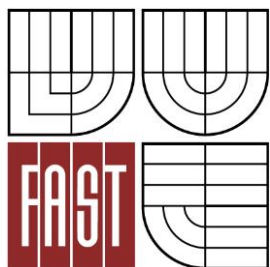




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEODÉZIE

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEODESY

ANALÝZA ÚNIKOVÝCH TRAS V 3D MODELU BUDOVY

ANALYSIS OF ESCAPE ROUTES IN 3D BUILDING MODEL

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. ANDREA HALAJOVÁ

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MARTIN ČERNÝ, Ph.D.

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3646 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3646R003 Geodézie a kartografie (N)
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Andrea Halajová
Název	Analýza únikových tras v 3D modelu budovy
Vedoucí diplomové práce	Ing. Martin Černý, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	30. 11. 2015
Datum odevzdání diplomové práce	27. 5. 2016
V Brně dne 30. 11. 2015	

.....
doc. RNDr. Miloslav Švec, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- [1] ČERNÝ, Martin, Štěpánka TOMANOVÁ, Barbora POSPÍŠILOVÁ a Rudolf VYHNÁLEK. BIM Příručka [CD]. Praha: Odborná rada pro BIM, 2013 [cit. 2013-11-04]. ISBN 978-80-260-5297-5. Dostupné z: <http://issuu.com/czbim/docs/bim-prirucka-2013-v1>
- [2] Towards Defining a Framework for Automatic Generation of Buildings in CityGML Using Building Information Models. ISIKDAG, Umit a Sisi ZLATANOVA. 3D Geo-Information Sciences: Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Berlin: Springer-Verlag, 2009, s. 79-96. ISBN : 978-3-540-87395-2. Dostupné také z: <http://www.springerlink.com>
- [3] NISBET, Nick, Betzy DINESEN a Jane THOMPSON. Thinking about BIM: Thinking about BIM executive guide to building information modelling. 1. Great Britain: British Standards Institute, 2010, 20 s.
- [4] IFC2x3 - Final Documentation. BUILDINGSMART INTERNATIONAL LTD. Building SMART: International home of OpenBIM [online]. 2x3. [cit. 2011-04-24]. Dostupné z: <http://buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/index.htm>
- [5] ESRI Shapefile Technical Description: An ESRI White Paper—July 1998. Redlands, California: Environmental Systems Research Institute, Inc., 1998, 34 s. Dostupné také z: www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf
- [6] OGC 06-103R4. OpenGIS® Implementation Standard for Geographic information - Simple feature access: Part 1: Common architecture. Wayland, USA: Open Geospatial Consortium, Inc., 2010, 92 s. Dostupné také z: <http://www.opengeospatial.org/standards/sfa>
- [7] Ing. MARTIN ČERNÝ, Disertační práce: GIS analýzy v prostředí informačního modelu stavby. Brno, 2015. 112 s Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?zp_id=82843

Zásady pro vypracování

Ze zadaného 3D BIM modelu ve formátu IFC extrahujte potřebná data do GIS prostředí ArcGIS. Z modelu sestavte topologickou síť reprezentující místnosti a jejich spojení. Na základně tohoto modelu vypracujte síťovou analýzu pro únikové trasy z budovy. Výstupem budou nejméně 3 grafická reprezentace síťového grafu a doby nutné pro opuštění budovy z jednotlivých místností.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....
Ing. Martin Černý, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Táto diplomová práca sa zaoberá analýzami únikových trás v 3D modeli budovy. Prvotne sú zo zadaného 3D BIM modelu vo formáte IFC extrahované potrebné dáta do GIS prostredia ArcGIS. Z modelu je vytvorená topologická sieť reprezentujúca miestnosti a ich prepojenie. Na základe tohoto modelu je vypracovaná sieťová analýza pre únikové trasy z budovy. Výstupom je 5 grafických reprezentácií sieťového grafu, webová vizualizácia a doby potrebné pre opustenie budovy z jednotlivých miestností.

Kľúčová slova

BIM, IFC, GIS, sieťové analýzy

Abstract

This diploma thesis is dealing about the Analysis of escape routes in 3D Building model. At first 3D BIM model, in format IFC, is extracted into the GIS software ArcGiS. From the model is created topology network, which representes the rooms and their connections. Based on this model is created the network analysis for building's escape routes. Results are 5 graphical representation of networks, web visualization and time required to exit from each room of the building.

Keywords

BIM, IFC, GIS, Network Analysis

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Andrea Halajová *Analýza únikových tras v 3D modelu budovy*. Brno, 2016. 70s.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Martin Černý, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 27.5.2016

.....
podpis autora
Bc. Andrea Halajová

Pod'akovanie

Rada by som poďakovala, vedúcemu mojej diplomovej práce, Ing. Martinovi Černému, Ph.D., za inšpiratívne rady, cenné odborné usmernenie, ale hlavne ľudský prístup a podnetné pripomienky, ktoré dopomohli ku vzniku tejto diplomovej práce. Ďalej by som chcela poďakovať mojim rodičom a rodine za podporu počas celej doby môjho štúdia.

Obsah

Úvod.....	10
Teoretická časť.....	12
1. Charakteristika BIM a GIS.....	12
1.1. BIM	12
1.2. GIS	15
1.2.1. Komponenty GIS	16
1.2.2. Možnosti využitia geografických informačných systémov	16
1.2.3. Typy dát pre GIS.....	19
1.2.4. Relačné operátory	21
1.2.5. Analýzy v GIS	23
2. Dátové formáty	26
2.1. IFC (Industrial foundation class).....	26
2.1.1. Charakteristika.....	26
2.1.2. Architektúra	26
2.2. ESRI Shapefile	27
2.2.1 Charakteristika.....	27
2.2.2. Architektúra	27
2.3. Rôznorodosť BIM a GIS	28
2.3.1. Interoperabilita BIM a GIS	28
2.3.2. Porovnanie BIM a GIS.....	29
3. ArcGIS.....	31
3.1. ArcGIS for Desktop	31
3.2. Rozšírenia ArcGIS for Desktop.....	32
Praktická časť	33
4. Prípravné práce.....	33
4.1. Charakteristika FME.....	33
4.2. FME v praxi	33
5. Návrh únikových trás	37
5.1. Separácia miestností a dverí na jednotlivé poschodia.....	38
5.2. Manuálny návrh siete	39

5.3. Zistené chyby v 3D modeli budovy	40
5.4. Vytvorenie 3D línie a doplnenie atribútovej tabuľky	42
6. Analýzy	43
6.1. Sieťový dataset	43
6.2. Topologické kontroly	48
6.3. Prepojenie siete pre celú budovu	49
6.4. Analýzy na sieti	51
6.4.1. Samostatná trasa	52
6.4.2. OD Cost Matrix	54
7. Vizualizácia a grafická reprezentácia výsledkov	58
Záver	61
Použitá literatúra	62
Zoznam skratiek:	66
Zoznam príloh v elektronickej podobe:	67
Zoznam obrázkov	68
Zoznam tabuliek	70

Úvod

Témou tejto diplomovej práce je analýza únikových trás v 3D modeli budovy. Jedná sa o analýzu, ktorá prebehne v stávajúcom 3D modeli budovy, ktorý je poskytnutý vo formáte IFC – Industry Foundation Classes a jeho následným prevedením do formátu ESRI Shapefile. Samotný návrh siete únikových trás a následné analýzy budú prebiehať v prostredí programu ArcGis for Desktop. Na vizualizáciu bude použitý nástroj xBIM, ktorým je možné jednoducho a okamžite modelovať varianty pre rôzne dostupnosti východov. Výsledkom práce budú aspoň tri grafické reprezentácie sieťového grafu a doby nutné pre opustenie budovy z jednotlivých miestností.

Diplomovú prácu možno rozdeliť na tri základné časti: teoretická, praktická a záverečná časť. Prvá časť je venovaná bližšej špecifikácii jednotlivých dátových formátov s ktorými sa pracovalo, sú to vyššie spomínané dátové formáty IFC a ESRI Shapefile. Každý formát predstavuje iný typ dát. V prípade IFC sa jedná o BIM, čiže Building Information Modeling a ESRI Shapefile predstavuje GIS, čiže Geographic Information System. Súčasťou tejto práce je aj stručne charakterizovaná rozdielnosť týchto systémov. V poslednej kapitole tejto časti bude aj v krátkosti opísaný program v ktorom budú prebiehať analýzy. Ako už bolo spomenuté jedná sa o program ArcGis for Desktop.

Druhá tzv. praktická časť sa zaoberá prvotne prevodom formátu IFC do formátu ESRI Shapefile v programe FME. Nasleduje vytvorenie siete a analýzy. Tieto úkony budú vykonané prostredníctvom softwaru ArcGIS. Konkrétne budú práce rozdelené na prácu v 2D a 3D priestore. K práci v 2D priestore sa použije program ArcMap a v 3D priestore ArcScene. Kapitola bude tiež zahŕňať návrh únikových trás a popis prác, ktoré prebiehali počas procesu tvorenia siete. Jedná sa o kľúčovú kapitolu, kedy výsledkom je potrebná sieť na následné analýzy. Vytvorenie spomínanej siete je jeden z pilierov, na ktorom sa stavajú potrebné analýzy, preto sieť musí byť kvalitná, topologicky správna a detailne prepracovaná. Analýzy budú vykonávané pomocou sieťových analytických nástrojov. Následná vizualizácia je vytvorená pomocou nástroja xBIM, v ktorej bude možné simulovať rôzne krízové situácie, ktoré by mohli vzniknúť v prípade vypuknutia požiaru následkom či už zlyhania technického stavu budovy alebo ľudského faktora.

Jednotlivé výsledné výstupy budú obsahovať aj následné vysvetlenia skutočností, ktoré boli nasimulované a predchádzali ich vytvoreniu, tým pádom mali vplyv na ich konečnú podobu. Výsledkom bude farebná webová 3D vizualizácia časov v rôznych konfiguráciách.

Tretia a zároveň záverečná časť bude obsahovať zhrnutie prác, ktoré prebiehali, výsledkov a spomenuté budú aj možnosti využitia tejto problematiky v iných oblastiach.

Teoretická časť

Teoretická časť tejto práce slúži na zoznámenie sa s problematikou GIS a BIM, ktoré budú využité. Už zo zásad pre vypracovanie práce vyplýva, že zo zadaného 3D BIM model vo formáte IFC je potrebné extrahovať potrebné dáta do GIS prostredia. GIS prostredie v tomto prípade predstavuje ArcGIS. Všetky uvedené informácie slúžia na pochopenie fungovania jednotlivých systémov, čo je potrebné pre prácu s nimi. Je nutné spomenúť nielen základné definície systémov a ich prepojenie, ale v prípade GIS aj podrobnejšie súvislosti.

1. Charakteristika BIM a GIS

Ako bolo už v úvode spomenuté, témou tejto práce nie je len samotná analýza v GIS, ale aj prvotný prevod medzi formátmi IFC a ESRI Shapefile®. Keďže formát IFC nie je formátom používaným pre geografické informačné systémy je potrebné sa touto problematikou zaoberať a vysvetliť ju. Nasledujúce kapitoly sú venované práve vysvetleniu pojmov, ktoré bezprostredne súvisia s prevodom, či už sa jedná o pojmy BIM a GIS, ale aj konkrétne formáty a následná interoperabilita medzi nimi.

1.1. BIM

Pojem BIM z anglického Building Information Modeling, nie je presne zadefinovaný. Mnohé zdroje uvádzajú rôzne vysvetlenia. Na ukážku sú uvedené len niektoré z nich:

BIM je proces vytvárania a správy dát o budove počas jej celého životného cyklu. Informačný model budovy je v podstate digitálny model, ktorý reprezentuje fyzický a funkčný objekt s jeho charakteristikami. Slúži ako otvorená databáza informácií o objekte pre jeho zrealizovanie a spravovanie počas doby jeho užívania. [1]

BIM je moderný, inteligentný proces, na tvorbu a správu projektov, založený na modeli. Uľahčuje výmenu informácií v rámci procesu návrhu projektu, výstavby a používania budovy. [2]

BIM je idea nepretržitého používania digitálneho modelu budovy pre všetko oblasti stavebníctva od plánovania, realizácie, prevádzky až po demoláciu. [3]

BIM koncept si môžeme predstaviť ako informačnú databázu, v ktorej sa zdieľajú všetky informácie a dáta o stavbe od jeho návrhu, výstavby cez správu objektu počas jeho užívania, rekonštrukciu až po demoláciu.

Je založený na vzájomnej spolupráci všetkých profesií, zdieľaní informácií a koordinácií jednotlivých činností. [4]

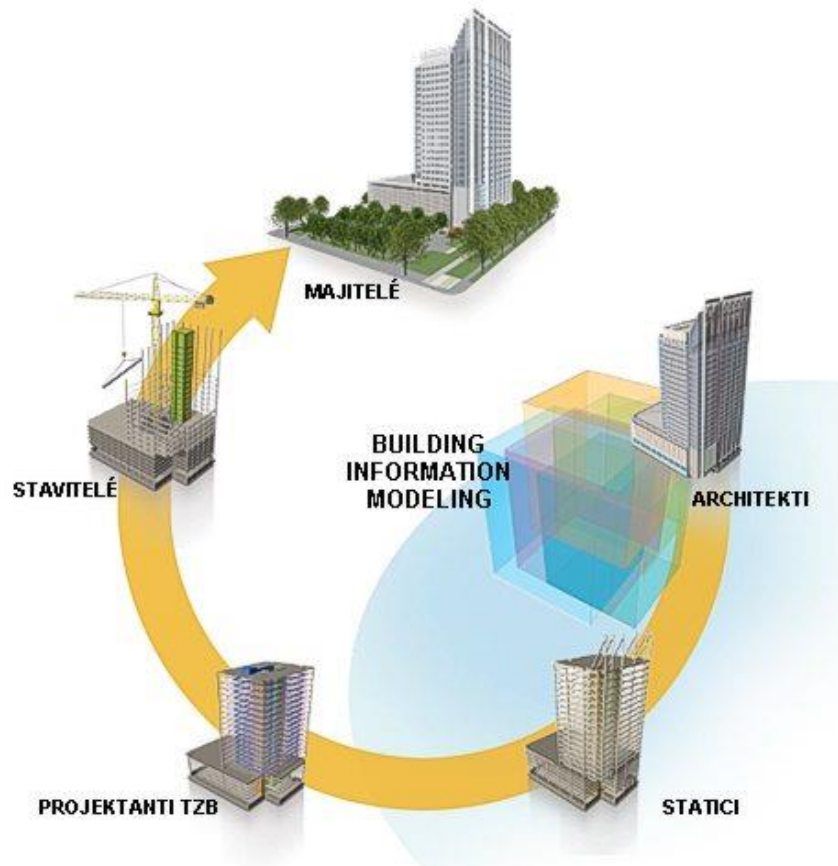
Aj na základe týchto rôznorodých definícií poznať, že exaktná definícia zatiaľ neexistuje, ale napriek tomu je z každej definície jasné čím sa BIM zaoberá.

Je však dôležité si uvedomiť, že "B" zo skratky BIM sa neobmedzuje len na budovy, ale všeobecne na stavbu a stavebný proces. V zmysle uvedených definícií je potrebné rozlišovať BIM ako model, teda ako formu informačnej databázy a BIM ako proces modelovania, ktorý využíva BIM model na výmenu a zdieľanie informácií. [5]

Na rozdiel od CAD programov, ktoré využívajú softwarové nástroje na generovanie výkresov, BIM umožňuje využívanie inteligentných prvkov informačného modelu, čo predstavuje rozdielny spôsob práce, kde bez ohľadu na množstvo konštrukčných zmien, alebo kto je tvorcom zmien, zostávajú dáta konzistentné, koordinované a viac presné pre každú zúčastnenú stranu. Čo sa týka medziodborových projektových tímov, slúžia modelovo založené návrhy ako základ pre novú, efektívnejšiu spoluprácu. Medzi výhody možno zaradiť aj pracovné postupy, ktoré nielen poskytujú všetkým zúčastneným stranám jasnejšiu predstavu o projekte, ale aj na základe dostupnosti potrebných informácií sa zvyšuje schopnosť činiť dôležité rozhodnutia rýchlejšie a efektívnejšie.[6] BIM preto ponúka zlepšenie plánovania vo všetkých fázach súvisiacich s výstavbou a následnou prevádzkou objektu. To znamená, že medzi jeho veľkú výhodu patri aj jeho schopnosť reagovať na aktualizáciu dát a analyzovať dôsledky zmien v návrhu projektu do všetkých prislúchajúcich oblastí, čiže sa nejedná len o práce prebiehajúce počas výstavby, ale aj následné používanie a správa danej budovy. Tým sa dá predísť chybám projektu vznikajúcich z nedokonalkej koordinácie činností a následnej úspore času a finančných prostriedkov. Takéto prepojenia informácie zvyšujú produktivitu a kvalitu projektu. Z hľadiska celkovej efektívnosti navrhovaní môže byť BIM prístup aj konkurenčnou výhodou. [4]

Čo sa týka systému práce s BIM, pre praktické využitie princípu informačného modelu budovy, dnes už existujú efektívne softwarové nástroje – programy. Vzájomná komunikácia spolupracujúcich užívateľov prebieha pomocou otvoreného súborového formátu IFC (Industry Foundation Classes), ktorý je vyvíjaný medzinárodnou organizáciou buildingSMART. IFC je otvorený, nezávislý súborový formát, ktorý dovoľuje ku každému stavebnému prvku priradiť ďalšie potrebné informácie, ako je napríklad typ výrobku, výrobca alebo jeho cena. [4] Formát IFC bude podrobnejšie opísaný v kapitole 2. Práve formát IFC slúži ako prostriedok na odovzdávanie informácií medziodborovo.

Tieto procesy sa týkajú hlavne osôb, ktoré priamo spolupracujú pri všetkých fázach výstavby. Jedná sa o investora, architekta a projektanta stavebnej časti, projektanta časti pre TZB, statika, rozpočtára, zhotoviteľa, facility managera a štátnu správu. Práve koordinačné procesy (výmena dát, detekcia kolízií, úpravy modelov a parametrov a i.) sú kľúčové pre správne fungovanie BIM a jeho maximálne využitie. Prechod na BIM zahrňuje čiastočnú zmenu doterajších procesov predovšetkým čo sa týka odovzdávania a zdieľania dát, ale súvisí aj so zavádzaním nových technológií, ktoré umožňujú BIM vytvárať a využívať. [5]



Obrázok 1 Prepojenie jednotlivých osôb zúčastnených v stavebnom procese [13]

Napriek vyššie spomenutým výhodám sa s BIM na území Českej či Slovenskej republiky nestretávame tak často. Je otázne či sa jedná o vyspelosť krajiny, potrebu finančných prostriedkov alebo chuť učiť sa novým veciam a zavádzať inovácie. Ako príklady by nám však mohli slúžiť niektoré európske zeme napríklad škandinávské krajiny. V roku 2001 boli vo Fínsku úspešne zavedené modely v BIM v niekoľkých pilotných projektoch a na základe tohto úspechu, fínsky Senát v roku 2007 rozhodol, že BIM sa bude používať vo všetkých svojich projektoch. V Nórsku boli tiež v rokoch 2007 až 2009 zavádzané pilotné projekty a následne dokončené do roku 2010, BIM sa tu takisto stalo záväzným.

Ani UK neostalo v pozadí a v roku 2011 zverejnilo dokument „UK BIM Initiative“, ktorého cieľom bolo pomocou súčasných digitálnych technológií modernizovať stavebníctvo. Od roku 2016 je BIM v UK povinný. Medzi ďalšie európske krajiny, ktoré už pokročilo zavádzajú BIM do pracovných metód a štandardov, patria krajiny Beneluxu. S tým úzko súvisí aj ťah Európskeho parlamentu, ktorý modernizáciou právnych predpisov EÚ o verejnom obstarávaní zabezpečuje budúcnosť metódam ako je BIM pre verejné obstarávanie. Prijatie smernice 2014/24/EÚ o verejnom obstarávaní zákona znamená, že by sa mali všetky členské štáty Európskej únie snažiť využívať novodobé moderné technológie, medzi ktoré patrí aj BIM, a tým podporovať realizáciu verejne financovaných projektov v oblasti infraštruktúry a stavebníctva. [3] Čo sa týka neeurópskych krajín, medzi ne patrí napríklad USA, Austrália, Singapur a Čína. Hoci koncept informačného modelu budovy, je či už v Českej alebo v Slovenskej republike, propagovaný už niekoľko posledných rokov a ponúka veľký potenciál pre zefektívnenie výstavby, jeho zavádzanie do projekčných alebo architektonických kancelárií aj realizačných firiem je zatiaľ veľmi pozvoľné.

1.2. GIS

V prostredí GIS bude prebiehať väčšina prác a z toho dôvodu je táto kapitola obsiahlejšia. Obsahuje nielen základnú definíciu, ale aj súvislosti, ktoré je potrebné poznať pri zostavovaní topologickej siete reprezentujúcej miestnosti a ich prepojenie, ako súčasť zadania a taktiež analýzy, ktoré budú následne prebiehať na vytvorenej sieti.

Tak ako v prípade BIM aj čo sa týka GIS existuje viacero definícií Geografických informačných systémov. Ako príklady sú uvedené niektoré z nich:

Geografický informačný systém (GIS) je informačný systém na získavanie, ukladanie, analyzovanie a manažovanie dát a príslušných vlastností, ktoré sú priestorovo viazané k Zemi. Inak povedané je to počítačový systém schopný integrácie, uchovávanía, úpravy, analýzy, zdieľania a zobrazovania geografických informácií. [7]

Geografické informačné systémy je integrovaná zbierka počítačového softvéru a údajov použitých na zobrazenie a spravovanie informácií o geografických miestach, analýzu priestorových vzťahov, a modelovanie priestorových procesov. GIS poskytuje rámec na zber a organizáciu priestorových údajov a súvisiacich informácií tak, aby mohli byť zobrazené a analyzované. [8]

Geografické informačné systémy (GIS) sú počítačové systémy riadenia databáz pre vstup, ukladanie, správu, analýzu a výstup dát určených priestorovými alebo geografickými súradnicami (Burrough, 1986; Maguire et al, 1991). Dôležitým rozdielom medzi GIS a ďalšími informačnými systémami je schopnosť vykonávať priestorové analýzy. To odlišuje GIS od nepriestorových systémov a od priestorových systémov určených, do značnej miery, na ukladanie priestorových informácií, riadenie a zobrazenie, ako sú napríklad Informačný systém o území z anglického Land Information systems (LIS) , Automated Mapping / Facilities Management (AM / FM) a Computer Aided Design (CAD) (Cowan, 1987). Za účelom vykonania priestorovej analýzy, GIS potrebuje informácie nielen o polohe, ale aj o priestorových vzťahov. [9]

1.2.1. Komponenty GIS

Súčasťou geografického informačného systému sú uvedené komponenty:

- ❖ hardwarové vybavenie (počítače, servery, tlačiarne, plotre, skenery)
- ❖ software (GIS software, databázy)
- ❖ dáta
- ❖ ľudia – programátori, špecialisti GIS (analytici), koncoví užívatelia
- ❖ súbor metód pre prácu s dátami. [10]



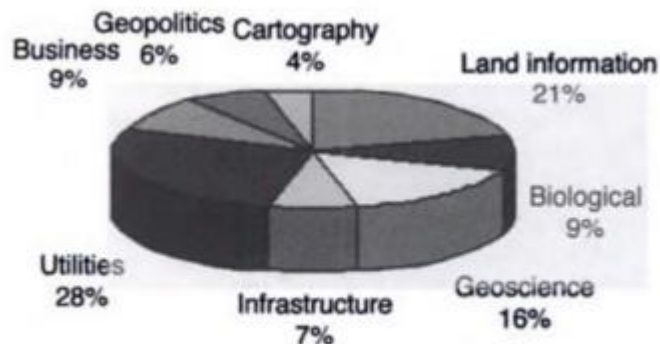
Obrázok 2 Komponenty GIS [12]

1.2.2. Možnosti využitia geografických informačných systémov

Nielen vyššie spomenuté, ale akékoľvek definície geografických informačných systémov, popisujú GIS vo všeobecnosti. Nespomínajú o aké konkrétne vstupné dáta sa jedná a práve to poskytuje uplatnenie geografických informačných systémov v širokej škále rôznych odborov.

Korte vo svojej knihe [11] uvádza 9 kategórii aplikácií GIS, ktoré boli zistené na základe sledovania užívateľského trhu:

- ❖ Základné dáta - pre tvorbu vektorových dát a rastrových obrázkov reprezentujúcich fyzické vlastnosti zemského povrchu. Tieto informácie sú použité na registráciu a digitalizáciu ďalších typov GIS dát, či už hmotného alebo nehmotného charakteru. Väčšina dát je odvodená z leteckého snímkovania, ortofoto mapovania, fotogrametrie, geodetickej činnosti, družicového snímkovania.
- ❖ Informácie o území, ktoré slúžia na tvorbu a údržbu dát pre záznamy o území, územné plánovanie a využívanie.
- ❖ Biológia- environmentalistika, zdravotníctvo, lesníctvo, pôdohospodárstvo.
- ❖ Geológia - výskum ropy, zemného plynu a nerastných surovín.
- ❖ Infraštruktúra - zahŕňajúca dopravu, logistiku, záchrannú službu a riadenie z dispečingu.
- ❖ Inžinierske siete - voda, kanalizácia, elektrina, plyn, telefón, televízia, internet
- ❖ Obchodný marketing a predaj zahŕňajúci demografické, lokalizačné analýzy a analýzy obchodu.
- ❖ Geopolitika - politické a vojenské stratégie.
- ❖ Kartografia



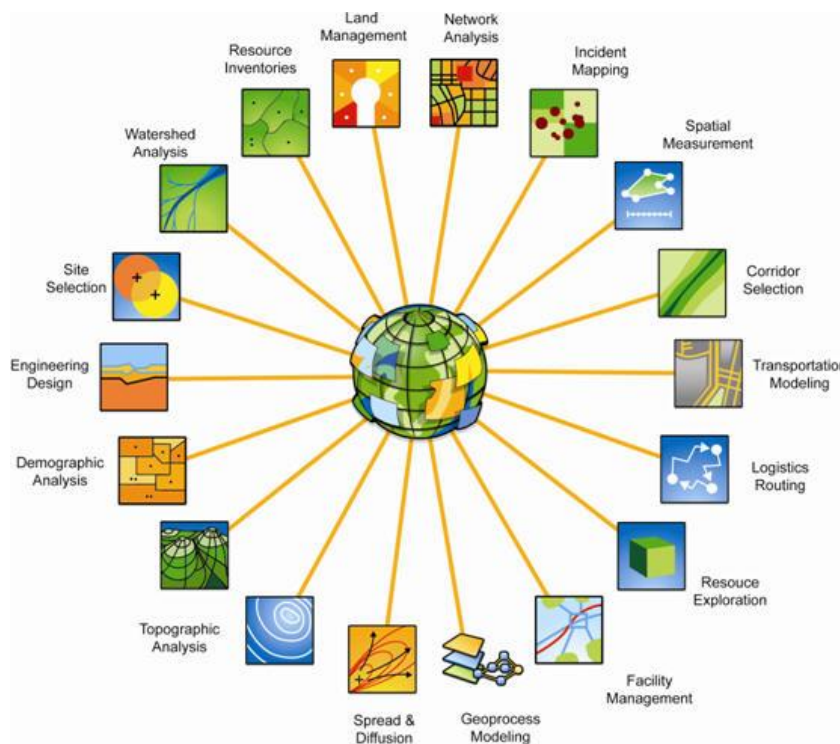
Obrázok 3 Graf znázorňujúci aplikácie v GIS podľa Korteho [11]

Za zmienku stoja oblasti, ktoré síce neboli spomenuté v rozdelení podľa Korteho, ale v dnešnej dobe majú pomerne veľké uplatnenie:

- ❖ Krízové riadenie - management zložiek integrovaného záchranného zboru pri krízových situáciách, spracovanie krízových plánov (napr. povodňové plány).

- ❖ Špecializované štátne inštitúcie - modelovanie prírodných i socioekonomických javov (napr. analýzy migrácie obyvateľstva, zostavenie registrov biotopov, modelovanie svahových pohybov)
- ❖ Cestovný ruch - zviditeľnenie území pre turistov
- ❖ Riadenie energetických a vodohospodárskych sústav - sieťové analýzy, návrh miesta výstavby veterných elektrární
- ❖ Navigačné systémy a podklady
- ❖ Architektúra, stavebníctvo - vizualizácie modelov budov, zasadenie do krajiny. [10]
- ❖ Medicína - monitoring chorôb a ohnísk nákazy, ktoré sa týkajú chorôb spôsobujúcich epidémie. Napríklad ebola vírus v Zaire, cholera v Indii, v Bangladéši, v Latinskej Amerike a malária v Mexiku, kedy sa vyhotovujú mapy, ktoré ukazujú možnosti riziká nákazy v jednotlivých regiónoch a identifikujú oblasti, ktoré potrebujú pomoc. [11]
- ❖ Prírodné katastrofy - predpovede hroziaceho rizika v prípade prírodných katastrof, ako sú zemetrasenia, vlny tsunami, hurikány atď.

Klasifikácia do oborov však nemusí byť striktná, Korteho je len jedno z možných uvedených delení. Aj čo sa týka tejto práce, nie je možné jej prideliť len jednu konkrétnu kategóriu, jej využitie môže byť viacúčelové ako napríklad v stavebníctve pri tvorbe únikových plánov, ale aj v krízovom riadení pri vypuknutí požiaru alebo inej krízovej situácie.



Obrázok 4 Mnohodorové využitie GIS [12]

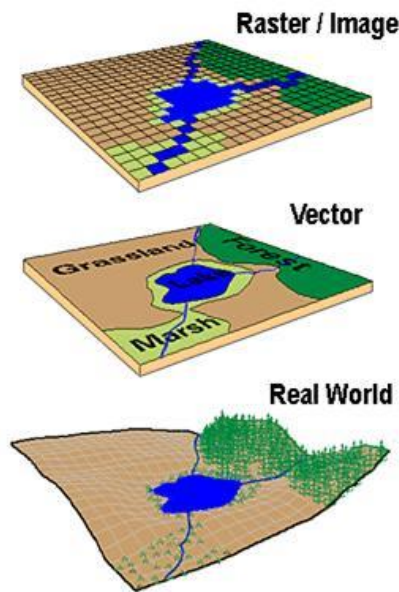
1.2.3. Typy dát pre GIS

Základné rozdelenie dát pre geografické informačné systémy je na rastrové a vektorové. V prípade rastrových formátov je nositeľom informácie pixel, najmenšia stavebná jednotka obrazu, ktorý môže reprezentovať jeden celý objekt, jeho časť alebo je v pixeli ukrytých viacero objektov, ktoré však nemáme schopnosť rozoznať. Z tohto dôvodu je potrebné poznať hodnotu veľkosti pixelu, ktorá udáva priestorové rozlíšenie rastru. Vektorové dáta majú rozdielnu štruktúru na rozdiel od rastrových a to tým, že uchovávajú informácie o objektoch záujmovej oblasti formou bodov, línií a polygónov. Jednotlivé objekty sú usporiadané do vrstiev podľa určitej charakteristiky napríklad vodstvo, lesy, budovy. Následne sú dátové vrstvy prepojené s atribútmi objektu, kde sa jedná o popisnú zložku dát, ktorá sa spolu s polohopisnou zložkou (zakódovaná geometria objektu) ukladá do geodatabázy. [10]

Keďže v prípade tejto práce sa jedná o použitie vektorového typu dát, tak v nasledujúcich riadkoch bude tento typ dát podrobnejšie opísaný. V GIS sú geografické objekty vyjadrené ako vektory, tým že uvažujú vlastnosti geometrických tvarov. Rôzne objekty sú vyjadrené rôznou geometriou. Ako základné sa považujú body, línie a polygóny. [14]

- ❖ Body, sa používajú pri objektoch, ktoré je možno vyjadriť najlepšie jedným bodom, inými slovami jednoduchým umiestnením. Príkladom sú napríklad mestá na mape sveta.
- ❖ Línie a krivky, sa používajú pri lineárnych tvaroch, ako cesty, rieky, železnice. V prípade tohto typu záujmovej oblasti je možné vykonávať meranie vzdialeností, na rozdiel od bodov.
- ❖ Polygóny (mnohouholníky), sa používajú na objekty, ktoré pokrývajú určitú časť zemského povrchu. Sú to napríklad jazerá, hranice pozemkov, budovy a iné. Vektorový typ dát musí rešpektovať územnú celistvosť na základe pravidiel ako napríklad, že polygóny sa nesmú prekrývať.

Pre porovnanie vektorových a rastrových dát možno uviesť ako výhody vektorových dát ich presnosť a nadväznosť na atribúty objektov. Vektorové dáta je jednoduchšie aktualizovať, udržiavať a umožňujú oveľa väčšie schopnosti analýzy, najmä pre "siete", ako sú cesty, moci, železnice, telekomunikácie. Rastrové dáta sú zas vhodnejšie pri spracovaní zložitých analytických výpočtov a modelov. Ako príklady vektorových dát možno uviesť databázy s priestorovými dátami a s atribútmi jednotlivých objektov a medzi rastrové dáta môžeme zaradiť napríklad snímky leteckého snímkovania, družicové snímky diaľkového prieskumu zeme, ale aj napríklad naskenované podklady. [10]

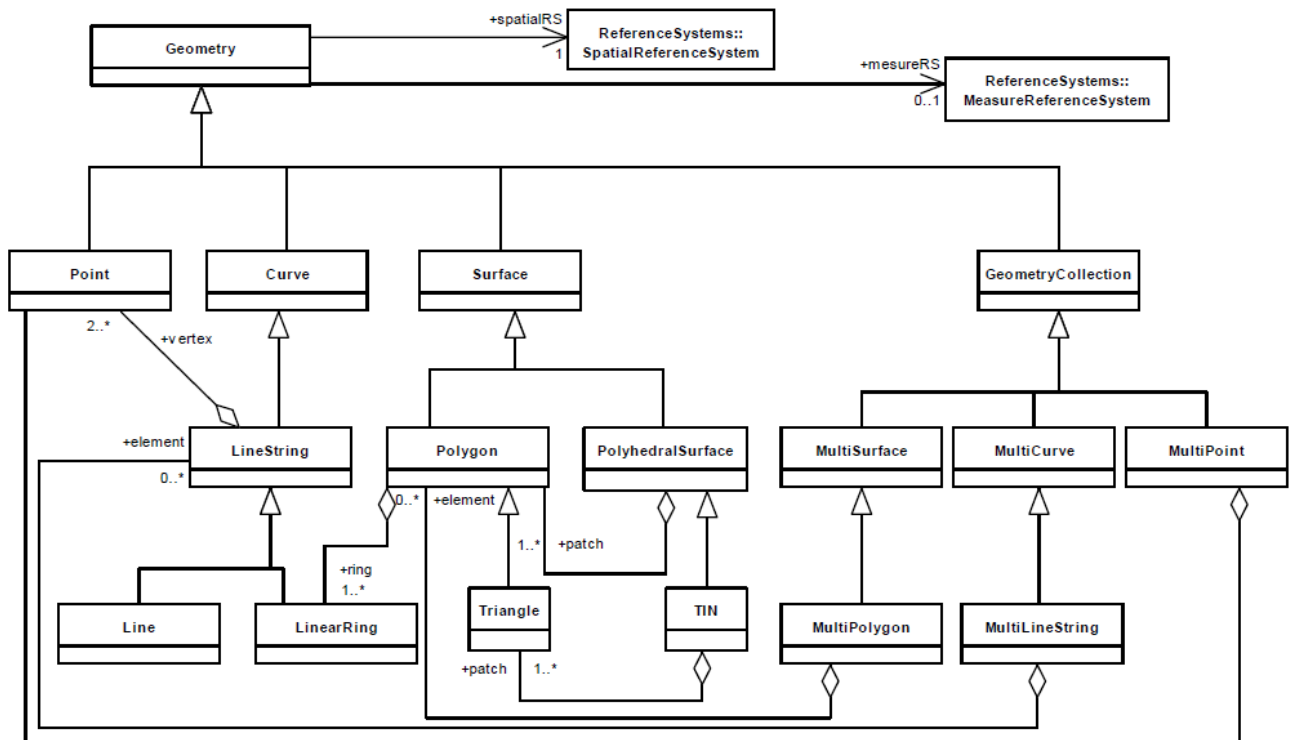


Obrázok 5 Ukážka princípu rastrových a vektorových dát [12]

Vyššie spomenuté základné typy geometrie sa týkajú hlavne 2D priestoru, keďže podstatou tejto práce je analýza v 3D modeli budovy, je potrebné doplniť typy, ktoré sú definované aj pre 3D priestor. Obrázok 6 predstavuje hierarchické znázornenie geometrických tried podľa štandardu Open Geospatial Consortium (OGC) - Simple feature access (SFA). OGC je medzinárodná nezisková organizácia, ktorá sa zaoberá vytváraním otvorených štandardov pre globálne geopriestorové komunity. Štandardy sú bezplatne dostupné a jedným z nich je aj štandard SFA, ktorý popisuje jednoduchú architektúru pre geometriu základných prvkov.[15] Medzi základné prvky geometrie patria Point (bod), Curve (krivka), Surface (povrch) a GeometryCollection.

- ❖ Point (bod) - vysvetlené vyššie.
- ❖ Curve (krivka) - je objekt popísaný ako sled bodov, podtrieda krivky je napríklad Linestring, ktorá sa používa na lineárnu interpoláciu medzi bodmi.
- ❖ Surface (povrch) - jednoduchý povrch sa môže skladať z jednej „záplaty“ (patch), ktorá je spojená s jednou vonkajšou hranicou (exterior boundary) a s 0 alebo viacerými vnútornými hranicami (interior boundary). Medzi podtriedy sa radí Polygon a PolyhedralSurface.
- ❖ GeometryCollection je geometrický objekt, ktorý predstavuje zbierku čísel geometrických objektov. Objekty sa do podtried rozčleňujú na základe rozmeru alebo na základe priestorového prekryvania medzi prvkami. Patrí sem podtriedy MultiPoint, MultiLinestring, MultiPolygon, MultiCurves a MultiSurface.

Všetky geometrické objekty sú prepojené priestorovým referenčným systémom, ktorý popisuje koordinačný priestor v ktorom je daný objekt definovaný.



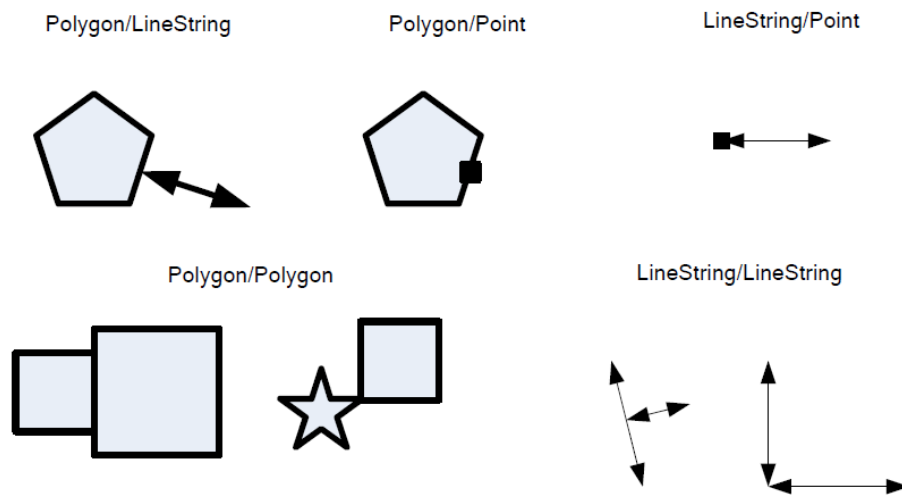
Obrázok 6 Hierarchické znázornenie geometrie [15]

1.2.4. Relačné operátory

Relačné operátory slúžia na testovanie existencie špecifického topologického priestorového vzťahu medzi dvoma geometrickými objektami. Základná myšlienka, týkajúca sa porovnávania dvoch geometrických objektov, je premietnutie objektov do 2D horizontálneho koordinačného referenčného systému reprezentujúceho zemský povrch a následne otestovanie prieniku medzi interiérom, hranicami a exteriérom premietnutých objektov. Interiér objektu tvoria body, ktoré sú ponechané po odstránení hraničných bodov. Exteriérom objektu sa rozumejú body, ktoré nie sú súčasťou interiéru ani hranice. Na vyjadrenie vzťahov medzi objektami sa používa napríklad model DE-9IM (The Dimensionally Extended Nine- Intersestion Model). [15]

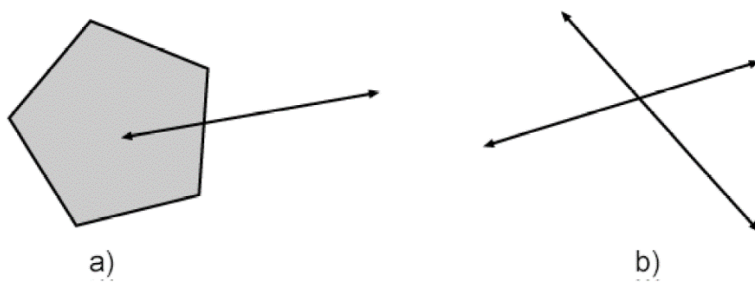
Priestorové vzťahy, ktoré môžu existovať medzi objektami:

- ❖ Equals – rovnosť
- ❖ Disjoint – rozloženie
- ❖ Intersect – prienik
- ❖ Touches – dotyk



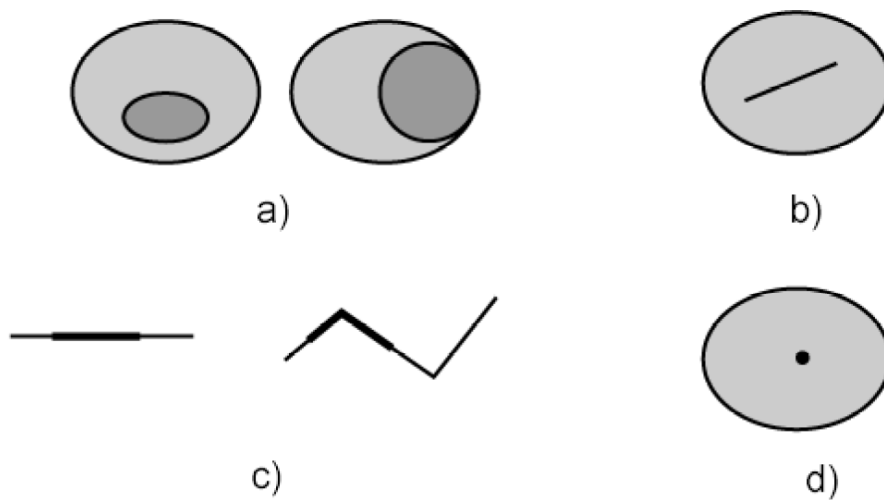
Obrázok 7 Príklady Touches [15]

❖ Crosses – kríženie



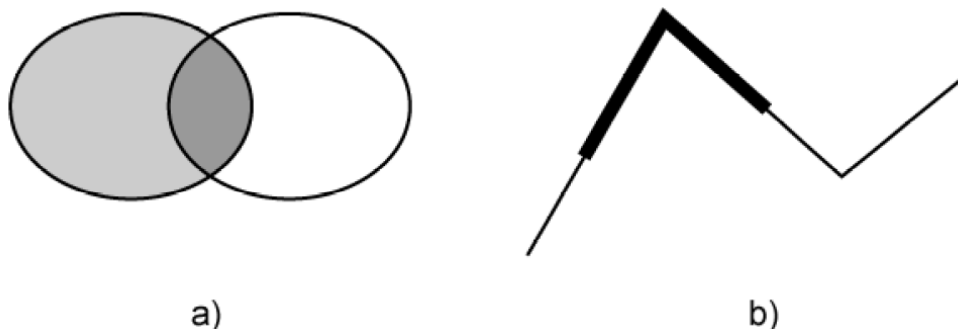
Obrázok 8 Príklady Crosses a) Polygon/LineString; b) LineString/LineString [14]

❖ Within



Obrázok 9 Príklady Within a) Polygon/Polygon; b) Polygon/LineString; c) LineString/LineString; d) Polygon/Point [15]

- ❖ Contains
- ❖ Overlaps



Obrázok 10 Príklady Overlaps a) Polygon/LineString; b) LineString/LineString [15]

- ❖ Relate
- ❖ LocateAlong
- ❖ LocateBetween. [15]

1.2.5. Analýzy v GIS

Zo samotného názvu tejto práce vyplýva, že práve analýzy sú predmetom záujmu. Konkrétne sieťové analýzy sú kľúčové, avšak pre nadväznosť sú v nasledujúcich riadkoch stručne definované viaceré analytické možnosti a ich rozdelenie. Priestorové analytické možnosti GIS tvoria jadro systému GIS, to je jeden zo zásadných rozdielov, ktorým sa odlišuje GIS od iných informačných systémov. [16] Priestorové analýzy predstavujú kolekciu techník, ktoré vznikli v rôznych odboroch a ich cieľom bola analýza dát s dôrazom na ich priestorové vzťahy. Môžeme ich definovať ako súbor techník pre analýzu a modelovanie lokalizovaných objektov, kde výsledky analýz závisia na priestorovom usporiadaní týchto objektov a ich vlastnosti. [19]

Analytické možnosti GIS môžeme rozdeliť do nasledujúcich skupín:

- ❖ **Meracie funkcie** – slúžia na meranie vzdialeností a plôch.
- ❖ **Nástroje na prehľadávanie databázy** – dotazovaním sa vyberajú údaje, ktoré odpovedajú špecifickému kritériu alebo podmienke, využívajú sa tu spomínané relačné operátory.

- ❖ **Topologické prekrytie (overlay)** – dotazovanie dvoch alebo viacerých informačných vrstiev. Využívajú sa operácie Intersect (prienik), Union (zjednotenie) a Identity (priradenie na základe priestorového umiestnenia). Z procesu topologického prekrytia vznikajú nové objekty (vrstvy), ktorým sú priradené aj atribúty. Tým sa líši topologické prekrytie od priestorových dotazov, kde žiadne nové vrstvy nevznikajú. Vstupná vrstva môže byť bodová, líniová aj polygónová, druhá vrstva (tá čo vykonáva topologické prekrytie) musí byť polygónová. Špeciálne prípady topologických operácií sú: Clip, Erase, Update a Split. V prípade týchto operácií nie sú atribúty spájané, ale prevzaté zo vstupnej vrstvy. Tieto funkcie je možné zaradiť aj do kategórie reštrukturalizácie dát.

- ❖ **Mapová algebra** – sa používa v prípade rastrových reprezentácií a umožňuje kombinovať rastrové vrstvy pomocou rôznych matematických operácií. Tieto matematické operácie sa vykonávajú buď na jednej alebo viacerých vrstvách a ich výstupom je vždy nová vrstva, ktorú je možné ďalej používať v iných analýzach.

- ❖ **Vzdialenostné analýzy** – medzi najpoužívanejší nástroj patrí Buffer (obal), ktorý spočíva vo vektorovej reprezentácii vo vytvorení polygónov v určenej vzdialenosti okolo bodov, línií alebo polygónov. Vytvorené polygóny sú uložené ako štandardná vrstva s definovanou topológiou, čiže je možné ju používať v ďalších analýzach topologického prekrytia. Medzi vzdialenostné analýzy možné zaradiť aj analýzy susedstva (Proximity Analysis), ktoré spočívajú v tvorbe „individuálnej plochy“ okolo každého zo vstupných bodov, ktoré definujú príslušnosť danej lokality k najbližšiemu z objektov, a tiež tzv. váženú vzdialenosť (weighted distance), ktorá si všima jednej podstatnej vlastnosti, a to, že pri bežných vzdialenostných analýzach sa vôbec neuvažuje vplyv okolia, všetko je merané vzdušnou čiarou za ideálnych podmienok. Práve pomocou váženej vzdialenosti je možné zahrnúť do analýzy aj iné faktory, ktoré majú vplyv na reálnu vzdialenosť.

- ❖ **Analýzy sietí** – jedná sa v podstate opäť o hľadanie najkratšej vzdialenosti, ale s rozdielom, že sa jedná o vektorovú sieť. Sieť sa skladá z uzlov (priesečníkov) a hrán (línií). Postup tvorby siete spočíva v získaní líniovej vrstvy nad ktorou sa budú analýzy vykonávať. Tieto dáta musia byť topologicky čisté a následne je možné priradiť pravidlá, ktoré určujú, ako je možné pohybovať sa medzi jednotlivými uzlami.

Konkrétne príklady analýz sú napríklad:

- Hľadanie konektivity – hľadanie všetkých prepojených prvkov s daným uzlom
- Modelovanie zaťaženia siete
- Hľadanie optimálnej trasy – jedná sa o vyhľadanie optimálnej trasy medzi dvomi a viacerými bodmi
- Hľadanie cesty do najbližšieho zariadenia
- Alokácia zdrojov – vyhľadávanie všetkých lokalít, ktoré sú od vybraného objektu vzdialené nejakú cenu cesty. Výsledkom tejto analýzy sú tzv. izochrony, čo sú čiary spájajúce body s rovnakým časom k dosiahnutiu východiskového bodu.

- ❖ **Analýza modelu reliéfu a ďalších povrchov** - medzi analýzy tohto typu radíme napríklad morfológické analýzy (lokálne maximá a minimá), analýza osvetlenia terénu, sklonitosť a smer sklonu a iné. [16]
- ❖ **Štatistické analýzy** – výsledky je možné prezentovať pomocou rôznych ukazovateľov a čísel, sú to napríklad klasické štatistické metódy (suma, minimum, maximum), grafy, histogramy, regresné analýzy (snažia sa nájsť súvislosť medzi jednotlivými priestorovými javmi), priame napojenie na štatistické programy (napríklad MS Excel), kde je možné spracované dáta ďalej analyzovať. [17]
- ❖ **Analýzy obrazov** – zahŕňa napríklad filtráciu a iné nástroje pre zvýraznenie najrôznejších charakteristík v obraze, ale aj nástroje pre vyrovnávanie prechodu medzi jednotlivými snímkami ako je napríklad vyrovnávanie jasú/kontrastu. [18]

2. Dátové formáty

Súčasťou tejto práce je aj prevod dátových formátov medzi BIM a GIS a z tohto dôvodu je potrebné bližšie predstaviť formáty, ktorých sa prevod týkal. IFC formát slúžil ako vstupný formát BIM a ako výstupný bol zvolený formát ESRI Shapefile. V nasledujúcich kapitolách budú oba formáty podrobnejšie špecifikované.

2.1. IFC (Industrial foundation class)

2.1.1. Charakteristika

IFC predstavuje medzinárodný formát pre výmenu BIM dát. Bol vyvinutý spoločnosťou IAI (International Alliance of Interoperability) na uľahčenie interoperability v stavebnom priemysle. Spoločnosť IAI bola medzičasom premenovaná a aktuálny názov je buildingSMART. Cieľom IFC boli umožniť prepojenie medzi informačnými systémami. Posledná verzia je IFC4 Add1, ale verzia IFC 2x3 TCI je stále najbežnejšie používaná. Na porovnanie s tradičnými CAD formátmi, ako sú napríklad dxf alebo dgn, je IFC výhradne založený na modeli. Napríklad stena nie je množina línií (polygónov), ale objekt so špecifickými atribútmi a vzťahmi. [20]

IFC formát sa vyznačuje vlastnosťami:

- ❖ IFC je schopný využívať informácie o stavbách počas celého ich životného cyklu
- ❖ IFC je objektovo orientovaný a sémanticky obsiahly model
- ❖ IFC slúži k prezentácii 3D modelov budov
- ❖ IFC je priestorový dátový model, v ktorom priestorové vzťahy medzi prvkami budovy sú zachované v hierarchickej štruktúre
- ❖ IFC podpora pri návrhu siete vo vnútri budovy, týka sa to elektriny, kanalizácie, kúrenia, klimatizácie, bezpečnostných systémov

2.1.2. Architektúra

IFC je definovaný ako entity - relationship model, ktorý sa skladá z niekoľkých stoviek entít, ktoré sú hierarchicky usporiadané. IFC rozdeľuje všetky entity do rooted a non-rooted entít. Rooted entity sú odvodené z IfcRoot a obsahujú identifikačný koncept, ktorý obsahuje atribúty pre názov, popis a revízne kontroly. Non-rooted entity, ako už z názvu vyplýva, neobsahujú vyššie spomínané zložky a odkazujú sa priamo alebo nepriamo na rooted entity.

IfcRoot sa delí na tri zložky:

- ❖ IfcObjectDefinition – zaznamenáva vyskytujúce sa hmotné objekty a typy
- ❖ IfcRelationship – zachytáva vzťahy medzi objektami
- ❖ IfcPropertyDefiniton – zaznamenáva dynamicky rozširiteľné vlastnosti o objektoch. Pozostáva z jednej alebo viacerých vlastností, ktoré tvoria sadu. [21]

Podrobnejšie informácie o formáte IFC sú dostupné na oficiálnych webových stránkach organizácie buildingSMART.

2.2. ESRI Shapefile

V tejto kapitole sa nachádza bližšia charakteristika formátu, ktorý bol zvolený, pre účely tejto práce, ako jeden z možných výstupných formátov prevodu medzi BIM a GIS.

2.2.1 Charakteristika

Shapefile formát je populárny geopriestorový vektorový dátový formát pre GIS software. Bol vyvinutý firmou ESRI (Environmental Systems Research Institute) a zabezpečuje prepojenie medzi ESRI a inými GIS softwarovými produktami. V tomto formáte nie je možné ukladať topologickú dátovú štruktúru, avšak výhodou, oproti iným dátovým zdrojom, je v rýchlosti kreslenia, editovacej schopnosti a tiež vyžaduje menej miesta na disku. [22]

2.2.2. Architektúra

Formát Shapefile je tvorené povinnými a voliteľnými súbormi. Povinné prípony súborov potrebných pre Shapefile sú .shp, .shx, .dbf. Voliteľné súbory sú s koncovkami .prj, .xml, .sbn a .sbx. a iné. [23]

Shapefile shape format (.shp) obsahuje geometrické dáta. Každý shapefile ma svoj vlastný .shp súbor, ktorý reprezentuje body, línie a polygóny. Usporiadanie osí v 2D priestore je dané buď Karteziánskym súradnicovým systémom prezentovaným buď pomocou (X, Y) alebo Geografickým súradnicovým systémom (zemepisná dĺžka, zemepisná šírka). Geometria podporuje aj 3- alebo 4-dimenzionálne Z a M súradnice, pre výšky a meranie. Z- rozmer udáva každej súradnice v 3D priestore výšku, ktorá môže slúžiť na analýzy alebo vizualizácie pomocou 3D počítačovej grafiky.

Užívateľom definovaný rozmer M môže slúžiť na mnohé funkcie, ako napríklad relatívny čas v 4D priestore. [24]

Shapefile shape index format (.shx) udáva pozíciu indexu. Tento typ súboru sa používa na vyhľadávanie dopredu a dozadu.

Shapefile attribute format (.dbf) jedná sa o štandardný databázový súbor, ktorý slúži na ukladanie dát a atribútov ID objektov. Tento typ súboru je možné otvoriť v programe Microsoft Access a Excel.

Shapefile projection format (.prj) obsahuje metadáta v ktorých je definovaný koordinačný systém a projekčné informácie.

Shapefile metadata format (.xml) tento typ dát pozostáva z metadát spojených so shapefile. Zmazaním tohto súboru, sa v podstate vymažú všetky metadáta. Tento typ súboru môže byť otvorený a upravovaný v akomkoľvek textovom editore.

Shapefile spatial index format (.sbn) a (.sbx) sú to súbory zahrňujúce priestorový index, ktorý optimalizuje priestorové dotazy. Tieto súbory nie sú striktné nevyhnutné, odkedy .shp súbor obsahuje všetky potrebné informácie k úspešnej analýze priestorových dát, ale na druhej strane urýchľuje načítania súborov (pri testovaní až o 6 sekúnd rýchlejšie v porovnaní s/bez .sbn a .sbx súborov).[23]

2.3. Rôznorodosť BIM a GIS

Napriek tomu, že hlavným predmetom tejto práce nie je porovnávanie BIM a GIS, je v najbližších riadkoch stručne zhrnutých niekoľko zásadných rozdielov medzi nimi.

2.3.1. Interoperabilita BIM a GIS



Niekedy kvôli nedostatočným schopnostiam priestorových analýz v BIM sú dáta prevedené do geografického informačného systému, ktorého nástroje podporujú rozmanitosť priestorových vzťahov a objektov. Táto integrácia indikuje prítomnosť medzery v analýze a v spracovaní priestorových dát v rámci BIM, ale tiež naznačuje potenciálnu možnosť integrovaného BIM-GIS modelu, ktorý by zlepšil súčasnú prax v stavebníctve. GIS bol úspešne použitý na vyriešenie zložitosti plánovania pred začiatkom výstavby a podporuje širokú škálu priestorových analýz. Integrácia BIM a GIS ponúka značné výhody riadiť proces výstavby počas fáz návrhu a výstavby. Kým BIM sa zameriava na rozvoj objektov s maximálnym stupňom podrobnosti v geometrii, GIS sa používa na analýzu objektov, ktoré už existujú vo fyzickom prostredí.

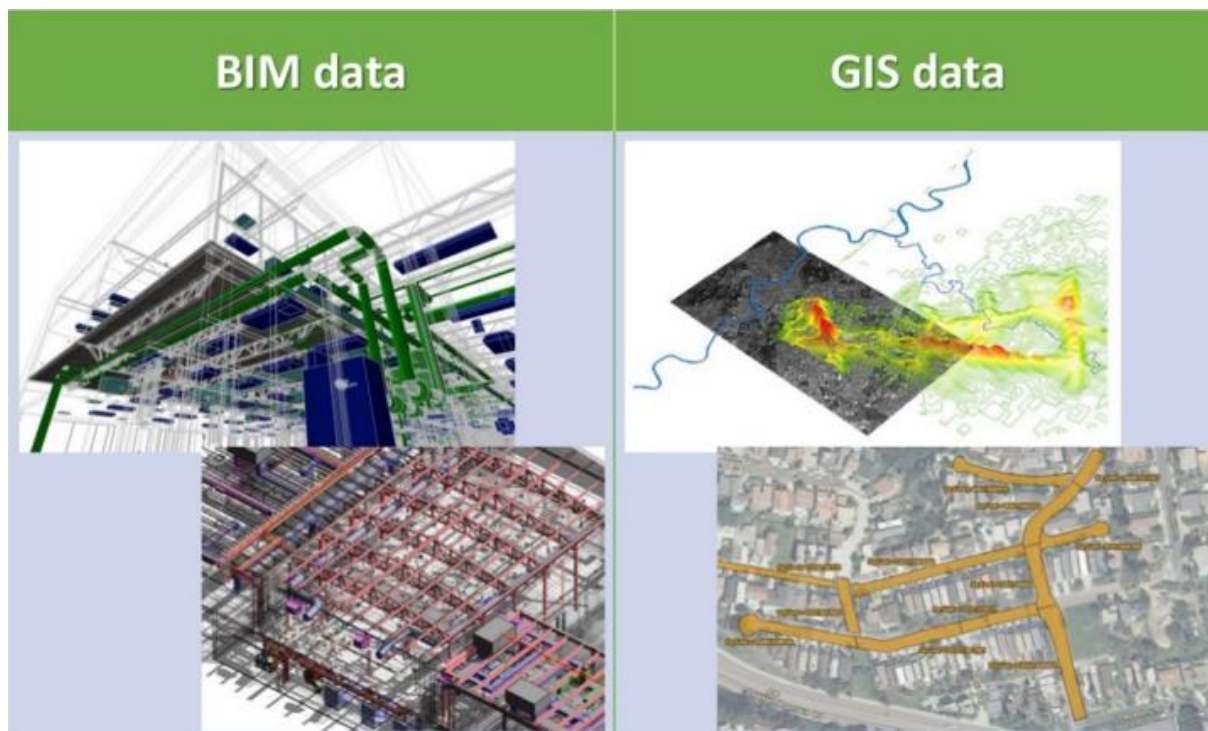
Hlavným problémom pri integrácii BIM a GIS sa odráža v ich nezlučiteľnosti v modelovacom prostredí (napr. GIS dáta sú georeferenčné a zvyčajne dvojrozmerné, zatiaľ čo BIM dáta sú väčšinou trojrozmerné umiestnené v stanovenom súradnicovom systéme).[26] Jedným zo zásadných problémov, s ktorým sa v prípade BIM-GIS interoperability možno stretnúť, je kompatibilita medzi produktami. Táto interoperabilitná výzva môže spôsobiť celkom náročne v prípade, že členovia projektového tímu vlastnia odlišný software. Jednou z alternatív je práve formát IFC, ktorý obsahuje ako geometriu tak aj vlastnosti jednotlivých stavebných objektov a vzťahy medzi nimi, čo uľahčuje zdieľanie informácií. [25] Tak sú užívatelia schopní získať prístup k dátam z iného softwarového programu a vymieňať si dáta.

2.3.2. Porovnanie BIM a GIS

Jeden zo základných rozdielov je v obsahu informácii, BIM je bohatší na detaily v porovnaní s GIS databázami. V nasledujúcej tabuľke a na Obrázku 11 je uvedené porovnanie BIM a GIS čo sa týka objektov záujmu, bližšej špecifikácii sledovaných objektov, zdroju potrebných dát, spoločností poskytujúcich softwarové vybavenie podporujúce daný typ dát a na záver ukážky možných dátových formátov. Porovnanie nie je úplné, jedná sa len o vybrané základné body, ktoré poukazujú na hlavné rozdiely a slúžia ako názorné a zjednodušené vystihnutie rozdielov.

Tabuľka 1 Porovnanie BIM a GIS vo vybraných základných bodoch [27]

	BIM dáta	GIS dáta
Predmet záujmu	Stavebné objekty	Objekty na Zemi
Súčasti	Steny, piliere, poschodia, okná, dvere atď.	Cesty, stavby, pohoria, stromy, atď.
Proces vyhotovenia	Zvyčajne vytvorené ľuďmi	Zvyčajne generované prostredníctvom mapovania
Spoločnosti, organizácie		
Formáty	.RVT, .IFC, atď.	.SHAPE, .GEOTIFF, atď.



Obrázok 11 Porovnanie BIM a GIS na základe grafických ukážok [27]

3. ArcGIS

ArcGIS je názov skupiny softwarových produktov, ktoré sú vyvíjané americkou firmou ESRI. Práve týmito produktami je možné vystavať geografický informačný systém podľa vlastných potrieb. Slúžia na vytváranie, správu, analýzu a vizualizáciu geodát. [30] Konkrétne na vytváranie a užívanie máp, zostavovanie geografických údajov, analyzovanie zmapovaných informácií, zdieľanie a vývoj geografických informácií a tiež spravovanie geografických informácií v databázach.[29] Systém je modulárny a na jeho základe sa dajú vytvoriť riešenia, ktoré vyhovujú potrebám individuálnych užívateľov, pracovných skupín až komplexných podnikových informačných systémov. Jeho využitie je rôznorodé, používa sa v štátnej správe a samospráve, akademickej sfére, školstve, vede a výskume, priemyselných podnikoch, lesníctve a poľnohospodárstve, správe inžinierskych sietí, výrobe a rozvoje energií, doprave, telekomunikáciách a v mnohých ďalších oblastiach.[31]

Systém ArcGIS sa skladá zo štyroch skupín produktov:

- ❖ ArcGIS for Desktop
- ❖ ArcGIS for Server
- ❖ ArcGIS Mobile - Mobilný GIS
- ❖ ArcGIS Engine - Vývojové nástroje

Aktuálna verzia je ArcGIS 10.3., ktorá vyšla v decembri 2014. Od januára 2015 je dostupné aj ArcGIS Pro, ktorá je jednou z dvoch primárnych aplikácií ArcGIS for Desktop spolu s ArcMap. Keďže v tejto práci bude použitá len skupina ArcGIS for Desktop, viac informácií o nej je uvedených v nasledujúcej podkapitole. [30]

3.1. ArcGIS for Desktop

Skladá sa zo vzájomne prepojených komponentov:

- ❖ ArcMap – slúži na zobrazenie digitálnej mapy, prípravu mapových výstupov, priestorové analýzy nástrojmi z ArcToolbox.
- ❖ ArcCatalog – používa sa na správu zdrojov geografických dát, geografických databáz a webových služieb.
- ❖ ArcToolbox – obsahuje funkcie pre priestorové a nepriestorové analýzy.
- ❖ ModelBuilder – vytváranie vlastných modelov pre geoprocesing.
- ❖ ArcScene - ktoré slúžia na zobrazenie, analýzu a animácie 3D alebo 2D dát v 3D priestore.

ArcGIS je licencovaný v troch úrovniach – Basic, Standard a Advanced, ktoré sa líšia svojou funkcionalitou.

ArcGIS for Desktop Basic (známy pod názvom ArcView) – základný desktopový nástroj, ktorý sa používa na zobrazenie, dopytovanie, základné priestorové analýzy a tvorbu mapových výstupov a tiež editovanie geografických aj atribútových údajov.

ArcGIS for Desktop Standard (známy pod názvom ArcEditor) – má funkcie predchádzajúcej úrovne rozšírené o sadu nástrojov pre efektívny zber, aktualizáciu a kontrolu geografických údajov. Tiež je obohatený o funkcie editovanie, ako je napríklad návrh a správa geografickej databázy, jej editovanie a upravovanie, riadenie jej transakcií a verzií, vektorizácia skenovaných mapových podkladov, georeferencovanie, editovanie rastru, kontrola a oprava topológie atď.

ArcGIS for Desktop Advanced (známy pod názvom ArcInfo) – obsahuje všetky funkcie oboch predchádzajúcich verzií a navyše nástroje na pokročilé spracovanie geografických údajov a priestorové modelovanie. Jeho súčasťou sú aj moduly ArcPlot, ArcEdit, Arc Macro Language(AML), ArcGrid a iné. V zhrnutí poskytuje prostredie na pokročilé geografické analýzy, modelovanie a tvorbu kartografických výstupov.

3.2. Rozšírenia ArcGIS for Desktop

Z dôvodu zvýšenia funkčnosti sa na všetkých troch úrovniach používajú tzv. rozšírenia (Extension). Práve tieto rozšírenia sú potrebné pre analýzy, ktoré sú predmetom tejto práce. Jedná sa hlavne o priestorové a sieťové analýzy, ktoré sú v nasledujúcich riadkoch priblížené.

Medzi komerčné rozšírenia firmy ESRI patria:

ArcGIS 3D Analyst – tvorba digitálneho modelu reliéfu vo forme rastru alebo TIN, výpočet morformetrických parametrov, analýza viditeľnosti, generovanie vrstevníc, trojrozmerné zobrazovanie DMR, rastrových, vektorových a obrazových údajov, interaktívna práca s modelom, animácie. Súčasťou rozšírenia je ArcGlobe a ArcScene, ktoré slúžia na zobrazenie, analýzu a animácie 3D alebo 2D dát v 3D priestore.[28]

ArcGIS Spatial Analyst – súbor prostriedkov na prácu s geografickými údajmi v rastrovej prezentácii – kompletnú mapovú algebru, vzdialenostné analýzy, automatické konverzie vektorových údajov na rastrové a naopak.

ArcGIS Network Analyst – sieťová analýza a riešenie dopravných úloh, výpočet najkratšej vzdialenosti, hľadanie optimálnej trasy podľa zadaných kritérií, analýza dostupnosti, problém obchodného cestujúceho, alokácie zdrojov a pod.

ArcGIS Publisher – export 2D a 3D digitálnych máp.

ArcGIS Data Interoperability – skupina nástrojov na import a export vektorových, rastrových a atribútových údajov do viac ako 50 formátov.

Arc GIS Geospatial Analyst – geoštatistické analýzy.

A iné: **ArcGIS Tracking Analyst** (sledovanie a záznam údajov z GPS v reálnom čase), **ArcGIS Survey Analyst** (spracovanie údajov z geodetických meraní a geodetické výpočty).[31]

Praktická časť

Praktická časť tejto práce sa skladá z prevodu 3D modelu budovy zo vstupného formátu IFC do formátu ESRI Shapefile, návrhom únikových trás v danom modeli a následnými analýzami.

4. Prípravné práce

Prípravné práce zahŕňajú činnosti pred návrhom únikových trás, to znamená, že poskytnuté dáta vo formáte IFC je potrebné previesť na dáta, ktoré bude možné použiť v prostredí programu ArcGIS, ktorý bol určený v zadaní ako použité GIS prostredie, pre návrh a následné analýzy únikových trás.

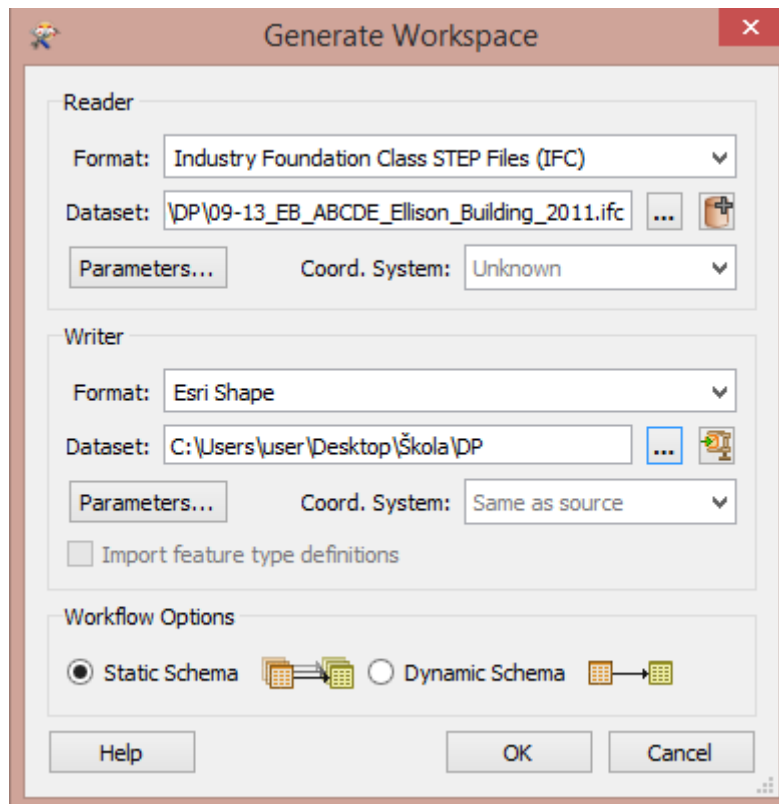
4.1. Charakteristika FME

FME je software kanadskej spoločnosti Safe Software, Inc., ktorý slúži na dátový prevod, zjednotenie a prepojenie aplikácií medzi viac než 325 formátmi. FME teda pomáha organizáciám vytvárať harmóniu medzi dátami a aplikáciami, tým že poskytuje nástroje pre pripojenie aplikácií, transformáciu dát a automatizáciu pracovných postupov. [32]

4.2. FME v praxi

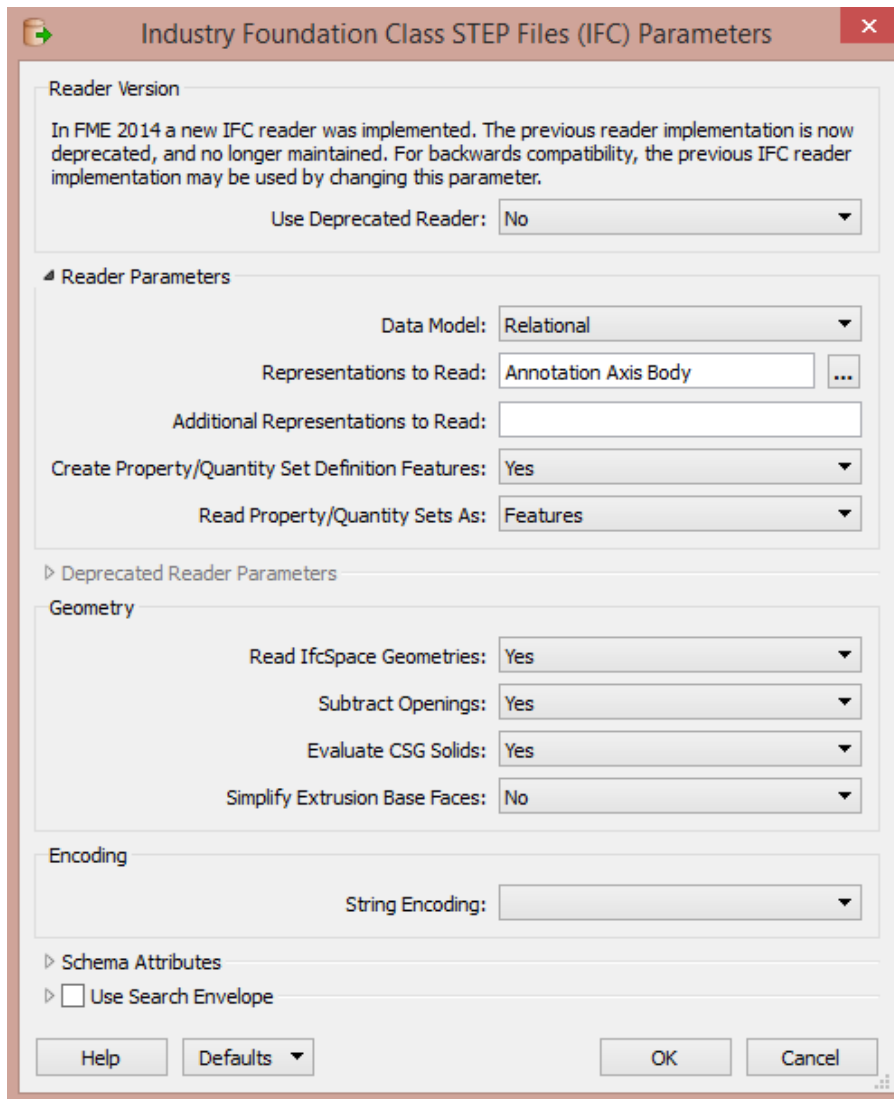
Prevod z formátu IFC do formátu ESRI Shapefile prebiehal práve prostredníctvom programu FME. Keďže jeho trial verzia je voľne dostupná, nevyžadoval prevod ani dlhodobšie licenčné kľúče. Samotný prevod nebol až tak náročný na znalosť programu, prostredníctvom oficiálnych videových záznamov či už zverejnených priamo na webovej stránke spoločnosti Safe Software, Inc. alebo na základe užívateľských príspevkov, bolo možné fungovanie programu ľahko dohľadať. Pri prevode neboli separované, ktoré časti budovy sú potrebné pre návrh siete a ktoré nie. Výsledkom preto je celý model budovy prevedený z formátu IFC do formátu Shapefile. Jednotlivé časti však majú väčšiu dôležitosť a to sa týka hlavne miestností, keďže cieľom práce je vytvorenie siete reprezentujúcej miestnosti a ich prepojenie. Prvý krok prevodu predstavovalo založenie nového pracovného prostredia, ktorého súčasťou je priamo zadávanie vstupného a výstupného formátu.

Ako už bolo viackrát spomínané jednalo sa o vstupný formát IFC a výstupný ESRI Shapefile, ako vidieť na Obrázku 12, medzi ďalšie vyžadované informácie patrili miesta úložísk spomínaných formátov a nastavenie parametrov.



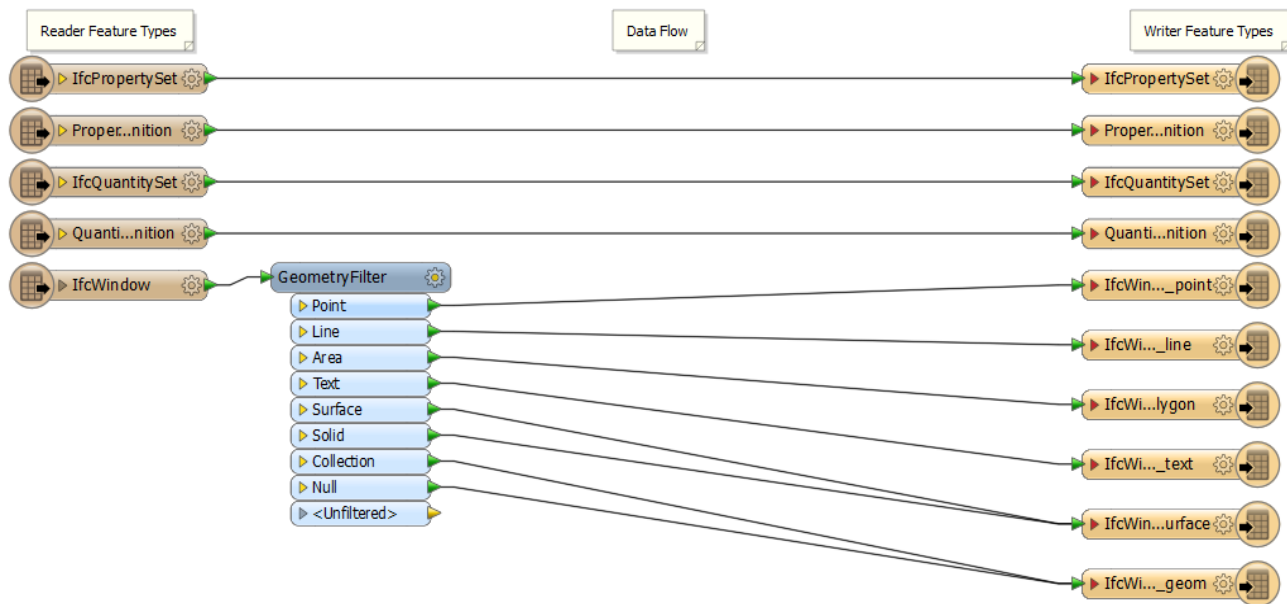
Obrázok 12 Nastavenie pracovného prostredia v programe FME

Parametre, ktoré bolo potrebné nastaviť, možno vidieť na Obrázku 13, konkrétne sa jednalo o parametre k formátu IFC. Za dôležité nastavenia možno považovať Read Property/Quantity Set as: Features, ktorým sa zaisťuje to, aby informácie o budove, ktoré vychádzali z BIM systému, ostali zachované aj v systéme GIS. Jedná sa o informácie jednotlivých objektov budovy ako napríklad či sa v prípade dverí jedná o dvere vnútorné alebo vonkajšie. V prednastavených hodnotách bola uvedená len geometria v originálnom znení Geometry, čím dôjde k výsledku, že tieto informácie nie sú dostupné. Ďalšie veľmi dôležité nastavenie je týkajúce sa geometrie a to aby bolo povolené Read IfcSpace Geometries, tým sa zabezpečilo to, aby bola prevedená do výstupného formátu aj geometria miestností. V prípade, že táto možnosť nie je povolená prevod nie je pre potreby tejto práce korektný a vo výslednom prevedenom modeli chýbajú miestnosti, ako fyzické objekty, čo predstavuje podstatný problém pri návrhu siete z dôvodu nekompletnosti modelu.

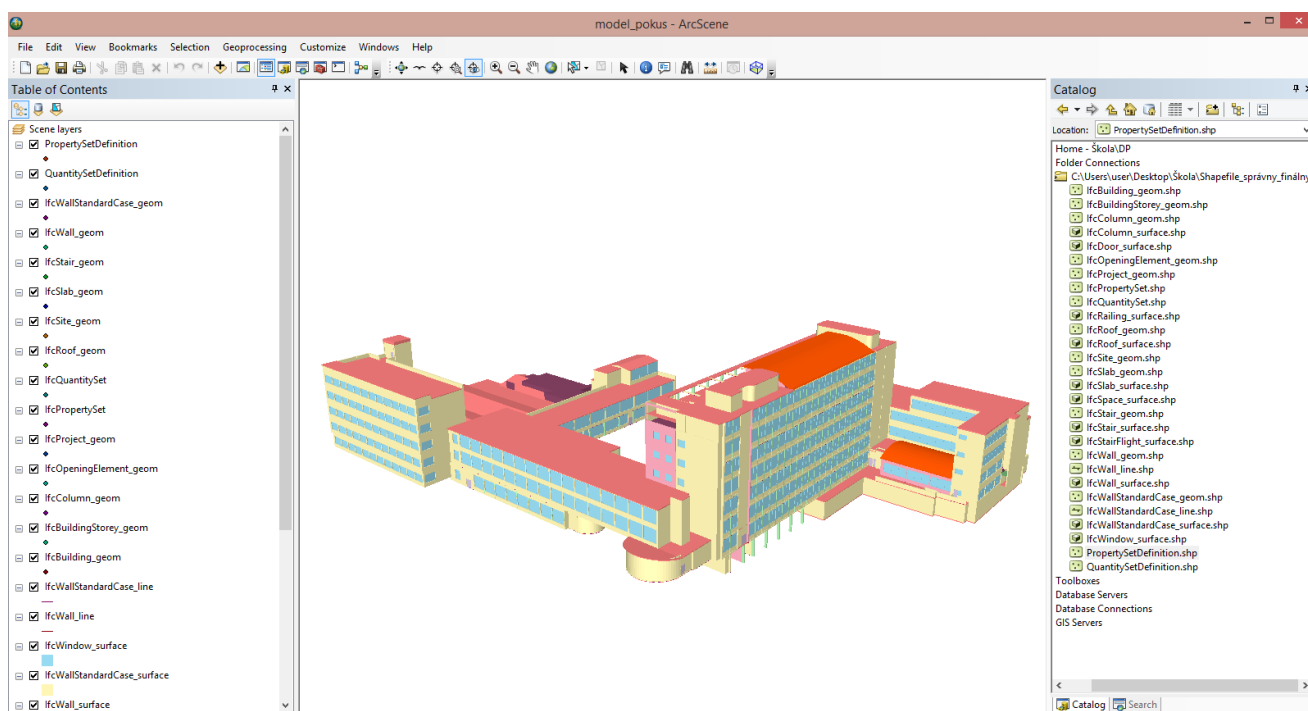


Obrázok 13 Nastavenie parametrov prevodu formátu IFC v programe FME

Po zadaní a potvrdení týchto dát a bolo potrebné vybrať Feature Types, čiže dáta ktoré budú súčasťou procesu, vybrané boli všetky typy. V prostredí programu bola následne ukázaná schéma jednotlivých častí prevodu a zahájené spustenie procesu. Prevod trval niekoľko minút, pričom program udával hlásenia o prípadných kolíziách a úspešnosti prevodu. Výsledkom bol súbor formátu .fmw v ktorom bolo možné uložiť prebehnutú činnosť a výsledné súbory formátu ESRI Shapefile, ktorých funkčnosť bola overená prostredníctvom programu ArcScene 10.3.



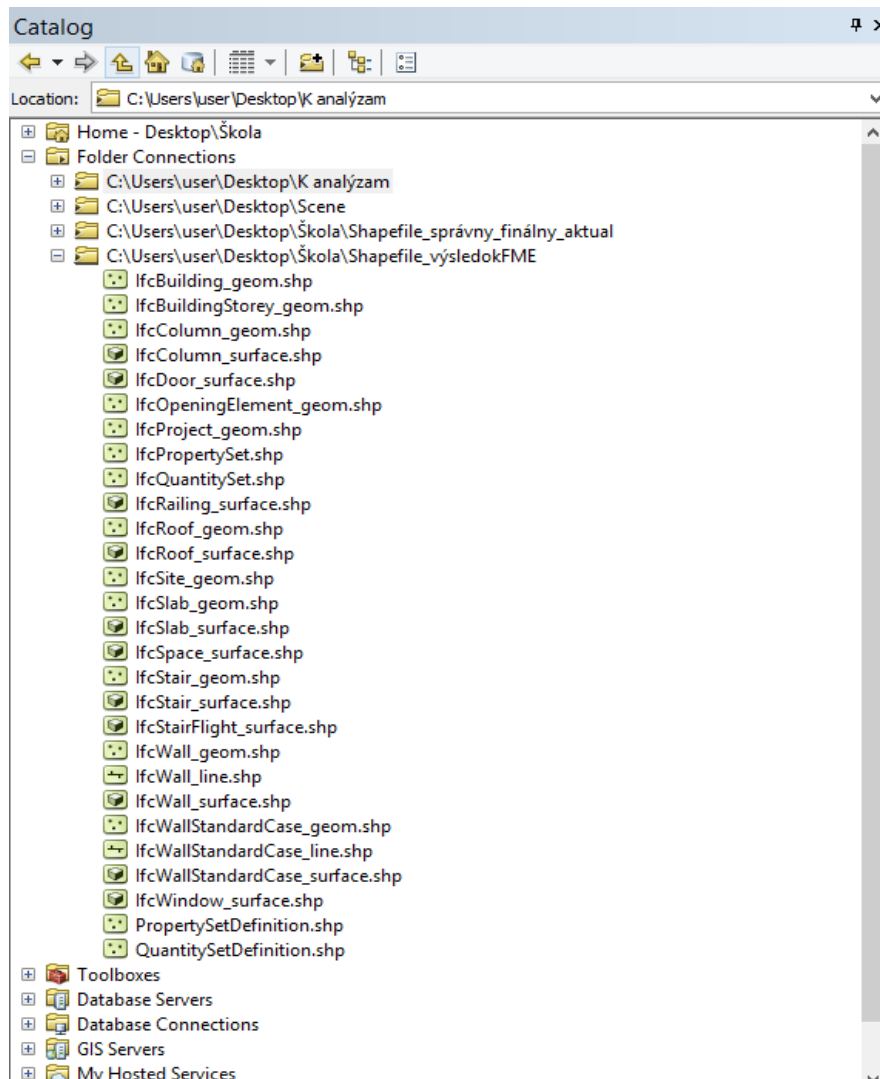
Obrázok 14 Ukážka schémy prevodu z prostredia programu FME



Obrázok 15 Výsledok prevodu v programe ArcScene

5. Návrh únikových trás

Výsledkom extrahovaných dát pomocou programu FME bolo niekoľko shapefilov, ktoré predstavovali jednotlivé súčasti budovy ako napríklad miestnosti, steny, dvere, schodiská, strechu a podobne. Výsledok prevodu je možné vidieť na Obrázku 16 v prostredí programu ArcMap.

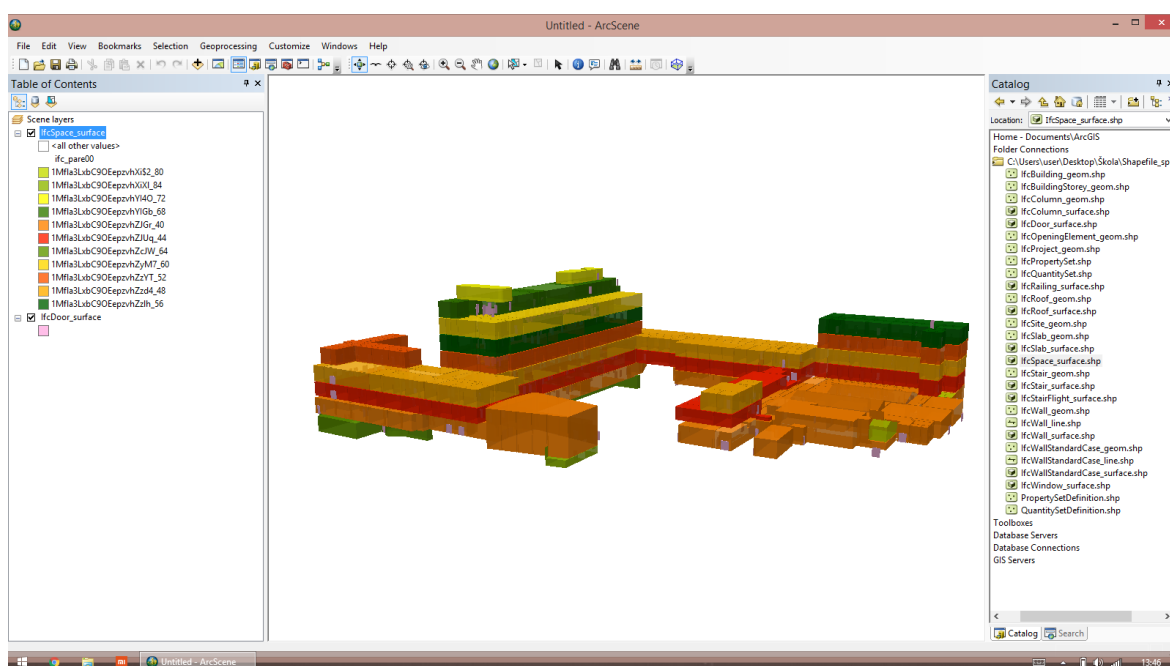


Obrázok 16 Výsledok prevodu z IFC do Shapefile

V prípade tejto práce, nebolo nutné využívať všetky výstupné súbory, medzi tie nutné patrili IfcSpace, IfcDoor, IfcStair, IfcStairFlight, IfcWall a IfcWallStandardCase, keďže sieť má predstavovať prepojenie jednotlivých miestností. IfcSpace predstavuje miestnosti, je nutné poznať východ z nich k čomu slúži IfcDoor, v prípade prepojenia poschodí sú potrebné schodiská IfcStair, IfcStairFlight a IfcWall, IfcWallStandardCase predstavujú steny a vonkajšiu konštrukciu budovy.

5.1. Separácia miestností a dverí na jednotlivé poschodia

Návrhu samotnej siete predchádzala separácia miestností a dverí na jednotlivé poschodia. Všetky, nižšie opísané, činnosti prebiehali v programe ArcScene, keďže sa pracovalo v 3D priestore. Avšak po separácii na jednotlivé poschodia sa práce presunuli do programu ArcMap, ktorý pracuje s 2D dátami a návrh siete je, v dôsledku lepšej vizualizácie a manipulácie s dátami, pohodlnejší. Rozdelenie miestností a dverí je možné vykonať na základe informácií, ktoré model vo formáte IFC poskytuje. V prípade miestností, táto informácia je priamo uvedená v atribútovej tabuľke v stĺpci `Ifc_pare00`, čiže na základe kategorizácie je možné hneď získať výsledky.

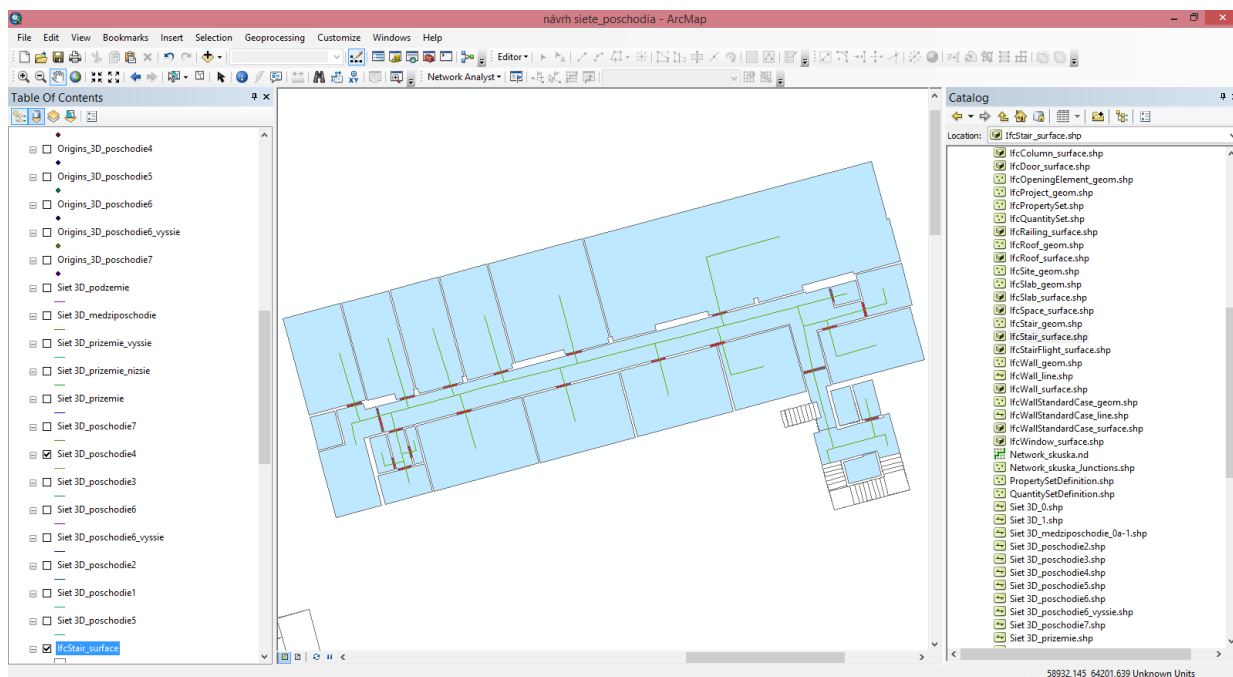


Obrázok 17 Ukážka klasifikácie miestností na jednotlivé poschodia

Následne boli vyselektované jednotlivé poschodia a uložené do samostatných shapefilov, tým sa zabezpečila jednoduchšia manipulácia medzi jednotlivými poschodiami pri návrhu siete. V prípade dverí, je postup obdobný, ale o niečo komplikovanejší, keďže atribútová tabuľka neobsahuje potrebné informácie. V prvom kroku bolo nutné priradiť jednotlivým dverám ich výšku. To bolo vykonané pomocou ArcToolbox, ktorý poskytuje nástroje pre prácu v ArcGis. Nástroj, ktorý bol pre tento účel použitý sa nazýva Add Z Information a nachádza sa v kategórii 3D Analyst Tools, podkategória 3D Features. Týmto nástrojom je možné do atribútovej tabuľky pridať Z minimálne, maximálne alebo priemerné. V prípade tejto práce prebehla kategorizácia na základe Z min, čiže minima. Ďalšie kroky sú už zhodné s postupom v prípade miestností, čiže následná selekcia a vytvorenie samostatných shapefilov pre dvere, ktoré predstavovali samostatné poschodia.

5.2. Manuálny návrh siete

Ako už bolo spomenuté, návrh siete prebiehal v programe ArcMap manuálne, čiže za pomoci editačných nástrojov. Bola ručne navrhnutá a nakreslená sieť samostatne pre jednotlivé poschodia. Sieť je tvorená prvkami Line, čiže línia. Požiadavka na sieť je jej topologická správnosť, čím rozumieme, že by nemala obsahovať žiadne prekrytia, nedoťahy a kríženia línií. Z tohto dôvodu prešla sieť topologickými kontrolami, ktoré budú bližšie priblížené v ďalšej kapitole. Pri návrhu siete sa vychádzalo z určitých predpokladov napríklad, že počiatočný bod v miestnosti sa volil približne v ťažisku respektíve v strede miestnosti, takisto v prípade dlhých chodieb, je sieť navrhnutá tak, aby prechádzala stredom a jednotlivé miestnosti sa na ňu napájali. Medzi špeciálne miestnosti patrili tie, cez ktoré prechádzali schodiská, v tých prípadoch bola navrhnutá sieť tak, aby jednotlivé poschodia na seba kolmo nadväzovali. Obrázok 18 je ukážka časti štvrtého poschodia, kde vidieť sieť, ktorá prechádza z jednotlivých miestnosti cez dvere a nadväzuje na chodbu a vpravo dole riešenie schodiska. Zo samotného poschodia v 2D forme, nebolo možné rozlíšiť v ktorom poschodí sa schodiská nachádzajú (napríklad malé schodisko vpravo dole na Obrázku 18 je na prízemí), z toho dôvodu bolo nutné využívať 3D model, pomocou ArcScene, pre lepšiu orientáciu sa v budove. Manuálnym návrhom však boli odhalené aj chyby v modeli, jednalo sa napríklad o dvere bez miestností a naopak, miestností bez dverí, ale aj iné nedostatky, ktoré budú bližšie priblížené v ďalšej kapitole.



Obrázok 18 Ukážka návrhu siete časť 5. poschodia

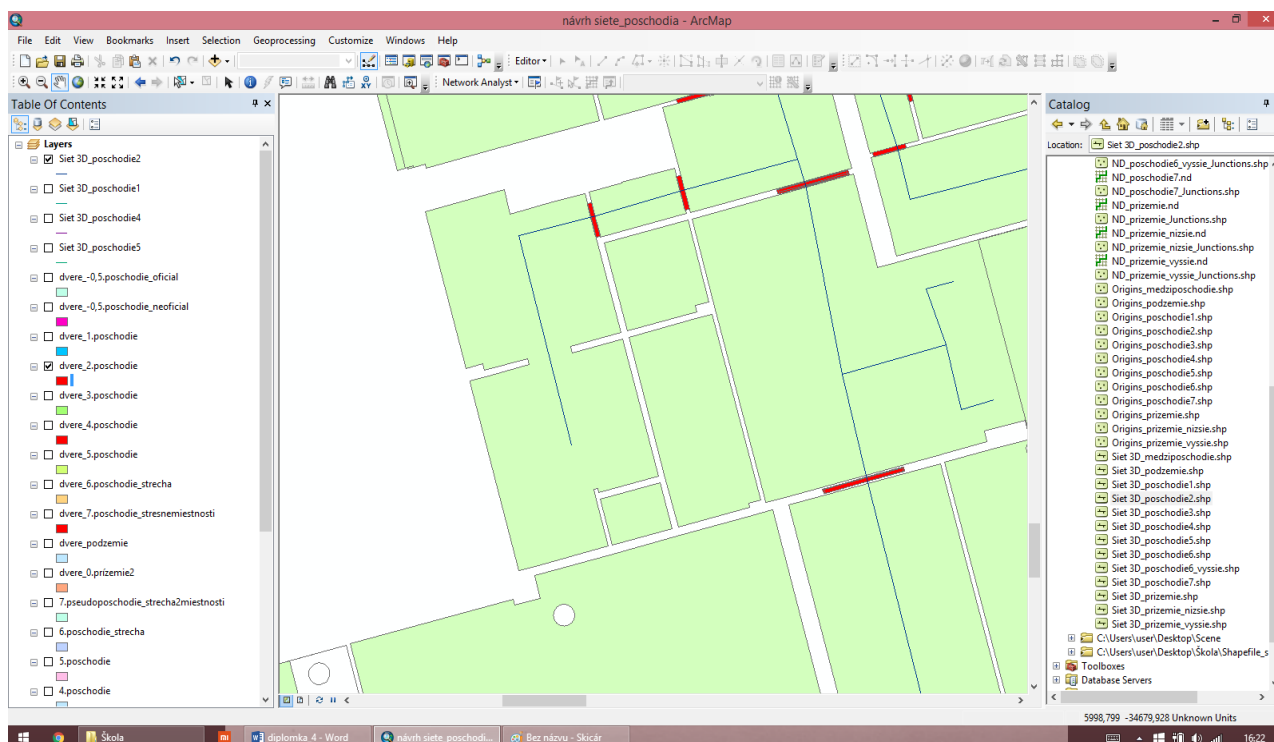
5.3. Zistené chyby v 3D modeli budovy

Tým, že návrh siete prebiehal manuálne a model bolo potrebné podrobnejšie preskúmať, bolo zistených zopár chýb v 3D modeli, ktoré ovplyvnili samotný návrh únikových trás.

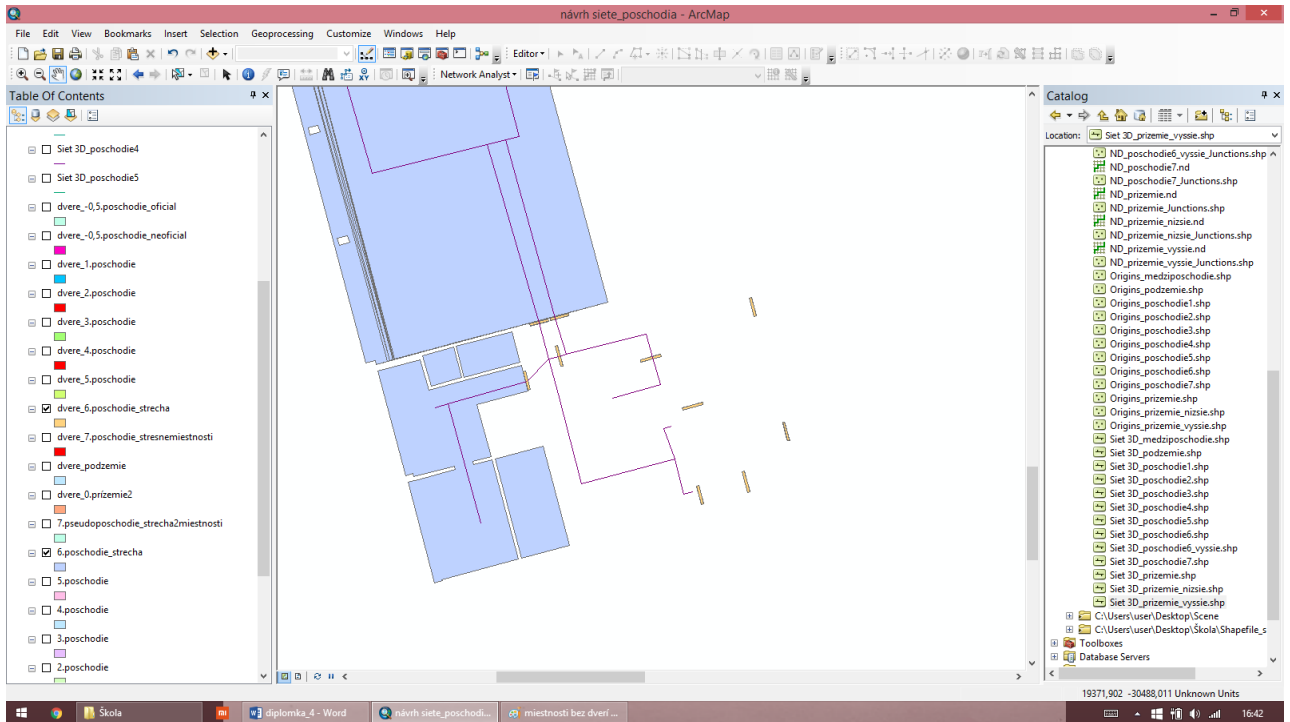
Jednalo sa o:

- miestnosti bez dverí (Obrázok 19)
- dvere bez prislúchajúcich miestností (Obrázok 20)
- iná chyba (Obrázok 21).

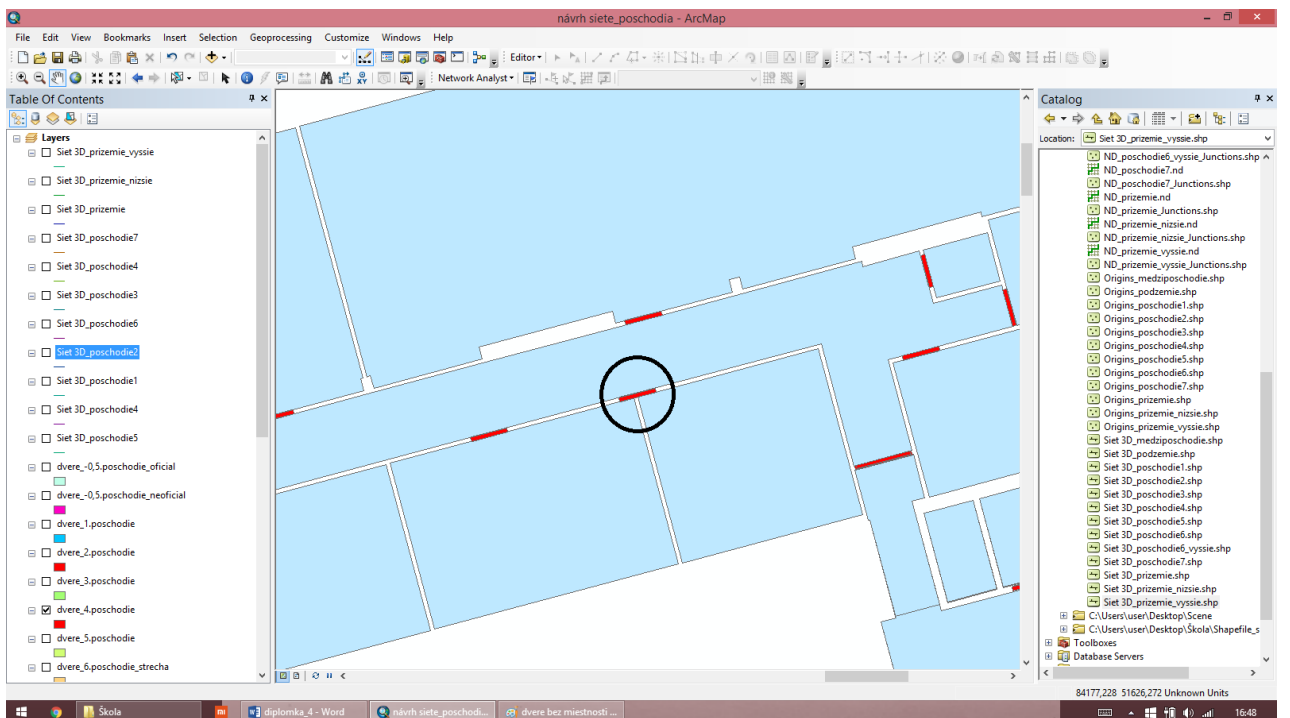
V týchto prípadoch nebolo možné viesť únikovú cestu cez tieto miestnosti, keďže z logicky vyplývajúcich skutočností, na opustenie miestnosti sú potrebné dvere a naopak, tak tým pádom boli vo väčšine prípadov z návrhu vypustené. Keby však bol model využívaný pre prevádzkové účely, bolo by nutné zdrojové dáta doplniť. Čo sa týka miestnosti bez dverí, väčšinou sa jednalo o výťahové šachty a sklady. V prípade dverí bez miestností, bola vedená úniková trasa len vtedy, keď trasu bolo možné jednoznačne identifikovať pomocou 3D modelu a iných konštrukčných prvkov alebo keď bola potrebná na opustenie budovy v prízemí (oba prípady možnosti aj nemožnosti návrhu trasy sú vyobrazené na Obrázku 20). Iná odhalená chyba bola, keď jedny dvere sú vstupnými dverami pre dve rôzne miestnosti. Jednotlivé prípady sú vyobrazené na nasledujúcich obrázkoch.



Obrázok 19 Miestnosti bez dverí



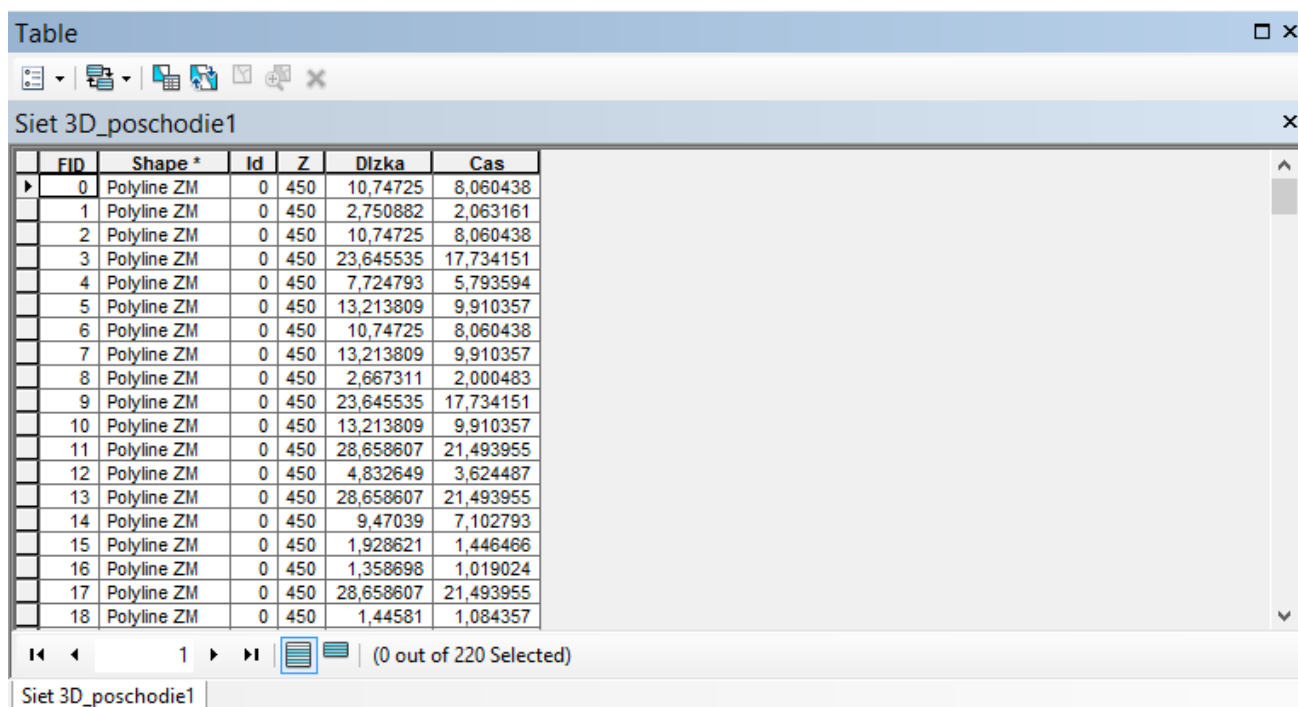
Obrázok 20 Dvere bez miestností



Obrázok 21 Iná chyba

5.4. Vytvorenie 3D línie a doplnenie atribútovej tabuľky

Línia, ktorá vzniká kreslením pomocu editačných nástrojov je 2D línia, čiže neobsahuje informáciu o výške, to v prípade, že sieť bude musieť byť umiestnená v priestore, čiže do 3D modelu, vyvoláva nutnosť previezť 2D líniu na 3D líniu. Krok, ktorý je potrebné pred použitím nástroja, na tento prevod, vykonať je, že musíme doplniť atribútovú tabuľku o nový stĺpec, ktorý predstavuje Z, čiže výšku siete. Výška bola zistená z hodnôt, na základe ktorých boli kategorizované dvere pre jednotlivé poschodia s tým, že ku každej hodnote bolo pričítaných 0,5 m, aby bolo zaistené, že sieť bude v priestore toho daného poschodia. Zadávaná Z bola konštantná pre jednotlivé poschodia. Spomínaný nástroj, ktorý slúži na tento účel je *Feature to 3D by Attribute*. Z kategórie 3D Analyst Tools, podkategória 3D Features. Vstup je shapefile obsahujúci sieť, pre konkrétne poschodie a výstup je už potrebná 3D sieť a dôležité je určiť, ktoré pole sa považuje za Height Field, čiže výškové pole, to je práve nami doplnené pole/stĺpec z atribútovej tabuľky, ktoré priraduje sieti informáciu o výške. Po tomto kroku nasledovalo doplnenie atribútovej tabuľky o ďalšie informácie, potrebné na analýzy a to dĺžku a čas. V prípade dĺžky, sa použije funkcia Calculate Field, ktorá vypočíta dĺžku v metroch na základe geometrie a doplní ju do tabuľky. Čas je vypočítaný pomocou funkcie Field Calculator, kde na základe vypočítanej dĺžky v metroch a stanovenej priemernej rýchlosti chôdze 4,8 km/hod , je vypočítaný čas v sekundách.



FID	Shape *	Id	Z	Dĺzka	Cas
0	Polyline ZM	0	450	10,74725	8,060438
1	Polyline ZM	0	450	2,750882	2,063161
2	Polyline ZM	0	450	10,74725	8,060438
3	Polyline ZM	0	450	23,645535	17,734151
4	Polyline ZM	0	450	7,724793	5,793594
5	Polyline ZM	0	450	13,213809	9,910357
6	Polyline ZM	0	450	10,74725	8,060438
7	Polyline ZM	0	450	13,213809	9,910357
8	Polyline ZM	0	450	2,667311	2,000483
9	Polyline ZM	0	450	23,645535	17,734151
10	Polyline ZM	0	450	13,213809	9,910357
11	Polyline ZM	0	450	28,658607	21,493955
12	Polyline ZM	0	450	4,832649	3,624487
13	Polyline ZM	0	450	28,658607	21,493955
14	Polyline ZM	0	450	9,47039	7,102793
15	Polyline ZM	0	450	1,928621	1,446466
16	Polyline ZM	0	450	1,358698	1,019024
17	Polyline ZM	0	450	28,658607	21,493955
18	Polyline ZM	0	450	1,44581	1,084357

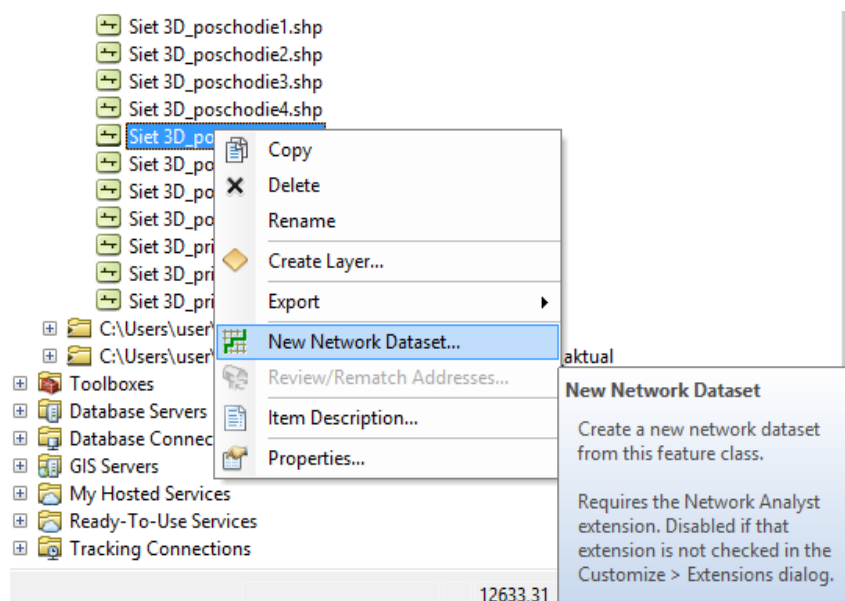
Obrázok 22 Ukážka atribútovej tabuľky po doplnení

6. Analýzy

Zo samotného názvu tejto práce je zrejmé, že práve táto kapitola je jednou z kľúčových častí. Analýzy, ktoré boli využité pre účel tejto práce sa nazývajú Network Analysis, v preklade sieťové analýzy. V teoretickej časti bol ich charakter a význam podrobnejšie opísaný, čiže v tejto kapitole bude rozobrané už len praktické využitie, konkrétnych použitých druhov sieťových analýz (Route a OD Cost Matrix). V nasledujúcich podkapitolách je opísaný proces analýz, či už sa jedná o kroky, ktoré im predchádzali, ale aj výsledky, zobrazujúce únikové časy z jednotlivých miestností k miestu úniku (schodisko, východové dvere z budovy). Výsledky sú znázornené vo forme tabuľky s časovými údajmi a graficky.

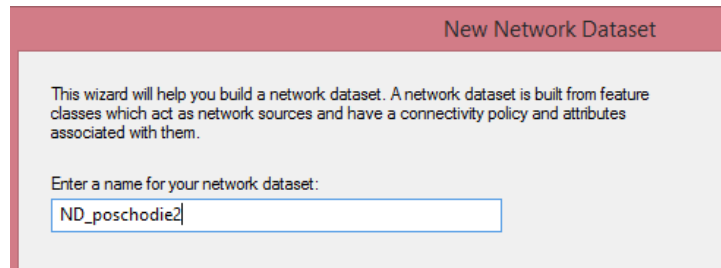
6.1. Sieťový dataset

Pred začiatkom analýz je potrebné vytvoriť nový sieťový dataset. Je to krok, ktorý prechádza všetkým prácam s nástrojmi sieťových analýz. Dataset je vytvorený zo zdrojových prvkov, ktoré zahŕňajú jednoduché prvky (body, línie) a zákruty, a je schopný sledovať a nastavovať konektivitu zdrojových prvkov.[33] Sieťový dataset sa vytvára vždy pre jeden konkrétny shapefile, čiže keď sa vykonávali kontrolné analýzy pre jednotlivé poschodia vytváral sa pre každé poschodie samotný dataset v ArcMap. Po vytvorení celistvej siete pre celú budovu, bol vytvorený finálny dataset pre potrebné sieťové analýzy v programe ArcScene. Nový dataset sa vytvára pomocou ArcCatalogu kliknutím pravým tlačidlom myši na vybraný shapefile obsahujúci vytvorenú sieť.

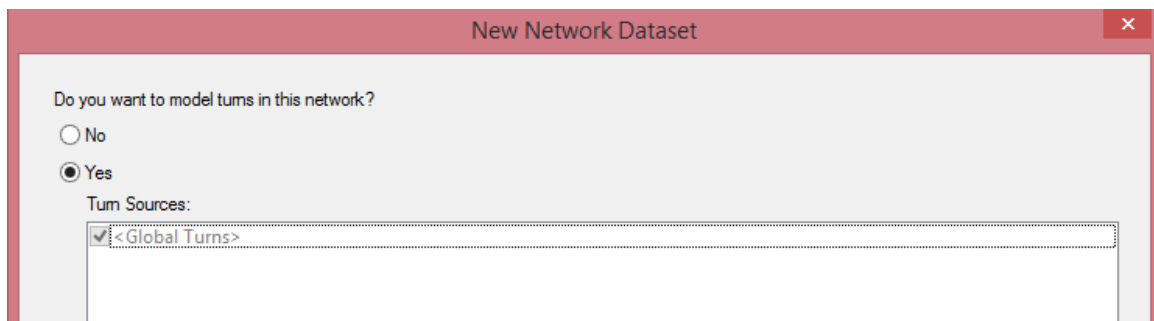


Obrázok 23 Vytvorenie nového sieťového datasetu

V nasledujúcom kroku sa už objaví tabuľka na pomenovanie nového sieťového datasetu, pri pokračovaní je položená otázka, či chceme, aby boli vymodelované zatáčky v sieti, vyberieme možnosť áno, ako je zobrazené na Obrázku 25. Predvolené sú Globálne zatáčky, ktoré sú prítomné na každom prechode medzi dvoma hranami v sieti, kde nie sú prítomné žiadne iné vrstvy so zatáčkami.

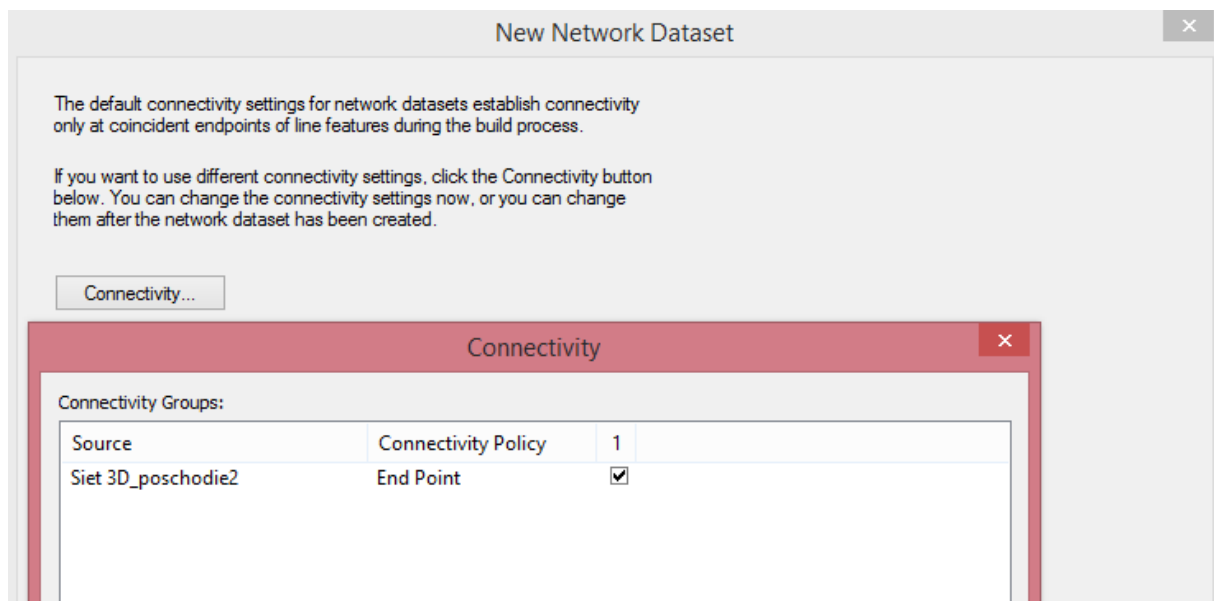


Obrázok 24 Pomenovanie datasetu



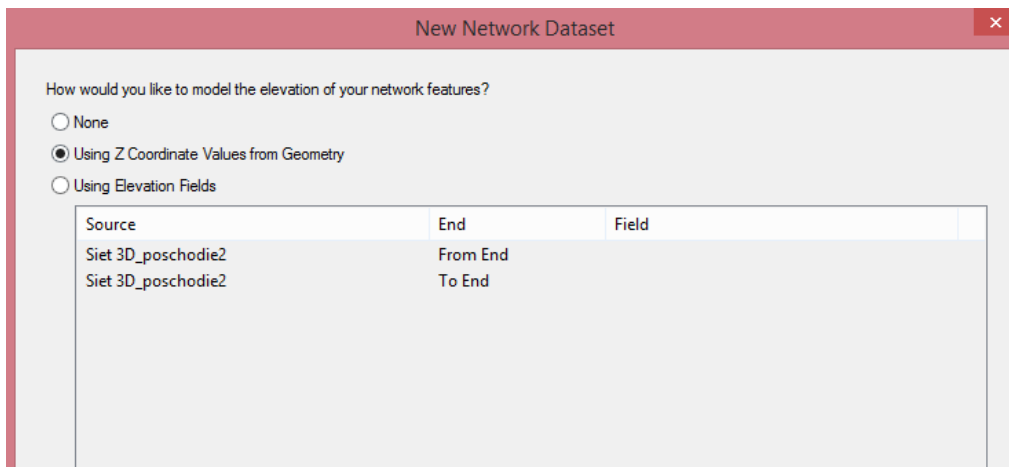
Obrázok 25 Modelovanie zatáčok v sieti

Obrázok 26 ukazuje nastavenie konektivity ako nasledovný krok.



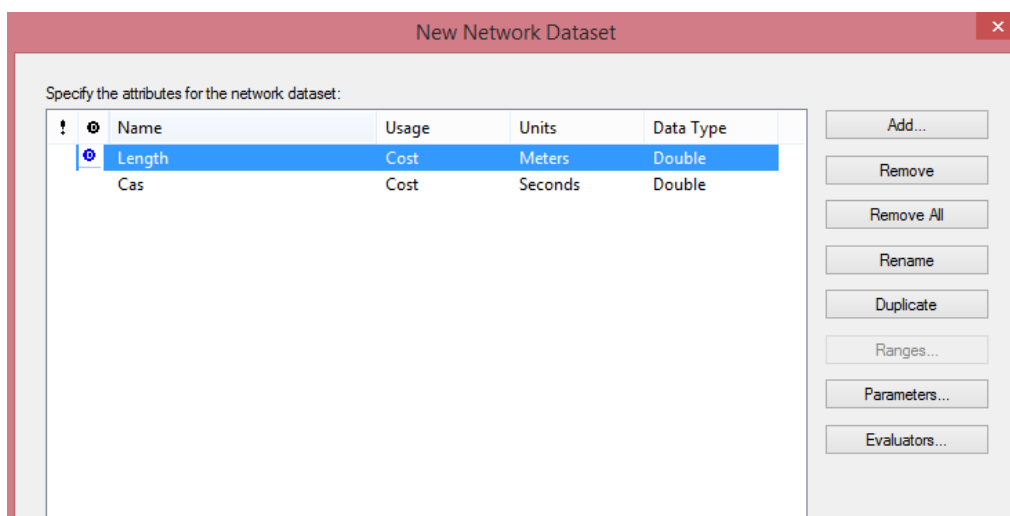
Obrázok 26 Nastavenie konektivity

Ďalší krok sa zaujíma, akým spôsobom si prajeme vymodelovať výšky prvkov v sieti, vybraná bola možnosť získať výšku z geometrie.



Obrázok 27 Spôsob získanie výšky pre sieťové vrstvy

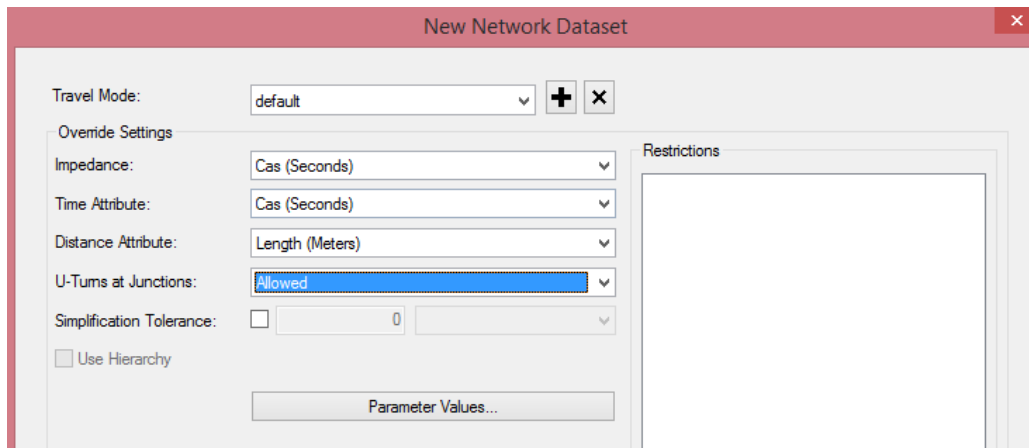
Jednou z najdôležitejších častí pri zakladaní nového sieťového datasetu je špecifikácia atribútov pre dataset. Predvolená hodnota je dĺžka, avšak bolo treba nastaviť jednotky v ktorých bude počítaná, pre účely tejto práce boli zvolené metre. Ďalším potrebným atribútom je čas, ten bol pridaný manuálne tlačidlom Add a jednotky boli nastavené sekundy, ako je to znázornene na Obrázku 28.



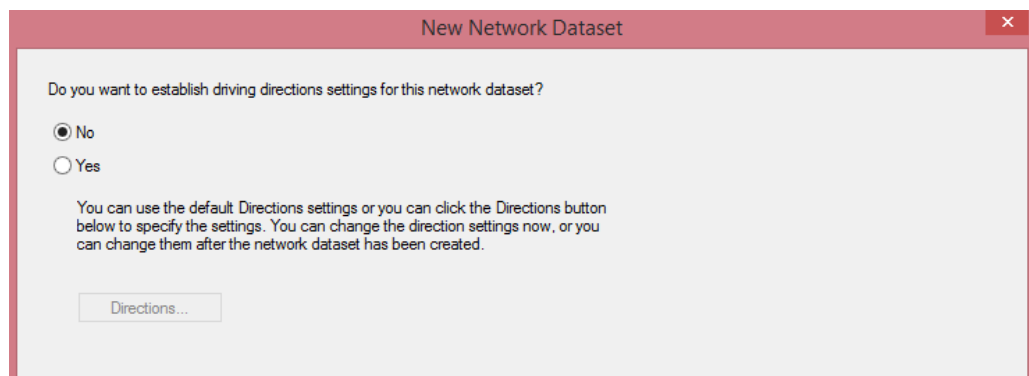
Obrázok 28 Špecifikácia atribútov pre dataset

Po nastavení atribútov nasleduje výber cestovného režimu. Žiaden režim nebol voliteľný respektíve vopred prednastavený, preto bol vytvorený ručne. Impedancia a časový atribút je čas v sekundách a dĺžkový atribút je v metroch. Tieto údaje vychádzajú z predchádzajúceho kroku, ktorý sa týkal špecifikácie atribútov.

Ako je vidieť na Obrázku 29, čo sa týka Restrictions, v preklade obmedzení, tie nie sú pre účely tejto práce potrebné, keďže sa nejedná o sieť, ktorá by bola v tomto ohľade obmedzená, väčšinou to má zmysel nastavovať v prípade dopravných sietí, kde sa vyskytujú napríklad jednosmerné cesty. Taktiež aj nasledovný krok, pri tvorbe datasetu, vyobrazený na Obrázku 30, nie je nevyhnutný, pretože sa jedná o informácie slúžiace vodičom pri orientácii sa v dopravnej situácii ako sú napríklad názvy ulíc, dopravné značky a iné.

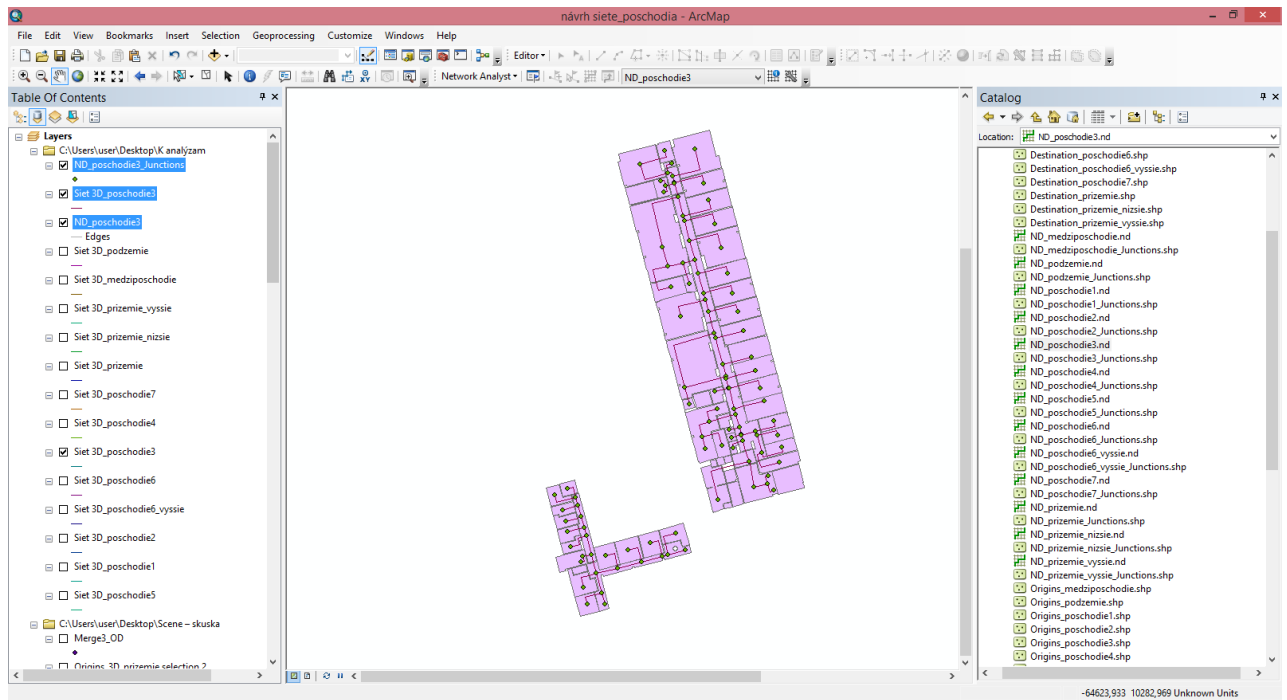


Obrázok 29 Nastavenie cestovného módu

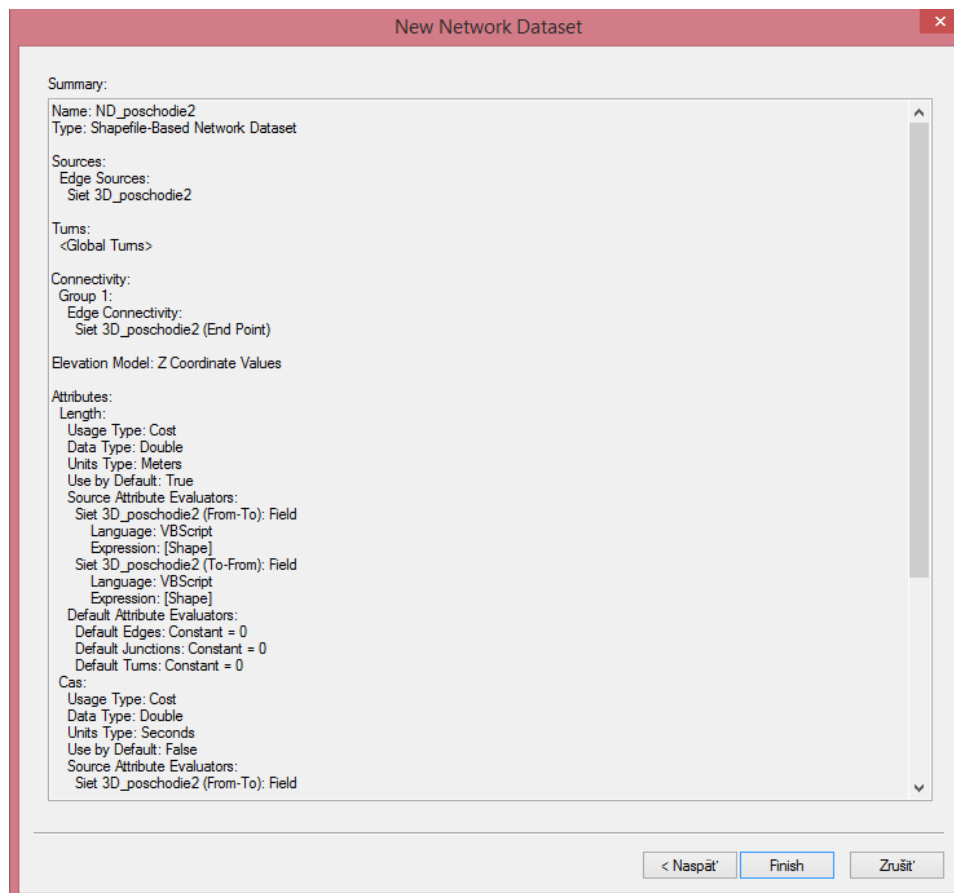


Obrázok 30 Nastavenie nutnosti vodičských nasmerovaní

Ako je vidieť na Obrázku 32, posledný krok obsahuje zhrnutie nastavení, ktoré boli vykonané počas celej tvorby sieťového datasetu. Týmto je možné si skontrolovať jednotlivé nastavenia a v prípade súhlasu potvrdiť tlačidlom Finish, čiže dokončiť. Týmto krokom sa spustí budovanie datasetu a na konci je možné si vybrať či si želáme dataset vložiť do mapy alebo nie. Sieťový dataset sa skladá z troch vrstiev – Junctions (uzly), Edges (hrany) a samotná navrhnutá sieť.



Obrázok 31 Zložky sieťového datasetu na ukážke tretieho poschodia



Obrázok 32 Dokončenie tvorby sieťového datasetu

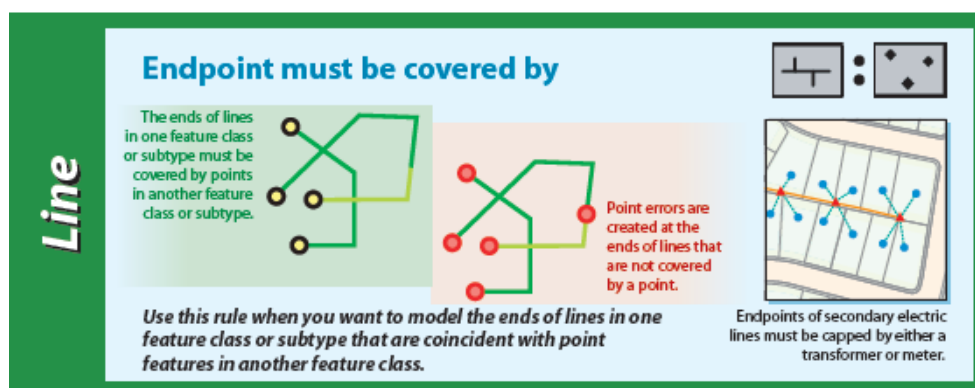
6.2. Topologické kontroly

Topologická správnosť, je nevyhnutnou vlastnosťou siete. Je jednou z tých, ktorá je potrebná na správne fungovanie analytických nástrojov. Topologické kontroly nasledovali až po vytvorení dátového setu, z dôvodu, že ku kontrolám boli potrebné aj uzly, ktoré sú súčasťou datasetu. Pred topologickými kontrolami boli línie v sieti rozbité v miestach kde sa krížia a vymazané všetky prekrývajúce sa líniové segmenty. K tomuto účelu slúžia pokročilé editačné nástroje, konkrétne nástroj Planarize Line, zvýraznený na Obrázku 33.



Obrázok 33 Pokročilé editovacie nástroje

Topológia v ArcGis umožňuje modelovať priestorové vzťahy medzi triedami prvkov v datasete prvkov. Topologické pravidlá slúžia na definovanie spomínaných vzťahov medzi prvkami v jednoduchej triede prvkov alebo medzi dvoma triedami prvkov. Topologické chyby, ktoré porušujú topologické pravidlá, je možné jednoducho vyhľadať a opraviť pomocou editačných nástrojov v ArcMap.[34] Spomínané topologické pravidlá sú voľne dostupné na stránkach firmy ESRI vo formáte .pdf, sú rozdelené podľa typu prvkov, na ktoré chceme pravidlá aplikovať, či sa jedná o línie, body alebo polygóny. Nasledujúce obrázky znázorňujú použité pravidlá, ktoré boli nastavené pri topologických kontrolách. V prípade prvého pravidla, boli ignorované chyby, ktoré označovali voľné konce v miestnostiach za chybné, boli skôr hľadané chyby v dôsledku voľných koncov v miestach kde mali línie na seba naväzovať. Ďalšie pravidlá kontrolujú, aby sa línie neprekrývali a nekrížili. Posledné pravidlo sa týka uzlov a línií, kde každý koniec línie musí obsahovať koncový bod (uzol). V prípade preukázania topologických chýb v navrhutej sieti, boli chyby opravené a sieťové datasety obnovené. Týmto finálnym krokom je sieť pripravená na nasledujúce analýzy.





Obrázok 34 Použité topologické pravidlo pre uzly a línie [34]


Line

Must not have dangles

The end of a line must touch any part of one other line or any part of itself within a feature class or subtype.

Point errors are created at the end of a line that does not touch at least one other line or itself.





A street network has line segments that connect. If segments end for dead-end roads or cul-de-sacs, you could choose to set as exceptions during an edit session.

Use this rule when you want lines in a feature class or subtype to connect to one another.


Line

Must not overlap

Lines must not overlap any part of another line within a feature class or subtype. Lines can touch, intersect, and overlap themselves.

Line errors are created where lines overlap.





Lot lines cannot overlap one another.

Use this rule with lines that should never occupy the same space with other lines.

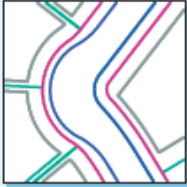
Line

Must not intersect

Lines must not cross or overlap any part of another line within the same feature class or subtype.

Line errors are created where lines overlap, and point errors are created where lines cross.



Lot lines cannot intersect or overlap, but the endpoint of one feature can touch the interior of another feature.

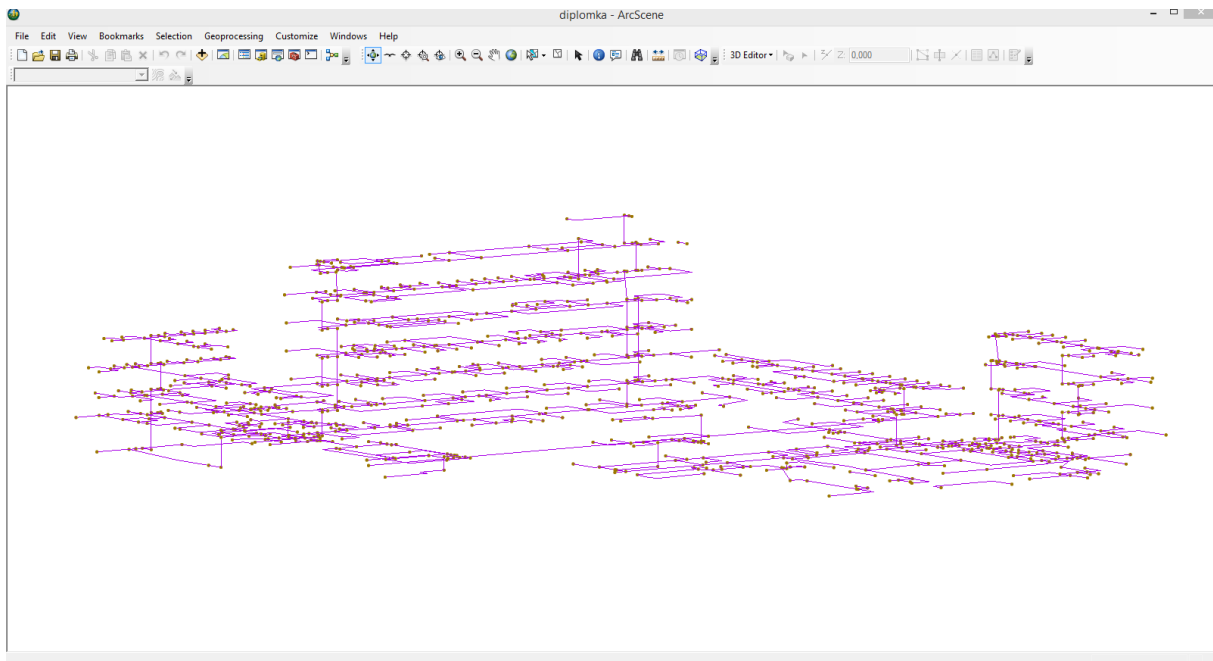
Use this rule with lines whose segments should never cross or occupy the same space with other lines.

Obrázok 35 Použité topologické pravidlá pre línie [34]

6.3. Prepojenie siete pre celú budovu

Doteraz boli v predchádzajúcich kapitolách riešené jednotlivé poschodia ako samostatné časti. Aby však bolo splnené zadanie a sieť tvorila jeden celok pre celú budovu, je nutné jednotlivé poschodia spojiť. K tomuto kroku je potrebné opäť presunúť práce do prostredia ArcScene, aby bolo možné pracovať v 3D priestore. Prepojenie siete bolo vykonané prostredníctvom 3D Editoru. Manipulácia s dátami je v tomto prostredí o niečo komplikovanejšia a bolo nutné správne nastavenie chytania jednotlivých prvkov pri editácii v sieti. Snapping vo voľnom preklade chytanie/úchyt, bolo nutné nastaviť tak, aby sa pri editácii línia chytala na koncové body línie.

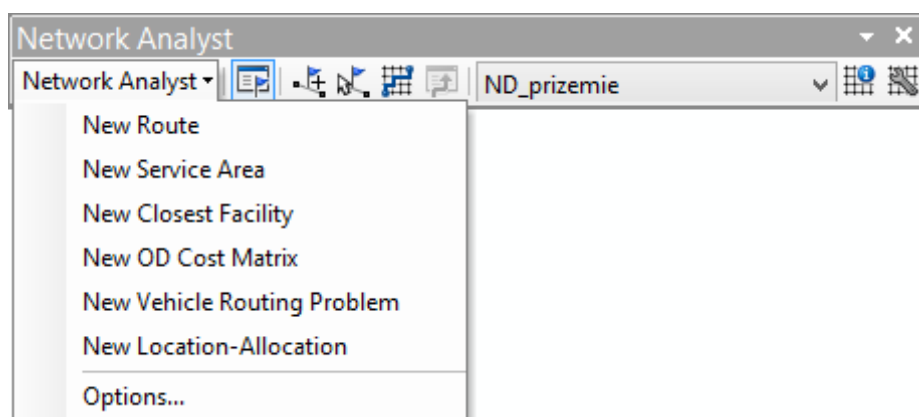
Siete pre jednotlivé poschodia boli vo väčšine prípadov navrhnuté tak, aby priestory, kde sa vyskytuje schodisko, bolo možné spojiť líniou kolmou k sieťam oboch poschodí, ktoré sa navzájom prepájali. Takýmto postupným poprepávaním jednotlivých poschodí v priestoroch schodísk vznikla sieť, predstavujúca celú budovu. Týmto sa však práce na komplexnej sieti nekončia. Línia, ktorou boli jednotlivé poschodia pospájané mala nulové hodnoty v atribútovej tabuľke v stĺpcoch, ktoré boli dopyčítavané, ako bolo spomínané v kapitole 5.4. Z tohto dôvodu bolo nutné tieto údaje dopyčítať obdobným postupom. Jednou zmenou však bola rýchlosť, ktorá sa použila pri prepočítavaní času. Je predpoklad, že rýchlosť v prípade chôdze po schodoch bude menšia než v prípade chôdze po rovine. Z toho dôvodu bola uvažovaná rýchlosť približne dvojnásobne pomalšia ako priemerná chôdza, čiže 2,4km/hod. Týmto krokom sa stala sieť pripravenou na konečné prepojenie. Sieť vznikla spojením shapefilov jednotlivých poschodí do jedného shapefile, ktorý tvorí výslednú sieť pre celú budovu. Na tento účel slúži nástroj Merge, ktorý sa nachádza medzi nástrojmi ArcToolbox, v skupine Data Management Tools v podskupine General. Výstupom bol shapefile, ktorý predstavoval sieť pre celú budovu (Obrázok 36). Následne po vytvorení siete bolo potrebné vytvoriť nový sieťový dataset, postup bol obdobný ako v prípade jednotlivých poschodí. Jediný rozdiel je, že v prostredí ArcScene nie je možné dataset vložiť do mapy. Je možné vložiť samotne Junctions, čiže uzly, ale celý dataset nie. Napriek tomu sieťové analýzy rozoznávajú, že dataset je vytvorený a dokážu s ním pracovať aj napriek tomu, že nie je priamo v mape. Táto sieť už bude tvoriť základ pre analýzy v 3D priestore.



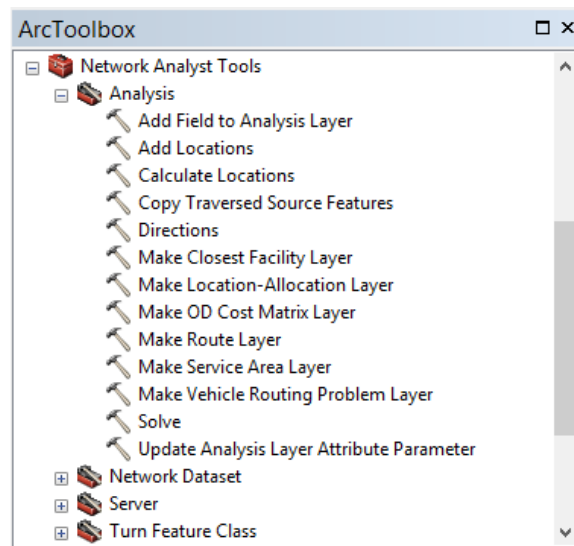
Obrázok 36 Ukážka siete pre celú budovu spolu s uzlami

6.4. Analýzy na sieti

Táto kapitola sa zaoberá konkrétnymi analýzami, ktoré na vytvorenej sieti budú prebiehať. Jedná sa o sieťové analýzy a konkrétne v tejto práci budú ukázané dve z možných šiestich analýz, ako je vidieť na Obrázku 37. Prvou z nich je samostatnú trasu – New Route, ktorá určí najkratšiu vzdialenosť medzi dvoma určenými bodmi a druhý typ je New OD Cost Matrix, ktorý vytvorí maticu najkratších vzdialeností/časov medzi počiatočnými a koncovými bodmi. Analýzy boli vykonané aj v prostredí ArcMap aj v ArcScene. Z dôvodu prvotnej kontroly siete pre jednotlivé poschodia boli analyzované samotné poschodia v ArcMap a následným prepojením siete pre celú budovu boli konečné analýzy vykonané v prostredí programu ArcScene. Čo sa týka rozdielu medzi analýzami v ArcMap a v ArcScene, tak hlavný rozdiel je v spôsobe určovania, ktorý bod je učený ako počiatočný a ktorý ako koncový. V ArcMap je z jednou možnosťou ArcToolbox, kde každej činnosti prislúcha jeden nástroj alebo na to slúži dialógové okno, vyobrazené na Obrázku 37, v ktorom sa jednoducho vyberie nový druh analýzy, a smerom doprava sú tlačidlá na otvorenie okna sieťovej analýzy, zadávanie a posúvanie počiatočných a koncových bodov v grafike a štvrté tlačidlo slúži na vyriešenie situácie. Taktiež je možné prepínať medzi jednotlivými datasetmi, predposledné tlačidlo je informačné a posledné slúži na obnovenie dátového setu napríklad v prípade editácii siete. ArcScene neponúka takýto spôsob a všetky sieťové analýzy a práca s nimi prebieha len pomocou ArcToolboxu (Obrázok 38). To znamená, že všetky činnosti sa vykonávajú bez možnosti rýchlych grafických zmien priamo v mape, ako to bolo v prípade ArcMap a dialógovým oknom. Tento fakt sa ukáže napríklad v prípade počiatočných a koncových bodov, ktoré musia byť vopred pripravené v samostatných shapefilech. Práca v ArcScene je preto o niečo zdĺhavejšia a komplikovanejšia v porovnaní s ArcMap. Podrobnejšie sú však práce s konkrétnymi analýzami opísané v nasledujúcich podkapitolách.



Obrázok 37 Možnosti sieťových analýz z prostredia ArcMap

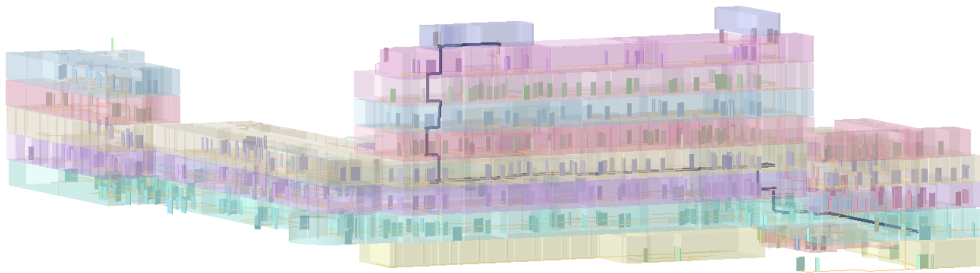


Obrázok 38 ArcToolbox Sieťové Analýzy

6.4.1. Samostatná trasa

Vyriešenie najlepšej trasy je jednou z možných sieťových analýz. Jedná sa o nájdenie samostatnej trasy z určeného počiatkového a cieľového bodu, avšak nemusia byť zadané len dva koncové body. Je možné zadať aj body, cez ktoré by mala trasa prechádzať. Či sa bude jednať o najrýchlejšiu alebo najkratšiu trasu je závislé na zvolenej impedancii. Keď je zvolená impedancia čas, tak sa bude jednať o trasu najkratšiu.[35] Pre účel tejto práce, je tento spôsob analýzy možné využiť, keď chceme zistiť aká je najkratšia cesta medzi nami zvolenými počiatkovými a koncovými bodmi. Tým je myslené, že si zvolíme za počiatkový bod akúkoľvek miestnosť, z ktorej nás zaujíma najrýchlejšia cesta k cieľovému bodu, čiže východu. Popríklad je možné zvoliť aj iné miestnosti, ako prechodové miesta, cez ktoré chceme, aby trasa prechádzala. Čo sa týka postupu, ako prvé je nutné vytvoriť shapefile, ktorý obsahuje počiatkový a koncový bod trasy, poprípade nejaký prechodový bod. K tomuto účelu sa využívali uzly, ktoré boli vytvorené pri tvorbe datasetu. Vybrané uzly, ktoré predstavovali počiatkový a koncový bod trasy sa vyseletovali. Z vyselektovaných prvkov sa vytvorila nová vrstva a následne nový shapefile, ktorý obsahuje zastávky. Ďalším krokom bolo pomocou nástrojov ArcToolbox vytvorená nová vrstva trasy (Make Route Layer), kde sa zvolilo z akého datasetu sa vychádza a impedancia. Následne bola pridaná lokalita (Add Lokation), to je krok, kedy sa vkladajú Zastávky (Stops) a práve na tento účel bol vytváraný, vyššie spomínaný, shapefile. Záverečný úkon je vyriešenie (Solve). Na Obrázku 39 je ukážka najrýchlejšej a zároveň najkratšej trasy z miestnosti nachádzajúcej sa na najvyššom, čiže siedmom poschodí, k jednému z východov z budovy.

Takýmto spôsobom je možné zistiť akúkoľvek potrebnú variantu trasy, avšak nie je to vhodné na hromadné vyhodnotenie časových dostupností pre väčší počet počiatkových miestností alebo viacero cieľových destinácií. Práve na tento účel je výhodnejšie použiť analýzu OD Cost Matrix opísanú v nasledujúcej kapitole.



Obrázok 39 Najrýchlejšia a zároveň najkratšia trasa

ObjectID	Shape	Name	FirstStopID	LastStopID	StopCount	Total Length
1	Polyline ZM	Location 1 - Location 2	1	2	2	136,938879

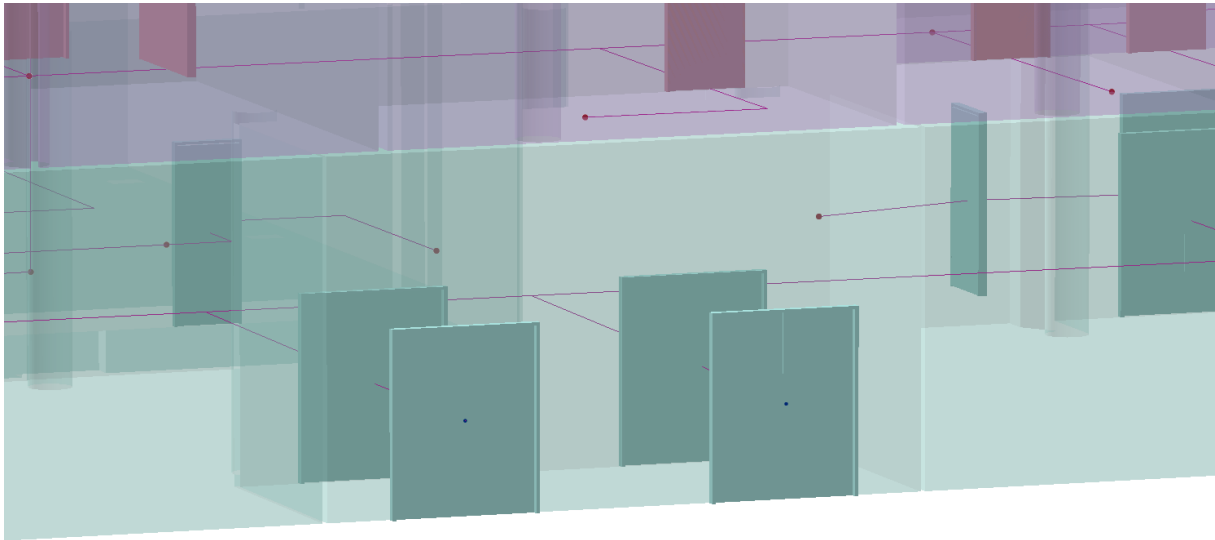
Obrázok 40 Atribútová tabuľka trasy - Impedanica vzdialenosť v metroch

ObjectID	Shape	Name	FirstStopID	LastStopID	StopCount	Total Cas
1	Polyline ZM	Location 1 - Location 2	1	2	2	122,031011

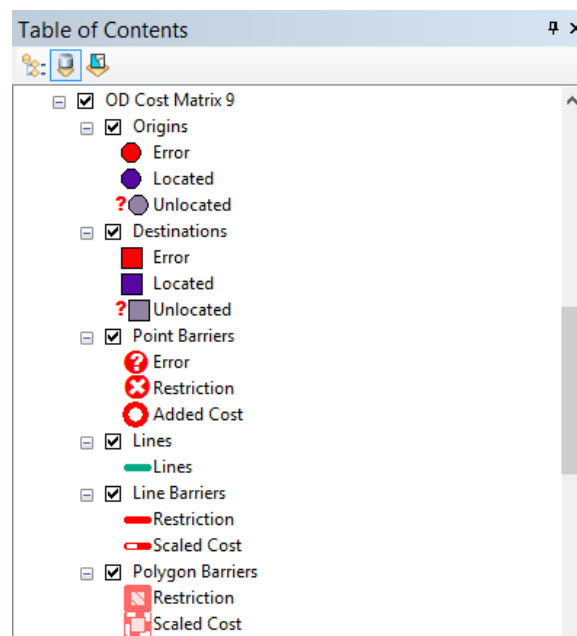
Obrázok 41 Atribútová tabuľka trasy - Impedancia čas v sekundách

6.4.2. OD Cost Matrix

V anglickom názve OD Cost Matrix predstavuje skratka OD - Origin a Destination, čiže počiatok a cieľ. OD Cost Matrix možno preložiť ako Matica minimálnych náročností medzi počiatočnými a koncovými bodmi, avšak konkrétne pre túto prácu by sa skôr hodil názov Matica najkratších časov medzi počiatočnými a koncovými bodmi. Keďže v OD Cost Matrix je možné zadať viacero počiatočných a koncových bodov je, pre účel tejto diplomovej práce, použitie tohto spôsobu analýzy výhodnejšie. I keď na prvý pohľad je spojnica, počiatok a cieľ, rovná línia, ktorá nesleduje skutočný tvar siete v skutočnosti hodnota, ktorá sa uloží v atribútovej tabuľke línie reflektuje impedanciu v sieti, čiže nie ako priamu spojnicu. [35] V našom prípade je impedanciou čas, čiže zisťované trasy sú počítané tak, aby boli najrýchlejšie. Prvým krokom pri použití OD Cost Matrix je definovanie počiatočných bodov a cieľov. K tomuto účelu bola využitá vrstva z vytvoreného datasetu a to konkrétne vrstva Junctions, čiže uzly. Práce najprv prebiehali v programe ArcMap, kvôli kontrole funkčnosti siete po jednotlivých poschodiach a hlavne kvôli lepšej manipulácii s dátami. Uzly, ktoré predstavovali definičné body jednotlivých miestností boli vyselektované a z nich bol vytvorený nový shapefile, ktorý tvorili Origins, t.j. počiatočné body pre jedno poschodie. Tento postup bol opakovaný pre všetky poschodia. Keďže analýzy budú prebiehať v ArcScene bolo bodom nutné priradiť výšky rovnakým postupom, aký je opísaný v kapitole 5.4. Jednotlivé shapefiley boli pomocou nástroja Merge zoskupené do výsledného shapefilu, ktorý predstavoval všetky miestnosti v budove vyjadrené pomocou definičných bodov Origins. Destinations tzv. cieľové body, sú v tomto prípade východy z budovy. Pre analýzu je tiež potrebný samotný shapefile, ktorý bude obsahovať len cieľové body. Postup je obdobný ako v prípade Origins. V zhrnutí je počet cieľových bodov (východov z budovy) 23 a počiatočných bodov 589. Celkový počet miestností je však 616. Miestnosti, ktoré sa nestali súčasťou analýzy, sú väčšinou miestnosti, ktoré nemajú dvere ako napríklad výťahové šachty, sklady a iné prázdne miesta. Na Obrázku 42 je ukážka z programu ArcScene, kde modré body predstavujú východy z (Destinations) a červené body sú Origins (body, ktoré reprezentujú miestnosti). Týmto postupom sú získané všetky potrebné dáta na analýzu OD Cost Matrix. Na Obrázku 38 sú znázornené analytické nástroje ArcToolbox a ako prvý je využitý nástroj Make OD Cost Matrix Layer. Týmto nástrojom vytvoríme vrstvu OD Cost Matrix, kde vstupné dáta sú sieťový dataset pre celú sieť budovy a dôležité nastavenie je impedancia, ako už bolo spomenuté v prípade tejto práce je to čas. Ukážka vrstvy OD Cost Matrix a jej zložiek je vyobrazená na Obrázku 43.



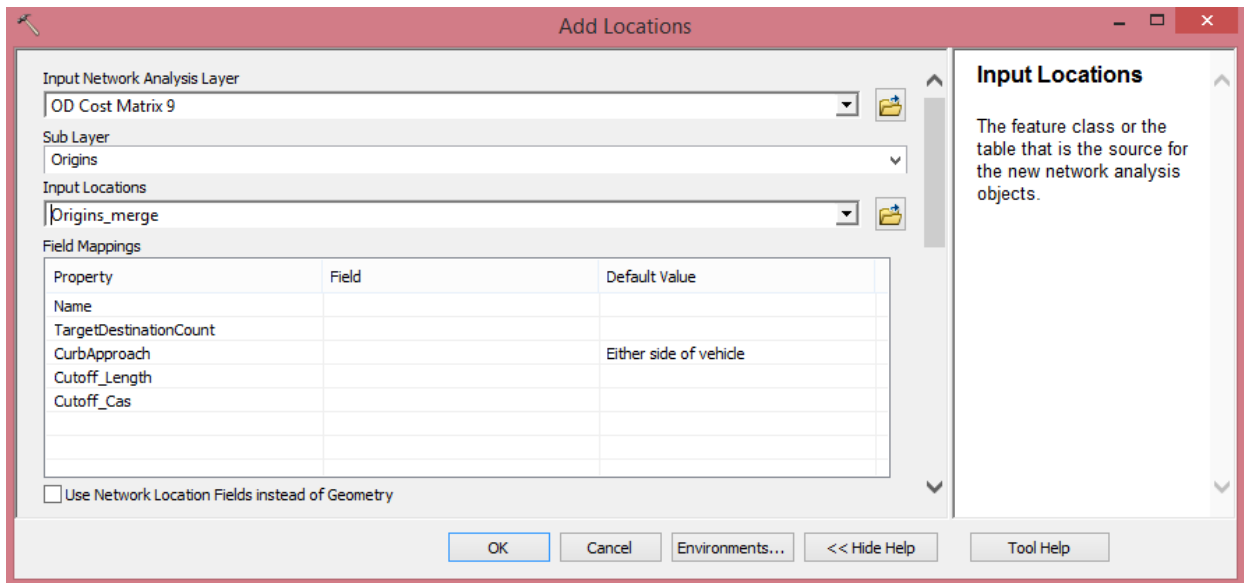
Obrázok 42 Ukážka grafického znázornenia počiatkových a cieľových bodov pre OD Cost Matrix



Obrázok 43 Vrstva OD Cost Matrix

V ďalšom kroku je nutné pridať polohu počiatkových a cieľových bodov, na tento účel sa využije nástroj Add Location a postup sa opakuje dvakrát ako pre Origins, tak aj pre Destination. Práve z tohto dôvodu bolo potrebné vytvorenie samostatných shapefilov, pre počiatkové aj cieľové body, opísané vyššie. Ako je vidieť na Obrázku 44 vstupná vrstva je vytvorená vrstva OD Cost Matrix, v okne Sub Layer sa vyberá, či sa jedná o Origins, Destination alebo voliteľné bariéry.

Input Locations je vstupný shapefile obsahujúci buď počiatkové body v prípade Origins alebo cieľové body v prípade Destination.



Obrázok 44 Add Location - pridanie polohy Origins a Destination pre OD Cost Matrix

Posledný krok je použitie nástroja Solve z ArcToolbox, kde jediná vstupná hodnota je vrstva OD Cost Matrix. Keďže v analýze bolo použité veľké množstvo počiatkových bodov je grafické znázornenie pomerne neprehľadné. Jedná sa však o sieť línii, kde každému počiatkovému bodu (Origin) prislúcha časový údaj ku každému bodu cieľovému.

Ako už bolo spomenuté, grafické znázornenie siete tvoria priame spojnice bodov Origin a Destination, ale skutočná hodnota času uvedená v atribútovej tabuľke línii, na Obrázku 45, je počítaná po sieti.

ObjectID	Shape	Name	OriginID	DestinationID	DestinationRank	Total_Cas
1	Polyline Z	Location 1 - Location 1	1	1	1	33,293079
2	Polyline Z	Location 1 - Location 3	1	3	2	40,064923
3	Polyline Z	Location 1 - Location 8	1	8	3	65,560032
4	Polyline Z	Location 1 - Location 9	1	9	4	68,416418
5	Polyline Z	Location 1 - Location 10	1	10	5	74,167444
6	Polyline Z	Location 1 - Location 5	1	5	6	110,307413
7	Polyline Z	Location 1 - Location 4	1	4	7	120,678659
8	Polyline Z	Location 1 - Location 19	1	19	8	175,081051
9	Polyline Z	Location 1 - Location 18	1	18	9	197,159006
10	Polyline Z	Location 1 - Location 13	1	13	10	214,380199
11	Polyline Z	Location 1 - Location 12	1	12	11	219,107698
12	Polyline Z	Location 1 - Location 11	1	11	12	230,066646
13	Polyline Z	Location 1 - Location 14	1	14	13	241,593551
14	Polyline Z	Location 1 - Location 17	1	17	14	260,160372
15	Polyline Z	Location 1 - Location 16	1	16	15	260,471043
16	Polyline Z	Location 1 - Location 15	1	15	16	286,433596
17	Polyline Z	Location 1 - Location 20	1	20	17	288,186765
18	Polyline Z	Location 1 - Location 21	1	21	18	289,534658
19	Polyline Z	Location 1 - Location 22	1	22	19	294,174837
20	Polyline Z	Location 2 - Location 1	2	1	1	19,227867
21	Polyline Z	Location 2 - Location 3	2	3	2	25,999711
22	Polyline Z	Location 2 - Location 8	2	8	3	48,735782
23	Polyline Z	Location 2 - Location 9	2	9	4	51,592167
24	Polyline Z	Location 2 - Location 10	2	10	5	57,343103

Obrázok 45 Atribútová tabuľka línii - spojnic Origins a Destinations

Výsledkom analýzy OD Cost Matrix je teda matica najkratších časov medzi bodmi reprezentujúcimi miestnosti a bodmi reprezentujúcimi východy z budovy. Dáta o miestnostiach a prislúchajúce časy k jednotlivým východom boli následne spracované v programe MS Excel vo forme tabuľky (Obrázok 46).

Guid	Label	Name	357722	357091	356637	384521	384753	247988	247772	356159
1	3NQbHSyPzENe1mbSdH_6MC	219 TEACHING (t)	60.536925582682997	0	67.252694380123003	50.158770035551996	39.787524336733000	0	0	40.165466759803003
2	3NQbHSyPzENe1mbSdH_6Mp	656 LECTURE THEATRE(t)	44.153922396652774	0	50.869691194092781	59.008012507232209	48.637668084132123	0	0	23.782463573772780
3	3NQbHSyPzENe1mbSdH_6Mw	1191 TEACHING (t)	64.083970925125968	0	70.799739722565960	40.396929238346040	30.025683539527044	0	0	43.712512102245960
4	3NQbHSyPzENe1mbSdH_6My	1721 TEACHING (f)	51.404720308151006	0	58.120489105591005	57.505159075403995	47.133913376584999	0	0	31.033261485270998
5	3NQbHSyPzENe1mbSdH_6N0	2129 RESEARCH OFFICE	62.178113791373001	0	68.893882588813000	47.175018546901995	36.803772848083000	0	0	41.806654968493000
6	3NQbHSyPzENe1mbSdH_6N2	2478 TEACHING (f)	76.713112425375996	0	83.428881222816003	31.175572319638999	20.804326620820003	0	0	56.341653602495995
7	3NQbHSyPzENe1mbSdH_6N4	2789 TEACHING (f)	67.928986233502997	0	74.644755030943003	35.421982486691995	25.050736787873003	0	0	47.557527410622995
8	3NQbHSyPzENe1mbSdH_6N6	3078 TEACHING (t)	81.989749219056009	0	88.705518016496015	25.884220926598999	15.512952722780000	0	0	61.618290396175993
9	3NQbHSyPzENe1mbSdH_6N8	3491 RESEARCH LAB	74.434714639552666	0	81.150483436992673	28.462879512702330	18.148051429376672	0	0	54.063255816672665
10	3NQbHSyPzENe1mbSdH_6NA	3789 TEACHING (f)	89.862472693154999	0	96.578241490595005	18.731780965900001	19.360421904898999	0	0	69.490990621175001
11	3NQbHSyPzENe1mbSdH_6NC	4018 RESEARCH LAB	81.627658831546000	0	88.343427628986007	21.269935320708999	16.496374390909999	0	0	61.256200008665992
12	3NQbHSyPzENe1mbSdH_6NE	4211 RESEARCH OFFICE	83.145398765506002	0	89.861167562946008	22.787675254669001	18.014114324870000	0	0	62.773939942625987
13	3NQbHSyPzENe1mbSdH_6NG	4328 RESEARCH LAB	85.664467960825007	0	92.380236758265013	18.521853923449999	15.162440421669000	0	0	65.293009137945006
14	3NQbHSyPzENe1mbSdH_6NI	4667 RECEPTION	97.778238186403797	0	104.494006983843800	13.093412979988791	27.276210647247794	0	0	77.400779363523796
15	3NQbHSyPzENe1mbSdH_6NK	6595 ENTRANCE FOYER	89.668515757175001	0	96.384284554615007	4.983690550760000	19.166488218019001	0	0	69.297056934295000
16	3NQbHSyPzENe1mbSdH_6K7	7489 RESEARCH LAB	87.390267635746014	0	94.106036433186020	21.661801026389000	16.888240096590000	0	0	67.018808812865998
17	1Yh8omSsD5cQe4Z5S4ADfH	7747 CORRIDOR	80.897410172655000	0	87.613178970095007	13.754796135279999	10.395382633499000	0	0	60.525951349774999
18	1Yh8omSsD5cQe4Z5S4ADfF	8009 CORRIDOR	77.391494074136006	0	84.107262871576012	17.260712233799001	6.889466534980001	0	0	57.020035251255997
19	1Yh8omSsD5cQe4Z5S4ADfT	8202 CORRIDOR	64.415765657365995	0	71.131534454806001	30.236440650568998	19.865194951750002	0	0	44.044306834486008
20	1Yh8omSsD5cQe4Z5S4ADfR	8804 CORRIDOR	45.864718516223000	0	52.580487313662999	48.787487791711996	38.416242092893000	0	0	25.4932959693342999
21	1Yh8omSsD5cQe4Z5S4ADfP	9324 CORRIDOR	37.718036596198999	0	44.433805393638998	56.934169711735997	46.562924012917001	0	0	17.346577773319002
22	1Yh8omSsD5cQe4Z5S4ADfN	9653 CORRIDOR	35.046177831096998	0	41.761946628536997	64.43496295533993	53.597124253218823	0	0	14.674719008217002
23	1Yh8omSsD5cQe4Z5S4ADfB	10017 STAIRWELL	79.229964936546011	0	85.945733733986017	19.099183096209000	5.050995672570000	0	0	58.858506113665996
24	1Yh8omSsD5cQe4Z5S4ADfB	10176 ACCESSIBLE WC	47.905679829493003	0	54.621448626933002	50.828449104981999	40.457203406163003	0	0	27.534221006612999
25	1Yh8omSsD5cQe4Z5S4ADfB	10286 CLEANERS	45.622863835873005	0	52.338632633313004	51.506200665681995	41.134954966862999	0	0	25.251405012992997
26	1Yh8omSsD5cQe4Z5S4ADfB	10401 LOBBY	0	0	0	0	0	0	0	0
27	1Yh8omSsD5cQe4Z5S4ADfB	10578 WC MALE	47.785528698349005	0	54.501297495789004	59.572878134885997	49.201632436067001	0	0	27.414069875469000
28	1Yh8omSsD5cQe4Z5S4ADfB	10728 VOID	0	0	0	0	0	0	0	0
29	1Yh8omSsD5cQe4Z5S4ADfB	10728 VOID	0	0	0	0	0	0	0	0

Obrázok 46 Ukážka spracovania výsledkov vo forme tabuľky v programe MS Excel

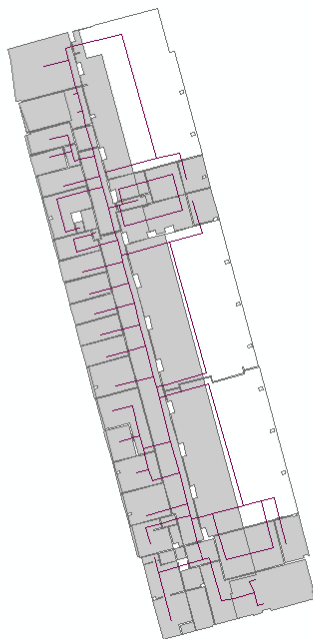
7. Vizualizácia a grafická reprezentácia výsledkov

Na vizualizáciu výsledkov bol použitý nástroj xBIM(Extensible Building Information Modeling). xBIM je bezplatný otvorený softwarový nástroj, ktorý podporuje BuildingSmart dátový model (aka the Industry Foundation Classes IFC). xBIM zároveň umožňuje vývojárom čítať, vytvárať a prehliadať Building Information modely vo formáte IFC. K dispozícii je plná podpora pre geometrické, topologické operácie a vizualizácie. [36] Na vizualizáciu dát IFC na webe slúži xBIM WeXplorer, ktorý je súčasťou xBIM.[37] Dáta konkrétne k tejto práci sú spracované a voľne dostupné online na http://xbim.cz/dp/andrea_halajova/. Pomocou nich je možné rýchle a okamžité modelovanie variant pre rôzne dostupnosti východov.

Výstupom tejto práce majú byť, podľa zadania, aspoň tri grafické reprezentácie sieťového grafu a doby nutné pre opustenie budovy z jednotlivých miestností. Čo sa týka dôb pre opustenie budovy z jednotlivých miestností, ako už bolo spomenuté, tie už sú spracované vo forme tabuľky v programe MS Excel a sú súčasťou príloh v elektronickej podobe.

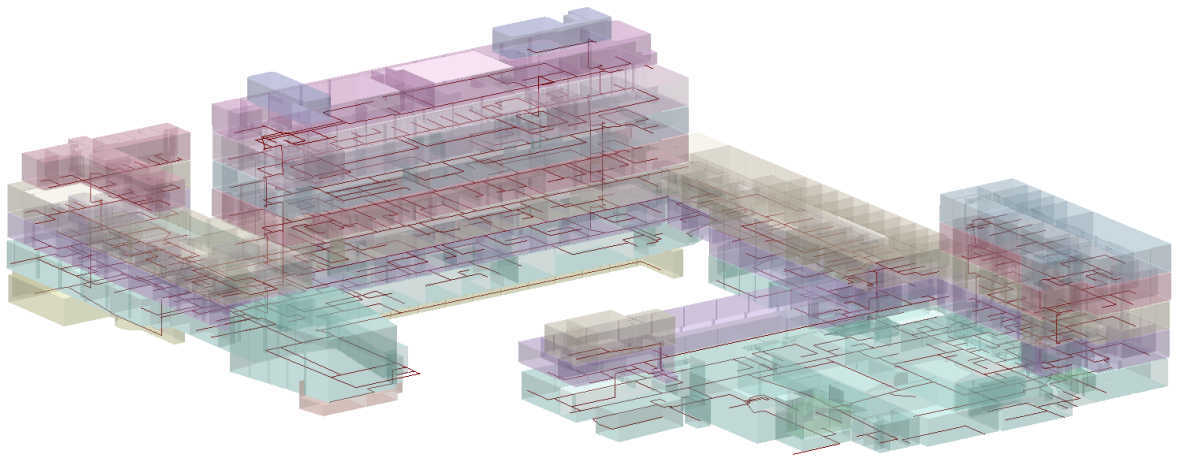
Grafické reprezentácie sieťového grafu

1. 2D prezentácia siete v jednom poschodí v programe ArcMap



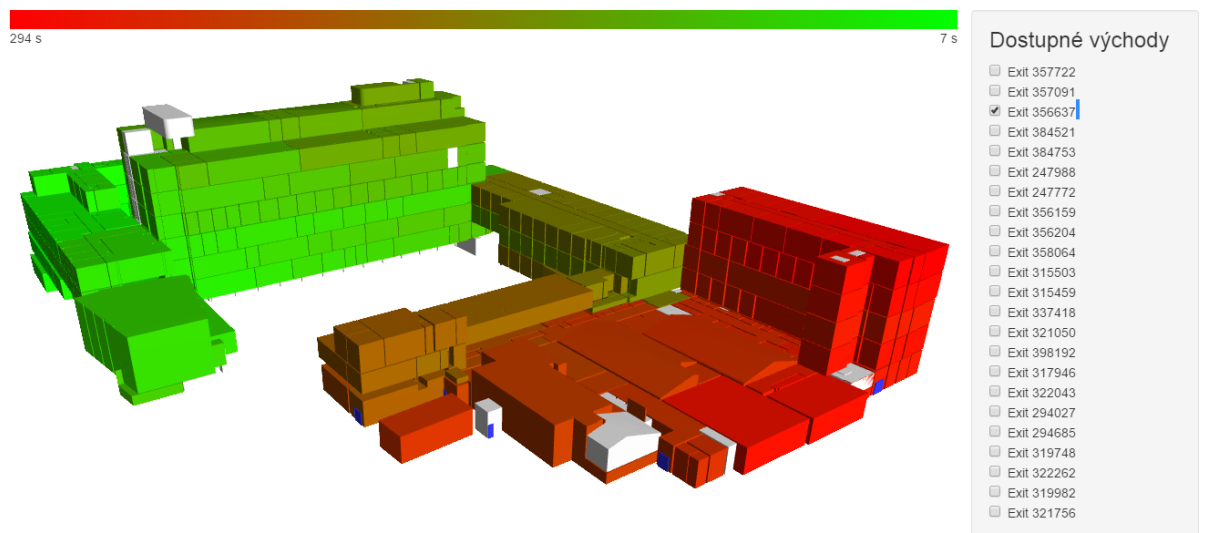
Obrázok 47 Ukážka 2D siete - 5. poschodie z programu ArcMap

2. 3D prezentácia siete pre celú budovu v programe ArcScene



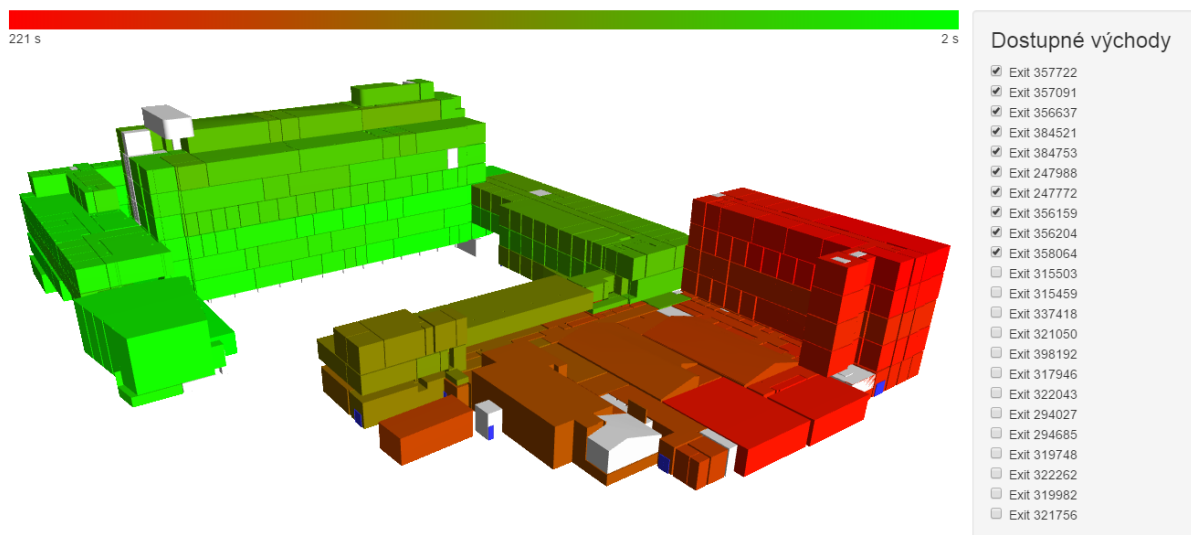
Obrázok 48 3D sieť pre celú budovu z programu ArcScene

3. 3D farebná vizualizácia časov v budove v prípade dostupnosti jedného ľubovoľne zvoleného východu pomocou nástroja xBIM



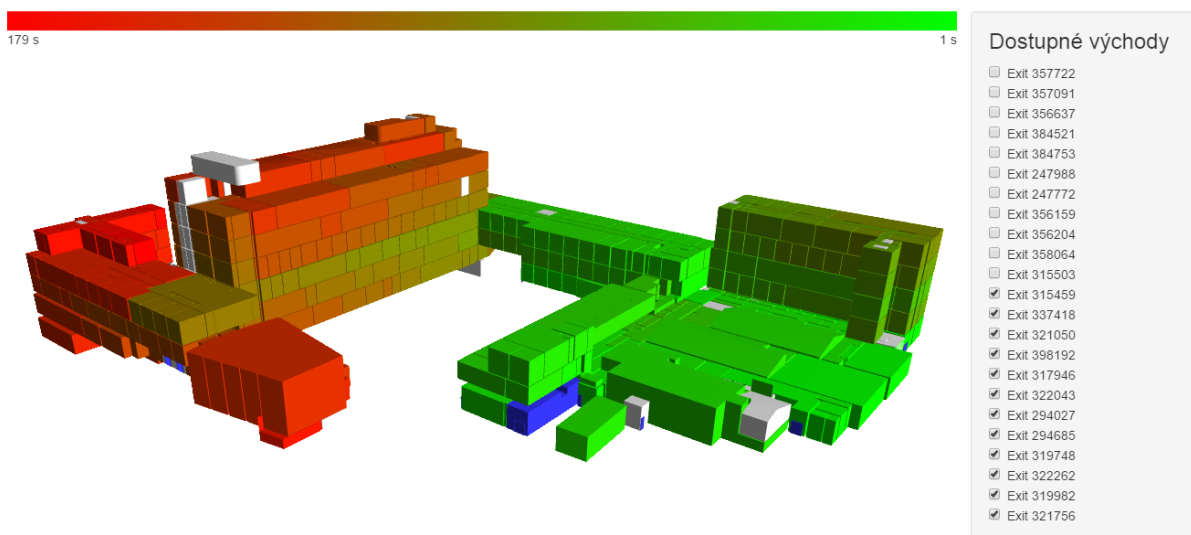
Obrázok 49 3D farebná vizualizácia časových dostupností z východu č.356637

4. 3D farebná vizualizácia časov v budove v prípade extrémnej varianty dostupnosti východov - len v jednej strane budovy



Obrázok 50 Ukážka vizualizácie časovej dostupnosti s prístupnosťou východov len v ľavej časti budovy

5. 3D farebná vizualizácia časov v budove v prípade extrémnej varianty dostupnosti východov – v opačnej strane budovy ako v 4. prípade



Obrázok 51 Ukážka vizualizácie časovej dostupnosti s prístupnosťou východov len v pravej časti budovy

Záver

Cieľom tejto práce bola analýza únikových trás v 3D modeli budovy. 3D model budovy bol zadaný vo formáte IFC, z ktorého bolo nutné extrahovať potrebné dáta do GIS prostredia ArcGIS. Z tohto dôvodu bola v prvej časti tejto práce priblížená teória problematiky BIM a GIS a ich interoperabilita. Boli uvedené základné charakteristiky BIM a GIS, avšak z dôvodu väčšiny prác v GIS prostredí je teória ku geografickým informačným systémom o niečo rozsiahlejšia.

K účelu prevodu dát, medzi formátom IFC a zvoleným výstupným formátom Shapefile, bol použitý program FME, ktorým boli extrahované potrebné dáta do GIS prostredia. Kľúčovou úlohou práce bolo vytvorenie topologickej siete reprezentujúcej miestnosti a ich spojenie. Takže hlavné súčasti modelu, ktoré boli použité, boli súbory obsahujúce miestnosti, dvere, schody, steny a obvodové konštrukcie.

Práce prebiehali striedavo v programe ArcMap a ArcScene. Najprv boli v programe ArcScene vyselektované miestnosti a dvere na jednotlivé poschodia a práce sa presunuli do programu ArcMap z dôvodu lepšej vizualizácie a pohodlnejšej práce s dátami. Sieť bola navrhnutá manuálne a práve z tohto dôvodu boli v modeli objavené aj isté nedostatky a chyby, ktoré boli opísané v samostatnej kapitole. Bolo nutné, aby sieť pre jednotlivé poschodia boli topologicky správne a následne bolo potrebné prepojiť ich do siete reprezentujúcej miestnosti, ktorá bude prezentovať celú budovu. Tieto práce a následné analýzy opäť prebiehali v programe ArcScene. Následne bolo potrebné vypracovať sieťovú analýzu pre únikové trasy z budovy.

Typ analýzy, ktorý bol použitý pre tieto účely sa nazýva OD Cost Matrix a výsledkom bola matica najkratších časov medzi počiatočnými bodmi, ktoré reprezentovali miestnosti a cieľovými bodmi, ktoré reprezentovali východy z budovy. Výsledky boli spracované do tabuľky v programe MS Excel a bolo ich nutné vizualizovať. K tomuto účelu bol použitý nástroj xBIM, ktorý prezentuje dáta ako farebnú 3D vizualizáciu miestností sfarbených podľa časov potrebných pre opustenie budovy z jednotlivých východov.

Pomocou tejto vizualizácie je možné rýchle a okamžité modelovanie variant pre rôzne dostupnosti východov. Výstupom tejto práce je 5 grafických reprezentácií sieťového grafu a doby nutné na opustenie budovy z jednotlivých miestností. 3D vizualizáciu a časové údaje potrebné na opustenie miestnosti, ako výsledok tejto práce, je možné využiť ako v oblasti stavebníctva napríklad pri tvorbe únikových plánov, ale aj v krízovom riadení pri vypuknutí požiaru alebo inej krízovej situácii, ktorá si vyžaduje rýchle informácie o časových možnostiach úniku alebo pohotovú reakciu vo vzniknutej nečakanej situácii.

Použitá literatura

- [1] MPO Stavebnictví BIM. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. Praha: MPO, 2005 [cit. 2015-09-30]. Dostupné z: <http://www.mpo.cz/dokument173150.html>
- [2] BIM - informační model budovy. *CAD Studio - řešení pro CAD/GIS/PLM* [online]. Praha: CAD Studio, 2016 [cit. 2015-09-30]. Dostupné z: <http://www.cadstudio.cz/bim>
- [3] BORRMANN, André, Markus KÖNIG, Christian KOCH a Jakob BEETZ. *Building Information Modeling: Technologische Grundlagen und industrielle Praxis*. 1. Springer Fachmedien Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015. ISBN 978-3-658-05605-6. Dostupné online: <http://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-658-05606-3>
- [4] Čo je BIM? *BIM asociácia Slovensko* [online]. Bratislava: Bimas, 2013 [cit. 2015-10-12]. Dostupné z: http://bimas.sk/clanky/5/co_je_bim%20
- [5] ČERNÝ, Martin, Štěpánka TOMANOVÁ, Barbora POSPÍŠILOVÁ a Rudolf VYHNÁLEK. *BIM Příručka* [CD]. Praha: Odborná rada pro BIM, 2013 [cit. 2015-11-04]. ISBN 978-80-260-5297-5. Dostupné z: <http://issuu.com/czbim/docs/bim-prirucka-2013-v1>
- [6] BIM - základní informace. *Graitec s.r.o.* [online]. Praha: ČAOK [cit. 2015-11-10]. Dostupné z: <http://www.graitec.cz/bim>
- [7] 5. Aplikace IS - Geografické informačné systémy. In: *Katedra základov a vyučovania Informatiky: FMFI UK BA* [online]. Bratislava: Ľudmila Jašková, 2012 [cit.2015-11-10]. Dostupné z: <http://edi.fmph.uniba.sk/~jaskova/InformacneSystemy/tema05/tema05.html>
- [8] GIS: GIS Dictionary. *Esri: GIS Mapping Software, Solutions, Services, Map Apps and Data* [online]. USA: Esri, 2011 [cit. 2015-11-10]. Dostupné z: <http://support.esri.com/en/knowledgebase/GISDictionary/search>
- [9] G.LEES, Brian. *Encyclopedia of Earth Science: Geographic information systems*. 1. Springer Netherlands, 1999. ISBN 978-1-4020-4494-6. Str.278.
- [10] Co je GIS? *Geoportal Praha* [online]. Praha, ČR: PSyO, 2010 [cit. 2015-12-05]. Dostupné z: <http://www.geoportalpraha.cz/cs/clanek/11/co-je-gis#.Vz2vbvmLT4b>
- [11] KORTE, George. *The GIS book*. 5th ed., updated and expanded. New York: Onword Press, 2001, xi, 387 p. ISBN 0766828204.

- [12] Services Provided. *Rodgers Consulting: Knowledge, Creativity, Enduring Values* [online]. Maryland, USA: Wood Street, 2016 [cit. 2015-12-05]. Dostupné z: <http://www.rogerconsultingltd.com/services-provided/>
- [13] BIM - informační model budovy. *CAD Studio - řešení pro CAD/GIS/PLM* [online]. Praha: CAD Studio, 2016 [cit. 2016-02-18]. Dostupné z: <http://www.cadstudio.cz/bim>
- [14] What is GIS? *GIS Lounge: Maps and GIS* [online]. Santa Clara: WP-Prosperity, 2001 [cit. 2016-02-18]. Dostupné z: <https://www.gislounge.com/what-is-gis/>
- [15] OGC 06-103R4. OpenGIS® Implementation Standard for Geographic information - Simple feature access: Part 1: Common architecture. Wayland, USA: Open Geospatial Consortium, Inc., 2010, 92 s. Dostupné také z: <http://www.opengeospatial.org/standards/sfa>
- [16] Analýza v GIS. *Geoinformatika* [online]. Liberec: Webnode, 2010 [cit. 2016-02-18]. Dostupné z: <http://geoinformatika.webnode.cz/news/analyza-v-gis/>
- [17] GIS server na FŽP UJEP: Prednaska8_1GIS2. *Fakulta životního prostředí* [online]. Ústí nad Labem: Fakulta životního prostředí, 2003 [cit. 2016-02-18]. Dostupné z: http://gis.fzp.ujep.cz/files/Prednaska8_1GIS2.pdf
- [18] GIS server na FŽP UJEP: Prednáška7_1GIS2. *Fakulta životního prostředí* [online]. Ústí nad Labem: Fakulta životního prostředí, 2003 [cit. 2016-02-18]. Dostupné z: http://gis.fzp.ujep.cz/files/Prednaska7_1GIS2.pdf
- [19] Kap.1.1. *Institut Geoinformatiky* [online]. Ostrava: Plone, 2016 [cit. 2016-02-18]. Dostupné z: http://gis.vsb.cz/pad/Kap_1/kap_1_1.htm
- [20] KOLBE, Thomas H, Gerhard KÖNIG a Claus NAGEL (eds.). *Advances in 3D geo-information sciences*. Berlin: Springer, 2011, xiv, 294 s. Lecture notes in geoinformation and cartography. ISBN 978-3-642-12669-7. Str.98
- [21] Industry Foundation Classes. *Wikipedia: The free Encyclopedia* [online]. USA: Wikimedia Foundation, 2003 [cit. 2016-03-25]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Industry_Foundation_Classes
- [22] ESRI Shapefile Technical Description: An ESRI White Paper—July 1998. Redlands, California: Environmental Systems Research Institute, Inc., 1998, 34 s. Dostupné také z: www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf

- [23] ArcGIS: Shapefile Files Types & Extensions. *GIS Geography* [online]. USA, 2014 [cit. 2016-03-25]. Dostupné z: <http://gisgeography.com/arcgis-shapefile-files-types-extensions/>
- [24] Shapefile. *Wikipedia: The free Encyclopedia* [online]. USA: Wikimedia Foundation, 2003 [cit. 2016-03-25]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Shapefile>
- [25] Brochure BIM. *InfoComm International* [online]. Fairfax, USA, 2016 [cit. 2016-03-25]. Dostupné z: http://www.infocomm.org/cps/rde/xbcr/infocomm/Brochure_BIM.pdf
- [26] KARAN, Ebrahim P., Javier IRIZARRY a John HAYMAKER. *BIM and GIS Integration and Interoperability Based on Semantic Web Technology* [online]. [cit. 2016-03-25]. DOI: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000519. ISBN 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000519. Dostupné z: [http://ascelibrary.org/doi/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000519](http://ascelibrary.org/doi/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000519)
- [27] Design and Development of BIM and GIS Interoperability Open Platform. *Slide Share* [online]. LinkedIn Corporation, 2016 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.slideshare.net/slhead1/design-and-development-of-bim-on-gis-interoperability-open-platform>
- [28] Working with ArcGlobe and ArcScene. *ArcGIS for Desktop* [online]. Redlands, California: Environmental Systems Research Institute, Inc., 2016 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/main/get-started/choosing-the-3d-display-environment.htm>
- [29] Základní informace ArcGIS for Desktop. *Prostorová analýza nezaměstnanosti* [online]. Ostrava: Institut geoinformatiky, 2009 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: http://gis.vsb.cz/pan/cz/up_zakladni_informace.php
- [30] What is ArcGIS? *Esri: GIS Mapping Software, Solutions, Services, Map Apps and Data* [online]. Redlands, California: Environmental Systems Research Institute, Inc, 1998 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: http://downloads.esri.com/support/documentation/ao_/698What is ArcGIS.pdf
- [31] KOREŇ, Milan. *Geografický informačný systém ArcGIS*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2014. ISBN ISBN 978-80-228-2702-7.

- [32] Safe Software: FME | Data Conversion | Data Integration. *Safe Software: FME | Data Conversion | Data Integration* [online]. Surrey, Canada: Safe Software Inc, 2016 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.safe.com/>
- [33] What is network dataset? *ArcGIS for Desktop* [online]. Redlands, California: Environmental Systems Research Institute, Inc., 2016 [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/network-analyst/what-is-a-network-dataset.htm>
- [34] ArcGIS Geodatabase Topology Rules. *ArcGIS for Desktop* [online]. Redlands, California: Environmental Systems Research Institute, Inc., 2016 [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/001t/pdf/topology_rules_poster.pdf
- [35] Types of Network Analyses. *Esri: GIS Mapping Software, Solutions, Services, Map Apps and Data* [online]. Redlands, California: Environmental Systems Research Institute, Inc, 1998 [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Types_of_network_analyses
- [36] XBIM - the eXtensible Building Information Modelling (BIM) Toolkit: xBimTeam/XbimWebUI: Web components for xBIM Toolkit. *GitHub* [online]. San Francisco: GitHub, Inc, 2016 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <https://github.com/xBimTeam/XbimWebUI>
- [37] XBIM WeXplorer. *GitHub* [online]. San Francisco: GitHub, Inc, 2016 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://xbimteam.github.io/XbimWebUI/>

Zoznam skratiek:

2D	dvojmerný
3D	trojmerný
4D	štvormerný
BIM	Building Information Modeling
CAD	Computer-aided design
DE-9IM	Dimensionally extended nine-intersection model
EÚ	Európska únia
FME	Feature Manipulation Engine
GIS	Geographic Information System (geograficky informační system)
IAI	International Alliance for Interoperability
IFC	Industrial Foundation Classes
OGC	Open Geospatial Consortium
SFA	Simple feature access
xBIM	eXtensible Building Information Model

Zoznam príloh v elektronickej podobe:

Prevedené použité dáta:

Miestnosti (IfcSpace_surface.shp)

Dvere (IfcDoor_surface.shp)

Schodiská (IfcStair_surface.shp a IfcStairFlight_surface.shp)

Steny (IfcWall_surface.shp)

Obvodové konštrukcie (IfcWallStandardCase_surface.shp)

Vytvorené súbory:

Výsledná sieť (Cela siet.shp) + súbor na prehliadanie v programe ArcScene (dp.sxd)

Doby nutné pre opustenie budovy z jednotlivých miestností vo forme tabuľky (data.xlsx)

Webová prezentácia (prezentacia.zip)

Zoznam obrázkov

Obrázok 1 Prepojenie jednotlivých osôb zúčastnených v stavebnom procese [13]	14
Obrázok 2 Komponenty GIS [12]	16
Obrázok 3 Graf znázorňujúci aplikácie v GIS podľa Korteho [11].....	17
Obrázok 4 Mnohodborové využitie GIS [12]	18
Obrázok 5 Ukážka princípu rastrových a vektorových dát [12].....	20
Obrázok 6 Hierarchické znázornenie geometrie [15]	21
Obrázok 7 Príklady Touches [15]	22
Obrázok 8 Príklady Crosses a) Polygon/LineString; b) LineString/LineString [14]	22
Obrázok 9 Príklady Within a) Polygon/Polygon; b) Polygon/LineString; c) LineString/LineString; d) Polygon/Point [15]	22
Obrázok 10 Príklady Overlaps a) Polygon/LineString; b) LineString/LineString [15]	23
Obrázok 11 Porovnanie BIM a GIS na základe grafických ukážok [27]	30
Obrázok 12 Nastavenie pracovného prostredia v programe FME.....	34
Obrázok 13 Nastavenie parametrov prevodu formátu IFC v programe FME	35
Obrázok 14 Ukážka schémy prevodu z prostredia programu FME	36
Obrázok 15 Výsledok prevodu v programe ArcScene.....	36
Obrázok 16 Výsledok prevodu z IFC do Shapefile.....	37
Obrázok 17 Ukážka klasifikácie miestností na jednotlivé poschodia	38
Obrázok 18 Ukážka návrhu siete časť 5. poschodia	39
Obrázok 19 Miestnosti bez dverí.....	40
Obrázok 20 Dvere bez miestností.....	41
Obrázok 21 Iná chyba	41
Obrázok 22 Ukážka atribútovej tabuľky po doplnení.....	42
Obrázok 23 Vytvorenie nového sieťového datasetu.....	43
Obrázok 24 Pomenovanie datasetu	44
Obrázok 25 Modelovanie zatáčok v sieti	44
Obrázok 26 Nastavenie konektivity.....	44
Obrázok 27 Spôsob získanie výšky pre sieťové vrstvy	45
Obrázok 28 Špecifikácia atribútov pre dataset.....	45
Obrázok 29 Nastavenie cestovného módu	46
Obrázok 30 Nastavenie nutnosti vodičských nasmerovaní	46
Obrázok 31 Zložky sieťového datasetu na ukážke tretieho poschodia	47
Obrázok 32 Dokončenie tvorby sieťového datasetu.....	47
Obrázok 33 Pokročilé editovacie nástroje	48
Obrázok 34 Použitie topologické pravidlo pre uzly a línie [34]	48
Obrázok 35 Použitie topologické pravidlá pre línie [34]	49
Obrázok 36 Ukážka site pre celú budovu spolu s uzlami	50
Obrázok 37 Možnosti sieťových analýz z prostredia ArcMap.....	51
Obrázok 38 ArcToolbox Sieťové Analýzy.....	52
Obrázok 39 Najrýchlejšia a zároveň najkratšia trasa.....	53

Obrázok 40 Atribútová tabuľka trasy - Impedanica vzdialenosť v metroch	53
Obrázok 41 Atribútová tabuľka trasy - Impedancia čas v sekundách.....	53
Obrázok 42 Ukážka grafického znázornenia počiatkových a cieľových bodov pre OD Cost Matrix.....	55
Obrázok 43 Vrstva OD Cost Matrix.....	55
Obrázok 44 Add Location - pridanie polohy Origins a Destination pre OD Cost Matrix	56
Obrázok 45 Atribútová tabuľka línií - spojnic Origins a Destinations	56
Obrázok 46 Ukážka spracovania výsledkov vo forme tabuľky v programe MS Excel.....	57
Obrázok 47 Ukážka 2D siete - 5. poschodie z programu ArcMap	58
Obrázok 48 3D sieť pre celú budovu z programu ArcScene	59
Obrázok 49 3D farebná vizualizácia časových dostupností z východu č.356637.....	59
Obrázok 50 Ukážka vizualizácie časovej dostupnosti s prístupnosťou východov len v ľavej časti budovy	60
Obrázok 51 Ukážka vizualizácie časovej dostupnosti s prístupnosťou východov len v pravej časti budovy	60

Zoznam tabuliek

Tabuľka 1 Porovnanie BIM a GIS vo vybraných základných bodoch [27]	29
--	----