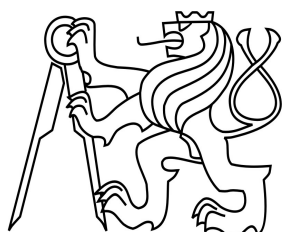


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb



Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Integrovaná bezpečnost staveb

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

# **EVAKUACE OSOB Z OBJEKTŮ VYHLÍDKOVÝCH VĚŽÍ**

EVACUATION OF PEOPLE FROM OBSERVATION TOWERS

autor: Bc. Marek Lokvenc

vedoucí práce: Ing. Marek Pokorný, Ph.D.

odborný konzultant: Ing. Hana Najmanová

2018



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Lokvenc Jméno: Marek Osobní číslo: 410780  
Zadávající katedra: Katedra konstrukcí pozemních staveb  
Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Integrovaná bezpečnost staveb

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Evakuace osob z objektů vyhlídkových věží

Název diplomové práce anglicky: Evacuation of people from observation towers

Pokyny pro vypracování:

Seznamte se s aktuálním stavem poznání a terminologií v oblasti evakuace osob, proveďte literární rešerši se zaměřením na dostupné informace o pohybu osob po schodištích. Navrhněte, realizujte a vyhodnoťte řízený evakuační experiment. Posuďte podmínky evakuace na konkrétním objektu vyhlídkové věže (evakuační modely FDS+Evac a Pathfinder), využijte přístupu požárního inženýrství a zhodnoťte požární bezpečnost posuzovaného objektu.

Seznam doporučené literatury:

- FRUIN, J. Pedestrian Planning and Design. 1975
- NELSON, D. a F. MOWRER. Emergency Movement. SFPE Handbook, Chapter 3-14. NRC Institute for Research in Construction; National Research Council Canada, 2002. ISBN 0-87765-451-4
- KULIGOWSKI, E. a kolektiv. Movement on Stairs During Building Evacuations. 2014
- GUSTAFSSON, P. A Study on Movement Down Spiral Staircases. 2016
- FRANTZICH, H. Study of Movement on Stairs during Evacuation Using Video Analysis Techniques. Lund Institute of Technology, 1996
- KORHONEN, T. a S. HOSTIKKA. Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac Technical Reference and User's Guide. VTT Technical Research Centre of Finland, 2009. ISBN 978-951-38-7180-2

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Marek Pokorný, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 2. 10. 2017

Termín odevzdání diplomové práce: 7. 1. 2018

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

  
Podpis vedoucího práce


  
Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

3. 1. 2018

Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta(ky)

# SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Marek Lokvenc

Název diplomové práce: Evakuace osob z objektů vyhlídkových věží

Základní část: Požární bezpečnost staveb podíl: 100 %

Formulace úkolů:

Seznámit se s aktuálním stavem poznání a terminologií v oblasti evakuace osob, provést literární rešerši se zaměřením na dostupné informace o pohybu osob po schodištích.

Navrhnout, zorganizovat a vyhodnotit řízený evakuační experiment v objektu vyhlídkové věže, interpretovat získaná experimentální data.

Posoudit podmínky evakuace v konkrétním objektu vyhlídkové věže (matematické modelování v evakuačních modelech FDS+Evac a Pathfinder, použití získaných experimentálních dat).

Aplikovat požárně inženýrský přístup při zohlednění požadavků kladených na tento způsob řešení požární bezpečnosti staveb.

Podpis vedoucího DP: 

Datum: 2.10.2017

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: \_\_\_\_\_ podíl: \_\_\_\_\_ %

Konzultant (jméno, katedra): \_\_\_\_\_

Formulace úkolů: \_\_\_\_\_

Podpis konzultanta: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

3. Část: \_\_\_\_\_ podíl: \_\_\_\_\_ %

Konzultant (jméno, katedra): \_\_\_\_\_

Formulace úkolů: \_\_\_\_\_

Podpis konzultanta: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

4. Část: \_\_\_\_\_ podíl: \_\_\_\_\_ %

Konzultant (jméno, katedra): \_\_\_\_\_

Formulace úkolů: \_\_\_\_\_

Podpis konzultanta: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

**Bibliografická citace VŠKP**

LOKVENC, Marek. *Evakuace osob z objektů vyhlídkových věží*. Praha, 2018. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební.



**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje. 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)

V Praze dne 3. ledna 2018

.....

Bc. Marek Lokvenc

### **Poděkování:**

Velice rád bych poděkoval paní Ing. Haně Najmanové za odborné konzultace, vstřícný přístup, ochotu a cenné rady při zpracovávání diplomové práce. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Markovi Pokornému, Ph.D. za vedení mé práce a panu Ing. arch. Bc. Petrovi Hejtmánkovi za pomoc s řešením technických problémů při výpočtech.

Další velké poděkování za ochotu a pomoc při zařizování a provádění řízeného experimentu patří vedoucí referátu bezpečnostního ředitele paní Evě Polatové z Generálního ředitelství Národního památkového ústavu, kastelánovi náchodského zámku panu Jiřímu Růžičkovi z Územní památkové správy na Sychrově, panu řediteli plk. Ing. Davidovi Poučovi z Hasičského záchranného sboru Královéhradeckého kraje ÚO Náchod a panu řediteli Ing. Milanovi Smolovi z Vyšší odborné školy a Střední průmyslové školy stavební arch. Jana Letzela v Náchodě.

Dále bych rád poděkoval všem figurantům a hasičům, kteří se účastnili řízeného experimentu a Bc. Miroslavovi Doušovi, Bc. Šárce Čálkové a Ing. Gabriele Příbylové za pomoc s přípravami a prováděním experimentu.

---

# Obsah

<b>Abstrakt</b> .....	<b>IX</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>X</b>
<b>Seznam použitých symbolů a zkratk</b> .....	<b>XI</b>
<b>Úvod</b> .....	<b>1</b>
<b>A Současný stav poznání</b> .....	<b>4</b>
A.1 Evakuace obecně .....	4
A.1.1 Časový koncept průběhu evakuace.....	5
A.1.2 Faktory ovlivňující evakuaci .....	13
A.2 Evakuace po schodištích.....	20
A.2.1 Definice schodiště.....	20
A.2.2 Charakteristika pohybu po schodišti.....	22
A.2.3 Provedené studie pohybu osob po schodišti .....	25
A.2.4 Točitá schodiště .....	34
A.2.5 Shrnutí .....	36
A.3 Historické vyhlídkové věže .....	37
A.3.1 Věže obecně.....	37
A.3.2 Věže z požárního hlediska .....	37
<b>B Posouzení požární bezpečnosti věže</b> .....	<b>39</b>
B.1 Popis posuzované věže .....	40
B.1.1 Stavební popis věže .....	41
B.1.2 Popis věže z požárního hlediska .....	47
B.2 Řízený experiment .....	48
B.2.1 Cíl experimentu .....	48
B.2.2 Popis experimentu .....	48
B.2.3 Příprava experimentu.....	52
B.2.4 Průběh experimentu.....	53
B.2.5 Způsob vyhodnocování dat.....	55
B.2.6 Výsledky.....	56
B.2.7 Shrnutí a diskuze .....	58
B.3 Cíl posouzení a kritéria přijatelnosti.....	59
B.3.1 Cíl posouzení .....	59
B.3.2 Kritéria přijatelnosti.....	59
B.4 Návrhový požární scénář .....	60
B.4.1 Identifikace možného požárního nebezpečí a jeho následků.....	60
B.4.2 Popis vybraného návrhového scénáře.....	60
B.5 Výpočet doby dostupné k evakuaci (ASET) .....	61
B.5.1 Použitý software .....	61
B.5.2 Validace zdroje požáru na základě experimentálně zjištěných hodnot .....	61
B.5.3 Numerický model rozvoje požáru v programu FDS .....	70

---

B.6	Výpočet doby potřebné pro evakuaci (RSET).....	75
B.6.1	Používaný software.....	75
B.6.2	Aproximace točitého schodiště na pravouhlý tvar .....	77
B.6.3	Numerický model evakuace .....	82
B.6.4	Shrnutí .....	98
B.7	Posouzení návrhového požárního scénáře .....	99
B.7.1	Kritérium č. 1.....	99
B.7.2	Kritérium č. 2.....	100
B.7.3	Kritérium č. 3.....	101
B.7.4	Kritérium č. 4.....	102
B.8	Shrnutí .....	103
B.9	Možnost zvýšení požární bezpečnosti věže.....	104
<b>Závěr</b>	.....	<b>105</b>
<b>Seznam obrázků</b>	.....	<b>108</b>
<b>Seznam tabulek</b>	.....	<b>112</b>
<b>Seznam příloh</b> .....	.....	<b>113</b>
<b>Příloha 1 – Půdorysná schémata věže</b> .....	.....	<b>114</b>
<b>Příloha 2 – Experimentální plán</b> .....	.....	<b>119</b>
<b>Příloha 3 – Popis rozmístění videokamer</b> .....	.....	<b>123</b>
<b>Příloha 4 – Vyhodnocení pohybových rychlostí osob</b> .....	.....	<b>131</b>
<b>Příloha 5 – Popis figurantů experimentu</b> .....	.....	<b>144</b>
<b>Příloha 6 – Výsledky analýzy rozvoje požáru</b> .....	.....	<b>145</b>
<b>Příloha 7 – Zdrojové kódy FDS+Evac</b> .....	.....	<b>152</b>
<b>Příloha 8 – Cvičný zásah JPO</b> .....	.....	<b>160</b>
<b>Příloha 9 – Obrazová příloha</b> .....	.....	<b>162</b>
<b>Seznam použité literatury</b> .....	.....	<b>165</b>

---

## Abstrakt

Diplomová práce se zabývá problematikou evakuace osob z objektů historických vyhlídkových věží z hlediska bezpečnosti osob v případě vzniku požáru. Hlavním cílem diplomové práce je posouzení požární bezpečnosti velké zámecké věže státního zámku Náchod na základě požárně inženýrského přístupu (PIP) a pomocí pokročilého numerického modelování. Teoretický podklad práce tvoří rešerše současného stavu poznání z oblasti evakuace osob s důrazem na pohyb osob po schodištích, která zároveň představuje první ze dvou částí diplomové práce. Hlavní díl práce tvoří druhá část, která je věnována samotnému posouzení požární bezpečnosti vyhlídkové věže. Tato část je systematicky rozdělena na dílčí kapitoly, v nichž je mimo jiné řešeno stanovení cílů a kritérií přijatelnosti, vytvoření návrhového požárního scénáře, výpočet doby dostupné pro evakuaci (ASET) pomocí analýzy rozvoje požáru v programu FDS, výpočet doby potřebné k evakuaci (RSET) pomocí analýzy evakuace v programech FDS+Evac a Pathfinder, porovnání získaných výsledků s kritérii přijatelnosti a posouzení požární bezpečnosti. Součástí provedeného zhodnocení je také návrh zlepšení požární bezpečnosti objektu. Z důvodu nedostatku dat popisujících pohyb osob po točitých schodištích historických věží byl v rámci diplomové práce proveden řízený experiment evakuace zámecké věže, jehož výsledky (rychlosti pohybu osob) jsou použity pro výpočet při numerické analýze evakuace.

### Klíčová slova

Bezpečnost osob; evakuace osob; modelování evakuace; lidské chování; požární bezpečnost; požárně inženýrský přístup; schod; schodiště; točité schodiště; vyhlídková věž; experiment; rychlost pohybu

---

## **Abstract**

The thesis deals with the issue of evacuation from historical observation towers with respect to human safety in case of fire. The main aim of this thesis is to provide a fire safety assessment of the large castle tower of the Náchod National Chateau using methods of performance-based design and advanced numerical modelling. In the first section of the thesis, the theoretical background for the assessment is given based on the current state of art of evacuation, a special attention is paid to the movement of persons on stairs. The main part of the thesis is the second section devoted to the fire safety assessment of the castle observation tower. This section is systematically divided into chapters focused above all on: identifying goals and developing performance criteria, developing and quantifying a fire scenario, calculation of the available safe egress time (ASET) using the Fire Dynamics Simulator (FDS), calculation of the required safe egress time (RSET) using the evacuation models FDS+Evac and Pathfinder, comparison of the obtained results against the performance criteria, and the final fire safety evaluation. Furthermore, an improvement of fire safety conditions in the tower evaluated is also a part of the assessment. Due to the lack of data available for description of the movement spiral staircases in the historical towers, a controlled evacuation experiment was carried out in the evaluated castle tower to obtain input data for the evacuation analysis.

### **Keywords**

Human safety; evacuation; egress modelling; human behaviour; fire safety assessment; performance-based design; stair; staircase; spiral staircase; observation tower; experiment; movement speed

---

## Seznam použitých symbolů a zkratek

### Latinské symboly

$a$	Součinitel odhořívání	-
$b$	Šířka schodišťového stupně	mm
$b_c$	Šířka koridoru	m
$c$	Součinitel vlivu PBZ	-
$e$	Účinnost evakuace	-
$F_s$	Tok proudu osob	osob/s/m
$h$	Výška schodišťového stupně	mm
$h_s$	Světlá výška prostoru	m
$K_u$	Jednotková kapacita únikového pruhu	osob/min
$L, l_u$	Délka únikové cesty	m
$N, E$	Počet osob	osob
$s$	Součinitel podmínek evakuace	-
$t_{me}$	Doba evakuace získaná z modelu	min
$t_a$	Doba vyhlášení poplachu	min
$t_d$	Doba detekce požáru	min
$t_e$	Doba pohybu	min
$t_i$	Doba odezvy	min
$t_o$	Doba interpretace	min
$t_u$	Doba pohybu k východu	min
$t_z$	Doba zakouření	min
$u$	Počet únikových pruhů	ks
$v, v_u$	Rychlost pohybu osob	m/s

---

## Zkratky

ASET	Čas dostupný pro evakuaci (Available Safe Egress Time)
CFD	Computational Fluid Dynamics
ČR	Česká republika
ČSN	České technické normy
ČVUT	České vysoké učení technické
EPS	Elektrická požární signalizace
FDS	Fire Dynamics Simulator (software)
FED	Účinná frakční dávka (Fractional Effective Dose)
FPS	Frames Per Second (jednotka)
HRR	Heat Release Rate (rychlost uvolňování tepla)
HZS	Hasičský záchranný sbor
JPO	Jednotky požární ochrany
NIST	National Institut of Standarts and Technology (organizace)
PBZ	Požárně bezpečnostní zařízení
PIP	Požárně inženýrský přístup
RSET	Čas potřebný pro evakuaci (Required Safe Egress Time)
SFPE	The Society of Fire Protection Engineers (organizace)
SPŠ	Střední průmyslová škola
STL	StereoLithography (formát počítačových souborů)
UCEEB	Univerzitní centrum energeticky efektivních budov
ÚO	Územní odbor
ÚPS	Územní odborné pracoviště
VOŠ	Vyšší odborná škola
VTT	Technical Research Centre of Finland LTD (organizace)



# Úvod

Pojem evakuace osob je v požárně bezpečnostní problematice velmi důležité téma, neboť ochrana osob (i zvířat) a zejména jejich zdraví je v případě vzniku mimořádné události (požáru, dopravní nehody, technických problémů, přírodních katastrof, teroristických útoků atd.) jedna z prvních a největších priorit. Lidský život je zkrátka nenahraditelný, a proto je potřeba věnovat této problematice patřičnou pozornost.

## Motivace

Pro svou diplomovou práci jsem si vybral objekty vyhlídkových věží, zejména historického charakteru zámeckého a hradního typu, které mají uzavřenou schodišťovou šachtu, ve které mohou na unikající osoby působit nepříznivé účinky komínového efektu zplodin hoření a vysokých teplot vzniklých od požáru. Téma řešení požární bezpečnosti těchto objektů je aktuální, neboť je o historické vyhlídkové věže velký turistický zájem a bohužel se mu normativně nevěnuje patřičná pozornost, přestože se jedná o velice nebezpečné objekty z hlediska následků požáru na lidské zdraví a životy.

Historické vyhlídkové věže jsou z požárního hlediska nebezpečné hned v několika aspektech. Samotná poloha těchto objektů je nepříznivá pro příjezd požární techniky a pro celkové vedení požárního zásahu. Nepřístupnost věží, které jsou v případě zámeků a hradů většinou umístěny ve vnitrobloku většího počtu budov, vyžaduje větší nároky na čas bojového rozvinutí jednotek požární ochrany (JPO) a dostupnost požární vody pro účinné vedení zásahu, což celý zásah prodlužuje. Dalším aspektem, který má negativní vliv na požární bezpečnost je stavební provedení věží, jejichž výška mnohonásobně převyšuje půdorysné rozměry. Stěny věží jsou často tvořeny masivními konstrukcemi s minimálním množstvím otvorů, které nejsou schopny přivádět dostatečné množství čerstvého vzduchu do prostoru věže. Uvnitř věží se nachází schodiště, podesty a stropní konstrukce, jejichž materiálem je ve většině případů dřevo, což velmi výrazně zvyšuje požární riziko. V neposlední řadě je velké množství věží, vzhledem ke své výšce, zařazeno do provozů s vysokým, nebo dokonce i velmi vysokým požárním nebezpečím podle zákona č. 133/1985 Sb., o požární ochraně. Z hlediska evakuace osob je však pravděpodobně největším problémem fakt, že se ve většině věží nachází pouze jediná úniková cesta. Vznik a rozvoj požáru v objektech věžového charakteru může způsobit nemalé ztráty na zdraví a lidských životech vlivem omezených možností úniku a celkového nevhodného stavebního provedení vzhledem k požární bezpečnosti.

## Cíle

Hlavním cílem diplomové práce je posoudit požární bezpečnost historické vyhlídkové věže z hlediska evakuace osob a poukázat tak na možná rizika případného požáru na bezpečnost osob ve věži. Požární bezpečnost je posuzována pokročilým numerickým modelováním na základě požárně inženýrského přístupu (PIP). Jako teoretický podklad slouží rešerše současného stavu poznání z problematiky evakuace osob. Pro posouzení požární bezpečnosti pomocí pokročilého

modelování je nutné shromáždit potřebná relevantní data, kterými lze charakterizovat lidský pohyb. Těchto dat je však k dispozici velmi málo, přestože se studie pohybu a evakuace osob začaly provádět již v poválečném období. Téměř ve většině případů se jedná o zahraniční experimenty a cvičné evakuace z administrativních a bytových domů. V České republice se bohužel neprovedlo tolik studií, na jaké jsme zvyklí u zahraničních zdrojů, přestože získaná data z těchto studií a experimentů jsou velmi důležitým zdrojem vstupních hodnot do výpočtů a simulování pohybu osob. Data o pohybu osob po historických schodištích ve věžích, jejichž parametry neodpovídají současným předpisům, zcela chybí a z tohoto důvodu je součástí diplomové práce řízený experiment evakuace zámecké vyhlídkové věže. Pro posouzení požární bezpečnosti jsou uvažovány následující dílčí cíle:

- srovnání, vyhodnocení a použití dat řízeného experimentu,
- stanovení času dostupného pro evakuaci (ASET) na základě numerického modelování
- stanovení času potřebného pro evakuaci (RSET) na základě numerického modelování

Uvedené dílčí cíle jsou dále rozčleněny na následující dílčí kroky, které jsou v diplomové práci provedeny a popsány:

- zaměření a popis geometrie řešené zámecké vyhlídkové věže,
- řízený experiment evakuace zámecké vyhlídkové věže,
- návrh požárního scénáře,
- stanovení návrhových cílů a kritérií přijatelnosti,
- vytvoření a validace zdroje požáru na základě požární zkoušky,
- vytvoření modelu věže pro numerickou analýzu rozvoje požáru,
- vytvoření modelů pro posouzení možnosti aproximace točitého schodiště na jednodušší tvar,
- vytvoření modelů schodiště pro numerickou analýzu pohybu osob v programu FDS+Evac a Pathfinder
- posouzení kritérií přijatelnosti,
- návrh možností na zvýšení požární bezpečnosti.

## **Struktura**

**První část** práce (označována jako A) je zaměřena na rešerši současného stavu poznání v problematice evakuace osob a na stručnou charakteristiku vyhlídkových věží, což tvoří teoretický podklad pro následnou praktickou část práce. V první kapitole této části jsou stručně shrnuty základní údaje o evakuaci (co je to evakuace, jak s ní pracujeme, jaké máme možnosti výpočtu evakuace apod.), druhá kapitola je zaměřena na evakuaci osob po schodištích, zejména na charakteristiku pohybu osob po schodištích a doposud provedené studie rychlostí pohybu osob. Schodiště jsou v případě vyhlídkových věží nejproblematičtějším místem, jelikož

většinou tvoří jedinou únikovou cestu, po které musí projít všechny osoby v objektu, aby se dostaly k únikovému východu do bezpečí, nejčastěji na volné prostranství, přičemž se často jedná o stísněné prostory, které svým provedením neodpovídají současným požadavkům na únikové schodiště. Samostatně je ve druhé kapitole popsán pohyb po točitém schodišti, který je vzhledem ke geometrii schodiště značně odlišný od ostatních typů schodišť. Třetí kapitola obsahuje stručný popis vyhlídkových věží na území České republiky ze stavebního a požárního hlediska.

**Druhá část** diplomové práce (označována jako B) se věnuje praktické části, jejíž cílem je posouzení požární bezpečnosti historické zámecké vyhlídkové věže státního zámku Náchod z hlediska evakuace osob. První kapitola je zaměřena na stavební a požární popis věže náchodského zámku, což tvoří podklad pro následné modelování. Druhá kapitola je věnována přípravě, provedení a vyhodnocení řízeného experimentu, který slouží pro shromáždění průměrných a úsekových rychlostí osob pro použití v numerických modelech při stanovení času potřebného k evakuaci (RSET). Ve třetí a čtvrté kapitole jsou stanoveny návrhové cíle, kritéria přijatelnosti a návrhový požární scénář, na jehož základě je požární bezpečnost věže posouzena. Pátá kapitola obsahuje vytvoření zdroje požáru a jeho validaci na základě provedené požární zkoušky a vytvoření výpočetního modelu věže pro stanovení času dostupného k evakuaci (ASET) pomocí numerické analýzy rozvoje požáru v programu FDS. V šesté kapitole je řešen čas potřebný pro evakuaci (RSET) pomocí numerických modelů pohybu osob v programech FDS+Evac a Pathfinder. Pro potřeby vytvoření modelu v programu FDS+Evac je v této části dále provedena analýza možnosti aproximace složitějšího tvaru točitého na jednodušší tvar, který lze do programu FDS+Evac zadat. Sedmá kapitola posuzuje splnění jednotlivých kritérií přijatelnosti na základě výsledků z předchozích částí, v osmé kapitole je uvedeno shrnutí výsledků posouzení požární bezpečnosti a v deváté kapitole jsou stručně nastíněny možnosti, jak lze požární bezpečnost v řešené věži zvýšit s ohledem na bezpečnost osob.

V závěru jsou zhodnoceny výsledky a poznatky práce, které byly zjištěny při řízeném experimentu a v průběhu vyhodnocování požární bezpečnosti věže. Dále jsou uvedeny náměty, kterým by bylo vhodné v budoucnu věnovat pozornost při dalších výzkumech.

Na konci práce se nachází přílohová část, jež obsahuje podrobnější informace, které by byly v textu příliš obsáhlé a narušovaly by jeho integritu. Přílohovou část tvoří celkem 9 příloh. Příloha 1 obsahuje půdorysná schémata geometrie věže, Příloha 2 až Příloha 5 řeší provedený experiment (experimentální plán, popis umístění videokamer, vypočítané rychlosti osob, popis účastníků experimentu), Příloha 6 obsahuje vybrané grafy průběhu sledovaných veličin z numerické analýzy rozvoje požáru v programu FDS. Příloha 7 uvádí zdrojové kódy testovacího schodiště, které je využito při řešení možnosti aproximace točitého schodiště na jednodušší tvar. V příloze 8 je stručně popsán zásah JPO, který byl proveden v rámci experimentu a Příloha 9 je koncipována jako obrazová a obsahuje fotodokumentaci z provedeného experimentu.

## A Současný stav poznání

Tato část je věnována současnému stavu poznání v problematice evakuace osob, jsou zde shrnuty obecné informace o evakuaci se zaměřením na pohyb osob po schodištích a dále je stručně popsán výskyt věží na území České republiky.

### A.1 Evakuace obecně

Evakuace je proces, který nastává v případě vzniku mimořádných událostí, a který vystihuje přesun z místa zasaženého mimořádnou událostí do bezpečných míst, která již nejsou vzniklou situací přímo ohrožena, nejčastěji mimo budovu na volné prostranství. Evakuace zahrnuje osoby, zvířata i majetek, přičemž prioritou odpovídá uvedenému pořadí. Evakuace se dělí z hlediska rozsahu mimořádné události (a s tím souvisejícím počtem evakuovaných osob) na dvě základní skupiny [1]: objektová a plošná.

Objektová evakuace je z hlediska doby trvání obvykle krátkodobá a jedná se o opuštění objektu (popř. přesun do jiné bezpečné části objektu) z důvodu vzniku mimořádné události přímo v evakuované budově, popř. v blízkém okolí.

Plošná evakuace je charakterizována vznikem mimořádné situace velkého rozsahu, kdy nelze vést účinné opatření pro zajištění ochrany osob přímo v místě vzniku události a je nutné přesunout celé územní celky obyvatel do bezpečných míst a následně zajistit úkryt a stravu pro evakuované osoby. Tato evakuace je z hlediska doby trvání většinou dlouhodobá.

V této práci bude věnována pozornost pouze objektové evakuaci při vzniku požáru, jelikož je v požární ochraně důležitá zejména pro potřeby zajištění požární bezpečnosti staveb [1].

Studie se zaměřením na objektové evakuace započaly již ve 20. století, kdy se začala objevovat první empirická data o pohybu osob (např. Togawa - Japonsko 1955 [2]). Hlavní důraz byl kladen na pohyb osob v koridorech (chodbách), na schodištích a skrz otvory (zejména dveře). Nejvýznamnější první studie vytvořili Predtechenskii a Milinskii (SSSR 1969) [3], Fruin (USA 1971) [4], a Pauls (USA 1977) [5], kteří shromáždili výsledky velkého množství experimentů se zaměřením na závislost hustoty a toku osob na rychlosti osob, efektivní šířky komunikací, kapacity únikových cest a minimální šířky schodišť z hlediska evakuace osob. Tyto studie se zabývají nejen pohybem osob v průběhu evakuace, ale i pohybem osob v běžném životě, a vytvářejí tak analytické vztahy a podklady pro posuzování doby pohybu, která je potřebná pro modelování podmínek evakuace. Na tyto poznatky navazují nové studie, které se nezabývají jen samotným pohybem osob, ale také časem do zahájení evakuace (pre-evacuation time) a chováním osob [6–10].

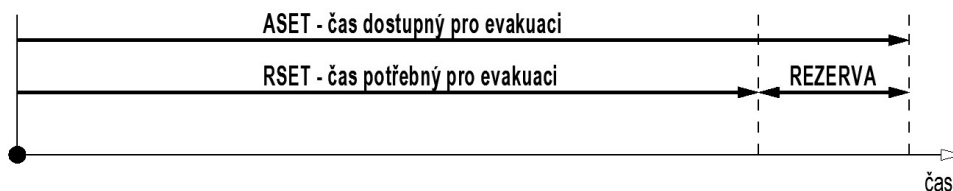
Pro posouzení, zda je navržené řešení pro evakuaci osob bezpečné, či nikoliv, slouží časový koncept, který zahrnuje veškeré vlivy, které mohou ovlivňovat průběh evakuace osob.

### A.1.1 Časový koncept průběhu evakuace

Pro posuzování bezpečných podmínek evakuace osob z hlediska požární bezpečnosti staveb je zapotřebí určit dvě základní hodnoty, kterými jsou [11]:

- ASET (Available safe egress time) – čas dostupný pro evakuaci,
- RSET (Required safe egress time) – čas potřebný pro evakuaci.

Pro bezpečnou evakuaci osob musí být splněna podmínka  $ASET > RSET$  (obr. 1).



obr. 1 - Časový koncept evakuace; časy ASET a RSET

Tyto časy mohou být v České republice určeny na základě dvou přístupů [12]:

- preskriptivní přístup,
- požárně inženýrský přístup.

#### Preskriptivní přístup

Preskriptivní přístup znamená, že jednotlivé časy jsou stanoveny (popř. je lze stanovit) pomocí normativních dokumentů a standardů. Pomocí preskriptivního přístupu se evakuace v České republice řeší nejčastěji, jelikož je tento postup jednoduchý, dostupný a rychlý. Požárním kodexem, resp. soustavou českých technických norem požární bezpečnosti (zejména ČSN 73 08xx), je posouzení evakuace ve většině případů řešeno pomocí požadavků na splnění počtu, typu, maximální délky a kapacity únikových cest. Nicméně v určitých požárních úsecích (např. velké prodejní prostory ve vícepodlažních domech, velké sály, výstavní prostory, prostory s navrženým SOZ a další prostory, ve kterých může dojít ke ztíženým podmínkám evakuace) musí být posouzeny jednotlivé časy ASET a RSET [13]. V těchto případech lze pro stanovení časů ASET a RSET využít analytické vzorce, které norma [13] nabízí. Čas ASET lze vypočítat podle vzorce pro stanovení doby zakouření prostoru (1), (2) a čas RSET podle vzorce na výpočet doby evakuace (5), (6).

#### Požárně inženýrský přístup

Požárně inženýrský přístup (PIP) je přístup, který aplikuje dosavadní poznatky, vědomosti a výzkumy z oblasti požárně bezpečnostního inženýrství k posouzení požární bezpečnosti budovy řešením odchylným od norem požární bezpečnosti, resp. řešením, kdy je prokázána dostatečná požární bezpečnost na základě postupů, které nejsou uvedeny v souboru českých technických norem. Tento přístup umožňuje §99 zákona č. 133/1985 Sb., o požární ochraně, ve znění pozdějších předpisů. Provádění PIP popisuje příloha I ČSN 73 0802 [13], resp. příloha J ČSN 73 0804 [14].

Při požárně inženýrském přístupu bývají použity přesnější výpočetní metody, které podrobněji analyzují podmínky požární bezpečnosti v posuzovaném objektu (intenzita požáru, šíření zplodin, podmínky evakuace...) a přistupují tak k jednotlivým budovám individuálně, což umožňuje hledat efektivní a specifická řešení „na míru“. PIP je uplatňován zejména tam, kde dochází k velké koncentraci osob, u velmi vysokých objektů (zejména nad 60 m) a tam, kde by vznikly neúměrně vysoké náklady na požární zabezpečení při řešení pomocí preskriptivních předpisů [12].

### A.1.1.1 ASET – čas dostupný pro evakuaci

Čas dostupný pro evakuaci vyjadřuje dobu, při které v řešeném prostoru nedojde ke vzniku nepřijatelných podmínek k evakuaci osob, resp. k podmínkám, při kterých by došlo k vystavení unikajících osob nepřijatelným projevům požáru (vysoké teploty, kouř a toxické zplodiny apod.) [15].

Při stanovení ASET podle preskriptivních předpisů je v ČR limitním předpokladem dosažení výšky kouřové vrstvy, která je nejčastěji stanovena výškou 2,5 m nad podlahou v řešených prostorech, ze kterých se uniká. V určitých prostorech se tato výška může měnit (např. garáže). Pro tento výpočet jsou k dispozici následující analytické vztahy (1) [13] a (2) [16].

$$t_z = 1,25 h_s^{\frac{1}{2}} / a \text{ [min]} \quad (1)$$

$$t_z = 1,25 h_s^{\frac{1}{2}} / (a \cdot c) \text{ [min]} \quad (2)$$

kde  $t_z$  [min] je doba, kdy zplodiny hoření a kouř zaplní prostor či požární úsek do úrovně 2,5 m nad podlahou;  $h_s$  [m] je světlá výška posuzovaného prostoru;  $a$  [-] je součinitel rychlosti odhořívání;  $c$  [-] je součinitel vlivu požárně bezpečnostních zařízení (PBZ)

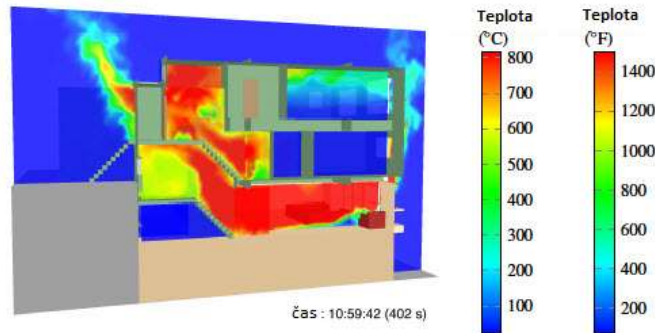
Tyto vztahy jsou ovšem limitovány pouze jednopodlažními prostory, resp. prostory, kde dochází k evakuaci pouze z jedné výškové úrovně. Použití tohoto vzorce je např. pro vyhlídkové věže velice nevhodné, jelikož udává pouze dobu, kdy kouřová vrstva dosáhne výškové úrovně 2,5 m nad podlahou, nicméně není definovaný průběh zakouření v čase, což je následně potřebné pro posouzení časů ASET a RSET (zda budou jednotlivá podlaží evakuována dříve, než dojde k zaplnění prostorů kouřem a zplodinami hoření).

Při řešení doby ASET pomocí požárně inženýrského přístupu lze využívat jak jednoduché analytické vztahy, tak i sofistikovanější počítačové programy, které pracují buď na principu řešení analytických rovnic (pouze automatizují práci s výpočtem jednotlivých rovnic), nebo používají složitější numerická řešení, která člověk není schopen řešit ručním výpočtem. V současné době jsou k dispozici např. zónové modely (např. Argos<sup>1</sup>, CFAST<sup>2</sup>), či programy CFD (Computational Fluid Dynamics) založené na numerickém řešení (v oblasti požární

<sup>1</sup> Argos – vývojáři: Danish Institute of Fire and Security Technology (DBI)

<sup>2</sup> CFAST – vývojáři: National Institute of Standards and Technology (NIST)

bezpečnosti např. FDS<sup>3</sup> - obr. 2). Tímto způsobem může být zjištěna dostupná doba pro evakuaci osob ASET například modelem dynamiky požáru.



obr. 2 - Analýza rozvoje požáru v programu FDS; zdroj<sup>4</sup>

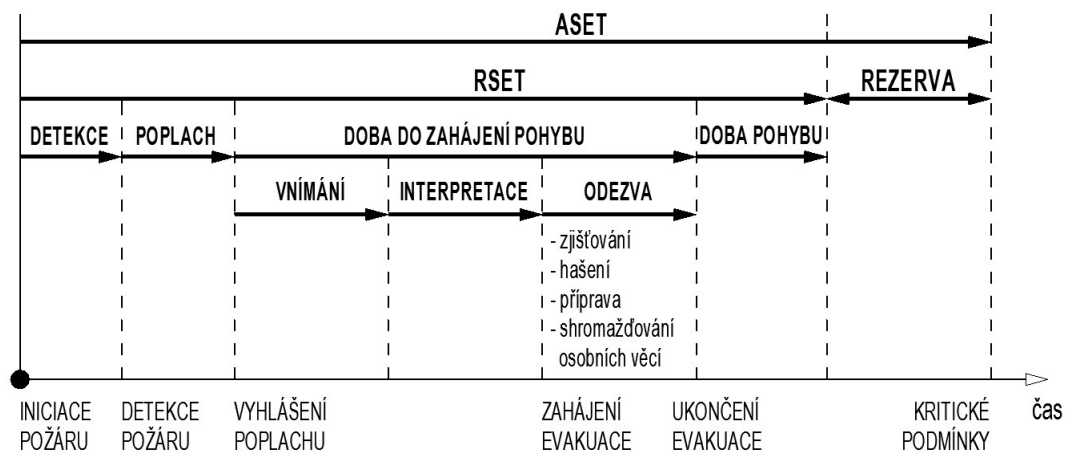
### A.1.1.2 RSET

Čas potřebný pro evakuaci (RSET) byl a je jedním z nejdůležitějších témat, kterému se výzkumy a studie zaměřené na evakuaci věnovaly a věnují, jelikož se jedná o časový údaj, který nelze přesně a jednoznačně stanovit analytickými vztahy. Čas RSET je závislý na mnoha faktorech a je popsán následujícím vztahem (3) [15, 17, 18]:

$$RSET = t_d + t_a + t_o + t_i + t_e \quad (3)$$

kde  $t_d$  = doba detekce požáru;  $t_a$  = doba vyhlášení poplachu;  $t_o$  = doba interpretace;  $t_i$  = doba odezvy;  $t_e$  = doba pohybu

Čas potřebný pro evakuaci je pro lepší pochopení vykreslen v grafické podobě na následujícím obrázku (obr. 3)



obr. 3 - Časový koncept průběhu evakuace; převzato a upraveno z [17]

<sup>3</sup> Fire Dynamics Simulator – vývojáři: National Institute of Standards and Technology (NIST)

<sup>4</sup> převzato a přeloženo z: <http://www.firegroundleadership.com/2015/01/>

### **Doba detekce a poplachu**

Doba detekce a poplachu závisí zejména na vybavenosti objektu požárně bezpečnostním zařízením, jako je např. elektrická požární signalizace (EPS), na kterou jsou napojeny detektory požáru (optické, tepelné, ionizační...), či další zařízení. EPS má v rámci systému integrovanou i akustickou a světelnou signalizaci požáru (siréna, maják), která v případě impulzu z ústředny EPS samočinně vyhlásí poplach. Pokud je budova vybavena zařízením, které samočinně detekuje vznikající požár a vyhlásuje poplach, jsou detekční časy relativně krátké – v řádech několika sekund [17]. V případě, že toto vybavení budova nemá, popř. má, ale je z nějakého důvodu mimo provoz (např. porucha), jsou detekční časy výrazně delší – v řádech minut až hodin. V takovém případě může docházet k samovolnému rozvoji požáru, aniž by si vzniklé situace kdokoliv všiml, a požár tak bývá ohlášen až ve chvíli, kdy dochází ke konfrontaci osob se samotnými projevy požáru.

### **Doba do zahájení pohybu**

V minulosti bylo uvažováno, že nejdůležitější faktor v určování doby evakuace je čas potřebný na překonání vzdálenosti od místa, v němž je evakuace započata, do míst, kde již není daná osoba ohrožena nebezpečnými projevy požáru. Při výzkumech, které provedli například Sime [6, 7] a Proulx [8–10], bylo zjištěno, že doba do zahájení evakuace, resp. doba do započetí pohybu do bezpečí, má na celkový čas potřebný pro evakuaci minimálně stejný vliv, jako samotná doba pohybu. Tento čas je podle výsledků studií jedním z nejdůležitějších parametrů pro evakuační analýzu, avšak je v dnešní době k dispozici stále velmi málo relevantních vstupních údajů.

Lidský faktor je nevyzpytatelná veličina a jen těžko ho lze předvídat s velkou pravděpodobností úspěchu. Doba do zahájení evakuace se může pohybovat v rozmezí od několika sekund do řádů minut a je závislá jak na individualitě osoby (např. vnímání vážnosti situace, rozpracované aktivity), tak na chování davu či skupiny osob (sociální afiliace). Mezi hlavní faktory ovlivňující čas do zahájení evakuace patří například [17]:

- typ varovného systému,
- znalost budovy,
- obsazenost budovy osobami,
- psychický stav osob,
- věk,
- zkušenosti s evakuací,
- přítomnost projevů požáru,
- instrukce personálu,
- denní doba (světelné podmínky, vnímání...),
- nedokončená práce,
- zjišťování incidentu atd.



V dnešní době existují modely chování, které se snaží tuto behaviorální nejistotu částečně predikovat. Mezi modely chování patří například [19–21]:

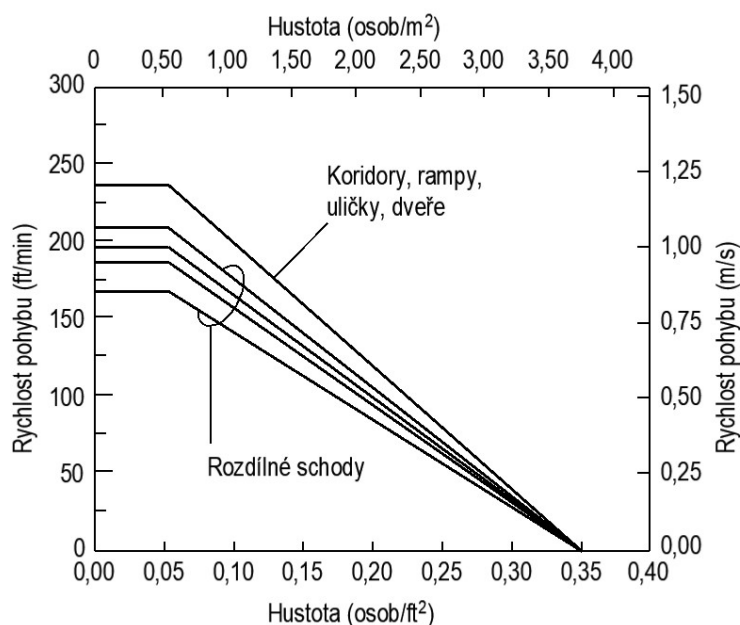
- zjednodušené modely („podnět – odezva“),
- teorie behaviorálních posloupností,
- role – rule model,
- teorie afiliací.

### **Doba pohybu**

Doba pohybu osob označuje časový úsek samotného přesunu osob z místa počátku evakuace do bezpečných míst (např. na venkovní prostranství). Pohyb osob se hodnotí zejména po rovině, po schodišti (nahoru i dolů) a skrz otvory (nejčastěji dveře). Pro stanovení doby pohybu je zapotřebí znát tři základní charakteristiky pohybu osob, které jsou na sobě navzájem závislé [3, 15]:

- rychlost osob,
- hustota osob,
- tok proudu osob.

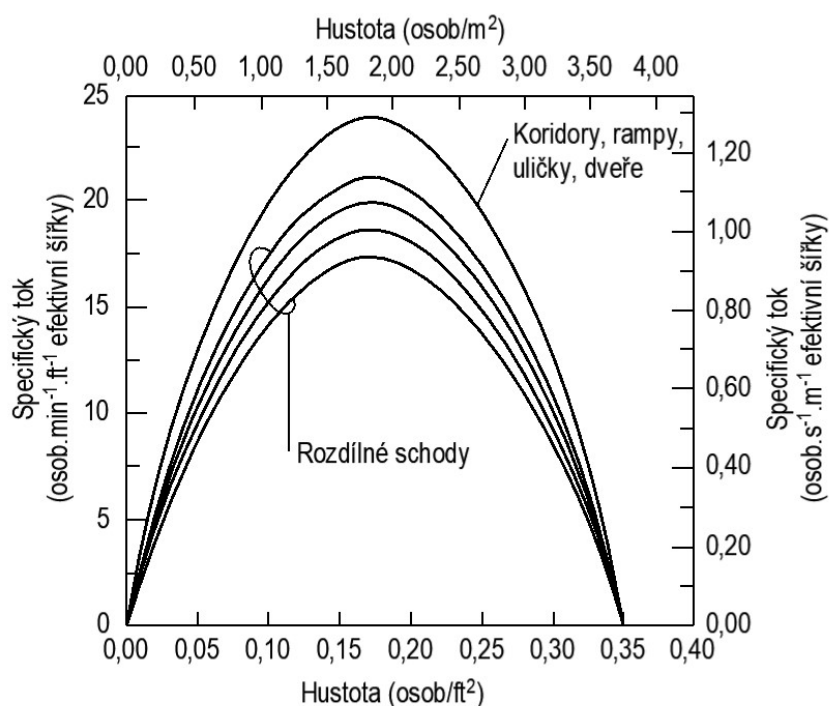
Rychlost osob popisuje, kolik metrů osoba urazí za jednotku času (např. 1,0 m/s). Rychlost je veličina, která se mění v závislosti na typu prostorů, kde se osoby pohybují (rovina, schodiště...) a je závislá na hustotě osob [17]. S rostoucí hustotou rychlost osob klesá (obr. 4) [3, 15, 17]. Při dosažení určité hodnoty hustoty osob (podle studie SFPE na obr. 4 od 3,8 osoby/m<sup>2</sup> [15]) se pohyb osob zastaví. Při nízkých hodnotách hustot (podle studie SFPE na obr. 4 do 0,54 osoby/m<sup>2</sup> [15]) již rychlost není ovlivňována hustotou a unikající osoby dosahují své přirozené rychlosti chůze, která je naopak závislá na věku, pohlaví, fyzické kondici a dalších charakteristických rysech samotných osob [17].



obr. 4 - Závislost rychlosti osob na hustotě osob; převzato a přeloženo z [15]

Hustota osob popisuje množství osob na jednotku plochy (např. 2,0 osoby/m<sup>2</sup>), nebo lze často vidět převrácený tvar, tj. plocha připadající na jednu osobu (např. 0,5 m<sup>2</sup>/osobu).

Tok proudu osob (nebo také intenzita pohybu osob, specifický tok) se používá pro vyjádření, kolik osob projde úsekem o jednotkové šířce za jednotku času (např. 1,0 osoby·m<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup>). Specifický tok je stejně jako rychlost osob závislý na typu prostoru, ve kterém se osoby nacházejí (rovina, schodiště...) a na hustotě osob. Se zvyšující se hustotou se do určité hodnoty zvyšuje i specifický tok osob (obr. 5). Po dosažení určité hodnoty hustoty osob (podle studie SFPE na obr. 5 od 1,9 osoby/m<sup>2</sup>) se začíná tok proudu osob opět snižovat až do zastavení pohybu (podle studie SFPE na obr. 5 při hustotě 3,8 osoby/m<sup>2</sup>).



obr. 5 - Závislost hustoty osob na toku proudu osob; převzato a přeloženo z [15]

Velikost toku osob a hustoty osob závisí na množství osob, které vytvářejí proud a na jejich rozměrech. Rozměry lidí závisí na jejich fyzických proporcích, stáří, oblečení a dalším příručním vybavení, které s sebou nesou (např. batoh, kufr ...). Na základě provedených měření ve výzkumu Predtechenskiho a Milinskiho [3] byly sestaveny průměrné hodnoty lidských rozměrů, které byly aproximovány na výpočtově „jednoduché“ tvary, které se půdorysnému tvaru lidské osoby přibližují – elipsy. Hlavní osa elipsy představuje šířku člověka v místě ramen a vedlejší osa elipsy představuje tloušťku člověka v místě prsou. Plocha dospělého člověka v lehkém letním oblečení je např. 0,100 m<sup>2</sup>. V dnešní době však může velice často nastat situace, že tloušťka člověka v místě prsou je menší, než tloušťka v oblasti břicha [22], což může průběh evakuace výrazně negativně ovlivnit.

Dobu pohybu při evakuaci je možné stanovit:

- ručními výpočty,
- počítačovými evakuačními modely.

**Ruční výpočty**

Doba pohybu může být stanovena pomocí analytických pohybových rovnic, které byly vytvořeny na základě provedených studií pohybu osob [2–5]. Tyto rovnice mají tu výhodu, že se dají „snadno a relativně rychle“ vyřešit ručním výpočtem.

Jednu z prvních analytických rovnic (4) vytvořil v 50. letech 20. století Togawa (Japonsko 1955) [2]:

$$TET = \frac{N}{b_c \cdot F_s} + \frac{L}{v} [min] \quad (4)$$

kde  $TET$  [min] je doba pohybu;  $N$  [osob] je počet osob;  $b_c$  [m] je šířka koridoru;  $F_s$  [osob/s/m] je tok osob;  $L$  [m] je délka únikové cesty;  $v$  [m/min] je rychlost pohybu osob

Z této rovnice byly pravděpodobně odvozeny i vzorce (5) a (6) pro výpočet doby evakuace, které jsou využívány v českých technických normách [13, 16].

$$t_u = \frac{0,5 \cdot l_u}{v_u} + \frac{E \cdot s}{K_u \cdot u} [min] \quad (5)$$

$$t_u = \frac{0,75 \cdot l_u}{v_u} + \frac{E \cdot s}{K_u \cdot u} [min] \quad (6)$$

kde  $t_u$  [min] je doba evakuace stanovená k jednotlivým východům;  $l_u$  [m] je délka cesty k uvažovanému východu;  $E$  [osob] je počet evakuovaných osob po uvažované cestě;  $s$  [-] je součinitel podmínek evakuace;  $u$  [-] je počet únikových pruhů;  $v_u$  [m/min] je rychlost pohybu osob;  $K_u$  [osob/min] je jednotková kapacita únikového pruhu

Další analytické vztahy vytvořili Predtechenskii a Milinskii [3], kteří se věnovali pohybu nejen při požáru, ale i běžnému pohybu, Fruin [4], který analyzoval pohyb osob na ulici, vlakových a autobusových nádražích a vytvořil vztahy pro vytváření front a čekání, Pauls [5], který se věnoval administrativním budovám, schodištím, výškovým budovám a zavedl pojem efektivní šířka a mnoho dalších autorů.

Provedené studie vytváří tzv. hydraulický model pohybu osob při evakuaci [15]. Tento model využívá poznatků z provedených cvičných evakuací, pozorování a studování lidského pohybu, které jsou převedeny do analytických rovnic. Hydraulický model je charakterizován těmito předpoklady [15]:

- všechny osoby zahájí evakuaci ve stejném okamžiku,
- tok osob není ovlivňován individualitou osob,
- většina osob je schopna samostatného pohybu a zároveň schopna být součástí davu.

Je třeba mít na paměti, že spočítaná doba nutná k evakuaci na základě hydraulického modelu je pouze modelový předpoklad, který se od reálného času více, či méně odlišuje.

Typické příklady aspektů, které ovlivňují evakuaci jsou [15]:

- časové ztráty z hlediska různého způsobu vyhlášení a řízení evakuace,
- časové ztráty spojené se slučováním proudů osob,
- časové ztráty způsobené individualitou osob
- časové ztráty vyvozené nerovnoměrným využitím východů atd.

Rozdíl mezi reálným a modelovým časem evakuace hodnotí tzv. účinnost evakuace (apparent evacuation efficiency). Tato účinnost je vyjádřena následující rovnicí (7) [15]:

$$t_e = t_{me} \cdot e \quad (7)$$

kde  $t_e$  [s] je reálná doba evakuace;  $t_{me}$  [s] je doba evakuace získaná z modelu;  $e$  [-] je účinnost evakuace

### **Počítačové evakuační modely**

V dnešní době moderních počítačových technologií je k dispozici velké množství (v řádech několika desítek) počítačových programů [20], které modelují průběh evakuace na základě různých evakuačních modelů [23]. Tyto modely mohou využívat jak analytické vztahy (které se používají pro ruční výpočty), tak i komplexnější výpočetní postupy, které vedle základních charakteristik (rychlosti osob, hustoty a specifického toku) mohou využívat i další prvky, jako jsou například vazby mezi jednotlivými osobami, projevy požáru, toxicitu zplodin hoření, rozhodování a mnoho dalších. Velkou předností tohoto přístupu je i možnost zadání rozsahu vstupních hodnot, a tím docílení částečně stochastického přístupu, neboť jednotlivé vstupy nejsou deterministické veličiny. Použitím počítačových evakuačních modelů můžeme docílit lepší realističnosti a optimalizace návrhu [23].

Jednotlivé evakuační modely se vzájemně liší, a proto je při jeho výběru nutné ověřovat, zda je zvolený model pro uvažované použití vhodný, či nikoliv. Evakuační modely se liší mimo jiné následujícími aspekty [23]:

- verifikace a validace,
- jak je modelován pohyb osob,
- jak je modelováno lidské chování,
- jak je reprezentován prostor,
- další možnosti a funkce modelu.

Přehledu současných možností počítačových programů na řešení evakuace osob se podrobně věnuje např. Kuligowski [23]. Z velkého množství softwarů můžeme využít např. Pathfinder<sup>5</sup> a FDS+Evac<sup>6</sup>, které patří mezi nejpoužívanějších 6 programů pro řešení evakuace osob [24].

<sup>5</sup> Thunderhead Pathfinder – vývojáři: Thunderhead Engineering

<sup>6</sup> FDS+Evac – vývojáři: National Institute of Standards and Technology (NIST), VTT Technology Centre of Finland

## A.1.2 Faktory ovlivňující evakuaci

V případě vzniku požáru jsou evakuované osoby vystaveny mimořádně stresovým situacím. Faktory, které ovlivňují pohyb a celkovou evakuaci osob jsou zejména projevy samotného požáru, psychický a fyzický stav osob a parametry budovy [18].

### Požár

V případě vzniku požáru jsou evakuované osoby a zasahující jednotky požární ochrany vystaveny nebezpečným projevům působícího požáru, a to zejména produktům spalování (zplodiny hoření včetně tvorby toxických produktů), úbytku kyslíku a vysokým teplotám.



obr. 6 - Požár výškového bytového domu v Londýně <sup>7</sup>

Z hlediska nebezpečnosti představují největší riziko zplodiny hoření, které mají na svědomí i nejvíce lidských životů při požárech [18]. Zplodiny hoření obsahují různé množství produktů podle složení spalované látky, typu hoření, přístupu vzduchu a teploty [25]. Při běžném požáru dochází téměř vždy k nedokonalému hoření vlivem nedostatku kyslíku, jehož produkty jsou zejména oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ), oxid uhelnatý (CO), uhlíkaté zbytky (saze) a vodní pára. Ve většině dnešních materiálů jsou použity polymerní produkty (organické sloučeniny uhlíku), které při požáru uvolňují toxické, jedovaté a životu nebezpečné látky (především s narkotickými a dráždivými účinky), které jsou strhávány kuželem požáru<sup>8</sup> a vlivem rozdílných hustot chladného a teplého vzduchu transportovány směrem od epicentra požáru.

Mezi vysoce toxické látky a produkty hoření patří zejména [26]:

- Oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ),
- Oxid uhelnatý (CO),

---

<sup>7</sup> zdroj: [http://www.ceskatelevize.cz/ct24/sites/default/files/styles/scale\\_1180/public/images/1932945-f201706140708101.jpeg?itok=hPNKD5f3](http://www.ceskatelevize.cz/ct24/sites/default/files/styles/scale_1180/public/images/1932945-f201706140708101.jpeg?itok=hPNKD5f3)

<sup>8</sup> z anglického Fire Plume

- Chlorovodík (HCl),
- Nitrozní plyny (NO<sub>x</sub>),
- Kyanovodík (HCN) – koncentrace 135 ppm vyvolává smrt,
- Fosgen (COCl<sub>2</sub>) – koncentrace 25 ppm vyvolává smrt,
- Ultrajedy (např. PCDBF<sup>9</sup>, TCDBO<sup>10</sup>) – způsobují neléčitelné nemoci a smrt.

V následujících tabulkách (tab. 1, tab. 2) je popsán účinek koncentrace oxidu uhelnatého a oxidu uhličitého na lidský organismus.

*tab. 1 - Tabulka účinku koncentrace oxidu uhelnatého (CO) na lidský organismus [26]*

Koncentrace CO [%]	Příznaky
0,01	Žádné příznaky
0,02-0,08	Různé intenzity bolesti hlavy (mírná až silná), nevolnost
0,10	Nebezpečná koncentrace – bezvědomí po 1 hodině
0,16	Nevolnost, silné bolesti hlavy a závratě po 20 minutách
0,32	Nevolnost, silné bolesti hlavy a závratě po 5-10 minutách, bezvědomí po 30 minutách
0,64	Silné bolesti hlavy a závratě po 1 až dvou minutách, bezvědomí po 10-15 minutách
1,28	Okamžité bezvědomí, nebezpečí smrti po 1-3 minutách

*tab. 2 - Tabulka účinku koncentrace oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) na lidský organismus [26]*

Koncentrace CO <sub>2</sub> [%]	Příznaky
0,03	Žádné příznaky – běžné množství v atmosféře
5	Zrychlené dýchání, bolesti hlavy, závratě, pocení, rozrušení
10-12	Smrt během několika minut následkem ochrnutí dýchacího centra mozku

Velice nebezpečný je i pokles koncentrace okolního kyslíku, jelikož proces hoření je charakteristický tím, že spotřebovává kyslík za současné produkce zplodin hoření. Pokles množství kyslíku ve vzduchu může způsobit značné problémy s fyzickým i psychickým stavem osob, neboť pokles množství kyslíku pod limitní mez způsobuje téměř okamžitou ztrátu vědomí a následnou smrt, pokud nedojde k resuscitaci. V následující tabulce (tab. 3) jsou shrnuty účinky sníženého množství kyslíku na unikající osoby.

<sup>9</sup> PCDBF = Polychlordibenzfuran

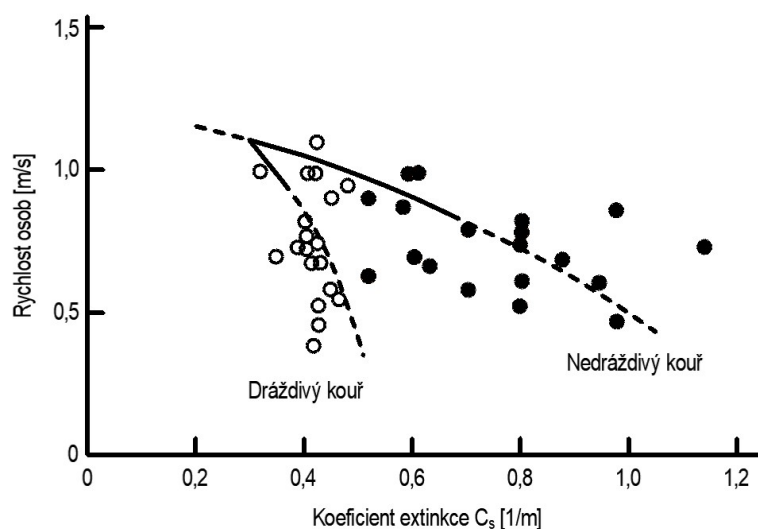
<sup>10</sup> TCDBO = Polychlordibenzparadiooxin

tab. 3 - Tabulka účinku koncentrace kyslíku ( $O_2$ ) na lidský organismus [27]

Množství $O_2$ ve vzduchu [%]	Příznaky	
21	Žádné – běžné množství kyslíku v atmosféře	
18-21	V krátké době nelze zjistit žádné rozpoznatelné příznaky	
11-18	Snížení fyzické a duševní výkonnosti, aniž by o tom postižení osoba věděla	
8-11	Nebezpečí úmrtí	
6-8		Ztráta vědomí po několika minutách bez předchozího varování.
0-6		Ztráta vědomí po několika sekundách – oživení je možné, pokud se provádí okamžitě.
0-6	Téměř okamžitě dojde ke ztrátě vědomí. Poškození mozku i v případě záchrany.	
Pozn.: Bez přítomnosti kyslíku způsobí náhlou ztrátu vědomí (s možným následkem smrti) už 1 až 2 nádechy dusíku nebo jiného inertního plynu.		

Kombinaci koncentrací kyslíku a produktů hoření určuje tzv. frakční účinná dávka, jejíž bezpečná hodnota (pro výsledky numerických simulací na základě FDS) je limitována hodnotou 0,3, která je charakterizována maximálně 11 % postižených osob [28].

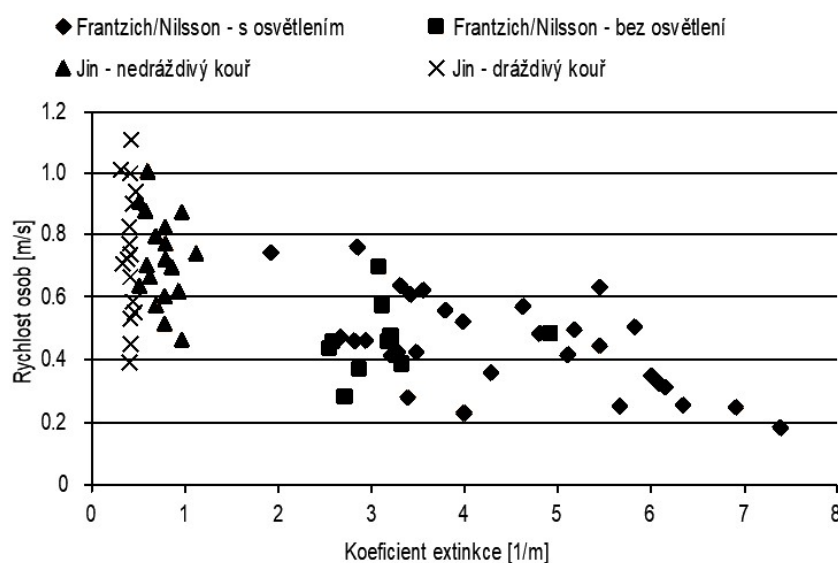
S produkcí zplodin hoření úzce souvisí i viditelnost skrz vrstvu kouře. Rychlost osob je závislá zejména na dráždivosti kouře a celkovém oslabení světla při průchodu vrstvou prostředí (kouře). Toto oslabení je charakterizováno koeficientem extinkce (koeficient zeslabení), který představuje celkové oslabení světla při průchodu vrstvou prostředí o jednotkové tloušťce. Výzkumu zaměřenému na souvislost mezi extinkčním koeficientem a dosažitelnou rychlostí se jako první věnoval Jin [29] již v roce 1976. Ve 20 m dlouhém zakouřeném koridoru studoval pohyb 38 osob ve věkovém rozmezí 20-51 let. V závislosti na míře dráždivosti kouře byly rychlosti osob redukovány přibližně na 0,3-0,5 m/s. Pohyb osob byl „klikatý“ a účastníci experimentu využívali k orientaci stěny koridoru. Jin také zjistil, že snížená viditelnost vede zejména k možným odmítavým postojům osob k pohybu skrz vrstvu kouře. Výsledky experimentu jsou zobrazeny na grafu (obr. 7).



obr. 7 - Vliv oslabení světla na rychlost osob; převzato a přeloženo z [29]

Výsledky studie Jina platí pouze pro omezený interval extinkčního koeficientu v závislosti na míře dráždivosti kouře (od 0,2 do 1,2  $\text{m}^{-1}$ ). Dále není úplně vyjasněno, co považovat za dráždivý a nedráždivý kouř.

Na výzkum Jina navázali v roce 2004 Frantzich a Nilsson [30], kteří se věnovali experimentům v zakouřeném tunelu délky 37 m a šířky 5 m s výškou stropu v rozmezí 2,5-2,7 m. Experimentu se účastnilo 30 mužů a 16 žen ve věkovém rozmezí 18-29 let. V experimentu byly naměřeny hodnoty extinkčních koeficientů v rozmezí 1,9-7,4  $\text{m}^{-1}$ . Pohyb účastníků byl zachycován pomocí tepelných infračervených kamer a vypočtené rychlosti byly naměřeny v rozmezí 0,2-0,8 m/s. V závislosti na světelných podmínkách jsou naměřené hodnoty zobrazeny na grafu (obr. 8).



obr. 8 - Vliv oslabení světla na rychlost osob; převzato a přeloženo z [30]

Z výsledků experimentu byl vytvořen vztah pro výpočet rychlosti osob v závislosti na koeficientu extinkce (8), který je využíván např. v programu FDS+Evac [31].

$$v = 0,706 - 0,057K \quad (8)$$

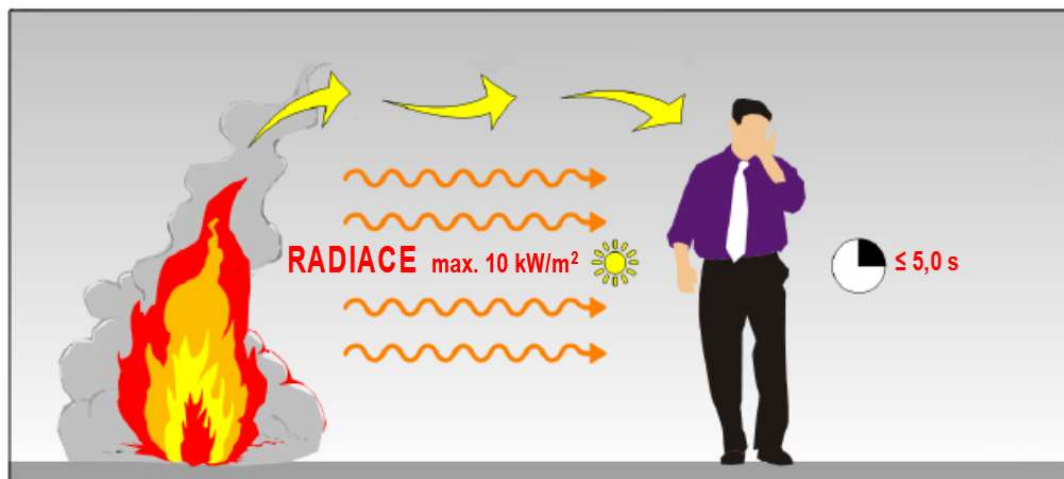
kde  $v$  [m/s] je rychlost osob;  $K$  [ $\text{m}^{-1}$ ] je koeficient extinkce

Dalším nebezpečným projevem požáru na unikající osoby jsou vysoké teploty, zejména účinky sálavého tepla a jeho důsledky, jako je vznik popálenin pokožky a dýchacích cest. Teploty při požáru mohou v případě plně rozvinutého požáru dosahovat i hodnot přes 1000 °C a působením takto vysokých teplot na hořlavé materiály dochází k postupné pyrolýze a následnému celkovému vznícení uvolňovaných hořlavých plynů (flashover<sup>11</sup>). Požár se takto může velice rychle šířit a zkracovat tak dobu dostupnou pro evakuaci.

<sup>11</sup> Celkové vzplanutí, při kterém téměř současně vzplanou všechny hořlavé látky v místě požáru.



Dle kmenové normy ČSN 73 0802 [13] je maximální hustota tepelného toku dopadající na unikající osoby stanovena hodnotou  $10 \text{ kW/m}^2$ , přičemž maximální bezpečná doba, při níž je osoba vystavena tomuto tepelnému toku je  $5,0 \text{ s}$  (obr. 9). Bezpečná hodnota hustoty tepelného toku, která neohrožuje lidské zdraví je  $2,5 \text{ kW/m}^2$  [32].



obr. 9 - Působení hustoty tepelného toku na unikající osobu; převzato a upraveno z [32]

Působením vysokých teplot dochází k negativnímu účinku na lidský organismus, zejména na kůži a dýchací cesty. Kritická teplota pro vznik popálenin je  $43,5 \text{ °C}$ . Čím vyšší je teplota, tím kratší je doba expozice, která je nutná pro vznik popálenin – např. pro teplotu  $44 \text{ °C}$  je to 6 hodin, pro teplotu  $70 \text{ °C}$  méně než 2 sekundy [33].

V následující tabulce (tab. 4) jsou shrnuty hraniční teploty, po jejichž překonání dochází k negativním účinkům na lidské zdraví:

tab. 4 - Vliv teploty na lidský organismus; převzato a přeloženo z [32]

Událost	Příčina	Teplota
Úpal (hypertermie)	Dlouhodobá expozice (více než 15 minut)	$60\text{-}120 \text{ °C}$
Popálení kůže a dýchacích cest	Vystavení tepelnému toku prouděním vzduchu (suchý vzduch $<10 \%$ vlhkosti)	$> 120 \text{ °C}$
	Vystavení tepelnému toku prouděním vzduchu (nasycený vzduch vodní párou)	$> 60 \text{ °C}$
	Vystavení tepelnému toku sáláním	$> 2,5 \text{ kW/m}^2$
	Vystavení tepelnému toku vedením (kontakt s horkým povrchem)	$> 60 \text{ °C}$

## **Osoby**

Nehledě na projevy vznikajícího požáru jsou dalším faktorem, který ovlivňuje evakuaci, samotné osoby [18]. V rámci lidských charakteristických rysů rozlišujeme chování jednotlivců, sociální chování a situační aspekty.

Rozhodující jsou zejména charakterové vlastnosti jednotlivých osob. Velice důležitý je fakt, že většina osob přijme roli pouhého „následovníka“ osob, které působí jako vůdčí osobnosti. Tyto osoby zpočátku nereagují na vzniklou situaci a čekají, co začnou dělat ostatní [18]. Dalším důležitým charakterovým znakem je odolnost osoby vůči stresovým situacím. V případě požáru může být riziko stresu zvýšeno, protože je daná osoba vystavena neznámé situaci, která ji ohrožuje na životě. Toto zvýšení stresu může způsobit zpomalení rozhodovacích reakcí. Zvýšená úroveň stresu však nesmí být zaměňována s pojmem panika, která je definována jako nerozumné, nelogické a neovladatelné chování [18]. Podle provedených výzkumů (např. [7, 34]) bylo zjištěno, že lidé během požárů nepanikaří. Dalšími aspekty jsou pozornost, zkušenosti, věk, pohlaví a další. Důležitá je i aktuální pohyblivost osoby, jelikož zraněné osoby, popř. osoby s omezenou schopností pohybu a osoby neschopné pohybu, jsou závislé na pomoci ostatních.

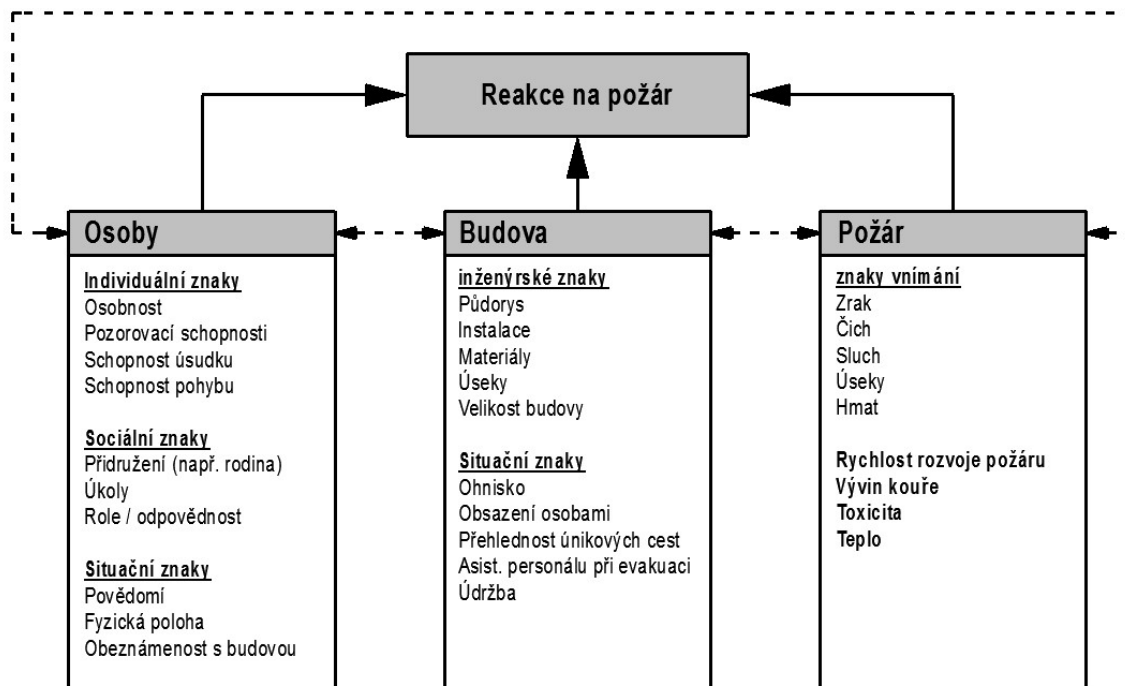
Sociální aspekty jsou charakteristické zejména interakcí mezi osobami. Rozhodující jsou v tomto případě role osob, závazky a povinnosti (např. očekávání pokynů od personálu). Na základě výzkumů (např. [35]) bylo zjištěno, že v případě nebezpečí je individuální jednání potlačeno a jednotlivé osoby spolu spolupracují. Dále bylo prokázáno (např. [35]), že zaměstnanci zodpovědní za určité pracovní povinnosti (např. vedoucí oddělení), mají sklony z důvodu jejich zodpovědnosti dokončovat svou práci, což prodlužuje čas do zahájení evakuace.

Situační aspekty vystihují například znalost budovy, rozvržení únikových východů, stav jednotlivých osob (např. bdělost, snížené schopnosti vlivem alkoholu, drog, či jiných omamných prostředků) a další [18]. Z provedených studií (např. [36]) bylo zjištěno, že osoby při evakuaci využívají zejména známé východy, kterými do budovy přišly. Tento fakt může způsobovat nerovnoměrné rozložení osob na jednotlivé únikové východy, čímž se prodlužuje doba evakuace [18].

## **Budova**

Další faktor, který ovlivňuje evakuaci osob je budova, ze které evakuace probíhá. Tento faktor zahrnuje zejména druh budovy a typ provozu, rozměry a dispozice, dostupné prostředky pro únik osob, značení a osvětlení únikových cest, obsazenost objektu, úroveň zabezpečení PBZ, způsob vyhlášení požáru a další [18]. Z provedených studií (např. [37]) vyplývá, že běžný poplašný signál je osobami často ignorován, a naopak požární poplach, který obsahuje namluvenou zprávu či bezpečnostní pokyny personálu, jsou mnohem více respektované.

Na následujícím obrázku (obr. 10) jsou graficky znázorněny jednotlivé faktory ovlivňující evakuaci.



obr. 10 - Faktory ovlivňující evakuaci; převzato a přeloženo z [18]

## A.2 Evakuace po schodištích

Při vzniku požáru ve vícepodlažních budovách jsou všechny osoby nuceny využít k evakuaci schodiště (obr. 11), nebo jiné prostředky, které jsou schopny překonávat vertikální rozdíly podlaží při mimořádné události (např. evakuační výtahy). V této podkapitole je popsáno dělení a charakteristika schodišť, charakteristika pohybu osob po schodištích, provedené studie a faktory, které evakuaci po schodištích ovlivňují.



obr. 11 - Ilustrační obrázek bezpečnostní značky označující únik po schodišti dle ČSN ISO 3864<sup>12</sup>

### A.2.1 Definice schodiště

Vzhledem k tomu, že jednotlivé výrazy z terminologie schodišť jsou používány dále v textu, jsou nejdříve přesně definovány hlavní prvky schodišť včetně grafického znázornění (dle [38]). Jednotlivé prvky schodiště jsou graficky znázorněny na obr. 12.

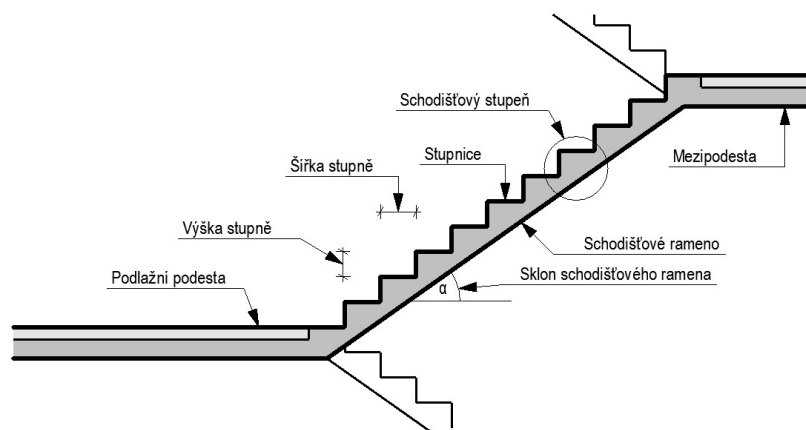
*Schodiště* je stavební konstrukce určená k překonávání rozdílů výškových úrovní chůzí, skládající se ze schodišťových ramen a podest.

*Schodišťové rameno* je souvislá a vzájemně na sebe bezprostředně navazující řada nejméně tří schodišťových stupňů spojující dvě různé výškové úrovně.

*Schodišťový stupeň* (v textu též označováno jako „schod“) je prvek schodišťového ramene, jehož šířkový a výškový rozměr je v souladu s předpokládaným provozem, s komfortem i s bezpečností chůze osob na schodišti. Výška stupně je svislá vzdálenost stupnic (horních náslapných vodorovných ploch schodišťového stupně). Šířka stupně je vodorovná vzdálenost předních hran stupnic dvou následujících schodišťových stupňů měřená na výstupní čáře.

*Podesta* je plocha, na níž schodišťové rameno bezprostředně navazuje po překonání určité výškové úrovně. Podesty se dělí na podlažní (patrové) podesty, což je plocha navazující na schodišťové rameno v úrovni podlaží a mezipodlažní (mezipatrové) podesty, což je plocha navazující na schodišťové rameno v jiné výškové úrovni, než je úroveň podlaží, na níž se mění směr výstupu. Dalším typem podesty je vložená podesta (odpočívadlo), což je plocha umístěná v jiné výškové úrovni, než je úroveň podlaží a rozdělující schodišťové rameno na vzájemně na sebe navazující ramena, na níž se nemění směr výstupu.

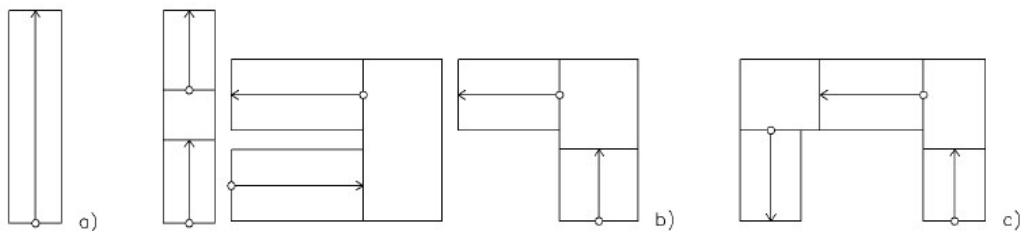
<sup>12</sup> zdroj: <https://3c1703fe8d.site.internapcdn.net/newman/gfx/news/hires/2009/stairwelleva.jpg>



obr. 12 - Prvky schodiště

Podle počtu ramen se rozlišují schodiště (obr. 13):

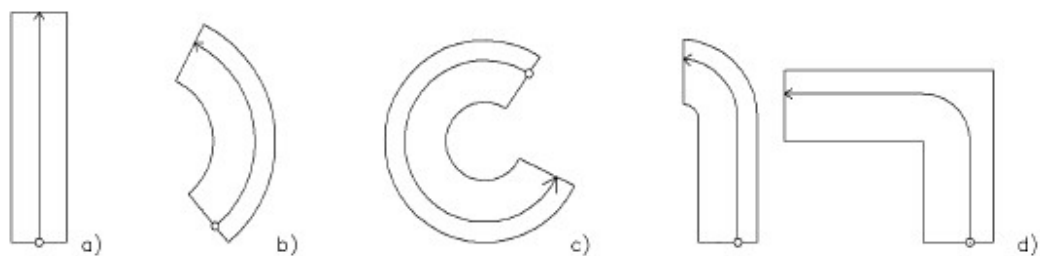
- jednoramenná (a),
- dvouramenná (b),
- tříramenná (c),
- víceramenná.



obr. 13 - Třídění schodišť podle půdorysného tvaru, převzato z [38]

Podle půdorysného tvaru ramen se rozlišují schodiště (obr. 14):

- přímá (a),
- zakřivená (b) a točitá (c),
- smíšená (d).



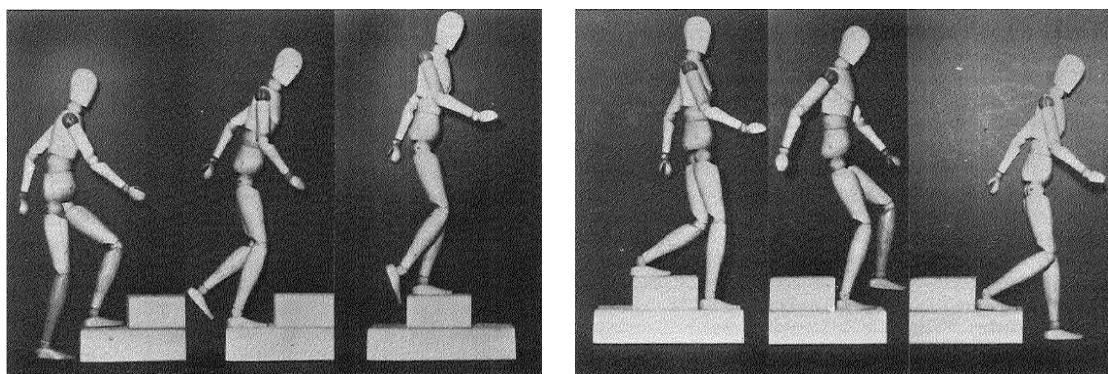
obr. 14 - Třídění schodišť podle tvaru ramen, převzato z [38]

## A.2.2 Charakteristika pohybu po schodišti

V této podkapitole je věnována pozornost zejména charakteristice pohybu osob po schodištích, která je čerpána z provedených studií Fruina [4], který se tomuto tématu podrobně věnoval.

Pohyb po schodišti je oproti pohybu po rovině rozdílný a velice specifický. Při pohybu po schodech rozlišujeme pohyb nahoru a dolů, přičemž při pohybu nahoru spotřebujeme 10krát až 15krát více energie, jako při stejně dlouhé chůzi po rovině. Překvapivé je, že při pohybu po schodech dolů spotřebujeme ještě o třetinu energie více než při stoupání.

Při chůzi nahoru je těžiště těla posunuto dopředu, přední noha je umístěna na prvním schodu a tvoří tak oporu těla proti pádu dopředu. Následně je hmotnost těla přenesena na přední nohu a zadní noha je předsunuta na další schod (obr. 15a). Při chůzi dolů je těžiště těla naopak posunuto dozadu kvůli zvýšenému nebezpečí pádu a je potřeba větší koncentrace, aby bylo možné ovládat účinky gravitace, která na tělo působí. Tento fakt vyžaduje snížení váhy na zadní nohu (oporu), aby ji bylo možné posunout o krok dále (obr. 15b). Z toho důvodu je sestup po schodech dolů energeticky náročnější než výstup nahoru.



(a) (b)  
obr. 15 - (a) pohyb nahoru; (b) pohyb dolů; převzato z [4]

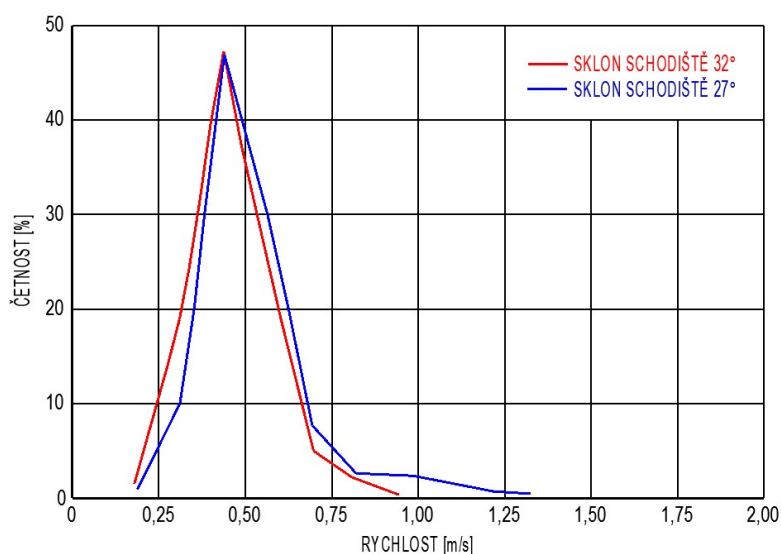
Střídáním nohou při chůzi vzniká „houpavý“ pohyb, který vychyluje tělo cca o 10 cm na každou stranu. Šířka únikového pruhu pro jednu dospělou osobu je dle normy požární bezpečnosti [13] 550 mm. Tato hodnota ovšem odpovídá pouze běžné šířce ramen dospělého člověka a nebere zřetel na tento houpavý pohyb těla při chůzi.

Pohyb osob po schodech je omezený zejména rozměry schodiště a délkou lidského kroku. Rychlost pohybu po schodišti je ovlivněna výškou a šířkou schodišťového stupně, resp. sklonem schodišťového ramena. Se snižující se výškou schodišťových stupňů roste rychlost osob [4, 15]. Průměrná délka lidského kroku je přibližně 630 mm a při menší výšce schodu musí být úměrně zvětšena šířka schodu tak, aby byl zajištěn pohodlný pohyb podle vztahu (9). Větší šířka schodu zajišťuje větší náslapnou plochu a pohyb po schodišti vyžaduje méně energie.

$$2h + b = 630 \text{ mm} \quad (9)$$

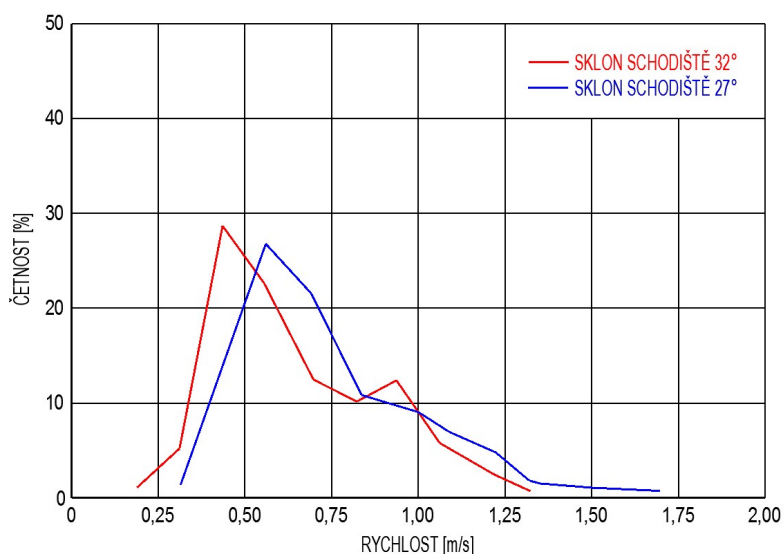
kde  $h$  [mm] je výška stupně;  $b$  [mm] je šířka stupně a 630 mm je průměrná délka lidského kroku

Rychlost osob na schodišti se mění nejen v závislosti na stavebním provedení schodiště, ale i na charakteristických rysech osob, které se po schodišti pohybují. Na pohyb mají vliv např. věk, pohlaví a stres. Na následujících grafech je vidět distribuční funkce rozložení četností rychlosti jednotlivých osob při pohybu po schodišti nahoru a dolů. Na grafu pohybu osob nahoru (obr. 16) je patrné, že se většina osob pohybovala rychlostí od 0,25 m/s do 0,75 m/s a jednotlivé hodnoty četností jsou soustředěny rovnoměrně okolo maximální četnosti, což značí větší jistotu osob při pohybu po schodišti. Tato maximální četnost odpovídá cca průměrné rychlosti 0,50 m/s. Na grafu je dále vidět, že při menším sklonu schodiště jsou četnější i vyšší rychlosti.



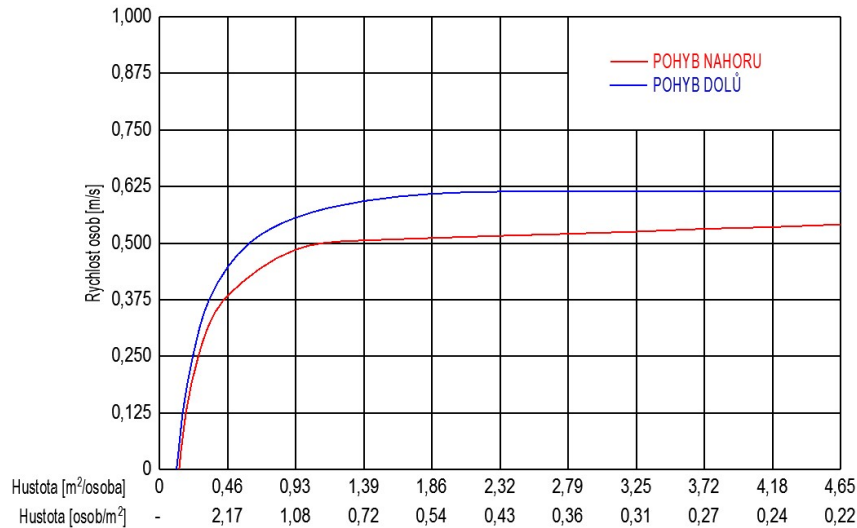
obr. 16 - Rozložení četnosti rychlostí při pohybu po schodišti nahoru; převzato a upraveno z [4]

Z grafu pohybu osob po schodišti dolů (obr. 17) je vidět, že jednotlivé četnosti jsou více rozptýleny oproti pohybu osob nahoru (obr. 16). Tento fakt je přisouzen strachu osob z pádu a tím zvýšené opatrnosti při pohybu [4]. Tento jev je umocněn tím, pokud se jedná a hendikepovanou osobu.



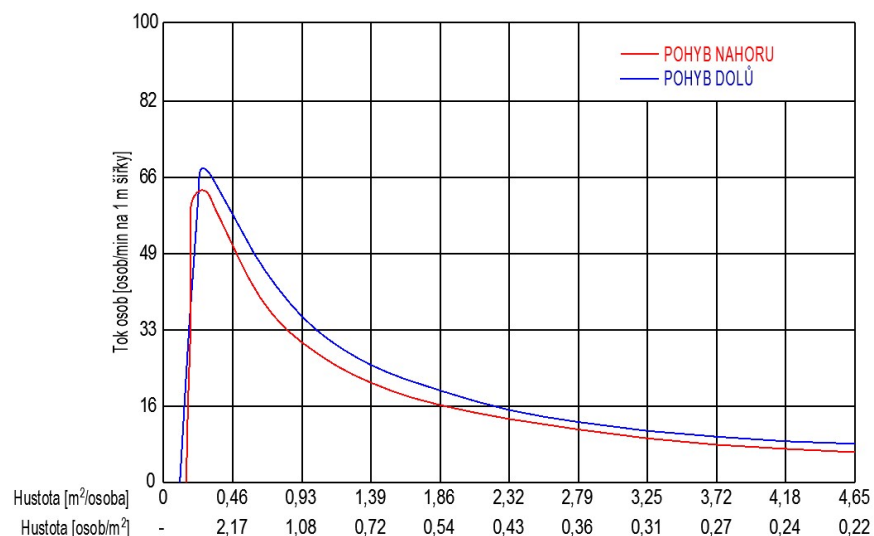
obr. 17 - Rozložení četnosti rychlostí při pohybu po schodišti dolů; převzato a upraveno z [4]

Na základě výzkumu pohybu po schodišti bylo zjištěno, že maximální tok osob po schodišti je v místech s minimálním obsazením osobami, tj. v místech s malou hustotou osob (obr. 18). Hodnocení pohybu podle SFPE [15] (obr. 4) dosahuje podobných hodnot a při hustotě přibližně 3,8 osoby/m<sup>2</sup> je již rychlost pohybu osob po schodišti nulová.



obr. 18 - Závislost rychlosti osob po schodišti na hustotě; převzato a upraveno z [4]

Při výstupu po schodišti nahoru a dostupné ploše v délce dvou schodů před vystupující osobou a šířce odpovídající šířce ramen, je krok vpřed ovlivněný pohybem osoby před námi a rychlost výstupu je při této hustotě nízká. Pro osoby je následný výstup nepřírozený a nepohodlný. Na základě výzkumu bylo zjištěno, že maximální tok osob při pohybu po schodišti nahoru je 62 osob/min na 1 m šířky (resp. 1,033 osoby/s na 1 m šířky). Při této hodnotě však dochází k omezení rychlosti vlivem střídavého vytváření front a následného uvolnění. Pro pohyb po schodech dolů je tato hodnota zhruba 69 osob/min na 1 m šířky (resp. 1,15 osoby/s na 1 m šířky) [4]. Průběh závislosti toku osob na hustotě osob je zobrazen na obr. 19.



obr. 19 - Závislost toku osob při pohybu na schodišti na hustotě osob; převzato a upraveno z [4]



Při výzkumu v New Yorku bylo zjištěno, že plynulý pohyb bez front funguje do specifického toku cca 39 osob/min na 1 m šířky (resp. 0,65 osoby/s na 1 m šířky). Tato hodnota odpovídá obsazenosti zhruba 0,65-0,74 m<sup>2</sup>/osobu (resp. 1,35-1,54 osoby/m<sup>2</sup>).

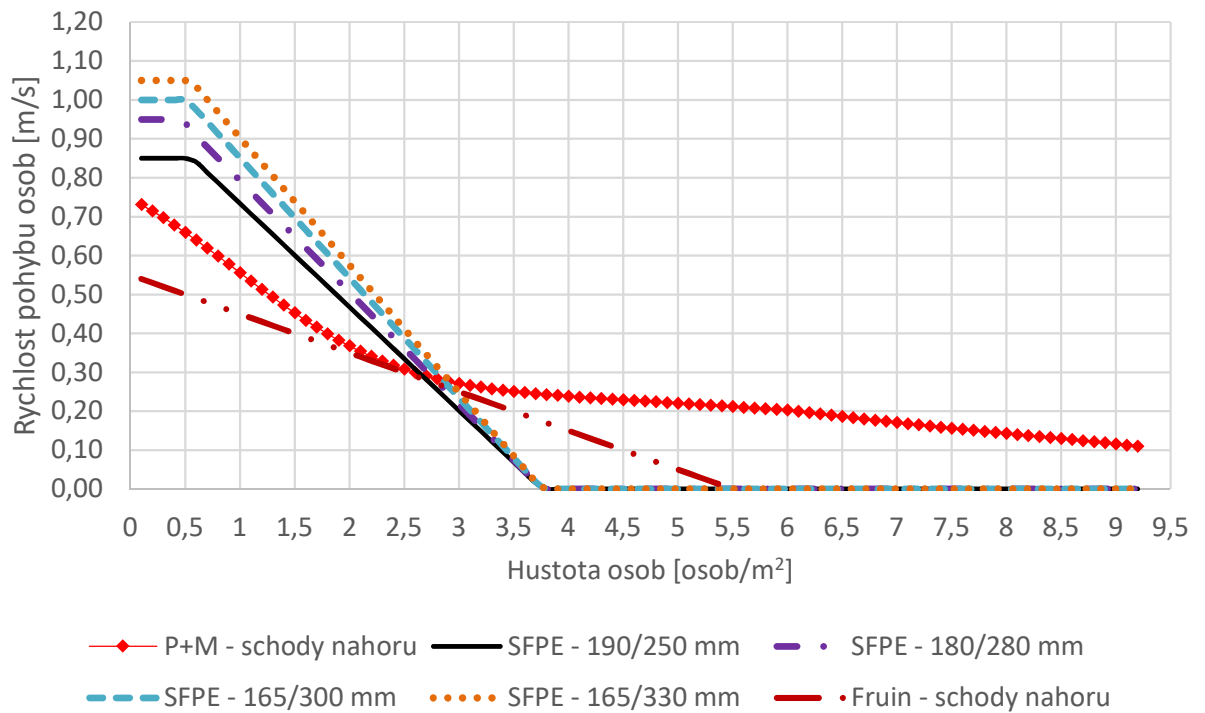
Fruin dále zjistil, že pokud má člověk před sebou dva volné schody a dostatečnou šířku, tak rychlost pohybu není omezena hustotou. Rychlost pohybu však mohou ovlivnit pomalejší osoby (např. starší lidé, osoby s pohybovými indispozicemi, malé děti atd.), přes které rychlejší jedinci nemohou v mnoha případech projít a tímto faktem dojde ke snížení rychlosti celé skupiny, což má za následek negativní dopad na psychiku rychlejších osob, kteří jsou tímto zpomalením frustrováni.

### **A.2.3 Provedené studie pohybu osob po schodišti**

Studie pohybu osob po schodišti byly prováděny již od poloviny 20. století. Je potřeba mít na paměti, že pohyb zdravých dospělých osob bude odlišný, než pohyb osob staršího věku a malých dětí. V této podkapitole jsou shrnuty vybrané studie pohybu po schodišti, které byly prováděny jako cvičné evakuace, popř. jejichž data byla získána z reálných požárů pomocí dotazování přeživších osob. Studie se věnovaly velkému množství kritérií, avšak pro zjednodušení a větší přehlednost jsou studie rozděleny do třech skupin osob: dospělé osoby, starší a pohybově postižené osoby a malé děti. Jednotlivé skupiny jsou rozděleny do následujících třech podkapitol v uvedeném pořadí. Při hodnocení pohybu byla věnována pozornost zejména rychlosti osob, která je nejběžnějším typem využívaných dat při modelování, někteří autoři ovšem zkoumali i závislost rychlosti osob na dalších proměnných (např. hustota a specifický tok).

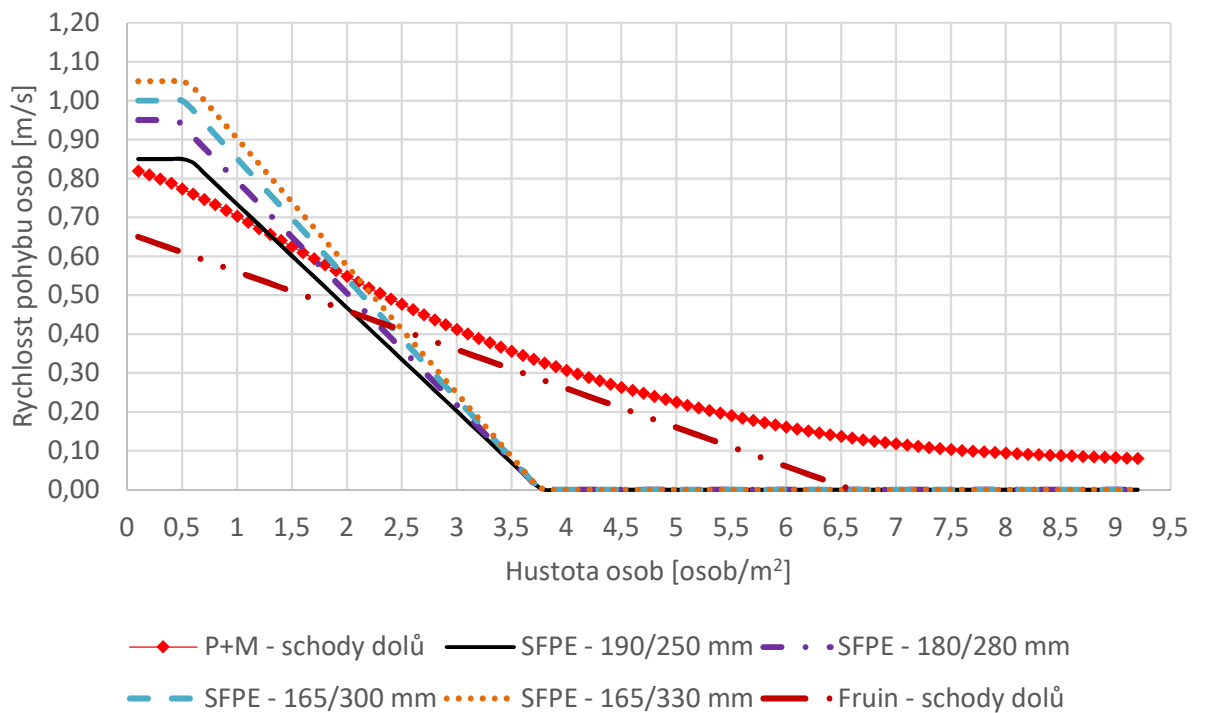
Na následujících grafech (obr. 20, obr. 21) je znázorněno porovnání hodnot rychlostí osob po schodišti nahoru a dolů v závislosti na hustotě osob od Predtechenskiho a Milinskiho [3], SFPE [15] a Fruina [4], které se používají pro výpočty v hydraulických modelech.

### Rychlost osob po schodišti nahoru



obr. 20 - Porovnání rychlostí osob po schodech nahoru podle Predtechenskiho a Milinskiho [3], SFPE [15] a Fruina [4]

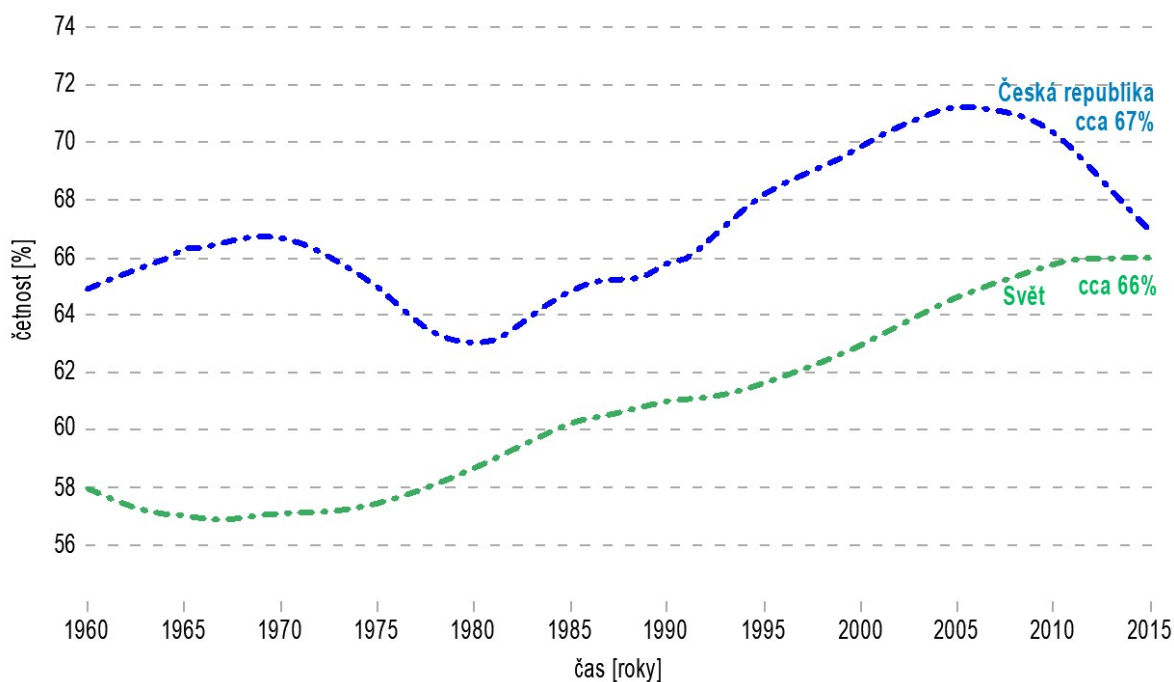
### Rychlost osob po schodišti dolů



obr. 21 - Porovnání rychlostí osob po schodech dolů podle Predtechenskiho a Milinskiho [3], SFPE [15] a Fruina [4]

### Evakuace dospělých osob po schodišti

Dospělých osob ve věku mezi 15 a 60 lety je v současné době největší počet a představují zhruba 60-70 % lidské populace<sup>13</sup> (obr. 22). Z tohoto důvodu je této věkové skupině věnována i největší pozornost, co se týká počtu provedených studií pohybu.



obr. 22 - Procentuální zastoupení dospělých osob ve světě a v ČR k roku 2015; zdroj <sup>13</sup>

Studiemi pohybu dospělých osob po schodištích se zabývalo mnoho zahraničních autorů. Velké množství provedených studií je shrnuto např. v publikacích [39-41], kde lze dohledat podrobnější informace o tom, jak jednotlivé studie probíhaly, popř. lze využít uvedených odkazů na jednotlivé články. Jednotlivé hodnoty rychlostí osob, které byly získány v rámci provedených studií jsou pro přehlednost uspořádány chronologicky do následující tabulky (tab. 5) včetně autora (autorů) a reference na zdroj.

<sup>13</sup> zdroj:

<http://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.0014.TO.ZS?contextual=default&end=2015&locations=CZ-1W&start=1960&view=chart>

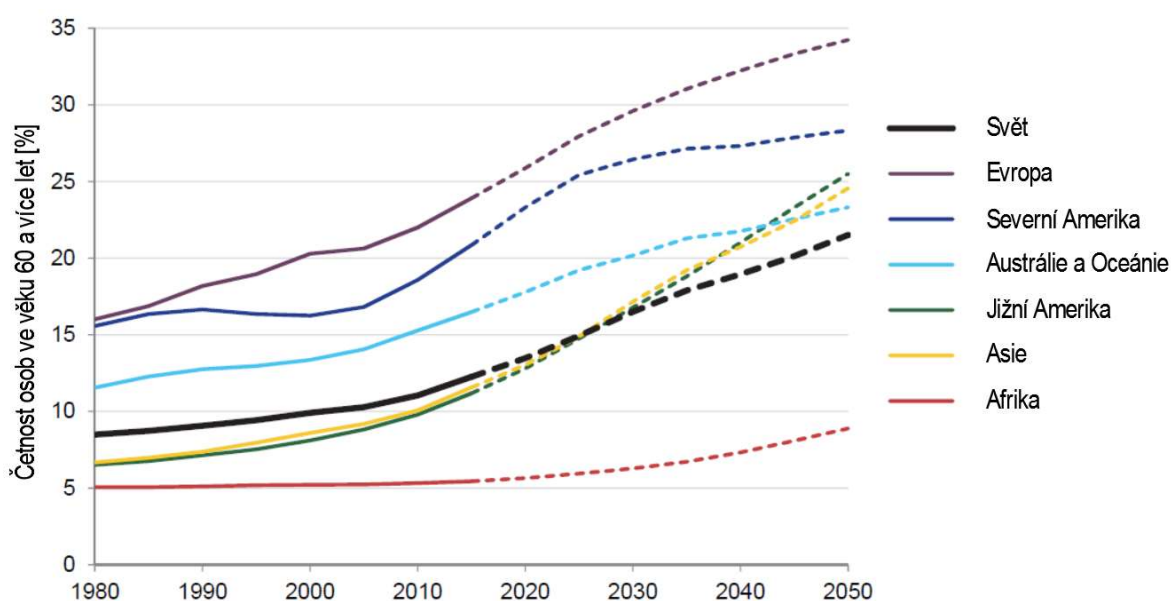
tab. 5 - Shrnutí průměrných rychlostí dospělých osob po schodištích při provedených experimentech

Rok	Rychlost osob [m/s] Průměr/Min/Max/SO	Poznámky	Zdroj
1969	0,59 / - / - / 0,15		Predtechenskii a Milinskii [3]
1971	0,71 / 0,61 / 0,81 / -	22 podlaží, schody 178/254 mm, šířka 1190 mm	Pauls [42]
1975	0,98 / - / - / -	Muži do 30 let; vnitřní schody 180/290 mm	Fruin [4]
	0,70 / - / - / -	Ženy do 30 let; vnitřní schody 180/290 mm	
	1,10 / - / - / -	Muži do 30 let; venkovní schody 150/300 mm	
	0,79 / - / - / -	Ženy do 30 let; venkovní schody 150/300 mm	
	0,81 / - / - / -	Muži 30-50 let; vnitřní schody 180/290 mm	
	0,60 / - / - / -	Ženy 30-50 let; vnitřní schody 180/290 mm	
	0,96 / - / - / -	Muži 30-50 let; venkovní schody 150/300 mm	
1980	0,23 / - / - / -	Nad 7. podlažím, nejnižší rychlost	Pauls a Jones [43]
	0,44 / - / - / -	Pod 7. podlažím, průměrná rychlost	
	0,66 / - / - / -	Přízemí, průměrná rychlost	
1985	0,64 / - / - / -	Normální podmínky	Khisty [44]
	0,70 / - / - / -	Neohlášené požární cvičení	
1991	0,47 / 0,35 / 0,76 / 0,04	Výstup, schody 200/300 mm	Tanaboriboon a Guyano [45]
	0,50 / 0,34 / 0,68 / 0,06	Výstup, schody 150/300 mm	
	0,54 / 0,39 / 0,70 / 0,05	Výstup, schody 140/300 mm	
	0,56 / 0,40 / 0,76 / 0,07	Výstup, schody 130/300 mm	
	0,58 / 0,39 / 0,87 / 0,07	Sestup, schody 200/300 mm	
	0,60 / 0,44 / 0,82 / 0,07	Sestup, schody 150/300 mm	
	0,61 / 0,44 / 0,82 / 0,06	Sestup, schody 140/300 mm	
1994	0,87 / 0,82 / 0,91 / -	Skupina studentů, schody 170/270 mm	Frantzich [46]
	0,80 / 0,30 / 1,30 / -	Divadlo, heterogenní skupina, schody 150/300 mm	
1995	0,52 / - / - / -	Budova 1	Proulx [47]
	0,54 / - / - / -	Budova 2	
	0,62 / - / - / -	Budova 3	
	0,51 / 0,22 / 0,79 / -	Dospělé osoby nesoucí děti	
1996	0,69 / 0,27 / 1,09 / 0,15	Studenti, schody 175/280 mm šířky 1300 mm	Frantzich [48]
	0,72 / 0,00 / 2,27 / 0,27	Studenti, schody 205/225 mm šířky 900 mm	
1996	0,78 / 0,73 / 1,25 / 0,17	Budova 1	Proulx, Kaufman a Pineau [49]
	0,93 / 0,66 / 1,18 / 0,27	Budova 2	
1997	0,33 / - / - / -	Osoby jdoucí za invalidním vozíkem	Shields [50]
	1,10 / - / - / -	Osoby jdoucí před invalidním vozíkem	
1999	0,70 / 0,41 / 1,14 / 0,16	Redukované nouzové osvětlení (57 lux)	Proulx, Tiller, Kyle a Creak [51]
	0,61 / 0,45 / 0,84 / 0,10	Nouzové osvětlení (245 lux)	
	0,57 / 0,39 / 1,13 / 0,12	Pouze fotoluminiscenční prvky	
	0,72 / 0,64 / 1,30 / 0,09	Fotoluminiscenční prvky + redukované osvětlení	
Pokračování na další straně			

Rok	Rychlost osob [m/s] Průměr/Min/Max/Sd	Poznámky	Zdroj
2001	0,3 / - / - / -	Normální světelné podmínky a nouzové osvětlení + kouř	Wright, Cook a Webber [52]
	0,39 / 0,35 / 0,42 / -	Jiné prostředky (fotoluminiscence ...) + kouř	
2001	0,2 / - / - / -	Průměrná hodnota 9/11 WTC Towers	Averill [53, 54]
2004	0,62 / - / - / 0,13	Schody 185/230 mm	Osoby 25-60 let, normální chůze nahoru
	0,68 / - / - / 0,16	Schody 175/250 mm	
	0,73 / - / - / 0,16	Schody 157/267 mm	
	0,84 / - / - / 0,19	Schody 152/332 mm	
	0,76 / - / - / 0,18	Schody 185/230 mm	Osoby 25-60 let, normální chůze dolů
	0,79 / - / - / 0,17	Schody 175/250 mm	
	0,86 / - / - / 0,20	Schody 157/267 mm	
	0,96 / - / - / 0,21	Schody 152/332 mm	
	1,00 / - / - / 0,31	Schody 185/230 mm	Osoby 25-60 let, rychlá chůze nahoru
	1,11 / - / - / 0,38	Schody 175/250 mm	
	1,13 / - / - / 0,32	Schody 157/267 mm	
	1,28 / - / - / 0,34	Schody 152/332 mm	
	1,12 / - / - / 0,26	Schody 185/230 mm	Osoby 25-60 let, rychlá chůze dolů
	1,12 / - / - / 0,23	Schody 175/250 mm	
	1,25 / - / - / 0,27	Schody 157/267 mm	
	1,30 / - / - / 0,22	Schody 152/332 mm	
2005	0,83 / - / - / 0,18	6 podlažní budova, schody 302/283 mm	Peacock, Averill a Kuligowski [40]
	0,73 / - / - / 0,26	6 podlažní budova s vlivem protiproudu hasičů	
	0,62 / - / - / 0,10	11 podlažní budova, schody 186/238 mm	
	0,40 / - / - / 0,18	18 podlažní budova, schody 191/254 mm	
	0,54 / - / - / 0,18	18 podlažní budova s vlivem protiproudu hasičů	
2007	0,64 / - / - / -	7 podlažní administrativní budova	Hostikka [56]
2007	0,57 / 0,17 / 1,87 / -	13 podlažní administrativní budova	Proulx [57]
2010	0,44 / - / - / 0,19	10 podlažní budova, schody 180/280 mm	Peacock, Hoskins, Kuligowski [41]
	0,44 / - / - / 0,15	18 podlažní budova, schody 190/250 mm	
	0,56 / - / - / 0,12	24 podlažní budova, schody 180/280 mm	
	0,52 / - / - / 0,10	31 podlažní budova, schody 180/275 mm	
2013	0,85 / 0,73 / 0,98 / -	Současná evakuace	9 podlažní budova, schody 150/275 mm
	0,89 / 0,73 / 1,01 / -	Postupná evakuace	
2013	0,66 / - / - / -	Muži – rychlost výstupu	50 podlažní budova, schody 172/270 mm
	0,48 / - / - / -	Ženy – rychlost výstupu	
	0,83 / - / - / -	Muži – rychlost sestupu	
	0,74 / - / - / -	Ženy – rychlost sestupu	
2014	0,44 / 0,07 / 1,70 / 0,19	14 administrativních a bytových budov	Kuligowski [39]
2015	0,70 – 1,71	Muži – rychlost výstupu	26 podlažní budova, schody 160/260 mm
	0,50 – 1,11	Ženy – rychlost výstupu	
<p><i>Průměr</i> = průměrná hodnota, <i>Min</i> = minimální hodnota (minimum), <i>Max</i> = maximální hodnota (maximum), <i>SO</i> = směrodatná odchylka</p>			

### **Evakuace starších a pohybově postižených osob po schodištích**

Podle účelu využití budovy se uvnitř budovy mohou vyskytovat i osoby pokročilého věku (zejména 60+) nebo osoby s menšími, či většími pohybovými problémy, pro které je pohyb po schodišti často velkou překážkou a které mohou způsobovat nežádoucí snížení rychlosti ostatních osob (celého proudu osob). Tomuto pohybu starších a invalidních osob se věnovalo velmi málo studií [61], přestože současná populace neustále stárne a procento těchto osob v celkové populaci lidstva se celosvětově zvyšuje (obr. 23) [62].



obr. 23 - Vývoj procentního zastoupení osob ve věku 60 a více let v celkové populaci; převzato a přeloženo z [62]

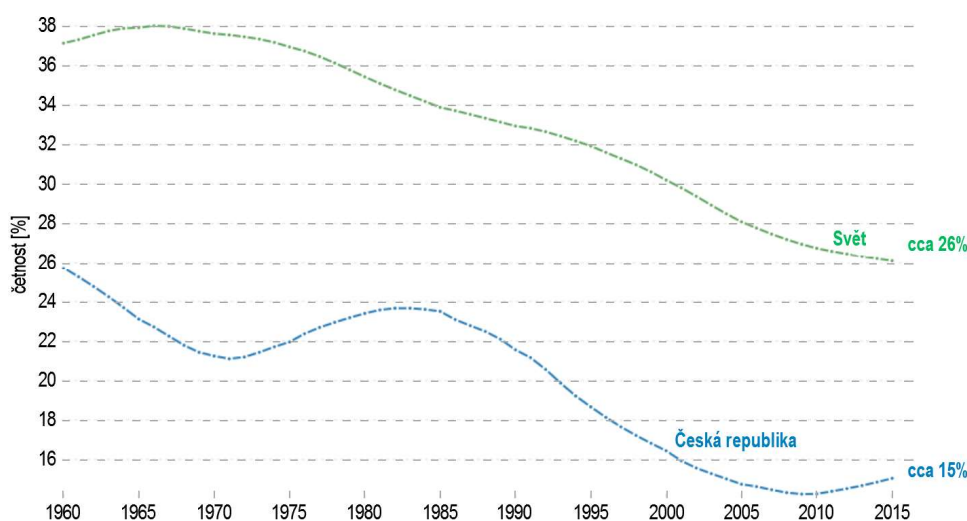
Provedené studie se zabývaly zejména domy s pečovatelskou službou, kde se vyskytovaly jak osoby starší 60 let, tak i pohybově postižené osoby, které k pohybu využívaly různé pomůcky (berle, hole...), popř. byly odkázány na pomoc ostatních. Dále byla pozornost věnována evakuačním prostředkům, jako jsou nosítka, vlečné matrace a evakuační křesla (Evac+chair, Carry chair). Mnoho provedených studií je shrnuto např. v publikaci [61], kde lze dohledat podrobnější informace. Jednotlivé dosažené rychlosti z provedených studií jsou pro přehlednost chronologicky vypsány v následující tabulce (tab. 6) včetně autora (autorů) a reference na zdroj.

tab. 6 - Shrnutí průměrných rychlostí starších a pohybově postižených osob po schodištích dolů při provedených experimentech; převzato a upraveno z [61]

Rok	Rychlost osob [m/s] Průměr/Min/Max/SO	Poznámky	Zdroj
1987	0,67 / - / - / -	Muži přes 50 let; schody 180/290 mm	Fruin [4]
	0,56 / - / - / -	Ženy přes 50 let; schody 180/290 mm	
	0,67 / - / - / -	Muži přes 50 let; schody 150/300 mm	
	0,63 / - / - / -	Ženy přes 50 let; schody 150/300 mm	
1995	0,88 / - / - / -	Budova A	Proulx [63]
	0,61 / - / - / -	Budova B	
	0,57 / - / - / -	Budova C	
	0,57 / - / - / -	Budova B	
	0,58 / - / - / -	Budova C	
1995	0,43 / - / - / -	Osoby starší 65 let	Proulx [47]
1999	0,70 / 0,45 / 1,10 / -	Osoby schopné samostatného pohybu	Boyce [64]
	0,36 / 0,13 / 0,70 / -	Osoby s omezenou schopností pohybu – bez pomoci při pohybu	
	0,32 / 0,11 / 0,49 / -	Osoby s omezenou schopností pohybu s hůlkou	
	0,13 / 0,11 / 0,23 / -	Osoby starší 75 let s asistencí	
2004	0,60 / - / - / 0,12	Schody 190/230 mm	Fujiyama [55]
	0,70 / - / - / 0,12	Schody 180/250 mm	
	0,74 / - / - / 0,13	Schody 160/270 mm	
	0,88 / - / - / 0,17	Schody 150/330 mm	
	0,80 / - / - / 0,17	Schody 190/230 mm	Osoby 60-81 let, rychlá chůze dolů
	0,85 / - / - / 0,18	Schody 180/250 mm	
	0,97 / - / - / 0,18	Schody 160/270 mm	
	1,11 / - / - / 0,26	Schody 150/330 mm	
2010	0,81 / - / - / -	Evac+Chair	Adams a Galea [65]
	0,57 / - / - / -	Carry chair	
	0,55 / - / - / -	Nosítka	
	0,62 / - / - / -	Vlečná matrace	
2012	0,35 / - / - / 0,17	Průměr všech evakuovaných osob	Kuligowski [66]
	0,23 / - / - / 0,08	Osoby s hůlkou	
	0,25 / - / - / 0,13	Osoby s asistencí personálu	
	0,18 / - / - / 0,04	Osoby s asistencí hasičů	
	0,21 / - / - / 0,03	Osoby využívající zařízení na evakuaci	
	0,41 / - / - / 0,17	Starší osoby bez asistence	
2013	0,22 / - / - / 0,10	Průměr všech evakuovaných osob	Kuligowski [61]
	0,25 / - / - / 0,07	Osoby s hůlkou	
	0,21 / - / - / 0,16	Osoby s asistencí personálu	
	0,11 / - / - / 0,04	Osoby s asistencí hasičů	
	0,21 / - / - / 0,05	Osoby využívající zařízení na evakuaci	
	0,29 / - / - / 0,12	Starší osoby bez asistence	
<p><i>Průměr</i> = průměrná hodnota, <i>Min</i> = minimální hodnota (minimum), <i>Max</i> = maximální hodnota (maximum), <i>SO</i> = směrodatná odchylka</p>			

### Evakuace dětí po schodištích

Aktuální literatura o evakuaci je většinou založena na studiích pohybu dospělých osob. V posledním desetiletí je rostoucí vědecký zájem o popisování pohybových charakteristik dětí, avšak provedených studií na evakuaci dětí je stejně jako v případě osob pokročilého věku velmi málo [67, 68]. Současná populace dětí mladších patnácti let je v České republice zhruba 15 % z celkového počtu obyvatel ČR a 26 % z celkové světové populace (obr. 24), což není zanedbatelná část, a proto je této věkové kategorii potřeba věnovat dostatečnou pozornost.



obr. 24 - Populace dětí ve věku 0-14 let v ČR a ve světě<sup>14</sup>

Z provedených studií zaměřených na evakuaci dětí bylo zjištěno, že hlavními faktory, které ovlivňují rychlost osob po schodišti, jsou věk a konfigurace schodiště (tvar, sklon, využívání). Ve studii Najmanové a Ronchiho [68] jsou řešeny i další faktory, které mohou mít vliv na rychlost osob, a to zejména znalost únikových cest a prostředí, instrukce od učitelů a vytváření skupin dětí (individuální pohyb vs. pohyb skupiny). Pohybové schopnosti dětí jsou omezeny vzhledem k jejich snížené úrovni nezávislosti (resp. zvýšené závislosti na dospělých osobách) a způsobilosti rozhodování vyplývajícího z jejich stupně psychologického vývoje [68].

Mnoho provedených studií je shrnuto např. v publikacích [67, 68], kde lze dohledat podrobnější informace. Jednotlivé rychlosti dětí zjištěné z provedených studií jsou pro přehlednost chronologicky uvedeny v následující tabulce (tab. 7) včetně autora (autorů) a reference na zdroj.

<sup>14</sup> Převzato a přeloženo z:

<http://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.0014.TO.ZS?contextual=default&end=2015&locations=CZ-1W&start=1960&view=chart>

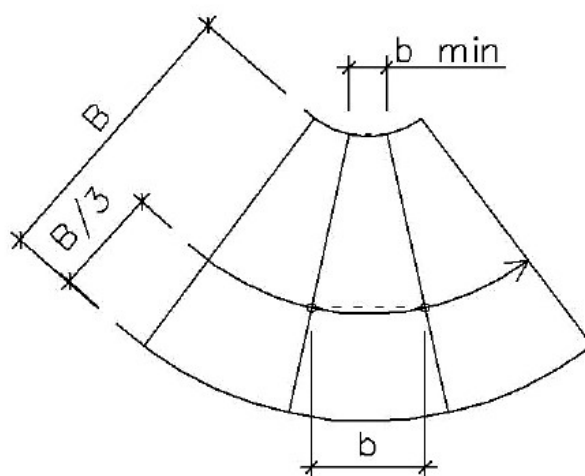


tab. 7 - Shrnutí průměrných rychlostí dětí po schodištích dolů při provedených experimentech; hodnoty převzaty z [68]

Rok	Rychlost osob [m/s] Průměr/Min/Max/SO	Poznámky	Zdroj
1995	0,45 / - / - / -	Vnitřní běžně využívané schodiště, děti 2-5 let	Proulx [47]
2009	0,50 / 0,39 / 0,62 / 0,06	Vnitřní běžně využívané schodiště, děti 3-4 roky	Kholshchevnikov a Samoshin [69]
	0,67 / 0,53 / 0,81 / 0,17	Vnitřní běžně využívané schodiště, děti 4-5 let	
	1,16 / 1,09 / 1,23 / 0,23	Vnitřní běžně využívané schodiště, děti 5-6 let	
2010	0,58 / - / - / 0,31	Schody 190/290 mm, šířka 800 mm, vnitřní hlavní schodiště, děti 0-6 let	Larusdottir a Dederichs [67]
	0,38 / - / - / 0,07	Schody 190/290 mm, šířka 870 mm, točité vnitřní nevyužívané schodiště, děti 0-6 let	
	0,13 / - / - / 0,06	Schody 170/290 mm, šířka 800 mm, točité venkovní nevyužívané schodiště, děti 0-6 let	
2013	0,32 / 0,25 / 0,35 / 0,03	Schody 165/300 mm, vnitřní běžně využívané schodiště, děti 3-4 roky	Takizawa [70]
	0,15 / 0,09 / 0,27 / 0,04	Schody 170/275 mm, vnitřní nevyužívané evakuační schodiště, děti 3-4 roky	
	0,58 / 0,36 / 0,77 / 0,10	Schody 165/300 mm, vnitřní běžně využívané schodiště, děti 4-5 let	
	0,42 / 0,34 / 0,52 / 0,05	Schody 170/275 mm, vnitřní nevyužívané evakuační schodiště, děti 4-5 let	
	0,67 / 0,47 / 1,01 / 0,13	Schody 165/300 mm, vnitřní běžně využívané schodiště, děti 5-6 let	
	0,50 / 0,36 / 0,71 / 0,09	Schody 170/275 mm, vnitřní nevyužívané evakuační schodiště, děti 5-6 let	
2013	0,48 / 0,28 / 0,77 / 0,14	Schody 185/275 mm, vnitřní běžně využívané schodiště, děti 4-6 let	Capote a Cuesta [71]
	0,61 / 0,14 / 1,12 / 0,21		
	0,47 / 0,23 / 0,69 / 0,11		
2016	0,57 / 0,40 / 0,87 / 0,12	Schody 150/300 mm, šířka: 1200 mm, vnitřní dvouramenné běžně využívané schodiště, děti 3-4 roky	Najmanová a Ronchi [68]
	0,34 / 0,16 / 0,47 / 0,07	Schody 160/260 mm, šířka: 1200 mm, vnější dvouramenné evakuační schodiště, děti 3-4 roky	
	0,53 / 0,40 / 0,71 / 0,09	Schody 165/420 mm, šířka: 1200 mm, vnější točité běžně využívané schodiště, děti 5-6 let	
	0,59 / 0,38 / 0,87 / 0,09	Schody 165/420 mm, šířka: 1200 mm, vnější točité běžně využívané schodiště, děti 5-6 let	
<p><i>Průměr</i> = průměrná hodnota, <i>Min</i> = minimální hodnota (minimum), <i>Max</i> = maximální hodnota (maximum), <i>SO</i> = směrodatná odchylka</p>			

## A.2.4 Točitá schodiště

Točitá schodiště je zvláštním typem zakřiveného schodiště a používá se zejména tam, kde je kladen velký důraz na překonání vertikálních rozdílů podlaží s využitím co nejmenší půdorysné plochy schodiště. Schodiště je tvořeno kosými stupni, které po šířce ramene mění velikost šířky schodu a vzhledem k tomu se po šířce schodišťového ramene mění i sklon ramene (největší u středového pilíře) a délka ramene (nejkratší u středového pilíře). Výstupní čára točitého schodiště je křivka umístěná půdorysně ve vzdálenosti  $1/3$  šířky ramene od vnější hrany oblouku jeho zakřivení (obr. 25), popř. u ramen s šířkou větší než 1 800 mm se výstupní čára umísťuje půdorysně do osy ramene [38].



obr. 25 - Šířka stupně v rameni se zakřivenou výstupní čarou; převzato z [38]

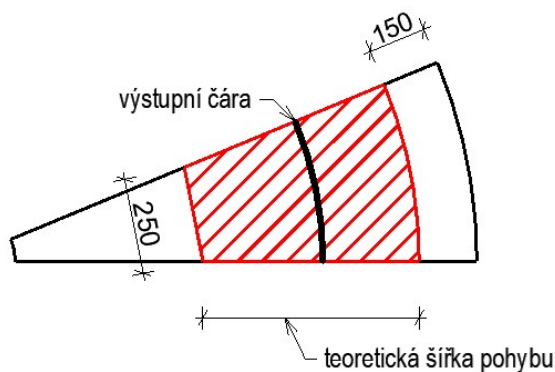
Minimální šířka schodu u středového pilíře je dle aktuálně platné normy pro navrhování schodiště 130 mm. Na starších schodištích, zejména těch historických, však můžeme nalézt výrazně menší hodnoty, např. 50 mm. Základní šířka schodu v místě výstupní čáry je minimálně 250 mm. Místa s menší šířkou schodu nejsou často využívána, jelikož jsou výrazně užší, než je délka lidského chodidla. Síla, která působí při pohybu je tak přenesena mimo schod, čímž nedochází k reakci a tělo nemá dostatečnou oporu proti pádu. To je pro sestup velmi nepohodlné a nebezpečné – vzniká tak chůze „po patách“ (obr. 26).



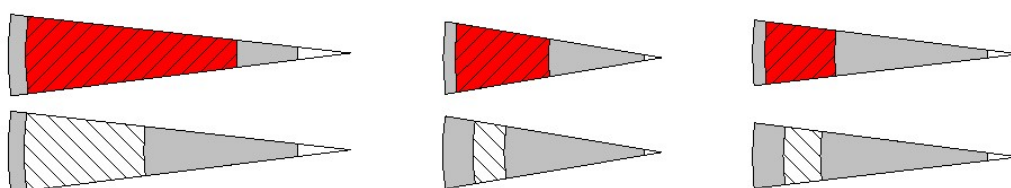
obr. 26 - Zmenšování šířky schodů<sup>15</sup>

<sup>15</sup> převzato a upraveno z: [http://www.bydleni-iq.cz/wp-content/uploads/08\\_scho.jpg](http://www.bydleni-iq.cz/wp-content/uploads/08_scho.jpg)

Studováním pohybu po točitém schodišti se věnoval např. Bergqvist [72] v roce 2015, který prováděl evakuaci osob po třech různých točitých schodištích a studovat dopady různých rozměrů schodiště na pohyb osob. Ve studii mimo jiné zjistil, že se osoby při experimentu pohybují po mnohem větší oblasti schodu, než která je teoreticky vymezena k pohybu (obr. 28). Teoretická šířka pohybu je určena na vnitřní straně šířkou stupně 250 mm a na vnější straně ve vzdálenosti 150 mm od stěny schodišťové šachty (obr. 27).



obr. 27 - Teoretická šířka pohybu po točitém schodišti



obr. 28 - Reálná šířka pohybu (červeně) a teoretická šířka pohybu (bíle); převzato a upraveno z [73]

Pohybu osob po točitém schodišti se ve své publikaci podrobně věnuje např. Gustafsson [73] z univerzity v Lundu, který shrnuje dosavadní provedené studie pohybu osob po točitém schodišti. V následující tabulce (tab. 8) jsou shrnuty naměřené rychlosti osob z provedených studií.

tab. 8 - Shrnutí rychlostí po točitých schodištích dolů při provedených experimentech; hodnoty převzaty z [73]

Rok	Rychlost osob [m/s] Průměr/Min/Max/SO	Poznámky	Zdroj
1994	0,50 / - / - / -	Schody 210/200 mm, šířka 650 mm	Frantzich [74]
	0,55 / - / - / -	Schody 180/180 (210) mm, šířka 850 mm	
2010	0,58 / - / - / 0,31	Schody 190/290 mm, šířka 800 mm, vnitřní hlavní schodiště, děti 0-6 let	Larusdottir a Dederichs [67]
	0,38 / - / - / 0,07	Schody 190/290 mm, šířka 870 mm, točité vnitřní nevyužívané schodiště, děti 0-6 let	
	0,13 / - / - / 0,06	Schody 170/290 mm, šířka 800 mm, točité venkovní nevyužívané schodiště, děti 0-6 let	
2016	0,53 / 0,40 / 0,71 / 0,09	Schody 165/420 mm, šířka: 1200 mm, vnější točité běžně využívané schodiště, děti 5-6 let	Najmanová a Ronchi [68]
	0,59 / 0,38 / 0,87 / 0,09	Schody 165/420 mm, šířka: 1200 mm, vnější točité běžně využívané schodiště, děti 5-6 let	
2016	0,90 / - / - / -	Schody 180/276 mm, šířka 1420 mm	Gustafsson [73]
	0,45 / - / - / -	Schody 190/210 mm, šířka 600 mm	
	0,68 / - / - / -	Schody 175/280 mm, šířka 1000 mm	
<p><i>Průměr</i> = průměrná hodnota, <i>Min</i> = minimální hodnota (minimum), <i>Max</i> = maximální hodnota (maximum), <i>SO</i> = směrodatná odchylka</p>			

### A.2.5 Shrnutí

Data shromážděná z provedených studií a cvičných evakuací, uvedená v předchozích podkapitolách, jsou využívána zejména při analýze podmínek evakuace aplikací požární inženýrského přístupu (PIP), pro který je zapotřebí znát relevantní a podložená data, jež vstupují do výpočtů. Hodnoty rychlostí osob uvedené tabulkách (tab. 5, tab. 6, tab. 7, tab. 8) se však leckdy navzájem značně odlišují a nabízí se proto otázka, kterou hodnotu do výpočtu použít.

Při určování hodnoty, která bude nejlépe odpovídat reálné rychlosti osob, musí být vycházeno z tvaru schodiště, počtu podlaží, geometrie schodiště a dalších aspektů, které tuto rychlost ovlivňují. Nelze tedy jednoznačně určit, která hodnota „je ta pravá“, ale je potřeba při každé aplikaci individuálně ověřovat na základě jaké konfigurace schodiště byla rychlost stanovena. Můžeme však využít i hodnotu průměrnou, popř. nejnižší hodnotu, se kterou bude následný výsledek analýzy na straně bezpečnosti. Vybraná rychlost pohybu osob po schodišti však musí být jednoznačně obhajitelná, neboť se jedná o aspekt, který výrazně ovlivňuje dobu pohybu osob po únikových cestách a tím i čas potřebný k evakuaci (RSET). Je potřeba mít stále na paměti, že nelze přizpůsobovat rychlost pohybu osob tak, aby analýza evakuace vyhověla, ale je nutné respektovat veškeré faktory, abychom se co nejvíce přiblížili reálnému průběhu, protože v případě vzniku požáru jsou v sázce lidské životy.

## A.3 Historické vyhlídkové věže

Tato kapitola je věnována stručné charakteristice historických vyhlídkových věží, zejména požární bezpečnosti těchto objektů z hlediska současných norem požární ochrany.

### A.3.1 Věže obecně

Věž je stavba, jejíž výška značně převyšuje půdorysné rozměry. První věže se začaly objevovat již v 11. století, kdy začala éra stavby opevněných feudálních sídel – hradů. Hradní věže zastávaly zejména vojenskou funkci a tomu byla přizpůsobena i jejich konstrukce. V pozdějších dobách (přelom středověku a novověku) se začaly prosazovat i jiné důvody ke stavbě věží (prestiž, šetření místem atd.). Nejdříve byly stavěny věže s čtvercovým půdorysem, později bylo zjištěno, že jsou z hlediska obrany výhodnější věže kruhové [75].

Věže byly často několik desítek metrů vysoké a byly tvořeny zděnými stěnami, dřevěnými stropy, střechami a schodišti. Vzhledem ke značné výšce věže a obranné funkci byly stěny tlusté i několik metrů. V těchto stěnách bylo z důvodů bezpečnosti vytvořeno jen velmi málo otvorů. V nitru věže se nachází schodiště, které spojuje jednotlivá patra věže. V kruhových věžích bylo s oblibou využíváno točité schodiště, v ostatních případech byla používána i vícemramenná schodiště. Materiál pro stavbu schodiště bylo většinou dubové dřevo, popř. kamenné bloky. Na vrcholu věže bylo vytvořeno cimbuří nebo arkádový ochoz, což poskytovalo výhled do okolí pro snadnější obranu věže. Tyto prvky dnes většinou slouží jako vyhlídky pro veřejnost.

Téměř každé větší město na území České republiky má dnes svou vyhlídkovou věž – ať už zámeckou, hradní, kostelní, městskou, nebo jinou (např. vodárenskou). V současné době je přístupných zhruba 90 hradních a zámeckých věží a zhruba 140 věží městských, obecních či kostelních<sup>16</sup>. Jedná se o poměrně rozšířené stavby, které jsou často dokonce i kulturními památkami a je o ně velký zájem ze strany veřejnosti. Z tohoto hlediska tvoří značné riziko z hlediska požární bezpečnosti, zejména pak evakuace osob.

### A.3.2 Věže z požárního hlediska

Historické vyhlídkové věže jsou z hlediska požární bezpečnosti rizikové hned v několika ohledech. Prvním důvodem je samotná poloha věže. Hradní a zámecké věže jsou většinou umístěny na vyvýšeném místě ve špatně přístupném terénu a jsou navíc součástí většího komplexu staveb, přes něž se nedá v mnoha případech vjet s větší požární technikou (např. z důvodu omezených rozměrů vstupních bran, nebo kvůli nezpevněným komunikacím a plochám). Městské a kostelní věže jsou v tomto ohledu lépe dostupné pro hasičskou techniku.

Dalším důvodem je samotné stavební provedení věží. Jedná se o stavby, které jsou vysoké i několik desítek metrů a většinou jsou přístupné pouze jedním schodištěm. Svislé nosné konstrukce mají často značnou tloušťku a malé otvory nezajišťují dostatečné větrání

---

<sup>16</sup> Zdroj: <http://rozhledny.wz.cz/index2roz.htm>

a prosvětlení vnitřních prostor. Stropní konstrukce a schodiště jsou většinou provedeny ze dřeva, což zásadním způsobem zvyšuje požární riziko. V případě požáru se tak z věže stává „velký komín“, který ve spodní části vlivem podtlaku přisává vzduch a zplodiny hoření žene vlivem nižší hustoty horkého vzduchu směrem vzhůru proti unikajícím osobám, které sestupují po schodišti. V těchto prostorech lze s velkou pravděpodobností konstatovat, že unikající osoby budou mít přímý kontakt s projevem požáru, které působí negativně na jejich psychiku a v případě zasažení jediné únikové cesty uvězní osoby v hořícím objektu.

Vzhledem k velké výšce vyhlídkové plošiny a často i složitým podmínkám pro zásah je většina věží zařazena do kategorie provozů ze zvýšeným nebo vysokým požárním nebezpečím dle zákona č. 133/1985 Sb., o požární ochraně.

Požární bezpečnosti historických kulturních památek je věnována pouze normativní příloha B ČSN 73 0834, přičemž přímo evakuace věží se týká pouze bod B.9, který se věnuje omezení počtu osob, které se mohou současně vyskytovat ve věži v závislosti na počtu únikových pruhů, typu, počtu a délky únikové cesty.

Dále se požární bezpečnosti kulturních památek věnuje publikace *Požární ochrana památkových objektů* [76], o jejíž vznik se zasloužil Národní památkový ústav, která je však určena převážně správcům těchto objektů (kastelánům).

## **B Posouzení požární bezpečnosti věže**

Tato část diplomové práce je věnována praktické části, jejíž cílem je posouzení požární bezpečnosti konkrétní vyhlídkové věže z hlediska evakuace osob. Bezpečnost osob je posouzena pomocí požárně inženýrského přístupu (PIP) a posouzení se skládá z těchto hlavních částí:

- popis posuzované věže,
- řízený experiment evakuace věže,
- návrhový požární scénář,
- stanovení kritérií přijatelnosti,
- vytvoření modelu pro analýzu rozvoje požáru v programu FDS,
- vytvoření modelů pro analýzu evakuace osob v programech FDS+Evac a Pathfinder,
- posouzení požární bezpečnosti,
- možnosti zvýšení požární bezpečnosti věže z hlediska bezpečnosti osob.

V první kapitole je popsáno stavební provedení věže a popis z hlediska požární bezpečnosti. Druhá kapitola popisuje řízený experiment, který byl proveden za účelem získání hodnot rychlostí osob pro potřeby analýzy evakuace. Ve třetí a čtvrté kapitole jsou stanoveny cíle požární bezpečnosti, kritéria přijatelnosti a návrhový požární scénář, který je v této analýze uvažován. V páté kapitole je proveden výpočet doby dostupné pro evakuaci na základě numerického modelu rozvoje požáru v programu FDS. V této kapitole je také uvedena validace zdroje požáru na základě experimentálně získaných hodnot. Šestá kapitola je věnována času potřebnému k evakuaci, který je zjišťován na základě numerického modelu evakuace v programech FDS+Evac a Pathfinder. V této kapitole je řešena i možnost aproximace točitého schodiště na pravoúhlý tvar, aby ho bylo možné posuzovat v programu FDS+Evac. V sedmé kapitole je zhodnocena požární bezpečnost na základě výsledků předchozích kapitol, v osmé kapitole jsou shrnuty výsledky a v poslední deváté kapitole jsou uvedeny možnosti na zvýšení požární bezpečnosti z hlediska bezpečnosti osob.

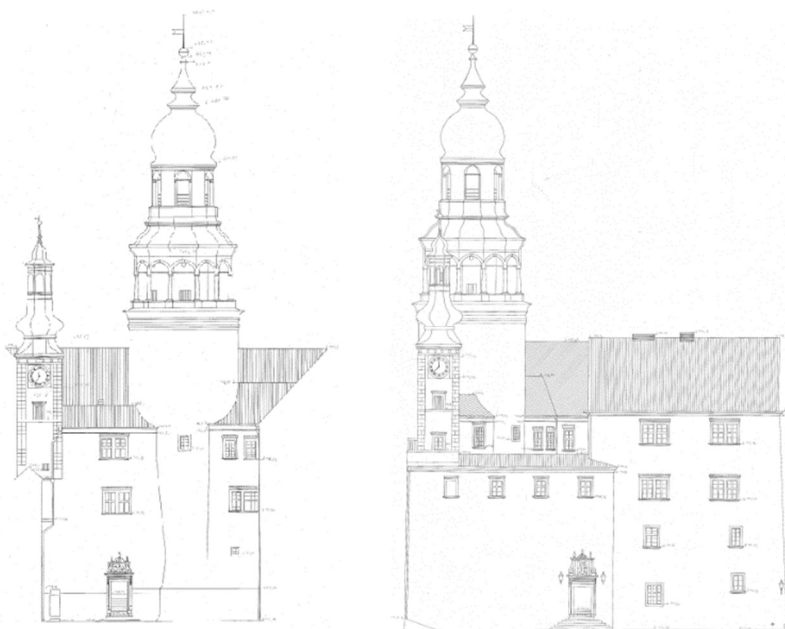
## B.1 Popis posuzované věže

Pro praktickou část této diplomové práce je zvolena velká věž státního zámku Náchod (obr. 29), který se nachází ve východních Čechách, na hranici mezi Českou republikou a Polskem.



obr. 29 - Státní zámek Náchod<sup>17</sup>

Jedná se o původně raně gotický hrad, který byl založen v polovině 13. století. Součástí hradu byl obytný palác a obranná válcová věž bergfritového typu (věž určená výhradně k vojenským účelům). Během následujících staletí došlo k rozšíření hradu a k propojení jeho opevnění s městem a na přelomu 16. a 17. století byl hrad přestavěn na renesanční zámek. Původní věž byla v roce 1570 poškozena úderem blesku a při opravě v 17. století byla opatřena otevřeným ochozem a dvojí lucernou s bání. Další úder blesku v 18. století zapříčinil její snížení o jedno patro. V místě ochozu se dnes nachází vyhlídka pro veřejnost ve výšce cca 25,3 m nad úrovní vstupu na schodiště z nádvoří (obr. 30).



obr. 30 - Velká věž náchodského zámku<sup>18</sup>

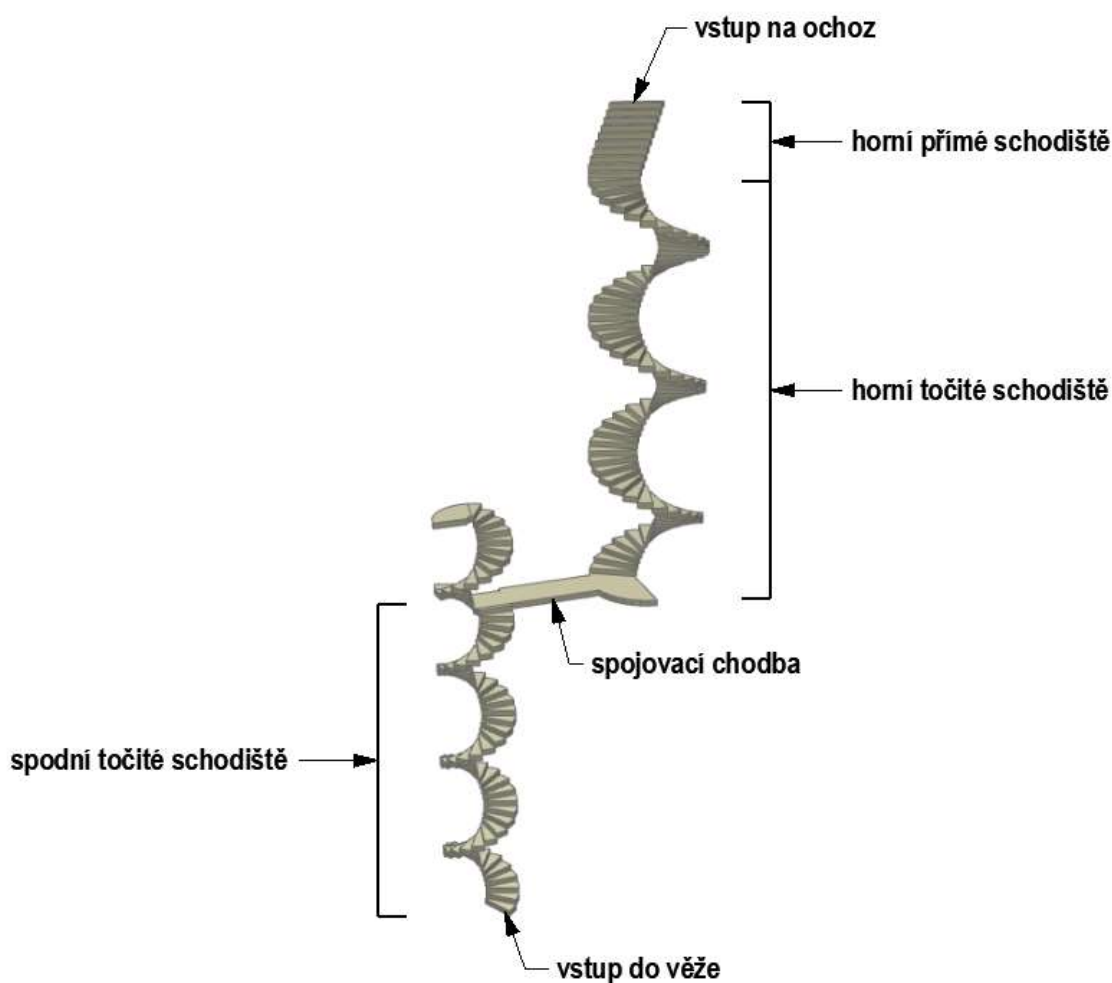
<sup>17</sup> Zdroj: <https://www.youtube.com/watch?v=c6IZSpAf17E>

<sup>18</sup> Výkresová dokumentace poskytnutá správou zámku



### B.1.1 Stavební popis věže

Velká věž náchodského zámku má vnější průměr přibližně 9,5 m s průměrnou tloušťkou zdi pod ochozem 3,5 m. Pro přístup na ochoz věže slouží dvojice dřevěných točitých schodišť, které jsou přibližně v polovině výšky věže navzájem propojeny spojovací chodbou (obr. 31). Tato schodiště jsou dále v textu označována jako „spodní točité schodiště“ a „horní točité schodiště“. Před vstupem na ochoz je krátký přímý úsek schodiště, které je dále označováno jako „horní přímé schodiště“. Půdorysná schémata věže jsou vykreslena v Příloze 1.



obr. 31 - Schéma schodiště věže náchodského zámku

**Vstup do věže** je přístupný z nádvoří ve vnitrobloku zámku. Vstupní dveře (obr. 32 a, b) jsou dřevěné dvoukřídlé s celkovou čistou průchozí šířkou cca 1 340 mm, přičemž pravé dveřní křídlo (při pohledu zvenku) je hlavní a levé dveřní křídlo je manipulační. Průchozí šířka hlavního křídla je 670 mm. Za vstupem na pravé straně začíná točité schodiště do věže (obr. 32 c) a naproti dveřím je vstup do sklepení (obr. 32 d), které není přístupné veřejnosti.



(a)



(b)



(c)



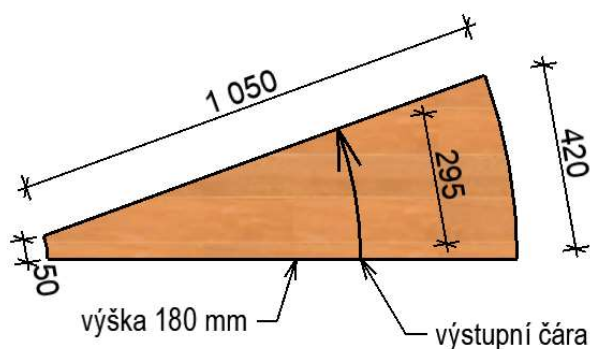
(d)

obr. 32 - (a) Vnější pohled na vstupní dveře; (b) Vnitřní pohled na vstupní dveře; (c) Pohled na schodiště do věže; (d) Vstup do sklepení

**Spodní točité schodiště** (obr. 33) je umístěno v sousední budově mimo samotné válcové těleso věže, jelikož celá spodní část věže sloužila jako hladomorna, která byla přístupná pouze zevnitř. Schodiště je levotočivé s 58 stupni, které jsou tvořeny dřevěnými stupnicemi z fošen tloušťky cca 40 mm a dřevěnými podstupnicemi tloušťky cca 25 mm. Šířka schodišťového ramene je 1 050 mm, průměr středního pilíře je cca 300 mm a na jedno otočení schodiště (o 360°) připadá 18 stupňů. Šířka schodu u středního pilíře je cca 50 mm, u vnějšího líce schodiště cca 420 mm a na výstupní čáře cca 295 mm. Průměrná výška schodů je cca 180 mm (obr. 34).



obr. 33 - Spodní točité schodiště



obr. 34 - Rozměry schodu spodního točitého schodiště

Spodní točité schodiště je ukončeno nad spojovací chodbou k druhému schodišti dřevěným trémovým stropem, nad kterým se nachází půdní prostory. Část schodiště ke vstupu na půdu (za spojovací chodbou) je uzavřena mřížemi a je veřejnosti nepřístupná. V úrovni vstupu do spojovací chodby je na schodišti vložena dřevěná mezipodesta o rozměrech cca 700 × 1 300 mm.

**Spojovací chodba** navazuje bezprostředně na spodní točité schodiště (obr. 35 a) a skrz masivní stěnu věže ústí na horní točité schodiště (obr. 35 b), které je již v samotném věžním tělesu. Do chodby se vejde dveřním otvorem (bez dveřního křídla) šířky cca 985 mm a výšky cca 1 750 mm. Podlaha spojovací chodby je o cca 90 mm níže, oproti mezipodestě spodního schodiště. Samotná spojovací chodba má šířku cca 1 165 mm a délku 2 910 mm. Strop chodby je zaklenutý – výška vrcholu klenby je cca 2 100 mm. Za spojovací chodbou vlevo pokračuje horní točité schodiště (obr. 35 c) a vpravo se nachází vstup do hladomorny (obr. 35 d).



(a)



(b)



(c)

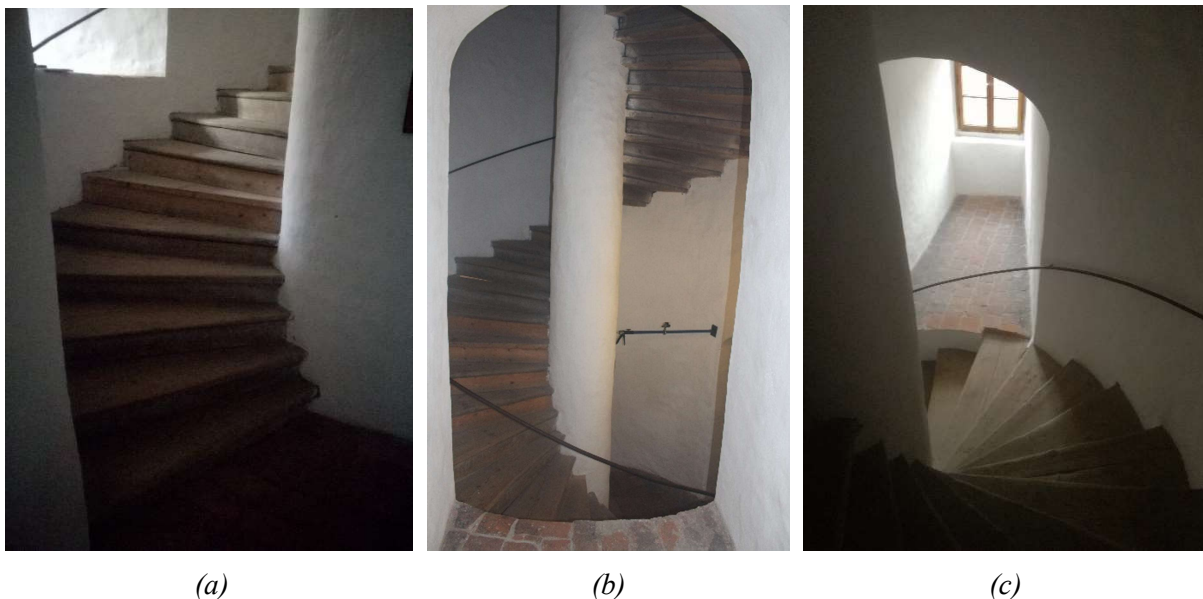


(d)

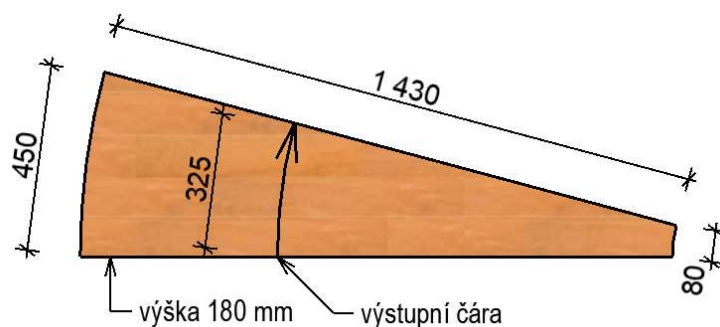
obr. 35 - (a) Pohled ze spojovací chodby na spodní točité schodiště; (b) Pohled do spojovací chodby od spodního točitého schodiště; (c) Pohled z horního točitého schodiště na vstup do spojovací chodby; (d) Pohled ze spojovací chodby na vstup do hladomorny



**Horní točité schodiště** (obr. 36 a, b) je pravotočivé se 71 stupni a je pro chůzi výrazně pohodlnější než spodní točité schodiště. Jednotlivé stupně jsou opět dřevěné, stupnice jsou z dubových fošen tloušťky cca 40 mm a podstupnice tloušťky cca 25 mm. Šířka schodišťového ramene je cca 1 430 mm, průměr středního pilíře je cca 600 mm a na jedno otočení schodiště (o 360°) připadá 24 stupňů. Ve dvou částech schodiště jsou v masivní stěně umístěny prosvětlovací výklenky, které původně sloužily pro hradní stráž (obr. 36 c). Šířka schodu u středního pilíře je cca 80 mm, u vnějšího líce schodiště cca 450 mm a na výstupní čáře cca 325 mm. Průměrná výška schodů je cca 180 mm (obr. 37).



obr. 36 - (a) Začátek horního točitého schodiště; (b) Pohled z prosvětlovacího otvoru; (c) Prosvětlovací otvor

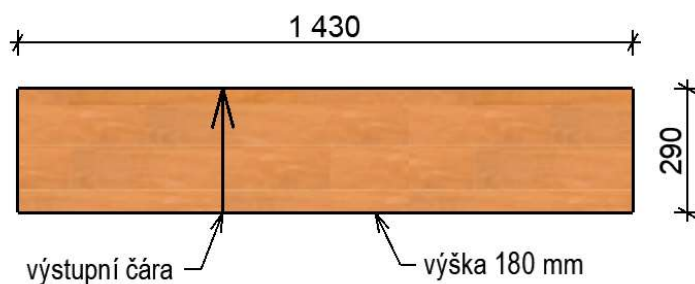


obr. 37 - Rozměry schodu horního točitého schodiště

**Horní přímé schodiště** je poslední část schodiště (obr. 38 a), umístěná těsně před vstupem na ochoz věže a bezprostředně navazuje na horní točité schodiště. Je tvořeno přímým ramenem s 11 schody (11. schod tvoří samotný ochoz v rovině dveřního otvoru). Šířka schodišťového ramene je 1 430 mm, šířka schodů je cca 290 mm a výška 190 mm (obr. 39). Výjimkou je poslední stupeň, který má výšku 300 mm. Vstup na ochoz věže je tvořen zaklenutým dveřním otvorem s dřevěným křídlem (obr. 38 b). Šířka otvoru je 1 100 mm, výška otvoru v patě klenby je 1 500 mm a ve vrcholu klenby 1 900 mm. Za dveřmi se nachází ochoz věže, který je průchozí po celém obvodu. Šířka ochozu je cca 1 000 mm (obr. 38 c).



obr. 38 - (a) Horní přímé schodiště při pohledu z ochozu; (b) Dveře na ochoz; (c) Ochoz věže



obr. 39 - Rozměry schodu horního přímého schodiště

## B.1.2 Popis věže z požárního hlediska

Stěny věže jsou vyzděné ze smíšeného zdiva. Původní spodní gotická část věže je vyzděna z kamenného zdiva, horní část věže je z cihlového zdiva. Stropní konstrukce jsou převážně dřevěné, jako i celé schodiště. Střecha má tradiční dřevěnou konstrukci krovu. Z tohoto hlediska se jedná o hořlavý konstrukční systém. Požární výška věže je 25,3 m (výškový rozdíl mezi úrovní nádvoří a ochozem).

Věž prošla v roce 2013 rekonstrukcí, při níž došlo k opravám poškozených částí krovu, výměně střešní krytiny, restaurování kamenných prvků arkádového ochozu, opravě omítek, opravě dřevěných okenic, výměně dveří na ochoz a konzervaci kovových částí. Vzhledem k rekonstrukci bylo nutné zažádat o stavební povolení, což znamená vypracovat projektovou dokumentaci, jejíž součástí je i požárně bezpečnostní řešení.

Ve vypracovaném požárně bezpečnostním řešení jsou mimo jiné vzneseny požadavky z hlediska evakuace osob, a to na omezení počtu osob, které mohou být současně ve věži. Počet osob ve věži je omezen na hodnotu 30 osob, jelikož se jedná o objekt s požární výškou vyšší jak 22,5 m bez nástupních ploch a pouze jednou únikovou cestou. Na jeden únikový pruh (550 mm) lze tedy uvažovat 20 osob, přičemž schodiště ve věži odpovídá svou šířkou 1,5 únikovému pruhu – tj.  $1,5 \times 20 = 30$  osob. Tento požadavek je správcem objektu dodržován v provozním řádu věže, který je umístěný na vstupních dveřích do věže.

V přízemí věže (za vstupními dveřmi) je osazen přenosný hasicí přístroj (obr. 40 a). Dále je věž vybavena požárně bezpečnostním zařízením, a to elektrickou požární signalizací (EPS) bez zařízení dálkového přenosu (ZDP). V obou částech věže (ve spodní i horní) je umístěno čidlo EPS (obr. 40 b). V případě detekce požáru je vyslán signál do ústředny EPS v prostorech bezpečnostní služby, která má nepřetržitý provoz.



(a)



(b)

obr. 40 - (a) Přenosný hasicí přístroj u vstupu do věže; (b) Čidlo EPS ve vrcholu schodišťové šachty

## B.2 Řízený experiment

Pro posouzení požární bezpečnosti pomocí požárně inženýrského přístupu (PIP) jsou nejdůležitější relevantní a obhajitelné vstupní hodnoty a parametry, přičemž v problematice evakuace osob jsou jedny z nejdůležitějších hodnot rychlosti pohybu na dané konfiguraci schodiště. Doposud již bylo studií na pohyb osob po schodišti provedeno poměrně mnoho, avšak žádná z nich se nevěnovala historickému točitému schodišti ve věži, které neodpovídá svým provedením požadavkům současných technických norem.

Doposud naměřené hodnoty rychlostí pohybu osob po schodištích shrnují předchozí podkapitoly A.2.3 a A.2.4. Tyto hodnoty je možné při vhodné interpretaci a inženýrské aplikaci pro analýzu využít, avšak autor se rozhodl, že pro posouzení bezpečné evakuace osob z věže je vhodnější použít naměřené hodnoty rychlostí osob na konkrétní posuzované konfiguraci schodiště. Z tohoto důvodu byla ve věži náchodského zámku navržena a provedena řízená evakuace osob z ochozu věže. Figuranty pro potřeby tohoto experimentu tvořili studenti druhého a třetího ročníku Vyšší odborné školy a Střední průmyslové školy stavební arch. Jana Letzela v Náchodě. Je zřejmé, že pro potřeby analýzy by bylo vhodnější uvažovat v experimentu reálnější obsazení (např. smíšená skupina zahrnující starší osoby, děti ...) a nikoliv pouze pohyb homogenní skupiny mladých a zdravých osob bez pohybových problémů, nicméně zajištění těchto podmínek nebylo možné v rámci diplomové práce zajistit. S vědomím tohoto omezení je nutné přistupovat i při následném posuzování požární bezpečnosti, kdy je nutné zajistit dostatečnou časovou rezervu, která pokryje případnou nižší rychlost způsobenou vlivem pomalejších osob. Experimentální plán řízené evakuace je přiložen v Příloze 2.

### B.2.1 Cíl experimentu

Cílem experimentální evakuace věže náchodského zámku bylo shromáždění průměrných a úsekových **rychlostí** pohybu osob po konkrétním točitém schodišti při sestupu a výstupu, které slouží pro následné posouzení požární bezpečnosti pomocí PIP, zejména pro stanovení času potřebného k evakuaci osob (RSET).

### B.2.2 Popis experimentu

Celý experiment byl rozdělen na 2 části (každá z nich v délce trvání 1 hodiny). V **první části** bylo na ochoz věže umístěno 31 figurantů, kteří v 6 cyklech opakovaně prováděli sestup z věže dolů na nádvoří a následně výstup nahoru na ochoz věže. První 3 cykly provedli figuranti normální přirozenou rychlostí chůze „jeden za druhým“ tak, jak jim to bylo příjemné. Druhé 3 cykly provedli opět normální rychlostí, avšak s většími rozestupy (cca 5 sekund), aby bylo možné stanovit individuální rychlost každého z figurantů, aniž by byl ovlivněn rychlostí osoby před sebou. Při výstupech nahoru do věže nebyly měřeny individuální rychlosti osob a figuranti stoupali kontinuálně za sebou. V celém průběhu měli figuranti zakázáno předbíhání a všechny sestupy i výstupy prováděli ve stejném (předem daném) pořadí.

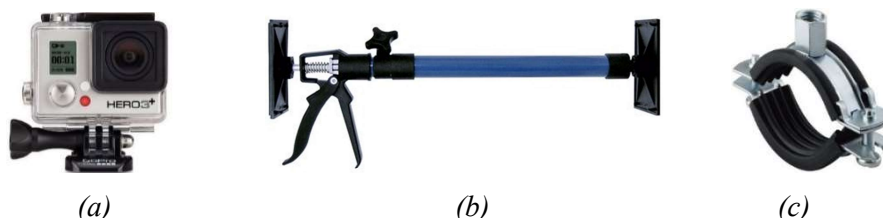


**Druhá část** experimentu vytvářela situaci, kdy osoby při vzniku požáru zůstanou uvězněny v objektu a byla provedena v součinnosti s Hasičským záchranným sborem Královéhradeckého kraje ÚO Náchod. Na ochoz věže bylo umístěno 6 figurantů, kteří představovali uvězněné osoby na ochozu věže mající strach sejít dolů skrz valící se hustý kouř ze schodišťového prostoru. Dále byly na různé části schodiště umístěni 3 figuranti, kteří představovali zraněné osoby v bezvědomí důsledkem pádu ze schodů při pokusu sejít po schodišti dolů. Věž byla zakouřena tak, aby byly simulovány věrohodnější podmínky zásahu včetně výrazného omezení viditelnosti. Tato část experimentu sloužila zejména jako názorný příklad toho, jak složitý je zásah v objektech vyhlídkových věží, a měla za cíl demonstrovat, že je těmto objektům nutné věnovat mnohem větší pozornost, než je doposud věnována. Nebyly měřeny rychlosti ani jiná data.

K uskutečnění experimentu a zajištění jeho průběhu bylo nutné zajistit následující vybavení:

- 10 videokamer,
- 9 rozpěrných tyčí,
- 9 upevňovacích objímek,
- mlhovací zařízení,
- čísla pro identifikaci figurantů,
- lepicí páska k označení hrany měřených úseků,
- špendlíky (připínací, zavírací)
- provázek.

Průběh experimentu byl nahráván na 9 stacionárních videokamer. Pro experiment bylo z Katedry konstrukcí pozemních staveb Fakulty stavební zapůjčeno 9 videokamer GoPro HERO 3+ Silver Edition (obr. 41 a), které byly opatřeny čísly pro následnou identifikaci při vyhodnocování výsledků a 9 rozpěrných tyčí. Jednotlivé kamery byly upevněny na rozpěrné tyče v délkách 50-115 cm a 115-290 cm (obr. 41 b), které byly rozepřeny mezi střední pilíř a vnější stěnu schodiště, popř. mezi podlahou a nadpražím otvoru. Kamery byly na tyče upevněny prostřednictvím upravených dvoušroubových potrubních objímek s upínací hlavou (obr. 41 c).



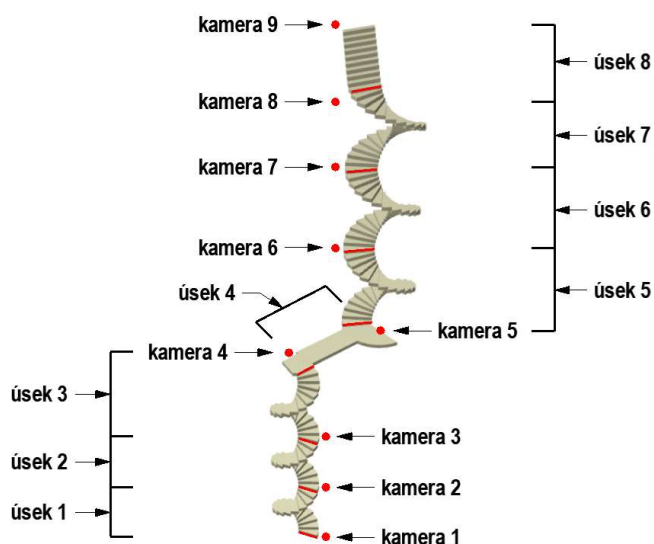
obr. 41 - (a) Videokamera GoPro HERO 3+ <sup>19</sup>; (b) Rozpěrná tyč <sup>20</sup>; (c) Upevňovací objímka <sup>21</sup>

<sup>19</sup> Zdroj: <http://www.camerahire.com.au/images/hire/GoPro-3+-silver.jpg>

<sup>20</sup> Zdroj: [http://www.dum-naradi.cz/files/prod\\_images/temp\\_big/152050.jpg](http://www.dum-naradi.cz/files/prod_images/temp_big/152050.jpg)

<sup>21</sup> Zdroj: [http://www.madeinsro.cz/produkty\\_img/objimka\\_dvousroubkova\\_frs\\_plus.jpg](http://www.madeinsro.cz/produkty_img/objimka_dvousroubkova_frs_plus.jpg)

Kamery byly vhodně rozmístěny po trase schodiště tak, aby bylo možné stanovovat úsekové rychlosti pohybu osob při sestupu i výstupu. Umístění kamer je patrné ze schématu na obr. 42. Celé schodiště bylo rozděleno na 8 měřených úseků. Jednotlivé úseky byly voleny tak, aby vzdálenost videokamer byla cca jedno otočení schodiště o  $360^\circ$ . Úsek 1-3 tvořilo spodní točité schodiště, 4. úsek byla spojovací chodba, 5-7 úsek tvořilo horní točité schodiště a 8. úsek tvořila přímá část schodiště ústící na ochoz věže. Přesný popis rozmístění kamer je uveden v Příloze 3.



obr. 42 - Schéma rozmístění videokamer

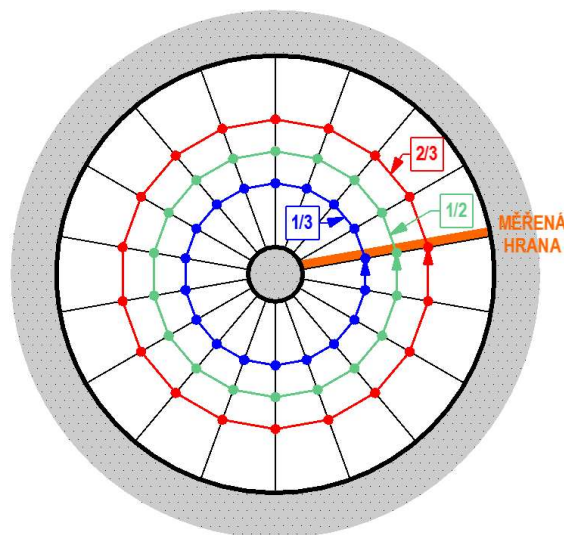
Jednotlivé kamery byly nastaveny na vertikální rozlišení 720 pixelů a snímkové frekvenci 30 snímků za sekundu (FPS) a po upevnění byly připojeny k mobilnímu telefonu prostřednictvím mobilní aplikace GoPro, přes kterou byl vyladěn požadovaný záběr kamer. Poslední desátá videokamera sloužila jako mobilní, zejména pro potřeby druhé části experimentu.

V měřených místech byla na hrany schodů a stěny aplikována plastová páska (obr. 43), která značila měřenou hranu (tyto hrany jsou na obr. 42 zvýrazněny červeným pruhem). Pruh sloužil pro určení přesného místa měření při následném vyhodnocování kamerového záznamu.



obr. 43 - Označení měřených hran schodů

Dále bylo nutné provést zaměření délky jednotlivých úseků, aby byla zjištěna délka trasy, kterou museli figuranti urazit. Délky byly měřeny na třech místech – v 1/3, 1/2 a 2/3 šířky ramene. Tyto body byly zaměřeny v každém schodu a jejich poloha byla označena pomocí připínacích špendlíků. Jednotlivé pozice byly následně propojeny pomocí provázku, jehož délka byla změřena. Schéma je zobrazeno na obr. 44. Délky jednotlivých úseků jsou uvedeny v následující tabulce (tab. 9).



obr. 44 - Schéma měření délky úseků schodiště

tab. 9 - Délky úseků schodiště

Číslo úseku	Ohraničující kamery	Délka úseku na skloněné rovině [m]		
		1/3	1/2	2/3
1	1-2	4,760	5,520	6,400
2	2-3	4,800	5,600	6,480
3	3-4	4,800	5,800	6,800
4	4-5	-	4,840	-
5	5-6	6,640	7,680	8,720
6	6-7	6,640	7,690	8,740
7	7-8	6,370	7,360	8,360
8	8-9	-	3,400	-

Figuranty tvořili studenti 2. a 3. ročníku VOŠ a SPŠ stavební arch. Jana Letzela v Náchodě. Celkový počet figurantů byl 31 studentů – 10 žen, 21 mužů. Průměrný věk figurantů je 17 let (minimum je 16 let, maximum je 19 let, směrodatná odchylka je 0,92 let). V Příloze 5 (tab. 33) je uvedeno pohlaví, věk a výška jednotlivých figurantů. Průměrná výška osob je 1,76 m, a kromě rychlosti osob se jedná o další parametr, který je zadán do modelu evakuace osob.

K „zakouření“ věže v průběhu druhé části experimentu bylo použito mlhovací zařízení ATMOS 2000 (obr. 45), které se používá pro efekty na air festivalech a je schopno vygenerovat až 1 133 m<sup>3</sup> mlhy za minutu provozu. Generovaná mlha je zdravotně nezávadná a nešpiní.



obr. 45 - Mlhovací zařízení ATMOS 2000<sup>22</sup>

### B.2.3 Příprava experimentu

Do příprav a provedení experimentu byly zapojeny následující instituce:

- Fakulta stavební ČVUT v Praze,
- Generální ředitelství Národního památkového ústavu,
- Správa státního zámku Náchod (ÚPS na Sychrově),
- Hasičský záchranný sbor Královéhradeckého kraje – ÚO Náchod,
- VOŠ a SPŠ stavební arch. Jana Letzela Náchod.

Příprava experimentu začala s dostatečným předstihem projednáním návrhu se všemi dotčenými institucemi, zejména s Národním památkovým ústavem, který je správcem náchodského zámku. Dále bylo nutné zajistit požadovaný počet figurantů a kamer, přítomnost HZS, zvolit konkrétní den konání experimentu tak, aby vyhovoval co největšímu počtu zúčastněných stran, zajištění dostatečně výkonného mlhovacího zařízení, hrubé zaměření věže, připravení experimentálního plánu, prohlášení účastníků experimentu, že jsou seznámeni s bezpečnostními pokyny a průběhem experimentu, dále provedení bezpečnostní prezentace všem figurantům, zajištění organizačního týmu a občerstvení pro účastníky.

<sup>22</sup> Zdroj: <http://shop.audiolight.cz/produkt/60873-showtec-atmos-2000/>

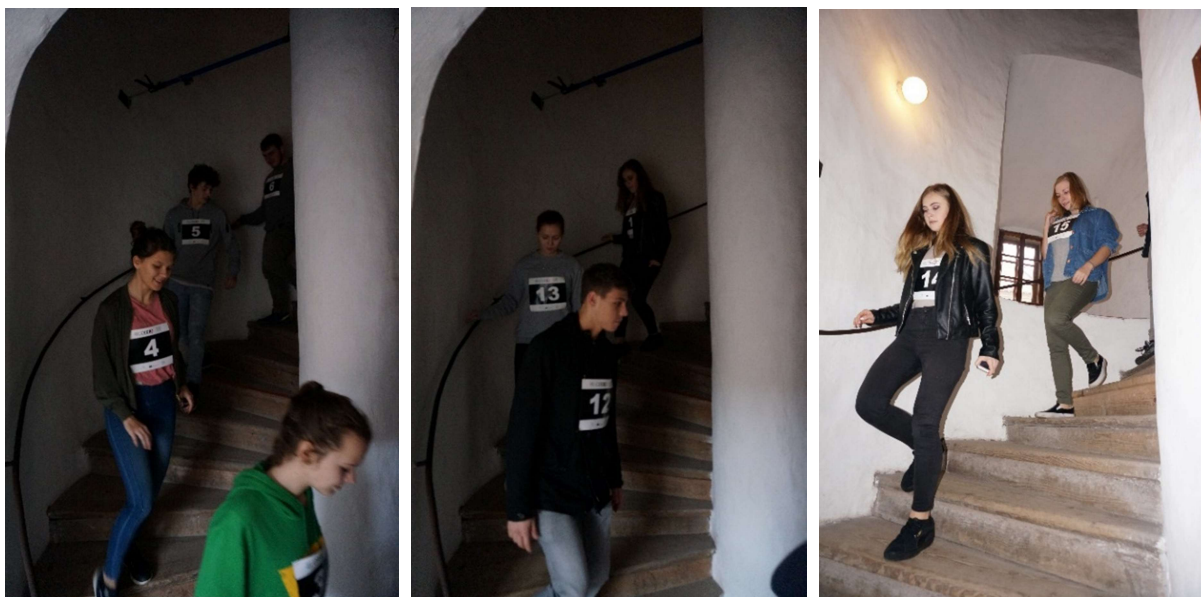
## B.2.4 Průběh experimentu

Samotný experiment proběhl 19. 10. 2017 od 11:45 a byl ukončen cca ve 13:50. Po příchodu figurantů na místo konání přibližně v 11:30 bylo provedeno stručné seznámení přítomných osob s průběhem experimentu a zejména s bezpečnostními pokyny. Následně byla všem figurantům předána identifikační čísla, která si připevnili na hrud' tak, aby byla v průběhu experimentu viditelná (obr. 46).



obr. 46 - Příchod figurantů

Po přidělení identifikačních čísel se všichni figuranti přesunuli na ochoz věže. Následně byly zapnuty kamery a po jejichž zapnutí byla zahájena první část experimentu. Všichni figuranti v 6 cyklech sestupovali z ochozu věže dolů (obr. 47) a po krátké přestávce opět vystupovali nahoru na ochoz. Na ochoz věže vstupovali vždy tak, že po průchodu dveřmi zahnuji vlevo a obešli celý ochoz. První figurant se následně zastavil na pravé straně dveří (při pohledu zevnitř věže) a čekal na pokyn člena organizátorského týmu. Komunikace mezi nádvořím a ochozem věže byla zajištěna pomocí vysílaček.



obr. 47 - Sestup figurantů po schodišti



Po ukončení první části experimentu začala část druhá. Před příjezdem HZS bylo nutné umístit figuranty na správné pozice a „zakouřit“ věž. Na ochoz věže bylo umístěno 6 figurantů (obr. 48 a) a na 3 místa horního točitého schodiště byli umístěni „zranění figuranti v bezvědomí“ (obr. 48 b).



obr. 48 - (a) Figuranti na ochozu věže; (b) "Zraněný" figurant na schodišti

Během zakuřování věže (obr. 49 a) dorazili na zámek i JPO HZS ÚO Náchod. Na místě bylo celkem 9 hasičů – velitel stanice Náchod, velitel zásahu a 7 „zasahujících“ hasičů (obr. 49 b). Celý „zásah“ byl prováděn bez dýchací techniky a cílem hasičů bylo provést prohlédání objektu věže a záchrana osob, což znamenalo dopravení osob ven z věže. Hasiči nebyli s dispozicí věže předem seznámeni a nebyli ani informováni o počtu osob ve věži. Stručný popis zásahu hasičů (zejména problematické části) jsou uvedeny v Příloze 8. Vybraná fotodokumentace je součástí Přílohy 9.



obr. 49 - (a) "Zakuřování" věže; (b) Hasiči před vchodem do věže

## B.2.5 Způsob vyhodnocování dat

Vyhodnocování experimentu bylo provedeno na základě video záznamu z první části experimentu pomocí manuální video analýzy v programu OpenShot Video Editor. K dispozici je video záznam z 9 stacionárních videokamer v celkové délce trvání zhruba 19,5 hodiny.

Záběry z jednotlivých kamer byly pro usnadnění zacházení s daty synchronizovány a dále byly rozloženy na 30 snímků za jednu sekundu, aby bylo možné stanovit přesný okamžik měření, a každému figurantovi byly zapisovány časy průchodu přes měřené místo na všech kamerách (tab. 10). Jako vztažný bod byla uvažována přibližná poloha těžiště těla. Jelikož byly jednotlivé měřené úseky vzdálené pouze několik metrů (tab. 9), byla rychlost osob zásadně ovlivňována i pouhými setinami sekundy. V celkovém součtu se jedná o 3 069 časových údajů (31 figurantů, 11 opakování, 9 kamer). Doba pohybu po úseku byla následně vypočtena rozdílem časů na hraničních kamerách.

tab. 10 - Ukázka části tabulky se zapsanými časy figurantů na kameře číslo 1

KAMERA 1											
	1		2		3		4		5		6
	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
1	05:23,87	08:56,00	13:31,00	17:06,53	22:48,30	27:56,93	36:17,33	40:08,00	46:58,57	53:34,80	59:29,73
2	05:25,80	08:57,17	13:32,20	17:07,53	22:49,77	27:57,97	36:21,23	40:09,03	47:02,87	53:35,90	59:33,20
3	05:28,17	08:58,10	13:33,90	17:08,57	22:51,70	27:58,83	36:24,60	40:10,03	47:07,90	53:36,80	59:38,73
4	05:29,67	08:59,33	13:35,70	17:09,80	22:53,50	28:00,20	36:28,20	40:11,30	47:13,43	53:38,27	59:41,57
5	05:30,87	09:00,57	13:37,13	17:11,03	22:55,77	28:01,40	36:31,00	40:13,20	47:17,63	53:40,20	59:44,37
6	05:33,17	09:01,67	13:39,67	17:12,23	22:57,73	28:03,17	36:33,27	40:14,43	47:21,70	53:41,27	59:47,77
						.					
						.					
						.					

## B.2.6 Výsledky

V následující tabulce (tab. 11) jsou uvedeny naměřené časy pohybu osob po úsecích schodiště pro jednotlivé sestupy / výstupy. Dále je uveden celkový čas pohybu po schodišti (doba pohybu při evakuaci). Čas byl měřen vždy od vstupu prvního figuranta do prostoru věže po východ posledního figuranta z věže (na nádvoří při sestupu a na ochoz při výstupu). V tab. 12 je uvedena celková doba evakuace pro jednotlivé sestupy / výstupy.

tab. 11 - Tabulka naměřených časů na jednotlivých úsecích

	Naměřené časy [s]							
	ÚSEK 1	ÚSEK 2	ÚSEK 3	ÚSEK 4	ÚSEK 5	ÚSEK 6	ÚSEK 7	ÚSEK 8
1. ↓	8,40	9,73	10,22	5,57	10,35	11,89	9,93	4,24
1. ↑	11,98	11,72	10,71	3,77	13,38	14,04	15,33	6,16
2. ↓	8,58	10,58	10,94	5,75	10,60	12,58	10,51	4,99
2. ↑	11,47	12,53	11,17	3,64	14,19	14,22	14,99	5,93
3. ↓	8,38	10,62	10,22	5,82	10,16	12,78	9,95	4,02
3. ↑	12,44	11,47	10,82	3,90	14,03	14,04	14,92	6,03
4. ↓	7,18	9,40	8,69	3,96	7,70	8,03	7,30	3,12
4. ↑	14,14	12,13	11,02	3,96	14,54	14,49	14,93	5,93
5. ↓	9,11	10,35	11,17	5,35	11,46	12,55	11,32	4,39
5. ↑	13,50	12,28	10,76	3,78	14,16	13,79	14,14	6,00
6. ↓	8,45	9,50	10,31	4,70	10,93	11,82	10,80	4,23
<b>Pr</b>	<b>10,65</b>	<b>11,09</b>	<b>10,73</b>	<b>4,62</b>	<b>12,38</b>	<b>13,22</b>	<b>12,68</b>	<b>5,19</b>
<b>Min</b>	8,38	9,50	10,22	3,64	10,16	11,82	9,93	4,02
<b>Max</b>	14,14	12,53	11,17	5,82	14,54	14,49	15,33	6,16
<b>SO</b>	2,18	1,03	0,35	0,87	1,73	0,95	2,23	0,85
Pozn.: ↓ = dolů , ↑ = nahoru, Pr = průměrná hodnota, Min = minimální hodnota, Max = maximální hodnota, SO = směrodatná odchylka - sestup číslo 4 není zahrnut								

tab. 12 - Celkové doby pohybu osob ve věži

Sestup / výstup	Doba pohybu [s]
1. ↓	124,8
1. ↑	139,3
2. ↓	123,2
2. ↑	140,7
3. ↓	117,1
3. ↑	137,5
4. ↓	173,8
4. ↑	149,1
5. ↓	170,1
5. ↑	147,7
6. ↓	162,8
<b>Průměr sestupu (sestup 1-3)</b>	<b>121,7</b>
<b>Průměr výstupu (výstup 1-5)</b>	<b>142,9</b>



Výsledná rychlost figurantů byla vypočtena na základě délky trasy úseků (tab. 9) a doby, po kterou se figuranti na úseku pohybovali. Z těchto hodnot lze na základě vzorce (10) stanovit úsekovou rychlost.

$$v = \frac{s}{t} \quad (10)$$

kde  $v$  [m/s] je rychlost osob,  $s$  [m] je délka trasy a  $t$  [s] je čas

Vzhledem ke krátkým úsekům a tím i možné větší chybě na jednotlivých úsecích byly dále stanoveny i průměrné rychlosti na jednotlivých schodištích a průměrná rychlost pohybu vztažená na celou věž. Vypočítané průměrné hodnoty rychlostí osob jsou uvedeny v následující tabulce (tab. 13). Podrobné tabulky rychlostí jednotlivých figurantů jsou uvedeny v Příloze 4 (tab. 20-tab. 32).

tab. 13 - Naměřené rychlosti osob

Typ	Šířka ramene [mm]	Šířka schodů [mm] *	Výška schodů [mm]	Průměrná rychlost [m/s]	Minimální rychlost [m/s]	Maximální rychlost [m/s]	Směrodatná odchylka [m/s]
		Sklon [°]					
Horní přímé	1 430	290	180	0,79 / 0,57	0,59 / 0,45	1,17 / 0,73	0,11 / 0,06
		31,83					
Horní točité	1 430	325	180	0,78 / 0,60	0,58 / 0,54	0,95 / 0,71	0,07 / 0,04
		28,98					
Chodba	1 165	-	-	0,93 / 1,29	0,54 / 0,92	1,36 / 1,86	0,19 / 0,15
		0,00					
Spodní točité	1 050	295	180	0,67 / 0,56	0,57 / 0,48	0,79 / 0,69	0,05 / 0,05
		31,39					
Horní točité + horní přímé	-	-	-	0,78 / 0,60	0,58 / 0,54	0,95 / 0,71	0,07 / 0,04
		-					
Celá věž	-	-	-	0,74 / 0,61	0,64 / 0,56	0,88 / 0,70	0,05 / 0,04
		-					
Pozn.:							
* uvažováno na výstupní čáře							

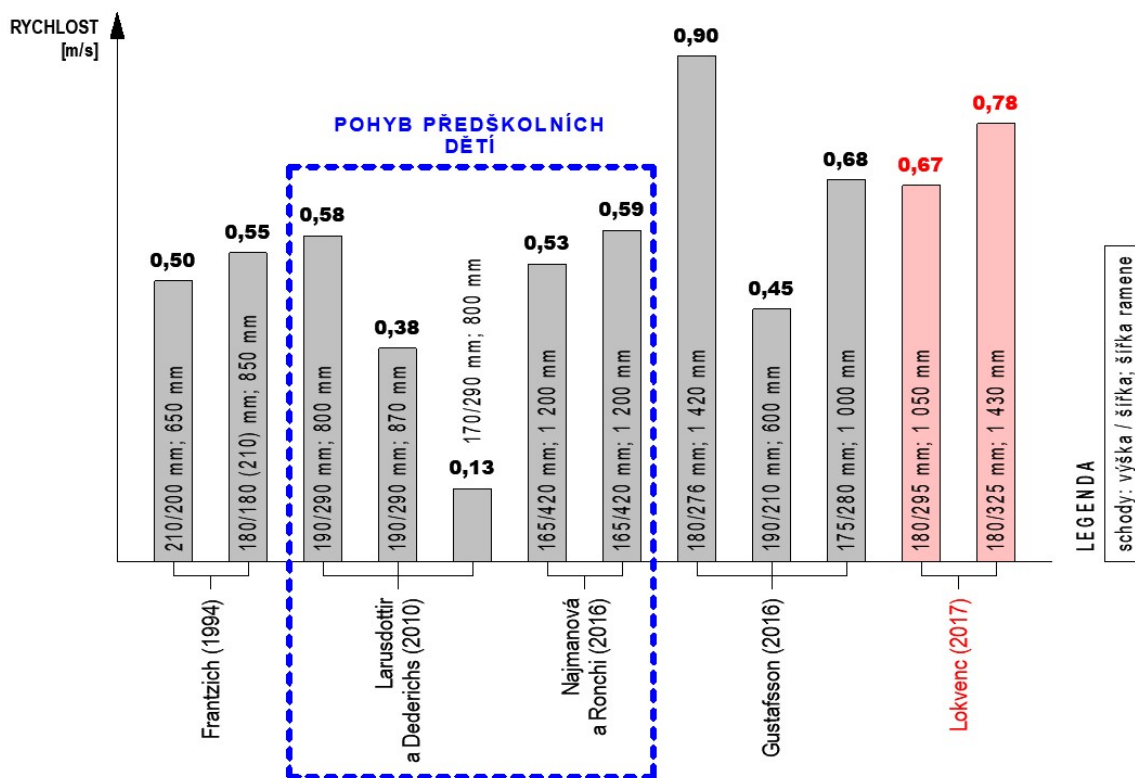
Z průměrných rychlostí byl vyřazen sestup ve 4. cyklu, jelikož někteří figuranti sestupovali zvýšenou rychlostí, což by zásadním způsobem ovlivnilo průměrné hodnoty z ostatních sestupů.

## B.2.7 Shrnutí a diskuze

Na základě poznatků z video analýzy byly zjištěny následující informace:

- Osoby se pohybují zhruba v místě 2/3 až 3/4 šířky schodiště, což představuje polohu výstupní čáry točitého schodiště.
- Průměrná rychlost na horním točitém schodišti je přibližně o 16 % vyšší než na spodním točitém schodišti, což je dáno zejména tím, že horní schodiště je vzhledem ke svým rozměrům výrazně pohodlnější pro pohyb osob.
- Nižší rychlost osob při sestupu oproti výstupu ve spojovací chodbě byla způsobena zejména nástupem na spodní točité schodiště, kde docházelo ke kumulaci osob a následnému zpomalení proudu. Při výstupu nahoru se tyto fronty netvořily.
- Relativně nízká rychlost sestupu z ochozu na horním přímém schodišti je způsobena nepohodlným vstupem na schodiště, kde je nízká výška klenby a zároveň první schod má velkou výšku 300 mm.

Na následujícím obrázku (obr. 50) je graficky znázorněno porovnání naměřených hodnot pohybových rychlostí osob při sestupu z provedených studií na pohyb osob po točitých schodištích. Z obrázku je patrné, že naměřené hodnoty rychlostí osob z náhodské zámecké věže jsou výrazně podobné naměřeným hodnotám publikovaným ve studii Gustafssona [73] na podobných konfiguracích schodišť. Rozdíl na širším schodišti je nejspíše způsoben větším zakřivením schodiště, jelikož schodiště [73] má výrazně širší střední pilíř (cca 1,4 m) a tím menší zakřivení.



obr. 50 - Porovnání sestupových rychlostí z jednotlivých studií pohybu po točitých schodištích

## B.3 Cíl posouzení a kritéria přijatelnosti

V této kapitole jsou stanoveny cíle posouzení požární bezpečnosti věže a kritéria přijatelnosti, která slouží pro následné vyhodnocení požární bezpečnosti.

### B.3.1 Cíl posouzení

Vzhledem k zaměření diplomové práce na evakuaci osob je hlavním a jediným cílem požárně bezpečnostního posouzení bezpečnost osob v objektu. Při reálném posuzování by mohlo být mnohem více cílů (např. zabránění šíření požáru do prostorů s cennými expozicemi), avšak pro účely diplomové práce je důraz kladen pouze na osoby. Návrhovým cílem toho posouzení požární bezpečnosti je bezpečná evakuace všech osob z prostoru věže dřív, než dojde k překročení kritérií přijatelnosti, čímž by byly unikající osoby ohroženy projevy požáru na zdraví i životech.

### B.3.2 Kritéria přijatelnosti

Pro možnost posouzení, zda jsou podmínky pro evakuaci vhodné, či nikoliv, je potřeba stanovit tzv. kritéria přijatelnosti, které je možné porovnat a vyhodnotit s výsledky z numerických analýz (analýzy rozvoje požáru a analýzy evakuace). Jelikož je předmětem posuzování objekt věže, u kterého výrazně převažuje rozměr výšky nad ostatními rozměry, není možné stanovit např. kritérium nezakouřené výšky alespoň 2,5 m, jako při preskriptivním přístupu podle norem požární bezpečnosti (ČSN 73 08xx). Jednotlivé osoby se totiž pohybují téměř výhradně po svislé ose a na základě charakteru věže je téměř jisté, že budou ovlivněny projevy požáru, zejména zplodinami hoření a s tím související toxicitou, sníženou viditelností, zvýšenými teplotami a sálavým tepelným tokem. V následujících bodech jsou uvedena jednotlivá kritéria přijatelnosti, která vycházejí zejména z limitních hodnot pro lidské zdraví (podrobně viz podkapitola A.1.2):

- Maximální frakční účinná dávka (FED), které je osoba vystavena, není větší než 0,3 po dobu evakuace osob.
- Teplota zplodin hoření, jíž jsou osoby vystaveny, je maximálně 60 °C po dobu evakuace osob.
- Teplota dřevěných schodů nesmí být po dobu evakuace osob větší než 300 °C, což je teplota vznícení dřeva.
- Maximální tepelný tok sáláním, kterému jsou osoby po dobu evakuace vystaveny, je 2,5 kW/m<sup>2</sup>, popř. 10 kW/m<sup>2</sup> po dobu maximálně 5 s.
- Minimální hodnota viditelnosti není stanovena, jelikož se vzhledem k dispozici předpokládá rychlé a kompletní zakouření celého prostoru věže.

## B.4 Návrhový požární scénář

V této kapitole je stanoven návrhový požární scénář, který je vyhodnocený jako pravděpodobný s velkými důsledky na evakuaci osob a na základě kterého je dále posouzena požární bezpečnost objektu.

### B.4.1 Identifikace možného požárního nebezpečí a jeho následků

Jelikož se jedná o prostory, které nejsou vybaveny výstavními exponáty a dalšími zařizovacími předměty, nenachází se v těchto místech téměř žádné hořlavé předměty, které by mohly způsobit požár.

Požár může vzniknout zejména od technického zařízení budovy (čímž je téměř výhradně elektroinstalace k osvětlení) - tedy od zkratu na elektroinstalaci. V objektu se ale nachází tak malé množství kabelů, že téměř s jistotou lze konstatovat, že by vzniklý požár nezpůsobil velké problémy.

Dalším možným rizikem na vznik požáru je zásah bleskem, což už zde v historii dvakrát zapříčinilo požár věže. Nicméně v dnešní době je věž po rekonstrukci střechy, a tudíž je vybavena bleskosvodem. Požár od zásahu bleskem tedy není moc pravděpodobný.

V prostoru krovu věže se dnes nachází zařízení správců telekomunikací, což je další možný zdroj požáru. Tyto prostory ale nejsou veřejnosti přístupné a nacházejí se až nad stropem schodiště nad ochozem věže.

Jako nejpravděpodobnější je vyhodnocen požár předmětů, které jsou přineseny samotnými návštěvníky, a těmi jsou zejména dětské kočárky. Dětský kočárek může být umístěn ve volném prostoru za vstupem do věže (v prostoru za manipulačním křídlem, které je běžně uzavřeno). Je to pro umístění kočárku velmi výhodné místo, jelikož je „schovaný“ před případnými zloději a v případě náhlé změny počasí je chráněn i proti klimatickým vlivům.

### B.4.2 Popis vybraného návrhového scénáře

Pro posouzení požární bezpečnosti věže byl zvolen podrobný požární scénář, jehož hlavní body jsou následující:

- skupina 30 mladých osob,
- kočárek umístěný za vstupními dveřmi do věže,
- iniciace požáru pomocí nedopalku od cigarety, vhozeného neúmyslně (nešťastnou náhodou) do korby kočárku,
- po několika minutách vznik požáru,
- volný rozvoj požáru,
- osoby na ochozu věže o vzniklém požáru nevědí.

## B.5 Výpočet doby dostupné k evakuaci (ASET)

V této kapitole je proveden výpočet času dostupného pro evakuaci osob. V první části je provedena validace modelu požáru na základě experimentálně zjištěných hodnot, které byly naměřeny v požární laboratoři UCEEB ČVUT v Praze. Druhá část je věnována samotnému numerickému modelu rozvoje požáru, zejména vznikajícím teplotám a zplodinám hoření.

### B.5.1 Použitý software

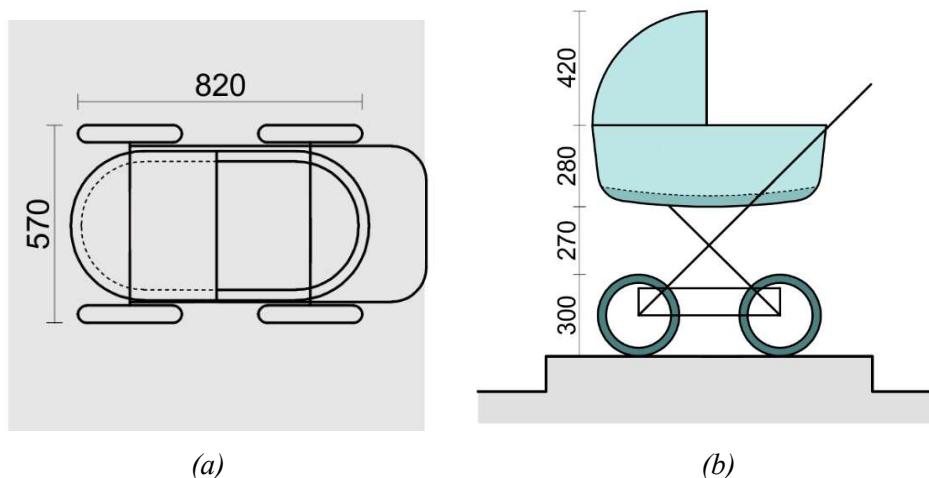
Pro analýzu rozvoje požáru, která je nutná ke stanovení času dostupného k evakuaci, je využíván software FDS (Fire Dynamics Simulator) [77] pracující na principu CFD (Computational Fluid Dynamics), čili na principu výpočtu dynamiky tekutin. Program k výpočtu využívá číselné řešení Navier-Stokesových rovnic popisující nízko rychlostní tepelně řízený průtok tekutin (Machovo číslo menší než 0,3) s důrazem na šíření kouře a tepla při požáru. Jedná se o bezplatný software vyvíjený v NIST (National Institut of Standarts and Technology). Pro zadávání vstupní geometrie je využit grafický preprocesor Pyrosim 2017 [78], jehož vývojářem je společnost Thunderhead Engineering.

### B.5.2 Validace zdroje požáru na základě experimentálně zjištěných hodnot

Jako zdroj požáru je uvažován dětský kočárek, který byl zkoušen dne 7. 4. 2017 v požární laboratoři FireLAB, která se nachází v Univerzitním centru energeticky efektivních budov UCEEB ČVUT v Praze [79].

#### Popis hořícího předmětu a výsledky požární zkoušky

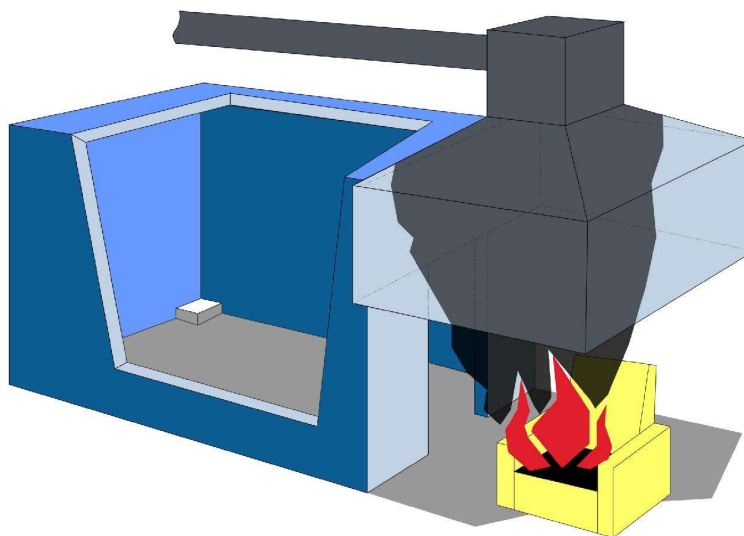
Jedná se o dětský kočárek značky ROAN o celkových půdorysných rozměrech cca 570/820 mm. Korba kočárku je ve výšce cca 570-850 mm. Schéma kočárku je zobrazeno na následujícím obrázku (obr. 51).



obr. 51 - (a) Půdorysné schéma kočárku; (b) Schématický pohled na kočárek;  
zdroj: Ing. arch. Bc. Petr Hejmánek, FireLAB UCEEB ČVUT v Praze

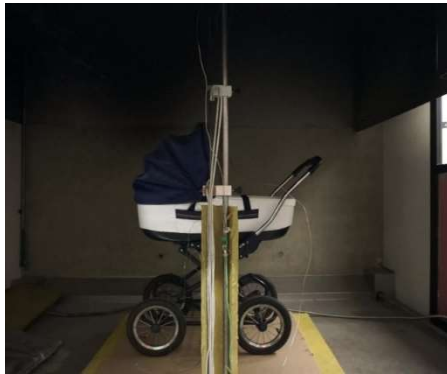
Podvozek kočárku byl tvořen ze slitin hliníku, plastových částí a gumy. Celková hmotnost podvozku byla 10,485 kg. Hluboká korba byla tvořena zejména plastovými díly, textilním potahovým materiálem, koženkou, textilní boudou na kovové konstrukci a molitanovou matrací. Celková hmotnost korby byla 5,710 kg.

Při experimentu byl kočárek umístěn pod odtahovou digestoří, která má rozměry 3x3 m (obr. 52). Zápalný zdroj tvořil papír umístěný v korbě kočárku pod boudou – 8 zmuchlaných novinových papírů. V průběhu zkoušky byla zapnutá nucená ventilace (ventilátor). Celý experiment trval přibližně 19 minut (1 125 s).



*obr. 52 - Schéma odtahové digestoře a místnosti pro RCT v laboratoři FireLAB  
zdroj: FireLAB UCEEB ČVUT v Praze*

Na následujících obrázcích (obr. 53 a-h) je zobrazen průběh požárního experimentu [80].



(a)



(b)



(c)



(d)



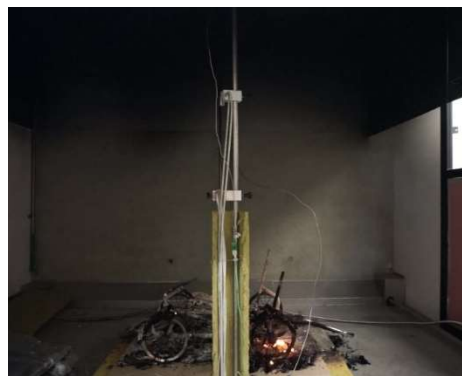
(e)



(f)



(g)



(h)

obr. 53 - (a-h) Průběh požární zkoušky kočárku

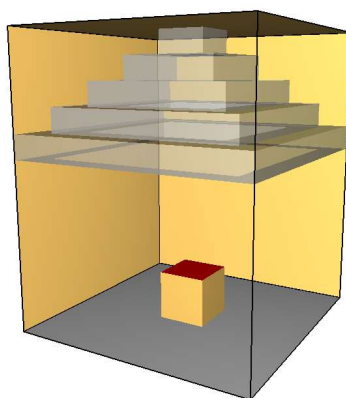
### **Vytvoření dílčího modelu pro validaci vstupních hodnot**

Aby bylo možné zdroj požáru použít v numerické analýze rozvoje požáru, je potřeba ho nejdříve správně definovat a validovat. Pro potřeby validace je nutné vymodelovat stejný prostor odtahové digestoře i v programu FDS, aby mohly být spočtené hodnoty porovnávány s hodnotami naměřenými při požární zkoušce, jelikož jsou závislé na geometrii prostoru odtahového zvonu. Pro následnou analýzu průběhu požáru jsou důležité zejména následující parametry, podle kterých je validován vhodný model požáru:

- rychlost uvolňování tepla (HRR),
- optická hustota kouře,
- analýza zplodin hoření (CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>).

Odtahová digestoř je modelována v programu Pyrosim ve dvou provedeních. Z hlediska úspory výpočetního času je první model odtahové digestoře vymodelován ve výrazně zjednodušené podobě s rozměry výpočetních buněk 250/250/250 mm. Hořící kočárek je aproximován na jednodušší tvar – kvádr. Toto zjednodušení nemá vliv na průběh výsledků, jelikož je zadána hořící plocha s definovanou rychlostí uvolňování tepla, nikoliv odhořívání jednotlivých částí. V tomto modelu je provedeno hrubé vyladění průběhu hoření.

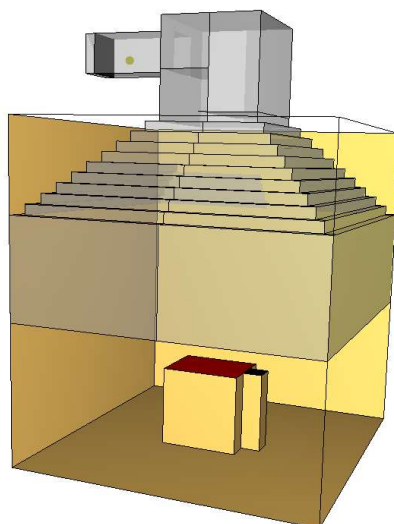
Vyladění požáru probíhá metodou „pokus-omyl“ tak, že jsou různě upravovány počty atomů uhlíku (C), kyslíku (O), dusíku (N) a vodíku (H) hořícího prvku. Dále je upravován faktor vývinu kouře (Soot\_Yield) a vývinu oxidu uhelnatého (CO\_Yield). Nejedná se tedy o hoření reálného prvku, ale o hoření zvolené kombinace atomů, jejíž výsledky nejlépe odpovídají výsledkům z reálné zkoušky.



*obr. 54 - První zjednodušený model odtahové digestoře*

Po validaci výsledků zjednodušeného numerického modelu s hodnotami naměřenými při experimentu je nutné potvrdit výsledky na detailnějším modelu, který lépe odpovídá reálné geometrii odtahové digestoře. Pro tento účel je převzat a přizpůsoben podrobnější model digestoře, který je vytvořen pro dosud nezveřejněný článek „Požární riziko dětského kočárku“ [81]. Ve druhém podrobnějším modelu (obr. 55) jsou výsledky z prvního zjednodušeného modelu ověřeny a dále upravovány tak, aby průběh sledovaných veličin odpovídal co nejlépe průběhu výsledků z experimentu.

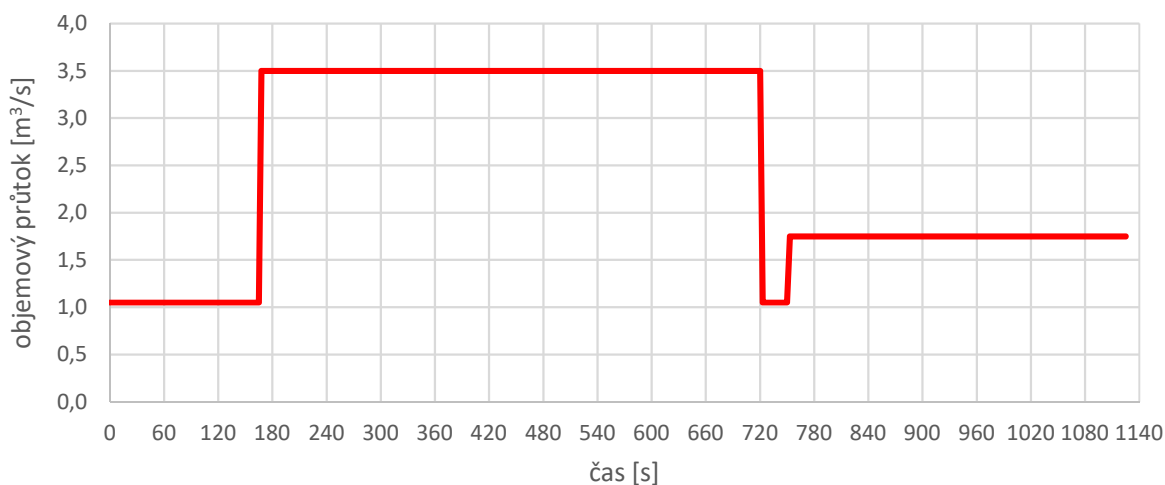




obr. 55 - Podrobnější model odtahové digestoře; dosud nezveřejněný článek [81]

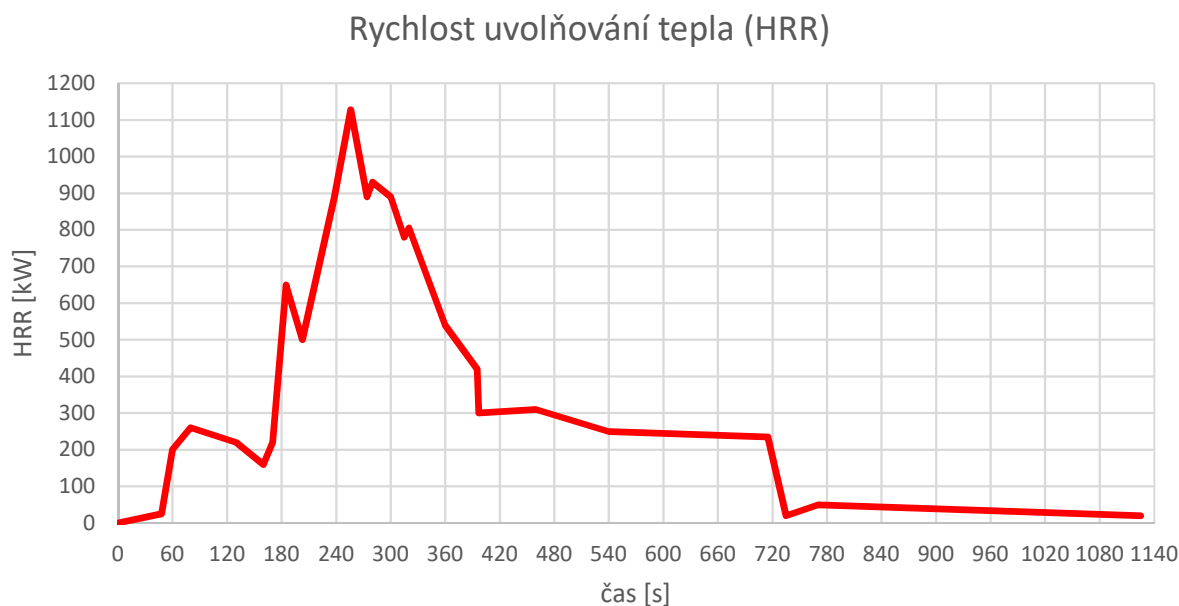
Pro model jsou vytvořeny 4 výpočetní oblasti (meshe) - prostor pod digestoří, digestoř, záchytný zvon ve vrcholu digestoře a odtahové potrubí. Rozměr výpočetních buněk meshe prostoru pod digestoří je zvolen z hlediska úspory výpočetního času 200/200/200 mm. Ostatní meshe mají rozměr výpočetních buněk 100/100/100 mm. Kočárek je opět aproximován na jednodušší tvar kvádrů o rozměrech 600/800/800 mm (plocha 0,48 m<sup>2</sup> přibližně odpovídá reálné ploše kočárku 0,47 m<sup>2</sup>). Na konec odtahového potrubí je umístěn odtahový ventilátor o maximálním objemovém průtoku 3,5 m<sup>3</sup>/s, jehož výkon je měněn v čase na základě průběhu reálné zkoušky. Průběh výkonu ventilátoru v čase je zaznamenán na následujícím obrázku (obr. 56). Před ventilátor jsou umístěna čidla, která měří časový průběh optické hustoty kouře a objemovou koncentraci CO, CO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub>. **Tyto veličiny jsou následně porovnávány s reálnými výsledky zkoušky.**

Objemový průtok ventilátoru



obr. 56 - Průběh objemového průtoku ventilátoru

Samotný požár je definován pomocí rychlosti uvolňování tepla (HRR) na horním povrchu kvádrů, který reprezentuje hořící kočárek. Průběh zadané rychlosti uvolňování tepla je převzat z výsledku experimentu [80] a je zobrazen na následujícím obrázku (obr. 57).



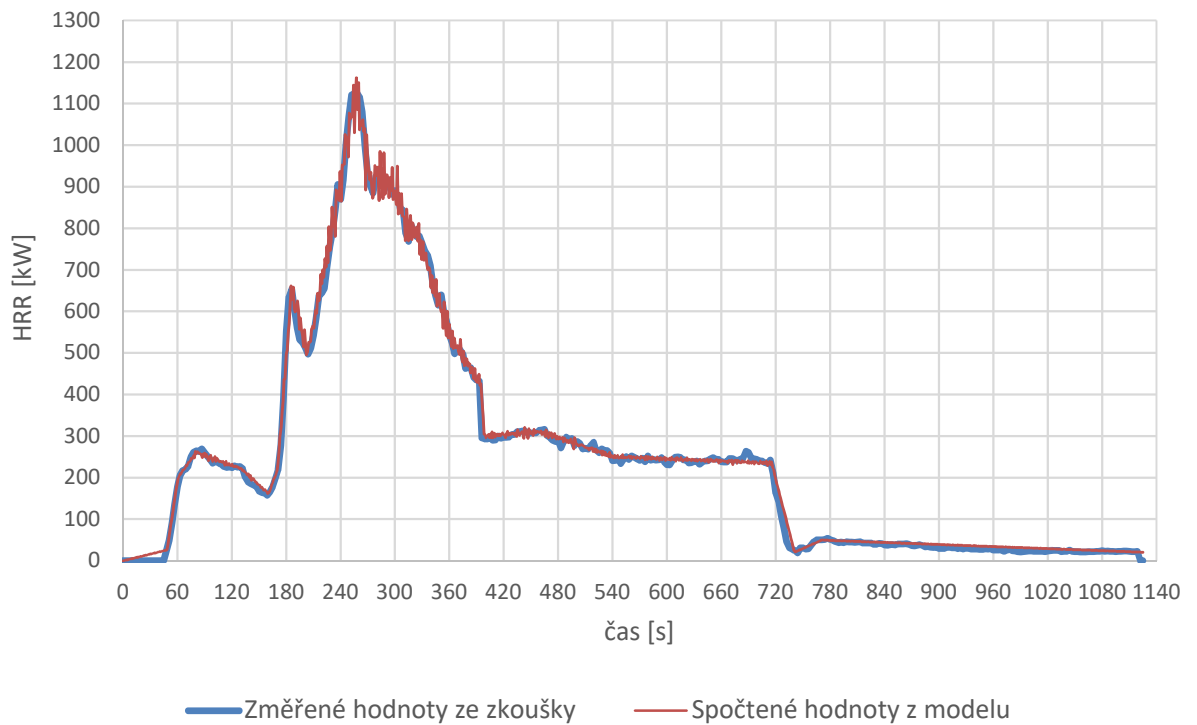
obr. 57 - Zadaná rychlost uvolňování tepla [80]

V programu FDS lze definovat pouze jednu výchozí reakci (jeden hořící materiál) a tudíž nelze jednoduše zadat více hořících materiálů (na kočárku hoří více materiálů – plasty, textilie, guma...). Řešením by bylo vymodelovat požár pomocí stechiometrických rovnic, což je jednak velice složité, ale zejména je nutné znát rovnici hoření, která v tomto případě není známá.

### Výsledky

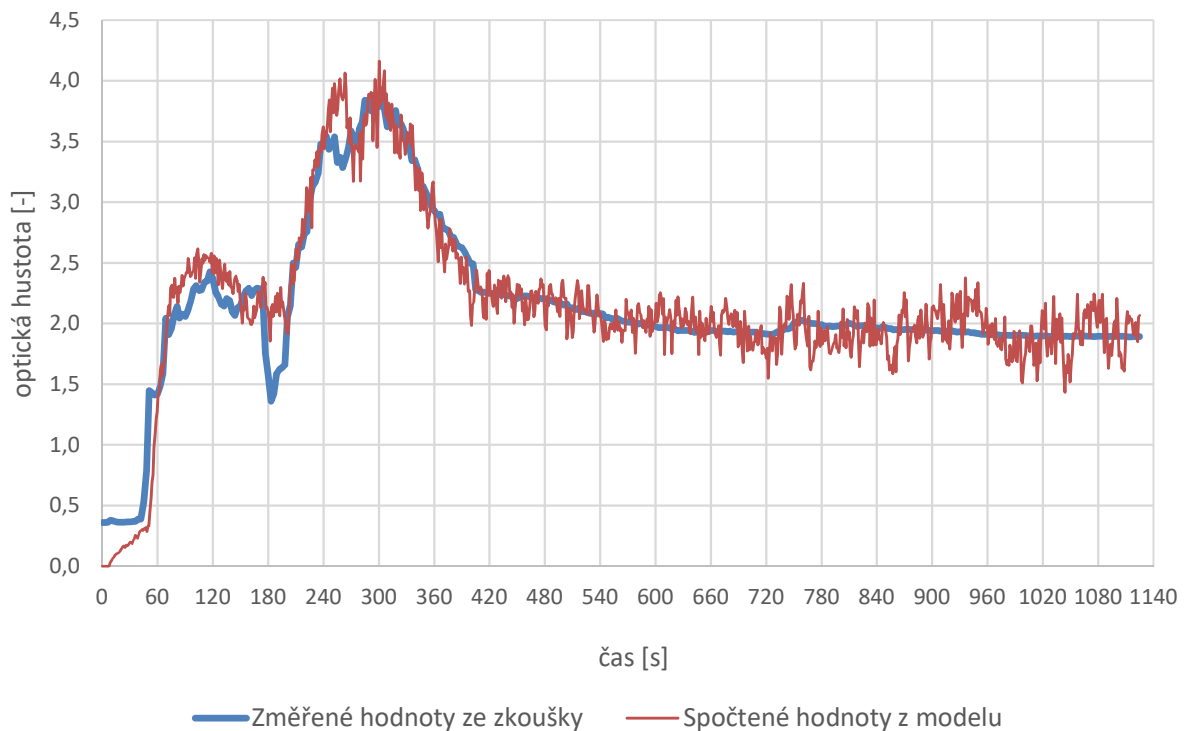
Všechny měřené veličiny s výjimkou optické hustoty kouře přibližně odpovídají při zvolené kombinaci  $C=10$ ,  $H=7$ ,  $O=0$ ,  $N=0$ ,  $Soot\_Yield=0,11$  a  $CO\_Yield=0,065$ . Pro korekci optické hustoty kouře je zadán další ventilátor, který do hořícího prostoru dodává takové množství sazí, aby průběh optické hustoty odpovídal průběhu z reálné zkoušky. Testování správných hodnot probíhá opět metodou „pokus-omyl“ a následným doladováním. Na následujících obrázcích (obr. 58-obr. 62) jsou zobrazeny průběhy hodnot naměřených při reálné zkoušce a průběhy hodnot, které byly spočítány pomocí modelu.

### Rychlost uvolňování tepla (HRR)

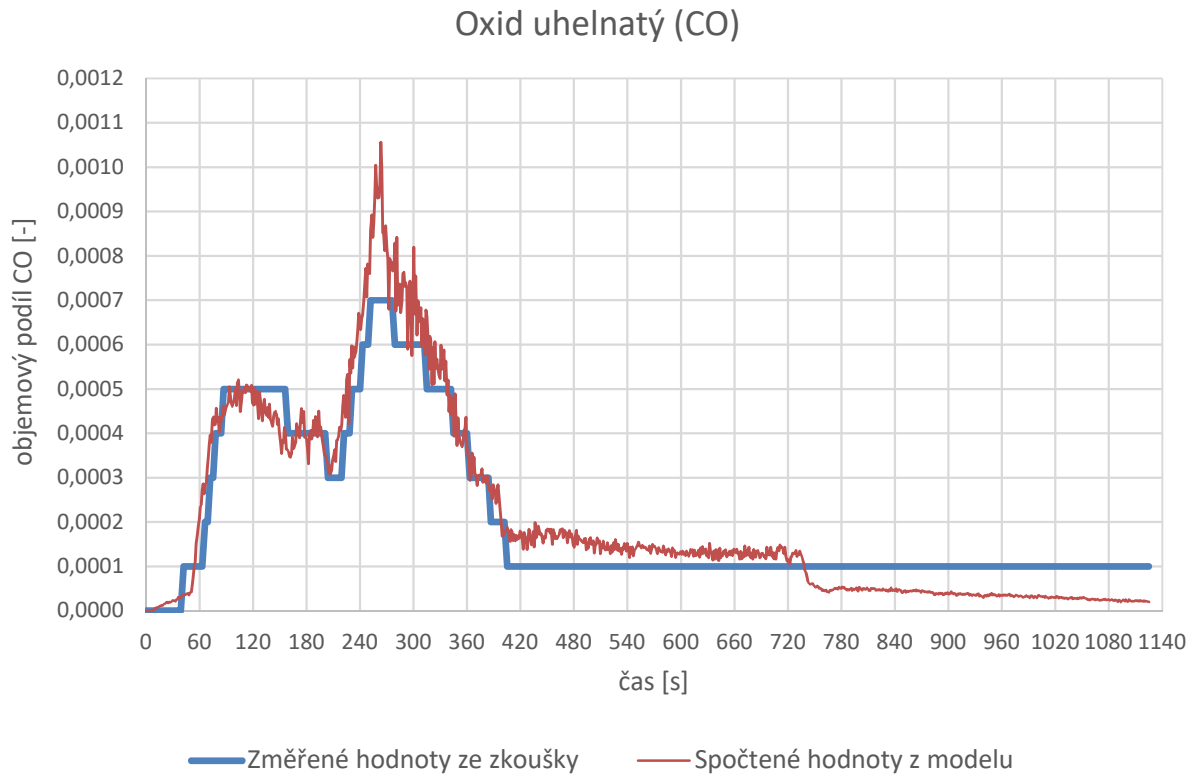


obr. 58 - Průběh rychlosti uvolňování tepla

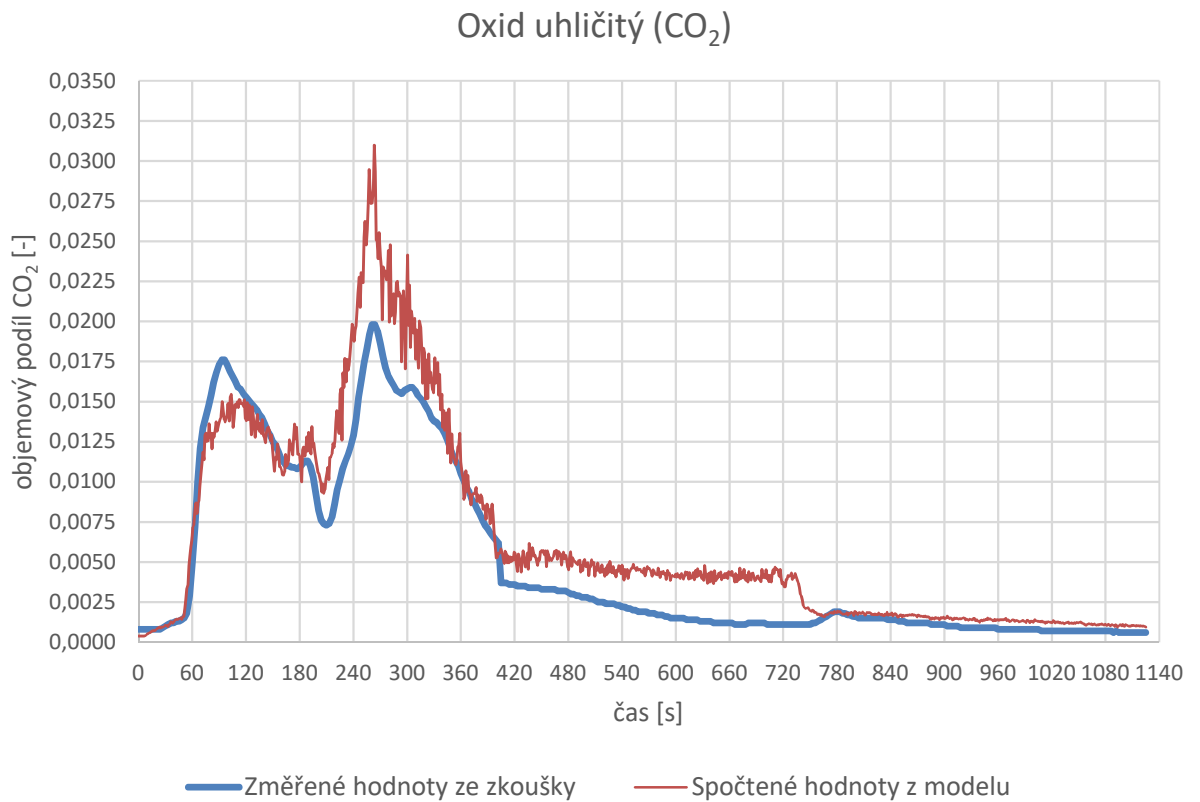
### Optická hustota kouře



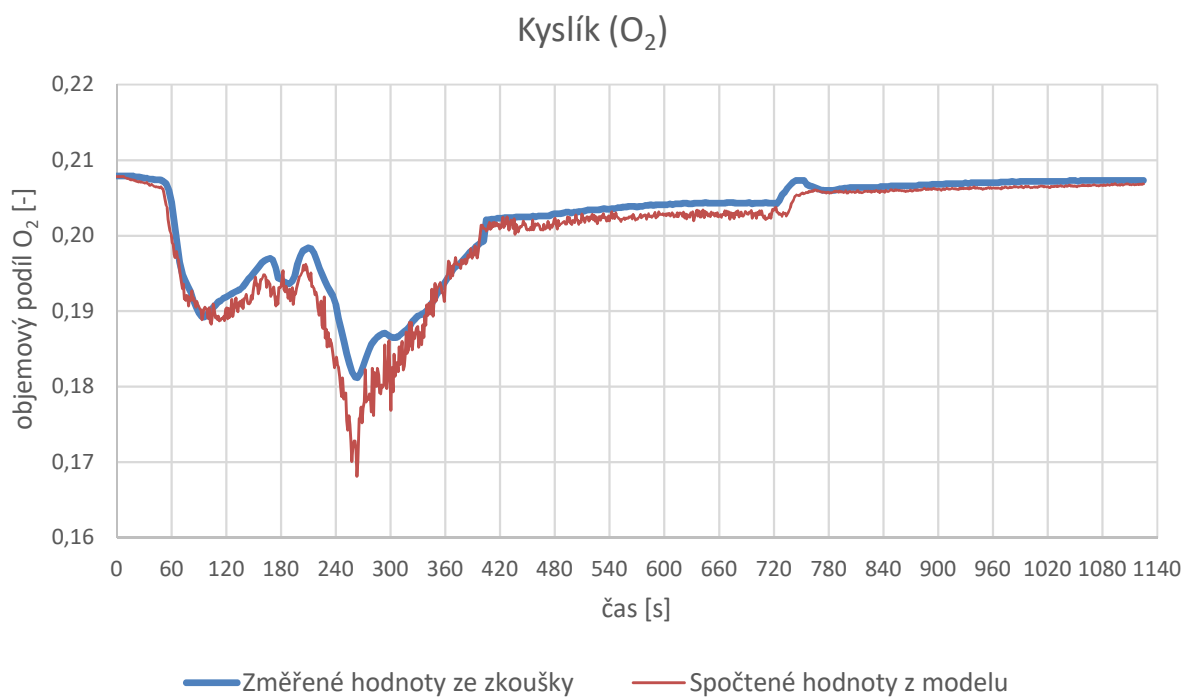
obr. 59 - Průběh optické hustoty kouře



obr. 60 - Průběh oxidu uhelnatého



obr. 61 - Průběh oxidu uhličitého



obr. 62 - Průběh kyslíku

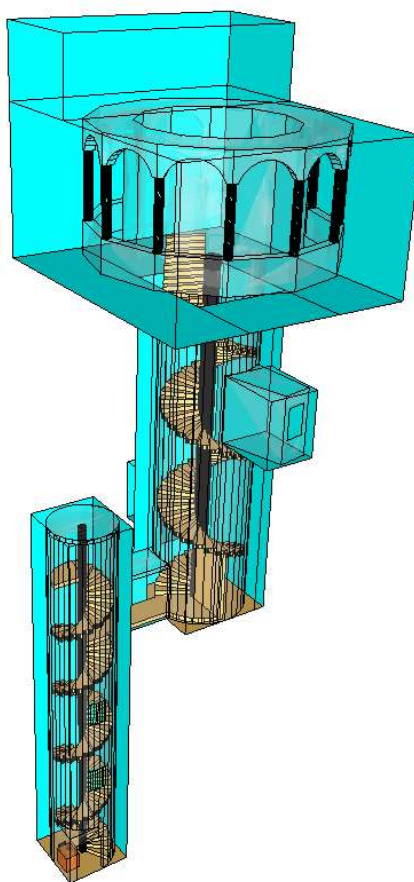
Z předchozích grafů je patrné, že průběh jednotlivých parametrů dobře koresponduje s naměřenými hodnotami, které byly shromážděny v průběhu požární zkoušky. Tento validovaný model je tedy vyhodnocen jako použitelný pro analýzu rozvoje požáru v modelu věže.

### B.5.3 Numerický model rozvoje požáru v programu FDS

V této podkapitole je popsán numerický model věže, který byl analyzován v programu FDS. Samotný program FDS podporuje pouze pravoúhlé tvary konstrukcí, a proto by bylo zadání kulatého tvaru věže velmi složité. Bylo by nutné rozdělit zaoblené tvary na jednotlivé kvádry, které by vytvářely „zubatý“ kulatý tvar. Z tohoto důvodu je 3D model věže nejdříve vymodelován v programu Archicad, uložen ve formátu STL (StereoLithography) a následně importován do FDS prostřednictvím preprocesoru Pyrosim. Výhodou tohoto postupu je, že samotnou geometrii lze vytvořit v externím programu a následné rozložení na „zubatý“ tvar je provedeno programem Pyrosim zcela automaticky na základě vytvořené výpočetní oblasti (meshe).

#### Vytvoření modelu

Výpočetní model věže je složen pouze z částí, které mají významný vliv na průběh požáru. Součástí modelu je spodní část věže s úzkým točitém schodištěm, spojovací chodba, horní část věže se dvěma osvětlovacími nikami (které jsou vzhledem ke své velikosti schopné pojmout značné množství kouře) a ochozem věže. Ochoz věže je modelován zejména kvůli měření teplot a následnému použití v evakuačním modelu. Na následujícím obrázku (obr. 63) je zobrazen výpočetní model věže pro numerickou analýzu rozvoje požáru (zplodin hoření).



obr. 63 - Numerický model věže pro analýzu rozvoje požáru

Pro výpočetní model věže je vytvořeno 7 výpočetních oblastí (spodní část věže, spojovací chodba, horní část věže, dvě osvětlovací niky, ochoz věže a část prostoru nad ochozem). Rozměr výpočetních buněk je zvolen 150/150/180 mm vzhledem ke skutečným rozměrům věže a k omezení počtu buněk z hlediska úspory výpočetního času. Rozměry věže jsou tedy mírně přizpůsobeny výpočetním buňkám a celkový počet je 283 274 buněk.

Jelikož je pro následný posudek důležitý zejména rozvoj zplodin hoření, je všem povrchům modelu přiřazen typ INERT. Tento typ povrchu nemá žádnou interakci s prostředím a nedochází tak k ohřívání, sálání, hoření apod., přičemž tento krok výrazně šetří výpočetní čas. Stěnám věže je nastavena větší průhlednost, aby bylo možné pozorovat rozvoj zplodin hoření.

Ve spodní části věže (za vstupem do věže) je umístěný kvádr, který představuje kočárek. Na horní plochu kvádrů je umístěna hořící plocha, které jsou přiřazeny validované parametry z předchozí podkapitoly B.5.2. Pro přívod vzduchu slouží vstupní dveře do věže a pro odvod zplodin horní dveře na ochoz věže.

Do výpočetního modelu jsou umístěna měřící čidla a řezové roviny. Čidla jsou umístěna nad hořícím kočárkem, v prostoru vstupních dveří, v místech umístění kamer při experimentu, ve spojovací chodbě a v prostoru ochozu věže. Tato čidla měří průběh teplot, optické hustoty kouře, koeficientu extinkce, viditelnosti a koncentrace kyslíku, oxidu uhličitého a uhelnatého. Dále jsou v prostoru vstupu do věže umístěny radiometry, které zachycují sálavý tepelný tok dopadající na unikající osoby.

V modelu věže jsou vytvořeny i okenní otvory, jejichž otevření nastane při teplotě 400 °C a umožní přísun čerstvého vzduchu, což simuluje prasknutí skleněné výplně.

Po provedení první analýzy rozvoje požáru je model věže upraven tak, aby bylo možné zjistit průběh teplot na povrchu dřevěných stupňů schodiště. Je vytvořen materiál „dřevo“, kterému jsou přiřazeny následující charakteristiky<sup>23</sup>:

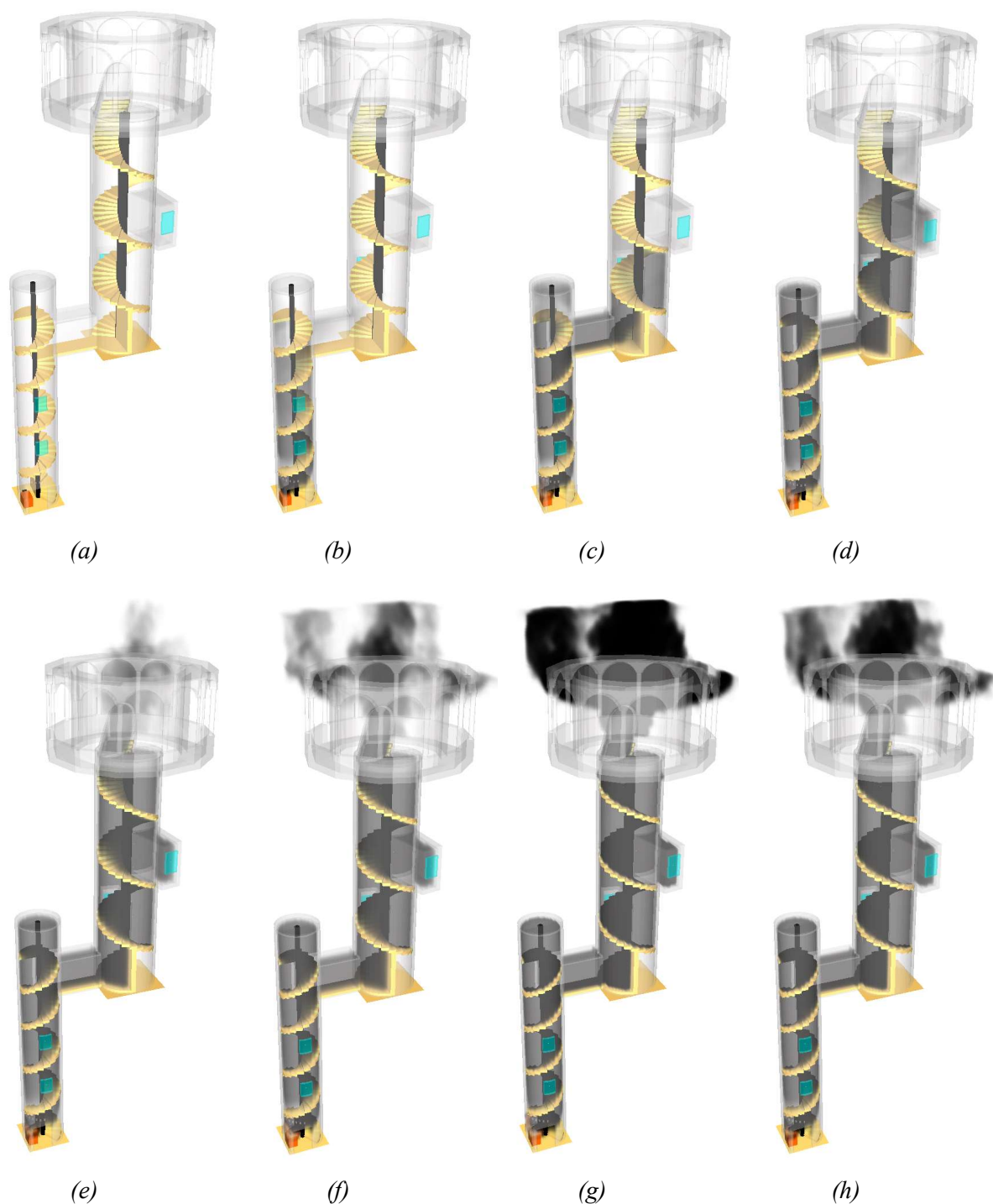
- objemová hmotnost: 680 kg/m<sup>3</sup> (15 % vlhkost),
- měrná tepelná kapacita: 2,51 kJ/(kg·K),
- součinitel tepelné vodivosti: 0,22 W/(m·K).

Tento materiál je přiřazen schodišťovým stupňům a do modelu jsou přidána čidla, která jsou umístěna na spodním líci dřevěných stupnic a měří teplotu povrchu materiálu v oblasti kolem hořícího kočárku, kde je předpokládán největší nárůst teplot. Z hlediska úspory výpočetního času je druhá analýza ukončena po 240 sekundách.

<sup>23</sup> <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/58-hodnoty-fyzikalnich-velicin-vybranych-stavebnich-materialu#t09>

**Výsledky**

Na následujících obrázcích (obr. 64 a-h) je zobrazen průběh kouře v čase.

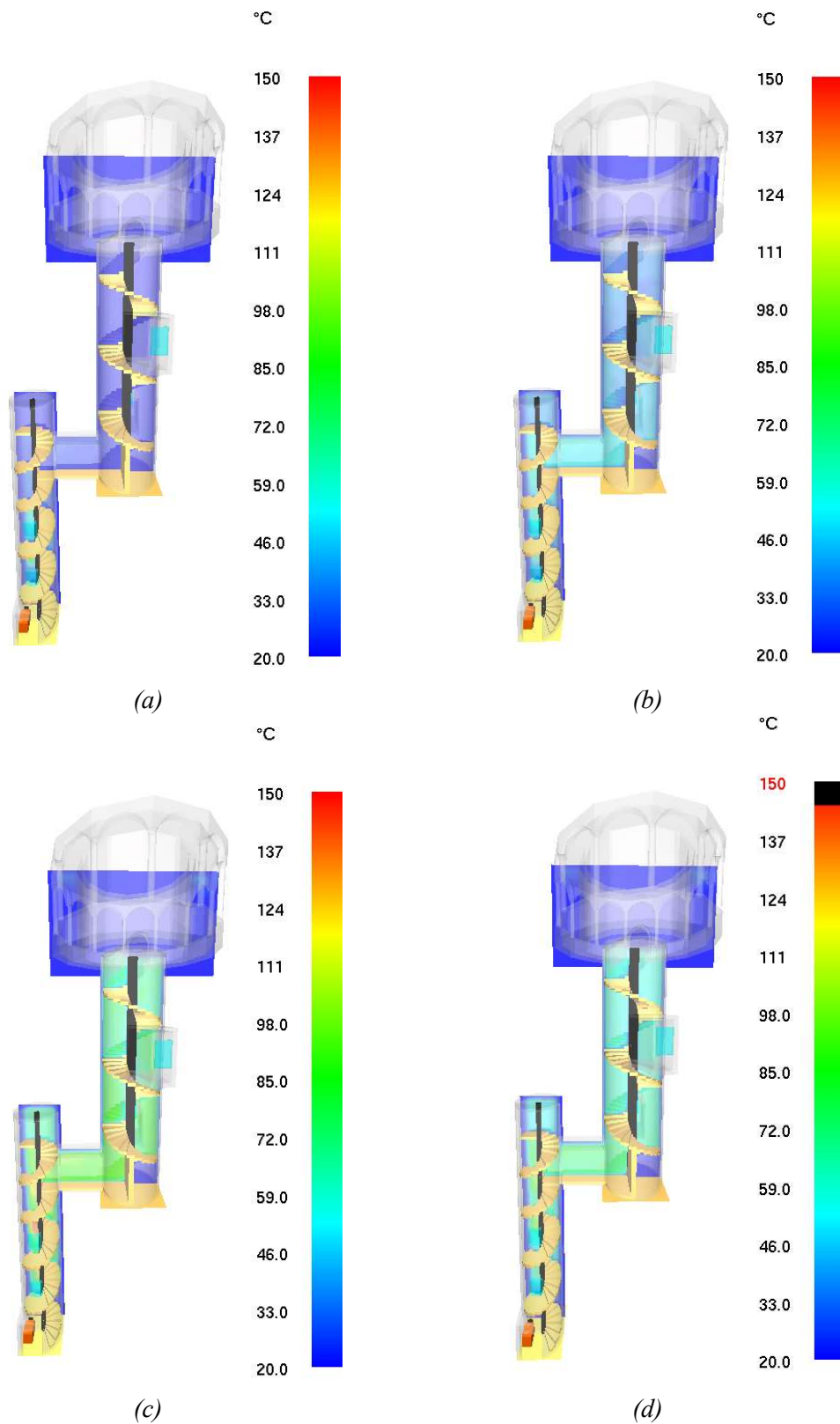


obr. 64 - Průběh rozvoje kouře; (a) v čase 0 s; (b) v čase 60 s; (c) v čase 80 s; (d) v čase 100 s; (e) v čase 120 s; (f) v čase 180 s; (g) v čase 360 s; (h) v čase 720 s

Na základě simulace průběhu kouře, která je zobrazena na předchozích obrázcích, je zjištěno, že první náznaky přítomnosti kouře v prostoru ochozu věže jsou přibližně ve 100. sekundě od vzniku požáru. Přítomné osoby tedy necelé 2 minuty nemusí nic tušit o vzniklé situaci.



Na následujících obrázcích (obr. 65 a-d) je zobrazen průběh teplot na řezové rovině, která je umístěna zhruba v polovině šířky spojovací chodby a která protíná i obě části věže. Z obrázků je patrné, že ve věži dochází k velkému růstu teplot, které jsou v některých místech dokonce vyšší než 100 °C.

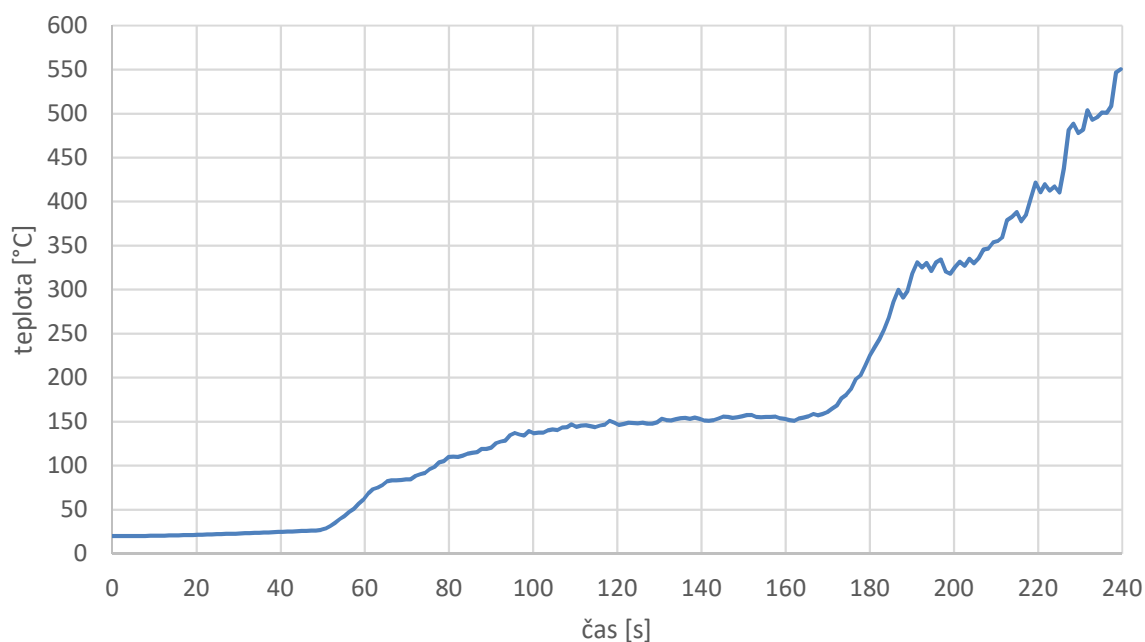


obr. 65 - Průběh teplot ve věži; (a) v čase 60 s; (b) v čase 180 s; (c) v čase 280 s; (d) v čase 360 s

Vzhledem k rozsáhlé velikosti modelu jsou výrazné i větší rozdíly teplot (nad hořícím kočárkem okolo 600 °C, nahoře ve věži 20 °C). Tyto rozdíly jdou velice špatně zachytit barevnou škálou, proto je barevná škála omezena na hodnotu 150 °C, aby byly patrné jednotlivé rozdíly teplot v celém prostoru. Maximální hodnota 150 °C v legendě tedy neznamená, že se zde nevyskytují vyšší teploty, ale že tyto teploty pouze nejsou zobrazeny (zejména nad hořícím kočárkem).

Na následujícím obrázku (obr. 66) je zobrazen průběh povrchových teplot dřevěných stupňů nad hořícím kočárkem. V čase 240 s je teplota dřeva větší než 500 °C.

Průběh teploty schodišťového stupně nad kočárkem



obr. 66 - Průběh teploty schodišťového stupně nad hořícím kočárkem

Vzhledem k velkému množství měřených hodnot zde není cílem všechny grafy a průběhy vykreslit a z tohoto důvodu jsou grafy zobrazující hodnoty z vybraných čidel zobrazeny v Příloze 6. Vybrána jsou čidla, jejichž pozice odpovídá pozicím kamer při experimentu. Poslední dvě čidla umístěna v prostoru ochozu věže.

Všechna potřebná data z výpočtu jsou automaticky uložena v datovém souboru jako 3D data (data se vztahují k určité pozici ve 3D prostoru) a lze je následně nahrát do evakuačního modelu, aniž by byla nutná manuální úprava dat. Uvedené obrázky tedy slouží pouze pro představu o průběhu kouře a teplot, přičemž dále je pracováno s přesnými hodnotami, které jsou získávány automaticky.

## B.6 Výpočet doby potřebné pro evakuaci (RSET)

Tato kapitola je věnována výpočtu doby potřebné k evakuaci. V první podkapitole jsou představeny používané programy, ve druhé podkapitole je řešena možnost aproximace točitého schodiště na jednodušší tvar, který lze analyzovat v programu FDS+Evac. Třetí podkapitola se zabývá numerickými modely evakuace, jejichž výsledkem jsou doby pohybu a účinek toxicity na osoby.

### B.6.1 Používaný software

#### FDS+Evac

Samotný program FDS byl již popsán v kapitole B.5.1. Nadstavba Evac [82] je doplněk, který umožňuje modelování pohybu osob a využívá se zejména k simulaci pohybu osob v evakuačních situacích. Tato evakuační nadstavba může být plně propojena s analýzou rozvoje požáru, což umožňuje sledovat závislost evakuace osob na rozvoji požáru (interakce osob a požáru) včetně simulace podmínek, které jsou neslučitelné se životem. Program podporuje analýzu podmínek evakuace na základě měření koncentrace kyslíku a nebezpečných látek v okolí agenta a následným vyhodnocením frakční účinné dávky (FED) a porovnáním s maximálními dovolenými hodnotami. Nadstavba Evac je vyvíjena Technickým výzkumným centrem VTT a v současné době je integrovaná do programu FDS. Jednotlivé osoby (agenti) jsou v modelu uvažovány jako samostatné entity, které mají své vlastní charakteristiky pohybu a vlastní strategii úniku. Pohyb těchto agentů je realizován prostřednictvím kontinuálních dvourozměrných rovin (mesh), které představují jednotlivá podlaží budovy. Samotný pohyb osob řeší základní algoritmus, který nepřetržitě vyhodnocuje pohybovou rovnici v prostoru a čase. Interakce agenta s dalším agentem a agenta s okolním prostředím je řešena pomocí metody sociálních sil [83]. Tyto síly jsou interpretovány fyzickými silami (fyzický kontakt, gravitace) a psychickými silami.

Vstupní parametry se zadávají ve formě zdrojového kódu do textového editoru. Výstupní data je možné exportovat do tabulkového procesoru a následně zpracovat dle potřeby. Pro vizualizaci výsledků je k dispozici vizualizační program Smokeview.

Verifikace a validace FDS+Evac [84] byla nejprve prováděna na jednoduchých modelech, aby byly zajištěny základní předpoklady, tj. že agenti neprocházejí stěnami, mají správnou rychlost a směřují směrem k únikovému východu. Dále byla provedena verifikace pohybového algoritmu na základě testů podle IMO (International Maritime Organization) dokumentů, které jsou založeny na evakuaci osob z lodí. Na základě IMO testů bylo provedeno 11 zkušebních modelů (pohyb v koridorech, po schodištích, skrz otvory atd.). Dále byla provedena verifikace frakční účinné dávky (FED) porovnáním s pracovními toxikologickými tabulkami. Provedena byla i verifikace závislosti rychlosti osob na viditelnosti a model rozhodování osob. Následně byla provedena validace pohybového algoritmu srovnáním se simulacemi z jiných programů (Simulex, Exodus a MASSEgress).

Jednotlivé výstupy jsou obvykle při jednotlivých opakováních rozdílné. Tento fakt je způsoben tím, že se jedná o stochastické programy, které využívají statistické distribuce hodnot v počátečních pozicích agentů, v přidělení pohybových charakteristik atd. Tímto přístupem je možné z velké části eliminovat nejistoty z rozložení rychlosti osob, pozice při vzniku požáru, výběru strategie úniku atd.

### **Pathfinder**

Pathfinder je program, který simuluje pohyb osob při evakuaci a na rozdíl od programu FDS+Evac zahrnuje integrované uživatelské rozhraní a vytváří propracovanější animované 3D výsledky.

Pathfinder [85] využívá k reprezentaci řešené geometrie prostoru trojrozměrnou triangulární síť, čímž dokáže pracovat i s různými geometrickými tvary a křivkami. Tato triangulární síť zajišťuje kontinuální pohyb osob v celém prostoru a pohyb osob tak není omezen např. dělením prostoru na buňky. Vývojářem programu Pathfinder je americká společnost Thunderhead Engineering. Program je pro komerční účely placený a v současné době je k dispozici verze programu Pathfinder 2017. Pro modelování pohybu osob využívá Pathfinder dva režimy simulace, mezi kterými lze libovolně volit. V obou režimech jsou jednotlivé osoby (agenti) uvažovány jako samostatné entity s explicitně, nebo náhodně generovanými vlastnostmi

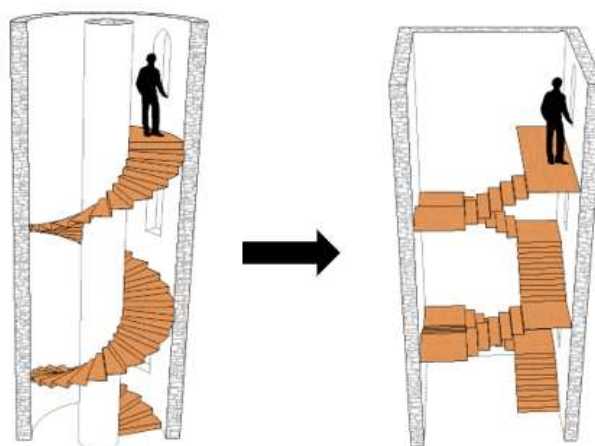
První režim je Steering model [86]. V tomto modelu se agenti nezávisle pohybují ke svému definovanému cíli (nejčastěji ven z budovy) a zároveň se vyhýbají ostatním agentům a překážkám v trase svého pohybu. Specifické toky nejsou explicitně zadány, ale vyplývají ze vzájemné interakce mezi agentem a prostředím, ve kterém se pohybuje.

Druhý režim je SFPE, který vychází ze studií SFPE [15] a agenti mají explicitně zadané chování, tzn. že existuje závislost mezi rychlostí, hustotou osob a specifickým tokem osob.

Validace a verifikace programu [87] byla provedena na základě porovnání s reálnými experimenty a studii (jednosměrný tok osob, obousměrný tok osob, slučování proudů osob, pohyb po schodištích, v koridorech, skrz otvory atd.). Byly provedeny verifikační testy na základě IMO dokumentů, SFPE podkladů a evakuačních dat z Národního institutu pro standardy a technologie v USA (National Institute of Standards and Technology - NIST), které byly následně validovány porovnáním s reálnými hodnotami, naměřenými při experimentech.

Jednotlivé výstupy jsou obdobně jako v případě FDS+Evac při jednotlivých opakováních rozdílné, a proto je nutné provést dostatečné množství analýz.

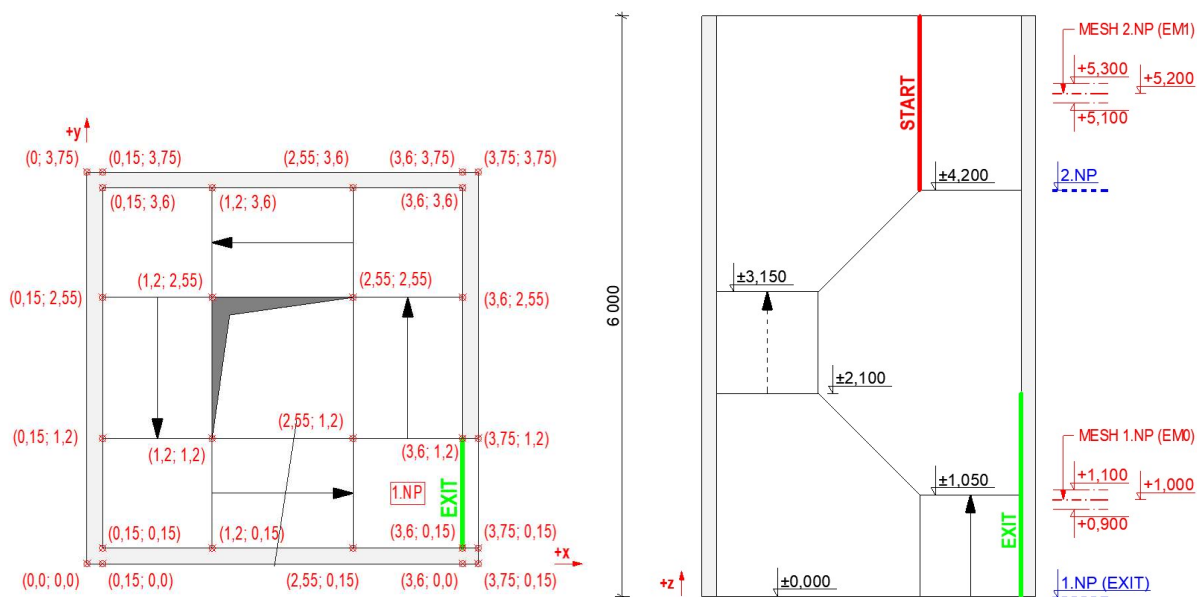
## B.6.2 Aproximace točitého schodiště na pravoúhlý tvar



obr. 67 - Aproximace točitého schodiště na jednodušší tvar

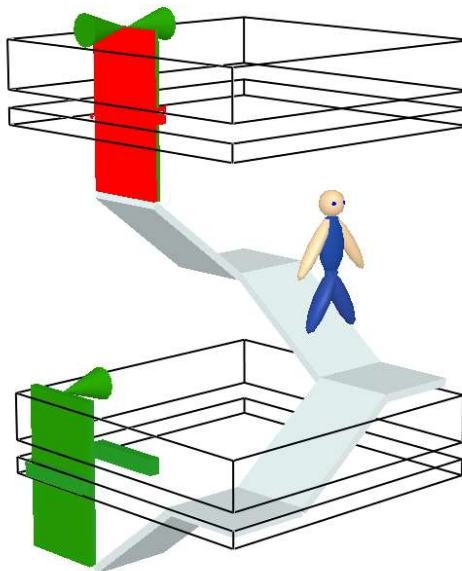
Cílem této podkapitoly je co nejvíce zjednodušit geometrii točitého schodiště (obr. 67) tak, aby ho bylo možné modelovat a analyzovat i v evakuačních modelech, které nemohou vytvářet jiné tvary, než pravoúhlé čtyřúhelníky (např. FDS+Evac). Aproximaci točitého schodiště na jednodušší tvary se autor podrobně věnoval již v rámci diplomového semináře s názvem „Evakuace a pohyb osob po schodištích“ [88]. Geometrie věže náhodského zámku bohužel vzhledem ke geometrii nelze aproximovat podle výsledků ze semináře, a proto je potřeba zvolit jiný postup.

Točité schodiště je nahrazeno čtyřramenným schodištěm s vloženými mezipodestami tak, že je zachována šířka ramene, konstrukční výška jednoho otočení schodiště o  $360^\circ$  a délka schodišťového ramene v místě výstupní čáry. Celková délka schodišťového ramene točitého schodiště je však na jedno otočení kratší, než je celková délka čtyřramenného schodiště, jelikož jsou zde navíc 4 vložené mezipodesty. Aby bylo možné zadat správnou rychlost (změřenou z experimentu), a aby agent prošel trasu ve stejném čase, jako na schodišti bez mezipodest, je nutné tyto vložené podesty (které zde musí z hlediska funkčnosti programu být) časově eliminovat. Tato časová eliminace je řešena tak, že se na mezipodesty zadá výrazně větší rychlost, než je zadána na schodišťová ramena. Zvýšená rychlost však musí být stanovena tak, aby se celková doba pohybu po schodišti s mezipodestami rovnala celkové době pohybu na tom samém schodišti, ale bez mezipodest. Z tohoto důvodu je v programu FDS+Evac vytvořena část spodního točitého schodiště (jedno otočení o  $360^\circ$ ), na kterém je rychlost testována. Schéma tohoto schodiště je zobrazeno na následujícím obrázku (obr. 68).



obr. 68 - Půdorysné a pohledové schéma testovacího schodiště

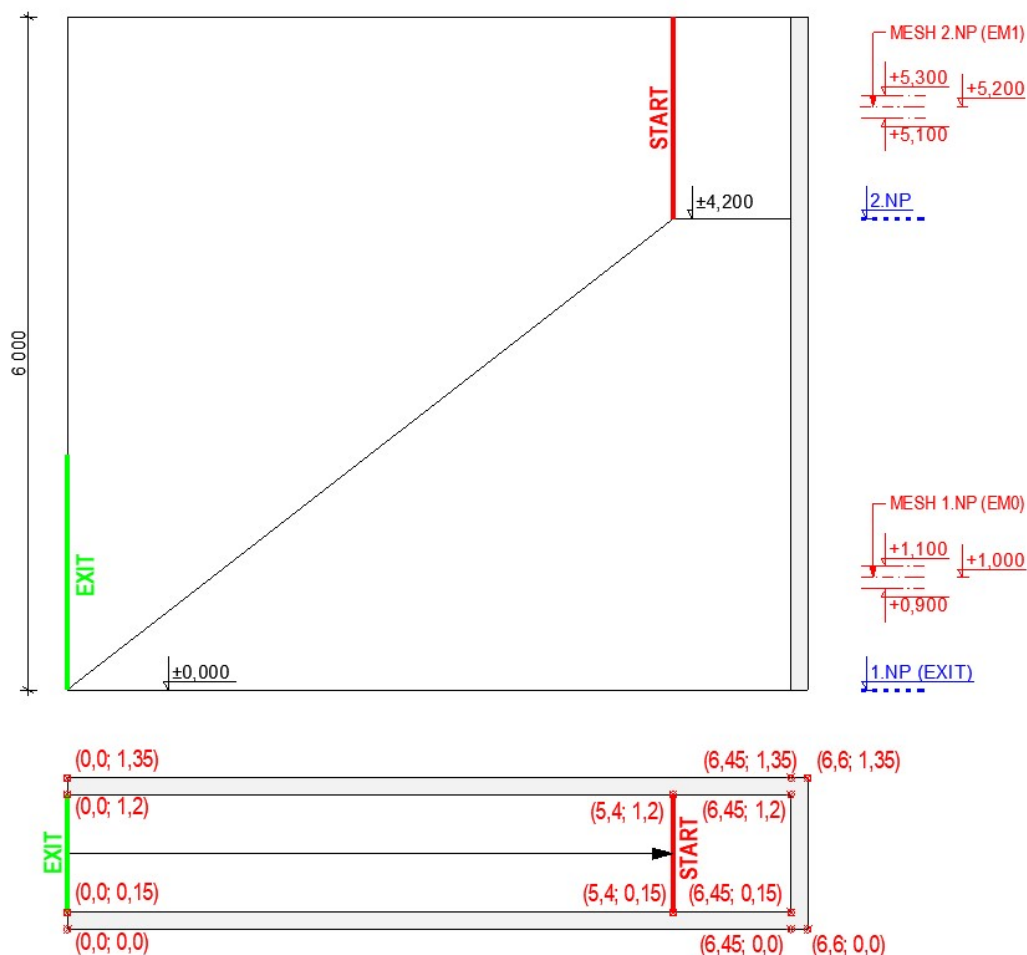
Toto schodiště je prostřednictvím zdrojového kódu převedeno do programu FDS+Evac. Na horní podestu je vložen agent, kterému jsou přiřazeny parametry dospělé osoby a rychlost pohybu po schodišťových ramenech 0,67 m/s, což je průměrná hodnota rychlosti pro spodní točité schodiště, která byla změřena při reálném experimentu. Rychlost na mezipodestách je předběžně zvolena 19 m/s. Na následujícím obrázku je zobrazen výstup z programu FDS+Evac (obr. 69).



obr. 69 - Výstup z programu FDS+Evac pro spodní čtyřramenné testovací schodiště

Na základě provedené analýzy je čas vstupu agenta do měřeného prostoru mezi horními vstupními dveřmi a spodními výstupními dveřmi (mezi se nachází 4 ramena a 4 mezipodesty) 0,35 s. Výstup agenta z měřeného prostoru je v čase 10,2 s. Čas strávený v měřeném prostoru je tedy 9,85 s.

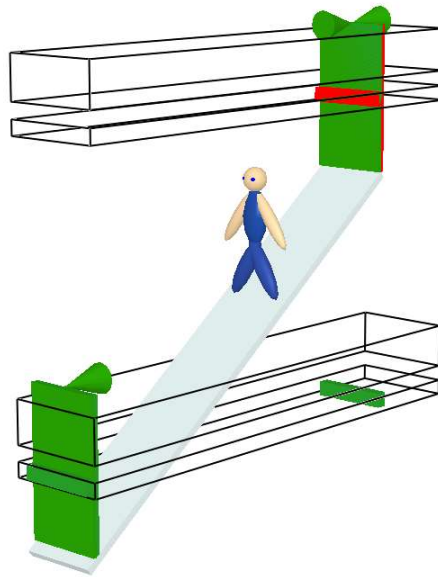
Aby bylo možné porovnat, zda celkový čas odpovídá schodišti bez mezipodest, či nikoliv, je nutné vytvořit další schodiště, které má délku ramena shodnou se součtem délky všech 4 ramen čtyřramenného schodiště. Je tedy nutné vytvořit přímé schodiště, které má všechny parametry shodné, avšak nemá vložené mezipodesty. Schéma tohoto schodiště je zobrazeno na následujícím obrázku (obr. 70).



obr. 70 - Půdorysné a pohledové schéma přímého testovacího schodiště (spodní)

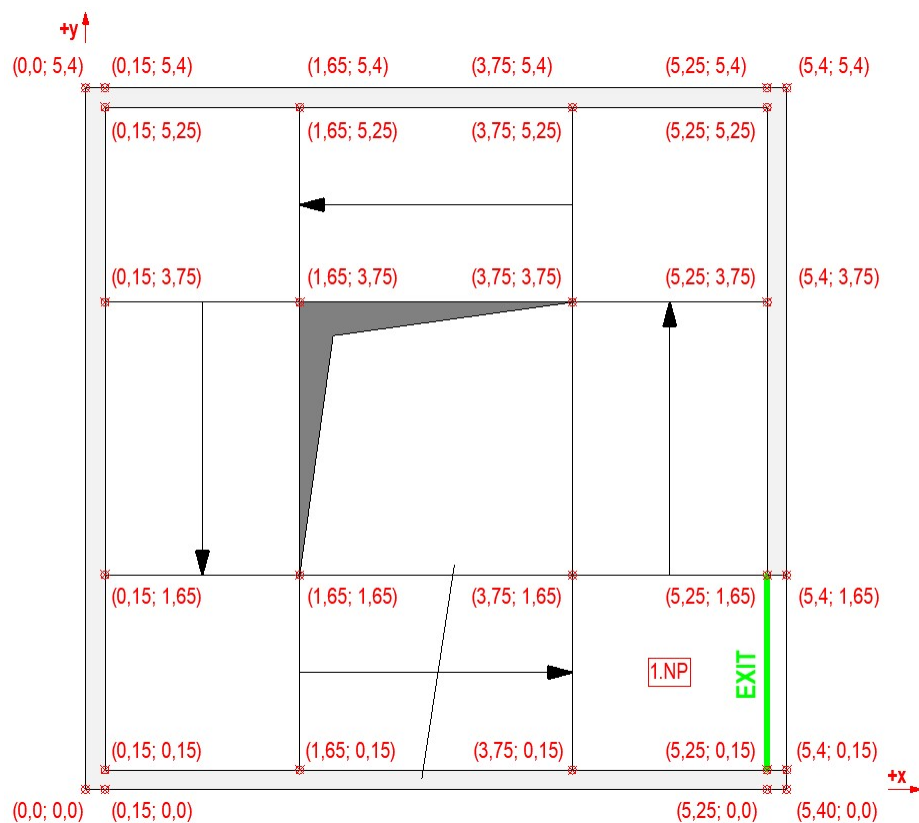
Schodiště je opět prostřednictvím zdrojového kódu vloženo do programu FDS+Evac. Na horní podestu je umístěný stejný agent, kterému je přiřazena rychlost pohybu 0,67 m/s. Na následujícím obrázku je zobrazen výstup z programu FDS+Evac (obr. 71). Na základě provedené analýzy je čas vstupu agenta do měřeného prostoru 1,6 s. Čas výstupu z měřeného prostoru je 11,4 s. Celková doba strávená na schodišti je 9,8 s.

Při porovnání naměřených časů z jednotlivých analýz (9,85 s a 9,8 s) je patrné, že rychlost 19 m/s je optimální pro eliminaci vložených mezipodest. Chyba na jedno otočení schodiště o 360° je přibližně 0,05 s, což představuje 0,5 %.



obr. 71 - Výstup z programu FDS+Evac pro spodní přímé testovací schodiště

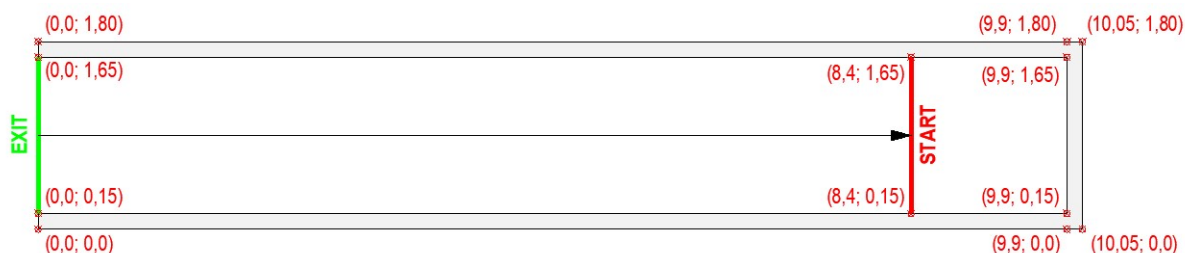
Rychlost 19 m/s, která je zadána na vložené mezিপodesty, je nutné ověřit i pro horní točité schodiště, aby bylo zajištěno, že chyba výrazně nevzroste. Na následujícím obrázku (obr. 72) je zobrazeno schéma horního čtyřramenného schodiště. Výškové rozměry odpovídají obr. 68. Na základě provedené analýzy je čas vstupu agenta do měřeného prostoru 0,35 s a čas výstupu 12,0 s. Doba strávená na schodišti vč. mezিপodest je 11,65 s.



obr. 72 - Půdorysné schéma horního čtyřramenného testovacího schodiště



Dále je vytvořeno přímé schodiště, které opět slouží pro ověření doby pohybu po schodišti. Schéma schodiště je zobrazeno na následujícím obrázku (obr. 73). Výškové rozměry odpovídají obr. 70.



obr. 73 - Půdorysné schéma přímého testovacího schodiště (horní)

Z provedené analýzy plyne, že čas vstupu agenta do měřeného prostoru je 1,9 s a čas výstupu je 13,6 s. Celková doba strávená na schodišti je 11,7 s. Při porovnání obou hodnot (11,65 s a 11,7 s) je časový rozdíl 0,05 s, což představuje chybu 0,5 %.

S ohledem na provedené výpočty lze konstatovat, že točité schodiště může být nahrazeno jednodušším tvarem, při zachování určitých proporcí. Výsledky dosažené v této podkapitole jsou rekapitulovány v následující tabulce (tab. 14). Na základě provedených analýz je hodnota pohybové rychlosti na vložených mezipodestách 19 m/s považována za vyhovující pro řešenou geometrii schodiště náhodské věže a je následně použita pro numerický model evakuace v programu FDS+Evac. V Příloze 7 jsou uvedeny zdrojové kódy pro spodní schodiště (čtyřramenné i přímé).

tab. 14 - Rekapitulace výsledků

Typ	Spodní schodiště		Horní schodiště	
	Čtyřramenné	Přímé	Čtyřramenné	Přímé
Model				
Čas vstupu [s]	0,35	1,6	0,35	1,9
Čas výstupu [s]	10,2	11,4	12,0	13,6
Doba pohybu [s]	9,85	9,8	11,65	11,7
Chyba [s]	0,05		0,05	
Chyba [%]	0,5		0,5	

## B.6.3 Numerický model evakuace

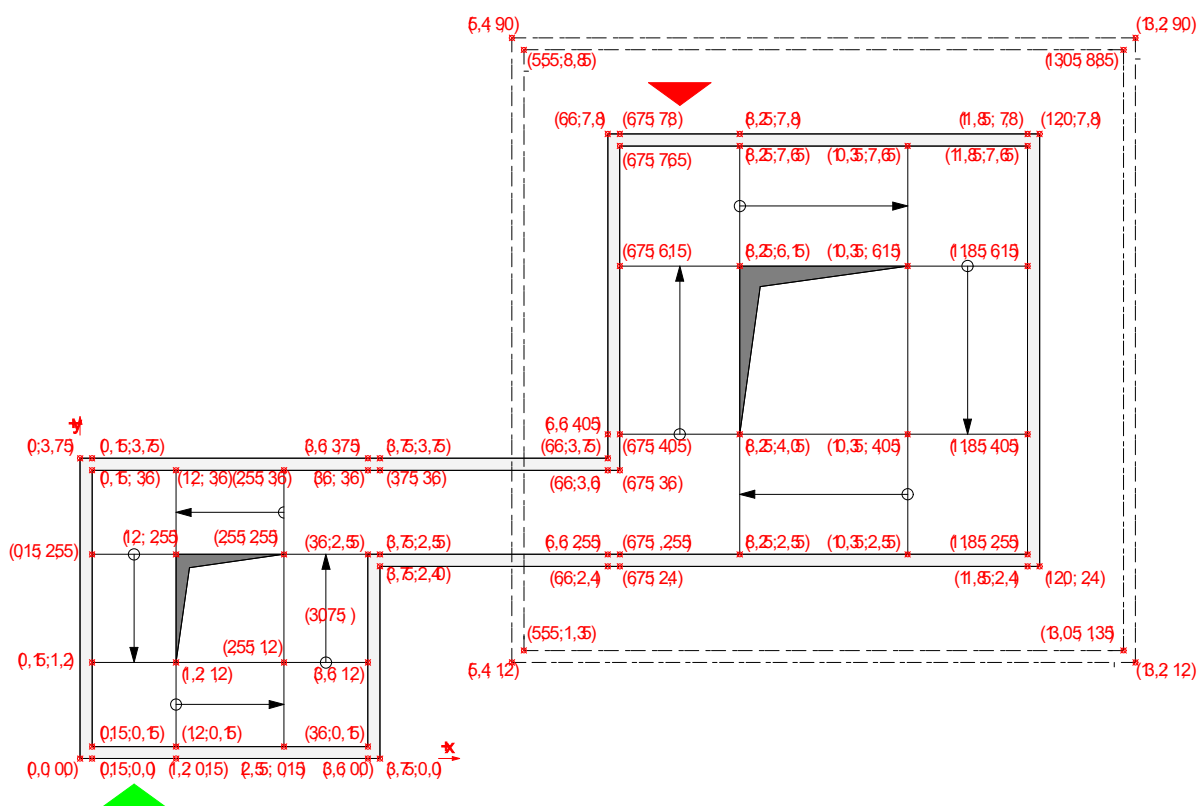
Tato podkapitola se věnuje numerickým modelům evakuace. V první části je řešena evakuace v programu FDS+Evac a ve druhé části v programu Pathfinder. Výsledkem této podkapitoly jsou doby evakuace a vliv účinků projevů požáru na unikající osoby.

### B.6.3.1 Numerická analýza evakuace v programu FDS+Evac

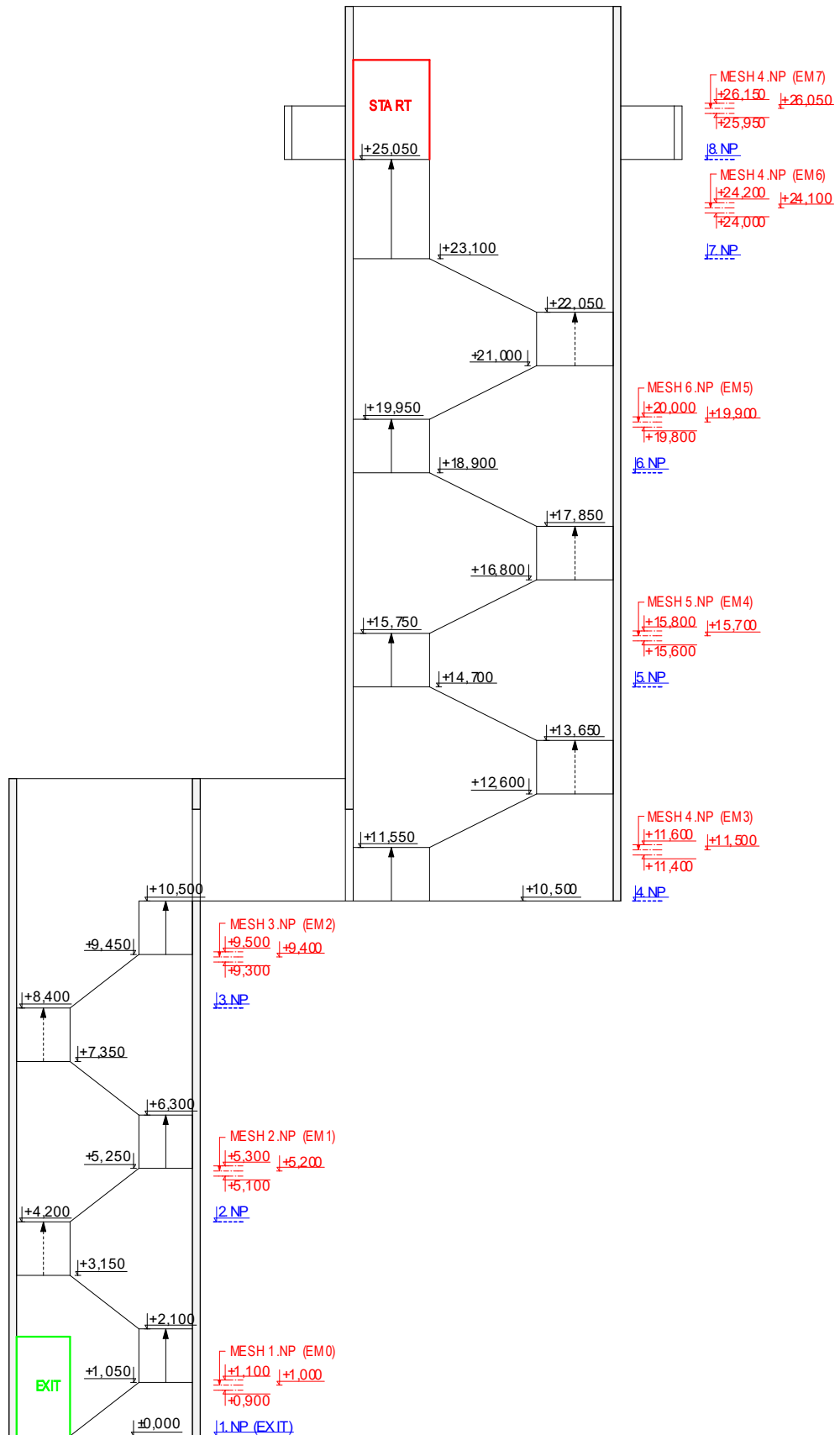
První evakuační model řešené věže je vytvořen v programu FDS+Evac. Vzhledem k tomu, že do tohoto programu lze zadat pouze čtyřhranné tvary, musí být vstupní geometrie upravena. Z důvodu odlišné geometrie modelu věže oproti reálným proporcím je provedena pouze analýza doby evakuace bez interakce s požárem.

#### Vytvoření modelu

Pro výpočet je zvolena výpočetní síť (mesh) o rozměrech buněk 150/150/150 mm. Točitá schodiště jsou nahrazena čtyřramennými schodišti na základě výsledků předchozí podkapitoly B.6.2. Jednotlivé rozměry schodiště (šířka ramene, délka ramene, sklon) jsou přizpůsobeny výpočetní síti. Na následujících obrázcích (obr. 74, obr. 75) je zobrazeno půdorysné a pohledové schéma modelu věže pro program FDS+Evac.



obr. 74 - Půdorysné schéma modelu věže pro FDS+Evac



obr. 75 - Pohledové schéma modelu věže pro FDS+Evac

Aby bylo možné zadat ohraničující konstrukce schodišťového prostoru, je definována trojice „požárních“ výpočetních oblastí (FM1-FM3) - spodní část věže, spojovací chodba a horní část věže. Okolo schodišť jsou umístěny stěny, které zabráňují pohybu agentů mimo definovanou trasu a dále jsou vytvořeny stěny v zrcadlech schodišť, aby nedocházelo k nelogickému „zkracování“ trasy agentů napříč prostorem zrcadla schodiště.

Pro potřeby evakuace je definováno 8 výpočetních oblastí (EM0-EM7). Výpočetní oblasti (evakuační meshe) jsou umístěny většinou po jednom otočení schodiště o 360°. Spodní část věže obsahuje 3 výpočetní oblasti (EM0-EM2), spojovací chodba je tvořena jednou oblastí (EM3) a horní část věže obsahuje 3 výpočetní oblasti (EM4-EM6). Poslední oblast (EM7) je v úrovni ochozu věže. Propojení jednotlivých výpočetních oblastí zajišťují fiktivní dveřní otvory, které jsou definovány na celou šířku schodišťového ramene a nesnižují tak tok osob po schodišti. Ke správnému zobrazení pohybu agentů mezi dveřními otvory slouží šikmé a vodorovné rampy, které představují schodišťová ramena a mezipodesty (resp. podesty) a jsou zadány příkazem EVSS. Na těchto plochách lze zároveň předepsat rychlost agentů pomocí rychlostního modifikačního faktoru.

V horní části věže jsou vloženy vstupní dveře do věže z prostoru ochozu. V programu FDS+Evac nelze definovat tok osob skrz otvor, proto je šířka otvoru redukována na 900 mm, aby nedocházelo k nadměrnému toku osob na schodiště. Vstupní dveře z ochozu do věže slouží jako první měřicí místo na trase evakuace. Ve spodní části věže jsou definovány výstupní dveře z věže pomocí příkazu EXIT, které slouží jako poslední měřicí místo na trase evakuace.

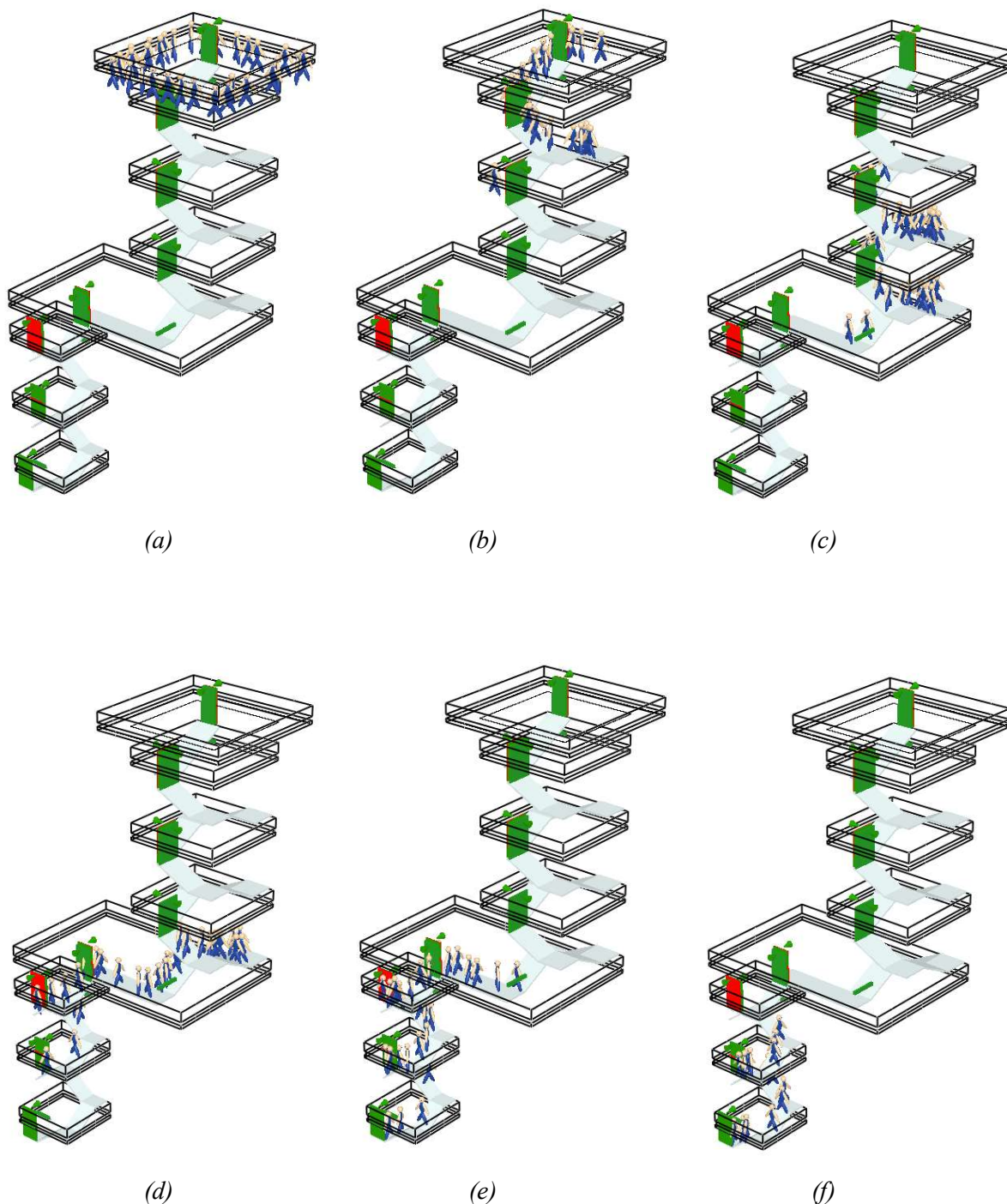
Na ochoz věže je umístěno 30 agentů, kterým jsou přiřazeny vlastnosti dospělých osob z knihovny programu (Adult). Rychlost je zadána pomocí omezeného normálního rozdělení (průměrná hodnota, minimální hodnota, maximální hodnota a směrodatná odchylka), což zajistí náhodné přidělení hodnot jednotlivým agentům. Na základě výsledků předchozí podkapitoly B.6.2 je zadána průměrná rychlost 19 m/s. Minimální a maximální rychlosti jsou stanoveny na základě poměrů hodnot z experimentu. Zadána je minimální rychlosti 16,43 m/s a maximální rychlost 22,59 m/s. Směrodatná odchylka je 1,28 m/s. Tyto zadané rychlosti jsou přisouzeny pouze konstrukčně vloženým mezipodestám a zajišťují „přesun“ agentů na další schodišťové rameno. Rychlost na schodišťových ramenech je redukována pomocí rychlostních modifikačních faktorů, které jsou uvedeny v následující tabulce (tab. 15).

tab. 15 - Rychlostní modifikační faktory

Typ	Zadaná „fiktivní“ rychlost [m/s]	Skutečná rychlost [m/s]	Rychlostní modifikační faktor [-]
Horní přímé schodiště	19	0,79	0,0416
Horní točité schodiště		0,78	0,0410
Spojovací chodba		0,93	0,0489
Spodní točité schodiště		0,67	0,0353

## Výsledky

Geometrie je zadána do programu FDS+Evac prostřednictvím zdrojového kódu a je provedena analýza. Na následujících obrázcích (obr. 76 a-f) je zobrazen průběh evakuace z programu FDS+Evac.



obr. 76 - Průběh evakuace v programu FDS+Evac; (a) v čase 0 s; (b) v čase 15 s; (c) v čase 40 s; (d) v čase 55 s; (e) v čase 70 s; (f) v čase 90 s

Jelikož jsou rychlosti osob náhodné veličiny, které jsou generovány podle normálního rozdělení, musí být provedeno více opakování, přičemž v každém opakování jsou tyto rychlosti jednotlivým agentům náhodně změněny. Pro tento posudek je zvoleno 30 opakování, ze kterých je vypočtena průměrná hodnota, která označuje dobu pohybu při evakuaci. Výsledky jednotlivých analýz jsou uvedeny v následující tabulce (tab. 16). Průměrná hodnota doby pohybu osob z provedených analýz je 115,2 s.

*tab. 16 - Doby pohybu osob v programu FDS+Evac*

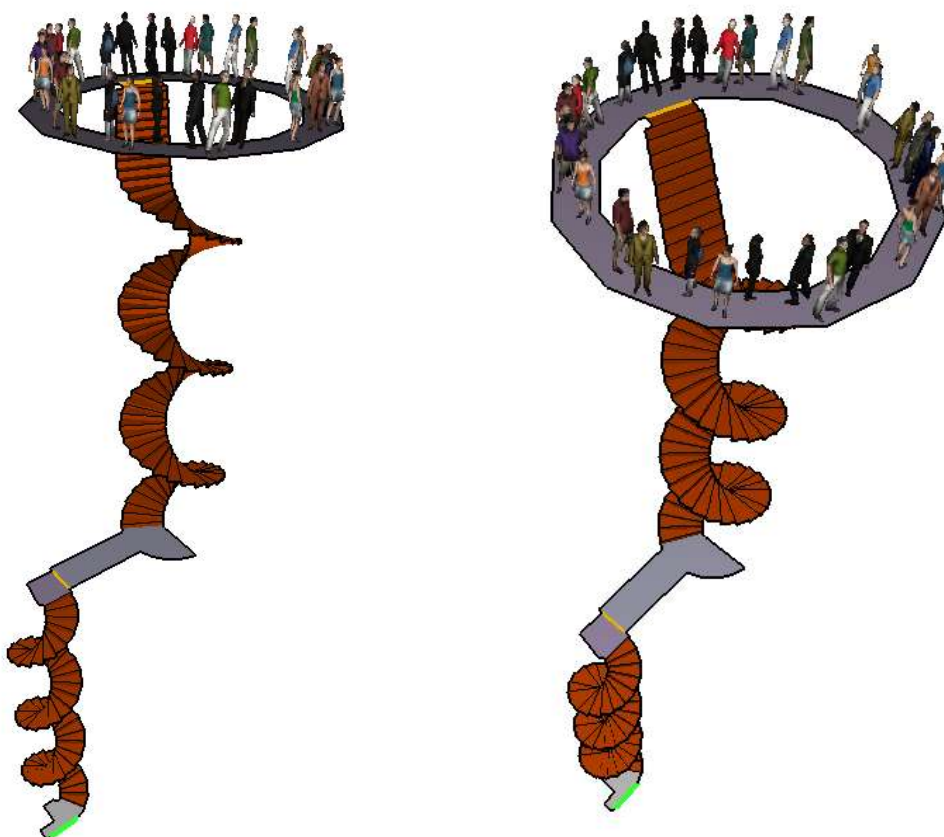
<b>Opakování</b>	<b>Čas [s]</b>	<b>Opakování</b>	<b>Čas [s]</b>
1	121,3	16	115,4
2	115,3	17	113,9
3	114,0	18	114,1
4	110,7	19	115,7
5	111,8	20	114,5
6	121,7	21	113,1
7	114,9	22	113,3
8	115,7	23	114,4
9	115,8	24	112,4
10	111,2	25	116,8
11	115,5	26	112,6
12	111,5	27	116,2
13	117,9	28	123,1
14	119,5	29	112,4
15	113,5	30	117,5

### B.6.3.2 Numerická analýza evakuace v programu Pathfinder

Druhá analýza je provedena v programu Pathfinder, ve kterém lze vymodelovat přesnou geometrii schodiště a propojit ji s výsledky z analýzy rozvoje požáru. Výsledkem analýzy v programu Pathfinder je nejen doba pohybu osob, ale i vliv požáru na unikající osoby.

#### Vytvoření modelu

Nejdříve jsou vymodelována obě točitá schodiště včetně spojovací chodby a ochozu věže (obr. 77). Mezi ochoz věže a horní přímé schodiště je vložen dveřní otvor s omezenou propustností 1,0 osoby/s. Tato hodnota je určena na základě videozáznamu z provedeného experimentu. Dveřní otvor se stejnou propustností je vložený i na rozhraní spojovací chodby a spodního točitého schodiště. Na ochoz věže je náhodně umístěno 30 osob tak, aby byly rozmístěny rovnoměrně po celém ochozu.



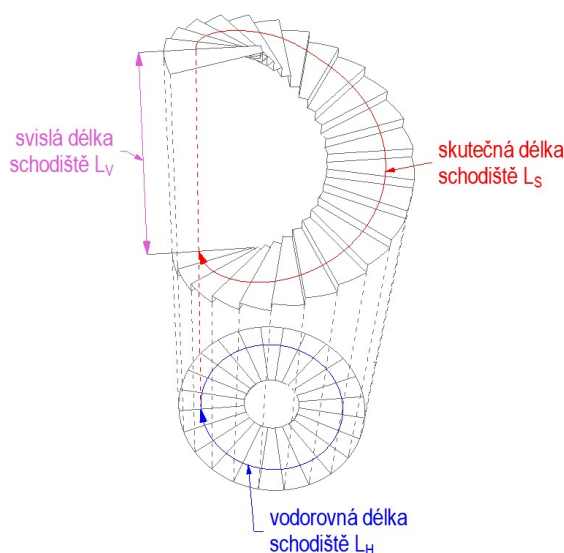
obr. 77 - Model schodiště v programu Pathfinder (model 1)

Osobám jsou přiřazeny rychlosti, které jsou získány z provedeného experimentu. Do modelu lze zadat pouze jednu výchozí rychlost osob, kterou lze následně ovlivňovat pomocí rychlostního modifikačního faktoru pro různé úseky trasy evakuace. Vzhledem k tomu, že jsou v modelu různé typy schodišť a přímých úseků, je potřeba měnit i rychlost osob v závislosti na tom, kde se osoby momentálně nacházejí.



Jako výchozí rychlost je zvolena průměrná rychlost pro celou věž, tj. 0,74 m/s. Jelikož je rychlost osob stochastická veličina, je do modelu zadána s normálním rozdělením s minimální rychlostí 0,64 m/s, maximální rychlostí 0,88 m/s a směrodatnou odchylkou 0,05 m/s. Každá osoba má přidělenou náhodnou rychlost, která splňuje zadané podmínky normálního rozdělení. Dále je vypnuta redukce rychlosti na základě hustoty, či rozměrů schodišťových stupňů, jelikož použité rychlosti mají tyto parametry již zahrnuté.

Schodiště v programu Pathfinder lze zadat dvěma způsoby. První způsob spočívá v zadání předem definovaného schodiště, které je vytvořeno automaticky mezi dvěma podestami. Tímto způsobem lze zadat pouze přímá ramena a na takto vytvořené schodiště je nutné zadávat rychlosti na skutečnou délku schodiště. Druhý způsob zadání schodiště spočívá ve vytvoření jednotlivých schodišťových stupňů manuálně. Na manuálně vytvořené schodiště je nutné zadávat rychlost na vodorovný průmět, nikoliv změřenou rychlost na šikmou rovinu. Pro analýzu pohybu na točitém schodišti je využit druhý přístup k modelaci schodiště, a proto je nutné jednotlivé rychlosti získané z experimentu převést na vodorovnou složku rychlosti (obr. 78). Převod je proveden podle sklonu ramene v místě výstupní čáry.



obr. 78 - Rozdílné zadávání rychlostí osob

V následující tabulce (tab. 17) jsou uvedeny jednotlivé rychlostní modifikační faktory, které jsou do modelu zadány.

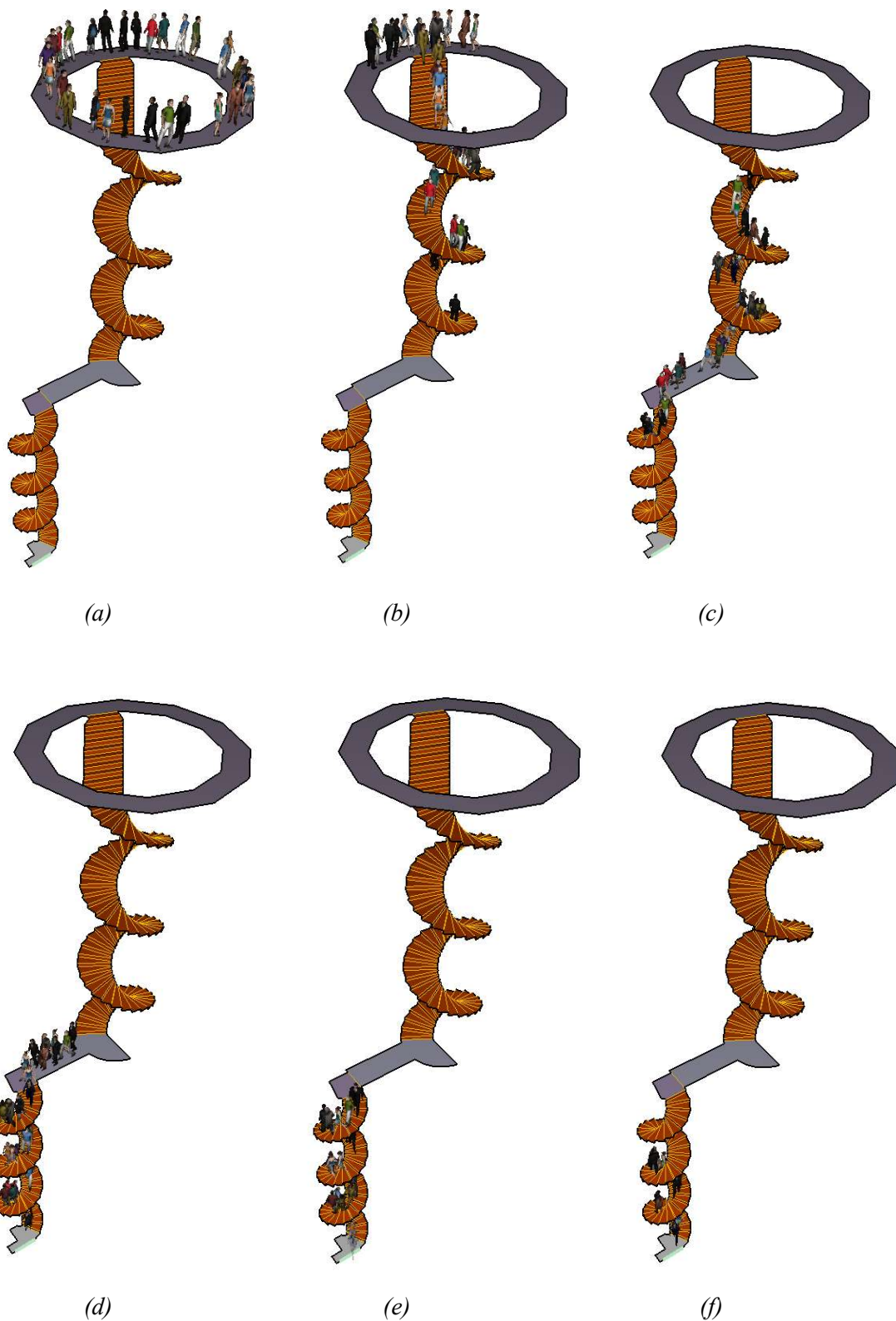
tab. 17 - Rychlostní modifikační faktor

Úsek	Výchozí rychlost [m/s]	Úhel sklonu [°]	Průměrná rychlost [m/s]		Rychlostní modifikační faktor [-]
			Skutečná	Vodorovná složka	
Horní přímé schodiště	0,74	31,83	0,79	0,67	0,910
Horní točité schodiště		28,98	0,78	0,68	0,919
Spojovací chodba		-	0,93	0,93	1,257
Spodní točité schodiště		31,39	0,67	0,57	0,770



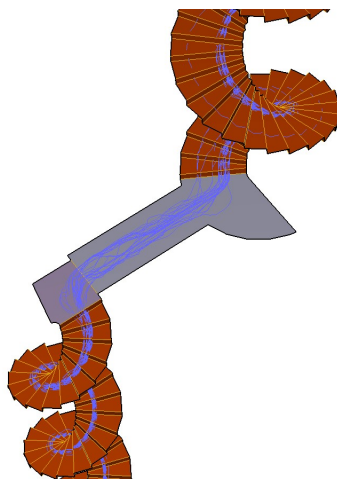
**Analýza evakuace bez vlivu toxicity a redukce rychlosti**

Na následujících obrázcích (obr. 79 a-f) je zobrazen pohyb osob na základě numerické analýzy.



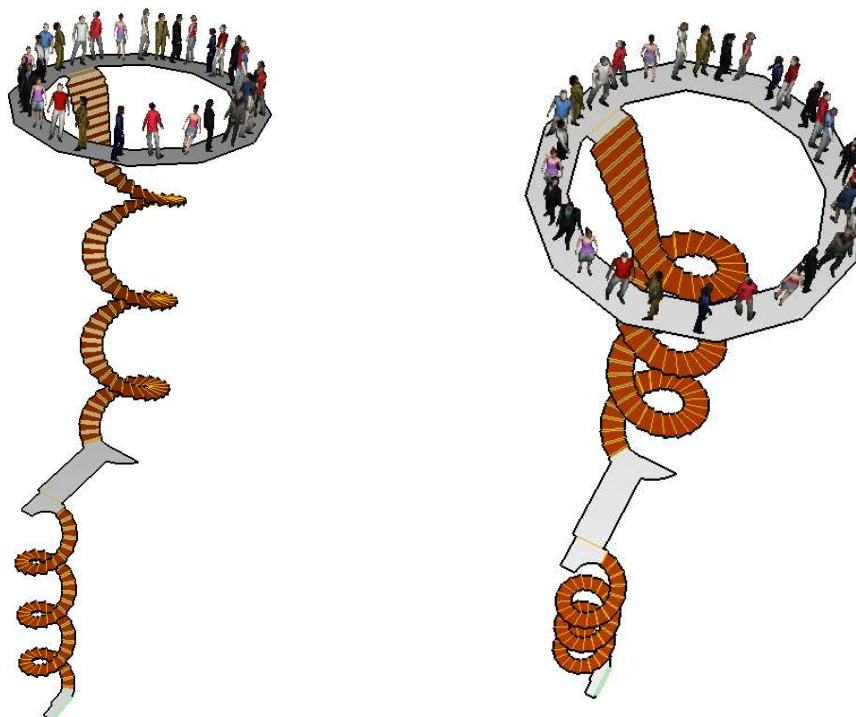
obr. 79 - Pohyb osob po schodišti – model 1; (a) v čase 0 s; (b) v čase 20 s; (c) v čase 40 s; (d) v čase 60 s; (e) v čase 70 s; (f) v čase 80 s

Celková doba evakuace na základě výsledků analýzy je 95,3 s, což je výrazně kratší čas, než který byl změřen při experimentu (průměrná hodnota 121,7 s). Při bližším pozorování pohybu agentů v modelu je patrné, že tento fakt je způsoben zejména zvolenou trasou agentů. Na následujícím obrázku (obr. 80) je patrné, že agenti v modelu volí výrazně kratší trasu (podél středního pilíře), než která by byla reálně zvolena.



obr. 80 - Trasa agentů v modelu 1

Vytvořený model je tedy nutné upravit tak, aby agenti chodili realističtěji a vyhýbali se příliš úzkým částem schodiště. Z modelu jsou proto odstraněny části schodiště, kde schodišťové stupně mají šířku menší než 250 mm. Druhým předpokladem je, že musí zůstat šířka schodiště min. 550 mm, což je šířka jednoho únikového pruhu (aby se agenti nezasekávali). Upravený model (model 2) je zobrazen na obr. 81.



obr. 81 - Upravený model schodiště (model 2)

S upraveným modelem (model 2) je provedena další analýza. Pro analýzu je zvoleno opět 30 opakování, ze kterých je vypočtena průměrná hodnota, která označuje dobu pohybu při evakuaci. Výsledky jednotlivých analýz jsou uvedeny v následující tabulce (tab. 18).

tab. 18 - Doby pohybu osob na upraveném modelu

Opakování	Čas [s]	Opakování	Čas [s]
1	125,8	16	130,3
2	131,3	17	132,0
3	131,5	18	128,0
4	130,8	19	125,0
5	130,8	20	125,3
6	128,8	21	130,5
7	131,3	22	133,5
8	126,3	23	128,0
9	123,8	24	128,5
10	134,3	25	132,3
11	134,8	26	131,5
12	131,5	27	125,5
13	130,8	28	132,5
14	126,5	29	134,3
15	129,8	30	132,0

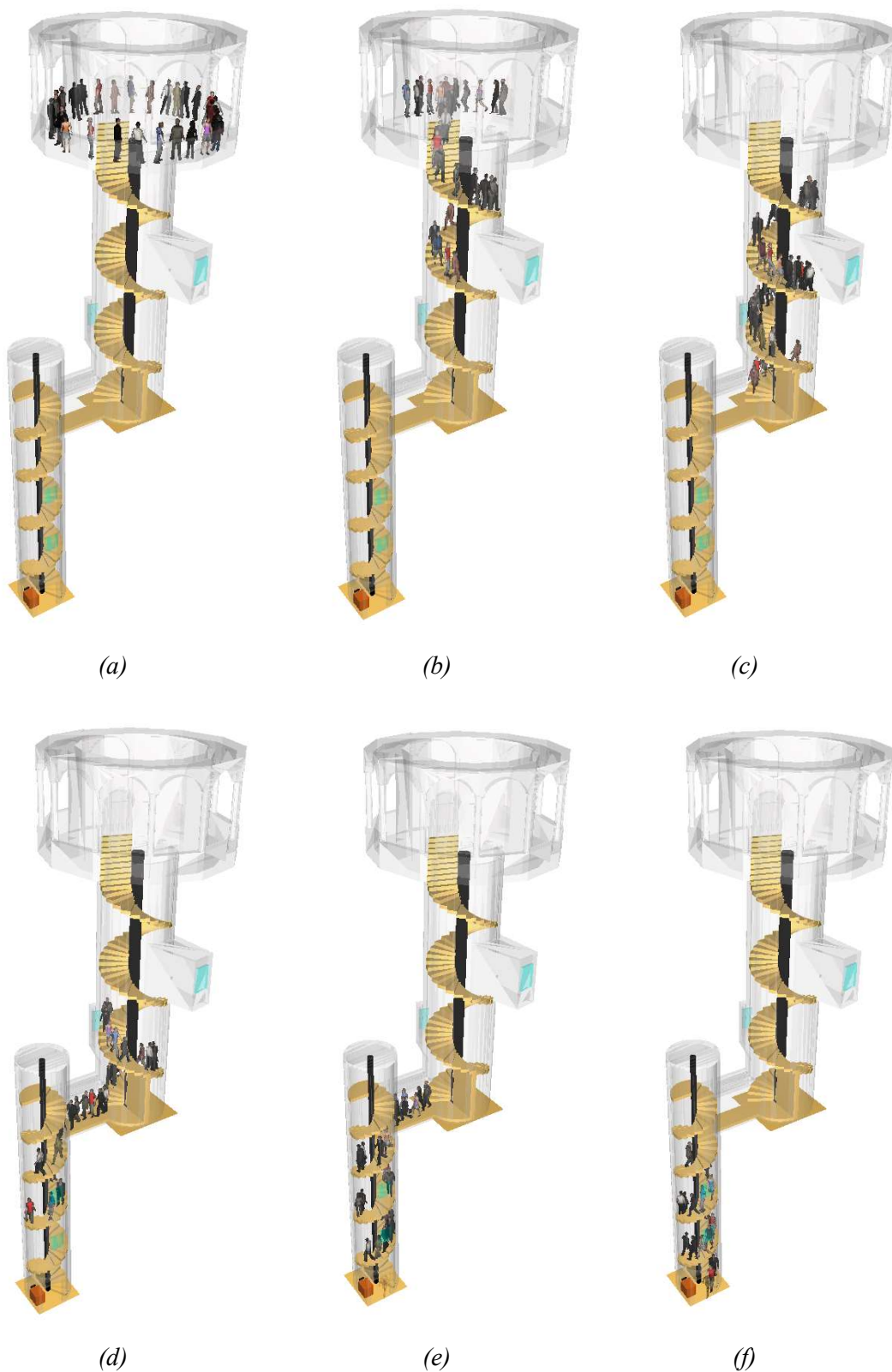
Průměrná hodnota doby pohybu z provedených analýz je 129,9 s. Tento výsledek již výrazně lépe odpovídá naměřenému času při reálném experimentu.

### **Analýza evakuace s vlivem toxicity bez redukce rychlosti**

Upravený model schodiště (model 2) je dále propojen s výsledky analýzy rozvoje požáru, která byla provedena v programu FDS v podkapitole B.5.3. Do programu Pathfinder je importována geometrie z analýzy FDS včetně vypočítaných výsledných 3D dat. Do této geometrie je vložen evakuační model schodiště (model 2) a je provedena nová analýza, jejíž součástí je posouzení toxicity zplodin a teplot, které na unikající osoby působí. Účinky koncentrací jednotlivých hlavních složek zplodin (CO, CO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub>) jsou posuzovány na základě frakční účinné dávky.

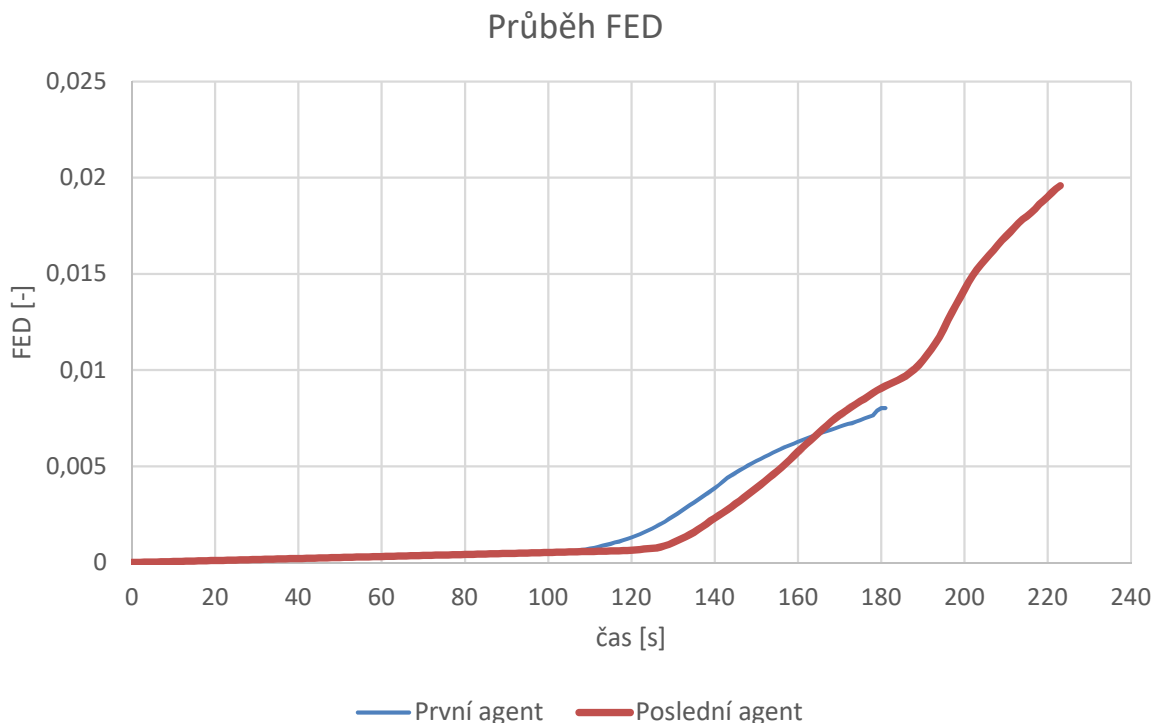
V této analýze je agentům nastaveno zpoždění 100 s (doba do zahájení evakuace), které představuje časový úsek, než se projevy požáru (zplodiny hoření) dostanou na ochoz věže. Tato doba do zahájení evakuace je nejkratší možný čas, který lze definovat. Reálně může být tento čas výrazně delší, proto je nutné uvažovat dostatečnou časovou rezervu při posouzení požární bezpečnosti.

Pro každého agenta je počítána frakční účinná dávka, které je vystaven, viditelnost a průběh teplot. **V této analýze není redukována rychlost vlivem snížené viditelnosti.** Na následujících obrázcích (obr. 82 a-f) je zachycen pohyb osob v modelu s toxicitou.

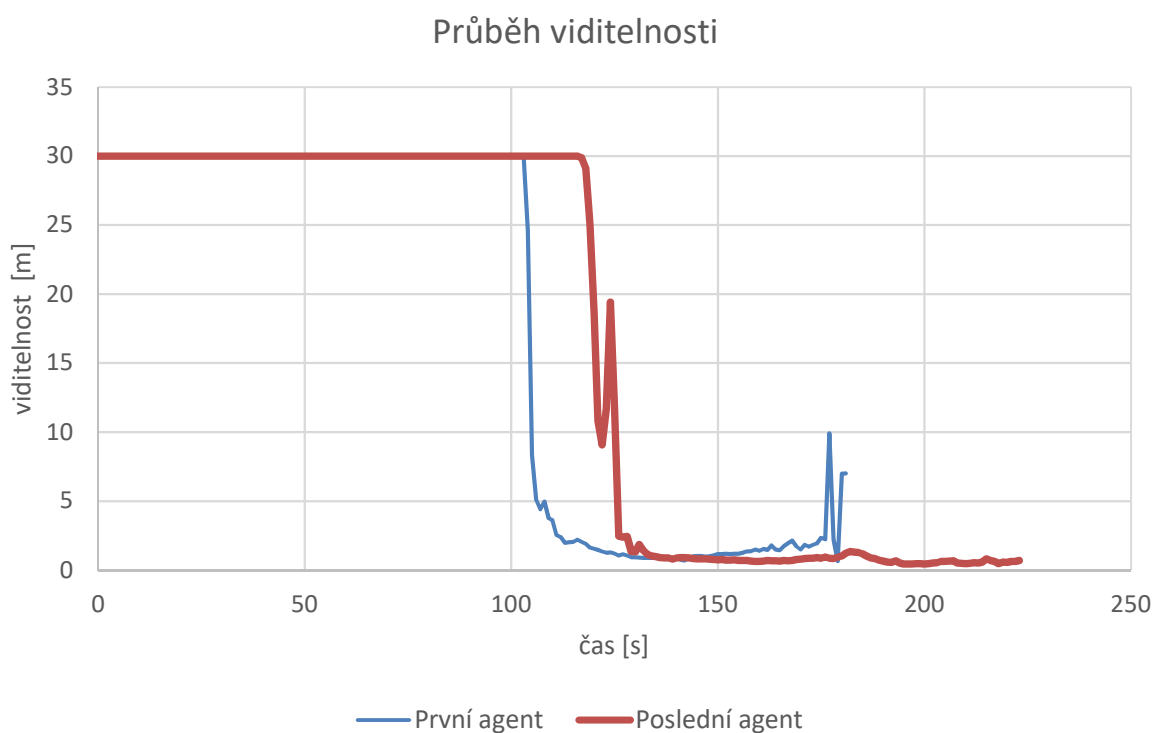


obr. 82 - Pohyb osob po schodišti (model s toxicitou); (a) v čase 100 s; (b) v čase 120 s; (c) v čase 140 s; (d) v čase 160 s; (e) v čase 180 s; (f) v čase 200 s

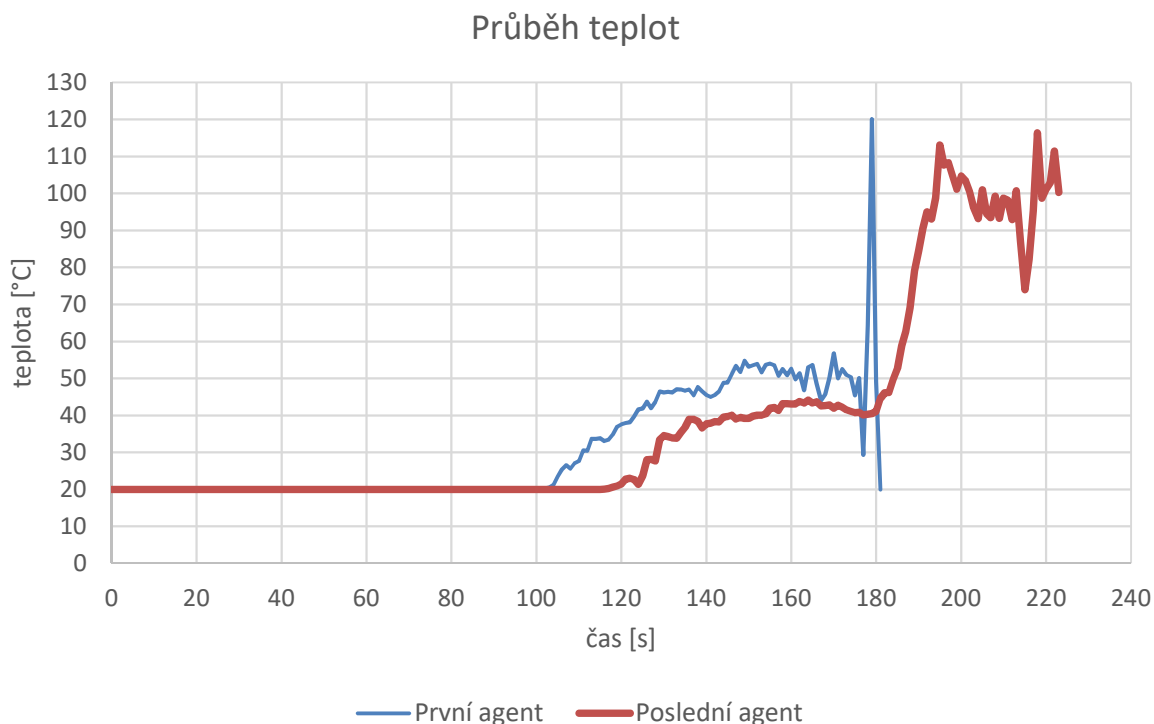
Doba pohybu osob na základě modelu s toxicitou a zpožděním (100 s) je přibližně 229 s. Na následujících obrázcích jsou zobrazeny grafy s průběhem frakční účinné dávky (obr. 83), viditelnosti (obr. 84) a teploty (obr. 85) pro prvního a posledního agenta.



*obr. 83 - Průběh FED pro prvního a posledního agenta bez redukce rychlosti*



*obr. 84 - Průběh viditelnosti pro prvního a posledního agenta bez redukce rychlosti*



obr. 85 - Průběh teplot pro prvního a posledního agenta bez redukce rychlosti

### **Analýza evakuace s vlivem toxicity a s redukcí rychlosti**

Z grafu průběhu viditelnosti (obr. 84) je zřejmé, že viditelnost ve věži velice rychle klesá téměř k nule, což znamená, že evakuace probíhá téměř poslepu. V reálném případě je rychlost osob sníženou viditelností výrazně ovlivněna, což znamená, že se osoby ve věži zdrží déle, než kdyby šly v nezakouřeném prostoru.

Bohužel je v této problematice (redukce rychlosti na základě viditelnosti) k dispozici jen velmi málo podkladů, podle kterých lze rychlost redukovat. K dispozici jsou hodnoty pro omezený rozsah koeficientu extinkce (maximální hodnota  $7,4 \text{ m}^{-1}$ ), které byly shromážděny pro tunelové stavby na základě reálných zkoušek [30]. Tyto hodnoty však platí pouze pro rychlost po rovině, nikoliv pro pohyb po schodišti. Redukce rychlosti je popsána v podkapitole A.1.2 rovnicí (8).

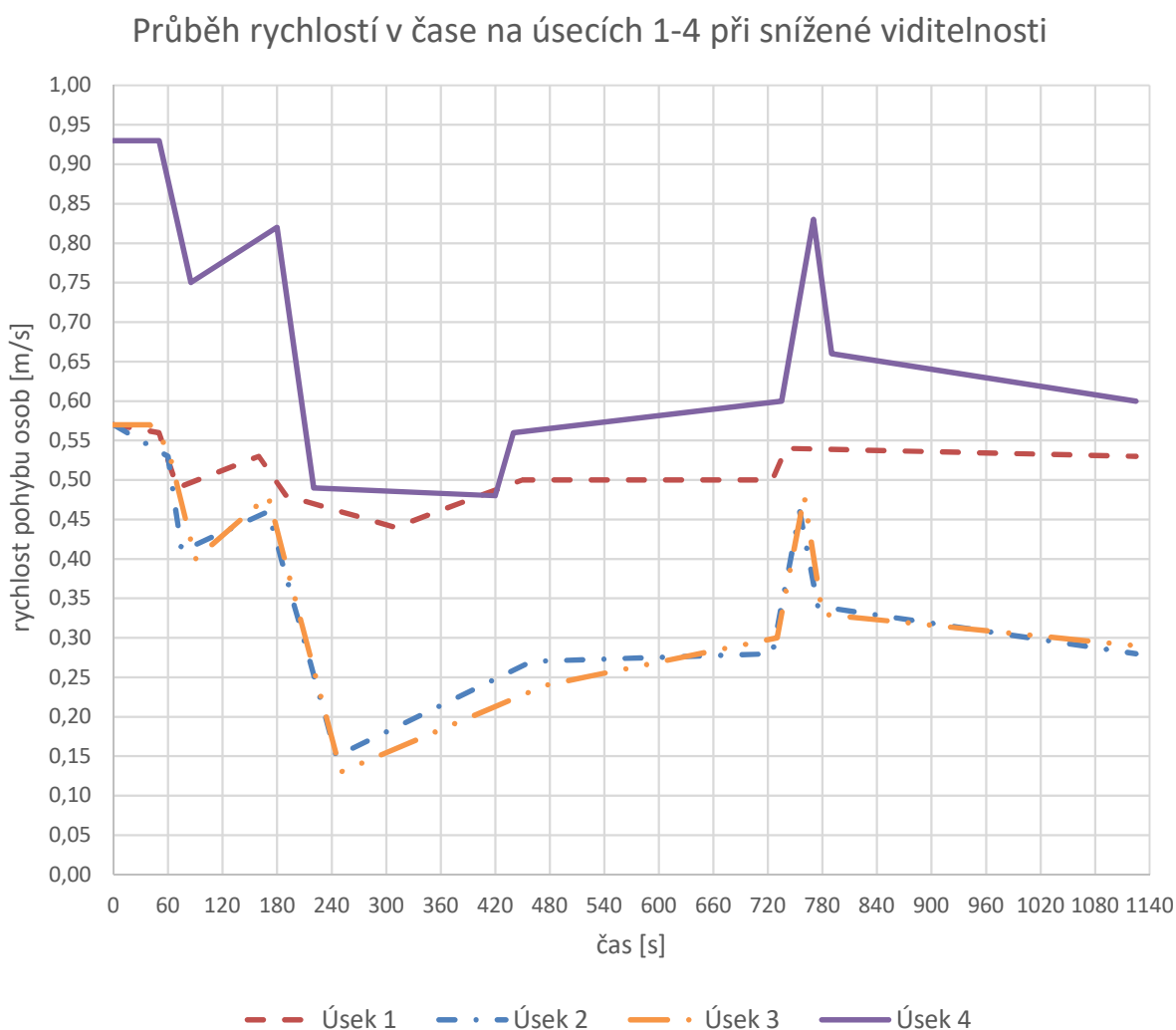
Pro představu dopadů snížené rychlosti na průběh a bezpečnost evakuace je z této rovnice použit pouze redukční faktor (0,057 K), kterým jsou sníženy rychlosti osob na jednotlivých úsecích podle průběhu koeficientu extinkce v čase. Z hlediska relevantnosti se jedná o naprosto nepodložené hodnoty, které nelze v žádném případě použít pro oficiální reálný posudek. **Použití zde má pouze názorně ukázat dopady snížení rychlosti osob na jejich bezpečnost.**

Na základě čidel, která jsou vložena v modelu pro numerickou analýzu rozvoje požáru, je redukována rychlost osob v závislosti na koeficientu extinkce. Jelikož se koeficient extinkce neustále mění s časem, jsou i průběhy rychlostí závislé na čase. Tento přístup umožní, že například agent číslo 1 bude mít při průchodu úsekem 1 rychlost X, kdežto agent číslo 15, který

úsekem prochází úsekem 1 s určitým zpožděním, bude mít rychlost  $Y$ , která se může více či méně lišit v závislosti na aktuálním koeficientu extinkce, resp. viditelnosti.

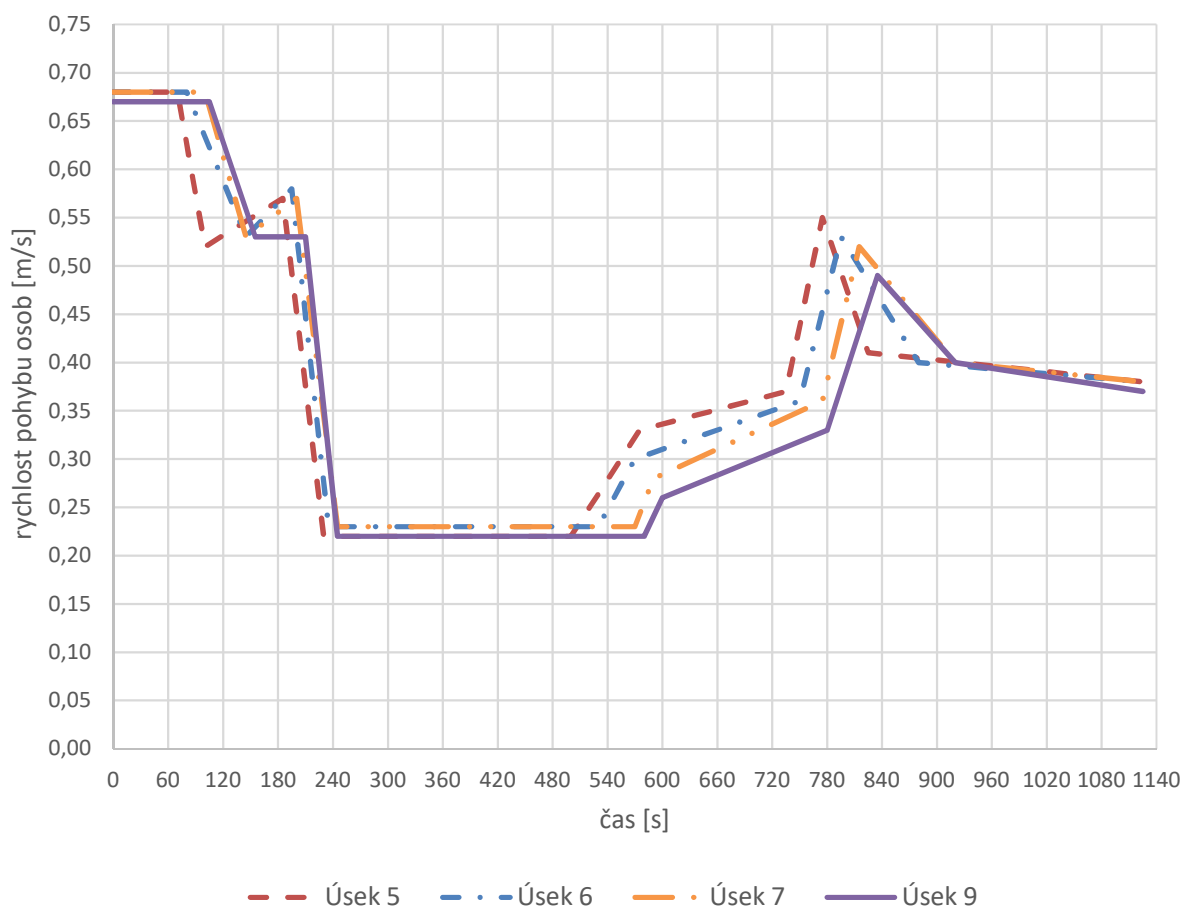
Vzorec pro redukci rychlosti je použitelný pouze pro hodnoty koeficientu extinkce do  $7,4 \text{ m}^{-1}$ , ale hodnoty naměřené ve věži jsou v některých úsecích a časech výrazně vyšší (např. okolo  $25 \text{ m}^{-1}$ ). Tyto vyšší hodnoty jsou nahrazeny hodnotou  $7,4 \text{ m}^{-1}$ , aby nedocházelo k záporným výsledkům hodnot rychlostí osob. I při nulové viditelnosti není předpokládáno, že by rychlost osob byla nulová [29, 30]. Vzhledem ke geometrii (ohraničení prostoru schodiště stěnami) je předpokládáno, že tyto prvky budou využity pro zorientování v prostoru. Vzhledem k tomuto předpokladu jsou vyšší koeficienty nahrazeny.

Hodnoty rychlostí jsou zadány do modelu evakuace jako časově závislé funkce. Na následujících obrázcích je zobrazen průběh rychlostí osob v čase v úsecích 1-4 (obr. 86) a 5-8 (obr. 87).



obr. 86 - Průběh rychlostí osob v čase na úsecích číslo 1-4 při snížené viditelnosti

## Průběh rychlosti v čase na úsecích 5-8 při snížené viditelnosti

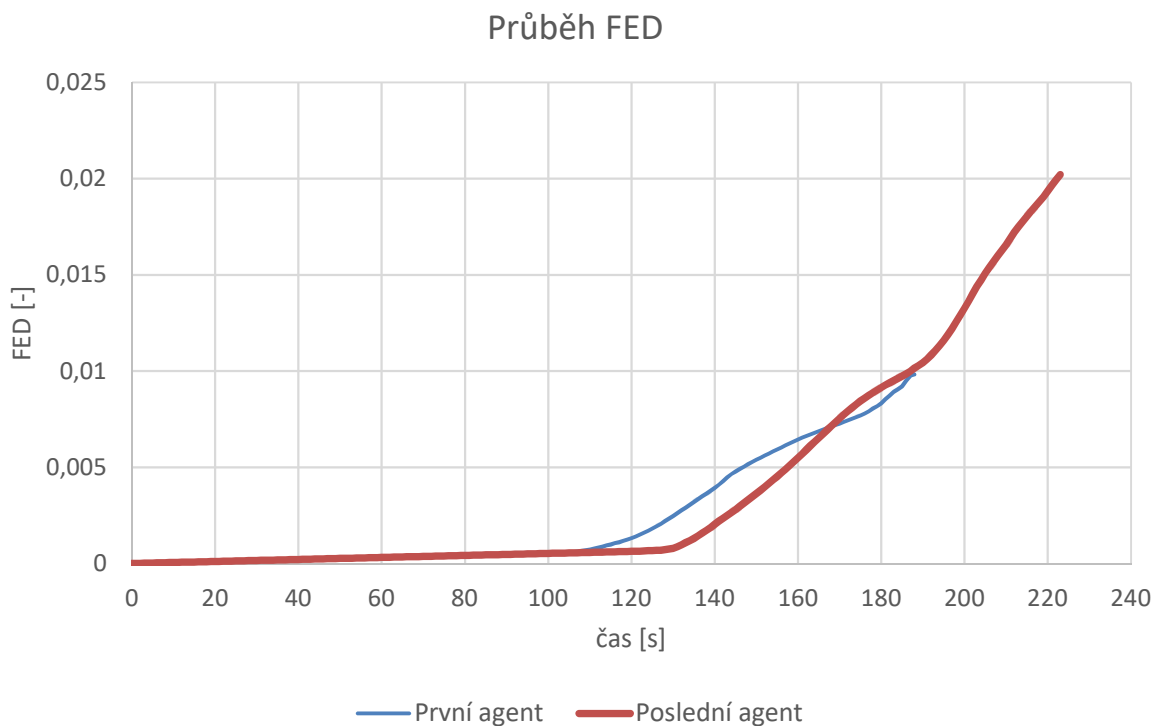


obr. 87 - Průběh rychlostí osob v čase na úsecích číslo 5-8 při snížené viditelnosti

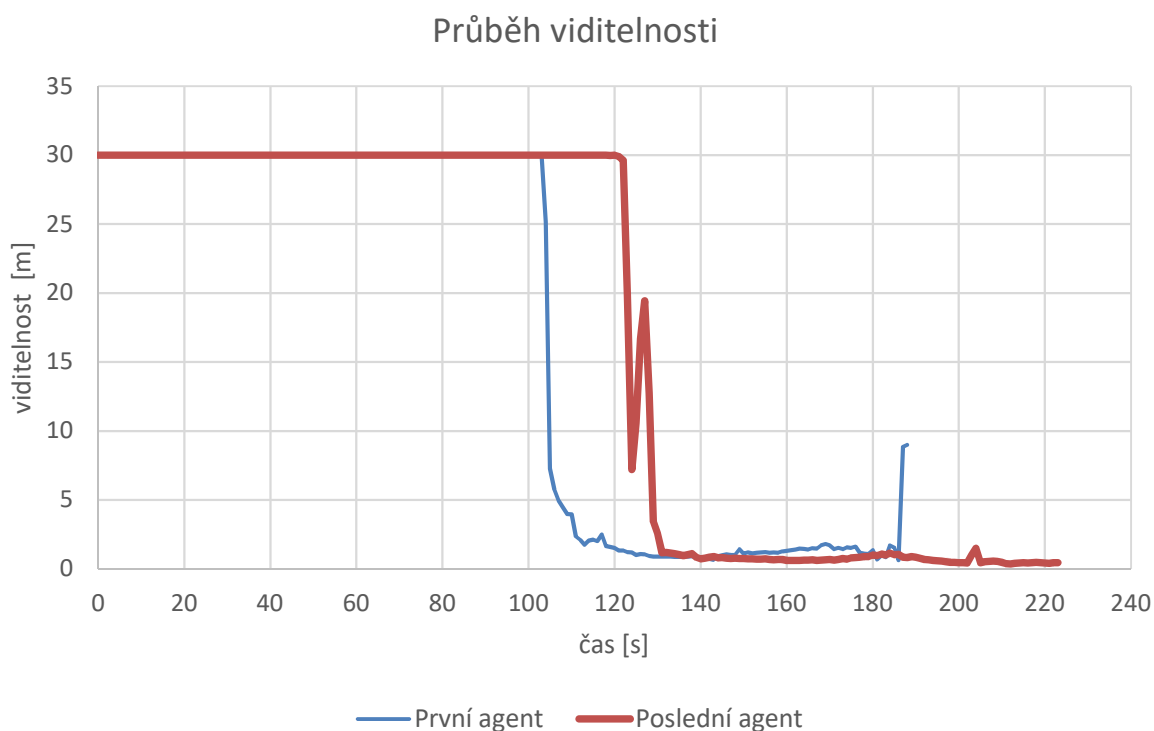
Redukcí pohybových rychlostí osob došlo k prodloužení doby pohybu v průměru o 20 s (naměřená doba pohybu je 249 s). Poměrně malý časový rozdíl vznikl proto, že osoby opustí věž dříve, než dojde k největšímu rozvoji požáru, při kterém by byly jednotlivé rychlosti více ovlivněny výraznějším množstvím kouře (viz obr. 86 a obr. 87).

Na následujících obrázcích jsou zobrazeny průběhy frakční účinné dávky (obr. 88), viditelnosti (obr. 89) a teploty (obr. 90) pro model s redukovanou rychlostí pohybu osob v závislosti na koeficientu extinkce, resp. viditelnosti.

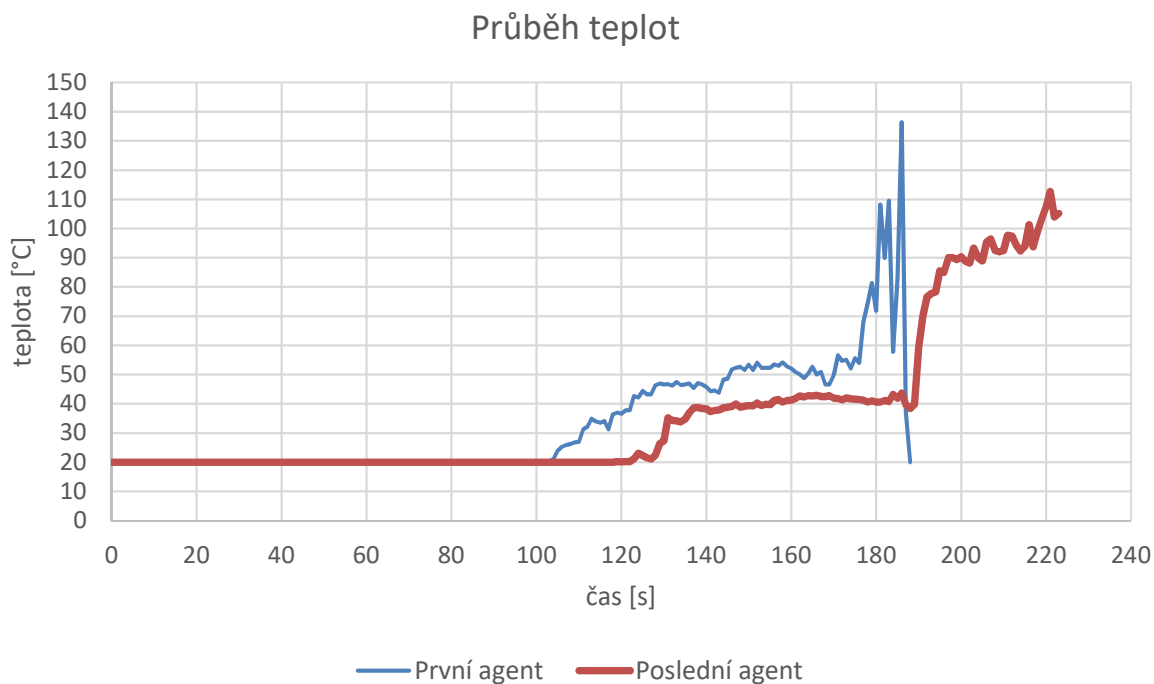




obr. 88 - Průběh FED pro prvního a posledního agenta s redukcí rychlosti



obr. 89 - Průběh viditelnosti pro prvního a posledního agenta s redukcí rychlosti


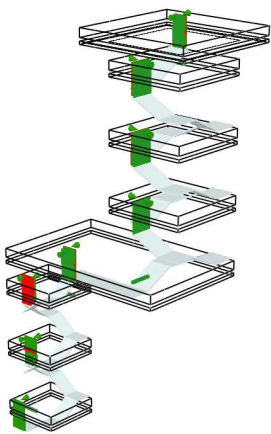



obr. 90 - Průběh teplot pro prvního a posledního agenta s redukcí rychlosti

### B.6.4 Shrnutí

V následující tabulce (tab. 19) je provedeno porovnání doby pohybu osob z reálného experimentu a spočítaných hodnot z analýz v programu FDS+Evac a Pathfinder.

tab. 19 - Porovnání doby evakuace

Analýza	Experiment	FDS+Evac	Pathfinder
Zobrazení			
Průměrná doba evakuace [s]	121,7	115,2	129,9
Rozdíl [s]	-	-6,5	+ 8,2
Rozdíl [%]	-	-5,3	+ 6,7

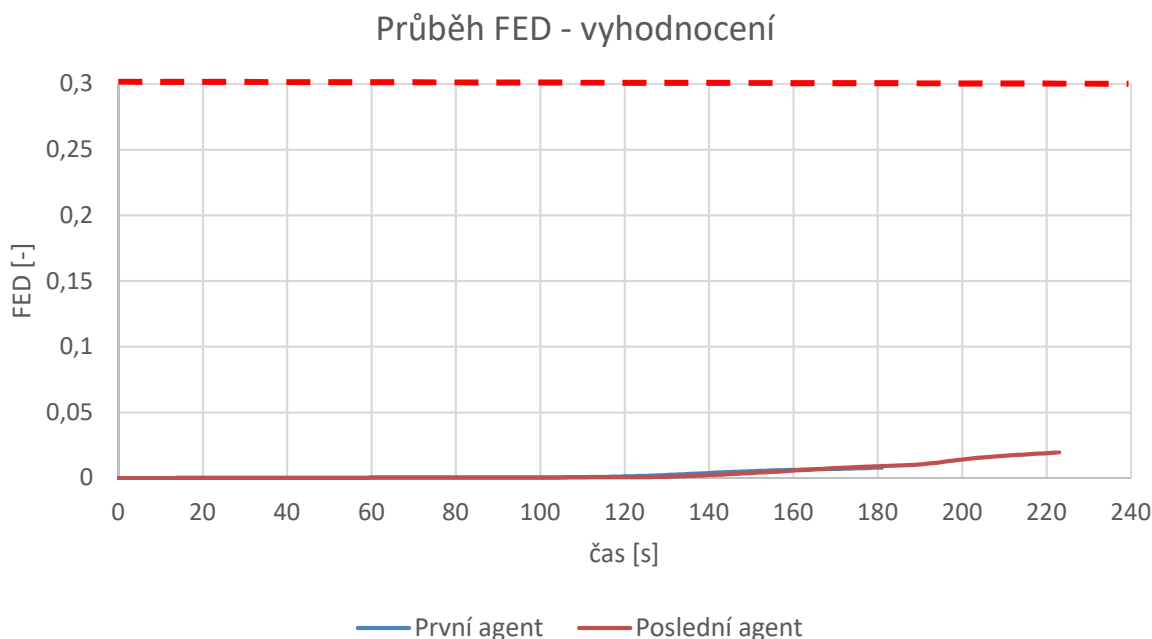
## B.7 Posouzení návrhového požárního scénáře

Posouzení návrhového požárního scénáře je provedeno na základě porovnání spočítaných hodnot z jednotlivých analýz se stanovenými kritérii přijatelnosti. Podmínky evakuace můžou být vyhodnoceny jako bezpečné pouze v případě, že jsou všechny podmínky přijatelnosti splněny a žádná z nich není překročena. Překročení určitého kritéria přijatelnosti může mít větší či menší důsledky na zdraví unikajících osob.

### B.7.1 Kritérium č. 1

První kritérium omezuje maximální hodnotu frakční účinné dávky, které jsou osoby vystaveny, na hodnotu 0,3. Při dosažení této hodnoty je maximálně 11 % osob postiženo projevy požáru, zejména zplodinami hoření.

Na základě provedené analýzy průběhu evakuace v programu Pathfinder, do které je importován průběh rozvoje požáru z programu FDS (zejména rozvoje zplodin hoření), není hodnota  $FED=0,3$  dosaženo. Pro analýzu bez redukce rychlosti podle obr. 83 je maximální dosažená hodnota  $FED$  rovna přibližně 0,019. Pro analýzu s redukcí rychlosti je podle obr. 88 přibližně 0,02.



obr. 91 - Vyhodnocení FED

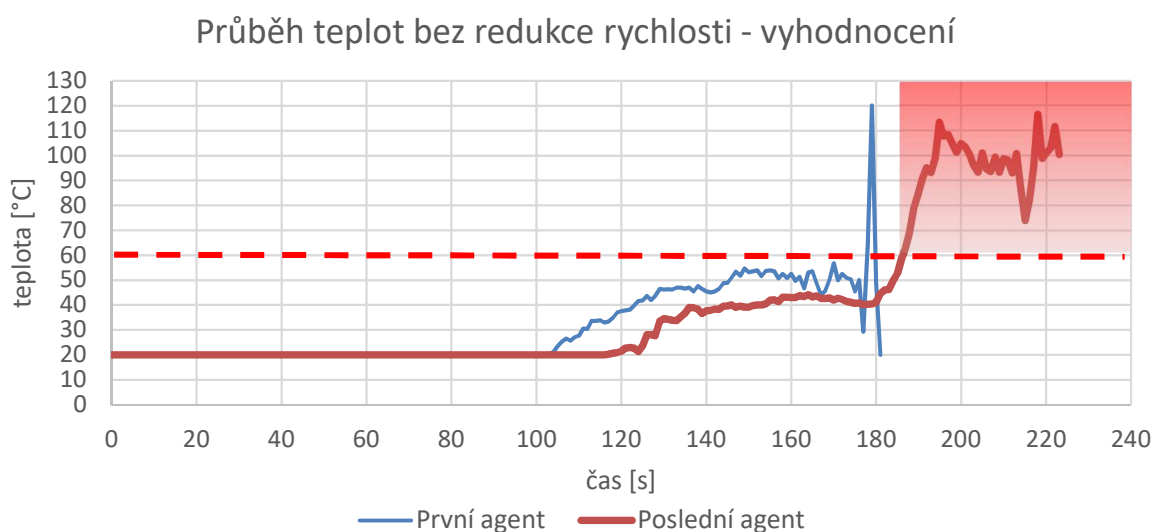
Rozvoj zplodin hoření nemá při této geometrii věže a zvoleném požárním scénáři podstatný vliv na zdraví osob (obr. 91), což je pravděpodobně způsobeno neustálým odvodem zplodin hoření vzhůru a následným ředěním s čerstvým vzduchem, který je nasáván vstupními dveřmi do věže. Zplodiny se nemají kde akumulovat a nedochází tak k velkým koncentracím nebezpečných složek.

→ **SPLNĚNO**

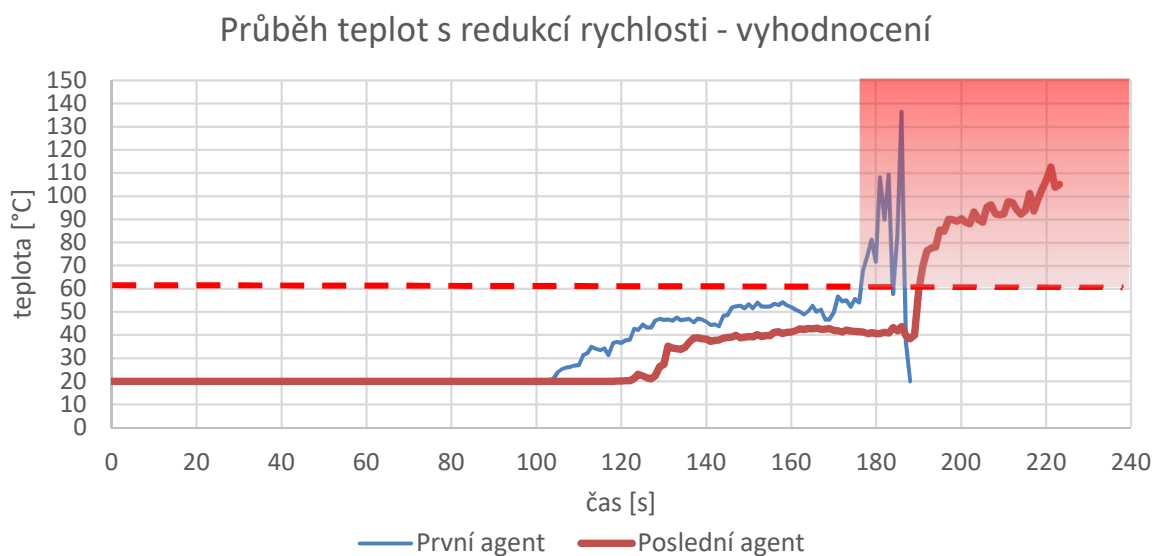
## B.7.2 Kritérium č. 2

Druhé kritérium přijatelnosti omezuje teplotu zplodin hoření, které jsou osoby vystaveny, na hodnotu 60°C. Při této teplotě již i při krátké expozici vznikají popáleniny kůže a dýchacích cest.

Na základě provedené analýzy v programu Pathfinder s vloženými výsledky analýzy rozvoje požáru z programu FDS je teplota působící na většinu unikajících osob větší než 60 °C. Při pohybu bez redukce rychlosti je možné, že první osoby opustí věž bez zdravotních problémů, nicméně většina osob je ve spojovací chodbě a spodní části věže vystavena teplotám výrazně vyšším než 60 °C po dobu několika desítek sekund (obr. 92). Při pohybu s redukovanou rychlostí jsou všechny osoby vystaveny teplotám výrazně vyšším než 60 °C (obr. 93).



obr. 92 - Průběh teplot působící na osoby bez redukované rychlosti – vyhodnocení



obr. 93 - Průběh teplot působící na osoby s redukovanou rychlostí – vyhodnocení

Kritérium číslo 2 je výrazně překročeno a unikající osoby jsou ohroženy na životech vlivem vysokých teplot zplodin hoření, skrz které procházejí. Je velmi pravděpodobné, že většina osob bude postižena četnými popáleninami kůže i dýchacích cest, což může mít za následek upadnutí do šoku a následnou smrt, pokud nedojde k rychlé zdravotní pomoci.

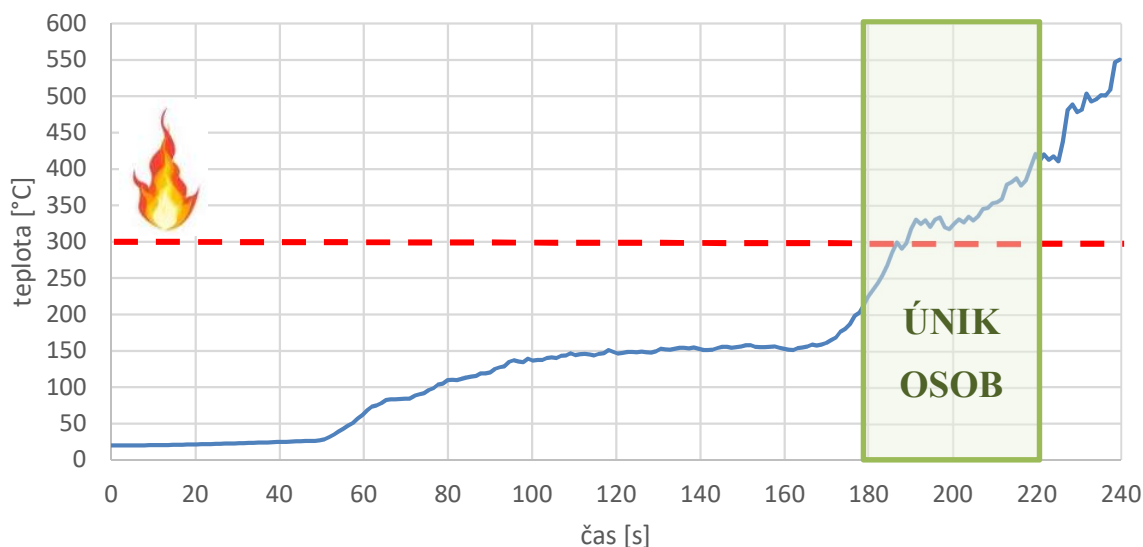
→ **NESPLNĚNO**

### B.7.3 Kritérium č. 3

Třetí kritérium omezuje teplotu dřevěných prvků schodiště na maximální hodnotu 300 °C po dobu evakuace. Při vyšší hodnotě dochází ke vznícení dřeva, což průběh evakuace znemožní.

Na základě analýzy rozvoje požáru v programu FDS je hodnota teploty dřevěných stupnic 300 °C dosažena přibližně ve 190. sekundě (obr. 94). Nejvyšší teplota je detekována přímo nad hořícím kočárkem. V tomto čase teprve přicházejí první unikající osoby.

Průběh teploty schodišťového stupně nad kočárkem -  
vyhodnocení



obr. 94 - Průběh teplot dřevěného schodišťového stupně nad hořícím kočárkem – vyhodnocení

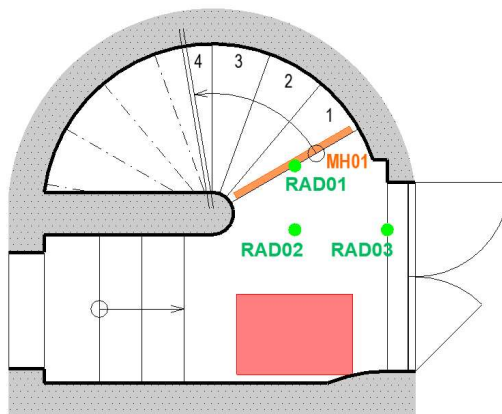
Hořící stupně vytvoří nepřekonatelnou překážku v průběhu evakuace a uvězní unikající osoby ve věži bez možnosti úniku. Požár dřevěných schodů nad kočárkem se bude pravděpodobně velmi rychle rozšiřovat i na ostatní schody a brzy dojde k rozsáhlému rozvoji požáru do vyšších částí věže.

→ **NESPLNĚNO**

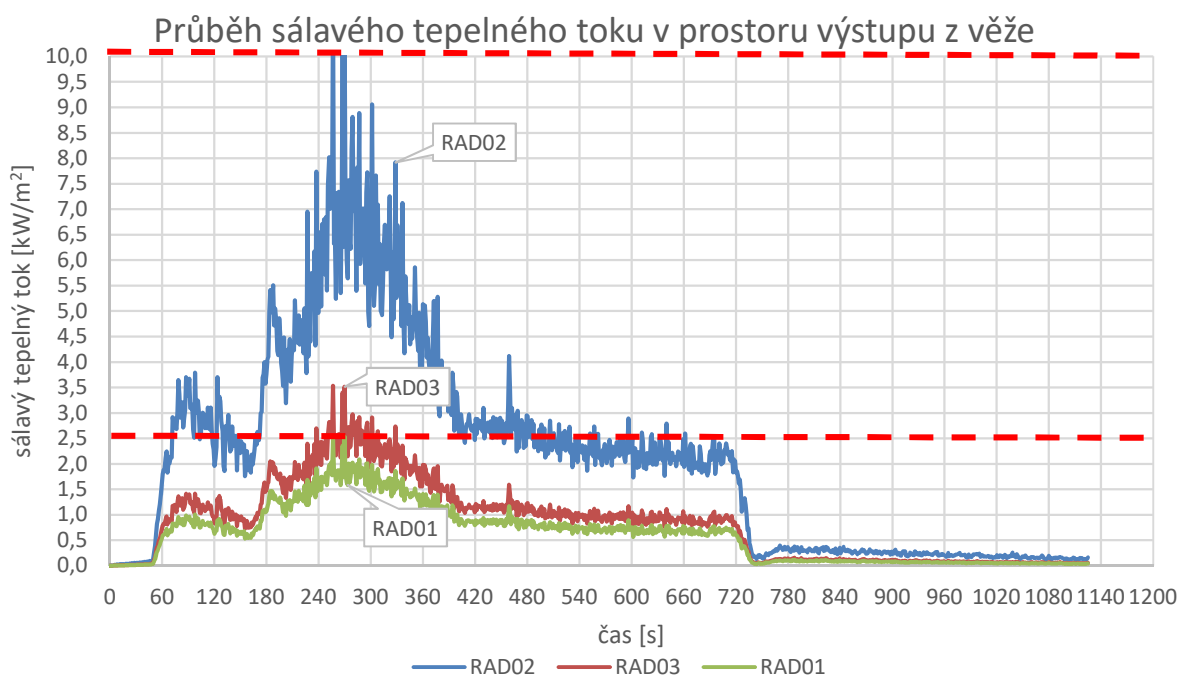
### B.7.4 Kritérium č. 4

Čtvrté kritérium omezuje tepelný tok sáláním, kterému jsou osoby vystaveny, na hodnotu  $2,5 \text{ kW/m}^2$ , popř. na hodnotu  $10 \text{ kW/m}^2$  po dobu max. 5 s. Vyšší hodnota sálavého tepelného toku má obdobné následky, jako zasažení vysokými teplotami – popáleniny.

V modelu pro analýzu rozvoje požáru v programu FDS jsou u vstupu do věže umístěna čidla, která měří sálavý tepelný tok ve výškové úrovni hořící korby kočárku. Rozmístění čidel je patrné z obr. 95.



obr. 95 - Rozmístění čidel sálavého tepelného toku v programu FDS



obr. 96 - Průběh sálavého tepelného toku na osoby v okolí hořícího kočárku – vyhodnocení

Z výsledků analýzy (obr. 96) je patrné, že hodnoty radiace v čase průchodu osob nedosahují hodnoty  $10 \text{ kW/m}^2$ . Sálavý tepelný tok sice překračuje hodnotu  $2,5 \text{ kW/m}^2$ , nicméně doba průchodu osob je přibližně 2 sekundy. Z tohoto hlediska je kritérium přijatelnosti splněno.

→ **SPLNĚNO**

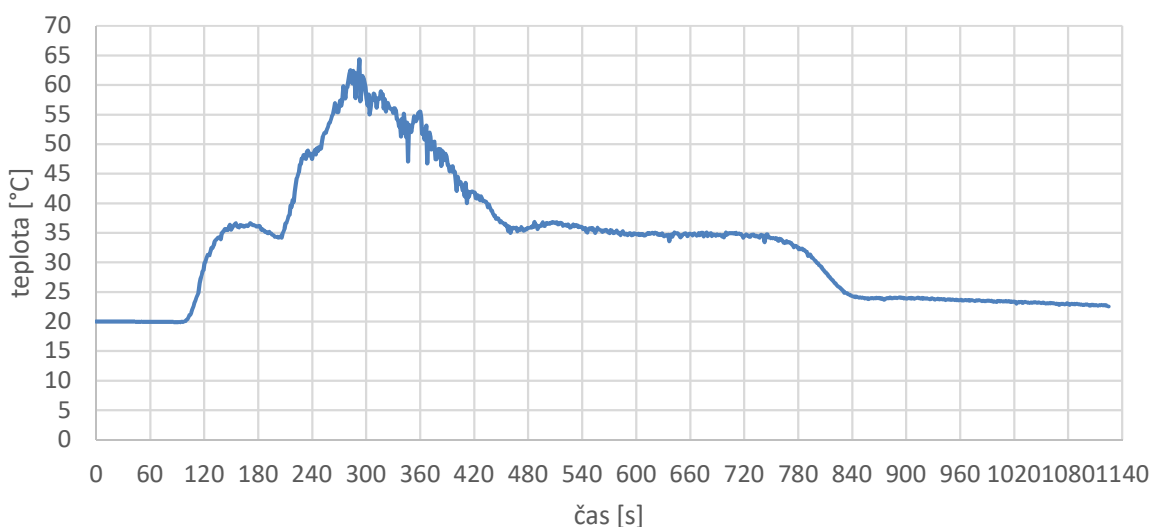
## B.8 Shrnutí

V provedené analýze požární bezpečnosti byly použity hodnoty rychlostí pohybu osob, které byly naměřeny na základě pohybu mladých a zdravých osob s průměrným věkem 17 let bez pohybových problémů. Dále byla použita nejkratší možná doba do zahájení evakuace (doba, kdy jsou na ochozu patrné projevy požáru – kouř). Provedená analýza tedy uvažovala výrazně lepší podmínky, než které by mohly nastat při reálné situaci (např. heterogenní složení osob: mladé osoby, osoby s dětmi, starší osoby, osoby s pohybovými problémy). I přes výrazně lepší podmínky jsou dvě ze čtyř kritérií přijatelnosti překročeny a posuzovaná věž tedy z hlediska evakuace osob **pro uvažovaný požární scénář není bezpečná**.

V případě vzniku požáru jsou unikající osoby vystaveny velmi vysokým teplotám, které působí negativně na lidské zdraví a přímo je ohrožují na životě. Vzhledem k vysokým teplotám s největší pravděpodobností dojde ke vzplanutí dřevěných schodišťových stupňů dříve, než osoby projdou kritickým místem nad hořícím kočárkem a nebudou mít možnost věž opustit. Na základě analýzy rozvoje požáru a evakuace je zjištěno, že toxicita vznikajících zplodin hoření v této geometrii věže při zvoleném požárním scénáři nemá zásadní vliv na ohrožení osob.

Při případném vzniku požáru se nabízí možnost zůstat v relativní bezpečí na ochozu věže, jelikož samotný ochoz je tvořen z nehořlavých materiálů a je od prostoru schodiště oddělen dřevěnými dveřmi. Na ochozu nebude vlivem masivních zdí docházet k nárůstu teplot a zplodiny hoření, které by případně unikaly netěsnostmi dveří, budou strženy větrem. Než by se požár rozšířil po schodišti k ochozu věže, budou již na místě JPO, které ho lokalizují a zlikvidují. I v případě otevřených dveří mezi ochozem a schodišťovým prostorem nebude růst teplot výrazný (obr. 97). Problém však může nastat s reakcí osob na vzniklou situaci a odmítavým postojem k setrvání na ochozu, nicméně dle provedené analýzy se setrvání zdá být lepší volbou, než pokus o únik z věže.

Průběh teplot na ochozu věže před otevřenými dveřmi



obr. 97 - Průběh teplot na ochozu věže před otevřenými dveřmi do prostoru schodiště

## B.9 Možnost zvýšení požární bezpečnosti věže

Požární bezpečnost lze v dnešní době zvýšit pomocí relativně jednoduchých opatření, které nejsou finančně náročné a nevyžadují velké zásahy do stavby, ale i v podobě složitých sofistikovaných systémů a postupů, které jsou náročné jak z hlediska financování, tak i z hlediska provádění a následného provozu.

Vzhledem k řešenému návrhovému požárnímu scénáři je nejjednodušší způsob zvýšení požární bezpečnosti věže zakázat odkládání kočárků a podobných předmětů uvnitř věže, čímž lze podstatně redukovat množství hořlavých prvků ve věži, které by mohly být zdrojem požáru.

Z provedené analýzy rozvoje požáru je patrné, že osoby na ochozu věže zpozorují projevy vzniklého požáru po relativně dlouhé době (100 s), přičemž po této době následuje velice rychlý rozvoj požáru, který znemožní průběh evakuace osob vysokými teplotami a hořením dřevěných stupňů. Doba mezi zpozorováním projevů požáru a opuštěním věže všemi osobami je delší než doba dostupná pro evakuaci, ve které nejsou překročena stanovená kritéria přijatelnosti. Z tohoto důvodu je tedy nutné výrazně zkrátit čas do zahájení evakuace tak, aby všechny osoby opustily věž dříve, než dojde k rozsáhlému rozvoji požáru, který v případě tohoto požárního scénáře nastává přibližně ve 180 sekundě. Průměrná doba pohybu bez redukce rychlosti vlivem snížené viditelnosti (v prvních 3 minutách není výrazně snížena) je přibližně 130 s. Evakuace tedy musí být zahájena v čase maximálně 50 s od vzniku požáru. Časové zpoždění do zahájení pohybu lze minimalizovat např. akustickými výstražnými systémy (evakuační rozhlas), napojenými na čidla požáru (kouřové), které přítomné osoby upozorní na vzniklé nebezpečí a mohou informovat, co mají dělat (např. zachovat klid, urychleně opustit věž, zůstat na ochozu věže apod.). Kouřová čidla musí být osazena na vhodných místech věže, aby byla schopna co nejrychleji zachytit vznik požáru a předat informaci do domácího rozhlasu. Celý systém by měl být autonomní (bez obsluhy), aby bylo maximálně redukováno zpoždění vyhlášení poplachu.

Další možností zvýšení požární bezpečnosti je zajištění dostatečné viditelnosti v celé věži, aby byla co nejméně redukována rychlost osob vlivem zakouření prostoru schodiště a tím snížené viditelnosti, což by vedlo k celkovému zpomalení a prodloužení evakuace. Dostatečné osvětlení lze zajistit instalací nouzového osvětlení na vhodných místech věže. Stávající osvětlení věže je výrazně nedostatečné a v případě výpadku proudu jsou unikající osoby v některých úsecích nuceny jít v téměř naprosté tmě i bez přítomnosti kouře.

Výše uvedené možnosti zvýšení požární bezpečnosti jsou šetrné k historické hodnotě budovy a výrazně neovlivňují její podobu. Pořizovací náklady jsou v porovnání se složitějšími systémy výrazně menší, přestože tato řešení výrazně zvýší bezpečnost věže a umožní bezpečnější průběh evakuace osob.

Požární bezpečnost lze zvýšit i pomocí výrazně finančně náročnějších řešení, jako např. instalací zařízení pro odvod kouře a tepla, popř. pomocí stabilního hasícího zařízení. Tyto možnosti však znamenají velkou finanční zátěž jak při pořizování, tak při provozu a velké stavební zásahy (zajištění dostatečného množství hasební vody, rozvody potrubí, strojovna, ...). Vzhledem k faktu, že jde o památkově chráněnou budovu, jsou tato řešení téměř vyloučená.



## Závěr

Diplomová práce se zabývala evakuací osob z historických vyhlídkových věží a jejím hlavním cílem bylo posouzení požární bezpečnosti velké věže státního zámku Náchod z pohledu evakuace osob. Práce byla rozdělena na dvě hlavní části.

V **první části** byla provedena rešerše současného stavu poznání v problematice evakuace osob s důrazem na pohyb osob po schodišti, která sloužila jako teoretický podklad pro zpracování praktické části diplomové práce. V úvodní části rešerše byly stručně shrnuty základní údaje o evakuaci osob a v dalších částech byl popsán pohyb osob po schodišti, provedené studie pohybu osob a dále byl popsán pohyb po točitých schodištích. Na konci první kapitoly byly stručně popsány historické vyhlídkové věže na území České republiky a řešení požární bezpečnosti těchto staveb podle normativního přístupu.

**Druhá část** diplomové práce se věnovala samotnému posouzení požární bezpečnosti velké věže státního zámku v Náchodě. V této části bylo popsáno stavební a požární řešení věže, byly stanoveny návrhové cíle, kritéria přijatelnosti a návrhový požární scénář. Dále byly vytvořeny jednotlivé výpočetní modely pro numerickou analýzu rozvoje požáru a numerickou analýzu evakuace. V závěru druhé části byla posouzena požární bezpečnost řešené věže na základě kritérií přijatelnosti a dále byly popsány možnosti jejího zvýšení.

Ve druhé části byl popsán i řízený experiment evakuace věže náchodského zámku, který byl proveden v rámci diplomové práce za účelem shromáždění úsekových a průměrných rychlostí osob při pohybu po historickém točitém schodišti, jež byly následně využity pro numerickou analýzu evakuace. Experiment byl rozdělen na dvě části, přičemž první část sloužila pro shromáždění rychlostí osob a druhá část byla provedena ve spolupráci s hasičským záchranným sborem jako názorná ukázka složitosti záchrany osob v těchto objektech.

### Závěry rešeršní části práce

Evakuace a hodnocení pohybu osob je velmi důležitým faktorem pro správný a bezpečný návrh budovy z hlediska požární bezpečnosti. Při hodnocení evakuace je nutné pracovat s osobami, jejichž chování je velmi těžko předem předvídatelné, a proto je zapotřebí uvažovat s pojmem behaviorální nejistota. V dnešní době jsou k dispozici modely, které se této problematice věnují a snaží se ji uchopit, nicméně je nutné mít na paměti, že bezpečí osob a zvířat je při vzniku mimořádné události naprostá priorita, čemuž musí odpovídat i uvažovaný návrh, např. vytvořit dostatečnou rezervu, která všechny tyto nejistoty pokryje.

Pohyb osob po schodišti představuje při navrhování bezpečné evakuace ve vyhlídkových věžích zásadní faktor. Všechny osoby jsou v případě evakuace nuceny schodiště využít, a proto je posuzování těchto prostorů potřeba věnovat patřičnou péči. Z provedené rešerše vyplývá, že pohyb osob, ať už po rovině, nebo po schodištích, je závislý zejména na rychlosti, hustotě a toku proudu osob, přičemž tyto tři veličiny spolu velice úzce souvisí, a proto je při posuzování podmínek evakuace nutné uvažovat jejich vzájemné ovlivňování. Pokud se při analýze využívá

rychlost osob získaná na základě provedených studií či cvičných evakuací, je potřeba individuálně posuzovat, při jakých podmínkách byla tato rychlost stanovena a stále uvažovat dostatečnou rezervu, protože reakce osob při skutečném požáru může mít rozdílný charakter oproti ohlášené cvičné evakuaci.

### **Závěry praktické části práce**

V rámci uskutečněného experimentu bylo zjištěno:

- Převážná většina osob se pohybovala přibližně v 1/3 šířky schodišťového ramene od vnějšího líce.
- Někteří z figurantů při pohybu využívali zábradlí.
- Rychlost osob při individuálním pohybu (s většími rozestupy mezi figuranty) přibližně odpovídá rychlosti pohybu figurantů jdoucích v řadě za sebou.
- Rychlost osob na horním točitém schodišti, které je svou geometrií pohodlnější pro pohyb, je průměrně o 16 % vyšší než na spodním točitém schodišti.

Pozorováním pohybu figurantů byla dále zjištěno, že při sestupu z věže dochází ve spojovací chodbě k výraznému poklesu rychlosti osob vlivem vytváření front u vstupu na úzké schodiště, na němž je rychlost pohybu osob výrazně pomalejší. Při pohybu nahoru nebyl tento jev pozorován, jelikož se figuranti pohybovali z místa s nižší rychlostí pohybu do míst s vyšší rychlostí pohybu.

Pro numerickou analýzu rozvoje požáru byl vymodelován zdroj požáru, který byl úspěšně validován na základě dat z provedené požární zkoušky kočárku v požární laboratoři FireLAB UCEEB ČVUT v Praze.

Doba evakuace byla stanovena pomocí numerických analýz evakuace v programech FDS+Evac a Pathfinder. Jako vstupní parametry osob byly použity hodnoty zjištěné z provedeného experimentu. Obě numerické analýzy byly provedeny ve 30 opakováních, aby bylo možné stanovit průměrnou hodnotu doby evakuace, jelikož rychlosti osob byly jednotlivým agentům přiřazovány pomocí statistického normálního rozdělení s omezeným rozsahem, který tvořily minimální a maximální hodnoty. Provedené analýzy v programech FDS+Evac a Pathfinder se oproti době evakuace naměřené při řízeném experimentu lišily v průměru o 5-7 % a tento rozdíl je autorem hodnocen jako přijatelný.

Součástí zhodnocení doby evakuace pomocí evakuačních modelů bylo i posouzení možnosti aproximace složitějšího tvaru točitého schodiště na jednodušší tvar, který lze řešit ve většině dostupných programech na evakuaci osob. Z provedených analýz vyplývá, že točité schodiště lze aproximovat na jednodušší tvar, pokud je převedeno na čtyřramenné schodiště s vloženými mezipodestami. Na vložené mezipodesty je nutné zadat výrazně vyšší rychlost tak, aby celková doba pohybu byla shodná s dobou pohybu po přímém schodišti, které svou délkou odpovídá délce součtu ramen. Tato rychlost musí být pro jednotlivá schodiště stanovena individuálně a musí být ověřena na testovacím modelu. Při zadávání rychlosti pohybu osob je nutné kontrolovat, zda je zadávána na odpovídající průmět. Chyba v zadané rychlosti může

velmi výrazně a negativně ovlivnit výslednou dobu evakuace, čímž mohou být reálném požáru ohroženy unikající osoby. Je nutné mít stále na paměti, že celý koncept tohoto zjednodušení je založen na faktu, že je známá rychlost osob na daném schodišti, která je do výpočtu nastavena a není možné využít predikci rychlosti podle hustoty osob v závislosti na postupu podle SFPE.

Na základě posouzení výsledků jednotlivých analýz s definovanými kritérii přijatelnosti bylo zjištěno, že evakuace osob z velké věže náhodského zámku v případě požáru pro zvolený požární scénář **není bezpečná**. Z analýzy vyplývá, že unikající osoby by byly ohroženy zejména vysokými teplotami, které dosahují v některých částech věže více než 100 °C a dále hořícími schodišťovými stupni, které by znemožnily evakuaci. Ohrožení osob vlivem toxicity zplodin nebylo prokázáno, což je pravděpodobně způsobeno neustálým obohacováním požáru čerstvým vzduchem a průběžným odvodem zplodin hoření vzhůru (zplodiny nejsou koncentrovány tak, aby vznikla jejich nebezpečná koncentrace). Analýza rozvoje požáru však byla provedena bez účinků větru, který může průběh rozvoje zplodin ovlivňovat. Účinky sálání z hořícího kočárku na unikající osoby nemají výrazný vliv, jelikož je pohyb osob kolem zdroje požáru krátkodobý (kratší než 5 s).

Při reálném posouzení požární bezpečnosti věže pomocí PIP pro potřeby oddělení prevence HZS (např. pro stavební povolení) by bylo nutné hodnotit mnohem více požárních scénářů, popř. by bylo nutné provést podrobnou analýzu rizik.

Pro analýzu evakuace byly použity hodnoty rychlostí pohybu osob, které byly vypočteny na základě pohybu mladých zdravých osob v průměrném věku 17 let bez pohybových problémů a dále byla použita i nejkratší možná doba do zahájení evakuace. Přes všechny tyto výrazně nadhodnocené vstupy byla evakuace vyhodnocena jako nebezpečná a při reálném požáru by mohla být situace výrazně horší, pokud by se na ochozu věže nacházela heterogenní skupina osob, složená z více věkových kategorií a s pohybovými problémy (zejména osoby pokročilého věku).

### **Možnosti dalšího rozšíření práce**

Pro další výzkum je doporučeno zaměřit se na stanovení pohybových rychlostí heterogenní skupiny osob po točitém schodišti, která by byla složena ze všech věkových kategorií včetně osob s pohybovými problémy.

Dále by bylo vhodné stanovit pohybové rychlosti osob po točitém schodišti při omezených podmínkách viditelnosti vlivem rozvoje kouře a popsat vztahy pro redukci výchozích rychlostí pro větší rozsah koeficientu extinkce, jelikož pokles pohybové rychlosti v případě požáru může výrazně ovlivnit délku a celkový průběh evakuace.

Další možností pro rozšíření práce je posouzení rozvoje požáru s vlivem působení větru (tlak, sání), který může rozvoj zplodin výrazně ovlivnit. Vzhledem k velkým výškám věží může být vliv větru nezanedbatelný.

## Seznam obrázků

obr. 1 - Časový koncept evakuace; časy ASET a RSET .....	5
obr. 2 - Analýza rozvoje požáru v programu FDS; zdroj .....	7
obr. 3 - Časový koncept průběhu evakuace; převzato a upraveno z [17] .....	7
obr. 4 - Závislost rychlosti osob na hustotě osob; převzato a přeloženo z [15] .....	9
obr. 5 - Závislost hustoty osob na toku proudu osob; převzato a přeloženo z [15] .....	10
obr. 6 - Požár výškového bytového domu v Londýně .....	13
obr. 7 - Vliv oslabení světla na rychlost osob; převzato a přeloženo z [29] .....	15
obr. 8 - Vliv oslabení světla na rychlost osob; převzato a přeloženo z [30] .....	16
obr. 9 - Působení hustoty tepelného toku na unikající osobu; převzato a upraveno z [32] .....	17
obr. 10 - Faktory ovlivňující evakuaci; převzato a přeloženo z [18] .....	19
obr. 11 - Ilustrační obrázek bezpečnostní značky označující únik po schodišti dle ČSN ISO 3864 .....	20
obr. 12 - Prvky schodiště .....	21
obr. 13 - Třídění schodišť podle půdorysného tvaru, převzato z [38] .....	21
obr. 14 - Třídění schodišť podle tvaru ramen, převzato z [38] .....	21
obr. 15 - (a) pohyb nahoru; (b) pohyb dolů; převzato z [4] .....	22
obr. 16 - Rozložení četnosti rychlostí při pohybu po schodišti nahoru; převzato a upraveno z [4] .....	23
obr. 17 - Rozložení četnosti rychlostí při pohybu po schodišti dolů; převzato a upraveno z [4] .....	23
obr. 18 - Závislost rychlosti osob po schodišti na hustotě; převzato a upraveno z [4] .....	24
obr. 19 - Závislost toku osob při pohybu na schodišti na hustotě osob; převzato a upraveno z [4] .....	24
obr. 20 - Porovnání rychlostí osob po schodech nahoru podle Predtechenskiho a Milinskiho [3], SFPE [15] a Fruina [4] .....	26
obr. 21 - Porovnání rychlostí osob po schodech dolů podle Predtechenskiho a Milinskiho [3], .....	26
obr. 22 - Procentuální zastoupení dospělých osob ve světě a v ČR k roku 2015; zdroj <sup>13</sup> .....	27
obr. 23 - Vývoj procentního zastoupení osob ve věku 60 a více let v celkové populaci; převzato a přeloženo z [62] .....	30
obr. 24 - Populace dětí ve věku 0-14 let v ČR a ve světě .....	32
obr. 25 - Šířka stupně v rameni se zakřivenou výstupní čarou; převzato z [38] .....	34
obr. 26 - Zmenšování šířky schodů .....	34
obr. 27 - Teoretická šířka pohybu po točitém schodišti .....	35
obr. 28 - Reálná šířka pohybu (červeně) a teoretická šířka pohybu (bíle); převzato a upraveno z [73] .....	35
obr. 29 - Státní zámek Náchod .....	40
obr. 30 - Velká věž náhodského zámku .....	40
obr. 31 - Schéma schodiště věže náhodského zámku .....	41
obr. 32 - (a) Vnější pohled na vstupní dveře; (b) Vnitřní pohled na vstupní dveře; (c) Pohled na schodiště do věže; (d) Vstup do sklepení .....	42
obr. 33 - Spodní točité schodiště .....	43
obr. 34 - Rozměry schodu spodního točitého schodiště .....	43
obr. 35 - (a) Pohled ze spojovací chodby na spodní točité schodiště; (b) Pohled do spojovací chodby od spodního točitého schodiště; (c) Pohled z horního točitého schodiště na vstup do spojovací chodby; (d) Pohled ze spojovací chodby na vstup do hladomorny .....	44
obr. 36 - (a) Začátek horního točitého schodiště; (b) Pohled z prosvětlovacího otvoru; (c) Prosvětlovací otvor .....	45
obr. 37 - Rozměry schodu horního točitého schodiště .....	45
obr. 38 - (a) Horní přímé schodiště při pohledu z ochozu; (b) Dveře na ochoz; (c) Ochoz věže .....	46
obr. 39 - Rozměry schodu horního přímého schodiště .....	46
obr. 40 - (a) Přenosný hasící přístroj u vstupu do věže; (b) Čidlo EPS ve vrcholu schodišťové šachty .....	47

obr. 41 - (a) Videokamera GoPro HERO 3+ ; (b) Rozpěrná tyč ; (c) Upevňovací objímka .....	49
obr. 42 - Schéma rozmístění videokamer.....	50
obr. 43 - Označení měřených hran schodů.....	50
obr. 44 - Schéma měření délky úseků schodiště .....	51
obr. 45 - Mlhovací zařízení ATMOS 2000 .....	52
obr. 46 - Příchod figurantů.....	53
obr. 47 - Sestup figurantů po schodišti.....	53
obr. 48 - (a) Figuranti na ochozu věže; (b) "Zraněný" figurant na schodišti.....	54
obr. 49 - (a) "Zakuřování" věže; (b) Hasiči před vchodem do věže.....	54
obr. 50 - Porovnání sestupových rychlostí z jednotlivých studií pohybu po točitých schodištích.....	58
obr. 51 - (a) Půdorysné schéma kočárku; (b) Schématický pohled na kočárek; zdroj: Ing. arch. Bc. Petr Hejmánek, UCEEB ČVUT v Praze.....	61
obr. 52 - Odtahová digestoř a místnost pro RCT v laboratoři FireLAB .....	62
obr. 53 - (a-h) Průběh požární zkoušky kočárku.....	63
obr. 54 - První zjednodušený model odtahové digestoře .....	64
obr. 55 - Podrobnější model odtahové digestoře; dosud nezveřejněný článek [81].....	65
obr. 56 - Průběh objemového průtoku ventilátoru .....	65
obr. 57 - Zadaná rychlost uvolňování tepla [80] .....	66
obr. 58 - Průběh rychlosti uvolňování tepla .....	67
obr. 59 - Průběh optické hustoty kouře .....	67
obr. 60 - Průběh oxidu uhelnatého .....	68
obr. 61 - Průběh oxidu uhličitého.....	68
obr. 62 - Průběh kyslíku.....	69
obr. 63 - Numerický model věže pro analýzu rozvoje požáru .....	70
obr. 64 - Průběh rozvoje kouře; (a) v čase 0 s; (b) v čase 60 s; (c) v čase 80 s; (d) v čase 100 s; (e) v čase 120 s; (f) v čase 180 s; (g) v čase 360 s; (h) v čase 720 s .....	72
obr. 65 - Průběh teplot ve věži; (a) v čase 60 s; (b) v čase 180 s; (c) v čase 280 s; (d) v čase 360 s .....	73
obr. 66 - Průběh teploty schodišťového stupně nad hořícím kočárkem.....	74
obr. 67 - Aproximace točitého schodiště na jednodušší tvar.....	77
obr. 68 - Půdorysné a pohledové schéma testovacího schodiště.....	78
obr. 69 - Výstup z programu FDS+Evac pro spodní čtyřramenné testovací schodiště.....	78
obr. 70 - Půdorysné a pohledové schéma přímého testovacího schodiště (spodní) .....	79
obr. 71 - Výstup z programu FDS+Evac pro spodní přímé testovací schodiště .....	80
obr. 72 - Půdorysné schéma horního čtyřramenného testovacího schodiště.....	80
obr. 73 - Půdorysné schéma přímého testovacího schodiště (horní).....	81
obr. 74 - Půdorysné schéma modelu věže pro FDS+Evac .....	82
obr. 75 - Pohledové schéma modelu věže pro FDS+Evac .....	83
obr. 76 - Průběh evakuace v programu FDS+Evac; (a) v čase 0 s; (b) v čase 15 s; (c) v čase 40 s; (d) v čase 55 s; (e) v čase 70 s; (f) v čase 90 s.....	85
obr. 77 - Model schodiště v programu Pathfinder (model 1).....	87
obr. 78 - Rozdílné zadávání rychlostí osob.....	88
obr. 79 - Pohyb osob po schodišti - model 1; (a) v čase 0 s; (b) v čase 20 s; (c) v čase 40 s; (d) v čase 60 s; (e) v čase 70 s; (f) v čase 80 s.....	89
obr. 80 - Trasa agentů v modelu 1.....	90
obr. 81 - Upravený model schodiště (model 2).....	90
obr. 82 - Pohyb osob po schodišti (model s toxicitou); (a) v čase 100 s; (b) v čase 120 s; (c) v čase 140 s; (d) v čase 160 s; (e) v čase 180 s; (f) v čase 200 s.....	92
obr. 83 - Průběh FED pro prvního a posledního agenta bez redukce rychlosti.....	93
obr. 84 - Průběh viditelnosti pro prvního a posledního agenta bez redukce rychlosti .....	93
obr. 85 - Průběh teplot pro prvního a posledního agenta bez redukce rychlosti .....	94
obr. 86 - Průběh rychlostí osob v čase na úsecích číslo 1-4 při snížené viditelnosti.....	95

obr. 87 - Průběh rychlostí osob v čase na úsecích číslo 5-8 při snížené viditelnosti.....	96
obr. 88 - Průběh FED pro prvního a posledního agenta s redukcí rychlosti .....	97
obr. 89 - Průběh viditelnosti pro prvního a posledního agenta s redukcí rychlosti .....	97
obr. 90 - Průběh teplot pro prvního a posledního agenta s redukcí rychlosti.....	98
obr. 91 - Vyhodnocení FED.....	99
obr. 92 - Průběh teplot působící na osoby bez redukované rychlosti - vyhodnocení.....	100
obr. 93 - Průběh teplot působící na osoby s redukovanou rychlostí – vyhodnocení.....	100
obr. 94 - Průběh teplot dřevěného schodišťového stupně nad hořícím kočárkem - vyhodnocení .....	101
obr. 95 - Rozmístění čidel sálavého tepelného toku v programu FDS.....	102
obr. 96 - Průběh sálavého tepelného toku na osoby v okolí hořícího kočárku – vyhodnocení .....	102
obr. 97 - Průběh teplot na ochozu věže před otevřenými dveřmi do prostoru schodiště .....	103
obr. 98 - Vstup do věže + schody 1-4 .....	114
obr. 99 - Spodní točité schodiště; schody 4-22 .....	114
obr. 100 - Spodní točité schodiště; schody 22-40 .....	115
obr. 101 - Spodní točité schodiště; schody 38-56 .....	115
obr. 102 - Spojovací chodba; schody 47-74.....	116
obr. 103 - Horní točité schodiště; schody 74-98 .....	117
obr. 104 - Horní točité schodiště; schody 98-122 .....	117
obr. 105 - Horní točité schodiště, horní přímé schodiště a výlez na ochoz věže; schody 114-140.....	118
obr. 106 - Umístění videokamery číslo 1 .....	123
obr. 107 - Schéma umístění videokamery číslo 1 .....	123
obr. 108 - Záběr kamery číslo 1 .....	123
obr. 109 - Umístění videokamery číslo 2 .....	124
obr. 110 - Umístění videokamery číslo 3 .....	124
obr. 111 - (a) Schéma umístění videokamery číslo 2; (b) Schéma umístění videokamery číslo 3.....	124
obr. 112 - Záběr kamery číslo 2 .....	125
obr. 113 - Záběr kamery číslo 3 .....	125
obr. 114 - (a) Pohled na kameru číslo 4 ze spodního schodiště; (b) Pohled na kameru číslo 4 ze spojovací chodby; (c) Pohled na kameru číslo 5 z horního točitého schodiště; (d) Pohled na kameru číslo 5 ze spojovací chodby.....	126
obr. 115 - (a) Záběr kamery číslo 4; (b) Záběr kamery číslo 5 .....	126
obr. 116 - Schéma umístění videokamer číslo 4 a 5.....	127
obr. 117 - (a) Umístění videokamery číslo 6; (b) Umístění videokamery číslo 7.....	128
obr. 118 - (a) Záběr videokamery číslo 6; (b) Záběr videokamery číslo 7.....	128
obr. 119 - (a) Schéma umístění videokamery číslo 6; (b) Schéma umístění videokamery číslo 7.....	128
obr. 120 - (a, b) Umístění videokamery číslo 8; (c) Záběr videokamery číslo 8 .....	129
obr. 121 - Schéma umístění videokamer číslo 8 a 9.....	129
obr. 122 - Umístění videokamery číslo 9; (b) Záběr videokamery číslo 9.....	130
obr. 123 - Průběh teplot na termočláncích TC_00 – TC_03 .....	145
obr. 124 - Průběh teplot na termočláncích TC_04 – TC_07 .....	145
obr. 125 - Průběh teplot na termočláncích TC_08 – TC_11 .....	145
obr. 126 - Průběh koeficientu extinkce na čidlech EK_00 – EK_03 .....	146
obr. 127 - Průběh koeficientu extinkce na čidlech EK_04 – EK_07 .....	146
obr. 128 - Průběh koeficientu extinkce na čidlech EK_08 – EK_11 .....	146
obr. 129 - Průběh viditelnosti na čidlech VIS_00 – VIS_03.....	147
obr. 130 - Průběh viditelnosti na čidlech VIS_04 – VIS_07.....	147
obr. 131 - Průběh viditelnosti na čidlech VIS_08 – VIS_11.....	147
obr. 132 - Průběh optické hustoty na čidlech OD_00 – OD_03 .....	148
obr. 133 - Průběh optické hustoty na čidlech OD_04 – OD_07 .....	148
obr. 134 - Průběh optické hustoty na čidlech OD_08 – OD_11 .....	148
obr. 135 - Průběh koncentrace CO na čidlech CO_00 – CO_03.....	149

---

obr. 136 - Průběh koncentrace CO na čidlech CO_04 – CO_07.....	149
obr. 137 - Průběh koncentrace CO na čidlech CO_08 – CO_11.....	149
obr. 138 - Průběh koncentrace CO <sub>2</sub> na čidlech CO2_00 – CO2_03 .....	150
obr. 139 - Průběh koncentrace CO <sub>2</sub> na čidlech CO2_04 – CO2_07 .....	150
obr. 140 - Průběh koncentrace CO <sub>2</sub> na čidlech CO2_08 – CO2_11 .....	150
obr. 141 - Průběh koncentrace O <sub>2</sub> na čidlech O2_00 – O2_03 .....	151
obr. 142 - Průběh koncentrace O <sub>2</sub> na čidlech O2_04 – O2_07 .....	151
obr. 143 - Průběh koncentrace O <sub>2</sub> na čidlech O2_08 – O2_11 .....	151
obr. 144 - Technický automobil (TA) na nádvoří zámku .....	160
obr. 145 - Transport osob po horním točitém schodišti .....	161
obr. 146 - Transport osob z věže .....	161
obr. 147 - Výstup figurantů do věže.....	162
obr. 148 - Sestup figurantů z věže.....	162
obr. 149 - "Zranění" figuranti.....	162
obr. 150 - (a-j) Zásah hasičů .....	164

## Seznam tabulek

tab. 1 - Tabulka účinku koncentrace oxidu uhelnatého (CO) na lidský organismus [26] .....	14
tab. 2 - Tabulka účinku koncentrace oxidu uhličitého (CO <sub>2</sub> ) na lidský organismus [26] .....	14
tab. 3 - Tabulka účinku koncentrace kyslíku (O <sub>2</sub> ) na lidský organismus [27] .....	15
tab. 4 - Vliv teploty na lidský organismus; převzato a přeloženo z [32].....	17
tab. 5 - Shrnutí průměrných rychlostí dospělých osob po schodištích při provedených experimentech .....	28
tab. 6 - Shrnutí průměrných rychlostí starších a pohybově postižených osob po schodištích dolů při provedených experimentech; převzato a upraveno z [61] .....	31
tab. 7 - Shrnutí průměrných rychlostí dětí po schodištích dolů při provedených experimentech; .....	33
tab. 8 - Shrnutí rychlostí po točitých schodištích dolů při provedených experimentech; .....	36
tab. 9 - Délky úseků schodiště.....	51
tab. 10 - Ukázka části tabulky se zapsanými časy figurantů na kameře číslo 1 .....	55
tab. 11 - Tabulka naměřených časů na jednotlivých úsecích .....	56
tab. 12 - Celkové doby pohybu osob ve věži .....	56
tab. 13 - Naměřené rychlosti osob.....	57
tab. 14 - Rekapitulace výsledků .....	81
tab. 15 - Rychlostní modifikační faktory .....	84
tab. 16 - Doby pohybu osob v programu FDS+Evac .....	86
tab. 17 - Rychlostní modifikační faktor .....	88
tab. 18 - Doby pohybu osob na upraveném modelu.....	91
tab. 19 - Porovnání doby evakuace .....	98
tab. 20 - Pohybové rychlosti na úseku číslo 1 .....	131
tab. 21 - Pohybové rychlosti na úseku číslo 2 .....	132
tab. 22 - Pohybové rychlosti na úseku číslo 3 .....	133
tab. 23 - Pohybové rychlosti na úseku číslo 4 .....	134
tab. 24 - Pohybové rychlosti na úseku číslo 5 .....	135
tab. 25 - Pohybové rychlosti na úseku číslo 6 .....	136
tab. 26 - Pohybové rychlosti na úseku číslo 7 .....	137
tab. 27 - Pohybové rychlosti na úseku číslo 8 .....	138
tab. 28 - Průměrné pohybové rychlosti na úsecích číslo 1-3 .....	139
tab. 29 - Průměrné pohybové rychlosti na úsecích číslo 5-7 .....	140
tab. 30 - Průměrné pohybové rychlosti na úsecích číslo 5-8 .....	141
tab. 31 - Průměrné pohybové rychlosti na úsecích číslo 1-8 .....	142
tab. 32 - Shrnutí vyhodnocených údajů.....	143
tab. 33 - Popis figurantů experimentu .....	144

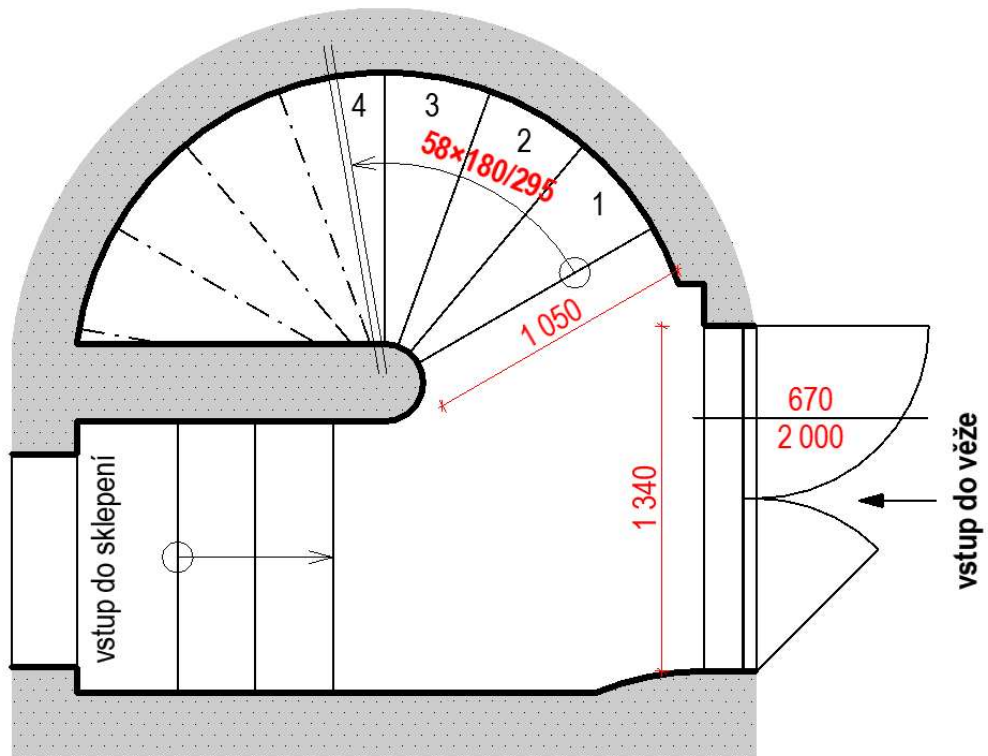


---

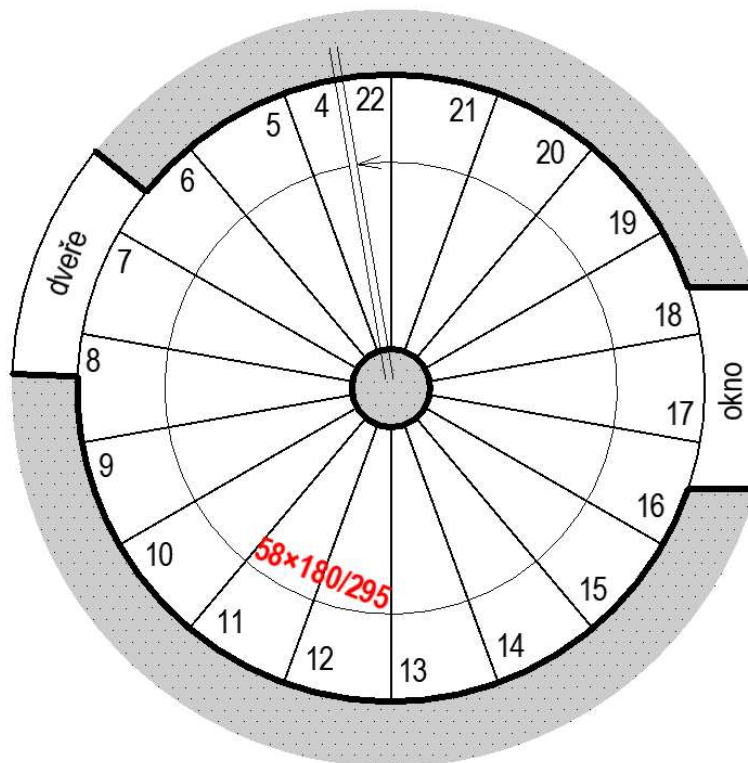
## Seznam příloh

<b>Příloha 1 – Půdorysná schémata věže .....</b>	<b>114</b>
<b>Příloha 2 – Experimentální plán.....</b>	<b>119</b>
<b>Příloha 3 – Popis rozmístění videokamer .....</b>	<b>123</b>
<b>Příloha 4 – Vyhodnocení pohybových rychlostí osob .....</b>	<b>131</b>
<b>Příloha 5 – Popis figurantů .....</b>	<b>144</b>
<b>Příloha 6 – Výsledky analýzy rozvoje požáru .....</b>	<b>145</b>
<b>Příloha 7 – Zdrojové kódy FDS+Evac .....</b>	<b>152</b>
<b>Příloha 8 – Zásah JPO .....</b>	<b>160</b>
<b>Příloha 9 – Obrazová příloha .....</b>	<b>162</b>

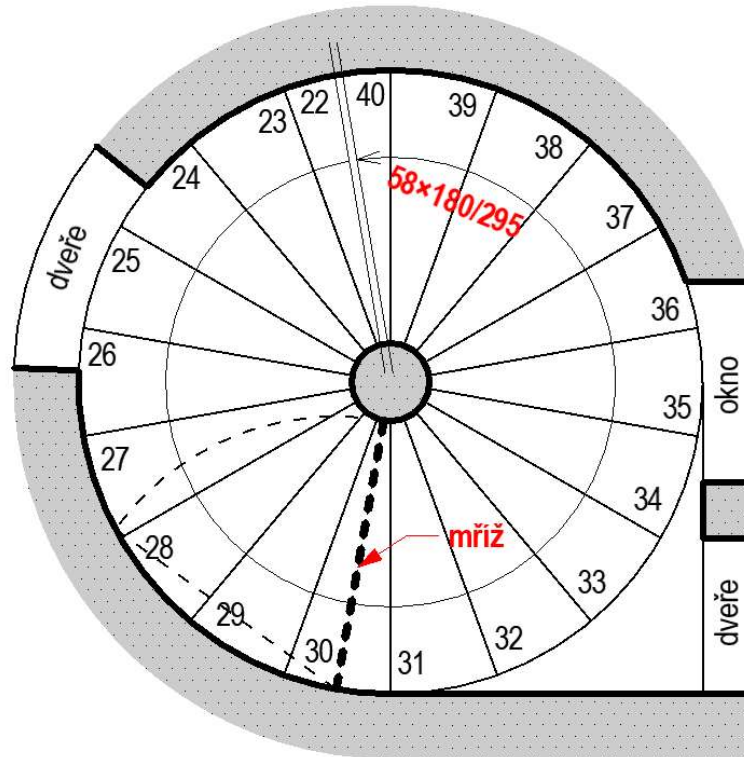
## Příloha 1 – Půdorysná schémata věže



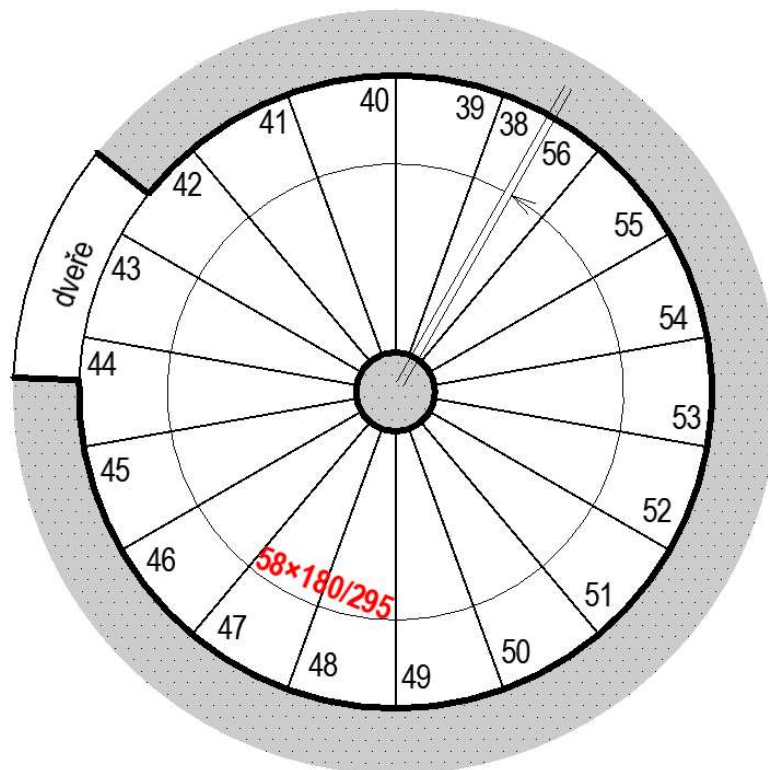
obr. 98 - Vstup do věže + schody 1-4



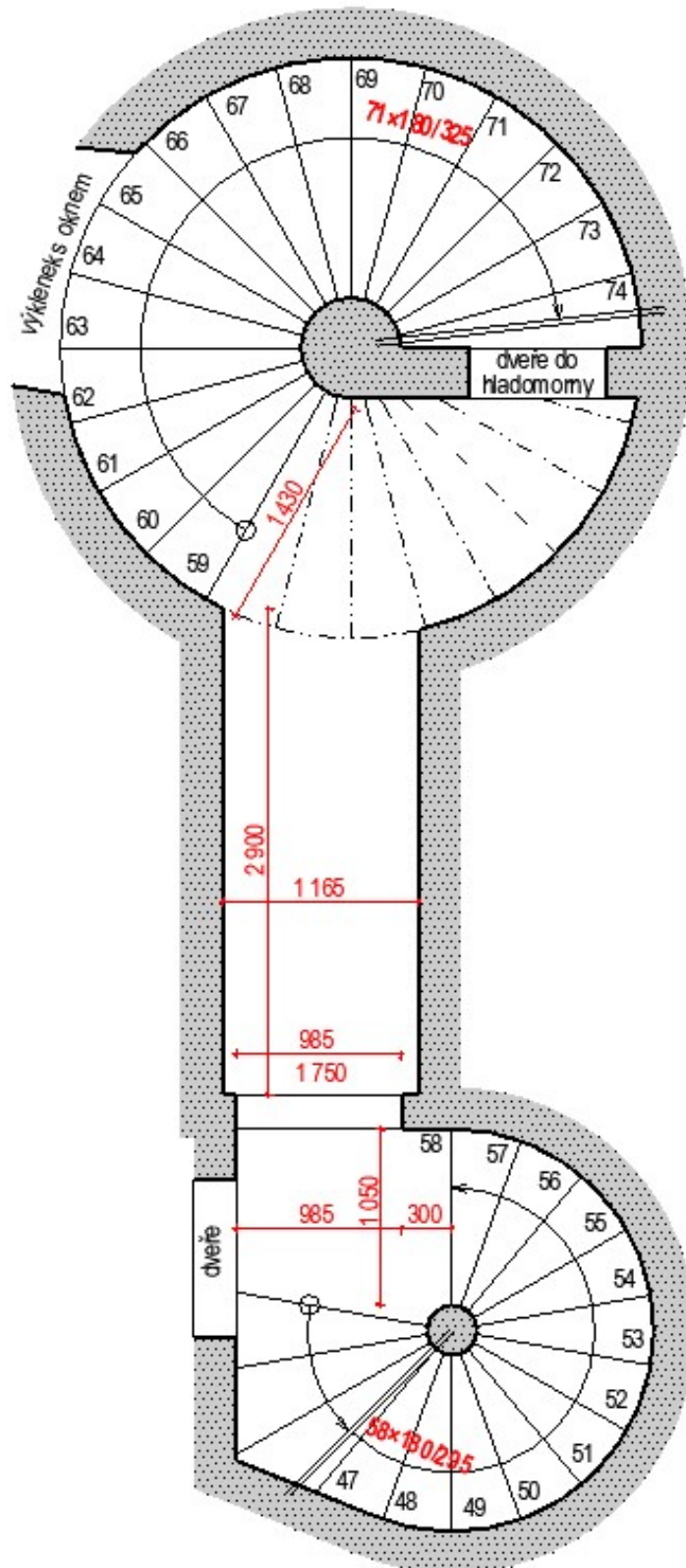
obr. 99 - Spodní točité schodiště; schody 4-22



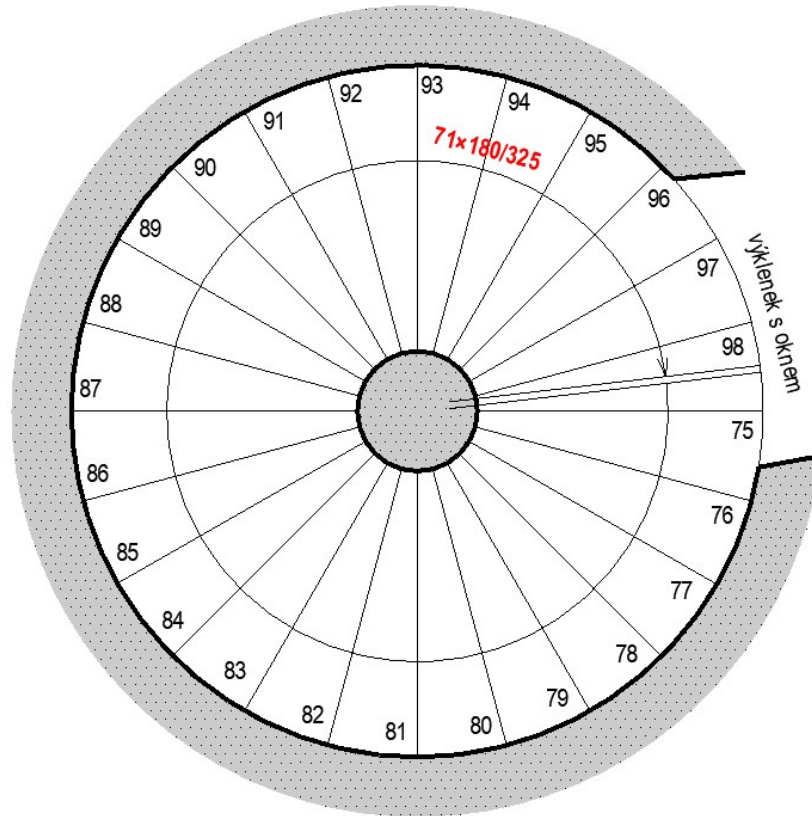
obr. 100 - Spodní točité schodiště; schody 22-40



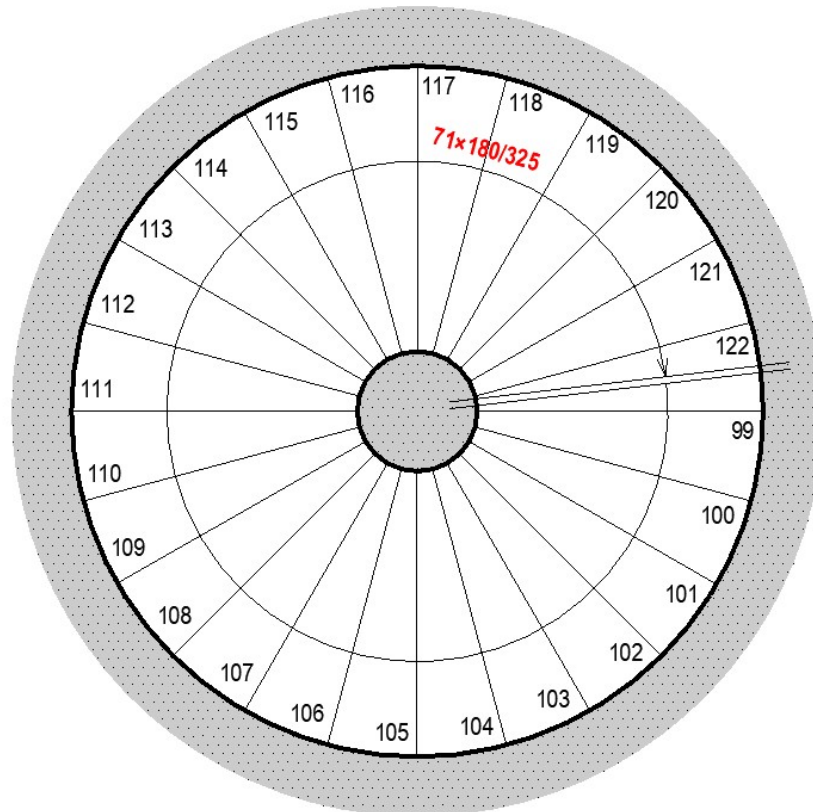
obr. 101 - Spodní točité schodiště; schody 38-56



obr. 102 - Spojovací chodba; schody 47-74

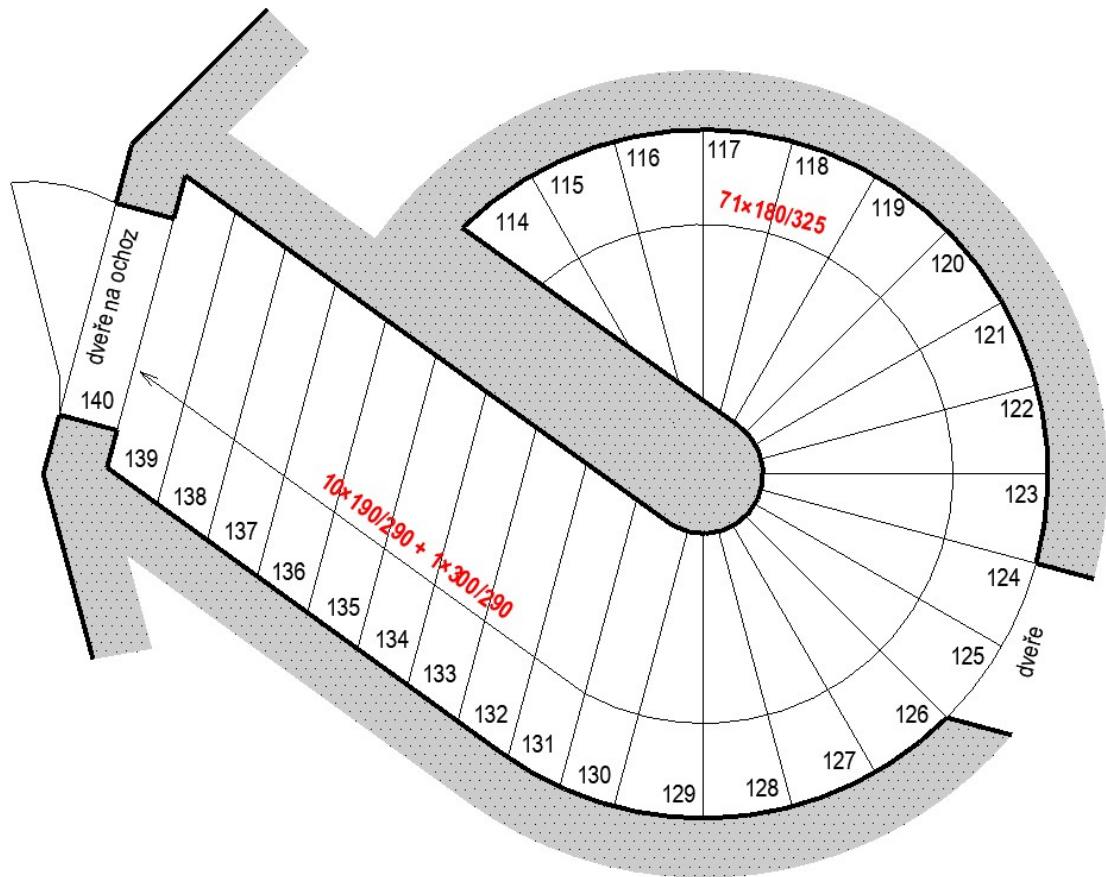


obr. 103 - Horní točité schodiště; schody 74-98



obr. 104 - Horní točité schodiště; schody 98-122



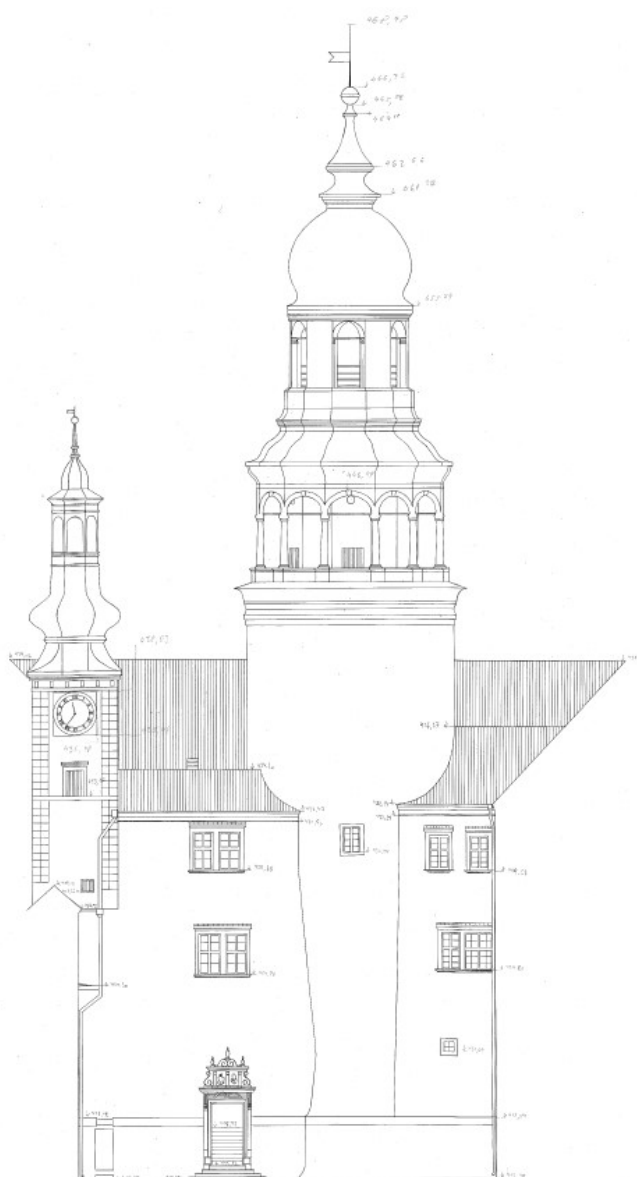


obr. 105 - Horní točité schodiště, horní přímé schodiště a výlez na ochoz věže; schody 114-140

## Příloha 2 – Experimentální plán

### Experimentální plán diplomové práce: „Evakuace osob z objektů vyhlídkových věží“

#### Simulace evakuace věže náchodského zámku



## Úvod

Na území České republiky se nachází velké množství historických staveb, mezi něž se řadí převážně církevní stavby (zejména kostely), hrady a zámky, které jsou velkým lákadlem pro tuzemské i zahraniční návštěvníky. Velká část z nich disponuje vysokou věží, která má na svém ochozu vyhlídku pro návštěvníky. Mnoho měst má na svém území dokonce i vysoké historické radniční nebo samostatně stojící věže, které jsou veřejnosti volně přístupné. Většina těchto historických věžových staveb představuje svou povahou z hlediska požární bezpečnosti velký problém, jelikož v době výstavby nebyl brán ohled na požární bezpečnost těchto staveb.

Dle zákona č. 133/1985 Sb., o požární ochraně, spadá velké množství věží z hlediska své výšky do provozů se zvýšeným nebo vysokým požárním nebezpečím, a přesto se těmto historickým stavbám požární kodex věnuje jen velmi okrajově. V případě vzniku požáru se tyto atraktivní stavby mohou stát pro lidi smrtícím místem.

Jedním z největších problémů požárů ve věžích je komínový efekt, v jehož důsledku dochází, vzhledem k malé ploše a převažující výšce věže, k rychlému toku všech zplodin hoření vzhůru schodišťovou šachtou. Tyto zplodiny jsou nejen horké, ale i toxické, a představují tak velké riziko pro unikající osoby, které často nemají k dispozici žádnou jinou únikovou cestu, a tak musí skrz životu nebezpečné zplodiny projít.

V rámci diplomové práce „Evakuace osob z objektů vyhlídkových věží“, která je zpracovávána v akademickém roce 2017/2018 na katedře konstrukcí pozemních staveb FSv ČVUT v Praze, bude provedena experimentální simulace evakuace věže náchodského zámku, jejíž výsledky budou sloužit jako podklad pro posouzení požární bezpečnosti věže náchodského zámku z hlediska dopadu rozvoje požáru a kouře na evakuaci osob.

## Cíl

Cílem experimentální simulace evakuace věže náchodského zámku bude shromáždění průměrných a úsekových rychlostí pohybu osob po točitém schodišti při sestupu a vzestupu, které jsou potřebné pro numerickou analýzu evakuace osob, zejména pro stanovení času potřebného k evakuaci při posuzování požární bezpečnosti staveb.

## Průběh

Pro zaznamenávání průběhu celého experimentu budou do věže nainstalovány videokamery, které budou snímat dění ve věži, zejména pohyb osob po schodišti. Vzhledem ke složitosti průběhu trasy schodiště bude použito 9 videokamer, které budou umístěny při vstupu do věže, při výstupu z věže na ochoz a dále zhruba každou obrátku schodiště o 360°. Kamery budou umístěny nad hlavami figurantů.

Pro potřeby experimentu je vyžadováno 30 figurantů, kteří dostanou přidělena identifikační čísla od 1 do 30, která si připevní na hrud' tak, aby byla dostatečně viditelná. Samotný průběh experimentu je rozdělen na dvě základní části.



První část experimentu slouží pro stanovení rychlostí osob na točitém schodišti. V této části se bude experimentu účastnit všech 30 figurantů. Tato hodnota je předepsána aktuálně platným požárně bezpečnostním řešením z roku 2013 jako maximální počet osob, které mohou být současně přítomny ve věži. První část bude rozdělena na 2 fáze. V první fázi se figuranti přesunou na ochoz věže (vyhlídku) a následně na pokyn organizátora zahájí evakuaci. Všichni figuranti (jeden za druhým) zahájí měřený sestup normální rychlostí k východu z věže. Během sestupu nebude možné „přebíhat“. Po tom, co poslední figurant opustí prostor věže, bude zahájen následný měřený výstup nahoru do věže. Po celou dobu budou figuranti snímáni kamerami. Tato fáze bude opakována 3x. Ve druhé fázi bude na ochoz umístěno opět všech 30 figurantů, přičemž při měřeném sestupu z věže budou do schodišťového prostoru vpouštěni postupně tak, aby mezi figuranty byla prodleva cca 5 s. Tato prodleva zajistí, že rychlost osob nebude ovlivněna rychlostí osob před nimi. Tato fáze bude opět opakována 3x.

Druhá část experimentu bude provedena v součinnosti s jednotkami požární ochrany HZS Královéhradeckého kraje ÚO Náchod, jako simulace vzniklého požáru u vstupu do věže s následným rozvojem kouře do celého objemu věže. Na ochoz věže bude umístěno 6 figurantů, kteří budou představovat osoby uvízlé na ochozu a odmítající opustit prostor vyhlídky z důvodu rozsáhlého zamoření schodiště zplodinami hoření. Na různé části schodiště budou dále umístěni 3 figuranti, kteří budou představovat zraněné osoby, které se pokoušely o sestup z věže a vlivem zplodin hoření upadly do bezvědomí a zranily se pádem ze schodů. Pro zvýšení věrohodnosti zásahu bude provedeno celkové zakouření věže mlhovacím zařízením (zdravotně nezávadné, používané na festivalech). Následně bude proveden zásah jednotek požární ochrany s cílem záchrany osob.

### **Výsledky**

Pořízené videozáznamy budou analyzovány pomocí manuální video analýzy. Na základě délky jednotlivých úseků a časů osob strávených v těchto úsecích bude vypočtena úseková rychlost osob. Z celkového času a celkové délky trasy bude stanovena průměrná rychlost osob. Z rozdílu času vstupu prvního figuranta do prostoru schodiště a výstupu posledního figuranta z prostoru schodiště bude stanovena celková doba evakuace.

Jako finální hodnoty budou uvažovány průměrné hodnoty rychlostí, jejich směrodatné odchylky, minimální a maximální hodnoty. Tyto hodnoty rychlostí budou sloužit jako vstupy pro numerický model v programech Thunderhead Pathfinder a FDS+Evac. Numerický model bude následně sloužit pro posouzení podmínek evakuace osob z věže náchodského zámku v závislosti na numerickém modelu rozvoje požáru a kouře, který bude zpracován v programu FDS. Hodnoty rychlostí osob budou navíc porovnány s existujícími hodnotami rychlostí osob po točitých schodištích z jiných experimentů a měření, které byly ve světě provedeny.

Výsledky ze zásahu jednotek požární ochrany budou mít pro potřeby diplomové práce převážně informativní charakter.

---

## Rizika

- Během experimentu bude pořizována foto a video dokumentace průběhu. Tyto materiály budou využity pouze a výhradně pro potřeby diplomové práce „Evakuace osob z objektů vyhlídkových věží“ a pro potřeby FSv ČVUT v Praze. Foto a video dokumentace bude uchována na katedře konstrukcí pozemních staveb FSv ČVUT v Praze a bude sloužit pro vědecké účely.
- Experiment bude probíhat na historickém schodišti, které nesplňuje požadavky současných norem. Všichni účastníci se experimentu účastní výhradně na vlastní riziko. Při pohybu po schodišti je nutná zvýšená opatrnost a maximální pozornost. Pro experiment není zajištěna žádná zdravotní péče.
- Prostory pro konání experimentu (zámek Náchod) jsou památkově chráněné. V průběhu experimentu je nutné dodržovat slušné chování, respektovat historickou hodnotu budovy a vyvarovat se jakémukoliv poškození.
- Průběh experimentu (opakovaný sestup a výstup po schodišti) je fyzicky náročný. Účastníci musí brát tuto fyzickou námahu na vědomí.
- Experiment je časově omezený (zejména výdrž baterií videokamer), a proto je nutná maximální koncentrace účastníků a dbání na pokyny organizátora experimentu.
- Účastníci experimentu musí mít vhodné oblečení (možnost nízkých teplot, deště, zašpinění).

V Praze, 30. 9. 2017

.....  
Bc. Marek Lokvenc  
(diplomant, organizátor)

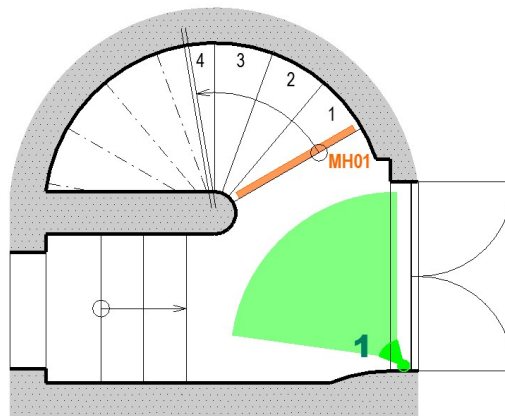
.....  
Ing. Marek Pokorný, Ph.D.  
(vedoucí práce)

## Příloha 3 – Popis rozmístění videokamer

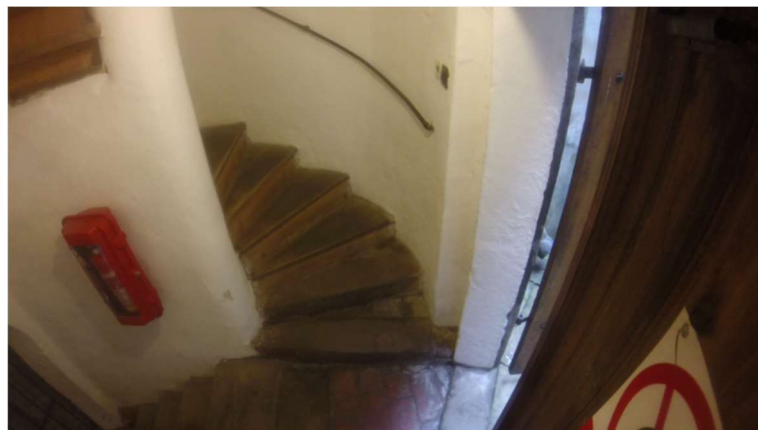
Videokamera číslo 1 je umístěna za vstupními dveřmi po levé straně v prostoru ostění manipulačního křídla (obr. 106). K upevnění je použita rozpěrná tyč délky 115-290 cm a je rozepřena mezi podlahu a nadpraží vstupního otvoru do věže. Kamera zachycuje pohyb ze schodiště do výstupu ze dveří (viz schéma - obr. 107), zejména měřenou hranu (obr. 108), která je na schématu označena MH01.



obr. 106 - Umístění videokamery číslo 1



obr. 107 - Schéma umístění videokamery číslo 1

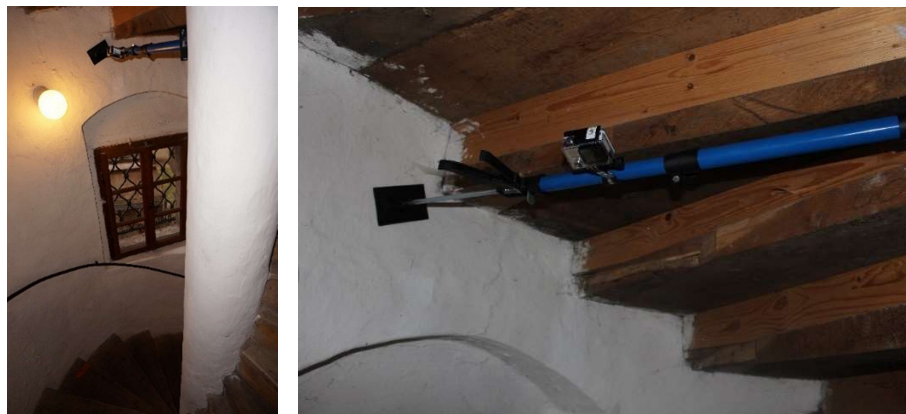


obr. 108 - Záběr kamery číslo 1

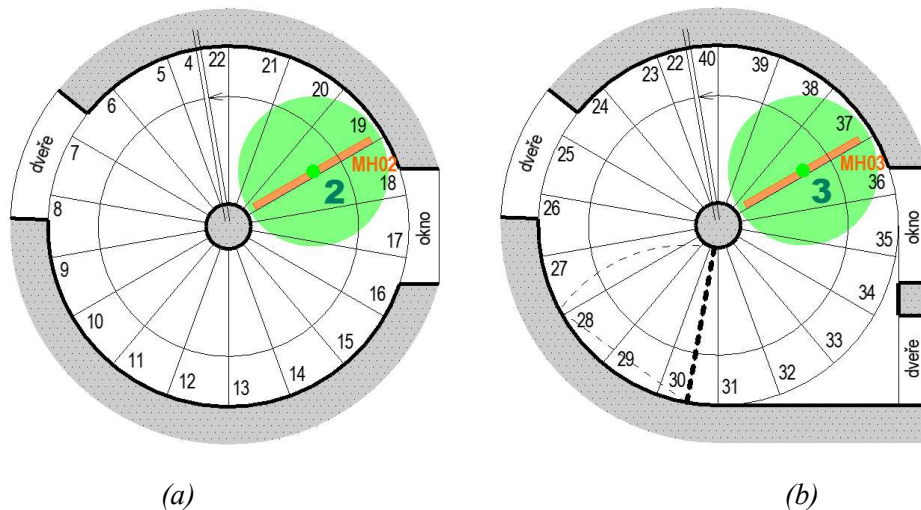
**Videokamery číslo 2** (obr. 109) a **číslo 3** (obr. 110) jsou umístěny vždy po 18 schodech, tj. ve vzdálenosti jedné otočky schodiště o 360°, a jsou upevněny pod horními stupni schodiště. K upevnění jsou použity rozpěrné tyče délky 90-115 cm, které jsou rozepřeny mezi střední pilíř a vnější stěnu schodiště. Kamery jsou natočené směrem dolů a zachycují pohyb v místě měřené hrany MH02 a MH03 (viz schémata - obr. 111).



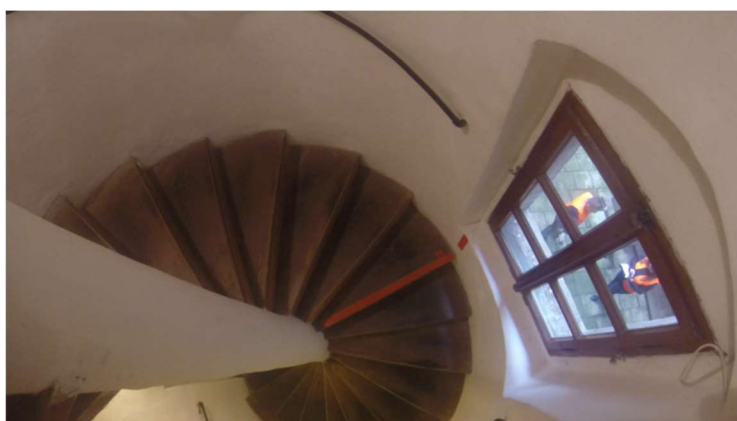
obr. 109 - Umístění videokamery číslo 2



obr. 110 - Umístění videokamery číslo 3



obr. 111 - (a) Schéma umístění videokamery číslo 2; (b) Schéma umístění videokamery číslo 3



*obr. 112 - Záběr kamery číslo 2*



*obr. 113 - Záběr kamery číslo 3*

**Videokamera číslo 4** (obr. 114 a, b) je umístěna na konci spodního točitého schodiště u vstupu do spojovací chodby v místě vstupu do přilehlé místnosti. Kamera je uchycena pomocí rozpěrné tyče délky 115-220 cm mezi podlahu a nadpraží otvoru. Zachycuje výstup (resp. vstup) ze spodního schodiště a vstup (resp. výstup) do spojovací chodby (obr. 115 a), zejména měřenou hranu MH04 (obr. 116). Bezprostředně navazuje kamera číslo 5, která je umístěna hned za výstupem ze spojovací chodby na horní točité schodiště (obr. 114 c, d). **Videokamera číslo 5** je uchycena pomocí rozpěrné tyče délky 115-220 mm nad hlavami figurantů tak, aby zachycovala výstup ze spojovací chodby (resp. vstup) a vstup (resp. výstup) na horní točité schodiště (obr. 115 b), zejména měřenou hranu MH05 (viz schéma obr. 116).



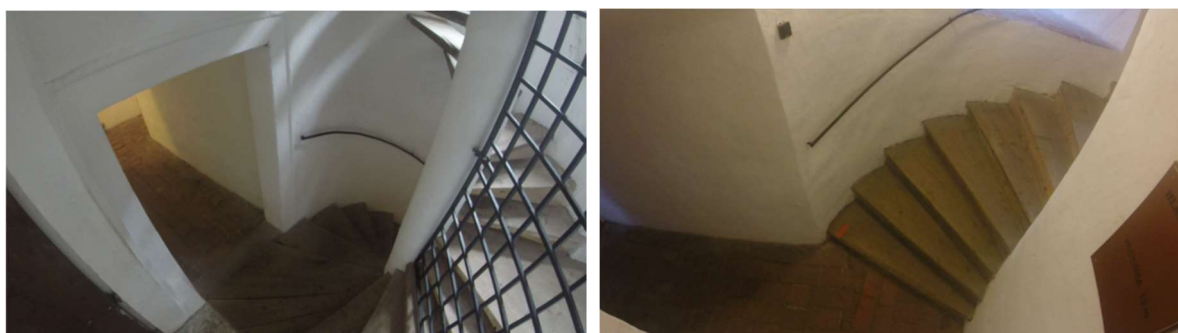
(a)

(b)

(c)

(d)

obr. 114 - (a) Pohled na kameru číslo 4 ze spodního schodiště; (b) Pohled na kameru číslo 4 ze spojovací chodby; (c) Pohled na kameru číslo 5 z horního točitého schodiště; (d) Pohled na kameru číslo 5 ze spojovací chodby

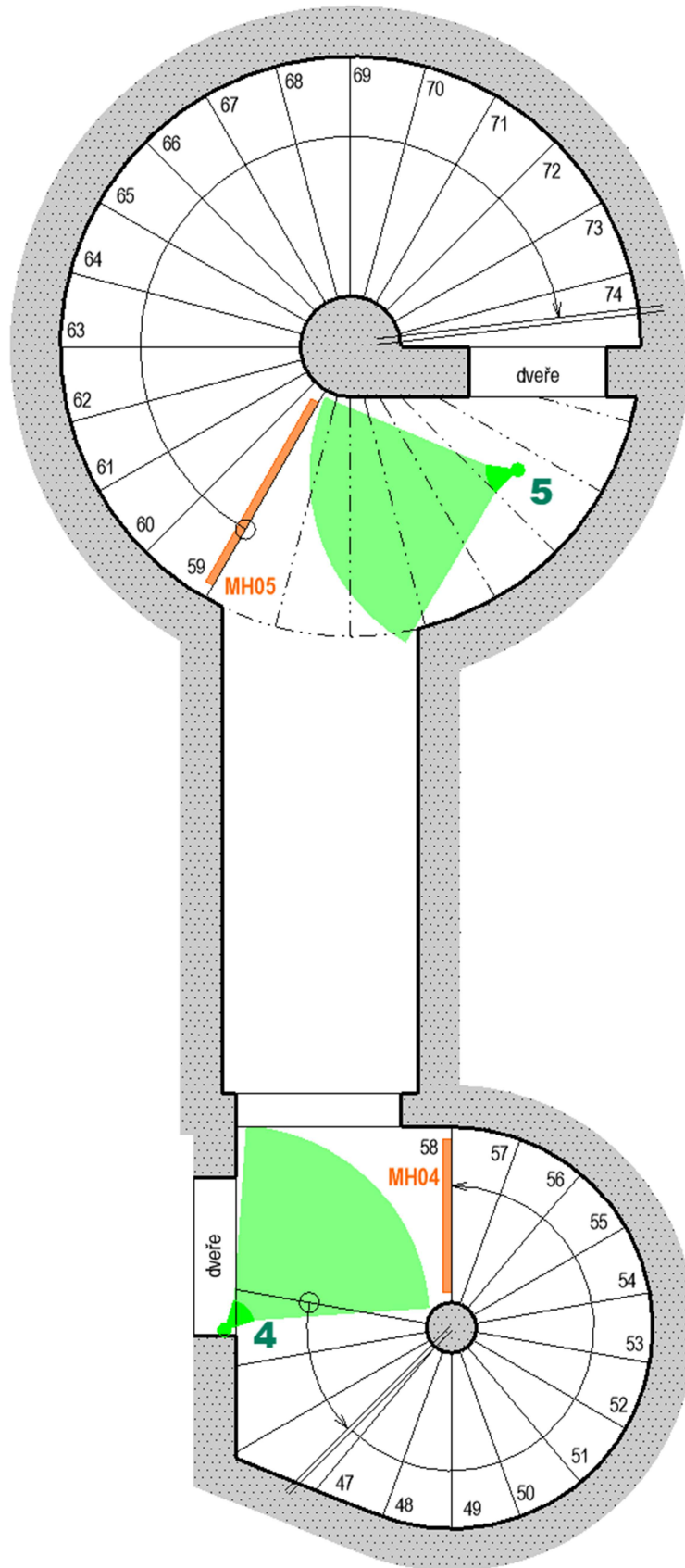


(a)

(b)

obr. 115 - (a) Záběr kamery číslo 4; (b) Záběr kamery číslo 5





obr. 116 - Schéma umístění videokamer číslo 4 a 5

**Videokamery číslo 6** (obr. 117 a) a **číslo 7** (obr. 117 b) jsou umístěny vždy po 24 schodech, tj. ve vzdálenosti jedné otočky schodiště o  $360^\circ$ , a jsou upevněny pod horními stupni schodiště. K upevnění jsou použity rozpěrné tyče délky 115-220 cm, které jsou rozepřeny mezi střední pilíř a vnější stěnu schodiště. Kamery jsou natočené směrem dolů a zachycují pohyb (obr. 118 a, b) v místě měřené hrany MH05 a MH06 (viz schémata - obr. 119 a, b).



(a)

(b)

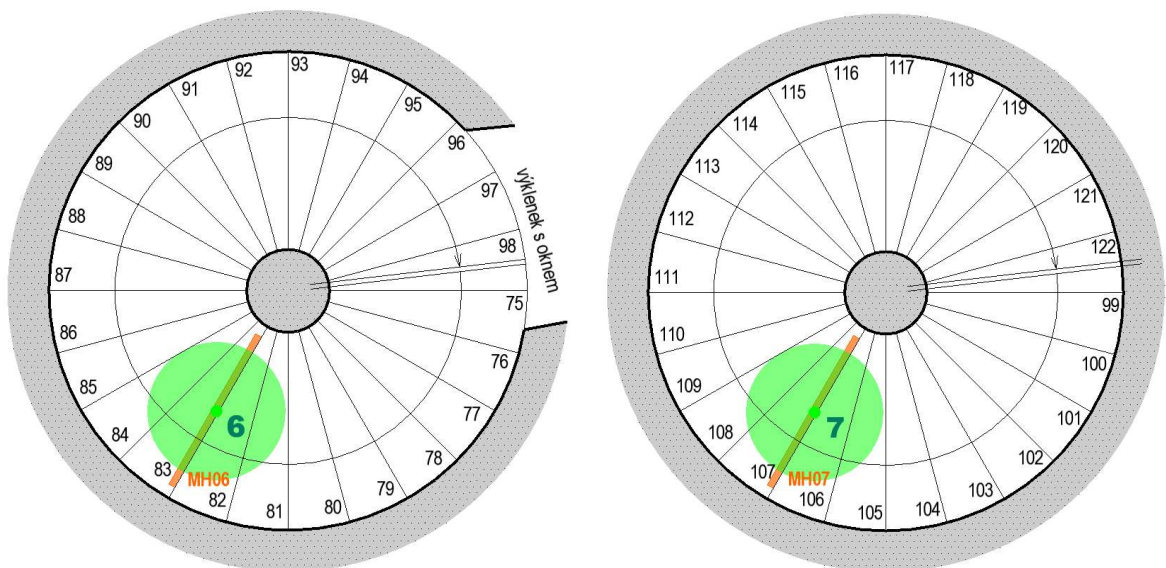
obr. 117 - (a) Umístění videokamery číslo 6; (b) Umístění videokamery číslo 7



(a)

(b)

obr. 118 - (a) Záběr videokamery č. 6; (b) Záběr videokamery číslo 7



(a)

(b)

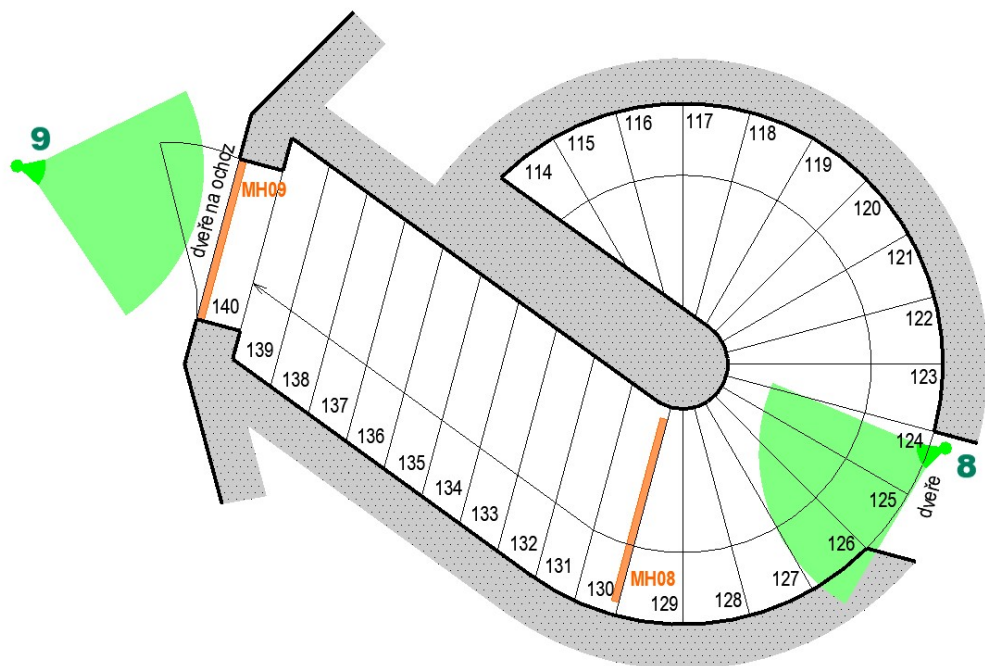
obr. 119 - (a) Schéma umístění videokamery č. 6; (b) Schéma umístění videokamery č. 7



**Videokamera číslo 8** (obr. 120 a, b) je umístěna na rozhraní mezi koncem horního točitého schodiště a začátkem horního přímého schodiště v místě dveřní niky a je ukotvena pomocí rozpěrné tyče délky 115-220 cm mezi podlahou a nadpražím otvoru. Kamera zachycuje prostor přímého ramene a část horního točitého schodiště (obr. 120 c), zejména měřenou hranu MH08 (viz schéma obr. 121).



(a) (b) (c)  
obr. 120 - (a, b) Umístění videokamery číslo 8; (c) Záběr videokamery číslo 8



obr. 121 - Schéma umístění videokamer číslo 8 a 9

**Videokamera číslo 9** (obr. 122 a) je umístěna na ochozu věže proti vstupním dveřím. Kamera je uchycena pomocí rozpěrné tyče délky 115-220 cm, která je rozeprána mezi sloupy arkádového ochozu. Zachycuje prostor vstupu (resp. výstupu) na ochoz věže a část ochozu v okolí dveří (obr. 122 b), zejména měřenou hranu MH09 (viz schéma obr. 121).



(a)

(b)

obr. 122 - Umístění videokamery číslo 9; (b) Záběr videokamery číslo 9

# Příloha 4 – Vyhodnocení pohybových rychlostí osob

tab. 20 - Pohybové rychlosti na úseku číslo 1

<b>ÚSEK 1</b> <b>(kamery 1 - 2)</b> <b>DÉLKA ÚSEKU: 6,400 m</b>														
OZNAČENÍ FIGURANTA	RYCHLOST OSOB v [m/s]													
	1		2		3		4		5		6		PRŮMĚR	
	↘	↗	↘	↗	↘	↗	↘ R	↗	↘	↗	↘	↗	↘*	↗
1	0,84	0,70	0,78	0,69	0,79	0,66	0,90	0,69	0,72	0,71	0,75	0,78	0,69	
2	0,78	0,67	0,79	0,74	0,78	0,63	0,85	0,65	0,77	0,68	0,79	0,78	0,68	
3	0,80	0,63	0,82	0,67	0,82	0,59	0,84	0,62	0,79	0,64	0,76	0,80	0,63	
4	0,80	0,61	0,84	0,69	0,80	0,57	0,86	0,58	0,70	0,62	0,78	0,78	0,61	
5	0,81	0,59	0,84	0,61	0,78	0,55	0,96	0,57	0,75	0,61	0,77	0,79	0,58	
6	0,79	0,57	0,82	0,55	0,86	0,57	1,04	0,55	0,91	0,58	0,95	0,87	0,56	
7	0,77	0,58	0,84	0,58	0,85	0,58	1,25	0,43	0,86	0,49	0,88	0,84	0,53	
8	0,80	0,60	0,84	0,64	0,81	0,57	0,97	0,42	0,86	0,47	0,82	0,83	0,54	
9	0,79	0,63	0,85	0,59	0,80	0,54	0,76	0,43	0,63	0,49	0,75	0,76	0,54	
10	0,80	0,60	0,81	0,59	0,83	0,55	0,70	0,42	0,59	0,49	0,74	0,76	0,53	
11	0,84	0,59	0,83	0,57	0,81	0,53	0,67	0,40	0,62	0,48	0,76	0,77	0,52	
12	0,80	0,52	0,79	0,53	0,72	0,50	0,69	0,40	0,64	0,47	0,76	0,74	0,48	
13	0,82	0,54	0,78	0,57	0,73	0,50	0,73	0,40	0,65	0,47	0,71	0,74	0,50	
14	0,73	0,53	0,78	0,53	0,73	0,51	0,85	0,41	0,65	0,46	0,76	0,73	0,49	
15	0,73	0,53	0,78	0,58	0,75	0,52	0,87	0,40	0,67	0,45	0,78	0,74	0,50	
16	0,75	0,54	0,76	0,53	0,80	0,53	1,07	0,42	0,67	0,44	0,75	0,75	0,49	
17	0,73	0,53	0,67	0,52	0,70	0,52	1,10	0,43	0,65	0,43	0,71	0,69	0,49	
18	0,73	0,54	0,68	0,55	0,70	0,52	1,05	0,42	0,67	0,43	0,66	0,69	0,49	
19	0,71	0,51	0,67	0,54	0,71	0,50	1,08	0,41	0,68	0,42	0,67	0,69	0,48	
20	0,70	0,50	0,67	0,50	0,70	0,48	0,97	0,42	0,67	0,41	0,68	0,68	0,46	
21	0,72	0,50	0,68	0,55	0,74	0,49	0,82	0,41	0,57	0,40	0,68	0,68	0,47	
22	0,73	0,50	0,70	0,55	0,75	0,46	0,91	0,41	0,59	0,41	0,77	0,71	0,47	
23	0,74	0,51	0,68	0,51	0,75	0,46	0,85	0,43	0,64	0,41	0,72	0,71	0,47	
24	0,68	0,49	0,66	0,56	0,71	0,48	0,86	0,45	0,70	0,41	0,71	0,69	0,48	
25	0,69	0,49	0,67	0,52	0,71	0,45	0,97	0,44	0,70	0,43	0,72	0,70	0,47	
26	0,72	0,50	0,69	0,51	0,77	0,46	0,90	0,46	0,73	0,44	0,83	0,75	0,48	
27	0,73	0,48	0,74	0,48	0,82	0,46	0,94	0,46	0,79	0,44	0,81	0,78	0,46	
28	0,75	0,45	0,75	0,48	0,74	0,46	0,91	0,45	0,76	0,45	0,82	0,76	0,46	
29	0,74	0,44	0,68	0,52	0,76	0,46	0,87	0,44	0,72	0,47	0,74	0,73	0,46	
30	0,82	0,46	0,70	0,53	0,74	0,50	0,96	0,47	0,80	0,48	0,74	0,76	0,49	
31	0,88	0,44	0,70	0,51	0,82	0,51	0,96	0,44	0,99	0,47	0,84	0,85	0,47	
MIN <sub>MUŽI</sub>	0,68	0,44	0,66	0,48	0,70	0,45	0,67	0,40	0,57	0,40	0,66	0,57	0,40	
MAX <sub>MUŽI</sub>	0,88	0,70	0,85	0,74	0,86	0,66	1,25	0,69	0,99	0,71	0,95	0,99	0,74	
Ø <sub>MUŽI</sub>	0,77	0,54	0,75	0,56	0,77	0,52	0,92	0,47	0,74	0,49	0,77	0,76	0,52	
SO <sub>MUŽI</sub>	0,05	0,07	0,07	0,06	0,05	0,06	0,13	0,08	0,10	0,08	0,07	0,07	0,08	
MIN <sub>ŽENY</sub>	0,73	0,50	0,67	0,51	0,70	0,46	0,69	0,40	0,59	0,41	0,71	0,59	0,40	
MAX <sub>ŽENY</sub>	0,82	0,63	0,84	0,69	0,82	0,59	1,10	0,62	0,79	0,64	0,78	0,84	0,69	
Ø <sub>ŽENY</sub>	0,76	0,54	0,76	0,57	0,76	0,52	0,88	0,45	0,67	0,48	0,75	0,74	0,51	
SO <sub>ŽENY</sub>	0,04	0,04	0,05	0,06	0,04	0,04	0,12	0,08	0,05	0,08	0,02	0,06	0,07	
MIN <sub>M+Ž</sub>	0,68	0,44	0,66	0,48	0,70	0,45	0,67	0,40	0,57	0,40	0,66	0,57	0,40	
MAX <sub>M+Ž</sub>	0,88	0,70	0,85	0,74	0,86	0,66	1,25	0,69	0,99	0,71	0,95	0,99	0,74	
Ø <sub>M+Ž</sub>	0,77	0,54	0,75	0,56	0,77	0,52	0,91	0,46	0,71	0,49	0,76	0,75	0,51	
SO <sub>M+Ž</sub>	0,05	0,06	0,07	0,06	0,05	0,05	0,13	0,08	0,10	0,08	0,06	0,07	0,08	

pozn.:  
R = zrychlený sestup  
\* v průměrných hodnotách není uvažován sestup číslo 4

tab. 21 - Pohybové rychlosti na úseku číslo 2

<b>ÚSEK 2</b> <b>(kamery 2 - 3)</b> <b>DÉLKA ÚSEKU: 6,480 m</b>													
OZNAČENÍ FIGURANTA	RYCHLOST OSOB												
	v [m/s]												
	1		2		3		4		5		6		PRŮMĚR
	↘	↗	↘	↗	↘	↗	↘ R	↗	↘	↗	↘	↘*	↗
1	0,75	0,65	0,75	0,69	0,75	0,65	0,81	0,64	0,71	0,64	0,73	0,74	0,65
2	0,75	0,65	0,72	0,61	0,73	0,64	0,76	0,64	0,69	0,65	0,70	0,72	0,64
3	0,71	0,64	0,71	0,64	0,68	0,65	0,76	0,64	0,68	0,64	0,71	0,70	0,64
4	0,74	0,63	0,70	0,58	0,71	0,63	0,70	0,63	0,67	0,64	0,71	0,71	0,62
5	0,75	0,65	0,69	0,60	0,68	0,61	0,57	0,57	0,70	0,62	0,67	0,70	0,61
6	0,74	0,65	0,70	0,64	0,64	0,59	0,51	0,56	0,58	0,62	0,62	0,66	0,61
7	0,76	0,64	0,67	0,59	0,64	0,60	0,46	0,66	0,67	0,63	0,61	0,67	0,62
8	0,73	0,62	0,65	0,54	0,62	0,59	0,45	0,64	0,67	0,64	0,60	0,65	0,61
9	0,70	0,59	0,64	0,56	0,62	0,57	0,45	0,59	0,63	0,53	0,70	0,66	0,57
10	0,76	0,58	0,65	0,52	0,60	0,56	0,42	0,53	0,60	0,52	0,71	0,66	0,54
11	0,71	0,58	0,62	0,52	0,61	0,56	0,43	0,54	0,59	0,53	0,70	0,65	0,54
12	0,77	0,58	0,61	0,53	0,59	0,58	0,68	0,53	0,62	0,52	0,68	0,65	0,54
13	0,70	0,57	0,59	0,49	0,58	0,57	0,75	0,53	0,62	0,51	0,71	0,64	0,54
14	0,66	0,55	0,60	0,54	0,58	0,57	0,96	0,53	0,62	0,51	0,67	0,63	0,54
15	0,65	0,54	0,60	0,49	0,57	0,56	0,93	0,53	0,61	0,50	0,67	0,62	0,53
16	0,64	0,55	0,60	0,53	0,57	0,57	1,07	0,52	0,59	0,51	0,66	0,61	0,53
17	0,66	0,54	0,62	0,54	0,61	0,56	1,09	0,51	0,63	0,50	0,64	0,63	0,53
18	0,66	0,52	0,59	0,50	0,60	0,54	0,91	0,50	0,62	0,50	0,68	0,63	0,51
19	0,67	0,52	0,59	0,49	0,60	0,53	1,00	0,50	0,64	0,50	0,69	0,64	0,51
20	0,65	0,52	0,60	0,52	0,61	0,54	0,99	0,48	0,64	0,49	0,68	0,63	0,51
21	0,66	0,53	0,60	0,47	0,61	0,55	0,73	0,51	0,64	0,49	0,71	0,65	0,51
22	0,66	0,51	0,58	0,46	0,60	0,55	0,79	0,50	0,57	0,48	0,68	0,62	0,50
23	0,64	0,51	0,57	0,50	0,59	0,55	0,82	0,49	0,54	0,48	0,68	0,60	0,51
24	0,59	0,50	0,57	0,44	0,61	0,54	0,73	0,49	0,63	0,48	0,67	0,61	0,49
25	0,58	0,50	0,57	0,47	0,61	0,54	0,69	0,49	0,64	0,48	0,69	0,62	0,50
26	0,58	0,49	0,55	0,47	0,60	0,53	0,70	0,49	0,64	0,48	0,69	0,61	0,49
27	0,61	0,50	0,56	0,49	0,58	0,53	0,77	0,48	0,61	0,49	0,83	0,64	0,50
28	0,59	0,49	0,55	0,47	0,56	0,53	0,74	0,48	0,61	0,50	0,74	0,61	0,49
29	0,58	0,50	0,57	0,44	0,57	0,54	0,73	0,50	0,63	0,50	0,68	0,61	0,50
30	0,57	0,50	0,56	0,44	0,58	0,53	0,75	0,50	0,59	0,49	0,65	0,59	0,49
31	0,58	0,50	0,57	0,47	0,55	0,54	0,81	0,50	0,59	0,49	0,68	0,59	0,50
MIN <sub>MUŽI</sub>	0,57	0,49	0,55	0,44	0,55	0,53	0,42	0,48	0,58	0,48	0,60	0,55	0,44
MAX <sub>MUŽI</sub>	0,76	0,65	0,75	0,69	0,75	0,65	1,00	0,66	0,71	0,65	0,83	0,83	0,69
Ø <sub>MUŽI</sub>	0,67	0,56	0,62	0,52	0,62	0,56	0,69	0,54	0,63	0,54	0,69	0,64	0,54
SO <sub>MUŽI</sub>	0,07	0,06	0,06	0,07	0,05	0,04	0,18	0,06	0,04	0,06	0,05	0,06	0,06
MIN <sub>ŽENY</sub>	0,64	0,51	0,57	0,46	0,57	0,55	0,68	0,49	0,54	0,48	0,64	0,54	0,46
MAX <sub>ŽENY</sub>	0,77	0,64	0,71	0,64	0,71	0,65	1,09	0,64	0,68	0,64	0,71	0,77	0,65
Ø <sub>ŽENY</sub>	0,68	0,56	0,62	0,53	0,61	0,58	0,85	0,54	0,61	0,53	0,68	0,64	0,55
SO <sub>ŽENY</sub>	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,03	0,14	0,05	0,04	0,06	0,02	0,05	0,05
MIN <sub>M+Ž</sub>	0,57	0,49	0,55	0,44	0,55	0,53	0,42	0,48	0,54	0,48	0,60	0,54	0,44
MAX <sub>M+Ž</sub>	0,77	0,65	0,75	0,69	0,75	0,65	1,09	0,66	0,71	0,65	0,83	0,83	0,69
Ø <sub>M+Ž</sub>	0,67	0,56	0,62	0,52	0,61	0,57	0,74	0,54	0,63	0,53	0,68	0,64	0,54
SO <sub>M+Ž</sub>	0,06	0,06	0,05	0,06	0,05	0,04	0,18	0,06	0,04	0,06	0,04	0,06	0,06

pozn.:  
R = zrychlený sestup  
\* v průměrných hodnotách není uvažován sestup číslo 4

tab. 22 - Pohybové rychlosti na úseku číslo 3

<b>ÚSEK 3</b> <b>(kamery 3 - 4)</b> <b>DÉLKA ÚSEKU: 6,800 m</b>													
OZNAČENÍ FIGURANTA	RYCHLOST OSOB												
	v [m/s]												
	1		2		3		4		5		6	PRŮMĚR	
	↘	↗	↘	↗	↘	↗	↘ R	↗	↘	↗	↘	↘*	↗
1	0,78	0,66	0,72	0,68	0,73	0,67	0,74	0,68	0,69	0,66	0,73	0,73	0,67
2	0,80	0,66	0,75	0,69	0,74	0,68	0,83	0,68	0,67	0,66	0,75	0,74	0,67
3	0,72	0,69	0,70	0,70	0,71	0,68	0,78	0,70	0,63	0,67	0,65	0,68	0,69
4	0,70	0,72	0,66	0,69	0,67	0,71	0,68	0,67	0,61	0,66	0,65	0,66	0,69
5	0,74	0,67	0,66	0,64	0,66	0,60	0,70	0,61	0,68	0,66	0,68	0,68	0,64
6	0,74	0,65	0,60	0,62	0,65	0,62	0,68	0,59	0,61	0,63	0,66	0,65	0,62
7	0,74	0,67	0,63	0,64	0,66	0,64	0,71	0,58	0,55	0,83	0,69	0,65	0,67
8	0,76	0,66	0,63	0,65	0,67	0,66	0,69	0,56	0,56	0,82	0,67	0,66	0,67
9	0,77	0,66	0,65	0,67	0,65	0,70	0,69	0,57	0,54	0,89	0,58	0,64	0,70
10	0,74	0,68	0,71	0,66	0,71	0,62	0,73	0,58	0,52	0,66	0,62	0,66	0,64
11	0,75	0,68	0,73	0,62	0,68	0,62	0,71	0,60	0,54	0,70	0,61	0,66	0,65
12	0,69	0,64	0,65	0,55	0,66	0,58	0,95	0,57	0,60	0,61	0,65	0,65	0,59
13	0,66	0,64	0,65	0,56	0,68	0,61	1,02	0,59	0,60	0,62	0,63	0,64	0,60
14	0,55	0,63	0,63	0,55	0,66	0,61	0,94	0,59	0,60	0,58	0,60	0,61	0,59
15	0,56	0,66	0,64	0,56	0,66	0,64	0,99	0,58	0,59	0,61	0,60	0,61	0,61
16	0,60	0,63	0,64	0,56	0,66	0,59	1,08	0,59	0,62	0,59	0,67	0,64	0,59
17	0,72	0,60	0,55	0,55	0,71	0,60	1,15	0,57	0,64	0,58	0,71	0,67	0,58
18	0,67	0,62	0,57	0,55	0,63	0,61	1,07	0,59	0,62	0,59	0,66	0,63	0,59
19	0,65	0,61	0,56	0,56	0,63	0,63	1,02	0,59	0,61	0,62	0,65	0,62	0,60
20	0,69	0,60	0,57	0,57	0,65	0,61	1,11	0,62	0,62	0,59	0,68	0,64	0,60
21	0,70	0,63	0,57	0,60	0,68	0,64	1,13	0,66	0,59	0,64	0,70	0,65	0,63
22	0,70	0,62	0,60	0,58	0,68	0,60	0,89	0,67	0,65	0,65	0,67	0,66	0,62
23	0,66	0,62	0,60	0,59	0,67	0,61	0,88	0,64	0,69	0,62	0,66	0,66	0,62
24	0,62	0,59	0,57	0,61	0,64	0,59	0,76	0,61	0,65	0,60	0,67	0,63	0,60
25	0,62	0,59	0,57	0,59	0,63	0,62	0,72	0,60	0,65	0,55	0,60	0,61	0,59
26	0,61	0,61	0,58	0,60	0,63	0,66	0,58	0,64	0,65	0,57	0,63	0,62	0,62
27	0,60	0,63	0,58	0,61	0,66	0,66	0,53	0,64	0,62	0,61	0,66	0,62	0,63
28	0,62	0,58	0,59	0,60	0,67	0,59	0,64	0,64	0,70	0,57	0,65	0,65	0,60
29	0,57	0,59	0,60	0,64	0,65	0,61	0,65	0,64	0,59	0,58	0,65	0,61	0,61
30	0,57	0,61	0,62	0,66	0,65	0,62	0,71	0,65	0,53	0,61	0,67	0,61	0,63
31	0,55	0,62	0,63	0,64	0,65	0,64	0,64	0,69	0,57	0,61	0,81	0,64	0,64
MIN <sub>MUŽI</sub>	0,55	0,58	0,56	0,55	0,63	0,59	0,53	0,56	0,52	0,55	0,58	0,52	0,55
MAX <sub>MUŽI</sub>	0,80	0,68	0,75	0,69	0,74	0,70	1,13	0,69	0,70	0,89	0,81	0,81	0,89
Ø <sub>MUŽI</sub>	0,68	0,63	0,62	0,62	0,66	0,63	0,76	0,62	0,61	0,65	0,67	0,65	0,63
SO <sub>MUŽI</sub>	0,08	0,03	0,06	0,04	0,03	0,03	0,17	0,04	0,05	0,09	0,05	0,06	0,05
MIN <sub>ŽENY</sub>	0,55	0,60	0,55	0,55	0,66	0,58	0,68	0,57	0,59	0,58	0,60	0,55	0,55
MAX <sub>ŽENY</sub>	0,72	0,72	0,70	0,70	0,71	0,71	1,15	0,70	0,69	0,67	0,71	0,72	0,72
Ø <sub>ŽENY</sub>	0,66	0,64	0,63	0,59	0,68	0,62	0,93	0,62	0,62	0,62	0,65	0,65	0,62
SO <sub>ŽENY</sub>	0,06	0,03	0,04	0,05	0,02	0,04	0,13	0,05	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05
MIN <sub>M+Ž</sub>	0,55	0,58	0,55	0,55	0,63	0,58	0,53	0,56	0,52	0,55	0,58	0,52	0,55
MAX <sub>M+Ž</sub>	0,80	0,72	0,75	0,70	0,74	0,71	1,15	0,70	0,70	0,89	0,81	0,81	0,89
Ø <sub>M+Ž</sub>	0,67	0,64	0,63	0,61	0,67	0,63	0,82	0,62	0,61	0,64	0,66	0,65	0,63
SO <sub>M+Ž</sub>	0,07	0,03	0,05	0,05	0,03	0,03	0,18	0,04	0,05	0,08	0,05	0,06	0,05

pozn.:  
R = zrychlený sestup  
\* v průměrných hodnotách není uvažován sestup číslo 4



tab. 23 - Pohybové rychlosti na úseku číslo 4

<b>ÚSEK 4</b> <b>(kamery 4 - 5)</b> <b>DÉLKA ÚSEKU: 4,840 m</b>													
OZNAČENÍ FIGURANTA	RYCHLOST OSOB												
	v [m/s]												
	1		2		3		4		5		6	PRŮMĚR	
	↘	↗	↘	↗	↘	↗	↘ R	↗	↘	↗	↘	↘*	↗
1	1,32	1,30	1,21	1,44	1,33	1,28	1,28	1,32	1,21	1,33	1,17	1,25	1,33
2	1,12	1,44	1,09	1,48	1,25	1,38	1,16	1,37	1,07	1,32	1,00	1,11	1,40
3	1,05	1,44	1,02	1,53	1,08	1,47	1,23	1,34	0,91	1,33	0,90	0,99	1,42
4	0,95	1,47	1,07	1,48	1,10	1,63	1,34	1,31	0,87	1,22	0,96	0,99	1,42
5	0,87	1,48	0,97	1,28	1,08	1,20	1,25	1,13	0,97	1,17	1,02	0,98	1,25
6	0,88	1,44	1,19	1,45	1,12	1,17	1,13	1,13	0,98	1,20	1,19	1,07	1,28
7	0,82	1,51	1,06	1,61	1,04	1,04	0,95	1,44	0,98	1,23	1,07	0,99	1,37
8	0,78	1,47	1,04	1,50	1,04	1,20	1,19	1,38	0,91	1,36	1,14	0,98	1,38
9	0,76	1,69	1,04	1,61	0,94	1,45	1,75	1,40	0,99	1,86	1,09	0,97	1,60
10	0,69	1,42	0,80	1,31	0,75	1,11	1,89	1,08	0,80	1,33	0,72	0,75	1,25
11	0,69	1,33	0,70	1,63	0,77	1,26	2,10	1,13	0,78	1,31	0,91	0,77	1,33
12	0,65	1,19	0,78	1,20	0,79	1,22	1,44	1,24	0,76	1,33	0,93	0,78	1,24
13	0,72	1,34	0,80	1,33	0,74	1,27	1,94	1,23	0,72	1,34	0,89	0,78	1,31
14	0,99	1,30	0,82	1,37	0,70	1,23	1,89	1,31	0,68	1,56	1,05	0,85	1,35
15	0,92	1,28	0,77	1,34	0,68	1,19	1,63	1,31	0,67	1,42	0,99	0,81	1,31
16	0,88	1,23	0,78	1,24	0,73	1,14	1,86	1,14	0,68	1,31	0,94	0,80	1,21
17	1,30	1,15	1,08	1,31	1,36	1,15	1,56	1,27	0,78	1,32	1,33	1,17	1,24
18	1,26	1,10	1,00	1,16	1,18	1,17	1,75	1,37	0,84	1,38	1,08	1,07	1,24
19	1,15	1,17	0,97	1,11	1,08	1,20	1,79	1,28	0,76	1,34	1,07	1,01	1,22
20	1,03	1,34	1,05	1,13	1,02	1,31	1,86	1,36	0,88	1,42	1,21	1,04	1,31
21	0,92	1,21	0,90	1,21	0,83	1,30	1,89	1,26	1,11	1,26	1,19	0,99	1,25
22	0,89	1,28	0,76	1,27	0,76	1,32	1,54	1,30	1,04	1,21	1,11	0,91	1,28
23	0,81	1,37	0,72	1,41	0,78	1,40	1,75	1,45	1,27	1,47	1,31	0,98	1,42
24	1,07	1,04	0,96	1,23	0,80	1,16	1,21	1,11	1,13	1,11	1,16	1,02	1,13
25	0,94	1,19	0,85	1,23	0,74	1,24	1,37	1,13	1,06	1,30	1,20	0,96	1,22
26	0,87	1,11	0,76	1,21	0,69	1,16	1,26	1,03	1,03	1,24	1,13	0,90	1,15
27	0,70	1,16	0,70	1,27	0,64	1,02	1,03	0,96	1,15	0,92	1,01	0,84	1,07
28	0,83	1,34	0,62	1,33	0,62	1,23	0,66	1,04	0,78	1,23	0,97	0,76	1,23
29	0,74	1,13	0,62	1,37	0,63	1,21	0,56	1,17	0,97	1,12	1,07	0,81	1,20
30	0,71	1,13	0,60	1,40	0,58	1,33	0,58	1,11	1,22	1,08	1,06	0,83	1,21
31	0,67	1,27	0,54	1,21	0,57	1,42	0,59	1,22	0,93	1,20	0,71	0,68	1,27
MIN <sub>MUŽI</sub>	0,67	1,04	0,54	1,11	0,57	1,02	0,56	0,96	0,76	0,92	0,71	0,54	0,92
MAX <sub>MUŽI</sub>	1,32	1,69	1,21	1,63	1,33	1,45	2,10	1,44	1,22	1,86	1,21	1,33	1,86
Ø <sub>MUŽI</sub>	0,90	1,30	0,89	1,34	0,89	1,23	1,30	1,21	0,98	1,27	1,06	0,94	1,27
SO <sub>MUŽI</sub>	0,19	0,16	0,20	0,16	0,23	0,11	0,47	0,14	0,14	0,17	0,14	0,19	0,16
MIN <sub>ŽENY</sub>	0,65	1,15	0,72	1,20	0,68	1,14	1,23	1,14	0,67	1,21	0,89	0,65	1,14
MAX <sub>ŽENY</sub>	1,30	1,47	1,08	1,53	1,36	1,63	1,94	1,45	1,27	1,56	1,33	1,36	1,63
Ø <sub>ŽENY</sub>	0,92	1,31	0,86	1,35	0,87	1,30	1,62	1,29	0,84	1,35	1,04	0,90	1,32
SO <sub>ŽENY</sub>	0,17	0,10	0,13	0,10	0,21	0,15	0,23	0,08	0,18	0,10	0,15	0,19	0,11
MIN <sub>M+Ž</sub>	0,65	1,04	0,54	1,11	0,57	1,02	0,56	0,96	0,67	0,92	0,71	0,54	0,92
MAX <sub>M+Ž</sub>	1,32	1,69	1,21	1,63	1,36	1,63	2,10	1,45	1,27	1,86	1,33	1,36	1,86
Ø <sub>M+Ž</sub>	0,90	1,30	0,88	1,34	0,88	1,25	1,40	1,24	0,93	1,30	1,05	0,93	1,29
SO <sub>M+Ž</sub>	0,18	0,15	0,18	0,14	0,23	0,13	0,43	0,13	0,17	0,16	0,14	0,19	0,15

pozn.:  
R = zrychlený sestup  
\* v průměrných hodnotách není uvažován sestup číslo 4

tab. 24 - Pohybové rychlosti na úseku číslo 5

<b>ÚSEK 5</b> <b>(kamery 5 - 6)</b> <b>DÉLKA ÚSEKU: 8,720 m</b>													
OZNAČENÍ FIGURANTA	RYCHLOST OSOB												
	v [m/s]												
	1		2		3		4		5		6	PRŮMĚR	
	↘	↗	↘	↗	↘	↗	↘ R	↗	↘	↗	↘	↘*	↗
1	0,90	0,68	0,81	0,66	0,87	0,69	0,86	0,67	0,77	0,64	0,76	0,82	0,67
2	0,93	0,66	0,85	0,66	0,89	0,68	0,85	0,66	0,76	0,65	0,83	0,85	0,66
3	0,97	0,66	0,87	0,65	0,93	0,68	0,93	0,67	0,74	0,66	0,81	0,86	0,66
4	0,99	0,65	0,88	0,67	0,94	0,66	0,92	0,65	0,75	0,65	0,83	0,88	0,66
5	0,98	0,58	0,91	0,63	0,92	0,70	1,10	0,58	0,61	0,65	0,82	0,85	0,63
6	0,93	0,68	0,88	0,65	0,87	0,61	1,17	0,59	0,75	0,66	0,72	0,83	0,64
7	0,98	0,67	0,88	0,63	0,87	0,62	1,21	0,60	0,72	0,65	0,75	0,84	0,63
8	0,98	0,69	0,87	0,64	0,90	0,59	1,38	0,63	0,72	0,63	0,80	0,85	0,64
9	0,97	0,68	0,88	0,64	0,94	0,54	1,42	0,59	0,70	0,64	0,72	0,84	0,62
10	0,98	0,71	0,89	0,70	0,94	0,64	1,67	0,68	0,70	0,74	0,80	0,86	0,69
11	0,98	0,73	0,91	0,71	0,93	0,62	1,84	0,65	0,75	0,73	0,78	0,87	0,69
12	1,02	0,63	0,89	0,62	0,91	0,63	1,31	0,60	0,74	0,62	0,86	0,89	0,62
13	0,91	0,62	0,86	0,59	0,91	0,61	1,30	0,59	0,75	0,61	0,91	0,87	0,61
14	0,86	0,63	0,83	0,59	0,94	0,62	1,30	0,57	0,76	0,62	0,84	0,84	0,61
15	0,87	0,62	0,85	0,60	0,97	0,60	1,53	0,58	0,82	0,63	0,85	0,87	0,61
16	0,82	0,62	0,83	0,61	0,91	0,60	1,33	0,61	0,82	0,64	0,78	0,83	0,62
17	0,80	0,61	0,82	0,57	0,73	0,58	1,16	0,59	0,84	0,60	0,81	0,80	0,59
18	0,77	0,60	0,79	0,59	0,73	0,58	1,33	0,58	0,83	0,59	0,84	0,79	0,59
19	0,79	0,60	0,79	0,59	0,74	0,57	1,25	0,58	0,84	0,59	0,84	0,80	0,59
20	0,77	0,60	0,75	0,58	0,74	0,57	1,24	0,57	0,87	0,58	0,78	0,78	0,58
21	0,78	0,60	0,78	0,56	0,78	0,57	1,23	0,57	0,90	0,57	0,74	0,80	0,57
22	0,79	0,62	0,81	0,58	0,82	0,59	1,26	0,57	0,95	0,58	0,77	0,83	0,59
23	0,80	0,61	0,84	0,57	0,80	0,59	0,96	0,57	0,79	0,56	0,82	0,81	0,58
24	0,71	0,71	0,72	0,58	0,79	0,63	0,86	0,62	0,77	0,60	0,79	0,75	0,63
25	0,75	0,69	0,74	0,62	0,81	0,63	0,96	0,60	0,76	0,63	0,93	0,80	0,63
26	0,78	0,71	0,77	0,61	0,84	0,63	1,05	0,60	0,75	0,61	0,86	0,80	0,63
27	0,77	0,66	0,78	0,60	0,87	0,65	1,07	0,61	0,81	0,65	0,83	0,81	0,63
28	0,70	0,70	0,80	0,62	0,87	0,68	1,09	0,60	0,77	0,57	0,77	0,78	0,63
29	0,72	0,69	0,78	0,62	0,84	0,67	1,02	0,57	0,70	0,57	0,76	0,76	0,62
30	0,73	0,68	0,76	0,59	0,89	0,67	0,88	0,56	0,66	0,56	0,74	0,76	0,61
31	0,76	0,68	0,80	0,61	0,90	0,63	1,02	0,52	0,69	0,51	0,69	0,77	0,59
MIN <sub>MUŽI</sub>	0,70	0,58	0,72	0,56	0,73	0,54	0,85	0,52	0,61	0,51	0,69	0,61	0,51
MAX <sub>MUŽI</sub>	0,98	0,73	0,91	0,71	0,94	0,70	1,84	0,68	0,90	0,74	0,93	0,98	0,74
Ø <sub>MUŽI</sub>	0,84	0,67	0,82	0,62	0,85	0,63	1,17	0,60	0,75	0,62	0,79	0,81	0,63
SO <sub>MUŽI</sub>	0,11	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04	0,25	0,04	0,07	0,05	0,05	0,08	0,05
MIN <sub>ŽENY</sub>	0,79	0,61	0,81	0,57	0,73	0,58	0,92	0,57	0,74	0,56	0,77	0,73	0,56
MAX <sub>ŽENY</sub>	1,02	0,66	0,89	0,67	0,97	0,68	1,53	0,67	0,95	0,66	0,91	1,02	0,68
Ø <sub>ŽENY</sub>	0,88	0,63	0,85	0,60	0,89	0,62	1,20	0,60	0,80	0,62	0,83	0,85	0,61
SO <sub>ŽENY</sub>	0,08	0,01	0,03	0,03	0,07	0,03	0,19	0,03	0,06	0,03	0,04	0,07	0,03
MIN <sub>M+Ž</sub>	0,70	0,58	0,72	0,56	0,73	0,54	0,85	0,52	0,61	0,51	0,69	0,61	0,51
MAX <sub>M+Ž</sub>	1,02	0,73	0,91	0,71	0,97	0,70	1,84	0,68	0,95	0,74	0,93	1,02	0,74
Ø <sub>M+Ž</sub>	0,85	0,65	0,83	0,62	0,86	0,62	1,18	0,60	0,77	0,62	0,80	0,82	0,62
SO <sub>M+Ž</sub>	0,10	0,04	0,05	0,04	0,07	0,04	0,24	0,04	0,07	0,05	0,05	0,08	0,04

pozn.:  
R = zrychlený sestup  
\* v průměrných hodnotách není uvažován sestup číslo 4

tab. 25 - Pohybové rychlosti na úseku číslo 6

<b>ÚSEK 6</b> <b>(kamery 6 - 7)</b> <b>DÉLKA ÚSEKU: 8,740 m</b>													
OZNAČENÍ FIGURANTA	RYCHLOST OSOB												
	v [m/s]												
	1		2		3		4		5		6	PRŮMĚR	
	↘	↗	↘	↗	↘	↗	↘ R	↗	↘	↗	↘	↘*	↗
1	0,89	0,65	0,78	0,67	0,79	0,66	0,80	0,66	0,76	0,65	0,76	0,80	0,66
2	0,90	0,67	0,77	0,66	0,77	0,66	0,80	0,66	0,73	0,65	0,73	0,78	0,66
3	0,88	0,68	0,76	0,66	0,76	0,67	0,82	0,66	0,74	0,66	0,77	0,78	0,67
4	0,86	0,66	0,74	0,63	0,73	0,69	0,91	0,66	0,71	0,65	0,75	0,76	0,66
5	0,86	0,79	0,74	0,76	0,72	0,87	1,05	0,58	0,73	0,66	0,76	0,76	0,73
6	0,83	0,66	0,73	0,68	0,74	0,68	1,11	0,56	0,62	0,64	0,71	0,73	0,64
7	0,81	0,64	0,71	0,67	0,72	0,70	1,20	0,58	0,65	0,63	0,68	0,71	0,64
8	0,80	0,64	0,71	0,66	0,70	0,70	1,37	0,59	0,68	0,63	0,72	0,72	0,64
9	0,79	0,63	0,70	0,65	0,71	0,69	1,48	0,56	0,69	0,63	0,74	0,72	0,63
10	0,79	0,63	0,69	0,67	0,71	0,68	1,61	0,58	0,69	0,71	0,70	0,71	0,66
11	0,76	0,63	0,70	0,61	0,70	0,69	1,82	0,59	0,66	0,68	0,70	0,70	0,64
12	0,74	0,60	0,67	0,59	0,69	0,62	1,34	0,58	0,68	0,63	0,76	0,71	0,60
13	0,74	0,61	0,68	0,59	0,67	0,61	1,38	0,59	0,67	0,63	0,74	0,70	0,61
14	0,81	0,62	0,71	0,59	0,67	0,61	1,28	0,59	0,69	0,63	0,77	0,73	0,61
15	0,79	0,63	0,71	0,58	0,66	0,63	1,43	0,59	0,70	0,61	0,78	0,73	0,61
16	0,83	0,63	0,74	0,58	0,68	0,60	1,42	0,59	0,74	0,60	0,81	0,76	0,60
17	0,68	0,62	0,72	0,59	0,71	0,58	1,13	0,59	0,78	0,62	0,74	0,73	0,60
18	0,70	0,62	0,71	0,59	0,71	0,59	1,17	0,60	0,79	0,61	0,76	0,73	0,60
19	0,68	0,63	0,70	0,60	0,70	0,58	1,21	0,61	0,83	0,61	0,76	0,73	0,61
20	0,67	0,62	0,68	0,60	0,69	0,58	1,24	0,61	0,80	0,61	0,76	0,72	0,60
21	0,68	0,62	0,67	0,61	0,68	0,58	1,31	0,61	0,79	0,63	0,82	0,73	0,61
22	0,66	0,59	0,65	0,59	0,68	0,58	1,23	0,61	0,79	0,62	0,80	0,71	0,60
23	0,66	0,59	0,66	0,59	0,67	0,58	0,96	0,60	0,76	0,62	0,74	0,70	0,60
24	0,67	0,59	0,66	0,59	0,67	0,58	0,85	0,62	0,69	0,65	0,80	0,70	0,61
25	0,65	0,59	0,66	0,59	0,66	0,58	0,82	0,62	0,71	0,63	0,72	0,68	0,60
26	0,64	0,60	0,64	0,59	0,65	0,58	0,90	0,62	0,66	0,64	0,73	0,66	0,60
27	0,68	0,60	0,66	0,59	0,63	0,59	0,97	0,63	0,67	0,64	0,74	0,67	0,61
28	0,64	0,58	0,66	0,59	0,62	0,59	0,96	0,60	0,65	0,61	0,72	0,66	0,59
29	0,67	0,60	0,67	0,57	0,62	0,58	0,98	0,60	0,60	0,61	0,66	0,64	0,59
30	0,68	0,59	0,66	0,59	0,61	0,57	0,85	0,62	0,60	0,61	0,64	0,64	0,60
31	0,66	0,56	0,65	0,61	0,59	0,57	0,98	0,57	0,53	0,66	0,70	0,63	0,59
MIN <sub>MUŽI</sub>	0,64	0,56	0,64	0,57	0,59	0,57	0,80	0,56	0,53	0,61	0,64	0,53	0,56
MAX <sub>MUŽI</sub>	0,90	0,79	0,78	0,76	0,79	0,87	1,82	0,66	0,83	0,71	0,82	0,90	0,87
Ø <sub>MUŽI</sub>	0,73	0,63	0,69	0,63	0,68	0,63	1,12	0,60	0,69	0,64	0,73	0,71	0,63
SO <sub>MUŽI</sub>	0,08	0,05	0,04	0,04	0,05	0,07	0,27	0,03	0,07	0,03	0,04	0,06	0,05
MIN <sub>ŽENY</sub>	0,66	0,59	0,65	0,58	0,66	0,58	0,82	0,58	0,67	0,60	0,74	0,65	0,58
MAX <sub>ŽENY</sub>	0,88	0,68	0,76	0,66	0,76	0,69	1,43	0,66	0,79	0,66	0,81	0,88	0,69
Ø <sub>ŽENY</sub>	0,76	0,62	0,70	0,60	0,69	0,62	1,19	0,61	0,73	0,63	0,77	0,73	0,61
SO <sub>ŽENY</sub>	0,08	0,03	0,04	0,02	0,03	0,04	0,21	0,03	0,04	0,02	0,03	0,05	0,03
MIN <sub>M+Ž</sub>	0,64	0,56	0,64	0,57	0,59	0,57	0,80	0,56	0,53	0,60	0,64	0,53	0,56
MAX <sub>M+Ž</sub>	0,90	0,79	0,78	0,76	0,79	0,87	1,82	0,66	0,83	0,71	0,82	0,90	0,87
Ø <sub>M+Ž</sub>	0,74	0,62	0,70	0,62	0,69	0,63	1,14	0,60	0,70	0,63	0,74	0,71	0,62
SO <sub>M+Ž</sub>	0,08	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,26	0,03	0,07	0,02	0,04	0,06	0,04

pozn.:  
R = zrychlený sestup  
\* v průměrných hodnotách není uvažován sestup číslo 4



tab. 26 - Pohybové rychlosti na úseku číslo 7

<b>ÚSEK 7</b> <b>(kamery 7 - 8)</b> <b>DÉLKA ÚSEKU: 8,360 m</b>													
OZNAČENÍ FIGURANTA	RYCHLOST OSOB												
	v [m/s]												
	1		2		3		4		5		6	PRŮMĚR	
	↘	↗	↘	↗	↘	↗	↘ R	↗	↘	↗	↘	↘*	↗
1	0,91	0,67	0,78	0,65	0,83	0,68	0,78	0,67	0,81	0,65	0,76	0,82	0,66
2	0,92	0,64	0,79	0,64	0,85	0,67	0,77	0,67	0,72	0,64	0,77	0,81	0,65
3	0,98	0,62	0,81	0,63	0,87	0,65	0,81	0,65	0,73	0,64	0,78	0,84	0,64
4	1,03	0,61	0,80	0,62	0,86	0,65	0,82	0,65	0,73	0,64	0,75	0,83	0,64
5	0,96	0,61	0,80	0,63	0,85	0,61	0,89	0,59	0,68	0,67	0,75	0,81	0,62
6	0,95	0,62	0,77	0,64	0,82	0,64	1,10	0,58	0,68	0,65	0,76	0,80	0,63
7	0,96	0,60	0,76	0,62	0,82	0,63	1,42	0,56	0,69	0,64	0,82	0,81	0,61
8	0,98	0,59	0,77	0,61	0,85	0,63	1,36	0,57	0,70	0,64	0,77	0,81	0,61
9	0,99	0,60	0,76	0,63	0,84	0,63	1,54	0,62	0,73	0,58	0,74	0,81	0,61
10	1,00	0,59	0,79	0,59	0,86	0,63	1,52	0,59	0,81	0,60	0,82	0,86	0,60
11	1,07	0,58	0,80	0,61	0,95	0,63	1,78	0,59	0,82	0,63	0,74	0,88	0,61
12	1,13	0,54	0,86	0,59	0,98	0,60	1,48	0,58	0,73	0,60	0,73	0,89	0,58
13	1,15	0,53	0,82	0,60	1,03	0,61	1,42	0,57	0,76	0,59	0,74	0,90	0,58
14	0,96	0,53	0,80	0,57	1,02	0,59	1,41	0,57	0,83	0,57	0,80	0,88	0,57
15	0,99	0,52	0,82	0,57	1,02	0,57	1,59	0,56	0,84	0,58	0,85	0,91	0,56
16	0,96	0,53	0,80	0,56	1,02	0,57	1,54	0,56	0,86	0,57	0,92	0,91	0,56
17	0,69	0,56	0,73	0,57	0,73	0,58	1,13	0,55	0,78	0,58	0,75	0,74	0,57
18	0,66	0,56	0,73	0,56	0,76	0,55	1,18	0,54	0,81	0,60	0,81	0,75	0,56
19	0,68	0,55	0,74	0,56	0,77	0,55	1,27	0,53	0,86	0,59	0,86	0,78	0,56
20	0,67	0,55	0,74	0,54	0,76	0,54	1,36	0,53	0,86	0,58	0,94	0,79	0,55
21	0,69	0,51	0,77	0,51	0,76	0,52	1,42	0,51	0,83	0,56	0,93	0,80	0,53
22	0,69	0,52	0,77	0,51	0,75	0,53	1,30	0,52	0,82	0,56	0,92	0,79	0,53
23	0,72	0,51	0,76	0,50	0,76	0,51	1,06	0,51	0,80	0,55	0,86	0,78	0,52
24	0,72	0,48	0,76	0,51	0,76	0,50	0,92	0,51	0,78	0,56	0,78	0,76	0,51
25	0,72	0,50	0,76	0,50	0,76	0,50	0,82	0,52	0,75	0,57	0,75	0,75	0,52
26	0,77	0,49	0,79	0,50	0,78	0,48	0,81	0,50	0,74	0,55	0,72	0,76	0,50
27	0,75	0,49	0,85	0,49	0,82	0,48	1,13	0,51	0,63	0,53	0,72	0,76	0,50
28	0,79	0,49	0,87	0,49	0,82	0,47	1,29	0,53	0,69	0,60	0,76	0,79	0,52
29	0,79	0,48	0,89	0,49	0,84	0,47	1,20	0,55	0,62	0,60	0,66	0,76	0,52
30	0,79	0,48	0,93	0,49	0,84	0,47	1,40	0,55	0,57	0,60	0,64	0,75	0,52
31	0,78	0,49	0,92	0,48	0,89	0,46	1,12	0,52	0,54	0,49	0,62	0,75	0,49
MIN <sub>MUŽI</sub>	0,66	0,48	0,73	0,48	0,76	0,46	0,77	0,50	0,54	0,49	0,62	0,54	0,46
MAX <sub>MUŽI</sub>	1,07	0,67	0,93	0,65	0,95	0,68	1,78	0,67	0,86	0,67	0,94	1,07	0,68
Ø <sub>MUŽI</sub>	0,84	0,55	0,80	0,56	0,82	0,56	1,19	0,56	0,73	0,60	0,77	0,79	0,57
SO <sub>MUŽI</sub>	0,13	0,06	0,06	0,06	0,05	0,07	0,28	0,05	0,09	0,04	0,08	0,09	0,06
MIN <sub>ŽENY</sub>	0,69	0,51	0,73	0,50	0,73	0,51	0,81	0,51	0,73	0,55	0,73	0,69	0,50
MAX <sub>ŽENY</sub>	1,15	0,62	0,86	0,63	1,03	0,65	1,59	0,65	0,86	0,64	0,92	1,15	0,65
Ø <sub>ŽENY</sub>	0,93	0,55	0,80	0,57	0,91	0,59	1,25	0,57	0,79	0,59	0,81	0,85	0,57
SO <sub>ŽENY</sub>	0,16	0,04	0,03	0,04	0,12	0,04	0,27	0,04	0,05	0,03	0,07	0,11	0,04
MIN <sub>M+Ž</sub>	0,66	0,48	0,73	0,48	0,73	0,46	0,77	0,50	0,54	0,49	0,62	0,54	0,46
MAX <sub>M+Ž</sub>	1,15	0,67	0,93	0,65	1,03	0,68	1,78	0,67	0,86	0,67	0,94	1,15	0,68
Ø <sub>M+Ž</sub>	0,87	0,55	0,80	0,56	0,85	0,57	1,21	0,56	0,75	0,59	0,78	0,81	0,57
SO <sub>M+Ž</sub>	0,15	0,05	0,05	0,06	0,09	0,07	0,28	0,05	0,08	0,04	0,08	0,10	0,05

pozn.:  
R = zrychlený sestup  
\* v průměrných hodnotách není uvažován sestup číslo 4

tab. 27 - Pohybové rychlosti na úseku číslo 8

<b>ÚSEK 8</b> <b>(kamery 8 - 9)</b> <b>DÉLKA ÚSEKU: 3,400 m</b>													
OZNAČENÍ FIGURANTA	RYCHLOST OSOB												
	v [m/s]												
	1		2		3		4		5		6	PRŮMĚR	
	↘	↗	↘	↗	↘	↗	↘ R	↗	↘	↗	↘	↘*	↗
1	0,85	0,58	0,63	0,62	0,83	0,64	0,70	0,62	0,68	0,65	0,69	0,74	0,62
2	1,17	0,58	0,65	0,62	0,78	0,61	0,86	0,61	1,00	0,65	0,84	0,89	0,61
3	0,94	0,57	0,59	0,60	0,77	0,61	0,75	0,59	0,76	0,60	0,67	0,75	0,59
4	0,91	0,56	0,64	0,60	0,80	0,60	1,19	0,61	0,72	0,59	0,76	0,77	0,59
5	0,95	0,59	0,66	0,55	0,87	0,60	0,88	0,52	0,68	0,57	0,74	0,78	0,57
6	0,96	0,56	0,70	0,58	0,85	0,65	1,13	0,55	0,68	0,60	0,81	0,80	0,59
7	0,98	0,64	0,74	0,62	0,89	0,67	1,29	0,58	0,74	0,61	0,77	0,83	0,63
8	0,97	0,63	0,72	0,65	0,89	0,68	1,32	0,55	0,76	0,59	0,94	0,86	0,62
9	0,99	0,65	0,72	0,56	0,90	0,71	1,31	0,66	0,69	0,58	0,76	0,81	0,63
10	0,95	0,60	0,74	0,56	0,90	0,68	1,38	0,59	0,80	0,58	0,75	0,83	0,60
11	0,93	0,57	0,74	0,61	0,86	0,59	1,59	0,63	0,78	0,50	0,86	0,84	0,58
12	0,89	0,61	0,70	0,58	0,86	0,56	1,36	0,59	0,76	0,56	0,75	0,79	0,58
13	0,93	0,59	0,76	0,59	0,93	0,55	1,42	0,58	1,02	0,56	0,95	0,92	0,58
14	0,74	0,56	0,69	0,62	0,95	0,56	1,32	0,57	0,89	0,56	0,80	0,81	0,57
15	0,79	0,56	0,70	0,63	1,05	0,55	1,38	0,55	1,04	0,57	0,99	0,91	0,57
16	0,82	0,54	0,72	0,53	1,02	0,53	1,50	0,55	1,00	0,55	0,99	0,91	0,54
17	0,71	0,53	0,66	0,54	0,79	0,54	1,40	0,52	0,78	0,57	0,77	0,74	0,54
18	0,67	0,53	0,66	0,53	0,74	0,55	1,13	0,50	0,92	0,54	0,89	0,78	0,53
19	0,68	0,50	0,68	0,50	0,73	0,56	1,19	0,51	0,85	0,54	0,93	0,77	0,52
20	0,71	0,45	0,65	0,47	0,78	0,52	1,24	0,50	0,90	0,55	1,02	0,81	0,50
21	0,74	0,48	0,63	0,51	0,80	0,49	1,11	0,50	0,88	0,51	0,89	0,79	0,50
22	0,79	0,48	0,67	0,52	0,83	0,46	1,29	0,52	0,86	0,52	0,89	0,81	0,50
23	0,78	0,48	0,68	0,55	0,81	0,48	1,02	0,52	0,77	0,52	0,84	0,78	0,51
24	0,68	0,49	0,65	0,52	0,77	0,52	0,89	0,53	0,78	0,52	0,84	0,75	0,52
25	0,74	0,46	0,75	0,53	0,86	0,46	0,90	0,51	0,82	0,50	0,88	0,81	0,49
26	0,68	0,49	0,73	0,56	0,83	0,51	0,87	0,55	0,75	0,53	0,77	0,75	0,53
27	0,65	0,55	0,63	0,58	0,78	0,50	0,68	0,63	0,65	0,61	0,65	0,67	0,58
28	0,74	0,56	0,63	0,65	0,86	0,59	0,98	0,73	0,59	0,58	0,70	0,70	0,62
29	0,68	0,59	0,61	0,65	0,82	0,59	1,19	0,73	0,65	0,59	0,68	0,69	0,63
30	0,68	0,68	0,70	0,68	0,98	0,65	1,10	0,73	0,64	0,60	0,77	0,75	0,67
31	0,76	0,62	0,75	0,60	0,84	0,52	1,11	0,67	0,71	0,65	0,69	0,75	0,61
MIN <sub>MUŽI</sub>	0,65	0,45	0,61	0,47	0,73	0,46	0,68	0,50	0,59	0,50	0,65	0,59	0,45
MAX <sub>MUŽI</sub>	1,17	0,68	0,75	0,68	0,98	0,71	1,59	0,73	1,00	0,65	1,02	1,17	0,73
Ø <sub>MUŽI</sub>	0,82	0,56	0,68	0,58	0,84	0,59	1,09	0,59	0,76	0,57	0,80	0,78	0,58
SO <sub>MUŽI</sub>	0,15	0,06	0,05	0,05	0,06	0,07	0,23	0,08	0,10	0,04	0,10	0,11	0,06
MIN <sub>ŽENY</sub>	0,71	0,48	0,59	0,52	0,77	0,46	0,75	0,52	0,72	0,52	0,67	0,59	0,46
MAX <sub>ŽENY</sub>	0,94	0,61	0,76	0,63	1,05	0,61	1,50	0,61	1,04	0,60	0,99	1,05	0,63
Ø <sub>ŽENY</sub>	0,83	0,55	0,68	0,58	0,88	0,54	1,26	0,56	0,86	0,56	0,84	0,82	0,56
SO <sub>ŽENY</sub>	0,08	0,04	0,04	0,04	0,09	0,04	0,21	0,03	0,12	0,02	0,10	0,12	0,04
MIN <sub>M+Ž</sub>	0,65	0,45	0,59	0,47	0,73	0,46	0,68	0,50	0,59	0,50	0,65	0,59	0,45
MAX <sub>M+Ž</sub>	1,17	0,68	0,76	0,68	1,05	0,71	1,59	0,73	1,04	0,65	1,02	1,17	0,73
Ø <sub>M+Ž</sub>	0,82	0,56	0,68	0,58	0,85	0,57	1,14	0,58	0,79	0,57	0,82	0,79	0,57
SO <sub>M+Ž</sub>	0,13	0,06	0,05	0,05	0,08	0,07	0,24	0,07	0,12	0,04	0,10	0,11	0,06

pozn.:  
R = zrychlený sestup  
\* v průměrných hodnotách není uvažován sestup číslo 4

tab. 28 - Průměrné pohybové rychlosti na úsecích číslo 1-3

<b>ÚSEK 1-3</b> <b>(kamery 1 - 4)</b> <b>DÉLKA ÚSEKU: 19,680 m</b>													
OZNAČENÍ FIGURANTA	RYCHLOST OSOB												
	v [m/s]												
	1		2		3		4		5		6	PRŮMĚR	
	↘	↗	↘	↗	↘	↗	↘ R	↗	↘	↗	↘	↘*	↗
1	0,79	0,67	0,75	0,69	0,76	0,66	0,81	0,67	0,70	0,67	0,74	0,75	0,67
2	0,78	0,66	0,75	0,68	0,75	0,65	0,81	0,66	0,71	0,66	0,75	0,75	0,66
3	0,74	0,66	0,74	0,67	0,73	0,64	0,79	0,65	0,69	0,65	0,70	0,72	0,65
4	0,74	0,65	0,73	0,65	0,72	0,63	0,74	0,63	0,66	0,64	0,71	0,71	0,64
5	0,77	0,63	0,72	0,62	0,70	0,59	0,71	0,58	0,71	0,63	0,70	0,72	0,61
6	0,76	0,62	0,69	0,60	0,70	0,59	0,68	0,57	0,67	0,61	0,72	0,71	0,60
7	0,76	0,63	0,70	0,60	0,70	0,61	0,68	0,54	0,67	0,62	0,71	0,71	0,60
8	0,76	0,63	0,70	0,61	0,69	0,60	0,63	0,53	0,67	0,61	0,68	0,70	0,60
9	0,75	0,62	0,70	0,61	0,68	0,60	0,60	0,52	0,59	0,60	0,67	0,68	0,59
10	0,77	0,62	0,71	0,59	0,70	0,58	0,58	0,50	0,57	0,55	0,69	0,69	0,57
11	0,76	0,62	0,71	0,57	0,69	0,57	0,58	0,50	0,58	0,56	0,68	0,69	0,56
12	0,75	0,58	0,67	0,53	0,65	0,55	0,76	0,49	0,62	0,53	0,69	0,68	0,54
13	0,72	0,58	0,66	0,54	0,66	0,56	0,82	0,50	0,62	0,53	0,68	0,67	0,54
14	0,64	0,57	0,66	0,54	0,65	0,56	0,91	0,50	0,62	0,51	0,67	0,65	0,54
15	0,64	0,57	0,66	0,54	0,65	0,57	0,93	0,50	0,62	0,51	0,67	0,65	0,54
16	0,66	0,57	0,66	0,54	0,66	0,56	1,07	0,50	0,63	0,51	0,69	0,66	0,54
17	0,70	0,56	0,61	0,54	0,67	0,56	1,11	0,50	0,64	0,50	0,69	0,66	0,53
18	0,69	0,56	0,61	0,53	0,64	0,55	1,01	0,49	0,64	0,50	0,67	0,65	0,53
19	0,68	0,55	0,60	0,53	0,64	0,55	1,03	0,49	0,64	0,50	0,67	0,65	0,52
20	0,68	0,54	0,61	0,53	0,65	0,54	1,02	0,50	0,64	0,49	0,68	0,65	0,52
21	0,69	0,55	0,61	0,53	0,67	0,55	0,87	0,51	0,60	0,49	0,70	0,65	0,53
22	0,70	0,54	0,62	0,53	0,67	0,53	0,86	0,51	0,60	0,49	0,70	0,66	0,52
23	0,67	0,54	0,61	0,53	0,66	0,54	0,85	0,51	0,62	0,49	0,68	0,65	0,52
24	0,63	0,53	0,60	0,53	0,65	0,53	0,78	0,51	0,66	0,48	0,68	0,64	0,52
25	0,63	0,52	0,60	0,52	0,65	0,53	0,77	0,51	0,66	0,48	0,67	0,64	0,51
26	0,63	0,53	0,60	0,52	0,66	0,54	0,70	0,52	0,67	0,49	0,70	0,65	0,52
27	0,64	0,53	0,62	0,52	0,67	0,54	0,70	0,52	0,66	0,51	0,76	0,67	0,52
28	0,65	0,51	0,62	0,51	0,65	0,52	0,74	0,52	0,68	0,50	0,73	0,67	0,51
29	0,62	0,51	0,61	0,52	0,65	0,53	0,74	0,51	0,64	0,52	0,69	0,64	0,52
30	0,63	0,52	0,62	0,53	0,65	0,54	0,79	0,53	0,62	0,52	0,68	0,64	0,53
31	0,64	0,51	0,63	0,53	0,66	0,56	0,78	0,53	0,67	0,52	0,77	0,67	0,53
MIN <sub>MUŽI</sub>	0,62	0,51	0,60	0,51	0,64	0,52	0,58	0,49	0,57	0,48	0,67	0,57	0,48
MAX <sub>MUŽI</sub>	0,79	0,67	0,75	0,69	0,76	0,66	1,03	0,67	0,71	0,67	0,77	0,79	0,69
Ø <sub>MUŽI</sub>	0,70	0,57	0,66	0,57	0,68	0,57	0,76	0,53	0,65	0,55	0,70	0,68	0,56
SO <sub>MUŽI</sub>	0,06	0,05	0,05	0,05	0,03	0,04	0,13	0,05	0,04	0,06	0,03	0,05	0,05
MIN <sub>ŽENY</sub>	0,64	0,54	0,61	0,53	0,65	0,53	0,74	0,49	0,60	0,49	0,67	0,60	0,49
MAX <sub>ŽENY</sub>	0,75	0,66	0,74	0,67	0,73	0,64	1,11	0,65	0,69	0,65	0,71	0,75	0,67
Ø <sub>ŽENY</sub>	0,70	0,58	0,66	0,56	0,67	0,57	0,88	0,53	0,63	0,54	0,69	0,67	0,56
SO <sub>ŽENY</sub>	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03	0,03	0,12	0,06	0,02	0,06	0,01	0,04	0,05
MIN <sub>M+Ž</sub>	0,62	0,51	0,60	0,51	0,64	0,52	0,58	0,49	0,57	0,48	0,67	0,57	0,48
MAX <sub>M+Ž</sub>	0,79	0,67	0,75	0,69	0,76	0,66	1,11	0,67	0,71	0,67	0,77	0,79	0,69
Ø <sub>M+Ž</sub>	0,70	0,58	0,66	0,56	0,68	0,57	0,80	0,53	0,64	0,54	0,70	0,67	0,56
SO <sub>M+Ž</sub>	0,06	0,05	0,05	0,05	0,03	0,04	0,14	0,05	0,04	0,06	0,03	0,05	0,05

pozn.:  
R = zrychlený sestup  
\* v průměrných hodnotách není uvažován sestup číslo 4

tab. 29 - Průměrné pohybové rychlosti na úsecích číslo 5-7

<b>ÚSEK 5-7</b> <b>(kamery 5 - 8)</b> <b>DÉLKA ÚSEKU: 29,220 m</b>													
OZNAČENÍ FIGURANTA	RYCHLOST OSOB												
	v [m/s]												
	1		2		3		4		5		6	PRŮMĚR	
	↘	↗	↘	↗	↘	↗	↘ R	↗	↘	↗	↘	↘*	↗
1	0,90	0,67	0,79	0,66	0,83	0,67	0,81	0,67	0,78	0,65	0,76	0,81	0,66
2	0,92	0,66	0,80	0,65	0,83	0,67	0,80	0,66	0,74	0,65	0,78	0,81	0,66
3	0,94	0,65	0,81	0,65	0,85	0,67	0,85	0,66	0,74	0,65	0,79	0,83	0,66
4	0,95	0,64	0,80	0,64	0,84	0,67	0,88	0,65	0,73	0,65	0,78	0,82	0,65
5	0,93	0,65	0,81	0,67	0,82	0,71	1,01	0,58	0,67	0,66	0,77	0,80	0,65
6	0,90	0,65	0,79	0,65	0,81	0,64	1,12	0,58	0,68	0,65	0,73	0,78	0,64
8	0,91	0,63	0,78	0,64	0,80	0,65	1,27	0,58	0,69	0,64	0,75	0,78	0,63
9	0,91	0,64	0,78	0,64	0,81	0,64	1,37	0,59	0,70	0,63	0,76	0,79	0,63
10	0,91	0,63	0,77	0,64	0,82	0,62	1,48	0,59	0,71	0,62	0,74	0,79	0,62
11	0,91	0,64	0,78	0,65	0,83	0,65	1,60	0,61	0,73	0,68	0,77	0,80	0,65
12	0,91	0,64	0,79	0,64	0,84	0,65	1,81	0,61	0,73	0,68	0,74	0,80	0,64
13	0,93	0,59	0,79	0,60	0,84	0,62	1,37	0,59	0,72	0,62	0,78	0,81	0,60
14	0,90	0,59	0,78	0,59	0,84	0,61	1,36	0,58	0,73	0,61	0,79	0,81	0,60
15	0,87	0,59	0,77	0,58	0,85	0,60	1,32	0,58	0,75	0,61	0,80	0,81	0,59
16	0,87	0,59	0,79	0,58	0,85	0,60	1,51	0,58	0,78	0,60	0,83	0,82	0,59
17	0,87	0,59	0,79	0,58	0,84	0,59	1,42	0,59	0,80	0,60	0,83	0,83	0,59
18	0,72	0,60	0,75	0,58	0,72	0,58	1,14	0,58	0,80	0,60	0,77	0,75	0,59
19	0,71	0,59	0,74	0,58	0,73	0,58	1,22	0,57	0,81	0,60	0,80	0,76	0,58
20	0,71	0,59	0,74	0,58	0,73	0,57	1,25	0,57	0,84	0,60	0,82	0,77	0,58
21	0,70	0,59	0,73	0,57	0,73	0,56	1,28	0,57	0,84	0,59	0,82	0,76	0,58
22	0,71	0,57	0,74	0,56	0,74	0,56	1,32	0,56	0,84	0,59	0,82	0,77	0,57
23	0,71	0,57	0,74	0,56	0,74	0,57	1,26	0,56	0,85	0,58	0,82	0,77	0,57
24	0,72	0,57	0,75	0,55	0,74	0,56	0,99	0,56	0,78	0,58	0,80	0,76	0,56
25	0,70	0,58	0,71	0,56	0,74	0,57	0,87	0,58	0,74	0,60	0,79	0,74	0,58
26	0,70	0,59	0,72	0,57	0,74	0,57	0,86	0,58	0,74	0,61	0,79	0,74	0,58
27	0,72	0,58	0,73	0,56	0,75	0,56	0,91	0,57	0,71	0,60	0,76	0,73	0,57
28	0,73	0,58	0,75	0,56	0,76	0,56	1,05	0,58	0,69	0,60	0,76	0,74	0,58
29	0,70	0,58	0,77	0,56	0,75	0,57	1,10	0,58	0,70	0,59	0,75	0,73	0,58
30	0,72	0,58	0,77	0,56	0,75	0,56	1,06	0,57	0,64	0,59	0,69	0,71	0,57
31	0,73	0,57	0,77	0,55	0,76	0,56	0,98	0,57	0,61	0,59	0,67	0,71	0,57
32	0,73	0,57	0,77	0,56	0,77	0,54	1,04	0,54	0,58	0,55	0,67	0,70	0,55
MIN <sub>MUŽI</sub>	0,70	0,57	0,71	0,55	0,73	0,54	0,80	0,54	0,58	0,55	0,67	0,58	0,54
MAX <sub>MUŽI</sub>	0,93	0,67	0,81	0,67	0,84	0,71	1,81	0,67	0,84	0,68	0,82	0,93	0,71
Ø <sub>MUŽI</sub>	0,80	0,61	0,76	0,60	0,78	0,60	1,15	0,59	0,72	0,62	0,76	0,76	0,60
SO <sub>MUŽI</sub>	0,10	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,26	0,03	0,07	0,03	0,04	0,07	0,04
MIN <sub>ŽENY</sub>	0,71	0,57	0,74	0,55	0,72	0,56	0,85	0,56	0,72	0,58	0,77	0,71	0,55
MAX <sub>ŽENY</sub>	0,95	0,65	0,81	0,65	0,85	0,67	1,51	0,66	0,85	0,65	0,83	0,95	0,67
Ø <sub>ŽENY</sub>	0,85	0,60	0,78	0,59	0,81	0,61	1,21	0,59	0,77	0,61	0,80	0,80	0,60
SO <sub>ŽENY</sub>	0,09	0,03	0,02	0,03	0,05	0,04	0,22	0,03	0,04	0,02	0,02	0,06	0,03
MIN <sub>M+Ž</sub>	0,70	0,57	0,71	0,55	0,72	0,54	0,80	0,54	0,58	0,55	0,67	0,58	0,54
MAX <sub>M+Ž</sub>	0,95	0,67	0,81	0,67	0,85	0,71	1,81	0,67	0,85	0,68	0,83	0,95	0,71
Ø <sub>M+Ž</sub>	0,81	0,61	0,77	0,60	0,79	0,60	1,17	0,59	0,74	0,61	0,77	0,78	0,60
SO <sub>M+Ž</sub>	0,10	0,03	0,03	0,04	0,05	0,04	0,25	0,03	0,07	0,03	0,04	0,07	0,04

pozn.:  
R = zrychlený sestup  
\* v průměrných hodnotách není uvažován sestup číslo 4

tab. 30 - Průměrné pohybové rychlosti na úsecích číslo 5-8

<b>ÚSEK 5-8</b> <b>(kamery 5 - 9)</b> <b>DÉLKA ÚSEKU: 29,220 m</b>													
OZNAČENÍ FIGURANTA	RYCHLOST OSOB												
	v [m/s]												
	1		2		3		4		5		6	PRŮMĚR	
	↘	↗	↘	↗	↘	↗	↘ R	↗	↘	↗	↘	↘*	↗
1	0,89	0,65	0,77	0,65	0,83	0,67	0,80	0,66	0,77	0,65	0,75	0,80	0,66
2	0,94	0,65	0,78	0,65	0,83	0,66	0,81	0,66	0,76	0,65	0,78	0,82	0,65
3	0,94	0,64	0,78	0,64	0,84	0,66	0,84	0,65	0,74	0,65	0,77	0,81	0,65
4	0,95	0,63	0,78	0,63	0,83	0,66	0,91	0,65	0,73	0,64	0,77	0,81	0,64
5	0,93	0,64	0,79	0,65	0,83	0,70	0,99	0,57	0,67	0,65	0,77	0,80	0,64
6	0,91	0,64	0,78	0,64	0,81	0,64	1,13	0,58	0,68	0,65	0,74	0,78	0,63
7	0,92	0,64	0,77	0,64	0,81	0,65	1,27	0,58	0,69	0,64	0,75	0,79	0,63
8	0,92	0,64	0,77	0,64	0,81	0,64	1,36	0,59	0,70	0,63	0,78	0,80	0,63
9	0,92	0,64	0,76	0,63	0,83	0,63	1,46	0,60	0,70	0,61	0,74	0,79	0,62
10	0,92	0,64	0,78	0,64	0,83	0,65	1,57	0,61	0,74	0,67	0,76	0,81	0,64
11	0,92	0,63	0,79	0,64	0,84	0,64	1,79	0,61	0,74	0,65	0,75	0,81	0,63
12	0,92	0,59	0,78	0,60	0,84	0,61	1,37	0,59	0,72	0,61	0,78	0,81	0,60
13	0,91	0,59	0,78	0,59	0,85	0,60	1,37	0,58	0,75	0,60	0,81	0,82	0,59
14	0,85	0,59	0,76	0,59	0,86	0,60	1,32	0,58	0,77	0,60	0,80	0,81	0,59
15	0,86	0,58	0,78	0,59	0,87	0,59	1,50	0,58	0,80	0,60	0,84	0,83	0,59
16	0,86	0,58	0,78	0,58	0,86	0,58	1,43	0,58	0,82	0,59	0,85	0,83	0,58
17	0,72	0,59	0,74	0,57	0,73	0,58	1,16	0,57	0,80	0,60	0,77	0,75	0,58
18	0,70	0,58	0,73	0,57	0,73	0,57	1,21	0,56	0,82	0,59	0,81	0,76	0,58
19	0,71	0,58	0,73	0,57	0,73	0,57	1,24	0,57	0,85	0,59	0,83	0,77	0,58
20	0,70	0,57	0,72	0,56	0,73	0,56	1,27	0,56	0,85	0,59	0,84	0,77	0,57
21	0,72	0,56	0,72	0,55	0,74	0,55	1,29	0,56	0,84	0,58	0,83	0,77	0,56
22	0,72	0,56	0,73	0,55	0,75	0,55	1,26	0,56	0,85	0,58	0,83	0,78	0,56
23	0,73	0,56	0,74	0,55	0,75	0,55	0,99	0,55	0,78	0,57	0,81	0,76	0,56
24	0,70	0,57	0,70	0,55	0,74	0,56	0,87	0,57	0,75	0,59	0,79	0,74	0,57
25	0,71	0,57	0,72	0,56	0,75	0,55	0,87	0,57	0,75	0,59	0,80	0,75	0,57
26	0,72	0,57	0,73	0,56	0,76	0,55	0,91	0,57	0,72	0,59	0,76	0,74	0,57
27	0,72	0,57	0,74	0,56	0,76	0,56	0,99	0,59	0,69	0,61	0,75	0,73	0,58
28	0,71	0,58	0,75	0,57	0,76	0,57	1,08	0,59	0,68	0,59	0,74	0,73	0,58
29	0,72	0,58	0,75	0,57	0,76	0,57	1,07	0,59	0,64	0,59	0,69	0,71	0,58
30	0,72	0,58	0,76	0,57	0,78	0,57	1,00	0,59	0,62	0,59	0,68	0,71	0,58
31	0,73	0,57	0,77	0,56	0,77	0,54	1,05	0,55	0,59	0,56	0,67	0,71	0,56
MIN <sub>MUŽI</sub>	0,70	0,56	0,70	0,55	0,73	0,54	0,80	0,55	0,59	0,56	0,67	0,59	0,54
MAX <sub>MUŽI</sub>	0,94	0,65	0,79	0,65	0,84	0,70	1,79	0,66	0,85	0,67	0,84	0,94	0,70
Ø <sub>MUŽI</sub>	0,80	0,60	0,75	0,60	0,78	0,60	1,14	0,59	0,73	0,61	0,76	0,76	0,60
SO <sub>MUŽI</sub>	0,10	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,25	0,03	0,07	0,03	0,05	0,07	0,04
MIN <sub>ŽENY</sub>	0,72	0,56	0,73	0,55	0,73	0,55	0,84	0,55	0,72	0,57	0,77	0,72	0,55
MAX <sub>ŽENY</sub>	0,95	0,64	0,78	0,64	0,87	0,66	1,50	0,65	0,85	0,65	0,85	0,95	0,66
Ø <sub>ŽENY</sub>	0,85	0,59	0,76	0,59	0,82	0,60	1,22	0,59	0,78	0,60	0,80	0,80	0,59
SO <sub>ŽENY</sub>	0,09	0,02	0,02	0,03	0,05	0,04	0,22	0,03	0,04	0,02	0,03	0,06	0,03
MIN <sub>M+Ž</sub>	0,70	0,56	0,70	0,55	0,73	0,54	0,80	0,55	0,59	0,56	0,67	0,59	0,54
MAX <sub>M+Ž</sub>	0,95	0,65	0,79	0,65	0,87	0,70	1,79	0,66	0,85	0,67	0,85	0,95	0,70
Ø <sub>M+Ž</sub>	0,81	0,60	0,76	0,59	0,79	0,60	1,17	0,59	0,74	0,61	0,78	0,78	0,60
SO <sub>M+Ž</sub>	0,10	0,03	0,02	0,04	0,05	0,04	0,24	0,03	0,07	0,03	0,04	0,07	0,04

pozn.:  
R = zrychlený sestup  
\* v průměrných hodnotách není uvažován sestup číslo 4



tab. 31 - Průměrné pohybové rychlosti na úsecích číslo 1-8

<b>ÚSEK 1-8</b> <b>(kamery 1 - 9)</b> <b>DÉLKA ÚSEKU: 53,740 m</b>													
OZNAČENÍ FIGURANTA	RYCHLOST OSOB												
	v [m/s]												
	1		2		3		4		5		6	PRŮMĚR	
	↘	↗	↘	↗	↘	↗	↘ R	↗	↘	↗	↘	↘*	↗
1	0,88	0,69	0,79	0,70	0,83	0,70	0,83	0,69	0,77	0,69	0,77	0,81	0,69
2	0,88	0,69	0,79	0,69	0,82	0,69	0,83	0,69	0,76	0,68	0,78	0,81	0,69
3	0,86	0,68	0,78	0,69	0,81	0,69	0,84	0,68	0,73	0,68	0,75	0,79	0,68
4	0,86	0,67	0,78	0,67	0,80	0,68	0,86	0,67	0,71	0,67	0,76	0,78	0,67
5	0,86	0,67	0,78	0,67	0,79	0,67	0,88	0,60	0,70	0,67	0,76	0,78	0,66
6	0,84	0,67	0,77	0,66	0,78	0,65	0,91	0,60	0,69	0,66	0,76	0,77	0,65
7	0,84	0,67	0,76	0,66	0,78	0,65	0,94	0,60	0,70	0,66	0,75	0,77	0,65
8	0,84	0,67	0,76	0,66	0,78	0,66	0,95	0,59	0,71	0,65	0,76	0,77	0,65
9	0,83	0,67	0,76	0,66	0,77	0,65	0,97	0,59	0,68	0,65	0,73	0,75	0,64
10	0,83	0,66	0,75	0,65	0,77	0,65	0,97	0,59	0,67	0,65	0,73	0,75	0,64
11	0,83	0,66	0,75	0,65	0,77	0,64	1,02	0,59	0,67	0,64	0,74	0,75	0,63
12	0,82	0,61	0,74	0,60	0,76	0,61	1,06	0,57	0,68	0,60	0,75	0,75	0,60
13	0,81	0,62	0,73	0,60	0,76	0,61	1,12	0,57	0,69	0,60	0,76	0,75	0,60
14	0,77	0,61	0,73	0,60	0,76	0,61	1,16	0,57	0,70	0,60	0,76	0,74	0,60
15	0,77	0,61	0,73	0,60	0,76	0,61	1,23	0,57	0,71	0,59	0,78	0,75	0,60
16	0,77	0,61	0,73	0,59	0,76	0,60	1,30	0,57	0,72	0,59	0,79	0,76	0,59
17	0,74	0,60	0,71	0,59	0,74	0,60	1,17	0,57	0,73	0,58	0,76	0,74	0,59
18	0,72	0,60	0,70	0,58	0,72	0,59	1,16	0,57	0,74	0,58	0,77	0,73	0,59
19	0,72	0,59	0,69	0,58	0,72	0,59	1,18	0,56	0,75	0,58	0,78	0,73	0,58
20	0,71	0,58	0,69	0,57	0,72	0,58	1,20	0,56	0,76	0,57	0,79	0,74	0,58
21	0,72	0,58	0,69	0,57	0,72	0,58	1,12	0,57	0,75	0,57	0,80	0,74	0,57
22	0,72	0,58	0,69	0,57	0,72	0,57	1,09	0,57	0,75	0,57	0,80	0,74	0,57
23	0,71	0,58	0,68	0,57	0,72	0,57	0,97	0,57	0,74	0,57	0,78	0,73	0,57
24	0,69	0,58	0,68	0,57	0,71	0,58	0,86	0,57	0,73	0,57	0,77	0,72	0,57
25	0,69	0,58	0,68	0,57	0,71	0,57	0,86	0,57	0,73	0,57	0,77	0,72	0,57
26	0,69	0,58	0,68	0,57	0,71	0,57	0,84	0,57	0,72	0,58	0,76	0,71	0,58
27	0,69	0,58	0,68	0,57	0,71	0,57	0,86	0,58	0,70	0,58	0,77	0,71	0,58
28	0,69	0,58	0,68	0,58	0,70	0,58	0,88	0,58	0,69	0,58	0,75	0,70	0,58
29	0,68	0,58	0,68	0,58	0,70	0,58	0,86	0,58	0,66	0,58	0,71	0,69	0,58
30	0,68	0,58	0,69	0,58	0,70	0,59	0,86	0,59	0,65	0,59	0,70	0,68	0,59
31	0,69	0,58	0,69	0,58	0,70	0,58	0,87	0,57	0,64	0,57	0,71	0,69	0,57
MIN <sub>MUŽI</sub>	0,68	0,58	0,68	0,57	0,70	0,57	0,83	0,56	0,64	0,57	0,70	0,64	0,56
MAX <sub>MUŽI</sub>	0,88	0,69	0,79	0,70	0,83	0,70	1,20	0,69	0,77	0,69	0,80	0,88	0,70
Ø <sub>MUŽI</sub>	0,76	0,62	0,72	0,62	0,74	0,62	0,95	0,59	0,71	0,61	0,76	0,74	0,61
SO <sub>MUŽI</sub>	0,08	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,12	0,03	0,04	0,04	0,03	0,05	0,04
MIN <sub>ŽENY</sub>	0,71	0,58	0,68	0,57	0,72	0,57	0,84	0,57	0,68	0,57	0,75	0,68	0,57
MAX <sub>ŽENY</sub>	0,86	0,68	0,78	0,69	0,81	0,69	1,30	0,68	0,75	0,68	0,80	0,86	0,69
Ø <sub>ŽENY</sub>	0,78	0,62	0,73	0,61	0,76	0,62	1,08	0,59	0,72	0,61	0,77	0,75	0,61
SO <sub>ŽENY</sub>	0,05	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,14	0,04	0,02	0,04	0,01	0,04	0,04
MIN <sub>M+Ž</sub>	0,68	0,58	0,68	0,57	0,70	0,57	0,83	0,56	0,64	0,57	0,70	0,64	0,56
MAX <sub>M+Ž</sub>	0,88	0,69	0,79	0,70	0,83	0,70	1,30	0,69	0,77	0,69	0,80	0,88	0,70
Ø <sub>M+Ž</sub>	0,77	0,62	0,72	0,61	0,75	0,62	0,99	0,59	0,71	0,61	0,76	0,74	0,61
SO <sub>M+Ž</sub>	0,07	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,14	0,04	0,03	0,04	0,02	0,05	0,04

pozn.:  
R = zrychlený sestup  
\* v průměrných hodnotách není uvažován sestup číslo 4

tab. 32 - Shrnutí vyhodnocených údajů

<b>SHRnutí VYHODNOCENÝCH ÚDAJŮ</b>						
ÚSEK	SMĚR	DĚLKA ÚSEKU TYP ÚSEKU	PRŮMĚRNÁ RYCHLOST	MINIMÁLNÍ RYCHLOST	MAXIMÁLNÍ RYCHLOST	SMĚRODATNÁ ODCHYLKA
[-]	[-]	L [m]	$v_{pr}$ [m/s]	$v_{min}$ [m/s]	$v_{max}$ [m/s]	SO [m/s]
1	↘	6,400 m	<b>0,75</b>	0,57	0,99	0,07
	↗	točité schodiště	<b>0,51</b>	0,40	0,74	0,08
2	↘	6,480 m	<b>0,64</b>	0,54	0,83	0,06
	↗	točité schodiště	<b>0,54</b>	0,44	0,69	0,06
3	↘	6,800 m	<b>0,65</b>	0,52	0,81	0,06
	↗	točité schodiště	<b>0,63</b>	0,55	0,89	0,05
4	↘	4,840 m	<b>0,93</b>	0,54	1,36	0,19
	↗	přímá chodba	<b>1,29</b>	0,92	1,86	0,15
5	↘	8,720 m	<b>0,82</b>	0,61	1,02	0,08
	↗	točité schodiště	<b>0,62</b>	0,51	0,74	0,04
6	↘	8,740 m	<b>0,71</b>	0,53	0,90	0,06
	↗	točité schodiště	<b>0,62</b>	0,56	0,87	0,04
7	↘	8,360 m	<b>0,81</b>	0,54	1,15	0,10
	↗	točité schodiště	<b>0,57</b>	0,46	0,68	0,05
8	↘	3,400 m	<b>0,79</b>	0,59	1,17	0,11
	↗	přímé schodiště	<b>0,57</b>	0,45	0,73	0,06
1-3	↘	19,680 m	<b>0,67</b>	0,57	0,79	0,05
	↗	točité schodiště	<b>0,56</b>	0,48	0,69	0,05
5-8	↘	29,220 m	<b>0,78</b>	0,59	0,95	0,07
	↗	točité schodiště	<b>0,60</b>	0,54	0,70	0,04
1-8	↘	53,740 m	<b>0,74</b>	0,64	0,88	0,05
	↗	přímé + točité schodiště	<b>0,61</b>	0,56	0,70	0,04
pozn.: ↘ sestup po schodišti dolů ↗ výstup po schodišti nahoru  – délka trasy uvažována ve 2/3 šířky schodišťového ramene od středního pilíře schodišťové šachty, resp. uprostřed šířky schodišťového ramene v přímých úsecích						

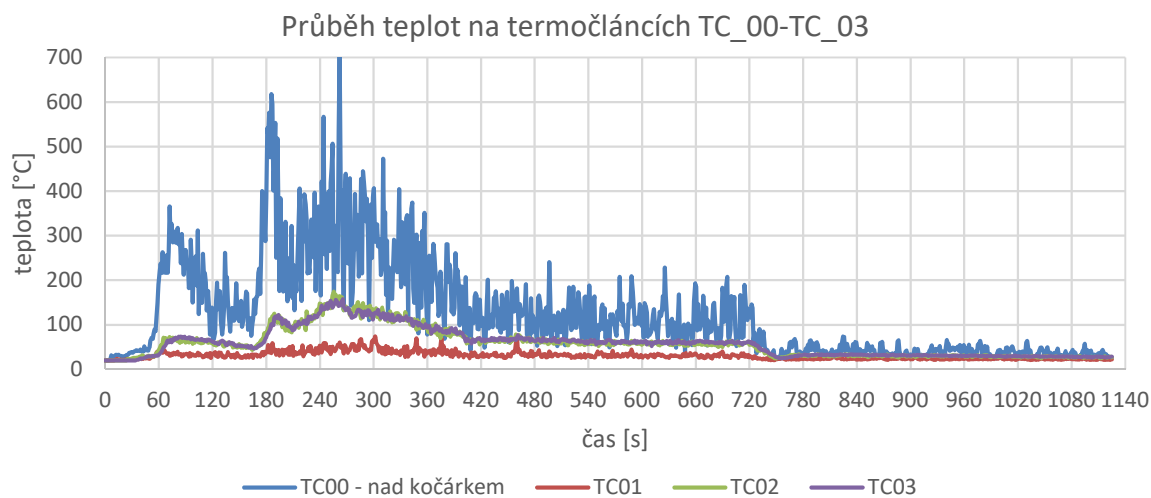
## Příloha 5 – Popis figurantů experimentu

tab. 33 - Popis figurantů experimentu

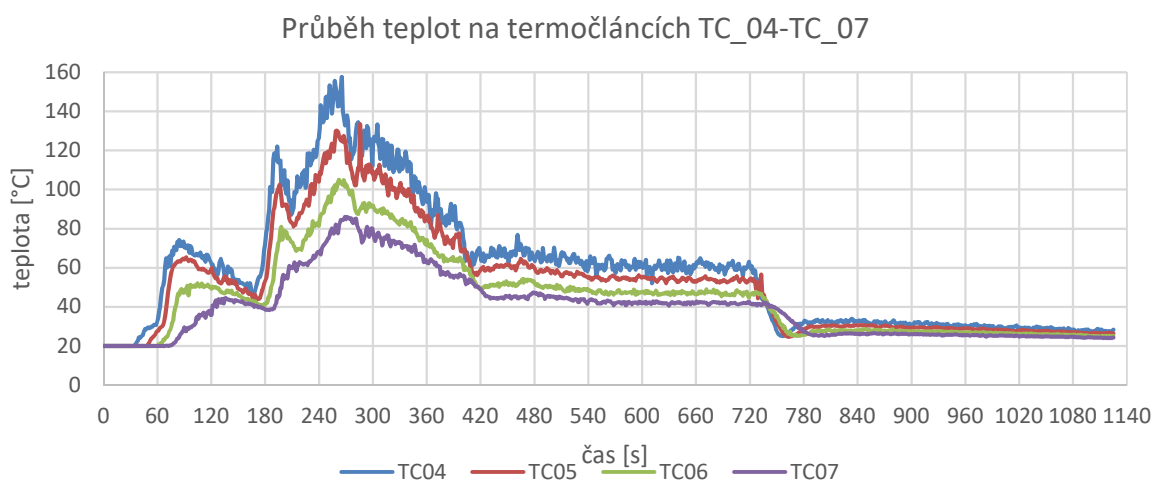
Číslo figuranta	Pohlaví	Věk [let]	Výška [m]
1	muž	16	1,90
2	muž	16	1,80
3	žena	16	1,72
4	žena	16	1,70
5	muž	17	1,75
6	muž	16	1,70
7	muž	17	1,85
8	muž	17	1,85
9	muž	16	1,73
10	muž	16	1,89
11	muž	16	1,75
12	žena	16	1,53
13	žena	16	1,63
14	žena	16	1,62
15	žena	17	1,62
16	žena	17	1,64
17	žena	18	1,62
18	muž	18	1,84
19	muž	17	1,83
20	muž	19	1,75
21	muž	18	1,80
22	žena	18	1,59
23	žena	18	1,67
24	muž	17	1,83
25	muž	17	1,85
26	muž	17	1,94
27	muž	17	1,93
28	muž	18	1,81
29	muž	17	1,73
30	muž	18	1,87
31	muž	19	1,85
Minimum		16	1,53
Maximum		19	1,94
Průměr		17	1,76
Směrodatná odchylka		0,92	0,11



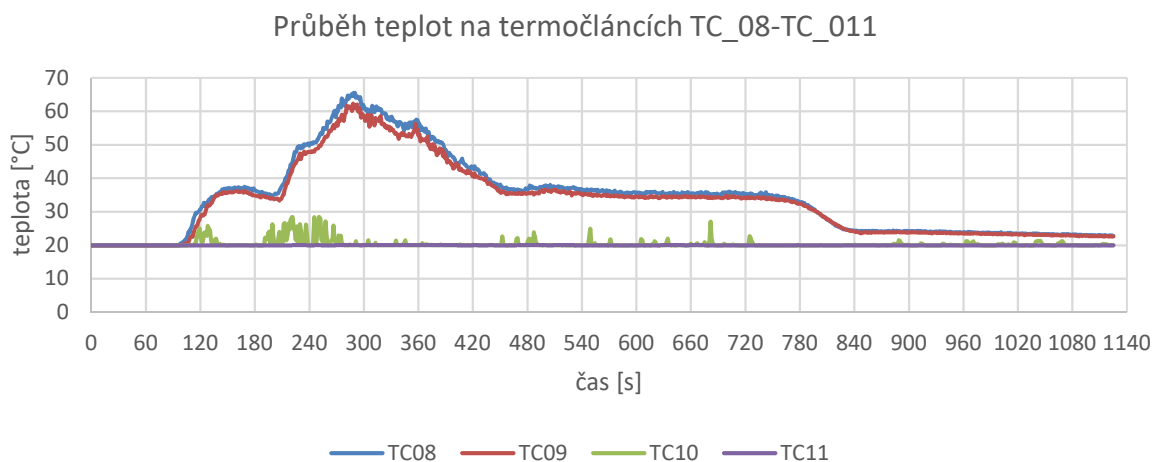
## Příloha 6 – Výsledky analýzy rozvoje požáru



obr. 123 - Průběh teplot na termočláncích TC\_00 – TC\_03

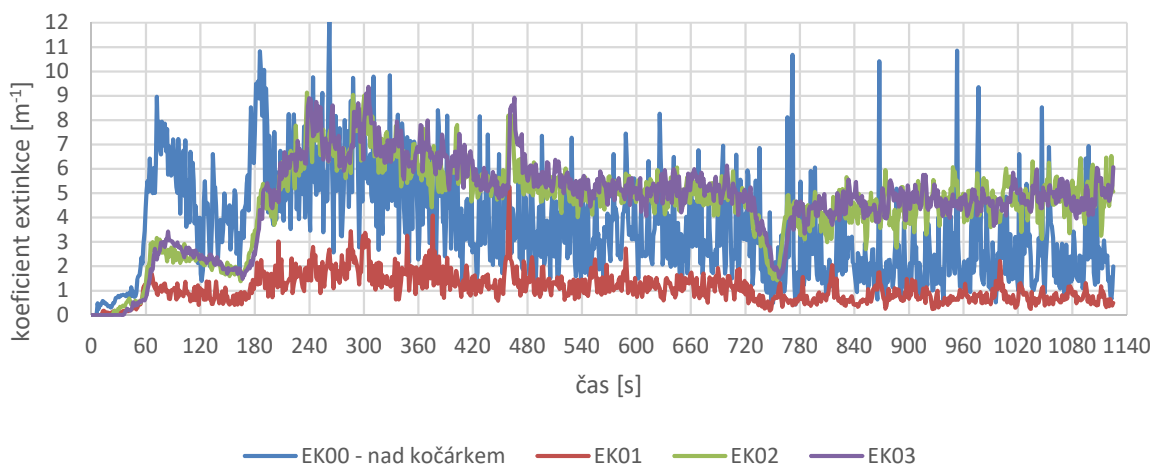


obr. 124 - Průběh teplot na termočláncích TC\_04 – TC\_07



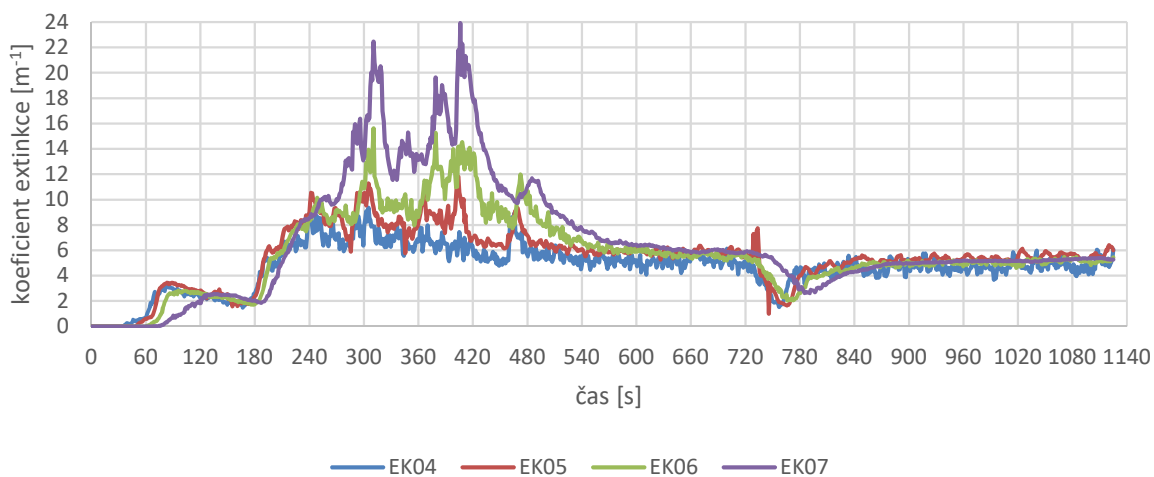
obr. 125 - Průběh teplot na termočláncích TC\_08 – TC\_11

Průběh koeficientu extinkce na čidlech EK\_00-EK\_03



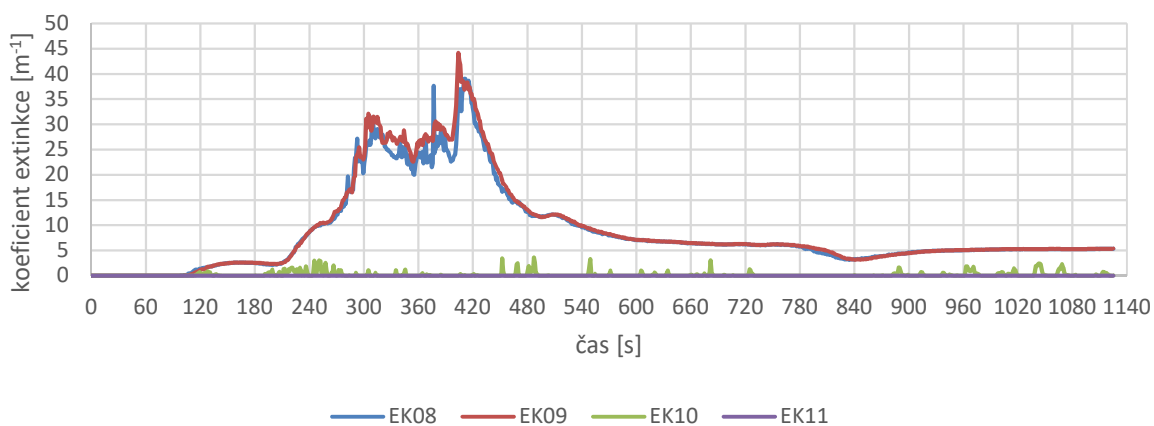
obr. 126 - Průběh koeficientu extinkce na čidlech EK\_00 – EK\_03

Průběh koeficientu extinkce na čidlech EK\_04-EK\_07

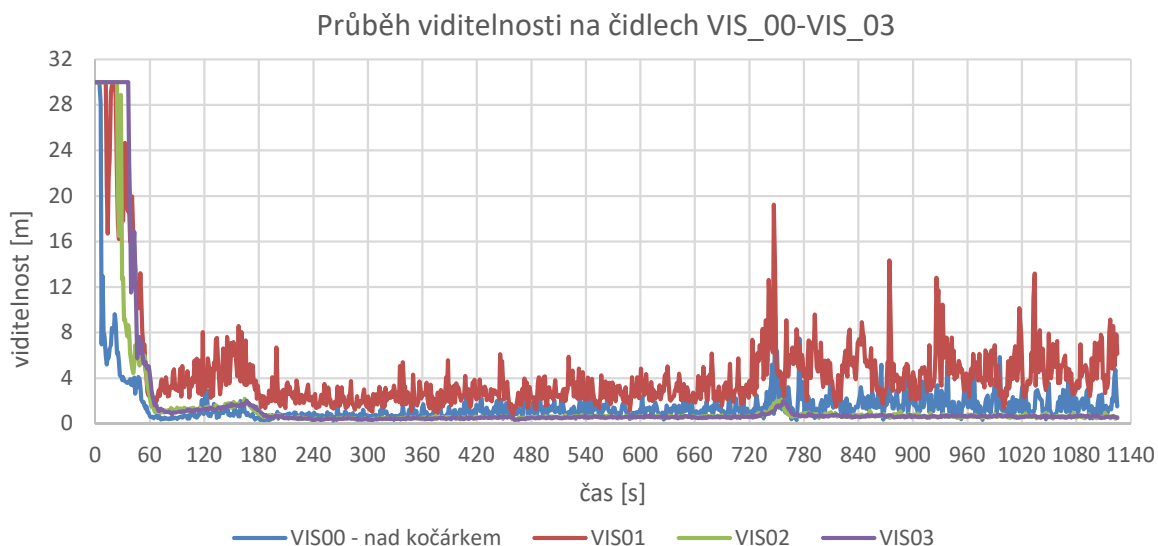


obr. 127 - Průběh koeficientu extinkce na čidlech EK\_04 – EK\_07

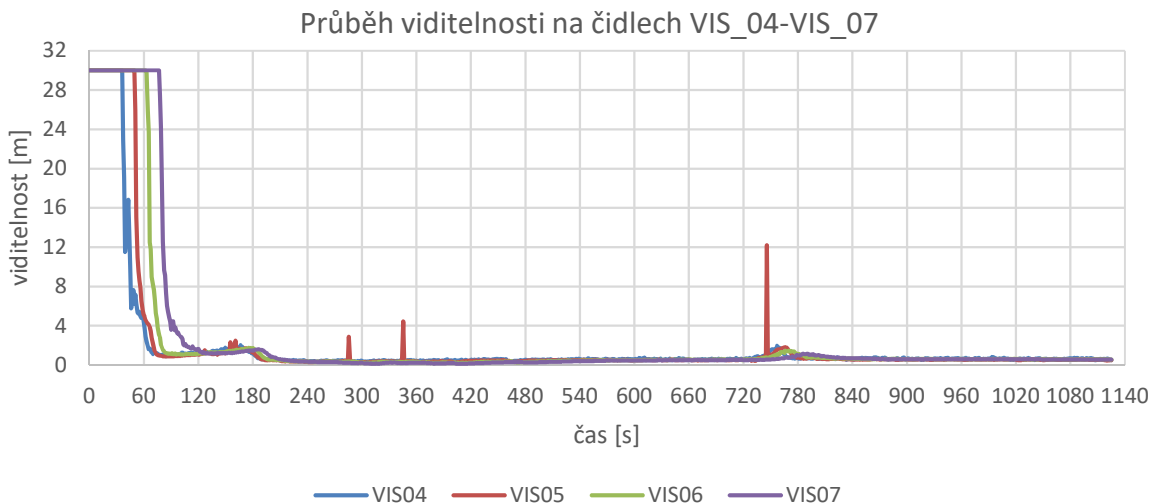
Průběh koeficientu extinkce na čidlech EK\_08-EK\_11



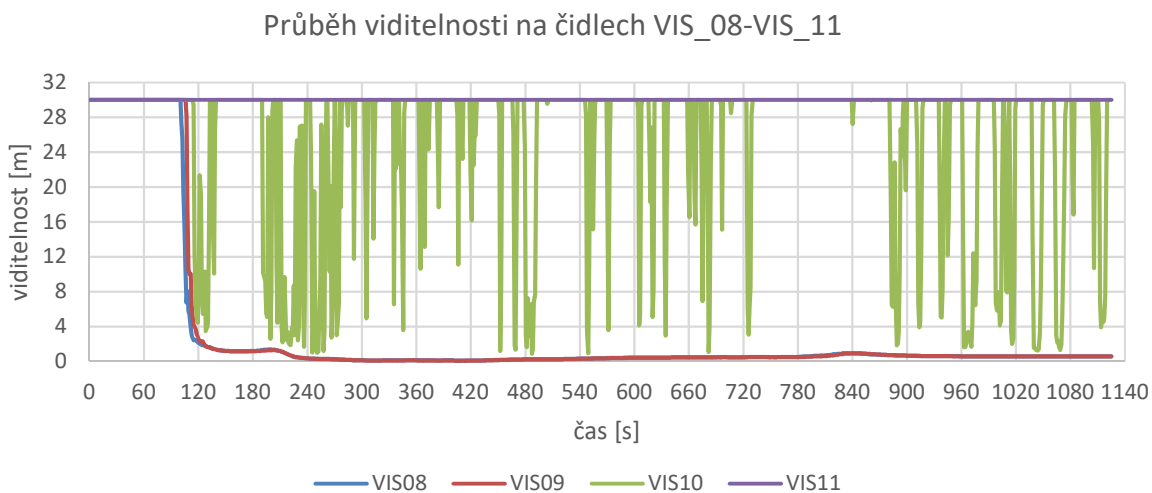
obr. 128 - Průběh koeficientu extinkce na čidlech EK\_08 – EK\_11



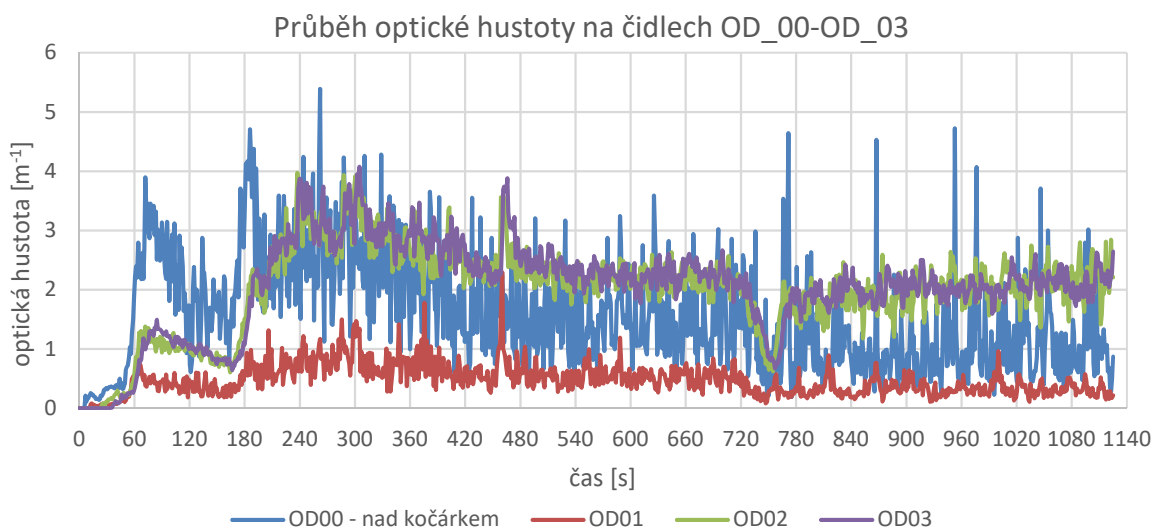
obr. 129 - Průběh viditelnosti na čidlech VIS\_00 – VIS\_03



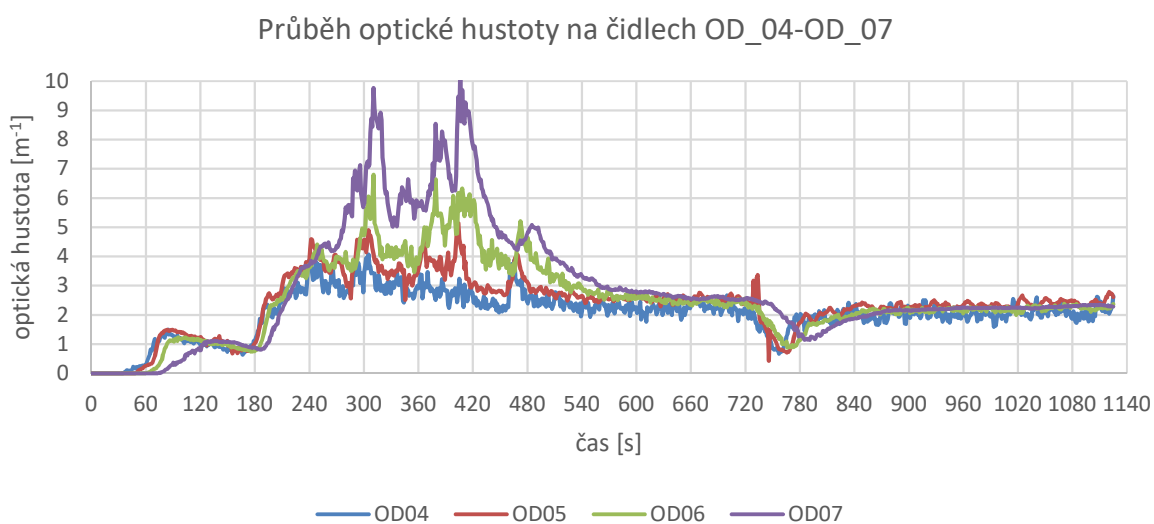
obr. 130 - Průběh viditelnosti na čidlech VIS\_04 – VIS\_07



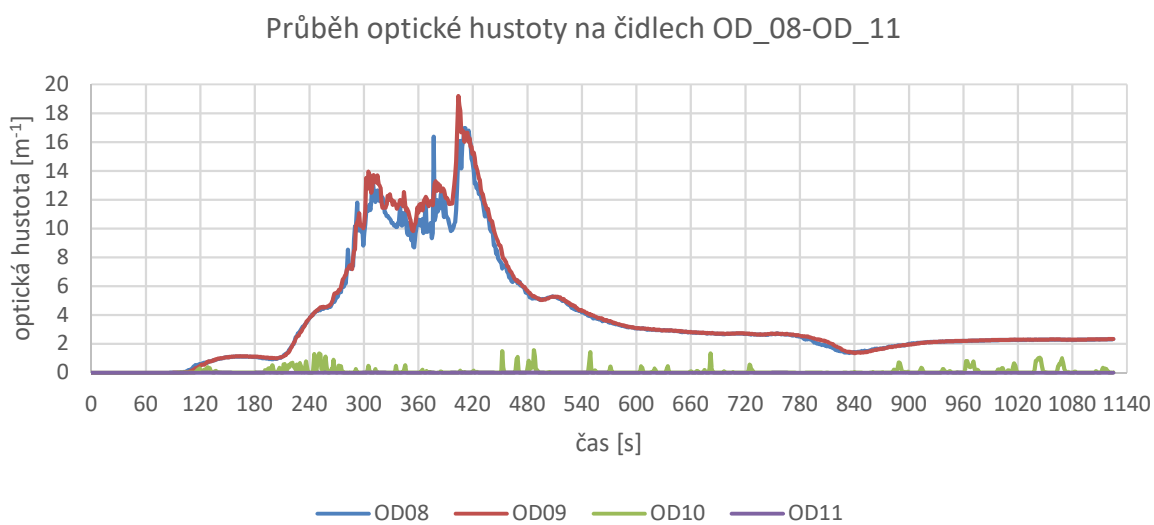
obr. 131 - Průběh viditelnosti na čidlech VIS\_08 – VIS\_11



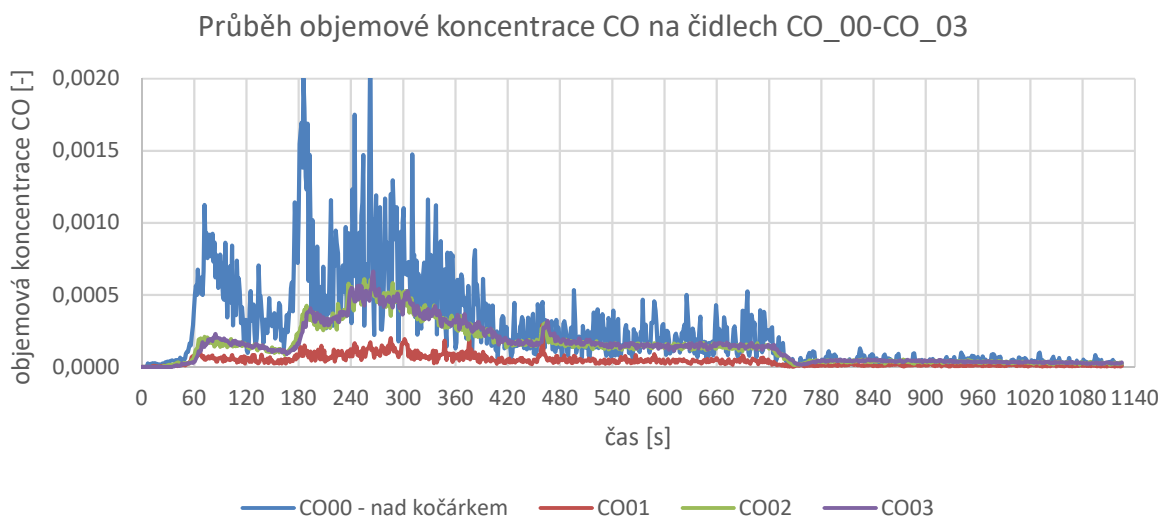
obr. 132 - Průběh optické hustoty na čidlech OD\_00 – OD\_03



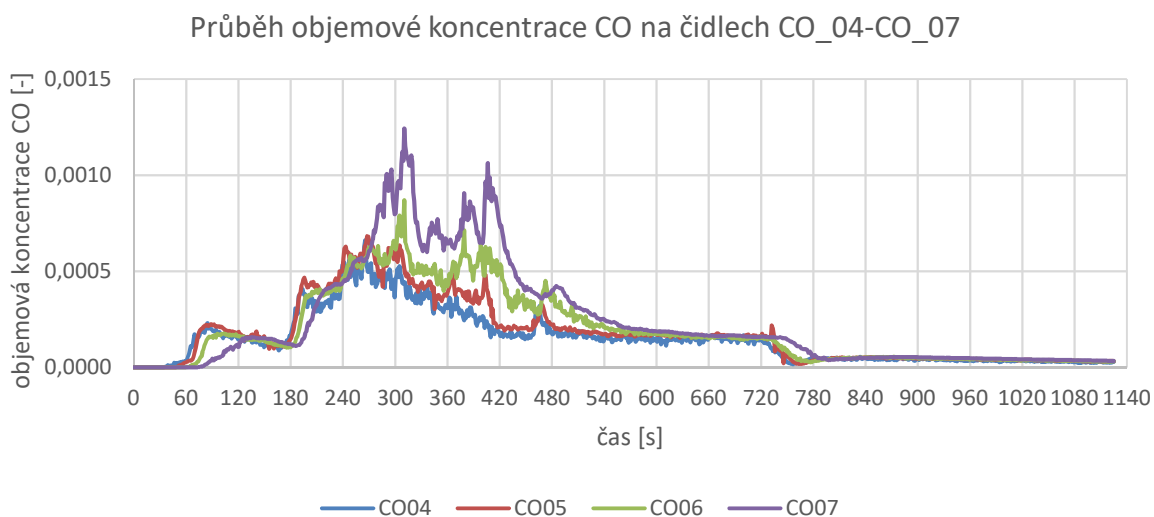
obr. 133 - Průběh optické hustoty na čidlech OD\_04 – OD\_07



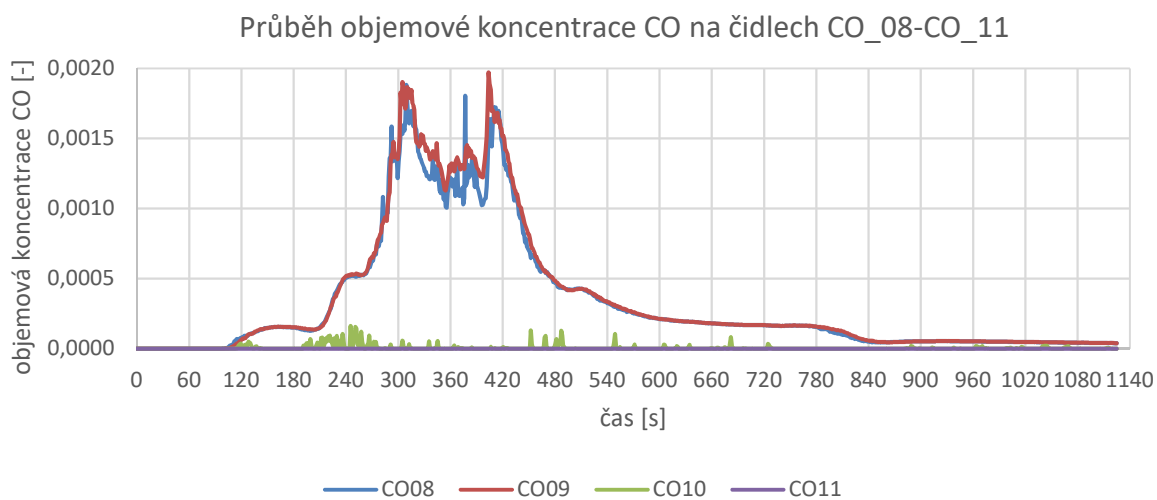
obr. 134 - Průběh optické hustoty na čidlech OD\_08 – OD\_11



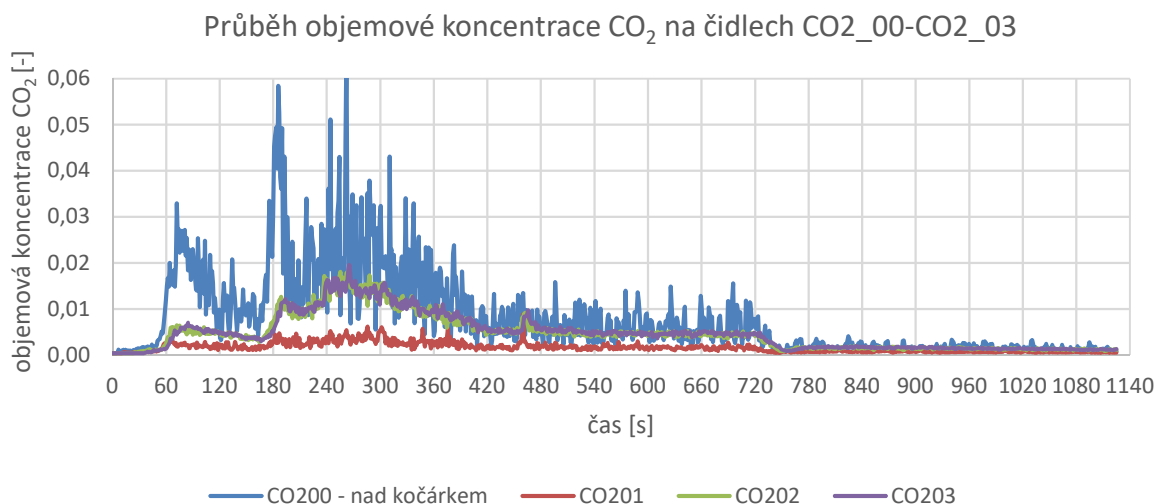
obr. 135 - Průběh koncentrace CO na čidlech CO\_00 – CO\_03



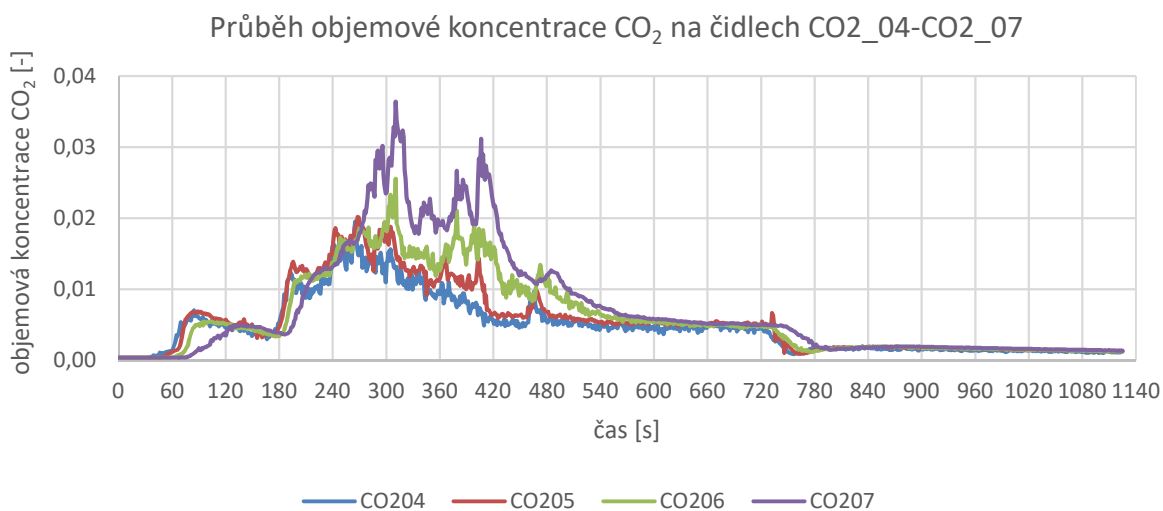
obr. 136 - Průběh koncentrace CO na čidlech CO\_04 – CO\_07



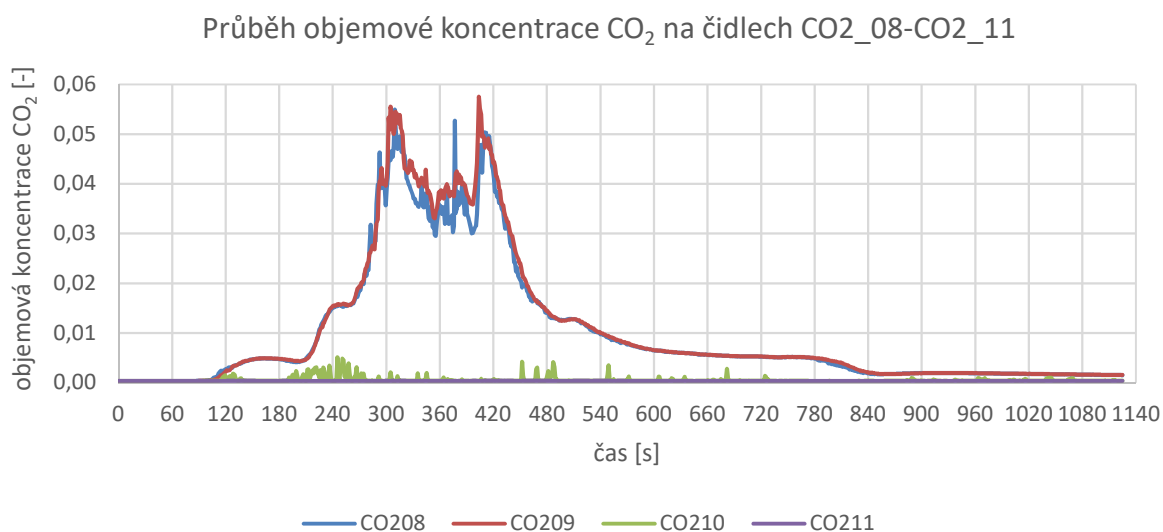
obr. 137 - Průběh koncentrace CO na čidlech CO\_08 – CO\_11



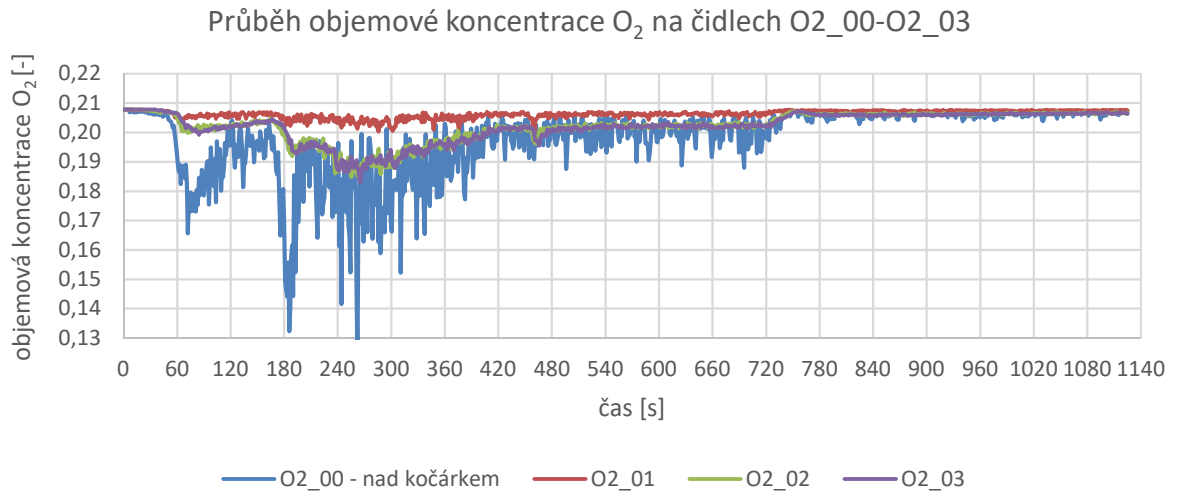
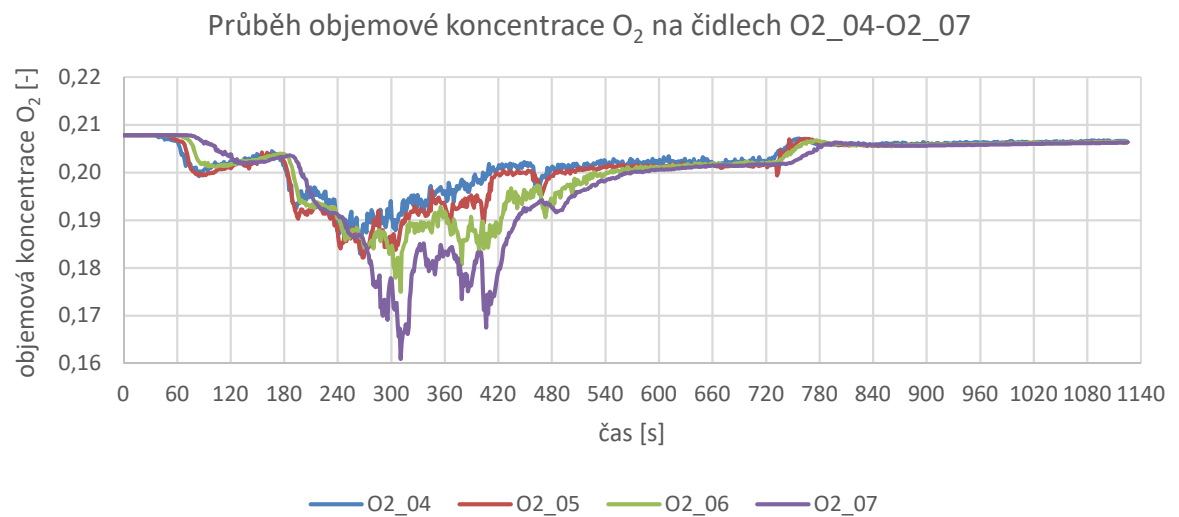
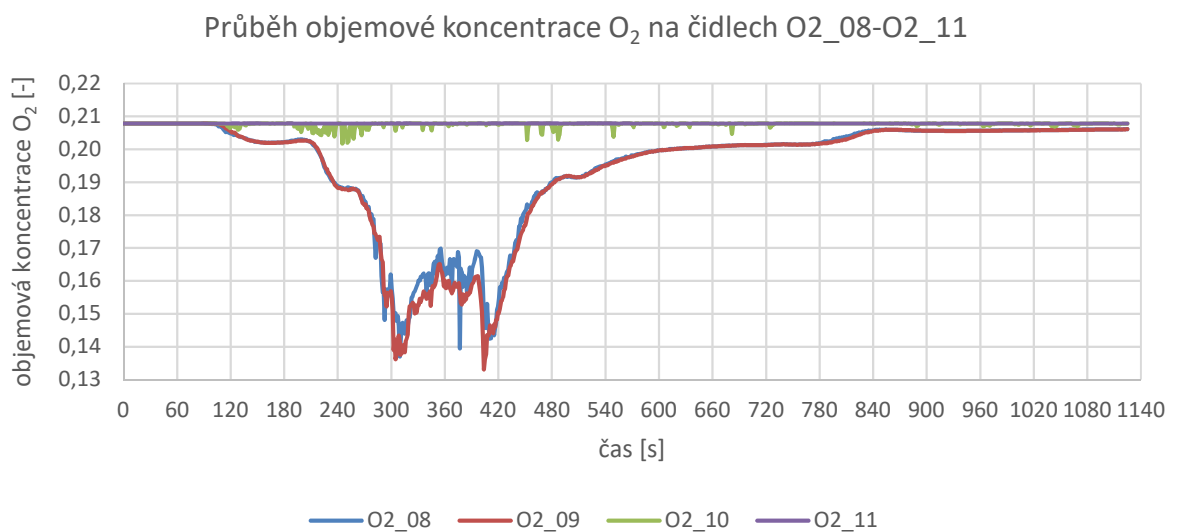
obr. 138 - Průběh koncentrace CO<sub>2</sub> na čidlech CO2\_00 – CO2\_03



obr. 139 - Průběh koncentrace CO<sub>2</sub> na čidlech CO2\_04 – CO2\_07



obr. 140 - Průběh koncentrace CO<sub>2</sub> na čidlech CO2\_08 – CO2\_11

obr. 141 - Průběh koncentrace  $O_2$  na čidlech O2\_00 – O2\_03obr. 142 - Průběh koncentrace  $O_2$  na čidlech O2\_04 – O2\_07obr. 143 - Průběh koncentrace  $O_2$  na čidlech O2\_08 – O2\_11

## Příloha 7 – Zdrojové kódy FDS+Evac

Aproximace točitého schodiště na jednodušší tvar – čtyřhranné spodní schodiště

Univerzita: ČVUT v Praze  
 Fakulta: Stavební (FSv)  
 Katedra: 124 - Konstrukcí pozemních staveb  
 Výpočetní software: FDS+Evac 6.6.0  
 Zobrazovací software: Smokeview 6.6.0  
 Vytvořil: Bc. Marek Lokvenc  
 Datum: 9.12.2017

Kód vytvořen v programu Notepad++

### OBEČNÉ

```
&HEAD      CHID      = 'Schodiste',
           TITLE     = 'Ctyrhranne_spodni_schodiste/'

&MISC      EVACUATION_DRILL = .TRUE./      % pouze evakuace (bez vlivu požáru)

&RADI      RADIATION   = .FALSE./     % bez vlivu požáru (příkaz šetří výpočetní paměť)

&DUMP      SMOKE3D     = .FALSE.,
           NFRAMES    = 100,
           DT_PART    = 0.01,
           DT_HRR     = 0.1,
           DT_SLCF    = 1000.0,
           DT_BNDF    = 1000.0,
           DT_PL3D    = 1000.0,
           DT_ISOF    = 1000.0/
```

### DEFINOVÁNÍ ČASU ŘEŠENÍ

```
&TIME T_END      = 50.0/      % čas konce simulace 50 s
```

### DEFINICE MESHOVACÍCH SÍTÍ

Požární meshe

-----  
 dx = dy = 0,15 m

```
&MESH      ID      = 'FM1',
           IJK     = 25, 25, 40,
           XB      = 0.00, 3.75,
                   0.00, 3.75,
                   0.00, 6.00/
```

Evakuační meshe

-----  
 dx = dy = 0,15 m

```
&MESH      ID      = 'EM0',
           IJK     = 25, 25, 1,
           XB      = 0.00, 3.75,
                   0.00, 3.75,
                   0.90, 1.10,
           EVACUATION = .TRUE.,
           EVAC_HUMANS = .TRUE.,
           EVAC_Z_OFFSET = 1.0/      % Evakuační mesh v 1.NP
```

```
&MESH      ID      = 'EM1',
           IJK     = 25, 25, 1,
           XB      = 0.00, 3.75,
```



	0.00, 3.75,	
	5.10, 5.30,	
EVACUATION	= .TRUE.,	
EVAC_HUMANS	= .TRUE.,	
EVAC_Z_OFFSET	= 1.0/	% Evakuační mesh ve 2.NP

---



---

DEFINICE MATERIÁLŮ A POVRCHŮ PRO EVAKUAČNÍ OBSTY

---



---

&SURF	ID	= 'EvacSurf,
	COLOR	= 'NAVY',
	EVAC_DEFAULT	= .TRUE.,
	TRANSPARENCY	= 0.0/

---



---

DEFINICE SCHODIŠŤOVÝCH RAMEN A MEZIPODEST MEZI 1.NP a 2.NP

---



---

&EVSS	ID	= 'rameno_1_1NP',	
	XB	= 2.55, 3.60,	
		1.20, 2.55,	
		0.90, 1.10,	
	IOR	= -2,	
	FAC_V0_UP	= 0.0353,	
	FAC_V0_DOWN	= 0.0353,	
	FAC_V0_HORI	= 0.0353,	
	HEIGHT	= 1.05,	
	HEIGHT0	= 0.00,	
	MESH_ID	= 'EM0'/	% První rameno mezi výškami 0,00 a 1,05 m (od 1.NP)

&HOLE	XB	= 2.55, 3.60,	
		1.20, 2.55,	
		0.80, 1.20,	
	EVACUATION	= .TRUE./	% Otvor skrz evakuační mesh (proti blokování osob)

---

&EVSS	ID	= 'mezipodesta_1_1NP',	
	XB	= 2.55, 3.60,	
		2.55, 3.60,	
		0.90, 1.10,	
	IOR	= -1,	
	FAC_V0_UP	= 1,	
	FAC_V0_DOWN	= 1,	
	FAC_V0_HORI	= 1,	
	HEIGHT	= 1.05,	
	HEIGHT0	= 1.05,	
	MESH_ID	= 'EM0'/	% První mezipodesta ve výšce 1,05 m (od 1.NP)

---

&EVSS	ID	= 'rameno_2_1NP',	
	XB	= 1.20 2.55,	
		2.55, 3.60,	
		0.90, 1.10,	
	IOR	= +1,	
	FAC_V0_UP	= 0.0353,	
	FAC_V0_DOWN	= 0.0353,	
	FAC_V0_HORI	= 0.0353,	
	HEIGHT	= 2.10,	
	HEIGHT0	= 1.05,	
	MESH_ID	= 'EM0'/	% Druhé rameno mezi výškami 1,05 a 2,10 m (od 1.NP)

---

&EVSS	ID	= 'mezipodesta_2_1NP',	
	XB	= 0.15, 1.20,	
		2.55, 3.60,	
		0.90, 1.10,	
	IOR	= +1,	
	FAC_V0_UP	= 1,	
	FAC_V0_DOWN	= 1,	
	FAC_V0_HORI	= 1,	
	HEIGHT	= 2.10,	
	HEIGHT0	= 2.10,	

```

MESH_ID = 'EM0/' % Druhá mezipodesta ve výšce 2,10 m (od 1.NP)
-----
&EVSS ID = 'rameno_3_1NP',
XB = 0.15, 1.20,
1.20, 2.55,
0.90, 1.10,
IOR = +2,
FAC_V0_UP = 0.0353,
FAC_V0_DOWN = 0.0353,
FAC_V0_HORI = 0.0353,
HEIGHT = 3.15,
HEIGHT0 = 2.10,
MESH_ID = 'EM0/' % Třetí rameno mezi výškami 2,10 a 3,15 m (od 1.NP)
-----
&EVSS ID = 'mezipodesta_3_1NP',
XB = 0.15, 1.20,
0.15, 1.20,
0.90, 1.10,
IOR = +1,
FAC_V0_UP = 1,
FAC_V0_DOWN = 1,
FAC_V0_HORI = 1,
HEIGHT = 3.15,
HEIGHT0 = 3.15,
MESH_ID = 'EM0/' % Třetí mezipodesta ve výšce 3,15 m (od 1.NP)
-----
&EVSS ID = 'rameno_4_1NP',
XB = 1.20, 2.55,
0.15, 1.20,
0.90, 1.10,
IOR = -1,
FAC_V0_UP = 0.0353,
FAC_V0_DOWN = 0.0353,
FAC_V0_HORI = 0.0353,
HEIGHT = 4.20,
HEIGHT0 = 3.15,
MESH_ID = 'EM0/' % Čtvrté rameno mezi výškami 3,15 a 4,20 m (od 1.NP)

```

---



---

DEFINICE HLAVNÍCH PODEST

---



---

```

&OBST XB = 2.55, 3.60,
0.15, 1.20,
0.00, 0.00,
SURF_ID = 'INERT/' % Hlavní podesta 1.NP
&OBST XB = 2.55, 3.60,
0.15, 1.20,
4.20, 4.20,
SURF_ID = 'INERT/' % Hlavní podesta 2.NP

```

---



---

DEFINICE PŘEKÁŽEK

---



---

```

&OBST XB = 0.15, 3.60,
0.00, 0.15,
0.00, 6.00,
SURF_ID = 'INERT/' % Stěna schodišťové šachty 1 (dole)
&OBST XB = 0.15, 3.60,
3.60, 3.75,
0.00, 6.00,
SURF_ID = 'INERT/' % Stěna schodišťové šachty 2 (nahore)
&OBST XB = 0.00, 0.15,
0.00, 3.75,
0.00, 6.00,
SURF_ID = 'INERT/' % Stěna schodišťové šachty 3 (levá)
&OBST XB = 3.60, 3.75,

```

```

                                0.00, 3.75,
                                0.00, 6.00,
SURF_ID                        = 'INERT'/          % Stěna schodišťové šachty 4 (pravá)
=====
DEFINICE PŘEKÁŽEK POUZE PRO POTŘEBY EVAKUACE
=====
&OBST      XB                  = 1.20, 2.55,
                                1.20, 1.20,
                                0.00, 6.00,
                                EVACUATION          = .TRUE./          % Stěna okolo zdcadla schodiště 1 (dole); průhledná

&OBST      XB                  = 1.20, 2.55,
                                2.55, 2.55,
                                0.00, 6.00,
                                EVACUATION          = .TRUE./          % Stěna okolo zdcadla schodiště 2 (nahore); průhledná

&OBST      XB                  = 1.20, 1.20,
                                1.20, 2.55,
                                0.00, 6.00,
                                EVACUATION          = .TRUE./          % Stěna okolo zdcadla schodiště 3 (levá); průhledná

&OBST      XB                  = 2.55, 2.55,
                                1.20, 2.55,
                                0.00, 6.00,
                                EVACUATION          = .TRUE./          % Stěna okolo zdcadla schodiště 4 (pravá); průhledná
=====
DEFINICE OTVORŮ DVEŘÍ
=====
&HOLE      XB                  = 3.60, 3.75,
                                0.15, 1.20,
                                0.00, 2.10,
                                EVACUATION          = .TRUE./          % Výstupní otvor ze schodiště
=====
DEFINICE DVEŘÍ PRO POTŘEBY EVAKUACE
=====
&DOOR      ID                  = 'Dvere_2NP_OUT',
COLOR                                              = 'RED',
EXIT_SIGN                                         = .TRUE.,
TO_NODE                                           = 'Dvere_1NP_IN',
XYZ                                                = 2.56, 0.675, 5.20,
IOR                                                = -1,
XB                                                 = 2.55, 2.55,
                                0.15, 1.20,
                                5.10, 5.30/          % Definice průchodu z 2.NP do 1.NP
-----
&DOOR      ID                  = 'Dvere_1NP_IN',
EXIT_SIGN                                         = .FALSE.,
TO_NODE                                           = 'Dvere_2NP_OUT',
XYZ                                                = 2.54, 0.675, 1.00,
IOR                                                = +1,
XB                                                 = 2.55, 2.55,
                                0.15, 1.20,
                                0.90, 1.10/          % Definice průchodu z 2.NP do 1.NP
-----
&EXIT      ID                  = 'Dvere_vychod_1NP',
COUNT_ONLY                                       = .FALSE.,
XYZ                                                = 3.59, 0.675, 1.00,
IOR                                                = +1,
XB                                                 = 3.60, 3.60,
                                0.15, 1.20,
                                0.90, 1.10/          % Východ ze schodišťového prostoru
=====

```

## DEFINOVÁNÍ OSOB

```
=====
&PERS      ID              = 'Adult',
           FYI            = 'Male+Female diameter and velocity',
           DEFAULT_PROPERTIES = 'Adult',
           VELOCITY_DIST  = 0,
           VEL_MEAN       = 19,
           HUMAN_SMOKE_HEIGHT = 1.60,
           NOT_RANDOM     = .TRUE./
=====
```

## UMÍSTĚNÍ OSOB

```
=====
&EVAC      ID              = 'Osoba',
           AGENT_TYPE      = 2,
           NUMBER_INITIAL_PERSONS = 1,
           XB              = 3.075, 3.075,
                           0.675, 0.675,
                           5.10, 5.30,
           MESH_ID         = 'EM1',
           AVATAR_COLOR    = 'RED',
           COLOR           = 'RED',
           PERS_ID         = 'Adult',
           DET_EVAC_DIST   = 0,
           DET_MEAN        = 0,
           PRE_EVAC_DIST   = 0,
           PRE_MEAN        = 0/
=====
```

```
=====
KONEC
=====
```

```
&TAIL/
```

Aproximace točitého schodiště na jednodušší tvar – rovné spodní schodiště  
 Univerzita: ČVUT v Praze  
 Fakulta: Stavební (FSv)  
 Katedra: 124 - Konstrukcí pozemních staveb  
 Výpočetní software: FDS + Evac 6.6.0  
 Zobrazovací software: Smokeview 6.6.0  
 Vytvořil: Bc. Marek Lokvenc  
 Datum: 12.5.2017

-----  
 Kód vytvořen v programu Notepad++

=====

OBEČNÉ

=====

```
&HEAD      CHID          = 'Schodiste',
           TITLE        = 'Rovne_schodiste/'

&MISC      EVACUATION_DRILL = .TRUE./      % pouze evakuace (bez vlivu požáru)

&RADI      RADIATION    = .FALSE./     % bez vlivu požáru (příkaz šetří výpočetní paměť)

&DUMP      SMOKE3D      = .FALSE.,
           NFRAMES      = 100,
           DT_PART      = 0.01,
           DT_HRR       = 0.1,
           DT_SLCF      = 1000.0,
           DT_BNDF      = 1000.0,
           DT_PL3D      = 1000.0,
           DT_ISOF      = 1000.0/
```

=====

DEFINOVÁNÍ ČASU ŘEŠENÍ

=====

```
&TIME      T_END      = 50.0/      % čas konce simulace 50 s
```

=====

DEFINICE MESHOVACÍCH SÍTÍ

=====

Požární meshe

-----  
 dx = dy = 0,15 m

```
&MESH      ID          = 'FM1',
           IJK          = 45, 9, 40,
           XB           = 0.00, 6.75,
                       0.00, 1.35,
                       0.00, 6.00/
```

Evakuační meshe

-----  
 dx = dy = 0,15 m

```
&MESH      ID          = 'EM0',
           IJK          = 45, 9, 1,
           XB           = 0.00, 6.75,
                       0.00, 1.35,
                       0.90, 1.10,
           EVACUATION   = .TRUE.,
           EVAC_HUMANS  = .TRUE.,
           EVAC_Z_OFFSET = 1.0/      % Evakuační mesh v 1.NP
```

-----

```
&MESH ID      = 'EM1',
           IJK  = 45, 9, 1,
           XB   = 0.00, 6.75,
               0.00, 1.35,
               5.10, 5.30,
           EVACUATION = .TRUE.,
```

```

EVAC_HUMANS      = .TRUE.,
EVAC_Z_OFFSET    = 1.0/           % Evakuační mesh ve 2.NP

```

---



---

DEFINICE MATERIÁLŮ A POVRCHŮ PRO EVAKUAČNÍ OBSTY

---



---

```

&SURF            ID              = 'EvacSurf',
                  COLOR          = 'NAVY',
                  EVAC_DEFAULT   = .TRUE.,
                  TRANSPARENCY   = 0.0/

```

---



---

DEFINICE SCHODIŠŤOVÝCH RAMEN A MEZIPODEST MEZI 1.NP A 2.NP

---



---

```

&EVSS            ID              = 'rameno_1_1NP',
                  XB              = 0.00, 5.55,
                                0.15, 1.20,
                                0.90, 1.10,
                  IOR             = -1,
                  FAC_V0_UP       = 1.0,
                  FAC_V0_DOWN     = 1.0,
                  FAC_V0_HORI     = 1.0,
                  HEIGHT          = 4.20,
                  HEIGHT0         = 0.00,
                  MESH_ID         = 'EM0/'           % První rameno mezi výškami 0,00 a 4,20 m (od 1.NP)

&HOLE XB         = 0.00, 5.55,
                  0.15, 1.20,
                  0.80, 1.20,
                  EVACUATION     = .TRUE./         % Otvor skrz evakuační mesh (proti blokování osob)

```

---



---

DEFINICE HLAVNÍCH PODEST

---



---

```

&OBST            XB              = 5.55, 6.60,
                                0.15, 1.20,
                                4.20, 4.20,
                  SURF_ID         = 'INERT/'         % Hlavní podesta 2.NP

```

---



---

DEFINICE PŘEKÁŽEK

---



---

```

&OBST            XB              = 0.15, 6.60,
                                0.00, 0.15,
                                0.00, 6.00,
                  SURF_ID         = 'INERT/'         % Stěna schodišťové šachty 1 (dole)

&OBST            XB              = 0.15, 6.60,
                                1.20, 1.35,
                                0.00, 6.00,
                  SURF_ID         = 'INERT/'         % Stěna schodišťové šachty 2 (nahore)

&OBST            XB              = 6.60, 6.75,
                                0.00, 1.35,
                                0.00, 6.00,
                  SURF_ID         = 'INERT/'         % Stěna schodišťové šachty 3 (pravá)

```

## DEFINICE DVEŘÍ PRO POTŘEBY EVAKUACE

```

=====
&DOOR      ID          = 'Dvere_2NP_OUT',
           COLOR       = 'RED',
           EXIT_SIGN   = .TRUE.,
           TO_NODE     = 'Dvere_1NP_IN',
           XYZ         = 5.56, 0.675, 5.2,
           IOR         = -1,
           XB          = 5.55, 5.55,
                       0.15, 1.20,
                       5.10, 5.30/      % Definice průchodu z 2.NP do 1.NP
=====

```

```

-----
&DOOR      ID          = 'Dvere_1NP_IN',
           EXIT_SIGN   = .FALSE.,
           TO_NODE     = 'Dvere_2NP_OUT',
           XYZ         = 5.54, 0.675, 1.00,
           IOR         = +1,
           XB          = 5.55, 5.55,
                       0.15, 1.20,
                       0.90, 1.10/      % Definice průchodu z 2.NP do 1.NP
-----

```

```

&EXIT      ID          = 'Dvere_vychod_1NP',
           COUNT_ONLY  = .FALSE.,
           XYZ         = 0.16, 0.675, 1.00,
           IOR         = -1,
           XB          = 0.15, 0.15,
                       0.15, 1.20,
                       0.90, 1.10/      % Východ ze schodišťového prostoru
=====

```

## DEFINOVÁNÍ OSOB

```

=====
&PERS      ID          = 'Adult',
           FYI         = 'Male+Female diameter and velocity',
           DEFAULT_PROPERTIES = 'Adult',
           VELOCITY_DIST = 0,
           VEL_MEAN    = 0.67,
           HUMAN_SMOKE_HEIGHT = 1.60,
           NOT_RANDOM  = .TRUE./
=====

```

## UMÍSTĚNÍ OSOB

```

=====
&EVAC      ID          = 'Osoba',
           AGENT_TYPE  = 2,
           NUMBER_INITIAL_PERSONS = 1,
           XB          = 6.075, 6.075,
                       0.675, 0.675,
                       5.10, 5.30,
           MESH_ID     = 'EM1',
           AVATAR_COLOR = 'RED',
           COLOR       = 'RED',
           PERS_ID     = 'Adult',
           DET_EVAC_DIST = 0,
           DET_MEAN    = 0,
           PRE_EVAC_DIST = 0,
           PRE_MEAN    = 0/
=====

```

## KONEC

```

=====
&TAIL/
=====

```

## Příloha 8 – Cvičný zásah JPO

V této příloze je stručně popsán cvičný zásah JPO HZS Královéhradeckého kraje ÚO Náchod ve věži náchodského zámku, který byl proveden v rámci řízeného experimentu.

Příjezd hasičů na zámek byl přibližně ve 13:00. Vzhledem k malým rozměrům vjezdových bran na jednotlivá nádvoří zámku projeli pouze s osobním automobilem Škoda Octavia a technickým automobilem (TA) Volkswagen Transporter (obr. 144). Rozměry cisterny byly příliš velké a musela být zaparkována před bránou na nádvoří. Rozměry vjezdových bran tvoří velkou komplikaci pro vedení zásahu, která vyžaduje delší čas na bojové rozvinutí, větší nároky na hadicové vedení vč. zdroje vody a celkové prodloužení doby zásahu.



*obr. 144 - Technický automobil (TA) na nádvoří zámku*

Po příjezdu hasičů na zámek probíhalo zakuřování věže a následně byl zahájen cvičný zásah s cílem záchrany osob. Hasiči nebyli předem seznámeni s dispozicí věže, ani s počtem a umístěním figurantů, aby byly zajištěny co nejreálnější podmínky zásahu. Během zásahu nebyla používána dýchací technika.

Po vstupu hasičů do věže začalo prohledávání prostorů a vyhledávání osob. Rychlost postupu hasičů byla úměrná snížené viditelnosti vlivem celkového zakouření a neznalosti prostoru věže. Z pohybu hasičů bylo znát důsledné prověřování bezpečnosti jednotlivých schodišťových stupňů, jelikož v případě požáru může být narušena statika schodiště a dalších částí věže. Po lokalizaci prvního „zraněného“ figuranta začalo zajištění a připravení osoby k transportu na nosítkách. Dvojice hasičů zajišťovala transport osoby a zbývající postupovali dále nahoru do věže. Při transportu nalezené osoby na nosítkách se začalo projevovat nevhodné stavební provedení točitého schodiště vzhledem k požární bezpečnosti, jelikož byl velký problém při průchodu s nosítky na točitém schodišti. Vlivem úzkého schodišťového ramene a malému poloměru zakřivení musela být nosítka nakláněna. Problém nastal i v případě vyústění spojovací chodby na spodní točité schodiště, kde vlivem stísněného prostoru a nutnosti překonání pravého úhlu musela být nosítka vzpřímena. Nízké nadpraží otvoru vstupu do spojovací chodby se stávalo místem častých nárazů do hlavy. Transport osob po horním točitém schodišti probíhal klouzavým posouváním nosítek po hranách schodišťových stupňů (obr. 145).





*obr. 145 - Transport osob po horním točitém schodišti*

Dalším problematickým místem pro zásah hasičů bylo vyústění úzkého spodního schodiště do prostoru vstupních dveří do věže (obr. 146).



*obr. 146 - Transport osob z věže*

Zajištění a transport osob po točitém schodišti věže byl pro zasahující hasiče nesmírně fyzicky náročný. Doba záchrany figuranta, který byl nejvýše ve věži (pod kamerou č. 7), byla od lokalizace po opuštění věže 5,22 min (313 s). Samotná doba transportu byla 3,9 min (235 s). Délka trasy transportu byla přibližně 41,98 m, což představuje průměrnou rychlost transportu na nosítkách 0,18 m/s.

Během transportu poslední osoby byly nalezeny i poslední osoby na ochozu věže. Před transportem těchto osob z ochozu byla věž provětrána. Samotný transport osob probíhal tak, že mezi jednotlivými hasiči byly vždy dvě osoby. Po odchodu všech osob z ochozu věže poslední hasič zkontrolovat, že všichni ochoz opustili. Doba transportu z ochozu věže na volné prostranství byla 2,22 min (133 s). Přibližná délka trasy pohybu je 53,74 m, z čehož je vypočítána rychlost pohybu 0,40 m/s.

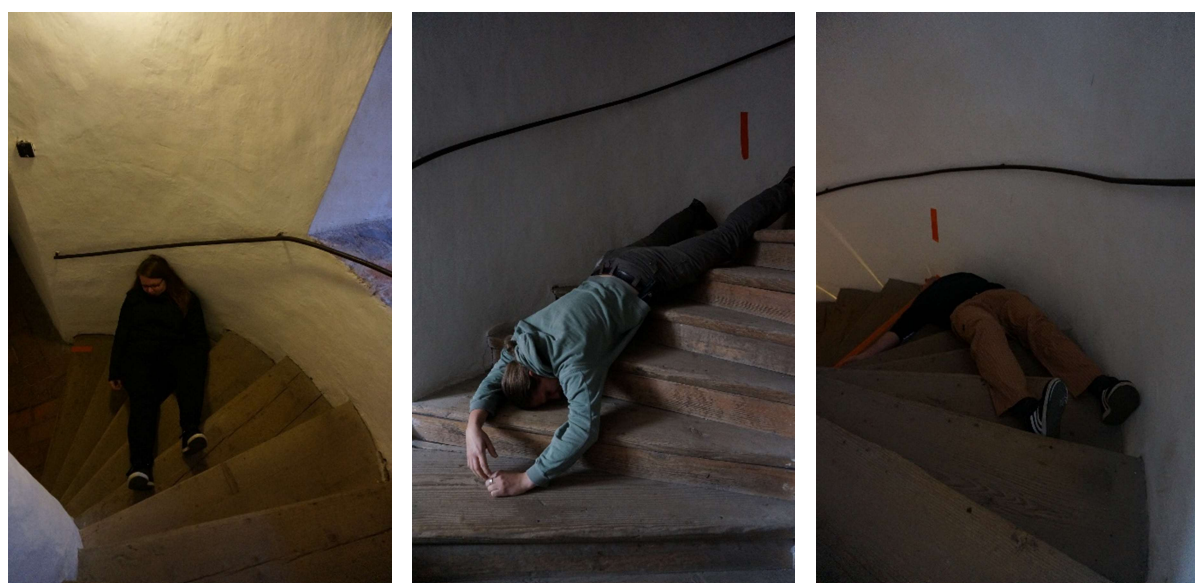
## Příloha 9 – Obrazová příloha



*obr. 147 - Výstup figurantů do věže*



*obr. 148 - Sestup figurantů z věže*



*obr. 149 - "Zranění" figuranti*





(a)



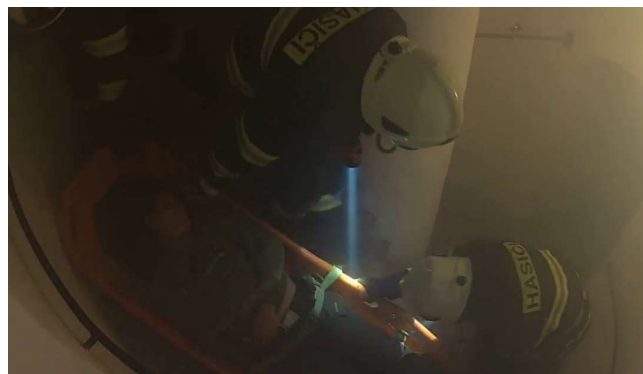
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)



(i)



(j)

obr. 150 - (a-j) Zásah hasičů

## Seznam použité literatury

- [1] FOLWARCZNY, L. a J. POKORNÝ. *Evakuace osob*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2006. ISBN 978-80-86634-92-0.
- [2] TOGAWA, K. *Study on fire escapes basing on the observation of multitude currents*. Building Research Institute, Ministry of Construction. 1955
- [3] PREDTECHENSKII, V. M. a A. I. MILINSKII. *Planning for foot traffic flow in buildings*. New Delhi: Amerind, 1978. ISBN 978-0-86249-326-4.
- [4] FRUIN, J. *Pedestrian Planning and Design*. Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners. 1975
- [5] PAULS, J. *Building Evacuation: Research Findings and Recommendations*
- [6] SIME, J. *Human behaviour in fires: summary report*. Central Fire Brigades Advisory Council for England and Wales, 1992. ISBN 978-0-86252-621-4.
- [7] SIME, J. *Escape Behaviour in Fires: „panic“ Or Affiliation?* British Library, Document Supply Centre, 1984.
- [8] PROULX, G. a J. SIME. To Prevent „Panic“ In An Underground Emergency: Why Not Tell People The Truth? *Fire Safety Science*. 1991, 3, 843–852. ISSN 18174299.
- [9] PROULX, G. The time delay to start evacuating upon hearing a fire alarm. 1994.
- [10] PROULX, G. Lessons learned on occupants' movement times and behaviour during evacuation drills. NRC Institute for Research in Construction; National Research Council Canada, 1996.
- [11] GWYNNE, M. a E. ROSENBAUM. Employing the Hydraulic Model in Assessing Emergency Movement. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. New York, NY: Springer New York, 2016, s. 2115–2151. ISBN 978-1-4939-2564-3.
- [12] KUČERA, P., T. PAVLÍK, J. POKORNÝ a R. KAISER. *Inženýrský přístup při řešení požární bezpečnosti staveb*. 2011. ISBN 978-80-7385-099-9.
- [13] ČSN 73 0802 - *Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty (2009), změna Z1 (2013), změna Z2 (2015)*
- [14] ČSN 73 0804 - *Požární bezpečnost staveb - Výrobní objekty (2010), změna Z1 (2013), změna Z2 (2015)*
- [15] NELSON, D. a F. MOWRER. Emergency Movement. *SFPE Handbook, Chapter 3-14*. NRC Institute for Research in Construction; National Research Council Canada, 2002. ISBN 0-87765-451-4.
- [16] ČSN 73 0831 - *Požární bezpečnost staveb - Shromáždovací prostory (2011), změna Z1 (2013)*

- 
- [17] PROULX, G. Movement of people: the evacuation timing. *SFPE Handbook, Chapter 3-13*. NRC Institute for Research in Construction; National Research Council Canada, 2002. ISBN 0-87765-451-4.
- [18] KOBES, M., I. HELSLOOT, B. VRIES a J. POST. Building safety and human behaviour in fire: A literature review. *Fire Safety Journal*. 2010, 45(1), 1–11. ISSN 0379-7112.
- [19] KULIGOWSKI, E. a M. GWYNNE. The Need for Behavioral Theory in Evacuation Modeling. W. KLINGSCH, C. ROGSCH, A. SCHADSCHNEIDER a M. SCHRECKENBERG, ed. *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2008*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, s. 721–732. ISBN 978-3-642-04503-5.
- [20] CUESTA, O. ABREU a D. ALVEAR. *Evacuation Modeling Trends*. Springer International Publishing, 2016. ISBN 978-3-319-20708-7.
- [21] SIME, J. Affiliative behaviour during escape to building exits. *Journal of Environmental Psychology*. 1983, 3(1), 21–41. ISSN 02724944.
- [22] THOMPSON, P., D. NILSSON, K. BOYCE a D. MCGRATH. Evacuation models are running out of time. *Fire Safety Journal*. 2015, 78, 251–261. ISSN 03797112.
- [23] KULIGOWSKI, E., R. PEACOCK a B. HOSKINS. *A Review of Building Evacuation Models, 2nd Edition*. Fire Research Division Engineering Laboratory. 2010
- [24] RONCHI, E. a M. KINSEY. Evacuation models of the future: Insights from an online survey on user's experiences and needs. *Proceedings of the Advanced Research Workshop: „Evacuation and Human Behaviour in Emergency Situations“*. Universidad de Cantabria, 2011, s. 145–155.
- [25] MASÁŘÍK, I. *Plasty a jejich požární nebezpečí*. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2003. ISBN 978-80-86634-16-6.
- [26] LUKEŠ, Miroslav. *Základy požární taktiky: Produkty hoření*. MV - Ředitelství hasičského záchranného sboru ČR
- [27] ARRIETA, A., P. BRICKELL, V. CAMPARADA, CH. FRY, R. GACHOT, J. LEWANDOWSKI, A. NIELSEN, M. PATEL a D. RITLOP. *Nebezpečí inertních plynů a nedostatečného množství kyslíku - IGC Doc 44/09/CZ*. EUROPEAN INDUSTRIAL GASES ASSOCIATION.
- [28] *Risk Environment: Tenability of the Fire Floor*. National Institute of Standards and Technology
- [29] JIN, T. *Visibility through fire smoke*. Report of Fire Research Institute of Japan. Fire Research Institute of Japan. 1976.
- [30] FRANTZICH, H. a D. NILSSON. Evacuation experiments in a smoke filled tunnel. In: *3rd International Symposium on Human Behaviour in Fire*. Interscience Communications, 2004, s. 229–238.
-



- [31] HURLEY, M. J., D. T. GOTTUK, J. R. HALL, K. HARADA, E. KULIGOWSKI, M. PUCHOVSKY, J. L. TORERO, J. M. WATTS a C. J. WIECZOREK, ed. *SFPE handbook of fire protection engineering*. 5. ed. New York: Springer, 2016. ISBN 978-1-4939-2565-0.
- [32] POH, W. Tenability In Building Fires: Limits And Design Criteria. *Fire Australia*.
- [33] ZEMAN, J. *Popáleniny a moderní trendy v jejich ošetřování v přednemocniční neodkladné péči*. Vyšší odborná škola, střední odborná škola a základní škola MILLS, s. r. o. Čelákovice. 2012
- [34] PROULX, G. Cool under fire. *Fire Protection Engineering* 16. 2002.
- [35] PROULX, G. High-rise office egress: the human factors. *Symposium on High-Rise Building Egress Stairs*. NRC Institute for Research in Construction; National Research Council Canada Peer reviewed No, 2007.
- [36] GRAHAM, T. L. a D. J. ROBERTS. Qualitative overview of some important factors affecting the egress of people in hotel fires. *International Journal of Hospitality Management*. 2000, 19(1), 79–87. ISSN 02784319.
- [37] PROULX, G. Why Building Occupants Ignore Fire Alarms. 2000. ISSN 1206-1220.
- [38] ČSN 73 4130 - *Schodiště a šikmé rampy - Základní požadavky*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2010
- [39] KULIGOWSKI, E., R. PEACOCK, P. RENEKE, E. WEISS, CH. HAGWOOD, K. OVERHOLT, R. ELKIN, J. AVERILL, E. RONCHI, B. HOSKINS a M. SPEARPOINT. *Movement on Stairs During Building Evacuations*. NIST TN 1839. National Institute of Standards and Technology. 2014.
- [40] PEACOCK, R. D., J. D. AVERILL a E. D. KULIGOWSKI. Stairwell Evacuation from Buildings: What We Know We Don't Know. Wolfram W. F. KLINGSCH, Ch. ROGSCH, A. SCHADSCHNEIDER a M. SCHRECKENBERG, ed. *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2008*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, s. 55–66. ISBN 978-3-642-04503-5.
- [41] PEACOCK, R. D., B. L. HOSKINS a E. D. KULIGOWSKI. Overall and Local Movement Speeds During Fire Drill Evacuations in Buildings up to 31 Stories. R. D. PEACOCK, E. D. KULIGOWSKI aj. D. AVERILL, ed. *Pedestrian and Evacuation Dynamics*. Boston, MA: Springer US, 2011, s. 25–35. ISBN 978-1-4419-9724-1.
- [42] PAULS, J. L. Evacuation Drill Held in the B.C. Hydro Building 26 June 1969. *Building Research Report 80*. 1971, Ottawa: National Research Council Canada.
- [43] PAULS, J. L. a B. K. JONES. Building Evacuation: Research Methods and Case Studies. *Fires and Human Behaviour*. 1980, John Wiley & Sons: New York, 227–249.
- [44] KHISTY, C. J. Pedestrian Flow Characteristics on Stairways During Disaster Evacuation. *Transportation Research Record*. 1985, (1047), 97–102.
- [45] TANABORIBOON, Y. a J. A. GUYANO. Analysis of Pedestrian Movements in Bangkok. *Transportation Research Record*. 1991, 1294, 52–56.

- 
- [46] FRANTZICH, H. *A Model for Performance-Based Design of Escape Routes*, Department of Fire Engineering, Lund Institute of Technology, 1994.
- [47] PROULX, G. Evacuation time and movement in apartment buildings. *Fire Safety Journal*. 1995, 24(3), 229–246. ISSN 0379-7112.
- [48] FRANTZICH, H. *Study of Movement on Stairs during Evacuation Using Video Analysis Techniques*. Lund Institute of Technology, 1996.
- [49] PROULX, G., A. KAUFMAN a J. PINEAU. Evacuation Time and Movement in Office Buildings. 1996.
- [50] SHIELDS, T. J., K. E. BOYCE, G. W. H. SILCOCK a B. DUNNE. The Impact of a Wheelchair Bound Evacuee on the Speed and Flow of Evacuees in a Stairway During an Uncontrolled Unannounced Evacuation. *Journal of Applied Fire Science*. 1997, 7(1), 29–39. ISSN 1044-4300, 1541-4183.
- [51] PROULX, G., D. K. TILLER, B. R. KYLE a J. CREAK. Assessment of Photoluminescent Material During Office Occupant Evacuation. 1999.
- [52] WRIGHT, M. S., G. K. COOK a G. M. B. WEBBER. The Effects of Smoke on People's Walking Speeds Using Overhead Lighting and Wayguidance Provision. *Proceedings of the Second International Symposium: Human Behavior in Fire*. 2001.
- [53] AVERILL, J. D., R. D. PEACOCK a E. D. KULIGOWSKI. Analysis of the Evacuation of the World Trade Center Towers on September 11, 2001. *Fire Technology*. 2013, 49(1), 37–63. ISSN 0015-2684, 1572-8099.
- [54] AVERILL, J. D., D. S. MILLETI, R. D. PEACOCK, E. D. KULIGOWSKI, N. GRONER, G. PROULX, P. A. RENEKE a H. E. NELSON. *Occupant Behavior, Egress, and Emergency Communication*. Federal Building and Fire Safety Investigation of the World Trade Center Disaster, 2005.
- [55] FUJIYAMA, T. a N. TYLER. An Explicit Study on Walking Speeds of Pedestrians on Stairs. *Tenth International Conference on Mobility and Transport for Elderly and Disabled People*. 2004.
- [56] HOSTIKKA, S., T. PALOPOSKI, T. RINNE, J. SAARI a T. KORHONEN. *Evacuation experiments in offices and public buildings*. VTT Technical Research Centre of Finland, ISBN 978-951-38-6636-5.
- [57] PROULX, G., N. BÉNICHOU, J. K. HUM a K. N. RESTIVO. Evaluation of the Effectiveness of Different Photoluminescent Stairwell Installations for the Evacuation of Office Building Occupants. 2007.
- [58] HUO, F., W. SONG, L. CHEN, CH. LIU a K. LIEW. Experimental study on characteristics of pedestrian evacuation on stairs in a high-rise building. *Safety Science*. 2016, 86, 165–173. ISSN 0925-7535.
- [59] CHOI, J., E. GALEA a W. HONG. Individual Stair Ascent and Descent Walk Speeds Measured in a Korean High-Rise Building. *Fire Technology*. 2014, 50(2), 267–295. ISSN 0015-2684, 1572-8099.
-



- 
- [60] CHEN, J., J. WANG, X. LIU, T. LI a P. LIN. An Experimental Study of Individual Ascent Speed on Long Stair. *Fire Technology*. 2017, 53(1), 283–300. ISSN 0015-2684, 1572-8099.
- [61] KULIGOWSKI, E., R. PEACOCK, E. WIESS a B. HOSKINS. *Stair evacuation of older adults and people with mobility impairments*. 2013.
- [62] UNITED NATIONS, DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, POPULATION DIVISION. *World Population Ageing 2015*. (ST/ESA/SER.A/390).
- [63] PROULX, G., J. C. LATOUR, J. W. MACLAURIN, J. PINEAU, L. E. HOFFMAN a C. LAROCHE. *Housing Evacuation of Mixed Abilities Occupants in Highrise Buildings*. 1995.
- [64] BOYCE, K. E., T. J. SHIELDS a G. W. H. SILCOCK. Toward the characterization of building occupancies for Fire Safety Engineering: Prevalence, type, and mobility of disabled people. *Fire Technology*. 1999, 35((1)), 51–67.
- [65] ADAMS, A.P.M. a E.R. GALEA. An Experimental Evaluation of Movement Devices Used to Assist People with Reduced Mobility in High-Rise Building Evacuations. R. D. PEACOCK, E. D. KULIGOWSKI a J. D. AVERILL, ed. *Pedestrian and Evacuation Dynamics*. Boston, MA: Springer US, 2011, s. 129–138. ISBN 978-1-4419-9724-1.
- [66] KULIGOWSKI, E., B. HOSKINS, R. PEACOCK a E. WIESS. Evacuation of People with Disabilities on Stairs. In: *Human Behaviour in Fire Symposium*. 2012.
- [67] LARUSDOTTIR, A. a A. DEDERICHS. Evacuation of Children: Movement on Stairs and on Horizontal Plane. *Fire Technology*. 2012, 48(1), 43–53. ISSN 0015-2684, 1572-8099.
- [68] NAJMANOVA, H. a E. RONCHI. An Experimental Data-Set on Pre-school Children Evacuation. *Fire Technology*. 2017. ISSN 0015-2684, 1572-8099.
- [69] KHOLSHEVNIKOV, V. V., D. A. SAMOSHIN a A. P. PARFENENKO. Pre-school and school children building evacuation. *Fire Mater*. 2012, (36 (5-6)), 349–366.
- [70] TAKIZAWA, K. A study for evacuation behavior characteristic of nursery school children and evacuation planning (Part1): the survey of evacuation speed. *Technical papers of annual meeting*. 2013, 347–350.
- [71] CAPOTE, J. A., J. A. ALVEAR, O. ABREU, A. CUESTA a J. HERNANDO. Children evacuation: empirical data and egress modelling. *5th international symposium on human behaviour in fire*. 2012, s. 109–119.
- [72] BERGQVIST, E. *Studie av dimensioners inverkan vid utrymning i spiraltrappor*. Luleå University of Technology. 2015
- [73] GUSTAFSSON, P. *A Study on Movement Down Spiral Staircases*. Lunds universitet. 2016
- [74] FRANTZICH, H. *En modell för dimensionering av förbindelser för utrymning utifrån funktionsbaserade krav*. Lund University. 1994
-

- 
- [75] Věž. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/V%C4%9B%C5%BE>
- [76] JIRÁSEK, P., M. MRÁZEK, E. POLATOVÁ a P. SVOBODA. *Požární ochrana památkových objektů*. 2015. ISBN 978-80-7480-021-4.
- [77] MCGRATTAN, K., S. HOSTIKKA, R. MCDEERMOTT, J. FLOYD, C. WEINSCHENK a K. OVERHOLT. *Fire Dynamics Simulator User's Guide*. NIST Special Publication. National Institute of Standards and Technology, 1019.
- [78] *PyroSim User Manual*. Thunderhead Engineering. 2017
- [79] *Průvodní list požární zkoušky*. FireLAB UCEEB ČVUT v Praze. 2017.
- [80] *Požární zkouška dětského kočárku*. FireLAB\_01\_2017\_04\_07. FireLAB UCEEB ČVUT v Praze. 2017.
- [81] HEJTMÁNEK, P., M. POKORNÝ, F. WALD, O. DVOŘÁK a M. LOKVENC. *Požární riziko dětského kočárku*. ČVUT v Praze, Fakulta stavební.
- [82] KORHONEN, T. a S. HOSTIKKA. *Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac Technical Reference and User's Guide*. VTT Technical Research Centre of Finland, 2009. ISBN 978-951-38-7180-2.
- [83] HELBING, D. a P. MOLNÁR. Social force model for pedestrian dynamics. *Physical Review*. 1995, 51(5), 4282–4286. ISSN 1063-651X, 1095-3787.
- [84] HOSTIKKA, S.. *Development and validation of FDS+Evac for evacuation simulations project summary report Simo Hostikka ... [et al.* Espoo: VTT, 2007. ISBN 978-951-38-6981-6.
- [85] *Pathfinder 2017 - Technical Reference*. Technical Reference
- [86] REYNOLDS, C. W. *Steering Behaviors For Autonomous Characters*. 1999.
- [87] *Pathfinder 2017.1 - Verification and Validation*. Thunderhead Engineering. 2017
- [88] LOKVENC, M. *Evakuace a pohyb osob po schodištích*. Praha, 2017. Diplomový seminář. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební.