



# User Guide

Listopad 2017

# FireDES 1.0

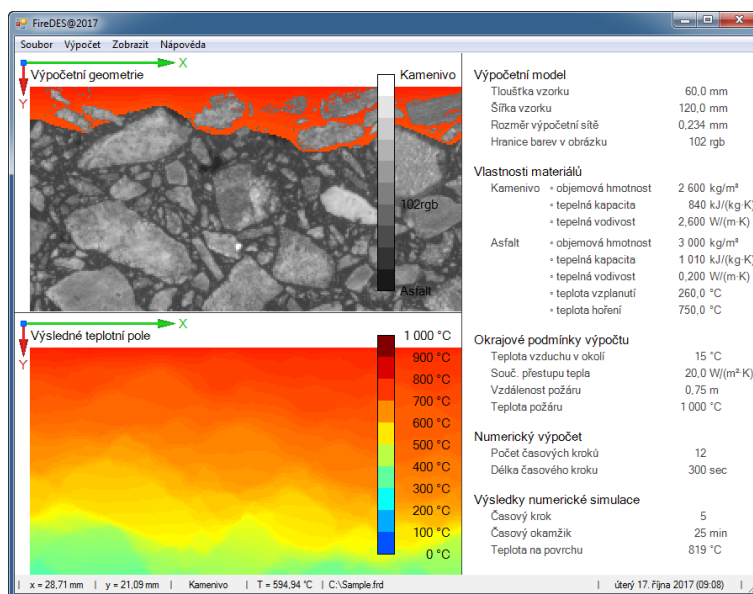


## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Grafické prostředí</b> .....	<b>4</b>
2.1	Okno aplikace.....	4
2.2	Roletová nabídka.....	5
2.2.1	Soubor .....	5
2.2.2	Výpočet.....	5
2.2.3	Zobrazit.....	6
2.2.4	Nápověda .....	6
2.3	Pracovní oblast.....	6
2.3.1	Výpočetní geometrie .....	7
2.3.2	Výsledné teplotní pole.....	7
2.3.3	Ovládací panel .....	7
2.4	Informační řádek.....	9
<b>3</b>	<b>Numerický model</b> .....	<b>9</b>
3.1	Přenos tepla vedením .....	9
3.2	Přenos tepla sáláním .....	10
3.3	Přenos tepla konvekcí .....	10
<b>4</b>	<b>Rychlý návod</b> .....	<b>11</b>
4.1	Hranice barev obrázku .....	11

## 1 Úvod

Software FireDES verze 1.0 je desktopová aplikace určená pro nestacionární numerický výpočet 2D teplotního pole s proměnnou výpočetní geometrií v čase simulující odhořívání asfaltové suspenze mezi kameny. Výpočetní síť v rastru 512 x 256 buněk je importována z obrázkové bitmapy a vzniklá soustava 131 072 lineárních rovnic je řešena Gauss-Seidlovou iterační metodou. Výpočetní geometrie, stejně jako materiálové vlastnosti, okrajové podmínky a výsledné teplotní pole je uloženo do souboru s příponou [\* .frd].



Obr. 1. - Vzhled softwaru FireDES verze 1.0

Software FireDES verze 1.0 vzniknul v rámci spolupráce VUT v Brně a firmy K.B.K. fire, s.r.o. v rámci projektu číslo TA04031642 s názvem »Asfalty v silničních tunelech«, realizovaného v programu ALFA Technologické agentury ČR. Autory softwaru jsou doc. Mgr. Tomáš APELTAUER, Ph.D.; Ing. Jiří APELTAUER; Bc. Aliaksandra MISHUK; Ing. Tomáš FEČER a Ing. Josef PLÁŠEK, Ph.D.

## 2 Grafické prostředí

Grafické prostředí softwaru FireDES je vytvořeno vlastními grafickými objekty, které svým vzhledem respektují systémové nastavení operačního systému Windows XP a vyšší. Grafické prostředí programu je vytvořeno objektem: okno aplikace (viz 2.1.), roletová nabídka (viz 2.2.), hlavní pracovní oblast (viz 2.3.) a informační řádek (viz 2.4.).

### 2.1 Okno aplikace

Program FireDES je vytvořen v samostatném okně operačního systému Windows XP a vyšším s doporučeným grafickým rozlišením minimálně 900 x 700 obrázkových bodů. Záhlaví okna je doplněno o nabídku minimalizace okna, normalizace okna a zavření okna.

## 2.2 Roletová nabídka

Roletová nabídka v horní části okna aplikace je složena ze čtyř hlavních položek Soubor (viz 2.2.1.), Výpočet (viz 2.2.2.), Zobrazit (viz 2.2.3.) a Náповěda (viz 2.2.4.). Každá z těchto hlavních nabídek obsahuje další podnabídky.

### 2.2.1 Soubor

Nabídka Soubor je pro uživatele trvale dostupná a obsahuje položky: Otevřít, Uložit, Uložit jako, Import, Export a Zavřít.

<b>Otevřít</b>	zobrazí dialogové okno pro otevření dříve uloženého souboru programu FireDES s příponou [*.frd].
<b>Uložit</b>	uloží data do aktuálně otevřeného souboru typu [*.frd] na adresu, která je zobrazena v informačním řádku, viz 2.4.
<b>Uložit jako</b>	zobrazí dialogové okno pro uložení bitového souboru programu FireDES s příponou [*.frd].
<b>Import</b>	zobrazí dialogové okno pro načtení výpočetní geometrie pomocí obrázkového souboru s příponou [*.bmp], [*.png], [*.gif], [*.jpg] a [*.tiff]. Výška importovaného obrázku bude zachována a šířka obrazu bude buď oříznuta, nebo opakována.
<b>Export</b>	zobrazí dialogové okno pro uložení aktuálního obrazu v grafickém prvku Výpočetní geometrie (viz 2.3.1.) a Výsledné teplotní pole (viz 2.3.2.) s příponou [*.png].
<b>Zavřít</b>	ukončí běh programu FireDES a zavře okno aplikace.

### 2.2.2 Výpočet

Nabídka Výpočet je pro uživatele dostupná pouze po importu geometrie nebo otevření souboru [\*.frd]. Nabídka Výpočet obsahuje položky: Spustit výpočet, Ukončit výpočet, Tepelná vodivost, Tepelná kapacita, Objemová hmotnost a Histogram barev.

<b>Spustit výpočet</b>	funkcionalita vytvoří výpočetní matici a spustí iterační výpočet Gauss-Seidlovou iterační metodou na 4 výpočetních vláknech.
<b>Ukončit výpočet</b>	funkcionalita předčasně ukončí běžící výpočet na všech výpočetních vláknech a uvolní systémové prostředky.
<b>Tepelná vodivost</b>	zobrazí dialogové okno pro export součinitele tepelné vodivosti $\lambda$ [W/(m·K)] v jednotlivých bodech výpočetní geometrie o rozměru 512 (sloupců) x 256 (řádků) odpovídající obrazovým bodům.
<b>Tepelná kapacita</b>	zobrazí dialogové okno pro export měrné tepelné kapacity $c$ [kJ/(kg·K)] v jednotlivých bodech výpočetní geometrie o rozměru 512 (sloupců) x 256 (řádků) odpovídající obrazovým bodům.

- Objemová hmotnost** zobrazí dialogové okno pro export objemové hmotnosti  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] v jednotlivých bodech výpočetní geometrie o rozměru 512 (sloupců) x 256 (řádků) odpovídající obrazovým bodům.
- Histogram barev** zobrazí dialogové okno pro export četnosti barev (stupňů šedi) ve škále RGB v jednotlivých bodech výpočetní geometrie.

### 2.2.3 Zobrazit

Nabídka Zobrazit je pro uživatele dostupná pouze po importu geometrie nebo otevření souboru [\*.frd]. Nabídka Zobrazit obsahuje položky: Časový krok – první, Časový krok – předchozí, Časový krok – následující, Časový krok – poslední a Zobrazit teploty v geometrii.

- Časový krok – první** funkcionality zobrazí v grafickém objektu Výpočetní geometrie (viz 2.3.1.) odpovídající geometrii a v objektu Výsledné teplotní pole (viz 2.3.2.) rozložení teplot v prvním časovém kroku.
- Časový krok – předchozí** funkcionality zobrazí v grafickém objektu Výpočetní geometrie (viz 2.3.1.) odpovídající geometrii a v objektu Výsledné teplotní pole (viz 2.3.2.) rozložení teplot v předchozím časovém kroku.
- Časový krok – následující** funkcionality zobrazí v grafickém objektu Výpočetní geometrie (viz 2.3.1.) odpovídající geometrii a v objektu Výsledné teplotní pole (viz 2.3.2.) rozložení teplot v následujícím časovém kroku.
- Časový krok – poslední** funkcionality zobrazí v grafickém objektu Výpočetní geometrie (viz 2.3.1.) odpovídající geometrii a v objektu Výsledné teplotní pole (viz 2.3.2.) rozložení teplot v posledním časovém kroku.
- Teploty v geometrii** funkcionality zobrazí v grafickém objektu Výpočetní geometrie (viz 2.3.1.) buď teplotní pole, nebo bílé pozadí a to pouze u buněk s materiálem Asphalt, které překročily teplotu hoření, více 3.1.

### 2.2.4 Nápověda

Nabídka Nápověda je pro uživatele trvale dostupná a obsahuje položku „O programu“ po jejímž zvolení se zobrazí dialogové okno se stejným textem jako je v úvodu manuálu, viz 1.

## 2.3 Pracovní oblast

Hlavní pracovní oblast programu FireDES je opticky rozdělena vertikálním a horizontálním posuvníkem na 3 dílčí grafické části. Pracovní oblast na levé straně zobrazuje importovanou Výpočetní geometrii (viz 2.3.1.) a Výsledné teplotní pole v daném časovém okamžiku (viz 2.3.2.). Pracovní oblast na pravé straně okna je určena pro nastavení nestacionární numerické simulace (viz 2.3.3.).

### 2.3.1 Výpočetní geometrie

Výpočetní geometrie zobrazuje importovaný obrázek ve stupních šedi v rozlišení 512 x 256 obrazových bodů. Barevná škála všech odstínů šedi <0; 255> je rozdělena uživatelem definovanou hodnotou na Asphalt a Kamenivo (viz 4.1.). Grafický pohyb v této oblasti je možný prostředním tlačítkem myši a zvětšení/menšení obrazu kolečkem myši. Dvojitý klik prostředním tlačítkem myši zobrazí výpočetní geometrii ve výchozím nastavení.

### 2.3.2 Výsledné teplotní pole

Výsledné teplotní pole zobrazuje barevnou bitmapu v rozlišení 512 x 256 obrázkových bodů v barevné škále 100 barev (barevný přechod: modrá/žlutá/červená). Teplotní pole v daném časovém okamžiku je zobrazeno v barevné škále od 0 °C do maximální teploty v modelu (podle okrajových podmínek). Pohyb v této grafické oblasti je možný prostředním tlačítkem myši a zvětšení/menšení obrazu kolečkem myši. Dvojitý klik prostředním tlačítkem myši zobrazí výpočetní geometrii ve výchozím nastavení.

### 2.3.3 Ovládací panel

Ovládací panel v pravé části okna je určen pro nastavení numerické simulace, a proto je rozčleněn podle zvyklosti na Výpočetní model (viz 2.3.3.1.), Vlastnosti materiálů (viz 2.3.3.2.), Okrajové podmínky výpočtu (viz 2.3.3.3.), Numerický výpočet (viz 2.3.3.4.) a Výsledky numerické simulace (viz 2.3.3.5.).

#### 2.3.3.1 Výpočetní model

Výpočetní model slouží k nastavení diskretizace importovaného obrazu a nastavení hraniční barvy, která rozdělí importovanou geometrii na Asphalt a Kamenivo, viz 4.1.

<b>Tloušťka vzorku</b>	výška importovaného obrazu se zachovává a mění se pouze šířka obrazu buďto oříznutím nebo opakováním. Proto je možné v numerickém modelu zadat skutečnou výšku vzorku.
<b>Šířka vzorku</b>	šířka vzorku je vždy dvounásobkem výšky z důvodu výpočetního rastru 512 x 256 obrazových bodů.
<b>Rozměr výpočetní sítě</b>	rozměr výpočetní sítě je výška vzorku dělená 256 pixely, tedy výpočetní síť (diskretizace) je ekvidistantní s pevným počtem 512 x 256 výpočetních buněk (počet řešených rovnic 131 072).
<b>Hranice barev obrázku</b>	importovaný obraz je vždy převeden do stupňů šedi <0; 255> a hraniční barva v barevné škále RGB rozděljuje tmavé odstíny na Asphalt a světlejší na Kamenivo. Nastavení této hranice se doporučuje podle exportovaného histogramu barev v nabídce Výpočet > Histogram barev (viz 4.1.).

### 2.3.3.2 Vlastnosti materiálů

Vlastnosti materiálu slouží k definici tepelně-technických vlastností u jednotlivých materiálů Asfalt a Kamenivo v importovaném numerickém modelu.

**Kamenivo** je počítáno jako nehořlavý materiál definovaný tepelně-technickými vlastnostmi a to součinitelem tepelné vodivosti  $\lambda$  [W/(m·K)], měrnou tepelnou kapacitou  $c$  [kJ/(kg·K)] a objemovou hmotností  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>].

**Asfalt** je počítán jako hořlavý materiál definovaný tepelně-technickými vlastnostmi a to součinitelem tepelné vodivosti  $\lambda$  [W/(m·K)], měrnou tepelnou kapacitou  $c$  [kJ/(kg·K)], objemovou hmotností  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>], teplotou vzplanutí  $T_v$  [°C] a teplotou hoření  $T_H$  [°C], viz 3.1.

### 2.3.3.3 Okrajové podmínky výpočtu

Okrajové podmínky výpočtu slouží k definici okolního prostředí.

**Teplota okolního vzduchu** je počítána v konvektivním přenosu tepla jako trvalá teplota okolního vzduchu  $T_A$  [°C] a současně slouží v numerickém modelu jako počáteční podmínka nestacionárního výpočtu.

**Součinitel přestupu tepla** je vstupním parametrem v konvektivním přenosu tepla  $\alpha$  [W/(m<sup>2</sup>·K)] a slouží ke konvektivnímu ochlazení povrchu modelu proudícím vzduchem z okolí o teplotě  $T_A$  [°C]

**Vzdálenost požáru** slouží k výpočtu tvarového součinitele (view-factor) při přenosu tepla sáláním metodou S2S mezi povrchem modelu a požárem, viz 3.2.

**Teplota požáru** je teplota požáru virtuálně hořícího vozu v definované výšce nad povrchem numerického modelu, viz 3.2.

### 2.3.3.4 Numerický výpočet

Řešený numerický výpočet je nestacionární v čase a proto je nezbytné nastavit počet časových kroků a jejich délka (časová diskretizace).

**Počet časových kroků** první, tedy nultý časový krok je počítán jako ustálený stav, od něž se odvíjejí všechny další časově nestacionární kroky.

**Délka časového kroku** délka časového kroku vyjadřuje dobu trvání daných okrajových podmínek v aktuálně řešeném časovém kroku (časová diskretizace).



### 2.3.3.5 Výsledky numerické simulace

Nestacionární numerická simulace v programu FireDES je počítána v jednotlivých časových krocích s ekvidistantní časovou diskretizací, kterou si definuje uživatel a následně jsou v ní zobrazovány i výsledky.

<b>Časový krok</b>	udává pořadí aktuálně zobrazeného časového kroku
<b>Časový okamžik</b>	udává celkový čas od prvního časového kroku
<b>Teplota na povrchu</b>	je výsledkem tepelné bilance (konvekční a radiační složky) na povrchu modelu v prvním časovém kroku.

## 2.4 Informační řádek

Informační řádek zobrazuje aktuální pozici kurzoru myši ve směru  $x$  [mm] a  $y$  [mm], materiál v daném místě Asphalt nebo Kamenivo a teplotu v daném časovém kroku  $t$  [°C]. Informační řádek zobrazuje také aktuálně otevřený soubor [\*.frd] a systémový čas. Úprava hodnot a pohyb v tohoto grafickém objektu není možný.

## 3 Numerický model

Numerický model v softwaru FireDES verze 1.0 je založen na dvourozměrném nestacionárním vedení tepla v nehomogenním materiálu s jednorozměrným přenosem sálavého a konvektivního tepla na povrchu importovaného modelu. Obecný tvar algoritmizované rovnice popisující přenos tepla v čase je založen na metodě tepelných bilancí, kdy sálavý tepelný tok  $q_{rad}$  [W], konvektivní tepelný tok  $q_{con}$  [W] a tepelný tok vedením tepla  $q_{ved}$  [W] vyvolají diferenciální změnu teploty  $\partial T$  [K] za časový krok  $\partial \tau$  [s] v materiálu s měrnou tepelnou kapacitou  $c$  [J/(kg·K)] a objemovou hmotností  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>].

$$q_{con} + q_{rad} + q_{ved} = c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau}$$

### 3.1 Přenos tepla vedením

Nestacionární dvourozměrné vedení tepla v nehomogenním numerickém modelu je počítáno v každém časovém kroku Fourierovou rovnicí difuze tepla. Vstupními tepelně-technickými parametry je měrná tepelná kapacita materiálu  $c$  [J/(kg·K)], objemová hmotnost  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] a součinitel tepelné vodivosti v řešeném bodě  $\lambda$  [W/(m·K)].

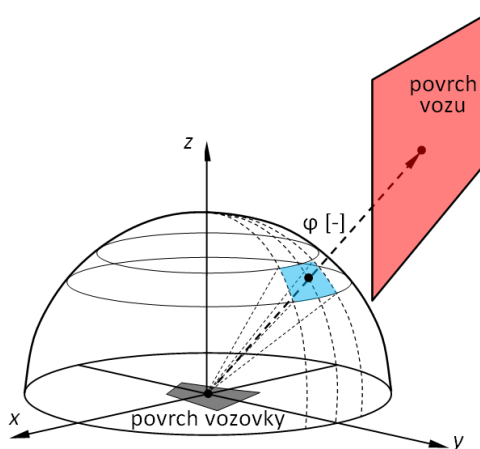
$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) = c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau}$$

Pokud je v aktuálně řešeném časovém kroku dosažena teplota vzplanutí Asfaltu  $T_V$  [°C] (definována uživatelem v 2.3.3.2.), pak je v daném bodě změněn materiál Asphalt na okrajovou podmínku teploty hoření  $T_H$  [°C] (definována uživatelem v 2.3.3.2.). V následujícím časovém kroku je pak v tomto bodě uvažována teplota hoření a materiál

Asfalt ve výpočetní geometrii zmizí. Tímto cyklickým postupem mezi jednotlivými časovými kroky je způsobeno odhořívání buněk s materiálem Asfalt, které v čase mizí.

### 3.2 Přenos tepla sáláním

Přenos tepla sáláním mezi virtuálně hořícím vozem a povrchem numerického modelu je počítán radiačním modelem „Surface to Surface“ (S2S). Tento radiační model S2S předpokládá diatermní prostředí mezi povrchy a rovnoměrné rozložení sálavé tepelné energie podle tvarového součinitele známého, jako view-factor  $\varphi$  [-]. Stanovení tohoto tvarového součinitele  $\varphi$  [-] je metodou průmětu na polokouli nad povrchem numerického modelu.



Obr. 2. - Schéma radiačního modelu Surface to Surface (S2S).

Výpočet sálavého tepelného toku  $q_{rad}$  [W] je v modelu S2S vyčíslen z uživatelem definovaných okrajových podmínek (viz 2.3.3.3.) a to vzdáleností mezi virtuálně hořícím vozem a povrchem numerického modelu, teplotou požáru, teplotou okolního vzduchu a Stefan-Boltzmanovou konstantou  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ .

$$q_{rad} = \sigma \cdot \sum_{i=0}^m (\varphi_i \cdot T_n^4)$$

### 3.3 Přenos tepla konvekcí

Numerický model předpokládá ochlazování povrchu konvekčním tepelným tokem  $q_{con}$  [W] podle Newtonova ochlazovacího zákona. Přenos tepla konvekcí je tedy vyjádřen součinem mezi součinitelem přestupu tepla  $\alpha$  [W/(m<sup>2</sup>·K)] a gradientem teplot mezi povrchem vozovky  $T_P$  [°C] a teplotou okolního vzduchu definovanou uživatelem  $T_A$  [°C] (viz 2.3.3.3.)

$$q_{con} = \alpha \cdot (T_P - T_A)$$

## 4 Rychlý návod

Cílem rychlého návodu je seznámení uživatele se softwarem FireDES verze 1.0 a není tedy výukovým textem v oblasti numerického modelování.

- Spusťte software **FireDES verze 1.0** dvojitým kliknutím na ikonu programu.
- Importujte výpočetní geometrii formou obrázku přes nabídku **Soubor > Import**
- Prostředním tlačítkem myši a kolečkem je možné si geometrii prohlédnout.
- Kliknutím na položku „**Tloušťka vzorku**“ nastavte tloušťku naskenovaného vzorku.
- Kliknutím na položku „**Hranice barev v obrázku**“ rozdělte barvou Asfalt a Kamenivo.
- Kliknutím na položky „**Vlastnosti materiálů**“ nastavte tepelně-technické vlastnosti.
- Kliknutím na položky „**Okrajové podmínky výpočtu**“ nastavte okrajové podmínky.
- Kliknutím na položky „**Numerický výpočet**“ nastavte numerickou simulaci.
- Numerickou simulaci spustíte přes nabídku **Výpočet > Spustit výpočet**
- Informační řádek v dolní části okna aplikace zobrazuje průběh numerické simulace.
- Numerickou simulaci lze předčasně ukončit přes nabídku **Výpočet > Ukončit výpočet**
- Výsledky simulace lze prohlédnout přes nabídku **Zobrazit > Časový krok - následující**
- Uložení výsledků simulace ve formátu [\* .frd] je možné nabídkou **Soubor > Uložit jako**

### 4.1 Hranice barev obrázku

Vhodný výpočetní model má světlé Kamenivo a tmavý Asfalt. Právě tato optická vlastnost umožňuje v numerickém modelu importovaném formou obrázku jednoznačně rozlišit Kamenivo od Asfaltu. Software FireDES verze 1.0 proto umožňuje exportovat histogram barev **Výpočet > Histogram barev** ve formátu [\* .csv]. Tento standardní datový soubor umožňuje vynesení grafu například v aplikaci Microsoft Excel. Vhodný výpočetní model se světlým Kamenivem a tmavým Asfaltem má ve vynesném grafu dvě vlny. Právě nejnižší hodnota mezi vlnami lze považovat za **Hranici barev v obrázku**, která jednoznačně odděluje tmavý Asfalt a světlé Kamenivo.

