrstvy. Umístění požárních bariér závisí také na celkové tloušťce dvojitého ETICS. Rozdílovou a kritickou tloušťkou je 300 mm celkového dvojitého ETICS. Požární bariéry mohou být i průběžné po obvodě fasády.

V České republice se ke dvojitému zateplení zaujímá stejný přístup jako pro normální zateplení pomocí ETICS. I zde se musí proříznout požární bariéra do původního izolantu, nicméně výška tohoto pruhu je v České republice 900 mm, což je ekologicky i technicky náročnější. Lze využít alternativní způsob překrytí nehořlavou vrstvou – krycí vrstvou. Tento způsob je v této době však finančně náročný, neboť sestava musí vyhovět dvěma požárními zkouškám (středněrozměrové a velkorozměrové). Vzhledem k tomu, že četnost využití dvojitého zateplení pomocí ETICS bude v budoucnu stále přibývat, je vhodné stanovit normové alternativní řešení, které bude technické, technologické i požární aspekty reflektovat kvalitní zabezpečení požární bezpečnosti bez nutnosti provedení dalších požárních zkoušek.

Rozborem velkorozměrových zkoušek bylo poukázáno, že i při řešení problematiky je nutné brát ohled na další konsekvence zajištění požární bezpečnosti. Při rohové dispozici u velkorozměrové zkoušky s požární bariérou byla na bočním křídle instalována požární bariéra v délce 1 000 mm ve směru od spalovací komory. V případě rohové dispozice s požární otevřenou plochou je důležitý vzít v potaz i odstupovou vzdálenost od požárně otevřené plochy a vzhledem k ní stanovit délku přesahu požární bariéry. Není tedy vhodné stanovit fixní délku přesahu požární bariéry v rohové dispozici.

Problematika dvojitého ETICS je i součástí rozborového úkolu „Požární bezpečnost kontaktních zateplovacích systémů fasád (ETICS)“. Vlivem časové náročnosti přípravy, realizace, vyhodnocení, a demontáže velkorozměrových zkoušek byla velkorozměrová požární zkouška dvojitého ETICS řešitelstský tým posunuta na první čtvrtletí roku 2024. V rámci této zkoušky bude kladen velký důraz na sledování specifických detailů. Bude se jednat především o to, zda dokáže vzdorovat požáru a zabráni rozšíření požáru skrze tepelný izolant. Dalším důležitým aspektem je zhodnocení účinnosti požárních bariér. Pozornost bude věnována, zda použitá šíře požární bariéry a přesah přes ostění otvorů bezpečně zamezuje rozšíření požáru. I přesto, že požární bariéry byly odzkoušené při třetí velkorozměrové zkoušce, při dvojitém zateplení může být chování dvojitého zateplení odlišný a účinnost požárních bariér může být odlišná. Dalším sledovaným aspektem bude i chování fasádní omítky.

Cílem návrhu zajištění požární bezpečnosti dvojitého zateplování ETICS je jednoduchost provedení a řešení bez potřeby provedení dalších zkoušek. Normové alternativní řešení spočívá ve stanovení tloušťky krycí vrstvy a umístění požárních bariér do nadpraží otvorů. Pro stanovení optimální a bezpečné tloušťky krycí vrstvy zdvojeného ETICS byla provedena



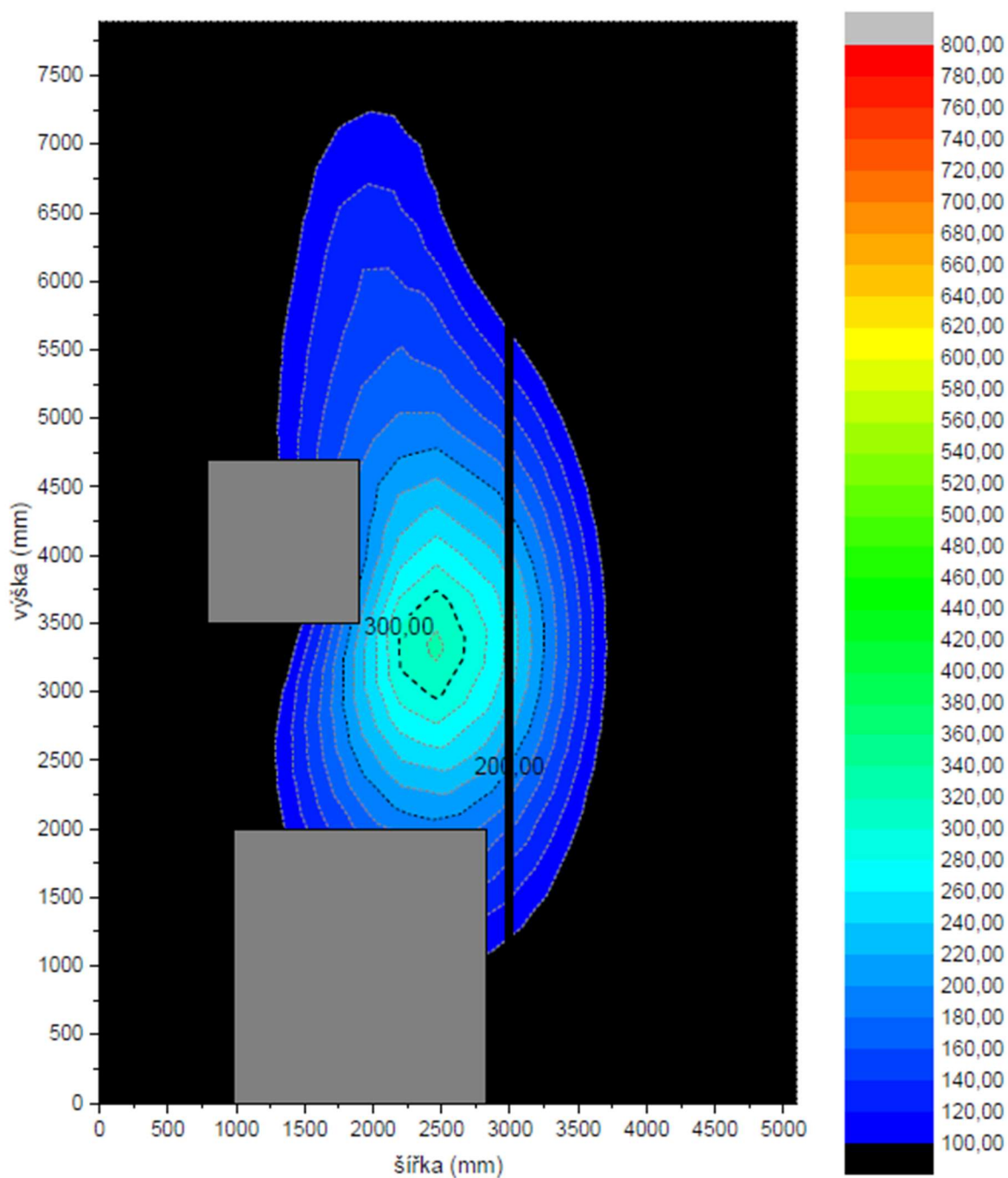
analýza modelů 1D vedení tepla. Jako okrajové podmínky analýzy byly použity kritické teploty EPS, zejména teplota 100 °C, kdy dochází k měknutí a sublimaci, a teplota 360 °C, při které dochází k zahoření EPS. Model 1D vedení tepla porovnával tloušťky krycí vrstvy od 20 mm do 55 mm. Výsledky analýzy prokázaly, že minimální optimální tloušťka je 40 mm. Krycí vrstva je instalována v ploše ETICS. V místě nadpraží je krycí vrstva vzhledem k vysokému teplotnímu působení doplněna o požární bariéru, která bude mít tloušťku 200 mm. Tento návrh bude představen řešitelskému týmu rozborového úkolu a následně ověřen velkorozměrovou zkouškou.

## Literatura

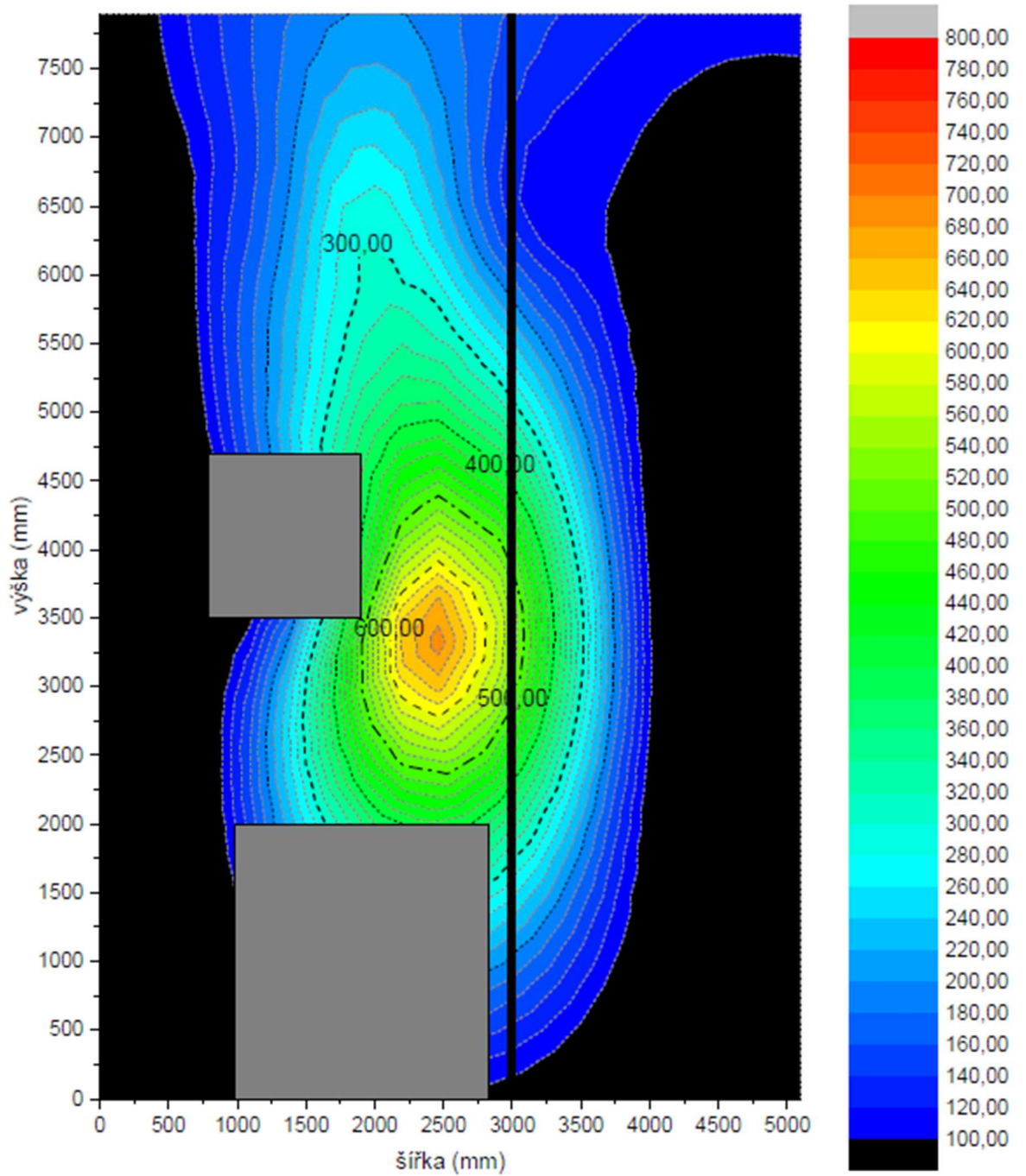
- [1] ČSN 73 0540-2 *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. B.m.: Praha: ÚNMZ
- [2] DEK A.S. *DEKTIME časopis společnosti DEK pro projektanty a architekty*. 2007. 2007, 01.
- [3] *Zdvojení ETICS (Podmínky a způsoby řešení)*. B.m.: Cech pro zateplování budov ČR, o.s. 2014
- [4] GEDAN A HETFLEIŠ S.R.O. *Príslušenství pro kotvení ETICS*. 2014
- [5] ČSN 73 0824 *Požární bezpečnost staveb - Výchřevnost hořlavých látek*. B.m.: Praha: ÚNMZ. 1992
- [6] ČSN 73 0810 *Požární bezpečnost staveb - Společná ustanovení (2016)*. B.m.: Praha: ÚNMZ
- [7] POKORNÝ, Marek a Petr HEJTMÁNEK. *Požární hledisko kontaktních zateplovacích systémů dle ČSN 73 0810:2016* [online]. 2016 [vid. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/14515-pozarni-hledisko-kontaktnich-zateplovacich-systemu-dle-csn-73-0810-2016>
- [8] DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK. *Wärmedämm-Verbundsysteme mit angedübelten und angeklebten Wärmedämmstoffen, Z-33.43-61*. 23. květen 2022
- [9] DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK. *Allgemeine Bauartgenehmigung, Bauart zur Aufdopplung von Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS) auf bestehende Wärmedämm-Verbundsysteme oder Holzwolle-Leichtbauplatten, Z-33.49-1505*. 6. leden 2021
- [10] *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* [online]. 12. duben 2002. Dostupné z: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20020750690/O/D20020690.pdf>
- [11] STOWARZYSZENIE NA RZECZ SYSTEMÓW OCIEPLEŃ. *WARUNKI TECHNICZNE WYKONAWSTWA, OCENY I ODBIORU ROBÓT ELEWACYJNYCH Z ZASTOSOWANIEM ETICS*. květen 2019
- [12] ARGE QUALITÄTSGRUPPE WÄRMEDÄMMSYSTEME. *VAR 2019 VERARBEITUNGS-RICHTLINIE FÜR WÄRMEDÄMMVERBUNDSYSTEME Technische Richtlinien und Detailzeichnungen* [online]. leden 2019. Dostupné z: <https://waermedaemmsysteme.at/wp-content/uploads/VAR-2019.pdf>
- [13] *OIB-RICHTLINIEN 2* [online]. B.m.: RICHTLINIEN DES ÖSTERREICHISCHEN INSTITUTS FÜR BAUTECHNIK. duben 2019. Dostupné z: [https://www.oib.or.at/sites/default/files/richtlinie\\_2\\_12.04.19\\_0.pdf](https://www.oib.or.at/sites/default/files/richtlinie_2_12.04.19_0.pdf)
- [14] SAINT-GOBAIN CONSTRUCTION, PRODUCTS HUNGARY KFT. a WEBER DIVÍZIÓ. *webertherm homlokzati hoszigetelo rendszer (THR)*. prosinec 2018

- [15] ASSOCIATION FRANÇAISE POUR L'ISOLATION EN POLYSTYRÈNE EXPANSÉ DANS LE BÂTIMENT, SYNDICAT NATIONAL DES INDUSTRIES DES PEINTURES, ENDUITS ET VERNIS a SYNDICAT NATIONAL DES MORTIERS INDUSTRIELS. *Protection contre l'incendie des façades béton ou maçonnerie revêtues de systèmes d'isolation thermique extérieure par enduit sur polystyrène expansé (ETICS-PSE) Version 2.0* [online]. září 2020. Dostupné z: [https://www.knauf.fr/sites/default/files/document/2023-05/V2\\_GP\\_ETICS-PSE\\_sept-2020\\_HD-Note-EFFECTIS-jan-2021.pdf](https://www.knauf.fr/sites/default/files/document/2023-05/V2_GP_ETICS-PSE_sept-2020_HD-Note-EFFECTIS-jan-2021.pdf)
- [16] *Définitions des différentes familles d'habitation* | Bluetek [online]. [vid. 2023-10-26]. Dostupné z: <https://www.bluetek.fr/fr/asservissement-definitions>
- [17] JEFECO PEINTURES. *CARNET DE DÉTAILS TECHNIQUES* [online]. Dostupné z: <https://www.jefco.fr/upload/2022/CARNET-DE-DETAILS-TECHNIQUES-ITE.pdf>
- [18] STERNOVÁ, Zuzana. *Zásady navrhovania a zhotovovania zdvojenia ETICS*. 1. vydání. Bratislava: Technický a skúšobný ústav stavebný, 2016. ISBN 978-80-8076-126-4.
- [19] *Technologický predpis a technické detaily pre zhotovovanie zdvojenia tepelnoizolačných systémov* [online]. B.m.: Baumit, spol. s r.o. duben 2021. Dostupné z: [https://baumit.sk/files/sk/technical\\_documents/TP\\_Zdvojenie-tepelnoizolacnych-systemov\\_.pdf](https://baumit.sk/files/sk/technical_documents/TP_Zdvojenie-tepelnoizolacnych-systemov_.pdf)
- [20] POKORNÝ, Marek. „Kužel“ požáru (fire plume) a výška plamenů + úvod do softwaru ARGOS (2ZM). In: . ČVUT V PRAZE. 2021.
- [21] KOBILÍK, Václav. *Analýza okrajových podmínek pro velkorozměrovou požární zkoušku fasádních systémů*. Praha, 2023. b.n.
- [22] SDRUŽENÍ ZPRACOVATELŮ ZPĚŇOVATELNÉHO POLYSTYRENU ČR. *Chování EPS v případě požáru*. 2001
- [23] BAIČEV, Matěj. *Analýza skládaných fasádních systémů v podmínkách požáru*. 2021.
- [24] RISE. *European approach to assess the fire performance of facades* [online]. 12 2023. Dostupné z: <https://www.ri.se/en/what-we-do/projects/european-approach-to-assess-the-fire-performance-of-facades>
- [25] PAVUS, A.S. *Protokol o zkoušce reakce na oheň č. Pr-23-1.060*. 23. květen 2023
- [26] ČSN EN 16733 *Zkoušky reakce na oheň stavebních výrobků - Stanovení náchylnosti stavebního výrobku k souvislému doutnání*. B.m.: Praha: ÚNMZ. 2019
- [27] PAVUS, A.S. *Protokol o zkoušce reakce na oheň č. Pr.-23-1.164*. 31. říjen 2023
- [28] PAVUS, A.S. *Protokol o zkoušce reakce na oheň č. Pr-23-1.165*. 31. říjen 2023

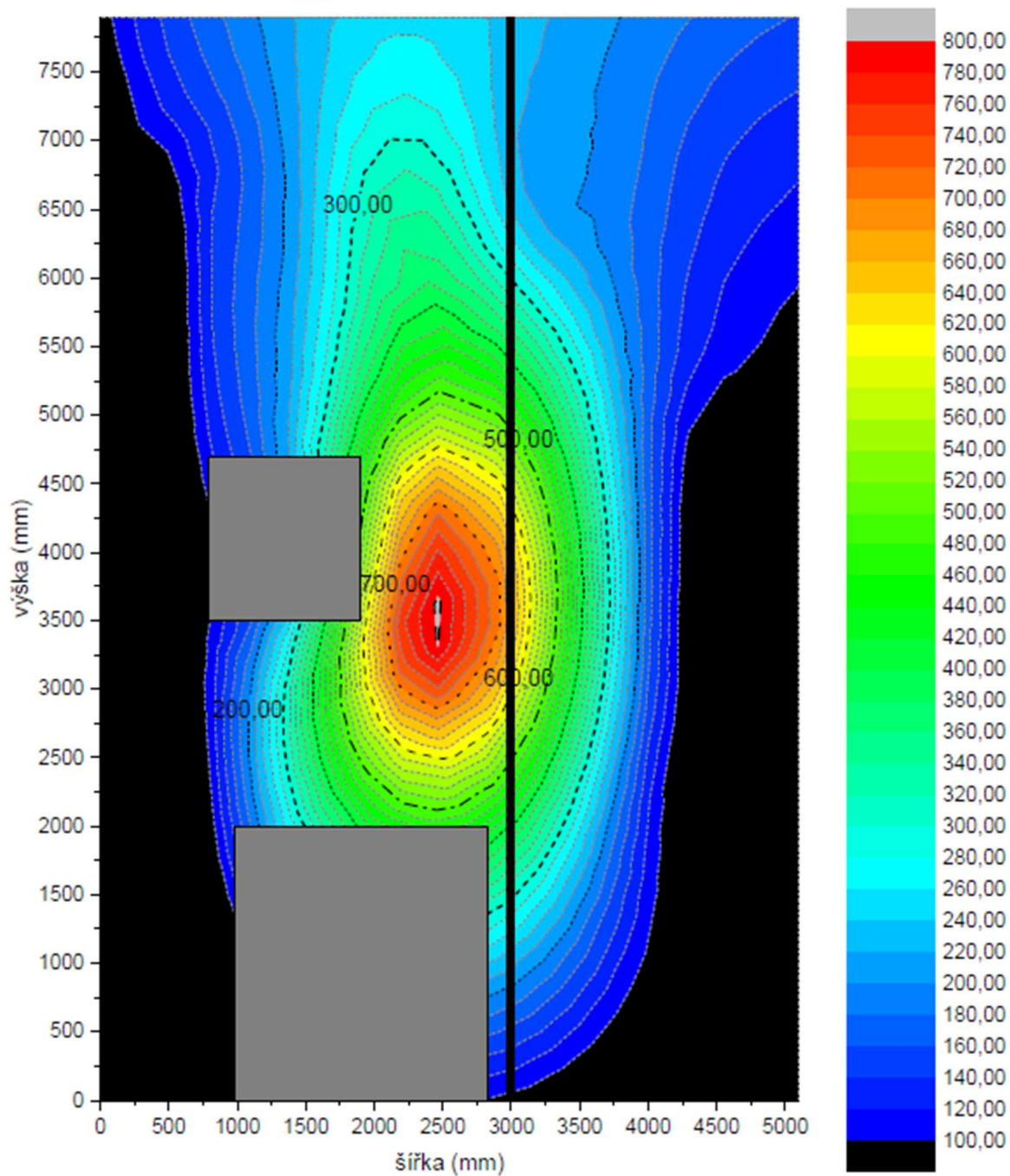
## Příloha 1 – Průměrné rozložení vnějších teplot velkorozměrové zkoušky EPS



*Obr. 49 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 0–2 minuty pro zkoušku EPS*

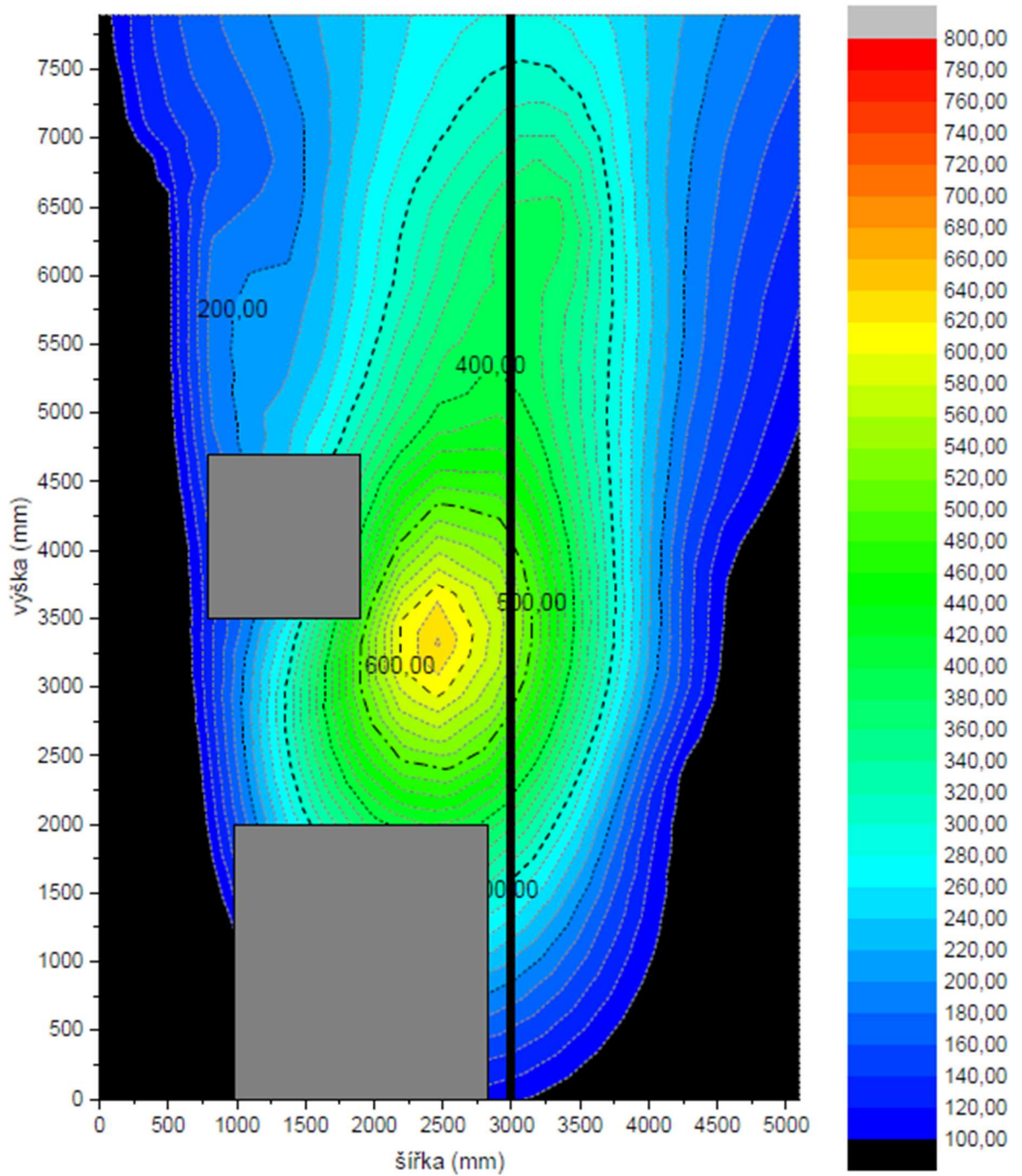


*Obr. 50 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 2–4 minuty pro zkoušku EPS*

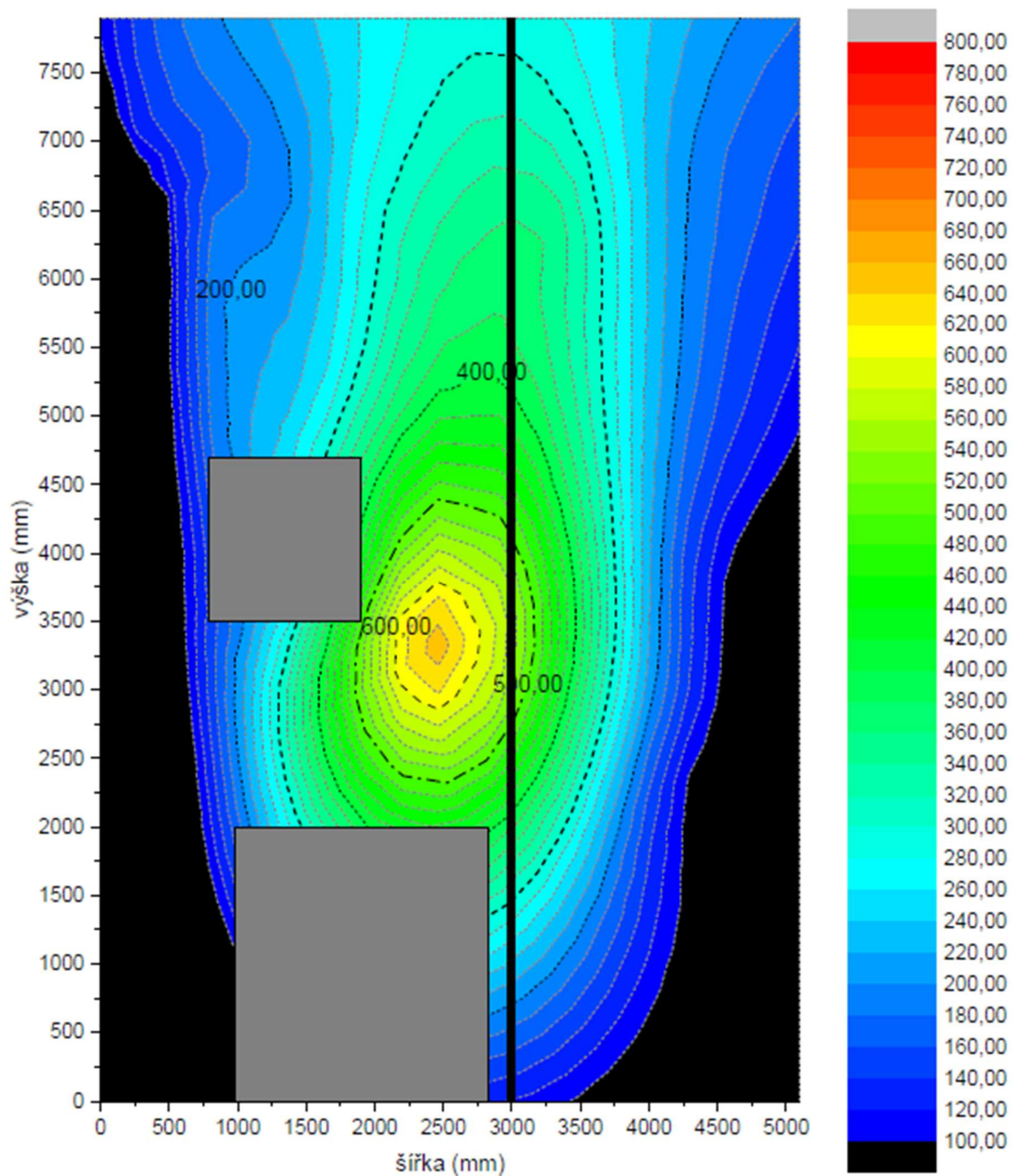


**Obr. 51** – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 4–6 minuty pro zkoušku EPS



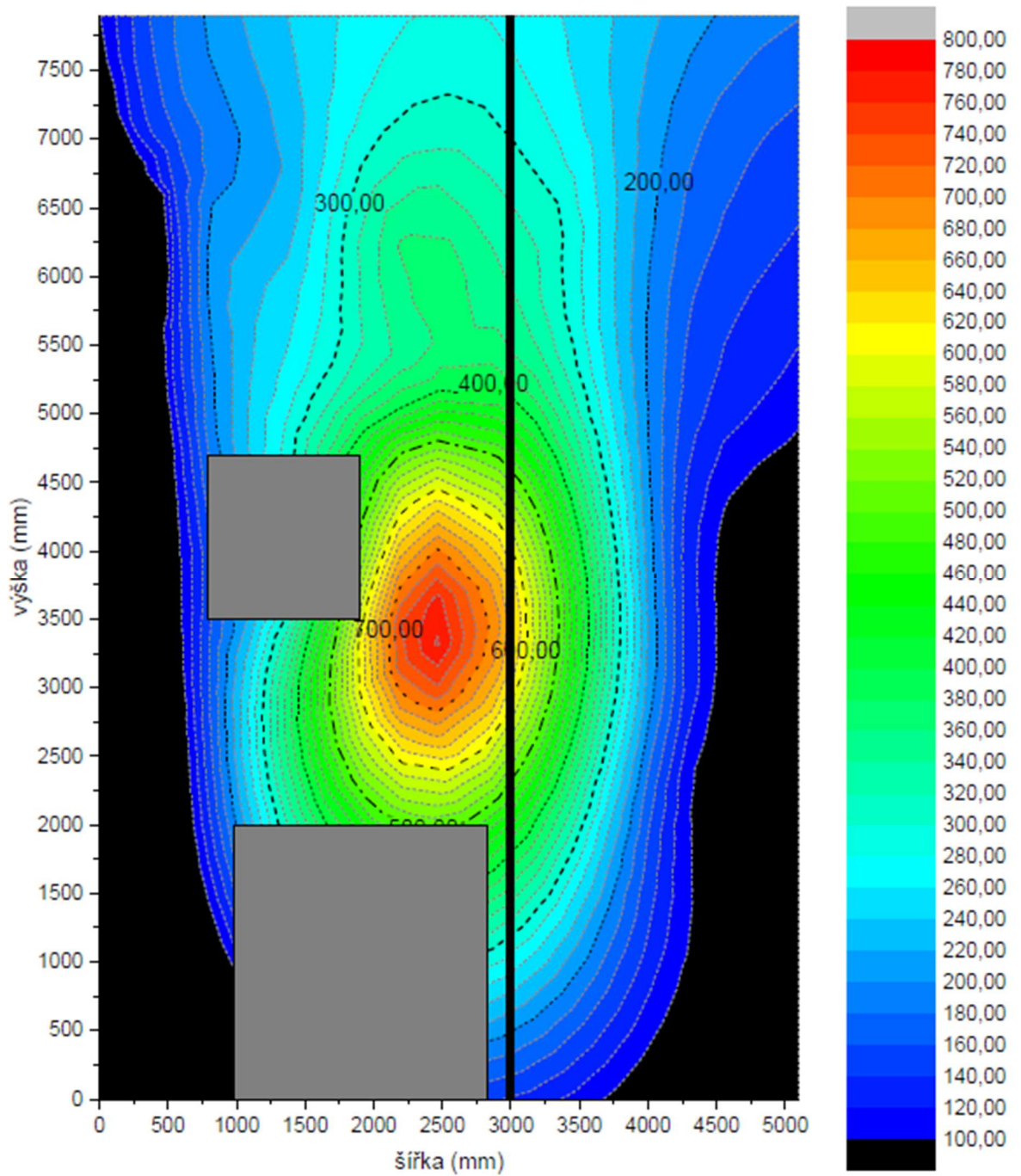


*Obr. 52 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 6–8 minuty pro zkoušku EPS*

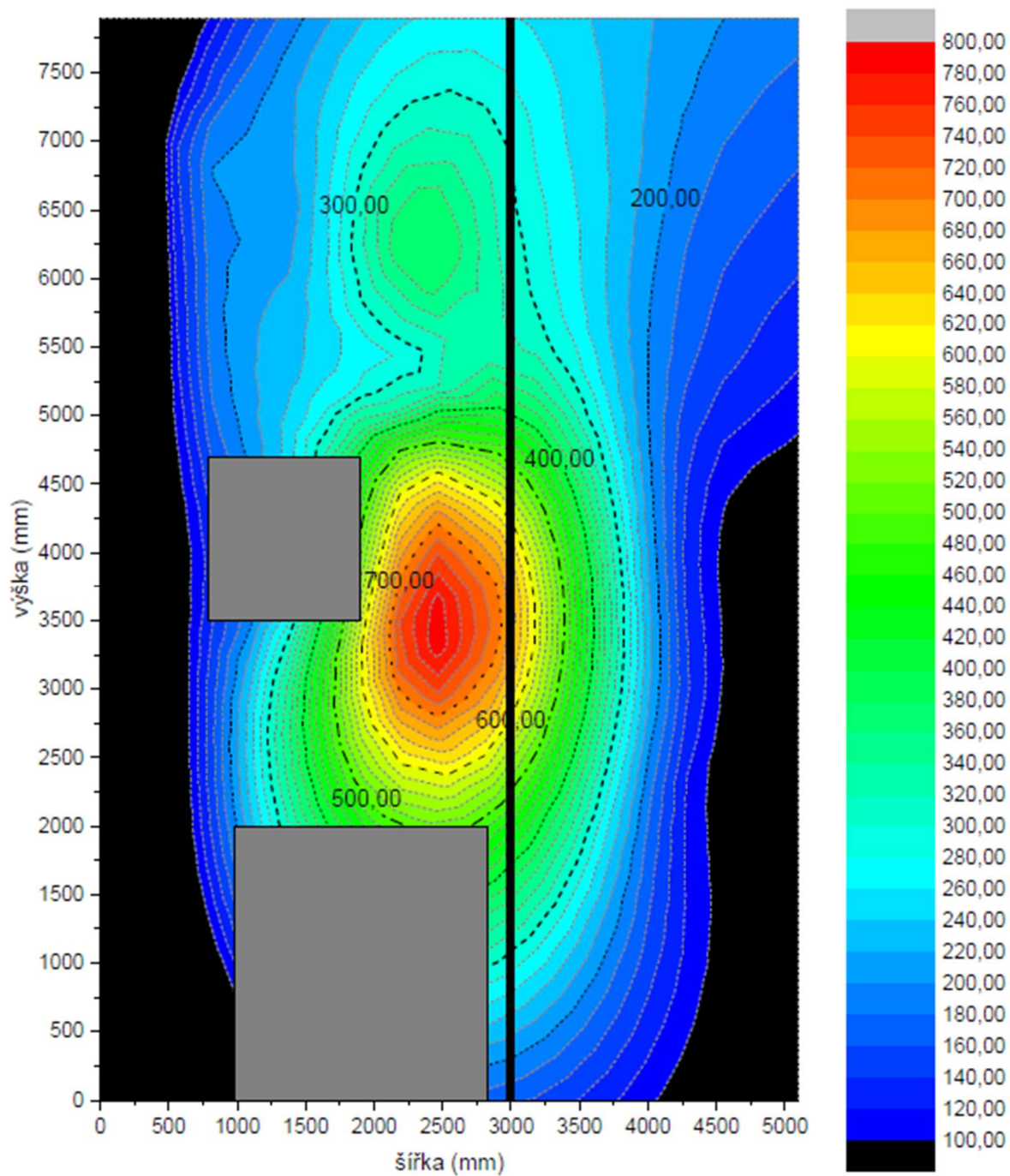


*Obr. 53 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 8–10 minuty pro zkoušku EPS*

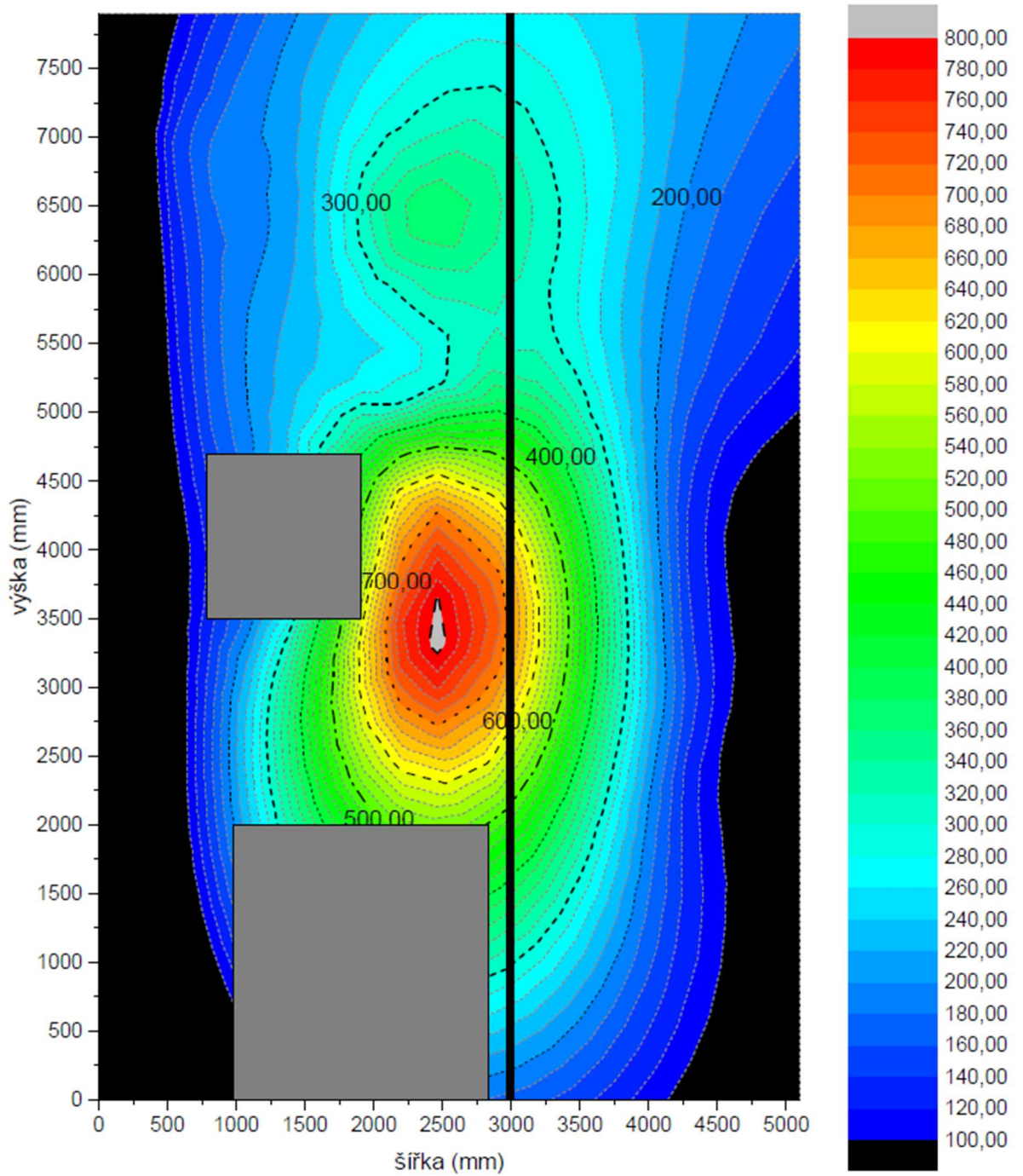




*Obr. 54 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 10–12 minuty pro zkoušku EPS*

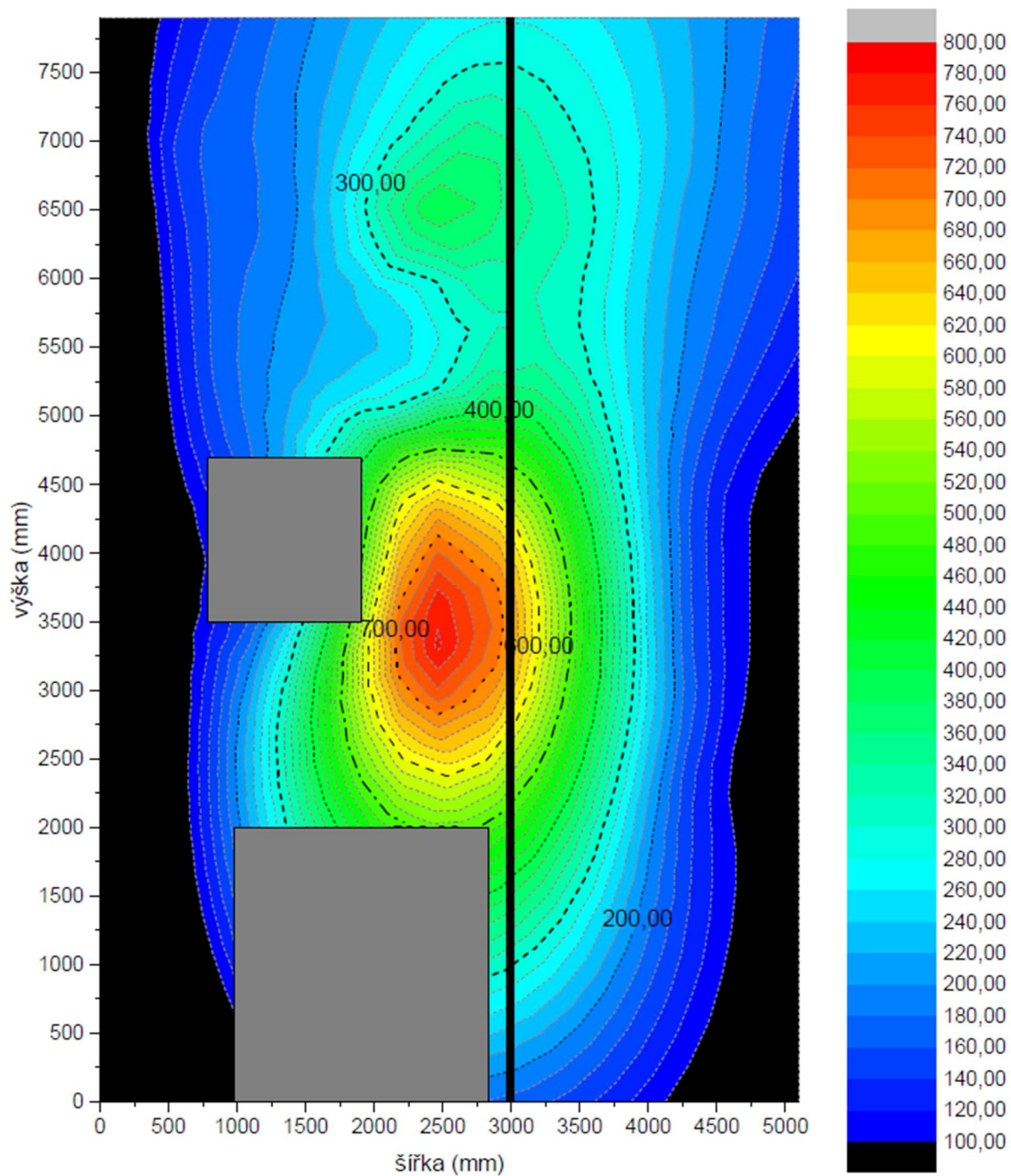


*Obr. 55 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 12–14 minuty pro zkoušku EPS*

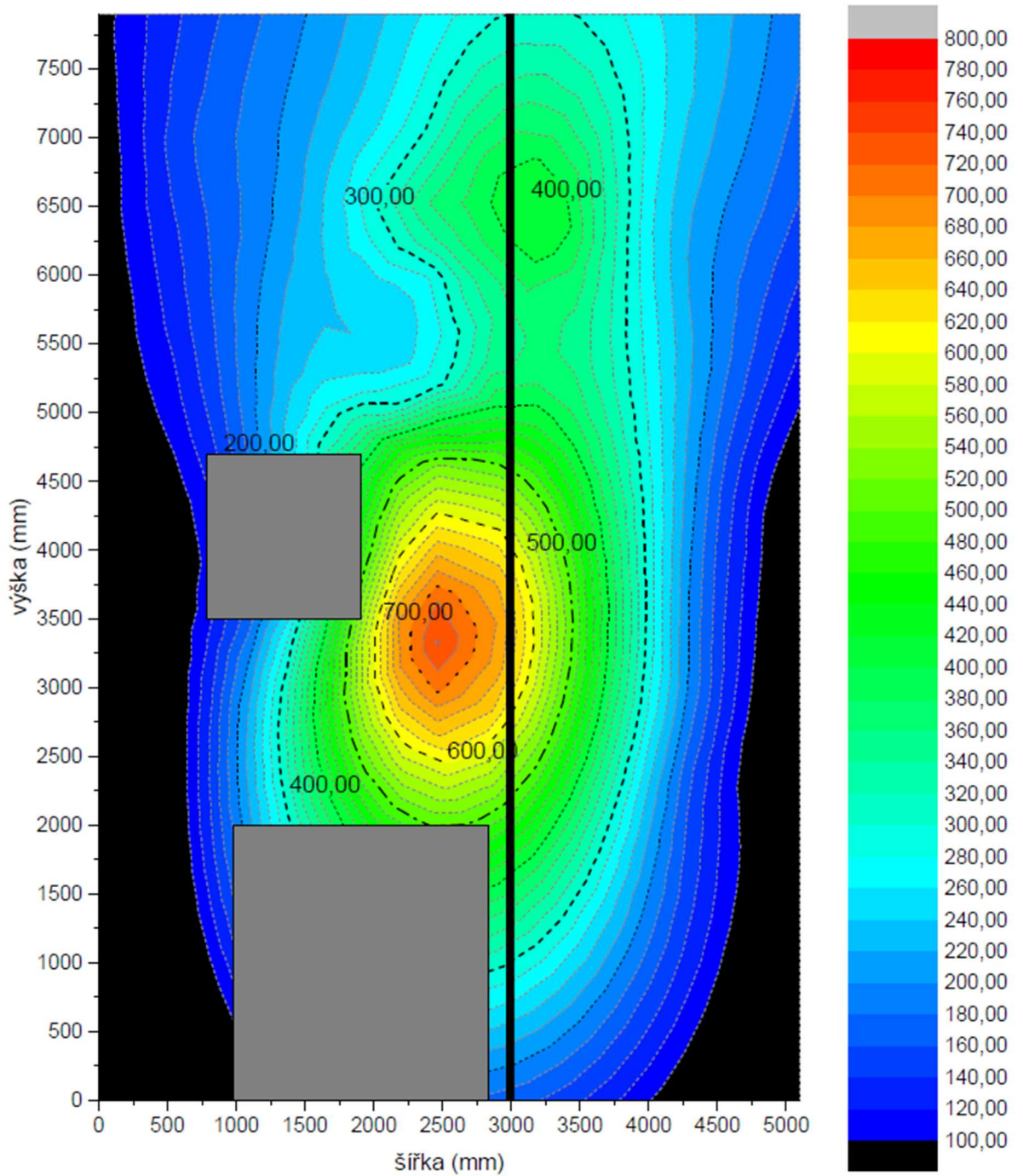


*Obr. 56 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 14–16 minuty pro zkoušku EPS*



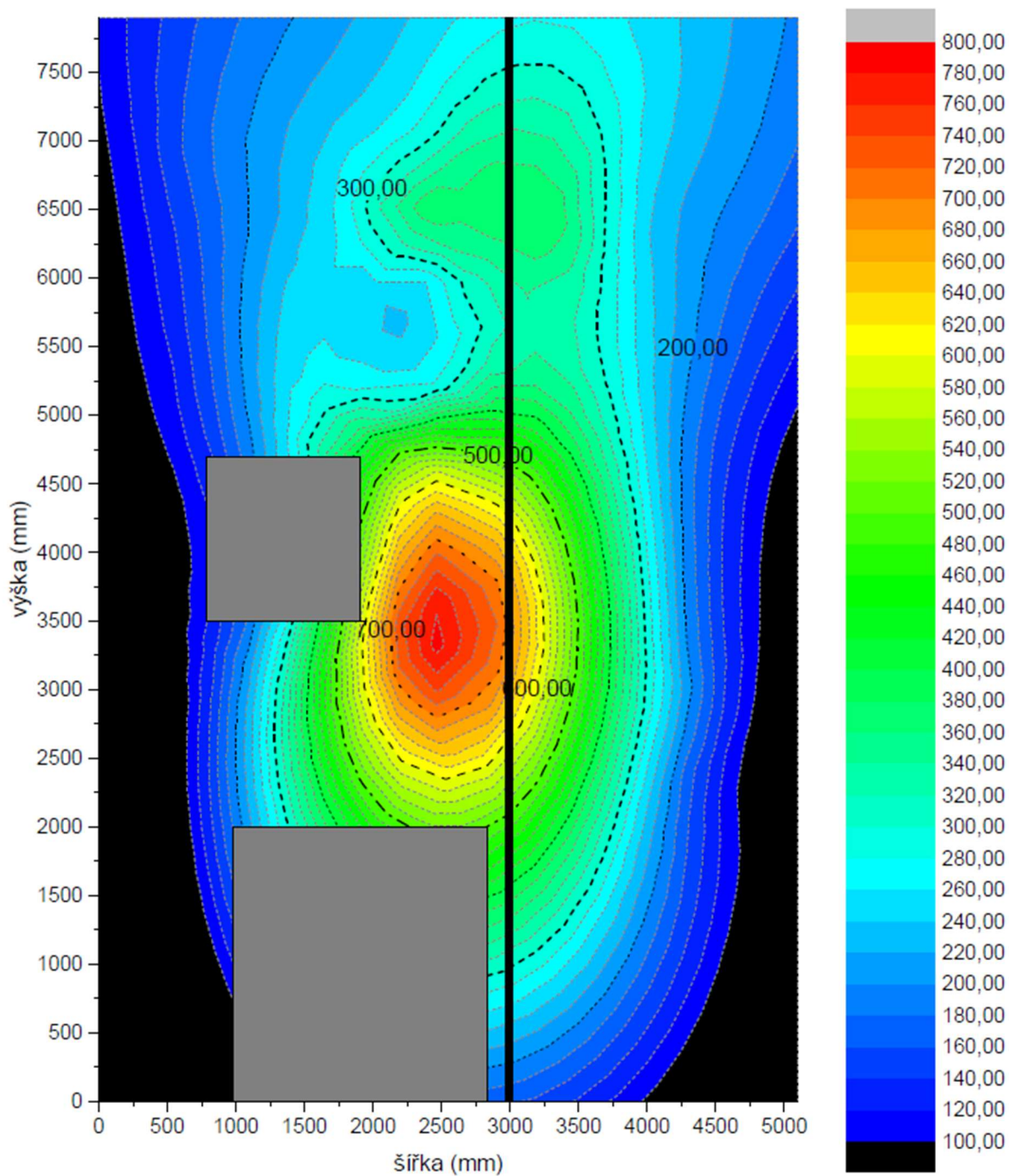


*Obr. 57 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 16–18 minuty pro zkoušku EPS*

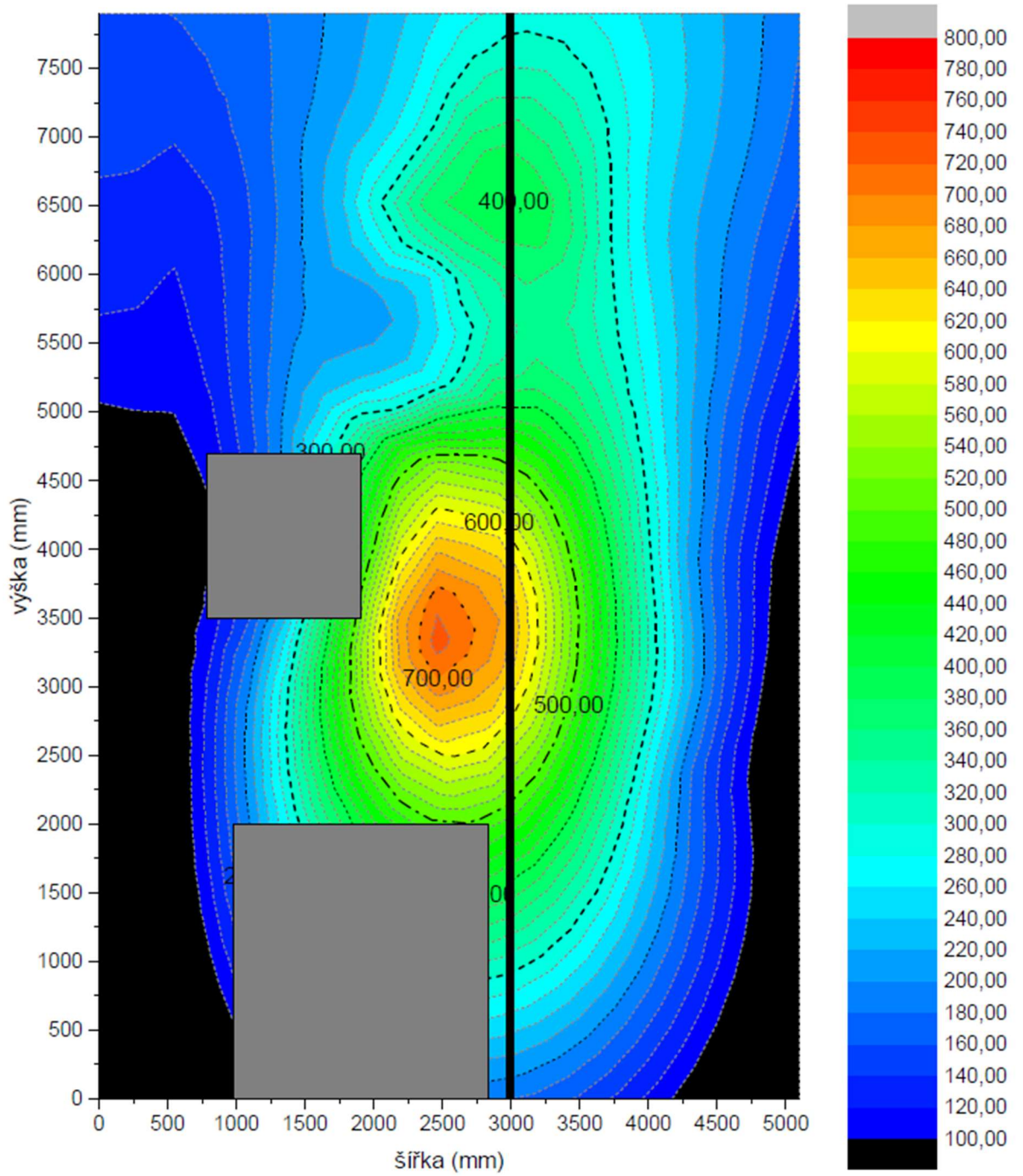


*Obr. 58 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 18–20 minuty pro zkoušku EPS*

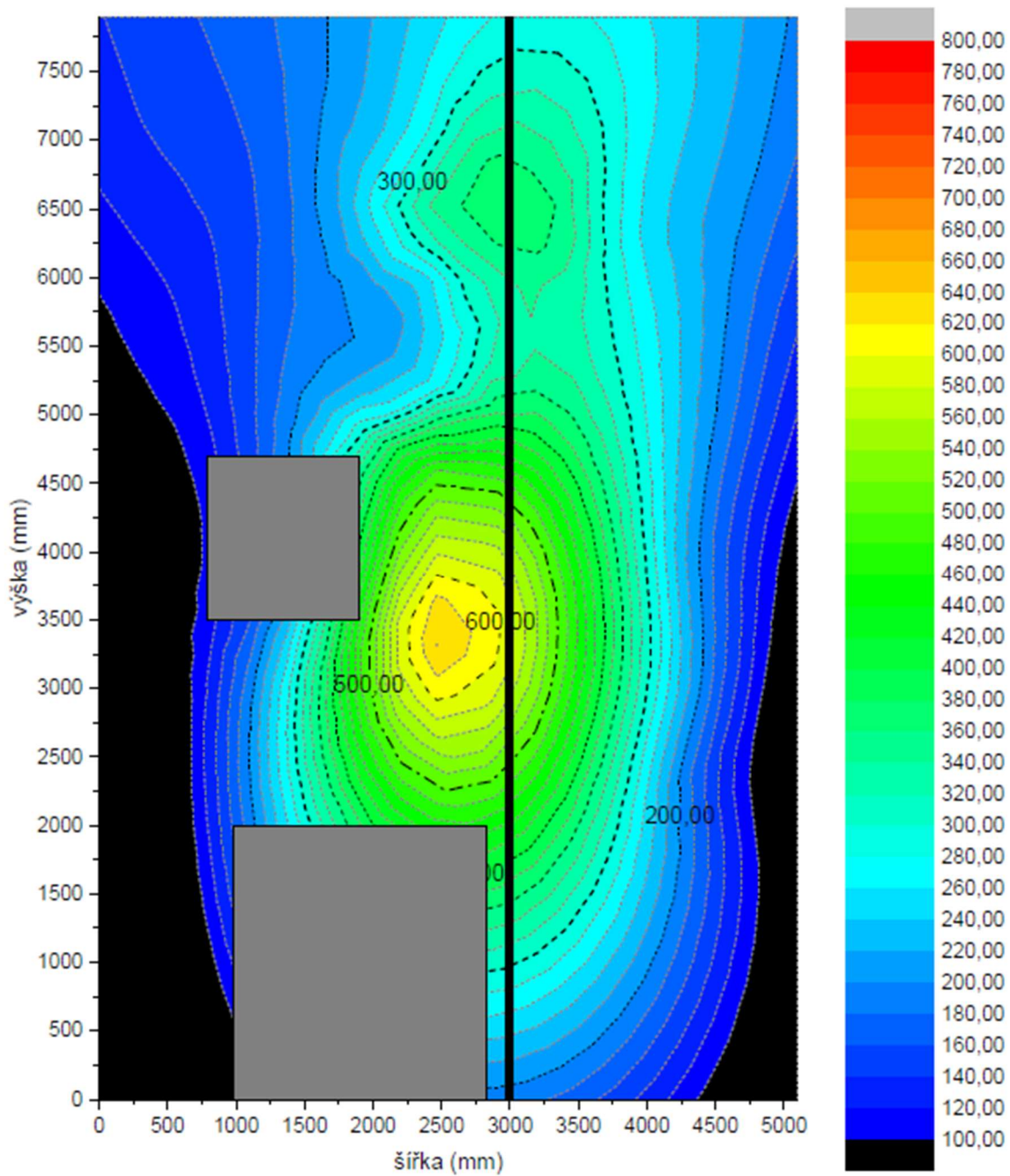




*Obr. 59 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 20–22 minuty pro zkoušku EPS*

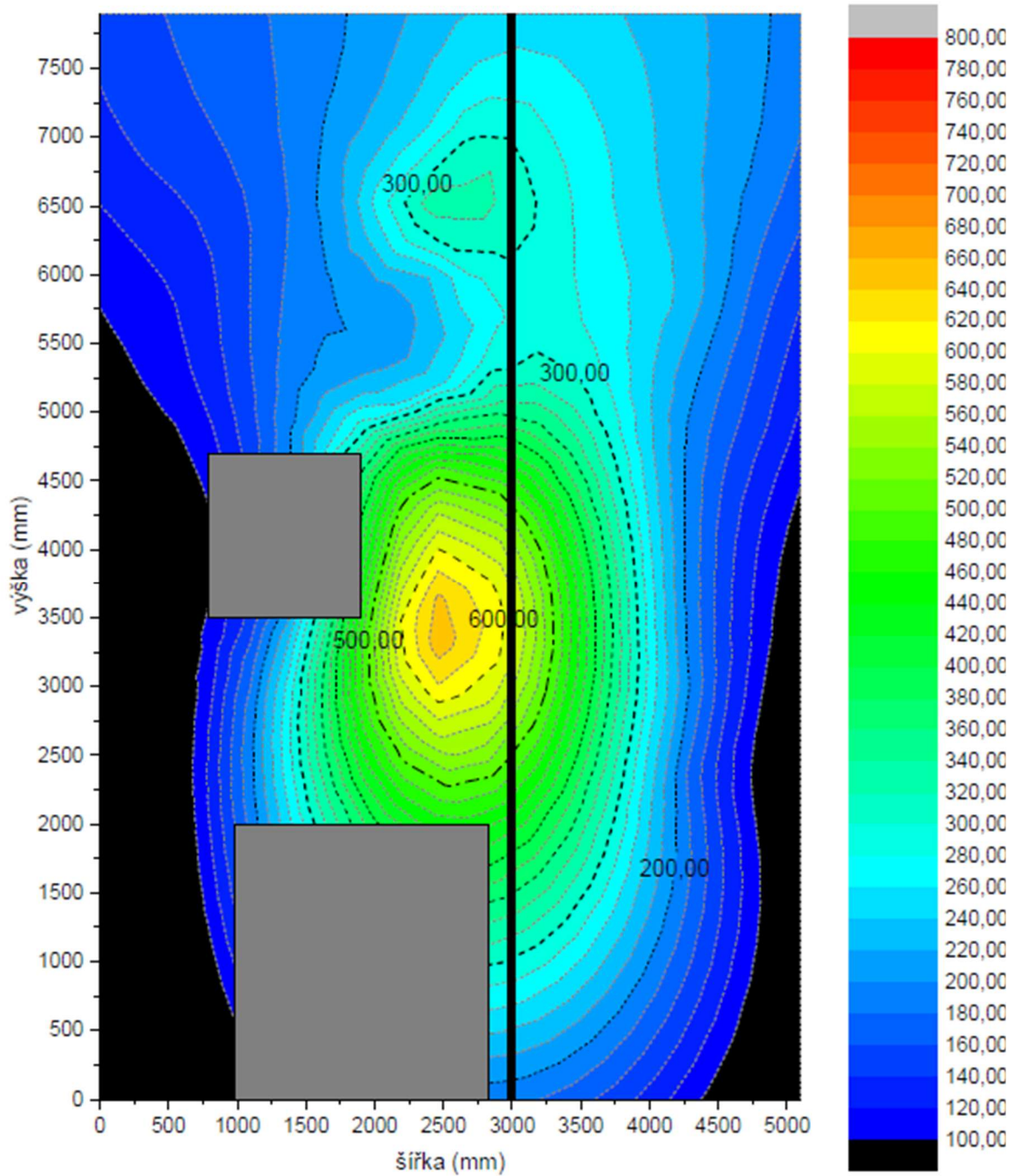


*Obr. 60 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 22–24 minuty pro zkoušku EPS*

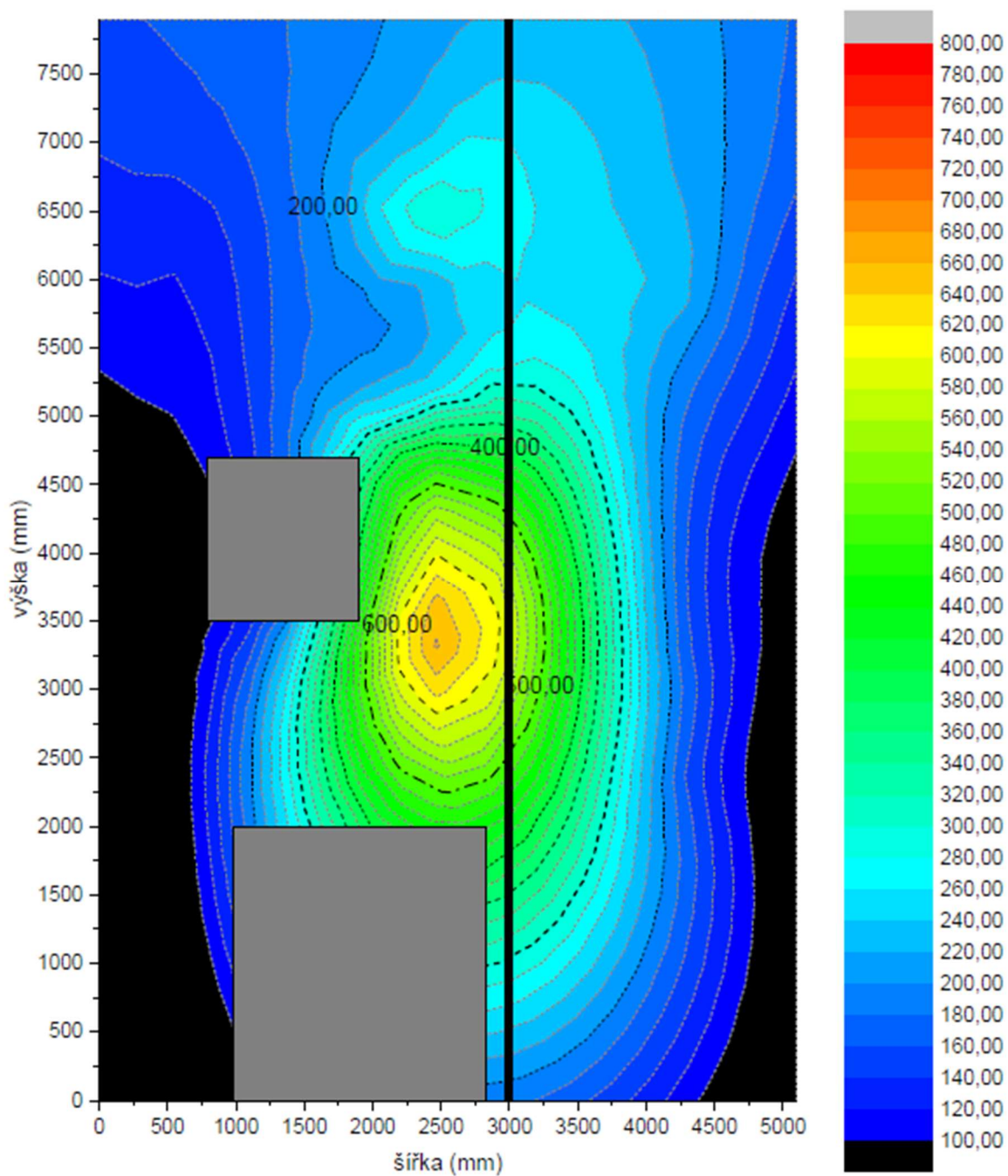


**Obr. 61** – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 24–26 minuty pro zkoušku EPS

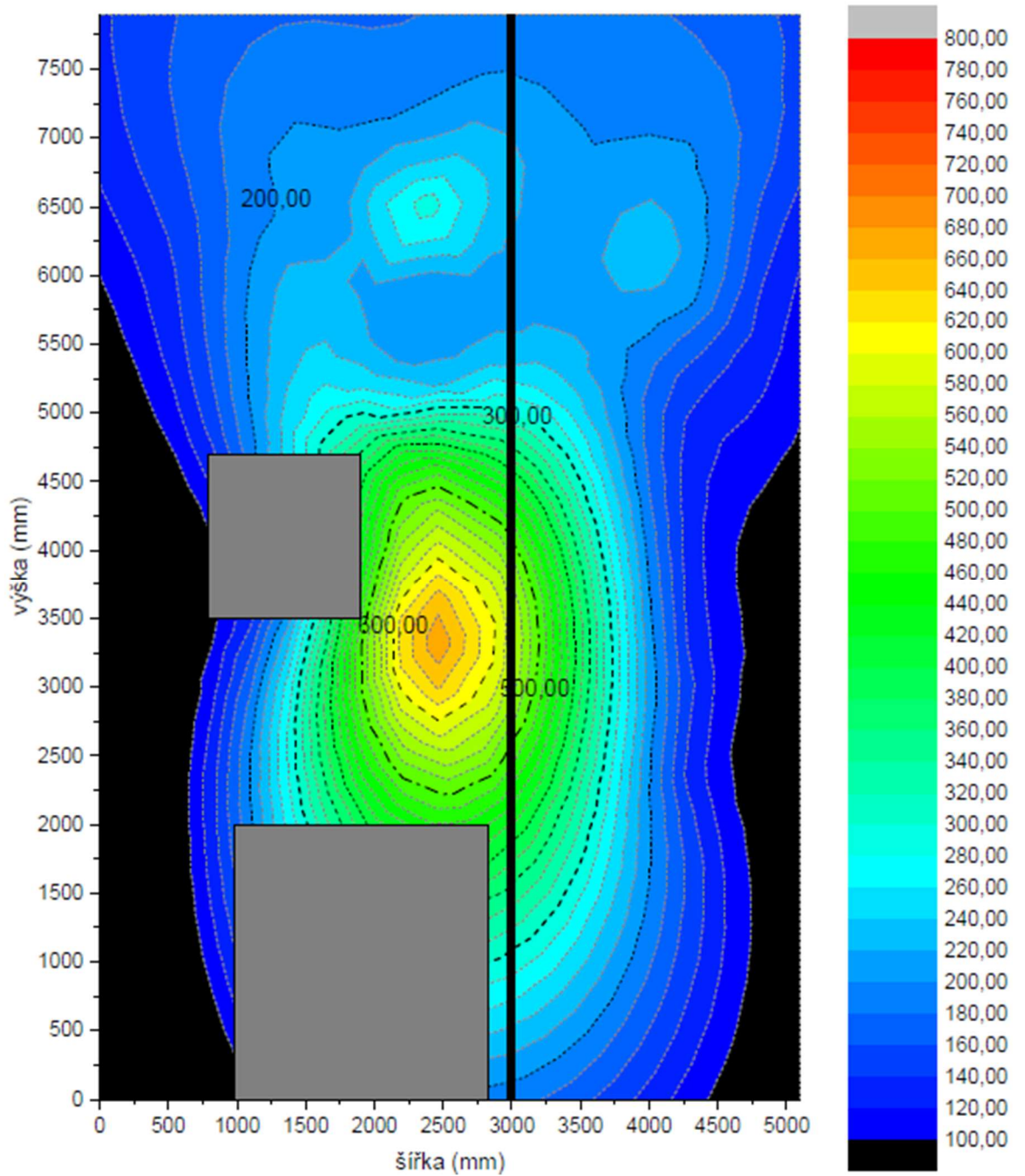




*Obr. 62 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 26–28 minuty pro zkoušku EPS*

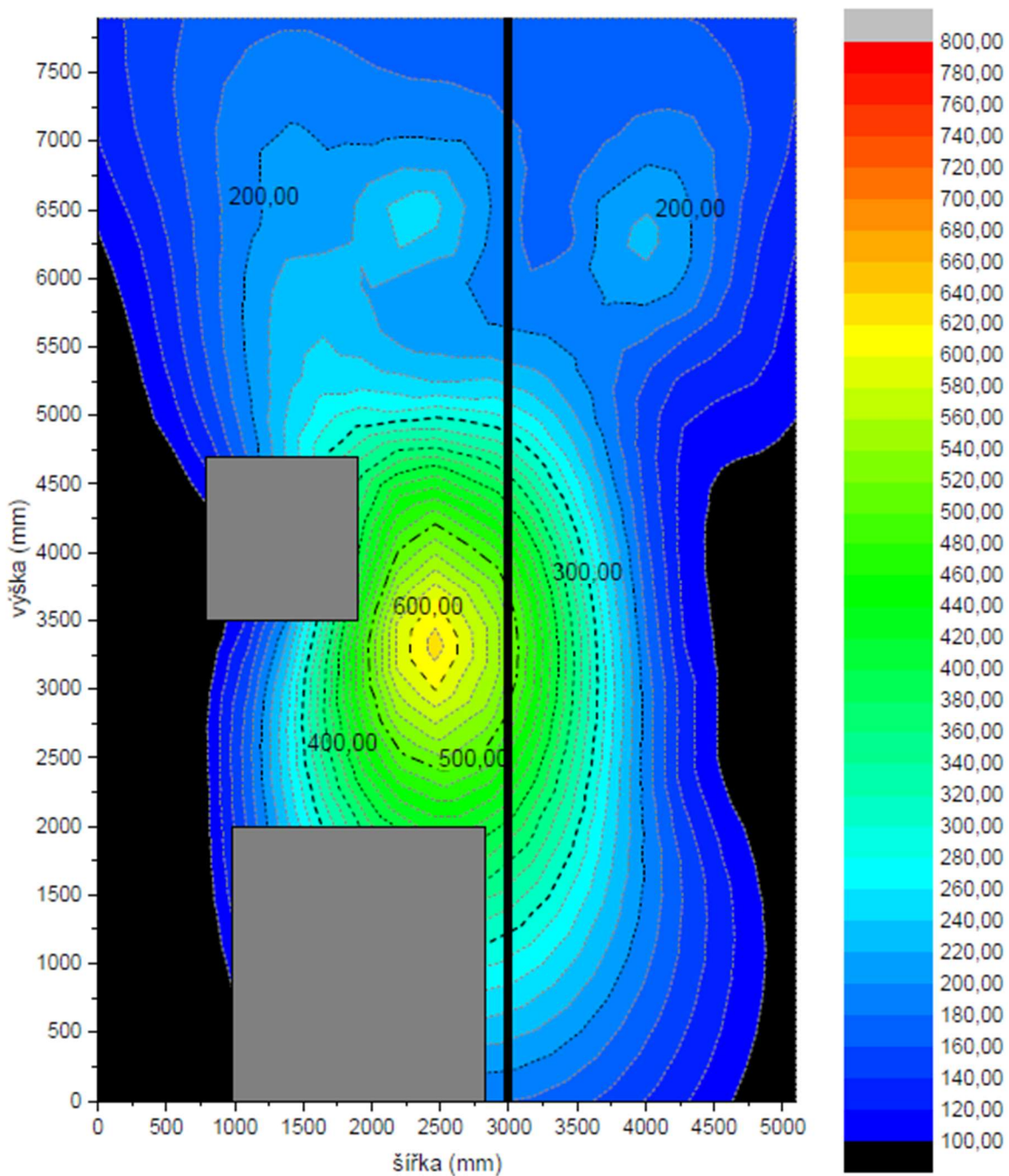


*Obr. 63 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 28–30 minuty pro zkoušku EPS*

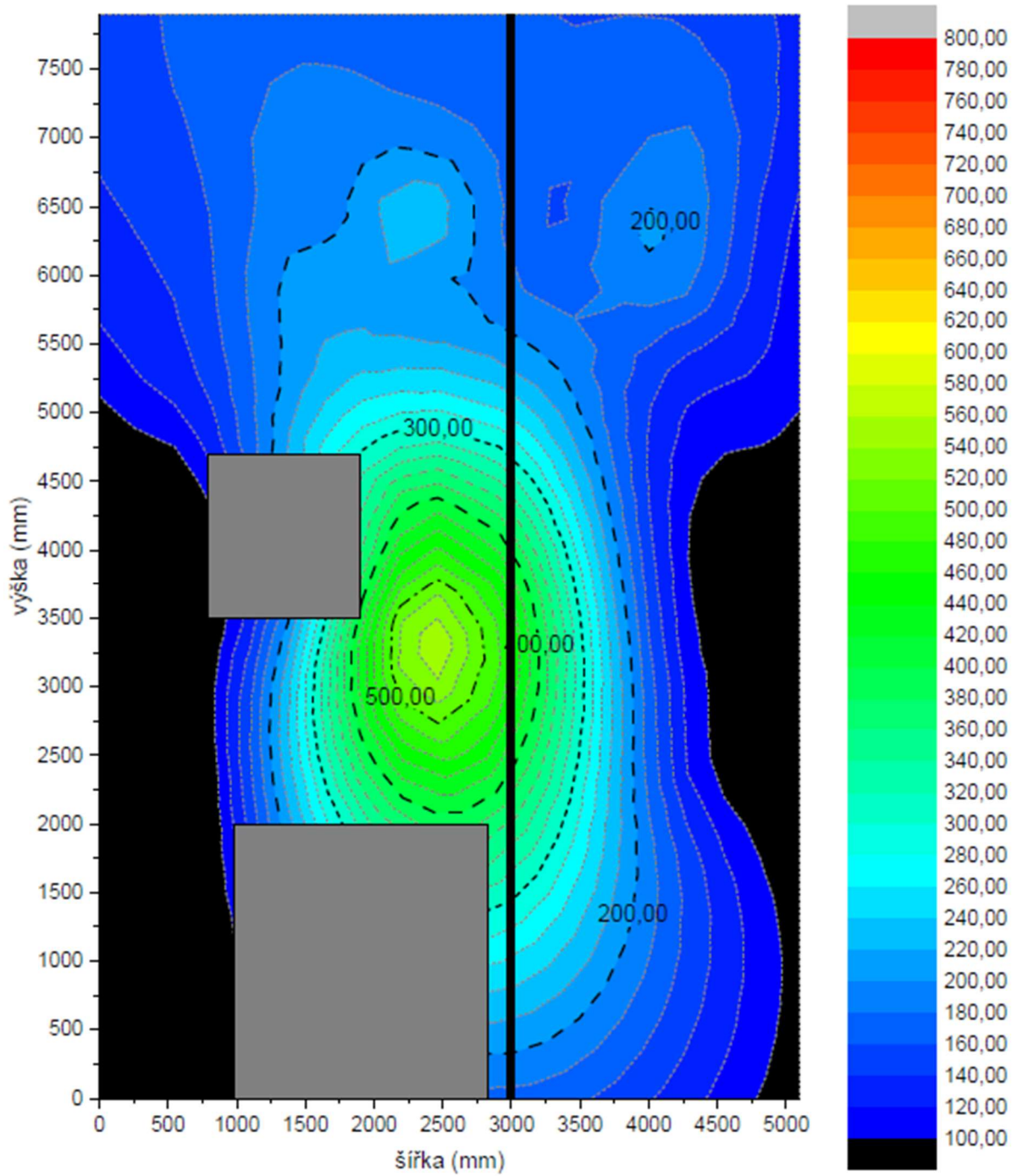


*Obr. 64 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 30–32 minuty pro zkoušku EPS*

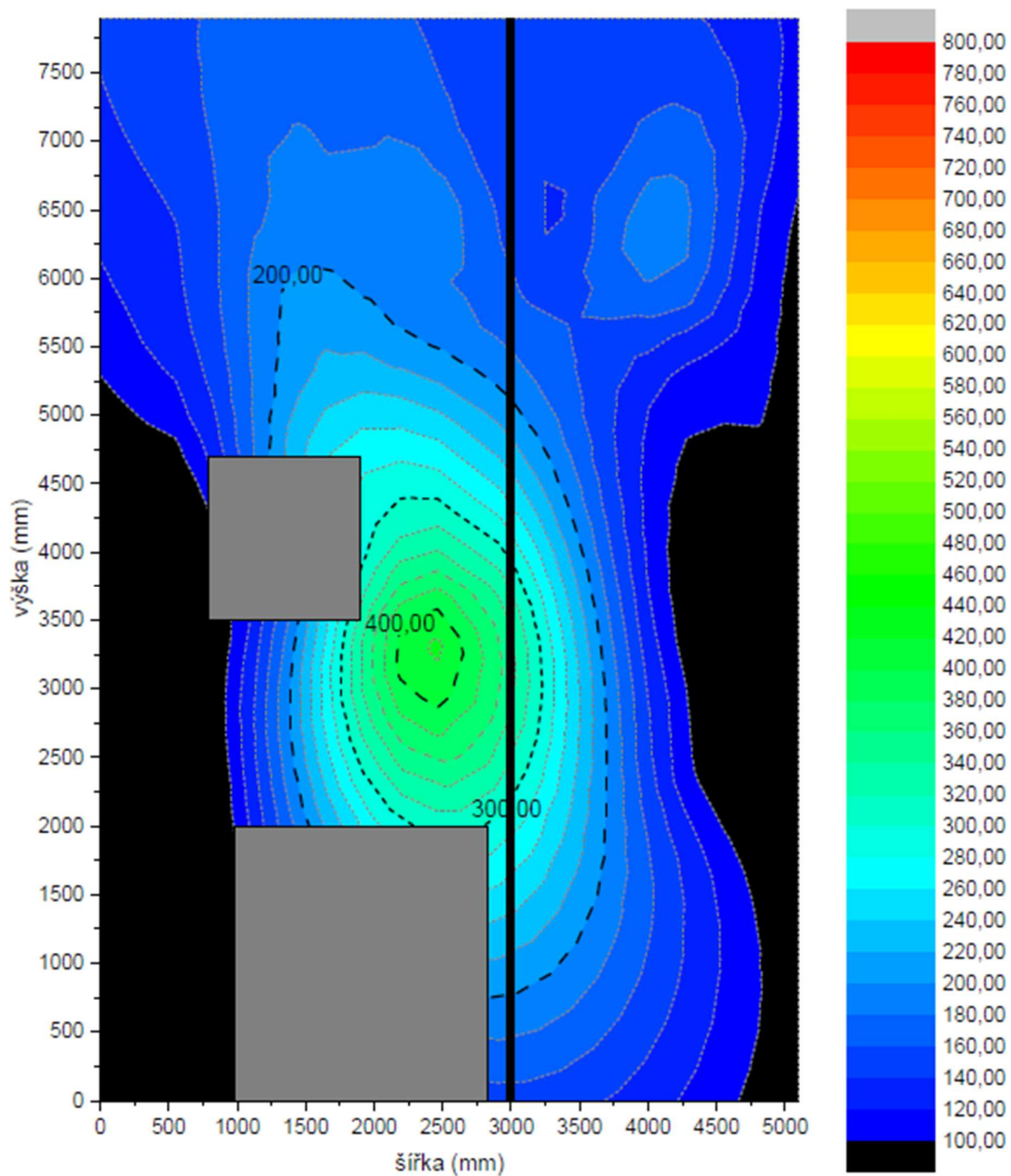




*Obr. 65 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 32–34 minuty pro zkoušku EPS*

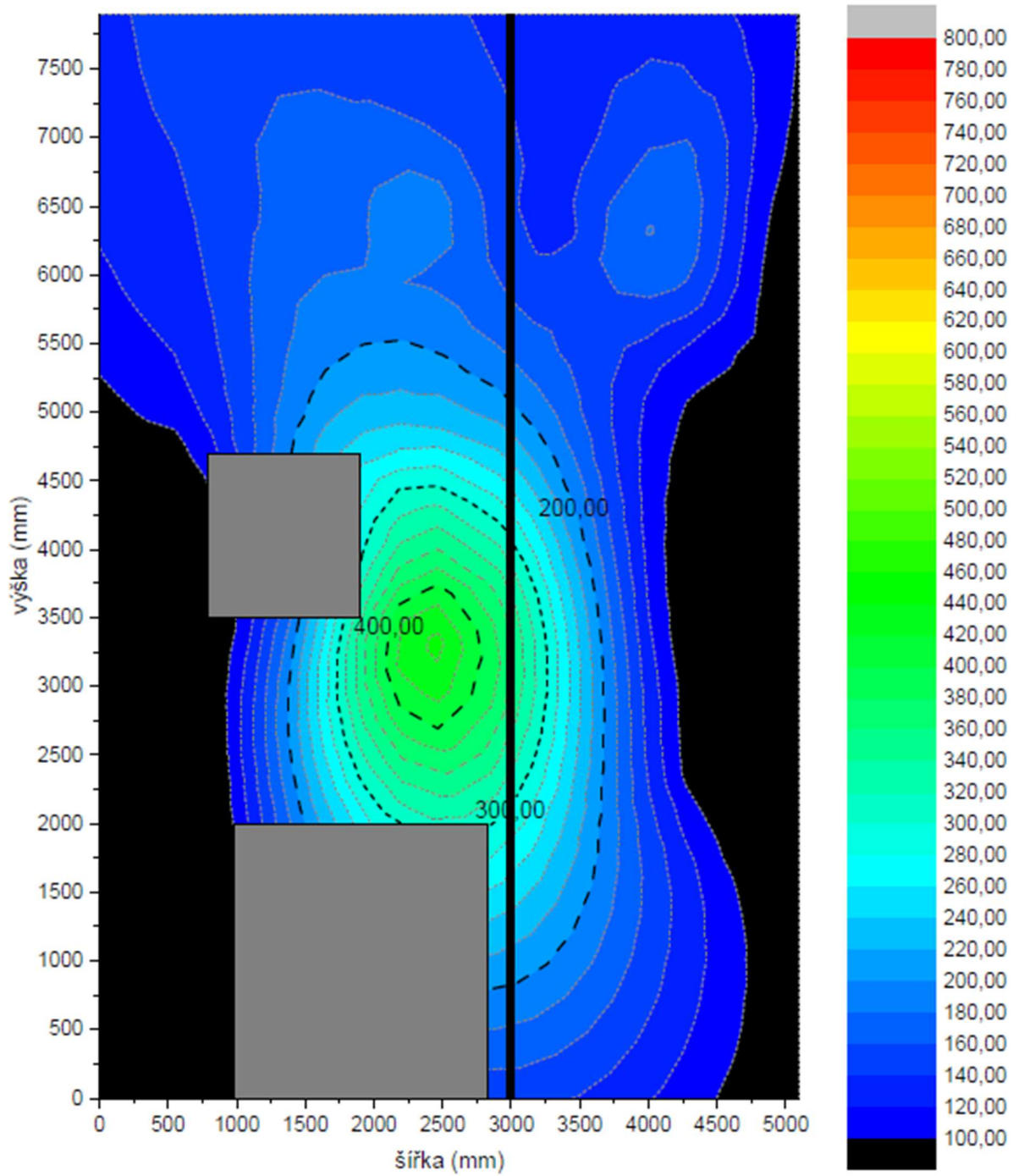


*Obr. 66 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 34–36 minuty pro zkoušku EPS*

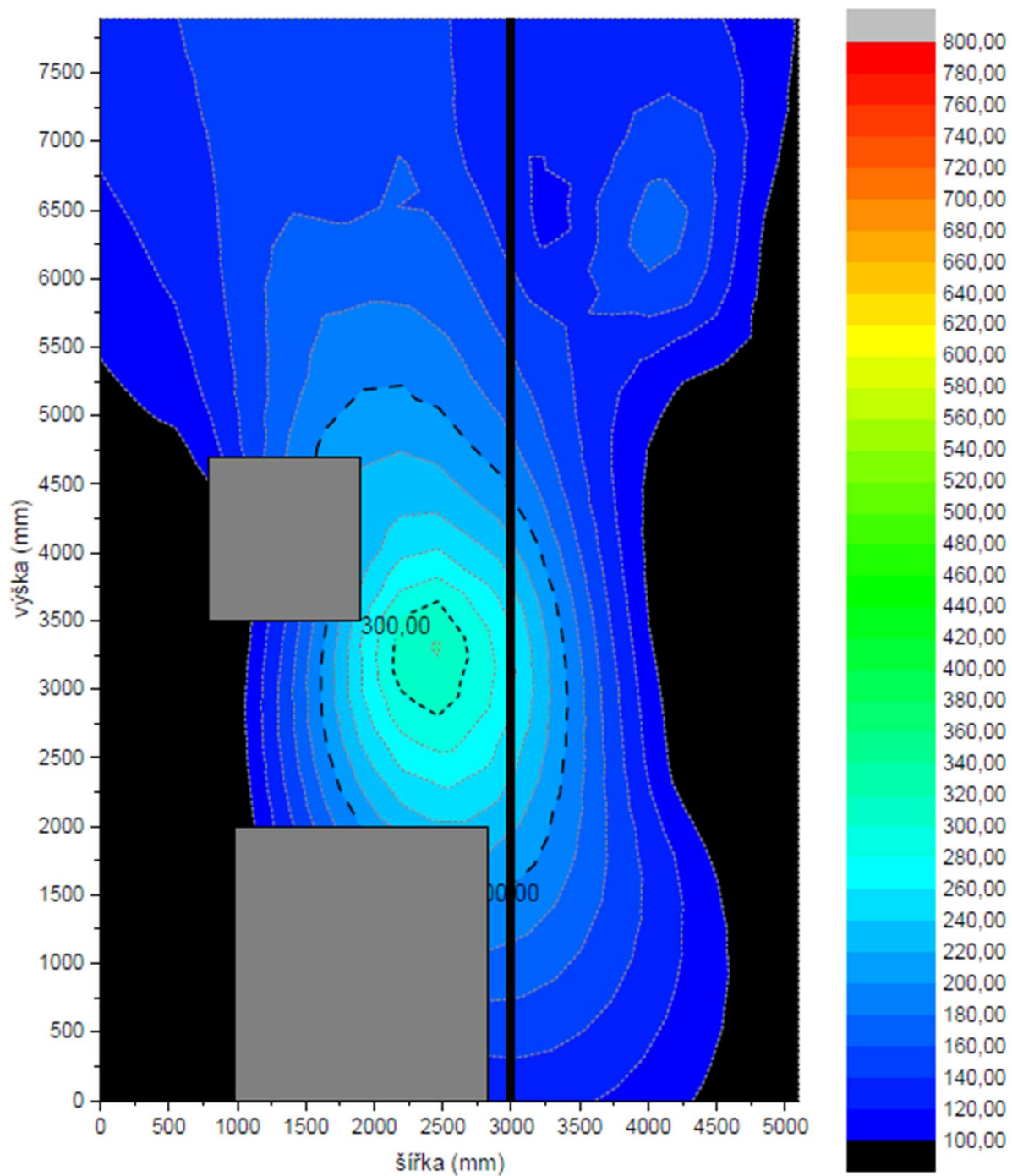


*Obr. 67 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 36–38 minuty pro zkoušku EPS*



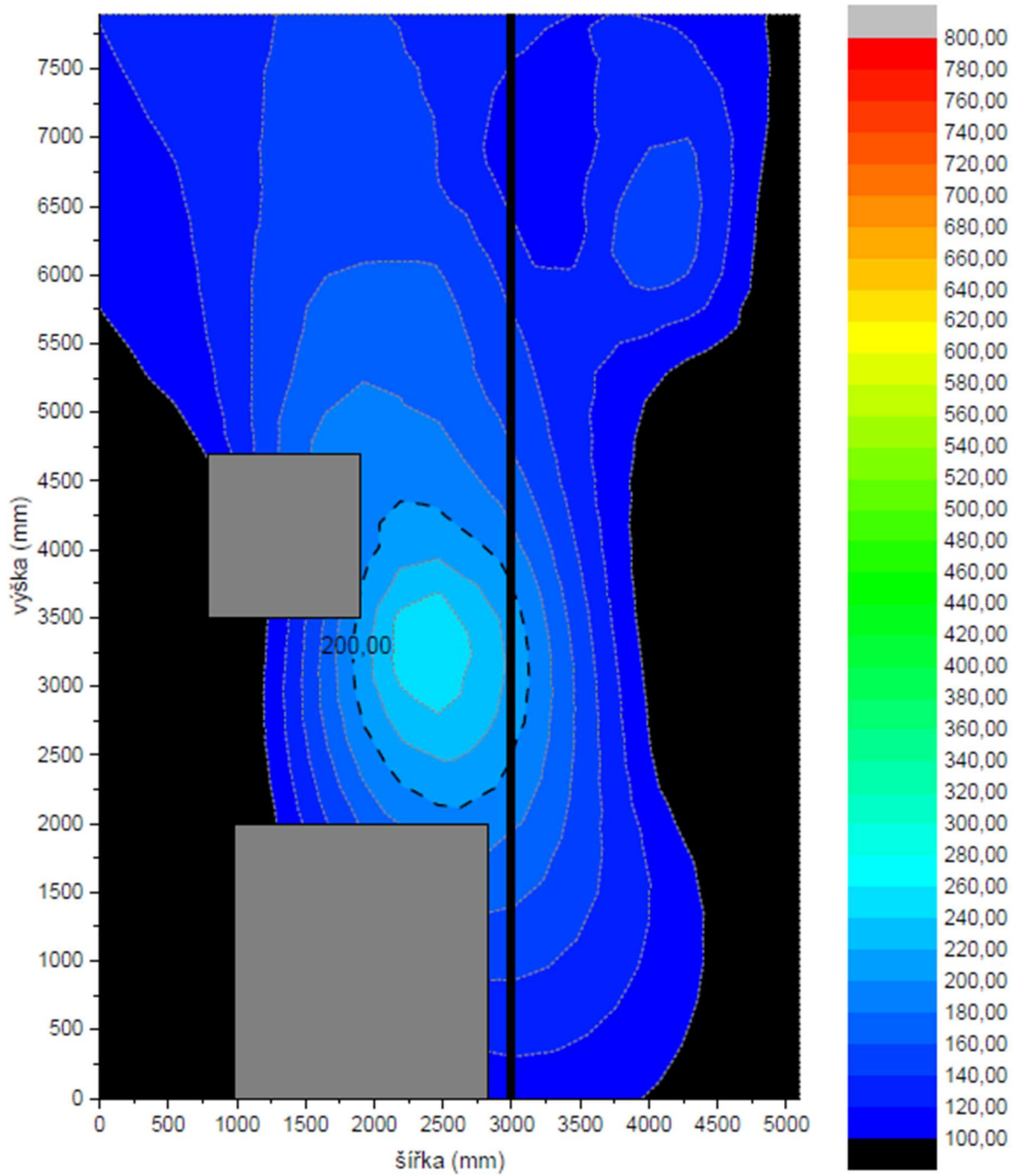


*Obr. 68 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 38–40 minuty pro zkoušku EPS*

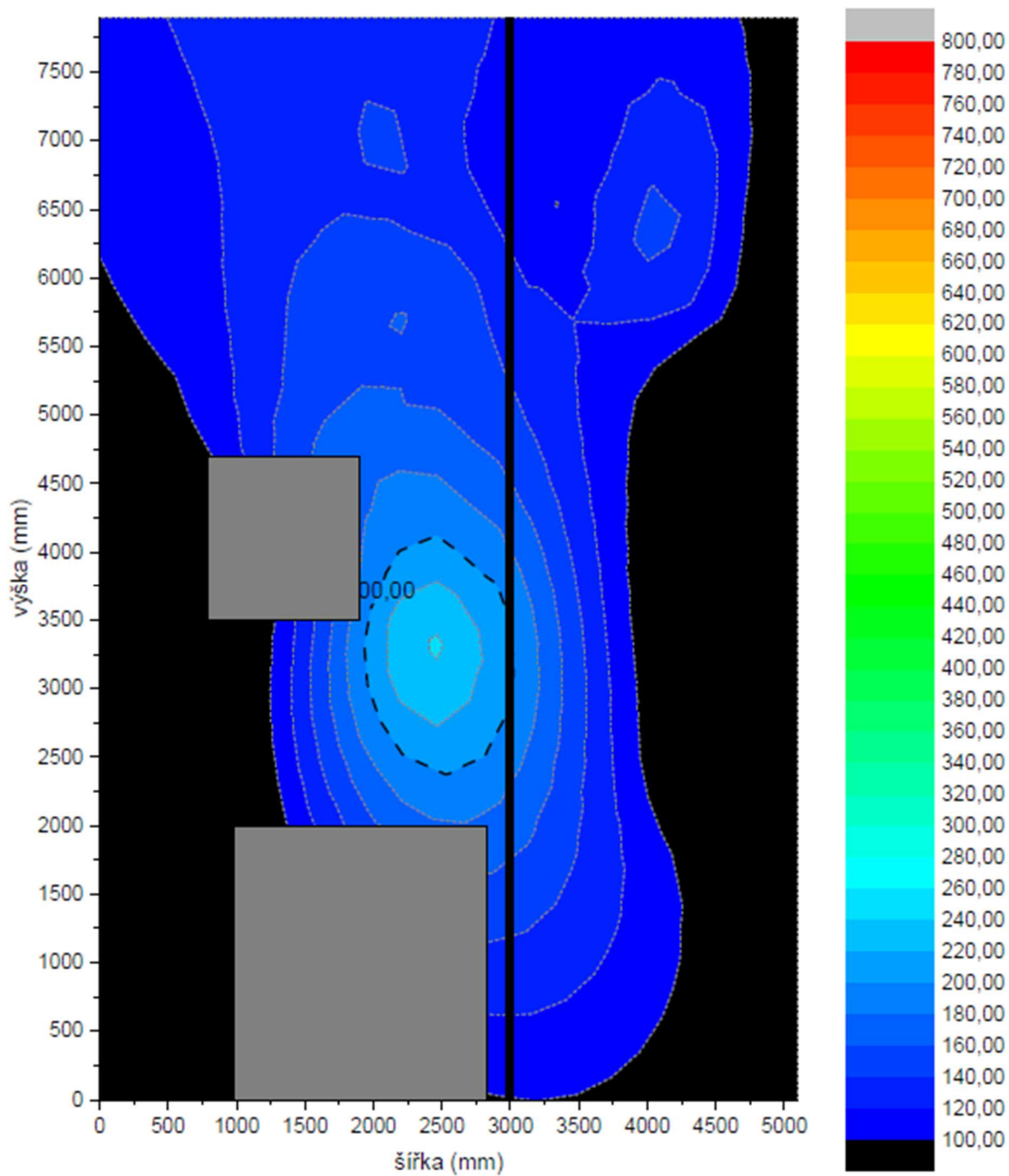


*Obr. 69 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 40–42 minuty pro zkoušku EPS*

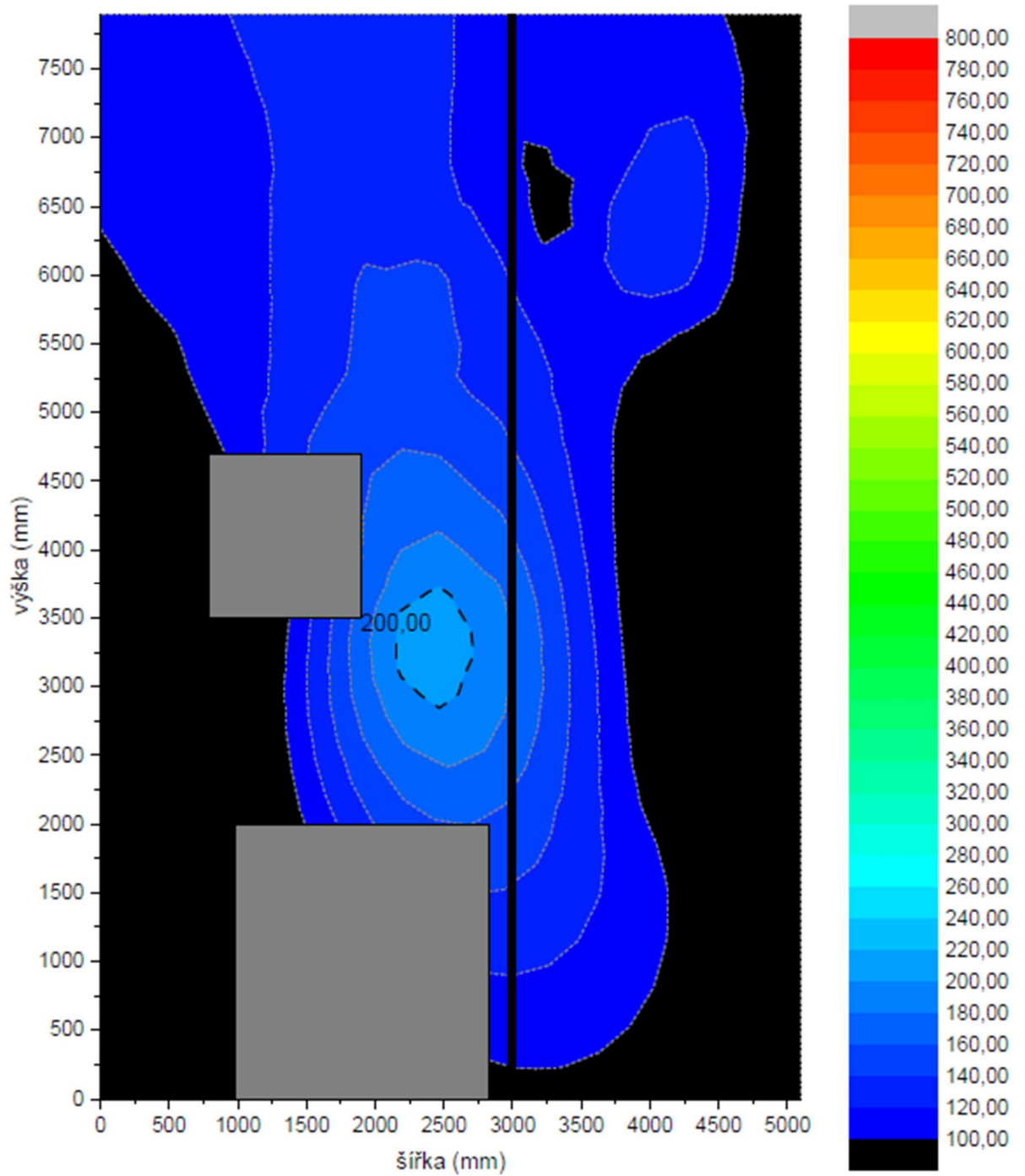




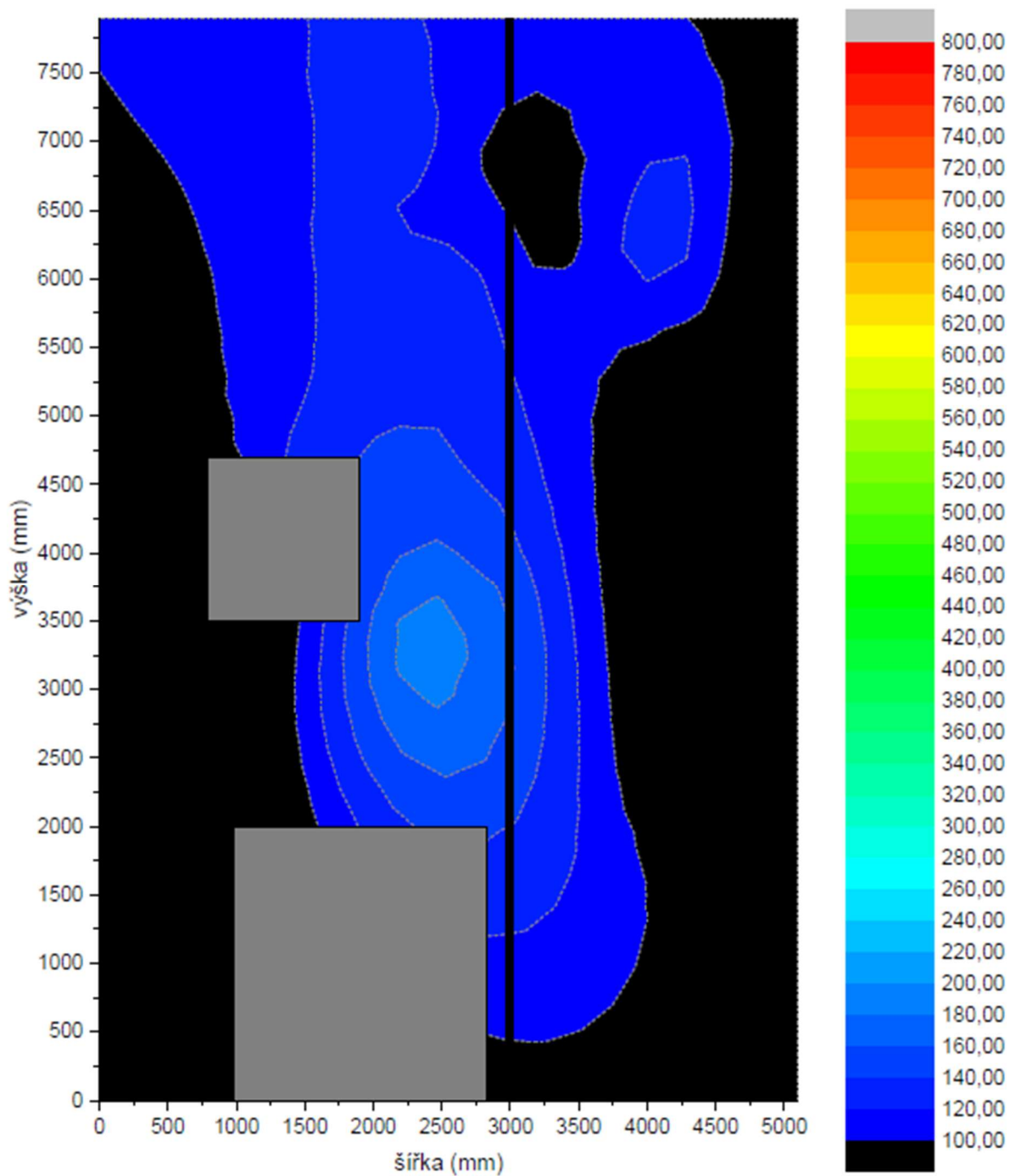
*Obr. 70 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 42–44 minuty pro zkoušku EPS*



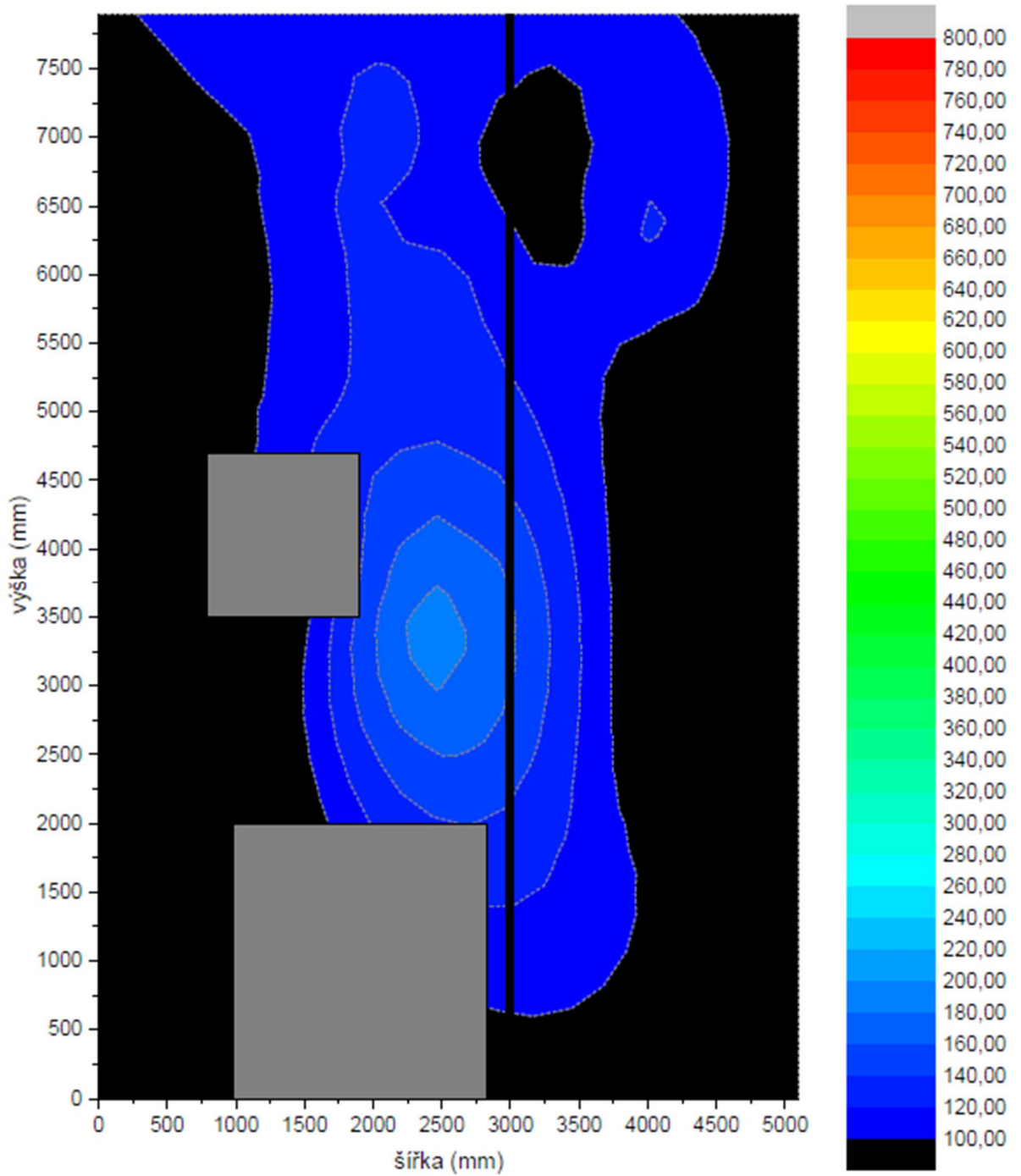
*Obr. 71 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 44–46 minuty pro zkoušku EPS*



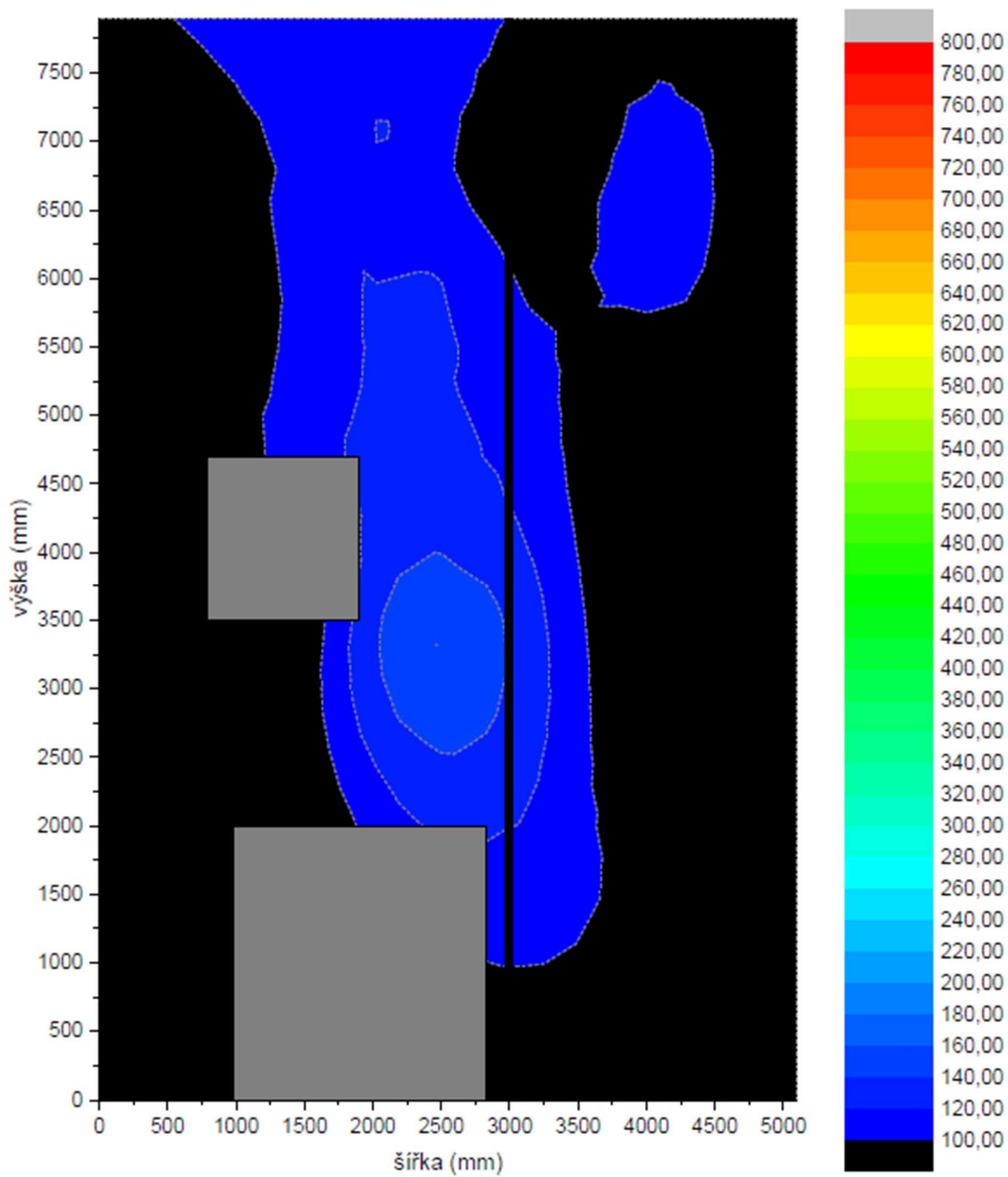
*Obr. 72 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 46–48 minuty pro zkoušku EPS*



*Obr. 73 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 48–50 minuty pro zkoušku EPS*

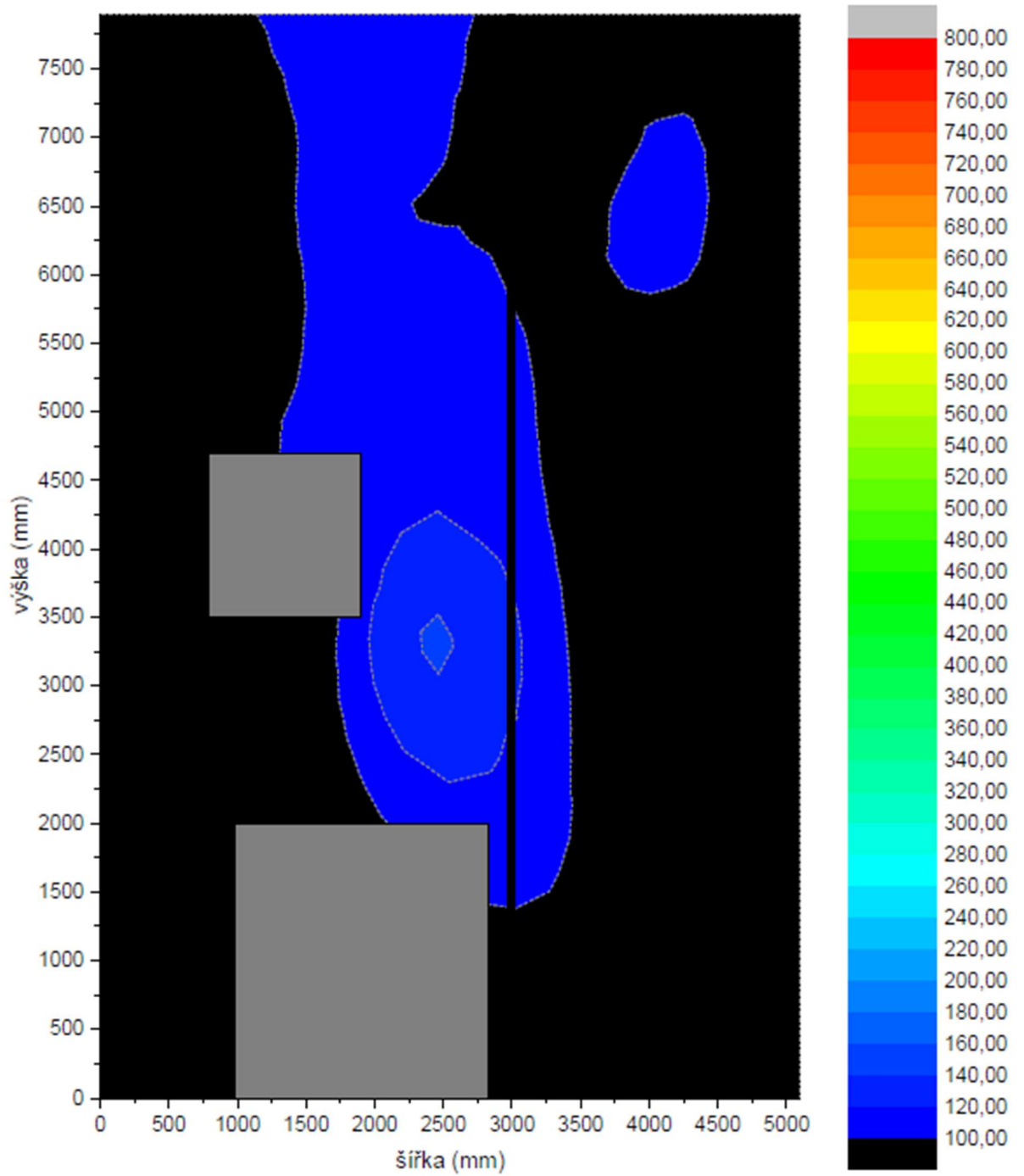


*Obr. 74 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 50–52 minuty pro zkoušku EPS*



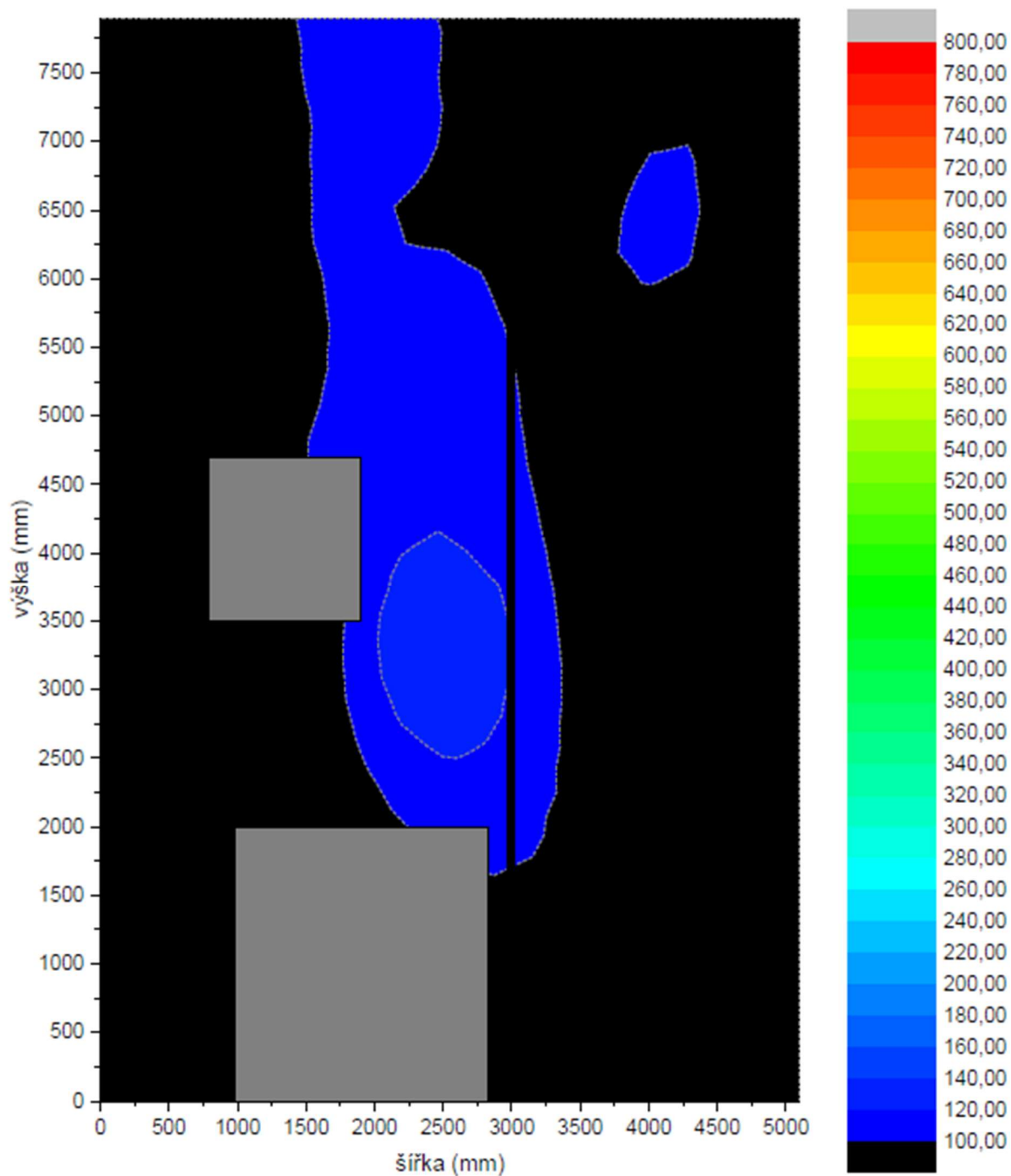
*Obr. 75 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 52–54 minuty pro zkoušku EPS*



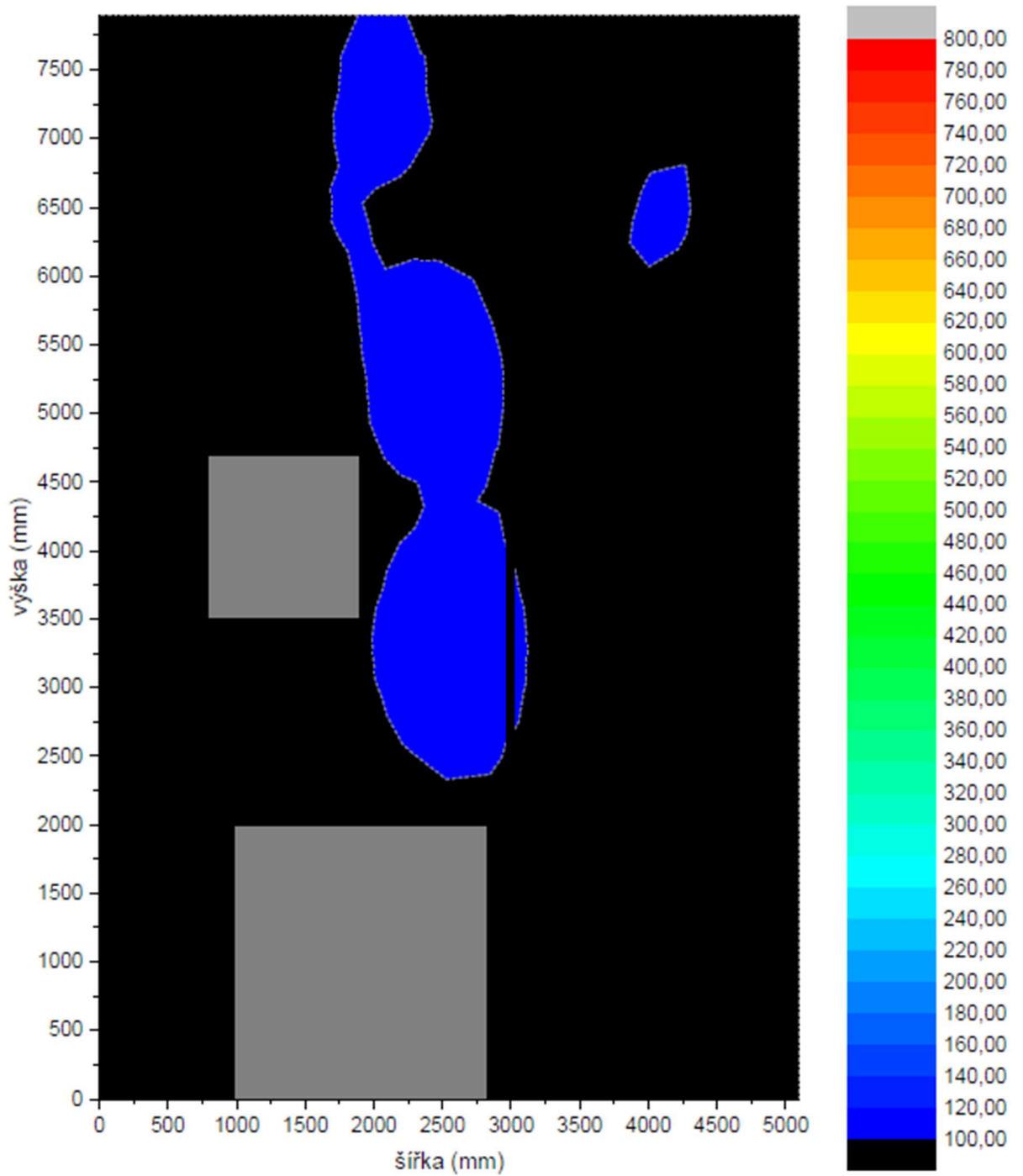


*Obr. 76 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 54–56 minuty pro zkoušku EPS*



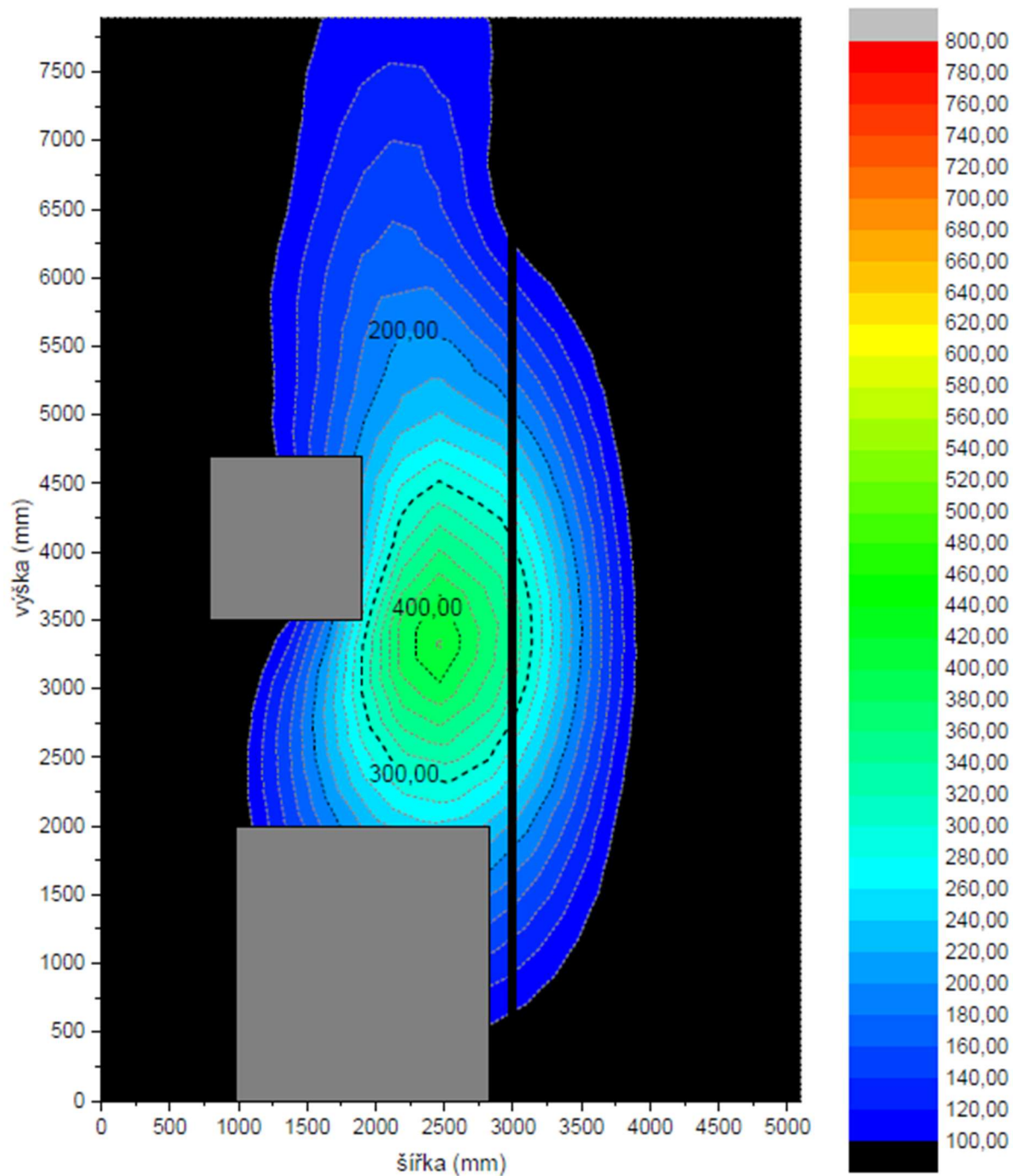


*Obr. 77 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 56–58 minuty pro zkoušku EPS*

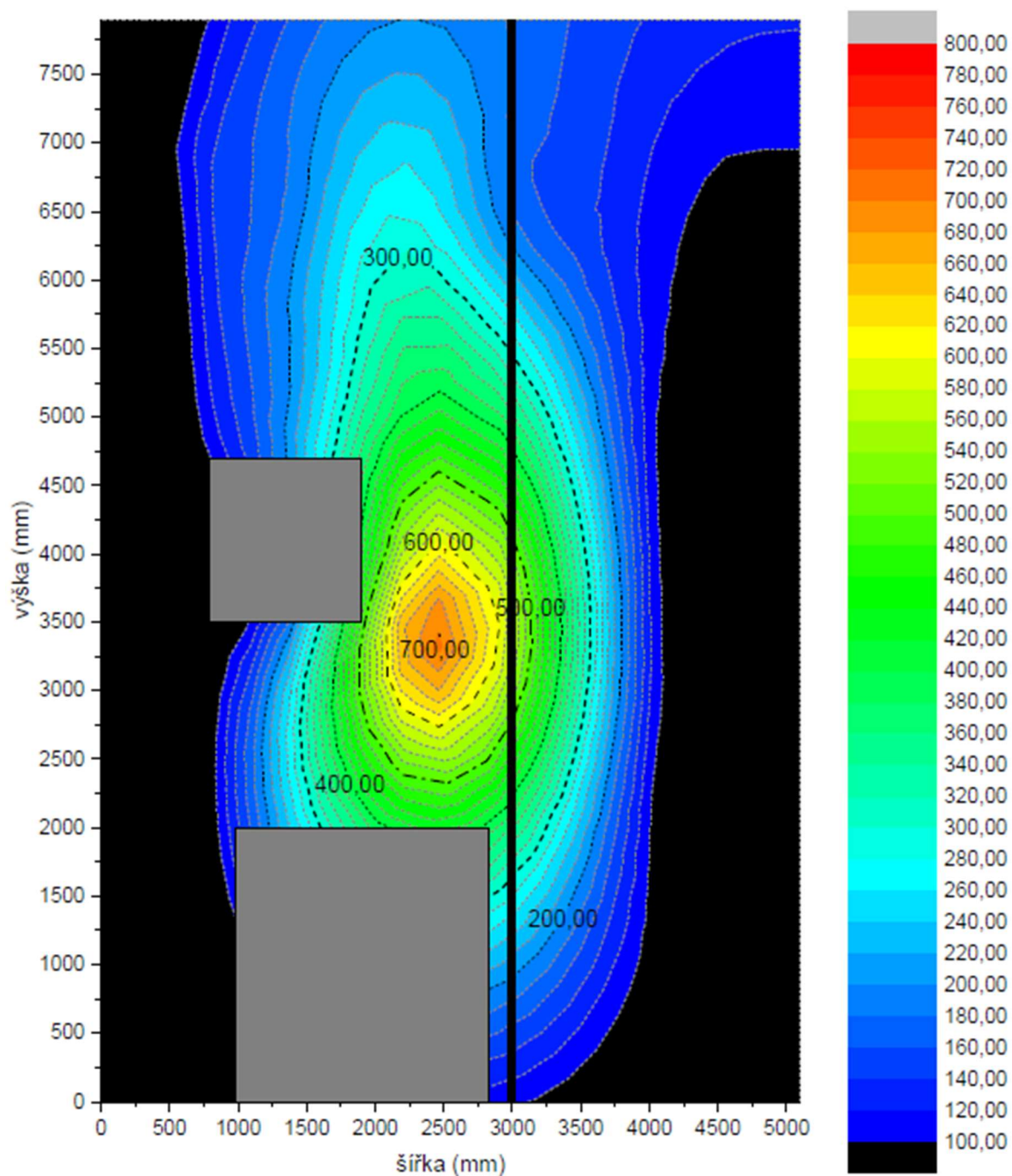


*Obr. 78 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 58–60 minuty pro zkoušku EPS*

## Příloha 2 – Průměrné rozložení vnějších teplot velkorozměrové zkoušky MW

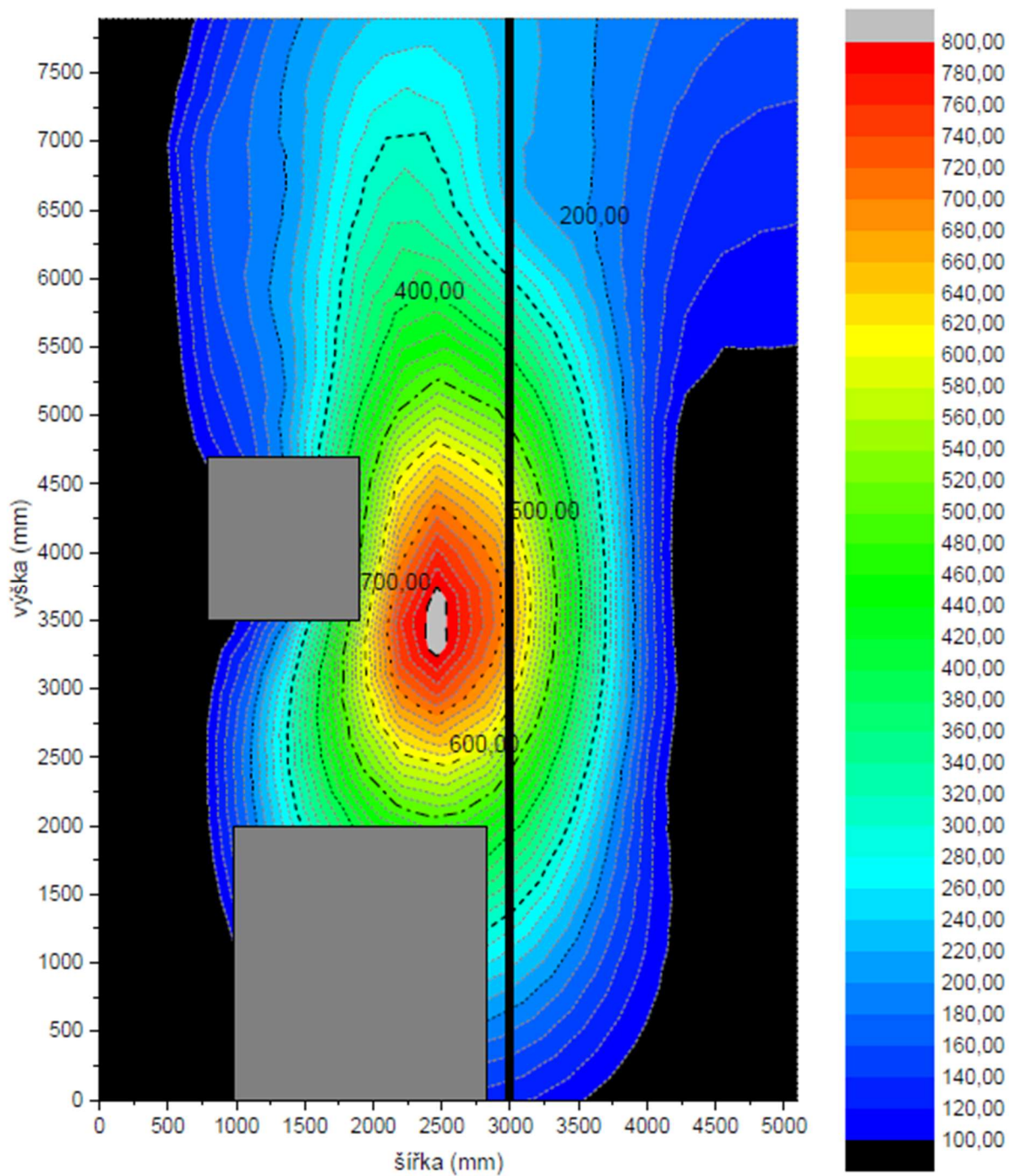


*Obr. 79 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 0–2 minuty pro zkoušku MW*

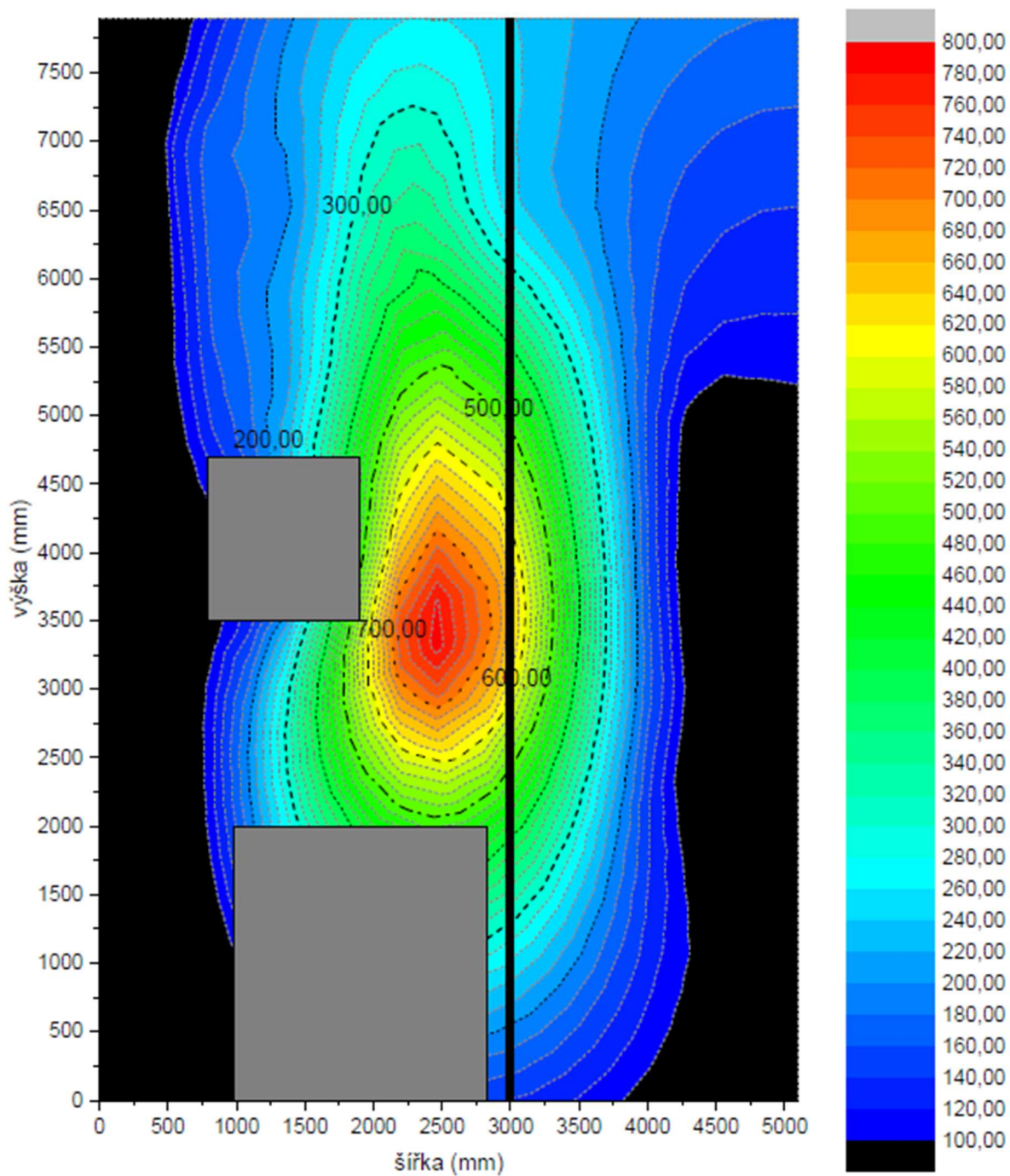


*Obr. 80 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 2–4 minuty pro zkoušku MW*

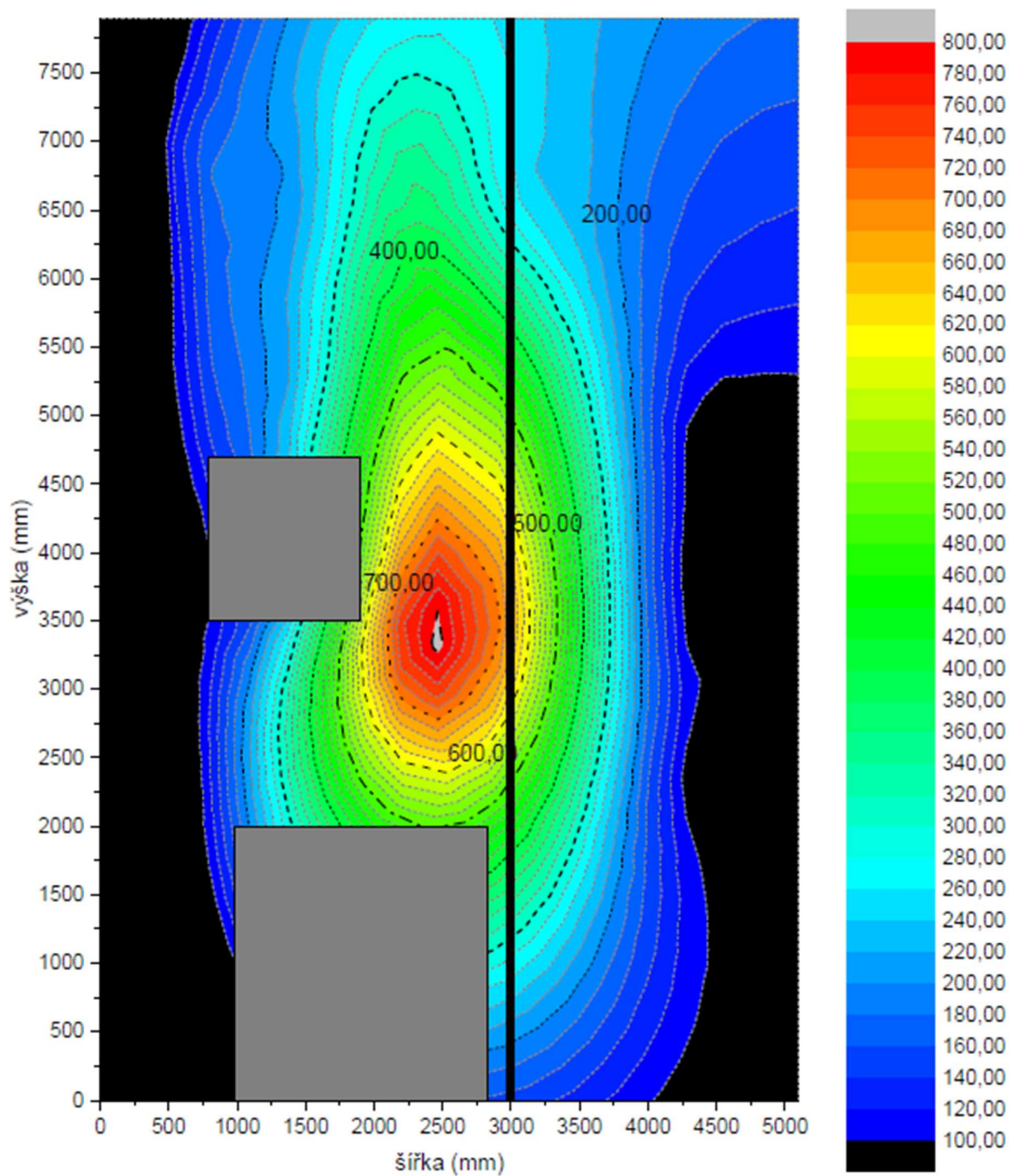




*Obr. 81 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 4–6 minuty pro zkoušku MW*

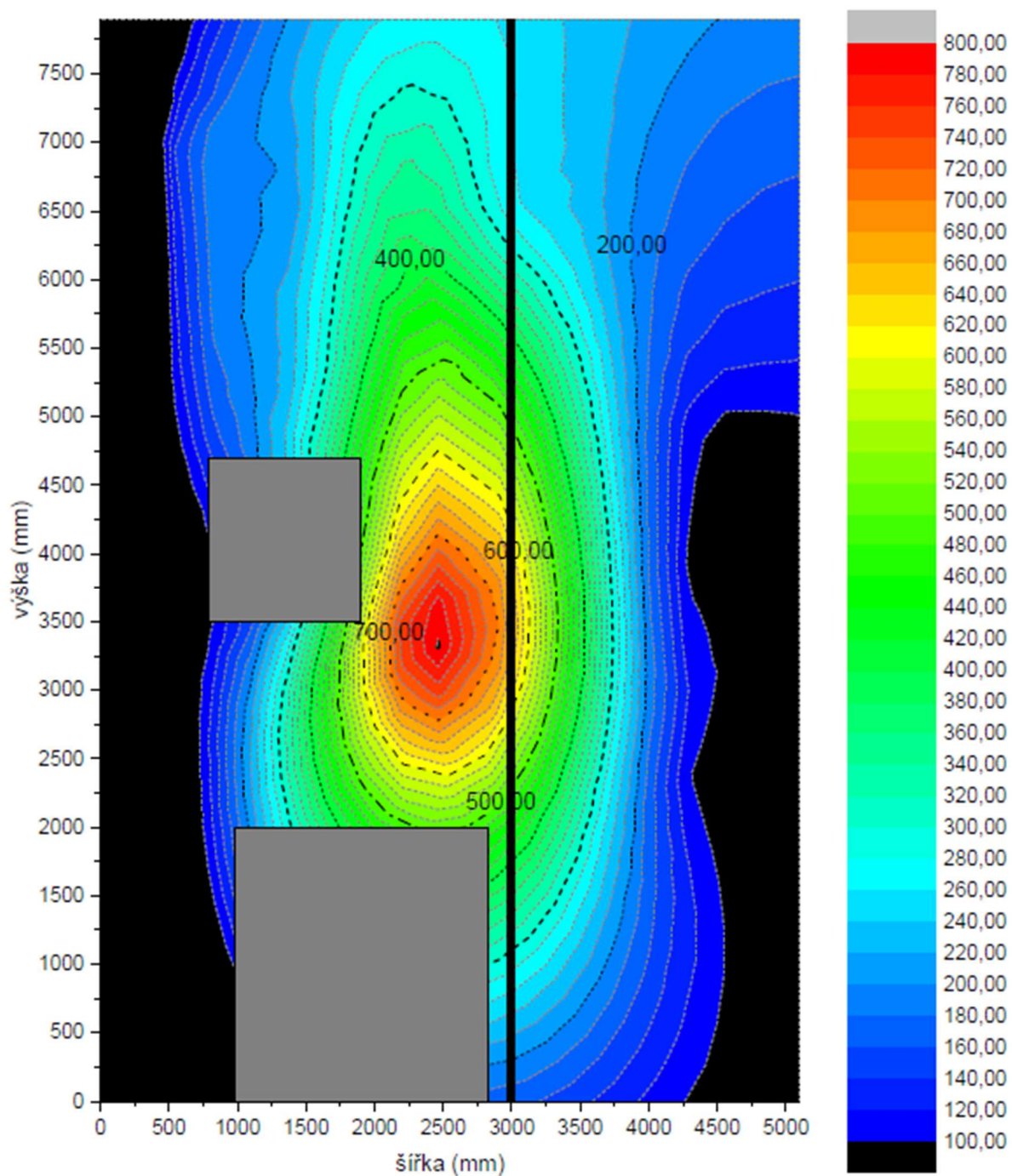


*Obr. 82 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 6–8 minuty pro zkoušku MW*

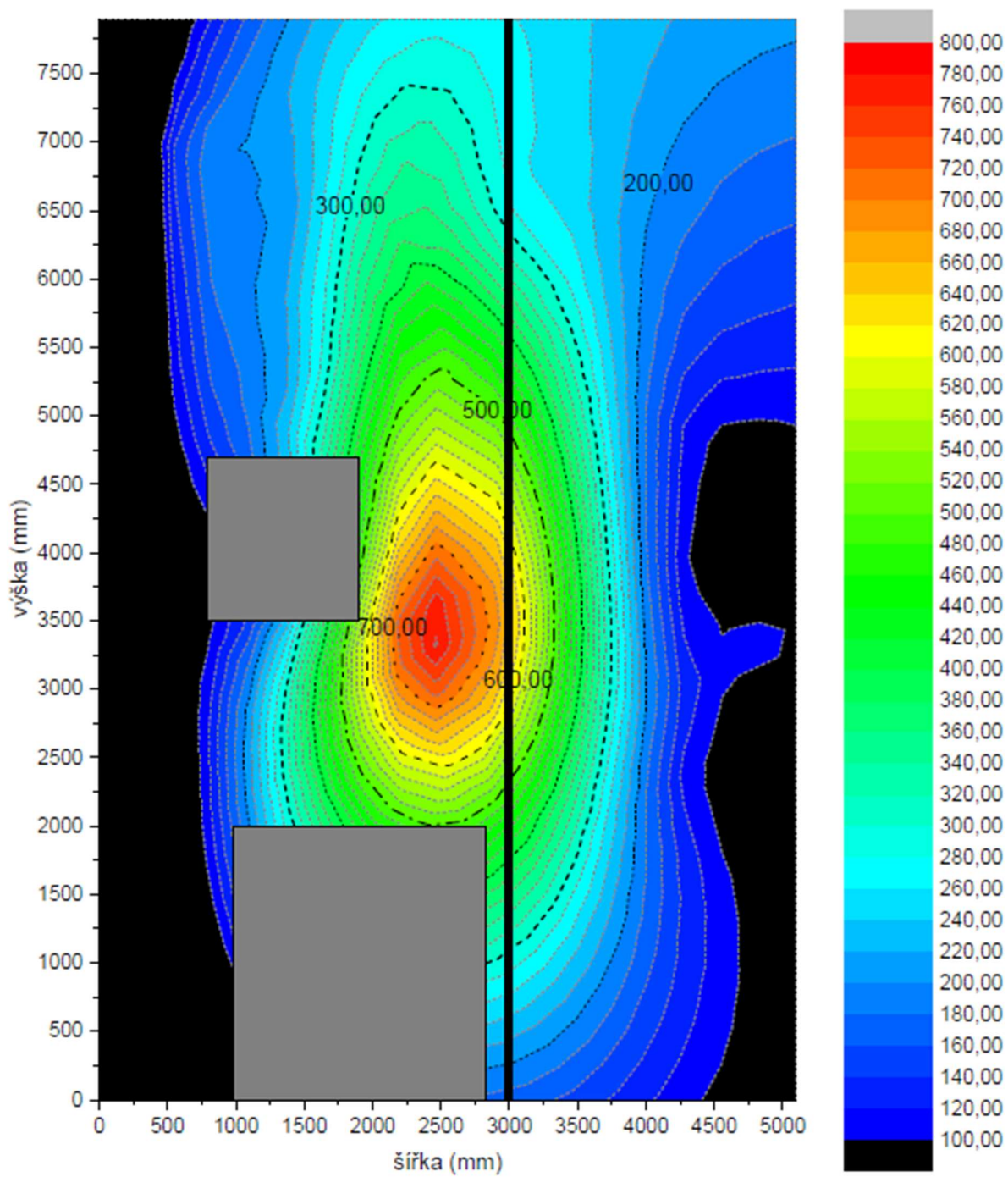


*Obr. 83 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 8–10 minuty pro zkoušku MW*

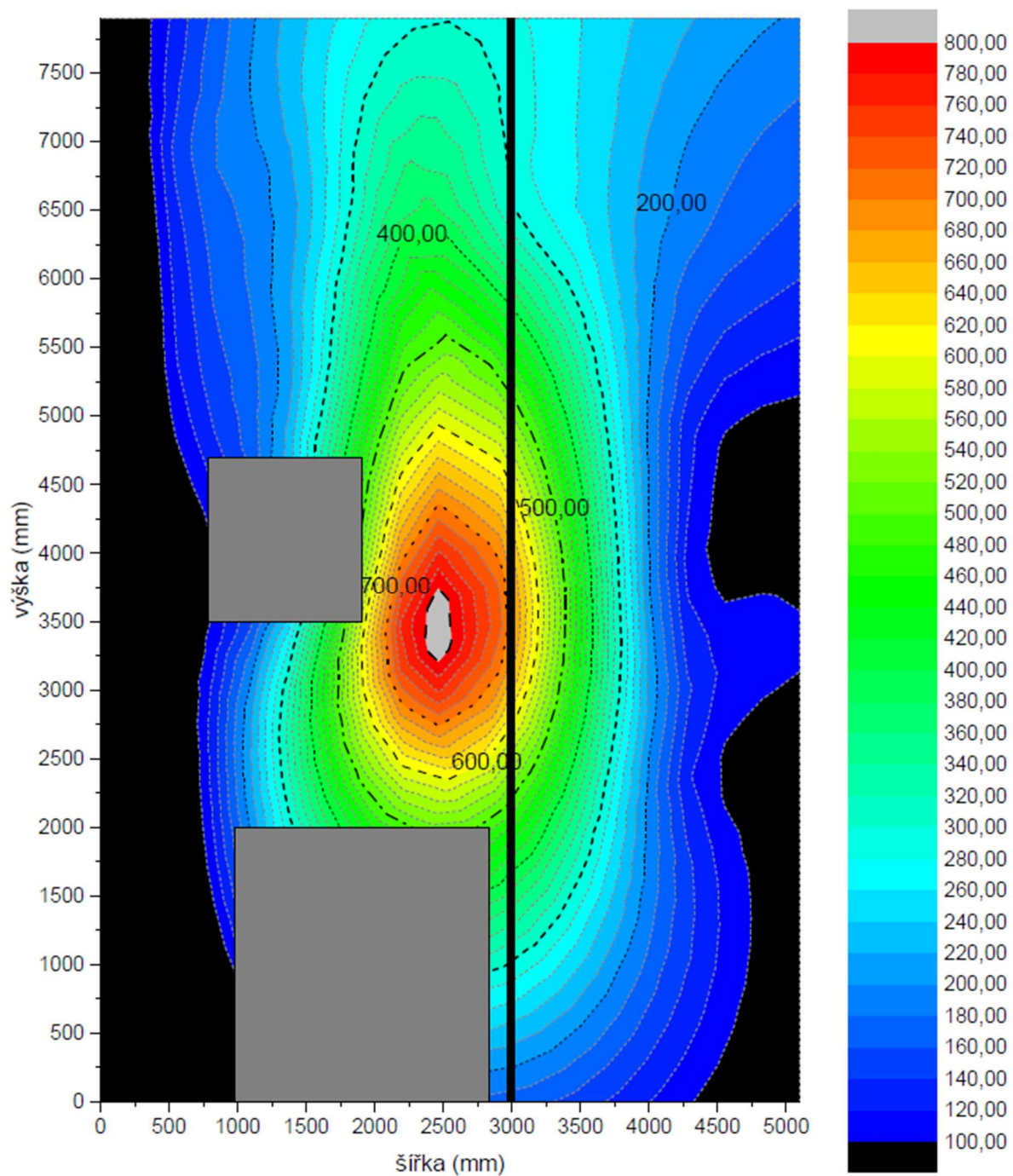




*Obr. 84 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 10–12 minuty pro zkoušku MW*

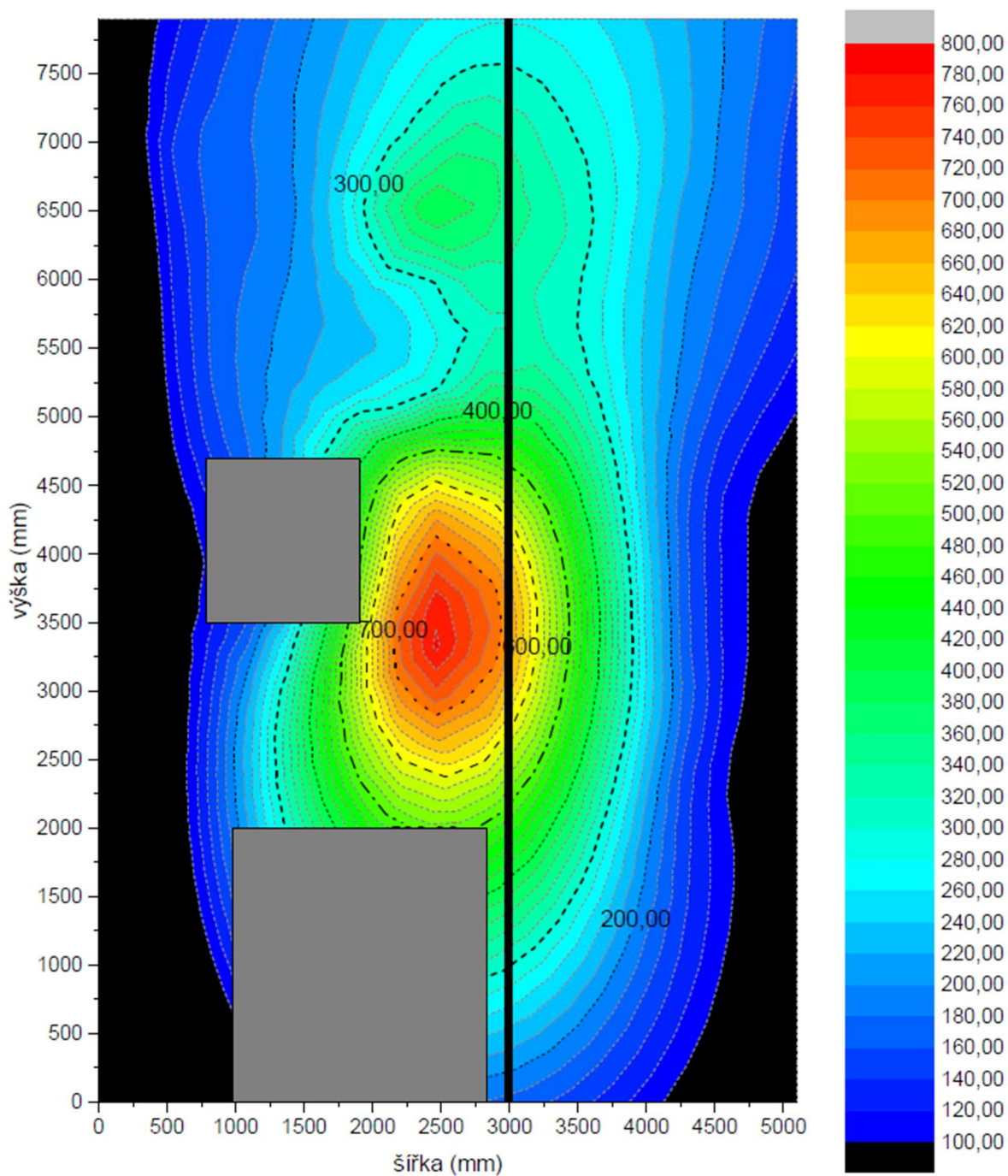


*Obr. 85 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 12–14 minuty pro zkoušku MW*

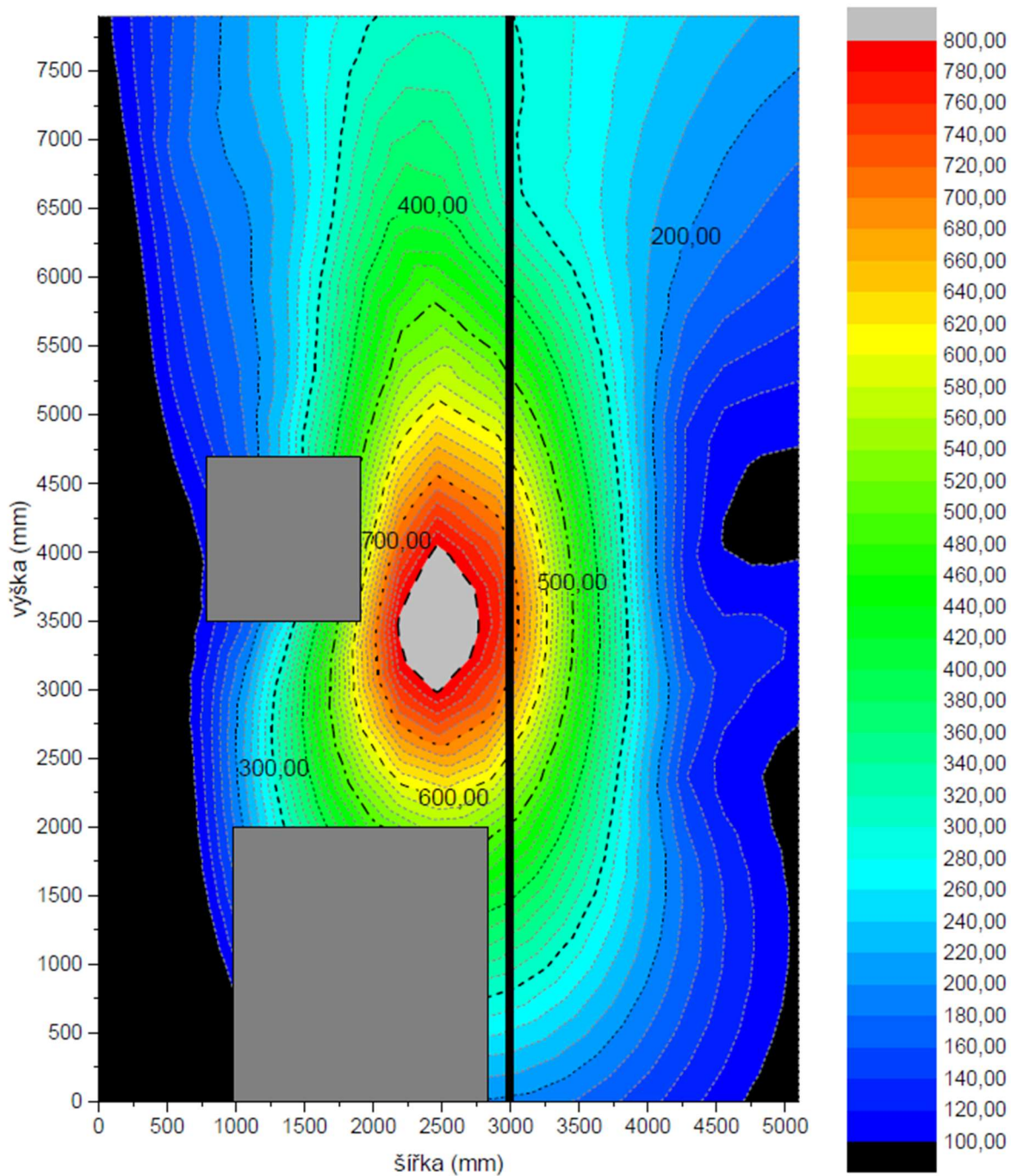


*Obr. 86 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 14–16 minuty pro zkoušku MW*



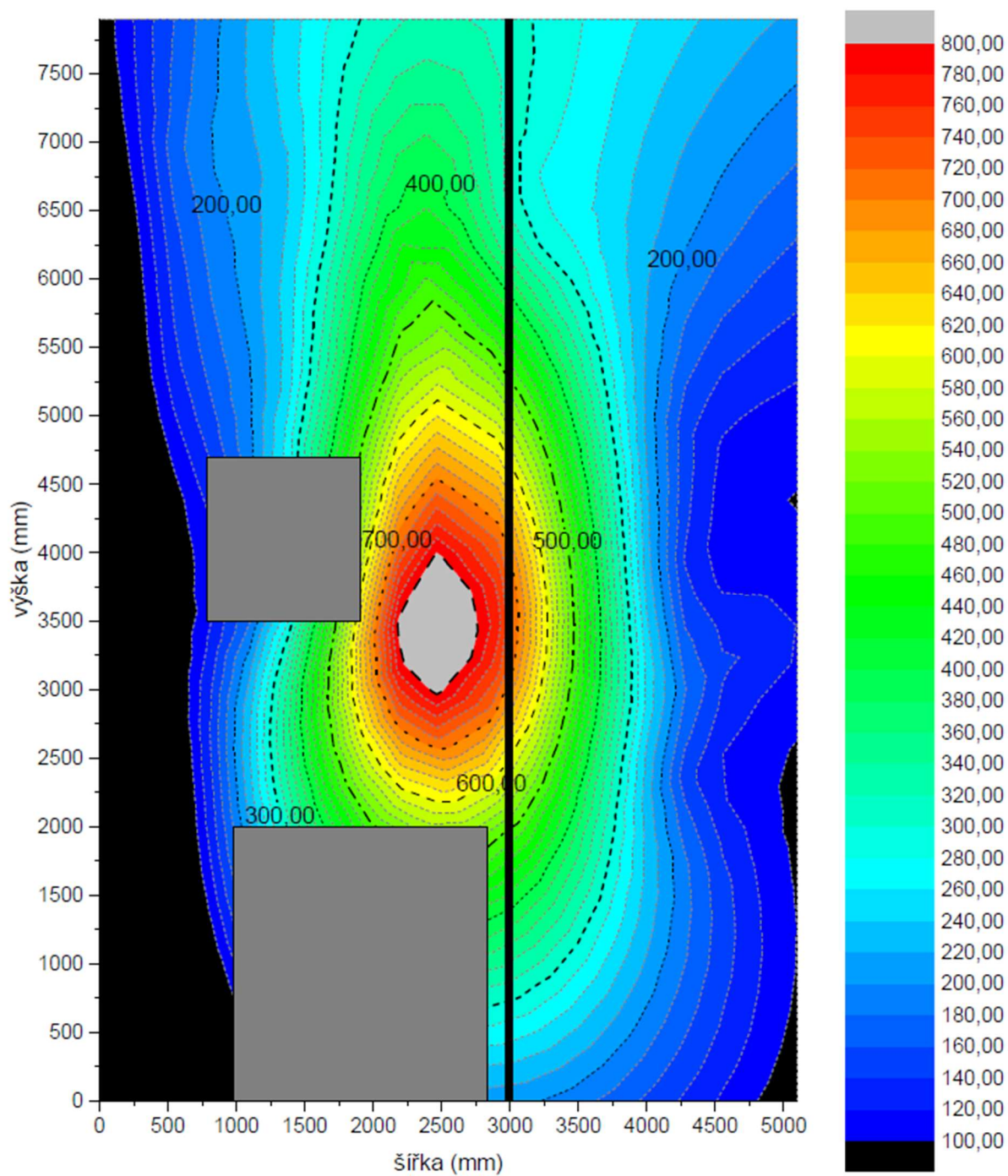


*Obr. 87 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 16–18 minuty pro zkoušku MW*



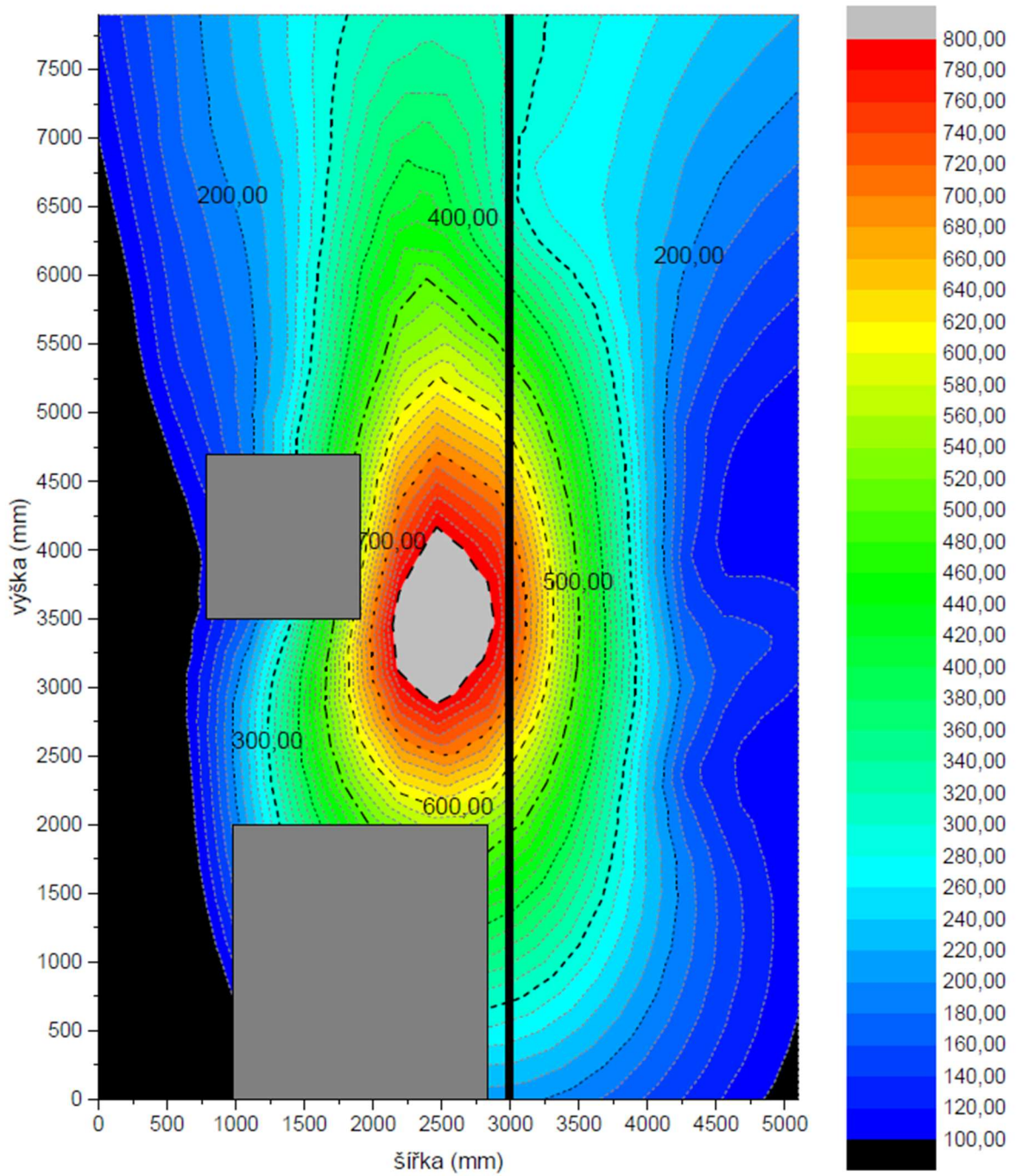
*Obr. 88 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 18–20 minuty pro zkoušku MW*



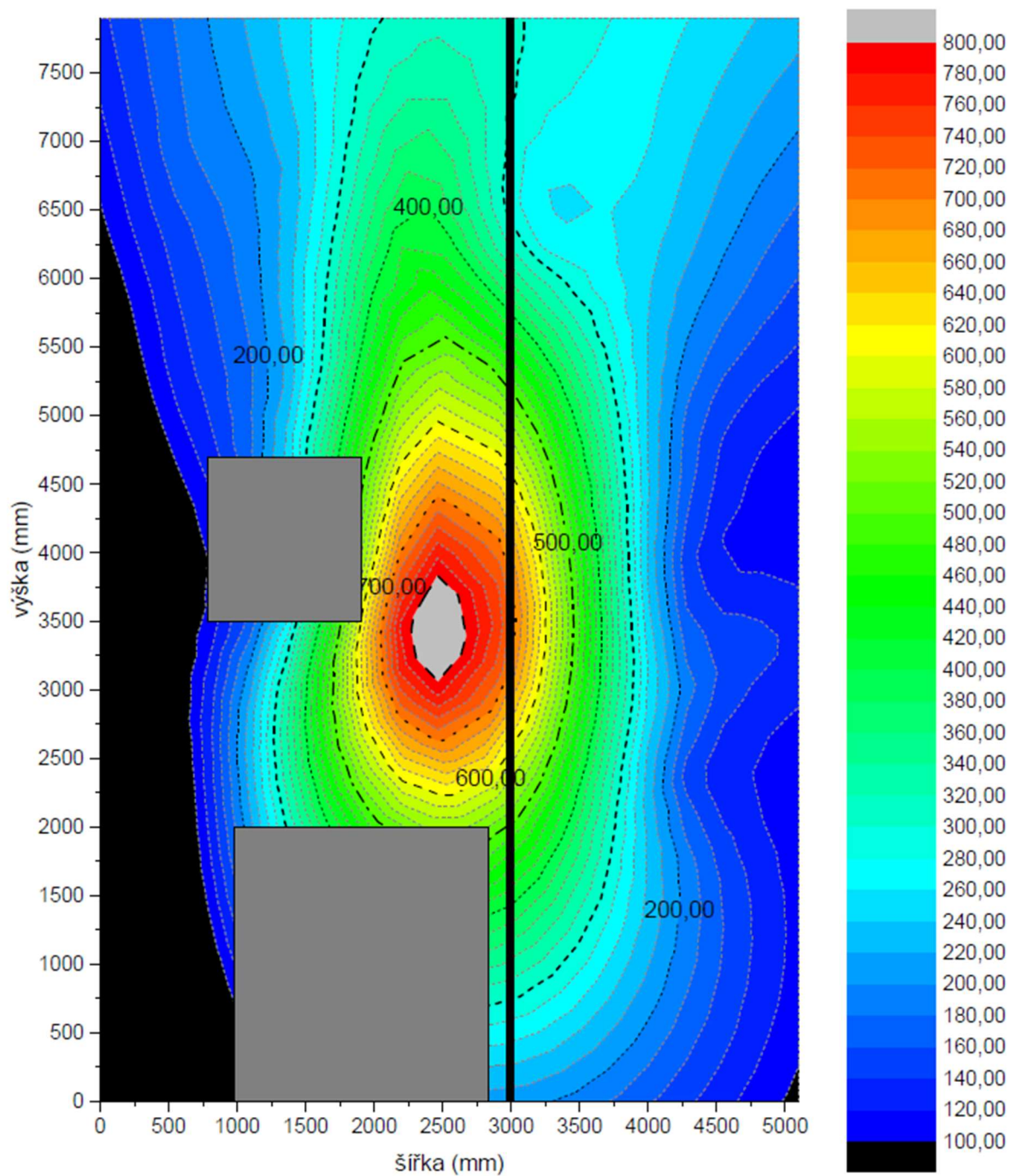


*Obr. 89 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 20–22 minuty pro zkoušku MW*



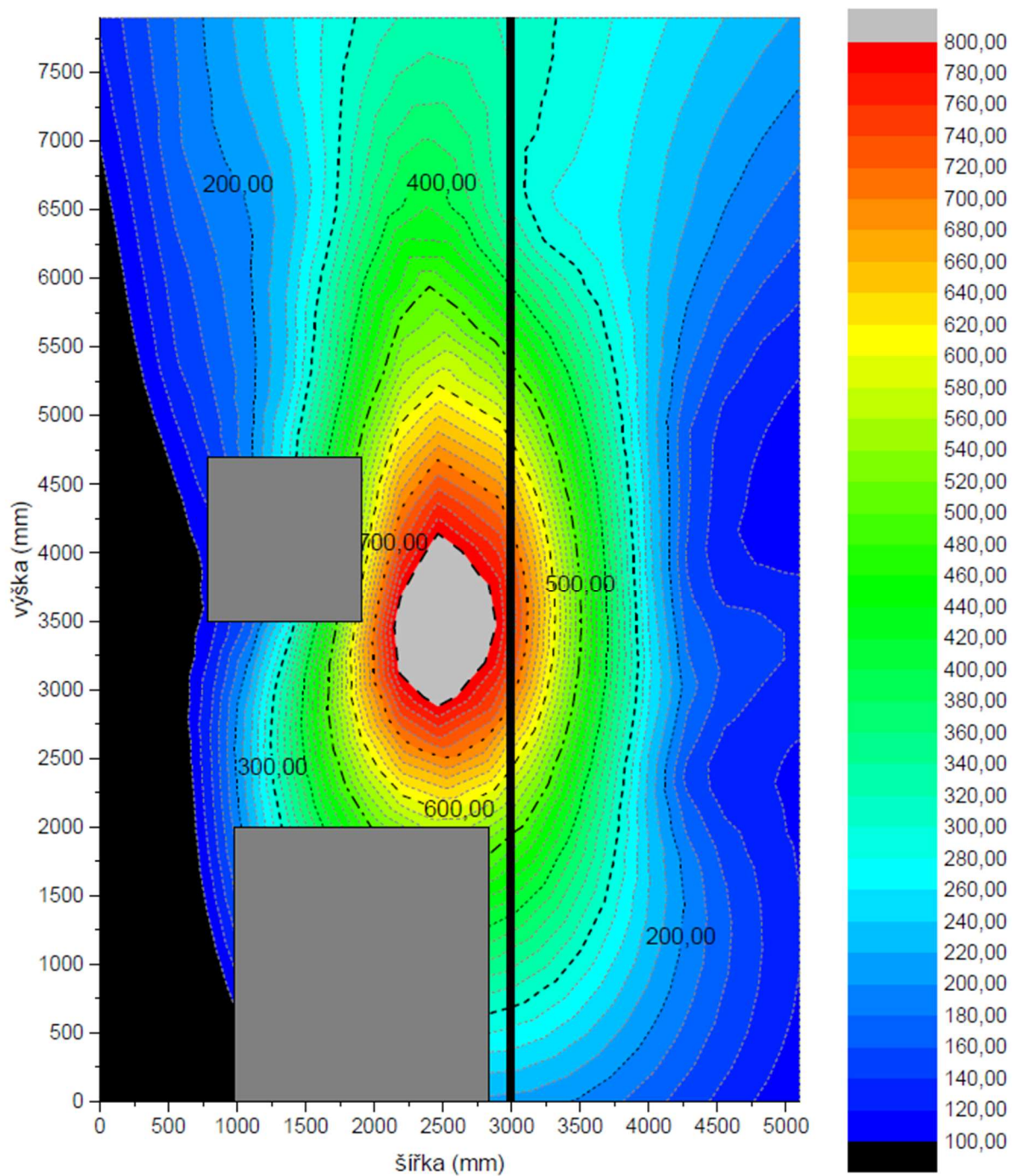


*Obr. 90 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 22–24 minuty pro zkoušku MW*

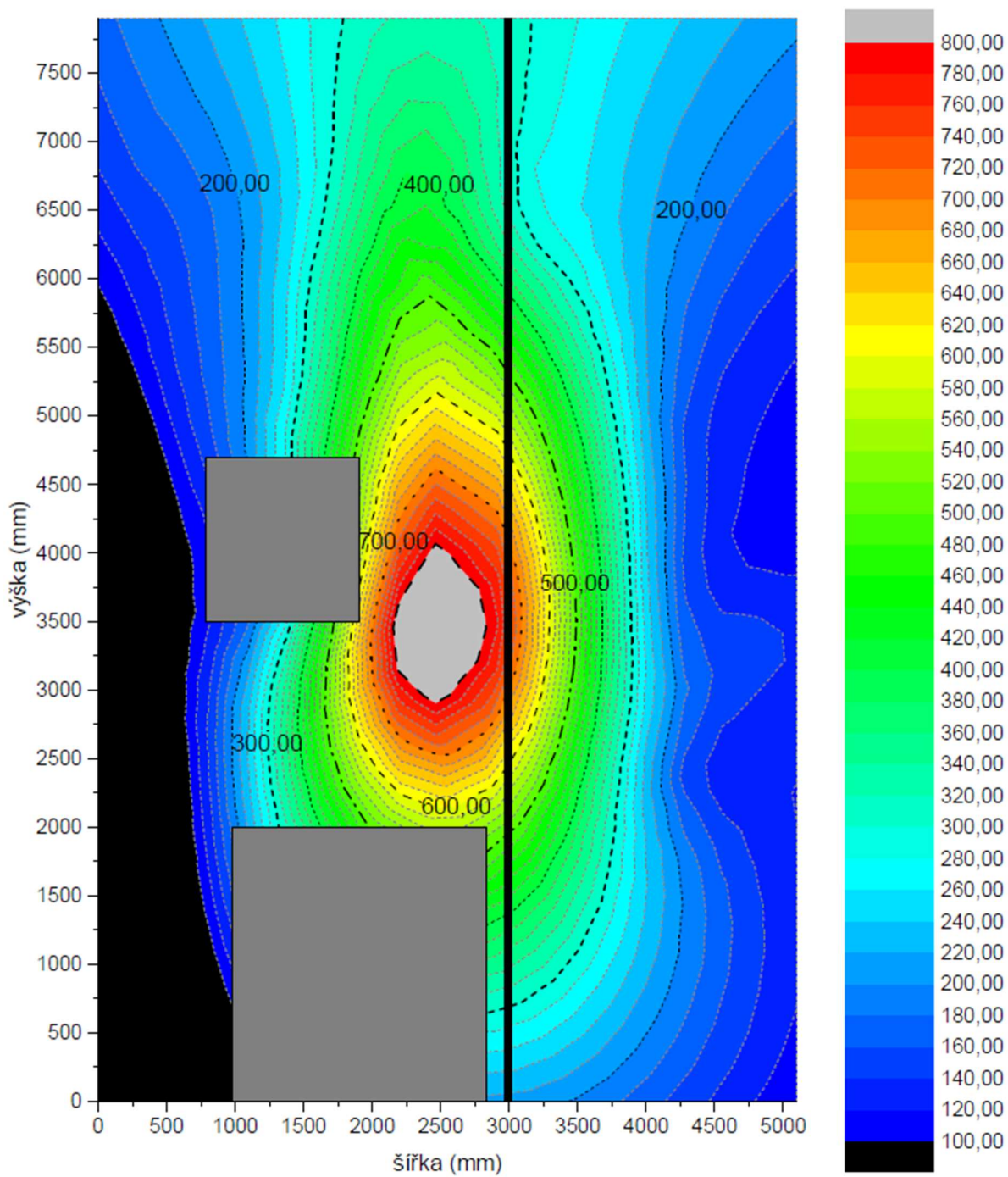


*Obr. 91 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 24–26 minuty pro zkoušku MW*



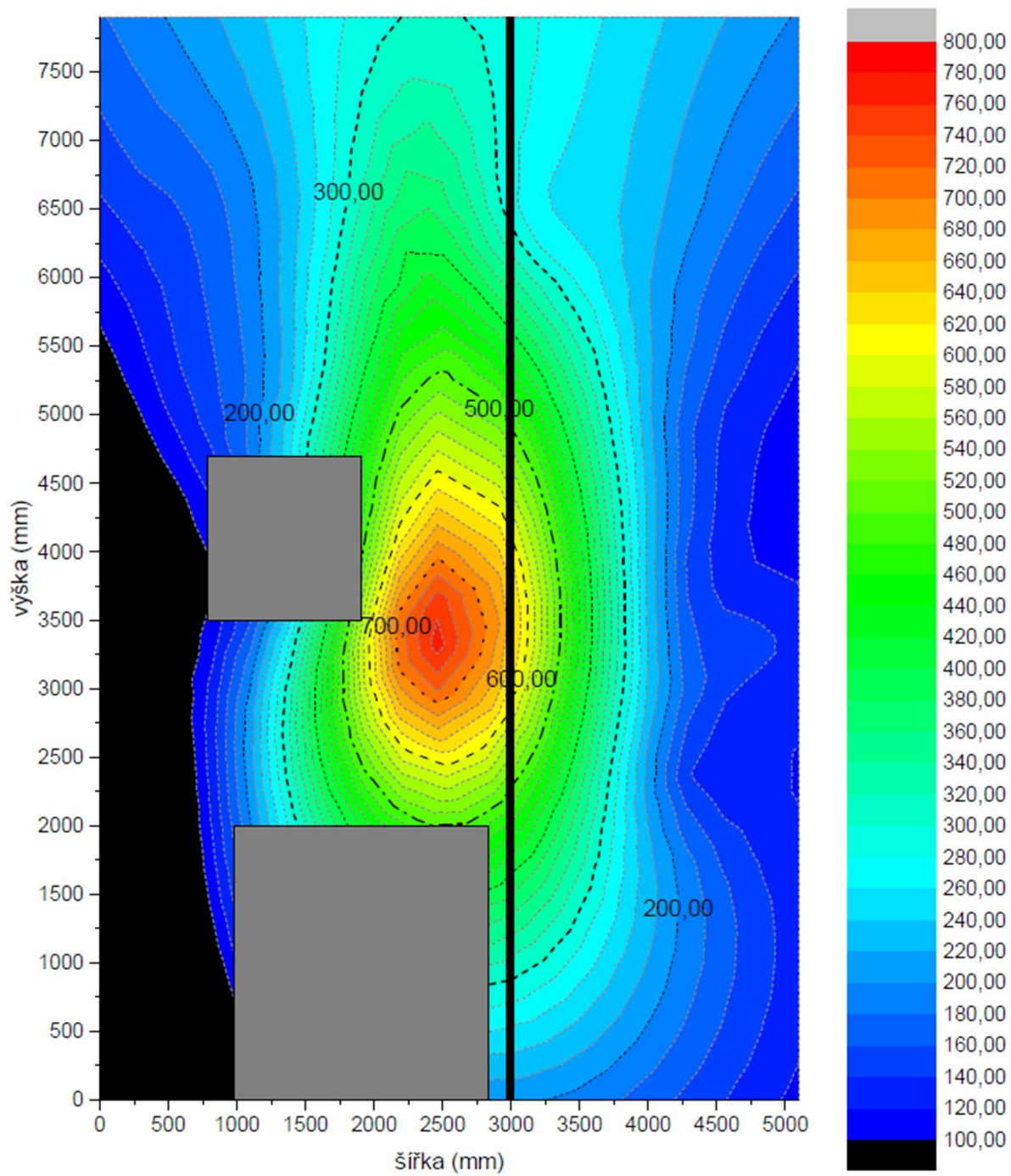


*Obr. 92 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 26–28 minuty pro zkoušku MW*



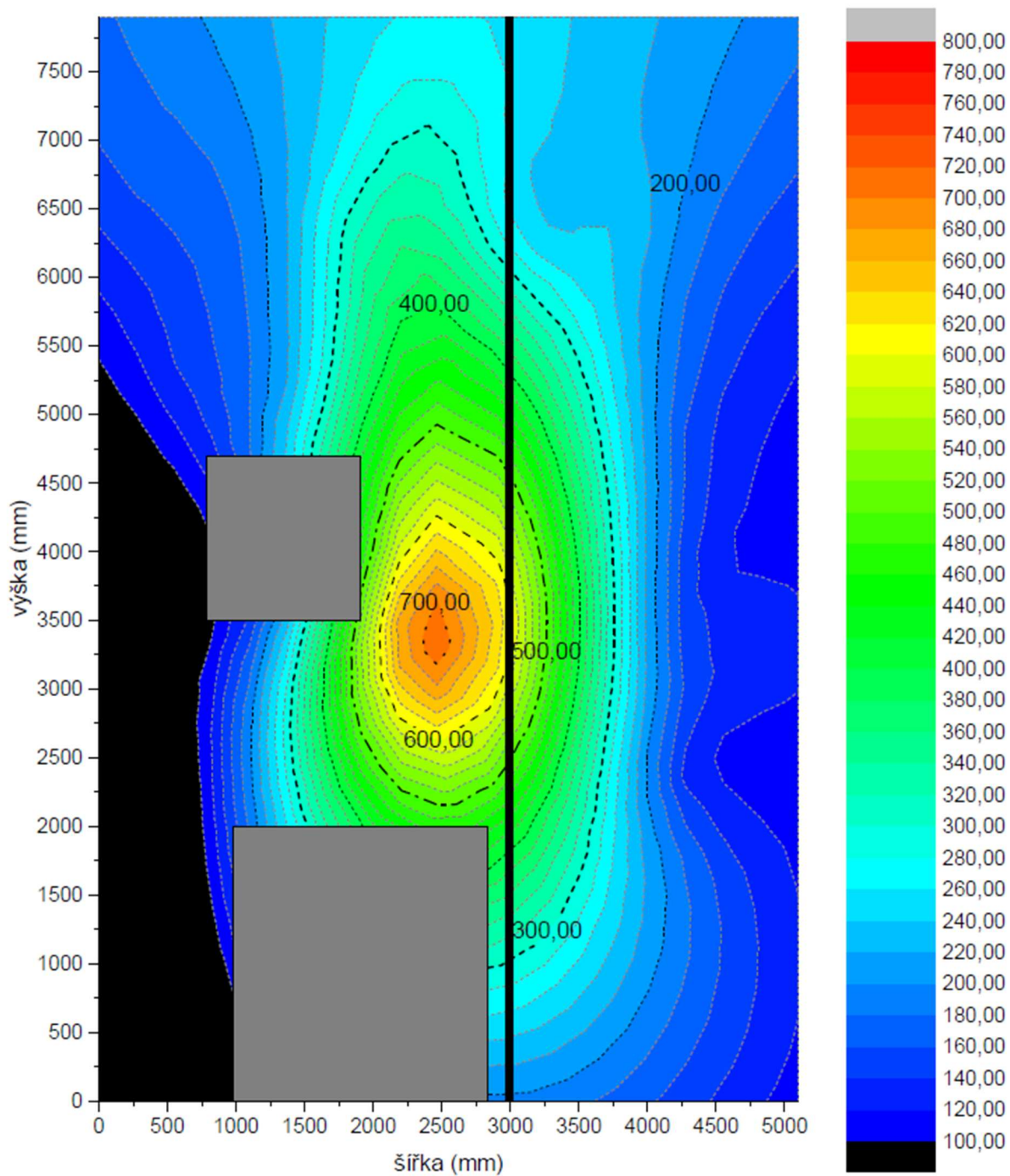
*Obr. 93 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 28–30 minuty pro zkoušku MW*



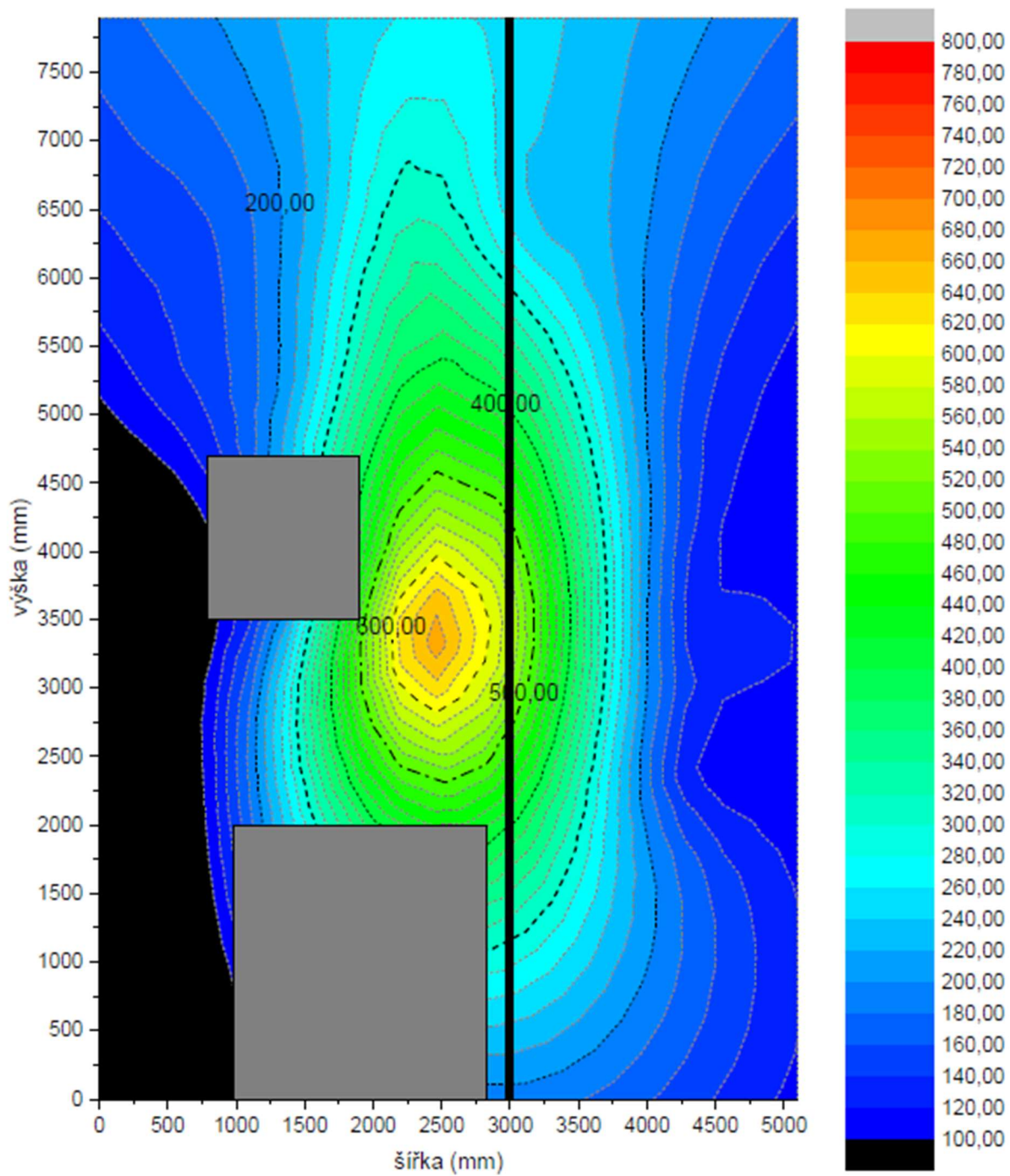


*Obr. 94 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 30–32 minuty pro zkoušku MW*

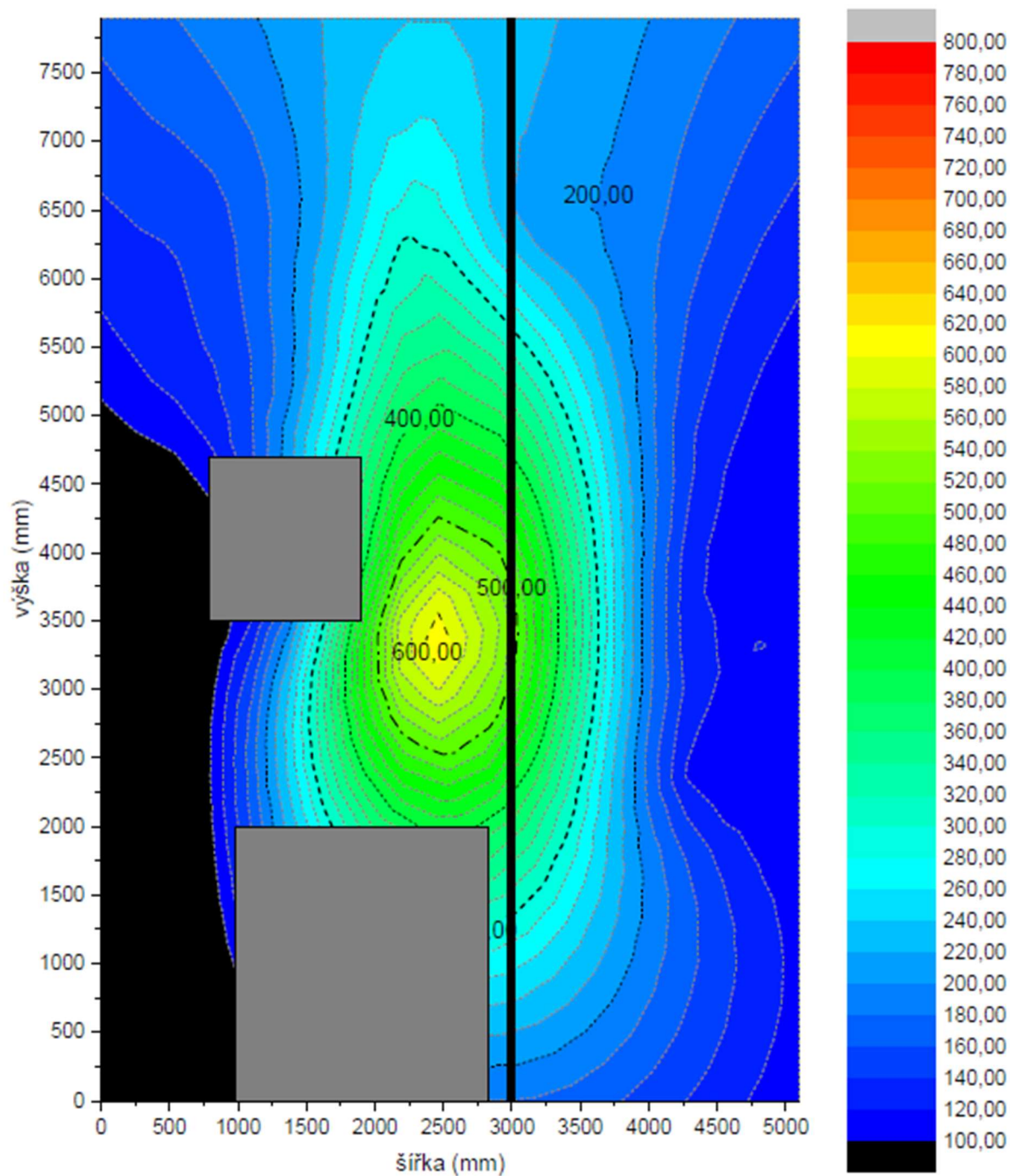




*Obr. 95 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 32–34 minuty pro zkoušku MW*

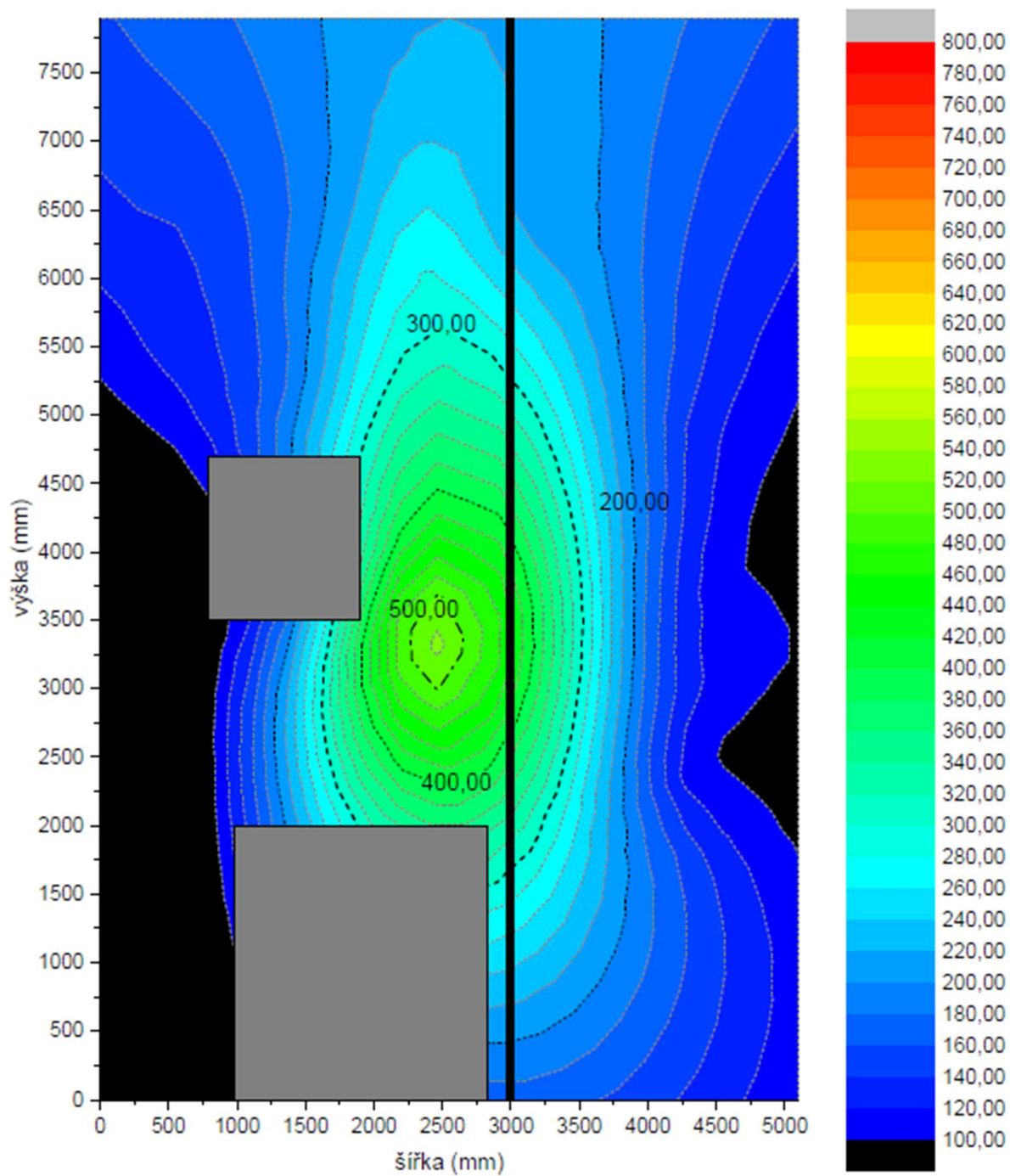


*Obr. 96 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 34–36 minuty pro zkoušku MW*

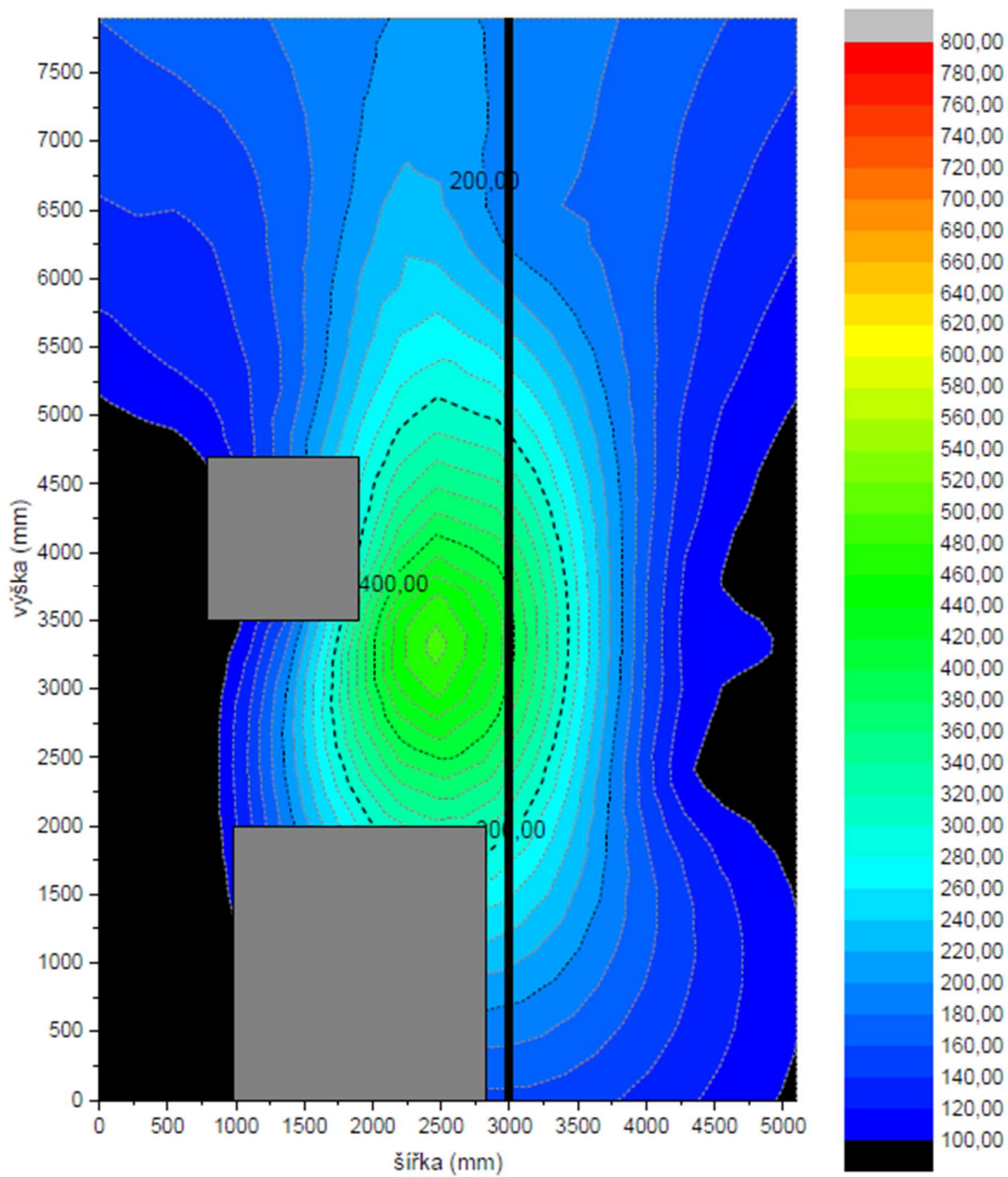


*Obr. 97 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 36–38 minuty pro zkoušku MW*



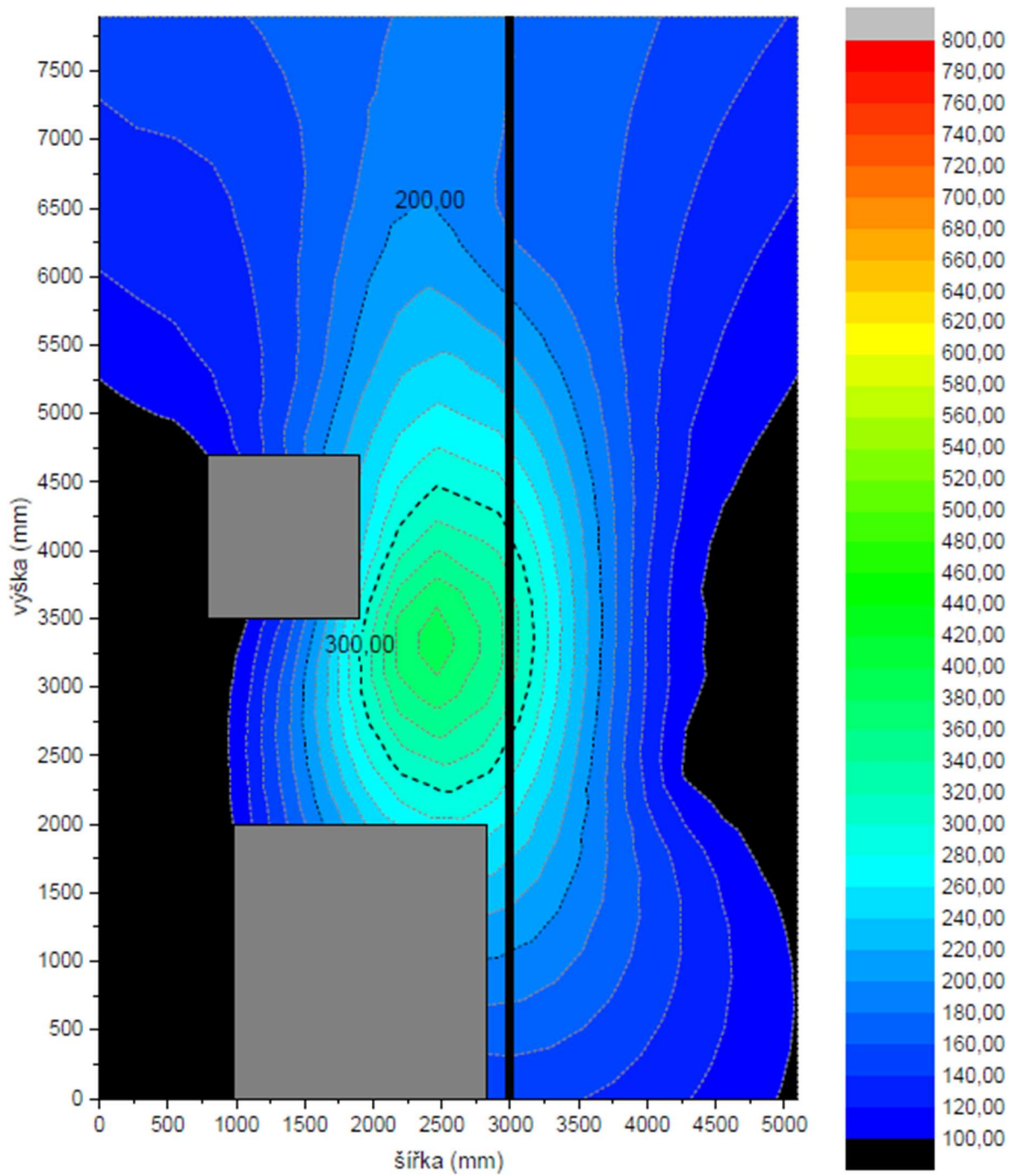


*Obr. 98 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 38–40 minuty pro zkoušku MW*

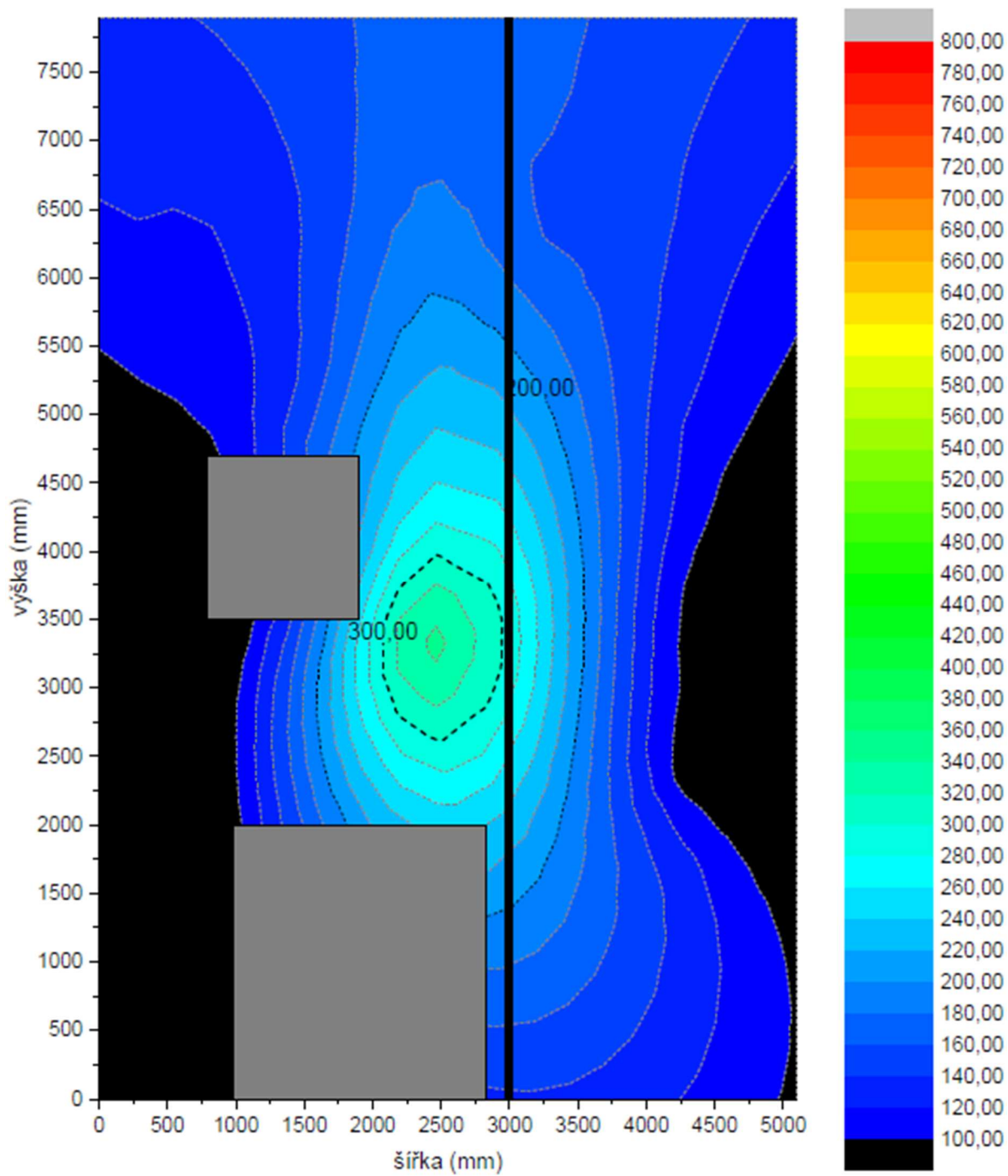


*Obr. 99 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 40–42 minuty pro zkoušku MW*

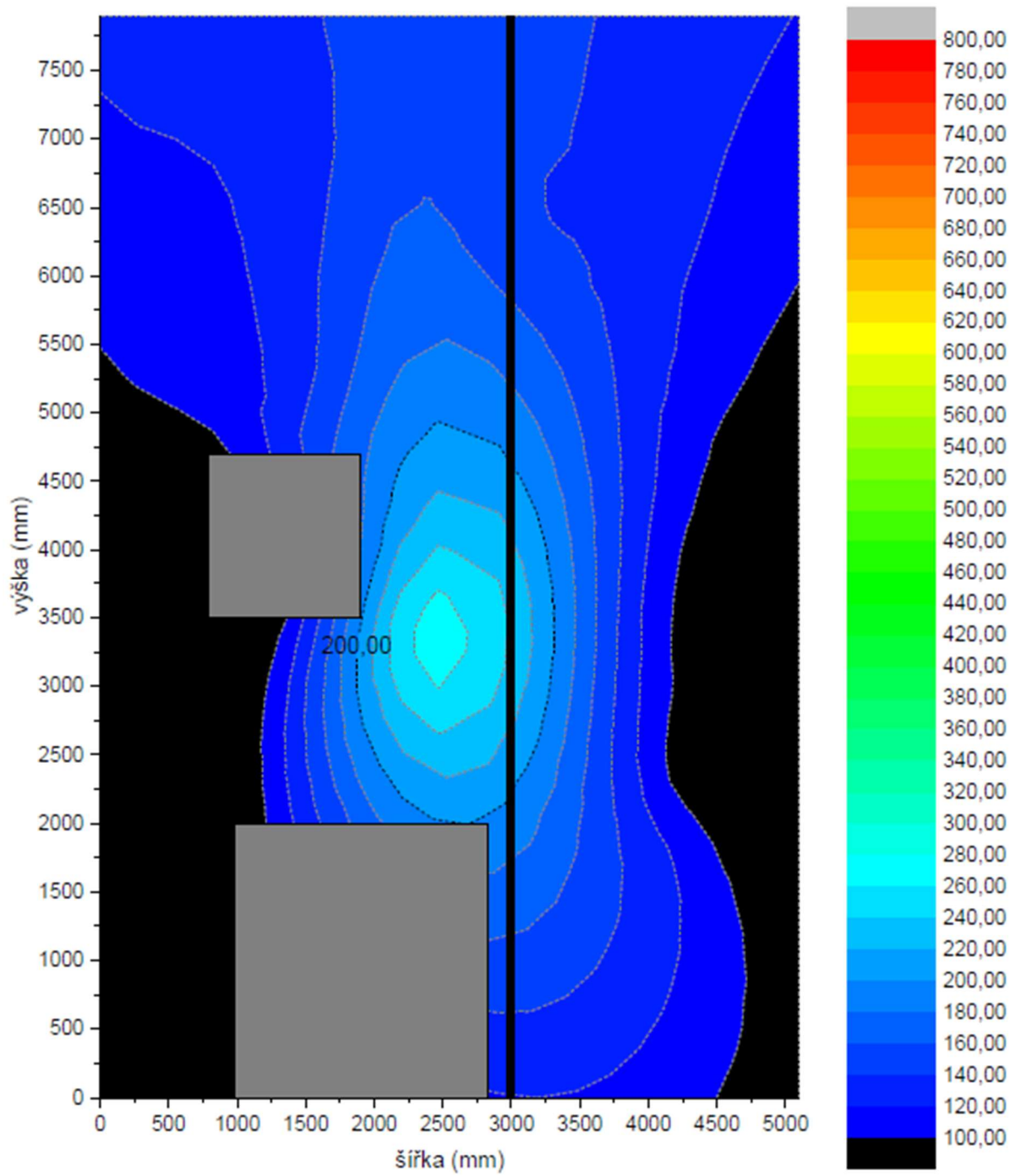




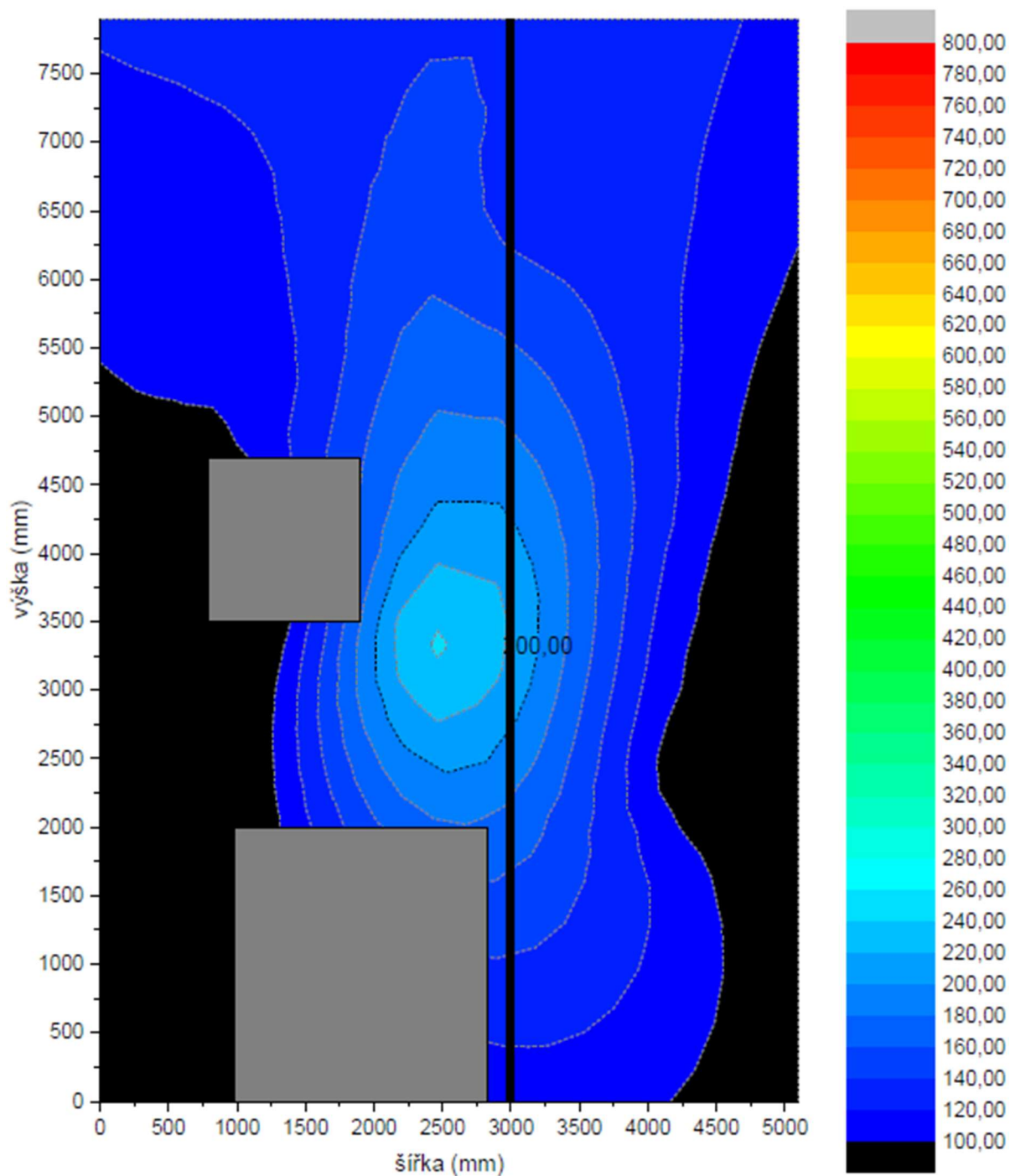
*Obr. 100 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 42–44 minuty pro zkoušku MW*



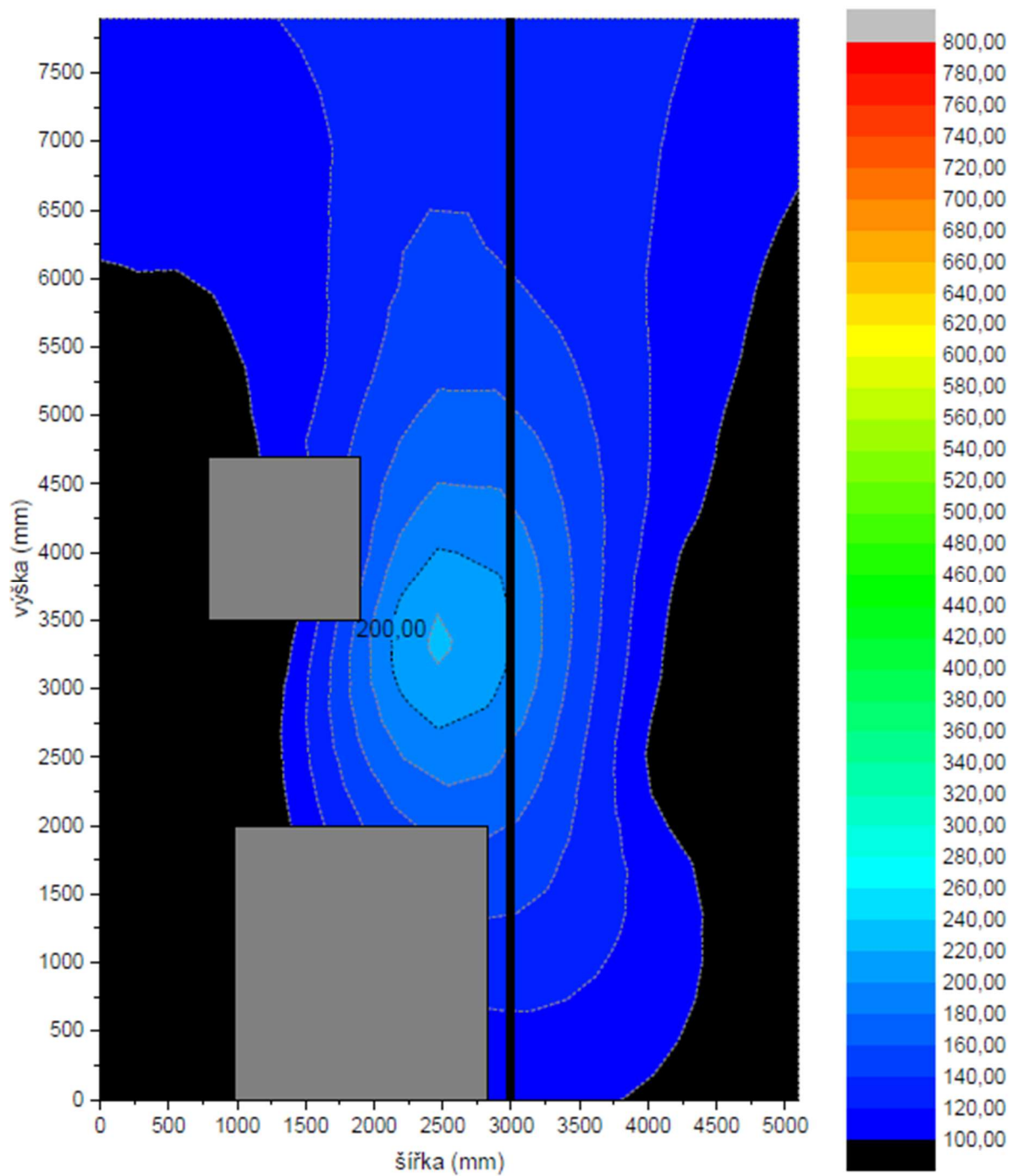
*Obr. 101 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 44–46 minuty pro zkoušku MW*



*Obr. 102 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 46–48 minuty pro zkoušku MW*

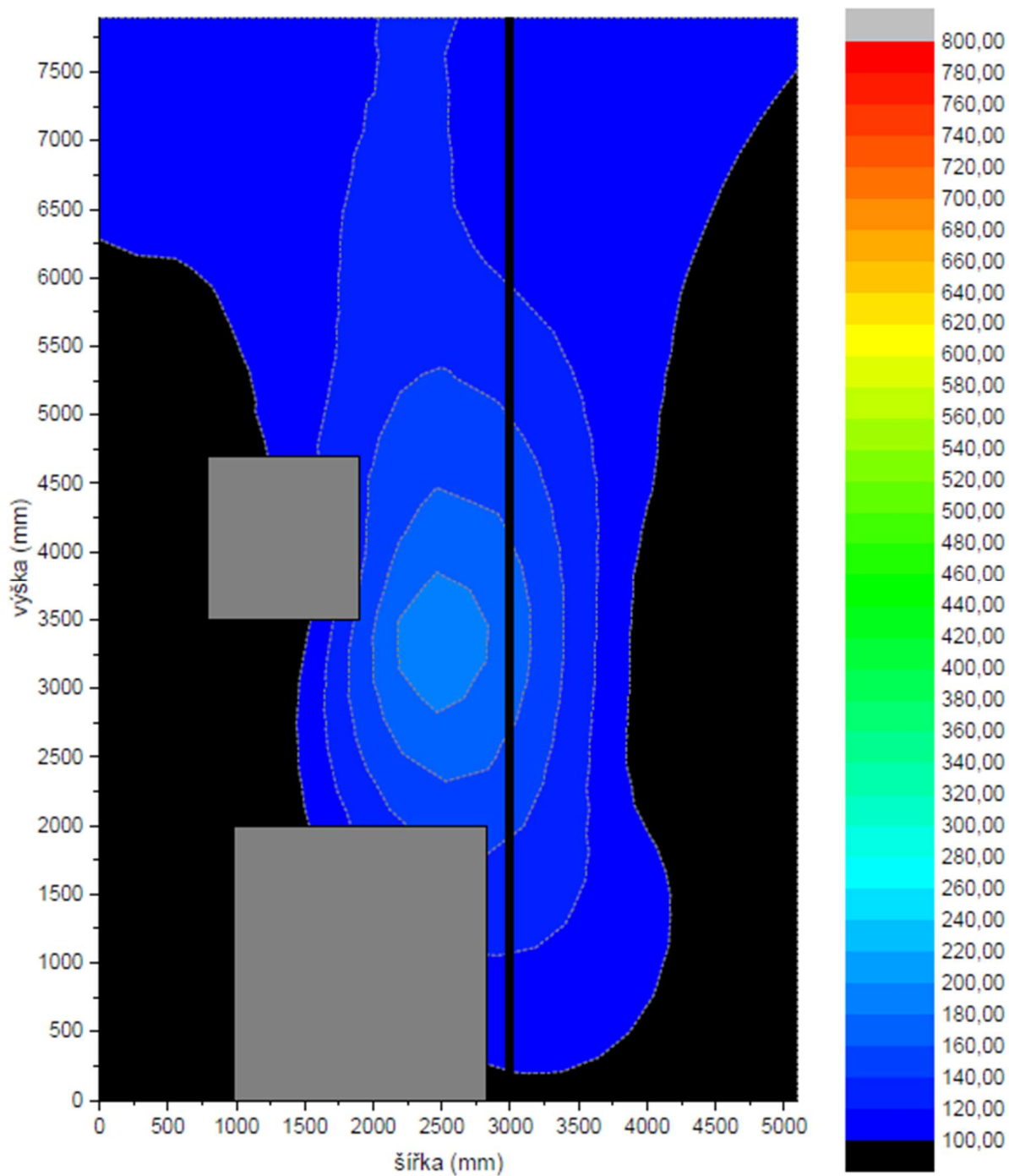


*Obr. 103 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 48–50 minuty pro zkoušku MW*

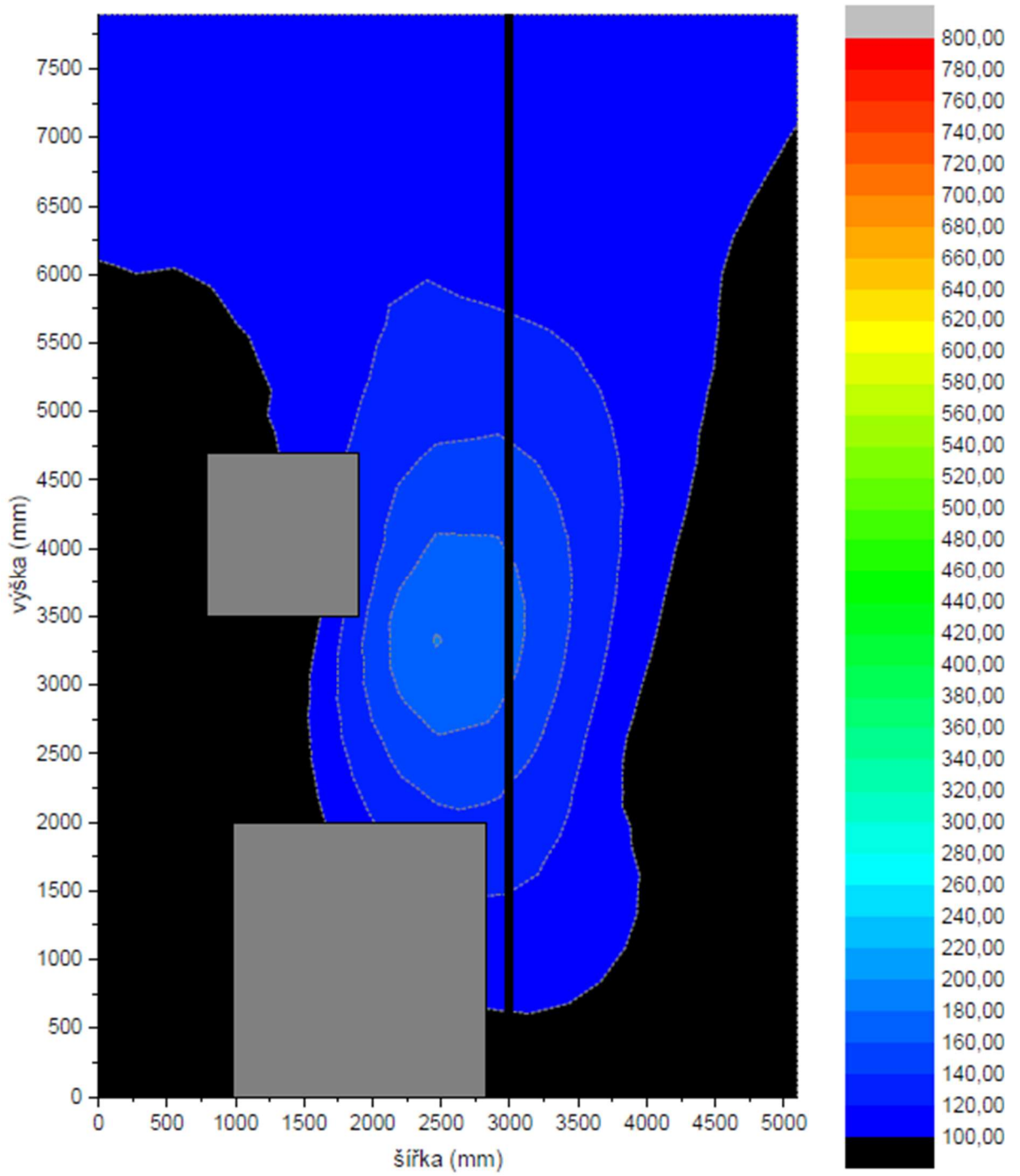


**Obr. 104** – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 50–52 minuty pro zkoušku MW

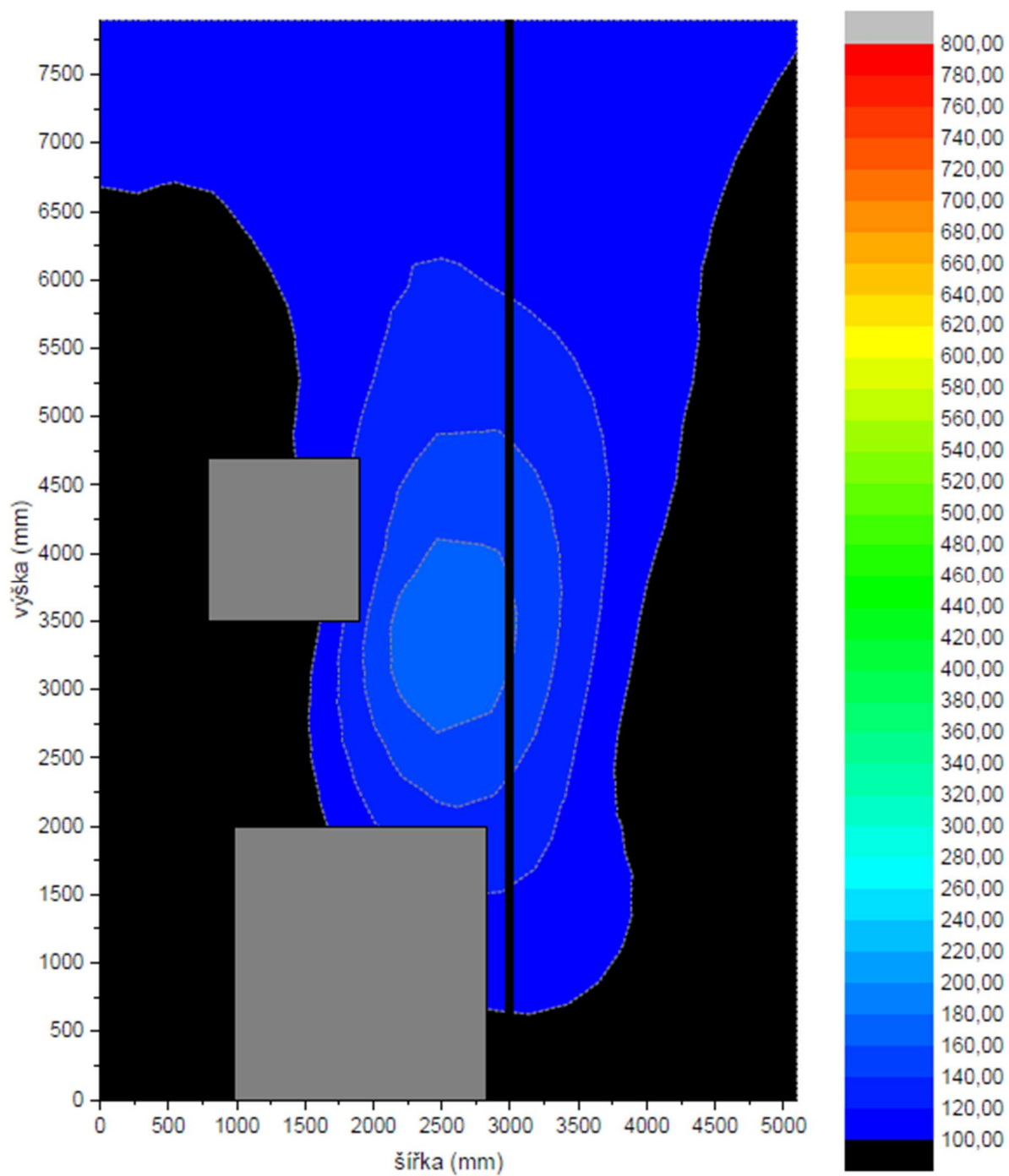




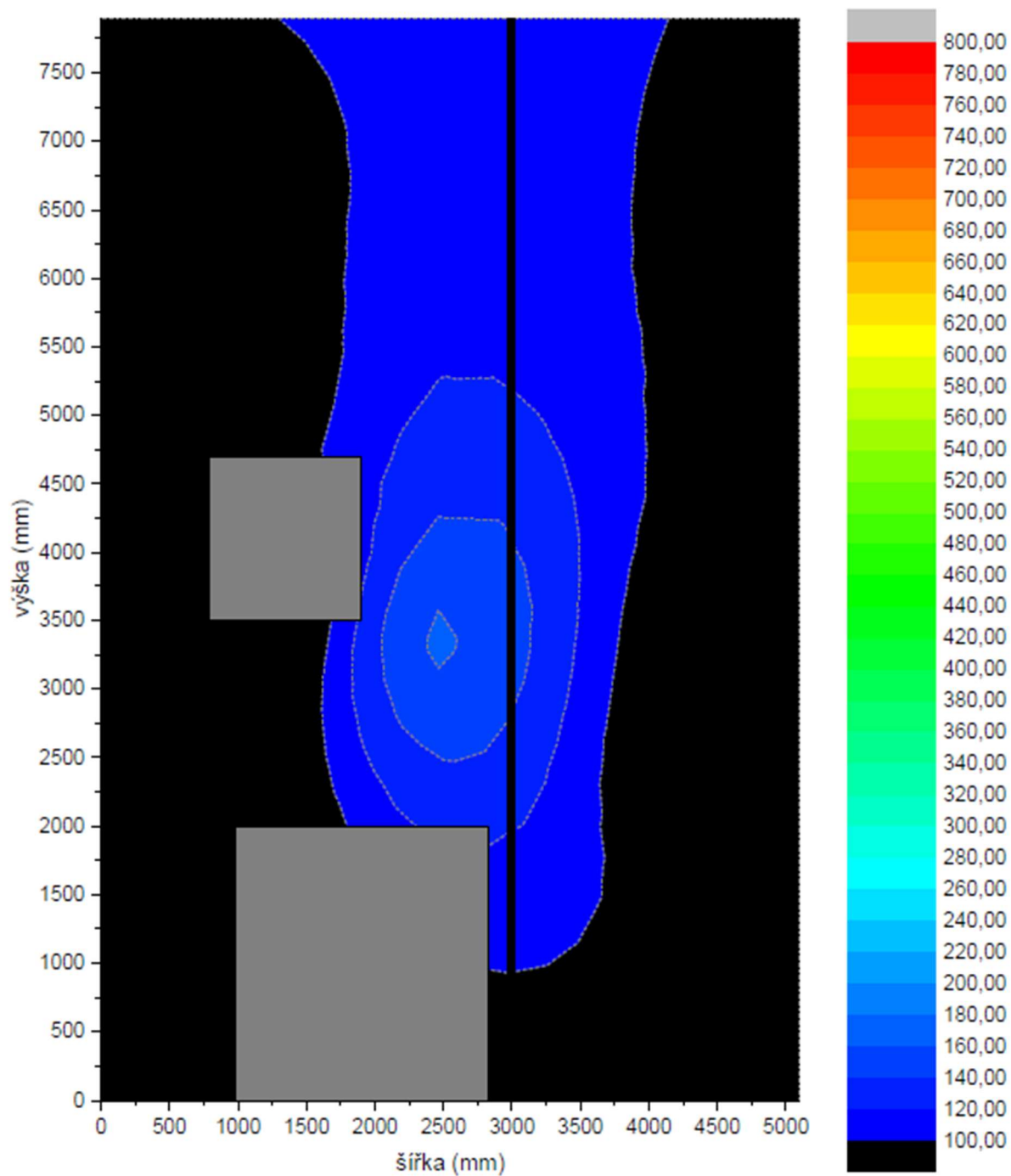
*Obr. 105 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 52–54 minuty pro zkoušku MW*



*Obr. 106 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 54–56 minuty pro zkoušku MW*

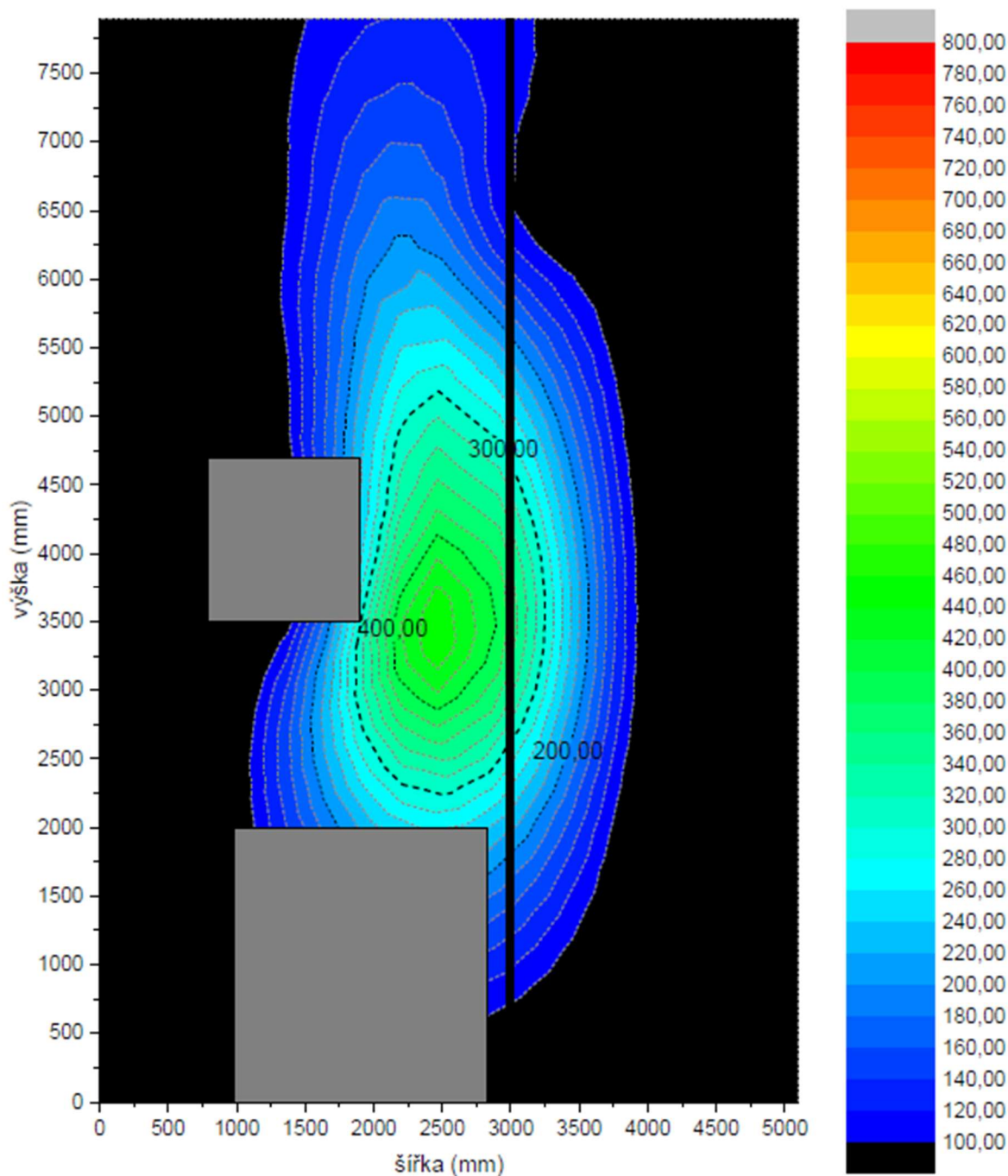


*Obr. 107 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 56–58 minuty pro zkoušku MW*



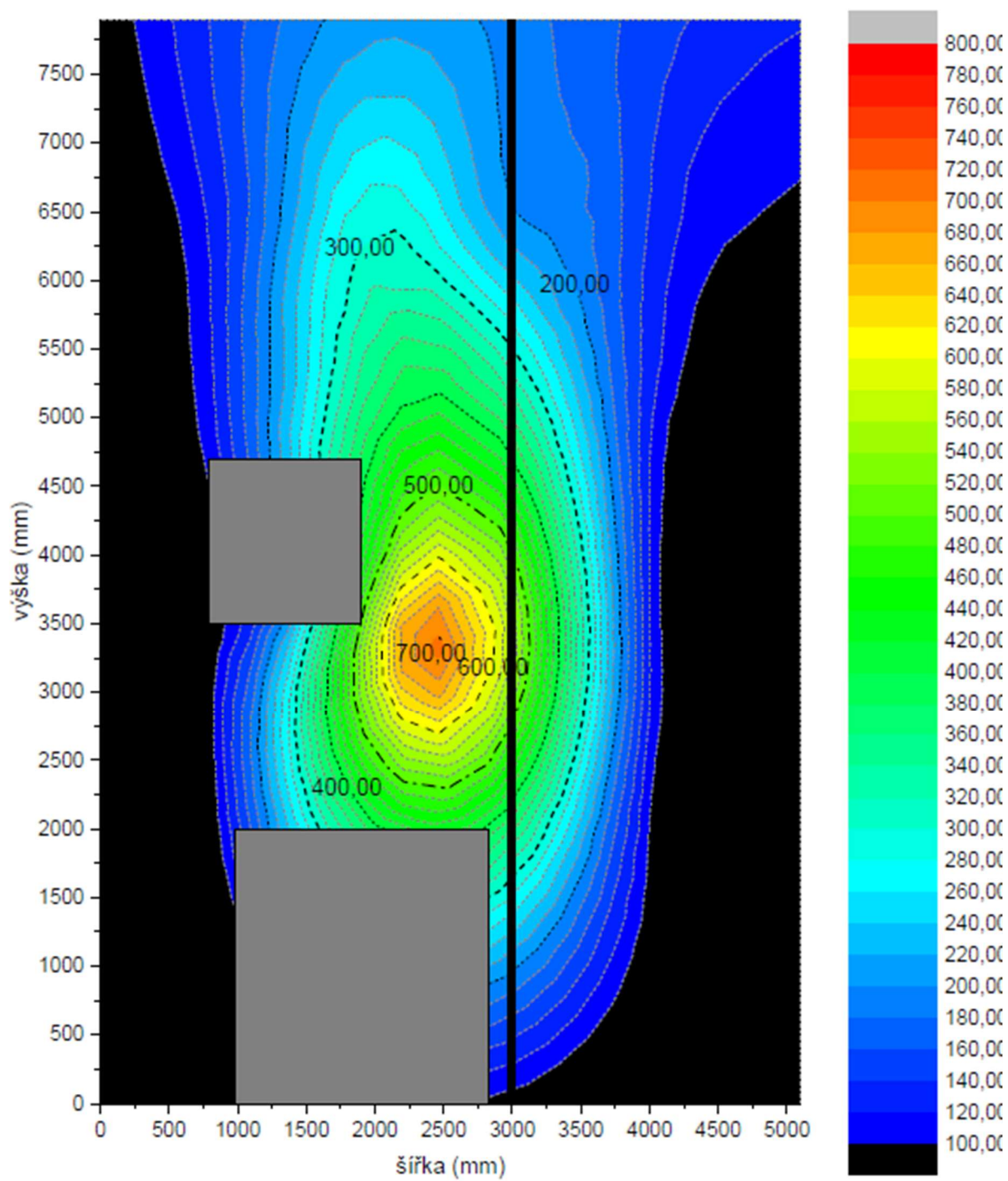
*Obr. 108 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 58–60 minuty pro zkoušku MW*

**Příloha 3** – Průměrné rozložení vnějších teplot velkorozměrové zkoušky s bariérou

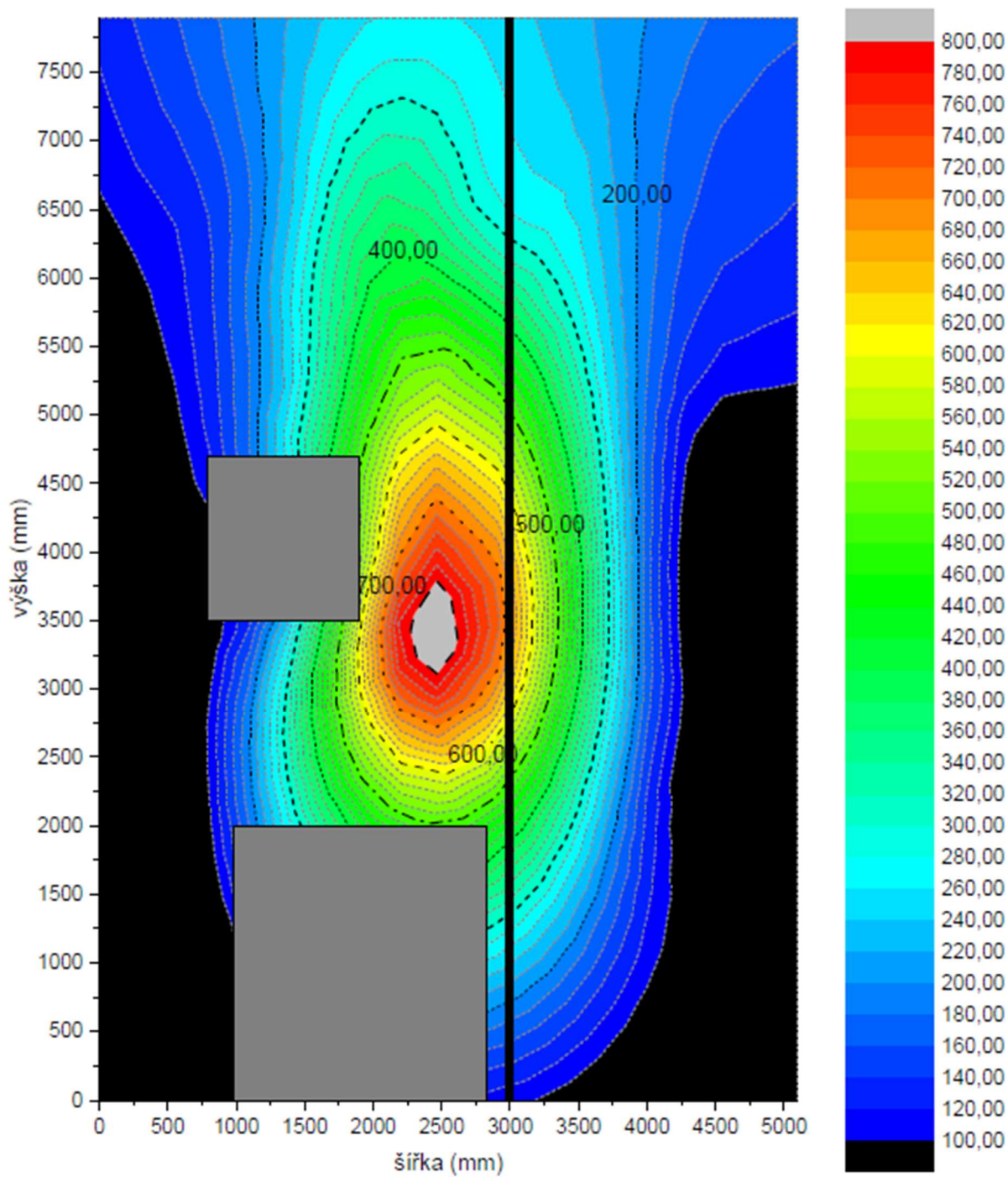


*Obr. 109* – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 0–2 minuty pro zkoušku s bariérou

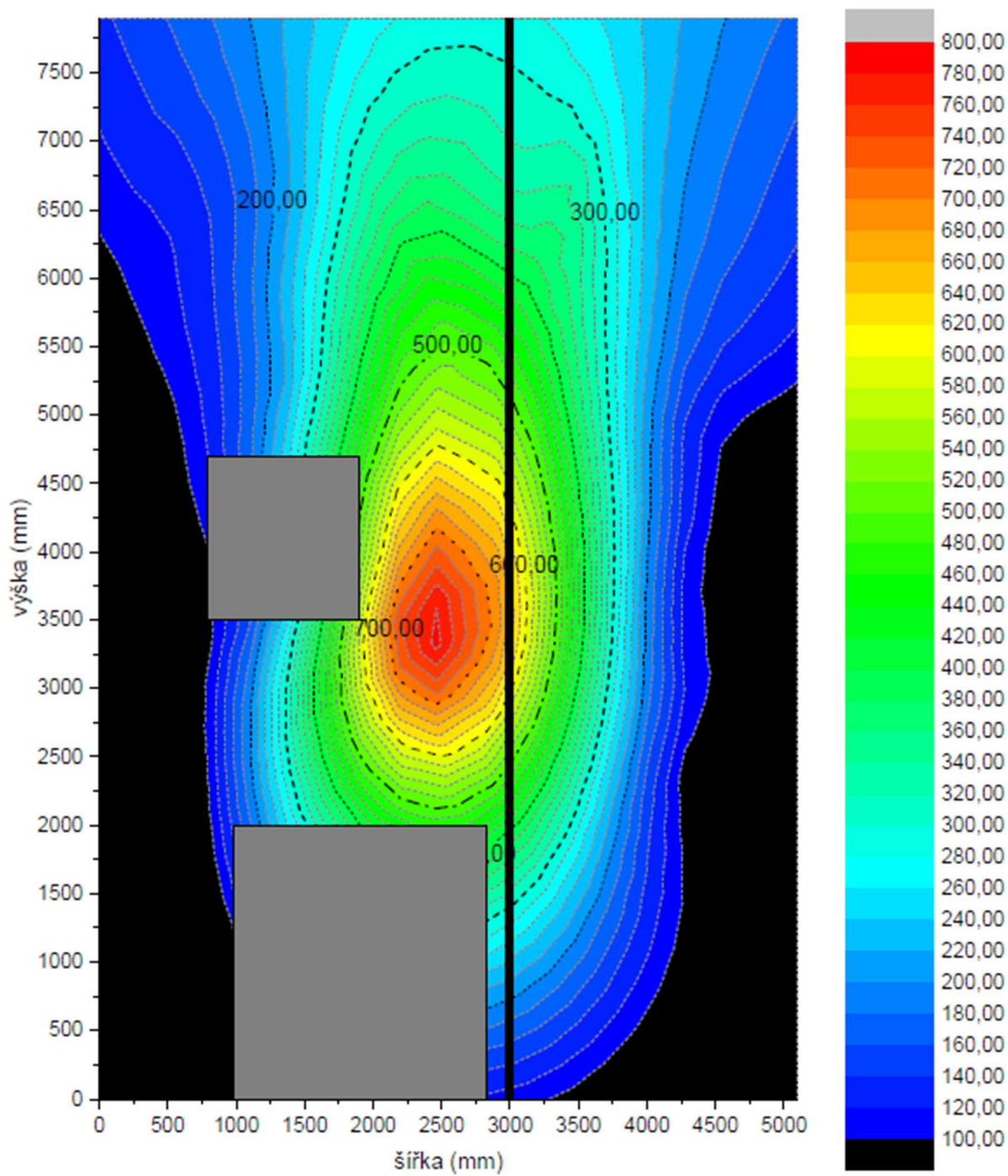




*Obr. 110 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 2–4 minuty pro zkoušku s bariérou*

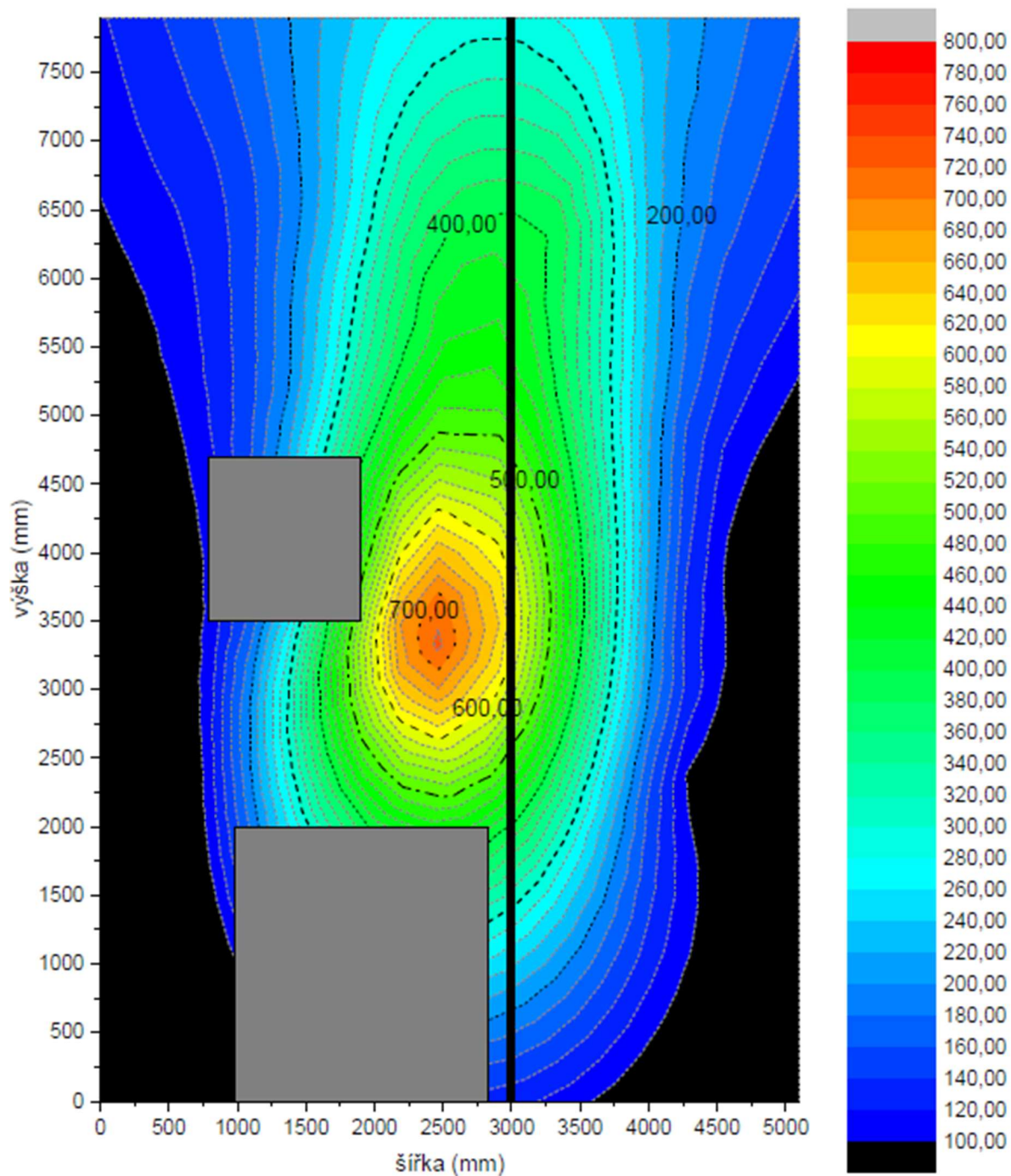


*Obr. 111 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 4–6 minuty pro zkoušku s bariérou*

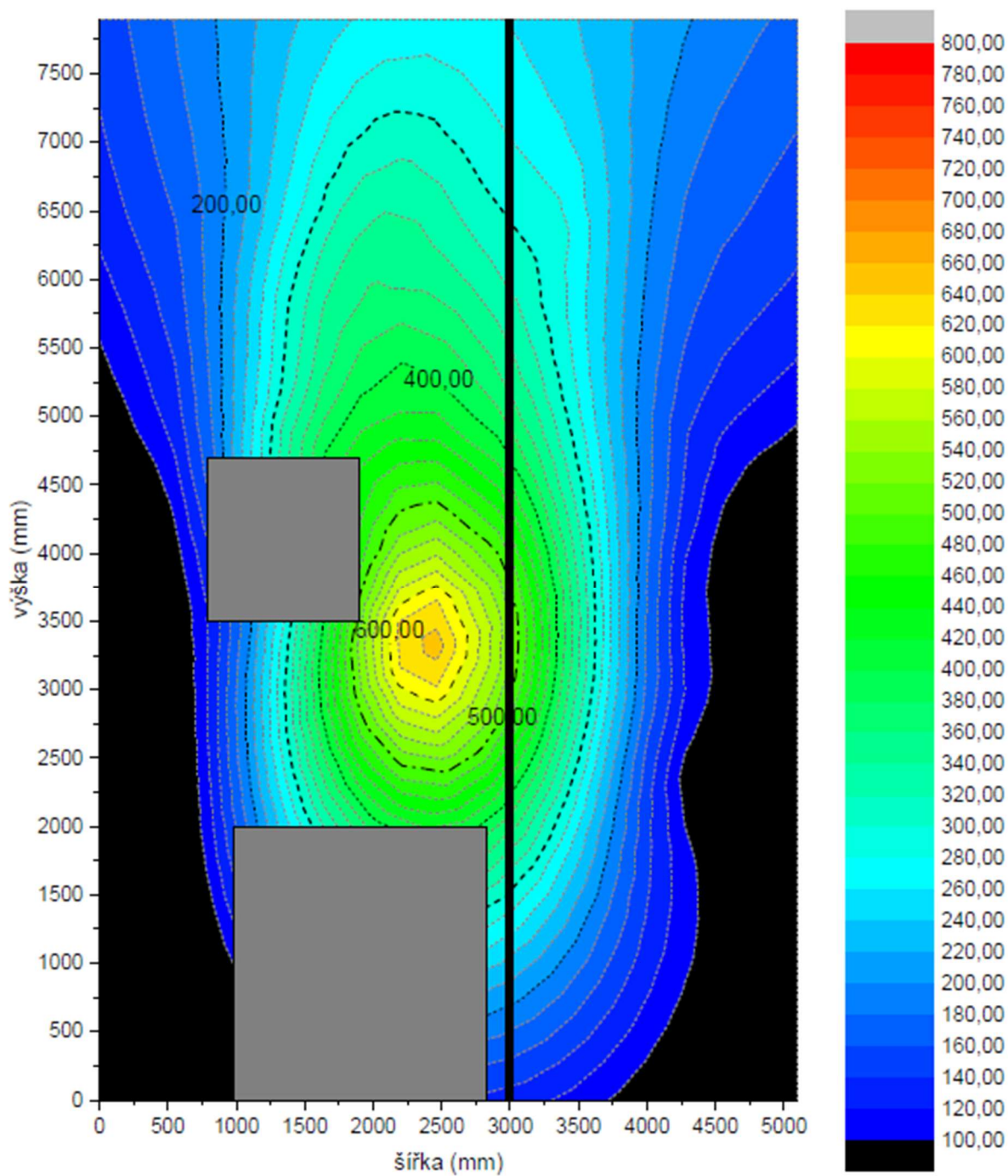


*Obr. 112 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 6–8 minuty pro zkoušku s bariérou*



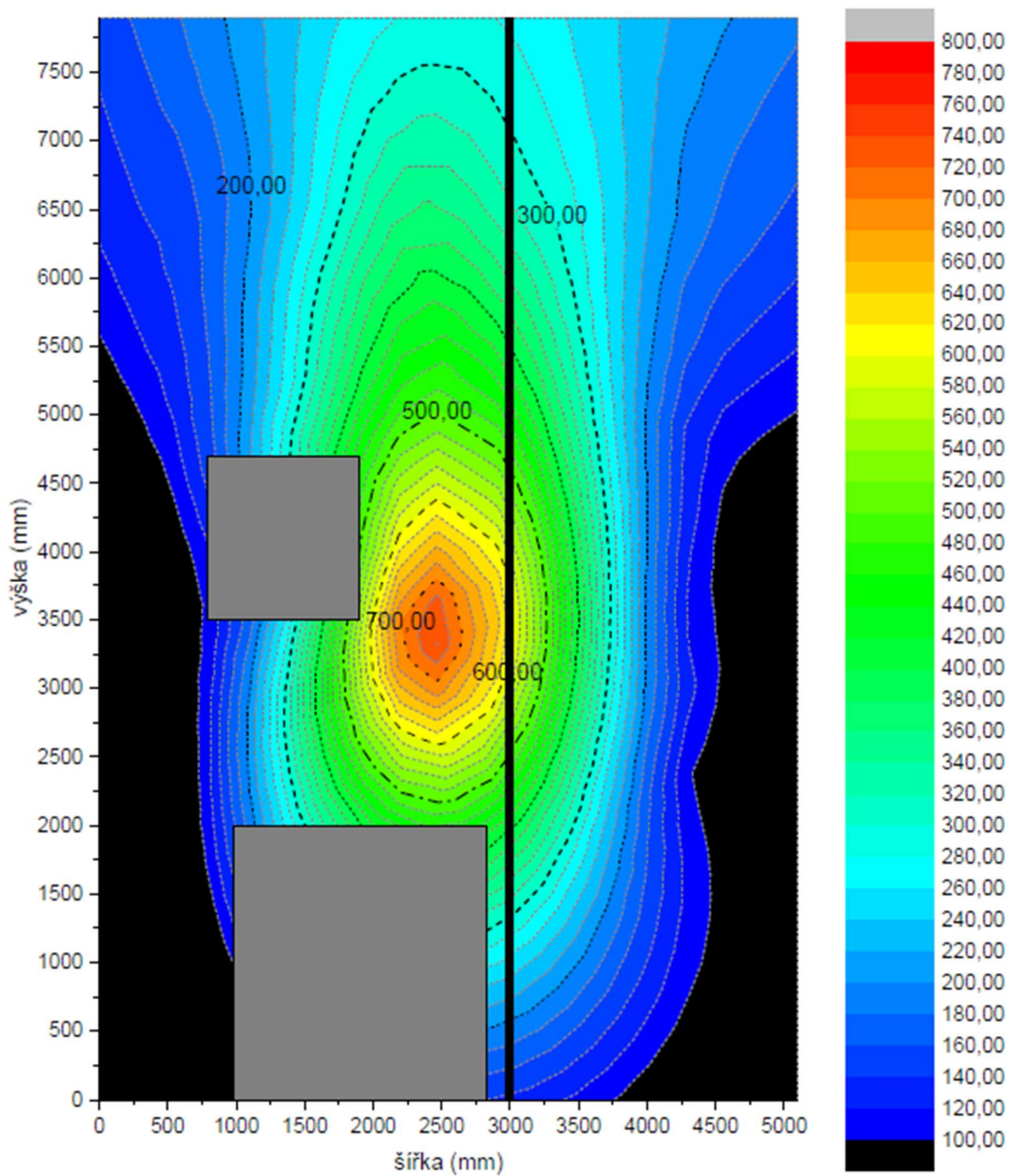


*Obr. 113 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 8–10 minuty pro zkoušku s bariérou*

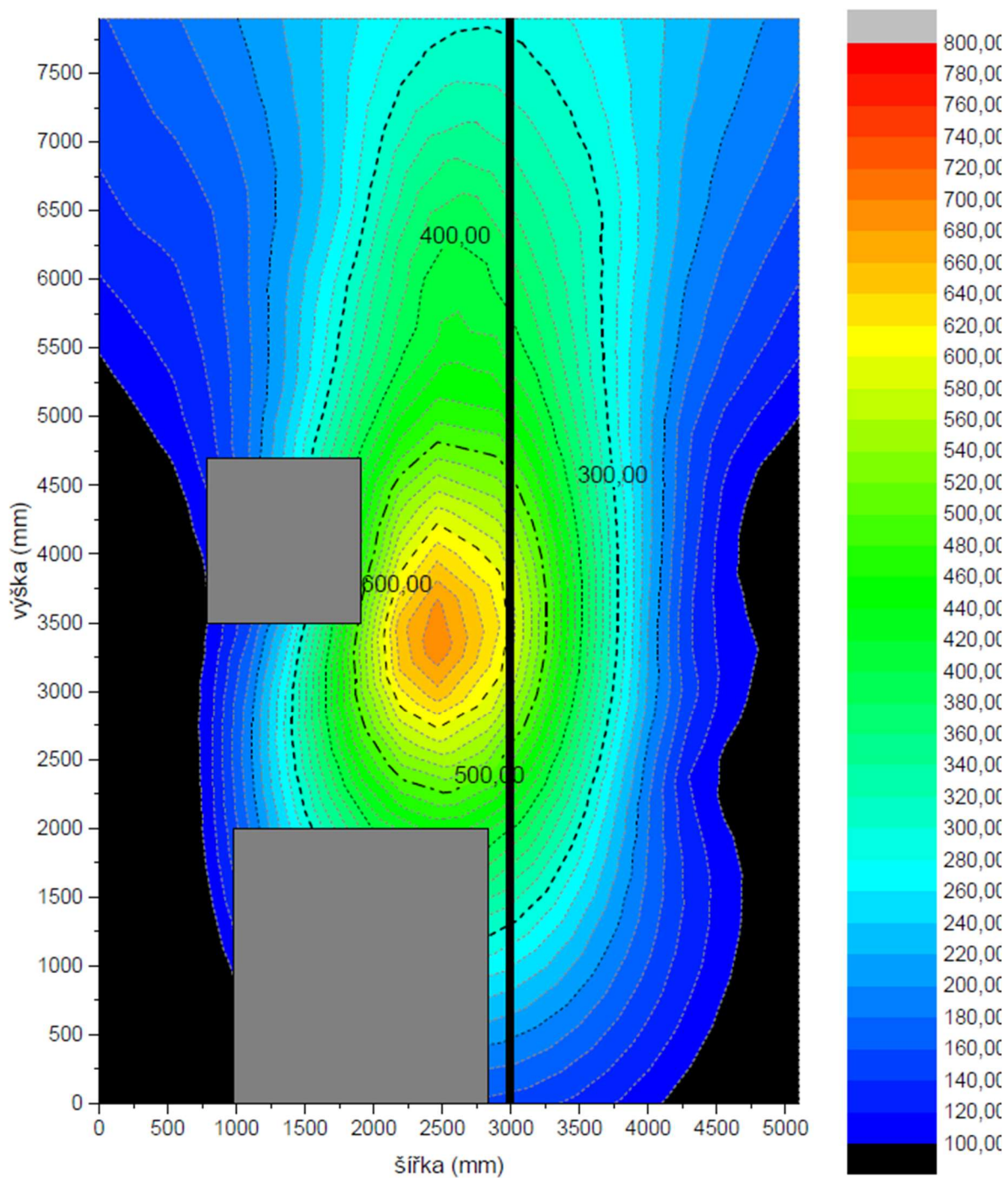


*Obr. 114 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 10–12 minuty pro zkoušku s bariérou*

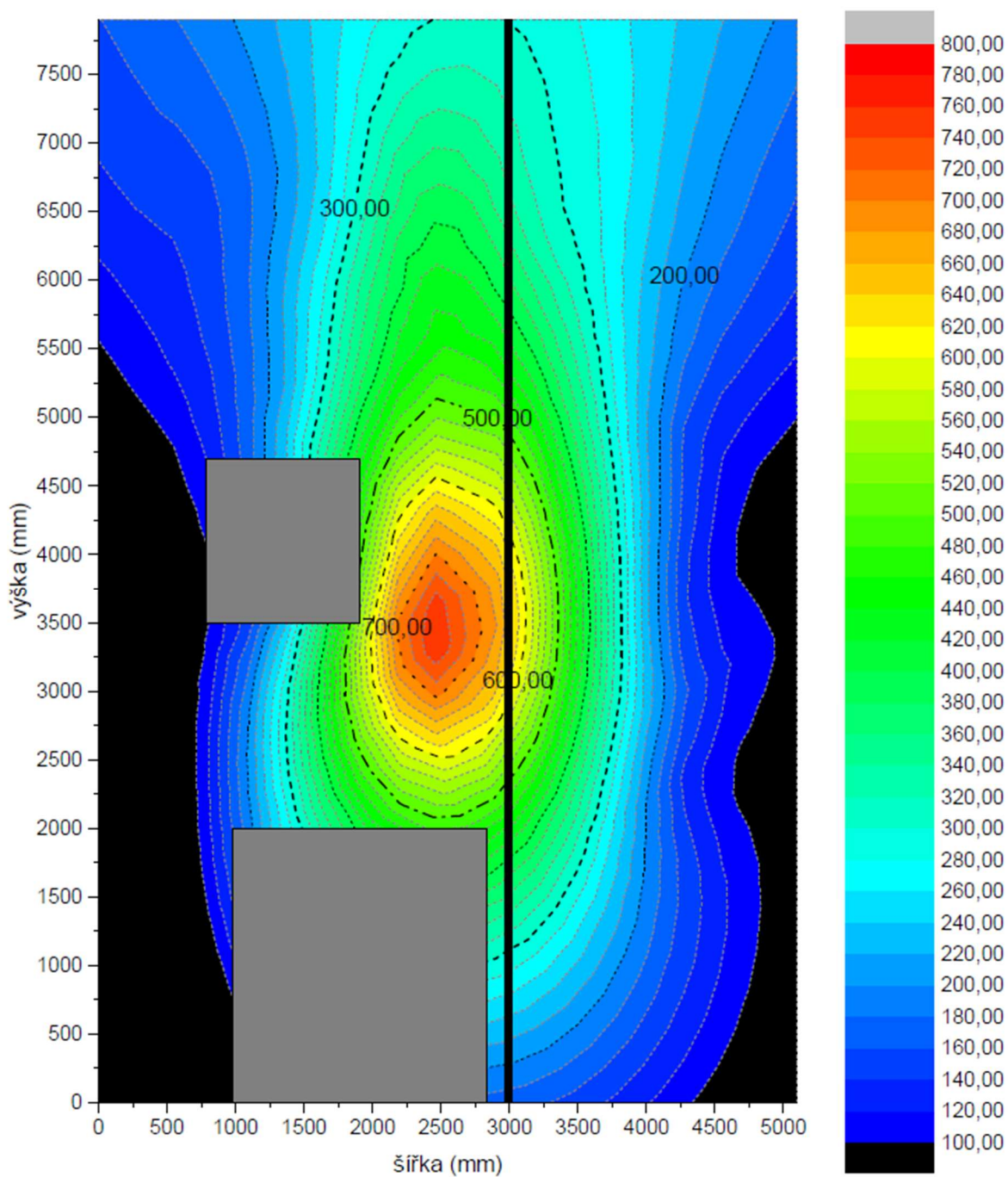




*Obr. 115 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 12–14 minuty pro zkoušku s bariérou*

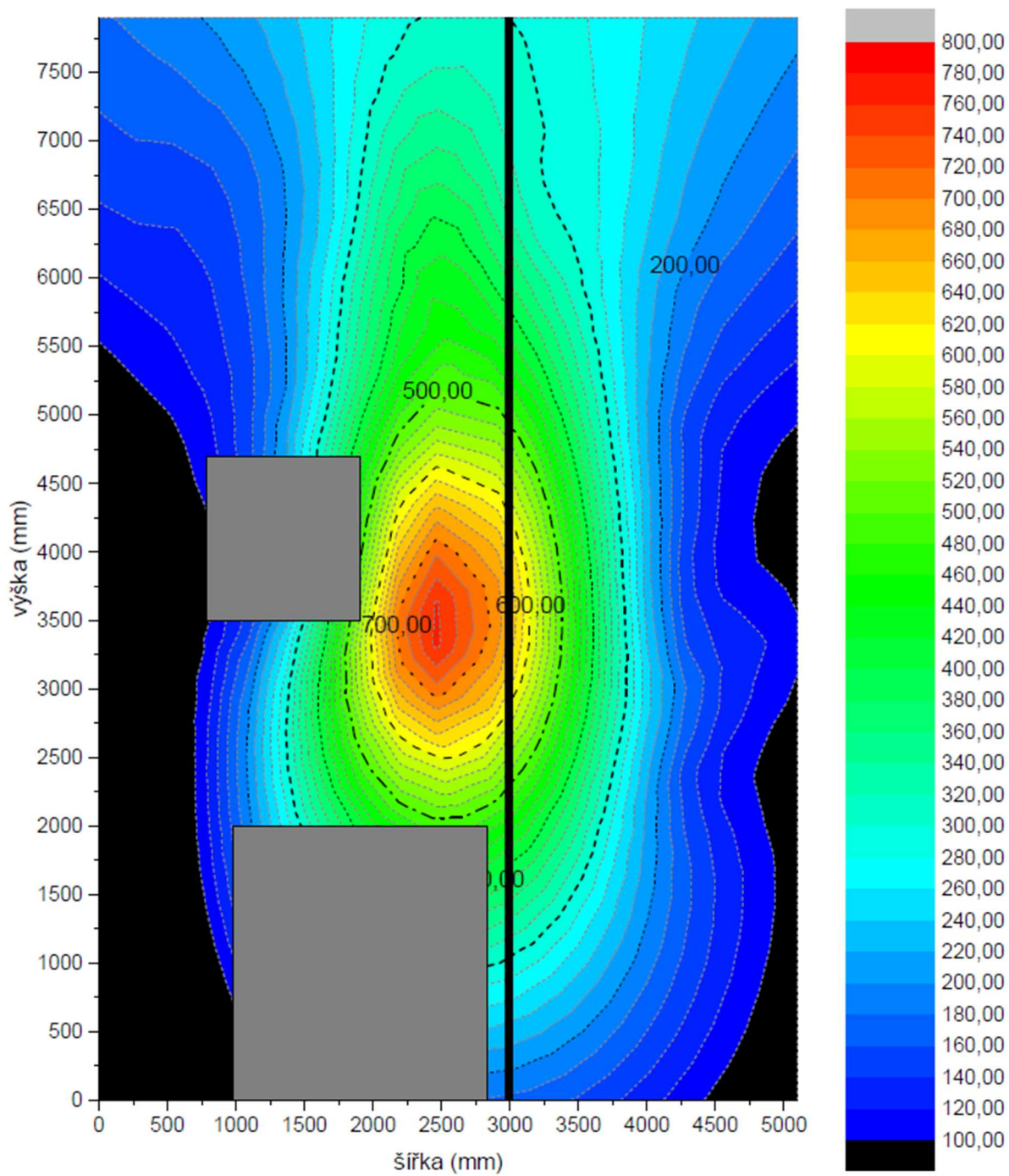


**Obr. 116** – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 14–16 minuty pro zkoušku s bariérou

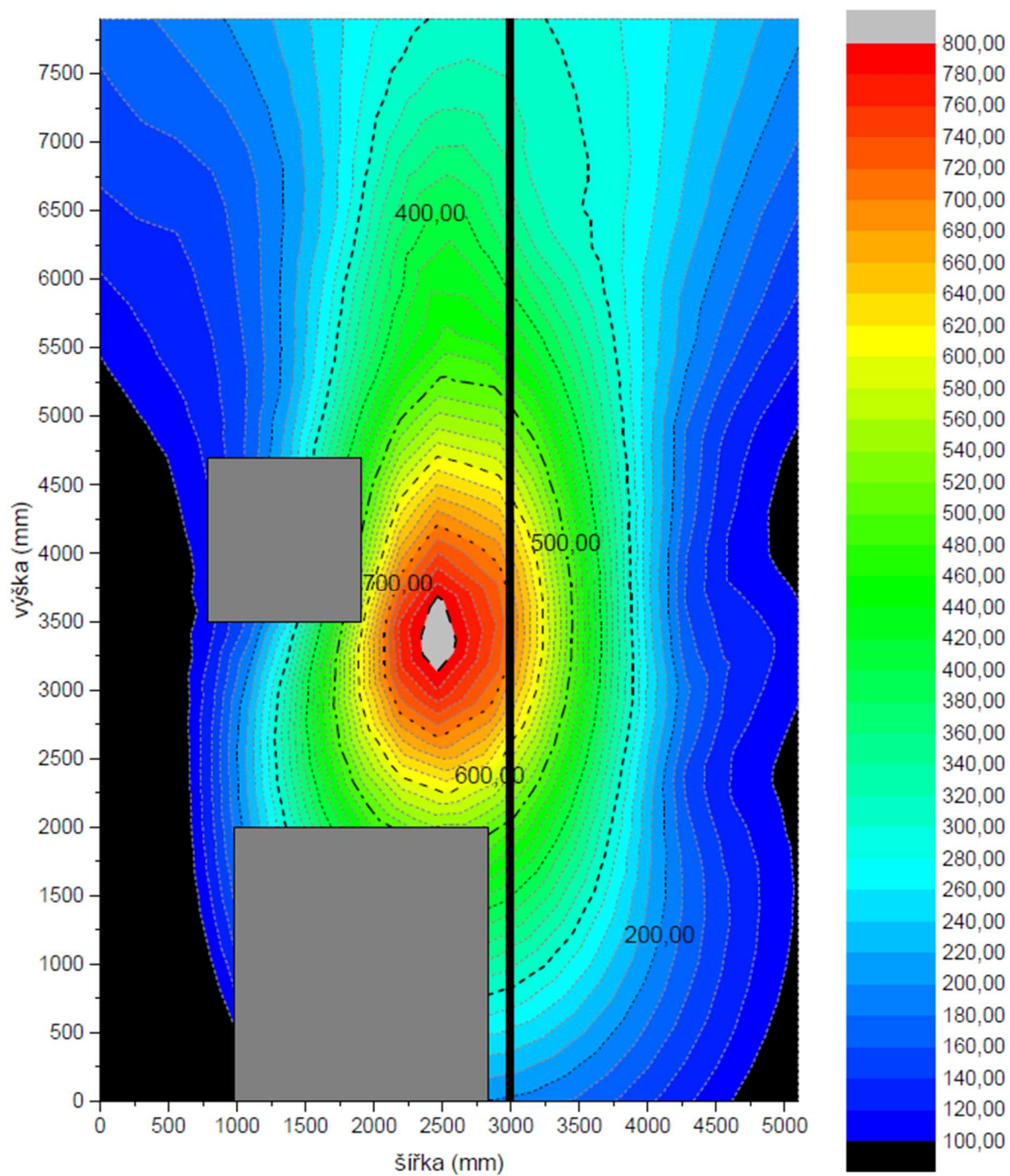


*Obr. 117 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 16–18 minuty pro zkoušku s bariérou*



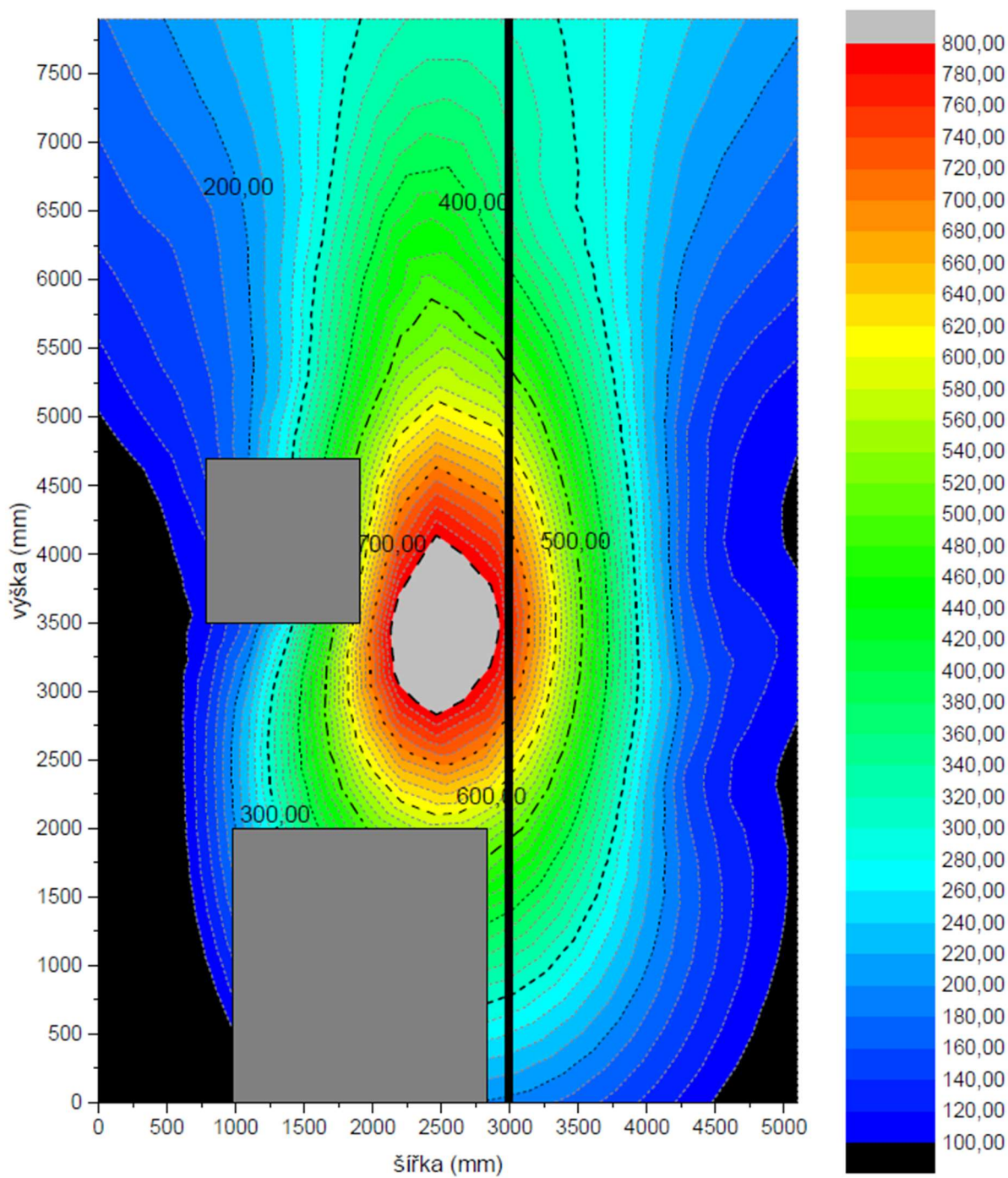


**Obr. 118** – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 18–20 minuty pro zkoušku s bariérou

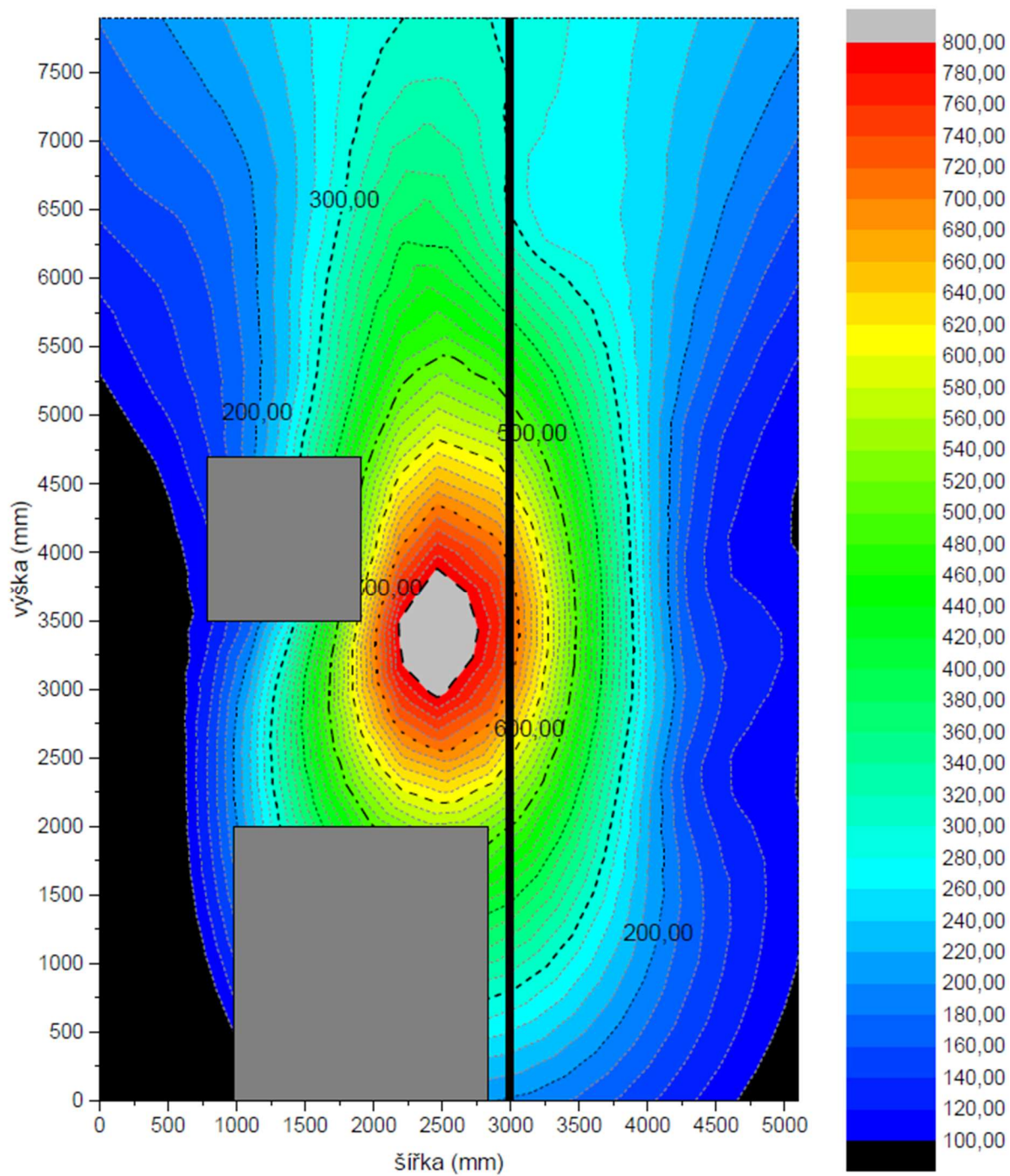


*Obr. 119 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 20–22 minuty pro zkoušku s bariérou*

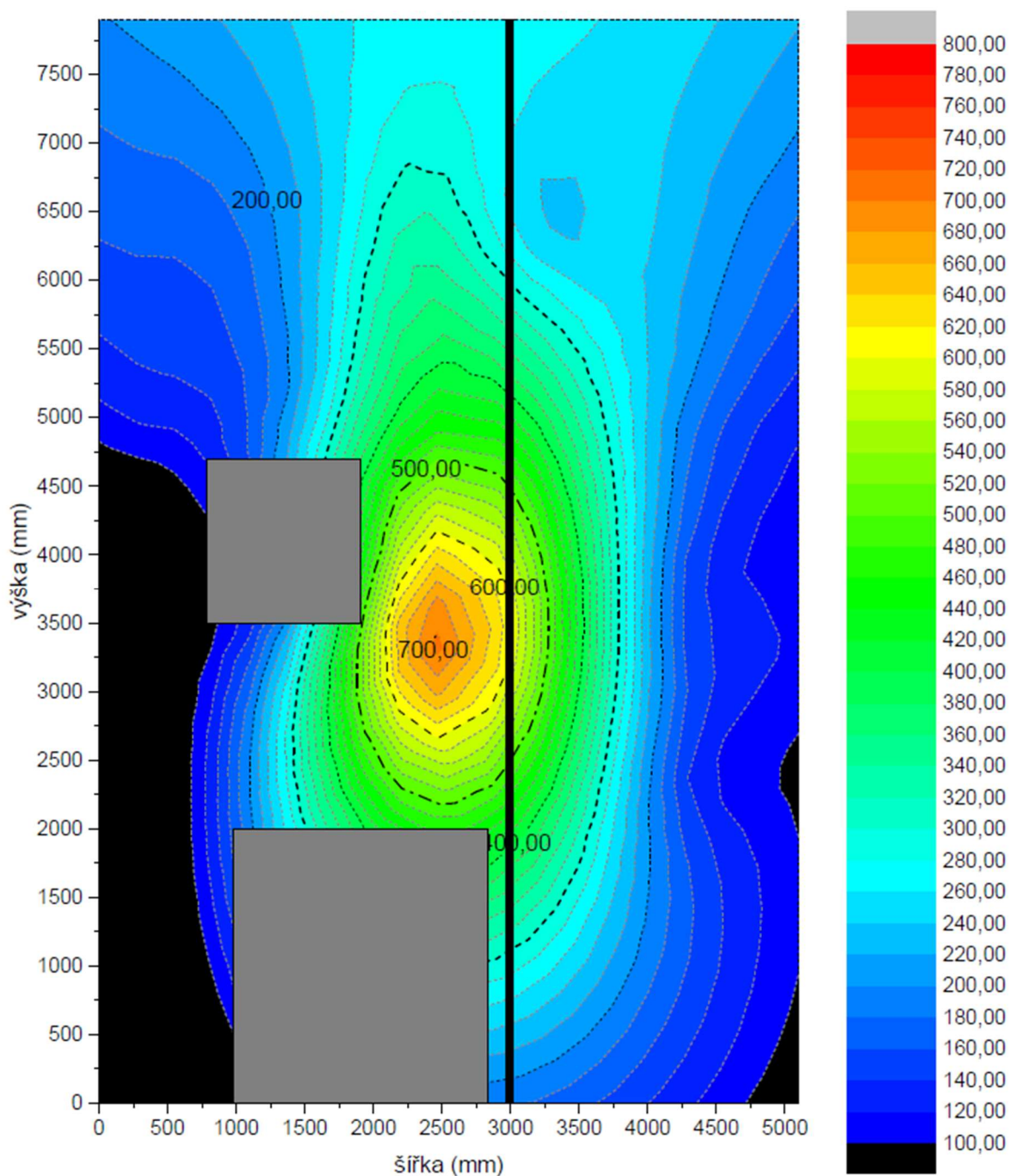




**Obr. 120** – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 22–24 minuty pro zkoušku s bariérou

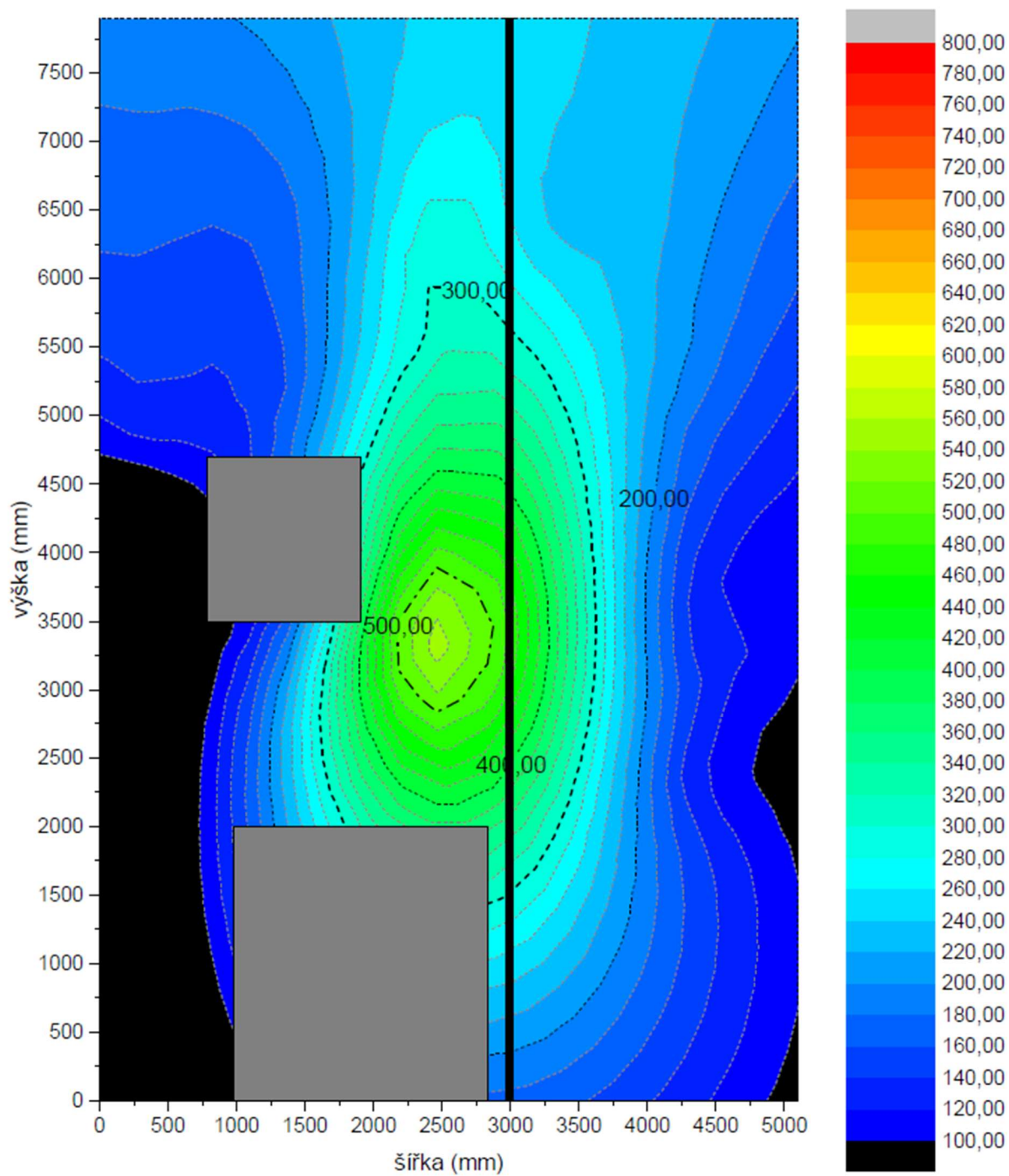


*Obr. 121 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 24–26 minuty pro zkoušku s bariérou*

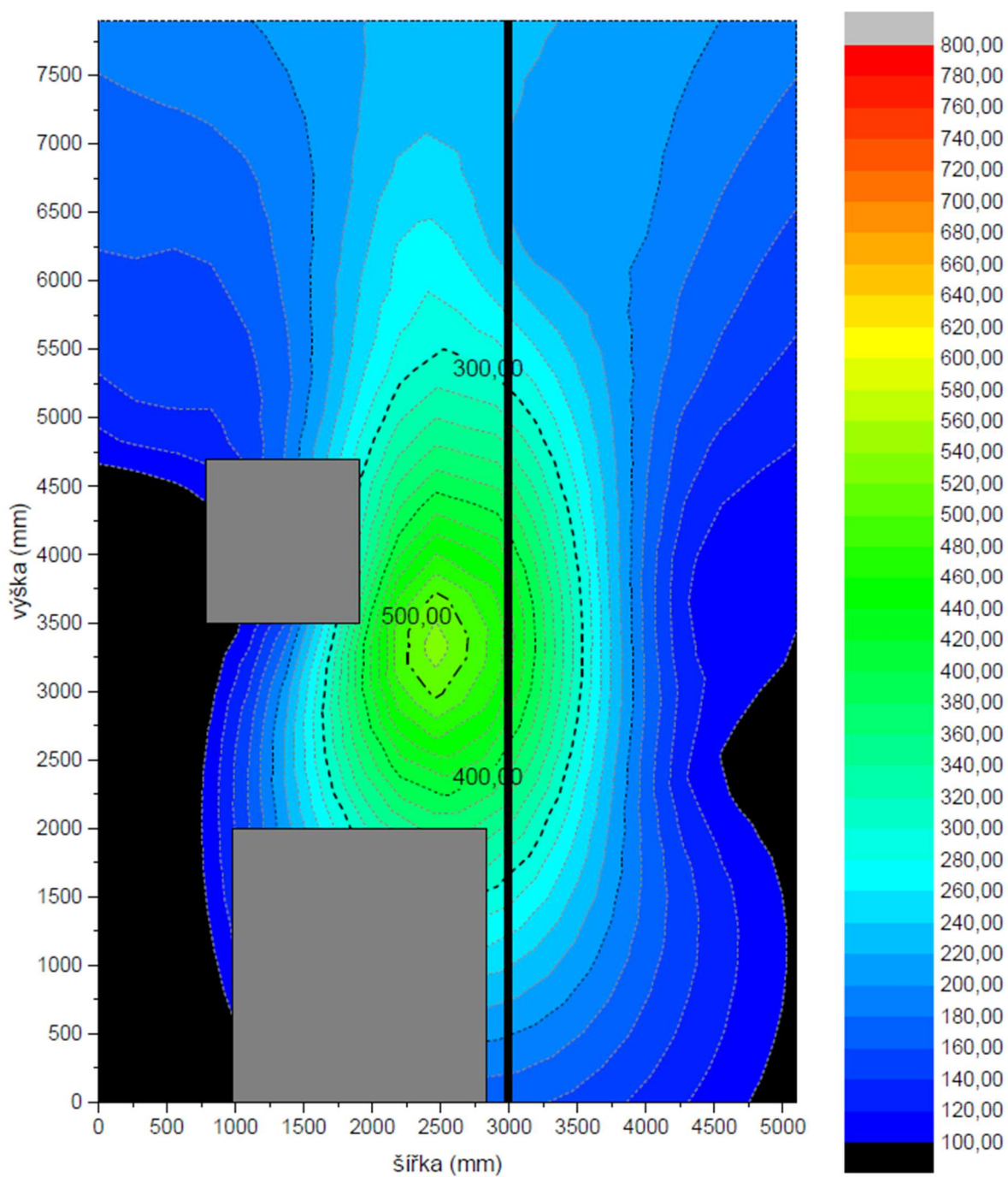


**Obr. 122** – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 26–28 minuty pro zkoušku s bariérou



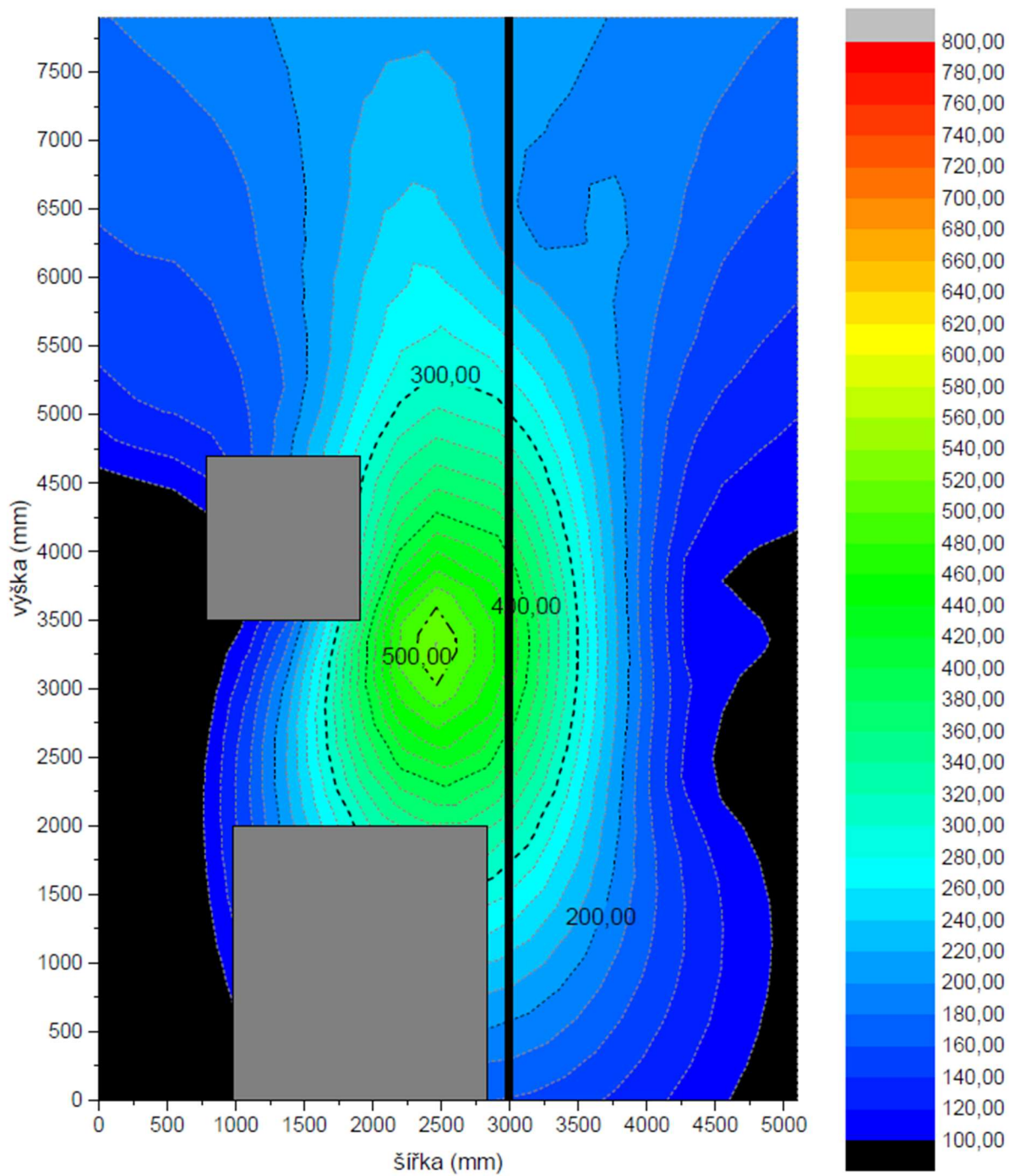


*Obr. 123 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 28–30 minuty pro zkoušku s bariérou*

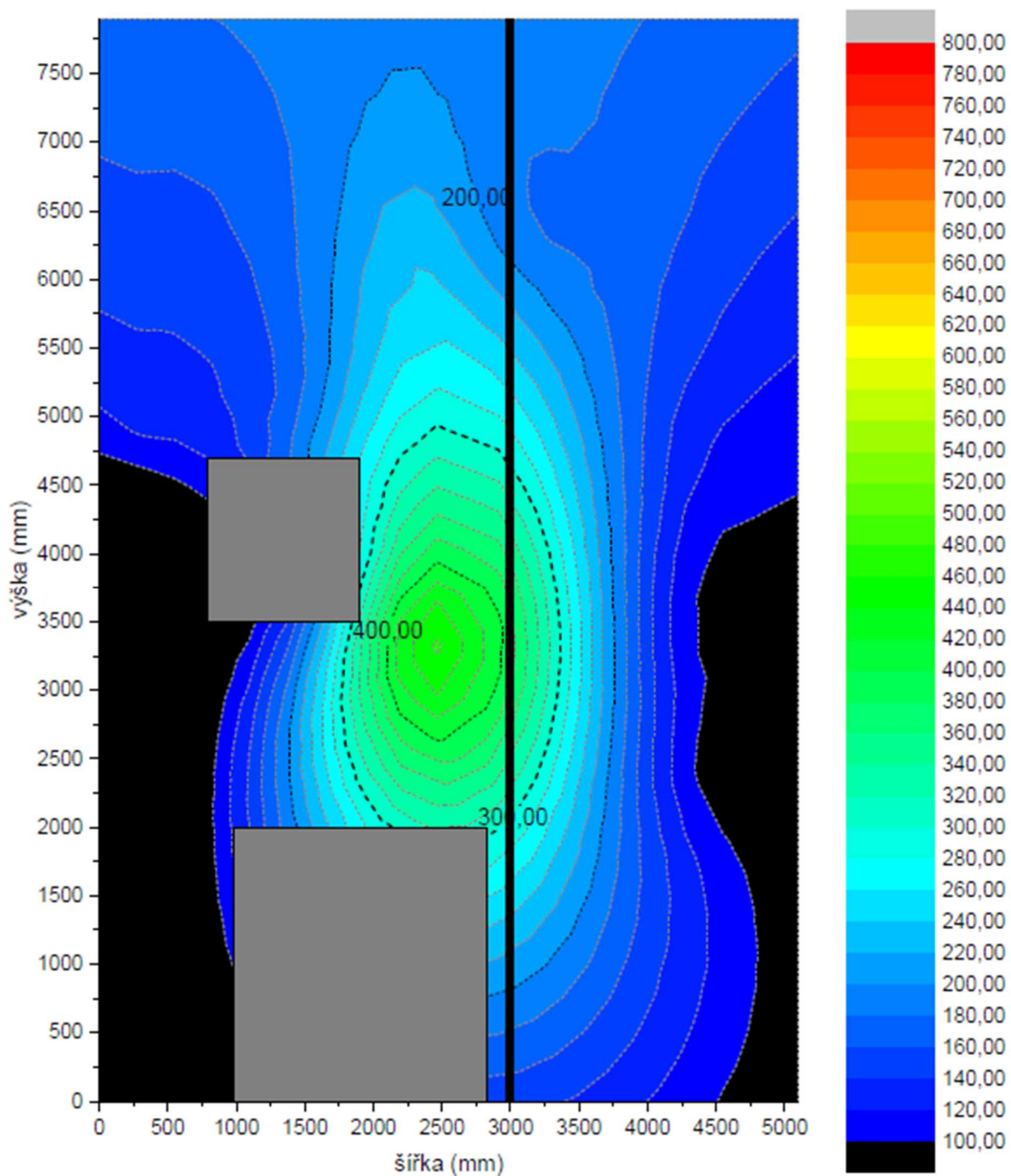


**Obr. 124** – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 30–32 minuty pro zkoušku s bariérou

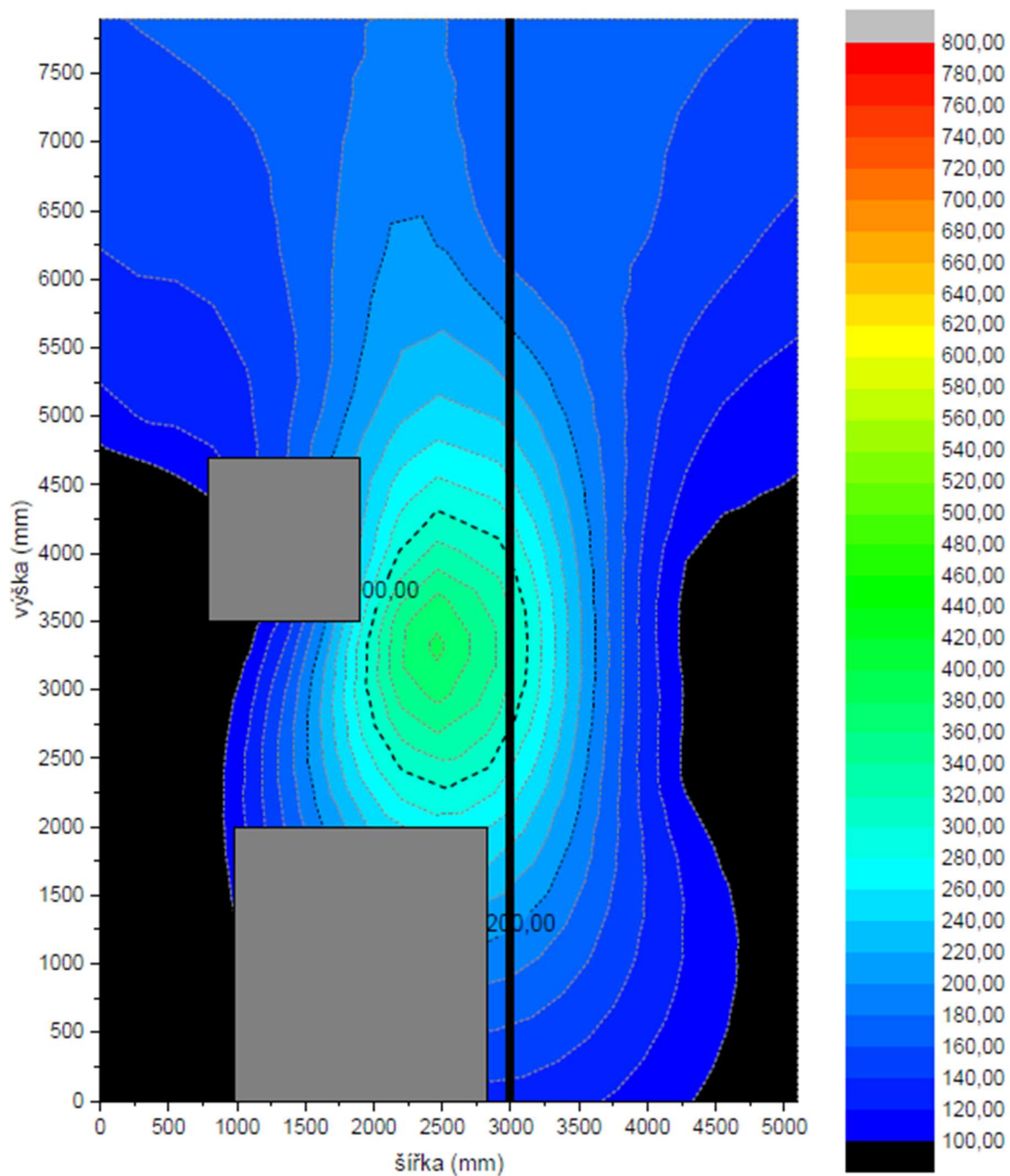




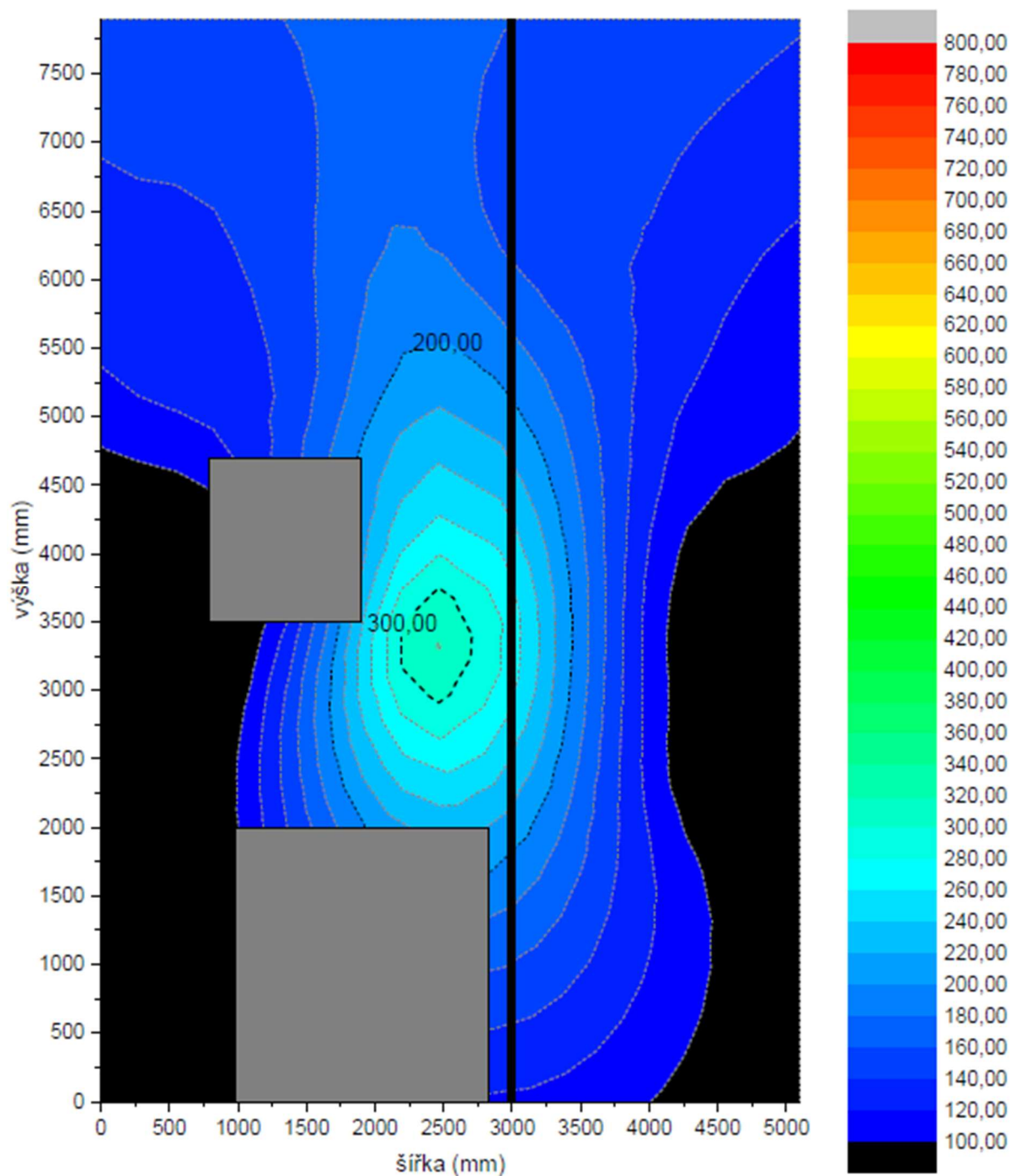
*Obr. 125 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 32–34 minuty pro zkoušku s bariérou*



*Obr. 126 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 34–36 minuty pro zkoušku s bariérou*

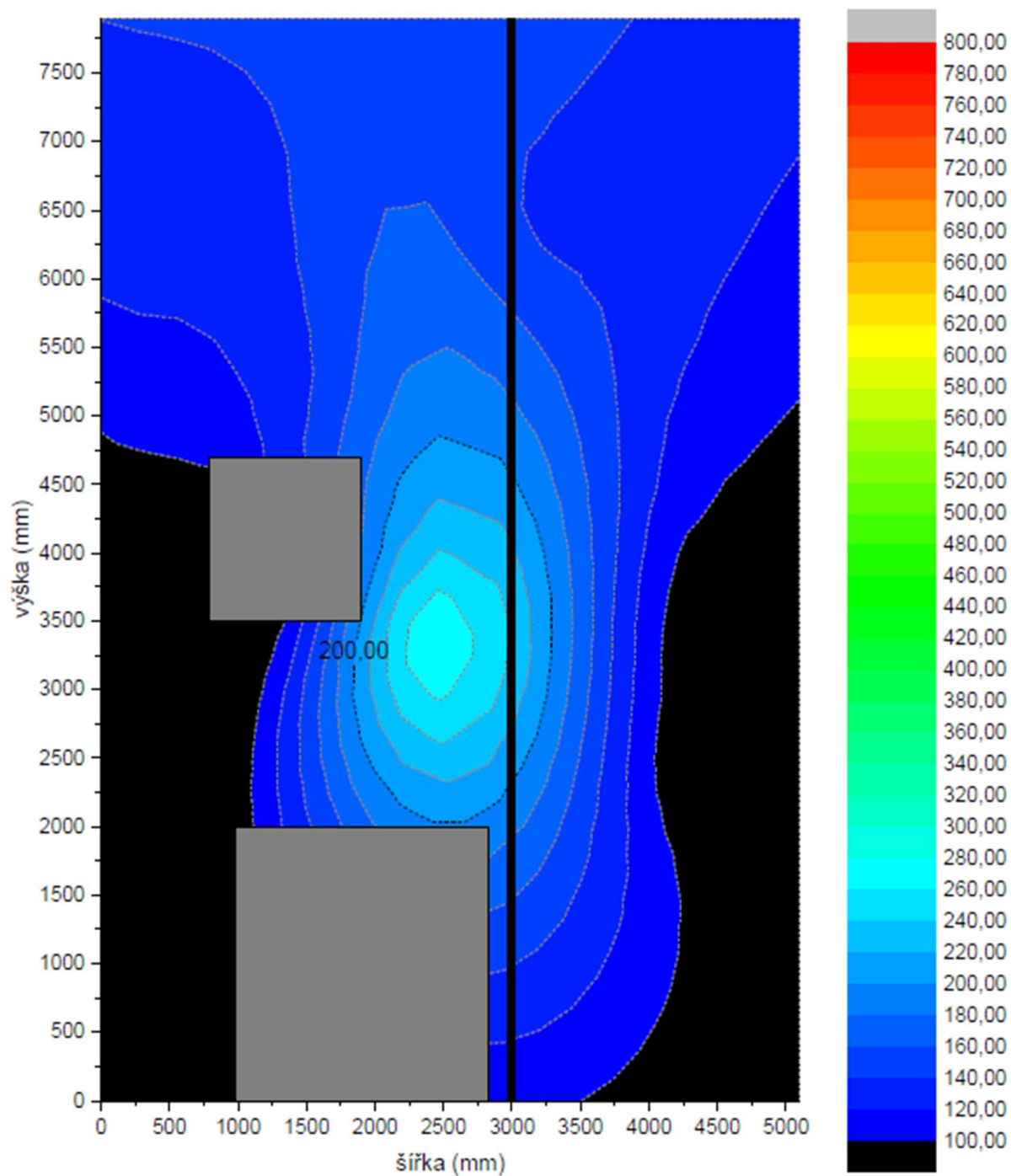


*Obr. 127 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 36–38 minuty pro zkoušku s bariérou*



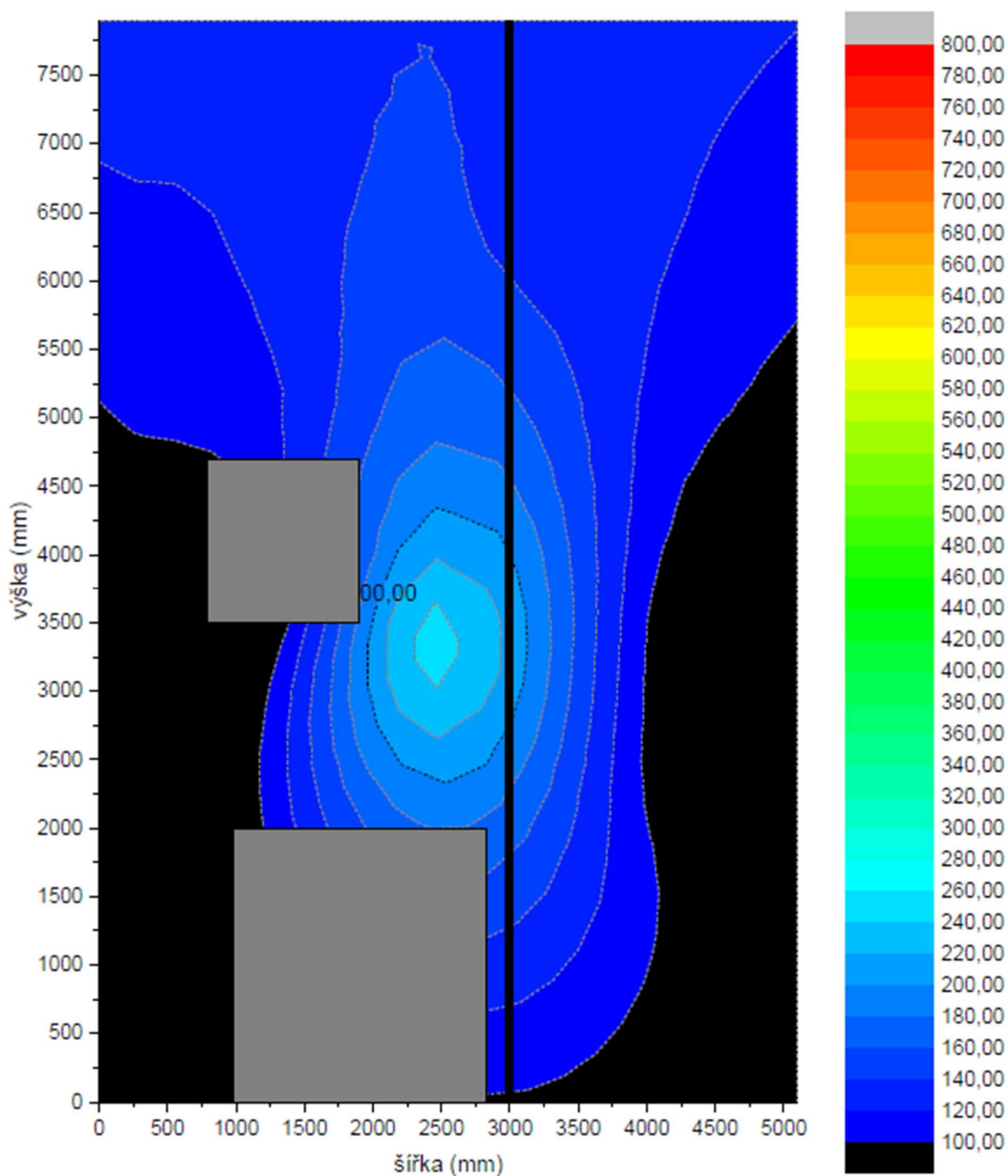
**Obr. 128** – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 38–40 minuty pro zkoušku s bariérou



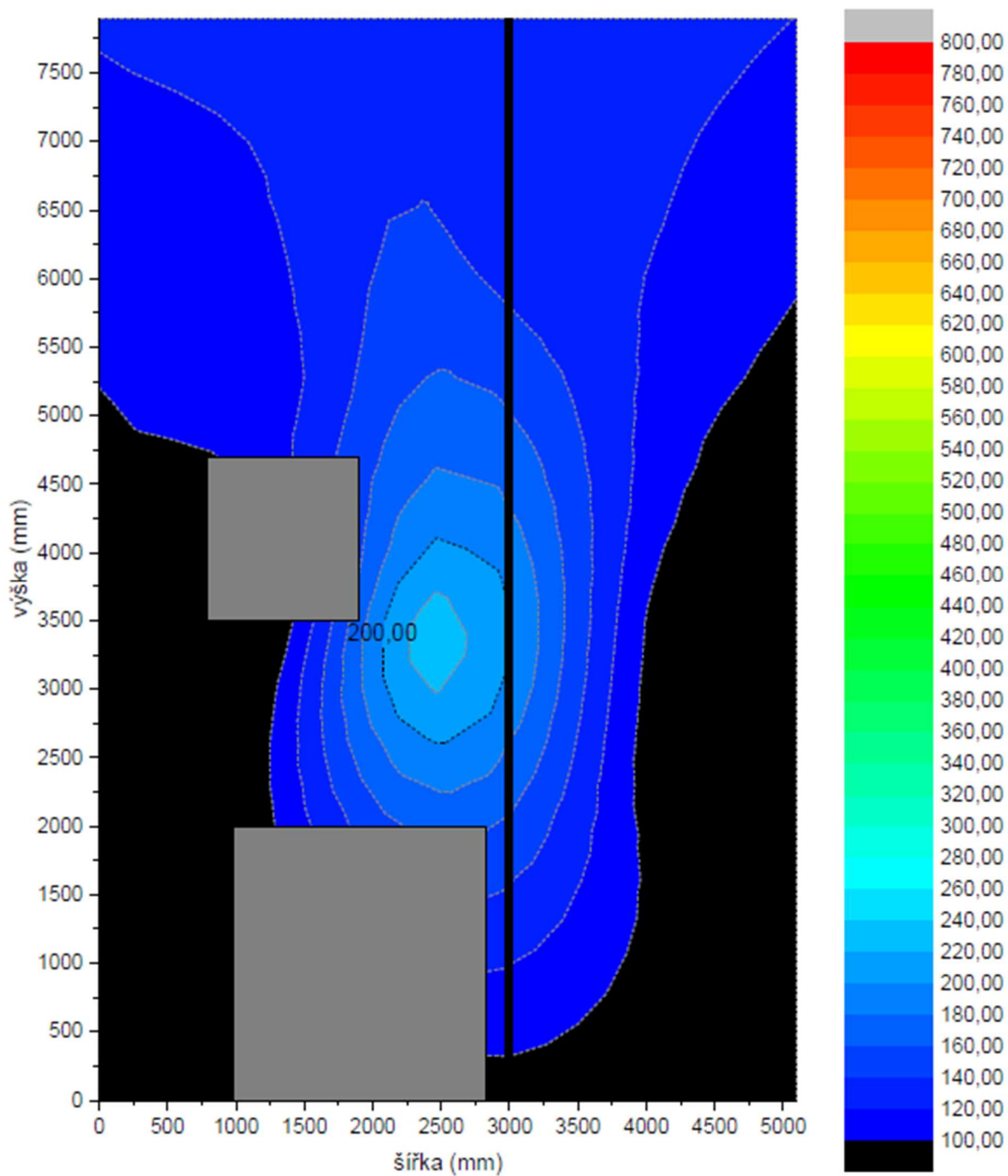


*Obr. 129 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 40–42 minuty pro zkoušku s bariérou*

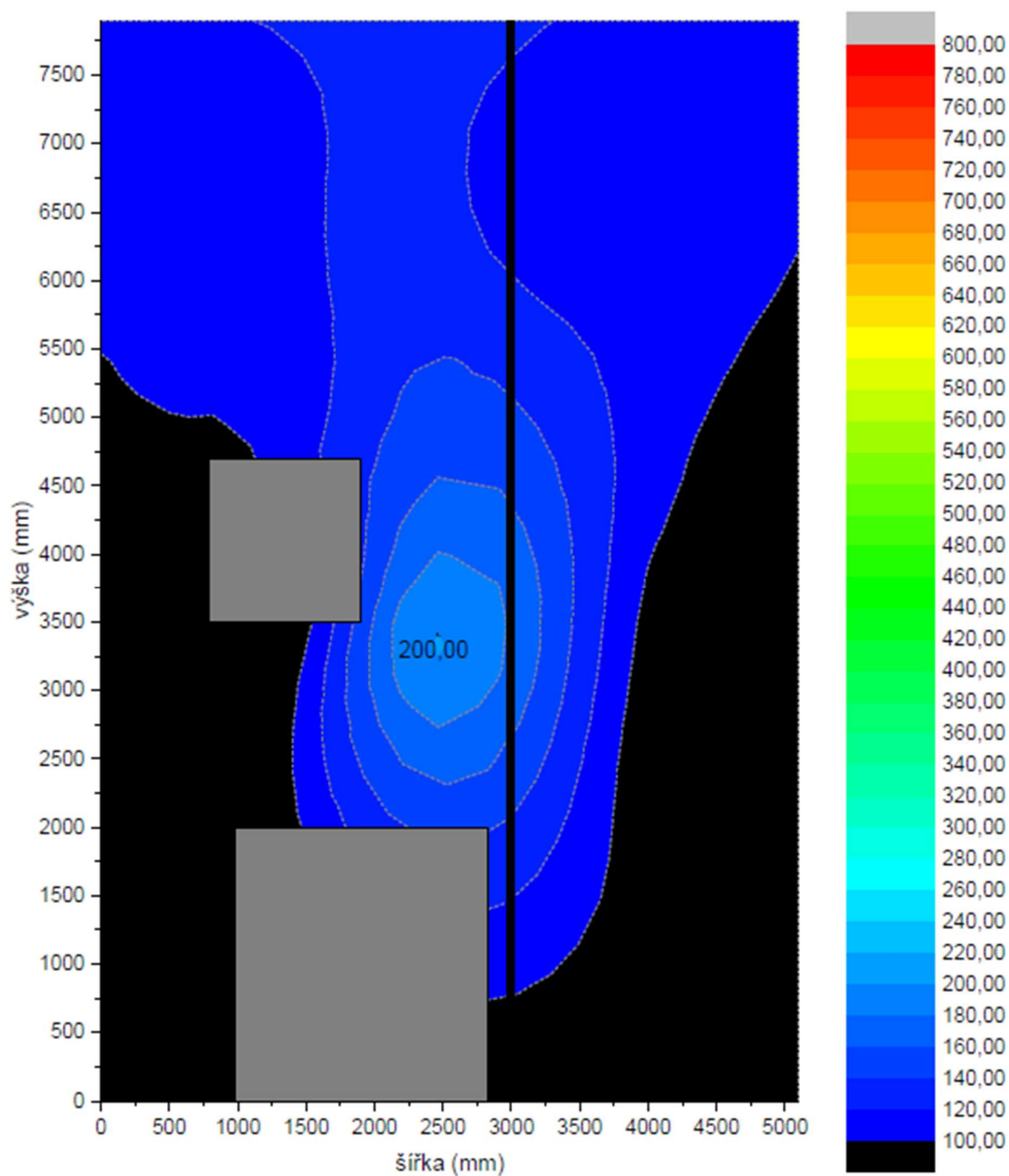




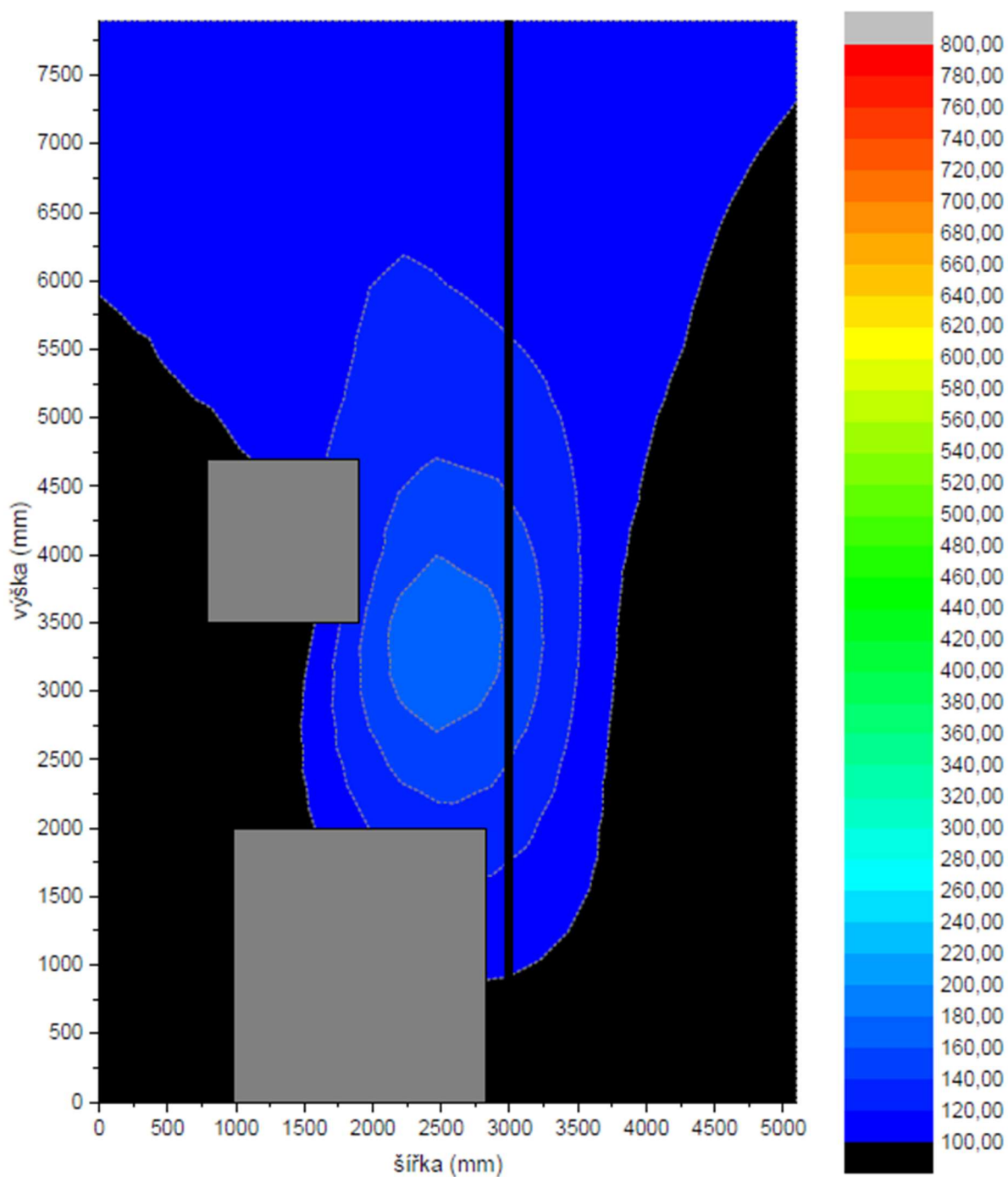
*Obr. 130 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 42–44 minuty pro zkoušku s bariérou*



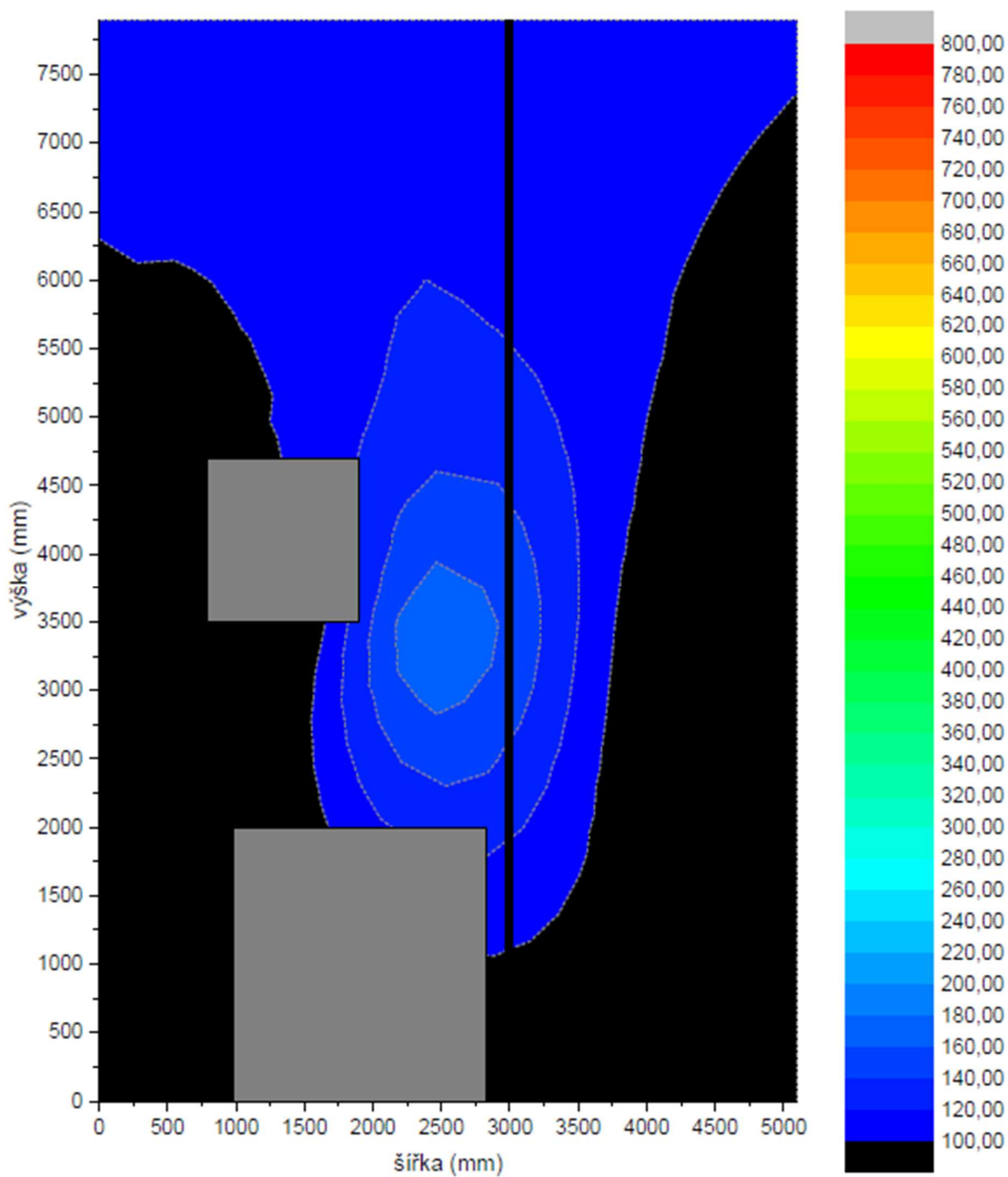
*Obr. 131 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 44–46 minuty pro zkoušku s bariérou*



**Obr. 132** – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 46–48 minuty pro zkoušku s bariérou

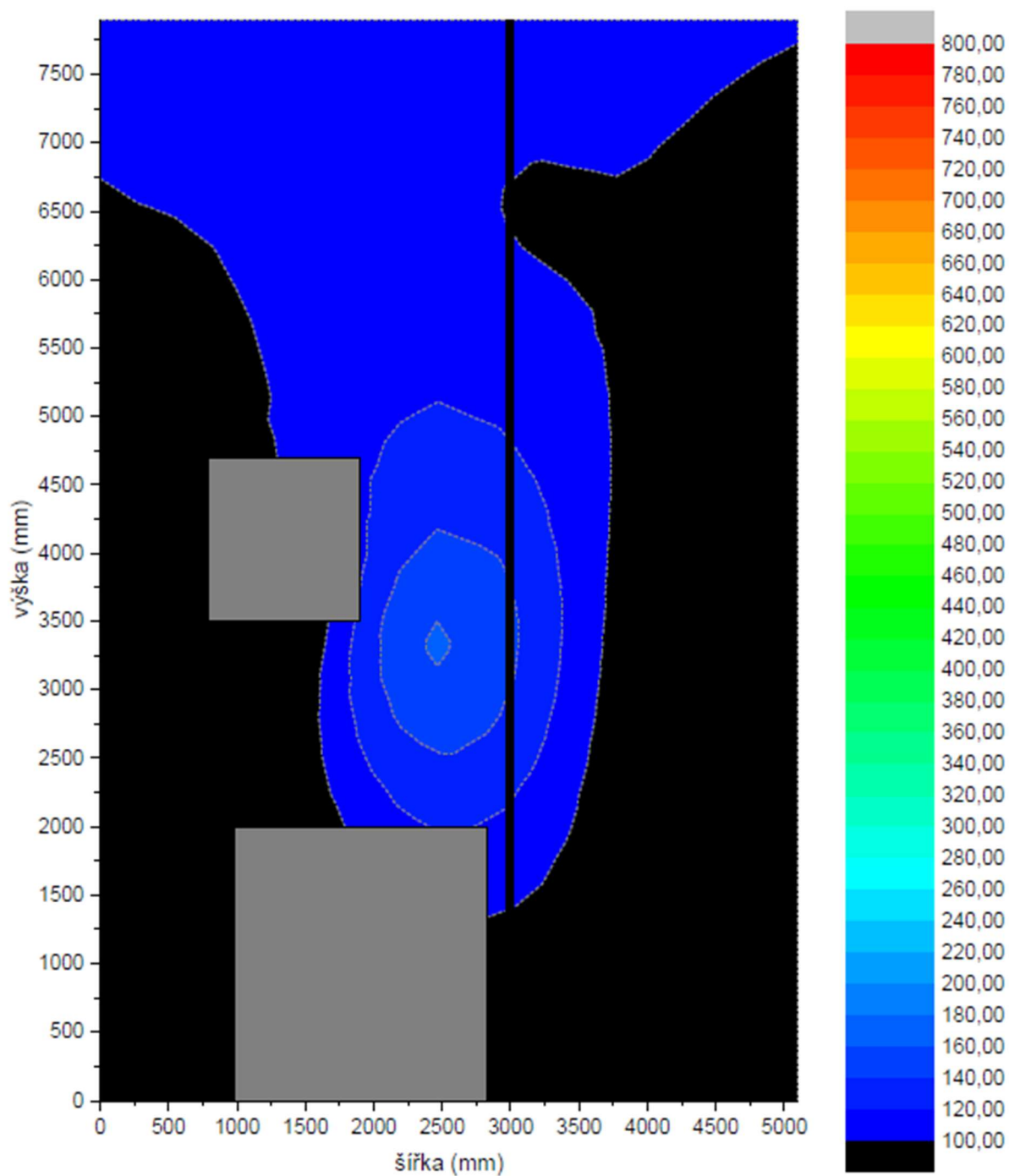


*Obr. 133 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 48–50 minuty pro zkoušku s bariérou*

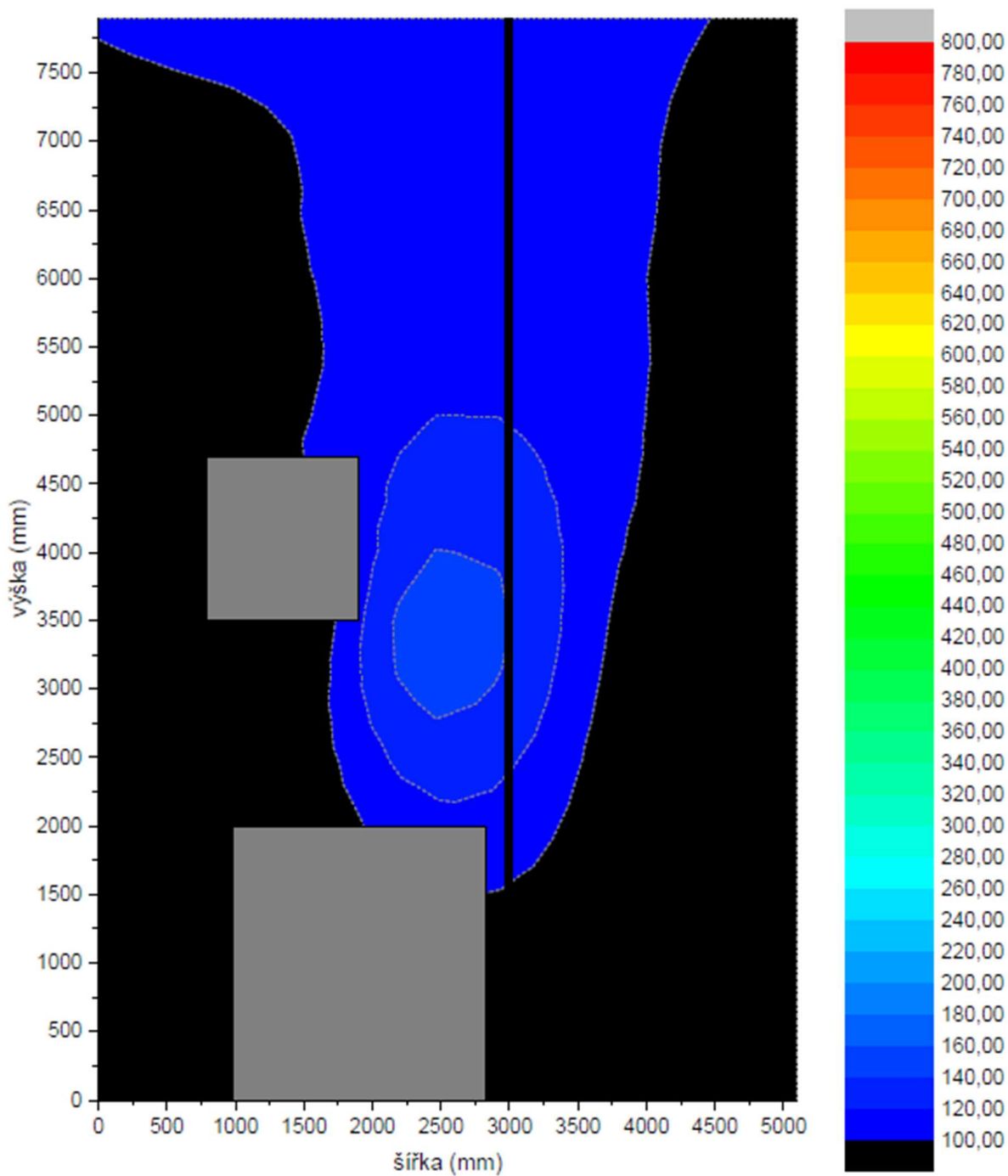


*Obr. 134 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 50–52 minuty pro zkoušku s bariérou*

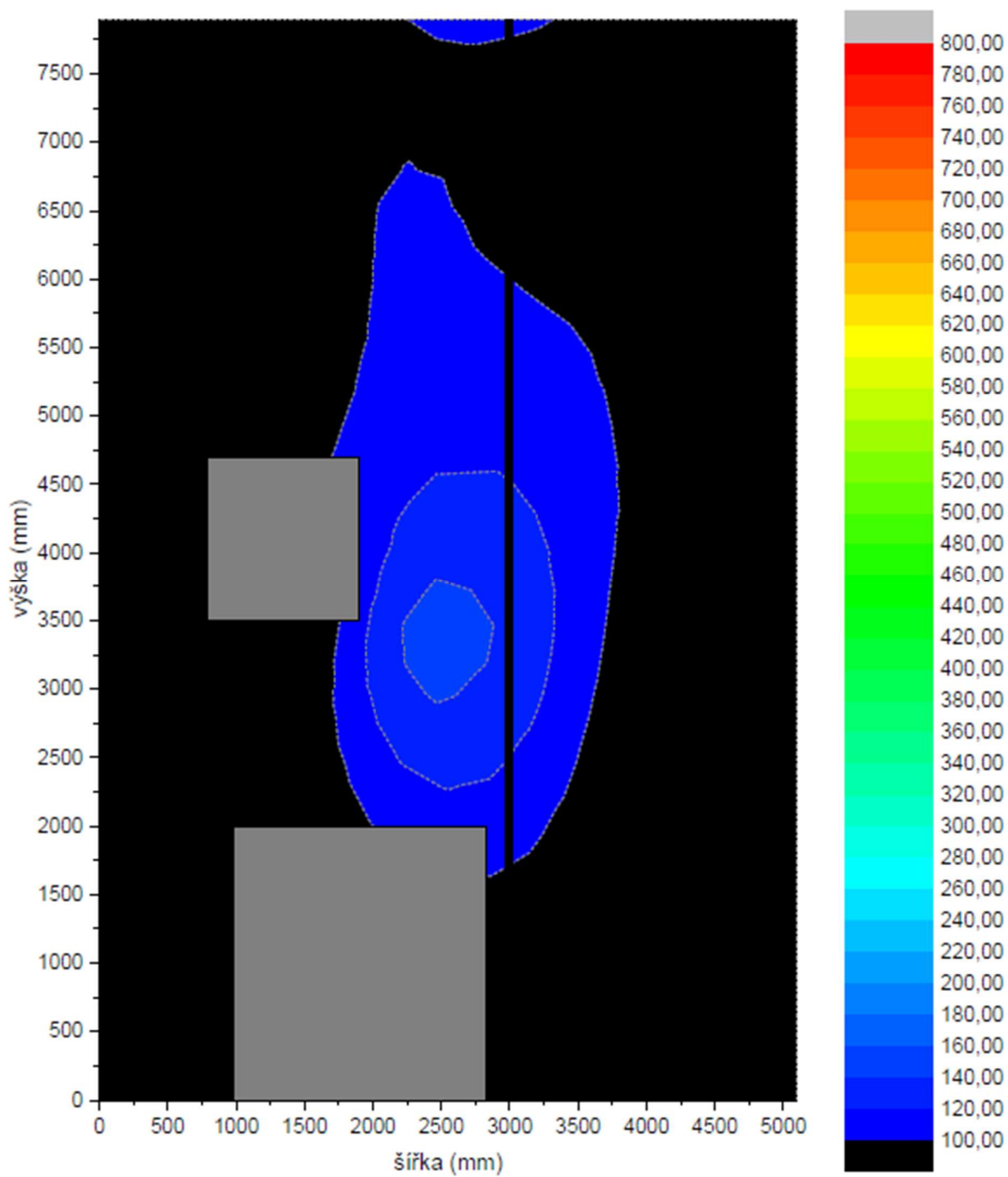




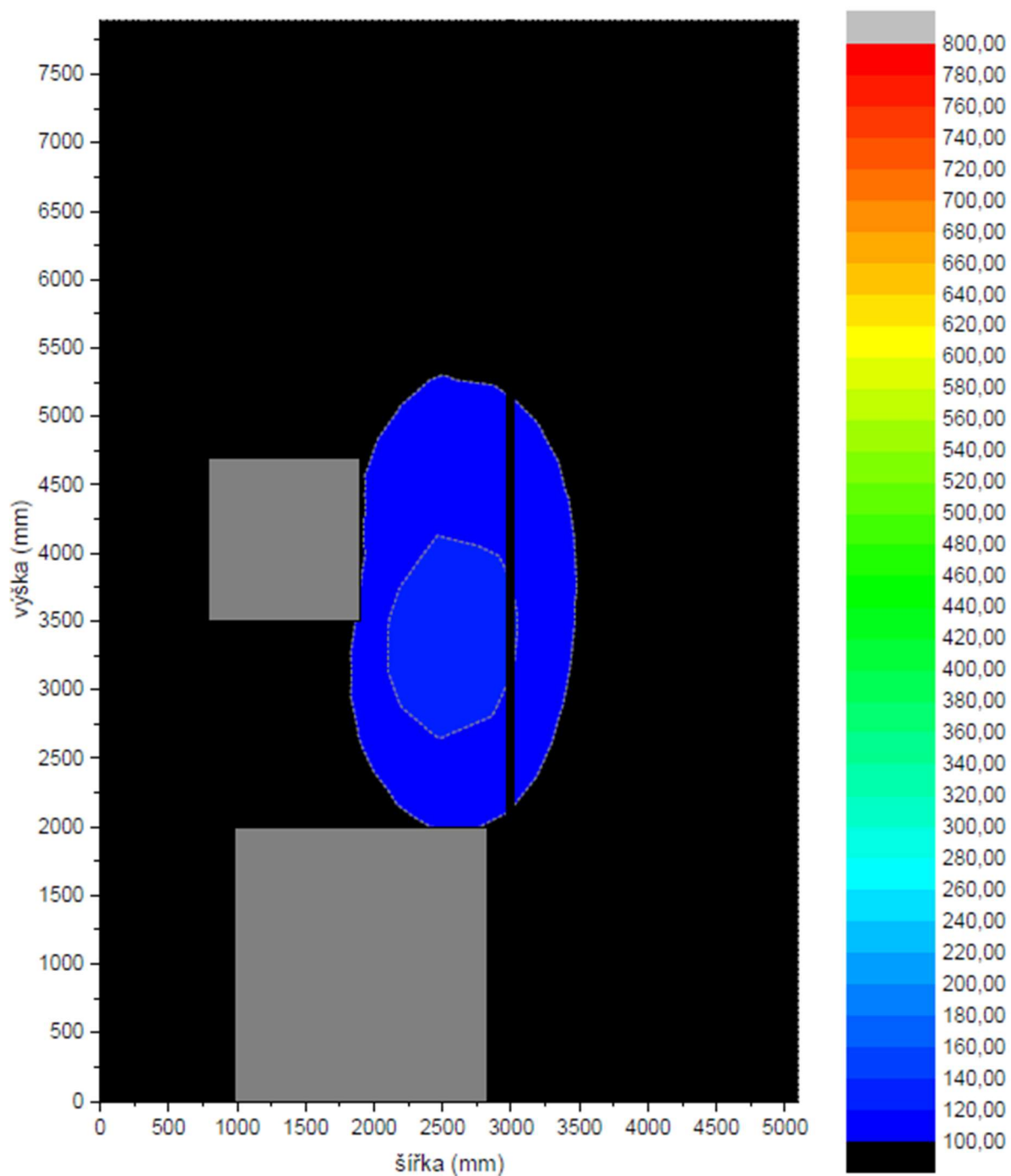
*Obr. 135 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 52–54 minuty pro zkoušku s bariérou*



*Obr. 136 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 54–56 minuty pro zkoušku s bariérou*

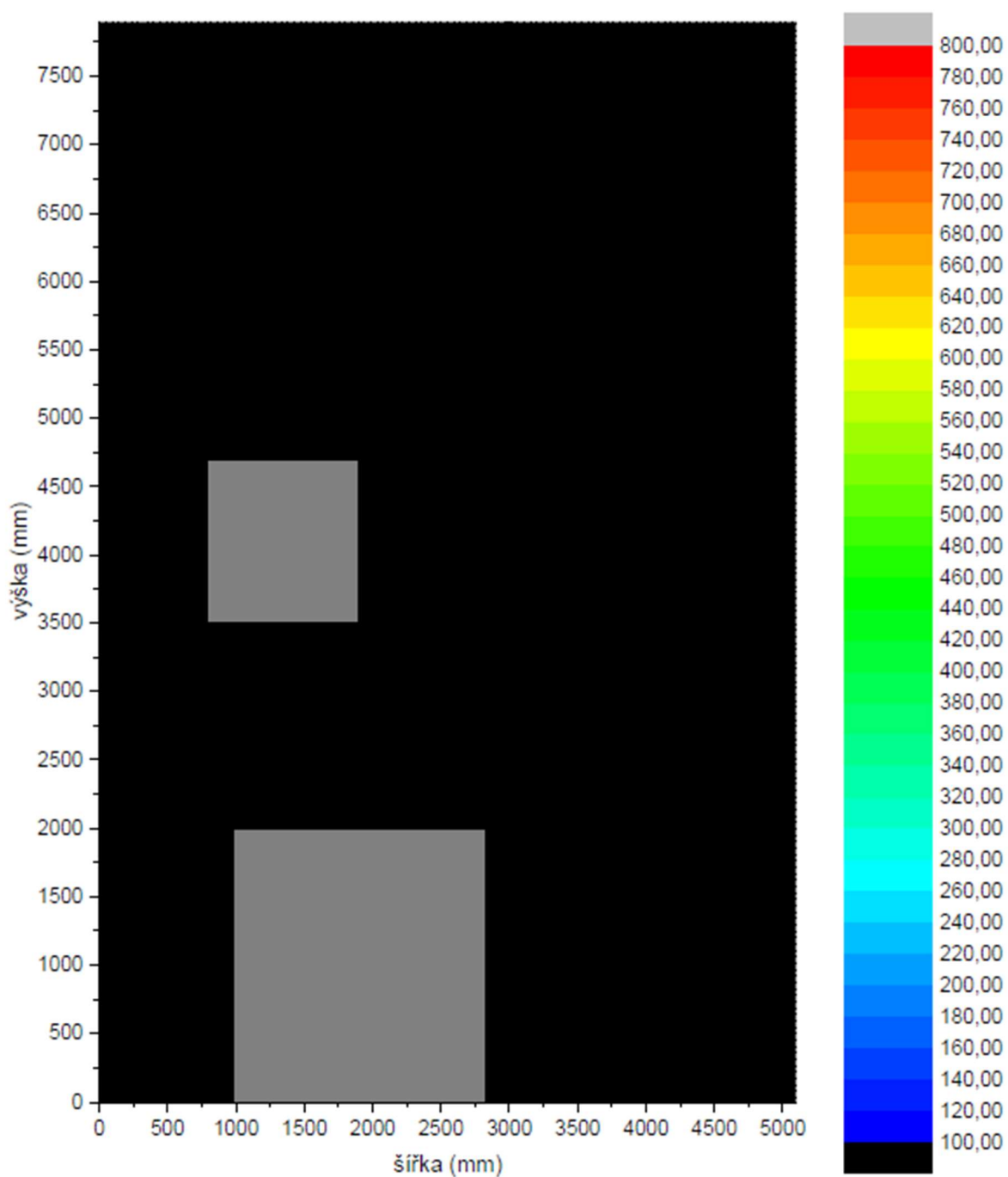


*Obr. 137 – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 56–58 minuty pro zkoušku s bariérou*



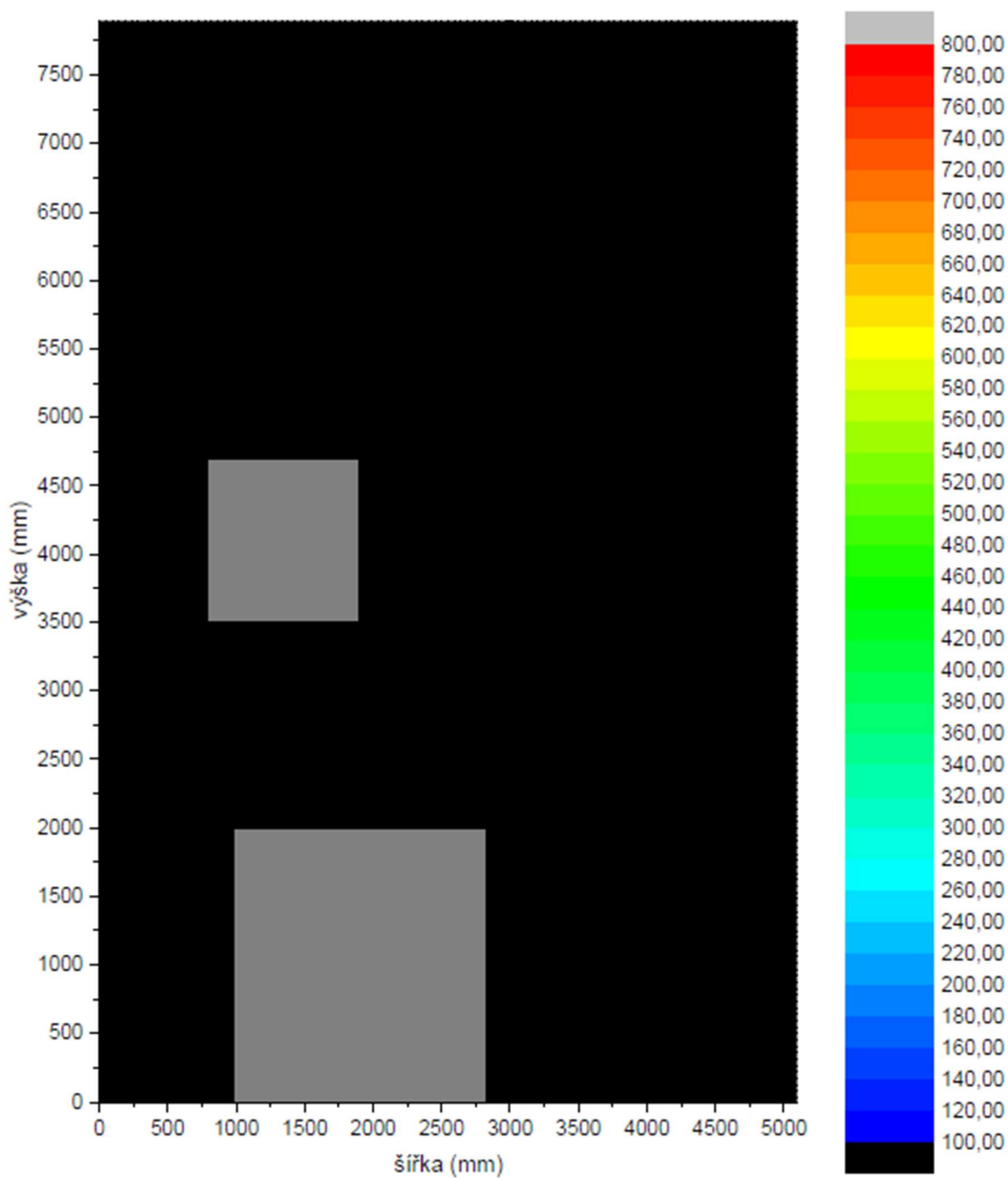
**Obr. 138** – Rozložení vnějších teplot v rozmezí 58–60 minuty pro zkoušku s bariérou

## Příloha 4 – Průměrné rozložení vnitřních teplot velkorozměrové zkoušky EPS

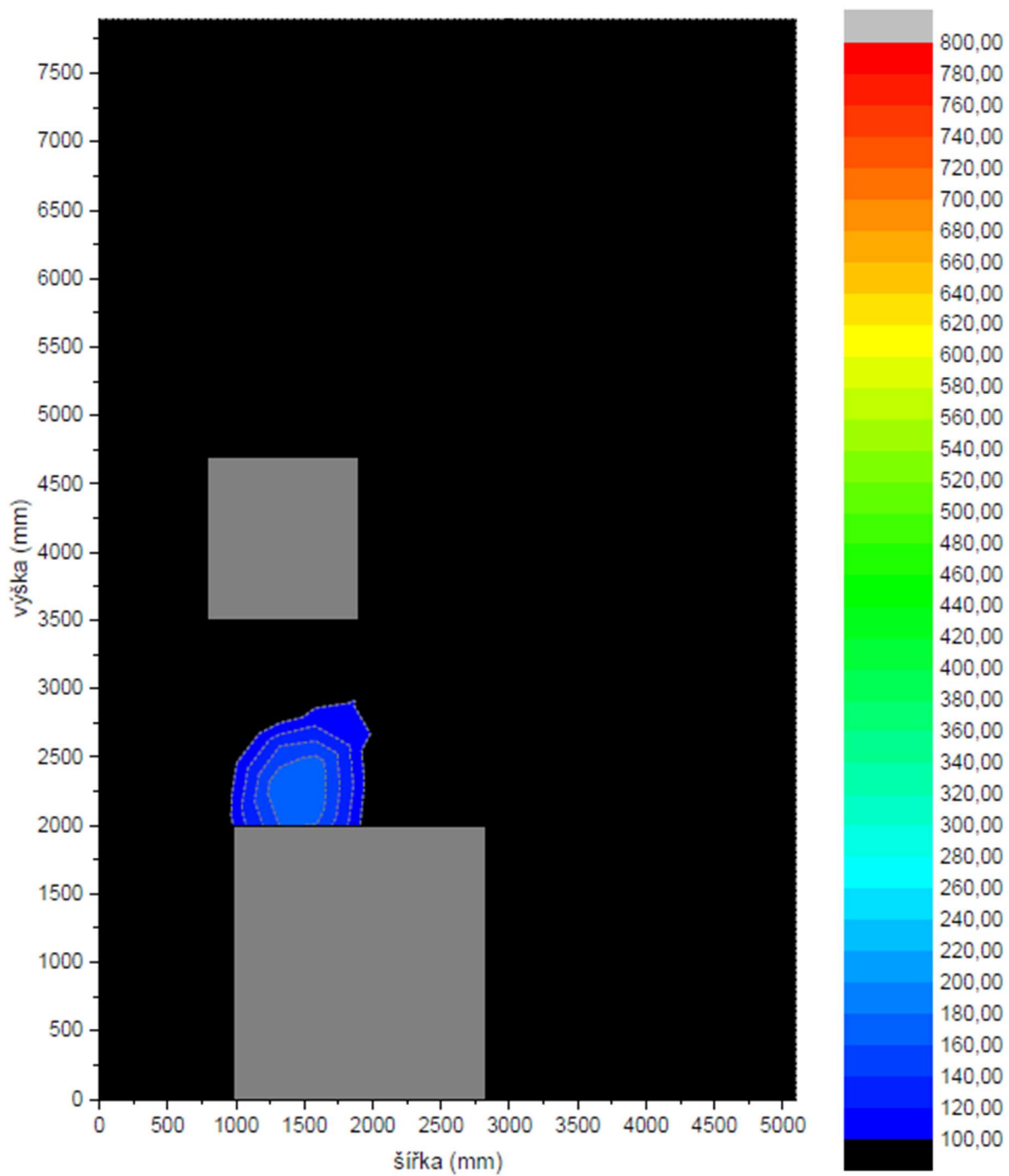


*Obr. 139 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 0–2 minuty pro zkoušku EPS*

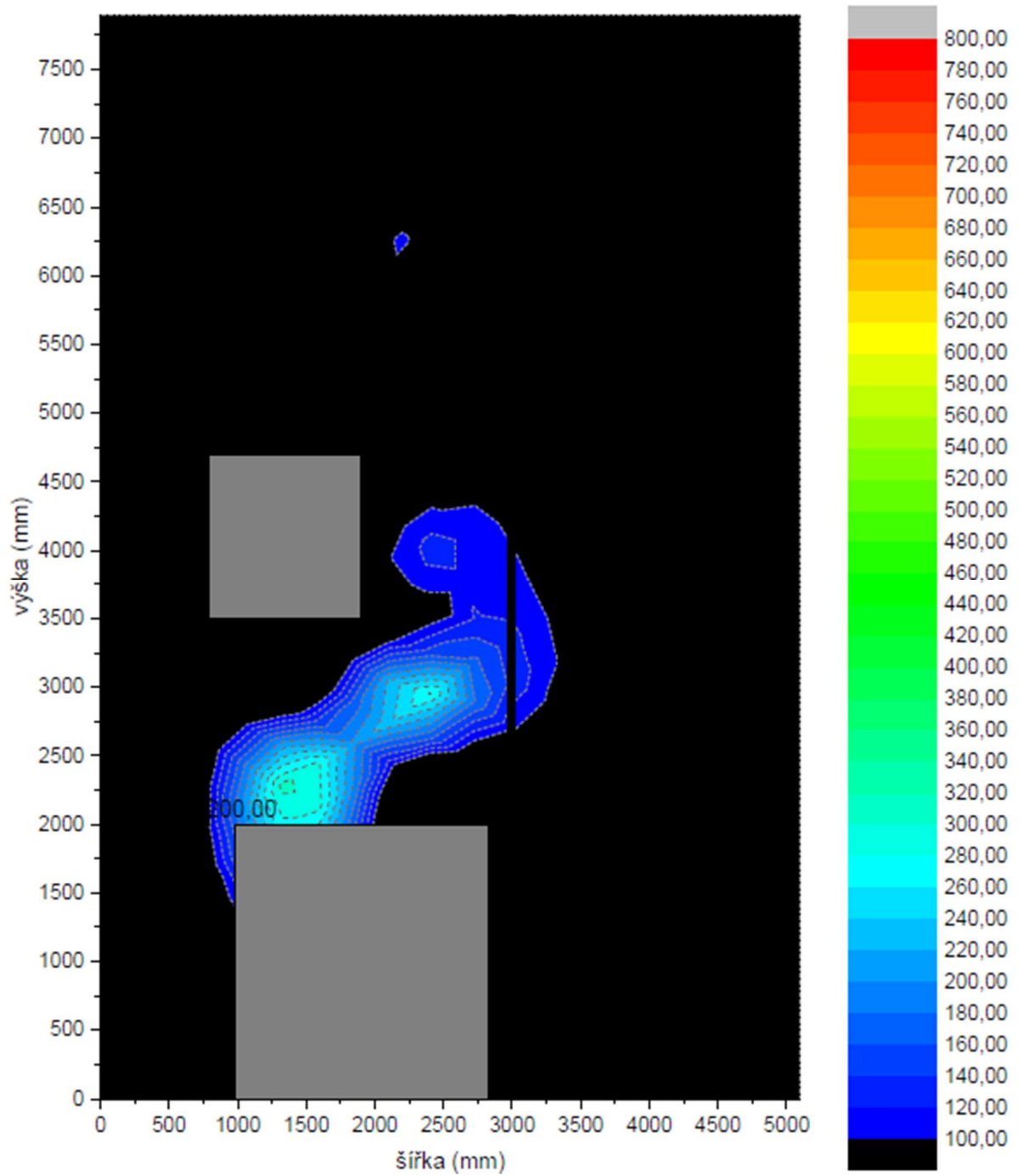




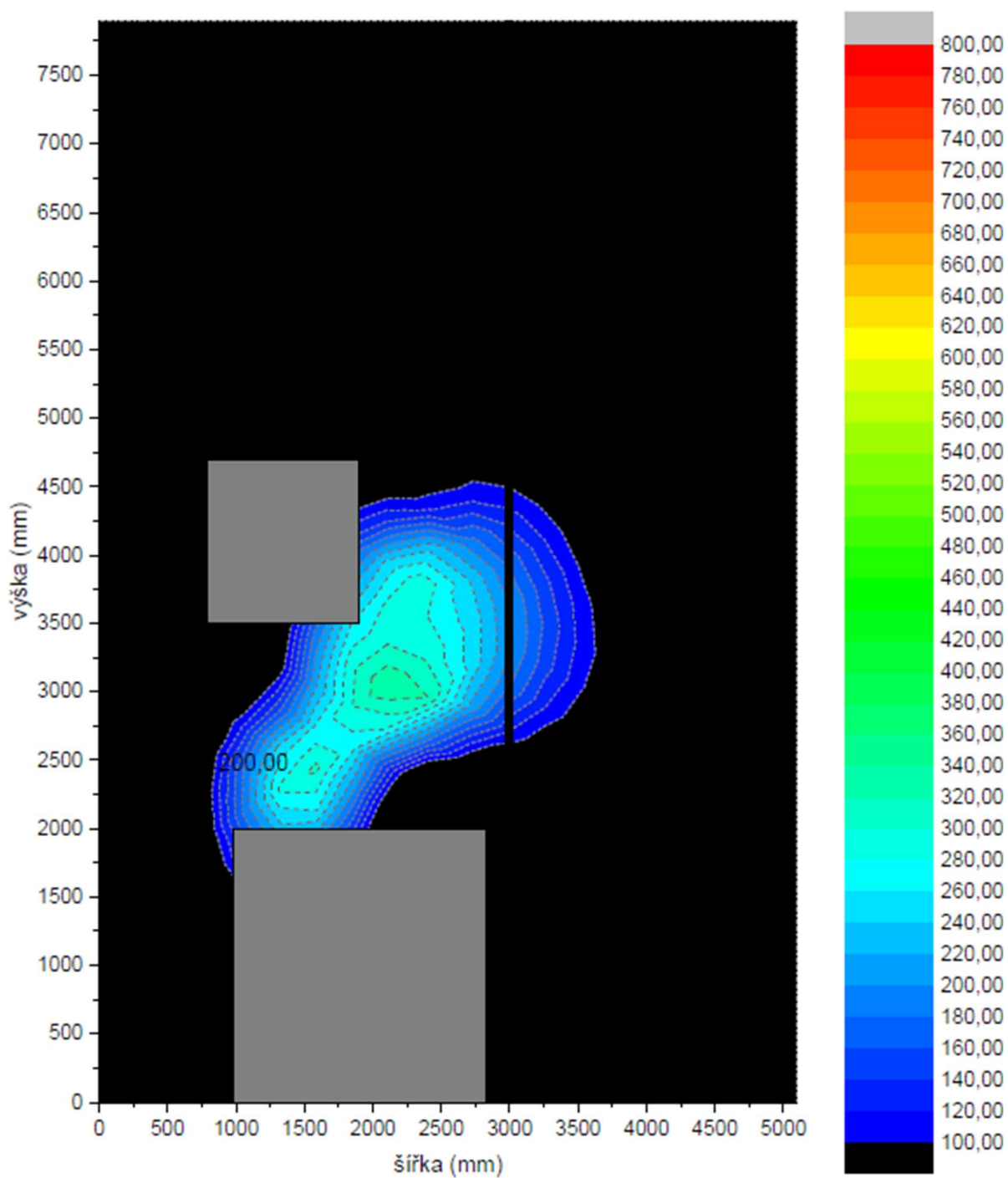
*Obr. 140 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 2–4 minuty pro zkoušku EPS*



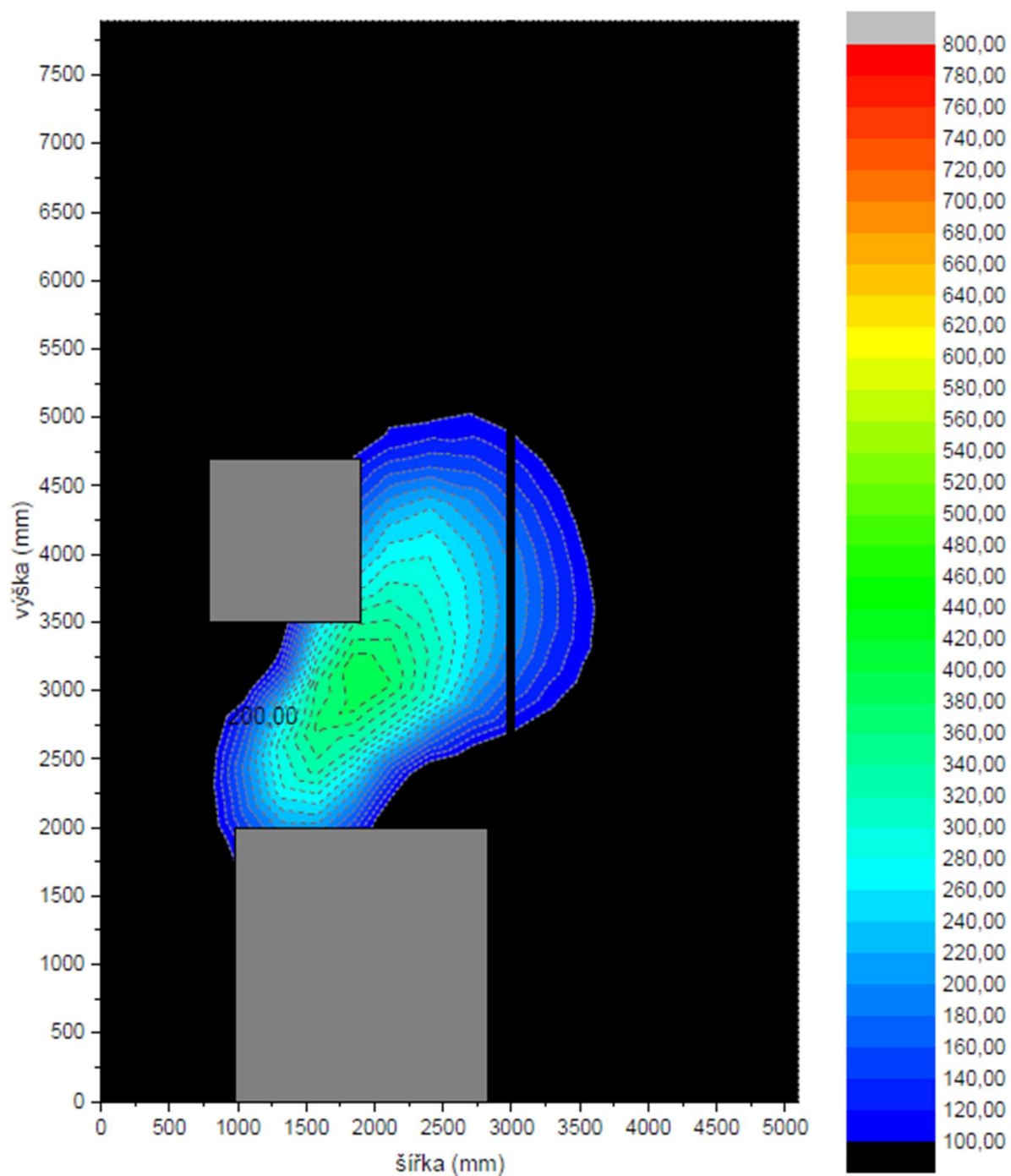
*Obr. 141 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 4–6 minuty pro zkoušku EPS*



*Obr. 142 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 6–8 minuty pro zkoušku EPS*

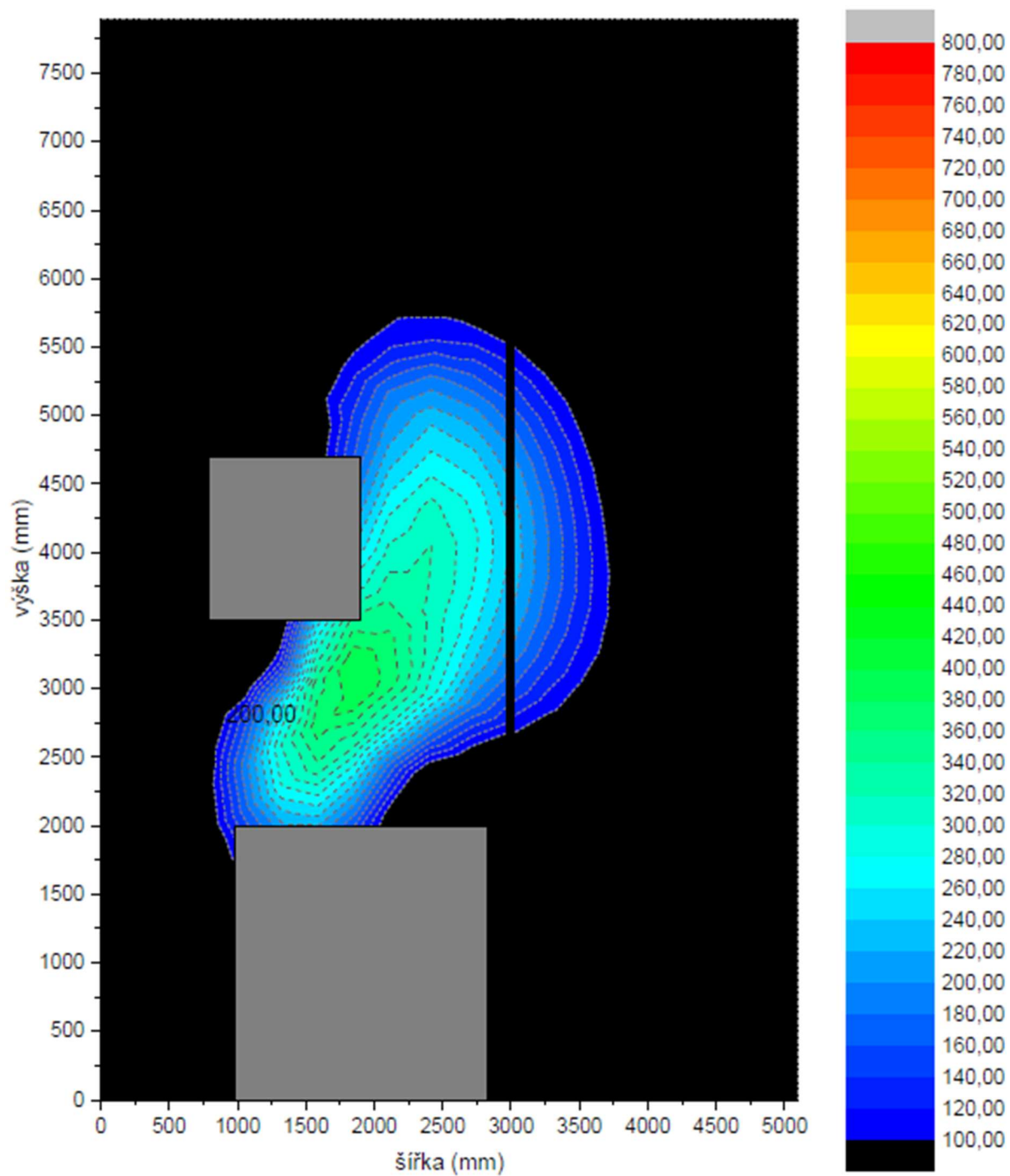


*Obr. 143 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 8–10 minuty pro zkoušku EPS*

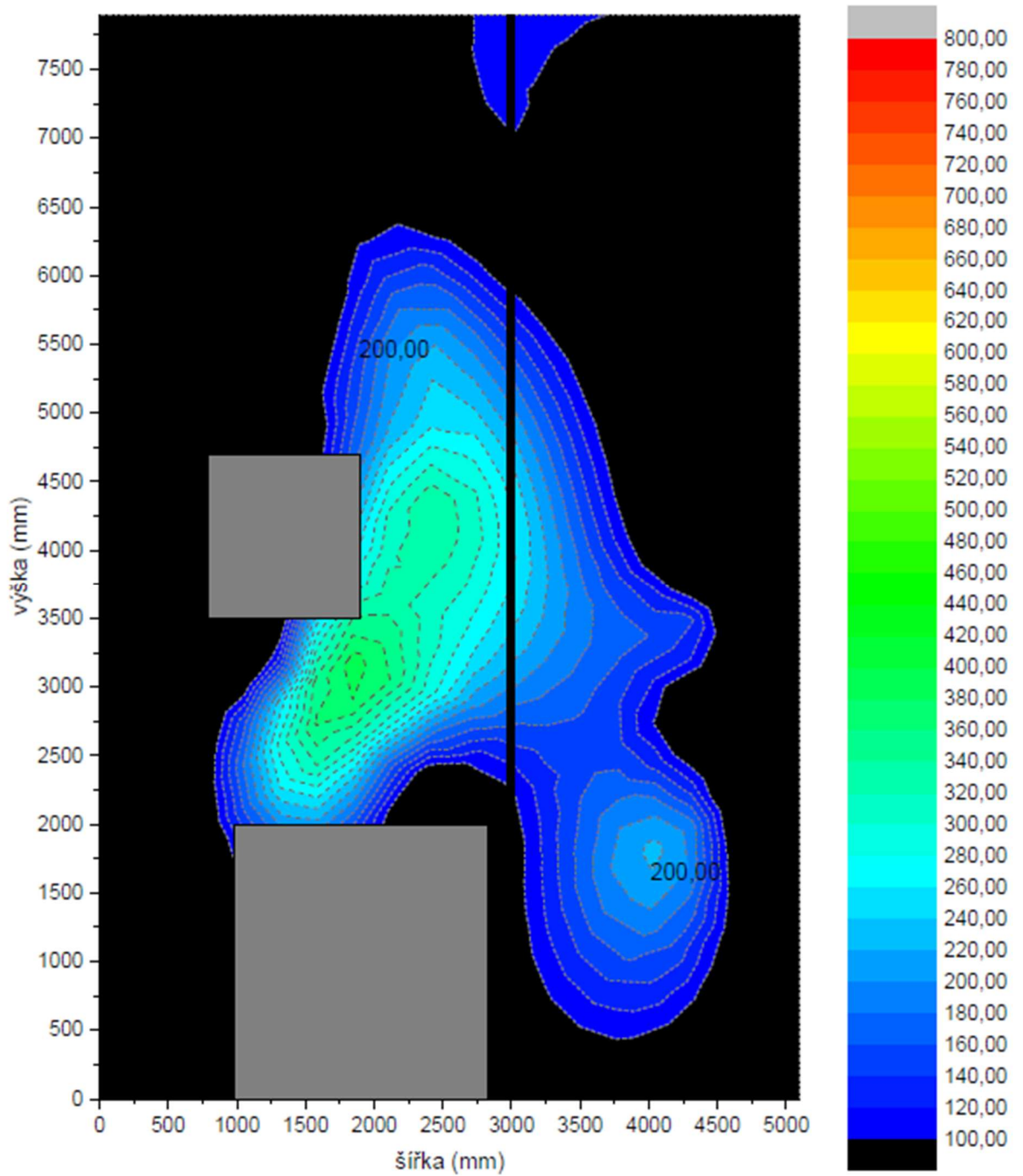


**Obr. 144** – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 10–12 minuty pro zkoušku EPS

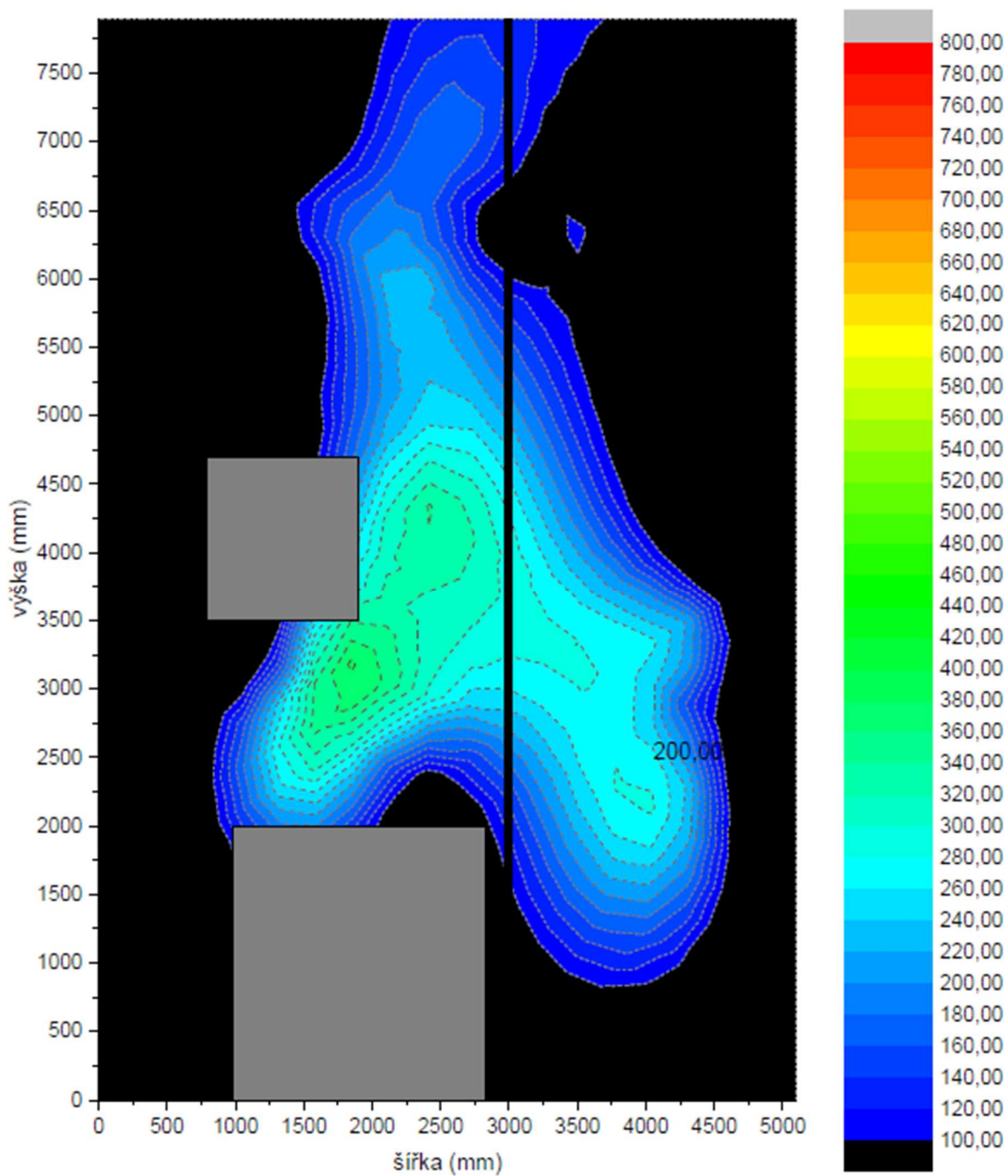




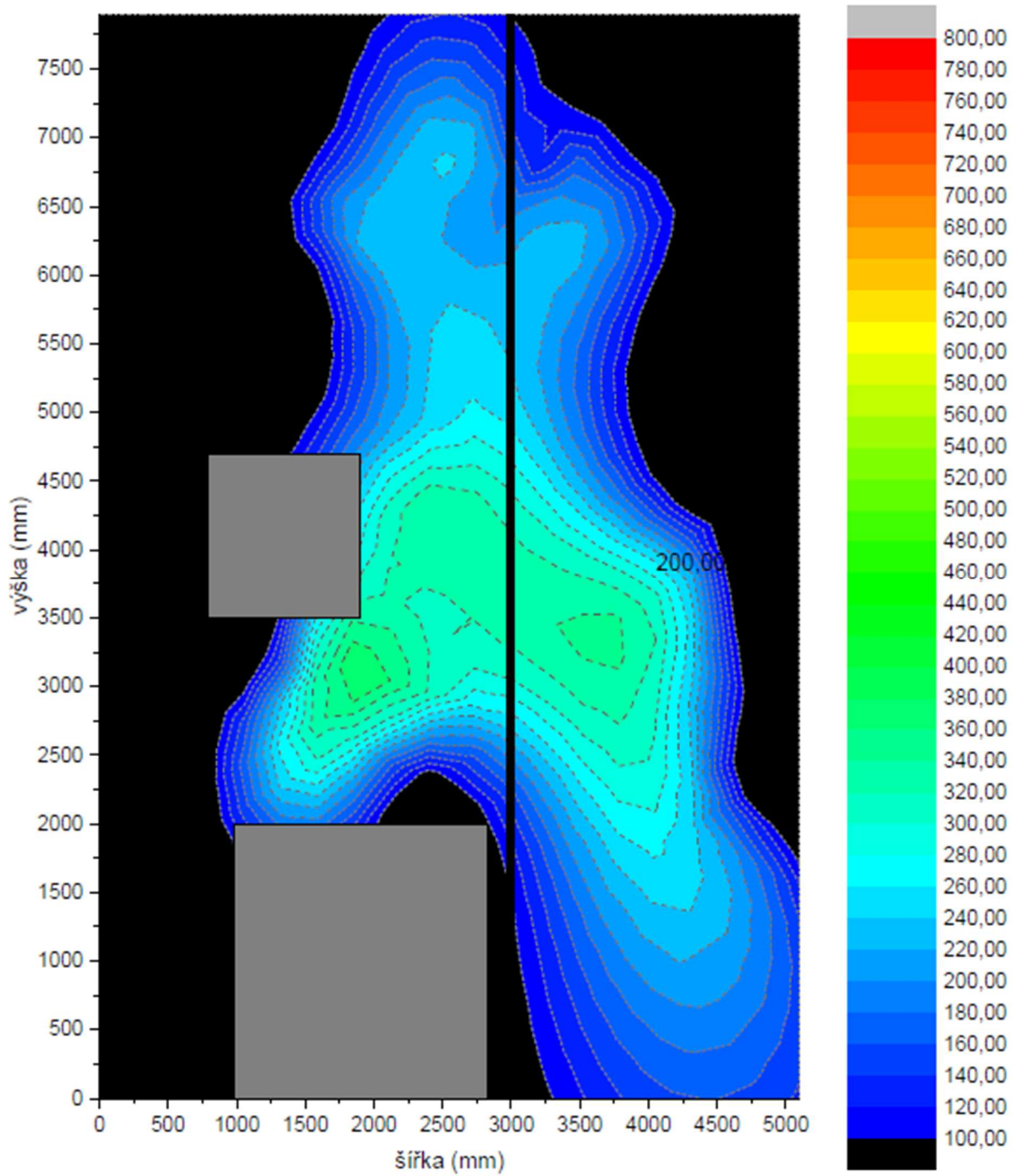
*Obr. 145 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 12–14 minuty pro zkoušku EPS*



*Obr. 146 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 14–16 minuty pro zkoušku EPS*

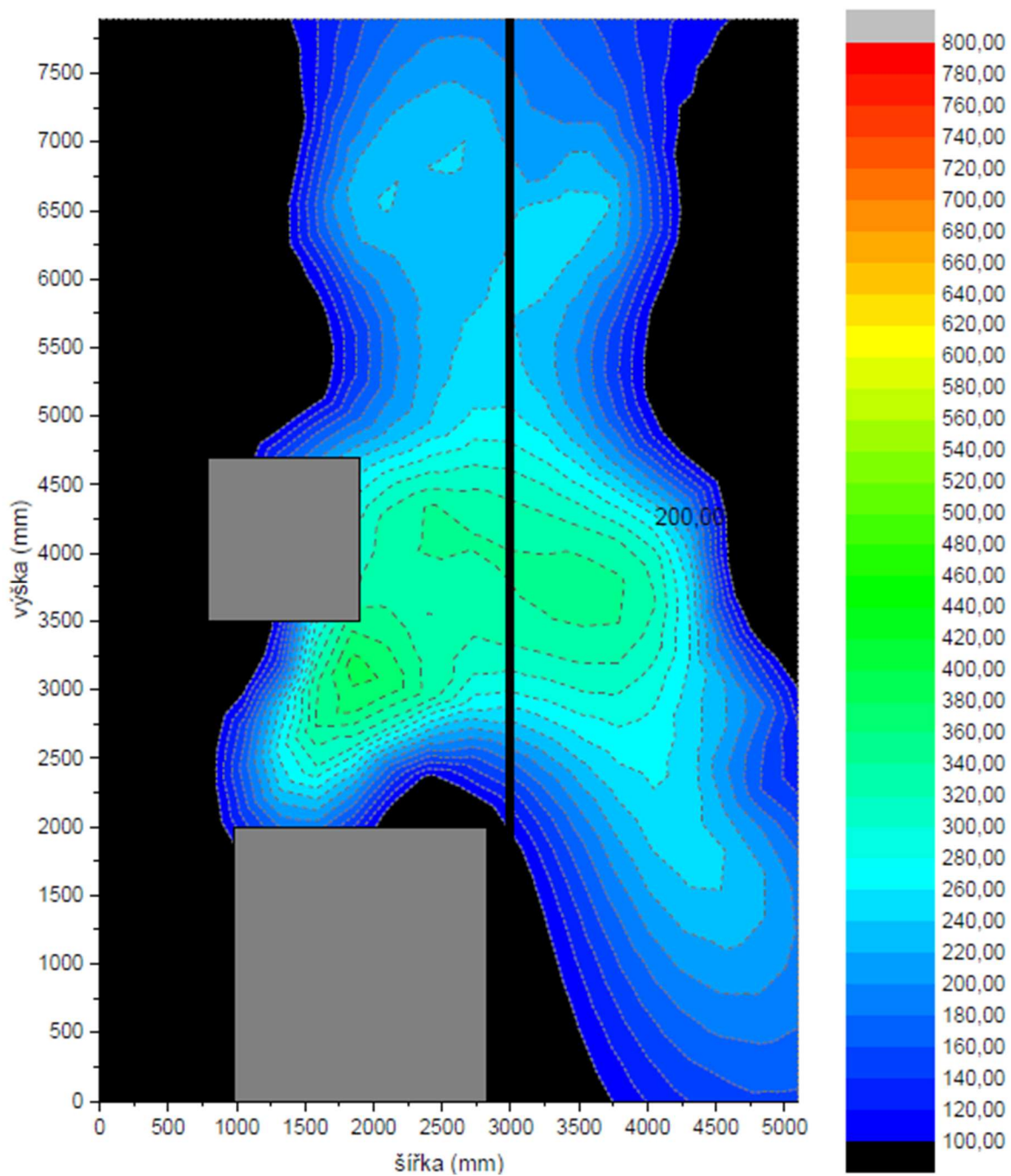


*Obr. 147 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 16–18 minuty pro zkoušku EPS*



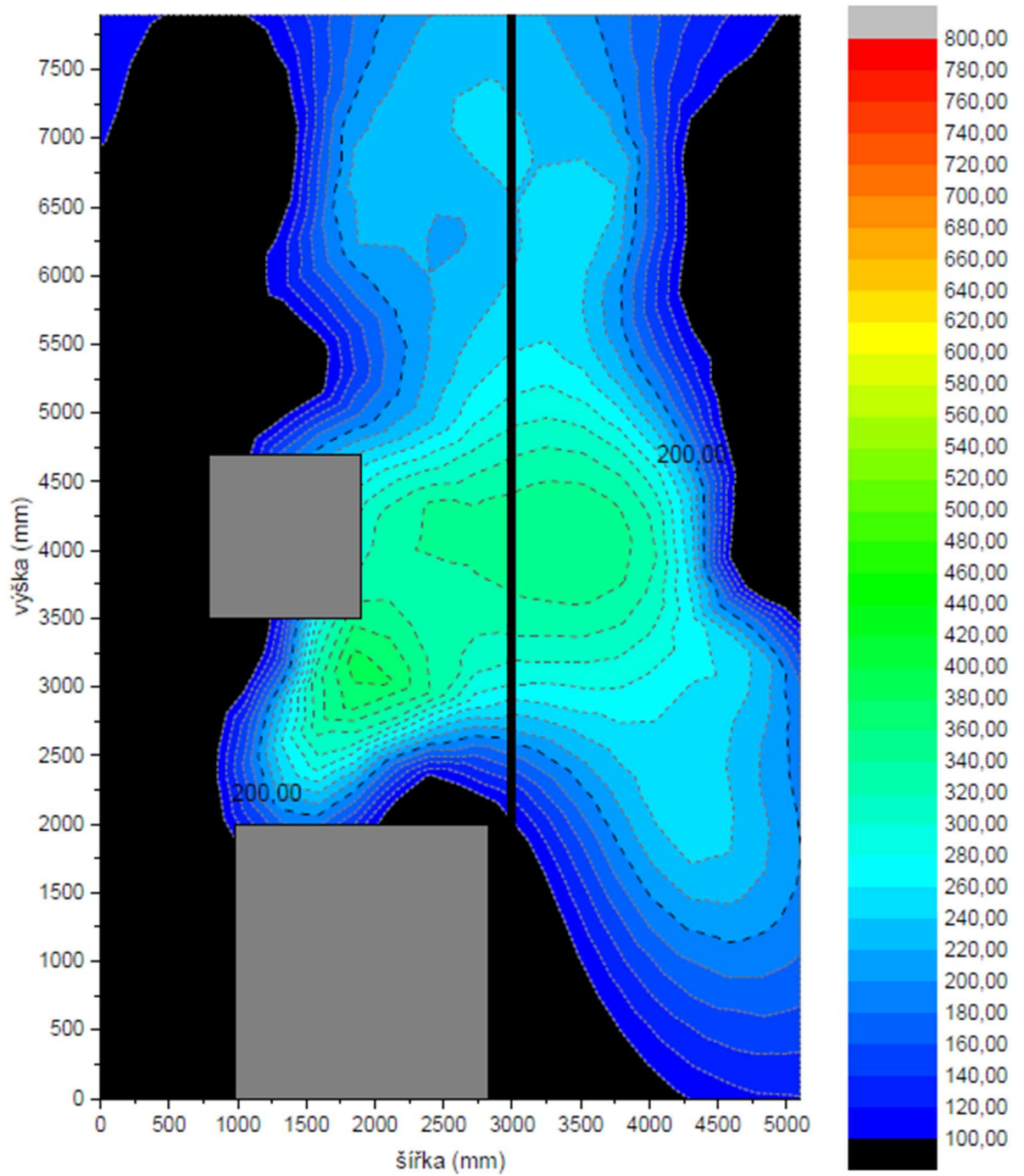
**Obr. 148** – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 18–20 minuty pro zkoušku EPS



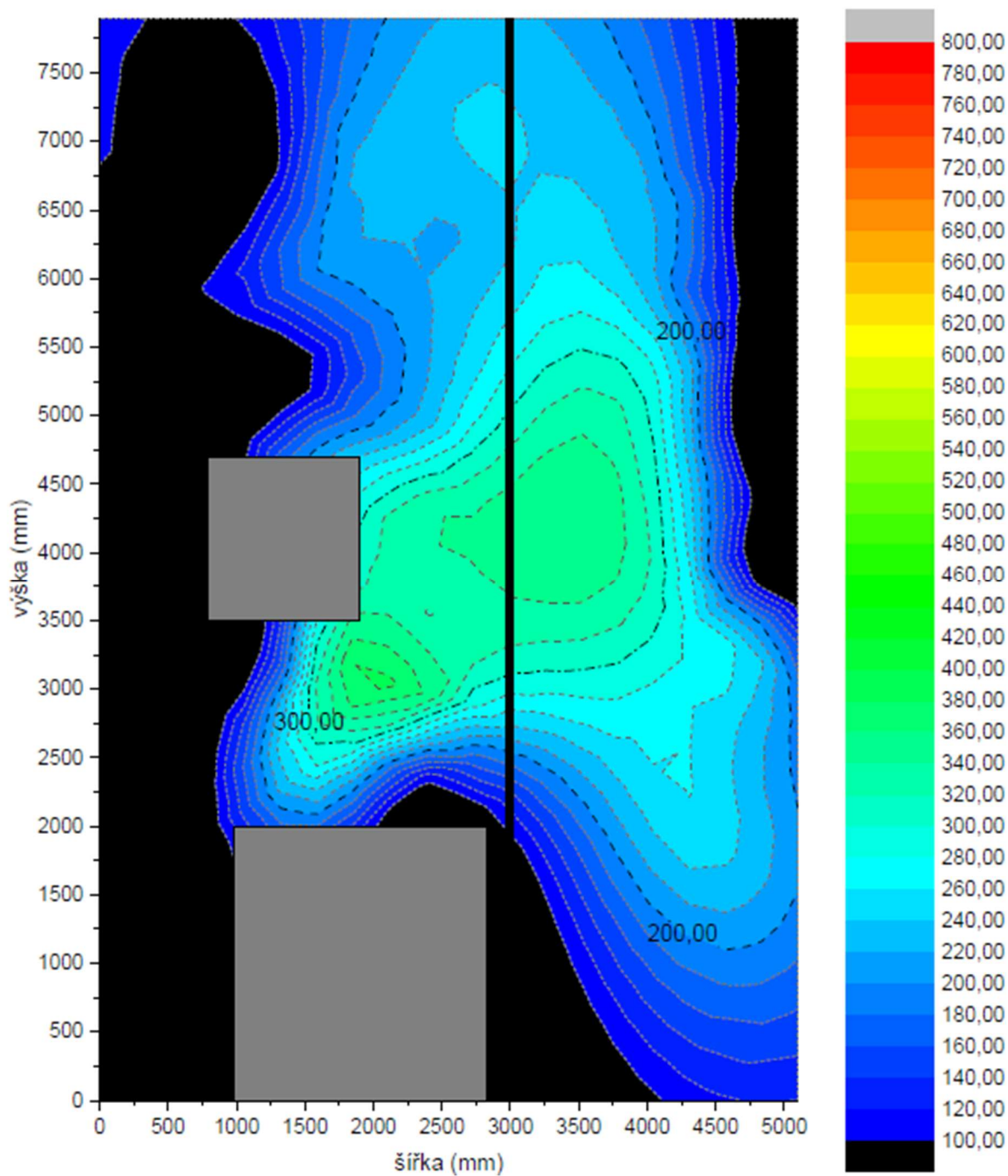


*Obr. 149 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 20–22 minuty pro zkoušku EPS*

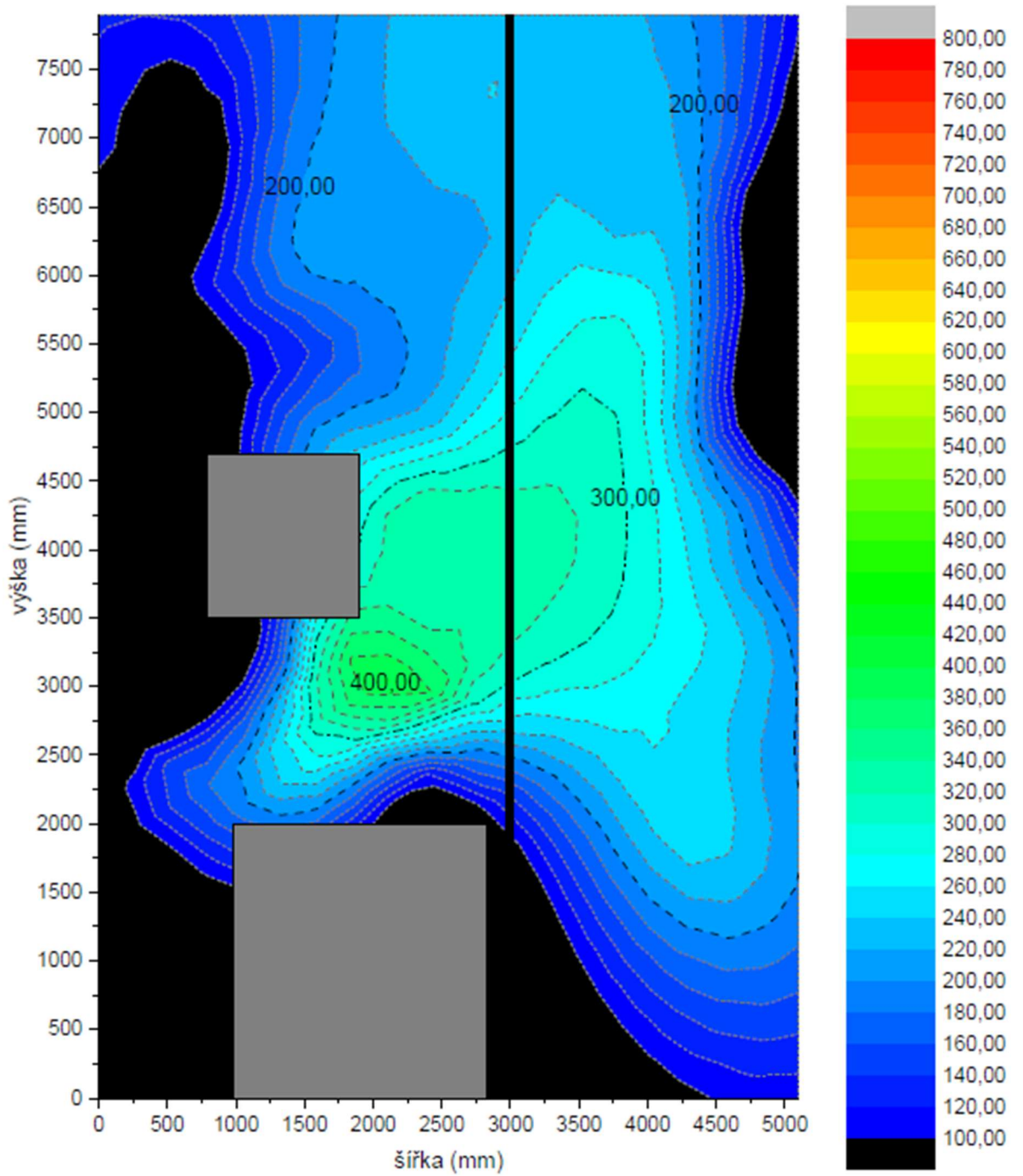




**Obr. 150** – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 22–24 minuty pro zkoušku EPS

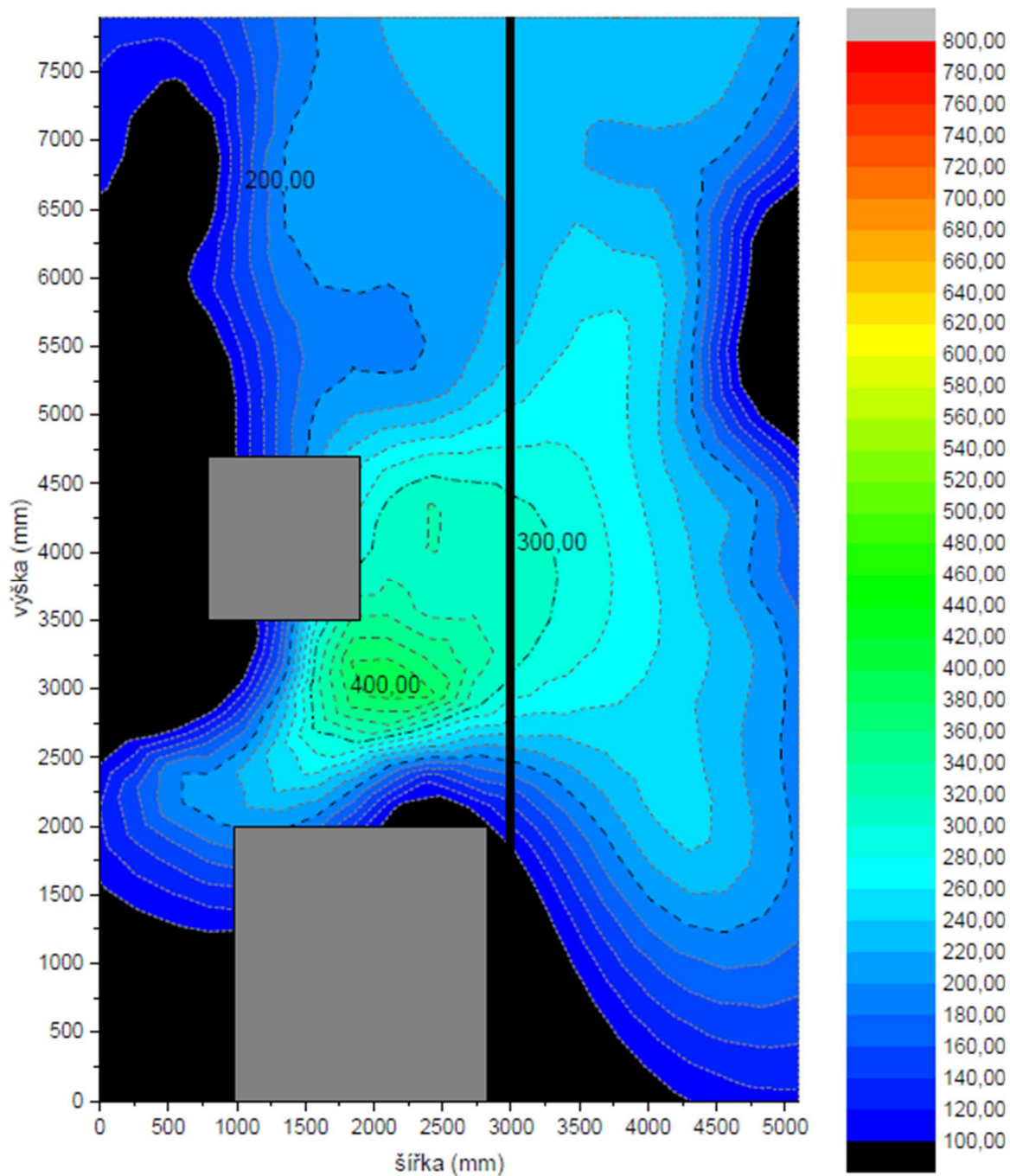


*Obr. 151 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 24–26 minuty pro zkoušku EPS*

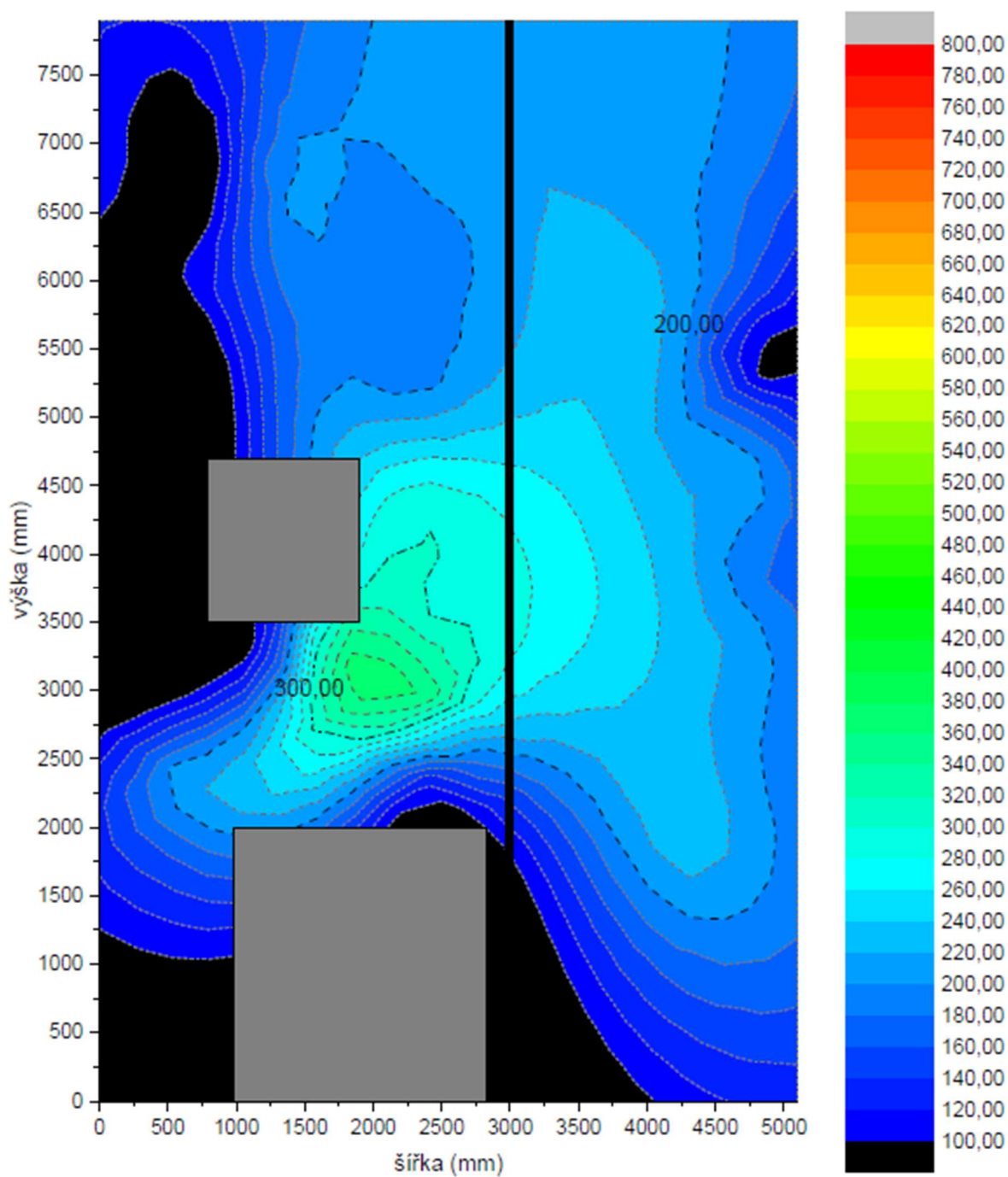


*Obr. 152 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 26–28 minuty pro zkoušku EPS*



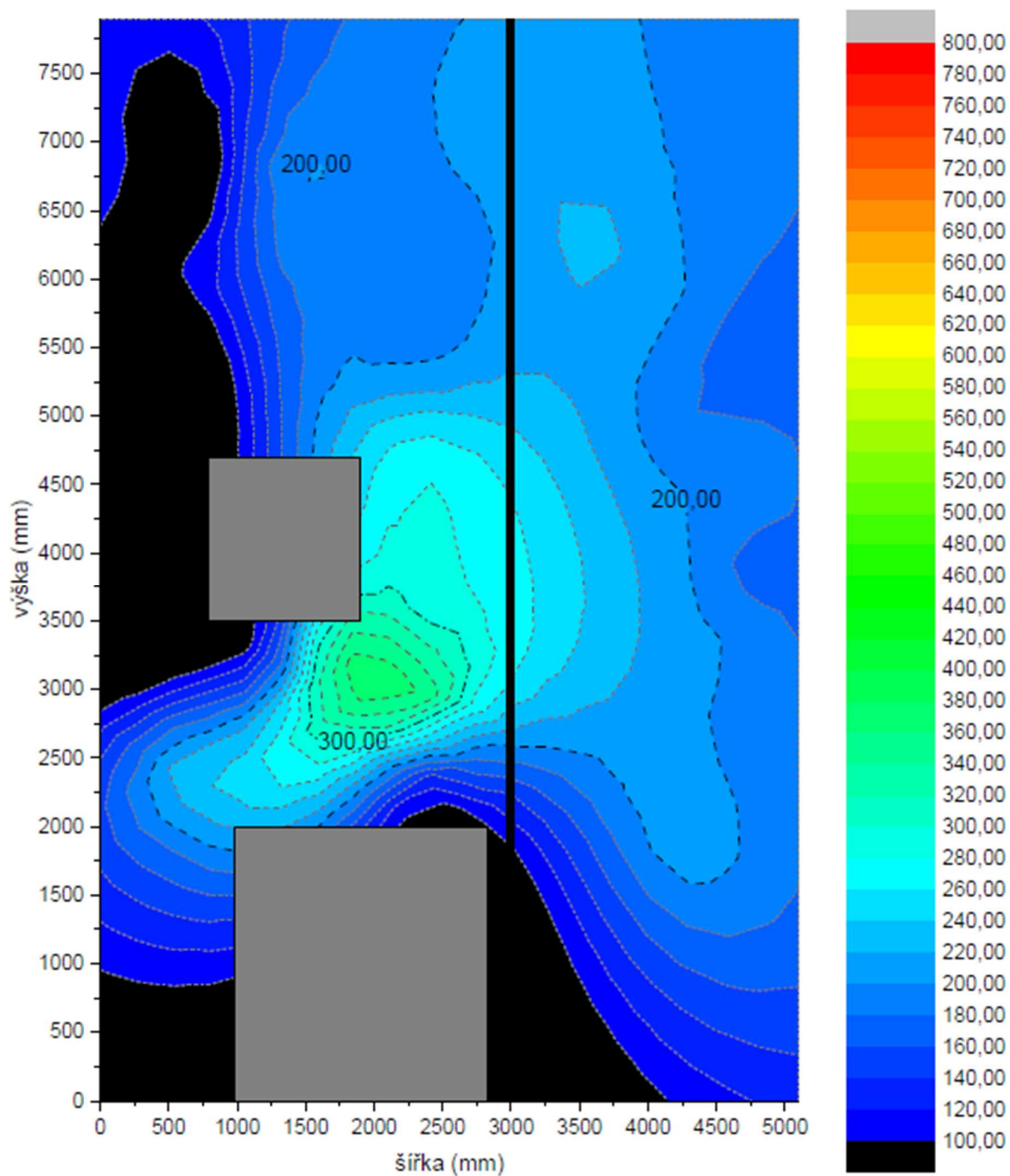


*Obr. 153 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 28–30 minuty pro zkoušku EPS*

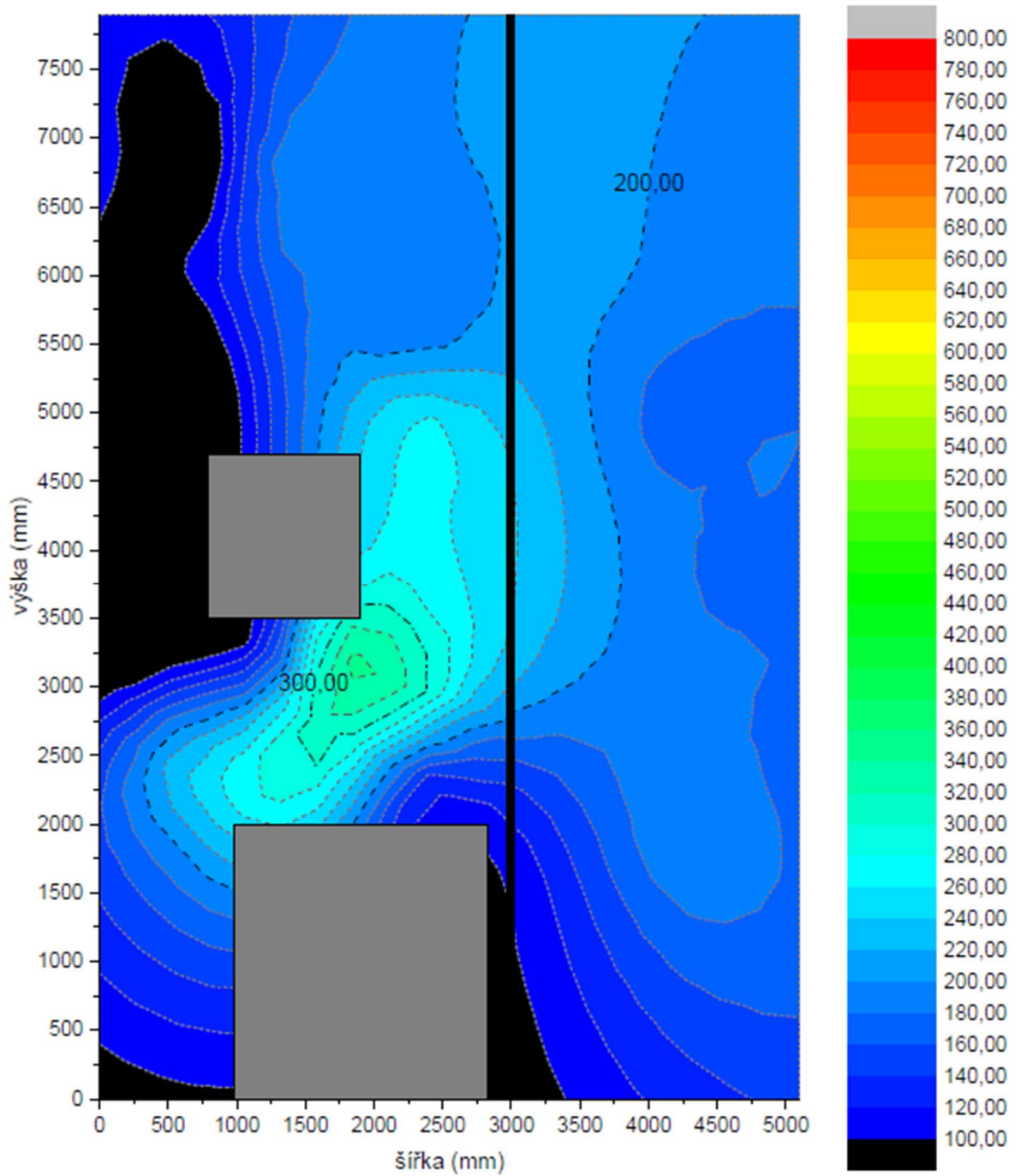


*Obr. 154 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 30–32 minuty pro zkoušku EPS*

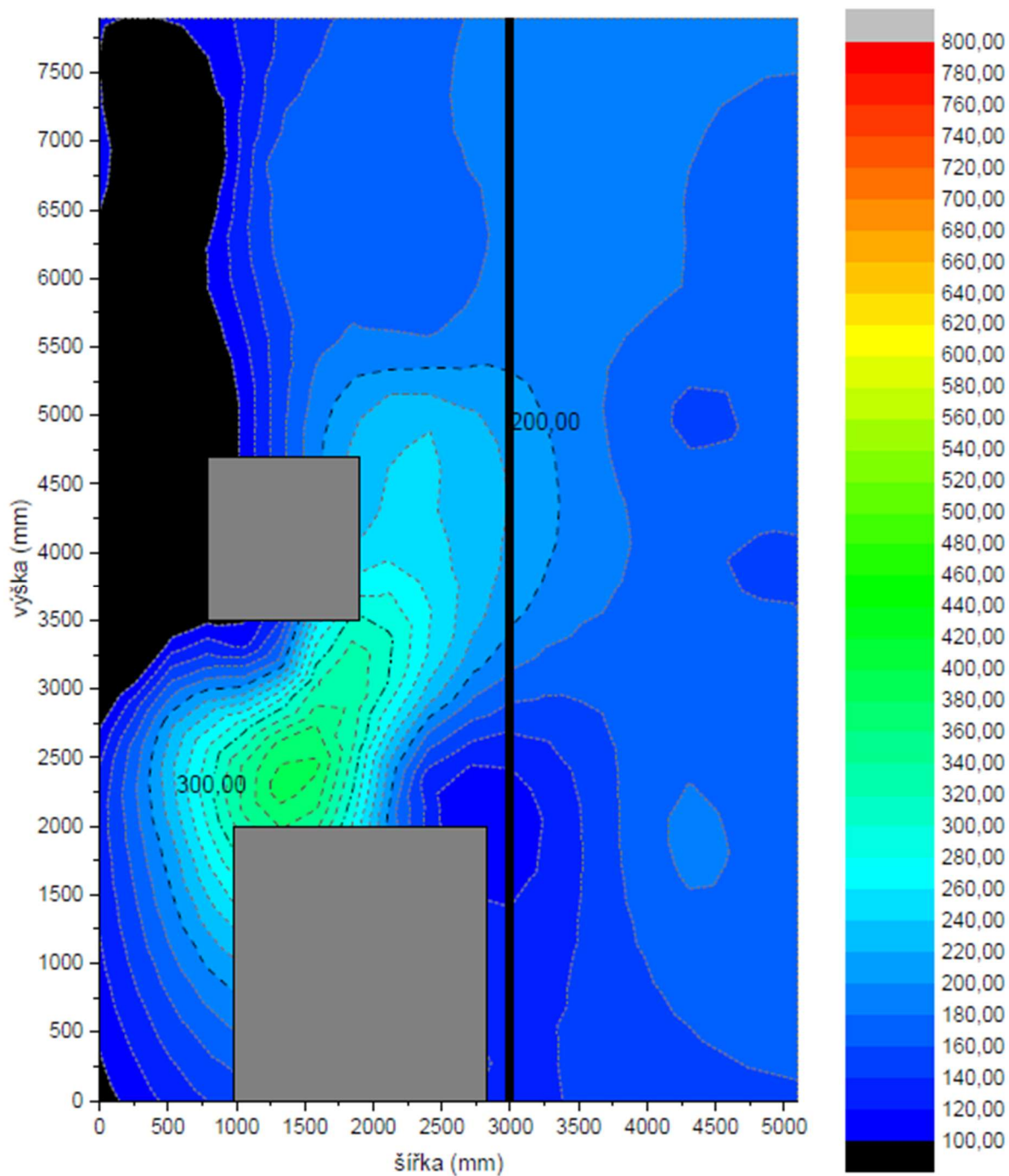




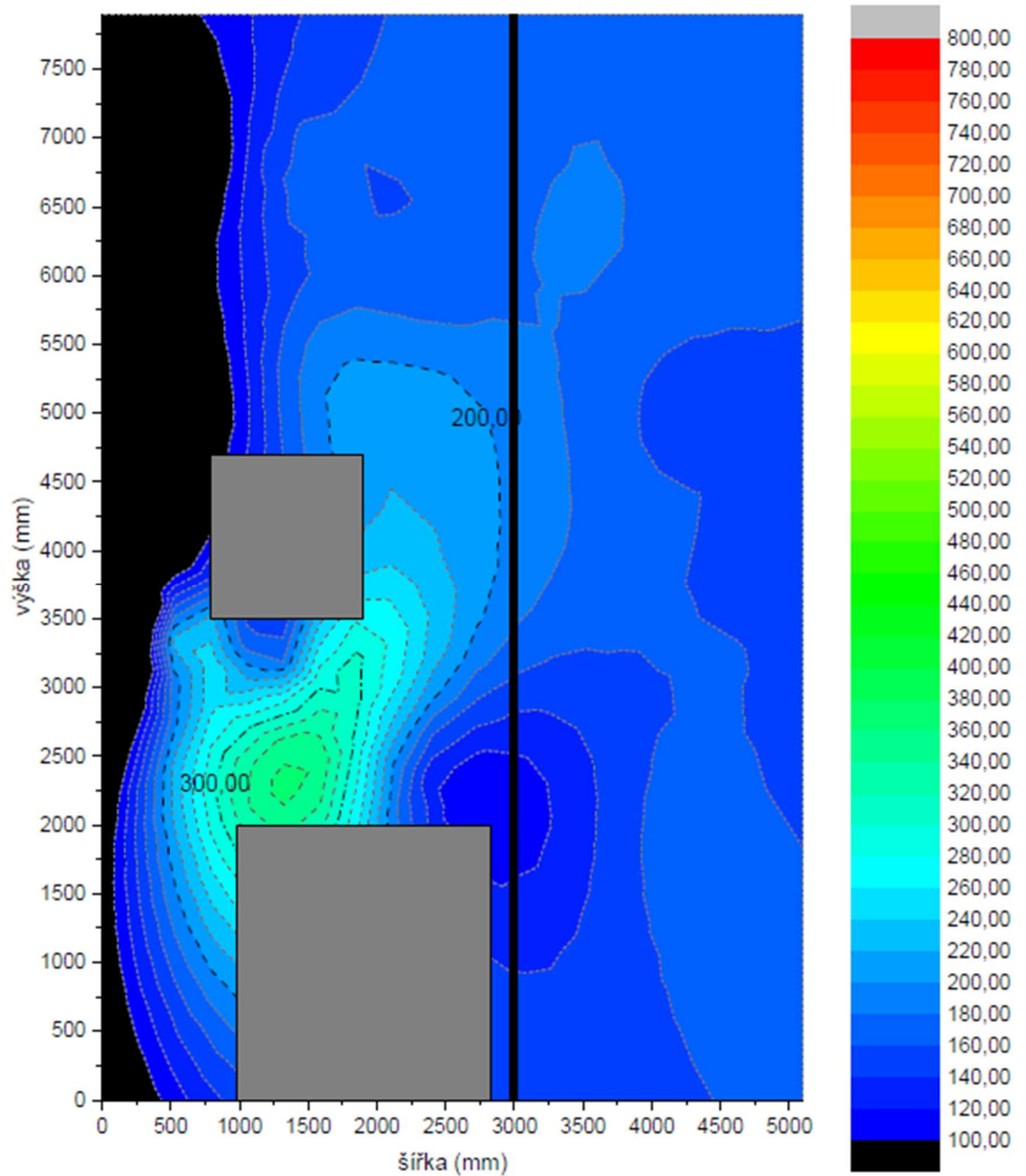
*Obr. 155 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 32–34 minuty pro zkoušku EPS*



*Obr. 156 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 34–36 minuty pro zkoušku EPS*

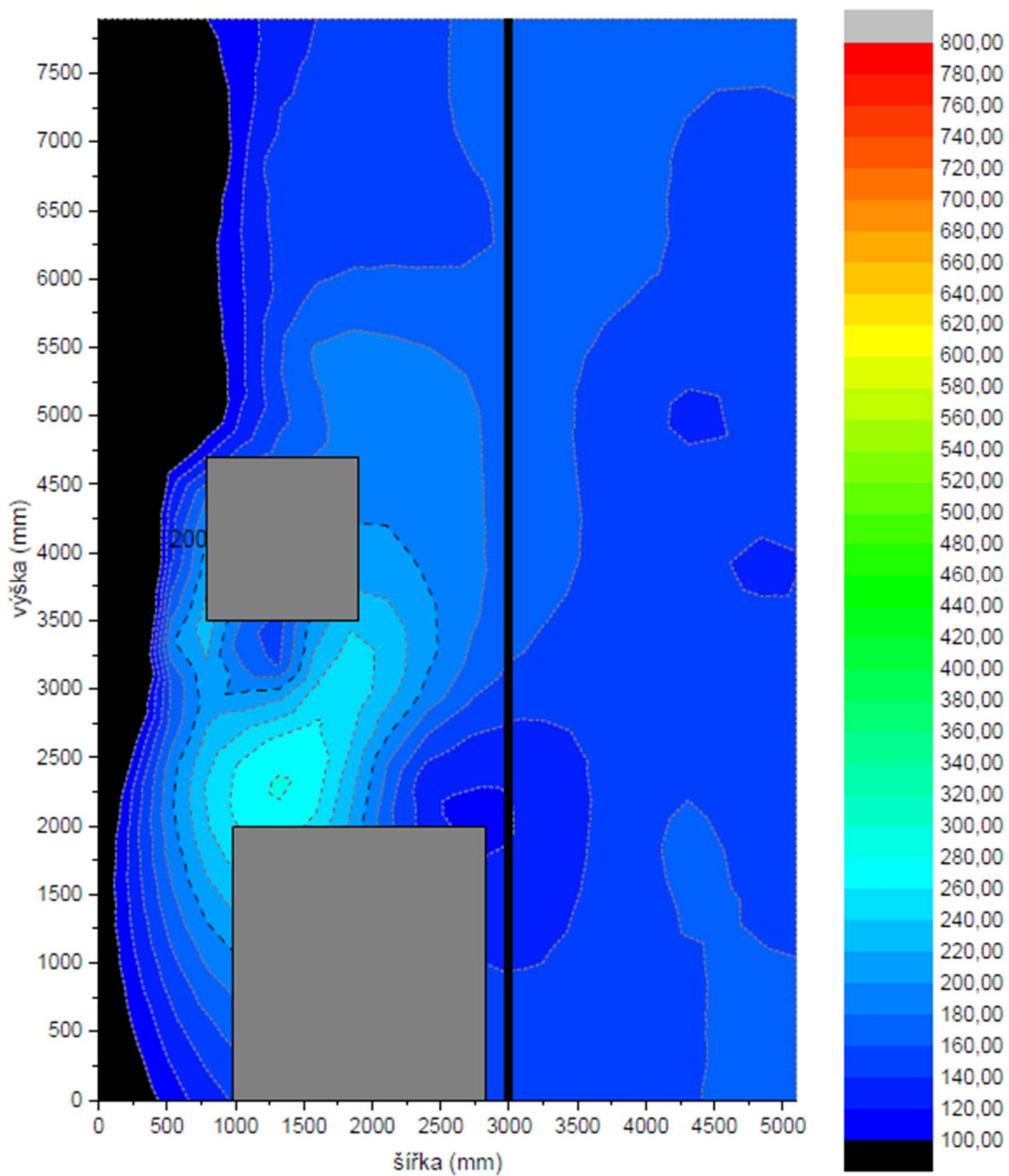


*Obr. 157 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 36–38 minuty pro zkoušku EPS*



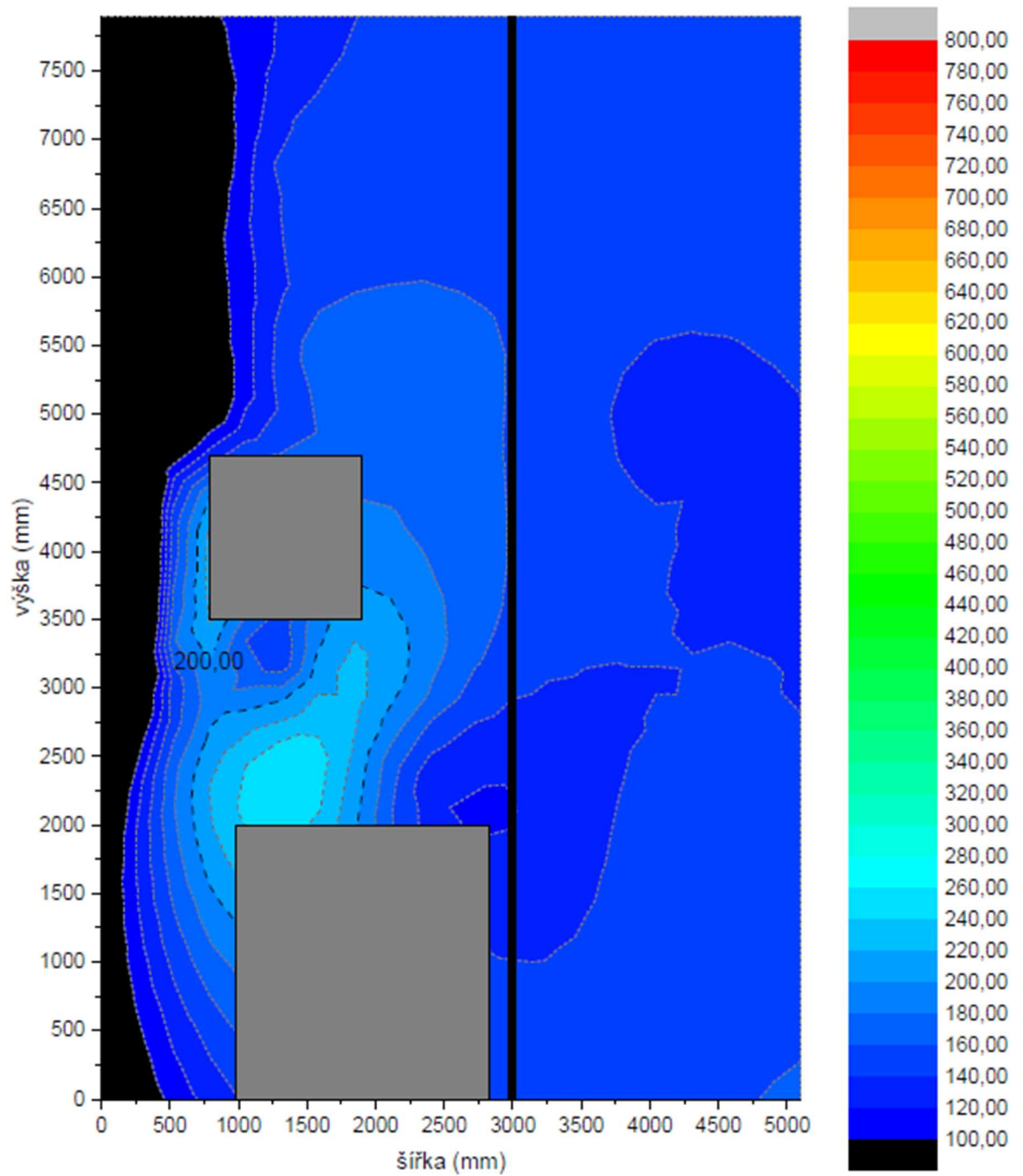
**Obr. 158** – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 38–40 minuty pro zkoušku EPS



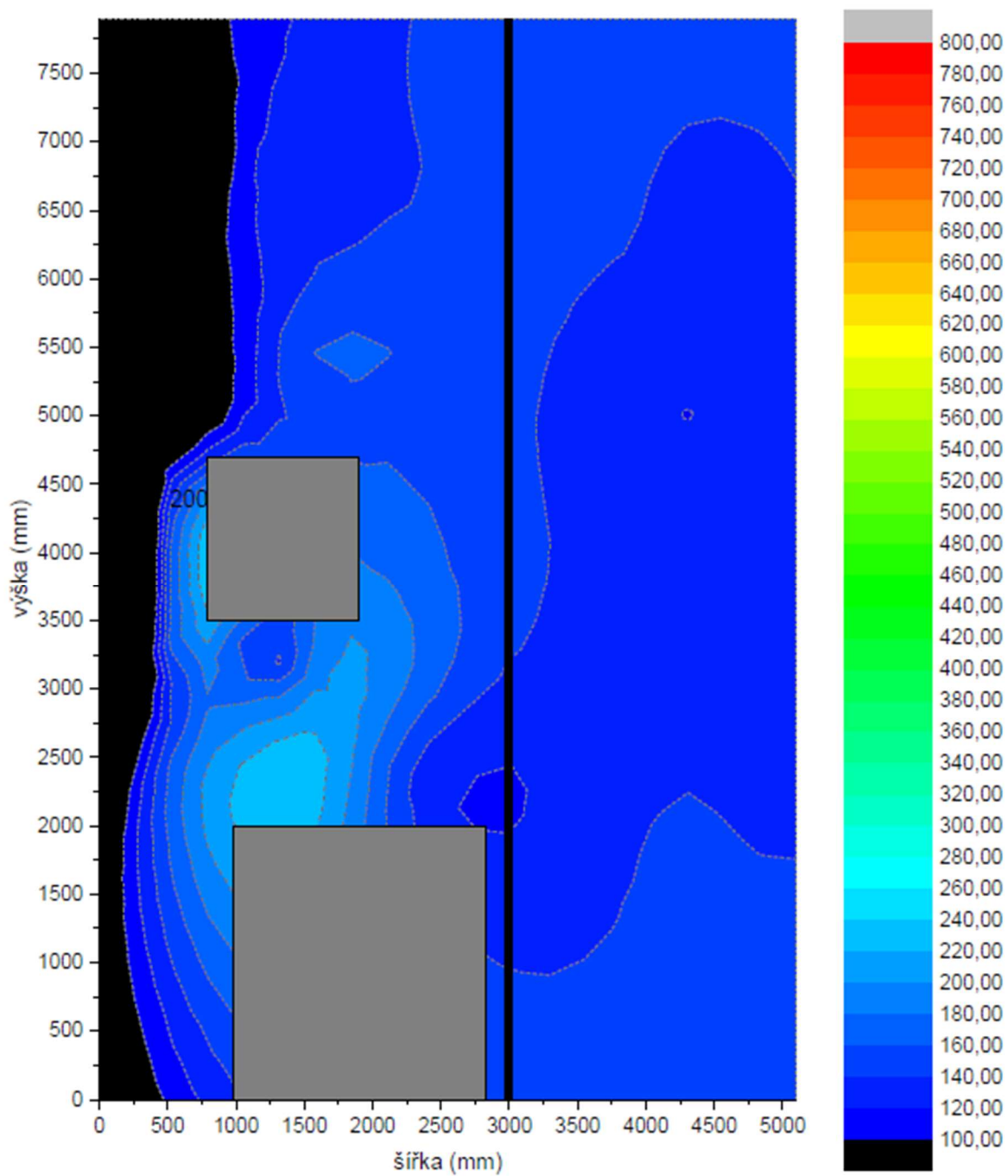


*Obr. 159 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 40–42 minuty pro zkoušku EPS*

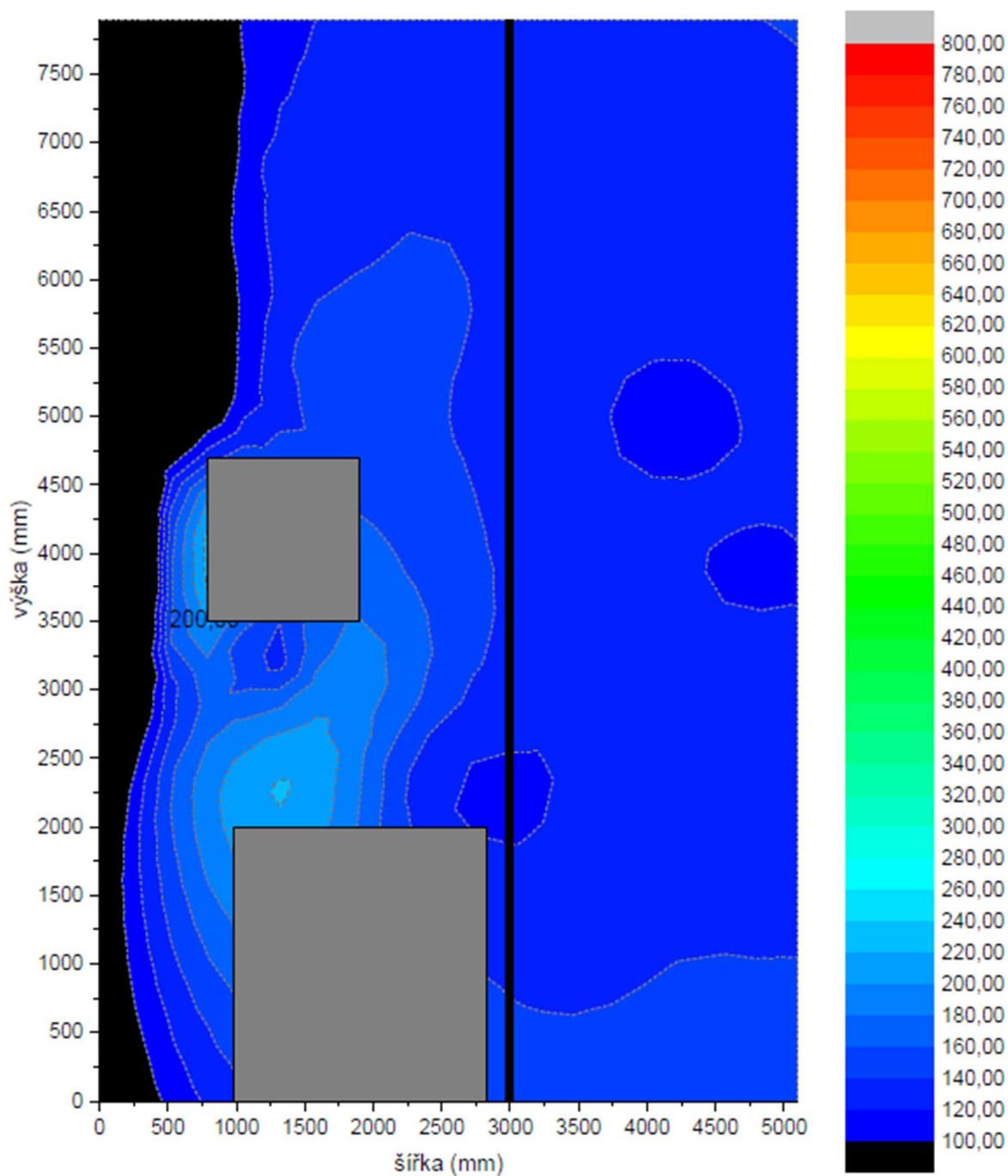




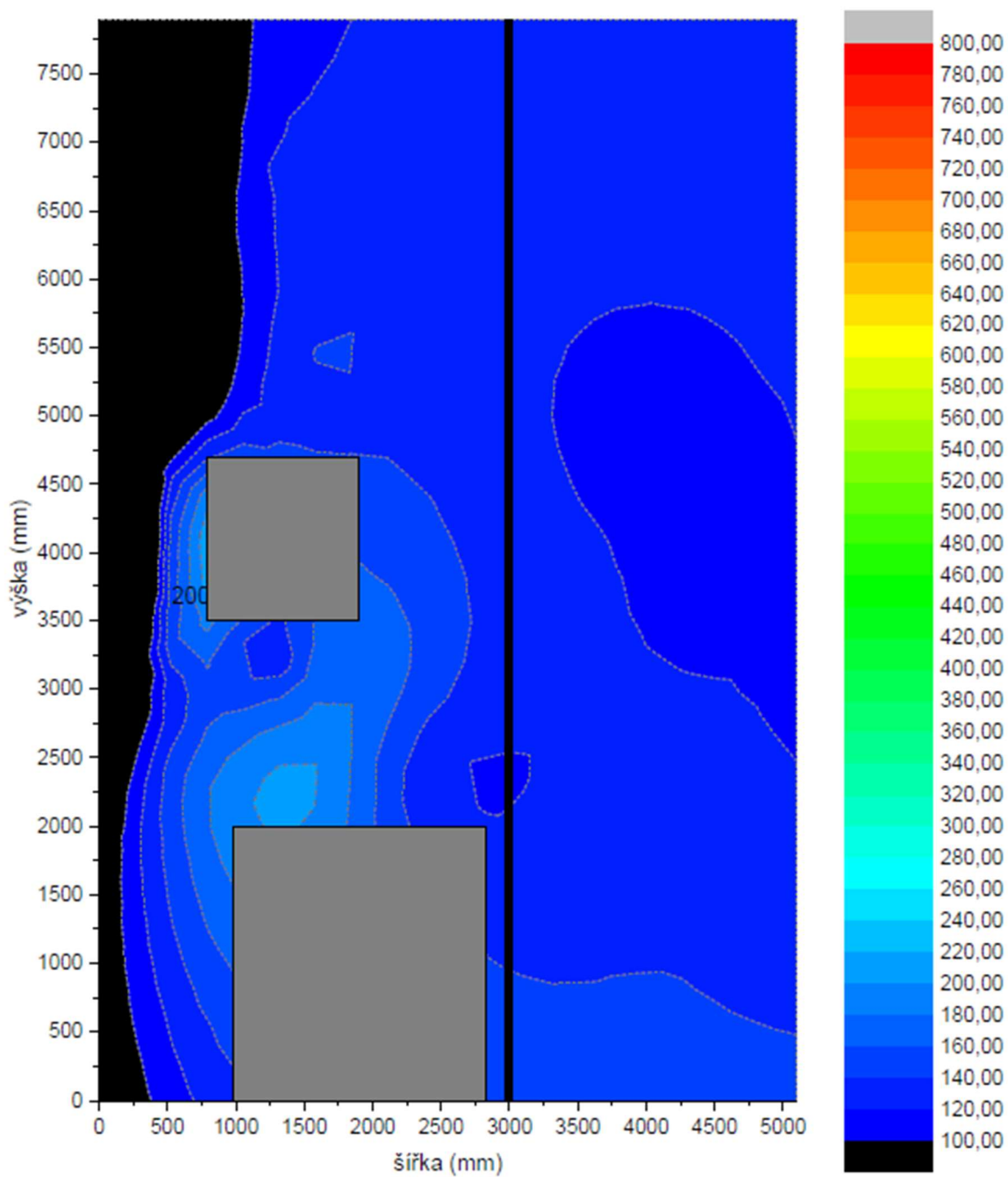
*Obr. 160 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 42–44 minuty pro zkoušku EPS*



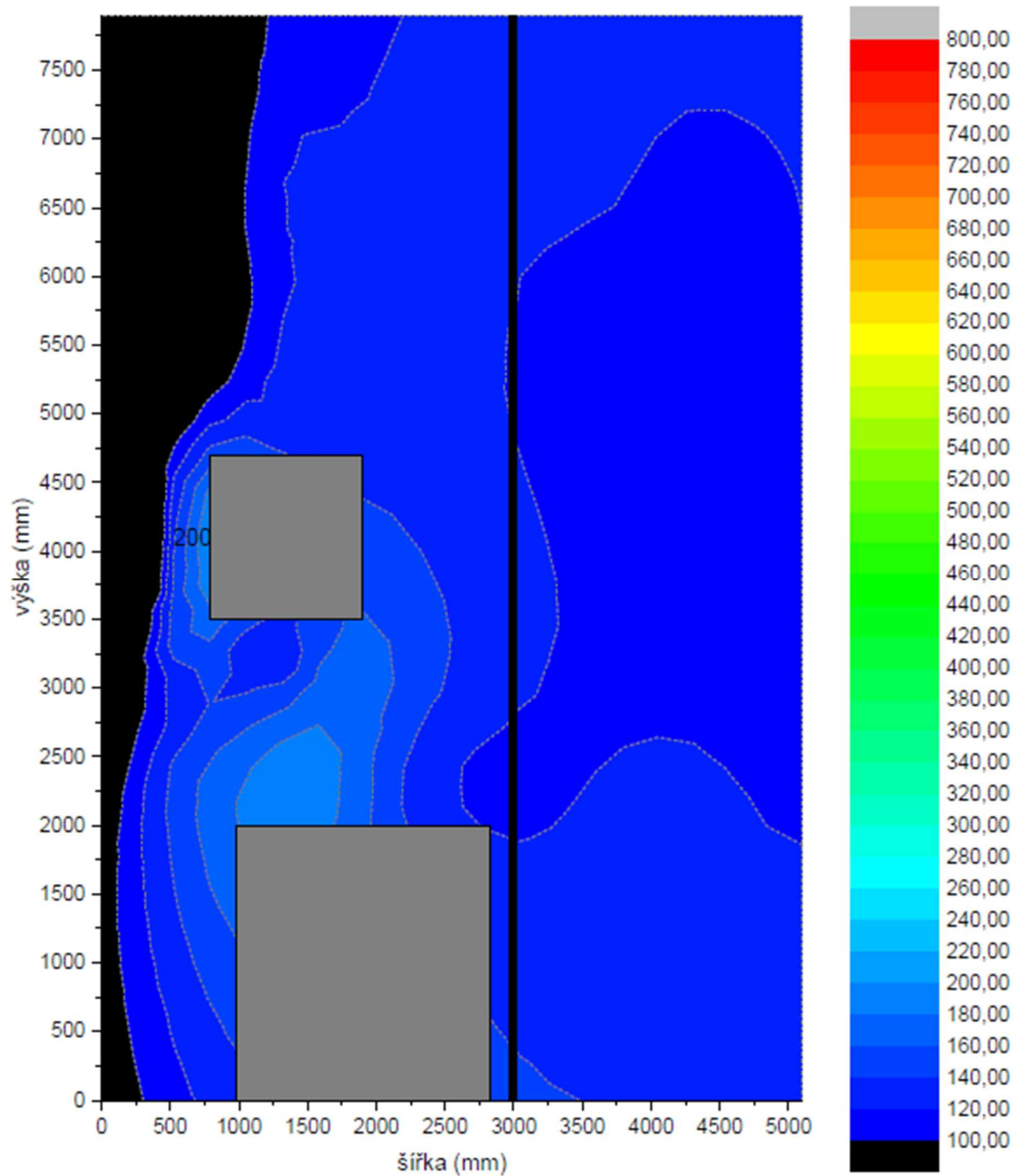
*Obr. 161 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 44–46 minuty pro zkoušku EPS*



**Obr. 162** – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 46–48 minuty pro zkoušku EPS

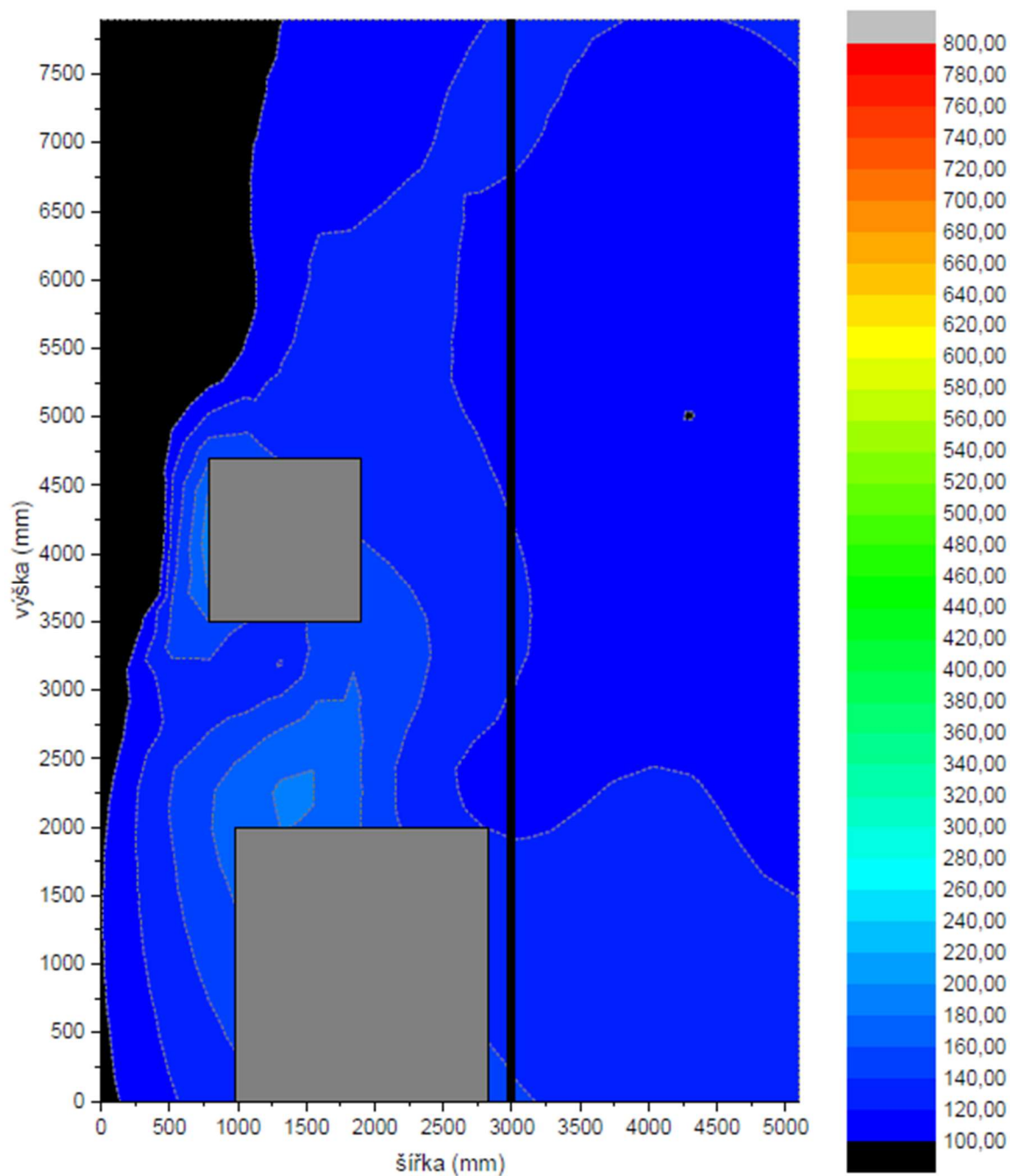


*Obr. 163 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 48–50 minuty pro zkoušku EPS*

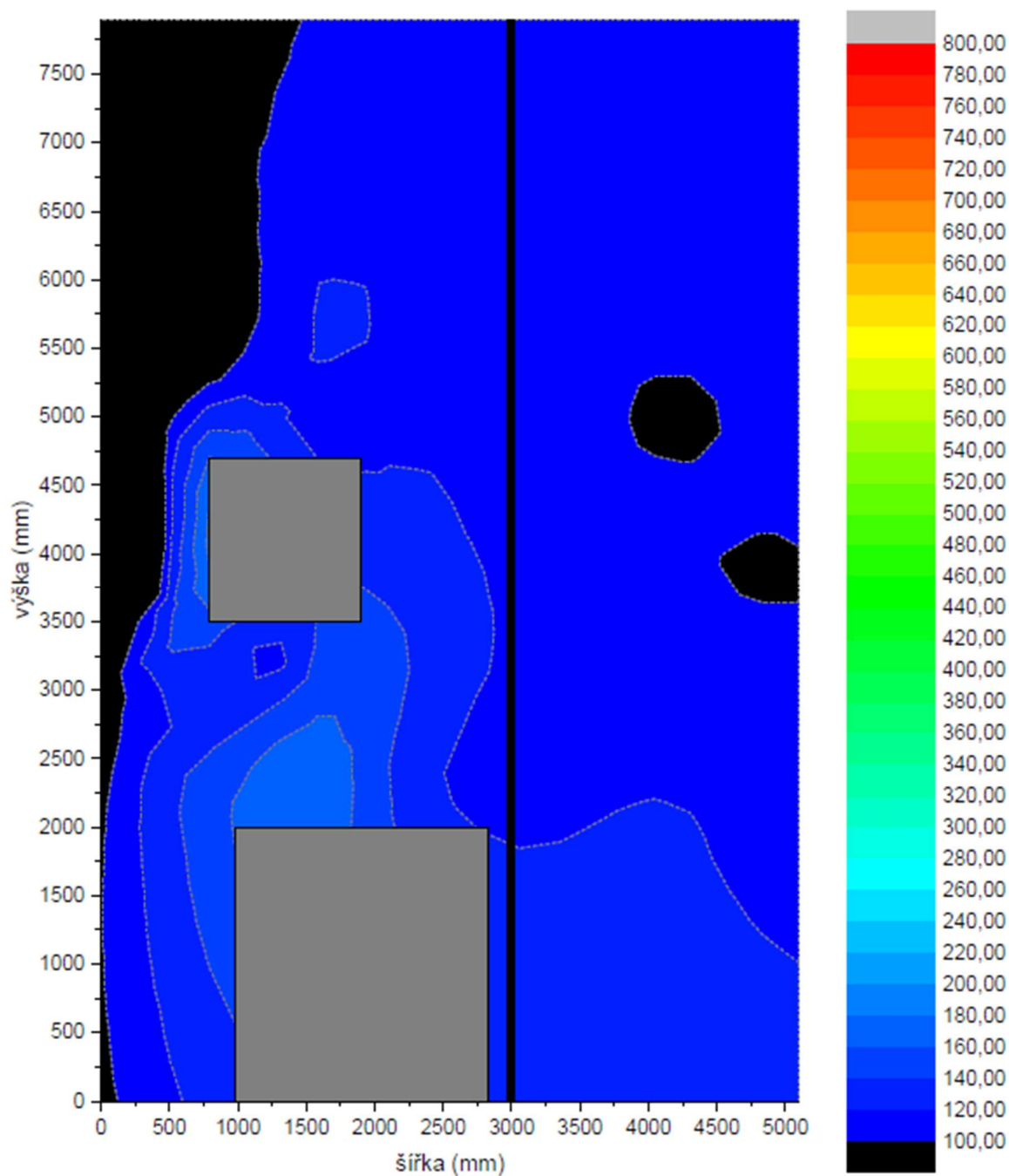


**Obr. 164** – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 50–52 minuty pro zkoušku EPS

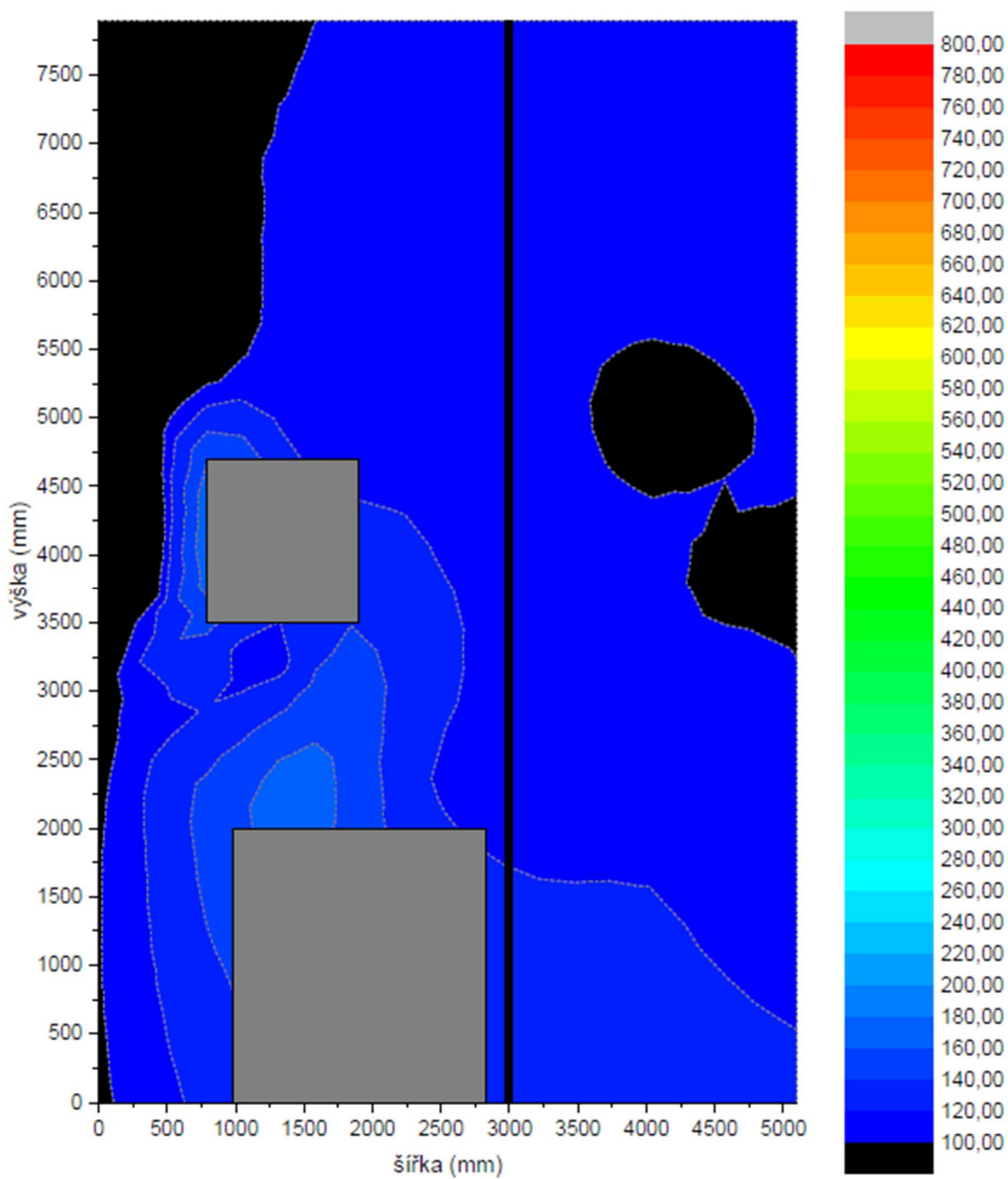




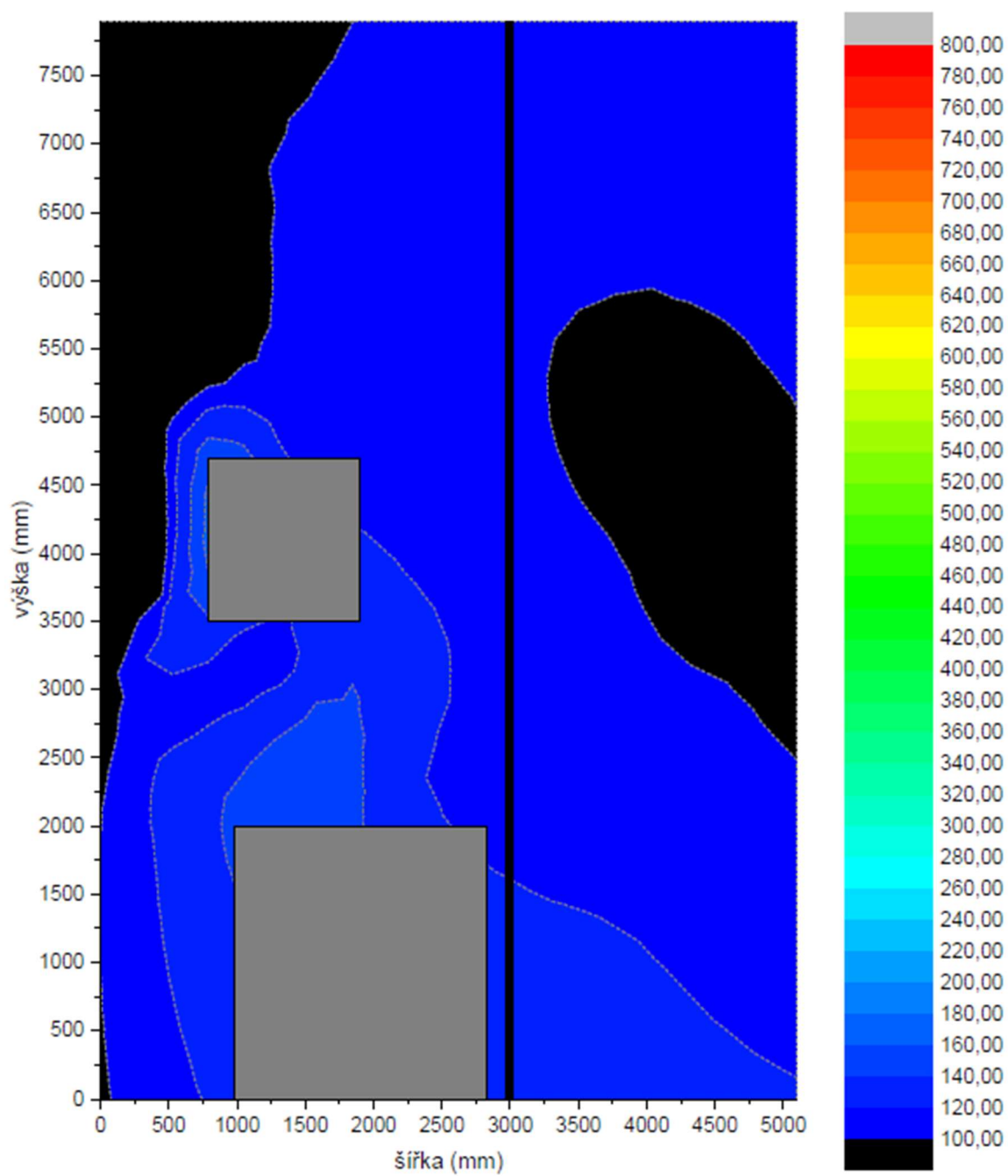
*Obr. 165 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 52–54 minuty pro zkoušku EPS*



**Obr. 166** – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 54–56 minuty pro zkoušku EPS

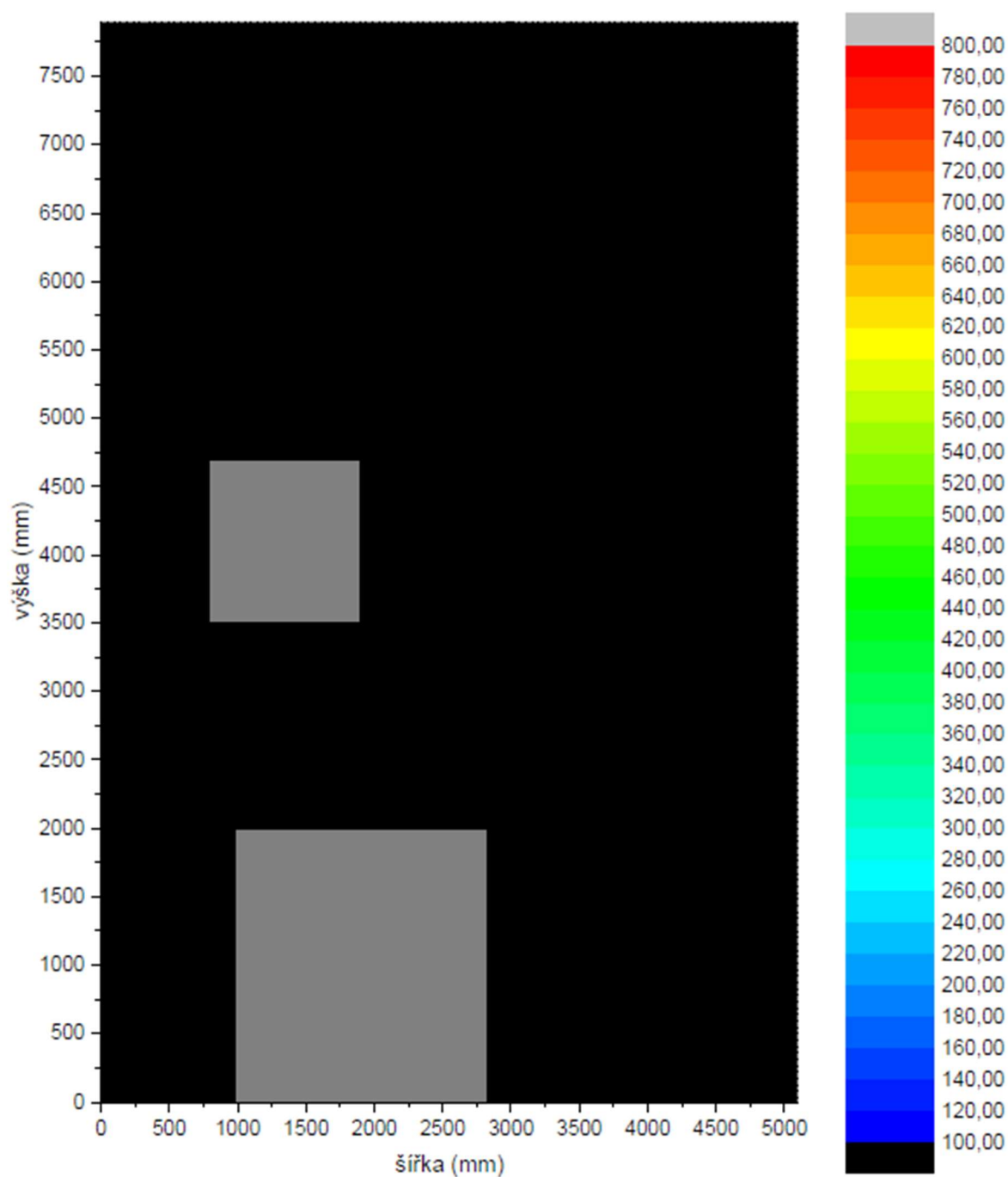


*Obr. 167 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 56–58 minuty pro zkoušku EPS*



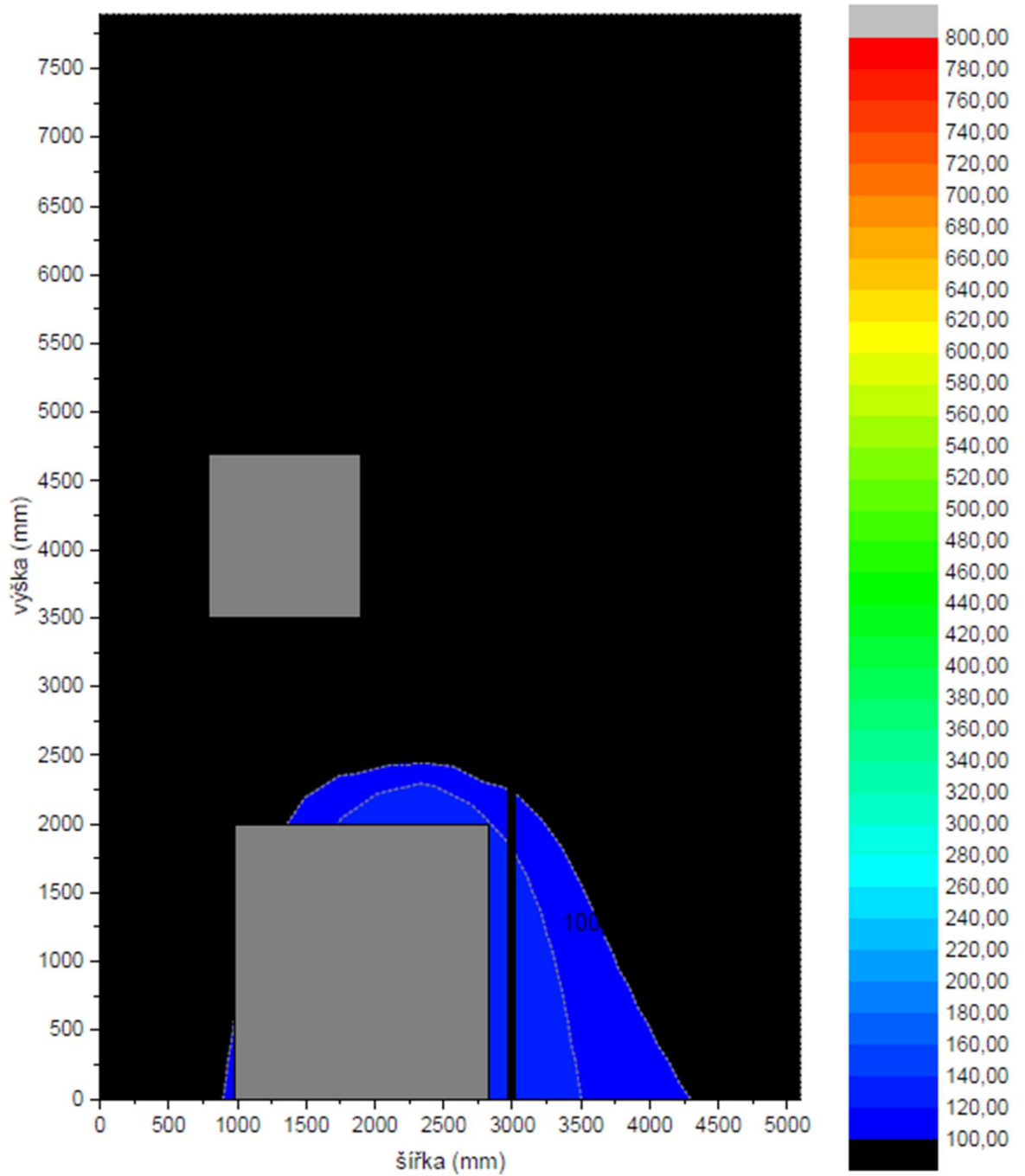
*Obr. 168 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 58–60 minuty pro zkoušku EPS*

## Příloha 5 – Průměrné rozložení vnitřních teplot velkorozměrové zkoušky MW

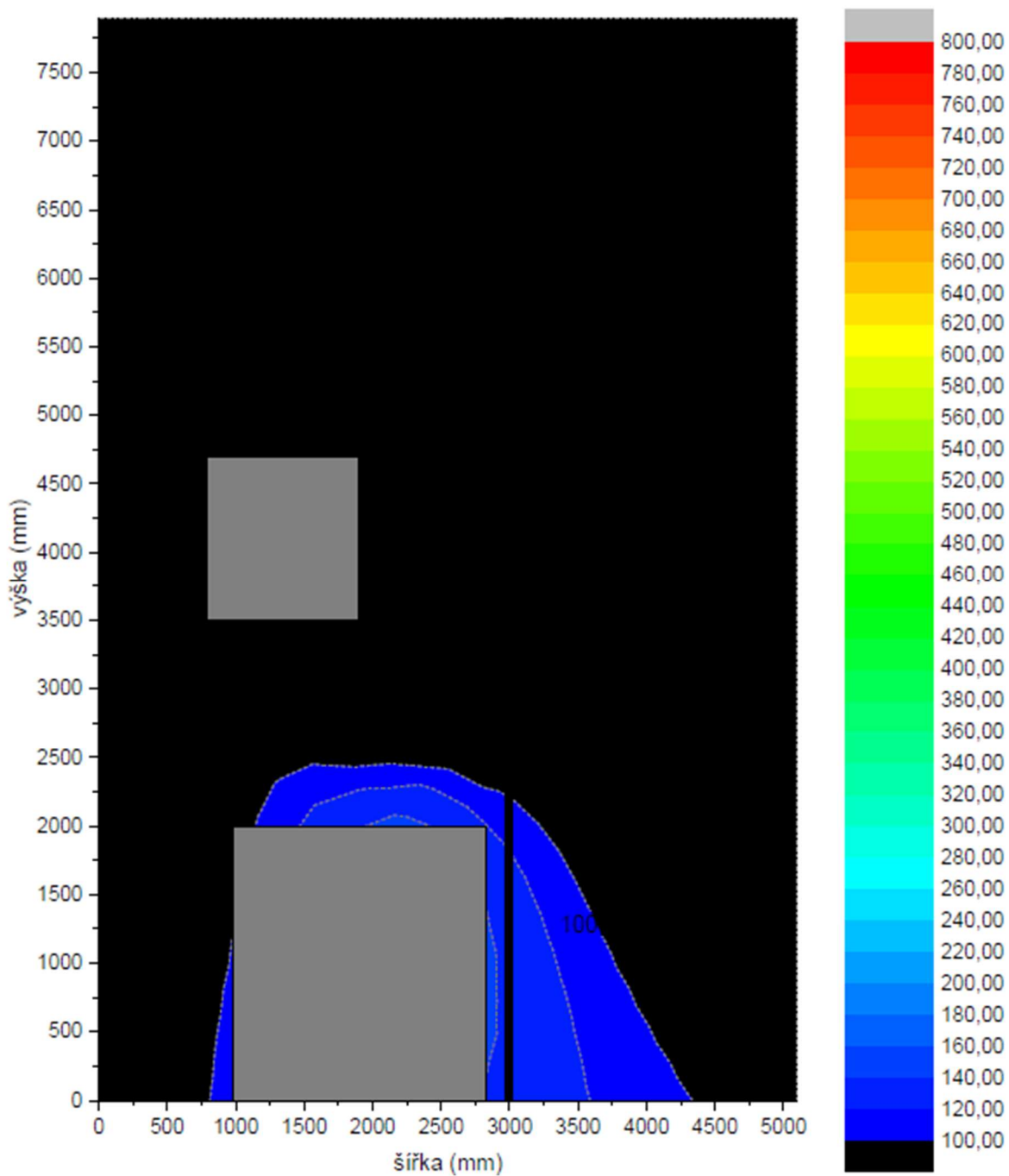


*Obr. 169 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 0–40 minuty pro zkoušku MW*

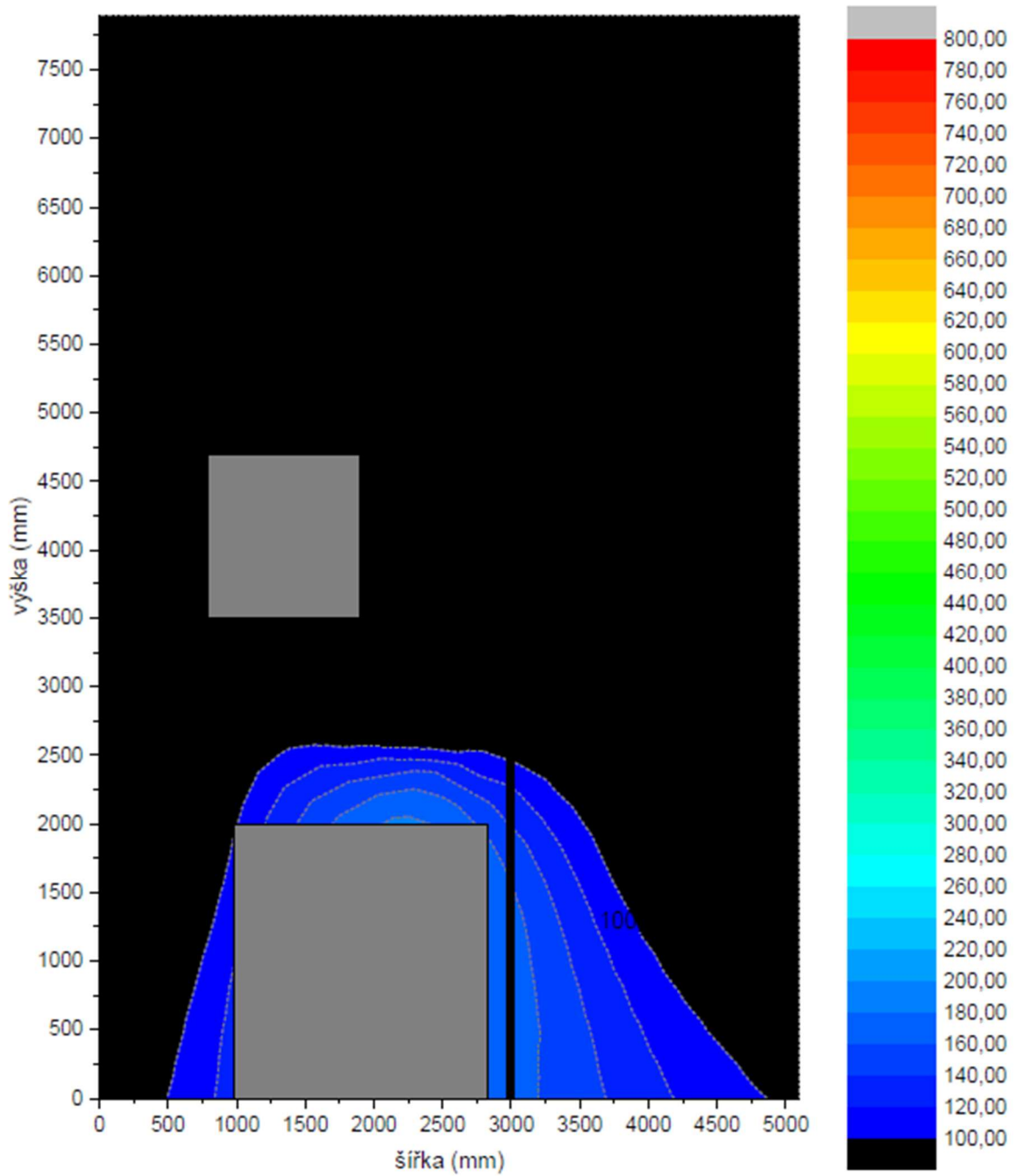




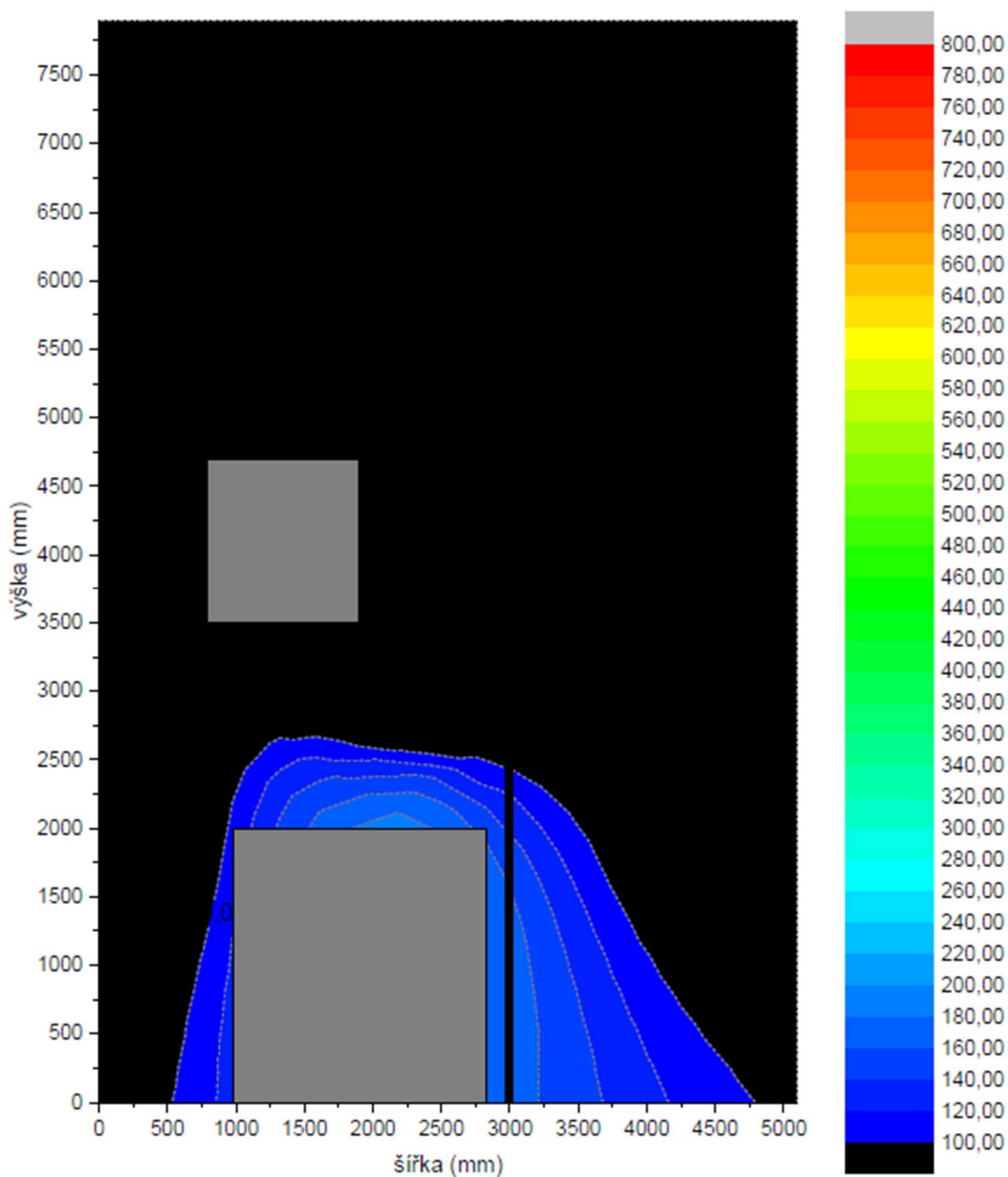
*Obr. 170 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 40–42 minuty pro zkoušku MW*



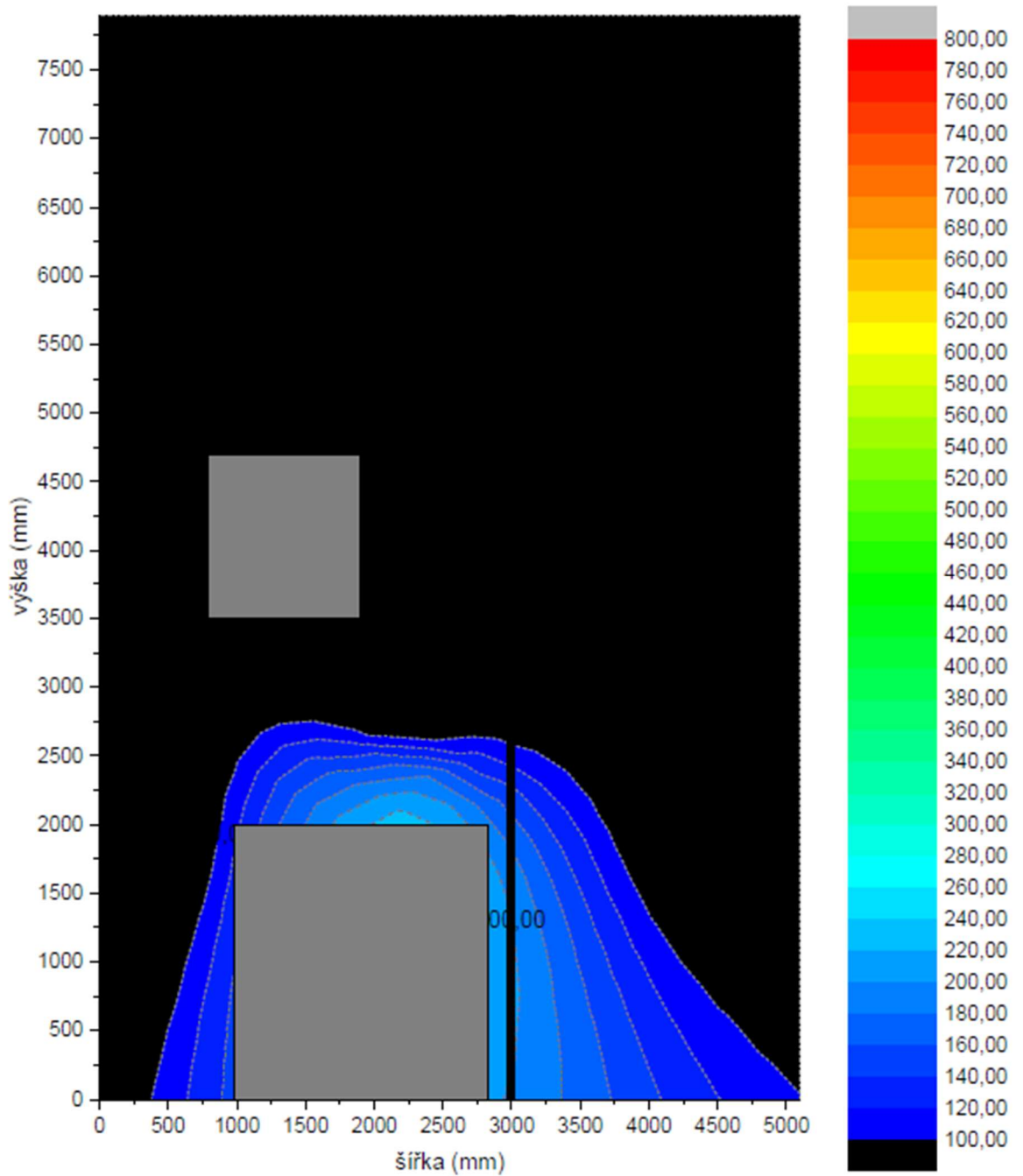
*Obr. 171 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 42–44 minuty pro zkoušku MW*



**Obr. 172** – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 44–46 minuty pro zkoušku MW

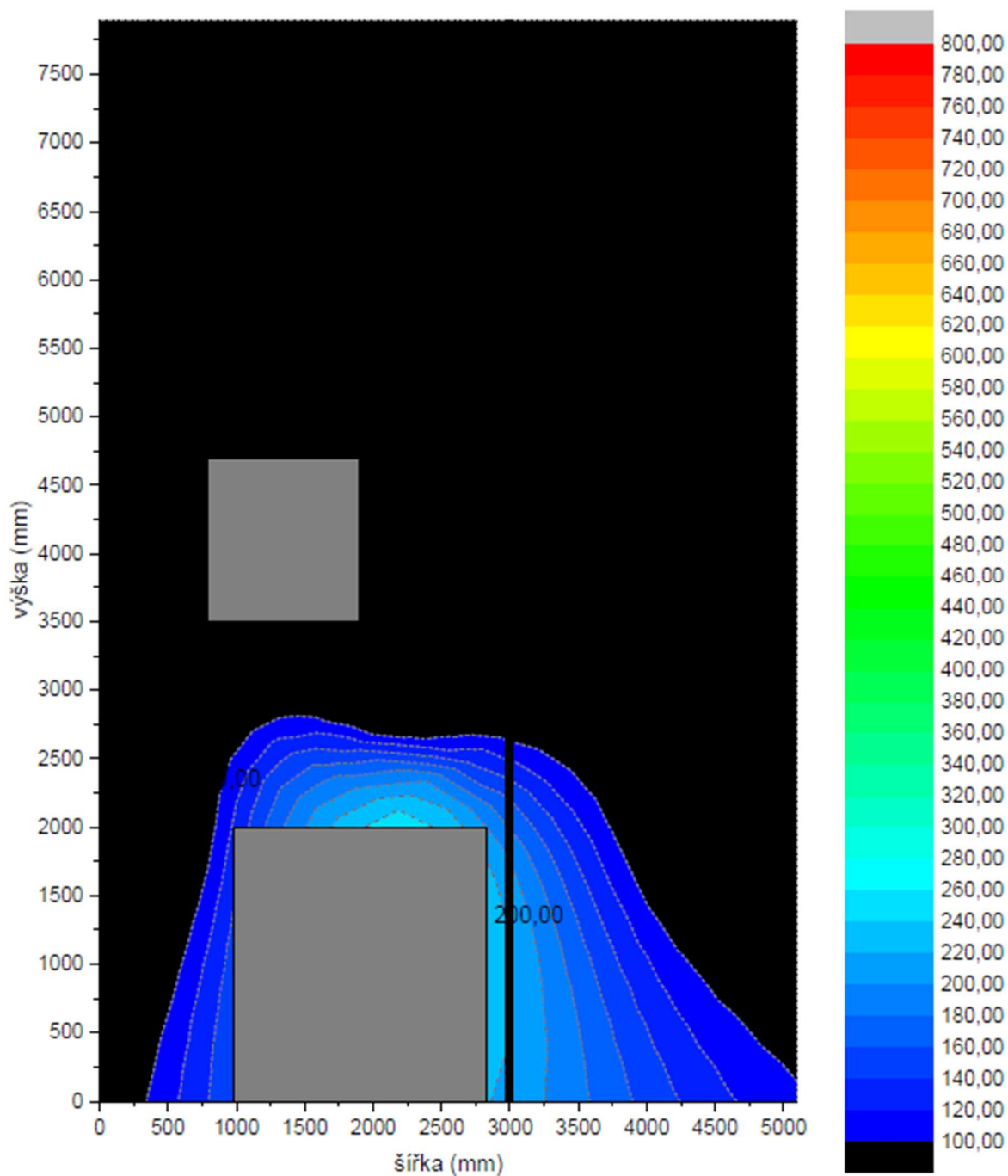


*Obr. 173 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 46–48 minuty pro zkoušku MW*

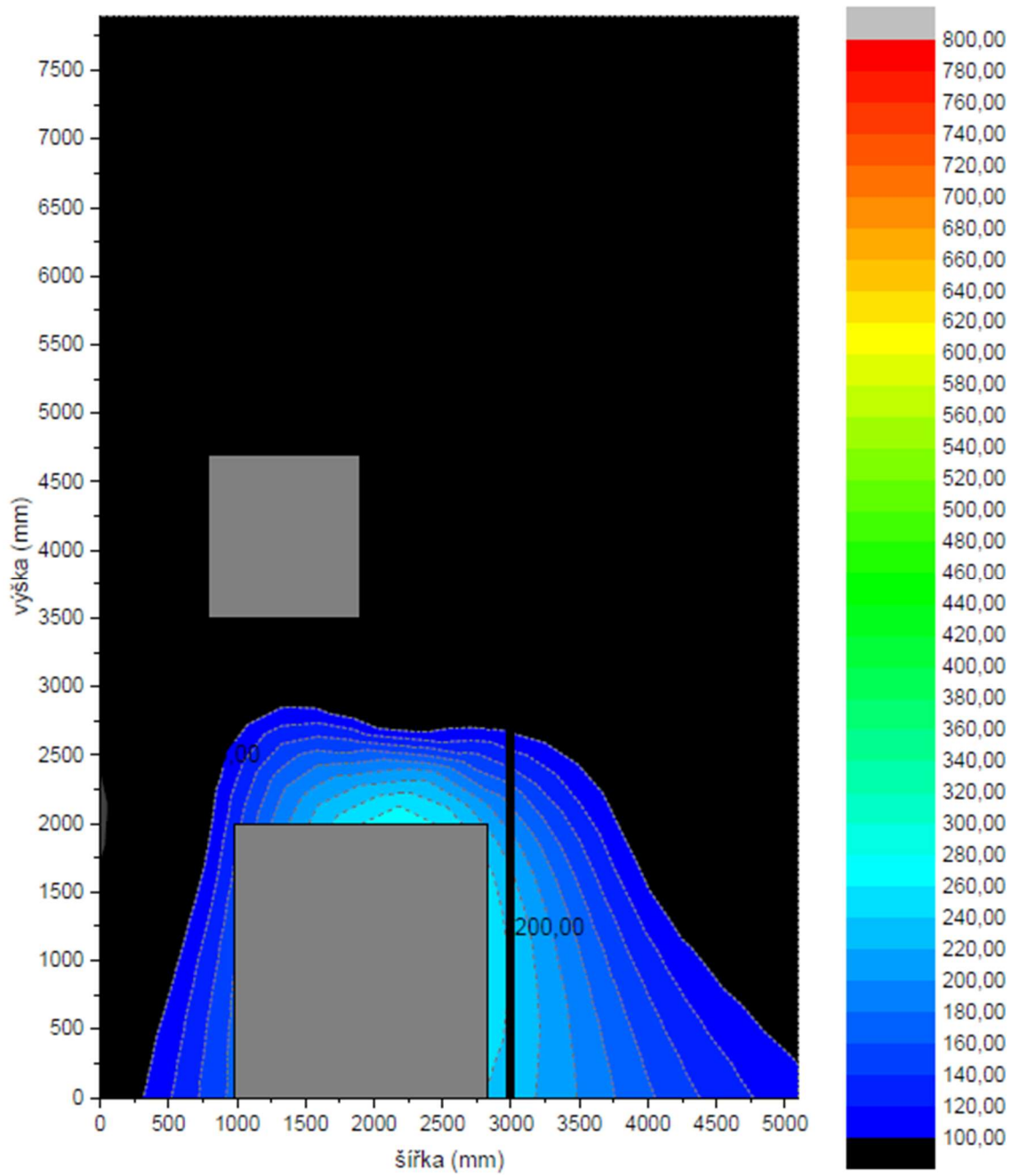


*Obr. 174 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 48–50 minuty pro zkoušku MW*

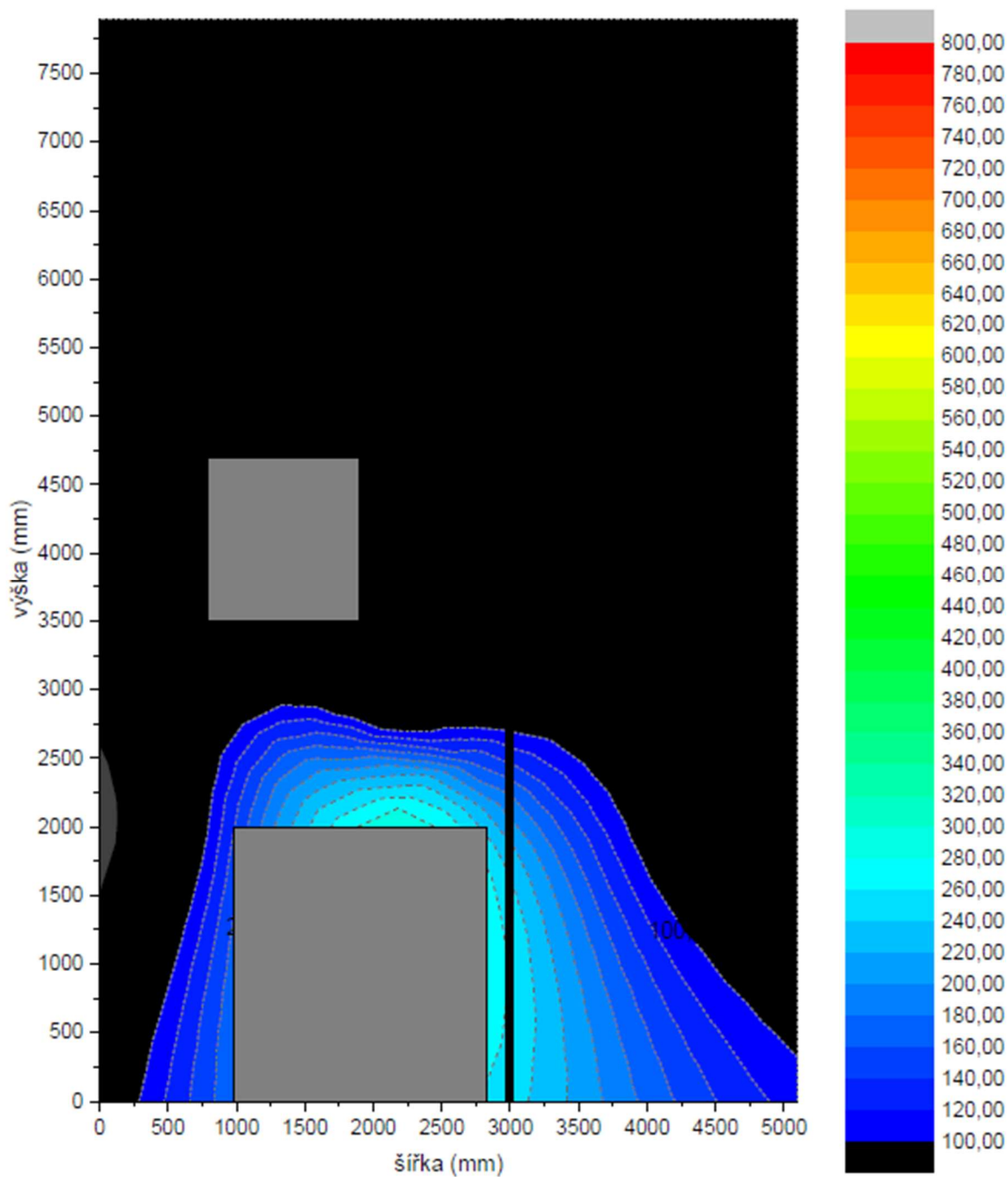




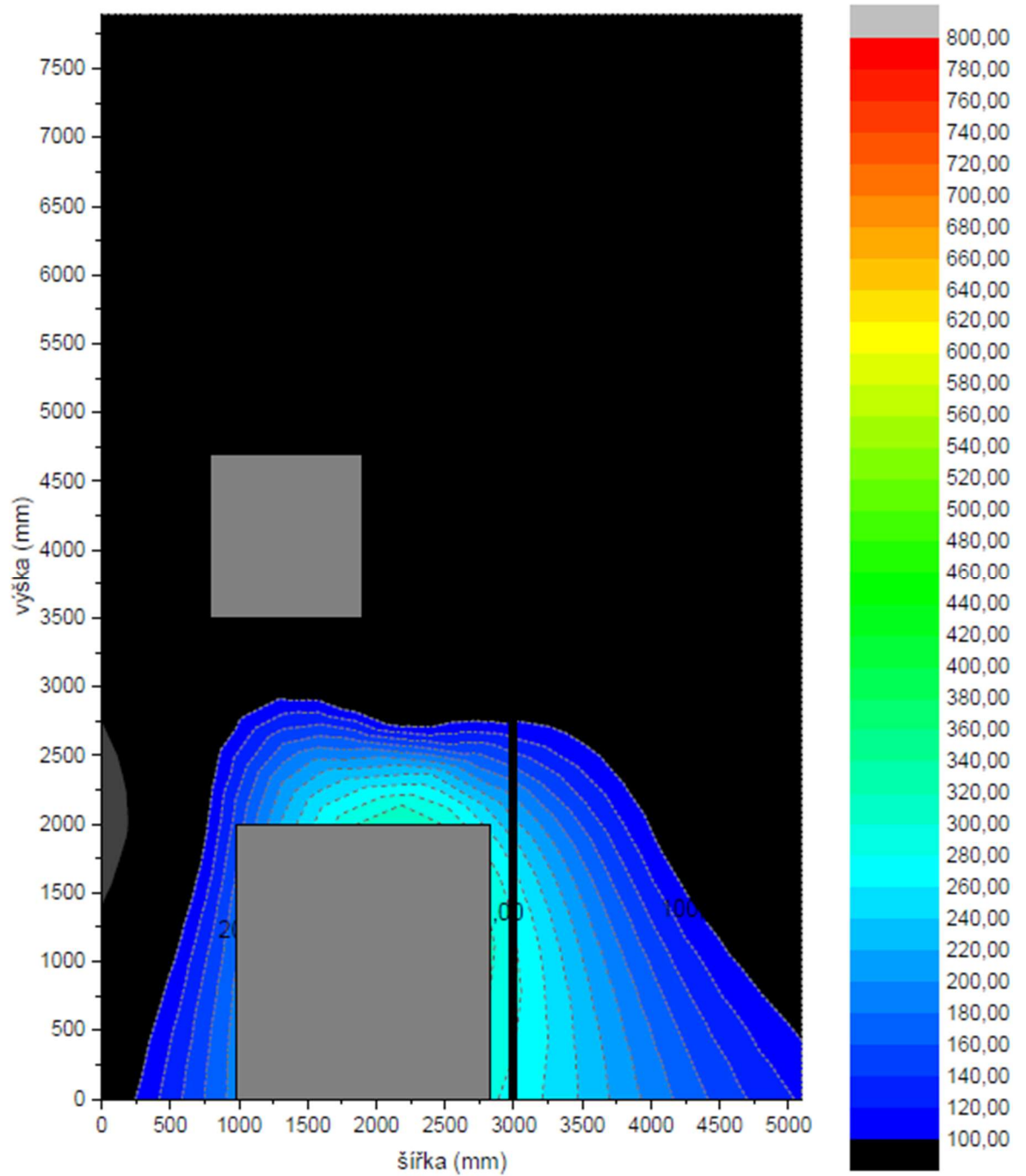
*Obr. 175 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 50–52 minuty pro zkoušku MW*



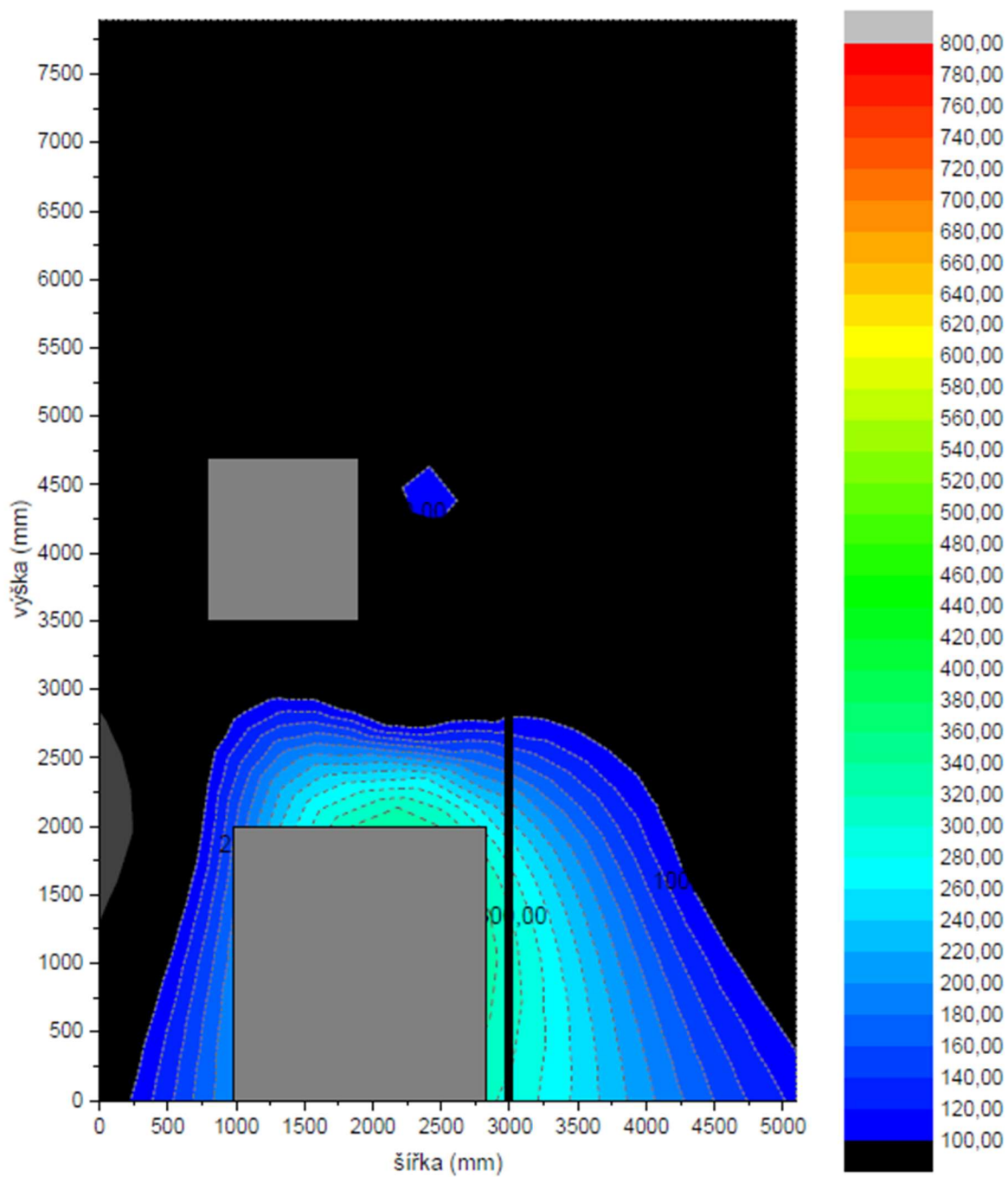
*Obr. 176 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 52–54 minuty pro zkoušku MW*



*Obr. 177 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 54–56 minuty pro zkoušku MW*



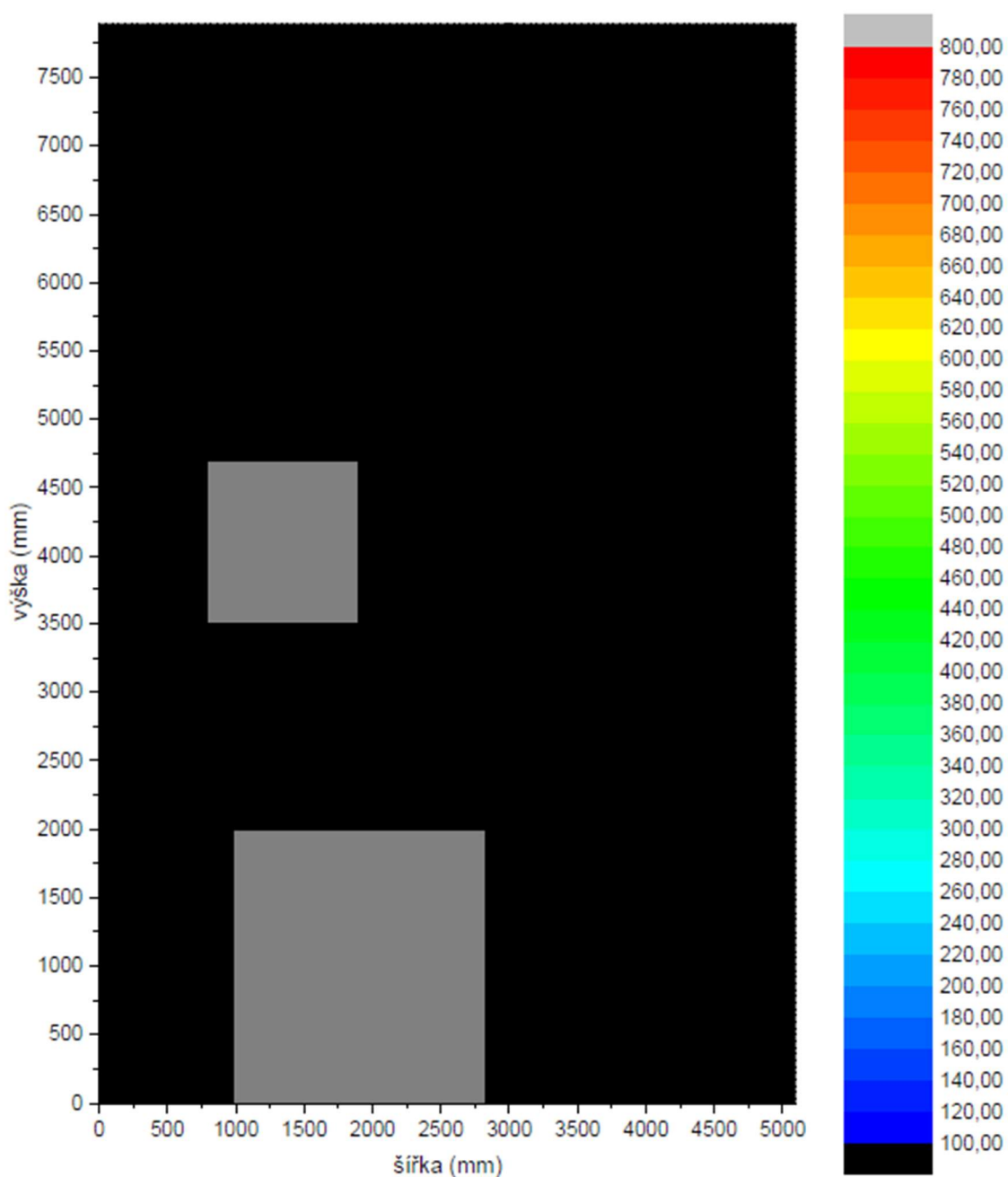
**Obr. 178** – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 56–58 minuty pro zkoušku MW



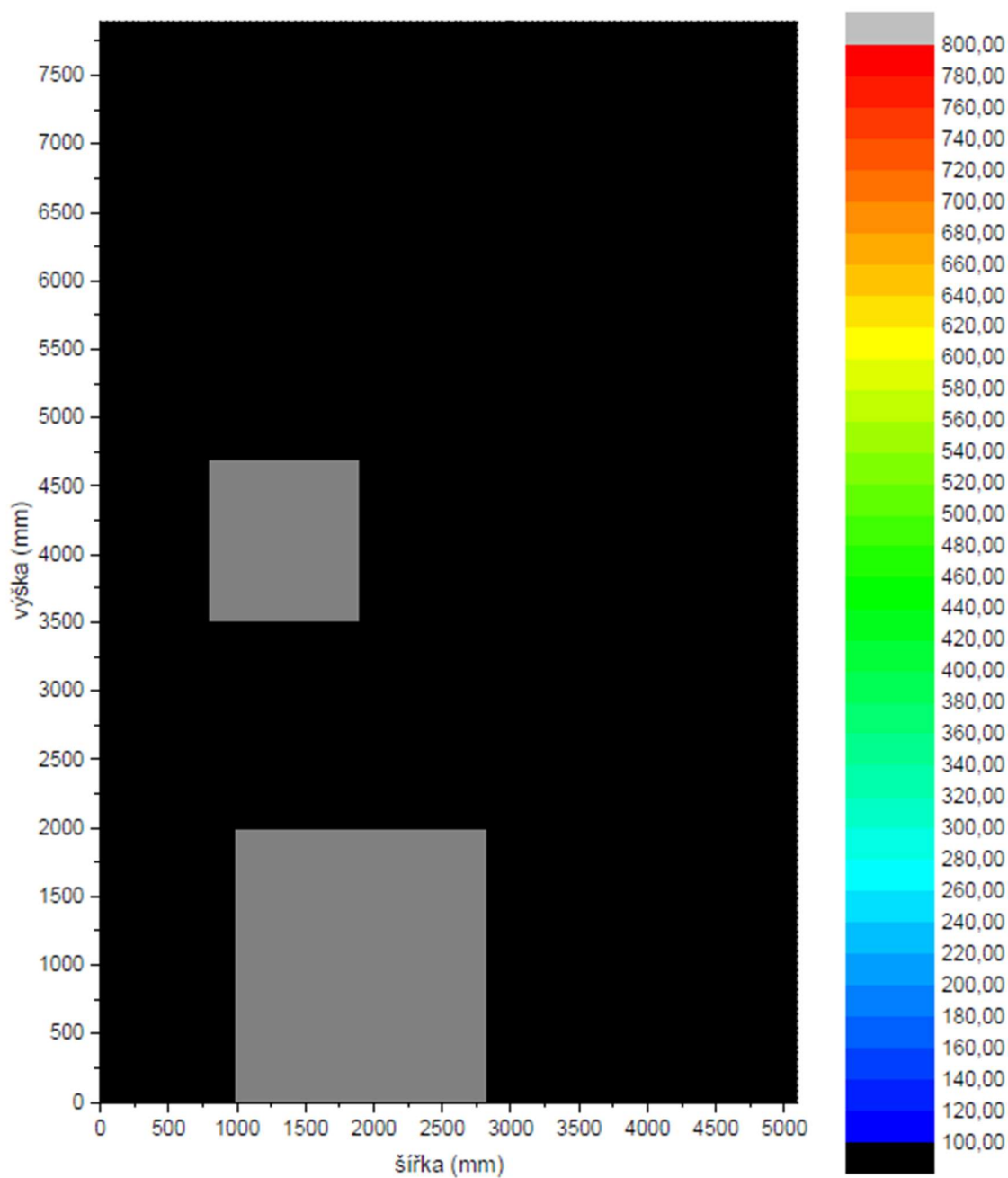
*Obr. 179 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 58–60 minuty pro zkoušku MW*



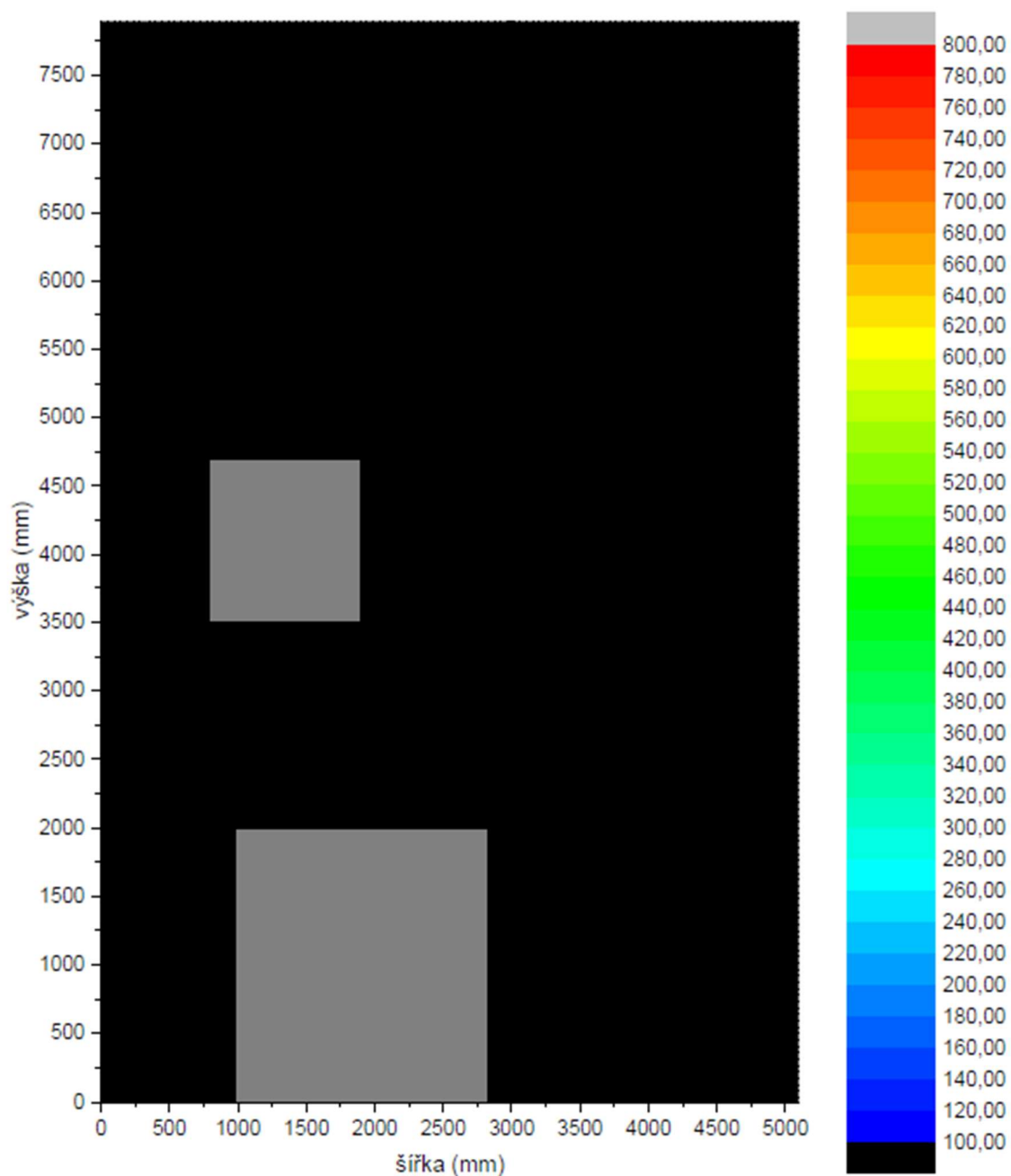
## Příloha 6 – Průměrné rozložení vnitřních teplot velkorozměrové zkoušky s bariérou



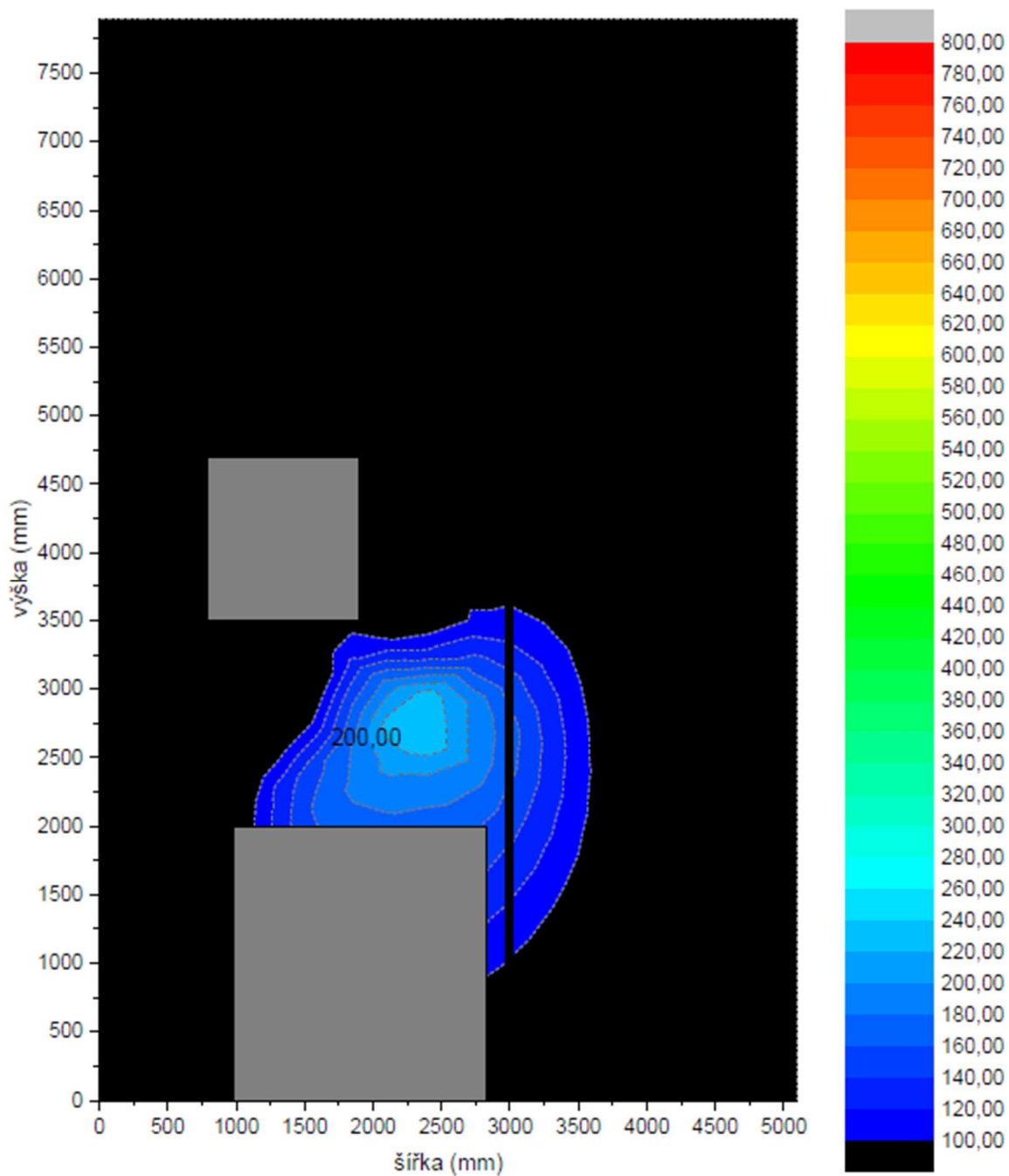
*Obr. 180 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 0–2 minuty pro zkoušku s bariérou*



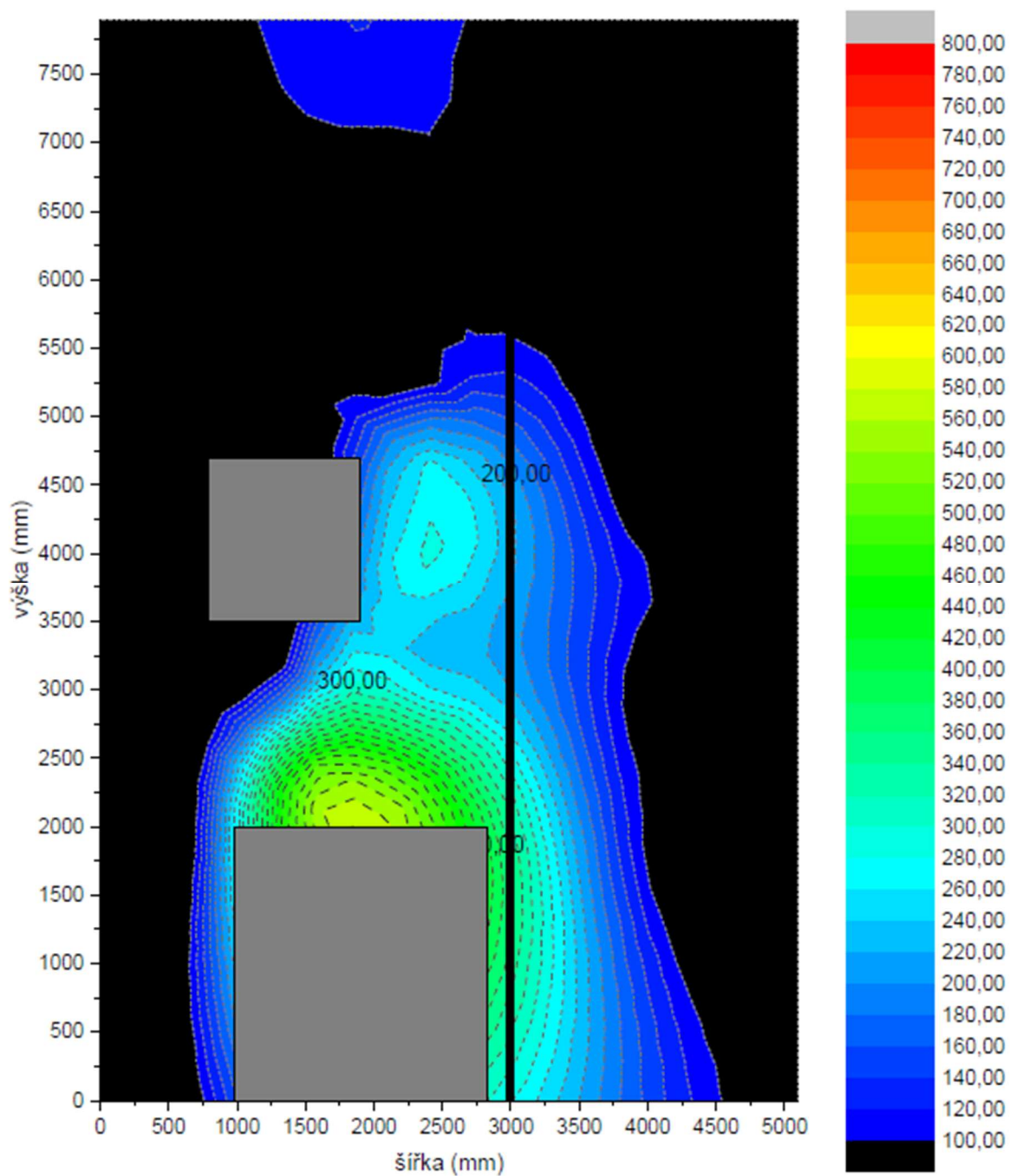
*Obr. 181 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 2–4 minuty pro zkoušku s bariérou*



*Obr. 182 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 4–6 minuty pro zkoušku s bariérou*

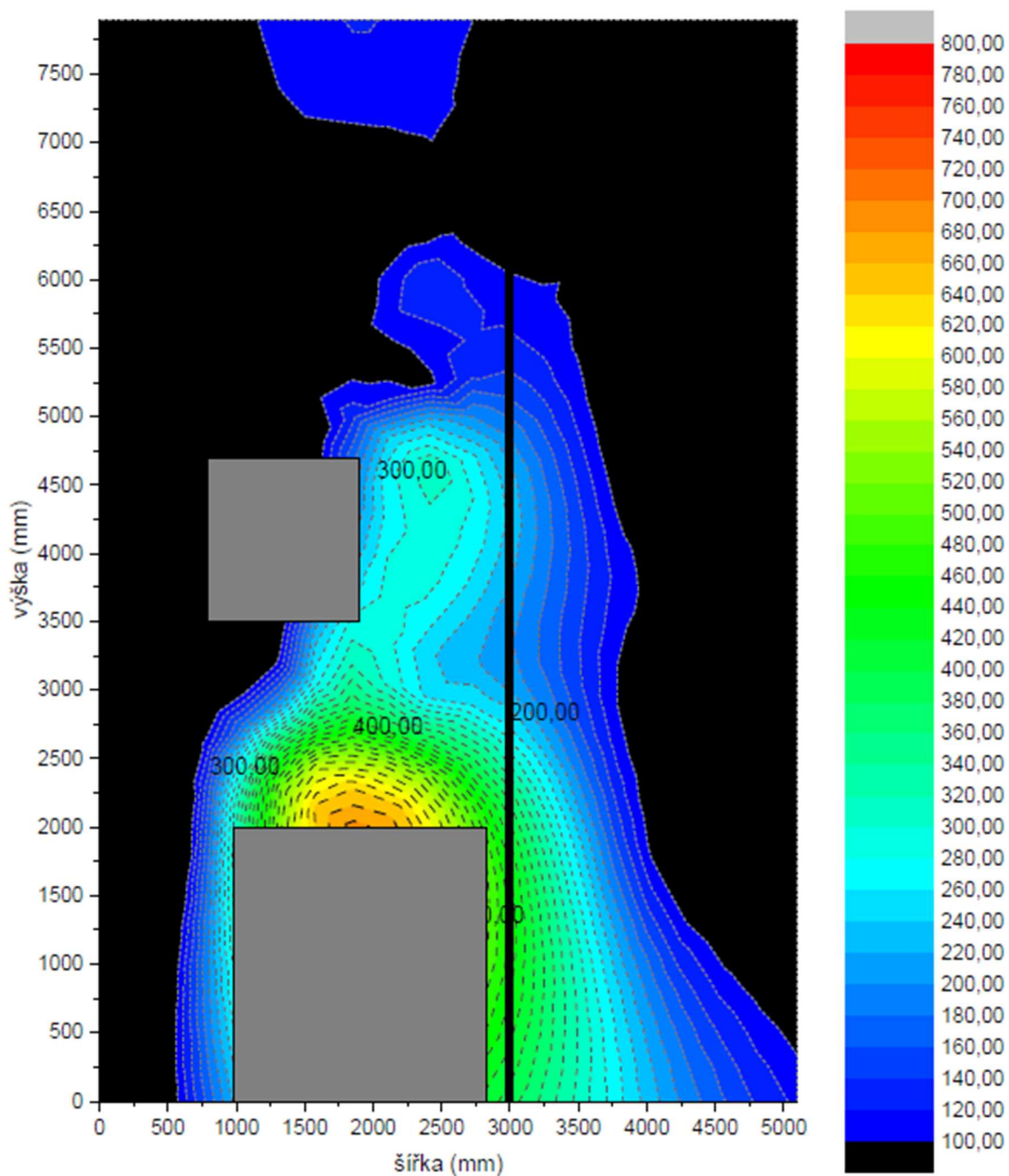


*Obr. 183 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 6–8 minuty pro zkoušku s bariérou*

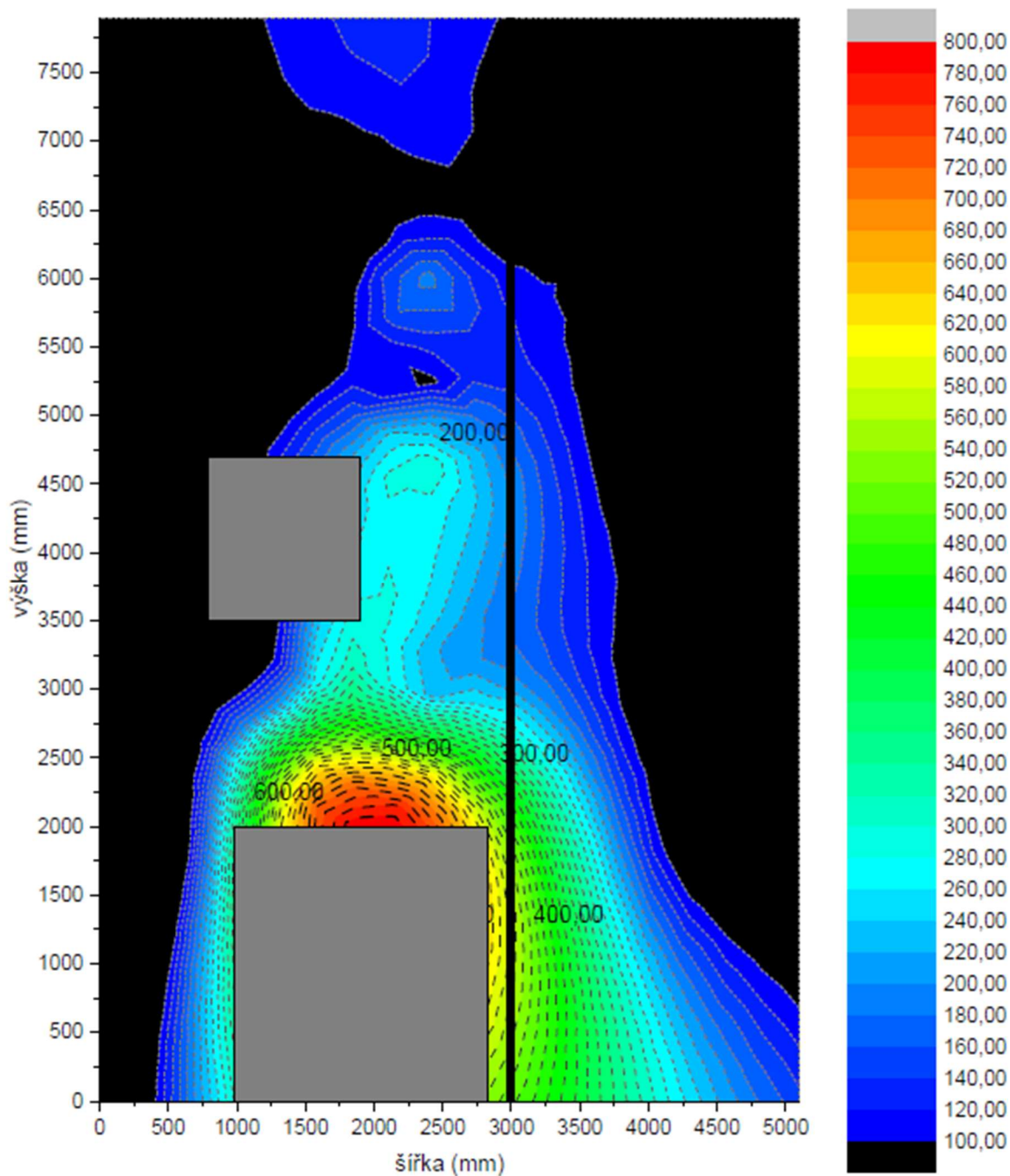


**Obr. 184** – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 8–10 minuty pro zkoušku s bariérou

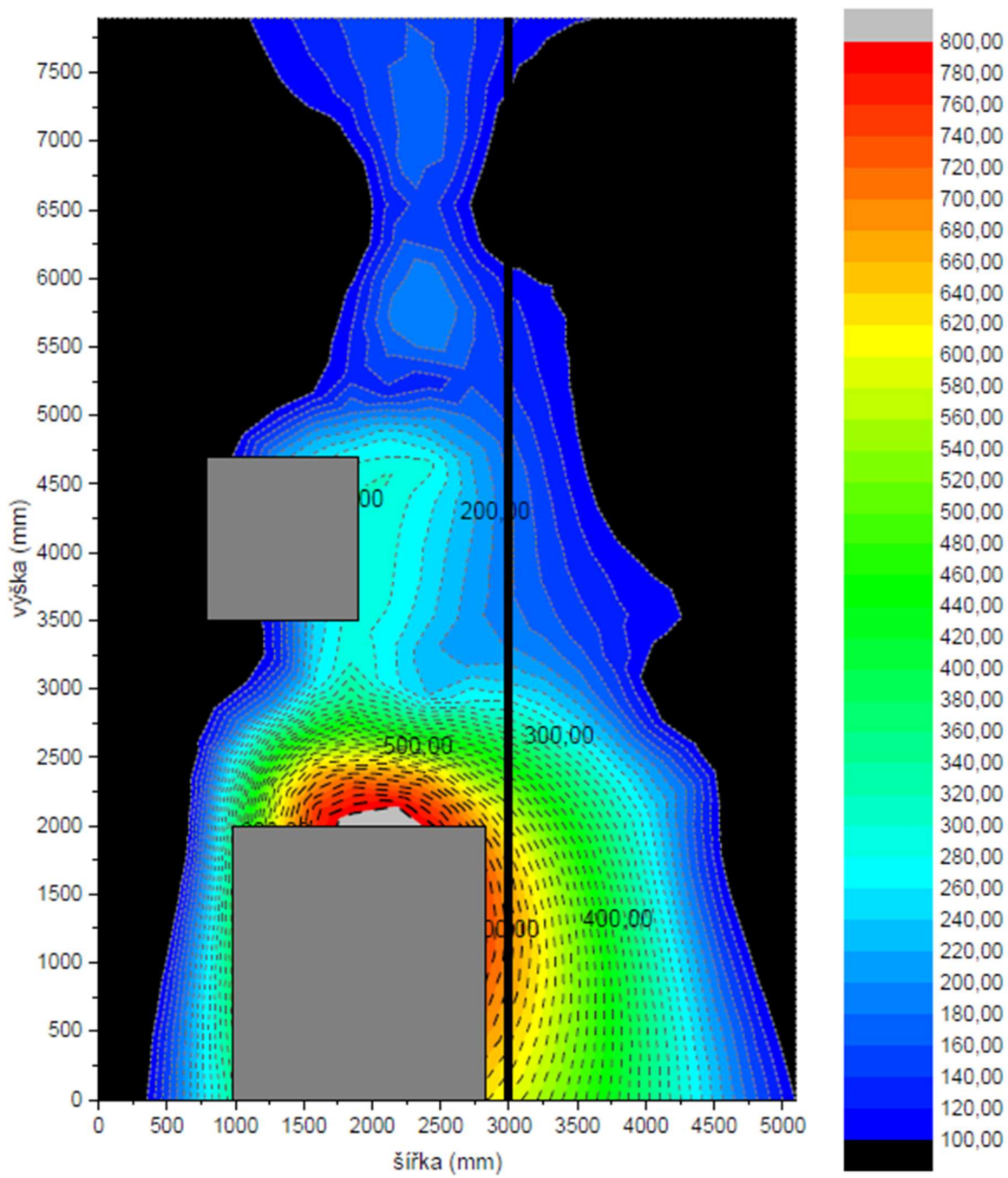




*Obr. 185 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 10–12 minuty pro zkoušku s bariérou*



*Obr. 186 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 12–14 minuty pro zkoušku s bariérou*

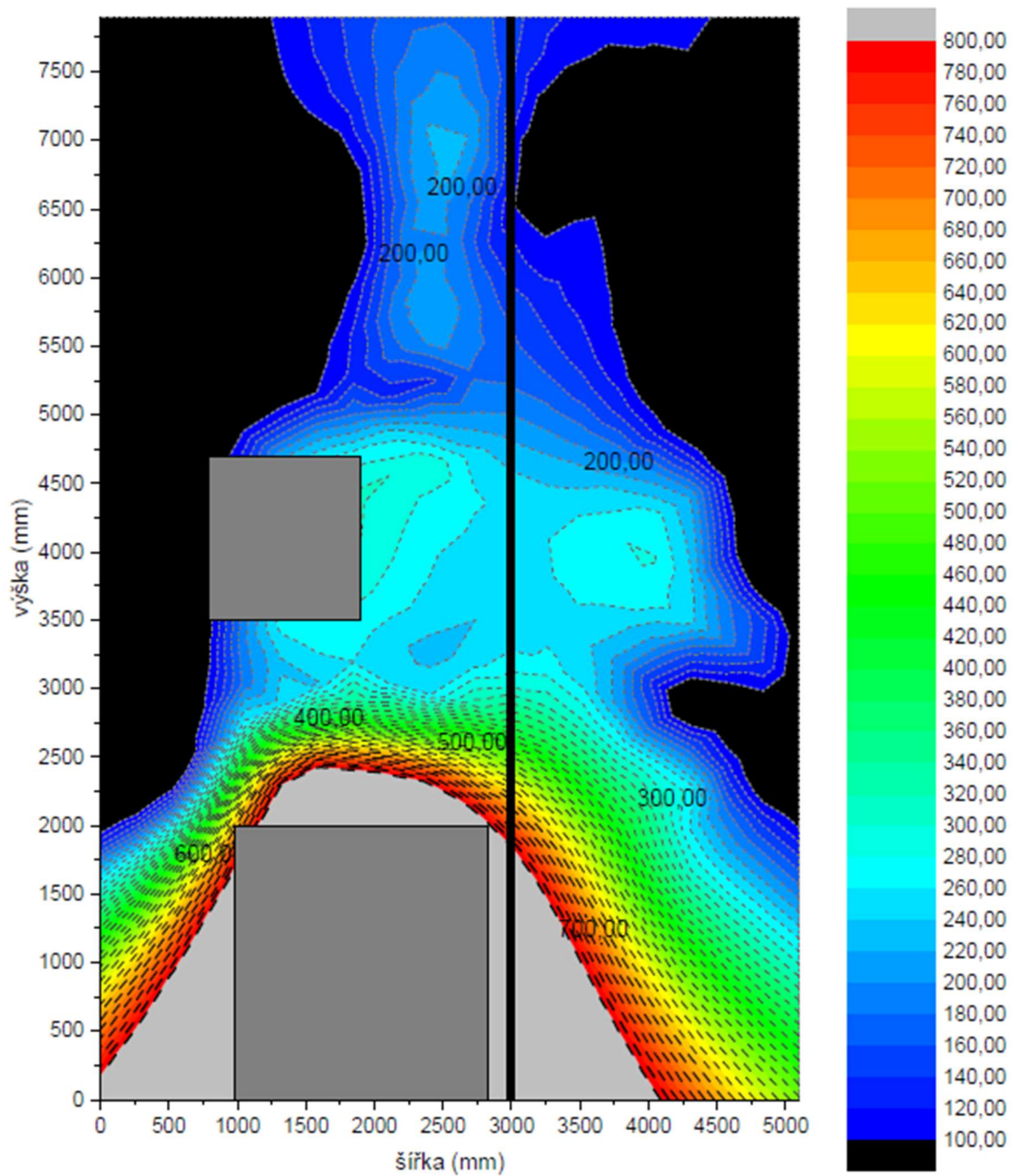


*Obr. 187 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 14–16 minuty pro zkoušku s bariérou*



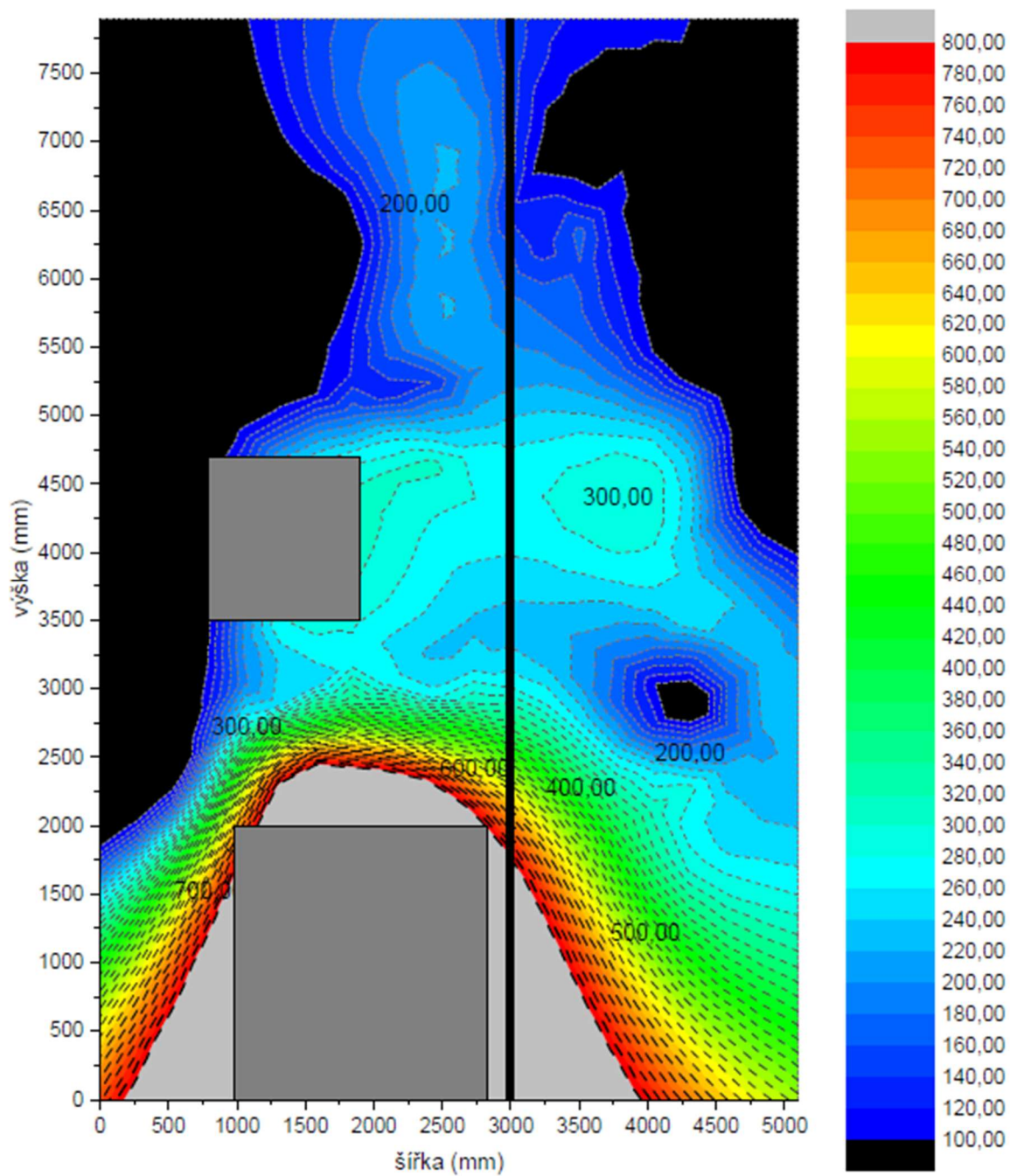


*Obr. 188 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 16–18 minuty pro zkoušku s bariérou*

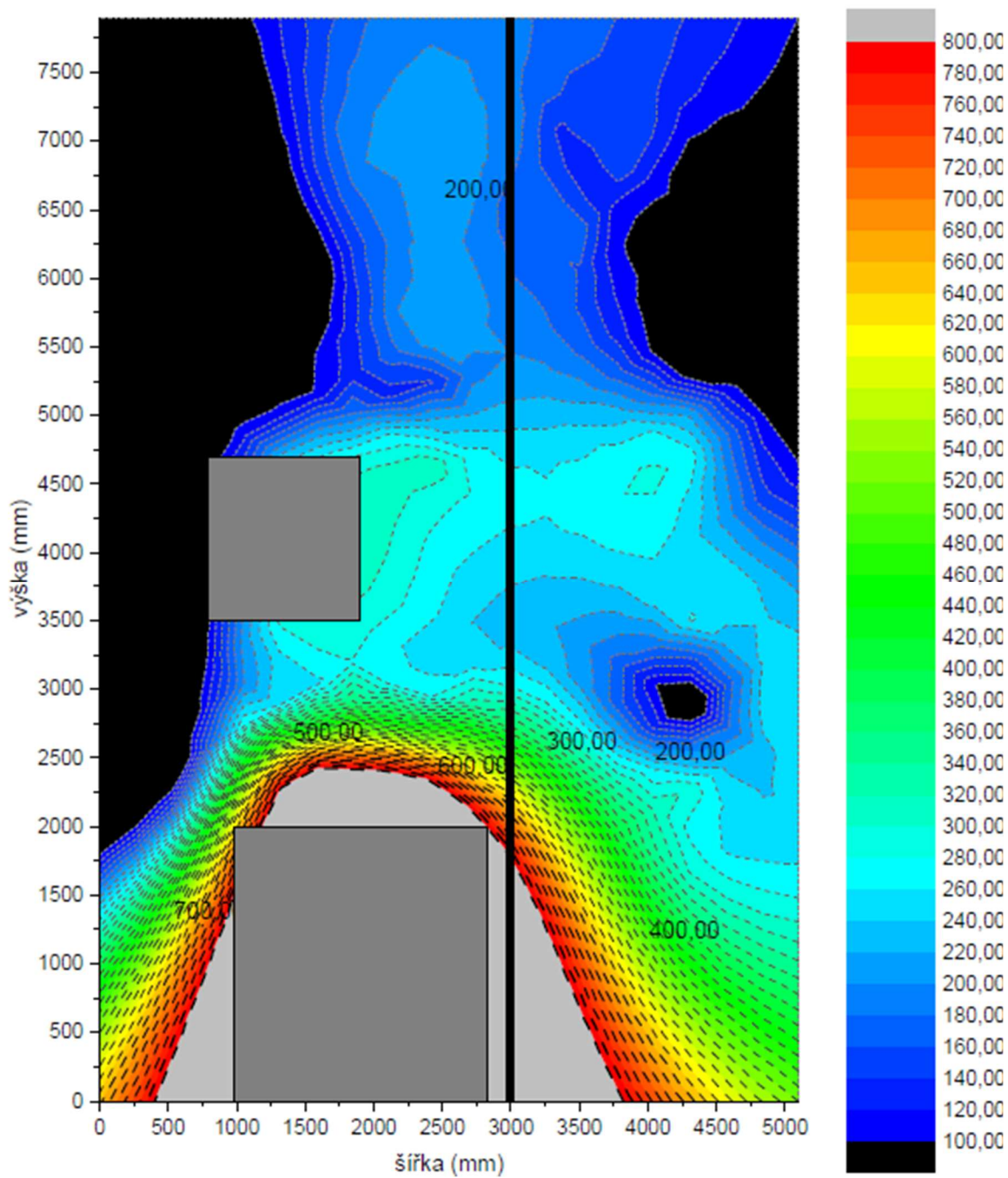


**Obr. 189** – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 18–20 minuty pro zkoušku s bariérou

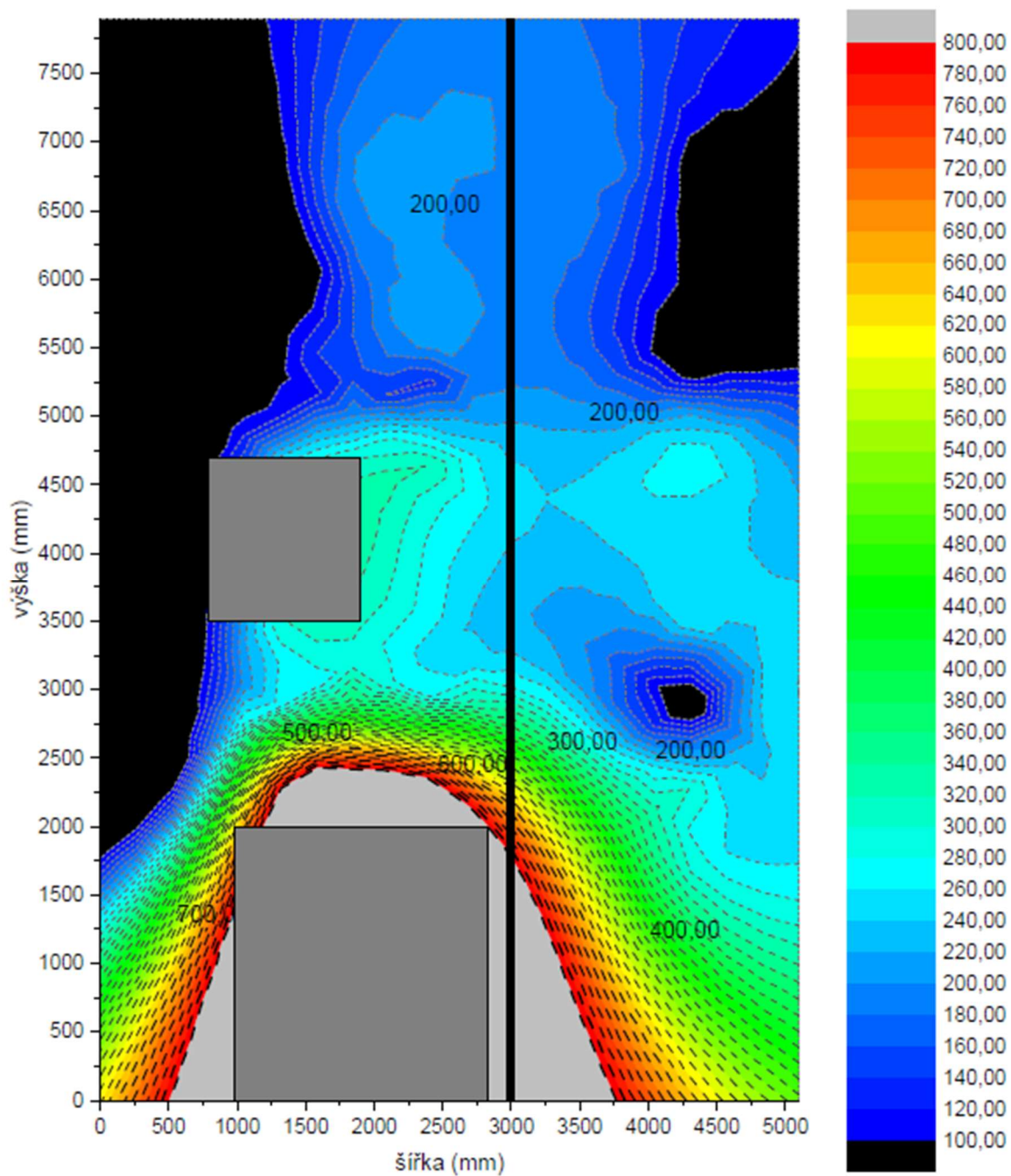




Obr. 190 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 20–22 minuty pro zkoušku s bariérou

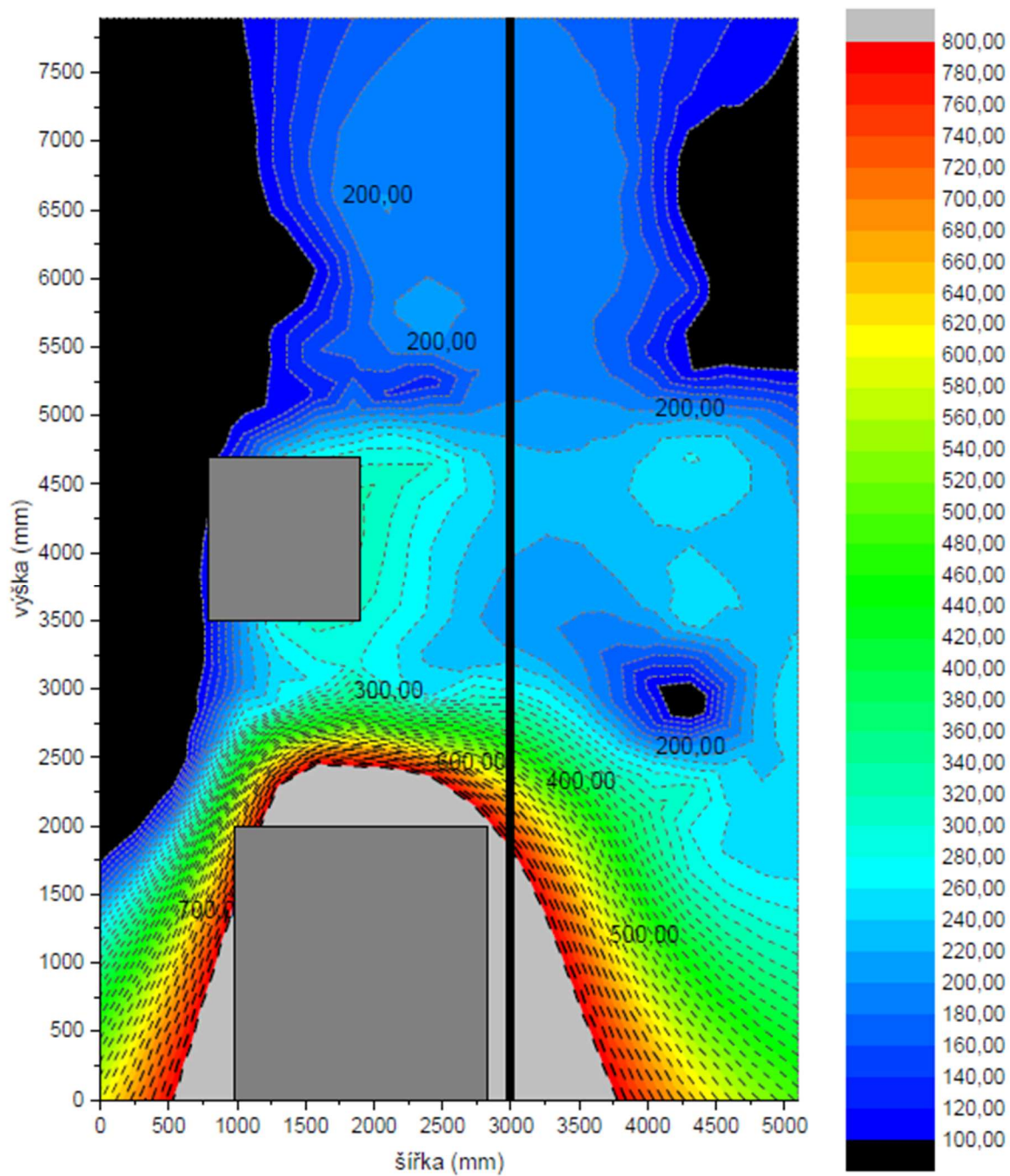


*Obr. 191 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 22–24 minuty pro zkoušku s bariérou*

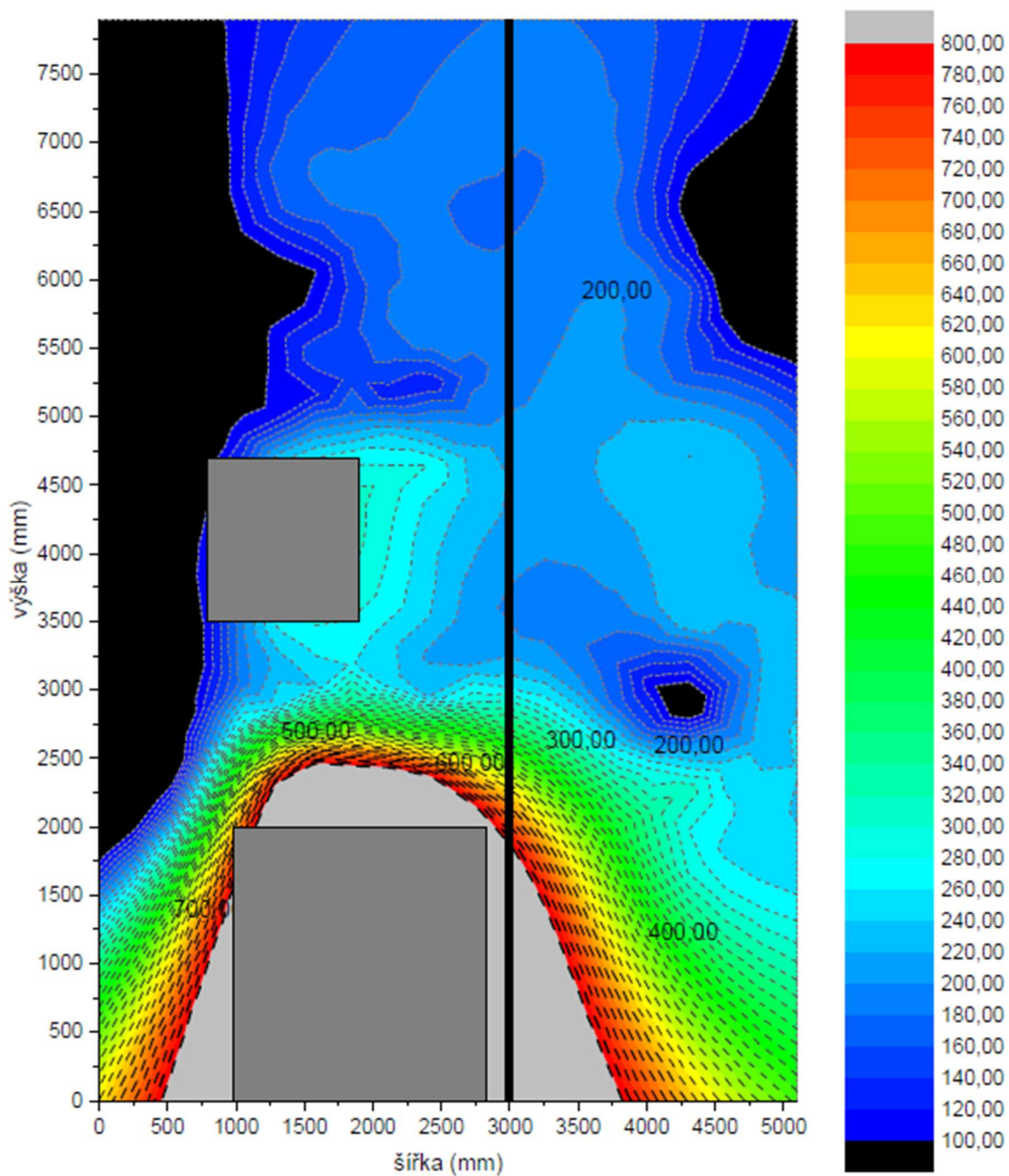


*Obr. 192 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 24–26 minuty pro zkoušku s bariérou*



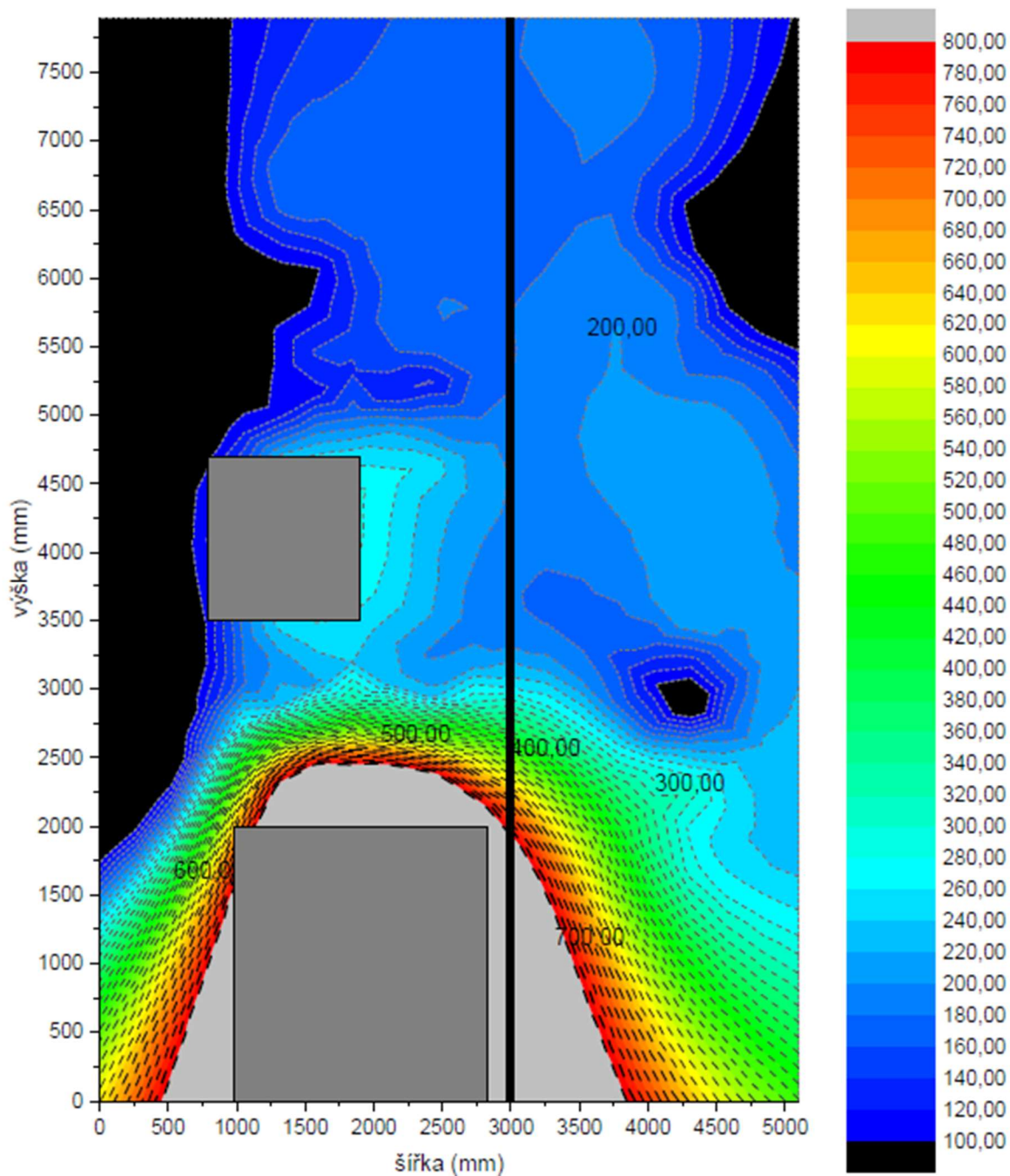


*Obr. 193 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 26–28 minuty pro zkoušku s bariérou*

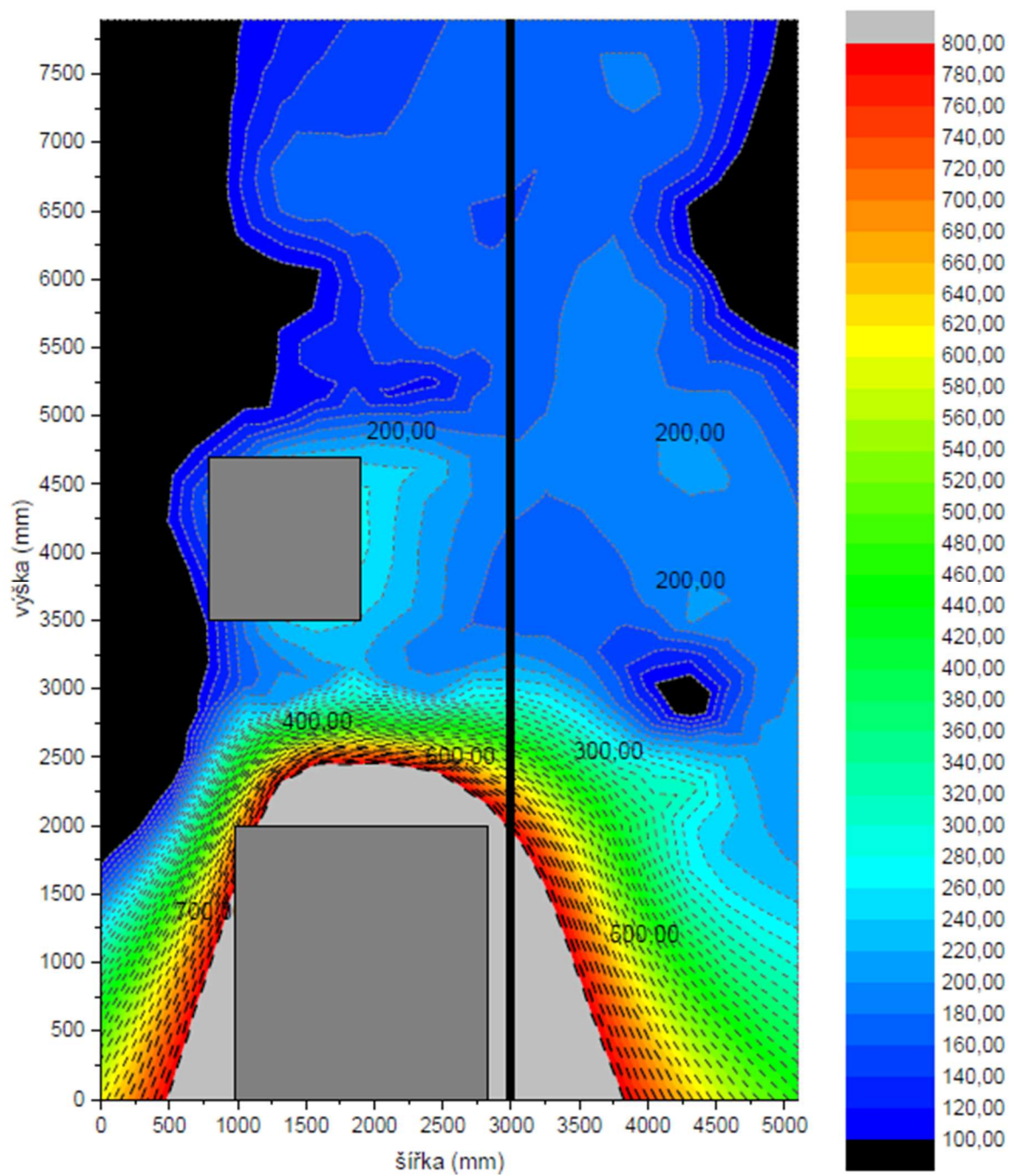


*Obr. 194 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 28–30 minuty pro zkoušku s bariérou*

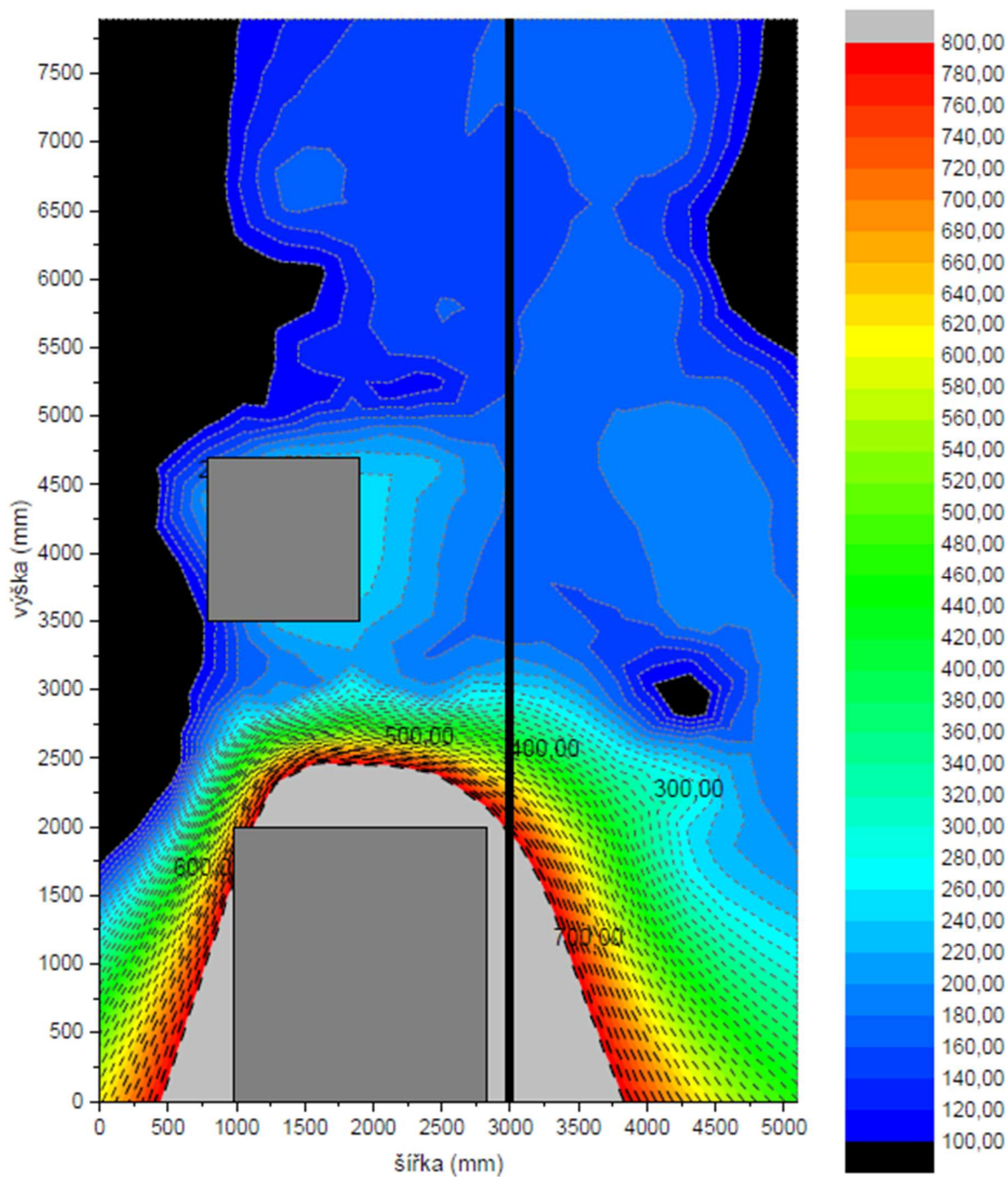




*Obr. 195 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 30–32 minuty pro zkoušku s bariérou*

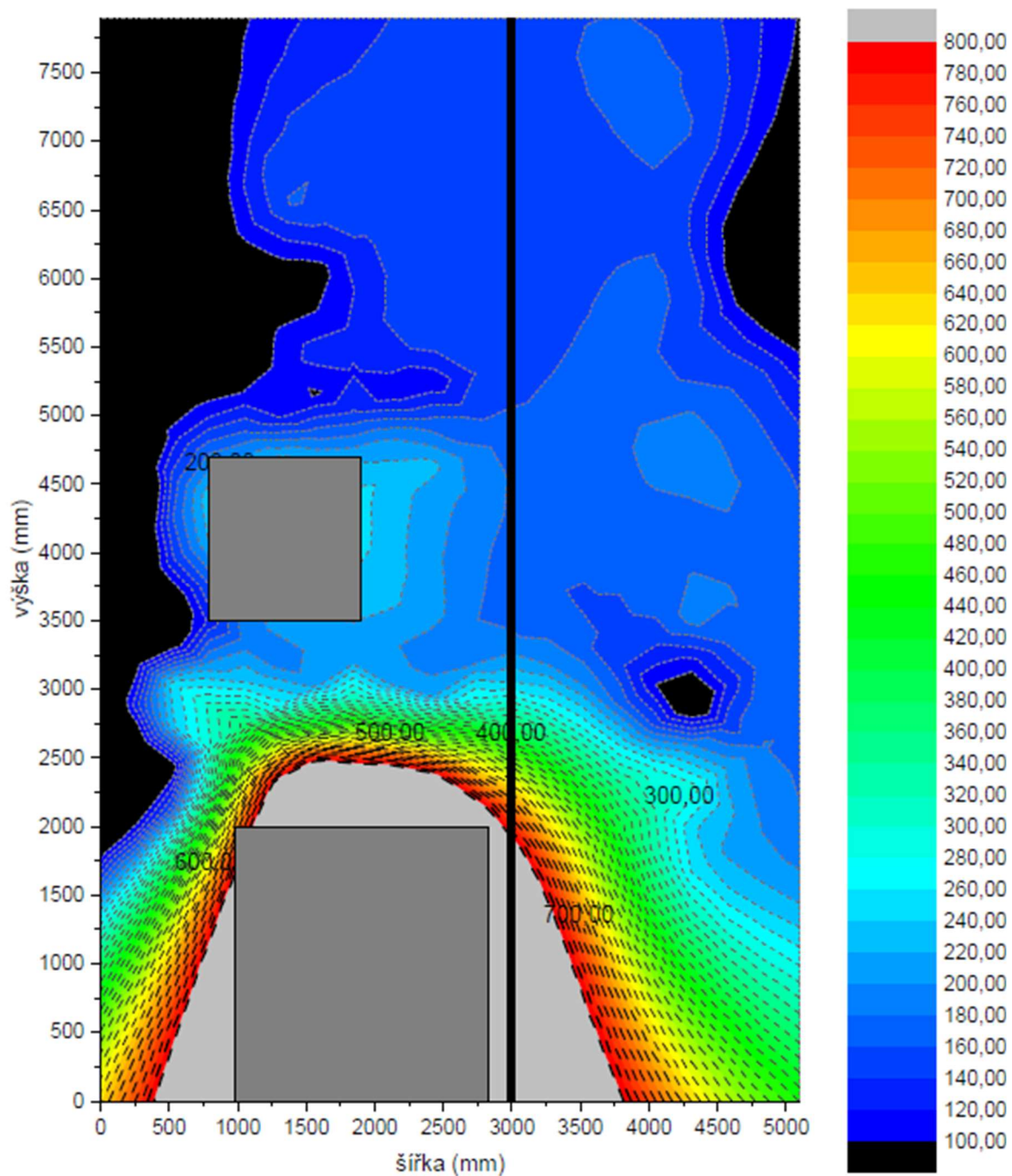


*Obr. 196 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 32–34 minuty pro zkoušku s bariérou*

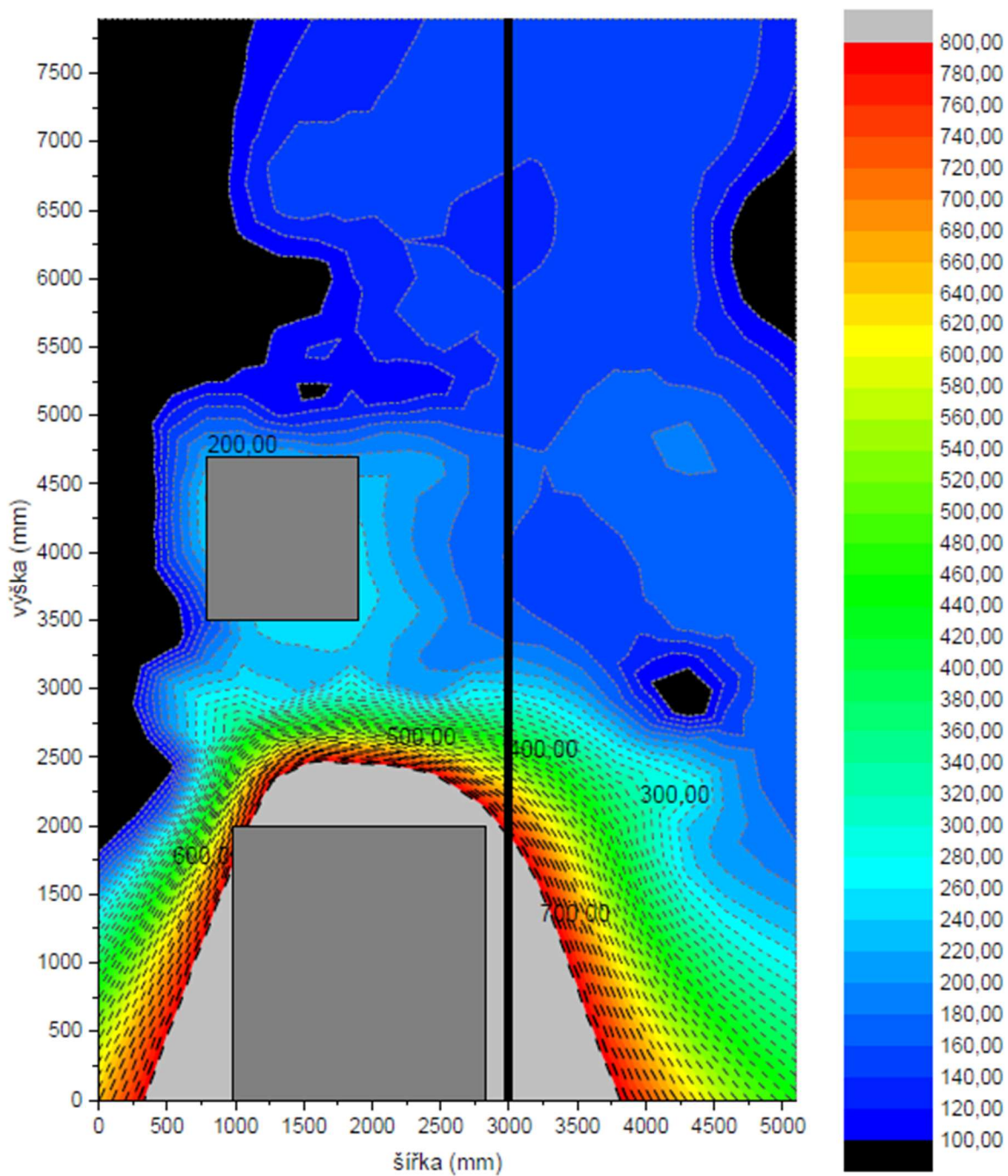


*Obr. 197 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 34–36 minuty pro zkoušku s bariérou*



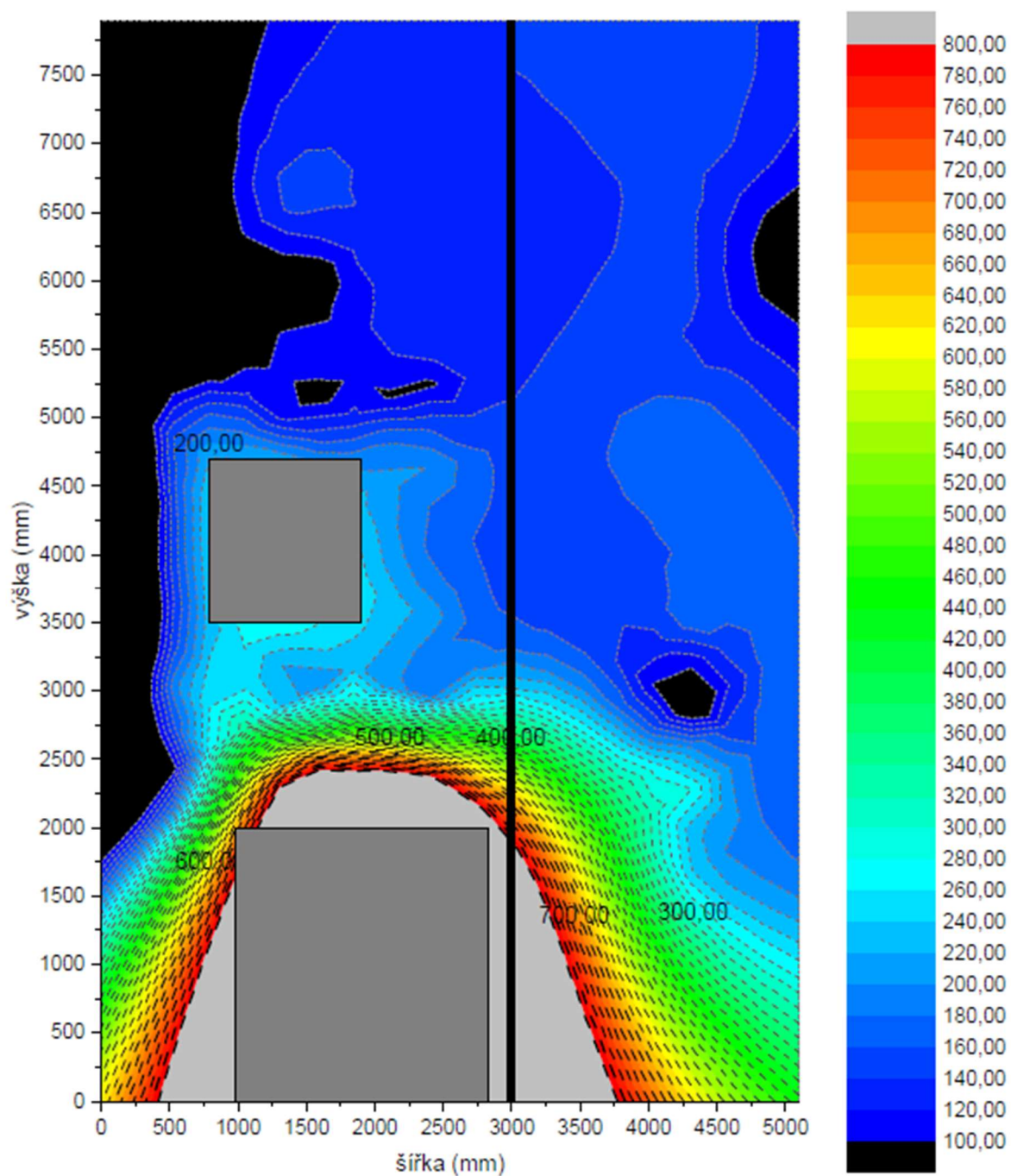


*Obr. 198 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 36–38 minuty pro zkoušku s bariérou*

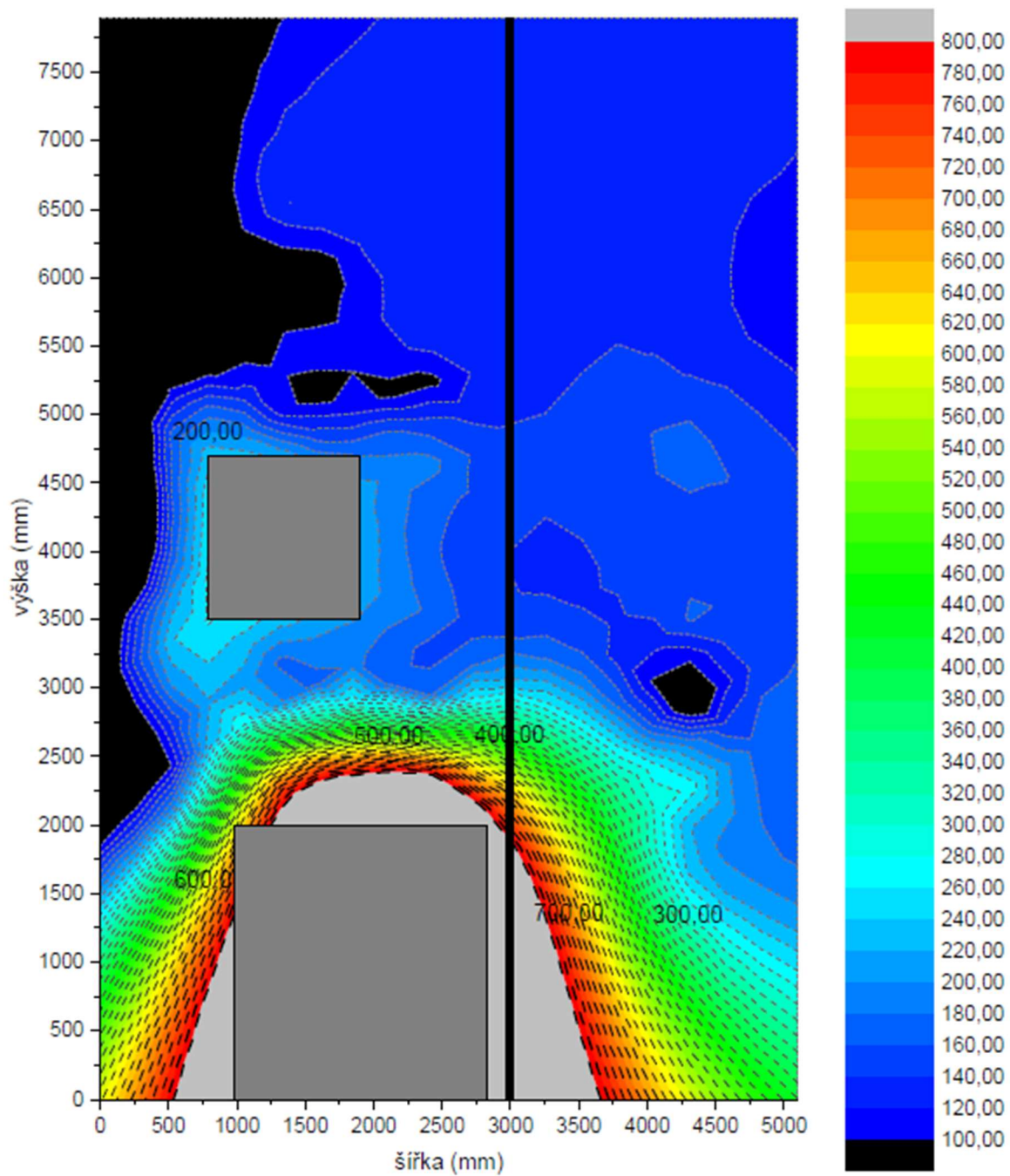


*Obr. 199 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 38–40 minuty pro zkoušku s bariérou*

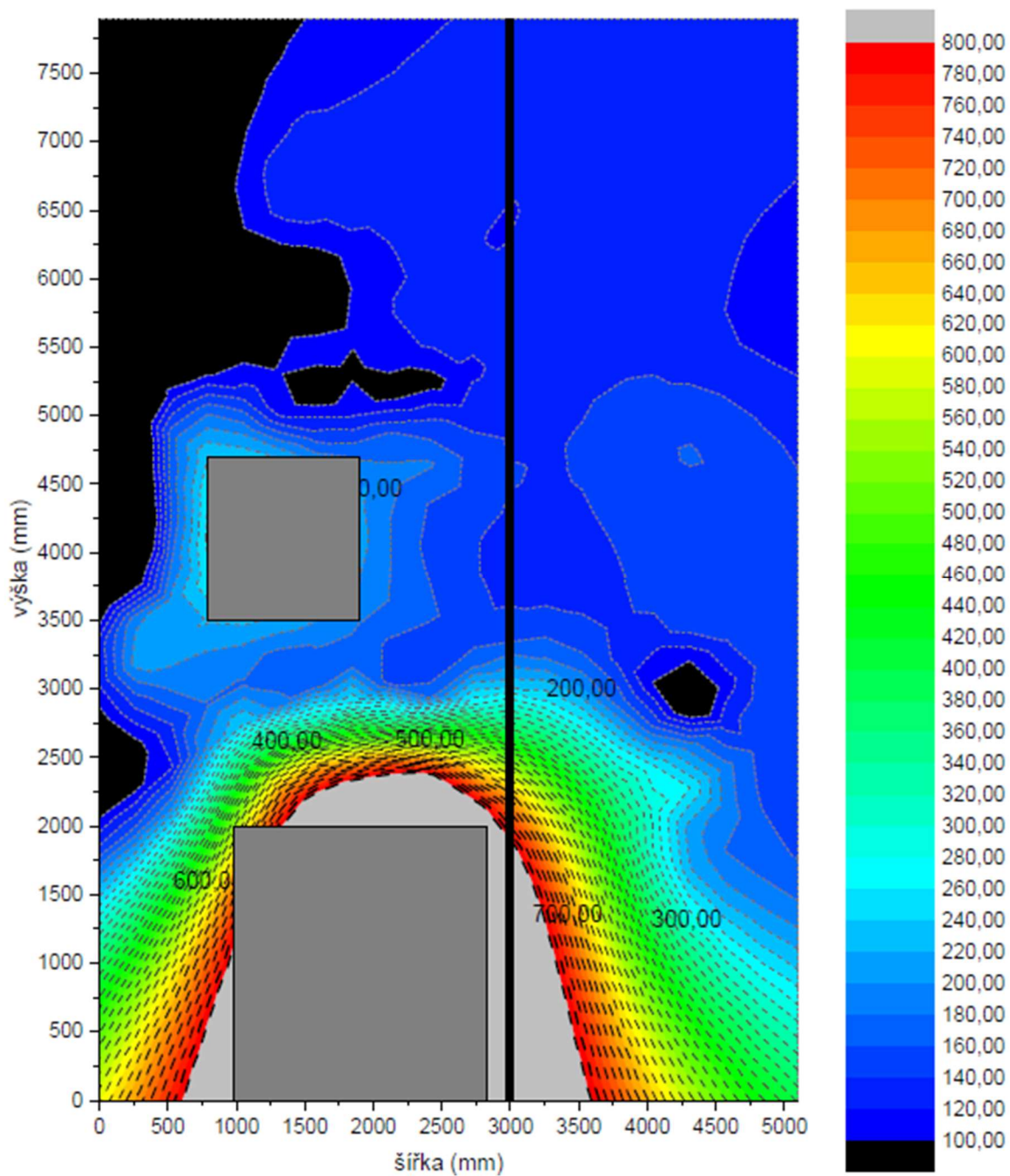




*Obr. 200 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 40–42 minuty pro zkoušku s bariérou*

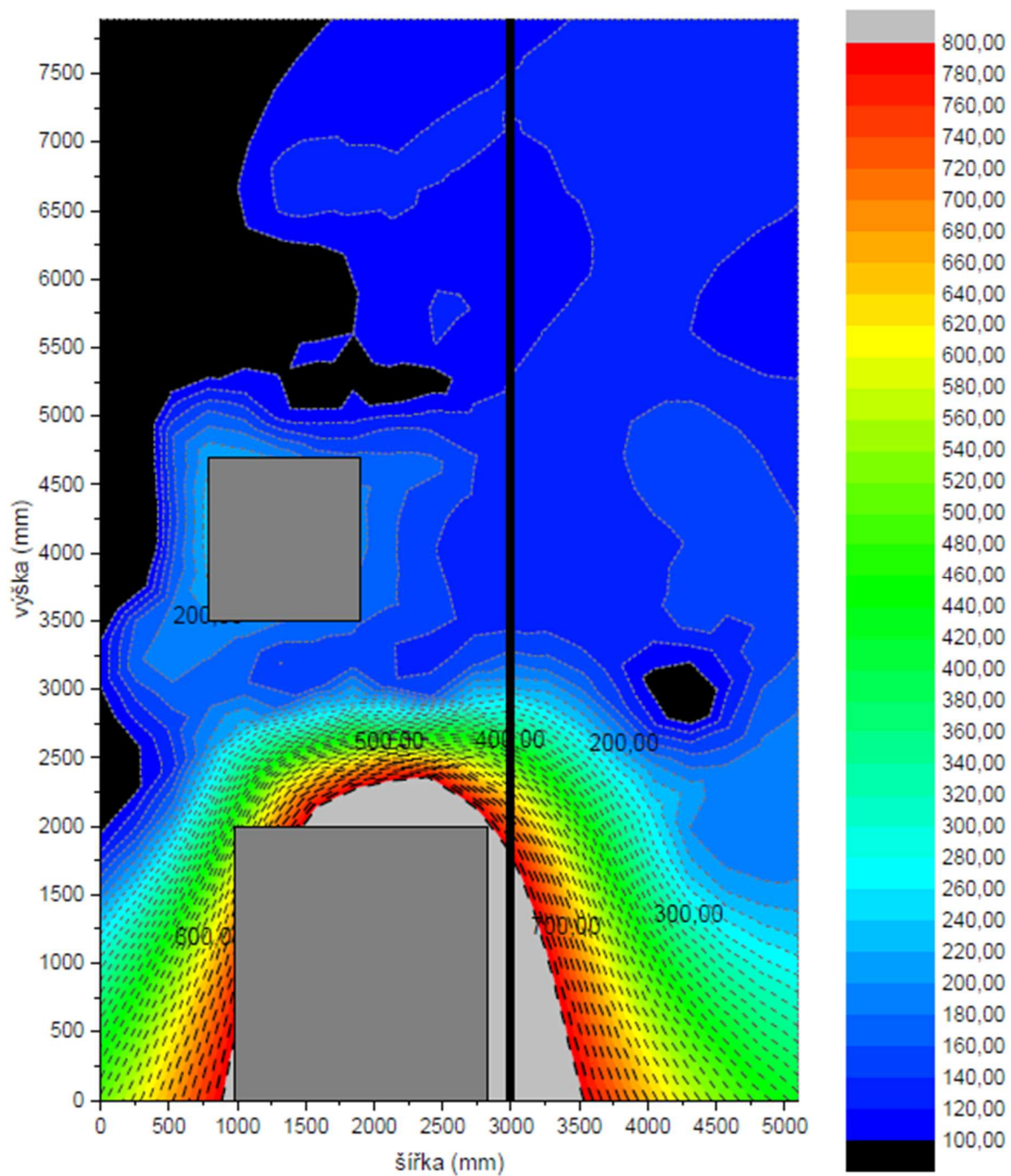


**Obr. 201** – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 42–44 minuty pro zkoušku s bariérou

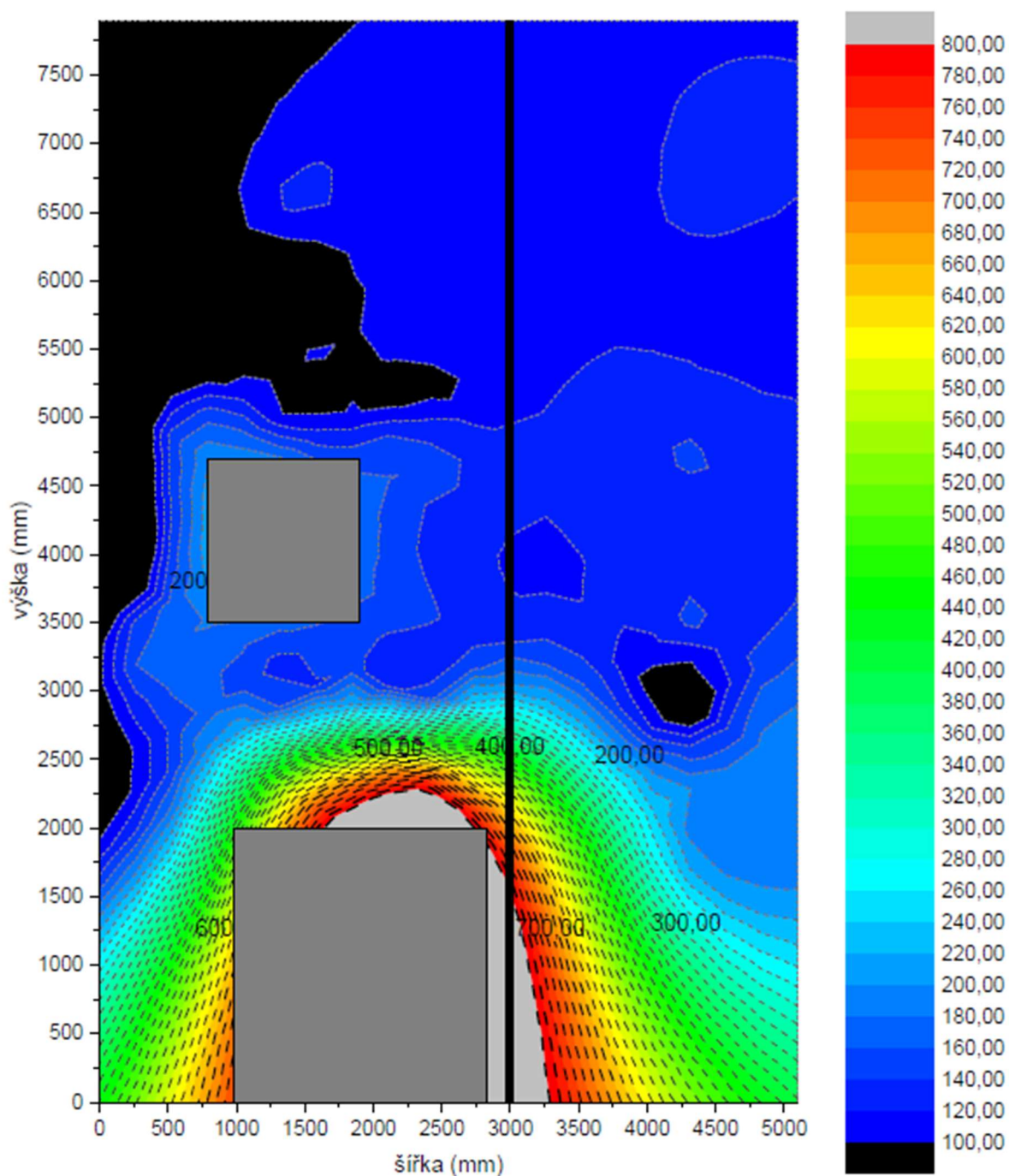


*Obr. 202 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 44–46 minuty pro zkoušku s bariérou*



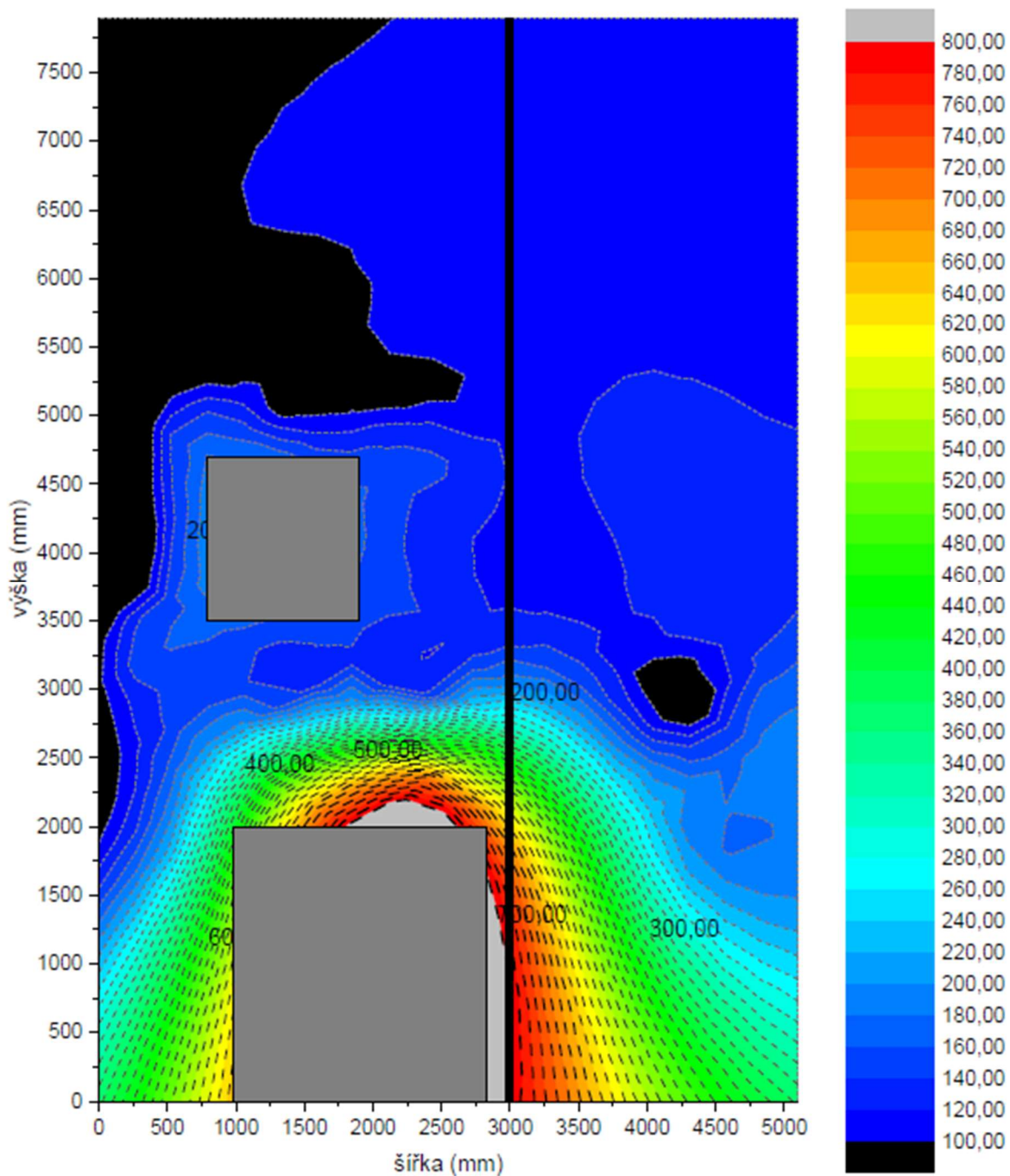


*Obr. 203 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 46–48 minuty pro zkoušku s bariérou*

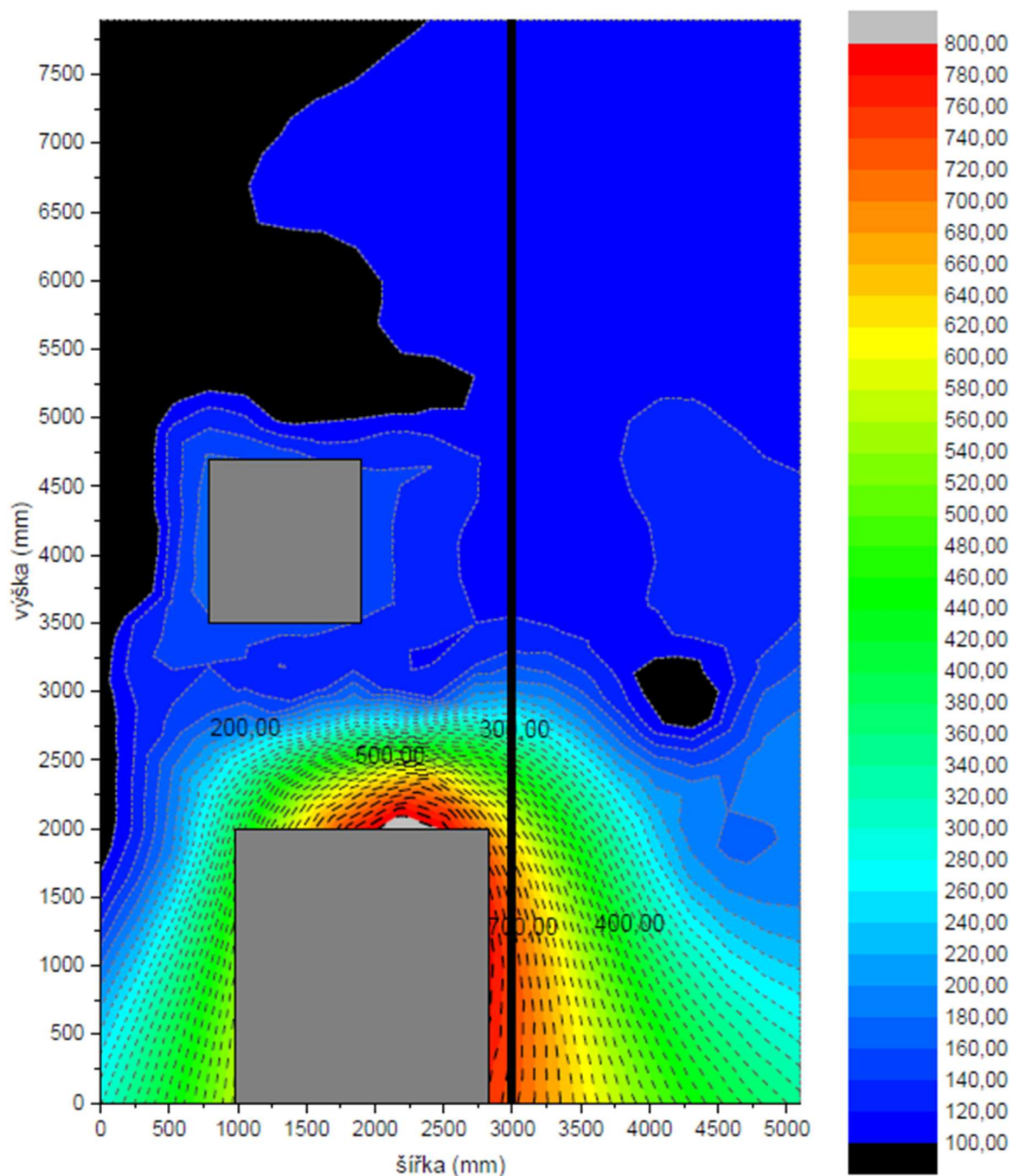


**Obr. 204** – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 48–50 minuty pro zkoušku s bariérou

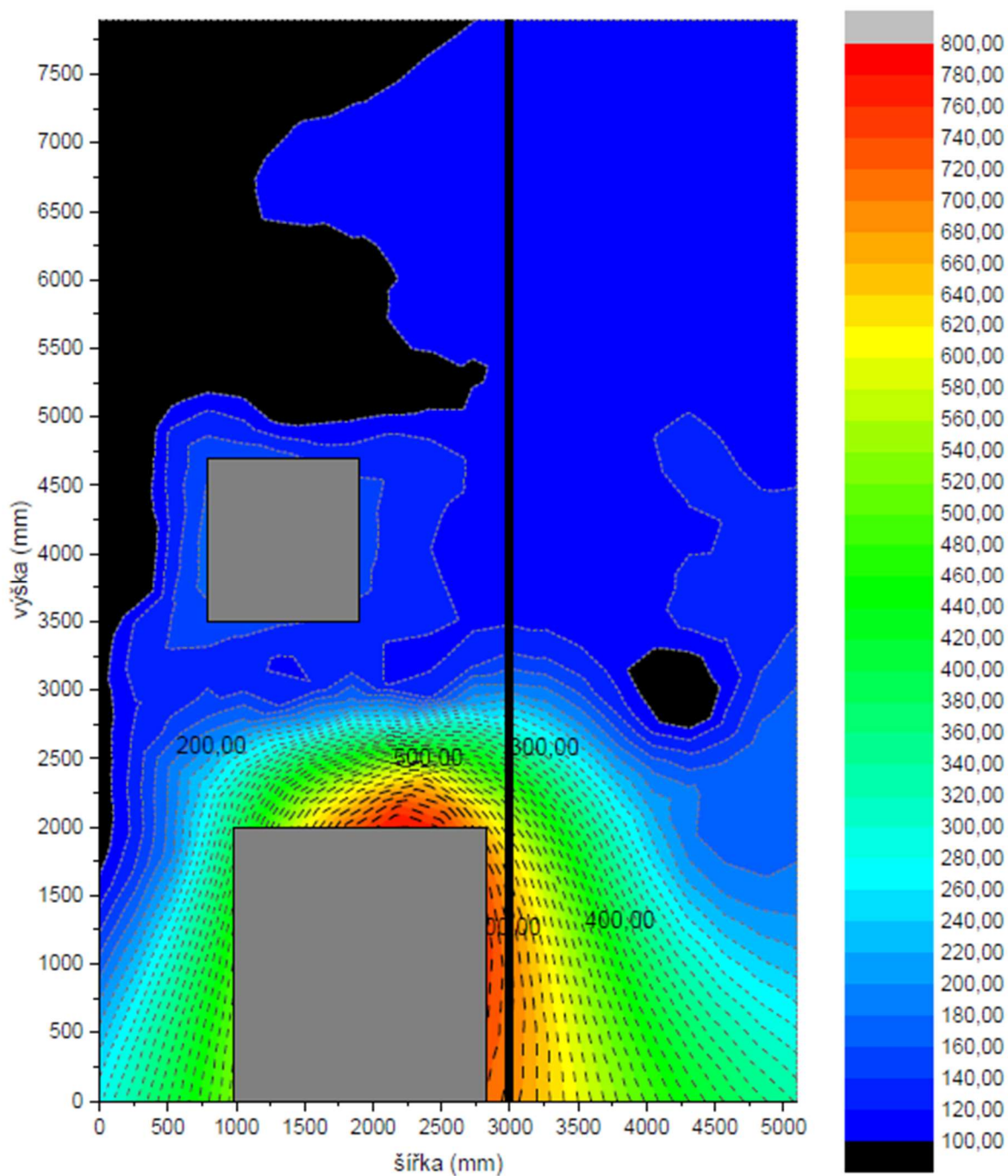




*Obr. 205 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 50–52 minuty pro zkoušku s bariérou*

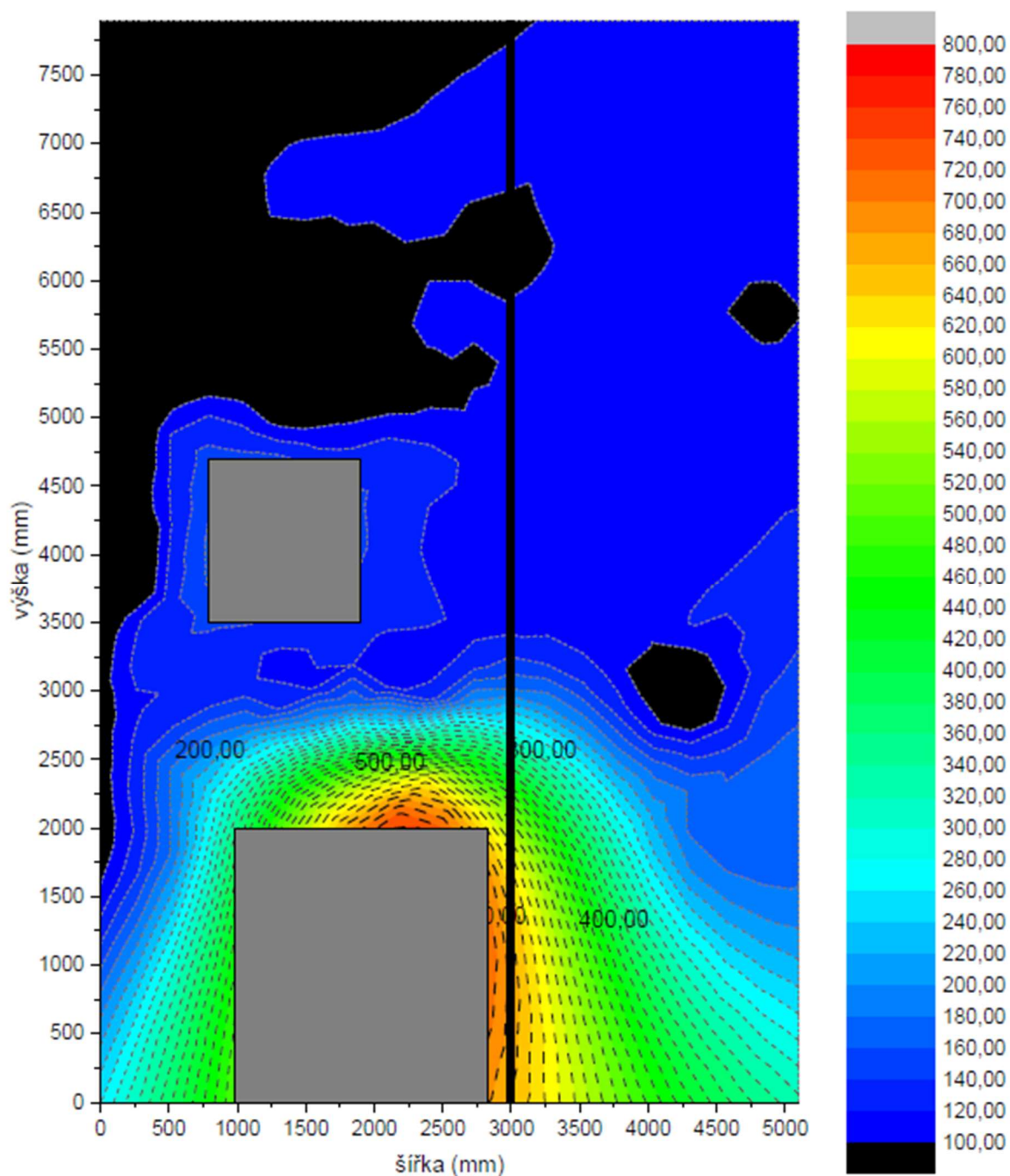


*Obr. 206 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 52–54 minuty pro zkoušku s bariérou*

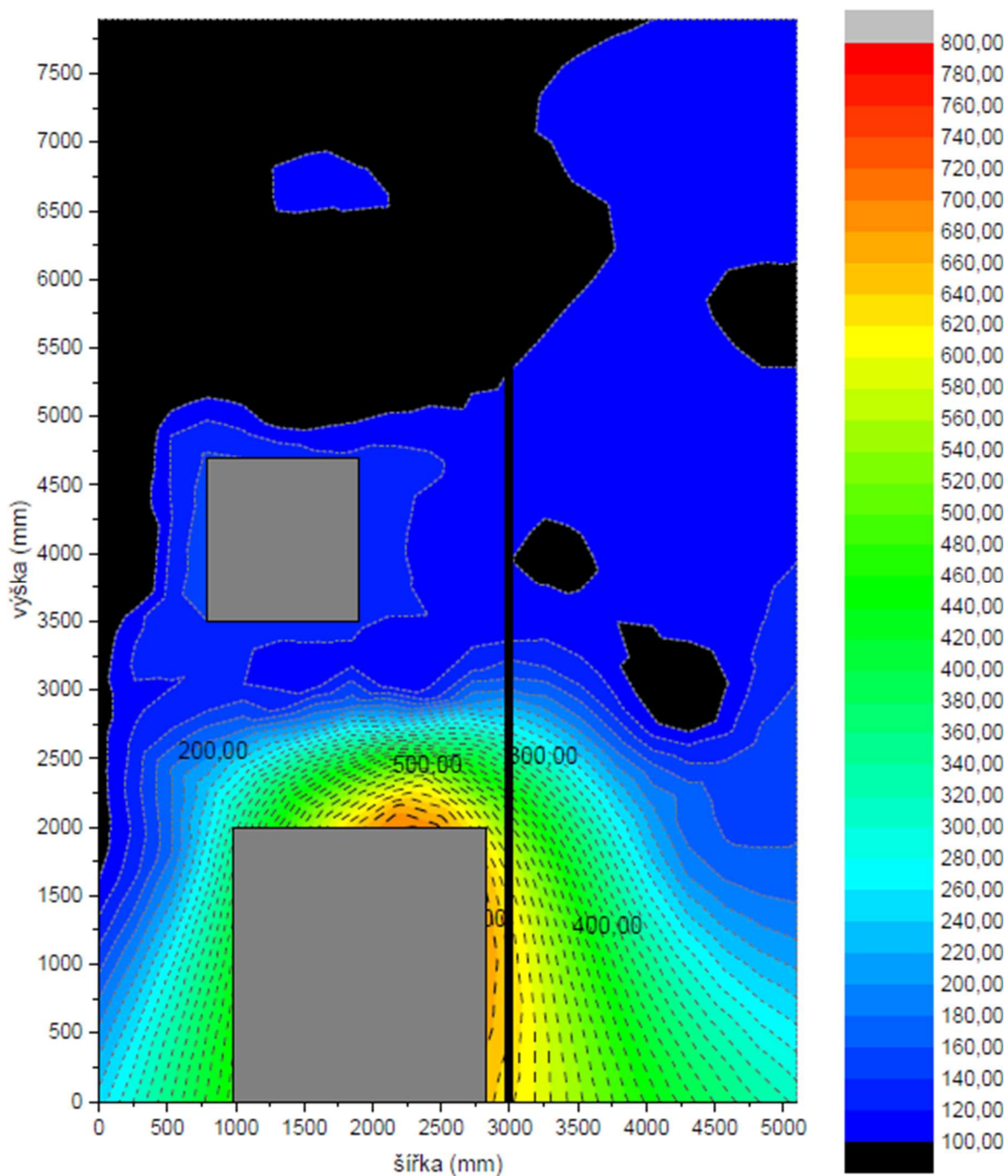


*Obr. 207 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 54–56 minuty pro zkoušku s bariérou*





*Obr. 208 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 56–58 minuty pro zkoušku s bariérou*



*Obr. 209 – Rozložení vnitřních teplot v rozmezí 58–60 minuty pro zkoušku s bariérou*