

Využití prostorové syntaxe pro formalizaci pohybu osob

Doc. RNDr. Petr Kubiček, CSc.¹, Mgr. Dajana Snopková¹,
Mgr. Bc. Zdeněk Stachoň, Ph.D.¹, Ing. Ondřej Uhlík³,
Mgr. Vojtěch Juřík, Ph.D.², Mgr. Bc. Pavel Ugwitz¹,
Mgr. Čeněk Šašíka, Ph.D.², Ing. Petra Okřínová³,
Ing. Jiří Apeltauer, Ph.D.⁴, doc. Mgr. Tomáš Apeltauer, Ph.D.³,

¹ Geografický ústav PŘF, Masarykova univerzita, Brno,

² Psychologický ústav FF, Masarykova univerzita, Brno,

³ Ústav automatizace inženýrských úloh a informatiky,
FAST, Vysoké učení technické, Brno,

⁴ Ústav pozemních komunikací, FAST, Vysoké učení technické, Brno

Abstrakt

Agentní modely jsou jednou z metod využívaných pro výpočet bezpečné kapacity budovy v případě evakuace. Agentní modely však často neberou v potaz psychologické aspekty ovlivňující lidské rozhodování ani volbu navigačních strategií. Klíčovým aspektem během navigace je i samotná konfigurace prostoru. Teorie prostorové syntaxe umožňuje popis prostoru kvantitativními charakteristikami, které prokazatelně korelují s lidskými aktivitami a volbou tras. V tomto příspěvku diskutujeme výsledky SWOT analýzy využití metody prostorové syntaxe pro zpřesnění agentního evakuačního modelu. Výsledky pilotní studie ve virtuálním prostředí potvrzují, že prostorová konfigurace ovlivňuje lidské rozhodování i během evakuace.

Use of Space-syntax for Formalizing the Movement of People

Abstract

Agent-based models are one of the used methods for calculating the safe building capacity in case of evacuation. However, they often do not consider psychological aspects, influencing human decision-making and choice of navigation strategies. Another critical point during navigation is the configuration of the space itself. Space syntax theory describes spaces using quantitative characteristics that are demonstrably correlated with human activities and route choices. In this paper, we discuss the results of a SWOT analysis of the use of space syntax methods to refine the agent evacuation model. The results of the pilot study in a virtual environment confirm that the spatial configuration influences human decision-making even during evacuation.

Keywords: navigation, evacuation behaviour, agent-based modelling, visual accessibility, virtual reality

1. Úvod

Pochopení chování lidí uvnitř staveb je základem pro celou řadu aplikací, které mohou v případě mimořádné události přispět ke zlepšení bezpečnosti osob v budovách. Aspekty bezpečnosti a ochrany osob jsou přitom důležité napříč celým životním cyklem staveb. Již ve fázi plánování a projektování staveb jsou používány modely k výpočtu a simulacím bezpečného opuštění budovy v případě požáru. Následně je kontrolováno, zda návrh a prostorové uspořádání stavby odpovídá předpokládané kapacitě osob. Tradiční výpočty se spoléhají pouze na změnu hmotnostního toku a rychlosti podle hustoty místnosti [1]. V současné době se čím dál tím více využívají výstupy simulací založených na agentech, kde se agenti „rozhodují“ na základě nejkratší trasy nebo interakce s jinými agenty. Pro dosažení realističtějších výpočtů je však do agentních modelů vhodné zahrnout sociální a psychologické aspekty, které ovlivňují lidské chování a rozhodování [2], [3] během evakuace.

Pro studium těchto aspektů se využívá zpětná analýza reálných evakuací nebo evakuačních cvičení, a v poslední době také simulace ve virtuálních prostředích. Využití virtuálních prostředí přináší možnost simulace situací, které jsou příliš nebezpečné, nemožné nebo nákladné pro replikaci v reálném prostředí [4]. Dalšími výhodami je také možnost kontroly intervenujících proměnných, nižší náklady, přesnost měření a relativně vysoká ekologická validita pro-

vedeného experimentu za předpokladu vysoké míry realismu užitého prostředí [5]. Virtuální realita (VR) jako simulované prostředí vytvářející iluzi skutečného nebo imaginárního světa je v současnosti stále dostupnější a její nasazení se rychle rozšiřuje z herního průmyslu do oblasti stavebnictví, zdravotnictví, vzdělávání a do řady dalších domén. V případě stavebnictví postupně dochází mimo jiné k propojení virtuální reality s informačními modely budov (BIM – building information modelling). Tyto modely je možné využít za určitých podmínek jako vstup pro tvorbu virtuálních prostředí a umožnit tak uživatelské testování některých vlastností stavebních objektů ještě ve fázi návrhu. Jako příklad lze uvést testování požárních evakuačních plánů nebo simulaci zásahu bezpečnostních jednotek v prostředí letiště či v jiných stavbách včetně kritické infrastruktury. Dosud opomíjenou otázkou je nicméně validita využití virtuálního prostředí pro tvorbu predikcí o prostředí reálném. Pro efektivní využití této technologie je nezbytné analyzovat omezení, která přináší a bez jejichž respektování by nevyhnutelně docházelo k nesprávným závěrům analýz.

Dílčím problémem při uživatelských studiích zaměřujících se na navigaci nebo evakuaci je také fakt, že lze jejich závěry jen těžko generalizovat, jelikož jsou vztaženy ke konkrétnímu použitému prostředí. Teorie prostorové syntaxe umožňuje objektivizovaný popis jakéhokoliv prostoru prostřednictvím kvantitativních metrik. Teorie prostro-

rové syntaxe vznikla za účelem objektivizace popisu vztahů mezi lidským chováním, aktivitami, společenskými fenomény a prostorovými strukturami prostřednictvím měřitelných charakteristik prostoru [6], [7]. Od její původní formulace byla dále rozšiřována a doplňována o další aspekty, jako je například viditelnost [8]. Víceré studie prokázaly korelaci mezi metrikami prostorové syntaxe a pohybem lidí ve městech [9], [10], [11], nebo v budovách [12], [13], [14]. Uvedené studie se však zabývají navigací za běžných podmínek, které se ve své podstatě zásadně liší od evakuace.

Cílem tohoto příspěvku je sumarizace a vytvoření přehledu metrik prostorové syntaxe, které je možné využít pro studium navigačního chování a rozhodování. Dále příspěvek analyzuje a diskutuje specifika těchto metrik pro účely zpřesnění agentního modelu evakuace v prostoru budov. Příspěvek ve stručnosti prezentuje také pilotní experiment, ve kterém byly ověřeny základní předpoklady využití metody prostorové syntaxe pro studium evakuačního chování v budovách. V závěru jsou stanovena doporučení a diskutovány návrhy metrik vhodných pro implementaci v agentním modelování evakuačních situací.

2. Současný stav poznání / Rešerše

V následující části je uveden přehled klíčové literatury ke čtyřem oblastem řešeným v rámci našeho dlouhodobého výzkumu, jmenovitě jsou jimi navigace uvnitř budov, evakuační chování, teorie prostorové syntaxe a agentní modelování evakuace.

2.1 Navigace uvnitř budov

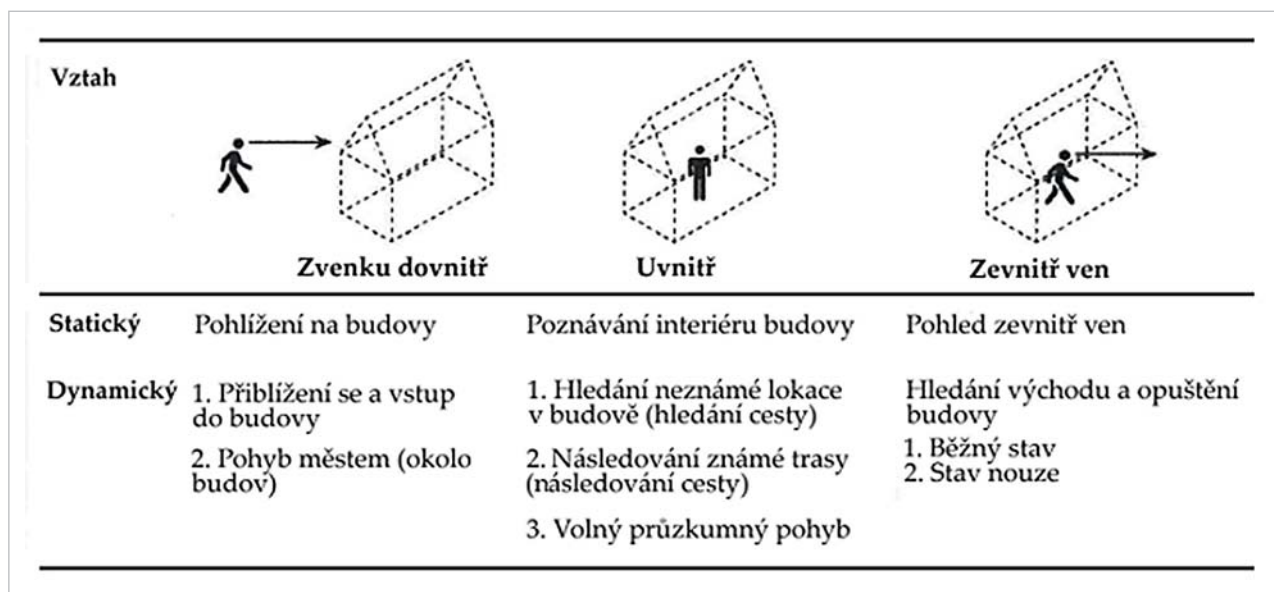
Problematika navigace ve vnitřním prostředí bývá označována také jako navigace v interiéru (např. [15], [16], [17]). Od navigace v exteriéru se liší některými zásadními faktory, jako je například omezenost pohybu, více překážek ve výhledu na vzdálenější objekty, kombinace přirozeného a umělého osvětlení, nutnost kombinace horizontální a ver-

tikální navigace a další. Nezpochybnitelnou roli hraje také uživatelská neznalost prostorů budovy [18], architektonická „čitelnost“ (odlišitelnost jednotlivých objektů), vizuální přístupnost, komplexnost uspořádání prostoru a přítomnost a rozmístění informačního značení [19]. Tyto všechny faktory vstupují do procesu hledání trasy a ovlivňují rozhodování uživatelů.

V současnosti studium problematiky navigace v interiéru nabývá na aktuálnosti a s ní také výzkum přechodných prostředí (transitional spaces) mezi exteriérem a interiérem [20]. Z pohledu návštěvníka či uživatele budovy/stavby a jejich vzájemné interakce lze odlišit dle [21] tři různé základní způsoby, jak k takové interakci může dojít (**obr. 1**): **zvenku dovnitř** (*outside-to-inside*), **uvnitř** (*inside*) a **zvenitř ven** (*inside-to-outside*). U každého z těchto způsobů se rozlišují další dvě podoby interakcí, a to, když je člověk **nehybný** (*statický* – *stationary*) a když je **v pohybu** (*dynamický* – *moving*). Pro potřeby teoretického rámce prezentované studie jsou zásadní dynamické způsoby dvou posledně jmenovaných interakcí, kdy se v případě evakuace jedná zpravidla o hledání cesty, nalezení východu a opuštění budovy.

2.2 Evakuace

Evakuace je tedy příkladem **dynamické interakce** člověka s budovou typu **zvenitř ven**. Cílem osob je zpravidla snaha nalézt východ a co nejrychleji bezpečně opustit budovu a jejich navigační strategie se liší podle toho, zda k opuštění budovy dochází za normálních podmínek nebo v případě krizové situace (evakuace). Na problematiku opuštění budov v případě krizové situace lze pohlížet ze dvou odlišných perspektiv. Jedna zahrnuje modelování chování davu na agregované úrovni a zabývá se například nekoordinovanými pohyby davu v zúžených místech, vzniku „stádního“ reflexu (sledování směru pohybu davu), či například ignorování značených únikových cest [23]. Uvedené modely berou do úvahy zkušenosti z reálných evakuací či jejich nácviku (viz dále). Druhá výzkumná linie se zaměřuje na individuální kognitivní procesy související se stresem



Obr. 1 Obecný rámec interakce mezi uživatelem a stavbou (upraveno dle [21], [22])

při krizových situacích, které zahrnují například zpětné trasování k původnímu vstupu na místo hledání nejbližšího východu [24] (viz dále) či tzv. „tunelové vidění“ omezující schopnost sledování evakuačního značení.

Proulx [25] rozčlenil faktory, které ovlivňují lidské chování během evakuace při vypuknutí požáru do tří kategorií: návštěvník, budova a požár (poslední kategorie není v rámci studie řešena).

Faktory návštěvníků zahrnují jejich osobnostní charakteristiky, předešlé zkušenosti s evakuací a jejím nácvikem, případně míru znalosti budovy. V minulosti převažoval názor, že lidé se během evakuace chovají iracionálně a podléhají panice. Toto tvrzení však bylo vyvráceno, jelikož na základě sledování skutečných evakuací bylo prokázáno, že se takové chování vyskytuje pouze zřídka [26], [25]. Chování v krizových situacích sice může vypadat pro vnějšího pozorovatele (nebo také např. zpětně) iracionálně, ale ve skutečnosti se lidé rozhodují na základě aktuálně dosažitelných, a tudíž často limitovaných informací [27]. Účastníci skutečných evakuací sami často vypovídají, že zažívali „paniku“. Konotace tohoto výrazu je obecně vnímána jako synonymum pro vystrašení, vyděšenost, nervozitu nebo úzkost, ale z principu neimplikuje iracionální jednání [25].

Na začátku procesu evakuace se lidé nechovají podle obecných očekávání. Podle více studií [28], [29], [25], [24] lidé nezačnou opouštět budovu ihned po zaslechnutí požárního poplachu, ale často ještě chvíli zůstávají při plnění svého aktuálního úkolu. Délka této „fixace na úkoly“ závisí na jejich předchozích zkušenostech s evakuací, na aktivitách a chování ostatních přítomných osob nebo na přítomnosti dalších viditelných podnětů indikujících problém (např. oheň, kouř).

V otázce *charakteristik budovy* se jedná o její prostorové členění, komplexitu, ale také o přítomnost evakuačního značení. Lidé nemají tendenci řídit se evakuačním značením a pokyny, často namísto toho používají strategii „zpětného navádění“, neboli vrácení se po trase příchodu (tzv. retracing) [25], [24]. Lidé také často používají jiný než určený nouzový východ [30], například v závislosti na chování ostatních – při taktických cvičeních Integrovaného záchranného systému Hasičského sboru hlavního města Prahy [31] jsme pozorovali jedince, kteří dávají přednost otevřenému východu, sledující tak frontu ostatních evakuujících, namísto použití jiných, byť bližších a přístupných zavřených dveří. Podle Sime [32] nebo Haghani a Sarvi [33] je totiž výběr východu ovlivněn nejen jeho blízkostí, ale také otevřeností, viditelností, známostí a počtem lidí, kteří se k němu pohybují.

Ze tří původních faktorů definovaných Proulxem [25] lze modifikovat a uzpůsobit pouze faktor vlastnosti budovy, a to ideálně již v procesu jejího návrhu tak, aby se předešlo dalším nákladům. Prostorovou konfiguraci budovy lze doplnit vhodným umístěním evakuačního značení a usnadnit tak racionální rozhodování evakuujících a omezit případné ztráty na životech.

2.3 Teorie prostorové syntaxe – formalizovaný popis prostoru

Teorie prostorové syntaxe vznikla za účelem objektivizace popisu vztahů mezi lidským chováním, aktivitami, společenskými fenomény a prostorovými strukturami prostřednictvím měřitelných charakteristik prostoru [6], [7]. Na rozdíl od kognitivních, nebo behaviorálních teorií, které se více zaměřují na chování jednotlivců, teorie prostorové

syntaxe usiluje o to zachytit, jak společnost vytváří, modifikuje a využívá prostor a jak je tímto prostorem dále ovlivňována.

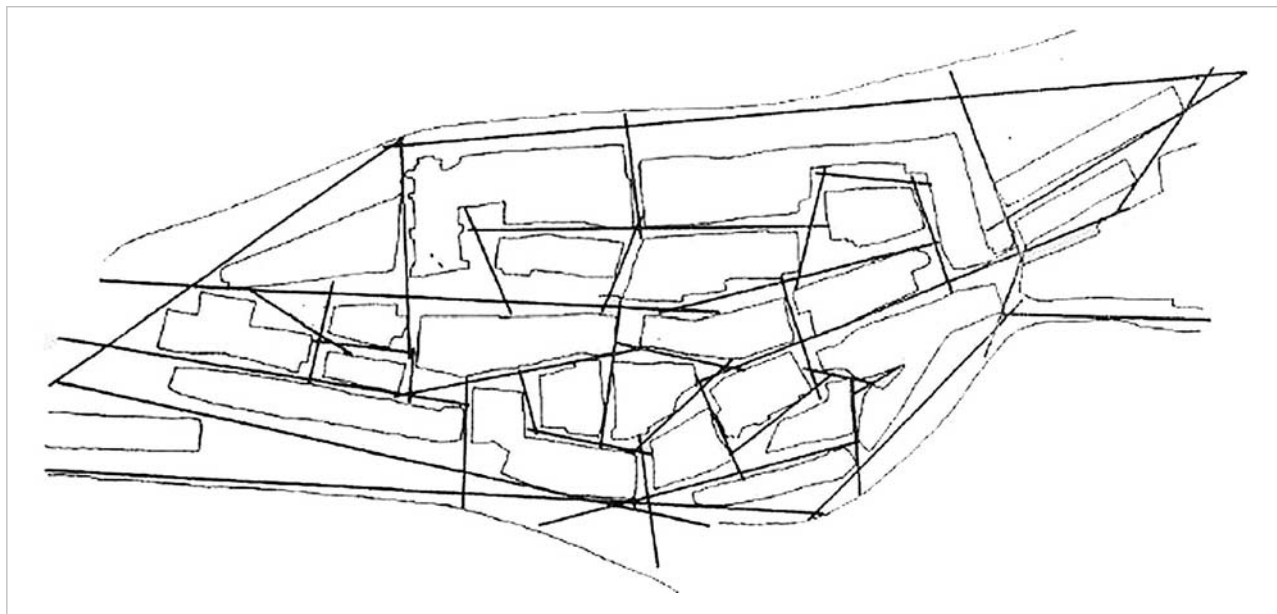
Postupem času se do popředí výzkumu dostal pohyb obyvatel ve městech v rámci jednotlivých funkčních oblastí, kde byla prokázána silná závislost mezi intenzitou migračních proudů a mírou integrace nejfrekventovanějších komunikací. Tento silný vztah mezi prostorem a pohybem (zejména pohyb chodců, ale v menší míře také pohyb vozidel) se stal základním kamenem výzkumu prostorové syntaxe, protože jeho prediktivní schopnost odhadnout sílu migračních proudů a obsazenosti prostoru uživateli se stala neocenitelnou zejména pro architektu a urbanisty [34].

V současné době existuje několik různých výzkumných proudů prostorové syntaxe, které můžeme na základě způsobu výpočtu podle Dalton a kol. [35] rozdělit na *geometrické, konfigurační, vizuální metody a metody informační teorie*.

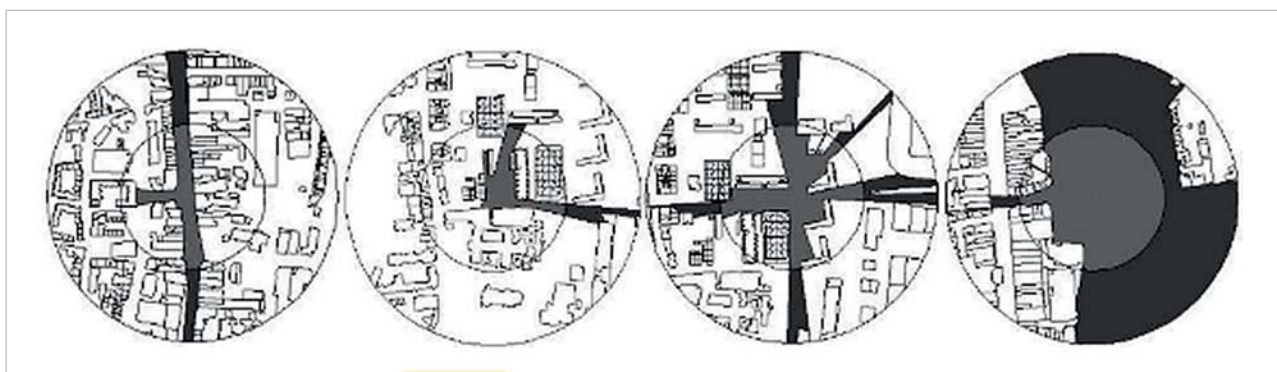
Mezi *geometrické metriky* zahrnujeme délku segmentů, šířku koridorů, relativní vzdálenosti, zakřivení, linearitu a hraničnost prostoru. Pokud uvažujeme optimální evakuační trasu, měla by být přirozeně co nejkratší. Avšak lidské mentální představy prostoru se vyznačují nepřesnostmi a zkresleními [36], která mohou vést k neefektivní volbě trasy. Proto například lidé při každodenním dojíždění ve městech spíše sledují trasy, které jsou přímé, bez výraznější změny úhlů mezi startem a cílem [9], [10], [11], nebo zahrnují co nejméně odbočení, než aby volili trasy nejkratší. Podle studie [37] mají lidé tendenci se na začátku trasy vydat rovným směrem (namísto odbočení). Celkové rozhodování lidí při hledání cesty je mnohem více ovlivněno topologií než přesnou geometrií a je vždy výsledkem předešlých zkušeností a poznání [9].

Konfigurační metody ve výpočtech zahrnují právě topologii a vztahy mezi segmenty (koridory) a prostorovými jednotkami (místnostmi) a jejich umístění v rámci celého hierarchicky propojeného systému (budovy, stavby, prostor). Prvními prostorovými prvky v této kategorii byly hranice, konvexní prostory a páteřní linie (**obr. 2**), které je propojovaly [7]. Jako součást identifikace páteřních linií Peponis a kol. [38] dále definoval tzv. koncept integračního jádra – soubor nejpropojenějších chodeb, které tvoří hlavní osy navigace v budově. Toto integrační jádro dokáže poměrně přesně predikovat například pohyb chodců ve městě [39], kdy lidé preferují známé cesty a opouštějí je spíše v nezbytných případech, např. pro dosažení konkrétního cíle. Další metrika – hustota propojení, která byla představena O’Neillem [40], bere v úvahu počet směrových možností v rozhodovacím bodu. Každé křižovatce je možné přiřadit hodnotu odpovídající počtu možných cest. Hodnoty hustoty propojení také pozitivně korelovaly s časem stráveným v dané oblasti [14].

Vizuální dostupnost je jedním z klíčových faktorů ovlivňujících rozhodování během navigace [19]. Při jejím zahrnutí do analýzy prostorové konfigurace prostředí výsledné modely lépe vysvětlují lidské rozhodování [41], [42]. V roce 1979 Benedikt [43] vytvořil první metodu objektivního popisu vizuální dostupnosti prostoru prostřednictvím tzv. isovistů (**obr. 3**). Isovisy zachycují v půdorysu prostor viditelný z daného bodu prostřednictvím polygonu, který je projektován ve výšce očí (viditelnost), nebo kotníků (průchodnost). Tyto polygony lze popsat pomocí několika kvantitativních metrik [44], které prokazatelně korelují s lidským rozhodováním během navigace a dokáží ho částečně predikovat [45], [44]. Například jednoduchá metrika – velikost viditelné plochy, může být použita k popisu míry pros-



Obr. 2 Axiální mapa – identifikace páteřních linií v prostoru, [7]



Obr. 3 Isovisity v prostředí města – zleva: centrum, sídliště, park (převzato z [48]), tmavou je znázorněna plocha viditelná z centrálního bodu, pro který je isovist konstruován (světle šedá – hranice viditelnosti 200 m, tmavě šedá – hranice viditelnosti 400 m)

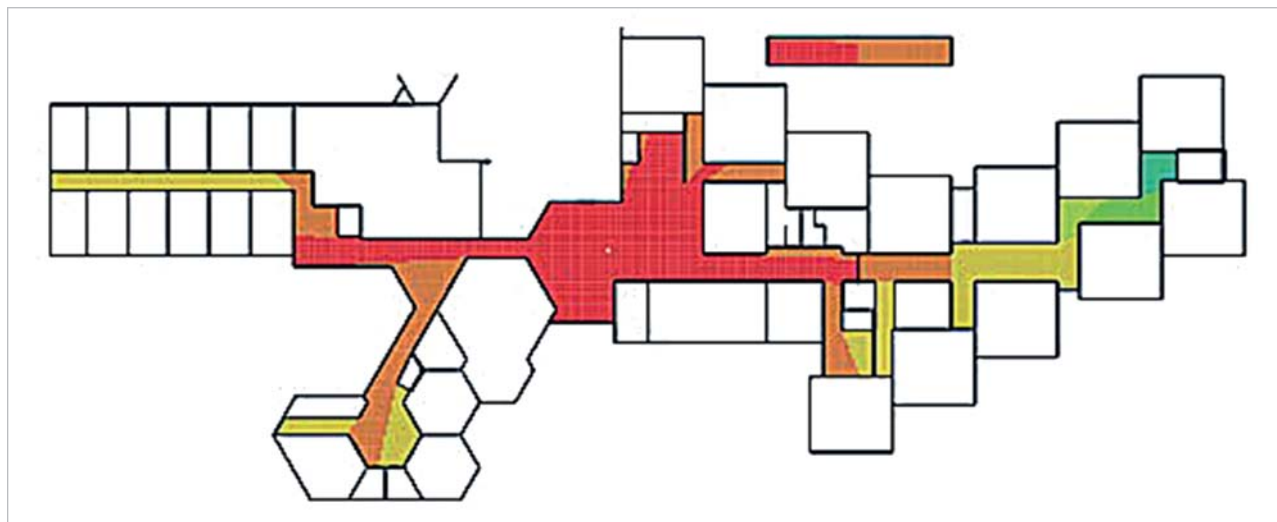
tornosti prostředí [44], [46], která je považována za hlavní faktor používaný k popisu základní kvality architektonického prostoru z hlediska jeho užití a dostupných funkcí. V případě interiérů budov bylo zaznamenáno využití 3D isovistů [47], [34], které dále rozšiřuje původní Benediktův koncept. Jedná se však o nedávné studie a metodika výpočtu 3D isovistů nebyla doposud sjednocena. Výsledky silně korelují s metodou 2D isovistů, ale jsou výpočetně náročnější.

Metoda isovistů byla dále rozšířena [8] tak, aby bylo možné výpočet metrik aplikovat na celé prostředí najednou a vytvořit graf viditelnosti (obr. 4). Analýza grafů viditelnosti prokázala vztah mezi viditelností a celkovou vzdáleností absolvovanou během hledání knih v neznámé knihovně [14]. S využitím této metody [49], [42], [14], [13] výzkumníci prokázali existenci významných rozdílů při navigaci ve vícepatrové budově mezi každodenními uživateli a nováčky. Nováčky při hledání konečného cíle využívali více integrované segmenty a drželi se centrálních chodeb, výrazných bodů a známých částí budovy, a to i za cenu toho, že museli urazit delší vzdálenosti. Každodenní uživatelé se při hledání destinací nejdříve dopraví na dané patro

a posléze postupují k cíli. Pro nováčky a zkušené uživatele jsou tedy typické trasy s odlišnými hodnotami prostorových metrik.

Již uvedené studie vychází z pozorování lidského chování během navigace za normálních podmínek, a proto je třeba dále rozšířit výzkum jejich závěrů pro kontext evakuace, která se od normálních podmínek zásadně liší. Teorie prostorové syntaxe má také několik dalších nedostatků. Nezachycuje například vliv orientačních bodů, značení, nebo vnější vzhled prostředí (povrchy, textury, osvětlení, barva) a taktéž nezahrnuje individuální rozdíly [50]. Historicky bylo hlavním přínosem teorie prostorové syntaxe zjištění, že lidské poznání vnímá prostorové vztahy prostředí více topologicky než metricky [51]. Montello [50] a Ratti [52] však argumentují, že existuje mnoho důkazů toho, že někteří lidé jsou citliví na metrické vlastnosti prostorových dispozic (odhadování vzdáleností, zapamatování směrů apod.).

Teorie prostorové syntaxe jako metoda, kterou lze použít k popisu všech prostorových konfigurací budovy, poskytuje vhodný způsob, jak zobecnit určitá pravidla o lidském chování a zároveň vyloučit vliv dané specifické budovy. Zobecněná zjištění spojená s prostorovými charak-



Obr. 4 Analýza grafu viditelnosti, metrika „hloubka kroku“ (step depth) (převzato z [42])

teristikami pak mohou být dále použita například právě v agentních simulacích evakuace [53].

2.4 Agentní modelování evakuace

Pokročilé nástroje mikroskopického agentního modelování v současné době umožňují numericky simulovat pohyb osob (agentů), a pomocí sady parametrů do určité míry reprodukovat lidské chování [54]. Existuje řada příkladů nasazení těchto modelů při posuzování evakuačního procesu v objektech [55]–[58]. Pohyb agentů je v modelu vymezen zadanou geometrií prostoru, zpracovanou optimálně v CAD, popř. BIM nástrojích. Numerické výpočty probíhají v časových krocích. V každém časovém kroku na agenta působí okolní prostředí v podobě ostatních agentů, geometrie prostoru, či dalších parametrů (např. přítomnosti kouře atp.), které mají přímý vliv na charakteristiky pohybu agenta v dalším časovém kroku [54]. Těmito charakteristikami jsou pozice v prostoru, aktuální rychlost pohybu či intenzita vlivu jiného parametru (expozice kouři). V průběhu simulace se pak tyto interakce vyhodnocují standardními metrikami, jako jsou lokální hustota [54] a doba evakuace.

Agentní evakuační modelování (ABEM) je implementováno například v nástroji *Pathfinder* [59]. Do modelu vstupuje geometrie prostorů reprezentovaná triangulační sítí a sada parametrů, které umožňují agentům předepsat základní chování – tj. například formou upřednostnění kratší trasy na úkor kongescí v rámci místnosti či naopak, případně lze simulovat znalost budovy tím, že si agent automaticky zvolí nejkratší cestu k cíli. Nelze však postihnout částečnou znalost budovy, případně zkraslení představ o jejím půdorysu a další faktory. Pohyb agentů je možné simulovat ve dvou základních módech. Kromě *obvyklého* módu, ve kterém je pohyb agentů určen pouze jejich rychlostí a propustností dveří (což více odpovídá standardním normativním výpočtům požární bezpečnosti [1], [60]), je k dispozici *steering* mód. V tomto módu agenti modifikují svoje volby tras na základě interakce s jinými agenty, snaží se vyhýbat překážkám a podobně. Výstupem modelu jsou hustotní mapy [61], které umožňují vizuální interpretaci výsledků simulace.

3. SWOT analýza

Dlouhodobým cílem našeho výzkumu je zpřesnit existující agentní model *Pathfinder* o behaviorální aspekty vyplývající z analýzy lidského chování během evakuace. Jednou z využívaných metod je již zmíněná metoda prostorové syntaxe. **Obr. 5** shrnuje silné stránky, slabé stránky, příležitosti a hrozby možného využití metody prostorové syntaxe v agentních evakuačních modelech.

3.1 Silné stránky a příležitosti

Vstupními daty pro agentní modelování je kromě jiného konkrétní 3D digitální model budovy, který také slouží jako podklad pro výpočet metrik prostorové syntaxe. V případě zapojení metody prostorové syntaxe do procesu simulace lze v prvním kroku ze stejného modelu budovy (bez nutnosti dalších dat) vypočítat potřebné prostorové metriky a definovat dílčí prostorové struktury. Vypočtené výstupy se liší podle typu použitých metrik, obvykle se však jedná o rastr. Výsledný rastr je možné použít pro výpočet vah pro segmenty tras v jednotlivých koridorech, a tudíž není posléze nutné upravovat zbylé parametry agentů.

Předěšlé studie ukazují, že pro různé skupiny (např. nováčky a znalé uživatele) jsou typické trasy s odlišnými hodnotami prostorových metrik [49], [14], [63]. Je možné tedy do modelu zahrnout různé navigační strategie, které zohledňují odlišnou úroveň znalosti prostředí.

Agentní evakuační modely jsou architektky využívány již ve fázi návrhu budovy, aby bylo možné předejít nedokonalostem v návrhu ještě před zahájením samotné výstavby. Metody prostorové syntaxe nejsou využívány jen pro experimentální studium navigačního chování, ale také poskytují architektům analytickou podporu při návrhu budov a zejména pro přehled o míře komplexnosti budovy pro navigaci [34], nebo o pocitech, které mohou prostory v lidech vyvolávat [46].

3.2 Slabé stránky a hrozby

Na základě zjištěných slabých stránek a hrozeb byly definovány následující výzkumné otázky, které jsou v násled-

<p>Silné stránky</p> <ul style="list-style-type: none"> ● nevyžaduje další vstupní data ● kalkulace metrik přímo z modelu budovy ● snadná kombinace s ostatními parametry ABEM 	<p>Slabé stránky</p> <ul style="list-style-type: none"> ● možnost postihnout skupinové (ne individuální) rozdíly ● nejpoužívanější metriky viditelnosti jsou limitovány např. kouřem
<p>Příležitosti</p> <ul style="list-style-type: none"> ● implementace rozdílných strategií vyhledávání tras na základě vypočtených metrik ● další využití vypočtených metrik architektury ● metriky viditelnosti limitovány kouřem – možnost modelování šíření 	<p>Hrozby</p> <ul style="list-style-type: none"> ● studie využívající prostorové syntaxe jsou vykonávány v standardních podmínkách, bez vlivu stresu nebo davové psychózy ● dynamická změna prostorových parametrů budovy během evakuace (vznikající bariéry blokuující koridory, propad stropů apod.)

Obr. 5 SWOT analýza implementace teorie prostorové syntaxe v agentním modelování [62]

dující části popsány a dále diskutovány spolu s návrhem jejich řešení:

- Ovlivňuje prostorová konfigurace budovy volbu trasy během evakuace? Lze pro popis tohoto vlivu využít metody prostorové syntaxe? (část 4.1)
- Jak se mění prostorová konfigurace budovy během evakuace a jak je možné tyto změny zahrnout do výpočetního modelu? (část 4.2)
- Lze pro účely modelování evakuace zanedbat vliv individuálních rozdílů? (část 4.3)
- Které z metrik prostorové syntaxe jsou nejvhodnější pro využití v agentních modelech? (část 4.4)

4. Diskuze a pilotní studie zjištěných slabých stránek a hrozeb

Stanovené výzkumné otázky odvozené z identifikovaných slabých stránek a hrozeb provedené SWOT analýzy, která vzala do úvahy současný stav výzkumů v zájmových oblastech, jsou dále diskutovány.

4.1 Možnost využití teorie prostorové syntaxe při studiu navigace během evakuace

Studie využívající metriky prostorové syntaxe k popisu navigačního chování, zmíněné v části 2.3, pozorují lidi během každodenních navigačních úkolů za standardního stavu provozu budovy. Nelze bez námitek předpokládat, že tato zjištění lze použít ve scénářích evakuace, kdy jsou lidé ovlivněni stresem, časovou tísň, aktuální hrozbou, nedostatkem informací, chováním a pokyny ostatních evakujících, a často také např. při snížené viditelnosti.

4.1.1 Pilotní studie

Vliv prostorové konfigurace na navigační chování i během evakuace, jsme se rozhodli ověřit v rámci pilotní studie

[64]. Studie proběhla ve virtuální realitě fiktivní budovy hotelu, kde měli účastníci po vstoupení do vestibulu (obr. 6) za úkol najít hotelový pokoj, který se nacházel na druhém patře.

V hotelových pokojích vykonávali snadný úkol pro rozptýlení (zalévali květiny) během kterého se spustil požární alarm a účastníci byli vyzváni k opuštění budovy. Byly vytvořeny čtyři varianty hotelu, které se lišily v prostorové konfiguraci chodeb na druhém patře. Bylo manipulováno s šířkou chodeb, která ovlivňuje např. metriku velikosti viditelné plochy (obr. 7), a také se směrem přichodící cesty do apartmánu 212 a evakuační trasy značené evakuačními šipkami.

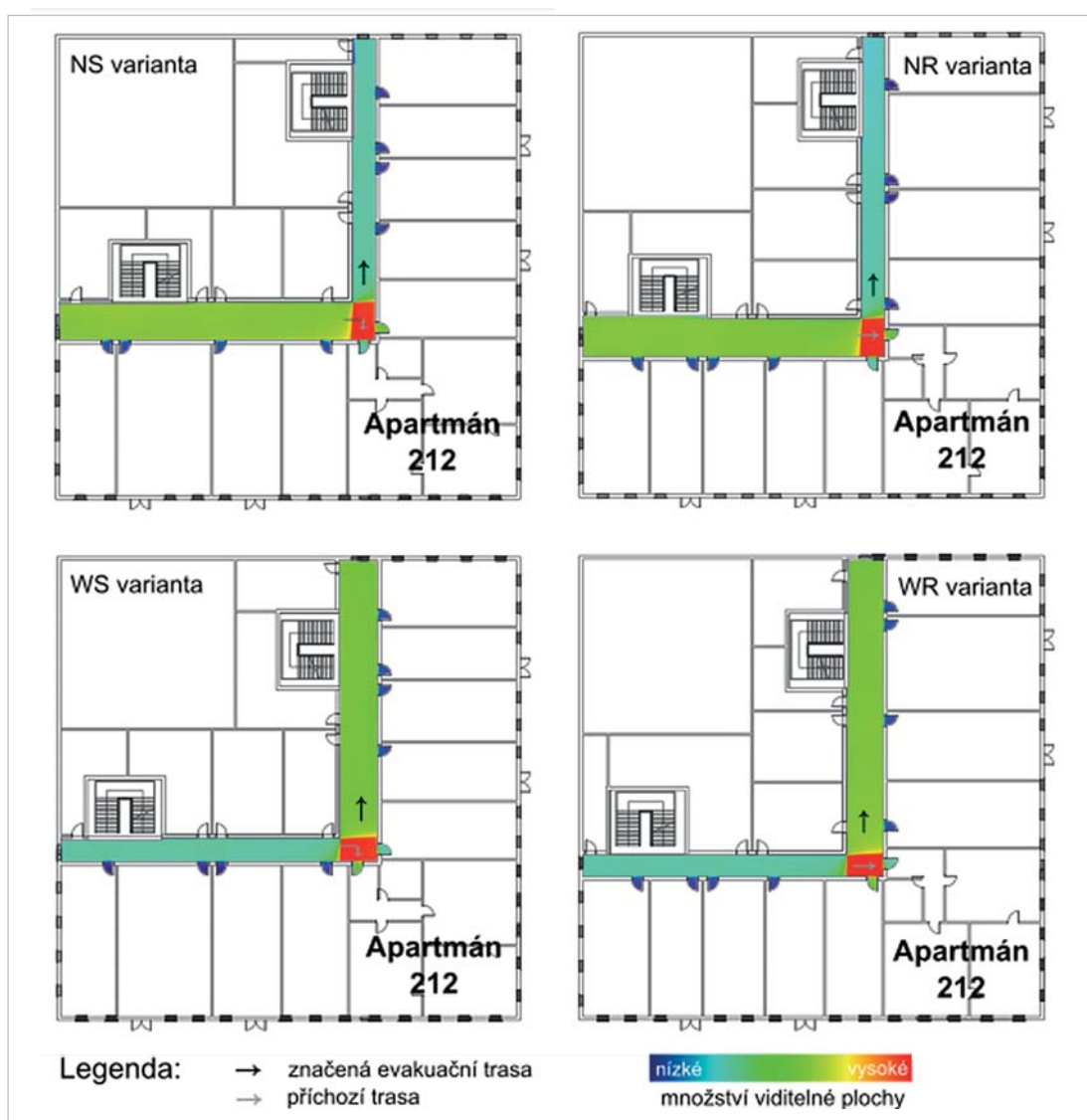
V rámci průchodu virtuálním prostředím byla zaznamenávána data o pohybu a interakci uživatelů [66]. Po skončení průchodu účastníci odpovídali prostřednictvím elektronického dotazníku, kde jsme zjišťovali také to, zda zaznamenali přítomnost a následně využívali evakuační značení a evakuační plán, který byl přítomen na zdi při vstupu do apartmánu. Hlavním cílem bylo zjistit, jak odlišná prostorová konfigurace ovlivní volbu trasy při východu z apartmánu v průběhu evakuace. Soustředili jsme se na to, zda účastníci zvolili užší, nebo širší koridor (s vyšší viditelností), jak bylo jejich rozhodnutí ovlivněno tím, která chodba vedla rovně a která odbočovala, a také přítomností evakuačního značení.

Celkem se studie zúčastnilo 72 účastníků (42 žen a 30 mužů). Výsledky ukázaly, že v případě, kdy evakuační trasa vedla úzkou chodbou a účastník byl nucen zatočit doprava, statisticky významně více účastníků zvolilo pro východ stejnou trasu, kterou přišli (tu která nebyla označena jako evakuační). Šířka chodby také ovlivnila to, zda si účastníci všimli evakuačního značení. V případě, kdy evakuační trasa vedla širším koridorem, si jej všimli častěji.

Pilotní studie prokázala, že odlišná prostorová konfigurace vedla k odlišným navigačním strategiím a volbě odlišné evakuační trasy. Zahrnutí těchto metrik do agentních simulací může vést k přesnějším výsledkům, které více odráží reálné chování uživatelů.



Obr. 6 Pohled do vestibulu po vstupu do budovy; úkolem participanta je vzít modrou konev



Obr. 7 Analýza grafu viditelnosti – metrika viditelné oblasti (vypočteno podle [65], zdroj: [64]) ve čtyřech různých variantách prostředí použitých v studii (při opuštění apartmánu 212: NS – evakuační trasa vede užší chodbou rovně, NR – evakuační trasa vede užší chodbou doprava, WS – evakuační trasa vede širší chodbou rovně, WR – evakuační trasa vede širší chodbou doprava)

4.2 Dynamická změna prostorových parametrů budovy

V průběhu krizové události, která má za následek nutnost evakuace, může dojít ke vzniku různých událostí, které dynamicky ovlivňují prostory budovy. Rozšiřující se požár, únik plynu, zborcení stropů a jiné okolnosti mohou zatarasit cesty a zamezit tak pohybu v určitých koridorech a místnostech. V průběhu evakuace tak dochází k dynamickým změnám prostorových parametrů budovy, čímž se mění i vypočtené hodnoty jak globálních, tak lokálních metrik prostorové syntaxe. Prostorové metriky by se proto během simulace měly po vzniku výše popsaných událostí přepočítat. Výpočet prostorových metrik však v případě komplexnějších budov může být značně výpočetně náročný. Proto je potřebné identifikovat adekvátní míru přesnosti, případně definovat část modelu budovy, se kterou je potřeba pracovat. Přesto je vhodné s možností dynamické změny prostorových parametrů budovy do budoucna počítat.

4.3 Studium skupin a individuálních rozdílů

Jednou z opodstatněných kritik teorie prostorové syntaxe je, že potlačuje individuální rozdíly, které jsou klíčové k pochopení environmentální psychologie [50]. Jednotlivce je však možné agregovat do skupin, se kterými už metoda prostorové syntaxe počítá. Individuální rozdíly nejsou řešeny ani v rámci agentního modelování, kde taktéž dochází k agregaci do skupin. Tento nedostatek je proto možné v našem případě ignorovat.

4.4 Výběr vhodných metrik

Jak již bylo uvedeno, existuje několik typů metrik prostorové syntaxe. Troffa a Nenci [67] či Hölscher a Brösamle [68] uvádí, že metriky založené na viditelnosti nejlépe vysvětlují lidské rozhodování. Weisman [19] taktéž zahrnul viditelnost (spolu s architektonickou diferenciací, složitostí uspořádání chodeb a cest a informacemi obsaženými v dostupných navigačních pomůckách – mapy, značení) jako nejdůležitější faktor usměrňující chování člověka při hledání cesty. Avšak viditelnost může být značně omezena v případě vypuknutí požáru, který reprezentuje drtivou většinu evakuačních scénářů. Nicméně to neznamená, že metody prostorové syntaxe založené na viditelnosti jsou pro tento případ nepoužitelné. Naopak, nabízí se možnost toto snížení viditelnosti integrovat do výpočtů isovistů, nebo grafu viditelnosti, což by například v případě metrik vyplývajících z dispozice budovy nebylo možné.

Metody isovistů a analýza grafu viditelnosti jsou úzce propojeny. Isovisy se používají v případě, že potřebujeme zjistit viditelnost z jednoho specifického bodu (např. bod rozhodování na křižovatce). Pokud počítáme charakteristiky pro celou budovu, pracujeme již s grafem viditelnosti. Metriky se počítají zvláště pro každé patro, lze je však propojit, viz [42]. Výstupem analýzy je rastr s hodnotami metrik (viditelná plocha neboli míra konektivity, perimetr, kompaktnost, okluzivita, délka dohledu, a jiné, viz např. [65] pro každé místo v budově. V pilotní studii jsme pracovali s metrikou viditelné plochy (konektivitou), která se mění s odlišnou šířkou koridorů. Volba konkrétní metriky se může lišit pro analýzu různých rozhodovacích bodů nebo navigačních strategií.

5. Závěr

Při navrhování prostředí, ať už na úrovni měst či budov, bývá přijímáno mnoho opatření k zajištění bezpečnosti civilistů. V případě vzniku požárů uvnitř staveb musí být dodrženy přísné normy týkající se mimo jiné kapacity přítomných osob. Využití BIM modelů umožňuje řešení bezpečnosti a ochrany již v procesu návrhu budov a okolních struktur. Pro výpočet maximální bezpečné kapacity budov se využívají různé výpočetní metody a v poslední době se stále častěji objevují modely založené na agentním modelování. Agentní evakuační modely pracují s 3D modelem budovy a množstvím dalších vstupních parametrů, kterými je možné ovlivnit základní charakteristiky agentů (rychlost pohybu, reakční čas, pohlaví apod). Pro trasování se využívá algoritmus nalezení nejkratší trasy, v případě sofistikovanějších modelů jsou také zahrnuty aspekty interakce agentů navzájem. Agenti většinou mají globální povědomí o budově a přesně vědí, kde leží jejich cílový bod a která cesta k němu je nejúčinnější. To však neplatí v reálných situacích, kdy se lidé často rozhodují v časové tísně, pod vlivem stresu, nebo pouze na základě informací dostupných v jejím bezprostředním okolí. Jejich navigační výkon je vysoce ovlivněn úrovní znalosti budovy [63], [49] a často si nevybírají nejkratší cestu, spíše sledují tu s „nejmenším počtem odbočení“ nebo „nejmenším úhlem“ [9], [10], [11]. Mentální mapa prostorových znalostí agentů by z důvodu realističtějšího zachycení chování uživatele v případě navigace měla také podléhat zkresení, které je typické pro mentální kognitivní mapy u lidí. Například pro jednorázové návštěvníky by měla obsahovat pouze potenciální cestu, která byla provedena při vstupu do budovy a na přesné místo, odkud začíná simulace evakuace. Tyto kognitivní mapy je možné definovat jako pravděpodobnost volby jednotlivých segmentů vedoucí k vykonání evakuační trasy.

Teorie prostorové syntaxe nabízí možnost, jak tyto potenciální trasy určit pro jakoukoliv budovu. Prostory budov lze popsat prostřednictvím prostorových metrik, které korelují s frekvencí užívání jednotlivých koridorů a částí. Použití teorie prostorové syntaxe v agentním evakuačním modelování však není přímočaré. V příspěvku jsme se zaměřili na hlavní problémy identifikované ve SWOT analýze, ke kterým jsme se dále pokusili naznačit a diskutovat jejich možná řešení. Vykonaná pilotní studie [63] potvrdila, že prostorové metriky budovy mají vliv na volbu trasy i během evakuace. Konkrétně byla zjištěna závislost mezi zvolenou evakuační trasou a šířkou a směrem koridorů (chodeb). Uvedená zjištění umožňuje navázat na předešlé studie využívající metodu prostorové syntaxe, které se zaměřovaly na studium navigace v běžných podmínkách provozu budovy. Nami vykonaná studie má však několik omezení. Použité prostředí se vyznačovalo poměrně jednoduchou prostorovou konfigurací snadnou pro navigaci. Výsledky se mohou lišit v případě komplexnějšího půdorysu budovy. Taktéž je potřeba adresovat otázku validity využití virtuálního prostředí coby výzkumného nástroje. V současné době je realizována komplexní srovnávací studie uskutečněná v reálném a virtuálním prostředí.

Prezentovaná SWOT analýza [62] sloužila k nalezení konkrétních metrik prostorové syntaxe, které by byly nejvhodnější pro použití v agentním modelování. Klíčovým faktorem ovlivňujícím rozhodování během navigace je viditelnost [19]. Zejména v případě evakuace způsobené vypuknutím požáru, je viditelnost ovlivňována například přítomností kouře a může značně ovlivnit volbu postupu

evakuujících. Metriky viditelnosti nebyly součástí teorie prostorové syntaxe od jejího počátku, s postupem času se však ukázalo, že právě ony při zahrnutí do analýz nejlépe vysvětlují lidské rozhodování [67], [68]. Mezi metriky viditelnosti patří například: viditelná plocha neboli míra konektivity, perimetr, kompaktnost, okluzivita, délka dohledu a další. V pilotní studii byla použita metrika konektivity. Pro finální rozhodnutí, kterou z metrik viditelnosti zahrnout do výpočtu modelu je nutné vykonat další studie v různě komplexních prostředích.

V budoucnu bude nutné mimo jiné prověřit technické možnosti a limitace integrace výpočtu prostorových metrik do existujícího modelu *Pathfinder*. Výhodou je, že pro výpočet nejsou potřebná další data a je možné pracovat pouze se vstupním modelem budovy, který je již v současné době vyžadován před realizací staveb. Po zapojení výpočtu bude možné porovnat výsledky simulace se současným stavem, případně s výsledky vykonaných behaviorálních studií ve virtuální realitě a v reálném prostředí.

LITERATURA:

- [1] SFPE. Guide to Human Behavior in Fire. 2019.
- [2] KULIGOWSKI, E. D.-PEACOCK, R. D.: A Review of Building Evacuation Models. National Institute of Standards and Technology, 2005.
- [3] SANTOS, G.-AGUIRRE, B. E.: A Critical Review of Emergency Evacuation Simulation Models. Proceeding Conf. Building Occupant Mov. Dur. Fire Emergencies, 2004.
- [4] VINCENZI, D. A.-WISE, J. A.-MOULOVA, M.-HANCOCK, P. A.: Human factors in simulation and training. 2008.
- [5] KINATEDER, M. et al.: Virtual reality for fire evacuation research. Fed. Conf. Comput. Sci. Inf. Syst. FedCSIS, 2014, vol. 2014-Januar, p. 313-321.
- [6] HILLIER, B.-LEAMAN, A.-STANSALL, P.-BEDFORD, M.: Space Syntax. Environ. Plan. B, 1976, vol. 3, p. 147-185.
- [7] HILLIER, B.-HANSON, J.-PEPONIS, J.: What do we mean by building function? Des. Build. Util., 1984, p. 61-72.
- [8] TURNER, A.-DOXA, M.-O'SULLIVAN, D.-PENN, A.: From isovists to visibility graphs: a methodology for the analysis of architectural space.
- [9] HILLIER, B.-IIDA, S.: Network and psychological effects in urban movement. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 2005.
- [10] GOLLEDGE, R. G.-DOUGHERTY, V.-BELL, S.: Acquiring Spatial Knowledge: Survey Versus Route-Based Knowledge in Unfamiliar Environments. Ann. Assoc. Am. Geogr., 1995.
- [11] DALTON, R. C.: The Secret Is To Follow Your Nose. Environ. Behav., 2003, vol. 35, no. 1, p. 107-131.
- [12] HÖLSCHER, C.-MEILINGER, T.-VRACHLIOTIS, G.-BRÖSAMLE, M.-KNAUFF, M.: Up the down staircase: Wayfinding strategies in multi-level buildings. J. Environ. Psychol., 2006, vol. 26, no. 4, p. 284-299.
- [13] LI, R.-KLIPPEL, A.: Wayfinding Behaviors in Complex Buildings: The Impact of Environmental Legibility and Familiarity. Environ. Behav., 2016, vol. 48, no. 3, p. 482-510.
- [14] LI, R.-KLIPPEL, A.: Using space syntax to understand knowledge acquisition and wayfinding in indoor environments. Proc. 9th IEEE Int. Conf. Cogn. Informatics, ICCI, 2010, p. 302-307.
- [15] BUTZ, A.-BAUS, J.-KRÜGER, A.-LOHSE, M.: A hybrid indoor navigation system. International Conference on Intelligent User Interfaces, Proceedings IUI, 2001, p. 25-32.
- [16] MONTELLO, D. R.: Spatial cognition and architectural space: Research perspectives. Architectural Design, 2014.
- [17] KARIMI, H. A.: Indoor wayfinding and navigation. 2015.
- [18] GÄRLING, T.-LINDBERG, E.-MÄNTYLÄ, T.: Orientation in buildings: Effects of familiarity, visual access, and orientation aids. J. Appl. Psychol., 1983.
- [19] WEISMAN, J.: Evaluating architectural legibility: Way-Finding in the Built Environment. Environ. Behav., 1981.
- [20] KRAY, C.-FRITZE, H.-FECHNER, T.-SCHWERING, A.-LI, R.-ANACTA, V. J.: Transitional spaces: Between indoor and outdoor spaces. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 2013.
- [21] DALTON, R. C.-KRUUKAR, J.-HÖLSCHER, C.: Architectural cognition and behavior. Handbook of behavioral and cognitive geography.
- [22] ŠVEDOVÁ, H.: Hodnocení vlivu výraznosti rozhodovacích bodů na navigaci. Masarykova univerzita, 2020.
- [23] HELBING, D.-FARKAS, I.-VICSEK, T.: Simulating dynamical features of escape panic. Nature, 2000.
- [24] JOHNSON, C. W.: Lessons from the evacuation of the World Trade Center. 2005.
- [25] PROULX, G.: Occupant behaviour and evacuation Proulx. G. NRCC-44983 Occupant Behaviour and Evacuation, 2001, p. 219-232.
- [26] QUARANTELLI, E.: Sociology of Panic. International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences, 2001.
- [27] CORNWELL, B.: Bonded Fatalities: Relational and Ecological Dimensions of a Fire Evacuation. Sociological Quarterly. 2003.
- [28] PROULX, G.-SIME, J.: To Prevent 'Panic' In An Underground Emergency: Why Not Tell People The Truth? Fire Saf. Sci., 1991.
- [29] FAHY, R.-PROULX, G.: Human Behavior In The World Trade Center Evacuation. Fire Saf. Sci., 1997.
- [30] WOOD, P. G.: The behaviour of people in fires. Fire Res. Stn., 1972, vol. 953, p. 1-113.
- [31] GENERÁLNÍ ŘEDITELSTVÍ HASIČSKÉHO ZÁCHRANNÉHO SBORU ČR: V budově Nové radnice v Praze vypukl cvičný požár, událost prověřila všechny složky IZS. 2020. [Online]. Dostupné na: <https://www.hzscr.cz/clanek/v-budove-nove-radnice-v-praze-vypukl-cvicny-pozar-udalost-proverila-vsechny-slozky-izs.aspx>.
- [32] SIME, J. D.: Affiliative behaviour during escape to building exits. J. Environ. Psychol., 1983.
- [33] HAGHANI, M.-SARVI, M.: Human exit choice in crowded built environments: Investigating underlying behavioural differences between normal egress and emergency evacuations. Fire Saf. J., 2016.
- [34] DALTON, R. C.-HÖLSCHER, C.-SPIERS, H. J.: Navigating Complex Buildings: Cognition, Neuroscience and Architectural Design. Stud. Vis. Spat. Reason. Des. Creat., 2015.
- [35] DALTON, R. C.-HÖLSCHER, C.-PECK, T.-PAWAR, V.: Judgments of building complexity & navigability in virtual reality. Spatial Cognition, 2010.
- [36] EVANS, G. W.: Environmental cognition. Psychol. Bull., 1980.
- [37] BAIENSON, J. N.-SHUM, M. S.-UTTAL, D. H.: The initial segment strategy: A heuristic for route selection. Mem. Cogn., 2000, vol. 28, no. 2, p. 306-318.
- [38] PEPONIS, J.-ZIMRING, C.-CHOI, Y. K.: Finding the building in wayfinding. Environ. Behav., 1990.
- [39] PENN, A.-DALTON, N.: The architecture of society: stochastic simulation of urban movement. Simulating Societies, 1994.
- [40] O'NEILL, M. J.: Evaluation of a conceptual model of architectural legibility. Environ. Behav., 1991.
- [41] TROFFA, R.-NENCI, A. M.: Escape: wayfinding strategies and emergency. Cogn. Process., 2009, vol. 10, no. 52, p. 331-333.
- [42] BRÖSAMLE, M.-HÖLSCHER, C.-VRACHLIOTIS, G.: Multi-level complexity in terms of space syntax: a case study. 6th Int. Sp. Syntax Symp., 2007, p. 44:1-12.
- [43] BENEDIKT, M. L.: To take hold of space: isovists and isovist fields. Environ. Plan. B Plan. Des., 1979.
- [44] FRANZ, G.-WIENER, J. M.: Exploring isovist-based correlates of spatial behavior and experience. Proc. 5th Int. Sp. Syntax Symp., 2005, p. 503-517.
- [45] MEILINGER, T.-FRANZ, G.-BÜLTHOFF, H. H.: From isovists via mental representations to behaviour: First steps toward closing the causal chain. Environ. Plan. B Plan. Des., 2012, vol. 39, no. 1, p. 48-62.
- [46] DOSEN, A. S.-OSTWALD, M. J.: Lived space and geometric space: comparing people's perceptions of spatial enclosure and exposure with metric room properties and isovist measures. Archit. Sci. Rev., 2017, vol. 60, no. 1, p. 62-77.
- [47] BHATIA, S.-CHALUP, S. K.-OSTWALD, M. J.: Analyzing architectural space: identifying salient regions by computing 3D isovists. 2012.

- [48] DAVIES, C.-MORA, R.-PEEBLES, D.: Isovists for Orientation: can space syntax help us predict directional confusion? *Sp. Syntax Spat. Cogn. Work.* '06, 2006, no. May 2014, p. 81-92.
- [49] HÖLSCHER, C.-MEILINGER T.-VRACHLIOTIS, G.-BRÖSAMLE, M.-KNAUFF, M.: Finding the way inside: Linking architectural design analysis and cognitive processes. *Lecture Notes in Artificial Intelligence (Subseries of Lecture Notes in Computer Science)*, 2005.
- [50] DALTON, N. S.-DALTON, R. C.-MARSHALL, P.: Three dimensional isovists for the study of public displays. no. *Montello* 2007, p. 1-9 .
- [51] PENN, A.: Space syntax and spatial cognition: Or why the axial line? *Environ. Behav.*, 2003, vol. 35, no. 1, p. 30-65.
- [52] RATTI, C.: Space syntax: Some inconsistencies. *Environ. Plan. B Plan. Des.*, 2004, vol. 31, no. 4, p. 487-499.
- [53] PENN, A.-TURNER, A.: Space syntax based agent simulation. *Pedestr. Evacuation Dyn.*, 2001, no. June, p. 99-114.
- [54] SCHADSCHNEIDER, A.-KLINGSCH, W.-KLÜPFEL, H.-KRETZ, T.-ROGSCH, C.-SEYFRIED, A.: Evacuation Dynamics: Empirical Results, Modeling and Applications. *Extreme Environmental Events*, 2011.
- [55] KASEREKA, S.-KASORO, N.-KYAMAKYA, K.-DOUNGMO GOUFO, E. F.-CHOKKI, A. P.-YENGO, M. V.: Agent-Based Modelling and Simulation for evacuation of people from a building in case of fire. *Procedia Computer Science*, 2018.
- [56] TRIVEDI, A.-RAO, S.: Agent-Based Modeling of Emergency Evacuations Considering Human Panic Behavior. *IEEE Trans. Comput. Soc. Syst.*, 2018.
- [57] YANG, X. X.-DONG, H. R.-YAO, X. M.-BIN SUN, X.: Pedestrian evacuation at the subway station under fire. *Chinese Phys. B*, 2016.
- [58] RONCHI, E.-URIZ, F. N.-CRIEL, X.-REILLY, P.: Modelling large-scale evacuation of music festivals. *Case Stud. Fire Saf.*, 2016.
- [59] THUNDERHEAD ENGINEERING CONSULTANTS: Agent Based Evacuation Simulation. 2019. [Online]. Dostupné na: <https://www.thunderheadeng.com/pathfinder/>.
- [60] THUNDERHEAD ENGINEERING: Pathfinder User Manual. 2020. [Online]. Dostupné na: <https://support.thunderheadeng.com/docs/pathfinder/2020-2/user-manual/>.
- [61] THUNDERHEAD ENGINEERING CONSULTANTS: Contour Plots for Advanced Visualization in Pathfinder. 2019. [Online]. Dostupné na: <https://www.thunderheadeng.com/2015/05/contour-plots-for-advanced-visualization/>.
- [62] SNOPOKOVÁ, D.: Application of Space Syntax Theory in Agent-based Evacuation Modelling. 14th International Conference on Spatial Information Theory, Regensburg, Germany, 2019.
- [63] LI, R.-KLIPPEL, A.: Wayfinding Behaviors in Complex Buildings: The Impact of Environmental Legibility and Familiarity. *Environ. Behav.*, 2016.
- [64] SNOPOKOVÁ, D. et al.: The Influence of Building Spatial Configuration on the Retracing Evacuation Strategy: A Virtual Reality game-based experiment. *Spat. Cogn. Comput.*
- [65] MCELHINNEY, S.: Isovist_2.2: a basic user guide', v1.4. 2018. [Online]. Dostupné na: https://isovists.org/user_guide/.
- [66] UGWITZ, P.-JUŘÍK, V.-ŠAŠINKA, Č.-ŠAŠINKOVÁ, A.-STACHOŇ, Z.: Toggle Toolkit: Experimental Design Creation in Unity.
- [67] TROFFA, R.-NENCI, A. M.: Escape: Wayfinding strategies and emergency. *Cogn. Process.*, 2009.
- [68] HÖLSCHER, C.-BRÖSAMLE, M.: Capturing Indoor Wayfinding Strategies And Differences In Spatial Knowledge With Space Syntax. 6th Int. Sp. Syntax Symp., 2007.

Do redakce došlo: 3. 6. 2020

Lektoroval:
Ing. Karel Jedlička, Ph.D.,
Fakulta aplikovaných věd, ZČU v Plzni