

Automatizovaná kartografická generalizace stavebních objektů z katastrálních map do map středních měřítek

Bc. Radim Štampach
Masarykova univerzita,
Geografický ústav Přírodovědecké fakulty,
Kotlářská 2, 611 37 Brno
e-mail: 63780@mail.muni.cz

Abstract

The report shortly shows the thesis which was solved during study of the Master's degree program Cartography and Geoinformatics at the Faculty of Science, Masaryk University. The goal of this thesis was appreciation of the present state of automated generalization from high-scale maps to medium-scale maps, especially generalization of buildings. In the first part, there is a review of existing algorithms and systems which combine them in order to produce a complex system for automated generalization.

The second part contains a description of the complex generalization system chosen and its implementation into the ArcView 3.2 environment. Implemented algorithm was then evaluated by practical test. Data from the high-scale database (scale 1:500) were used for derivation of medium-scale maps 1:10000 and 1:50000. The last part describes this test and its results. Main problems which were found during the test are explained.

Abstrakt

Toto je přehled obsahu diplomové práce řešené v průběhu studijního programu Kartografie a geoinformatika na Přírodovědecké fakultě Masarykovy univerzity. Cílem práce byla rešerše současného stavu automatické generalizace z map velkého měřítka do map středních měřítek, zejména v oblasti generalizace budov a sídel. V první části je proveden přehled existujících algoritmů a systémů, které se snaží jejich kombinací vytvořit úplný systém pro automatickou generalizaci.

Následuje popis vybraného generalizačního algoritmu a popis jeho implementace do prostředí ArcView 3.2. Implementovaný algoritmus byl prakticky ověřen při pokusu vytvořit z databáze velkého měřítka (1:500) mapy středních měřítek 1:10000 a 1:50000. Popisu testování, zhodnocení získaných výsledků a zdůvodnění hlavních nedostatků je věnována poslední část.

Úvod

S nástupem výpočetní techniky se většina národních mapovacích agentur rozhodla pro vybudování digitální databáze velkého měřítka, která má někdy sloužit především pro produkci papírových map a někdy spíše pro analýzy prostorových vazeb. V současné době je mnoho těchto geografických databází hotových nebo před dokončením a začíná nebo probíhá jejich aktualizace. Přesné přístroje a nové způsoby sběru dat (např. Dálkový průzkum Země) způsobují, že je možnost

sběru mnohem většího množství a druhů dat než dříve. Zároveň ovšem roste také nutnost a potřeba aktualizace. Udržování geografických databází tak vyžaduje velké množství práce i financí.

Ne vždy je však pro daný cíl vhodná podrobná databáze velkého měřítka. Podrobnost způsobuje zvýšené nároky na výpočetní techniku, podrobnou jednoměřítkovou databázi také není možné použít k produkci mapových děl v celých měřítkových řadách. Řešení udržovat více databází v různých měřítkách opět násobí výše zmíněné náklady. Ideální by bylo vyvinout generalizační techniky, které umožní odvodit z podrobné a aktualizované databáze velkého měřítka její zjednodušené kopie pro menší měřítka a to s co možná nejmenším podílem ruční práce. Jak píše Lee ve svém článku (přel. a cit. LEE, D. 2004, 1): „Mimo všechny kulturní rozdíly, společným požadavkem všech národních mapovacích agentur je plně vybavený GIS, který jim umožní produkci map různých měřítek tak automaticky a flexibilně, jak je to jen možné.“

Automatická generalizace je ale téměř v rozporu s požadavky počítačového odvětví. Jde o proces, který má jen omezené množství přesně definovaných pravidel, hlavní část kvality či nekvality výsledku – mapy – záleží na zkušenostech kartografa, jeho subjektivním vnímání. V mnoha případech je těžké vysvětlit, proč byla zvolena právě tato technika či vybrána právě tato budova.

Cílem této práce bylo učinit přehled o dosavadním pokroku na poli automatického generování map středních měřítek z map z katastrálních, **zejména u stavebních objektů**. Právě digitální katastrální mapy tvoří velkou část databází, které by mohly být využity pro produkci map různých měřítek. A oblasti sídel s hustým výskytem staveb a dalších mapových prvků představují složitý problém pro implementaci automatického systému generalizace. V první části této práce je provedena snaha o rešerši dosavadních algoritmů v různých oblastech generalizace a pokusů kombinovat je do komplexních systémů na automatickou generalizaci. Následně byl vybrán a implementován jeden z návrhů komplexního algoritmu. Ten byl následně prakticky vyzkoušen při generalizaci map středních měřítek z databáze velkého měřítka. Hodnocení a shrnutí dosažených výsledků tuto diplomovou práci uzavírají.

Algoritmy pro generalizaci sídel

Nalezené a v popsané algoritmy byly rozčleněny do několika kategorií. U každého algoritmu byl citován zdroj, obsahující další informace. Zde jen zkrácená verze přehledu.

zjednodušování tvarů budov - Základním algoritmem v této práci se stal algoritmus popsaný v monografii Wilfrieda Staufenbiela z Technischen Universität Hannover (STAUFENBIEL, W. 1973). Publikace obsahuje komplexní návrh algoritmu na generalizaci zástavby z velkého do středního měřítka. Z novějších prací zmiňuje Staufenbielův algoritmus ve svých článcích Sester (SESTER, M. 2000 a SESTER, M. 2004). Zde jsou připomenuty i další algoritmy na zjednodušování tvarů budov, od známého algoritmu Douglase a Peuckera z roku 1973, počítajícího maximální vzdálenost od hypoteticky generalizované linie, až po složitý moderní projekt AGENT.

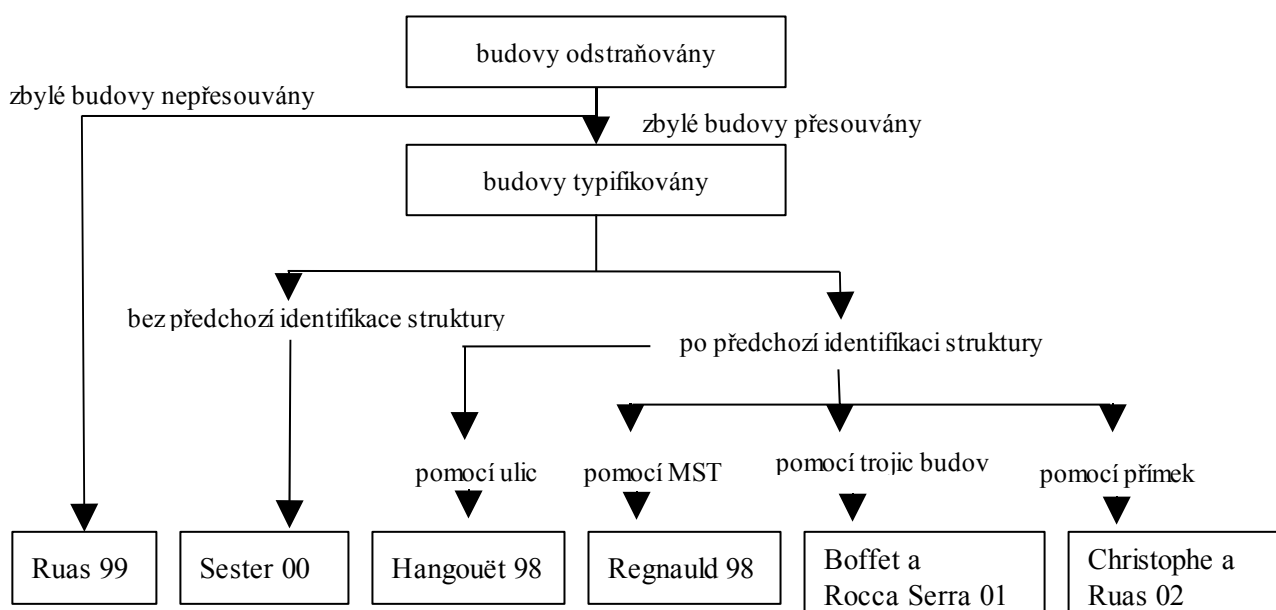
posuny objektů - Nickerson v roce 1988 vyvinul postup pro liniové objekty, založený na stupni vzájemného překrytu. Jäger použil roku 1990 metodu tzv. „displacement mountain“, kde byla důležitost objektu zakódována do rastrového obrazu, ze kterého bylo možno následně vygenerovat směr a velikost posunu. Algoritmus dle Mackanese z roku 1994 uvažoval s radiálním posunem objektu okolo zvoleného bodu. Ruas roku 1998 navrhla systém „přírůstkového posunu“ („incremental displacement“).

„force models“ („silové modely“) - Podmnožina algoritmů posunujících objekty pomocí napodobení fyzikálních sil. Jeden z těchto principů bývá nazýván též jako „snakes“. Elastické křivky, z nichž je tvořen liniový prvek, se snaží samovolně zaujmout tvar odpovídající vnějším a vnitřním silám, které na ně působí. Ty jsou definovány hladkostí křivek a tvarem okolních objektů.

Podle autorské dvojice Steiniger, Meier (STEINIGER, S. MEIER, S. 2004) základ jejich používání v generalizaci položili v roce 1997 Burghardt a Meier. Z dalších prací, které se této problematice a jejího rozvíjení týkají lze jmenovat např. zmíněný článek dvojice Steiniger a Meier nebo článek jiné dvojice – Bader a Barrault (BADER, M. BARRAULT, M. 2000). Je nutno dodat, že většina všech „snakes“ je orientována na liniové prvky.

Roku 1998 publikoval Højholt myšlenku aplikovat na posuny objektů „metodu konečných prvků“ („Finite Element Theory“). Bobrich v roce 1996 také použil analogii mechanického modelu - pružiny. Ware a Jones v roce 1998 použili algoritmus „simulace ochlazování“ („simulated annealing“) jako optimační techniku. Pro posuny je také používána metoda nejmenších čtverců („Least Square Adjustment“) - viz (SESTER, 2000).

typifikace shluků budov - Při generalizaci sídel je jednou z nejdůležitějších věcí odhalit a zachovat strukturu sídla, charakteristické rozložení budov a jejich shluků. Přehled a klasifikace existujících typifikačních algoritmů je podle dvojice Christophe a Ruas (CHRISTOPHE, S. RUAS, A. 2002) následující (Obr. 1):



Obr. 1: Členění typifikačních algoritmů dle principu (přel. podle: CHRISTOPHE, S. RUAS, A. 2002, 4)

Od roku 2002, kdy byla tato klasifikace aktuální, vznikly i další práce tohoto směru. Za všechny jmenujme další práci Sester (SESTER, M. 2004), kde jsou k typifikaci budov použity „Kohonenovy samoorganizující se mapy“ („Kohonen feature maps“).

Multiple Representation Database – MRDB - Někteří autoři prosazují řešení neexistence dokonalého generalizačního algoritmu použitím většího počtu databází s různým měřítkem. Přístup je používán hlavně v kartografii mobilních zařízení a webové kartografii, kdy je velmi důležité zajistit co nejrychlejší aktualizaci dat na displeji, což neumožňuje složité výpočty při generalizaci. Jednoduché generalizační nástroje jen dopraví obraz do správné podoby. Ve své práci se tomu věnují např. Cecconi, Weibel a Barrault (CECCONI, A. WEIBEL, R. BARRAULT, M. 2002).

„streaming generalisation“ („plynulá generalizace“) - Při používání většího počtu předpřipravených databází dochází k takzvanému „efektu blikajících objektů“ (= „popping effects“), když daný objekt v jednom z měřítek vyobrazen je a v jiném již není. V článku od Sester (SESTER, M. 2004) je popsáno řešení spočívající v rozložení všech úkonů generalizace na základní operace, které mohou být implementovány jako plynulé.

zjednodušování linií - Kromě generalizace budov je nutno při generalizaci sídel uvažovat

také ulice. V práci trojice McKeown, McMahon a Caldwell je řešerše hlavních dosavadních algoritmů na zjednodušování linií (McKEOWN, D. McMAHILL, J. CALDWELL, D. 1999).

typifikace sítě ulic – U uliční sítě musí zůstat zachovány charakteristický tvar a hustota. Jednou z možností je využití teorie grafů. Příkladem řešení je článek od dvojice Jiang a Claramunt (JIANG, B. CLARAMUNT, C. 2002). Jednotlivá křížení ulic jsou považována za nody grafu a jsou pro ně měřeny charakteristiky jako stupeň, centralita apod. Ty rozhodnou, která ulice musí být zachována. V článku jsou citovány i starší algoritmy na zjednodušení uliční sítě.

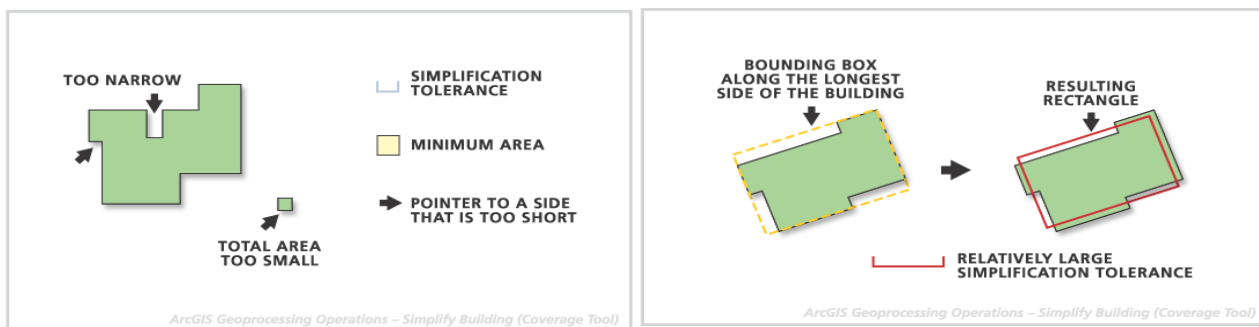
vyhledávání znalostí v databázi (KDD = knowledge discovery in database) - Jiang ve svém článku (JIANG, B. 2004) provedl rešerši využití technik vyhledávání znalostí v generalizaci. Zmiňuje a cituje např. (ANDERS, 2003) – hierarchické bezparametrové shlukování pomocí grafu pro účely selekce a typifikace.

Přehled hotových generalizačních systémů

Softwarová řešení pro automatickou generalizaci kombinují různé výše zmíněné algoritmy. U komerčních systémů bývá způsob generalizace jen naznačen. Přesný algoritmus bývá firemním tajemstvím. V diplomové práci byly popisovány následující projekty.

ArcGIS 9.0

Produkt z řady GIS od firmy ESRI obsahuje kromě nástrojů na analýzu dat, správu databáze a tvorbu map též implementované nástroje na generalizaci. Coby zdroj informací byl využit manuál programu, dokumentace a práce vydané firmou ESRI (ESRI, 2000) a články popisující využití programu při vědeckých projektech (např. STOTER, J. E. KRAAK, M. J. KNIPPERS, R. A. 2004). V technické dokumentaci (ESRI 2000) je několik návrhů posloupnosti spouštěných algoritmů, za účelem dosažení co nejlepších výsledků.



Obr. 2: Ukázky principu generalizace příkazem Simplify Building (převzato: Nápověda programu ArcGIS 9.0)

DynaGen

Společnost Intergraph v roce 1992 přinesla na trh systém MGE zahrnující také MGE Map Generalizer – nástroj na generalizaci map. V současné době je hlavním produktem firmy systém Geomedia. Generalizačním nástrojem je DynaGen. Většina informací o produktu pochází z článku Kazemi a Lim (KAZEMI, S. LIM, S. 2005), kde je popisováno použití tohoto programu při generalizaci silniční sítě. Další zdroj je např. článek dvojice Watson a Smith (WATSON, P. SMITH, V. 2004).

CHANGE

Tento software není vyvíjen komerční firmou, ale Kartografickým institutem Univerzity Hannover (IKG Universität Hannover). V Hannoveru byl vytvořen také Staufenbielův algoritmus. Tento program je údajně schopen generalizovat objekty v měřítku do 1:25000 (podle: KAZEMI, S. LIM, S. RIZOS, C., 2004, 4). Informace byly kromě zmíněného článku získávány především z internetových stránek projektu a z jeho technické dokumentace (CHANGE Kurzdokumentation, 2003).

Generalizace sídel je rozdělena na dvě části. Generalizace ulic spočívá ve vytvoření střední osy z původně dvouliniových ulic, generování topologické sítě a zjednodušení vzniklých středních os ulic. Následně jsou zjednodušené střední osy opět převedeny na dvoulinku. Generalizace budov zahrnuje eliminaci příliš malých budov, zjednodušení tvarů a agregaci příliš blízkých, sousedících nebo se překrývajících objektů. Plánuje se implementace zpravoúhelňování budov a jejich orientace podél ulic. Celý algoritmus neskrývá velkou inspiraci ve Staufenbielově algoritmu z počátku 70. let, obsahuje však značná vylepšení. Například zvládá práci s obloukovými tvary, což je pro původní algoritmus z roku 1973 velký problém.

AGENT (Automatic GEneralisation New Technology)

Projekt Evropské komise v letech 1997-2000 pro výzkum nových generalizačních technik. Projektu se účastnila francouzská národní mapovací agentura IGN, firma LaserScan a univerzity v Curychu, Edinburku a Grenoblu. Zdroje informací o projektu AGENT jsou webová stránka tohoto projektu (AGENT, 2000) a články popisující princip a použití algoritmu (např. GAFFURI, J. TRÉVISAN, J. 2004, DUCHÊNE, C. 2004 a NEUFFER, D. HOPEWELL, T. WOODSFORD, P. 2004).

Generalizovaná část území tvoří tzv. „urbánní matici“ („urban pattern“). Ta se hierarchicky dělí na další třídy, každá z nich zahrnuje jednu nebo více nižších tříd: město, urbánní distrikt, urbánní blok, shluky budov a na jednotlivé budovy. Každá z těchto tříd je popisována určitými charakteristikami, např. v případě budov plochou, souřadnicemi středu, konkavitou, protažením a orientací. Každá z tříd je schopna zjistit požadavky, které pro ní vyplývají z důvodů kartografické vizualizace, a provést změny sama na sobě, aby je splnila. Třídy mohou navíc řídit generalizaci jim podřízených tříd.

Slibné výsledky projektu AGENT způsobily, že IGN se po jeho ukončení rozhodla pokračovat v jeho nástupci – projektu **CartACom**. CartACom vyšel z nedostatků zjištěných v průběhu projektu AGENT (podle: DUCHÊNE, C. 2004). Zejména bylo zjištěno, že čistě hierarchický přístup není ideální a že v některých případech chybí kooperace na úrovni jednotlivých tříd. Také firma LaserScan se rozhodla v úspěšném programu pokračovat. Cílem jejího programu **MAGNET** byl především vývoj a další vylepšování jejího produktu Clarity.

Clarity

Roku 1994 uveřejnila firma LaserScan svůj produkt LAMPS2 na tvorbu map a grafů z databáze. Jeho součástí už byla i generalizační část. Firma využila své spolupráce na projektu AGENT k vylepšení svého řešení a po skončení projektu AGENT pokračovala ve svém vlastním projektu MAGNET. Jeho posledním výsledkem je program Clarity. Program má uživatelské prostředí vytvořené v programu Java, které uživateli umožňuje přidávat k již předdefinovaným algoritmům své vlastní nové (např. článek NEUFFER, D. HOPEWELL, T. WOODSFORD, P. 2004).

Základní principy algoritmu profesora Staufenbiela

V této části diplomové práce byl vybrán a implementován algoritmus na generalizaci sídelních struktur. Zvolen byl algoritmus profesora Staufenbiela publikovaný v roce 1973 na Technischen Universität Hannover. Na místě je otázka, zda by nebylo vhodné zvolit některý z řady novějších algoritmů. Jedním z důvodů bylo to, že Staufenbielův algoritmus je podrobně popsán v jediné monografii (STAUFENBIEL, W. 1973). Naprostá většina novějších, sofistikovanějších algoritmů bývá uveřejňována spíše jen v příspěvcích na konferencích či v článcích ve vědeckých časopisech.

Pokud jsou vyvinuty některým vědeckým týmem, jde většinou pouze o řešení části problematiky – shlazování linií, odhalování charakteristických shluků apod. Pro vytvoření kompletního algoritmu by tak bylo nutno studovat množství zdrojů a kombinovat dohromady různá řešení různých autorů. Komplexní řešení celé generalizace jsou především doménou komerční sféry. Hlavní problém však je, že princip těchto algoritmů je vysvětlen jen částečně, ve všeobecných pravidlech. Jejich přesný princip a podrobný chod programu bývá součástí firemního tajemství.

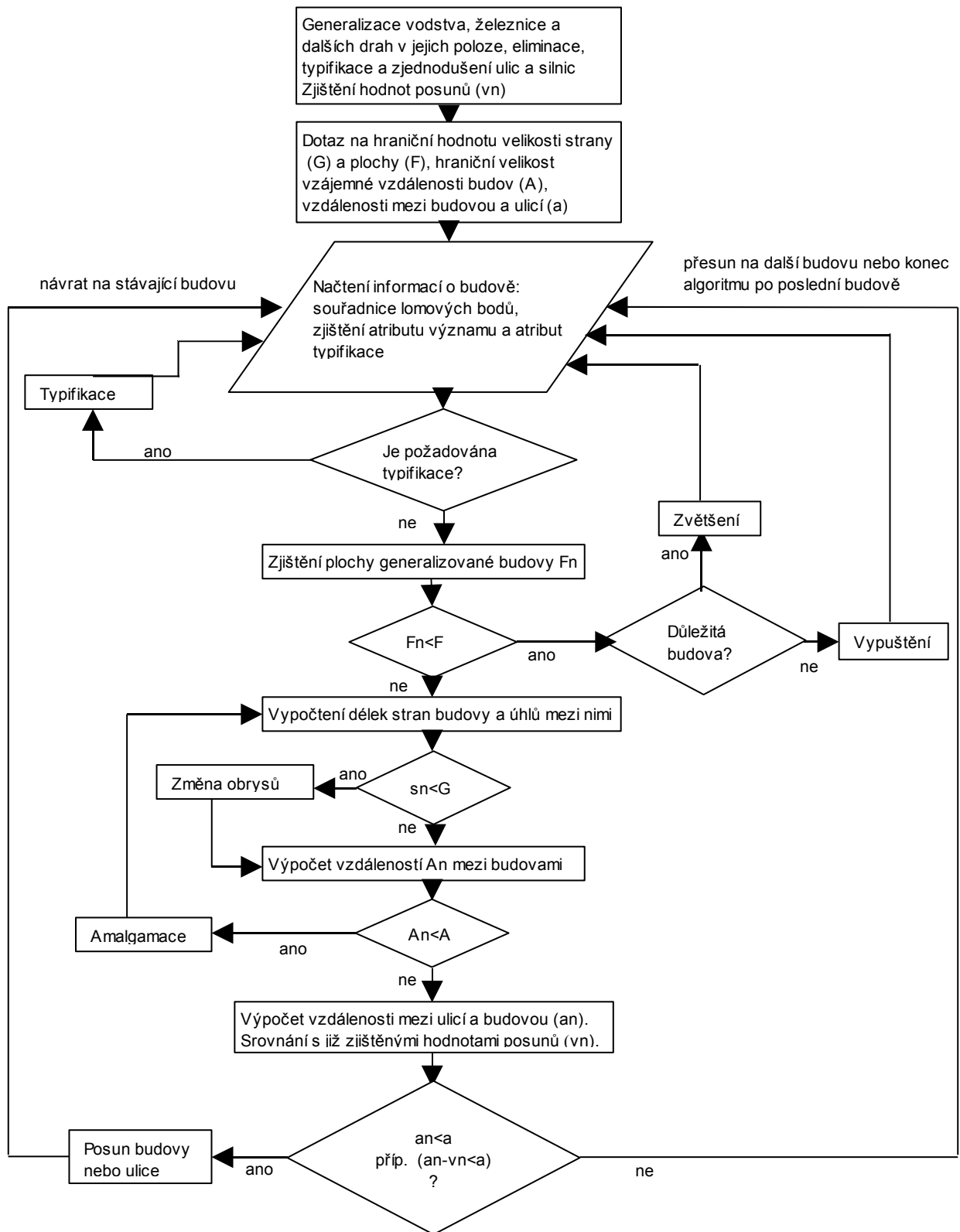
To jsou tedy důvody, proč byl použit algoritmus z roku 1973. Vzhledem ke svému stáří jde o algoritmus jednoduchý. Neuvažuje například typifikaci shluků budov. Princip je založen na zvolených hraničních hodnotách, které musí splňovat objekt, aby mohl být správně zobrazen v mapě výsledného měřítka:

- objekt musí mít určitou minimální plochu (označena jako F)
- obrys objektu musí být tvořen stranami o určité minimální délce (G)
- objekt musí být v určité minimální vzdálenosti od ostatních objektů (A)
- objekt musí mít určitou minimální vzdálenost od obrysu ulice (a) – nebo musí být naopak umístěn přímo na obrysu ulice

Profesor Staufenbiel pracoval s původním měřítkem 1:5000 a výsledná mapa měla mít měřítko 1:25000. Minimální hraniční hodnoty pro zobrazitelnost stanovil na 7,5 m u délky, resp. 56,25 m² u plochy. To odpovídá asi 0,3 mm a 0,09 mm² ve výsledném měřítku. Všechny hrany a plochy nedosahující těchto délek musí být vypuštěny nebo pozměněny. Minimální vzdálenost mezi jednotlivými objekty a mezi budovou a ulicí byla určena na 5 m, čili 0,2 mm v měřítku 1:25000. Pokud není tato vzdálenost dodržena, objekty nejsou ve výsledném měřítku rozlišitelné – vzájemně splývají. Tato skutečnost je nazývána koalescence.

Na Obr. 3 je algoritmus znázorněn jako jediný program, ve skutečnosti je nutné jednotlivé části spouštět odděleně. Po každé části automatické generalizace je totiž nutná kontrola a ruční oprava nevyhovujících výsledků. Autor algoritmu ji pokládal v roce 1973 za samozřejmou, neboť automatická generalizace neměla práci kartografa nahradit, ale usnadnit a zrychlit.

V rámci diplomové práce se práce soustředila na části algoritmu zabývající se vypouštěním příliš malých a zdůrazňováním důležitých budov a úpravou tvarů budov. Tyto části byly totiž již samotným Staufenbielem popsány nejdůkladněji a jejich princip se používá dodnes. Části pojednávající o typifikaci budov, agregaci budov a posunech budov a ulic byly v diplomové práci jen zmíněny, nikoliv implementovány. Staufenbielovy návrhy algoritmu jsou zde spíše povrchní a navíc dnes jsou v daných oblastech k dispozici modernější algoritmy. Jejich testování bylo proto zhodnoceno jako neužitečné. Dále bude proto tento přehled soustředěn na ty části algoritmu, které byly implementovány a testovány.

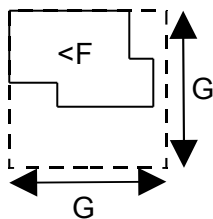


Obr. 3: Diagram datového toku algoritmu na automatizovanou generalizaci zástavby (podle: STAUFENBIEL, W. 1973, 65)

vysvětlivky: F – minimální zobrazitelná plocha, F_n – plocha generalizovaného objektu, G – minimální zobrazitelná strana, s_n – délka strany generalizovaného objektu, A – minimální zobrazitelná vzdálenost mezi budovami, A_n – vzdálenost mezi dvěma generalizovanými budovami, a – minimální zobrazitelná vzdálenost mezi budovou a ulicí, a_n – vzdálenost mezi generalizovanou budovou a ulicí, v_n – vypočítaná velikost posunu budovy kvůli šířce symbolu ulice

Eliminace příliš malých objektů a zvýraznění důležitých objektů

Dojde k vypuštění všech staveb, které mají menší plochu, než je daná minimální zobrazitelná plocha – autor doporučuje $0,3 \times 0,3 = 0,09 \text{ mm}^2$ ve výsledném měřítku (tedy $7,5 \times 7,5 = 56,25 \text{ m}^2$ v měřítku 1:25000). Avšak v mapě se mohou vyskytnout i objekty menší než stanovená hranice, které je potřeba ponechat – např. osamocená turistická chata v horách. V takovém případě se má objekt nahradit nejmenší zobrazitelnou plochou – čtvercem o straně odpovídající minimální hraniční délce strany G – orientovanou tak, aby jedna strana čtverce souhlasila s nejdélší stranou původní budovy (viz Obr. 4). Zda je objekt důležitý, doporučuje Staufenbiel vyznačit v atributové tabulce.



Obr. 4: Ukázka způsobu zvýraznění příliš malého objektu. G – minimální zobrazitelná vzdálenost, F – minimální zobrazitelná plocha. (podle: STAUFENBIEL, W. 1973, 115)

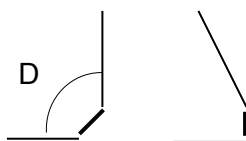
Zjednodušení obrysu budov

Nejpropracovanější složka v algoritmu generalizace zástavby. Algoritmus zjišťuje délky všech stran budovy a dokud nachází ve tvaru budovy strany kratší než je zvolená hraniční hodnota G , do té doby bude upravovat její tvar. Samotná úprava tvaru probíhá v tzv. podprogramech UP 11-UP 22, které řeší jednotlivé možné případy výskytu nedostatečně dlouhých stran v obrysu budovy. Pokud je nalezena **jedna krátká strana**, spustí se jeden z podprogramů UP 11-16. Pokud jsou nalezeny **dvě krátké strany za sebou**, pak je spuštěn podprogram UP 21 nebo UP 22. Správný podprogram je vybrán na základě měření různých vzájemných úhlů mezi krátkými úseky a stranami s nimi sousedícími. Jakmile je podprogramem provedena úprava obrysu budovy, znovu se testuje přítomnost příliš krátkých stran atd. do vyřešení všech případů nedostatečně dlouhých úseků.

Pokud program zjistí, že se v obrysu vyskytuje více krátkých stran na různých místech, musí být přednostně řešeny ty situace, jejichž příslušné podprogramy mají vyšší prioritu. Krátká strana odpovídající podprogramu UP 11 má při řešení přednost před stranou, která by měla být řešena podprogramem UP 12. Pořadí priorit podprogramů a jejich princip je následující:

1) UP 11 – vypuštění strany a vzájemný průnik sousedních stran

Nejjednodušší podprogram. Sousední strany krátkého úseku vzájemně svírají úhel D , pro který platí $45^\circ \leq |D| \leq 135^\circ$. Vypočítá se jejich průsečík, který se zařadí do obrysu budovy a vypustí se krajní body původní krátké strany. Podprogram se používá také u některých dalších speciálních kombinací úhlů.



Obr. 5: Ukázky případů, které řeší UP 11 (podle: STAUFENBIEL, W. 1973, 90)

2) UP 22 – nahrazení dvou stran jednou

Podprogram UP 22 nahrazuje dvě krátké strany jedinou stranou – z obrysu budovy se vypustí bod mezi oběma krátkými stranami. Spouští se v případech, kdy sousední strany ke stranám krátkým svírají úhel D o velikosti $|D| < 45^\circ$ nebo $135^\circ < |D| \leq 180^\circ$ (Obr. 6 a). Použije se i tehdy, když zmíněný úhel D svíraný stranami sousedními ke stranám nahrazovaným sice nesplňuje uvedenou podmínku, ale pro vzájemný úhel obou krátkých úseků d platí, $|d| \leq 45^\circ$ nebo $135^\circ \leq |d|$ (Obr. 6 b).

- Obr. 6 a: $|D| < 45^\circ$ nebo $135^\circ < |D| \leq 180^\circ$
- Obr. 6 b: $45^\circ \leq |D| \leq 135^\circ$ a zároveň $|d| \leq 45^\circ$ nebo $135^\circ \leq |d|$



Obr. 6: Typy případů řešených podprogramem UP 22 (podle: STAUFENBIEL, W. 1973, 103)

3) UP 21 – vypuštění dvou stran a vzájemný průnik sousedních stran

Obě krátké strany budou vypuštěny a jejich sousední strany se protnou. Vznikne tak nový bod a budou vypuštěny body původních krátkých stran – viz Obr. 7. Používá se v případech, kdy pro vzájemný úhel obou krátkých stran d a vzájemný úhel sousedních stran ke stranám krátkým D platí:

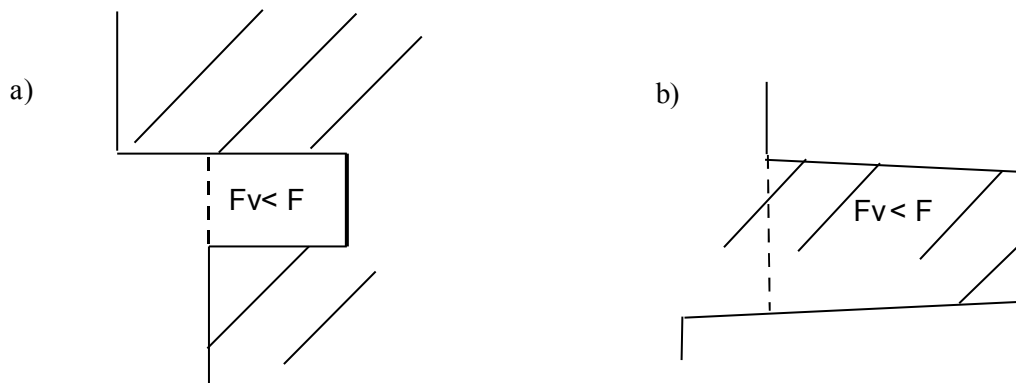
- $45^\circ \leq |D| \leq 135^\circ$
- $45^\circ < |d| < 135^\circ$



Obr. 7: Případy řešené podprogramem UP 21 a náčrty úhlu D a d (podle: STAUFENBIEL, W. 1973, 102)

4) UP 13, UP 15 (rovnocenná priorita – libovolné pořadí spouštění) – vypuštění nevýznamného výstupku/zářezu

Podprogramy UP 13 a UP 15 mají základní podmínku, že strany sousední ke straně krátké svírají vzájemně úhel větší než 135° a menší nebo roven 180° . Dále je určeno, že výstupek musí mít plochu F_v menší než stanovená hraniční plocha F . Na Obr. 8 je vidět, že z pohledu algoritmu se situace neliší zda jde o zářez – podprogram UP 15 (Obr. 8 a) či výstupek – podprogram UP 13 (Obr. 8 b). Vždy vznikne nový průsečík a jsou vypuštěny tři původní lomové body. Staufenbiel však rozdělil tyto případy do dvou podprogramů, kdyby se ukázalo být vhodné stanovit rozdílnou hraniční plochu F pro výstupek a zářez.



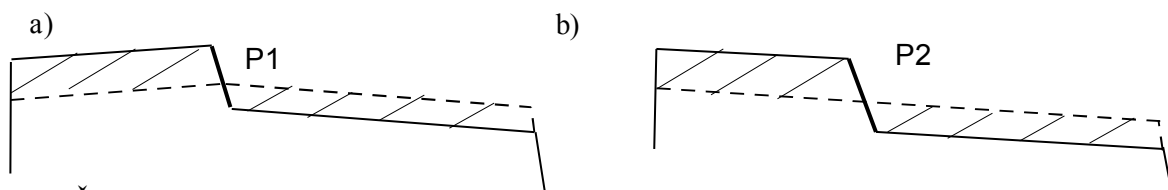
Obr. 8: Případy řešené podprogramy UP 15 a UP 13

5) UP 12 – vypuštění nevýznamného „schodu“

Tento podprogram se zabývá případy, kdy sousední strany kratšího úseku svírají vzájemně úhel menší než 45° . Staufenbiel navrhl poměrně složitý způsob řešení. Princip je vyobrazen na Obr. 10. Na krátké straně je nalezen bod, kterým bude vedeny nové strany. Staufenbiel žádá, aby se při úpravě tvaru nezměnila celková velikost budovy. Proto je bod P1 vypočítán tak, aby šrafované oblasti na obou stranách bodu měly stejnou plochu.



Obr. 9: Případy řešené podprogramem UP 12



Obr. 10: Řešení podprogramu UP 12 pomocí dvou a jedné rovnoběžky

Na Obr. 10 a) nejsou obě strany sousedící se stranou eliminovanou rovnoběžné, bod P1 tak bude coby lomový bod začleněn do obrysu. Na Obr. 10 b) jsou strany **téměř** rovnoběžné, strany tak budou nahrazeny jedinou rovnoběžkou. Bod P2 bude použit k umístění rovnoběžky, ale do obrysu zahrnut nebude. V reálu se téměř nestane, aby dvě strany byly zcela rovnoběžné. Bod P2 by měl však minimální vliv na tvar budovy. Takový bod jen komplikuje průchod programem a někdy vede i k chybným výsledkům. Při počítání polohy bodu P je proto vždy počítán vliv, jaký by na tvar mělo jeho vypuštění. Pokud je změna pod rozlišovací možností výsledného měřítko, bod se vypouští.

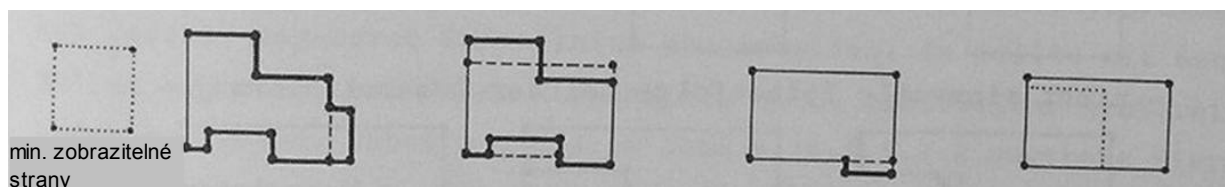
6) UP 14, UP 16 (rovnocenná priorita – libovolné pořadí spouštění) - zvýraznění významného výstupku/zářezu

Podmínkou tohoto podprogramu je, že strany sousední ke straně kratší svírají vzájemně úhel větší než 135° a menší nebo roven 180° . Narozdíl od UP 13 a UP 15 je zde plocha výstupku či zářezu F_v větší než hraniční hodnota F a výstupek či zářez je tak zvýrazněn coby charakteristický pro budovu. Je zvětšen tak, aby původně nedostatečně dlouhá strana dosáhla minimální požadované délky pro zobrazení ve výsledném měřítku. Výstupek/zářez je vždy zvětšen „po svém kratším boku“, aby změna plochy byla co nejmenší (Obr. 11).



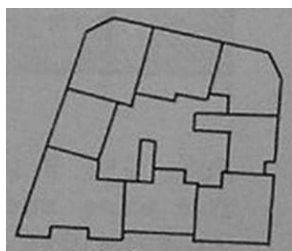
Obr. 11: Princip zvýraznění významného výstupku a zářezu

Pokud je dodrženo pořadí podprogramů, je možné správně generalizovat i budovy s větším počtem krátkých stran (viz Obr. 12). Jestliže se vyskytne více krátkých stran za sebou, pak doporučuje Staufenbiel pravidlo začít prostřední ze sekvence krátkých stran, případně dvěma prostředními v případě sudého počtu.



Obr. 12: Postup při výskytu více krátkých stran bezprostředně po sobě (převzato: STAUFENBIEL, W. 1973, 77)

Před spuštěním algoritmu na zjednodušení tvaru je nutná ještě jedna úprava. Algoritmus neumí pracovat s polygony, které mají některou stranu společnou s jiným polygonem. Proto se musí před započítáním práce sloučit sousedící polygony tvořící blok budov do jediného polygonu (někdy s vnitroblokem) a odstranit společné hrany a fiktivní lomové body vzniklé na hranicích jednotlivých polygonů. Příklad takového bloku sousedících budov je na Obr. 13.



Obr. 13: Příklad bloku budov, které se před započítáním práce musí sloučit do jediné „budovy-bloku“, v tomto případě s vnitroblokem (převzato: STAUFENBIEL, W. 1973, 79)

Neodstraňují se jen body, které vznikly při slučování stýkajících se budov, ale všechny body, které jsou „nadbytečné“, tj. jejich přítomnost má jen minimální vliv na změnu tvaru. Takové lomové body vznikají často při ruční vektorizaci dlouhých linií. Nejsou reálnými lomovými body a mohou vytvářet i fiktivní krátké strany, které by algoritmus zbytečně považoval za nutné upravit. V lepším případě by to znamenalo zdržení algoritmu, v horším by to mohlo způsobit chybný výsledek. Odstranění „nadbytečných“ lomových bodů proběhlo automaticky pomocí skriptu v jazyce Avenue během samotné generalizace.

Implementace algoritmu na generalizaci a jeho testování

V předchozí části popisovaný algoritmus byl implementován do prostředí ArcView GIS 3.2. Implementace proběhla v jazyce Avenue. Celkem bylo vytvořeno 11 vzájemně propojených skriptů. Testování proběhlo také v ArcView, jako testovací data byla použita data Technické mapy města Brna, resp. vrstvy bloků budov pro jednotlivé městské části a vrstva uličních os hlavních ulic města. Jednotlivé městské části Brna tvoří dohromady velmi různorodou směsici stylů a typů zástavby, která umožňuje zhodnotit úspěšnost generalizačního algoritmu na různých půdorysech budov. Poskytnutá data odpovídají měřítku 1:500, jsou původně ve formátu *.DGN.

Problémy implementace

Při implementaci algoritmu bylo vycházeno z popisu algoritmu od jeho autora (STAUFENBIEL, W. 1973). Ten je celkově přehledný a na první pohled úplný. Teprve při praktické tvorbě kódu bylo zjištěno, že na některé zvlášť komplikované části autor jen upozornil, „že musí být správně řešeny“, ale sám řešení nenabídl. Jedná se zejména o případy, kdy je nutno generalizovat více stran najednou. Také měření plochy výstupků a zářezů pro podprogramy UP 13 – UP 16 se ukázalo jako velmi problematické. Jazyk Avenue také nemá některé funkce se kterými Staufenbiel ve svém návrhu počítal. Staufenbielův algoritmus má také výrazné prolémy u budov obsahujícími v obrysu obloukovité tvary. To vše vedlo k tomu, že algoritmus musel být na některých místech v rámci možností zjednodušen. Přesto byly výsledky při testování velmi povzbudivé.

Testování algoritmu a zhodnocení

Celé testování proběhlo ve dvou částech. Nejdříve byla data generalizována z měřítka 1:500 do měřítka 1:10000, tedy z velkého do středního měřítka. Pro tento účel byl algoritmus svým autorem Staufenbielem původně určen. Následně byla ve druhé fázi testování provedena generalizace z měřítka 1:10000 do měřítka 1:50000. Před začátkem samotné generalizace proběhla úprava získaných vstupních dat do podoby potřebné pro vstup do generalizačního algoritmu. Data byla převedena do formátu SHP, jednotlivé budovy byly převedeny na polygony a budovy vzájemně sousedící v blocích budov byly spojeny do jediného polygonu (viz Obr. 13).

Pod body 2.1 – 2.3 a 5.1 – 5.3 jsou v níže uvedené osnově testování body, které byly automatizovány. Po první fázi generalizace – z velkého do středního měřítka – byly na části výsledků provedeny ruční úpravy výsledků. Byly odstraněny chyby automatické generalizace, odstraněny zbývající krátké strany a byly ručně provedeny odsuny budov a jejich případná agregace. Tedy částí algoritmu, které nebyly automatizovány. Tato část výsledků byla vybrána pro druhou fázi testování. Byla na ní provedena generalizace z měřítka 1:10000 do měřítka 1:50000. Poté byly opět provedeny ruční úpravy výsledků. Obě fáze byly následně zhodnoceny, co se týče úspěšnosti automatické části generalizace. Byl měřen i čas průchodu automatické části algoritmu.

Celé testování mělo následující osnovu:

1. Úprava výchozích dat – převedení do *.SHP a eliminace společných hran mezi sousedními budovami
2. Generalizace 1:500 – 1:10000
 - 2.1. Odstranění budov s malou plochou a zvýraznění významných ale malých budov

- 2.2. Odstranění přebytečných lomových bodů
- 2.3. Zjednodušení obrysových tvarů budovy
- 2.4. Evaluace a ruční oprava části výsledků generalizace, včetně agregace a odsunů
3. Vyhodnocení výsledků
4. Výběr městských částí pro generalizaci 1:10000 – 1:50000
5. Generalizace 1:10000 – 1:50000
 - 5.1. Odstranění budov s malou plochou a zvýraznění významných ale malých budov
 - 5.2. Odstranění přebytečných lomových bodů
 - 5.3. Zjednodušení obrysových tvarů budovy
 - 5.4. Evaluace a ruční oprava výsledků generalizace, včetně agregace a odsunů

Za zmínku stojí část Evaluace (bod 2.4 a 5.4). Kromě běžné vizuální kontroly, byl pro kontrolu výsledků generalizace automatickým algoritmem použit skript Evaluace napsaný v jazyce Avenue. Slouží ke zjištění většiny nutných ručních úprav. Skript prochází budovy a vyznačuje v atributové tabulce ty, ve kterých zjistí nějaké nedostatky. Testovány jsou:

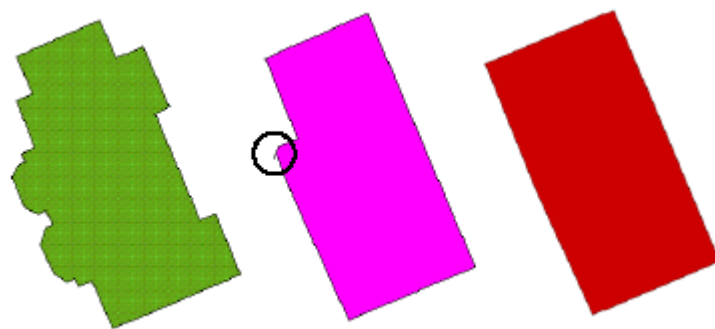
- přetrvávání krátkých stran v obrysu budovy
- přítomnost více obrysových čar ve tvaru budovy. Může znamenat topologickou chybu, ale také jen přítomnost vnitrobloku.
- přílišná vzájemná blízkost nebo překryt dvou budov nebo dvou částí téže budovy
- přítomnost úhlů pod 20° v obrysu budovy. Tak ostrý úhel je neobvyklý, může ale také nemusí znamenat chybu generalizace
- příliš malá plocha budovy nebo její části pro zobrazení ve výsledném měřítku

Vyhodnocení výsledků generalizace 1:500 – 1:10000

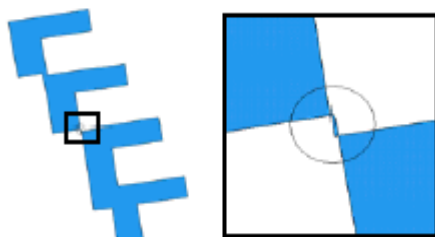
Vždy je nutno stanovit hraniční hodnoty podle nichž se bude algoritmus řídit. Staufenbiel doporučil min. délku strany v mapě 0,3 mm, ve výsledném měřítku 1:10000 je to v reálu délka 3 m. Pro plochu doporučil Staufenbiel velikost čtverce o min. zobrazitelné délce strany. Tento názor byl respektován – nejmenší zobrazitelná plocha má tedy v reálu velikost 3*3=9 m². V mapě tedy 0,3*0,3 mm. Nejmenší rozeznatelná vzdálenost dvou oddělených prvků v mapě se uvádí jako 0,2 mm, tedy 2 m ve výsledném měřítku 1:10000.

Celkově bylo v původních vrstvách budov městských částí 6874 objektů. Sítem dostatečné velikosti (bod 2.1) však prošlo jen 6054. Z tohoto čísla muselo být 122 budov vyřazeno kvůli obloukovitým tvarům v obrysu, se kterými algoritmus neumí pracovat. Hlavní část algoritmu – zjednodušování tvarů – tedy pracovala s 5932 objekty, což je 86% z původního počtu. Celková doba průchodů skriptů automatické generalizace vrstvami jednotlivých městských částí byla 144 minut. Jako pravděpodobně správně generalizované bylo po automatické evaluaci a vizuální kontrole bylo označeno 4748 budov, což je **80%** z těch, které byly zjednodušovány a 70% ze všech budov, které vstoupily do generalizace, včetně těch, které byly vyřazeny pro malou velikost.

Na Obr. 14 a 15 jsou příklady chyb, které vznikly při automatické generalizaci. Většina topologických chyb je velmi malého rozsahu, bez použití automatické evaluace by možná nebyly odhaleny. Na Obr. 16 je srovnání obrysů objektů z původních vrstev a z vrstev po generalizaci.



Obr. 14: Drobný hrot vzniklý při generalizaci budovy a ruční úprava. V levé části původní tvar, uprostřed tvar po zjednodušení automatickým algoritmem a vpravo definitivní tvar po ruční opravě.



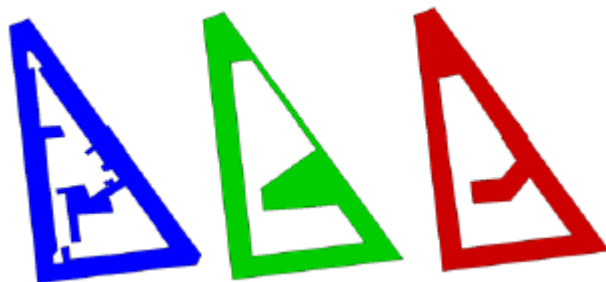
Obr. 15: Původní a zjednodušený tvar budovy. Vlivem zjednodušení tvaru vznikne miniaturní topologická chyba (ve výřezu).



Obr. 16: Ukázka (výřez z mapy) srovnání obrysů budov původních dat 1:500 (černě) a obrysů po generalizaci do měřítka 1:10000 (červeně).

Vyhodnocení výsledků generalizace 1:10000 – 1:50000

Jako původní téma pro tuto fázi testování byly použity dvě výsledné vrstvy z první fáze – vrstvy budov městských částí Stránice a Veveří. Hraniční hodnoty nyní vycházely z výsledného měřítka 1:50000. Nejkratší možná délka strany obrysu tak byla nastavena na 15 m a nejmenší zobrazitelná plocha byla nastavena na 225 m². Jako nejmenší možná vzdálenost mezi dvěma objekty ve výsledném měřítku bylo zvoleno 10 m.



Obr. 17: Budova u níž došlo k problému při úpravě komplikovaného tvaru vnitřního dvora.

Ve vrstvách vybraných pro generalizaci z původního měřítka 1:10000 do výsledného měřítka 1:50000 bylo 1005 objektů. Z nich ovšem jen 431 (43%) splnilo nejmenší možnou plochu zobrazitelnou ve výsledném měřítku a bylo tak tvarově zjednodušováno. Automatické ověřování skriptem Evaluace následně u zjednodušených objektů zjistilo, že 208 bylo pravděpodobně generalizováno správně. To je **48%** ze všech tvarů, u nichž byl zjednodušován tvar a 21% ze všech objektů, které vstupovaly do této fáze generalizace. Po vizuální kontrole byl tento stav potvrzen, jen u několika objektů bylo zhodnoceno, že kartograf by provedl generalizaci jinak, a tvar byl pozměněn. Průchod automatických částí algoritmu trval 14 minut.

Tato fáze testování nepřinesla tak dobré výsledky jako ta předchozí. Zhruba u poloviny z výsledných tvarů musely být provedeny úpravy (jeden z případů je na Obr. 16). Podstatná většina však spočívala v řešení přílišného přiblížení dvou objektů. To by na druhou stranu slibovalo mimořádně dobré výsledky, pokud by byla úspěšně implementována agregace. Potvrdilo se, že tento algoritmus byl vytvořen pro generalizaci z velkého do malého měřítka, při generalizaci mezi dvěma středními měřítky je již nezbytně nutné vyřešení agregace a odsunů. Přesto lze i zde říci, že v polovině případů došlo k úspěšnému vyřešení zjednodušení objektů a podstatné úspoře práce. Na Obr. 18 je srovnání obrysů objektů z původních vrstev a z vrstev po generalizaci.



Obr. 18: Ukázka (výřez z mapy) srovnání obrysů budov původních dat 1:10000 (černě) a obrysů po generalizaci do měřítka 1:50000 (červeně). Oblast: městská část Veveří.

Závěr

V této práci byl proveden souhrn situace v současném stavu automatizované generalizace sídelních struktur. Existuje velké množství algoritmů, z nich však jen menší část je prakticky využívána v praxi. Je možná poněkud překvapivé, že mnohé starší algoritmy mají lepší výsledky než jejich modernější alternativy. Klasickým případem je Douglas-Peuckerův algoritmus z roku 1973 na zjednodušování linie, který byl u studovaných autorů a v praktických zkouškách komerčních systémů opakovaně hodnocen jako nejlepší z prakticky implementovaných (např. KAZEMI, S. LIM, S. 2005). V oblasti hotových generalizačních systémů se situace ubírá směrem ke vzájemné spolupráci na různých výzkumných projektech a k dalšímu rozvoji již hotových řešení.

V druhé části práce byl implementován a testován jeden z algoritmů na generalizaci sídelní struktury. Celkově lze říci, že implementovaný Staufenbielův algoritmus z roku 1973 se prokázal i přes své stáří jako velmi účinný i bez automatizované agregace a odsunů. Není divu, že je dodnes citován v moderních dílech (např. SESTER, M. 2000 a SESTER, M. 2004) a že z něj některé novodobé algoritmy částečně vycházejí – (např. CHANGE). Vzhledem ke své jednoduchosti je implementovatelný prakticky do libovolného programového prostředí. V případě, že by byl implementován zkušeným programátorem v celé své šíři, mohl by být například vhodným doplňkem pro některé Open Source GIS systémy.

Co se týká celkového rozvoje automatické generalizace, rád bych upozornil na zajímavou skutečnost. Jak Staufenbiel, autor z dob počátků počítačové generalizace, tak současná technická

dokumentace firmy ESRI uvádí, že opravdu dobrých výsledků lze dosáhnout pouze „inteligentním sběrem dat“. Tedy pokud bude způsob generalizace uvažován už při sběru a způsobu uchování geodat v databázích.

Zdá se tedy pravděpodobné, že nikdy nebude dosaženo stavu, kdy by libovolná data mohla být jediným stiskem tlačítka bezchybně generalizována do libovolného jiného měřítka. Nutnost velké míry profesní zdatnosti, kterou kartograf potřebuje při generalizaci dat, které před ním „někdo jiný sesbíral“, se bude možná pouze postupně přesouvat na pozici tvorby databáze a předpřípravu dat pro generalizaci. Pro samotnou generalizaci pomocí automatických systémů z takto již předpřípravených dat již takových expertních znalostí generalizace potřeba nebude. To však neznamená, že nebude potřeba kartografického citu a znalostí. Ty jsou nezbytnou podmínkou vzniku kvalitní mapy.

Literatura

monografie:

STAUFENBIEL, W.: *Zur Automation der Generalisierung topographischer Karten mit besonderer Berücksichtigung grossmassstäbiger Gebäudedarstellungen*., Hannover, 1973. 164 s. Disertační práce na Fakultät für Bauwesen der Technischen Universität Hannover.

MEYER, U.: *Generalisierung der Siedlungsdarstellung in digitalen Situationsmodellen*. Hannover, 1989. 118 s. Disertační práce na Univesität Hannover.

elektronické zdroje:

AGENT [on-line]. c2000, [citováno 27. března 2006]. Dostupný z WWW: <<http://www.agent.ign.fr>>

ArcGIS [počítačový program]. Ver. 9.0. ESRI (California, USA): Redlands, 1999.

ArcView [počítačový program]. Ver. 3.2. ESRI (California, USA): Redlands, 1992.

BADER, M. BARRAULT, M.: Improving Snakes for Linear Feature Displacement in Cartographic Generalization. In: *Proceedings of the 5th International Conference on GeoComputation* [on-line]. University of Greenwich, (United Kingdom) 2000. [citováno 21. března 2006]. Dostupný z WWW: <<http://www.geocomputation.org/2000/GC034/Gc034.htm>>.

CECCONI, A. WEIBEL, R. BARRAULT, M.: Improving Automated Generalisation for On-Demand Web Mapping by Multiscale Databases In: *Proceedings Volume: IAPRS, Vol. XXXIV, part 4, ISSN 1682-1750*. [on-line]. Ottawa, 2002. [citováno 23. března 2006]. Dostupný z WWW: <<http://www.isprs.org/commission4/proceedings02/pdfpapers/138.pdf>>

DUCHÊNE, C.: The CartACom model : a generalisation model for taking relational constraints into account In: *Papers of the ICA Workshop on Generalisation and Multiple representation*. [on-line]. Leicester, 2004. [citováno 23. března 2006]. Dostupný z WWW: <<http://ica.ign.fr/Leicester/paper/duchene-v2-ICAWorkshop.pdf>>

DUNKARS, M.: Automated generalisation in a multiple representaton database In: *Proceedings of the 12th International Conference on Geoinformatics Geospatial Information Research: Bridging the Pacific and Atlantic*. [on-line]. Gävle, 2004. [citováno 21. března 2006]. Dostupný z WWW: <<http://www.hig.se/geoinformatics/proceedings/files/p741.pdf>>

ESRI: *Map Generalization in GIS: Practical Solutions with Workstation ArcInfo Software*, [on-line]. Redlands: ESRI, 2000. 20 s. [citováno 27. března 2006]. Dostupný z WWW: <http://downloads.esri.com/support/whitepapers/ao_Map_Generalization.pdf>

GAFFURI, J. TRÉVISAN, J.: Role of urban patterns for building generalisation: An application of AGENT In: *Papers of the ICA Workshop on Generalisation and Multiple representation*. [on-line]. Leicester, 2004. [citováno 23. března 2006]. Dostupný z WWW: <<http://ica.ign.fr/Leicester/paper/Gaffuri-v2-ICAWorkshop.pdf>>

- Generalisation - MAGNET - Laser-Scan* [on-line]. c2004, [citováno 27. března 2006]. Dostupný z WWW: <<http://www.laser-scan.com/solutions/generalisation/magnet.htm>>
- HAUNERT, J.-H. SESTER, M.: Using the Straight Skeleton for Generalisation in a Multiple Representation Environment In: *Papers of the ICA Workshop on Generalisation and Multiple representation*, [on-line]. Leicester 2004. [citováno 21. března 2006]. Dostupný z WWW: <<http://ica.ign.fr/Leicester/paper/Haunert-v2-ICAWorkshop.pdf>>, <<http://www.ikg.uni-hannover.de/skalen/buendel/PDF/Skeleton.pdf>>
- CHANGE Kurzdokumentation*. Hannover: Institut für Kartographie und Geoinformatik, [on-line]. Universität Hannover, 2003. [citováno 21. března 2006]. Dostupný z WWW: <http://www.ikg.uni-hannover.de/forschung/change/Kurzdoku_change_buildings.pdf>
- CHRISTOPHE, S. RUAS, A.: Detecting Building Alignments for Generalisation Purposes In: *Proceedings Volume: IAPRS, Vol. XXXIV, part 4, ISSN 1682-1750*. [on-line]. Ottawa, 2002. [citováno 21. března 2006]. Dostupný z WWW: <<http://www.isprs.org/commission4/proceedings02/pdffpapers/102.pdf>>
- JIANG, B.: Spatial Clustering for Mining Knowledge in Support of Generalization Processes in GIS In: *Papers of the ICA Workshop on Generalisation and Multiple representation*. [on-line]. Leicester, 2004 [citováno 23. března 2006]. Dostupný z WWW: <<http://ica.ign.fr/Leicester/paper/Bin-v2-ICAWorkshop.pdf>>
- JIANG, B. CLARAMUNT, C.: A Structural Approach to the Model Generalisation of an Urban Street Network In: *Proceedings of the 5th AGILE Conference on Geographic Information Science*. [on-line]. Palma (Mallorca – Spain), 2002. [citováno 23. března 2006]. Dostupný z WWW: <http://www.hig.se/~bjg/s6_Jiang.pdf>
- KAZEMI, S. LIM, S.: Generalization of Road Network Using Intergraph DynaGen™ In: *Proceedings of the SSC 2005 Spatial Intelligence, Innovation and Praxis: The national biennial conference of the Spatial Sciences Institute*. [on-line]. Melbourne, 2005. [citováno 23. března 2006] Dostupný z WWW: <http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/publications/kazemi_etal2005a.pdf>
- KAZEMI, S. LIM, S. RIZOS, C.: A review of map and spatial database generalization framework In: *Proceedings Volume: IAPRS, Vol. XXXV, part B4, ISSN 1682-1750*. [on-line]. Istanbul, 2004. [citováno 23. března 2006]. Dostupný z WWW: <<http://www.isprs.org/istanbul2004/comm4/papers/529.pdf>>
- LEE, D.: Geographic and Cartographic Contexts in Generalization In: *Papers of the ICA Workshop on Generalisation and Multiple representation*. [on-line]. Leicester, 2004. [citováno 23. března 2006]. Dostupný z WWW: <<http://ica.ign.fr/Leicester/paper/Lee-v2-ICAWorkshop.pdf>>
- McKEOWN, D. McMAHILL, J. CALDWELL, D.: *The use of spatial context in linear feature simplification*, In: *Proceedings of the 4th International Conference on GeoComputation* [on-line]. Mary Washington College Fredericksburg, (Virginia, USA) 1999. [citováno 23. března 2006]. Dostupný z WWW: <http://www.geocomputation.org/1999/020/gc_020.htm>, <http://www.geovista.psu.edu/sites/geocomp99/Gc99/020/gc_020.htm>
- NEUFFER, D. HOPEWELL, T. WOODSFORD, P.: Integration of Agent-based Generalisation with Mainstream Technologies and other System Components In: *Papers of the ICA Workshop on Generalisation and Multiple representation*. [on-line]. Leicester, 2004. [citováno 23. března 2006]. Dostupný z WWW: <<http://ica.ign.fr/Leicester/paper/Neuffer-v2-ICAWorkshop.pdf>>
- REVELL, P.: Building on Past Achievements: Generalising OS MasterMap® Rural Buildings to 1:50 000 In: *Papers of the ICA Workshop on Generalisation and Multiple representation*. [on-line]. Leicester, 2004. [citováno 23. března 2006]. Dostupný z WWW: <<http://ica.ign.fr/Leicester/paper/Revell-v2-ICAWorkshop.pdf>>
- SESTER, M.: Generalization based on least squares adjustment. In: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 33, ISPRS, [on-line]. Amsterdam, 2000. [citováno 21. března 2006]. Dostupný z WWW: <http://www.ikg.uni-hannover.de/publikationen/publikationen/2000/Sester_Amsterdam.pdf>.

SESTER, M.: Two Demos:1) Automatic generalization of buildings for small scales using typification 2) Streaming Generalization. In: *Papers of the ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation*, [on-line]. Leicester, 2004. [citováno 21. března 2006]. Dostupný z WWW: <<http://ica.ign.fr/Leicester/paper/Sester-v1-ICAWorkshop.pdf>>.

STEINIGER, S. MEIER, S.: Snakes: a technique for line smoothing and displacement in map generalisation. In: *Papers of the ICA Workshop on Generalisation and Multiple representation*, [on-line]. Leicester 2004 [citováno 21. března 2006]. Dostupný z WWW: <<http://ica.ign.fr/Leicester/paper/steiniger-v2-ICAWorkshop.pdf>>, <http://www.geo.unizh.ch/publications/sstein/snakes_leicester.pdf>

STOTER, J. E. KRAAK, M. J. KNIPPERS, R. A.: Generalisation of framework data: a research agenda In: *Papers of the ICA Workshop on Generalisation and Multiple representation*. [on-line]. Leicester, 2004. [citováno 23. března 2006]. Dostupný z WWW: <<http://ica.ign.fr/Leicester/paper/Stoter-v2-ICAWorkshop.pdf>>, <http://www.itc.nl/library/Papers_2004/n_p_conf/stoter_generalisation.pdf>

University of Edinburgh, IGN, University of Zurich: *Strategic Algorithms Using Organisations*, [on-line]. [citováno 27. března 2006]. Dostupný z WWW: <<http://agent.ign.fr/deliverable/DD3.pdf>>

WATSON, P. SMITH, V.: Interoperability of Agent-based Generalization with Open, Geospatial Clients In: *Papers of the ICA Workshop on Generalisation and Multiple representation*. [on-line]. Leicester, 2004. [citováno 23. března 2006]. Dostupný z WWW: <<http://ica.ign.fr/Leicester/paper/Smith-v2-ICAWorkshop.pdf>>