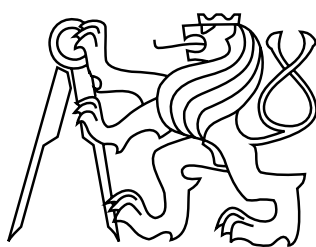


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
OBOR GEOINFORMATIKA



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
TOPOLOGIE V GIS

Vedoucí práce: Ing. Jiří CAJTHAML, Ph.D.
Katedra mapování a kartografie

červen 2011

Eva LINHARTOVÁ

ZDE VLOŽIT LIST ZADÁNÍ

Z důvodu správného číslování stránek

ABSTRAKT

Tato práce je věnována problematice topologie v Geografických Informačních Systémech. Shrnuje základní pojmy teorie grafů. Třídí vektorové datové modely na špagetový, topologický a hierarchický. Uvádí základní datové struktury jako Spaghetti, Chain Node, Planar Graph, NAA, DCEL a Winged Edge. Obsahuje všechna topologická pravidla, která lze nastavit v geodatabázi ArcGIS. Popisuje práci s topologií v ArcGIS, jako je vytvoření nové topologie, předdefinovaná oprava chyb, oprava pomocí editačních nástrojů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Topologie, Teorie grafů, Špagetový model, Topologický model, Spaghetti struktura, Chain Node, Planar Graph, NAA, DCEL, Winged Edge, ArcGIS.

ABSTRACT

This essay focuses on topology problematic in Geographic Information Systems. It summarizes basics of graph theory. The essay classifies data models into the Spaghetti data model, the Topological model and the Hierarchical model. The thesis sorts main data structures as the Spaghetti, the Chain Node, the Planar Graph, the NAA, the DCEL and the Winged Edge structures. It contains all topological rules which are available in ArcGIS geodatabase. The essay describes working with topology in ArcGIS. Creating new topology, using predefined fixes to correct errors as well as correcting errors with topology editing tools are also mentioned.

KEYWORDS

Topology, Graph theory, the Spaghetti data model, the Topological model, Spaghetti structure, Chain Node, NAA, DCEL, Winged Edge, ArcGIS.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že bakalářskou práci na téma „Topologie v GIS“ jsem vypracovala samostatně. Použitou literaturu a podkladové materiály uvádím v seznamu zdrojů.

V Praze dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych poděkovat vedoucímu práce Ing. Jiřímu Cajthamlovi, Ph.D. za připomínky a pomoc při zpracování této práce. Dále bych chtěla poděkovat doc. RNDr. Jiřímu Demelovi CSc. za konzultaci kapitoly o teorii grafů.

Obsah

Úvod	8
1 Topologie	9
2 Teorie grafů	10
2.1 Způsoby zadávání grafů	10
2.1.1 Seznamy vrcholů a hran	10
2.1.2 Seznamy vrcholů a seznamy okolí vrcholů	11
2.1.3 Matice sousednosti	11
2.1.4 Matice incidence	12
2.2 Sledy a odvozené pojmy	12
2.3 Rovinné grafy	13
2.3.1 Duální grafy	14
2.3.2 Vlastnosti rovinných grafů	14
3 Vektorové datové modely	15
3.1 Špagetový model	15
3.2 Topologický model	15
3.3 Hierarchický model	17
4 Vektorové datové struktury	18
4.1 Spaghetti struktura	18
4.2 Chain Node struktura	18
4.3 Planar Graph struktura	19
4.4 NAA struktura	20
4.5 DCEL struktura	21
4.6 Winged Edge struktura	22
4.7 Ostatní struktury	22
5 Topologická pravidla	23
5.1 Pravidla pro polygony	23

5.2	Pravidla pro body	27
5.3	Pravidla pro linie	29
6	Práce s topologií v ArcGIS 10	35
6.1	Vytvoření a úpravy topologie v geodatabázi	35
6.2	Předdefinovaná oprava topologických chyb	40
6.3	Odstranění chyb pomocí editačních nástrojů	45
	Závěr	49
	Použité zdroje	50

Úvod

Topologie je nedílnou součástí Geografických Informačních Systémů. Vztahuje se k činnostem spojeným s evidencí majetku, parcel a nemovitostí. Je to účinný prostředek pro správu a analýzu. Pro zajištění správných analýz se musí vycházet z topologicky čistých dat. Právě proto je pro autorku toto téma atraktivní.

První kapitola bude věnována vymezení topologie jako pojmu. Budou v ní shrnuty různé definice topologie z knih a překladových slovníků. Jelikož jsou prostorové vztahy popisovány teorií grafů, budou v další kapitole zahrnuty základní pojmy spojené s topologií jako způsoby zadávání grafů a rovinné grafy. V dalším bodě bude práce věnována studii a souhrnu vektorových datových modelů a struktur, ve kterých bývají data uložena.

Předmětem dalšího bodu bude seznámení s topologickými pravidly v geodatabázi ArcGIS. Český i anglický název jednotlivých pravidel bude doprovázen jejich grafickým znázorněním a slovním popisem. V neposlední řadě bude v práci popsán postup vytvoření a nastavení topologie. Následovat bude práce s nalezenými chybami v ArcMap. Bude prostudován postup možností odstranění těchto chyb k docílení topologicky čistých dat.

Cílem práce bude přehledně shromáždit informace o topologii a s ní spojenými pojmy a principy.

1 Topologie

Topologie je matematická věda geometrických vztahů, název pochází z řeckého *topos* = místo a *logos* = studie. Topologické vztahy jsou vlastnosti zemského objektu, které se nemění, zatímco se zkreslují rozměry objektu. Zachovává vlastnosti mezi různými prvky jako přilehlost (adjacency), shodnost (coincidence) a spojitost (connectivity).

Je popsána pomocí vrcholů a hran. Prostorové vztahy mezi prvky jsou popsány v teorii grafů. Topologie se používá pro efektivní analýzu prostorových funkcí bez zbytečně složitých výpočtů s použitím souřadnic. Rychlá a správná analýza je zajištěna dodržáním topologických pravidel. Definice topologie mohou znít:

„Topologie – obor zabývající se topologickými prostory, jejich zobrazením a charakteristikami, nauka o spojitých přiřazeních (nejvíce zobecnitelná geometrická disciplína a vzhledem k současným snahám o geometrizační matematiky i nejobecnější disciplína matematiky).“ [10]

„Topologie je matematická disciplína zabývající se podáním precizních definic obecného pojmu prostorové struktury a pojmu spojitosti (vymezením obecného pojetí prostoru) srovnávající rozličná pojetí prostorové struktury a jejich spojitých deformací a zkoumající vztahy mezi vlastnostmi, které lze uvažovat v topologických systémech – tj. množinách s prostorovými strukturami na nich definovaných.“ [8]

„Topologie je obor matematiky, který se zabývá popisem a analýzou prostorových vztahů mezi geometrickými objekty. Zkoumá geometrické vlastnosti jež jsou pro určité druhy transformací invariantní, jako je třeba roztážení, nebo ohýbání.“ [11]

„Topologie je věda a matematické vztahy používané pro ověřování geometrie vektorových prvků, pro operace jako prohledávání sítí a testování sousednosti polygonů.“ [5]

2 Teorie grafů

Tato kapitola byla zpracována podle [4].

Graf je prostředkem k formálnímu vyjádření vztahů mezi dvojicemi objektů, skládá se z vrcholů a hran. Hrana vždy spojuje dva vrcholy a je orientovaná, nebo neorientovaná. *Orientovaná hrana* rozlišuje počáteční a koncový vrchol, a vede tedy od počátečního ke koncovému vrcholu. U *neorientované hrany* nerozlišujeme, který z vrcholů byl dříve, jde o symetrické spojení dvou vrcholů. V obou případech říkáme, že je hrana incidentní s vrcholy.

Incidenci lze chápat jako zobrazení, které hraně přiřazuje dvojici vrcholů, a to buď uspořádanou (pro orientované grafy), nebo neuspořádanou (pro neorientované grafy). *Smyčkou* nazýváme hranu, která spojuje vrchol se sebou samým a může být orientovaná, nebo neorientovaná. Ohodnocený graf bývá nazýván *sítí*, jedná se o graf, jehož vrcholy a hrany nesou dodatečnou informaci. Rovnoběžné hrany jsou takové hrany, které mají v orientovaném grafu totožný počáteční i koncový vrchol, v neorientovaném grafu to jsou hrany, které spojují dva stejné vrcholy.

Počet navzájem rovnoběžných hran nazýváme *násobnost hrany*. Graf, kde žádné hrany nejsou rovnoběžné, je prostý graf, tudíž násobnost každé hrany je rovna jedné. Je-li násobnost některé hrany větší než jedna, jedná se o *multigraf*.

2.1 Způsoby zadávání grafů

Grafy jsou popsány pomocí seznamů, nebo matic.

2.1.1 Seznamy vrcholů a hran

Seznamem prvků je popsána množina vrcholů, množina hran je popsána seznamem obsahujícím název hrany a její počáteční i koncový vrchol. Neorientované grafy jsou popsány stejným způsobem, ale nezáleží na pořadí vrcholů hran. V případě multigrafu jsou v seznamu rovnoběžné hrany zaznamenány stejně.

2.1.2 Seznamy vrcholů a seznamy okolí vrcholů

Množina vrcholů je popsána stejně jako v předešlém odstavci, seznamem prvků. Hrany jsou popsány ve skupinách, pro každý vrchol je uveden seznam množiny hran, které ve vrcholu mají počátek. Hrana je pak popsána názvem a koncovým vrcholem. U neorientovaných grafů může být popsána některá jeho orientace.

2.1.3 Matice sousednosti

Nechť G je orientovaný graf. Zvolíme-li (libovolně, ale pevně) pořadí jeho vrcholů $v_1, \dots, v_n$ můžeme grafu G přiřadit matici sousednosti M řádu n předpisem $m_{ij}^+ =$ počet hran vedoucích z vrcholu i do vrcholu j . Pro neorientované grafy definujeme matici M_G^+ předpisem $m_{ij} =$ počet hran spojující vrcholy i a j . To znamená, že matice sousednosti neorientovaného grafu je vždy symetrická: $m_{ij} = m_{ji}$ pro všechny i, j .



Obr. 2.1: Matice sousednosti převzato z [4].

$$M_G^+ = \begin{pmatrix} 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad M_H = \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Mají-li dva grafy orientované, nebo oba neorientované stejnou matici, jsou tyto grafy izomorfní. Naopak to však neplatí: změna pořadí vrcholů má za následek stejné změny v pořadí sloupců a řádků matice sousednosti. Vzájemně izomorfní grafy mohou mít různé matice sousednosti.

2.1.4 Matice incidence

Nechť G je orientovaný graf bez smyček. Zvolíme-li (libovolně, ale pevně) nejen pořadí vrcholů $v_1, \dots, v_n$, ale i pořadí hran $e_1, \dots, e_m$, můžeme grafu přiřadit matici incidence B_G typu (n, m) předpisem:

$$b_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{jestliže } v_i \text{ je počátečním vrcholem hrany } e_j, \\ -1 & \text{jestliže } v_i \text{ je koncovým vrcholem hrany } e_j, \\ 0 & \text{v ostatních případech.} \end{cases}$$

$$B_G = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

Každý sloupec obsahuje právě jednu 1 a právě jednu -1 . Pro neorientované grafy bez smyček se incidenční matice definuje předpisem:

$$b_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{jestliže } v_i \text{ je incidenční s hranou } e_j, \\ 0 & \text{v ostatních případech.} \end{cases}$$

$$B_H = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Každý sloupec obsahuje právě dvě 1.

2.2 Sledy a odvozené pojmy

Orientovaný sled je posloupnost vrcholů a hran $v_0, e_1, v_1, \dots, e_k, v_k$, kdy pro každou hranu e_i platí $Pv(e_i) = v_{i-1}$ a $Kv(e_i) = v_i$. *Neorientovaný sled* je posloupnost, kdy každá hrana e_i spojuje vrcholy v_{i-1}, v_i . Sled spojuje vrcholy v_0, v_k , kde v_0 označuje počáteční vrchol a v_k vrchol koncový. U orientovaného sledu na sebe vrcholy a hrany navazují, hrany jsou orientovány ve směru sledu. U neorientovaného sledu

nezáleží na této orientaci hran. Každý orientovaný sled je zároveň i sledem neorientovaným, jelikož splňuje jeho podmínky. V obecných sledech se vrcholy a hrany mohou opakovat.

Triviální sled obsahuje jediný vrchol a žádnou hranu, lze ho pokládat za orientovaný i neorientovaný sled. Každý sled je dán jednoznačně svou posloupností hran a vrcholů. *Cesta* orientovaná či neorientovaná je sledem orientovaným či neorientovaným, kde se žádný vrchol neopakuje. V případě, že se neopakuje žádná hrana, jedná se o orientovaný, či neorientovaný *tah*.

Sled s minimálně jednou hranou, kde splývá počáteční vrchol s koncovým, je sledem uzavřeným. *Uzavřenou cestou* nazýváme uzavřený sled, kde se neopakují vrcholy ani hrany, s výjimkou $v_0 = v_k$. V případě označení jako *kružnice* se jedná o neorientovanou uzavřenou cestu, je-li uzavřená cesta orientovaná je označována jako *cyklus*. Cyklus je též i kružnicí, opačným směrem však vztah neplatí. Triviální sled nemůže být uzavřeným sledem.

2.3 Rovinné grafy

Rovinné grafy, tj. grafy, které lze nakreslit v rovině bez křížení hran, jsou důležité zejména v počítačové grafice, kde se využívá faktu, že struktura vrcholů a hran trojrozměrných hranatých těles odpovídá rovinným grafům.

Nakreslením grafu G v rovině ρ rozumíme dvojici zobrazení ϕ, ψ , kdy jedno z nich ϕ přiřazuje vrcholům grafu body v rovině ρ . Druhé zobrazení ψ přiřazuje každé hraně jednoduchou křivku v rovině ρ . Přitom žádná křivka nesmí obsahovat obraz žádného vrcholu jako svůj vnitřní bod. Křivky se mohou protínat, ale je nutné rozlišovat průsečíky od vrcholů hran.

V rovinném nakreslení mají libovolné dvě křivky různých hran společné nejvýše dva body, své krajní.

Rovinný (planární) graf je takový graf, ke kterému existuje rovinné nakreslení. *Topologický rovinný graf* je graf a jeho nakreslení v rovině ρ .

„Vlastnosti rovinného grafu, se netýkají konkrétního zobrazení, ale pouze jeho existence nebo dokonce jen možnosti nějaké rovinné nakreslení vytvořit. Vlastnosti topologického rovinného grafu zahrnují navíc všechny vlastnosti jeho konkrétního nakreslení.“ [4]

2.3.1 Duální grafy

Duální graf G^D k souvislému neorientovanému grafu G sestrojíme tak, že do každé stěny sgrafu G vložíme jeden vrchol s^D grafu G^D . Pro každou hranu e sestrojíme e^D , která spojuje ty vrcholy grafu G^D , které odpovídají stěnám grafu G incidentní s hranou e .

2.3.2 Vlastnosti rovinných grafů

Věta (Eulerova formule): Pro každý souvislý topologický rovinný graf, který má n vrcholů, m hran a s stěn, platí $n + s = m + 2$.

Věta: Pro prostý souvislý rovinný neorientovaný graf bez smyček, který má $n \geq 3$ vrcholů a m hran, platí $m \leq 3n - 6$.

Věta: Pro prostý souvislý rovinný neorientovaný graf bez smyček a bez trojúhelníků, který má $n \geq 3$ vrcholů a m hran, platí $m \leq 2n - 4$.

Věta: V každém prostém rovinném neorientovaném grafu bez smyček existuje vrchol, jehož stupeň je menší nebo roven 5.

Věta o čtyřech barvách: Rovinný graf bez smyček lze obarvit čtyřmi barvami.

3 Vektorové datové modely

Vektor je veličina charakterizovaná velikostí a směrem. Vektorem bývá nazývána i úsečka propojující dva body dané souřadnicemi v digitální bázi. Geometrické prvky jsou reprezentovány vektory, kde bod je vektor o nulové délce. Poloha bodu se provádí uvedením souřadnic. Hrany a polygony se kódují řadou dvojic vyjadřujících polohu bodů na hranici. Popisné parametry se kódují pomocí kódovacích tabulek. Atributy jsou propojeny pomocí identifikátorů, které mohou být číselné, nebo alfanumerické. Spojením podstatných bodů vznikají hrany, ze kterých je tvořen model objektu. Mají definovaný počátek, konec a směr. Hlavní body jsou zaznamenány souřadnicemi v používaném souřadnicovém systému, v našich podmínkách nejčastěji S-JTSK, světově WGS-84. Kapitola je zpracována podle [3], [2], [12], [11].

3.1 Špagetový model

Špagetový model je starší vektorový model, který byl původně vyvinut k organizaci a manipulaci s liniovými daty. Linie jsou zachyceny jednotlivě s přesně určenými počátečními a koncovými uzly a vrcholy, které definují tvary linií. Špagetový model ukládá linie samostatně. Tento model nezaznamenává spojení linií v koncích a průsečících. Společné hranice polygonů mohou být zaznamenány dvakrát, a to pro každý polygon zvlášť. Název je vyvozen pro nespojitost vektorů při vykreslování, které připomínají talíř volně ležících špaget. Model vážně limituje prostorovou analýzu dat. Není moc používán, s výjimkou velmi jednoduchých datových zápisů a překladů. Výpočet plochy, překrytí vrstev a mnoho jiných analýz požadují čistá prostorová data, ve kterých jsou všechny polygony uzavřeny a linie správně spojeny.

3.2 Topologický model

Tento model je nejčastěji používaný pro ukládání prostorových dat v GIS. Odstraňuje hlavní nedostatky špagetového modelu tím, že vyjadřuje vazby a propojení mezi objekty nezávisle na jejich souřadnicích. Dřívější vývojáři GIS zjistili, že mohou zlepšit rychlost, přesnost a užitečnost mnoha prostorových datových operací tím,

že bude prosazována přísná spojitost, zaznamenávána spojitost a sousednost, budou udržovány informace o vztazích mezi body, liniemi a polygony v prostorových datech. Tito vývojáři našli užitečný způsob záznamu informací na topologických charakteristikách datových sad.

Topologický model může také prosazovat určité typy topologických vztahů. Rovinná topologie vyžaduje, aby všechny funkce byly v dvourozměrném prostoru. Když je vynucena rovinná topologie, hrany se nemouhou křížit nad, nebo pod jinou hranou. Na každém křížení hran musí být protnutí. Topologický model často používá kódy a tabulky k záznamu topologie. Jak už bylo zníněno, vrcholy jsou počátečními a koncovými body hrany. Každému vrcholu a hraně je dán jednoznačný identifikátor. Posloupnost vrcholů a hran je zaznamenána jako seznam identifikátorů. Topologie bodů, linií a polygonů je zaznamenána v souboru tabulek.

Mnoho GIS softwarů je napsáno tak, že topologické kódování není ani viditelné, ani přímo přístupné pro uživatele. Nástroje poskytují a zajišťují, že topologie je vytvářena a zachovávána. Mohou existovat směrnice, které požadují, aby se polygony ve dvou různých vrstvách nepřekrývali, a zajišťují rovinnost pro všechna křížení hran. Topologické tabulky postavené na těchto požadavcích jsou často poměrně velké, rozsáhlé a odkazují se na sebe ve skrytých cestách. Z toho důvodu jsou tyto tabulky skryté před uživateli.

- *Topologie bodů*

Topologie bodů bývá často poměrně jednoduchá. Je pro ni typické, že body jsou jeden na druhém nezávislé, takže jsou zaznamenány jako jednotlivé identifikátory, které jsou případně doplněné souřadnicemi. Nezáleží na jejich pořadí v záznamu.

- *Topologie linií*

Proměnné mohou být organizovány v tabulce a zaznamenávají topologii. Ta je typická pevnou strukturou, obsahuje alespoň informaci o počátečním a koncovém vrcholu každé hrany. Kromě těchto informací může také obsahovat identifikátor hrany, směr a záznam o levém a pravém polygonu hrany. Ve většině případů je levá a pravá strana definována ve směru orientace hrany.

- *Topologie polygonů*

Tato topologie může obsahovat identifikátory polygonů a seznam hran definujících polygon. Pořadí hran bývá uvedeno ve směru hodinových ručiček. Hrany formují a uzavírají polygony, tudíž počáteční vrchol první hrany v seznamu se shoduje s koncovým vrcholem poslední hrany.

- *Tabulka souřadnic*

Tato tabulka propojuje topologický model s reálným světem. Obsahuje polohová data objektů modelu. Umožňuje výpočty vzdáleností, ploch a průsečíků.

Topologický model značně zlepšuje mnoho vektorových datových operací. Analýzy sousednosti jsou zjednodušeny do tabulky vyhledávání – rychlá a jednoduchá operace ve většině softwarů. Tato analýza může sloužit například k identifikaci všech polygonů sousedících s městem, které je reprezentováno jako samostatný polygon. Analýza sousednosti nejprve prohledává tabulku topologie polygonu pro získání polygonu město. Načte seznam všech hran, které ohraničují město. Poté prohledává seznam hran a třídí polygony ležící vpravo a vlevo od hran. Polygony sousedící s městem jsou identifikovány z tohoto seznamu. Prohledávání seznamu topologických tabulek je rychlejší, než prohledávání pomocí souřadnic. Topologický model také zlepšuje ostatní prostorové datové operace.

3.3 Hierarchický model

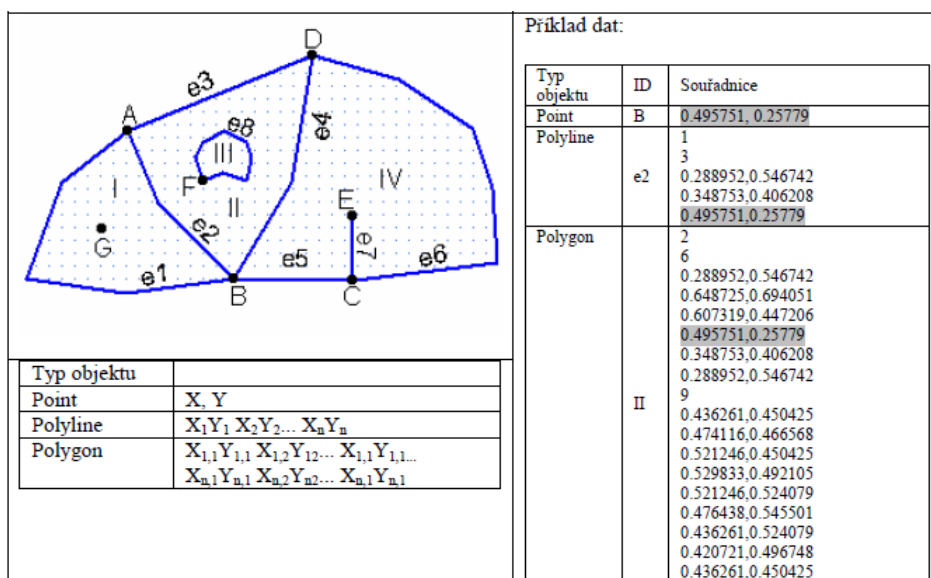
V literatuře se může vyskytnout ještě tento datový model. Ukládá zvlášť informace o bodech, liniích a polygonech v hierarchické struktuře. Více v [12].

4 Vektorové datové struktury

V této kapitole byly použity informace z [13], [12].

4.1 Spaghetti struktura

Tato struktura je založena ve Špagetovém modelu. Každý objekt uložený v této struktuře je prostorově definovaný, neuchovává však žádné informace o prostorových vztazích. Vrcholy jsou uloženy seznamem souřadnic. Hrany jsou uloženy řetězcem souřadnic po sobě jdoucích lomových uzlů. Polygony jsou zaznamenány řetězcem uzavřených řetězců uzlů náležícím hranám ohraničujícím polygon. Společné hranice polygonů jsou zaznamenány ve struktuře dvakrát.

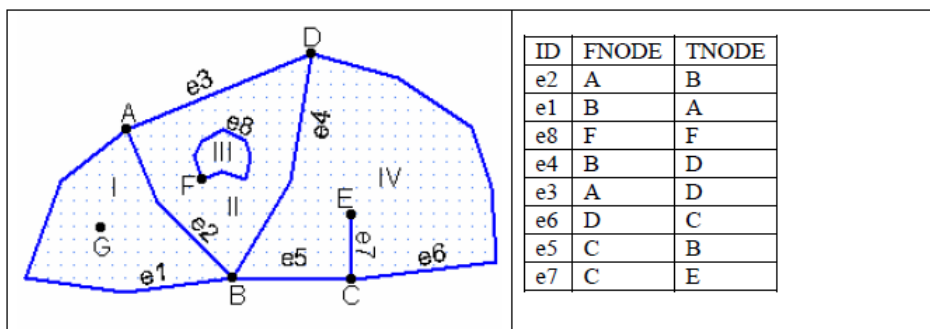


Obr. 4.1: Spaghetti struktura převzato z [13].

4.2 Chain Node struktura

Tato struktura je uložena v topologickém modelu. Popisuje vztah pouze mezi uzly a hranami. V tabulce uchovává informace o uzlech hrany, ale neurčuje, který uzel je počáteční a který koncový, hrany nejsou orientovány. Hrany v Chain Node struktuře

se mohou křížit v libovolném místě. Následující struktury jsou též v topologickém modelu.



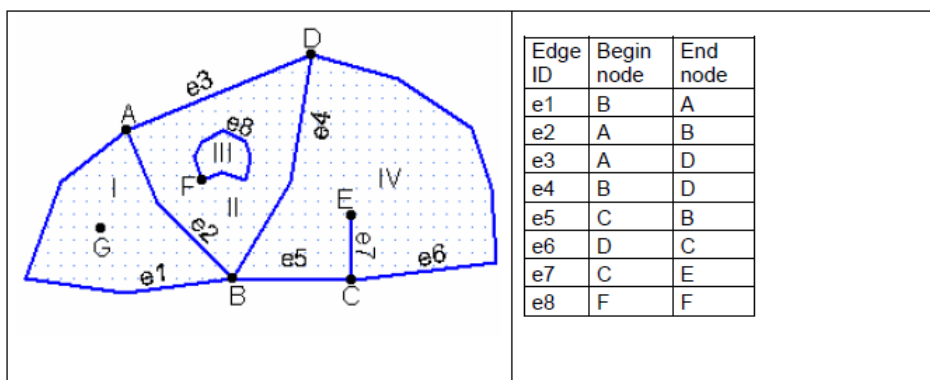
Obr. 4.2: Chain Node struktura převzato z [13].

4.3 Planar Graph struktura

Struktura popisuje vztahy uzlů a hran, obsahuje informaci, který uzel je počáteční a který koncový. Hrany jsou orientovány. Může obsahovat též informaci o levé a pravé hraně. Levá je zapsána jako předcházející a pravá jako následující záznam.

Struktura musí splňovat:

- žádné dva uzly nemohou mít stejné souřadnice
- uzly protínají hrany pouze v počátečních, nebo koncových vrcholech
- hrany se nemohou protínat, ani překrývat, včetně sebe sama



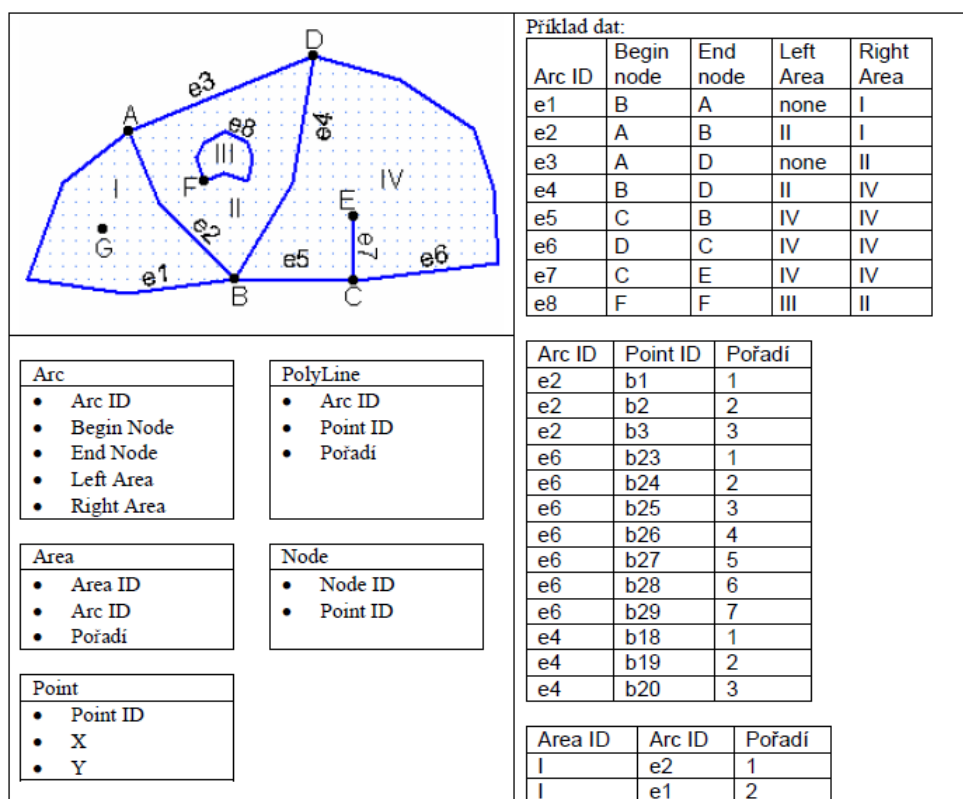
Obr. 4.3: Planar Graph struktura převzato z [13].

4.4 NAA struktura

NAA struktura je nejpoužívanější. Hlavními složkami jsou zorientovaný oblouk – Arc – hrana, průsečík – Node – uzel, plocha – Area – polygon, odtud označení **Node – Arc – Area**. V literatuře často pod pojmem topologickým modelem je myšlena právě NAA struktura. Ukládá informace o uzlech, hranách i stěnách.

Struktura musí splňovat následující:

- každá orientovaná hrana má jeden počáteční a jeden koncový vrchol
- každý uzel je počátečním, nebo koncovým vrcholem nejméně jedné hrany
- každý polygon je ohraničen alespoň jednou orientovanou hranou
- orientované hrany se mohou protínat jen v uzlech
- každý polygon musí být pravým, nebo levým polygonem (nebo oběma) alespoň jedné orientované hrany



Obr. 4.4: NAA struktura převzato z [13].

II	e2	1
	e3	2
	e4	3
	e8	4
	e8	1
Node ID Point ID		
A	b1	
B	b3	
F	b9	
D	b20	
C	b29	
E	b33	
G	b34	
Point ID X Y		
b1	0.288952	0.546742
b2	0.348753	0.406208
b3	0.495751	0.25779
b4	0.495751	0.25779
b5	0.286071	0.229771
b6	0.0906516	0.25779
b7	0.160708	0.445674
b34	0.240005	0.355286

Obr. 4.5: NAA struktura převzato z [13].

4.5 DCEL struktura

Double Connected Edge List je seznam dvojité propojených hran. Jedná se o vylepšení NAA struktury. Zlepšení spočívá v doplnění informace o předcházející a následující hraně pro každou hranu. Tato skutečnost má pozitivní vliv na možnosti prohledávání struktury. Používá se pro souvislé grafy, které neobsahují ostrovy a křížení.

The diagram shows a planar graph with three nodes: A, B, and D. The edges are labeled e1, e2, e3, e4, and e5. The graph is divided into three regions: I (left), II (middle), and III (right). The regions are shaded with a dotted pattern. The edges are: e1 (bottom edge from B to A), e2 (middle edge from A to B), e3 (top edge from A to D), e4 (right edge from B to D), and e5 (bottom edge from D to B).

Arc						
•	Arc ID	•	Begin node	•	End node	•
•	Previous Arc	•	Next Arc	•	Left Area	•
•	Right Area					

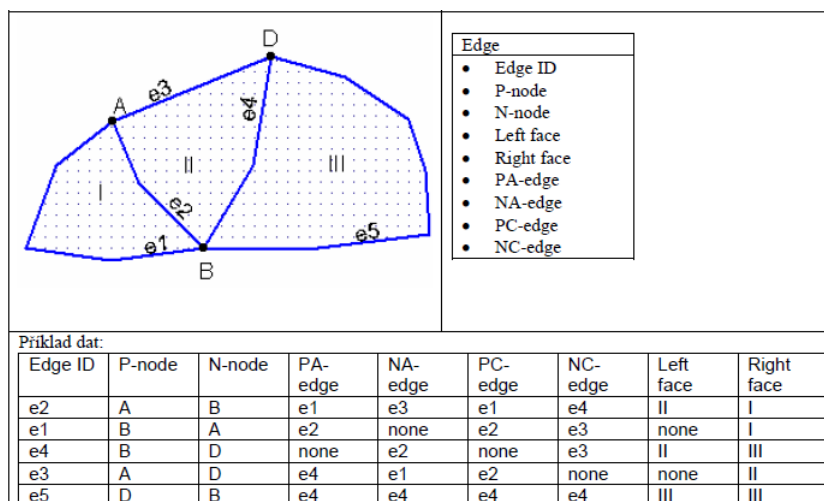
Příklad dat:

Arc ID	Begin node	End node	Previous arc	Next arc	Left area	Right area
e2	A	B	e1	e3	II	I
e1	B	A	e2	e2	-	I
e4	B	D	e2	e2	II	III
e3	A	D	e4	e1	-	II
e5	D	B	e4	e4	III	III

Obr. 4.6: DCEL struktura převzato z [13].

4.6 Winged Edge struktura

Tato struktura je zlepšením a variantou DCEL struktury. Obsahuje všechny možné informace o vztazích mezi uzly, hranami a stěnami. Základem této struktury jsou hrany. Každé hraně náleží dva uzly (počáteční a koncový), dvě přilehlé stěny (po pravé a po levé straně ve směru hrany), čtyři přilehlé hrany. Může být zařazena pod hierarchický model.



Obr. 4.7: Winged Edge struktura převzato z [13].

4.7 Ostatní struktury

V některé literatuře se ještě mohou objevit následující struktury:

Quad Edge struktura, Object – DCEL struktura, Half – Edge struktura, PLA struktura, GBF/DIME struktura, POLYVERT struktura, TIGER struktura.

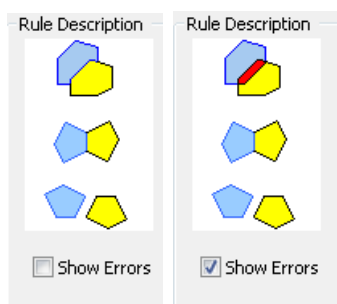
5 Topologická pravidla

Na základě požadavků na námi volený datový model můžeme nastavit různá topologická pravidla. Topologická pravidla lze použít pro sledování prostorových vztahů mezi prvky v rámci jedné třídy prvků, stejně jako mezi prvky dvou tříd. Nedodržení těchto pravidel lze pomocí editačních nástrojů najít a opravit. Nelze předcházet vzniku chyb. Kapitola byla zpracována podle [1].

5.1 Pravidla pro polygony

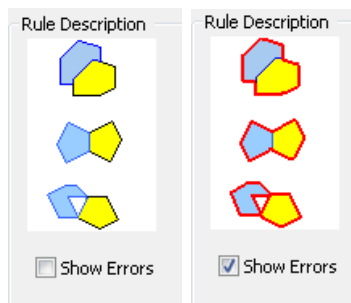
- *Nesmí přesahovat – Must not overlap*

V rámci jedné vrstvy nesmí žádný polygon přesahovat svým rozsahem jiný polygon. Příklad použití: Mapy katastrálních území.



Obr. 5.1: Ukázka I.

- *Nesmí obsahovat mezery – Must not have gaps*

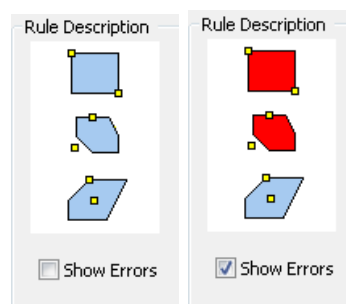


Obr. 5.2: Ukázka II.

V rámci jedné vrstvy nesmí být mezi polygony prázdný prostor, nebo nesdílené linie. Příklad použití: Mapy souvisle pokrytého území.

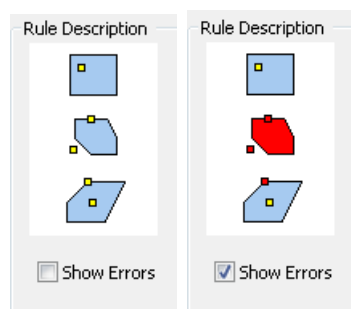
- *Musí obsahovat bod – Contains point*

V rámci jedné vrstvy nesmí být mezi polygony prázdný prostor, nebo nesdílené linie. Příklad použití: Mapy souvisle pokrytého území.



Obr. 5.3: Ukázka III.

- *Musí obsahovat jeden bod – Contains one point*

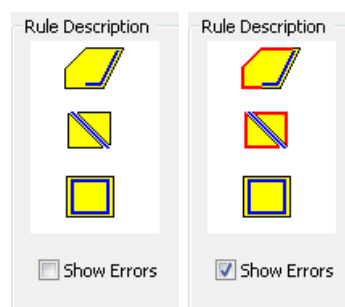


Obr. 5.4: Ukázka IV.

Vztah polygon – body, kdy každý polygon musí obsahovat právě jeden bod. Příklad použití: Parcely musí obsahovat definiční bod.

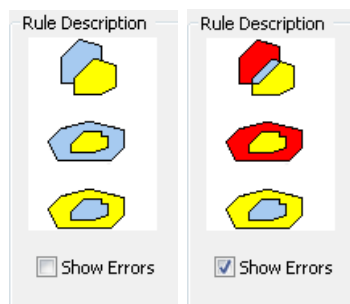
- *Hranice musí být pokryty liniemi – Boundary must be covered by*

Vztah polygon – linie, kdy všechny hranice polygonů musí být pokryty liniemi, ale linie nemusí všechny ležet na hranicích polygonů. Příklad použití: Hranice parcel jsou tvořeny liniemi.



Obr. 5.5: Ukázka V.

- *Musí být pokryty třídou prvků – Must be covered by features class of*

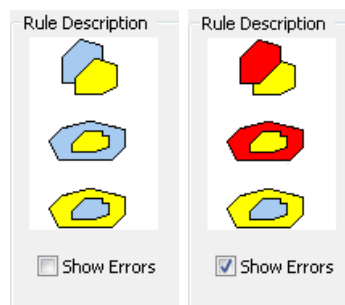


Obr. 5.6: Ukázka VI.

Vztah polygonových vrstev, kdy polygon jedné vrstvy musí být zcela pokryt polygonem vrstvy druhé. Příklad použití: Státy jsou pokryty okresy.

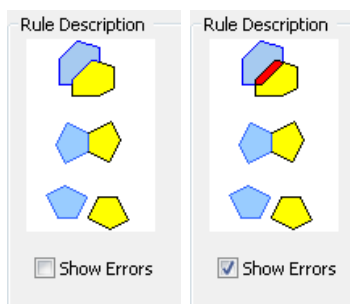
- *Musí být pokryty polygonem – Must be covered by*

Vztah polygonových vrstev, kdy polygony jedné vrstvy jsou zcela pokryty jediným polygonem vrstvy druhé. Příklad použití: Kraje musí ležet uvnitř státu.



Obr. 5.7: Ukázka VII.

- *Nesmí přesahovat (vztah dvou tříd) – Must not overlap with*

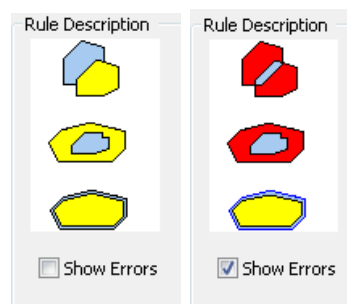


Obr. 5.8: Ukázka VIII.

Vztah polygonových vrstev, kdy polygony jedné vrstvy nesmí přesahovat polygony vrstvy druhé.

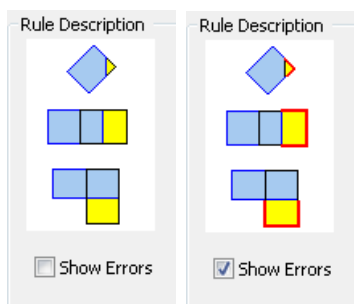
- *Musí být vzájemně pokryty – Must cover each other*

Vztah polygonových vrstev, kdy polygony jedné vrstvy musí být pokryty jedním nebo více polygony vrstvy druhé. Příklad použití: Plochy vegetace a typů půd musí pokrývat stejné území.



Obr. 5.9: Ukázka IX.

- *Hranice musí jít po hranicích polygonů – Area boundary must be covered by boundary of*



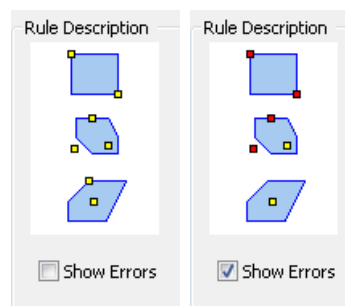
Obr. 5.10: Ukázka X.

Vztah polygonových vrstev, kdy hranice polygonu jedné vrstvy musí být pokryty hranicemi z druhé vrstvy. Příklad použití: Hranice zastavěného území musí jít po hranicích parcel, ale hranice parcel nemusí všechny patřit do zastavěného území.

5.2 Pravidla pro body

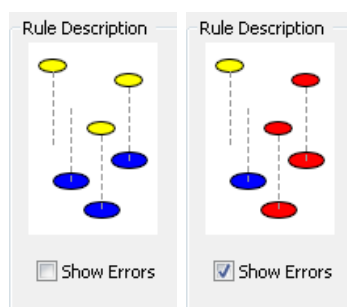
- *Musí být uvnitř polygonů – Must be properly inside*

Vztah body – polygony,
kde body jedné vrstvy musí
ležet v polygonech vrstvy
druhé. Příklad použití:
Města musí ležet uvnitř
států.



Obr. 5.11: Ukázka XI.

- *Musí být disjunktí – Must be disjoint*

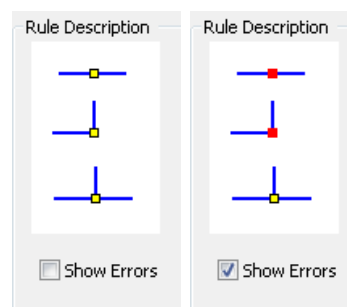


V rámci jedné vrstvy,
body jedné vrstvy se musí
shodovat.

Obr. 5.12: Ukázka XII.

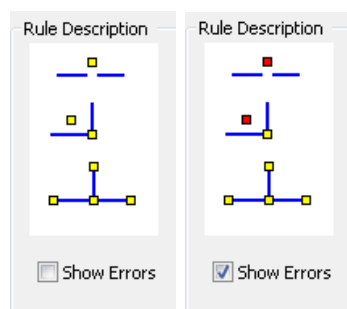
- *Musí být pokryty koncovými body – Must be covered by endpoint of*

Vztah body – linie, kdy
body jedné vrstvy jsou
totožné s koncovými
body vrstvy lilií. Příklad
použití: Body křižovatky
s koncovými body ulic.



Obr. 5.13: Ukázka XIII.

- *Body musí ležet na liniích – Point must be covered by line*

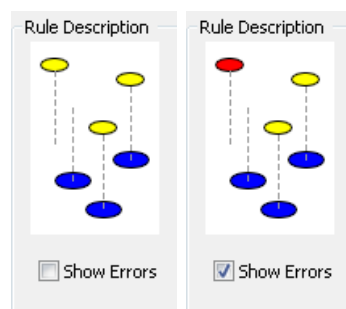


Obr. 5.14: Ukázka XIV.

Vztah body – linie, kde body jedné vrstvy musí ležet na liniích vrstvy druhé. Příklad použití: Železniční stanice musí ležet na železniční síti.

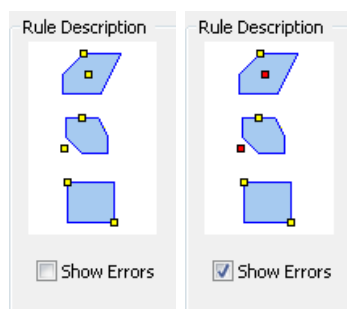
- *Body se musí shodovat – Must coincide with*

Vztah dvou bodových vrstev, kdy body z jedné vrstvy se musí shodovat s body z vrstvy druhé.



Obr. 5.15: Ukázka XV.

- *Musí ležet na hranicích polygonů – Must be covered by boundary of*



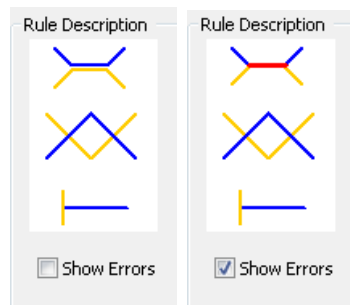
Obr. 5.16: Ukázka XVI.

Vztah body – polygony, kde body jedné vrstvy musí ležet na hranicích polygonů vrstvy. Příklad použití: Přípojky inženýrských sítí na hranicích parcel.

5.3 Pravidla pro linie

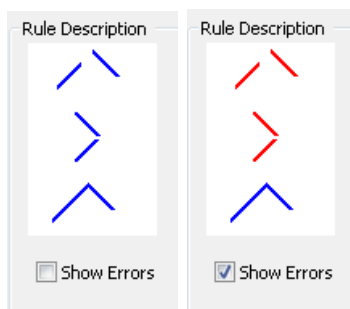
- *Nesmí se překrývat – Must not overlap*

V rámci jedné vrstvy se linie nesmí překrývat žádnou svou částí s jinou linií. Linie se mohou křížit, dotýkat v koncových bodech, nebo překrývat samy sebe. Pro linie co by neměli mít stejný průběh s jinými liniemi. Příklad použití: Silnice.



Obr. 5.17: Ukázka XVII.

- *Musí mít jedinou část – Must be single part*

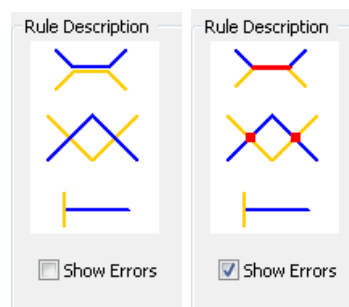


Obr. 5.18: Ukázka XIII.

V rámci jedné vrstvy jsou linie tvořeny jedinou částí. Silniční systém.

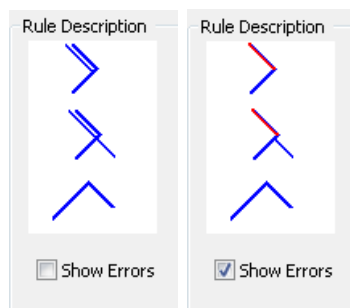
- *Nesmí se překrývat ani protínat – Must not intersect*

V rámci jedné vrstvy se žádné linie nesmí překrývat ani protínat. Příklad použití: Linie vodních toků.



Obr. 5.19: Ukázka XIX.

- *Nesmí překrývat samy sebe – Must not self overlap*

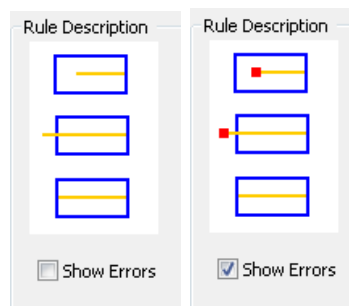


Obr. 5.20: Ukázka XX.

V rámci jedné vrstvy nesmí linie překrývat samy sebe, s liniemi jiné vrstvy se mohou překrývat, protínat. Příklad použití: Při dopravních analýzách.

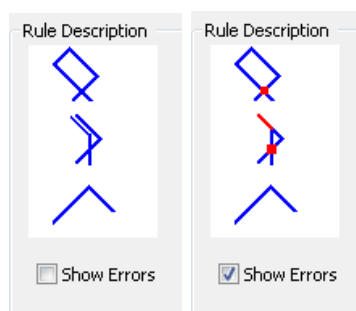
- *Nesmí mít volné konce – Must not have dangles*

V rámci jedné vrstvy se musí konce linií dotýkat jiné linie, nebo sebe samé. Příklad použití: Vzájemně propojené sítě.



Obr. 5.21: Ukázka XXI.

- *Nesmí protínat samy sebe – Must not self intersect*

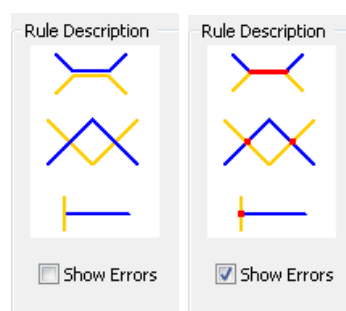


V rámci jedné vrstvy linie nesmí protínat samy sebe, ani se překrývat. Neplatí pro vztah s jinými liniemi. Příklad použití: Vrstevnice.

Obr. 5.22: Ukázka XXII.

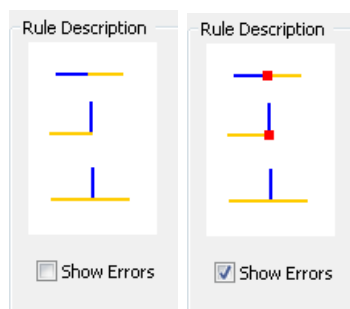
- *Nesmí se překrývat, protínat ani dotýkat (mimo konců) – Must not intersect or touch interior*

V rámci jedné vrstvy se linie nesmí překrývat, protínat, dotýkají se pouze svými koncovými body. Příklad použití: Linie hranic parcel.



Obr. 5.23: Ukázka XXIII.

- *Nesmí mít pseudonódy – Must not have pseudonodes*

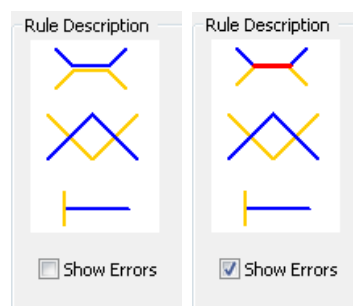


V rámci jedné vrstvy nesmí být linie ve svém koncovém bodě spojena s jen jedinou jinou linií. Příklad použití: Pro hydrologickou analýzu.

Obr. 5.24: Ukázka XXIV.

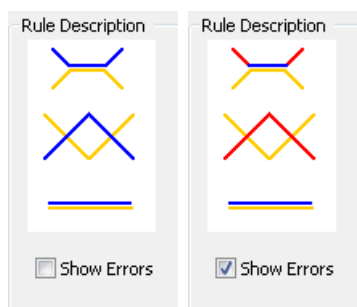
- *Nesmí se překrývat (vztah dvou tříd) – Must not overlap with*

Vztah dvou liniových vrstev, kdy linie jedné vrstvy nesmí překrývat žádnou část linie vrstvy druhé. Příklad použití: Vztah silnic a říční sítě.



Obr. 5.25: Ukázka XXV.

- *Musí být pokryty třídou proků – Must be covered by feature class of*

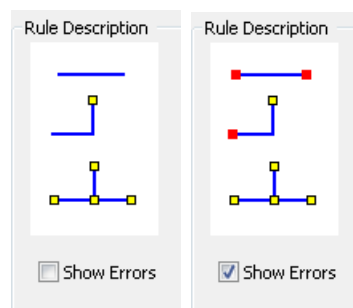


Obr. 5.26: Ukázka XXVI.

Vztah dvou liniových vrstev, kdy linie jedné vrstvy musí být pokryty liniemi vrstvy druhé. Příklad použití: Linie autobusů musí vést po silniční síti.

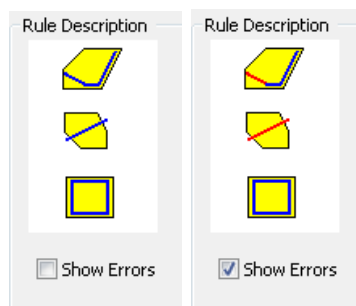
- *Koncové body musí být pokryty – Endpoint must be covered by*

Vztah linie – body, kdy konce linií jsou pokryty body jiné vrstvy.



Obr. 5.27: Ukázka XXVII.

- *Musí ležet na hranicích polygonů – Must be covered by boundary of*

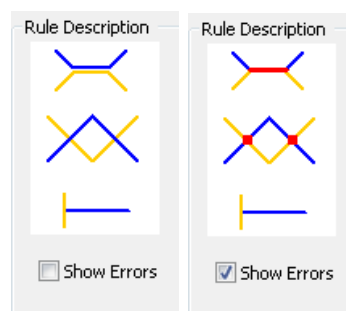


Vztah linie – polygony, kdy linie z jedné vrstvy musí být pokryty hranicemi polygonů jiné vrstvy.

Obr. 5.28: Ukázka XXVIII.

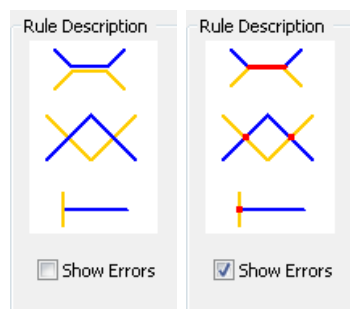
- *Nesmí se protínat (vztah dvou tříd) – Must not intersect with*

Vztah dvou liniových vrstev, kdy se linie jedné vrstvy nesmí dotýkat, ani překrývat s linií jiné vrstvy.



Obr. 5.29: Ukázka XXIX.

- *Nesmí se překrývat, protínat ani dotýkat (vztah dvou tříd) – Must not intersect or touch interior with*

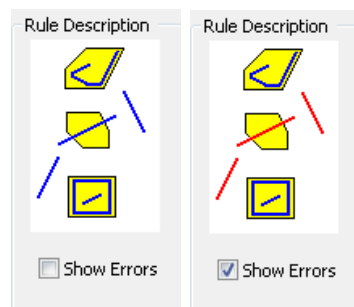


Vztah dvou liniových vrstev, kdy linie jedné vrstvy se smí dotýkat s linií jiné vrstvy pouze v koncových bodech.

Obr. 5.30: Ukázka XXX.

- *Musí být uvnitř – Must be inside*

Vztah linie – polygon, kdy linie z jedné vrstvy musí být obsažena v polygonu druhé vrstvy.

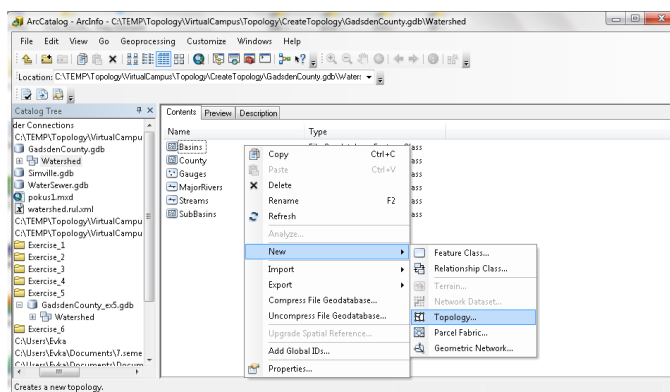


Obr. 5.31: Ukázka XXXI.

6 Práce s topologií v ArcGIS 10

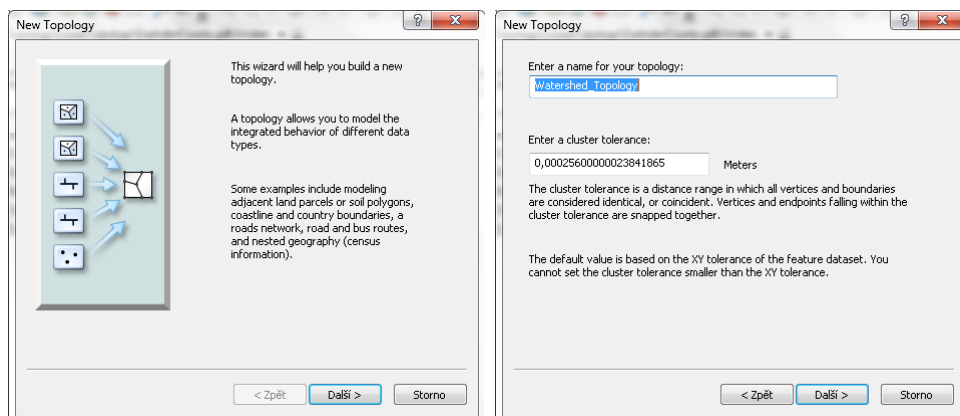
6.1 Vytvoření a úpravy topologie v geodatabázi

Aby mohla být topologie vytvořena, je kladena podmínka na umístění v jedné geodatabázi. Pomocí ArcCatalogu verze 10 pravým tlačítkem myši byla vytvořena topologie, znázorněno na obrázku níže.



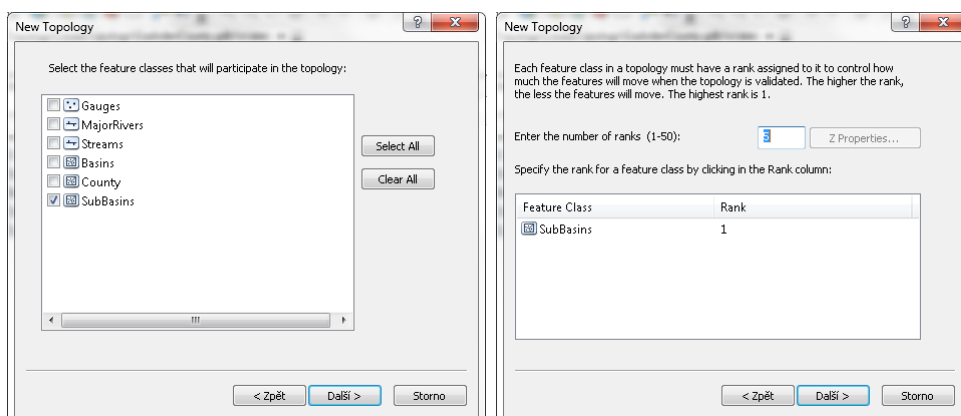
Obr. 6.1: Vytvoření nové topologie.

Při vytváření je postupováno pomocí průvodce. Topologii je nutno pojmenovat. Pojmenování lze kdykoliv během práce přejmenovat. Dále se v této fázi nastaví „cluster“ tolerance. Tato tolerance je vzdálenost, kde všechny vrcholy a hranice jsou považovány za identické. Vrcholy a koncové body spadající do tolerance jsou sloučeny dohromady.



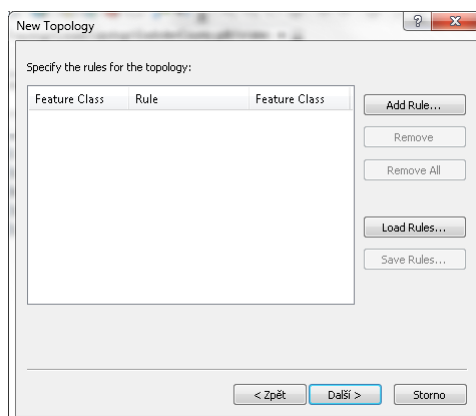
Obr. 6.2: Průvodce.

V dalším kroku jsou voleny vrstvy geodatabáze, které budou obsaženy v topologii.



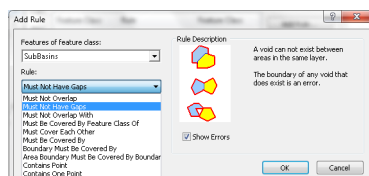
Obr. 6.3: Výběr a shrnutí vrstev.

Jednou z klíčových výhod topologie je její flexibilita. Jsou vybrána jen ta pravidla, která budou respektována pro prostorové vztahy, jenž mají být dodrženy. Pravidla lze přidávat, nebo ubírat kdykoli. Pravidla mohou být přidána i celou sadou, která je uložena s *.rul příponou. Sady pravidel je možné ukládat do textového souboru.



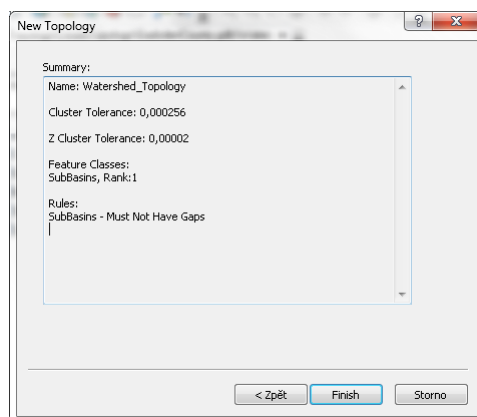
Obr. 6.4: Přidání pravidel

Při výběru pravidla je nejprve volena vrstva, pro kterou mají být definovány prostorové vztahy, tím se redukuje výběr. U pravidel pro více vrstev je naposledy volena druhá vrstva vztahů.



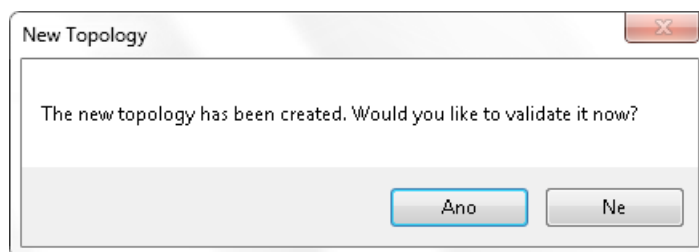
Obr. 6.5: Výběr pravidla.

Následně se zobrazí přehled, co všechno bylo nastaveno.



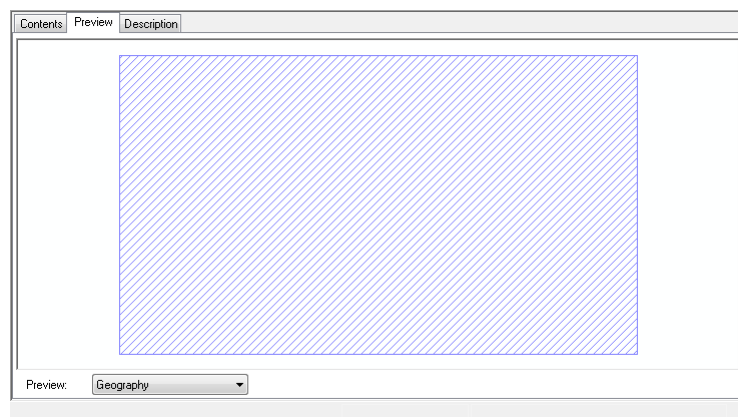
Obr. 6.6: Souhrn.

Následuje dialog, zda bude provedena validace dat. Je doporučeno zkontrolovat přehled topologie před validací.



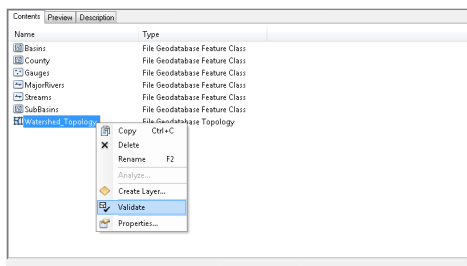
Obr. 6.7: Dialog validace.

Topologie může existovat ve 3 stavech *Not Validated*, *Validated – Errors Exist*, *Validated – No Errors*. Znáznornění stavu je v přehledu topologie. V tomto případě, kdy nebyla ještě provedena validace, je znázorněn stav *Not Validated*.



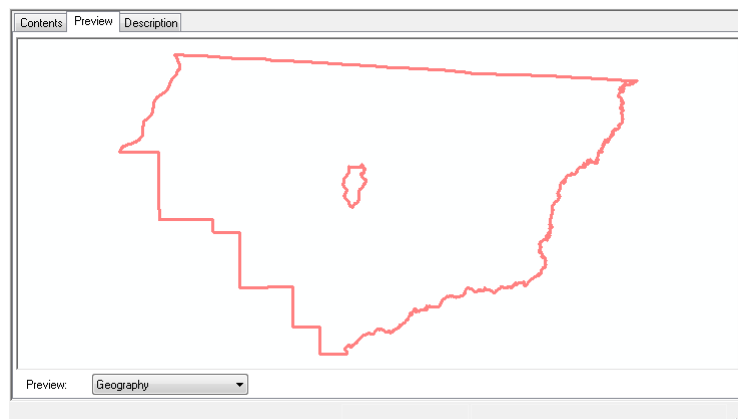
Obr. 6.8: Not Validated.

Po této ukázce byla provedena validace. Pravým tlačítkem myši je rozbaleno menu a vybrána validace.



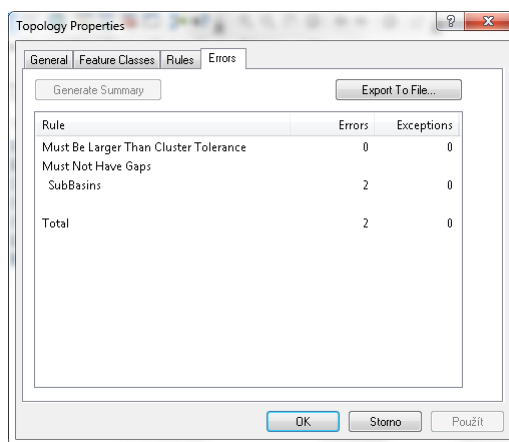
Obr. 6.9: Validace

Přehled topologie po validaci se změnil, někdy je nutné obnovit jej klávesou *F5*. Tento stav topologie znázorňuje *Validated – Errors Exist*.



Obr. 6.10: Validated – Error Exist.

Ve vlastnostech topologie byly spočteny chyby. Pravidlo *větší než cluster tolerance* je vytvořeno automaticky.



Obr. 6.11: Vlastnosti vytvořené topologie.

6.2 Předdefinovaná oprava topologických chyb

ArcMap obsahuje nástroje k vyhledání a opravě chyb v topologii. Pokud není panel editací k dispozici, lze ho najít v menu *Customize – Toolbars – Editor*.



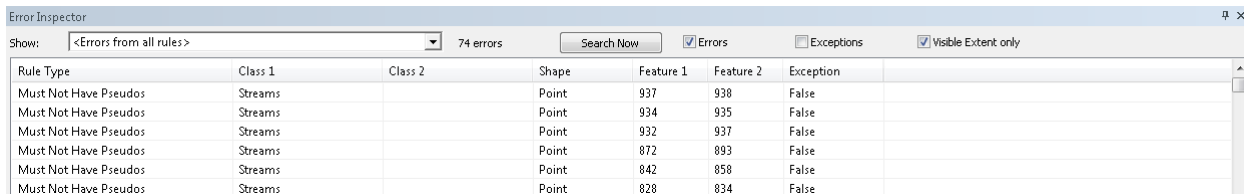
Obr. 6.12: Panel editace.

Panel topologie byl otevřen v menu *Editor – More Editing Tools – Topology*. Aby bylo možno začít úpravy, je nutné provést zahájení editací – *Editor – Start Editing*.



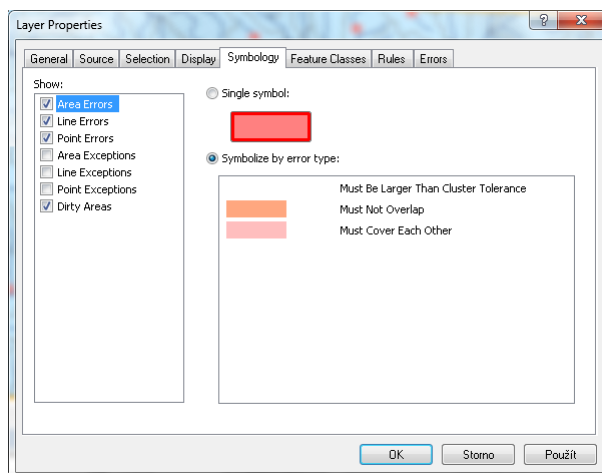
Obr. 6.13: Panel topologie.

Přehled objevených topologických chyb byl zobrazen pomocí *Error Inspector* , ikona na panelu topologie.



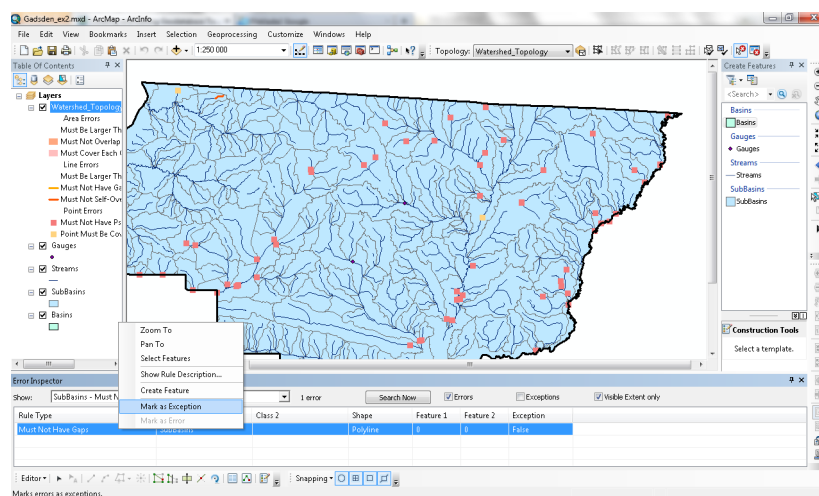
Obr. 6.14: Error Inspector.

Chyby mohou být zvýrazněny pomocí symbologie, která je spravována ve vlastnostech topologie. V *Table Of Contents* – pravým tlačítkem myši nad vrstvou topologie – *Properties* – *Symbology*.



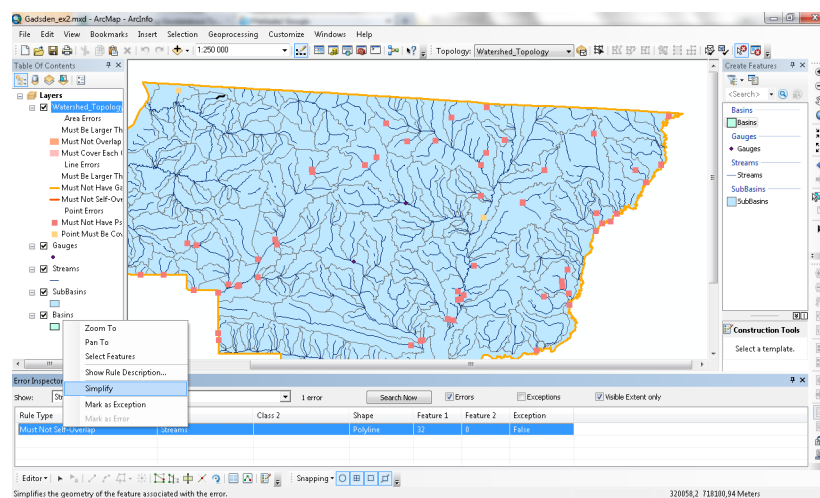
Obr. 6.15: Vlastnosti.

Chyba vybraná v Error Inspector se zvýrazní. Pravým tlačítkem myši se zobrazí možnosti předdefinované opravy. Na obrázku níže byla chyba označena jako výjimka – *Mark as Exception*. To mělo za následek, že chyba byla nadále zobrazena v Error Inspector, ale ve sloupci *Exception* se objevila s hodnotou *True*. V souladu s flexibilní povahou topologie, není označení chyby jako výjimky trvalé. Výjimku lze snadno odstranit. Po validaci se nezobrazí již jako chyba.



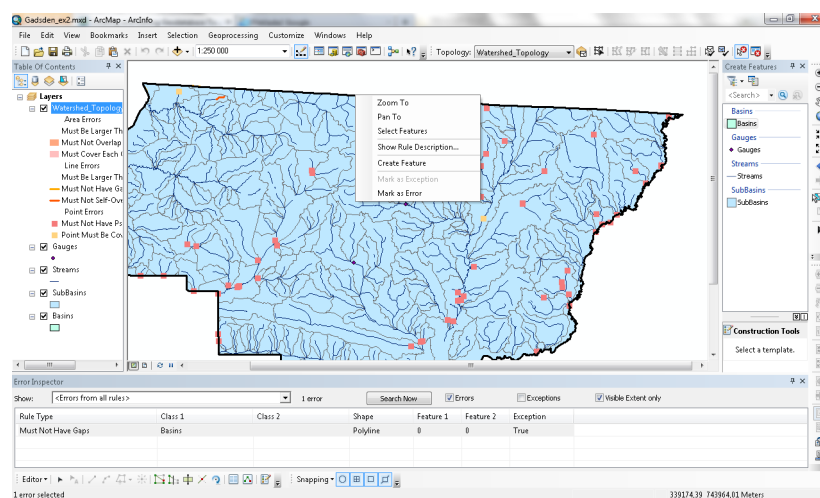
Obr. 6.16: Označení výjimky.

Mezi další předdefinované opravy patří také zjednodušení – *Simplify*.



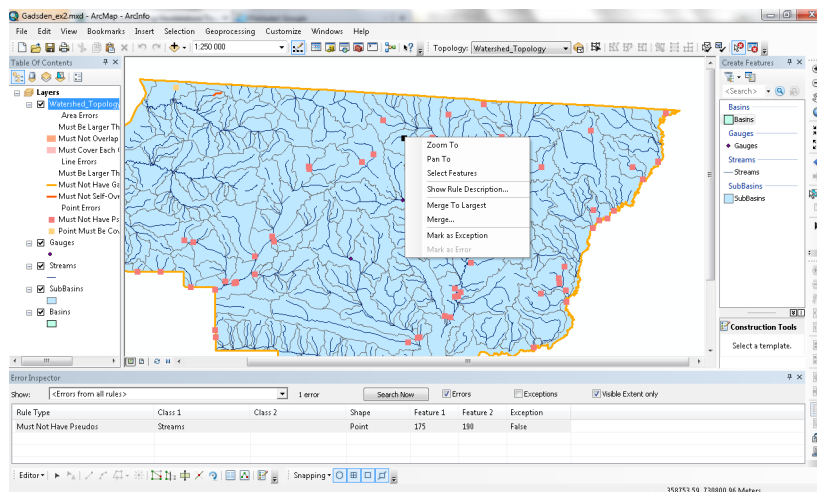
Obr. 6.17: Zjednodušení.

Dále je možné chyby opravovat vytvořením nové vrstvy – *Create Feature*.



Obr. 6.18: Vytvoření prvku.

Funkce *Merge* – slučuje funkce do sebe. Pro každou sadu objektů, které mají být sloučeny, je možné určit, které atributy budou zachovány a převzaty ostatními třídami. Nelze ji použít na více chyb najednou. Funkce *Merge To Largest* – slučuje objekty k největšímu. Lze ji aplikovat současně na několik chyb najednou.



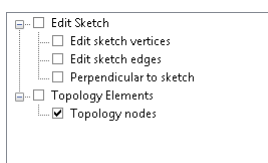
Obr. 6.19: Sloučení prvků.

Violated Topology Rule	Predefined Fix
Point rules	
Must Be Covered By Boundary Of	n/a
Must Be Properly Inside Polygons	Delete
Must Be Covered By Endpoint Of	Delete
Must Be Covered By Line	n/a
Line rules	
Must be larger than cluster tolerance	Delete
Must Not Overlap	Subtract
Must Not Intersect	Split, Subtract
Must Not Have Dangles	Extend, Trim, Snap
Must Not Have Pseudonodes	Merge to Largest, Merge
Must Not Intersect Or Touch Interior	Subtract, Split
Must Not Overlap With	Subtract
Must Be Covered By Feature Class Of	n/a
Must Be Covered By Boundary Of	Subtract
Endpoint Must Be Covered By	Create Feature
Must Not Self-Overlap	Simplify
Must Not Self-Intersect	Simplify
Must Be Single Part	Explode
Polygon rules	
Must be larger than cluster tolerance	Delete
Must Not Overlap	Subtract, Merge, Create Feature
Must Not Have Gaps	Create Feature
Must Not Overlap With	Subtract, Merge
Must Be Covered By Feature Class Of	Subtract, Create Feature
Must Cover Each Other	Subtract, Create Feature
Must Be Covered By	Create Feature
Boundary Must Be Covered By	Create Feature
Area Boundary Must Be Covered	n/a
By Boundary Of	n/a
Contains Point	Create Feature

Obr. 6.20: Předdefinované opravy podle ESRI

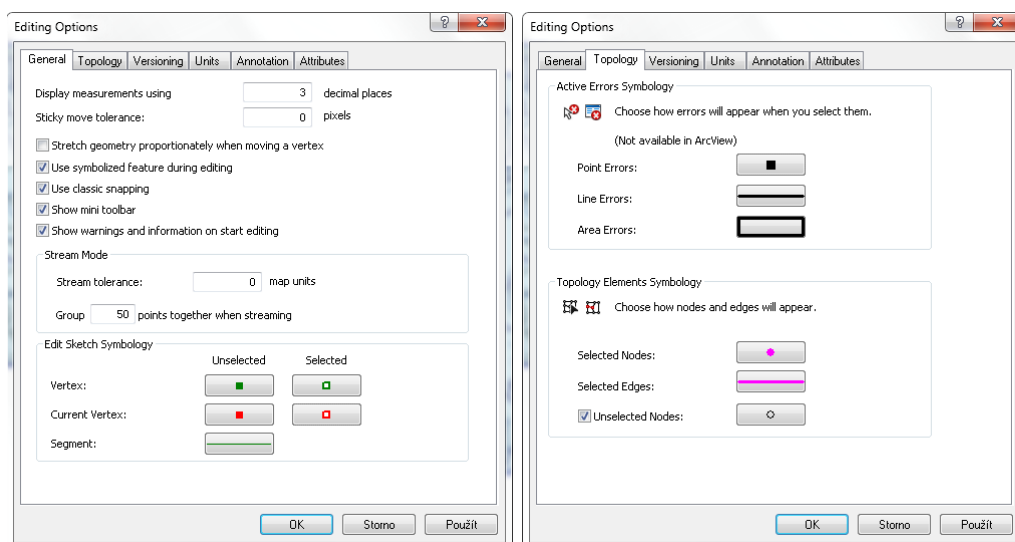
6.3 Odstranění chyb pomocí editačních nástrojů

Při používání editačních nástrojů je nutné správné nastavení přichytávání *Editor* – *Snapping* – *Snapping window*. Pro přichytávání byly zvoleny topologické body – *Topology Nodes*. Pokud se nezobrazuje Snapping Window, musí být v nastavení editací v záložce *General* zaškrtnuto *use classic snapping*.



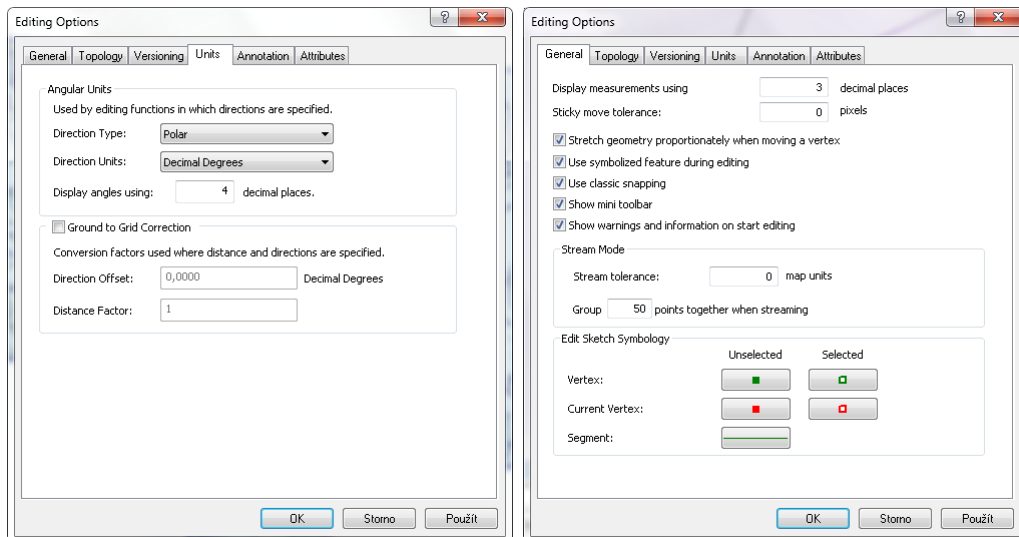
Obr. 6.21: Přichytávání.

V některých případech je výhodné zapnout zobrazení nevybraných bodů – *Unselected Nodes*.



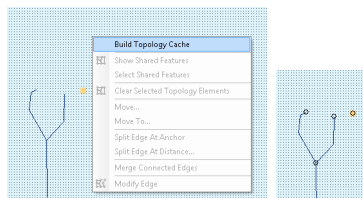
Obr. 6.22: Nastavení editací.

Dále byly nastaveny jednotky na stupně, směr polární. Zapnutí funkce *Stretch geometry proportionately, when moving vertex* bývá použito pro pružnou geometrii úměrně při posouvání vrcholu.



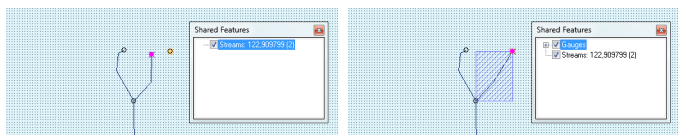
Obr. 6.23: Nastavení editací II.

Funkcí Topology Edit Tool  a pravým tlačítkem myši se objeví jako jediná aktivní možnost *Build Topology Cache*. Tato funkce zobrazí všechny vztahy v datech v běžném mapovém rozsahu, všechny body a hrany.



Obr. 6.24: Build Topology Cache.

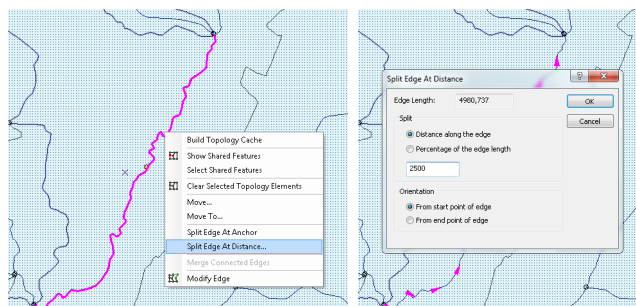
Pomocí funkce *Show Shared Feature*  jsou ověřeny vztahy. Vybraný bod byl tahem přesunut a přichycen na jiný bod. Při novém ověření vztahů se vztahy změnily.



Obr. 6.25: Zobrazení vztahů.

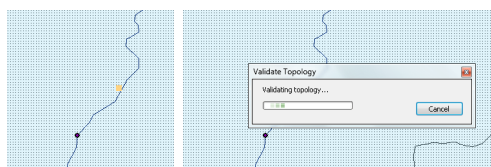
Některé chyby mohou být odstraněny pomocí rozdělení hrany a vytvořením pomocného bodu. Nejprve byla vybrána hrana , pravým tlačítkem myši v menu vybráno

Split Edge As Distance, nastavena vzdálenost, kde má být hrana rozdělena, a zda od počátečního, nebo od koncového bodu. Potvrzením vznikne pomocný bod.



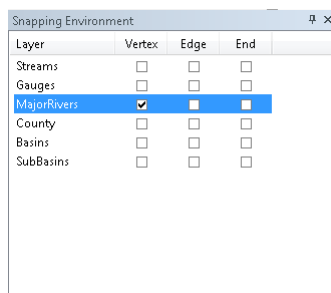
Obr. 6.26: Rozdělení hrany podle vzdálenosti.

Editovaný bod byl přemístěn a přichycen na pomocný bod. Po provedení validace  byla tato chyba odstraněna.



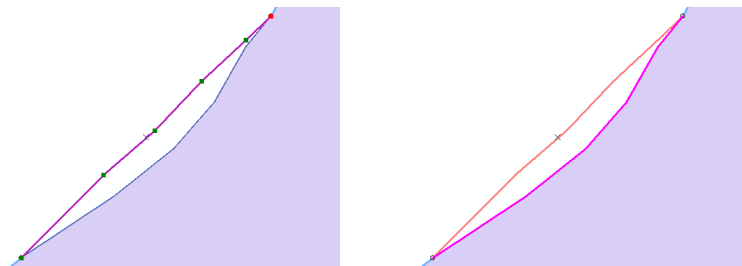
Obr. 6.27: Odstranění chyby.

Pro některé editace je nutné nastavit přichytávání na vrcholy jiné vrstvy. Editor – Snapping – Snapping Window.



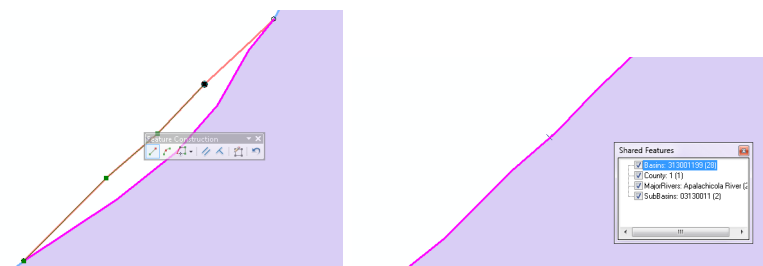
Obr. 6.28: Přichytávání II.

Další možností opravy je změna tvaru hrany. Dvojklikem  na hranu, ke které bude opravená hrana přichycena. Následuje jednoduchý klik na hranu, jež má být editována.



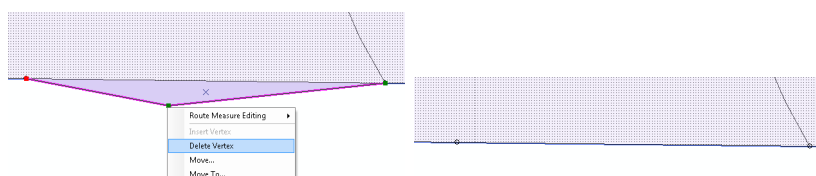
Obr. 6.29: Výběr hrany.

Reshape Edge Tool  pozorným okopírováním, přichytáváním na hranu a na její vrcholy byla nakreslena nová podoba opravované hrany. Po ukončení náčrtu má hrana změněný tvar.



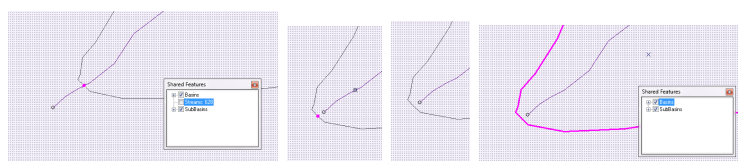
Obr. 6.30: Změna tvaru hrany.

Hrany lze opravovat i umazáním vrcholů – *Delete Vertex*.



Obr. 6.31: Umazání vrcholu.

Při editaci je možné nastavit jen některé topologické vztahy.  je vybrán element,  jsou zobrazeny všechny vztahy. Ty, které nemají být změněny, mohou být neodškrtnuty. Jak je vidět na obrázku, bylo posunuto pouze se dvěma aktivními vrstvami.



Obr. 6.32: Výběr vrstev.

Závěr

Obsahem této práce je seznámení se základními pojmy teorie grafů, jako jsou vrcholy a hrany, jejich orientace a způsoby ukládání. Topologie a topologické vztahy jsou pomocí těchto pojmů definovány. Práce také zahrnuje možnosti ukládání prostorových dat do různých modelů a struktur. Z datových modelů byl nejvíce popsán topologický model, který je nejpoužívanější pro svůj potenciál. Špagetový model je zmíněn z hlediska historického, v dnešní době není využíván. Dále byl uveden hierarchický model jen okrajově z důvodu, že se v jiné literatuře převážně nevyskytuje vůbec. Tyto modely jsou uloženy ve zmíněných strukturách. Nejpoužívanější je NAA struktura, ostatní jsou uvedeny pro přehled a znázornění rozlišnosti jednotlivých struktur.

V kapitole topologických pravidel jsou uvedena i ta pravidla, která se nevyskytují na plakátech vydávaných společností ESRI, ale jsou v nabídce pro výběr pravidel v softwaru ArcMap 10. U každého pravidla je obrázkem znázorněno, jak vypadá před a po zvýraznění chyby.

Dále byla popsána práce s topologií v ArcMap 10 a založení v ArcCatalog 10. Postup byl vypracován na základě absolvování webových kurzů od společnosti ESRI, jak je uvedeno v seznamu použitých zdrojů. Tyto kurzy byly pro práci největším přínosem.

Použité zdroje

- [1] ARCDATA. *Topologická pravidla v geodatabázi ArcGIS* [online]. [cit.2010-11-10]. Dostupné z WWW:
<<http://download.arcdata.cz/doc/TopologiePlakat.pdf>>.
- [2] ARONOFF, S. *Geographic Information Systems: A Management Perspective*. WDL Publications, 1995, 294 s. ISBN 0-921804-91-1.
- [3] BOLSTAD, P. *GIS: Fundamentals*. Atlas Books, 2008, 620 s. ISBN 978-0-9717647-2-9.
- [4] DEMEL, J. *Grafy a jejich aplikace*. Praha: Academia věd České republiky, 2002, 257 s. ISBN 80-200-0990-6.
- [5] LONGLEY, P. A. a spol. *Geographic Informatic Systems And Science*. Wiley, 2007, 517 s. ISBN 978-0470-87001-3.
- [6] ESRI. *Working with Map Topology in ArcGIS* [online]. [cit.2011-24-04]. Po registraci dostupné z WWW:
<http://training.esri.com/Courses/wc_MapTopology>.
- [7] ESRI *Creating and Editing Geodatabase Topology with ArcGIS Desktop (for ArcEditor and ArcInfo)* [online]. [cit.2011-28-04]. Po registraci dostupné z WWW: <<http://training.esri.com/Courses/Topology>>.
- [8] CHVALINA, J. *Obecná topologie*. Brno: Rektorát UJEP, 1984, 193 s.
- [9] JANEČKA, K. *Modelování konzistentní báze geodat na úrovni datového modelu katastru nemovitostí* : disertační práce. Plzeň: ZČU Fakulta aplikovaných věd, 2009, 172s.
- [10] KLIMEŠ, L. *Slovník cizích slov*. Praha: SPN, 1998, 862 s. ISBN 80-04-26710-6.
- [11] KOLÁŘ, J. *Geografické informační systémy 10*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997, 149 s.

- [12] TUČEK, J. *GIS: Principy a praxe*. Praha: Computer Press, 1998, 424 s.
ISBN 80-7226-091-X.
- [13] VESELÝ, M. *TopoXML: Výměnný formát topologie vektorových dat* : disertační práce. Brno: MU Přírodovědecká fakulta, 2007, 151s.

Seznam obrázků

2.1	Matice sousednosti převzato z [4].	11
4.1	Spaghetti struktura převzato z [13].	18
4.2	Chain Node struktura převzato z [13].	19
4.3	Planar Graph struktura převzato z [13].	19
4.4	NAA struktura převzato z [13].	20
4.5	NAA struktura převzato z [13].	21
4.6	DCEL struktura převzato z [13].	21
4.7	Winged Edge struktura převzato z [13].	22
5.1	Ukázka I.	23
5.2	Ukázka II.	23
5.3	Ukázka III.	24
5.4	Ukázka IV.	24
5.5	Ukázka V.	24
5.6	Ukázka VI.	25
5.7	Ukázka VII.	25
5.8	Ukázka VIII.	25
5.9	Ukázka IX.	26
5.10	Ukázka X.	26
5.11	Ukázka XI.	27
5.12	Ukázka XII.	27
5.13	Ukázka XIII.	27
5.14	Ukázka XIV.	28
5.15	Ukázka XV.	28
5.16	Ukázka XVI.	28
5.17	Ukázka XVII.	29
5.18	Ukázka XVIII.	29
5.19	Ukázka XIX.	30
5.20	Ukázka XX.	30
5.21	Ukázka XXI.	30

5.22 Ukázka XXII.	31
5.23 Ukázka XXIII.	31
5.24 Ukázka XXIV.	31
5.25 Ukázka XXV.	32
5.26 Ukázka XXVI.	32
5.27 Ukázka XXVII.	32
5.28 Ukázka XXVIII.	33
5.29 Ukázka XXIX.	33
5.30 Ukázka XXX.	33
5.31 Ukázka XXXI.	34
6.1 Vytvoření nové topologie.	35
6.2 Průvodce.	35
6.3 Výběr a shrnutí vrstev.	36
6.4 Přidání pravidel	36
6.5 Výběr pravidla.	37
6.6 Souhrn.	37
6.7 Dialog validace.	37
6.8 Not Validated.	38
6.9 Validace	38
6.10 Validated – Error Exist.	39
6.11 Vlastnosti vytvořené topologie.	39
6.12 Panel editace.	40
6.13 Panel topologie.	40
6.14 Error Inspector.	40
6.15 Vlastnosti.	41
6.16 Označení výjimky.	41
6.17 Zjednodušení.	42
6.18 Vytvoření prvku.	42
6.19 Sloučení prvků.	43
6.20 Předdefinované opravy podle ESRI	44
6.21 Přichytávání.	45

6.22	Nastavení editací.	45
6.23	Nastavení editací II.	46
6.24	Build Topology Cache.	46
6.25	Zobrazení vztahů.	46
6.26	Rozdělení hrany podle vzdálenosti.	47
6.27	Odstranění chyby.	47
6.28	Přichytávání II.	47
6.29	Výběr hrany.	48
6.30	Změna tvaru hrany.	48
6.31	Umazání vrcholu.	48
6.32	Výběr vrstev.	48