

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta aplikovaných věd
Katedra matematiky

BAKALÁRSKÁ PRÁCE

3D model exteriéru Státního zámku Kozel

Autor:

Radan Šuba

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Karel Jedlička

Plzeň 2010

Zadánípráce

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr bakalářského studia na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené odborné literatury a zdrojů informací.

V Plzni dne 2. června 2010

.....

Poděkování

Děkuji vedoucímu Ing. Karlu Jedličkovi za pomoc při zpracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat Karlu Bobkovi, kastelánovi a Ivanu Písaříkovi, zahradníkovi Státního zámku Kozel za vstřícné jednání a ochotu poskytnout mi další zdrojů informací.

Abstrakt

Práce je zaměřena na vytvoření podkladových dat pro 3D model exteriéru Státního zámku Kozel. Popisuje principy úpravy zdrojových dat, výběr optimálních metod, vlastní provedení prostorové harmonizace heterogenních vstupních dat a vytvoření 3D modelu. Do databáze památkové péče paGIS doplňuje podrobnější datové struktury. Dále je řešena vhodná úprava modelu pro 3D tisk.

K úpravám zdrojových dat, zpracování doměřených dat, vytvoření plošné reprezentace areálu a generování digitálního modelu reliéfu (reprezentovaného pomocí TIN) byl použit software společnosti ESRI.

Klíčová slova

Státní zámek Kozel, Ztotožňování hran, 3D model, 3D tisk

Abstract

Exterior data of the State Castle Kozel for 3D model are focuses in this thesis. Principles of source data editing, optimal method selection, space harmonization of entry data are provided. Creating of 3D model is described. More detailed data structures for spatial database paGIS are developed. The optimization of digital terrain model for 3D print is also solved.

The software of ESRI Company was used for matching, data optimization, processing and generating of digital terrain model (represented by TIN).

Keywords

State Castle Kozel, Edge-matching, 3D model, 3D print

Obsah

Seznamzkratk.....	7
1 Úvod.....	8
2 ZámekKozel.....	9
2.1 Zámeckýpark.....	9
3 Topologie.....	10
3.1 Základnípojmy.....	10
3.2 Využitítopologievgeografickýchinformačníchsystémech.....	11
4 Metodyztotožněnídvougeometrií.....	12
4.1 Metodyzaloženínavzdálenosti.....	12
4.2 Metodyzaloženínavlastnostech.....	13
4.3 Metodyzaloženínageometrickém tvaru.....	13
4.4 Shrnutí.....	14
5 Zdrojovádata.....	14
5.1 Geodetickézaměření(Češka).....	14
5.2 Ortofoto.....	15
5.3 Datazpasportizacezeleně(SAFETREES).....	15
5.4 Doměření(Šuba).....	15
6 Zpracovánídat.....	16
6.1 Topologie.....	16
6.2 Úpravavrstvezeleně.....	18
6.2.1 Spojenívstupníchdatatributyimport.....	18
6.2.2 Úpravadat.....	18
7 Geografickádatová bázeStátníhoZámkuKozel.....	21
7.1 Datovýmodel.....	21
7.1.1 PamátkovýGIS(paGIS).....	22
7.1.2 Požadavkynadatovýmodel.....	22
7.1.3 Základníspecifikacedatabáze.....	23
7.1.4 Strukturadatového modelu.....	23
8 3Dtisk.....	23
8.1 Inkjet3Dprinting.....	24
8.1.1 Principtisku.....	24
8.1.2 Barvaatextura.....	24
8.1.3 Technickáspecifika3Dtiskárny.....	25
9 Tvorba3Dmodeluzámeckéhoareálu.....	26
9.1 Nedostatkymodelu.....	26

9.1.1	Falešné spočítání.....	27
9.1.2	Vodní toky.....	28
9.1.3	Budovy.....	29
9.1.4	Komunikace.....	29
10	Závěr.....	32
Použitá literatura:.....		33
Příloha A:	Plán zámeckého areálu z roku 1872.....	35
Příloha B:	Technická zpráva.....	36
Příloha C:	Logický datový model databáze.....	40
Příloha D:	Ukázka plošné reprezentace areálu.....	41
Příloha E:	Obsah přiloženého DVD.....	42

Seznamzkratk

DMR	–Digitálnímodelreliéfu
ESRI	–EnvironmentalSystemsResearchInstitute
GIS	–Geografickéinformační systémy
GPS	–Globalpositioningsystem
NPÚ	–Národnípamátkovýústav
paGIS	–GISpamátkověchráněnýchúzemíanemovitýchkulturníchpamátek
RTK	–Realtimekinematic
S-JTSK	–Systémjednotnétriangulační síťěkatastrální
TIN	–Triangulatedirregularnetwork

1 Úvod

Státní zámek Kozel je významná chráněná kulturní památka na území České republiky. Je jedinečnou klasicistní stavbou a ojedinelou ukázkou způsobu feudálního života na konci 18. stol. Zachoval si téměř nezměněný sloh budov, který se v tak čisté podobě vyskytuje v Čechách jen sporadicky. Neméně důležitý je i původní zámecký park, který Kozel obklopuje celou jeho jedinečnost dotváří.

Jednou z nejdůležitějších součástí ochrany státních kulturních památek je podrobná evidence nemovitého i movitého majetku. Prostorová evidence se provádí formou podrobné geografické databáze. V předchozích diplomových pracích byla řešena evidence budov se zaměřením na interiéry.

Pro evidenci areálu jako celku je nezbytné stejným způsobem zpracovat i exteriéry. Dosud shromážděná data pro exteriéry nejsou homogenní. Část dat je geometricky přesná (zpracoval Ing. Češka), ale málo podrobná. Data pocházející od společnosti SAFETREES, s.r.o. jsou velmi podrobná, ale geometricky deformovaná a tedy nepřesná.

Hlavním cílem práce je vytvoření 3D modelu areálu v souladu s datovými modely navrženými v předchozích pracích (podle paGIS). Nezbytnou podmínkou je nalezení vhodné metody pro harmonizaci vstupních dat a její pomoc při úpravě dat do formy vhodné pro tvorbu věrného 3D modelu exteriérů.

2 Zámek Kozel

Zámek Kozel je situován čtrnáct kilometrů jihovýchodně od Plzně na pravém břehu řeky Úslavy v malebném výběžku brdských hvozdů. Následující informace uvedené v kapitole 2 jsem čerpal z prací (Hofmann, 1960), (Knoflíček, 1975), (Drhovský, 1981) a (Státní zámek Kozel).

Kozel je nejnavštěvovanější památkový objekt v západních Čechách. Za svůj název vděčí podle pověsti starému pohanskému zvyku Slovanů. Právě v těchto místech v době rovnodennosti obětovali na smířeni bohu úrodnosti a jiným božstvům obiliny a ovoce.

Mohly z druhého tisíciletí před n. l. a bohaté archeologické nálezy dokazují, že místo bylo osídleno už před říčoděmslovanskými kmeny. Důvodem osídlení byla výhodná poloha nad řekou Úslavou, která zajišťovala dostatečnou bezpečnost. (Batěk, 1967)

Zámek samotný byl vystavěn v letech 1784–1789. Stavbu objednal nejvyšší dvůr Království Českého Jan Vojtěch Černín pro reprezentaci své vysoké státní funkce jako obytné a řízení majetku a hosty pravidelně po řádných lovech v blízkých lesích.

Autorem projektu byl celkem neznámý pražský stavitel Václav Haberditz. V polovině devadesátých let 18. stol. pražský architekt italského původu Jan Ignác Nepomuk Palliardi doplnil areál o stavby kaple, jízdárny, lokajny a sádky. Zámek kromě drobných změn a přeměn stáje v domácké divadlo. V roce 1832 již podobně změnil. Vznikl tak soubor budov se vzácně čistou a působivou klasicistní architekturou nedotčenou pozdějšími restauracemi.

Zámek je klasicistní stavbou, která nás nemá obdivovat. Z architektonického hlediska se jedná o čtyřkřídlou, uzavřenou budovu kolem téměř čtvercového nádvoří, oživeného bazénem uprostřed. Patrný je francouzský vliv období Ludvíka XVI.

Po smrti Jana Vojtěcha Černína v roce 1816 přešel zámek i spanstvím do majetku prasynovce hraběte Kristiána Vincence Valdštejn-Vartenberka. Kozel jako lovecký zámek a venkovské sídlo sloužil Valdštejnům až do konce druhé světové války. Poté přešel do majetku státu.

Mezi majiteli zámku je zajímavé připomenout Arnošta Valdštejna, který byl majitelem železáren v nedalekém Sedlci, ale především založil v roce 1859 v Plzni Valdštejnské strojírny s 68 dělníky. O 10 let později je od koupil tamní zámeštnanec Emil Škoda a postupně z nich vybudoval největší strojírenský podnik na českém území Rakouska-Uherska.

2.1 Zámecký park

Okolí zámku tvoří rozsáhlý čtyřicetihektarový přírodně krajinný park. Vznikl postupně od druhé poloviny 19. století úpravami původního lesa bažantnice a obory. V 70. letech 19. století byl původní francouzský park přebudován na velkolepý park anglického stylu. Byl dílem S. X. France. Park připomíná v některých detailech vídeňský Schönbrunn, kde Francouzská vojevůdčí zůstala.

Franc plasticky modeloval terén kolem zámku a na nádvoří. Nový park začal budovat asi kilometr od zámku za rybníkem v části bývalé obory. Romantický charakter parku dotvářel kaskádami z potůčků, březovými mosty a altány. Do prostoru nového parku vysadil přes 6000 stromů, z toho již 300 vzrostlých. Tím byl architektonický vývoj zámku a jeho okolí dovršen a zachován dodnes.

Kostru parku tvoří domácí lípy a duby ve střední a úvodní části, na niž v pozdější době navazovaly výsadby exotických a šlechtěných rostlin. Největší hodnotou parku, vedle jeho

dendrologického bohatství, je jeho výšková členitost a mistrovské využití této topografie měkkou modelací terénu a četnými průhledy parkem i do krajiny, kterými se park rozšiřuje o celý obzor. (Drhovský, 1981)

Dle zdroje (Drhovský, 1981) byl v 70. letech zpracován program na tvorbu a údržbu, podle kterého se park přestavoval v rámci tehdejších správních hranic, kterými byl vykrojen z lesního komplexu. Centrální a úvodní část parku byla ponechána v původním stavu. Květinové a ružové výsadby v trávnicích a stříhané dřeviny byly nahrazeny souvislou výsadbou volně rostoucích, většinou stále zelených keřů. Park byl doplněn postupně vělkou kolekcí sbírkových dřevin, z kterých byla vytvořena charakteristická zákoutí a celé prostory, vždy však přirozeně pod řízenou celkovou kompozici. Romantický charakter byl doplněn obnovou drobné zahradní architektury dřevěných zedřev (altánky a mosty).

V parku roste řada vzácných stromů z celého světa. Mezi nejpozoruhodnější patří tuje obrovská před konírnou. Raritou je lyrovník čili liliovník tulipánokvětý před jízdárnou. Vyznačuje se velkými zelenožlutými květy podobné tulipánům. Pochází z hornatého tichomořského pobřeží Severní Ameriky a východního pobřeží Číny.

Podrobný dendrologický přehled exotických kultivarů je uveden v (Drhovský, 1981). Z domácích dřevin se v většině hodnotných stromů nalézají nejstarší části parku kolem zámku a ve svahu nad rybníkem. Jsou to především smrk ztepilý, lípa malolistá a velkolistá, dub zimní, habr obecný, javor mléčiči klen, olše lepkavá. Nejstarším stromem v parku je mohutný dub letní v údolí pod kaskádou rybníčků. Za členění těchto zajímavostí do geodatabáze je popsáno v kapitole 7.

Pozn.: Vzhled velikost parku nám ukazuje Příloha A: Plán zámeckého areálu z roku 1872.

3 Topologie

Přivytváření 3D modelů je kritickým faktorem správná návaznost mezi jednotlivými geografickými prvky. V případě, že tato návaznost není dodržena, dochází k chybnému zobrazení a následné operace poskytují nevhodné výsledky. K vyhledávání a odstranění těchto chybných dat se používá matematického oboru – *topologie*. Tato kapitola je pro tvůrce nových základních definicím, pojmů a mapříkladů využití topologie.

Topologie (z řeckého *topos* – místo a *logos* – studie) je odvětví matematiky, které se zabývá popisem geometrických tvarů a jejich vzájemnými vztahy. Studuje vlastnosti objektů, které se při různých deformacích nemění. (Pultr, 1982)

Pro topologii je důležitý vzájemný vztah objektů nikoliv jejich přesný geometrický tvar. Příkladem může být čtverec a kružnice. Oba objektymají různý tvar a velikost, ale mají stejné topologické vlastnosti:

- jsou dvou rozměrné
- dělí prostor na plochu uvnitř a vně

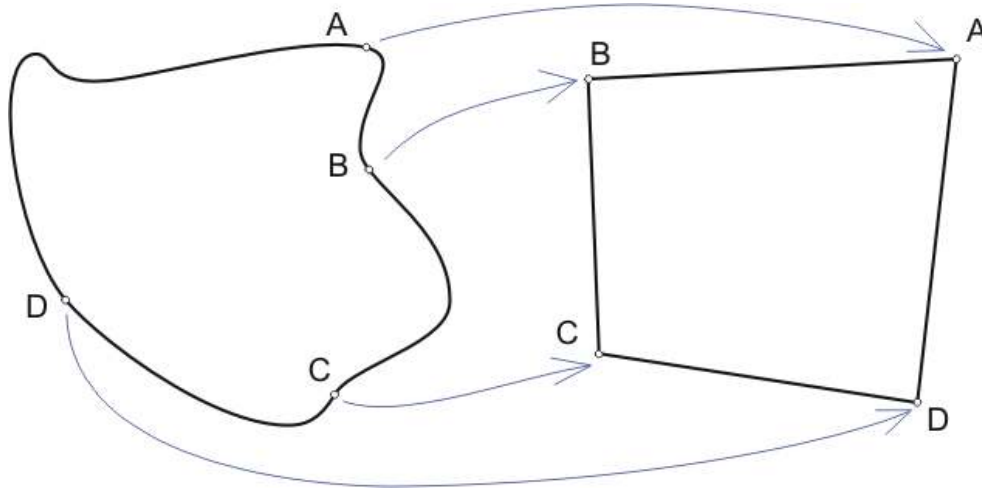
Můžeme tedy říct, že jsou topologicky ekvivalentní.

3.1 Základní pojmy

Topologické zobrazení

Topologické zobrazení je takové zobrazení, při kterém se nezachovávají úhly ani délky (viz obr. 1). Dochází při něm ke změně tvaru geometrických útvarů, což se označuje jako

topologická transformace (někdy se hovoří o topologické deformaci). Při topologické transformaci se zachovává příslušnost (incidence) bodů k hranicím a také uspořádání bodů na hranicích. Z toho vyplývá, že při topologické transformaci zůstává uzavřená křivka uzavřenou a neuzavřená se transformuje opět na neuzavřenou křivku. Také poloha bodu vzhledem k uzavřené křivce (tzn., zda je uvnitř, nebo vně křivky) se zachovává. Při topologické deformaci dochází pouze k deformaci tvarů, nikoliv však k přerušení nebo vytvoření nových hran. (Ullmann, 1983)



Obr. 1: Topologické zobrazení, přepracováno podle (Pultr, 1982)

Homeomorfismus

Intuitivně lze dojít k tomu, že dva prostory jsou topologicky ekvivalentní, když jeden z nich lze s různými deformacemi převezt na druhý bez dělení nebo spojování jejich hranic. (Ullmann, 1983)

Pod pojmem homeomorfní útvary si lze představit například kružnici, elipsu, čtverec nebo trojúhelník, které lze pomocí topologického zobrazení deformovat vzájemně mezi sebou (např. z kružnice lze deformacemi získat velmi jednoduše elipsu, ale také čtverec i trojúhelník). Samozřejmě jsou si ekvivalentní i různě velké útvary stejného typu (různě velké poloměry kružnice, nebo různě velké čtverce) (Ullmann, 1983).

3.2 Využití topologie v geografických informačních systémech

V geografických informačních systémech (dále jen GIS) jsou pro prostorová data používány převážně dva modely jejich reprezentace v digitální podobě – vektorový a rastrový. Topologie v rastrových modelech je definována implicitně (je jasné, kdo je čí soused). Oproti tomu u dat ve vektorových modelech není topologie jednoznačně definována (Jedlička et al., 2007). V následující kapitole se proto budeme zabývat pouze daty reprezentovanými vektorovým modelem.

VGIS nazýváme topologií proces kontroly souboru prvků – konceptů, pomocí kterého získáme informace o chybách, kde byla pravidla porušena. Opravou chyb získáme tzv. *topologicky čistá data*.

Topologicky čistá data jsou taková, která při opakovaném použití procesu kontroly již není třeba opravovat.

Čistota dat je rozhodující pro celé geografické datové báze. Je také nezbytná pro jakékoliv další analýzy.

Dle (Jedlička et al., 2007) se pro tvorbu topologicky čistých dat používají tyto základní topologické koncepty:

- konektivita – dvě linie se nasebenapojují v uzlech
- definice plochy – linie, které uzavírají nějakou plochu definují polygon
- sousednost (princip okřídlené hrany) – linie mají směr a nesou informaci o objektech napravo a nalevo od nich.

Dle (Baars et al., 2004) jsou v GIS využívány dva typy implementací topologie:

- *explicit topological structure* – je využíván v většině objektově-relačních databází (např. Oracle)
- *rule-based topological structure* – je používána firmou ESRI

Celá bakalářská práce využívá software od společnosti ESRI. Proto je pro nás druhý typ výstup podstatnější a bude dále stručně popsán.

ESRI Topologie

Základním rozdílem tvorby topologie v ESRI oproti ostatním systémům je, že se „uloží“ nekorektní (topologicky čistá) data. Následně je možné s nimi pracovat a dosáhnout topologické čistoty (ESRI, 2007 – About topology). V ostatních systémech (např. Oracle) je možné „uložit“ pouze korektní data.

ESRI topologie je definována sadou topologických pravidel. Topologická pravidla jsou vybrána na základě toho, které topologické vztahy jsou pro uživatele nejdůležitější a poté uložena v topologii. V dnešní době existuje 25 topologických pravidel, ze kterých si může uživatel vybrat potřebný počet pro jednotlivé prvkové třídy. Jejich výčet lze nalézt (ESRI, 2007 – Topology rules).

Proces kontroly (validation process) je proces zpracování dat, při kterém se pomocí softwarových nástrojů ověřuje platnost definovaných pravidel. Výstupem je seznam alokací chybných datových souborů.

4 Metody ztotožnění v geometrii

Základním problémem při vytváření vztahů v databázových celcích je, že i topologicky čistá zdrojová data z různých zdrojů mezi sebou nejsou kompatibilní („nepasují“). Odstraněním tohoto problému se provádí metodami *ztotožnění v geometrii*.

Existuje řada metod k provedení "ztotožnění" pro různé situace. Dle (Zhang, 1998) je lze rozdělit na tři základní skupiny:

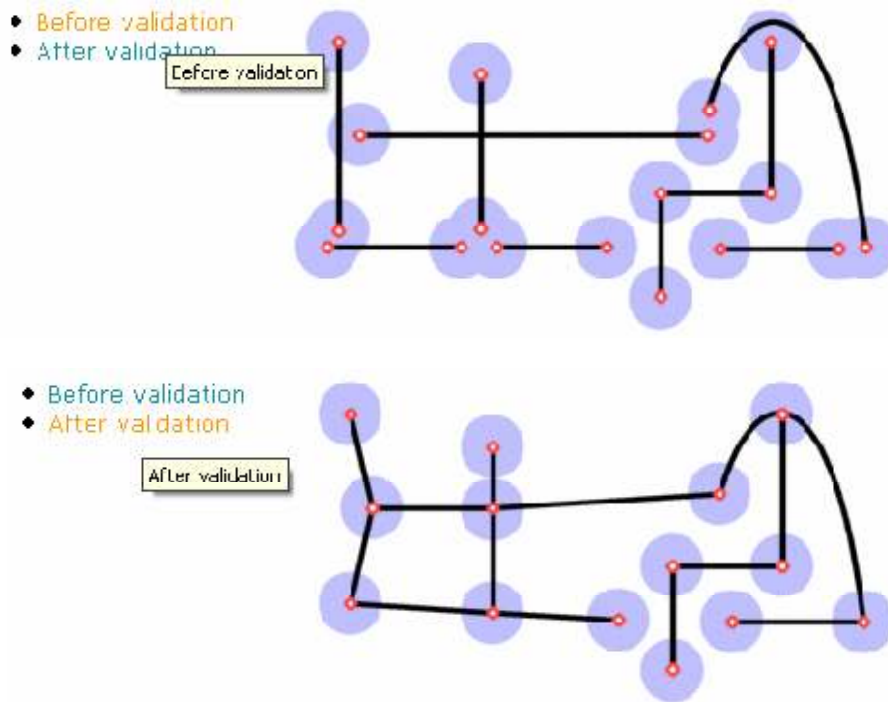
- Metody založené na vzdálenosti (distance-based)
- Metody založené na vlastnostech (Attribute-based)
- Metody založené na geometrickém tvaru (Geometric Feature-based metod)

4.1 Metody založené na vzdálenosti

Kritériem pro ztotožňování je vzdálenost. Pro každý prvek (resp. jeho lokální bod) zvolíme tzv. *práh*. Tj. kružnice se středem v bodě o zvoleném poloměru r . Jestliže koncový bod leží uvnitř prahu (kružnice), dojde ke ztotožnění (spojení) prvků.

Nejdůležitější na této metodě je volba prahové hodnoty (velikost kružnice). Jestliže zvolíme příliš malou hodnotu, nedojde ke spojení. Na druhou stranu příliš velké prahové hodnotě může dojít k nesprávnému pospojování a na prostém uzku k nesmyslnému výsledku.

V praxi je využívána tato metoda například u ESRI topologie u nástroje *Cluster tolerance*, viz. obr. 2. Rozdíl oproti teoretickému principu spočívá v tom, že prahovou hodnotu volíme pro celou vrstvu dat nikoliv pro jednotlivé body.



Obr. 2: Princip cluster tolerance - převzato z (ESRI, 2004)

Toto je základní metoda. Máme-li data z dalších formátů, můžeme použít další metody.

4.2 Metody založené na vlastnostech

Údaje uložené v atributech mohou být dalším vodítkem při ztotožňování geometrií. Silnice by měly být ztotožněny s silnicí, řeka s řekou apod. Při ztotožňování vrstevnic by měly být spojeny vrstevnice pouze s vrstevnicemi se stejnou výškou. Odpovídající kritérium zní: linie stejného atributu mohou být ztotožněny, pokud splňují kritérium metody založené na vzdálenosti.

Specifickým případem této metody je tzv. metoda zipu (zipping-metoda), která se využívá při sestavování sousedních mapových listů, více viz (Zhang, 1998)

4.3 Metody založené na geometrickém tvaru

Pro ztotožňování dat je možné využít metodu pracující s předpokládaným tvarem prvků. Každý geografický prvek (např. budova, řeka, vrstevnice atd.) má svůj přibližný geometrický tvar. Příkladem mohou být budovy, u kterých předpokládáme pravoúhlost. Tvar, který je považován za budovu bude ztotožňován s tvarem, který je též považován za budovu. Pro ztotožňování je tak využito vzdálenostní kritérium, informace z atributových vrstev a je pracováno s tvarem.

Dalším příkladem jsou ekologické vrstevnice. Některé vrstevnice jsou odděleny, některé se částečně překrývají a některé jsou zapleteny se sousedními vrstevnicemi. Vrstevnice jsou geografické prvky, které mají zvláštní geometrické vlastnosti, které můžeme použít jako kritéria pro ztotožňování:

- Všechny vrstevnice by měly být uzavřené nebo končeny na okraji mapového listu
- Jakékoliv vrstevnice by se neměly protínat

Podrobněji tento případ popisává (Zhang, 1998)

Metoda založená na geometrickém tvaru je spolehlivá, protože geometrické tvary prvků jsou stálé. Důležitým konceptem jsou problémy, které souvisí s chybami daty.

4.4 Shrnutí

Každá data, která chceme ztotožnit, jsou specifická a záleží jak na úvodu, tak na případném použití. Univerzální metoda ztotožnění neexistuje. Volba metody nebo jejich kombinací s sebou přináší různé problémy a závisí například na požadované přesnosti nebo užití výsledků. Ztotožnění se v současné době provádí v komerčních programech pomocí softwarových nástrojů. Pro správnou volbu parametrů a dosažení dobrých výsledků je znalost principů metod ztotožňování nezbytná.

Příkladem metody v programu ArcMap je nástroj Topologie. Uživatel volí jednotlivá topologická pravidla a nechá program, aby je aplikoval. Sám uživatel pouze kontroluje výsledky a rozhoduje o sporných případech.

5 Zdrojová data

V této kapitole jsou popsány jednotlivé části v geografické databázi Státního zámku Kozel. Součástí jejich popisů je informace o způsobu jejich vzniku.

Podle úvodu byla zdrojová data rozdělena do základních skupin:

- Geodetické zaměření
- Ortofoto
- Data z pasportizace zeleně
- Doměření

Všechny zdroje jsou součástí radnicového systému S-JTSK.

Jednotlivé vrstvy byly dříve v současné databázi uloženy jako *datové třídy (feature classes)*.

Základ tvořily výstupy z diplomové práce (Rauch, 2006). Jejím zpracovatelem vycházel zejména z měření, provedeného Geodetickou kanceláří Česka. Data byla zpracována pro správce zámku Kozel, pana Bobka (Rauch, 2006). Jednalo se o soubory formátu *.dwg používané v AutoCAD.

5.1 Geodetické zaměření (Česka)

POLOHOVIS

areal

Vrstva typu polygon.

ucelove_mereni

Databy latypupolyline.

budovy

Jedná se o polygonová data.

ZELEŇ

stromy

Bodová vrstva.

V této sekci zele Ň byla také v databázi založena vrstva **travníky**, ale nebyla naplněna daty.

VÝŠKOPIS

vrstevnice

Vrstva typupolyline. V atributové tabulce má jednotlivé linie hodnotu ovýšce (Elevation). Z této vrstvy byla vytvo řena anotace (annotation) **vrstevnice_vysky**.

5.2 Ortofoto

Použitý ortofotosnímek zobrazuje areál zámku. 1 pixel ortofota odpovídá 10 cm v skute čnosti. Nebyl uložen v databázi.

5.3 Data z pasportizace zelen ě (SAFETREES)

Firma SAFETREES, s. r. o. provád ěla pasportizaci zelen ě v rámci Projektu pé ěe o stromy v areálu v roce 2008. Její nam ěřená a zjišt ěná data byla použita pro dopln ění biogenních prvků v databázi.

Databy latet řech souborech:

- Bodová vrstva, znázorn ění dřevin v areálu, vegeta čních bodových prvků a technických bodových prvků (lavi čky, rozcestníky, ajiné). Soubor ve formátu (*.shp).
- Plošná vrstva, obsahující travníky, vegeta ční a technické plošné prvky (*.shp).
- Atributová tabulka (*.xls).

Pro další využití dat bylo nutné importovat data do geodatabáze, propojit atributy s odpovídající geometrií prvků a nastavit sou řadnicový systém. Vzhledem k tomu, že veškeré polohově a geometricky určené prvky byly oproti geodetickému m ěření nerovnom ěrně posunuté (deformované), pravdě podobně použitím špatných podkladových dat, bylo třeba jejich geometrii ztožnit s polohově správným geodetickým m ěřením (viz kapitola 4). Postup opravy dat je popsán v kapitole 6.2 Úprava vrstev zelen ě.

5.4 Dom ěření (Šuba)

V roce 2008 prob ěhlo další geodetické m ěření, tentokrát v malém rozsahu. Jednalo se o rozší ření hranice areálu a úpravu Ňkolik prvků (brány a Ňkolik cest). Pro zpracování vrstvy **ucelove_mereni** bylo nam ěřeno nové m ěření z roku 2008 a použity prvky, které byly nov ě zaznamenány.

V Ňkolika m áloprípadech bylo třeba dom ěřit část areálu. Jednalo se o neudržované, zarostlé cesty nebo další části areálu, kde došlo k rozsáhlým stavebním zm ěnám. Tyto zm ěny nebyly

patrné zortofoto a nebyly obsaženy ani v geodetickém měření. Pro doměření podrobných bodů polohopisu byla použita metoda RTK¹. Byla zvolena především pro svou rychlost, v použití nebránila vegetace ani kolikacentimetrová přesnost byla dostatečná.

Výsledky byly použity pro aktualizaci a doplnění vrstvy **ucelove_mereni**. Technická zpráva měření je umístěna jako Příloha B: Technická zpráva.

6 Zpracování dat

Zdrojová data exteriérů byla z různých zdrojů a nestejnorodá. Následující kapitola proto popisuje úpravu zdrojových dat tak, aby bylo dosaženo jejich harmonizace. Pouze s takto upravenými daty je pak možné dosáhnout správné kompletní plošné reprezentace celého areálu. Správná plošná reprezentace je nezbytná pro vytvoření 3D modelu, evidenci exteriérů a další práce či analýzy. Příklad plošné reprezentace je uveden v Příloha D: Ukázka plošné reprezentace areálu.

Proveškeré úkony popsáné dále byly použity následující programové vybavení:

- ArcMap 9.3.1 (dále jen ArcMap)
- ArcCatalog 9.3.1 (dále jen ArcCatalog)

jedná se o software společnosti ESRI ArcGIS 9.3.1. Service Pack 1, licence: ArcInfo.

Po načtení dat bylo zjištěno, že se v geodatabázi vyskytují závažné chyby v geometrickém aplohovém měření vrstev zeleně a chyb v topologii.

Prvním krokem bylo doplnění atributu **pořizeno** všem vrstvám v geodatabázi a jeho naplnění. Důvodem byla jednoznačná identifikace všech prvků, v tomto případě z jakého zdroje pochází, a z toho vyplývající věrohodnost záznamu.

Dalším krokem byla úprava vrstev zeleně, tak aby odpovídaly datům z geodetického měření. Přesnost geodetických dat byla natolik vysoká, že je bylo možno označit za polohově geometricky bezchybná.

6.1 Topologie

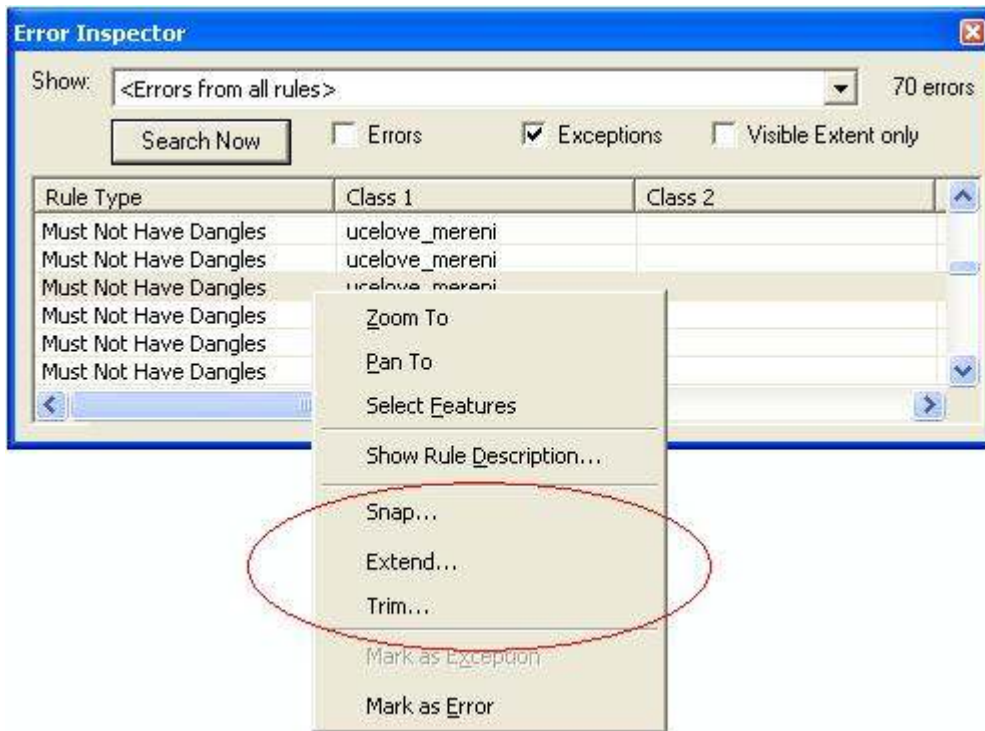
Všechna data z geodetického měření (vrstva **ucelove_mereni**) a ortofoto areálu byla brána jako referenční. Pro dosažení kompletní plošné reprezentace areálu je nezbytné, aby data dalších vrstev navazovala na data výchozí. Bylo proto potřeba upravit samotnou vrstvu **ucelove_mereni**, aby byla topologicky čistá, viz. kapitola 3.2.

Pomocí programu ArcCatalog byla definována nová topologie s těmito pravidly:

- **MustNotHaveADangles** – Obakoncové body linie se musí napojovat
- **MustNotIntersectOrTouchInterior** – Linie jedné vrstvy nesmí překrývat
- **MustNotHavePseudos** – Linie jedné vrstvy se nesmí užívat jako linie pouze koncovými body

¹ **Metoda RTK** – metoda určování polohy pomocí GPS. RTK (Real Time Kinematic) metoda přijímá korekce během měření v terénu v reálném čase. Pro přesné určení polohy musí metoda simultánně pracovat s dalším přijímačem GPS, který je umístěn na bodě o známých souřadnicích. Dosažitelná přesnost je řádově centimetrů (Řezníček, 2006)

Staktodefinovanými pravidly nastavenou tolerancí 1 na 6 cm se vyskytlo 526 topologických chyb. Většinou bylo možné automaticky odstranit pomocí nástroje *Error Inspector* v *ArcMap*. Pro odstranění chyb stačí v příslušném okně vybrat chybu a zadat příslušnou úpravu. Program úpravu automaticky vykoná. Příklad je uveden na obr. 3.

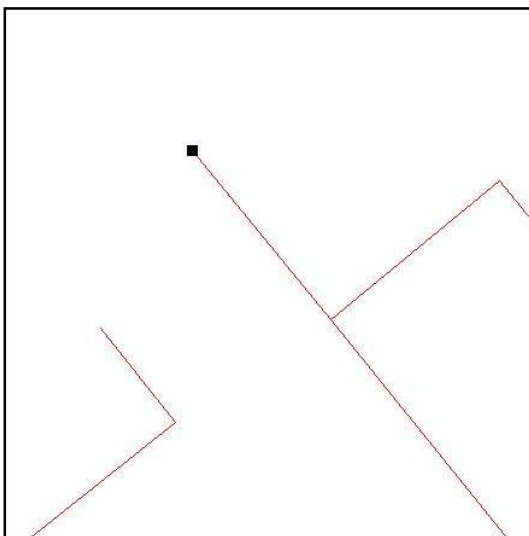


Obr. 3: *Error Inspector*, volba příslušné úpravy

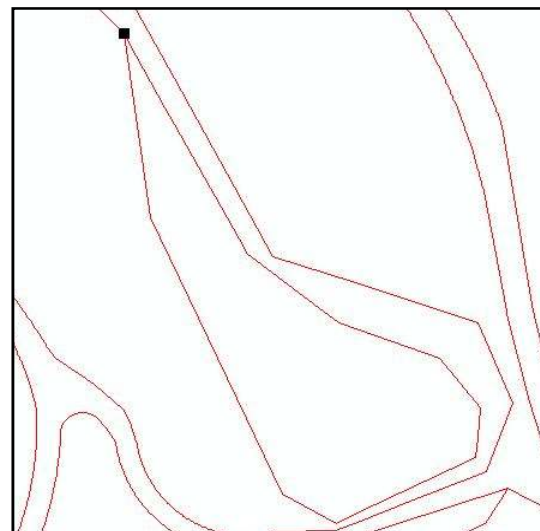
Případy, které nelze odstranit tímto způsobem, bylo nutné opatřit výjimkou (*Exception*).

Jednalo se:

- linie, které vedly samostatně,
- linie, které byly napojeny pouze jedním koncovým bodem, viz. obr. 4,
- linie, které byly uzavřené do smyčky, napojovaly se samy na sebe, viz. obr. 5.



Obr. 4: Příklad linie, která byla napojena pouze jedním bodem



Obr. 5: Příklad linie, která je uzavřená do smyčky

Případy označené jakovými jmény vzniklo šné reprezentaci jakne ovlivňují. Byly použity pro malé výčnělky či části, které při plošné reprezentaci areálu spadají do obecnější kategorie, například cesta.

Potato provedené přípravě bylo možné přejít vlastní úpravě vrstev zeleně.

6.2 Úprava vrstev zeleně

Vrstvy zeleně, data od společnosti SAFETREES, s.r.o. bylo nutné nejprve správně připojit k tabulce atributy, následovalo importování do geodatabáze. Nazároveň řešila řadu úprav, aby data odpovídala výchozí vrstvě účelové měření.

Přicelém procesu úprav bylo nutné zapnuté přichytávání (*snapping*).

6.2.1 Spojení vstupních dat atributy import

Bylo nutné propojit data tak, aby jednotlivé atributy odpovídaly daným prvkům (viz kapitola 5.3 Data z pasportizace zeleně). Standardním postupem v programu ArcCatalog nebylo možné data propojit. Ukázalo se, že příčinou byly nepovolené znaky u názvů vrstev a názvů jednotlivých atributů. Po přejmenování pomocí standardních znaků bylo připojení bez problémů. Následovalo nastavení souborů řadnicového systému.

Aby nebylo nutné, při každém spuštění připojovat tabulku, bylo potřeba exportovat vrstvu spřipojenou atributovou tabulkou jako novou vrstvu.

Následně byla tato vrstva importována do geodatabáze jako prvková třída (*feature class*).

6.2.2 Úprava dat

Při načtení dat zeleně bylo zjištěno, že jsou polohově deformovaná. Tyto deformace se obvykle dají opravit následujícími způsoby:

Globální transformace

Tzv. globální transformace nazýváme úpravu všech dat najednou jedním způsobem.

Výhody:

- Úprava všech prvků jednou celkovou transformací.
- Snížení času na získání správných dat.
- V případě chyby jsou všechny prvky ovlivněny stejně.

Nevýhody:

- Lze aplikovat, pouze pokud jsou data homogenně řešená.

Zásadní nevýhodou globální transformace je problém „napasování“ plošných prvků na linie účelového měření, prvek buď přesahuje nebo nekorresponduje s linií účelové měření (obr. 8). Veškeré plošné prvky byste jistě musely manuálně upravit.

V našem případě nebylo možné transformaci použít. Bylo zkušeno několik zkušebních transformací, i přestože bylo použito více než 10 identických bodů, rovnoměrně rozložených po celém areálu, se projevil deformace najiné části areálu.

Lokální transformace

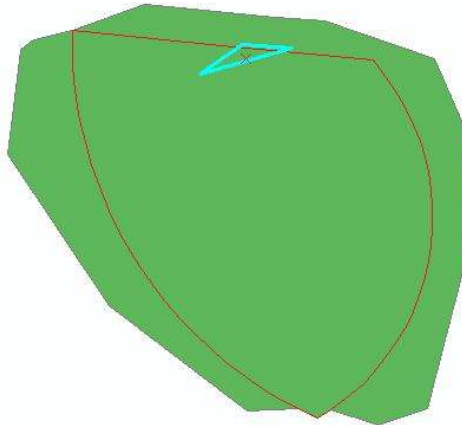
Další variantou byla pouze částečná, postupná transformace jednotlivých částí nebo prvků. Tedy zvolit několik identických bodů prvku pomocí nástroje *prostorové úpravy (Spatial*

Adjustment). Podle množství zvolených identických bodů lze zvolit způsob úpravy (*AdjustmentMethods*). V našem případě se obvykle použila metoda *Rubbersheet*². Její princip je znázorněn na obr. 7.

Manuální úprava

Většina prvků bylonutnéupravovatručně, zejména pak nepravidelné tvary.

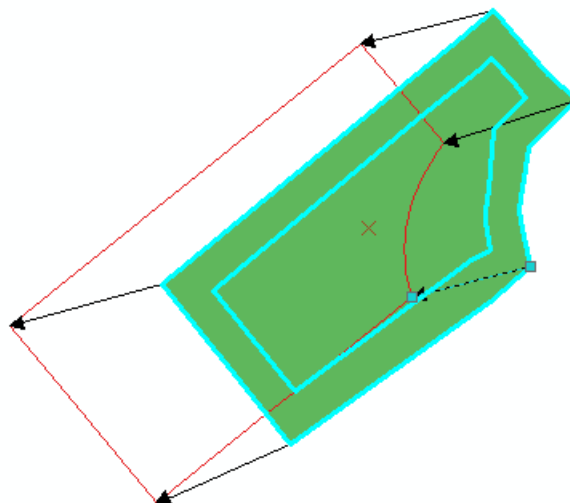
Nejprve bylo třeba ověřit, zda se prvky zeleně nepřekrývají. Pokud ano, bylo nutné menší prvek „vyříznout“ pomocí nástroje *ořez (clip)* (obr. 6), který se nachází v nabídce *Editor*.



Obr. 6: Oříznutí překrývajícího se polygonu nástrojem *Clip*. Červená linie je linie účelového měření

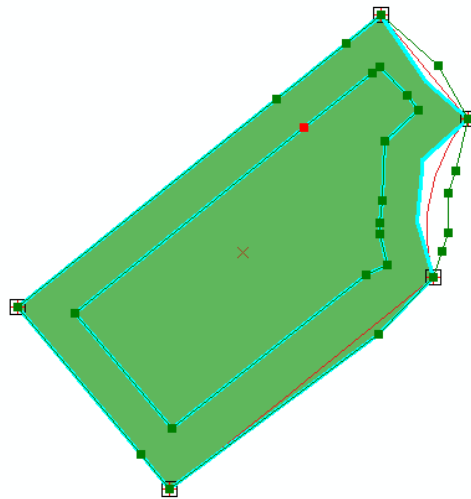
Následovalo „přemístění“ obou prvků na přesné místo dle účelového měření. Prvek musel přesahovat plochu ohraničenou linií účelového měření viz obr. 9. Následovalo oříznutí za použití nástroje *Construct Feature a* volby *split existing features in target layer using selection (rozdělit selekcí existující prvek v cílové vrstvě)*. Tím dojde k oříznutí prvku dle linie účelového měření.

Při úpravě zeleně se jako nejúčinnější ukázala metoda lokální transformace spojená s metodou manuální úpravy. Postup je též znázorněn na obr. 7, obr. 8, obr. 9.



Obr. 7: transformace pomocí *Rubbersheet*. Červená linie je linie účelového měření

² *Rubbersheet* – transformační metoda v programu ArcMap. Používá se pro provedení malých geometrických změn v datech, většinou pro vyrovnání prvků podle přesnějších informací. Tato metoda se většinou uplatňuje na uzavřené oblasti. (ESRI, 2007 – Setting up the spatial adjustment)



Obr. 8: Výsledek transformace. Dochází k řesahůmanedotah ůklinieů čelovéhóm ěření. Červenálinieje linieuceloveho_mereni



Obr. 9: Transformovanýprvekpomanuálníúprav ě. O řezpomocínástrojeConstructFeature

Úprava bodové vrstvy probíhala podstatně jednodušeji. P řesouvány byly pouze jednotlivé prvky na místa, která byla již zm ěřena v ů čelovém m ěření anebo byla umíst ěna dle ortofoto viz obr. 10.

V konkrétním p řípadě na obr. 10 byl evidentně špatně lokalizovaný prvek (červený bod – strom uprost řed cesty) p řesunut na místo p řesně zam ěřené p ři geodetickém m ěření (zelený bod)



Obr.10: Úprava bodové vrstvy stromů. (zelená – stromy zaměřeny geodeticky, červená – spatřené lokalizované stromy)

Závěrem této kapitoly je nutné uvést, že pro totožné údaje o stromech v ČR je dostupný datový zdroj ČSÚ a SAFETREES. Tyto údaje lze využít metodou popsanou v podkapitole 4.1 a 4.2.

7 Geografická datová báze Státního zámku Kozel

K reprezentaci objektů reálného světa v GIS lze použít geografická báze dat. Umožňuje organizování prostorových dat do tematických vrstev.

Tento druh databáze využívá například firma ESRI – formát ESRI Geodatabáze (dále jen geodatabáze). Konkrétněji se v tomto případě jedná o *objektově relační databázi*, podrobněji viz (Tuček, 1998). Geodatabáze ukládá a spravuje prostorová data ve standardních databázových tabulkách. Slouží pro společné ukládání prostorových a atributových dat a vyzobavení. Pro práci jsou používány nástroje programu ArcCatalog a ArcMap, více viz (Tuček, 1998).

V této kapitole je popsána struktura databáze Státního zámku Kozel resp. její části, které přímo souvisí s úpravami dat. Ostatní části databáze jsou podrobněji popsány v závěrečných pracích (Rauch, 2006) a (Luňák, 2009).

Data Státního zámku Kozel jsou uložena v datovém formátu *ESRI geodatabase* (Rauch, 2006). Geodatabáze byla navržena pouze pro interierní využití (Luňák, 2009).

7.1 Datový model

Návrh a realizace datového modelu byl obsahem práce (Luňák, 2009), proto čerpá další text převážně z tohoto zdroje.

Mezi hlavními požadavky na vyhotovení a zpracování struktury databáze byla kompatibilita s daty prostorové databáze paGIS spravované Národní památkovým ústavem, která je také uložena v geodatabázi.

7.1.1 PamátkovýGIS(paGIS)

PaGIS (GIS památkově chráněných území a nemovitých kulturních památek) je prostorová databáze vytvářená a spravovaná Národním památkovým ústavem (dále jen NPÚ). PaGIS je jednou ze základních částí Integrovaného informačního systému památkové péče (IISPP). Koncepce GIS NPÚ je založena na jednocentrické organizaci všech dat v centrální databázi.

7.1.2 Požadavky na datový model

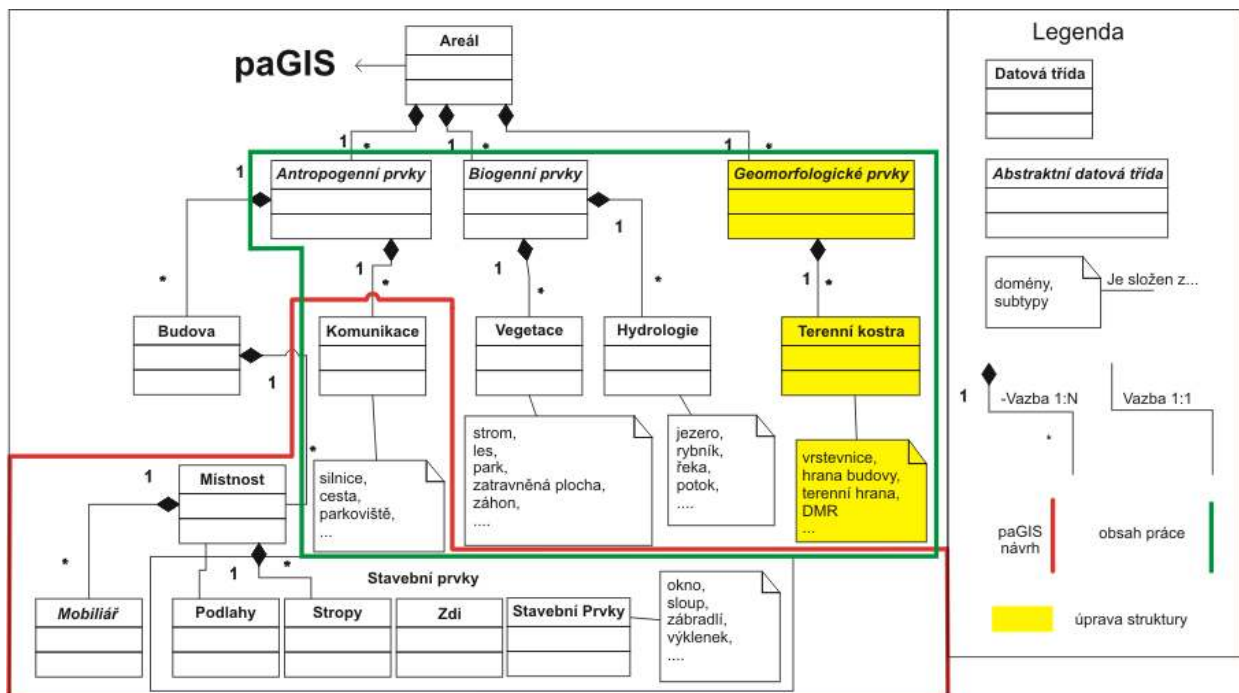
Dle práce (Luňák, 2009) bylo definováno několik požadavků, které měla geodatabáze splňovat. Pro účely bakalářské práce je však třeba zmínit především dvě podmínky:

- prostorová evidencemovitého i nemovitého kulturně chráněného majetku,
- otevřenost modelu – postupné rozšiřování více podrobná data.

Databáze byla především navržena tak, aby pojala prvky uvnitř budov. Prvky, které budovy obklopují, byly v její struktuře jen na stíněny, nikoliv však úplně řešeny.

Cílem navrženého 3D modelu bylo to, aby se zobrazilo nejen všechno antropogenní prvky (cesty, zdi atd.), ale i biogenní prvky (stromy, louky, atd.). Z těchto poznatků byl nejprve navržen obecný konceptuální model pro evidenci movitého a nemovitého majetku a okolních prvků v areálu Státního zámku Kozel, který je na obr. 11. Geodatabáze byla tvořena podle tohoto schématu. (Luňák, 2009)

Podmínka otevřenosti modelu geodatabáze pro další aktualizace datového modelu byla zajištěna umožněním rozšiřování nové prvkové třídy (vrstvy).



Obr.11: Konceptuální model. P řevzato a rozší řeno z (Luňák, 2009). Červená oblast – Data zpracovávaná v (Luňák, 2009). Zelená oblast – Data zpracovávaná v této práci. Žlutě vyzna čeno – rozší ření struktury v rámci této práce

7.1.3 Základní specifikace databáze

Všechny prvky v navrhnutém datovém modelu jsou rozděleny do logických tříd podle svého původu na antropogenní, biogenní prvky a geomorfologické prvky. Mezi antropogenní prvky patří všechny budovy, komunikace a jiné nespecifikované objekty vyrobené člověkem. Mezi biogenní oblasti lze zařadit všechny druhy vegetace (lesy, louky...) a vodní plochy. Pod geomorfologické prvky, vytvořené v této práci, jsou zařazeny objekty, které definují terén (vrstevnice, terénní hrany). V názvech prvkových tříd je rozlišováno, o jaký typ vrstvy se jedná (např. Obj_Voda, Obj_VodaL, Obj_VodaB). Více viz (Luňák, 2009)

7.1.4 Struktura datového modelu

Detailní navržená struktura (Luňák, 2009) je v Příloha C: Logický datový model databáze.

Data zpracovaná pro 3D model v kapitole 6 lze přivést do původní navržené struktury databáze (Luňák, 2009) pomocí nástroje *načíst (Load)*. Jednotlivé vrstvy budou převedeny do prvkových tříd. Jedná se zejména o abstraktní třídu *BiogenniPrvky*, do které patří veškeré druhy zeleně (louky, stromy...) a vodní objekty (vodní nádrže, říční toky...) (Luňák, 2009).

Původní navržená databáze (Luňák, 2009) je nutné doplnit o abstraktní třídu *GeomorfologickePrvky* a příslušné další datové třídy. Vyznačenou pravou částí obr. 11.

Další úpravy datového modelu přesahují rámec této práce, jeho zpracování proběhne v navazující diplomové práci. Databáze jsou částí CD přiložených k této práci.

8 3D tisk

Při vytváření digitálního modelu terénu se naskytla příležitost využít technologii 3D tisku. Výstupem tisku je fyzický model zámeckého areálu, který bude využíván pro propagaci Státního zámku Kozel.

V další části této práce budou uvedeny základní informace o technologii 3D tisku tak, aby chom mohli definovat, jaký digitální model reliéfu vlastně potřebujeme a jaké má mít vlastnosti.

Trojrozměrný tisk vytváření trojrozměrných objektů používá speciální tiskárnu. Technologii 3D tisku je celá řada, ale většiny jsou založené na spékání prášku laserovým paprskem, vytvrzování fotopolymeru UV lampou nebo vyřezávání z plastu, všechny mají společnou podstatu v rozložení počítačového modelu do tenkých 2D vrstev, jejich vytištění a postupné sestavování modelu v pracovním prostoru tiskárny. 3D tisk je pouze jednou z metod *Rapid Prototypingu* a bývá popisován jako opak obrábění – materiálu při tvorbě výrobku totiž postupně přibývá. Využívání nachází vedle oblasti GIS také v architektuře, strojírenství, zdravotnictví, návrhářství, školství, archeologii a další. (Jančík, 2009)

Dle přeztatéhotextuzdroje (Jančík, 2009), jsou nejvíce používány tři metody 3D tisku:

- **SLS (Selective Laser Sintering)** – zapékání práškového materiálu laserovým paprskem, tloušťka vrstvy cca 0,1 mm, levný stavební materiál, většinou modely kompenzovaný vysokou provozovací cenou stroje. Oblast využití: neomezeno, ideální nasubtilní vzdušné struktury.
- **INKJET 3D PRINTING** – v tenké vrstvě nanášený prášek je spojován směsí inkoustu a pojiva, která je vytlačována z tiskových hlav, metoda je bezodpadová. Jako jediná umožňuje vyrobit plnobarevný 3D model, ten je křehčí a vyžaduje další povrchovou úpravu. Oblast využití: hmatové modely s menším množstvím detailů.

- LOM (Laminated Object Manufacturing) – každá vrstva je vyříznuta z plastu a plošně přilepena k vrstvě předchozí. Tloušťka vrstvy 0,165 mm, levný stavební materiál, velké množství odpadu. Oblast použití: hmotové modely, nevhodné pro velmi subtilní konstrukce, velmi kvalitní povrch a přesnost.
- FDM (Fused Deposition Modelling) – nanášení roztaveného materiálu v tenké vrstvě, použití dvou stavebních materiálů, modelovacího a podpůrného. Tloušťka vrstvy 0,25 mm, minimální odpad. Oblast využití: pevné, tvrdé a zároveň stálé mechanické modely bez požadavků na kvalitu povrchu.
- POLYJET MATRIX – tiskovými hlavami vytlačovaný fotopolymer je vytvářen pomocí UV lampy, použití dvou stavebních materiálů, modelovacího a podpůrného. Velmi kvalitní povrch modelů, tloušťka vrstvy 0,016 mm, omezená životnost stavebního materiálu cca 1 rok. Oblast využití: vhodné pro modely s vysokou mírou detailu.
- MJM (Multi-Jet Modeling) – Nanášení vrstev termopolymeru samostatně řízenými tryskami. Velký počet trysek zaručuje rychlé a rovnoměrné nanášení, materiál okamžitě tuhne. Nízké náklady, přesnost kolem 0,1 mm.
- SLA (Stereolitografie) – utváření vrstev ze zásobníku světlocitlivé pryskyřice UV světlem z laseru. Tato technologie umožňuje vyrobit model z pryskyřic elastických i pevných, imitujících termoplasty. Standardní přesnost je kolem 0,1 mm, může dosáhnout až 0,025 mm.

Model vytvořený v bakalářské práci byl tištěn metodou INKJET 3D PRINTING. Jedná se o metodu, kterou používá firma RUBEUS s.r.o., sektor autorná 3D modelu areálu zámku Kozelsko spolupracuje. Protobudeta metoda INKJET 3D PRINTING popsána podrobněji.

8.1 Inkjet 3D printing

Vstupním souborem pro 3D tisk je digitální 3D model, vytvořený v různých programech – od GIS po pokročilé grafické a animační programy. Nejčastěji se model k tisku předává ve formátech *STL (Stereolithography Tessellation Language)*, *VRML (Virtual Reality Modeling Language)* či *PLY (Polyfon File Format)*. (Jančík, 2009)

8.1.1 Princip tisku

Software dodávaný k tiskárně vytváří z 3D souboru několik set tenkých vrstev o tloušťce 0,089–0,203 mm. V první fázi přičesne rotující váleček vrstvu prášku na bázi sádky do pracovního prostoru a tisková hlava nanese tekuté lepidlo v horizontálním řezu vyráběného modelu. Na místech, kde dochází ke kontaktu lepidla s práškem, se vytváří viditelná část průřezu budoucího modelu. Ve druhé fázi se jede pracovní plocha o krok směrem dolů, čímž vytvoří prostor pro další vrstvu prášku. Tento postup se opakuje až do vytištění celého výrobku. Výhodou této technologie je skutečnost, že po celou dobu tisku je vyráběný díl podepírán okolním neslepeným práškem. Tento prášek je možno opakovaně recyklovat, což ve svém důsledku představuje velmi nízké provozní náklady této technologie. Následná infiltrace na bázi pryskyřice číkyanoakrylátu výrobu zpevní. (DIGIS, spol. s r.o., 2009)

8.1.2 Barva a textura

Základním materiálem do tiskárny je bílý prášek na bázi sádky. Běžné je u této technologie tisk v barevné hloubce 24 bitů. Tiskárna samotná tiskne podobně jako vylepšená inkoustová tiskárna, tedy přes čtyři tiskové hlavy – cyan, magenta, yellow a čtvrtá z nich je bezbarvá.

Namodeljemožnéumísti tsložitišjbarevnéinformacev podoběraastrovýchtextr,cožm ůže být vp řípadě tisku digiálního modelu reliéfu barevný ortofotosnímek. Výrobce uv ádí (Zcorporation) rozlišení 600 na 540 dpi, což kvalitou bohat ě sta čí na podání odpovídající informace.(Jan čík,2009)



Obr. 12: Model vytvořený pomocí 3D tisku

8.1.3 Technická specifikace 3D tiskárny

Firma Rubeus s.r.o. používá pro tisk přístroj 3D Printer Z 450 od společnosti Z Corporation. (Z Corporation)

Dle výrobce (Z Corporation) jsou technická specifikace:

- **Parametry tisku:** Rozlišení 600 x 540 dpi, min. průměr otvoru 1,4 mm, min. vyvýšení 0,25 mm, 24 bitové barvy, pracovní prostor 250 x 350 x 200 mm. Rozměrnější modely je možno skládat z více částí. Je také možné tisknout více modelů najednou. Modely lze před tiskem softwarově obarvit a pokrýt textem či texturou.
- **Podporované formáty :** STL, VRML, 3DS, ZPR, PLY, SFX (což jsou výstupy většiny grafických aplikací, např. 3D Studio, AutoCAD, Archicad, Catia, Form-Z, Ideas, Inventor, Lightwave, Maya, Rhinoceros, Blender, Solid Edge, Solid Works a další).
- **Parametry vytištěného modelu :** Pevnost tahu 9–24 MPa, pevnost tlaku 98 MPa, pevnost ohybu 33–43 MPa, tvrdost (dle Shore) 81–87 D, tepelná odolnost 112–115°C. Model lze po infiltraci dále upravovat - vrtat otvory i závit, povrchově obrábět, brousit, natírat galvanicky pokovovat.

9 Tvorba 3D modelu zámeckého areálu

Měřítko má rozhodující vliv na kvalitu digitálního modelu reliéfu (DMR) a jeho podrobnost. Na základě výpočtu rozměru modelu, jednotlivých jeho prvků a zkušebního tisku bylo rozhodnuto, že 3D tisk bude probíhat v měřítku 1:400.

Pro dostatečnou kvalitu fyzického modelu bylo nutné generovat 3D model pouze z prvků, které:

- nestojí samy v reálném světě (např.: solitérní zeď by byla příliš tenká)
- mají rozměry v osách minimálně 2x 2x2m (ve výtiskovém modelu odpovídá 5x5x5mm)
- jsou již dostatečně pevné pro 3D tisk. (malé části v modelu by nebyly dostatečně mechanicky pevné)

3D virtuální model byl vytvořen v prostředí ArcMap pomocí TIN³. S ohledem na dostupná data byl TIN tvořen ze zdrojových dat topografické liniové vrstvy vrstevnice, protože jako jediná vrstva obsahuje výšková data.

Zapomocí nastavení programu ArcMap, 3D Analyst (Create/Modify TIN—Create TIN from Feature) byl generován TIN z vrstevní mtonastavěním:

- liniová vrstva **vrstevnice** – triangulován jako bodové (mass points)
- polygonová vrstva **Obj_Objekt** – triangulován jako povinná plocha dané výšce (hard fill value)
- polygonová vrstva **Obj_Voda** – triangulován jako povinná plocha dané výšce (hard fill value)
- liniová vrstva **hrany_budov** – triangulován jako povinné lomové hrany (hard line)
- liniová vrstva **terenni_hranyD** – triangulován jako povinné lomové hrany (hard line)
- liniová vrstva **Obj_VodaL** – triangulován jako povinné lomové hrany (soft line)
- polygonová vrstva **Ochr_Uzemi** – triangulován jako ořezová plocha areálu (soft clip)

9.1 Nedostatky modelu

Ve vygenerovaném DMR reprezentovaného jako TIN se však projevil nedostatky, tj. místa kde je terén reprezentován nepřirozeně. Jeho důvodem je především nedostatečně jemný krok (ekvidistance) vrstevnic, z kterých byl model generován.

Pro odstranění nedostatků a zpřesnění DMR existuje několik metod. Je možné naměřit více výškových dat, použít různé interpolační metody, zahrnout do modelu další data apod. Pro DMR zámeckého areálu byla například přidána další data, povinné hrany. Například hřbetnic, údolnic a terénních hran (okraj budov nebo komunikace).

³ TIN (z anglického triangular irregular network). Reprezentuje nepravidelnou síť trojúhelníků. Sousední trojúhelníky nasebena navazují, mají společnou hranu, výsledný povrch je spojitý. Výhodou modelu je, že body (vrcholy trojúhelníku) mohou být rozmístěny s různou hustotou, více viz (Tuček, 1998).

Tyto hrany je třeba řídit jako 3D linie – například hrany v místech, kde je falešný spočinek⁴. V místech, kde hrany protínají vrstevnice, jsou generovány body. Následně pro Z-ové souřadnice bodů hrany je třeba řídit hodnoty výšky vrstevnice. Při generování TIN se zapojují tyto 3D linie (jako softlinie) a tím se eliminují nežádoucí „tvary“.

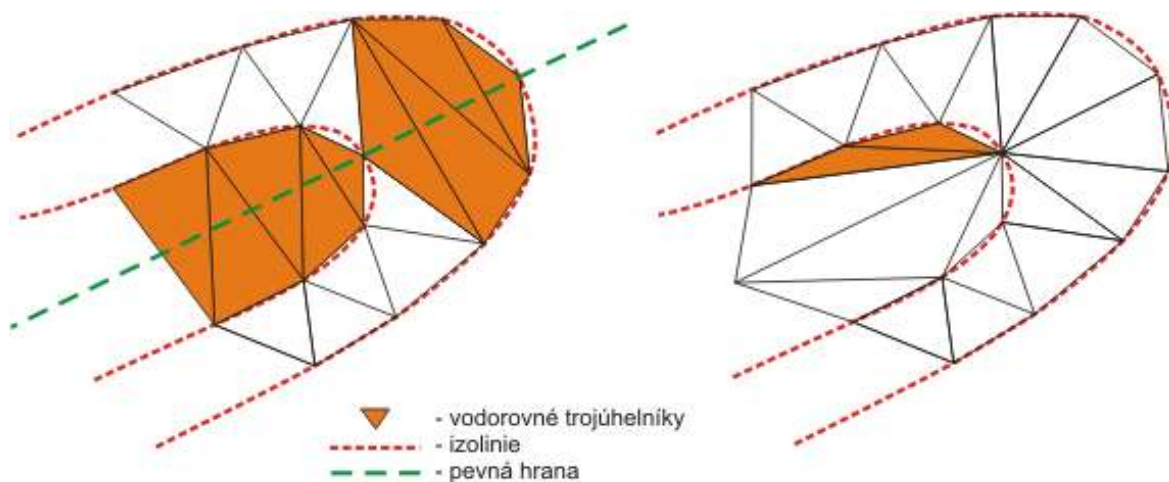
Metoda pro řízení povinných hran v prostředí ArcMap a ukázky algoritmu pro zpracování je obsahem práce (Řehák, 2008).

Při práci na modelu areálu se vyskytly čtyři druhy nedostatků, které musely být vyřešeny. Jednalo se o:

- falešné spočinky,
- vodní toky,
- zapuštění budov,
- komunikace.

9.1.1 Falešné spočinky

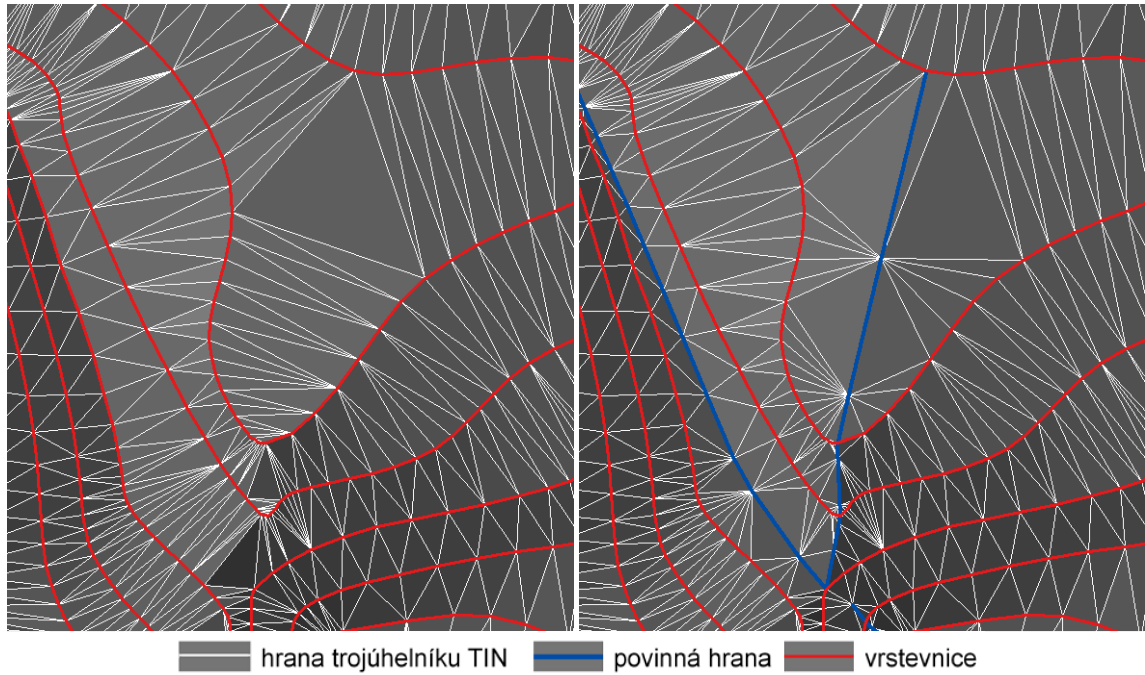
Přidáním kosterních hran, jako výškových určených linií, odstraníme většinu fiktivních (falešných) spočinků, které vznikají při generování TIN z vrstevnic. Za členěním kosterních hran dojde k redukci vodorovných trojúhelníků, a tím i k redukci falešných spočinků, jak je dokázáno na obr. 13. Proces pro řízení nové 3D linie – kosterní hrany je viditelný také na obrázcích obr. 14 a obr. 15.



Obr.13: Eliminace trojúhelníků po zavedení pevné hrany do TIN pro vztah a upravenou (Bezdek, 2007)

⁴Spočinek je část hřbetu vyvýšeniny, kde hrany nebo dolnice přechází do značně mírnějšího sklonu. Plocha spočinku je ve srovnání s celkovým průběhem svahového hřbetu podstatně méně skloněná, případně vodorovná. (Huml, 2000)

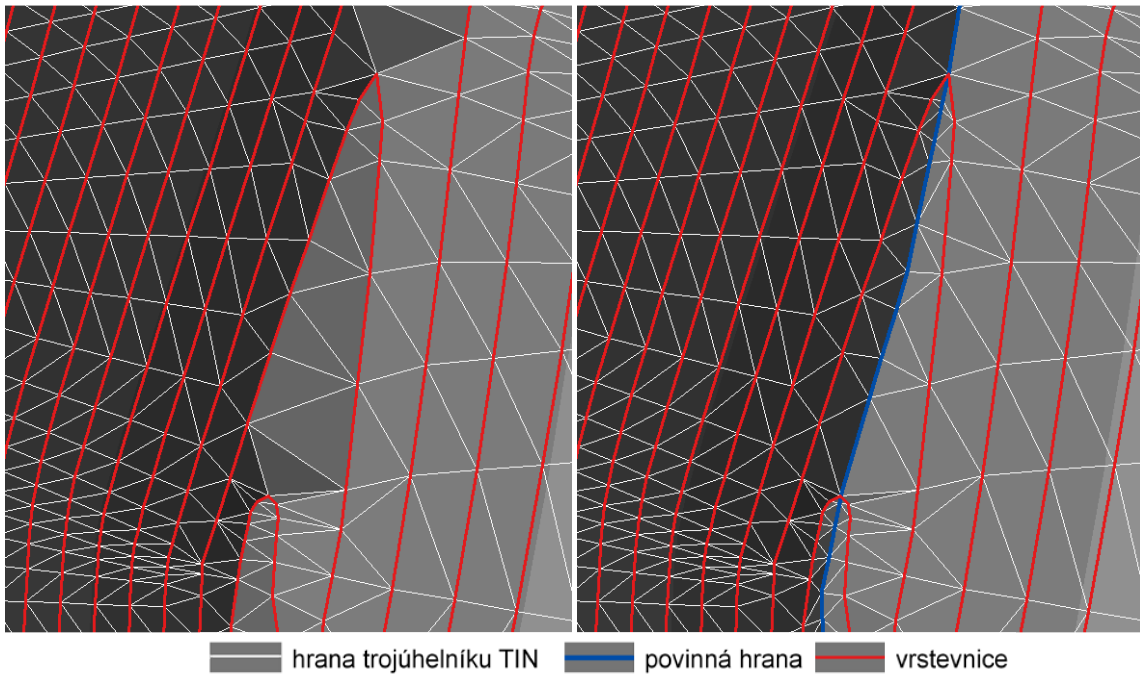
U fiktivních spočinků se jedná o spočinky v podobě vodorovných trojúhelníků, které mají vrcholy umístěné v nejvyšším bodě, když v terénu sklon existuje. (Huml, 2000)



Obr.14: Falešný způsob generování povinné hrany pomocí kosterní hrany

9.1.2 Vodnítoky

Další problém při modelování terénu areálu se ukázaly v místech, kde protékají vodnítoky. Stejnou metodou popsanou výše v kapitole 9.1.1 bylo možné tato špatně generovaná místa odstranit pomocí kosterní hrany, viz obr. 15.



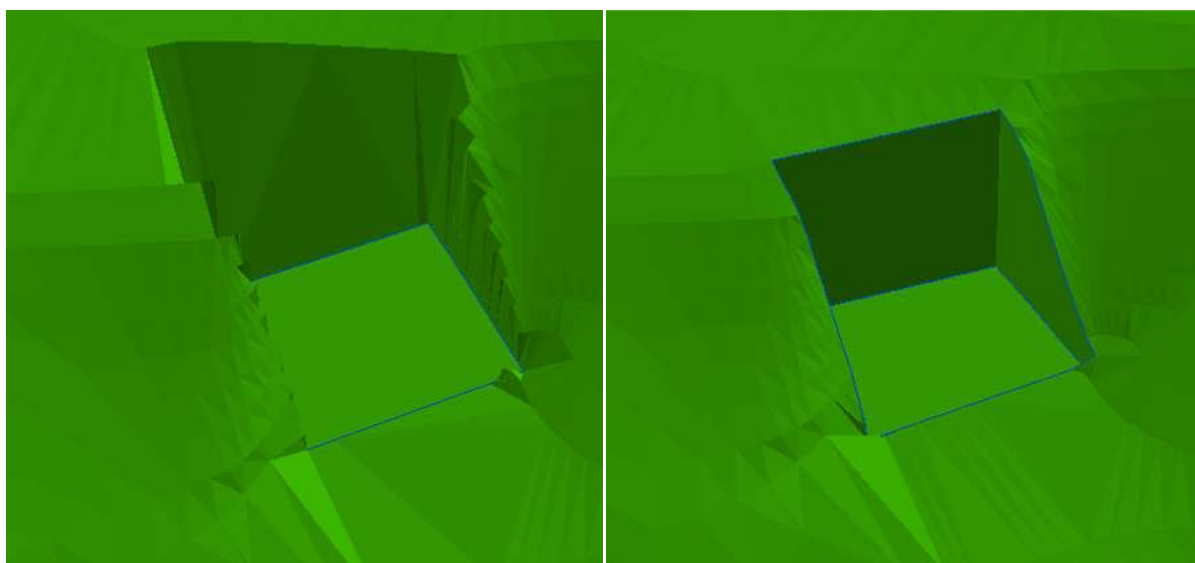
Obr.15: Špatně generovaný TIN v místech, kde protéká vodnítok. Odstranění povinné hrany pomocí kosterní hrany.

9.1.3 Budovy

Nejproblematičtějšími místy byly lokality, kde mají být umístěny modely budov. Taková místa jsou specifická tím, že musí být rovná, aby se na ně mohly dobře připevnit modely budov, které budou tištěny zvlášť. Bylo nutné upravit terén v okolí budovy tak, aby končil v „ostrém rozhraní“ s budovou. Po umístění budovy pak bude model vypadat přirozeně, viz obr.16.

Problém byl řešen pomocí terénní hrany plochy budovy o konstantní výšce. Plocha budovy definovala dolní plochu 3D linie terénní hrany definované místopřesného zlomu.

Problém nastává u kolmých zlomů mezi terénem a budovou. TIN nedokáže reprezentovat dva body o stejné poloze ale s jinou výškou (dva body nemohou ležet přímo nad sebou). Proto byla terénní hrana posunuta o jeden centimetr pod úroveň budovy. V měřítku 3D modelu je toto „odsazení“ naprosto nepodstatné. (1 cm vskutečnosti je rovná 0,025 mm v modelu)



Obr.16: TIN generovaný bez austerénní hrany umístění budovy

9.1.4 Komunikace

Problém nastával v místech, kde prochází komunikace (obr. 20 vlevo a obr. 21 nahoře). Při generování TIN se stane komunikace „šikmou plochou“ což není dobře (viz obr.17). Jsou dvě možnosti jak dostat kv TIN odstranit:

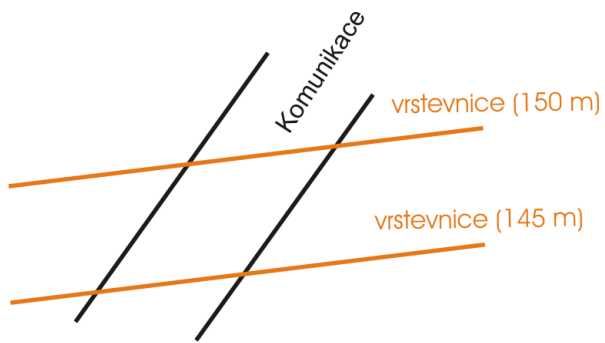
- upravit samotné vrstevnice,
- přidat nové 3D linie.

První způsobem dosáhneme naprosto korektních výsledků, ale je náročnější a zdůlhavější. Aby komunikace byly vhodně generovány je nutné, aby vrstevnice vedly kolmo ke komunikaci, viz obr.18.

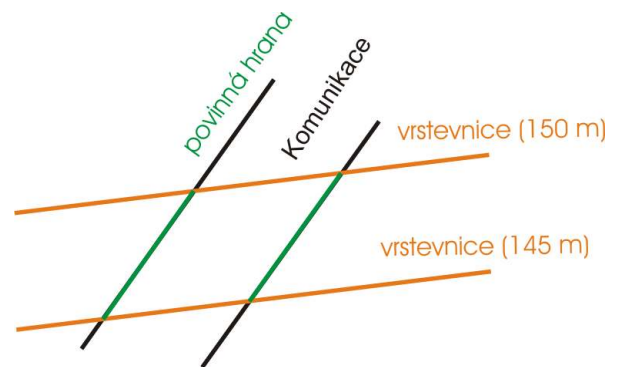
Druhá možnost je vytvořit povinné hrany (3D linie), které jsou použity pro generování TIN, viz obr. 19. Problém „šikmé komunikace“ je však vyřešen pouze částečně, okraje cesty jsou generovány korektně, ale komunikace má stále příčný sklon.

Pro generování modelu zámeckého areálu byla použita druhá metoda, především pro svoji efektivnost oproti první (nebylo nutné editovat vrstevnice). Komunikace v TIN generovaná

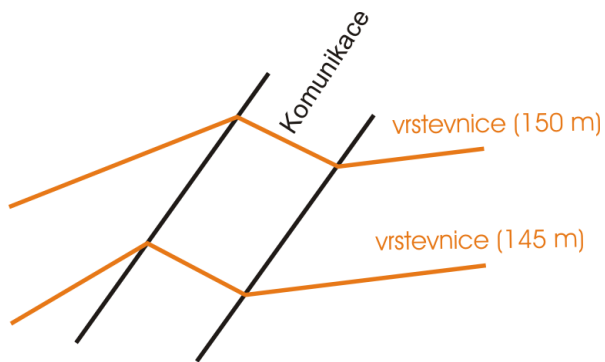
tímto způsobem nebude „dokonale hladká a rovná“, ale vzhledem ke zvolenému měřítku je tato nerovnost zanedbatelná. Úprava je zobrazena na obrázcích obr. 20 a obr. 21.



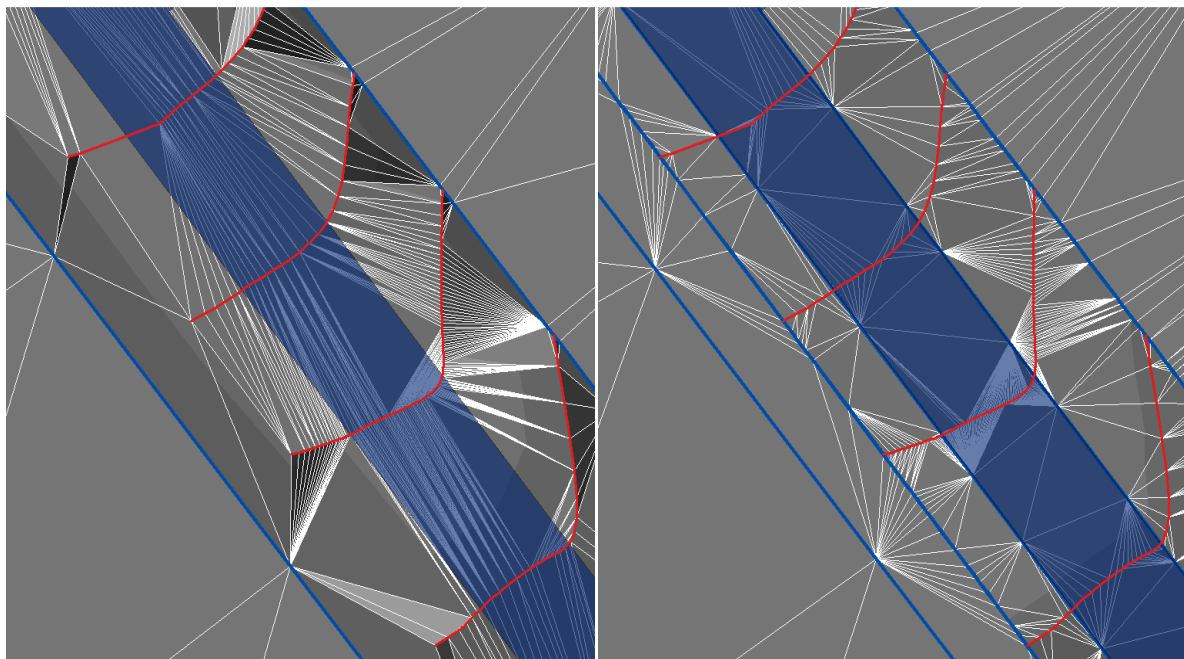
Obr.17: Výchozí situace



Obr.19: P řídní povinných hran

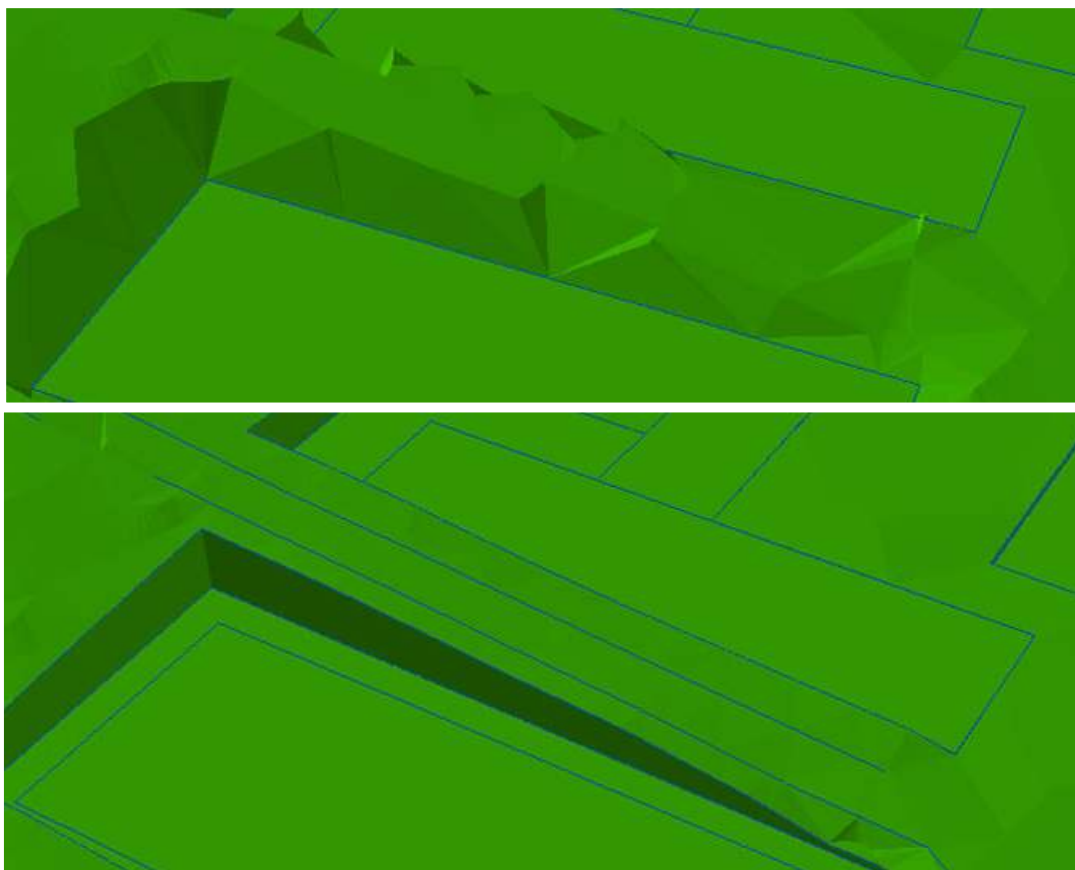


Obr.18: Úprava vrstevnic



hrana trojúhelníku TIN povinná hrana vrstevnice komunikace

Obr.20: Vlevošpatně generovaný TIN v místech komunikace (modrá oblast). Vpravo odstranění pomocí kosterní hran na krajích komunikace.



Obr.21: TIN generovaný bez (nahore) a s povinnými hranami (dole)

10 Závěr

Úvod práce věnovaný historii a popisu exteriéru Státního zámku Kozel je výsledkem literární rešerše provedené ve Státním oblastním archivu v Praze a zámku Kozel. V dalších částech je řešena problematika vytvoření 3D modelu exteriéru.

Zdrojová data pro vytvoření 3D modelu byla získána z více zdrojů a vyznačovala se silnou nehomogenitou (zatímco jedna byla přesnější, druhá podrobnější – prostorové i atributové). Nezbytnou podmínkou pro úspěšné řešení bylo vybrání vhodné metody pro harmonizaci vstupních dat a jejich vlastní úprava. Volba metody a úprava dat byla časově nejnáročnější část. Chybějící data byla domněna a přímově exteriéru zámku.

V práci bylo navázáno na datovou strukturu GIS. Navrhnuté diplomové práci Luňáka.

Bylo dosaženo těchto výsledků:

- Byly zpracovány teoretické principy vytvoření 3D modelu exteriéru zámku.
- Byly vybrány metody pro zpracování zdrojových dat areálu zámku.
- Zdrojová data byla topologicky upravena a zkontrolována.
- Chybějící data byla domněna.
- Bylo vytvořeno plošné reprezentace areálu.
- Zpracovaná data jsou připravena pro spojení s datovou sadou navržené Luňákem.
- Konceptuální model byl doplněn o geomorfologické prvky.
- Byl zpracován 3D model areálu.
- Zdrojová data byla upravena tak, aby z nich mohl být generován vektorový digitální model.

Cíle práce v úvodu byly splněny. Navíc se v průběhu práce podařilo realizovat prototyp 3D tisku. Tím se ověřilo, že tento model je vhodný i pro 3D tisk.

3D model areálu Státního zámku Kozel byl navržen tak, aby splňoval všechny požadavky pro podrobnou evidenci dat v exteriérech, požadavky na podkladová data pro další práce či analýzy, pro vytváření studií i k reprezentativním účelům. Model je zpracován tak, že umožňuje další rozšíření.

Použitá literatura:

- Baars, Marco, et al. 2004.** Rule-based or explicit storage of topology structure: a comparison case study. *TU Delft*. [Online] Delft, the Netherlands, 2004. [Citováno: 15. 4. 2010] Dostupnéz: <http://plone.itc.nl/agile_old/Conference/greece2004/papers/P-06_Baars.pdf>
- Batěk, Jaroslav. 1967.** Z dějin Štáhlav. *750 let Štáhlav*. Blovice: Okresní muzeum v Blovicích, 1967.
- Bezděk, Josef. 2007.** Automatizované generování vrstevnic nad nepravdělnou trojúhelníkovou sítí (TIN). *Semestrální práce z předmětu APA*. [Online] 2007 [Citováno: 15. 4. 2010] Dostupnéz: <http://www.gis.zcu.cz/studium/apa/referaty/2007/Bezdek_Isolinie/Bezdek_Isolinie.pdf>
- Čapek, Jiří. 1970.** *Kozel*. Plzeň: Krajské státní památkové péči a ochrany přírody v Plzni, 1970.
- DIGIS, spol. s r.o. 2009.** 3D tisk – zhotovení skutečných objektů z modelů vytvořených v grafických programech. *DIGIS – Geografické a informační systémy*. [Online] 5. 5. 2009. [Citováno: 25. 4. 2010] Dostupnéz: <<http://www.digis.cz/3d-tiskarny-vyroba-3d-modelu/princip-tisku/>>
- Drhovský, Karel. Knoflíček, Zdeněk. 1981.** *Státní zámek Kozel – Zámecký park*. Plzeň: KSSPPO Plzeň, 1981.
- ESRI. 2004.** Creating and Editing Geodatabase Topology with ArcGIS 9 (for ArcEditor and ArcInfo). [Online] 2004. [Citováno: 24. 2. 2010], <<http://campus.esri.com>>
- ESRI. 2007.** About topology. *ArcGIS 9.2. Desktop Help*. [Online] 17. 8. 2007. [Citováno: 24. 4. 2010] Dostupnéz: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=About_topology>
- ESRI. 2007.** Topology rules. *ArcGIS 9.2. Desktop Help*. [Online] 17. 8. 2007. [Citováno: 26. 4. 2010] Dostupnéz: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Topology_rules>
- ESRI. 2007.** Setting up the spatial adjustment. *ArcGIS 9.2. Desktop Help*. [Online] 17. 8. 2007. [Citováno: 18. 4. 2010] Dostupnéz: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?id=557&pid=554&topicname=Setting_up_the_spatial_adjustment>
- Hofmann, Gustav. 1960.** Velkostatek Štáhlavy – Nebílovy a Chocenice. *Inventář*. Hořovice: Státní archiv v Praze pracoviště Hořovice, 1960.
- Huml, Milan, Michal, Jaroslav. 2000.** Mapování 10, Vydavatelství ČVUT, Praha, 2000. ISBN 80-01-02113-0.
- Jančík, Miloslav. 2009.** 3D tisk. *GeoBusiness. 9/2009*, Praha: Springwinter, s.r.o. Vychází měsíčně
- Jančík, Miloslav. 2009.** Prototypy rychle a zbitě. *GeoBusiness. 10/2009*, Praha: Springwinter, s.r.o. Vychází měsíčně, ISSN 1802-4521.

- Jedlička, Karel. B řehovský, Martin. 2007.** *Přednáškové texty p ředmětu úvod do GIS.* [Online] Plzeň: Západo česká univerzita, Fakulta aplikovaných věd, 2007. [Citováno: 20. 2. 2010] Dostupné z: <<http://www.gis.zcu.cz/studium/ugis/elearning/index1.htm>>
- Knoflíček, Zdeněk. 1975.** *Státní zámek Kozel Československo.* Plzeň: Krajské státní památkové úřady v Plzni, 1975.
- Luňák, Tomáš. 2009.** Geografická datová báze Státního Zámku Kozel. *Diplomová práce.* [Online] 2009. [Citováno: 10.3.2009] Dostupné z: <<https://stag-wws.zcu.cz/ws/services/rest/kvalifikacniprace/downloadPraceContent?adipIdno=30659>>
- Pultr, Aleš. 1982.** *Úvod do topologie a geometrie.* Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1982.
- Rauch, Stanislav. 2006.** Velkoměřítková prostorová databáze pro účely památkové péče. *Diplomová práce.* [Online] 2006. [Citováno: 15.9.2009] Dostupné z: <http://www.kma.zcu.cz/DATA/zaverecne_prace/2006/Rauch__Velkomeritkova_prostorova_databaze_pro_ucely_pamatkove_pece__DP.pdf>
- Řehák, Tomáš. 2008.** Analytické možnosti GIS nad rastrovými daty. *Diplomová práce.* [Online] 2008. [Citováno: 28.4.2010] Dostupné z: <http://gis.zcu.cz/studium/dp/2008/Rehak__Analyticke_moznosti_GIS_nad_rastrovymi_daty__DP.pdf>
- Řezníček, Jan. 2006.** Česká síť permanentních stanic pro určování polohy CZEPOS. [Online]. 2006, [Citováno: 24.4.2010]. Dostupné z: <http://www.vugtk.cz/odis/sborniky/jine/geos06/paper/23_reznicek_j/paper/23_reznicek_j.pdf>
- Státní zámek Kozel.** Historie. *Zámek Kozel.* [Online] [Citováno: 19.12.2009] Dostupné z: <<http://www.zamek-kozel.cz/historie-a-popis/historie/>>
- Tuček, Ján. 1998.** Geografické informační systémy (Principy a praxe). Computer Press, 1998. ISBN:80-7226-091-X.
- Ullmann Vojtěch. 1983.** Geometrie a topologie prostoro času. [Online] Klinika nukleární medicíny FNŠP v Ostravě, 1983. [Citováno: 15. 3. 2010] Dostupné z: <<http://astronuklfyzika.cz/Gravitace3-1.htm>>
- Z Corporation.** ZPrinter®450. *Zcorporation.* [Online] [Citováno: 26.4.2010] Dostupné z: <<http://www.zcorp.com/en/Products/3D-Printers/ZPrinter-450/spage.aspx>>
- Zhang, Xin Chang. 1998.** Geometric Feature-based Edge-Matching. *Proceedings of the 3rd International Conference on GeoComputation. United Kingdom: University of Bristol.* [Online] 17-19.9.1998. [Citováno: 5.12.2009] Dostupné z: <http://www.geocomputation.org/1998/99/gc_99.htm>

Příloha A: Plán zámeckého areálu z roku 1872



Příloha B: Technická zpráva

Zadání: Zaměření chybějících nebo doplnění stávajících polohopisných údajů v zámeckém areálu Státního zámku Kozel.

Datum měření: 26.10.2009

Místo: Státní zámek Kozel

Měřič: Radan Šuba

Počasí: oblačno – zataženo, 10°C

Vybavení: Topcon HiPer+

Postup: Pomocí metody GPS RTK byly zaměřeny zaniklé (neudržované cesty) v SZ a SV oblasti zámeckého areálu. Též se měřila místa, kde došlo ke stavebním úpravám (parkoviště vyhlídka) nebo místa, která nebyla patrná z ortofotomapy. Metoda RTK byla zvolena především pro svoji rychlost.

Pro měření byla provedena lokální transformace na blízké trigonometrické body č. 920080250, 920090020 a 920040040.

Problémy: Podkladová vrstva pro měření může být do přístroje nahrána vrstva ve formátu *.shp. Byl proveden export liniové vrstvy z geodatabáze a nahrána do přístroje. Přístroj však nedokázal pracovat korektně a přesto, že byla liniová vrstva omezena na minimální obsah dat.

Při připojování přístroje přes port USB k PC. Přestože bylo postupováno dle návodu, nezobrazoval se obsah připojeného přístroje. Obsah se zobrazil až po vypnutí a zapnutí řízení připojení PC.

Závěr: Měření probíhalo bez problémů a zbytečných časových prodlev. Pro příští měření bych rozhodně jako podkladová data použil jiný podporovaný formát než *.shp.

Protokol o provedené transformaci souřadnic z WGS84 do S-JTSK

 Datum výpočtu: 24.10.2009 19:20:24
 Použitý soubor GPS měření: C:\Radan\kozal\mereni091026\RTK.rep
 Transformační vztah je určen vyrovnáním na identické body.
 Použitý soubor identických bodů: C:\Radan\kozal\mereni091026\SJTSK.DAT
 Geoid=Ano
 Jung=Ano
 2D+1D=Ne

Údaje o vyrovnání:

 Použitý model: Prostorová podobnostní transformace
 Míra ztotožnění: 0.0100 [m] ... údaj odpovídá odhadu std. odchylky
 Počet nadbytečných měření: 2

Parametry prostorové transformace:

 Redukce ve výchozí soustavě: 4019841.4085 954005.4663 4843421.0632
 Redukce v cílové soustavě: 4019214.5745 953924.4694 4842913.5925
 Transformační posuny: 0.2333 0.1514 0.2834
 Prvky matice rotací:
 1. řádek (pro X): 0.99998072 0.00002251 0.00001814
 2. řádek (pro Y): -0.00002251 0.99998072 0.00003136
 3. řádek (pro Z): -0.00001814 -0.00003136 0.99998072
 Měřítkový koeficient: 0.99998072

Identické body

 Bod: 00920080250
 WGS (X, Y, Z): 4019034.7263 966822.0074 4841660.3336
 Odchylky WGS-Bessel(X,Y,Z): 0.0000 0.0057 -0.0050
 JTSK (Y, X, Z): 812597.8500 1076512.3800 455.1200
 Odchylky Jung (Y, X, Z): -0.0070 -0.0048 0.0001

Bod: 00920090020
 WGS (X, Y, Z): 4023100.9482 965269.9740 4838579.6728
 Odchylky WGS-Bessel(X,Y,Z): -0.0038 -0.0062 -0.0020
 JTSK (Y, X, Z): 815731.2300 1080825.9100 430.0200
 Odchylky Jung (Y, X, Z): 0.0008 0.0085 -0.0000

Bod: 00920040040
 WGS (X, Y, Z): 4021878.7510 971434.9184 4838415.0788
 Odchylky WGS-Bessel(X,Y,Z): 0.0055 0.0005 0.0070
 JTSK (Y, X, Z): 809566.0700 1082052.6900 469.4200
 Odchylky Jung (Y, X, Z): 0.0062 -0.0037 -0.0000

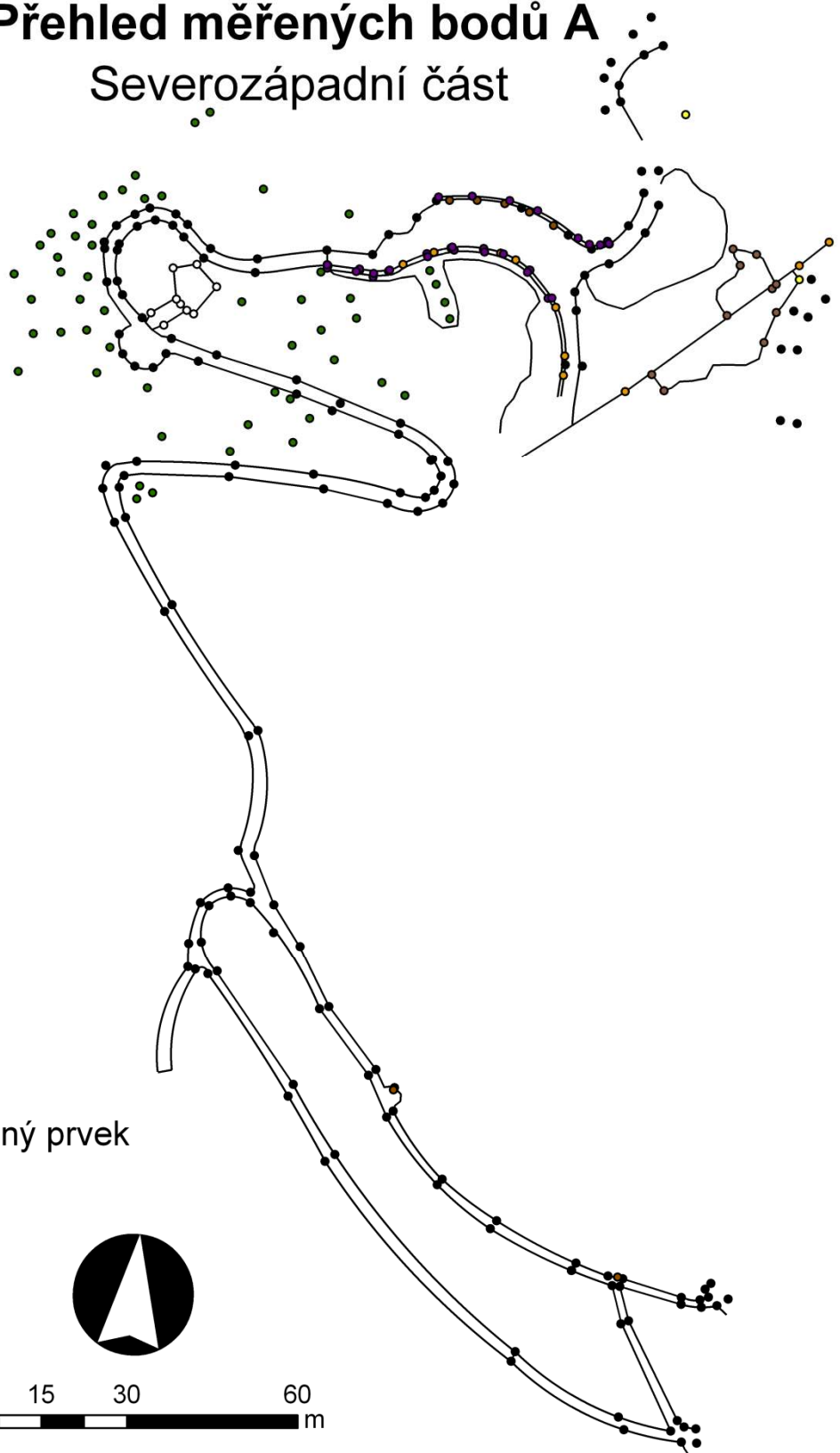
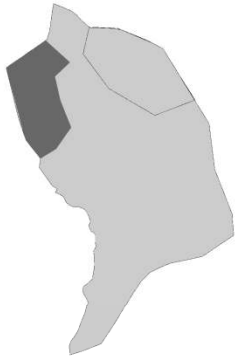
Transformované body

Cislo bodu	Fi/Y/DY	Lambda/X/DX	H/Z/DZ	Geoid
PLZE	49.433120820	13.210245110	426.190	
	824687.420	1071843.010	379.616	
	0.000	0.000	0.000	45.384
00920080250	49.420019460	13.313398950	501.750	
	812597.850	1076512.380	455.120	
	-0.007	-0.005	0.000	45.375
00920090020	49.392706240	13.293134440	476.710	
	815731.230	1080825.910	430.020	
	0.001	0.009	-0.000	45.508
00920040040	49.391733230	13.344441360	516.110	
	809566.070	1082052.690	469.420	
	0.006	-0.004	-0.000	45.488
00920030250	49.414124930	13.353083840	527.200	
	807990.253	1077792.388	480.569	
	0.000	-0.002	0.000	45.372

Přehled měřených bodů A

Severozápadní část

Zámecký areál



Legenda

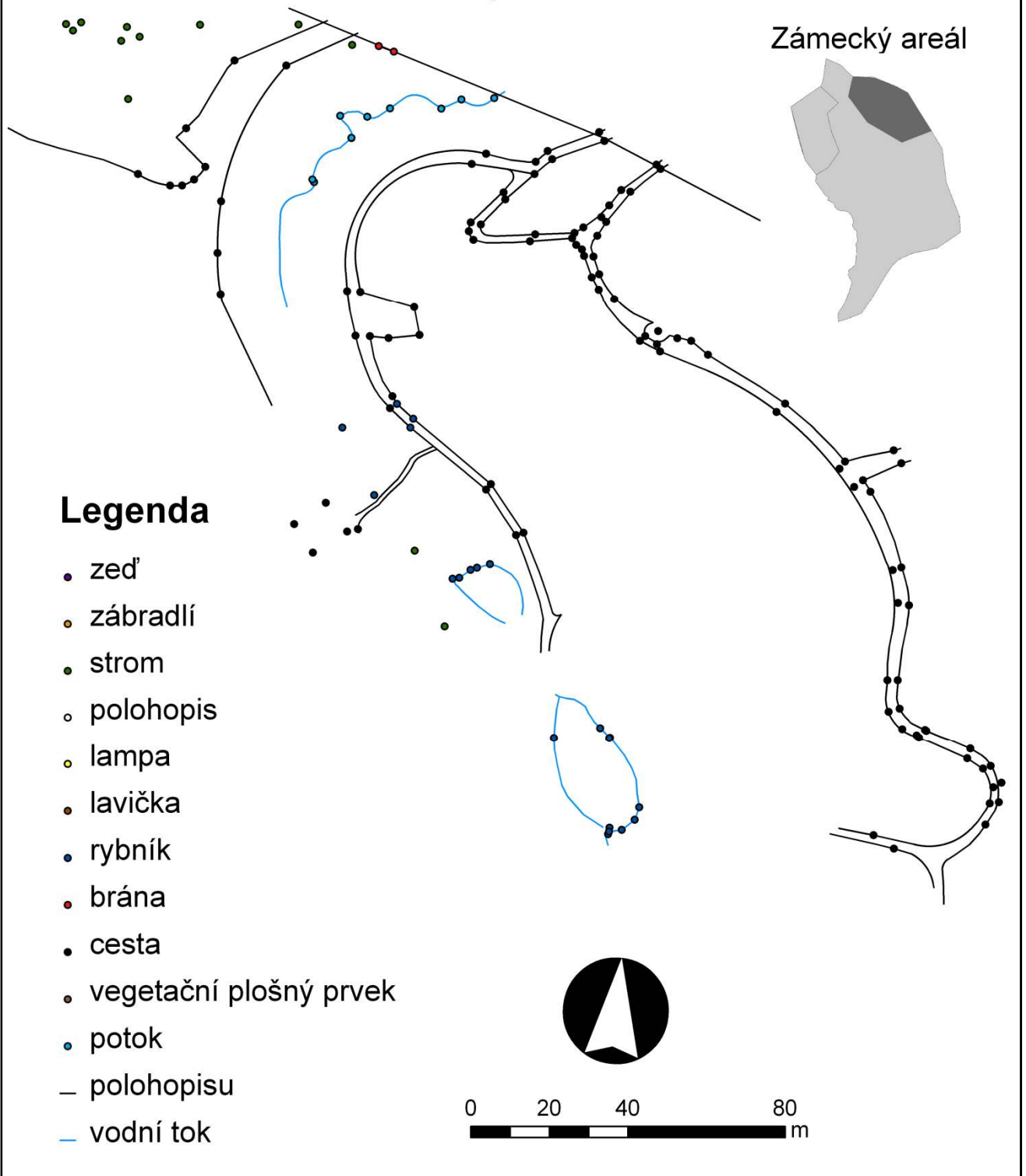
- zeď
- zábradlí
- strom
- polohopis
- lampa
- lavička
- rybník
- brána
- cesta
- vegetační plošný prvek
- potok
- polohopisu
- vodní tok



0 15 30 60 m

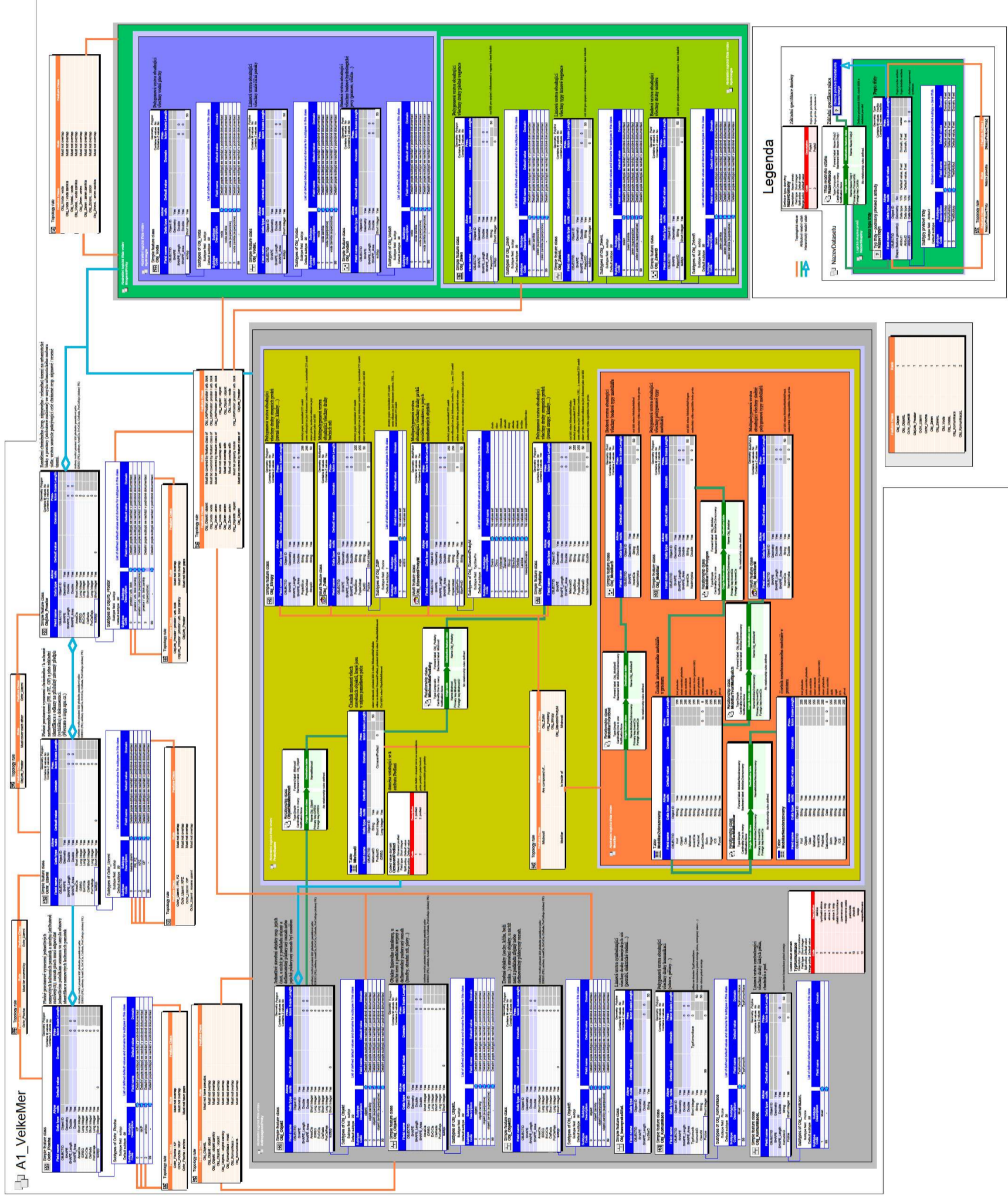
Přehled měřených bodů B

Severovýchodní část



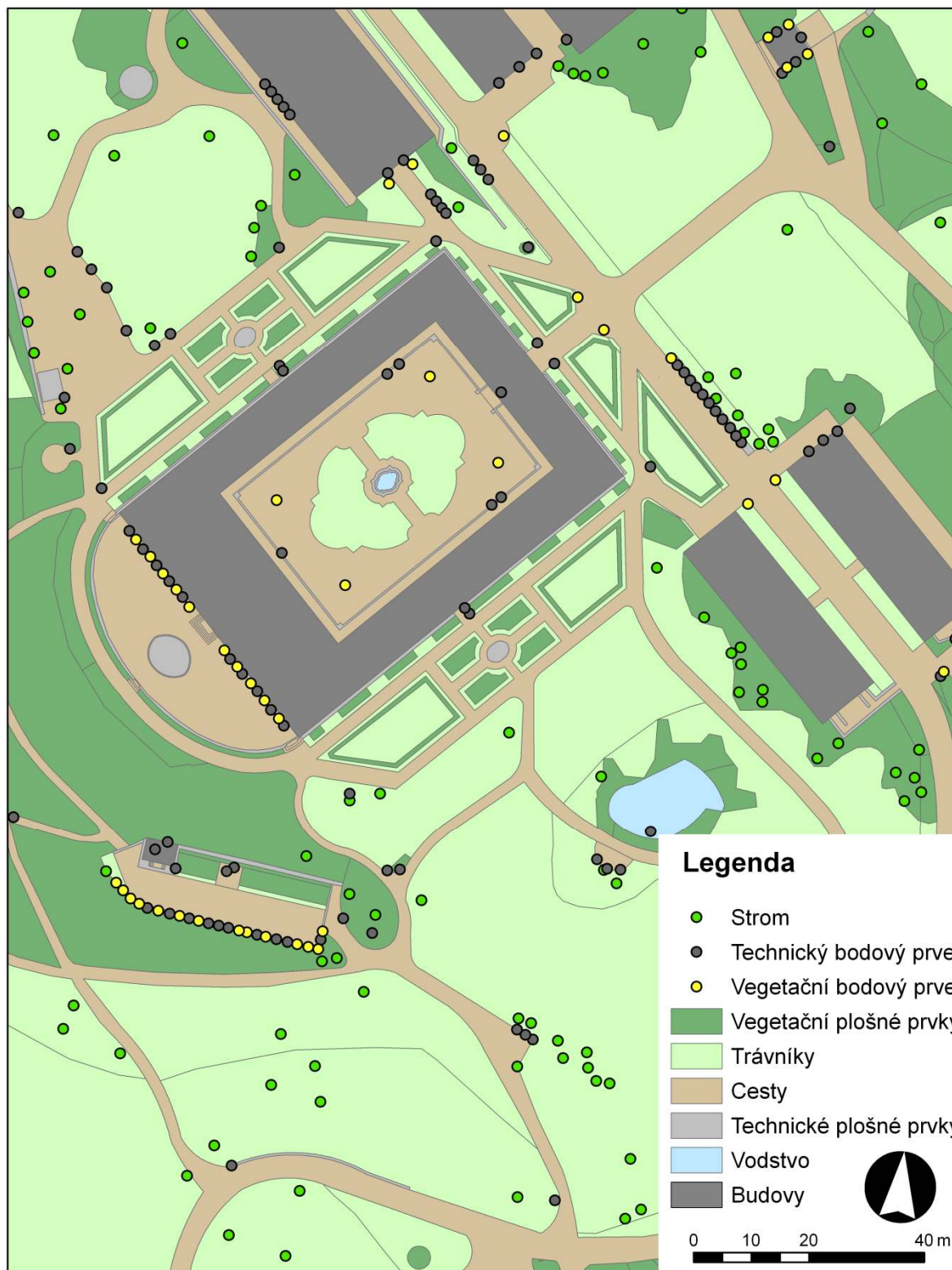
Příloha C: Logický datový model databáze

Logický model geodatabáze pro evidenci movitého a movitého památkového dědictví (Luňák, 2009)



Příloha D: Ukázka plošné reprezentace areálu

Ukázka plošné reprezentace areálu Státního zámku Kozel



Příloha E: Obsah příloženého DVD

SUBA_BP_3D_model_exterieru_Statniho_zamku_Kozel.pdf –kompletní text práce

Obrazky –Adresář s obrázky použitými v práci

Prilohy –Složka obsahující veškeré přílohy

Projekt –Adresář s kompletním projektem Státního zámku Kozel

TIN –Složka obsahující TIN areálu