

APPLICATION OF NETWORK ANALYSIS IN GIS IN CRISIS MANAGEMENT

APLIKACE SÍŤOVÝCH ANALÝZ V GIS V KRIZOVÉM MANAGEMENTU

Mgr. Kamil Peterek¹

Vysoká škola logistiky, o.p.s.

e-mail: kamil.peterek@vslg.cz

Abstract

Network analysis methods are used in the cases where it is necessary to analyze and subsequently optimize a network of interconnected and related elements. A typical representative of such elements is the road network or the pavement network. In addition, if we have relevant data in digital form we can process them in specialized programs in the geoinformation environment. Analyzes and their results are then useful in a wide range of problem solving such as crisis planning, evacuation process preparation and subsequent optimization. The aim of this article is to highlight the possibility of application of network analyzes in the ArcGIS Desktop geoinformation software to analyze and subsequently optimize the evacuation of the inhabitants from the flood of affected areas in Přerov.

Key words

network analysis, crisis management, evacuation, floods

Abstrakt

Metody síťových analýz se využívají v případech, kdy je potřeba analyzovat a následně optimalizovat nějakou síť vzájemně propojených a souvisejících prvků. Typickým představitelem takových prvků je silniční síť nebo síť chodníků. Pokud navíc máme k dispozici relevantní data v digitální podobě, lze je zpracovávat ve specializovaných programech v geoinformačním prostředí. Analýzy a jejich výsledky jsou pak použitelné v širokém spektru řešení problémů, kterými jsou například krizové plánování, vhodná příprava evakuačního procesu a její následná optimalizace. Cílem tohoto článku je na případové studii záplav velkého rozsahu ve městě Přerov poukázat na možnost aplikací síťových analýz v prostředí geoinformačního softwaru ArcGis Desktop s cílem analyzovat a následně optimalizovat evakuaci obyvatel ze záplavou postižených oblastí ve městě Přerov.

Klíčová slova

síťové analýzy, krizový management, evakuace, záplavy

¹ Externí doktorand FBI ŽU v Žilině

ÚVOD

Geografické informační systémy začínají v dnešní době expandovat a představují novou významnou součást informačních technologií. Jejich hlavními přednostmi jsou činnosti efektivně ukládat, aktualizovat a sdílet geodata a prostorové analýzy a následně z těchto dat získávat informace. Kontinuálně s rozvojem výpočetní techniky je využíváno nástrojů GIS (geografický informační systém) pro krajské a městské úřady, ale stále více se stává aktuálním i pro malé obce [1].

Možnosti řešení síťových analýz nabízí hned několik GIS software. Pro tento článek byl pro tvorbu síťových analýz zvolen komerční software od společnosti ESRI ArcGIS Desktop 10.

Síťová analýza v GIS zkoumá a určuje vlastnosti sítě a vztahy mezi prvky této sítě. Teorie grafů zase zkoumá vlastnosti struktur zvaných grafy. Graf si lze představit jako zjednodušení reálného světa, kde studovaný problém znázorníme pomocí bodů a čar, které je spojují, a tím popisují vlastnosti. Takovým bodům pak v teorii grafů říkáme vrcholy grafu a čáry, které je spojují, nazýváme hrany grafu [2].

Síť je podle [3] množinou vzájemně propojených linií, reprezentujících možnou cestu zdrojů z jednoho umístění do druhého. Konce nebo křížení linek se nazývají síťové uzly.

Zjednodušeně můžeme říci, že se jedná o hledání nejrychlejší nebo nejkratší cesty z jednoho místa do druhého. Kvalita výsledných dat je ovlivněná kvalitou vstupních dat a kapacitě softwaru, ve kterém jsou data zpracována. Pro tuto analýzu potřebujeme znát data silniční nebo uliční sítě s vhodnými znaky jako je délka, průměrná rychlost, jednosměrnost, možnost odbočení, omezení a bariéry [2].

Jak je uvedeno v [4], můžeme v rámci síťových analýz řešit úlohy typu: hledání konektivity, strom minimálního rozpětí, modelování zatížení sítě, hledání optimální trasy, hledání cesty do nejbližšího zařízení a alokace zdrojů.

Důležitou skupinu tvoří vzdálenostní analýzy. Vzdálenostní analýzy lze chápat jako prostorové analýzy využívající vzdálenostní charakteristiky analyzovaných objektů v daném geografickém prostoru. V geografických systémech pojem vzdálenosti může být chápán různě. Může se jednat o vzdálenosti délkové, časové či nákladové. Mezi vzdálenostní analýzy se zařazují analýzy přímé vzdálenosti, vážené vzdálenosti, analýzy sousedství a síťové analýzy [5].

1 ALGORITMY POUŽÍVANÉ V PROGRAMU ARCGIS DESKTOP

Většina extenzí síťových analýz v programu ArcGIS Desktop (New Route, New Closest Facility a New OD Cost Matrix), se zakládá na Dijkstrově algoritmu, který podléhá dalším modifikacím a úpravám. Tyto úpravy jsou však pro uživatele softwaru skryty, možná záměrně,

možná z důvodu přátelského prostředí daného programu, a proto nejsou přesné modifikace algoritmů nikde dostupné.

K využití algoritmu v rovině údajů o přepravě v reálném světě byl algoritmus v programu ArcGIS upraven tak, aby co nejvíce respektoval uživatelská nastavení. Těmi mohou být: jednostranná omezení, omezení obratu či bariéry a omezení na silnici. Navíc je algoritmus schopen modelovat vstupní místa – lokace kdekoli podél hrany, ne pouze na vrcholech grafu [7].

Další funkcí je location – allocation, ta používá algoritmus, který začíná generováním matice mezi množinou bodů M (poptávkové body) a N (kandidátní zařízení). Následně je vytvořena upravená verze matice zahrnující váhu (náklady) procesem Hillsmanovy úpravy. Proces umožňuje stejné řešení heuristikou k vyřešení variací rozdílných typů problému. Je vygenerována množina polonáhodných řešení a je použita heuristika nahrazování vrcholů Teiz a Bart, díky které se vytvoří množina dobrých řešení. Meta-heuristická kombinace této skupiny potom kombinuje skupinu dobrých řešení a vytvoří výsledné ještě lepší řešení. Když už není možné žádné zlepšení, meta-heuristika vrací nejlepší nalezené řešení. Kombinace heuristik a upravené matice nabízí rychlé řešení přibližující se optimálním výsledkům [7].

Tab. 1 Druhy analýz v extenzi Spatial Analyst a Network Analyst použité v tomto článku

Název	Výsledná vrstva	Vlastnosti výsledné vrstvy	Využití
Thiessenovy polygony	Polygons	Oblast rozdělena na polygony, kdy každý bod uvnitř polygonu je blíže ke vztažnému bodu uvnitř tohoto polygonu, než ke kterémukoliv sousednímu	Vytváření obslužných zón
Service Area	Polygons	Vytváří obalové zóny na základě udané vzdálenosti, která je měřena po síti	Analýza časové vzdálenosti
Closest Facility	Routes	Přiřadí každému zdroji nejbližší zařízení	Analýza obslužných zón
Network Analyst	Routes	Vyhledá nejkratší trasu mezi dvěma body po síti	Hledání nejkratší cesty

2 APLIKACE SÍŤOVÝCH ANALÝZ NA MODELOVÉM PŘÍKLADU

Pro přípravu dat, analýz a vizualizací bylo použito programu ArcGIS 10 s licenci ArcInfo. Síťové analýzy byly zpracovány v extenzi Network Analyst a analýzy obslužných zón shromaždišť obyvatel, časových vzdáleností a další analýzy pracující s rastrovou reprezentací byly provedeny pomocí vestavěných nástrojů v extenzi Spatial Analyst.

Zdrojem dat bylo Oddělení informačních a komunikačních služeb magistrátu města Přerova, se kterým bylo při tvorbě síťových analýz spolupracováno. Jednalo se o podkladová data (plochy komunikací, vodní plochy, zastavěná část města, vodní toky) a data potřebná pro tvorbu síťových analýz (osy chodníků a osy komunikací).

Pro potřeby analýz bylo vymezeno zájmové území. Omezujícím kritériem bylo zaplavení města Přerova při výšce hladiny řeky Bečvy 209,6 m n. m. Toto omezení vychází na základě tvorby simulačního modelu Ing. Antonína Krejčíře [8].

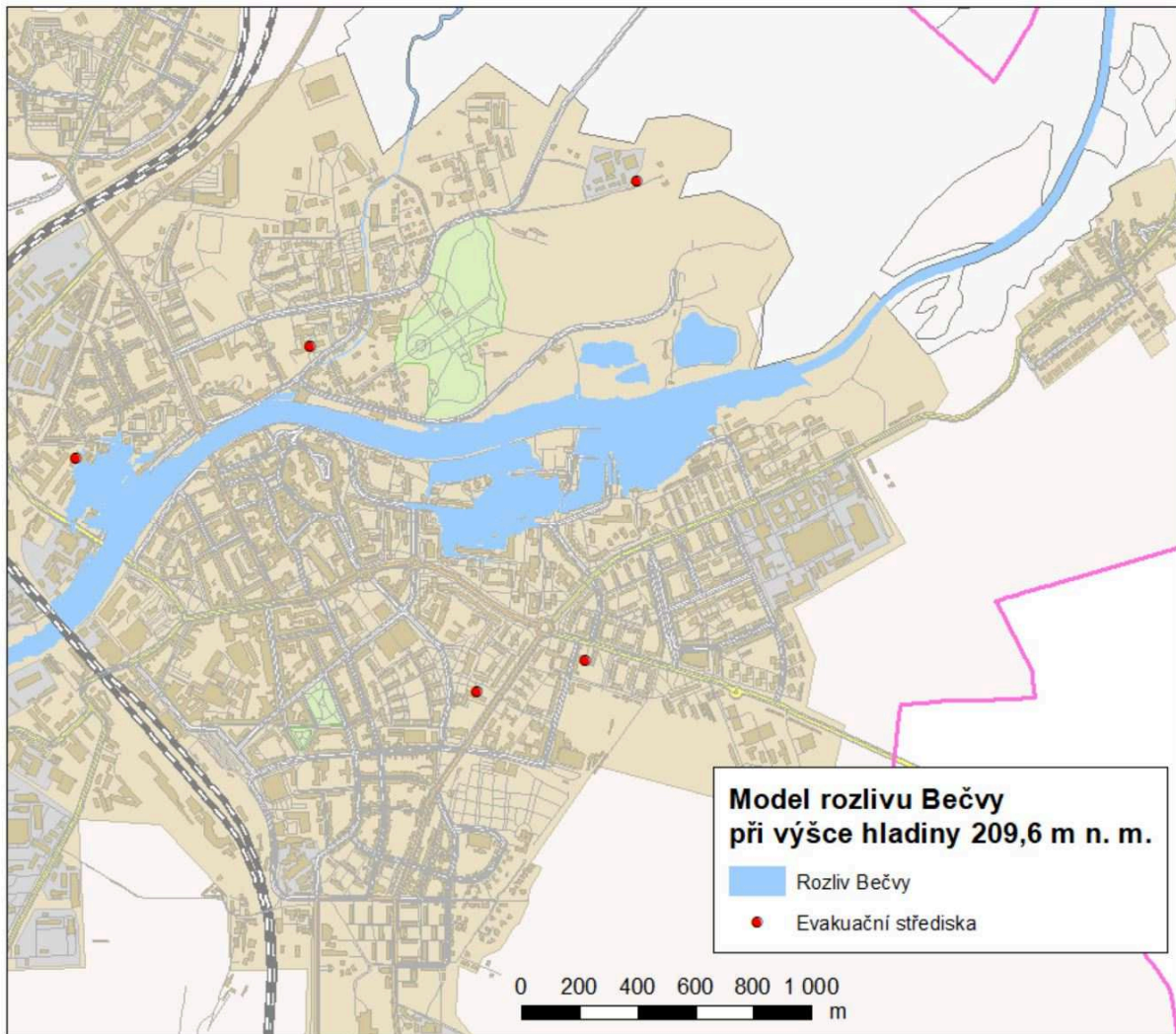
Krejčířův model vznikl na základě čtyř profilů Bečvy a matematických výpočtů výšky hladiny. Na základě zjištěných dat, pak Krejčíř dle nadmořské výšky okolního terénu vymezil záplavové oblasti města Přerova. Jeho vznik je sice datován před deseti lety a od té doby došlo k opatřením proti povodním, nicméně jiný použitelný model zaplavení města není veřejný a v literatuře dostupný. Model v [9] prezentuje zaplavení města Přerova až při stoleté vodě a při této situaci by došlo k zaplavení více než 80 % města Přerova, tedy pro případovou studii nevhodný pro přílišný rozsah zkázy.

3 ANALÝZA OBSLUŽNÝCH ZÓN

Metoda přímé vzdálenosti – Thiessenovy polygony

Pro alespoň minimální omezení, byla jako přirozená bariéra využita osa řeky Bečvy, což značně zkomplikovalo postup vytvoření obslužných zón autobusových zastávek Thiessenovými polygony. Jelikož při plánování řízené evakuace hromadnými prostředky neexistuje pevně daná shromaždiště pro jednotlivé evakuační zóny, byly jako alternativa zvoleny pro tyto nástupní místa obyvatel do dopravních prostředků zvolena místa, která nebrání provozu, umožňují zaparkování autobusů, tak, aby nebyly čekající autobusy překážkou. Je samozřejmé, že ve městě Přerov existuje velké množství zastávek pro městskou hromadnou dopravu, dále všechny nejsou vhodné pro nástupy většího počtu obyvatel, ale jejich rozmístění po celém městě vytváří dostatečné pokrytí, což je hlavním přínosem.

Na základě vytvořených Thiessenových polygonů autobusových zastávek je celé město rozděleno do zón, podle přímé vzdálenosti od jednotlivých zastávek. Je asi nepravděpodobné, že by bylo nutné rozdělovat město na velký počet obslužných zón, ale vzhledem k tomu, že není zcela jasné, kudy povedou evakuační trasy, bylo rozhodnuto vytvořit zóny napříč všemi zastávkami. Při podrobnější analýze a dle informací o trasování evakuace by se využilo pouze vhodných zastávek, a to dle směru sběru obyvatel, dostupnosti zastávek či lokalitě. Tím se jednak počet shromaždišť zmenší a obslužné zóny vybraných autobusových zastávek zvětší, čehož bylo využito i v tomto článku.

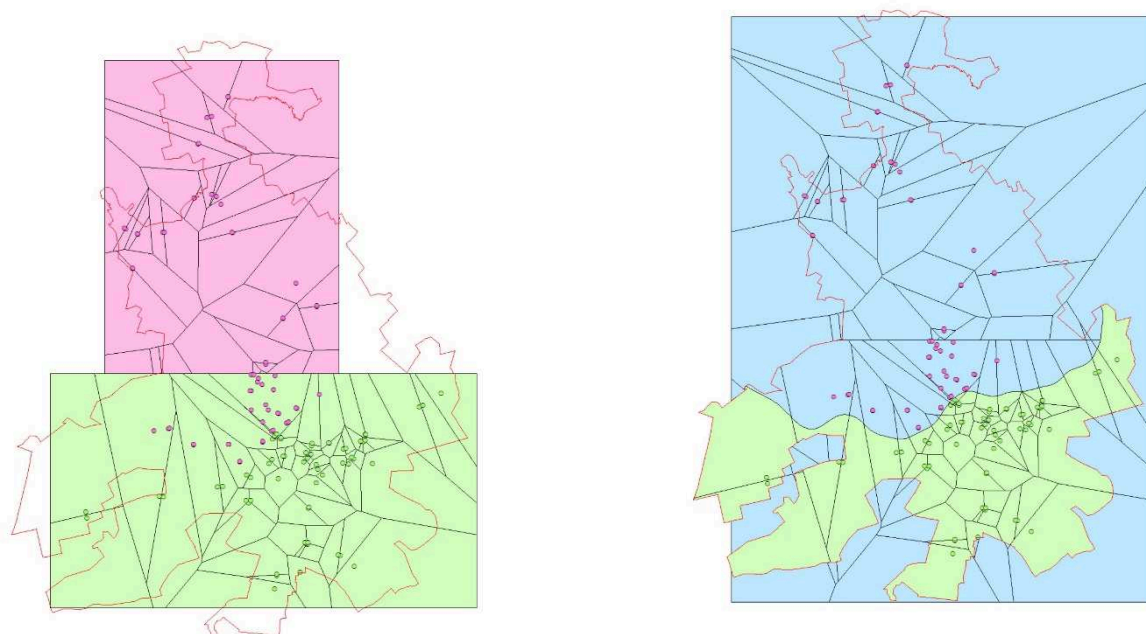


Obr. 1 Rozliv Bečvy v zájmovém území při výšce hladiny Bečvy 209,6 m n. m.

Zdroj: vlastní zpracování podle [8].

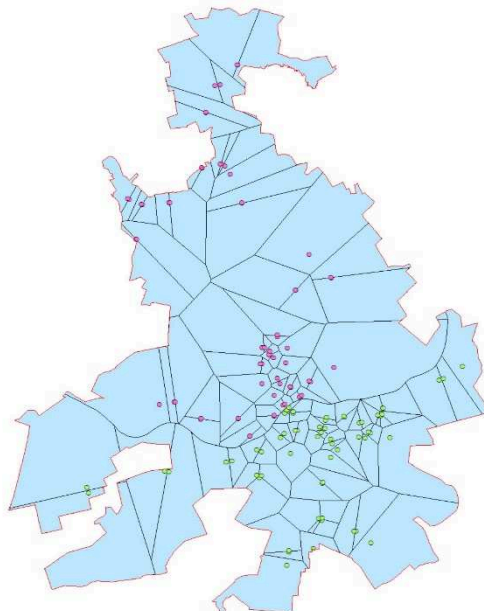
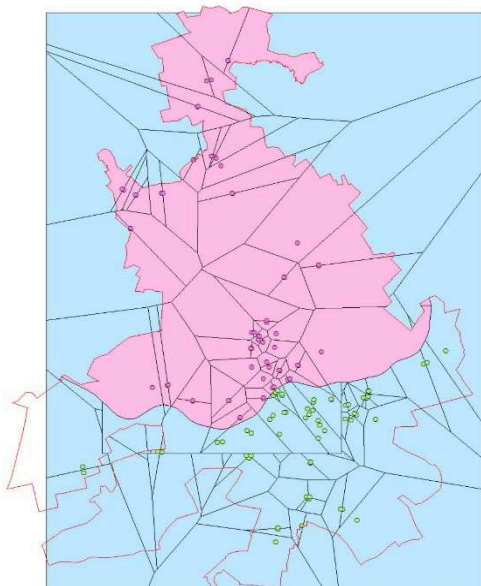
Vlastní tvorba Thiessenových polygonů ve zkoumaném území začala, jak již bylo zmíněno výše, editací (nástroj Rozdělit polygony linií) a zájmová oblast byla rozdělena dle osy řeky Bečvy na severní a jižní část. Tak byly rozděleny na dvě části také všechny autobusové zastávky ve městě. Thiessenovy polygony jsou ze své podstaty v okrajových částech analyzovaných dat nekonečně velké. Nástroj Create Thiessen Polygons kolem analyzované oblasti uměle vytvoří hranici, po kterou jsou polygony vytvářeny. Tyto rozsahy byly při vytváření Thiessen polygonů pro severní a jižní oblasti menší, než je rozsah zájmového území. Pro pokrytí celého zájmového území obslužnými zónami podle této metody bylo třeba vytvořit Thiessenovy polygony také pro celou vrstvu autobusových zastávek a tu následně dvakrát za sebou aktualizovat (Update) vrstvami Thiessenových polygonů severní a jižní podoblastí. Závěrečnou úpravou bylo jejich spojení (Dissolve). Celý postup tvorby Thiessenových polygonů ilustruje následující Obrázek 2.

Tuto metodu definování obslužných (evakuačních) zón můžeme nalézt velmi často v odborné literatuře, např. [11–13]. Vzhledem k tomu, že se zóny definují na základě přímé vzdálenosti, je vhodné jejich výslednou podobu porovnat a doplnit o další metody využívající sítě komunikací. V tomto článku byly dále Thiessenovy polygony využity pro výběr autobusových zastávek coby shromažďovacích míst pro evakuované obyvatelstvo v postižené oblasti města.



Thiessenovy polygony pro každou oblast zvlášť

Aktualizace jižní částí



Obr. 2 Ilustrace postupu tvorby Thiessenových polynomů autobusových zastávek s přirozenou bariérou

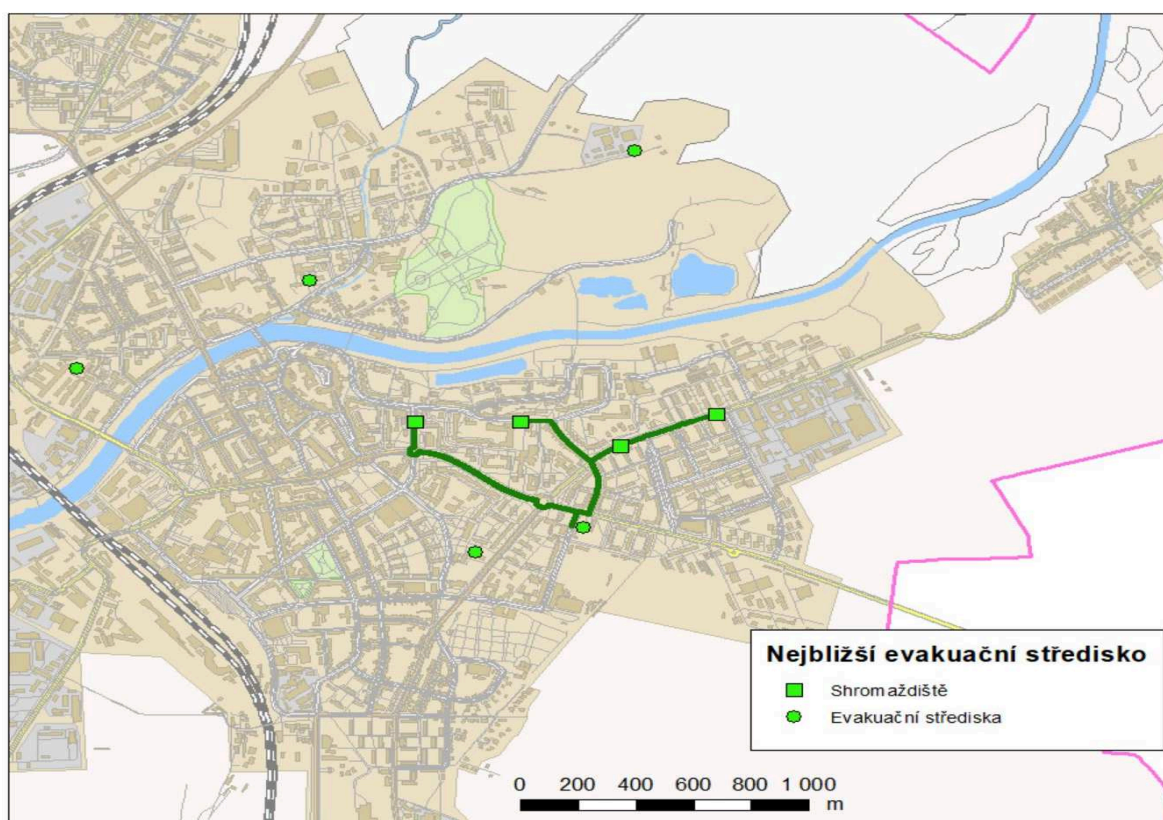
Zdroj: vlastní zpracování.

Metoda Closest Facility

Do projektu tvořeného v programu ArcGis Desktop byl přidán Network Dataset vytvořený nad vrstvou komunikací. Proces tvorby obslužných zón byl zahájen spuštěním analýzy New Closest Facility, která pracuje s vrstvami Incidents (startovní místa – autobusové zastávky v zájmové oblasti, shromaždiště) a Facilities (zařízení – evakuační střediska). Načtení dat probíhalo pomocí dialogového okna Load locations s tím, že do vrstvy Facilities byla načtena vrstva všech evakuačních středisek ve městě Přerov a do vrstvy Incidents byla načtena vrstva všech autobusových zastávek vzniklých výběrem na základě předcházející metody Thiessenových polygonů vzhledem k zaplavení části města dle modelu Krejčíře [8] (výška hladiny opět 209,6 m n. m.).

Jako míra dostupnosti zde byla zvolena dostupnost nejbližšího evakuačního střediska ke všem jednotlivým autobusovým zastávkám (shromaždištím). Vyhodnocení analýzy bylo provedeno příkazem Solve. Výsledkem analýzy je vrstva Routes, která každému shromaždišti přiřazuje nejbližší evakuační středisko, viz následující obrázek.

Mezi další analýzy, které by bylo možné doplnit simulační model, bychom mohli zařadit vzdálenostní a obslužné zóny evakuačních středisek, např. tvorbou areálů pomocí Thiessenových polynomů.



Obr. 3 Nalezení nejbližšího evakuačního centra jednotlivých shromaždišť metodou Closest Facility

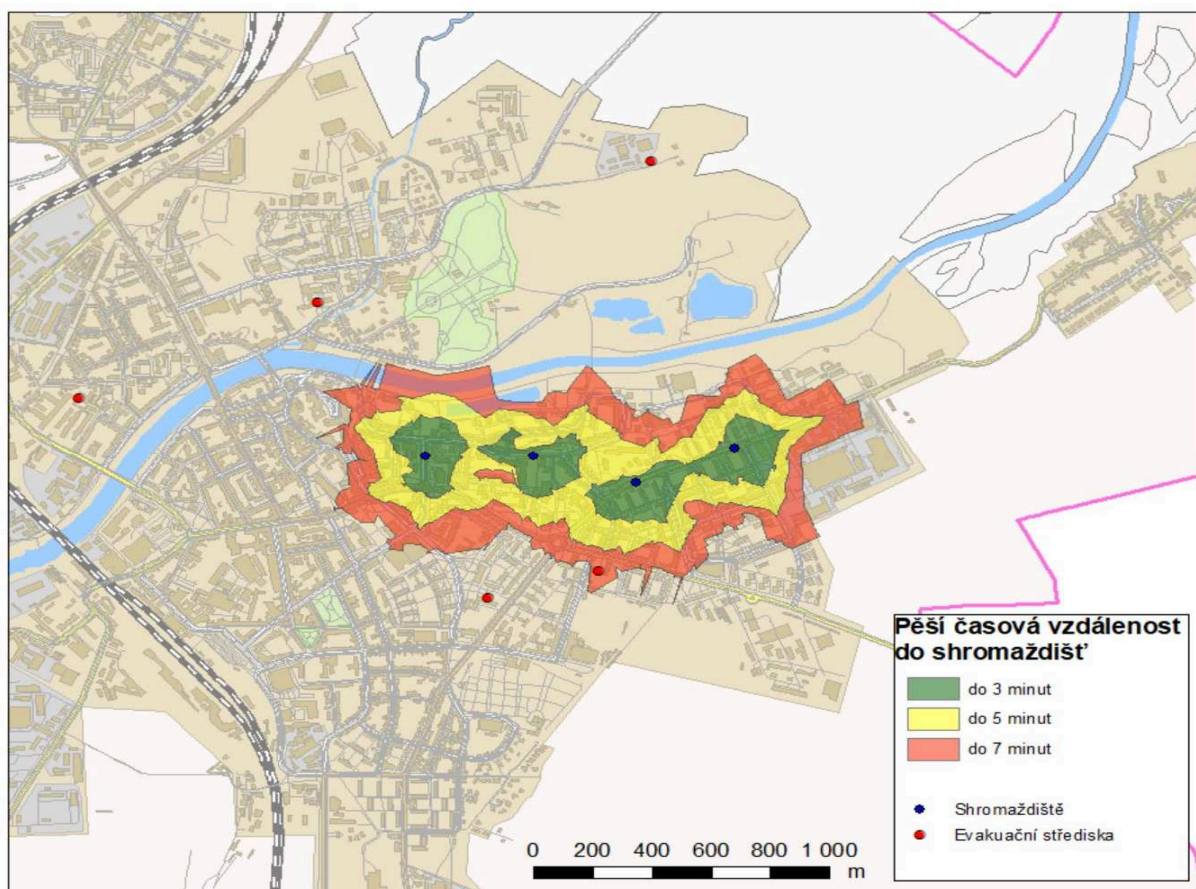
Zdroj: vlastní zpracování.

4 ANALÝZA VZDÁLENOSTÍ

Pro prostorové rozdělení zájmového území podle vzdálenosti po síti k jednotlivým autobusovým zastávkám byla použita metoda Service Area. Do projektu byl přidán Network Dataset vytvořený nad vrstvou chodníků. Proces tvorby oblastí byl zahájen spuštěním analýzy New Service Area, která pracuje s vrstvou Facilities (zařízení – autobusové zastávky). Načtení dat probíhalo pomocí dialogového okna Load locations, kde do vrstvy Facilities byla načtena vrstva obsahující lokace čtyř autobusových zastávek v blízkosti zájmového území.

Jako míra dostupnosti zde byla použita časová vzdálenost, jako odporový faktor byl tedy v nastavení Analysis settings nastaven atribut Seconds a mezní hodnoty intervalů (Default breaks) byly vyplněny na 180, 300 a 420 sekund. Dále bylo třeba upřesnit tvorbu výsledných polygonů. V záložce Polygon Generation bylo ještě upraveno nastavení výsledných polygonů. Vyhodnocení analýzy bylo provedeno příkazem Solve.

Výsledkem analýzy je vrstva Polygons, kde kolem každé ze čtyř autobusových zastávek jsou ve třech prstencích vytvořeny polygony oblastí s časovou vzdáleností po síti spadající do zadaných intervalů.



Obr. 4 Pěší časová vzdálenost do shromaždišť metodou Service Area

Zdroj: vlastní zpracování.

Vytvořením polygonů celá analýza bohužel skončila, neboť nebyla k dispozici žádná další relevantní data, např. počty obyvatel na jednotlivých adresních místech apod. K dispozici byl počet obyvatel pouze na základě jednotlivých městských částí, avšak takto zadaná data o počtech obyvatel nebylo možné do analýzy vhodně použít.

Na druhou stranu, pokud by data o počtech obyvatel byla k dispozici, mohly by se použít pro další upřesňující statistiky. V tomto případě by se jednalo například o zpřesnění vymezení dostupnosti jednotlivých autobusových zastávek (areály vlivu na bázi počtu obyvatel v jednotlivých adresních místech) nebo ke kalkulaci celkového počtu nutných evakuačních vozidel vztahmo k jednotlivým autobusovým zastávkám.

5 TRASOVÁNÍ

Pro výpočet analýzy nejkratší cesty bylo třeba vytvořit nový síťový dataset z upravené vrstvy komunikací. Jako odporový faktor zde byla zvolena vzdálenost uložena v poli „Length“, jako omezení průjezdnosti pak jednosměrnost ulic uložená v poli „Oneway“.

Proces tvorby evakuačních tras byl zahájen spuštěním analýzy New Route v Network Analyst, která pracuje s vrstvami Stops (výchozí stanoviště na autobusovém nádraží v Přerově, čtyři shromaždiště – vybrané autobusové zastávky a evakuační středisko) Načtení dat probíhalo pomocí dialogového okna Load locations. Data byla tříděna podle atributu Load locations, podle potřeby bylo měněno pořadí jednotlivých lokací.

Důležitými kroky při sestavování simulačního modelu byly:

1. vlastní výběr čtyř autobusových zastávek (podle směru příjezdů autobusů z výchozího stanoviště),
2. nalezení vhodných, nikoliv nejkratších, evakuačních tras (na základě nevhodnosti otáčení a obousměrného provozu dopravních prostředků užitých pro evakuaci).

Výběr vhodných autobusových zastávek byl stanoven na základě nalezení všech nejkratších tras z výchozího stanoviště autobusů (autobusové nádraží) do jednotlivých shromažďovacích míst a dále vyhledání nejkratších tras ze shromažďovacích míst do evakuačního střediska.

Analýzou byly jako nejvhodnější určeny tyto zastávky (shromaždiště):

- shromaždiště 1 – zastávka Bayerova (ve směru U tenisu),
- shromaždiště 2 – zastávka U tenisu (ve směru Dvořákova),
- shromaždiště 3 – zastávka Dvořákova (ve směru Nemocnice) a
- shromaždiště 4 – zastávka Nemocnice (ve směru Kozlovice).

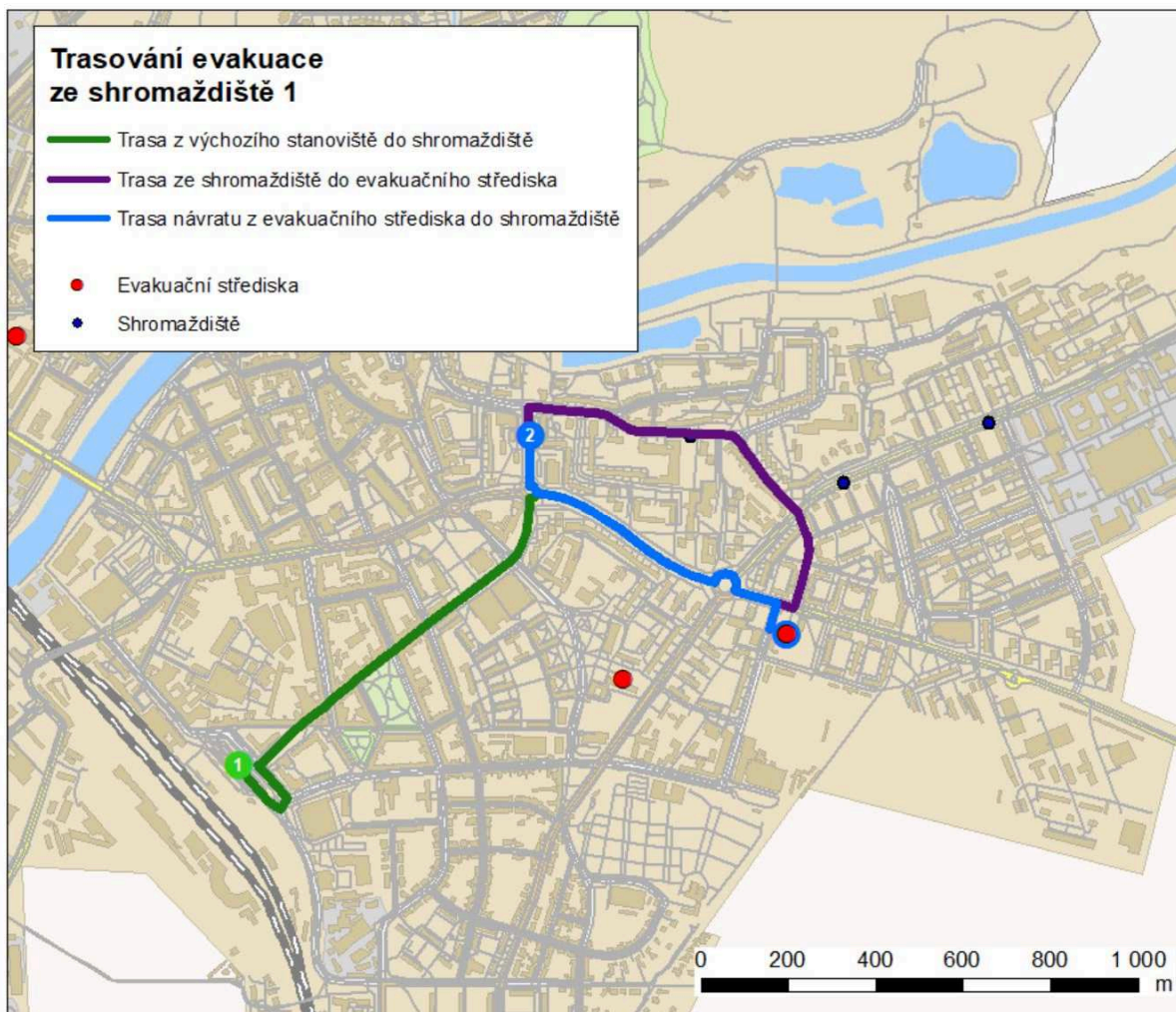
Dalším krokem byla příprava vlastního trasování. Účelem bylo samozřejmě najít nejkratší trasu mezi výchozím stanovištěm autobusů a shromažďovacími místy, a dále mezi shromažďovacími místy a evakuačním střediskem. U druhé skupiny tras (do evakuačního střediska) však docházelo k nežádoucímu „otáčení vozidel“ na zastávkách. Druhou komplikací byl obousměrný provoz na některých úsecích komunikací ve městě, zvláště to bylo patrné na okružních křižovatkách. Výše uvedeným nepřijatelným pohybům evakuačních vozidel po síti se podařilo zamezit dodefinováním sítě o vrstvy Polygon Barriers (bariéry).

Vyhodnocení analýzy bylo provedeno příkazem Solve pro jednotlivé vyhledávání jednotlivých vhodných tras z výchozího stanoviště autobusů do shromaždišť a následně ze shromaždišť do evakuačního střediska. Výsledkem byly vrstvy Routes obsahující vždy právě jedinou trasu pro každou dvojici míst, jejíž celková délka v metrech byla zjištěna ve vlastnostech těchto tras.

Jako příklad je uvedeno trasování pro shromaždiště 1, tedy pro autobusovou zastávku Bayerova (ve směru U tenisu). Na Obrázku 5 jsou znázorněny různobarevně jednotlivé trasy, avšak z důvodu úspory místa a lepší přehlednosti, jsou všechny trasy zakresleny do jediného obrázku, tedy došlo k jejich překrytí. Zelenou linií je však znázorněna trasa evakuačního autobusu z výchozího stanoviště (autobusové nádraží) do shromažďovacího místa (na obrázku označeno číslem 2). Tato trasa je dlouhá 1330 m. Fialovou barvou je označena trasa ze shromaždiště do evakuačního střediska, která je dlouhá 1107 m. Poslední modrá trasa o délce 856 m znázorňuje opakovaný návrat z evakuačního střediska do místa shromáždění.

Při průměrné rychlosti 30 km/h a při 20 minutové době nástupu/výstupu obyvatel do/z autobusu, by řízený odvoz obyvatel z ohrožené oblasti do evakuačního střediska (včetně jejich výstupu) trval 1 hodinu a 5 minut. Opakovaný návrat do shromaždiště z evakuačního střediska pak 1 hodinu a 4 minuty.

Pokud bychom zkombinovaly všechny trasy do jednotlivých shromažďovacích míst a následně do evakuačního střediska, bylo by patrná jednosměrnost všech tras, což je žádoucí aspekt evakuačního plánování.



Obr. 5 Trasování evakuace ze shromaždiště 1 s možností návratu z evakuačního střediska do shromaždiště 1

Zdroj: vlastní zpracování.

ZÁVĚR

Uvedený článek je ukázkou možnosti využití hned tří analýz v programu ArcGIS Desktop pro rozhodování a plánování v krizovém managementu. Jednalo se o analýzy obalových zón dostupnosti do míst shromáždění evakuovaných obyvatel před odvozem do evakuačních středisek a dále to byla ukáзка využití Thiessenových polygonů coby nástroj pro vymezení evakuačních zón. Analýzu vzdáleností představovala ukáзка metody Closest Facility na rozhodování a volbě nejbližšího evakuačním střediska pro jednotlivá shromažďovací místa. Poslední aplikací na případové studii bylo trasování vhodných evakuačních tras pro hromadnou dopravu v podmínkách města Přerova.

ZDROJE

- [1] HALÁSOVÁ, Lucie. *Možnosti využití GIS v krizovém řízení na příkladu Uherského Hradiště*. B. m., 2016. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [2] JIROVSKÝ, Lukáš. *Využití grafů « Úvod « Teorie grafů* [online]. 2010. Dostupné z: <http://teorie-grafu.cz/uvod/vyuziti-grafu.php>
- [3] SLADKÝ, Jakub. *Síťové analýzy GIS pro složky IZS*. B. m., 2009. Západočeská univerzita v Plzni.
- [4] RUDA, Aleš. *GIS v regionálním rozvoji*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2013. ISBN 978-80-7375-595-9.
- [5] NOVOTNÁ, Marie. *Geografické informační systémy v humánní geografii*. 2014. ISBN 9788026104667.
- [6] VAŠEK, Lubomír. *Geografické informační systémy: Analýzy geografických dat - část 2*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2013.
- [7] ESRI. *Algorithms used by the ArcGIS Network Analyst extension — Help | ArcGIS for Desktop* [online]. 2016. Dostupné z: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/guide-books/extensions/network-analyst/algorithms-used-by-network-analyst.htm>.
- [8] KREJČÍŘ, Antonín. *Mapy záplavových oblastí - Město Přerov* [online]. 2008. Dostupné z: <https://www.prerov.eu/cs/magistrat/mapove-centrum-gis/mapy-zaplavovych-oblasti.html>.
- [9] EDPP.CZ. *Přerov Analýza časových možností* [online]. 2018. Dostupné z: https://www.edpp.cz/pre_analyza-casovych-moznosti/.
- [10] WILD, Jan. *Interpolační funkce* [online]. 2005. Dostupné z: http://www.ibot.cas.cz/personal/wild/data/gis_lect/gis_06_analdata2_interpol.pdf.
- [11] COVA, Thomas J. GIS in Emergency Management. *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Applications, and Management* [online]. 1999, (Rejeski 1993), 845–858. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.134.9647&rep=rep1&type=pdf>.
- [12] KAISAR, Evangelos I., Linda HESS a Alicia Benazir Portal PALOMO. An Emergency Evacuation Planning Model for Special Needs Populations Using Public Transit Systems. *Journal of Public Transportation* [online]. 2012, **15**(2), 45–69. ISSN 1077-291X. Dostupné z: doi:10.5038/2375-0901.15.2.3.
- [13] SAYYADY, F. Optimizing the use of public transit system in no-notice evacuation of urban areas [online]. 2007,(August). Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835210001464>.