

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta aplikovaných věd

Katedra geomatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

3D parcely jako řešení vybraných situací katastru nemovitostí

Plzeň, 2017

Jan Málek

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a následné obhajobě diplomovou práci, kterou jsem zpracoval na závěr studia oboru Geomatika na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni. Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Karla Janečky, Ph.D a všechny použité literární prameny jsou uvedeny v seznamu literatury.

V Plzni, dne 19. 5. 2017

.....

Jan Málek

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval panu Ing. Karlu Janečkovi, Ph.D. za odborné vedení diplomové práce a panu Tomáši Krejčímu, obchodnímu konzultantovi firmy Hrdlička sro, za poskytnutí konzultací ohledně evidence inženýrských sítí. Poděkování si zaslouží také rodiče za podporu v průběhu studia a jejich trpělivost.

Abstrakt

Cílem práce je modelovat vybrané reálné situace katastru nemovitostí pomocí 3D parcel. Motivací pro práci je skutečnost, že současné možnosti 2D evidence přestávají pro zachycení složitých situací postačovat. V práci je pomocí axiomů vystavěn pojem 3D parcela, která umožňuje modelovat právní stav pomocí explicitně vyjádřených objemů, přičemž jsou rozšířeny podmínky geometrické validity dat definovaných v mezinárodní normě ISO 19107. Praktická část práce se soustředí na implementaci datového modelu, který podporuje ukládání 3D parcel a současně topologickou návaznost na existující 2D data. Důležitým aspektem implementovaného datového modelu je jeho kompatibilita s mezinárodní normou ISO 19152 (Land Administration Domain Model). Pro naplnění datového modelu existujícími 2D daty katastru nemovitostí byl vytvořen vlastní konverzní nástroj. Tato data jsou následně integrována s 3D parcelami. V práci je rovněž řešena vizualizace situací modelovaných pomocí 3D parcel. Za tímto účelem byl vytvořen vlastní nástroj, který umožňuje zobrazovat 3D parcely (spolu s 2D daty) přímo nad datovým modelem.

Klíčová slova:

3D katastr, ČSN EN ISO 19152, prostorová jednotka, 3D parcela, databáze, výměnný formát katastru, 3D vizualizace

Abstract

The main goal of this work was to develop a model of existing objects in cadastre using 3D parcels. The fact that the current possibilities of 2D registry are not satisfactory for capturing complex situations is the main driving force for this work. By using axioms, we clarify the concept of a 3D parcel, which can be used to model the legal state by using explicitly defined 3D volumes. We also extend the terms of data validity, defined by the international standard ISO 19107. The practical part of this work concentrates on the implementation of the data model that supports the storage of 3D parcels as well as the topological relationship with the existing 2D data. An important aspect of the data model is its compatibility with the international standard ISO 19152 (Land Administration Domain Model). A special conversion tool has been made to load the data model with the existing 2D data of the Czech cadastral registry. These data have then been integrated with 3D parcels. In this work we also solve the visualization of the modelled 3D parcels. A visualisation tool, that can display the 3D parcels (along with 2D data) by accessing the data model, has been created for that purpose.

Keywords:

3D Cadastre, ČSN EN ISO 19152, spatial unit., 3D parcel, database, VFK, 3D visualisation

Obsah

<u>1. ÚVOD</u>	6
<u>2. 3D SITUACE A SOUČASNÉ ŘEŠENÍ JEJICH EVIDENCE</u>	8
2.1. STAVBA NA STAVBĚ.....	8
2.2. STAVBA PŘES KOMUNIKACI.....	8
2.3. PODZEMNÍ STAVBA	9
2.4. SKLEP POD CIZÍM POZEMKEM.....	10
2.5. STAVBA NA VODNÍM DÍLE	11
2.6. SÍŤ TECHNICKÉHO VYBAVENÍ	11
<u>3. MEZINÁRODNÍ NORMA ISO 19152</u>	13
3.1. ZÁKLADNÍ TŘÍDY	14
3.2. ČAS JAKO DALŠÍ DIMENZE	15
3.3. ÚROVNĚ PROSTOROVÝCH JEDNOTEK	16
3.4. SÍŤ TECHNICKÉHO VYBAVENÍ	17
<u>4. 3D PARCELA</u>	19
4.1. TYPY KÓDOVÁNÍ GEOMETRIE PARCELY	19
4.2. KATEGORIZACE 3D PARCEL	21
4.1. HRANIČNÍ STĚNY MODELOVANÉ POMOCÍ OBECNĚ ZAKŘIVENÝCH PLOCH	22
4.2. INTEGRACE 2D A 3D PARCEL	24
4.2.1. BOUNDARY FACE A BOUNDARY FACE STRING	25
4.2.2. INTEGRACE VE VÝŠCE	26
4.3. VALIDITA 3D PARCEL	27
4.3.1. ROZPOR V DEFINICI 3D OBJEKTŮ.....	28
4.3.2. AXIOMY PRO VALIDNÍ 3D PARCELY	29
4.3.3. VALIDACE V POSTPROCESSINGU.....	31
<u>5. NÁVRH PROSTOROVÉ DATABÁZE</u>	32

5.1. DATOVÝ MODEL NA ZÁKLADĚ PROTLAČENÍ	32
5.2. TOPOLOGICKÝ DATOVÝ MODEL PODPORUJÍCÍ OBECNÉ 3D PARCELY	34
5.3. GEOMETRICKÝ DATOVÝ MODEL PODPORUJÍCÍ OBECNÉ 3D PARCELY	35
5.4. DATOVÝ MODEL NA BÁZI ČTYŘSTĚNŮ.....	38
5.5. VOLBA DATOVÉHO MODELU.....	39
<u>6. IMPLEMENTACE V PROSTOROVÉ DATABÁZI</u>	42
6.1. KONVERZE DAT KATASTRU	43
6.1.1. VÝMĚNNÝ FORMÁT KATASTRU	44
6.1.2. PROGRAM PRO KONVERZI DAT VÝMĚNNÉHO FORMÁTU KATASTRU	45
6.2. MODELOVÁNÍ 3D PARCEL	48
<u>7. VIZUALIZACE 3D PARCEL</u>	50
7.1. VÝBĚR ZPŮSOBU VIZUALIZACE	50
7.1.1. ROZŠÍŘENÍ VLASTNÍ APLIKACE	51
7.1.2. VYUŽITÍ HERNÍHO 3D ENGINE	53
7.2. ARCHITEKTURA VIZUALIZAČNÍHO SOFTWARE.....	54
7.2.1. NAČÍTÁNÍ DAT.....	55
7.2.2. POHYB V 3D PROSTORU	56
7.3. VIZUALIZACE DAT VYTVOŘENÝM PROGRAMEM.....	58
<u>8. ZÁVĚR.....</u>	61
<u>SEZNAM LITERATURY.....</u>	63
<u>PŘÍLOHY</u>	68
I. DATABÁZOVÉ DOTAZY NA DATA KONKRÉTNÍ DLAŽDICE.....	68
II. PROCEDURA PRO AKTUALIZACI VEKTOROVÝCH DLAŽDIC	69

Seznam obrázků

Obr. 1: Příklad situace „stavba na stavbě“ na náměstí Milady Horákové v Plzni: (a) Situace ve skutečnosti. (Zdroj: Mapy.cz) (b) Situace v katastru. Šipka znázorňuje směr kamery na obrázku vlevo (Zdroj: Nahlížení do katastru nemovitostí).	8
Obr. 2: Oblouk v Ostravě-Porubě. (a) Situace ve skutečnosti; (b) Situace v katastru. Šipka znázorňuje směr kamery na obrázku (a). Upraveno podle (Janečka 2016)	9
Obr. 3: (a) Vchod do archeoparku Pavlov (foto: Archeologický ústav AV ČR, Brno); (b) Zobrazení obvodu podzemní stavby. Upraveno podle (Olivová 2016).....	10
Obr. 4: Sklep pod cizím pozemkem (Stoter 2004).	10
Obr. 5: (a) Vodní elektrárna Hracholusky. (foto: ČEZ) (b) Schematické zobrazení vodní elektrárny v katastrální mapě. Upraveno podle (Janečka 2016).	11
Obr. 6: Základní třídy LADM. Převzato z (Lemmen a kol. 2010a).	14
Obr. 7: Uložení právního prostoru sítě technického vybavení do speciální úrovně. Převzato z (ÚNMZ 2014). ...	18
Obr. 8: Příklady jednotlivých typů 3D parcel: (a) Building format spatial unit; (b) Polygonal slice spatial unit; (c) Single-valued stepped spatial unit; (d) Multi-valued stepped spatial unit; (e) General 3D spatial unit. Převzato z (Thompson a kol. 2015) – a, b, c, e; (Ding a kol. 2016) – d.	23
Obr. 9: Zakřivený povrch a jeho příslušná aproximace mnohostěnem. Převzato z (Karki a kol. 2013)	24
Obr. 10: Ilustrace prostorového rozsahu vlastnického práva k pozemku. Převzato z (Stoter 2004).	25
Obr. 11: (a) Řetězec hraničních stěn – boundary face string; (b) Kombinace 2D a 3D parcel. Převzato z (ÚNMZ 2014).....	25
Obr. 12: Ukázka různých vjemů při použití absolutních a relativních vertikálních souřadnic. Převzato z (Navratil a Unger 2013).	27
Obr. 13: Ukázka non-manifold objektu ve 2D a 3D (objekty, dotýkající se samy sebe, je nutné v 3D katastru považovat za validní 3D parcelu).	29
Obr. 14: (a) Díra v geometrickém tělese; (b) Prázdný prostor uvnitř objemu geometrického tělesa	29
Obr. 15: Modelování parcely metodou protlačení. (a) Výškový rozsah jednotlivých částí 3D parcely; (b) Konstrukce parcely protlačení jednotlivých částí jejího půdorysu. V případě části A ₁ pak dvojnásobným protlačení. Převzato z (Ding a kol. 2016).	33
Obr. 16: Datový model využívající metodu protlačení. Upraveno podle (Ding a kol. 2016).....	33
Obr. 17: Topologický datový model podporující obecné 3D parcely testovaný s použitím dat katastru v Queenslandu. Převzato z (Thompson 2013).	35
Obr. 18: Geometrický datový model podporující obecné 3D parcely. Převzato z (Thompson a kol. 2016a).	36
Obr. 19: Reprezentace 3D parcely pomocí boundary-face a nadbytečného boundary-face-string. Převzato z (Thompson a kol. 2016b).	37
Obr. 20: (a) Tetrahedronizace objektů; (b) zobrazení hraničních trojúhelníků. Upraveno podle (Peninga a Oosterom 2008).....	38
Obr. 21: Fyzický model vygenerovaný z databáze programem Oracle SQL Developer	43

Obr. 22: Diagram vybraných tříd a atributů výměnného formátu katastru.	45
Obr. 23: Konstrukce stěn 3D parcely na základě průniku stěn typu boundary face a stěn typu boundary face string (Lemmen a kol. 2010b).	49
Obr. 24: Budova nádraží v Nizozemském městě Delft uložená ve formátu 3D PDF. Prohlídku interaktivní vizualizace je možné shlédnout na adrese: https://www.youtube.com/embed/vFMoH-2r7xo (poslední přístup: 15.5.2017). Převzato z (Stoter a kol. 2016a).	51
Obr. 25: Vizualizace katastrálních dat pomocí rozšířené vlastní aplikace.	52
Obr. 26: Znárodnění přístupu scriptu v prostředí Unity k datům v databázi Oracle.	55
Obr. 27: Znárodnění principu tvorby jedné vektorové dlaždice.	56
Obr. 28: Virtuální kamera a její stupně volnosti. Převzato z (Drucker 1994).	57
Obr. 29: Vizualizace modelovaných 3D situací v prostředí vlastního programu LADMViz.exe: (a) stavba na stavbě; (b) sklep pod cizím pozemkem; (c) stavba přes komunikaci.	60

Seznam tabulek

Tab. 1: Atributy třídy LA_Level (ÚNMZ 2014).	16
Tab. 2: Atributy třídy LA_LegalSpaceUtilityNetwork	17
Tab. 3: Porovnání datových modelů na základě maximální podporované úrovně komplexity geometrie parcel.	39
Tab. 4: Porovnání datových modelů na základě podporovaných typů kódování geometrie parcely.	40
Tab. 5: Porovnání datových modelů na základě způsobu integrace 2D a 3D parcel.	40
Tab. 6: Přiřazení atributů objektů VFK objektům datového modelu podle LADM	46
Tab. 7: Seznam objektů a jejich atributů, jejichž hodnoty nebylo možné naplnit jednoduchou kopií z objektů VFK.	46
Tab. 8: Základní pohyby virtuální kamery (Drucker, 1994).	58
Tab. 9: Argumenty programu LADMViz.exe	59

Seznam zkratk

CAD	Computer aided design
CityGML	City geography markup language
ČSN	Česká technická norma
ČNI	Český normalizační institut
ČÚZK	Český úřad
DBMS	Český úřad zeměměřický a katastrální
EN	Evropská norma
GIS	Geografický informační systém
GSDI	Global spatial data infrastrucure
ISO	International organization for standardization
KML	Keyhole markup language
LA	Land administration
LADM	Land administration domain model
LoD	Level of Detail
OGC	Open geospatial consortium
PDF	Portable document format
SQL	Structured query language
TIN	Triangulated irregular network
TEN	Tetrahedral network
ÚNMZ	Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví
VFK	Výměnný formát katastru
WKT	Well known text

1. Úvod

Katastr nemovitostí je fundamentální součástí systému správy pozemků, který je obvykle prvkem infrastruktury státu. Katastr byl postupně vyvíjen a tvořen po staletí pro zdanění a evidenci práv k prostoru (Drobež a kol. 2017).

Především v důsledku zvýšení hygieny a vytlačení chorob, do té doby neustále devastujících městské obyvatelstvo, dochází ve městech od počátku minulého století k rapidnímu nárůstu obyvatel. Zvětšilo se množství tunelů, kabelů a potrubí, podzemních parkovišť, obchodních center, budov přes cesty a jiných případů víceúrovňových budov. V takto přeplněném prostředí se zmenšuje prostor pro nový rozvoj a rostou ceny pozemků. Důsledkem toho dochází k zahušťování center velkých měst a výstavbě nových a drahých výškových anebo komplexních staveb. Developeři přitom hledají příležitost, jak využívat prostor nad a pod povrchem a nad a pod již existujícími stavbami. Stoupají tudíž nároky na jednoznačnou evidenci právních vztahů a zobrazení těchto staveb v katastru nemovitostí. Tradiční 2D (dvoudimenzionální) evidence nemovitostí se již nevyrovná poptávce moderní společnosti a některé komplexní 3D (třídimenzionální) objekty již nemohou být reprezentovány v katastrální mapě. Řešením je upustit od myšlenky, že je prostor katastrální evidence možné dělit jen ve dvou dimenzích pomocí 2D parcel, přidat dimenzi třetí a evidovat právní prostor pomocí explicitně definovaných 3D objemů – 3D parcel (Stoter 2004; Döner a kol. 2010; Döner a kol. 2011; Oosterom a kol. 2011; Karki a kol. 2013; Janečka 2015; Janečka 2016; Pouliot a kol. 2016; Drobež a kol. 2017).

Mezi hlavní argumenty pro zavedení 3D katastru patří především zpřehlednění evidence komplexních budov a komplexních staveb, ale také možnost evidence sítí technického vybavení. Rozvoj přístupu ke 3D v blízkých oborech (GIS, územní plánování) umožňuje technickou realizaci této evidence. Ukazuje se také, že roste poptávka po 3D geodatech i v jiných oblastech, jako jsou především územní plánování a 3D vizualizace, ale také telekomunikace, energetika, 3D simulace a další (Stoter a kol. 2016b).

Řada publikací (Oosterom a kol. 2011; Thompson 2013; Zulkifli a kol. 2014; Bydłosz, 2015; Janečka 2015; Lemmen 2015; Zulkifli a kol. 2015; Janečka 2016; Pouliot 2016) dále poukazuje na význam použití mezinárodního standardu ISO 19152 pro data katastru. Tento standard definuje koncepční datový model katastru nemovitostí, tzv. *land administration domain model* (LADM), neboli *model domény správa pozemků*.

Cílem této práce je modelovat pomocí 3D parcel vybrané reálné situace v České republice, kde přestává současná 2D katastrální evidence stačit, vybrat vhodný datový model, implementovat jej v prostorové databázi, uložit namodelované parcely společně s existujícími daty katastru a jednotlivé situace vizualizovat.

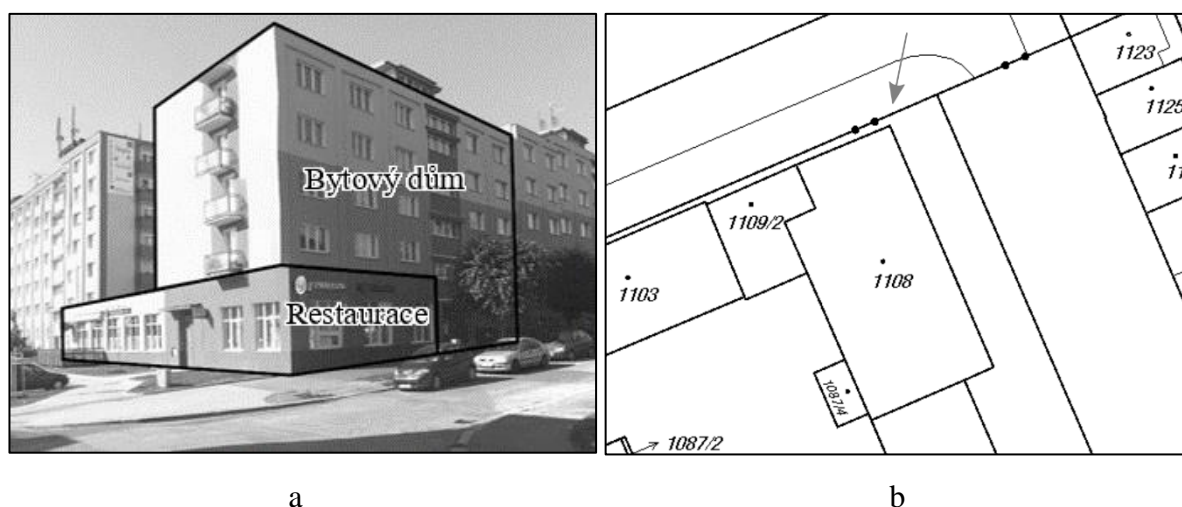
Práce je strukturována následovně: V následující kapitole jsou představeny situace, které jsou v této práci použity jako ukázkové případy pro modelování pomocí 3D parcel a je popsáno současné řešení jejich evidence. Ve třetí kapitole je popsána norma ISO 19152 a důvody, proč je důležité na ni postavit databázi katastru. Ve čtvrté kapitole je popsána definice 3D parcely a podmínky její validity a rovněž kategorizace 3D parcel. V páté kapitole jsou rozebrány existující návrhy datových modelů pro databázové uložení 3D parcel, jsou vzájemně porovnány a na základě provedeného porovnání jeden z nich vybrán pro praktickou realizaci. V šesté kapitole je popsána implementace tohoto datového modelu v prostorové databázi, popsán způsob modelování 3D parcel, konverze existujících katastrálních dat a jejich uložení v této databázi. V sedmé kapitole je rozebrána problematika vizualizace těchto dat, vybrán vhodný vizualizační program, je popsáno jeho použití a jsou prezentovány výsledky.

2. 3D situace a současné řešení jejich evidence

Termín 3D situace vychází z terminologie Stoter (2004) a označuje situace, kdy se různé vlastnické jednotky nachází nad sebou, nebo jsou umístěné jiným způsobem tak, že se jejich půdorysy překrývají. V této kapitole bude popsáno několik vybraných 3D situací a řešení jejich evidence současnou legislativou.

2.1. Stavba na stavbě

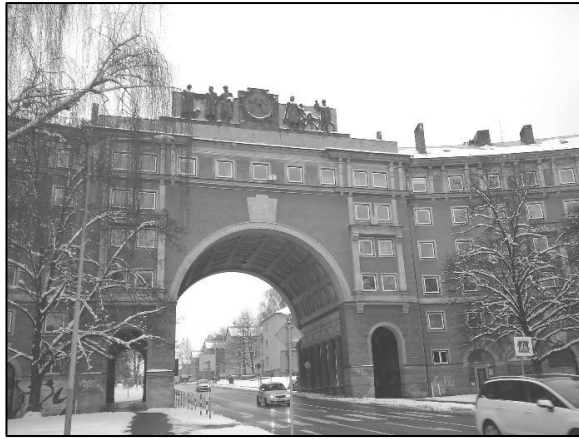
Příkladem situace „stavba na stavbě“ mohou být dva objekty nacházející se na náměstí Milady Horákové v Plzni (viz obr. 1a). Jedná se o bytový dům a budovu restaurace. Jejich půdorysy se částečně překrývají a každý z objektů má jiného vlastníka. Situace v katastru je znázorněna na obr. 1b. Současným vlastníkem parcely 1108 je majitel restaurace a na parcelu je aplikováno věcné břemeno „strpět stavbu domu“ ve prospěch vlastníků bytů vymezených v bytovém domě nacházejícím se částečně nad restaurací.



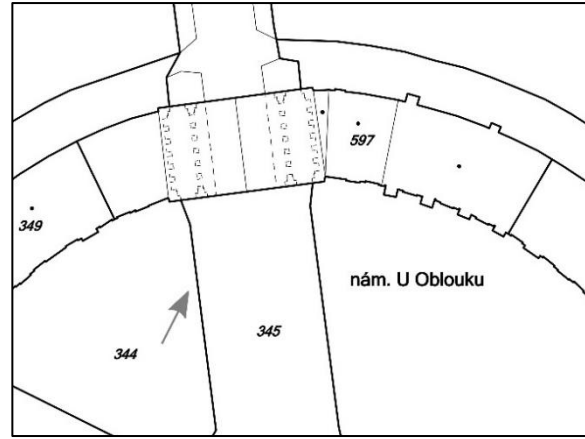
Obr. 1: Příklad situace „stavba na stavbě“ na náměstí Milady Horákové v Plzni: (a) Situace ve skutečnosti. (Zdroj: *Mapy.cz*) (b) Situace v katastru. Šipka znázorňuje směr kamery na obrázku a (Zdroj: *Nahlížení do katastru nemovitostí*).

2.2. Stavba přes komunikaci

Budova na obr. 2 se nachází v Ostravě-Porubě a reprezentuje případy budov přemostujících komunikaci. V České republice i v zahraničí existuje mnoho podobných případů. Například Stoter (2004) ilustruje ekvivalentní situaci na komplexu budov v Haagu či budově ‘De Brug’ (Most) v Rotterdamu (Stoter a kol. 2012).



a



b

Obr. 2: Oblouk v Ostravě-Porubě. (a) Situace ve skutečnosti; (b) Situace v katastru. Šipka znázorňuje směr kamery na obrázku (a). Upraveno podle (Janečka 2016)

Současná evidence těchto staveb se řídí normou ČSN 01 3411 Mapy velkých měřítek – Kreslení a značky, která (mimo jiné) definuje způsob zobrazení překrývajících se objektů v katastru. Pokud nejsou hranice budovy shora viditelné, jako zde sloupy oblouků, zobrazí se jejich obrys přerušovanou čarou. U silničních komunikací se kreslí vlastnické hranice, nebo hranice uživatelské, koruna a hranice mezi chodníkem, nebo dělicím pásem. Chodníky jsou znázorněny obrysem. Protože situace v prostoru pod obloukem není shora viditelná, zakreslí se tyto hranice přerušovaně (ČNI 1989).

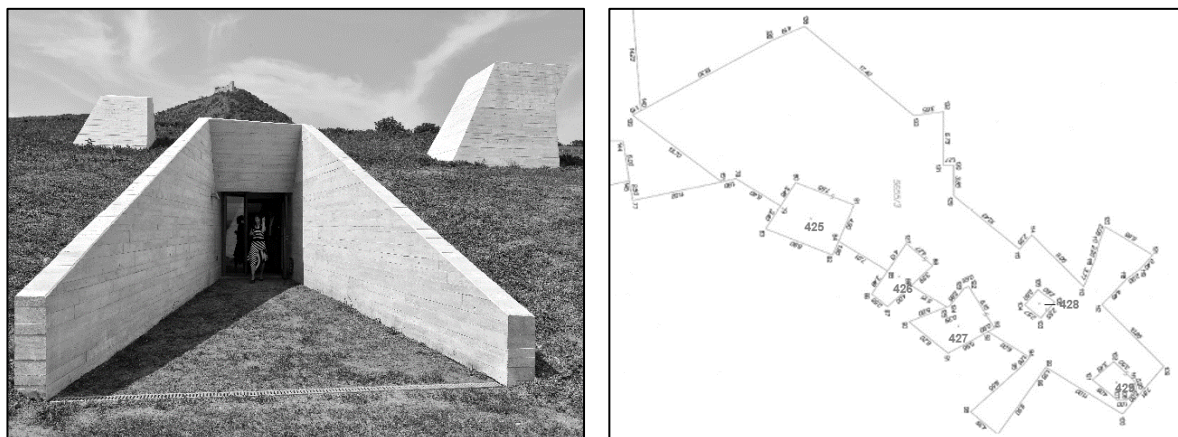
2.3. Podzemní stavba

Příkladem podzemní stavby může být archeologický park nacházející se v obci Pavlov v okrese Břeclav (viz obr. 3). Velká část povrchu objektu je zakrytá zeminou, pouze na několika místech vystupuje nad povrch.

Norma ČSN 01 3411 umožňuje na mapách velkých měřítek zobrazit i podzemní stavby. Nevyznačují-li se pouze osou, zobrazí se příslušnou značkou (přerušovanou čarou) bez přihlížení k počtu úrovní pod povrchem, a to vnitřním lícem stěn, jsou-li průchodné, nebo průlezné; jinak se kreslí vnějším obrysem. Průměty podzemních objektů v první, druhé a dalších úrovních pod povrchem (shora dolů), se označí pořadově arabskými čísly 1, 2, 3 atd., připsanými kolmo ve vhodných vzdálenostech k příslušné čáře, hlavou vně zobrazovanému prostoru (ČNI 1989).

Podzemní stavby, které svou částí vystupují nad terén, jsou sice předmětem katastrální evidence, nicméně v katastrální mapě se vyznačují průnikem obvodu s terénem a každá

takováto část budovy musí být evidována na samostatné stavební parcele. Pozemek mezi těmito částmi musí být evidován v podobě pozemkové parcely (Janečka 2016).



a

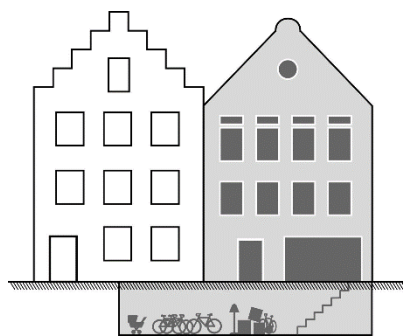
b

Obr. 3: (a) Vchod do archeoparku Pavlov (foto: Archeologický ústav AV ČR, Brno); (b) Zobrazení obvodu podzemní stavby. Upraveno podle (Olivová 2016).

2.4. Sklep pod cizím pozemkem

Podle odstavce 1 §498 občanského zákoníku 89/2012 Sb. jsou nemovitými věcmi i podzemní stavby se samostatným účelovým určením (Česko, 2012). Zde se jako příklad uvádí tubus metra, podzemní hrobka nebo vinný sklep. Samostatné účelové určení však nebude mít např. sklep pod domem. Aby nedošlo k omylu, je podle odstavce 2 §506 občanského zákoníku 89/2012 Sb. stavba, která není nemovitou věcí, součástí pozemku i v případě, že zasahuje pod jiný pozemek.

Na rozdíl od případu v předchozí kapitole ale sklep zasahující pod sousední pozemek (viz hypotetický příklad na obr. 4), nevystupuje na povrch, není evidován v katastrální mapě a může být předmětem soudních sporů.



Obr. 4: Sklep pod cizím pozemkem (Stoter 2004).

Tento systém ale nese řadu nedostatků: Když chce například stavebník zjistit polohu všech sítí technického vybavení na pozemku, neví, na jaké vlastníky se má obrátit. V České republice existují tisíce vlastníků sítí technického vybavení, od velkých, typu ČEZ, až po malé, např. vlastníky malých solárních elektráren (MFČR, 2017). Při poškození sítě, jejíž vlastník takto nebyl osloven, je pak na vině právě stavebník.

Jako řešení této situace je prozatím možné využít například službu e-UtilityReport firmy Hrdlička, která údaje o vlastnících sítí technického vybavení schraňuje, nebo podat dotaz na lokální projektanty, kteří dané území znají.

3. Mezinárodní norma ISO 19152

V minulosti většina zemí vytvářela vlastní katastrální systémy a teprve na počátku 21. století nabyla v oboru správy pozemků poptávka po standardizovaném modelu domén mezinárodních rozměrů. Výzkum byl podporován Mezinárodní organizací geodetů (FIG), programem UN-Habitat a Organizací pro výživu a zemědělství (Lemmen a kol. 2015; Zulkifli a kol. 2015). V roce 2012 byla publikována norma ISO 19152 Land Administration Domain Model (LADM). Tato norma byla v roce 2014 přeložena do českého jazyka (ÚNMZ 2014). Řada prací ukazuje, že užití standardu LADM pro data katastru má velké výhody, mezi které patří (Thompson 2013; Zulkifli a kol. 2014; Zulkifli a kol. 2015; Bydłosz 2015):

- Obsahuje kolektivní znalosti expertů z mnoha zemí a vytváří jednoznačné definice klíčových konceptů.
- Podporuje národní a mezinárodní výměnu dat jako součást globální infrastruktury pro prostorová data (GSDI).
- Podporuje progresivní vývoj kódování geometrie parcely, viz kapitola 4.1.
- Podporuje integraci 2D a 3D reprezentace prostoru, viz kapitola 4.4.1.

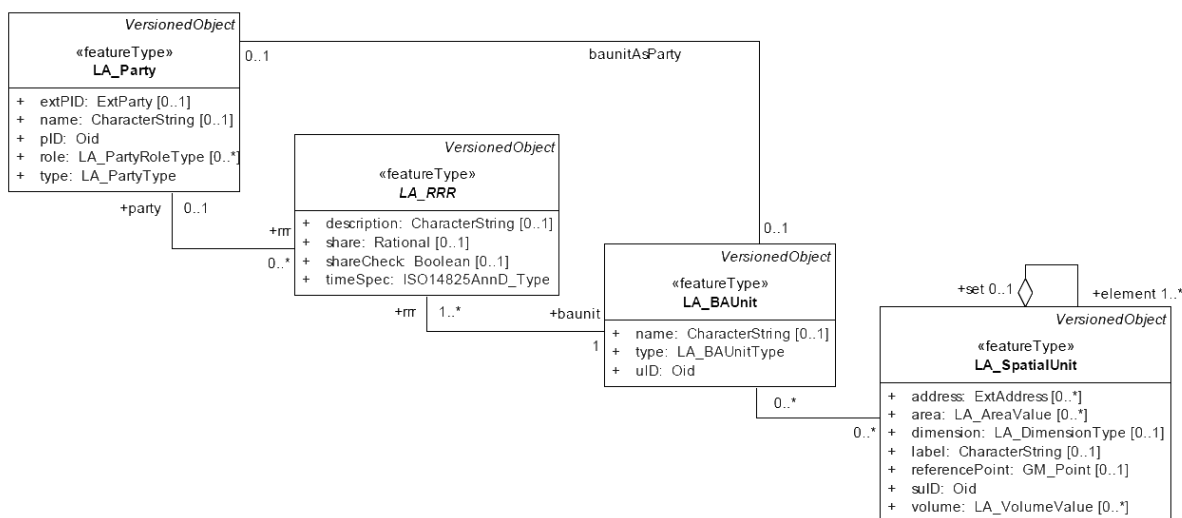
LADM se zabývá právním prostorem (*legal space*) fyzického objektu (Janečka 2015). Fyzickými objekty zde přitom mohou být kromě pozemků na zemském povrchu i objekty nad a pod ním či voda. V rámci LADM mohou být reprezentovány všechny druhy práv, omezení a odpovědností (Lemmen a kol. 2015).

Cílem LADM je především stanovení formálního jazyka, který je srozumitelný, užitečný v praxi a umožňuje popis rozdílných praktik a procedur v různých právních systémech (Zulkifli a kol. 2014; Zulkifli a kol. 2015). LADM není zamýšlen jako kompletní systém, ale jako základ, který je možné rozšířit a adaptovat na lokální situace. To vychází z faktu, že konkrétní řešení 3D katastru závisí na místní situaci a je vytvářeno potřebou uživatelů, trhu s pozemky, legislativou a technickými možnostmi (Oosterom 2013; Lemmen a kol. 2015).

3.1. Základní třídy

LADM je konceptuální schéma organizované do tří balíčků a jednoho podbalíčku. Jedná se o (ÚNMZ 2014):

1. Balíček Party
2. Balíček Administrative
3. Balíček Spatial Unit
 - Podbalíček Surveying and Representation



Obr. 6: Základní třídy LADM. Převzato z (Lemmen a kol. 2010a).

Jádro LADM je založeno na čtyřech základních třídách, viz obr. 6. Jsou to následující (ÚNMZ 2014; Janečka 2015; Lemmen a kol. 2015):

1. Třída `LA_Party`¹ balíčku Party. Instancemi této třídy jsou strany (*parties*), tedy např. fyzická, či právnická osoba.
2. Třída `LA_RRR` balíčku Administrative. Instancemi podtříd `LA_RRR` jsou práva (*rights*), omezení (*restrictions*) a odpovědnosti (*responsibilities*). Tedy například vlastnické právo, zákaz stavění v ochranném pásmu, či povinnost starat se o geodetický bod.
3. Třída `LA_BAUnit` balíčku Spatial Unit. Instancemi této třídy jsou základní správní jednotky (*basic administrative units*). Tyto jednotky sestávají z několika

¹ Třídy LADM mají prefix `LA_` pro jejich odlišení od tříd jiných norem (ÚNMZ 2014).

prostorových jednotek náležejících straně na základě stejného práva, právo tedy musí být „homogenní“ v celé základní správní jednotce.

4. Třída `LA_SpatialUnit` balíčku `Spatial Unit`. Instancemi této třídy jsou prostorové jednotky (*spatial units*). Tato třída se také označuje jako `LA_Parcel`.

Jako příklad principu fungování vazeb mezi výše uvedenými čtyřmi základními třídami LADM můžeme uvést: `LA_Party` Karel má `LA_RRR` právo vlastnictví na `LA_BAUnit` nemovitost sestávající ze dvou `LA_SpatialUnit` parcel (Janečka 2015).

3.2. Čas jako další dimenze

Udržování historických dat je nedílnou součástí každé katastrální evidence. Jak připomíná Thompson (2015), řešení v podobě pravidelných kopií celé databáze se ukázalo jako nepraktické, protože některé kopie mohou být v zastaralém formátu, jsou ukládána přebytečná data a tento způsob ani nemusí zachycovat všechny změny.

Jednou z možností je udržování historických dat přímo v aktivní databázi. Norma ISO 19152 pro správu a údržbu historických údajů v katastrální databázi zavádí v LADM dva možné přístupy tohoto řešení.

Na události založené modelování

Evidence počátečního stavu objektu a všech událostí, které vedly k jeho současnému stavu. Vychází ze skutečnosti, že pokud je znám počáteční stav objektu a jsou k dispozici informace o všech jeho změnách (událostech), je možné rekonstruovat všechny stavy v historii tohoto objektu. Událost je v LADM reprezentována jako instance třídy `LA_Source` (ÚNMZ 2014).

Je také možné evidovat místo počátečního stavu stav koncový a všechny události, které k němu vedly.

Na stavu založené modelování

Evidence všech stavů objektu v historii. Ke každému objektu je přiřazen časový interval, během něhož je (resp. byl) objekt v systému aktuální. Při porovnání dvou po sobě jdoucích stavů je možné rekonstruovat událost na základě které objekt přešel z jednoho stavu do druhého (ÚNMZ 2014).

Pro tento typ modelování je v LADM zavedena třída VersionedObject, která má několik podtříd, včetně LA_BAUnit, LA_SpatialUnit, LA_BoundaryFace, LA_BoundaryFaceString, LA_Point a LA_Level. Všechny tyto třídy dědí atributy beginLifespanVersion a endLifespanVersion, které určují výše zmíněný interval (ÚNMZ 2014).

Při jakékoli změně databázového systému je nutné zajistit, aby historická data byla kompatibilní se současnými daty. V případě, že by tomu tak nebylo, musela by být provedena patřičná konverze. Bude-li opravena chyba v současných datech, měla by tato chyba být opravena i v historických datech (Thompson 2015; ÚNMZ 2014).

3.3. Úrovně prostorových jednotek

Z důvodu organizace prostorových jednotek norma ISO 19152 zavádí pojem „úroveň“, který definuje jako (ÚNMZ 2014):

„Množina prostorových jednotek s geometrickou, a/nebo topologickou, a/nebo tematickou souvislostí“

LADM tak umožňuje rozdělení prostoru ve více než jedné vrstvě. Pro uložení informací o jednotlivých úrovních nabízí LADM třídu LA_Level asociovanou s třídou LA_SpatialUnit. Třída LA_Level obsahuje unikátní identifikátor a čtyři atributy (viz tab. 1) které jsou nepovinné, ale v případě použití popisují obsah dané úrovně (ÚNMZ 2014).

Atribut	Popis
name	Název úrovně
registerType	Typ registru, např. venkovský nebo městský
structure	Typ kódování geometrie, viz kapitola 4.1
type	Typ obsahu úrovně. Např. primární nebo zvykové právo

Tab. 1: Atributy třídy LA_Level (ÚNMZ 2014).

Příklady použití úrovní mohou být (ÚNMZ 2014):

- Použití jedné úrovně prostorových jednotek v městském katastru a jiné úrovně pro prostorové jednotky v extravilánu.
- Použití jedné úrovně prostorových jednotek pro definování základních správních jednotek sdružených s právy a jiné pro definování základních správních jednotek sdružených s omezeními

- Použití jedné úrovně pro popis současného vlastnictví a jiné pro předválečné vlastnictví.

Prostorová jednotka může být asociována nejvýše s jednou úrovní (ÚNMZ 2014).

3.4. Síť technického vybavení

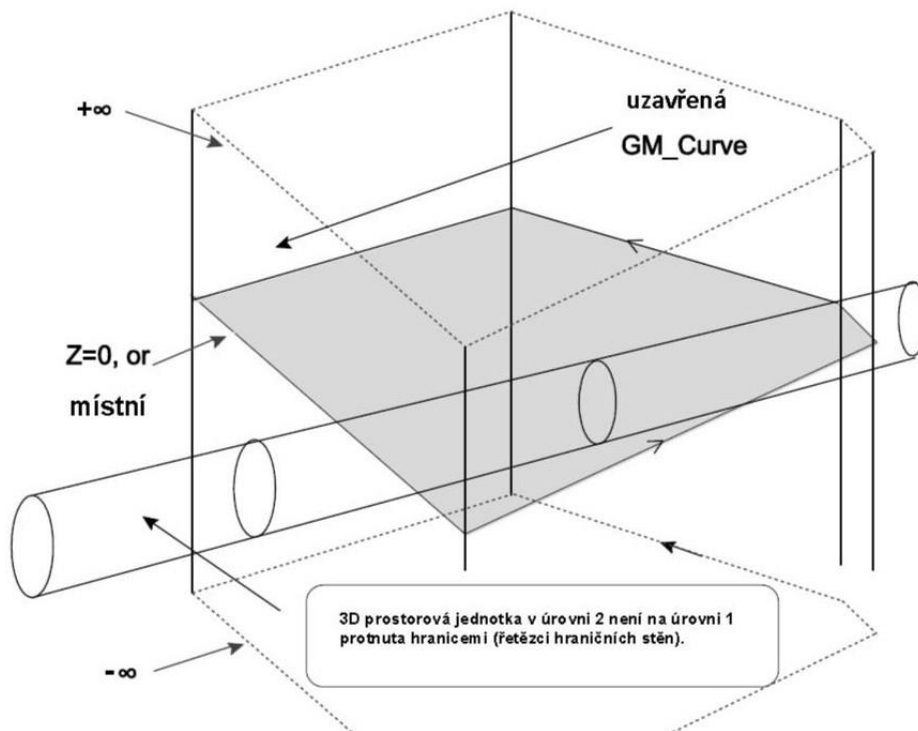
LADM obsahuje podporu pro evidenci informací o sítích technického vybavení v katastru nemovitostí. Konkrétně nabízí třídu `LA_LegalSpaceUtilityNetwork`, která je specializací třídy `LA_SpatialUnit`. Evidence se přitom týká právního prostoru, který se nemusí nutně krýt s fyzickým prostorem sítě technického vybavení. Může se jednat o ochranné okolí, nebo o právní prostor potřebný k přístupu a údržbě kabelů nebo potrubí v síti technického vybavení (ÚNMZ 2014).

Třída `LA_LegalSpaceUtilityNetwork` obsahuje tři nepovinné atributy pro popis sítí technického vybavení, viz tab. 2.

Atribut	Popis
<code>extPhysicalUtilityNetworkID</code>	Odkaz na fyzický popis (geometrie) sítě technického vybavení
<code>status</code>	Statut sítě technického vybavení (např. plánované nebo v provozu)
<code>type</code>	Typ sítě technického vybavení (např. elektřina, nebo plyn)

Tab. 2: Atributy třídy `LA_LegalSpaceUtilityNetwork`

Pro organizování instancí je možné využít systém úrovní (viz kapitola 3.3). Katastrální databáze může například na jedné úrovni obsahovat vlastnictví k pozemkům a jiná úroveň může obsahovat vlastnictví právního prostoru týkající se sítí technického vybavení (viz obr. 7) (ÚNMZ 2014).



Obr. 7: Uložení právního prostoru sítě technického vybavení do speciální úrovně. Převzato z (ÚNMZ 2014).

Při evidenci sítě technického vybavení, je třeba rozlišovat právní a fyzický prostor. Geometrii fyzického prostoru sítě technického vybavení, včetně informace o výšce (resp. hloubce) by měl evidovat vlastník, či správce této sítě. Databáze katastru by tato data měla přebírat a na jejich základě vytvářet právní prostor reprezentující ochranné okolí sítě. V databázi katastru by byla uložena pouze geometrie právního prostoru, nikoli fyzického, ta by byla vedena pouze na straně vlastníka či správce. Jakákoli změna ve fyzickém prostoru sítě technického vybavení by měla neprodleně vyvolat aktualizaci také prostoru právního (Döner a kol. 2010; Döner a kol. 2011).

4. 3D parcela

Norma ČSN EN ISO 19152 definuje pojem 3D parcela následujícím způsobem:

„Prostorová jednotka, vůči které jsou na celou entitu vztážena jedinečná a homogenní práva (jedno nebo více) [tj. vlastnické právo nebo užívací právo k pozemku], odpovědnosti nebo omezení, jak to odpovídá systému správy pozemků.“

„Jedinečný“ znamená, že prostorová jednotka má největší možný objem, pro který tato homogenita práv platí. Jakékoli další zvětšení by způsobilo, že by práva nebyla homogenní a jakékoli zmenšení by způsobilo, že na některé ze sousedních 3D parcel by byla aplikována stejná kombinace práv (Oosterom 2013).

Parcela je právní objekt, její hranice nemusí být v reálném světě viditelné ani nemusí být přímo vztážené k hranicím, které v reálném světě existují. Díky tomu mohou být parcely použity i k evidenci jiných než fyzických objektů, například ochranných zón, či prostoru nad budovou (Döner a kol. 2011; Janečka 2015; Thompson 2015; Thompson a kol. 2015; Stoter a kol. 2016a).

4.1. Typy kódování geometrie parcely

Pro uložení geometrie parcely v databázi norma ISO 19152 definuje několik možných typů kódování (ÚNMZ 2014; Lemmen a kol. 2010b):

1. na textu založená (*text based*)

Při tomto typu kódování se neukládají žádná geometrická data. Definice prostorové jednotky je úplná z popisného textu. Lemmen a kol. (2010b) uvádí příklad, kdy je parcela definovaná pomocí metody „*Metes and bounds*“ (hraniční kameny a hranice), kdy typickým příkladem zápisu geometrie parcely je: „*Hranice začíná na rohu, kde se stýkají dvě zdi, poblíž jabloně na severní straně silnice...*“. Z takového zápisu je průzkumem v terénu možné získat geometrii parcely. Není to ovšem strojově interpretovatelný zápis.

2. na náčrtech založená (*sketch based*)

Používá se v případě, že je k dispozici nákres či fotografie, ale pouze pokud není k dispozici vyšší úroveň kódování.

3. na bodech založená (*point based*)

Používá se v případě, kdy jedinou informací o poloze prostorové jednotky jsou souřadnice jediného bodu na jejím území, resp. v jejím objemu. Toto kódování jako jediné ze zde uvedených neobsahuje geometrii hranic pozemku, ty musí být evidovány pomocí jiného ze zde uvedených způsobů. Přidanou hodnotou je zde ovšem čitelnost počítačem.

4. nestrukturovaně na liniích založená (*unstructured line based*)

Jedná se o tzv. špagetový model. V reprezentaci takovýchto prostorových jednotek jsou tolerovány nekonzistence, jako například volné konce a neúplné hranice. To může nastat např. v případě, kdy jsou data sbírána postupně více metodami.

5. na polygonu založená (*polygon based*)

Každá takováto prostorová jednotka je ukládána jako oddělená entita. Hranice jsou tedy ukládány pro sousední prostorové jednotky duplicitně a mezi sousedícími prostorovými jednotkami není k dispozici žádná topologická informace. V tomto kódování mohou v datech snadno vznikat díry či překryvy. Při použití tohoto typu kódování by proto měla být zavedena validační procedura zajišťující celistvé pokrytí.

6. na topologii založená (*topology based*)

Tato varianta je použita ve chvíli, kdy prostorové jednotky sdílejí reprezentace hranic. Hranice mezi dvěma prostorovými jednotkami je tedy v tomto případě ukládána pouze jednou a má uložený odkaz na prostorovou jednotku vlevo a vpravo.

Parcely podle tohoto standardu je tedy možné realizovat i jinak než pomocí geometricky definovaných stěn. Celkem je podle ISO 19152 možné reprezentovat prostorovou jednotku šesti výše uvedených způsobů i jejich kombinací. Katastr díky tomuto standardu může například využívat jak topologické kódování pro hustě zastavěná centra velkých měst, tak méně precizní typy kódování (např. špagetový model) pro řídké obydlené oblasti (Thompson 2013).

Pro organizaci různých typů kódování v databázi je možné využít systém úrovní (viz kapitola 3.3). Každá úroveň by potom obsahovala všechny parcely s určitým kódováním. Jedna úroveň by například mohla obsahovat na bodech založené prostorové jednotky, druhá úroveň nestrukturovaně na liniích založená atd. Pro tento typ organizace má třída LA_Level nepovinný atribut *structure* (ÚNMZ 2014).

V případě potřeby by prostorová katastrální databáze měla podporovat všechny nutné úrovně kódování a měla by umožňovat konverzi mezi jednotlivými typy kódování. Pokud by uživatel databáze chtěl například získat data v kódování založeném na liniích z databáze, ve které jsou parcely uloženy kódováním založeném na polygonech, měla by automaticky proběhnout příslušná konverze mezi typy kódování (Thompson 2013).

Jednotlivé parcely sice mohou být omezeny na jedinou úroveň kódování, ale v praxi může nastat případ, kdy by parcela měla být definována kombinací více typů kódování. Nejde o to, že stejná geometrie bude definována více způsoby, ale o případy, kdy různým způsobem budou definovány jednotlivé úseky hranice parcely. Příkladem může být parcela na třech stranách definovaná měřenými liniemi, ale na čtvrté straně břehem řeky, která může v čase měnit svůj tok. Toto by pak byla kombinace kódování založeného na textu a některého z vyšších úrovní (Thompson a kol. 2015).

4.2. Kategorizace 3D parcel

Abychom zabránili nečekaným událostem při vkládání 3D parcel do databáze, je už při její tvorbě nezbytné mít kompletní přehled typů 3D objektů, které je třeba modelovat. Thompson a kol. (2015) vytvořili základní kategorizaci 3D parcel, která je zde seřazena podle rostoucí complexity:

1. *2D spatial unit* – Hranol (*prism*), definovaný tvarem 2D parcel. Parcela implicitně vymezuje zároveň sloupec vlastnického prostoru pod i nad parcelou a reprezentuje tedy část 3D prostoru.
2. *Building format spatial unit* – 2D prostorová jednotka s plánem budovy. Jedná se o vymezení jednotek v budově s jejich znázorněním na plánu podlaží, chybí ale informace o výšce (viz obr. 8a).
3. *Semi-open spatial unit* – Částečně otevřená prostorová jednotka ve tvaru hranolu, vymezeném půdorysem, a zespoda nebo shora omezená povrchem².
4. *Polygonal slice spatial unit* – Prostorová jednotka vymezená půdorysem a zespoda a shora povrchem, přičemž tyto ohraničující plochy se neprotínají ani nedotýkají (viz obr. 8b).

² Tento povrch by měl být popsatelný funkcí $z = f(x,y)$. Obvykle se jedná o horizontální rovinu.

5. *Single-valued stepped spatial unit* – prostorová jednotka definovaná pouze vertikálními a horizontálními stěnami. Single-valued je podmínka, že uvnitř této parcely nesmí existovat dva body se stejnými souřadnicemi x a y, mezi kterými by se nacházel bod mimo parcelu (viz obr. 8c).
6. *Multi-valued stepped spatial unit* – Stejně jako předchozí případ, ale bez podmínky single-valued (viz obr. 8d).
7. *General 3D spatial unit* – Obecná 3D prostorová jednotka. Všechny stěny takovéto 3D parcely mohou mít libovolnou orientaci (viz obr. 8e).

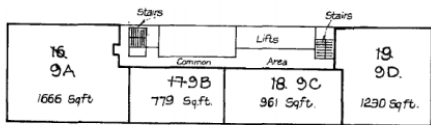
Zvolený datový model pro konkrétní implementaci 3D katastru musí podporovat potřebné reprezentace 3D parcel. V případě hybridního 3D katastru (Stoter 2004) jsou v 3D katastru modelovány vybrané 3D objekty, které jsou integrovány se stávajícím 2D stavem. Příkladem aplikace hybridního 3D katastru může být situace, kdy jsou evidovány pozemky na zemském povrchu pomocí 2D (2.5D v případě obecně složitého reliéfu) prostorových jednotek a ochranná pásma sítí technického vybavení pomocí obecných 3D prostorových jednotek (3D parcel) (Janečka 2015).

4.3. Hraniční stěny modelované pomocí obecně zakřivených ploch

Hranice ploch a objemů, které jsou předmětem evidence 3D katastru nemovitostí, jsou ve většině případů tvořeny lomenými čarami, resp. stěnami. Existují ovšem případy, kdy je hranice plochy reprezentována křivkou a stěna objemu obecně zakřivenou plochou.

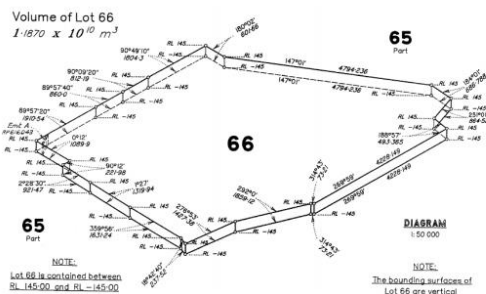
Katastrální vyhláška pro takové případy (myšleno pro současnou 2D evidenci) zavádí postup, kdy se křivka vyjádří pomocí úseček tak, aby se žádný bod na úsečce od skutečného průběhu hranice neodchýlil o více než 0.10 m. Umožňuje ale také reprezentaci pomocí kružnice, nebo její části (ČÚZK 2017).

Validační procesy pro obecné křivky jsou složité již v 2D evidenci a s posunem ke 3D se dále komplikují. Může být například obtížné zjistit, zda je 3D objekt uzavřený a jaký má tvar. Další komplikací je nalezení matematického popisu průsečíku dvou parametricky definovaných povrchů (Thomson a kol. 2016b). Bylo navíc matematicky dokázáno, že v některých případech matematický popis hran mezi dvěma zakřivenými plochami neexistuje a nejlepší, co můžeme udělat, je získat numerickou aproximaci (Karki a kol. 2013).

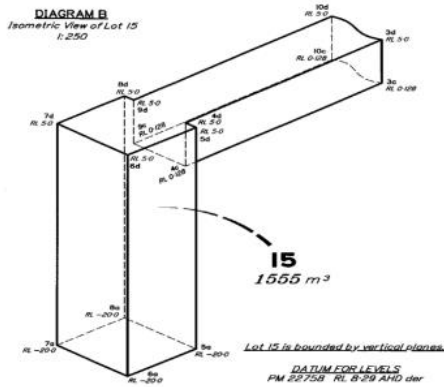


Scale:- 30 feet to an inch
Floor Areas are Approximate Only.

a



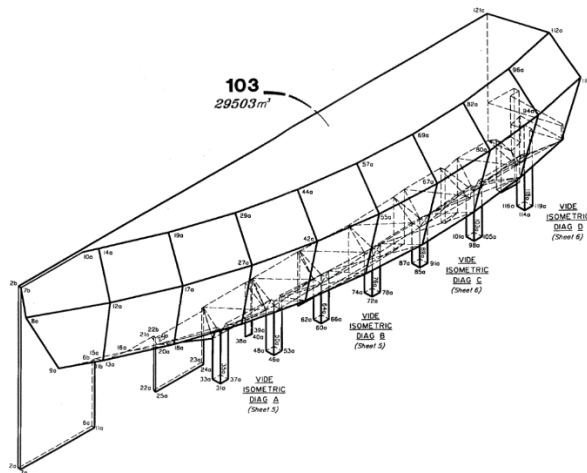
b



c



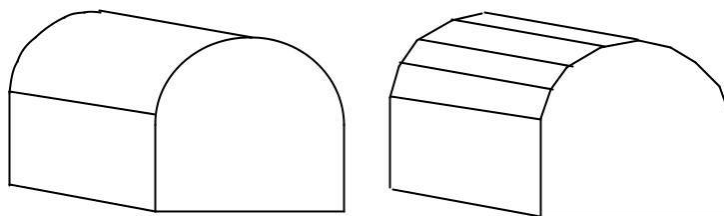
d



e

Obr. 8: Příklady jednotlivých typů 3D parcel: (a) Building format spatial unit; (b) Polygonal slice spatial unit; (c) Single-valued stepped spatial unit; (d) Multi-valued stepped spatial unit; (e) General 3D spatial unit. Převzato z (Thompson a kol. 2015) – a, b, c, e; (Ding a kol. 2016) – d.

Z hlediska ukládání 3D objektů v databázi, jejich validace, vizualizace a dalších procesů proto může být užitečnější místo přesné reprezentace obecně složitých 3D povrchů použít aproximaci daného objektu mnohostěnem, tedy aproximací pomocí přiměřeně velkých rovinných stěn, viz obr. 9. Je ovšem nezbytné evidovat informaci, že se jedná pouze o aproximaci hranice právního prostoru, nikoli její přesnou reprezentaci (Karki a kol. 2013).



Obr. 9: Zakřivený povrch a jeho příslušná aproximace mnohostěnem. Převzato z (Karki a kol. 2013)

4.4. Integrace 2D a 3D parcel

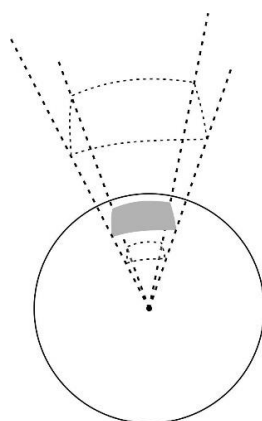
Záměrem této diplomové práce není ve 3D evidovat všechny parcely, ale zachovat existující 2D stav a integrovat do něj pouze několik 3D situací, reprezentovaných 3D parcelami. Je proto nutné se pro řešení praktických úloh katastru nemovitostí zabývat otázkou vzájemné kombinace 2D a 3D parcel. Thompson a kol. (2016a) shrnují možné přístupy k takovéto evidenci:

1. Evidovat 2D a 3D parcely v oddělených databázích.
2. Pro 3D parcely ukládat pouze půdorysy, bez jakéhokoli odkazu na 3D geometrii.
3. Pro 3D parcely ukládat pouze půdorysy. 3D geometrii ukládat odděleně v jiném formátu (CAD nebo PDF).
4. 3D parcely aproximovat minimálními ohraničujícími hranoly s horizontálními podstavami a vertikální osou a ukládat do jediné databáze.
5. Konvertovat všechny parcely do 3D a ukládat do jediné databáze.
6. Integrovat 2D a 3D parcely v jedné databázi a zajistit, aby data byla topologicky čistá.

Cílem této práce je aplikovat pro integraci 2D a 3D parcel přístup popsany v bodě 6 předchozího výčtu, tedy integrovat obě datové sady v jedné databázi při využití existujícího 2D stavu. LADM toto umožňuje a nabízí pro tento účel koncepty *Boundary face* a *Boundary face string*.

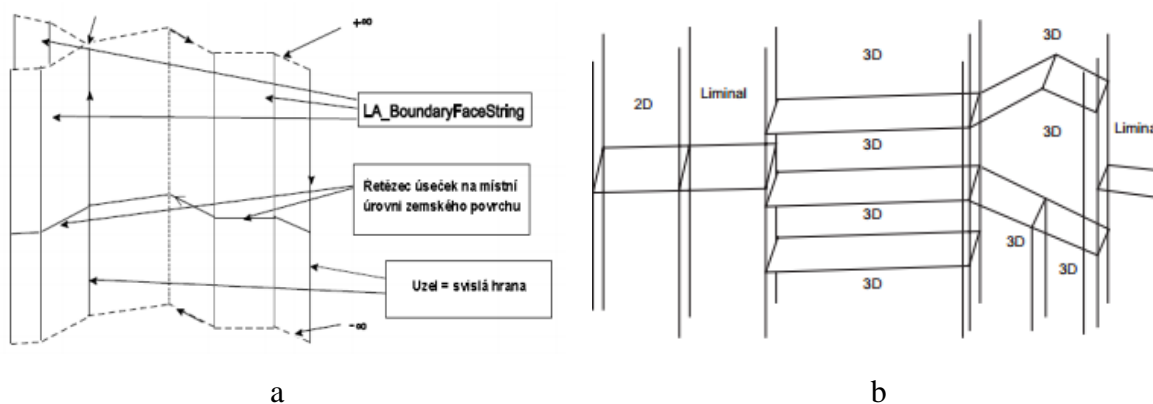
4.4.1. Boundary face a Boundary face string

Datový model 3D katastru by měl být budován tak, aby na 2D parcelu mohlo být pohlíženo jako na speciální případ 3D parcely (Thompson a Oosterom 2012). To platí v okamžiku, kdy jsou tradiční 2D parcely převedeny na 2,5D reprezentaci. LADM využívá faktu, že tradiční 2D parcela pak v takovém případě v podstatě implikuje „neomezený“ sloupec prostoru nad a pod povrchem (viz obr. 10), a pro modelování 2D a 3D parcel zavádí koncepty *boundary face* (hraniční stěna) a *boundary face string* (řetězec hraničních stěn).



Obr. 10: Ilustrace prostorového rozsahu vlastnického práva k pozemku. Převzato z (Stoter 2004).

Princip *boundary face string* spočívá v nahrazení lomených čar hranic 2D parcel (teoreticky 2.5D parcel) vertikálními stěnami, které tak z 2D parcely vytvoří pomyslný hranol vymezující prostor ve 3D (viz obr. 11a). *Boundary face* naopak může reprezentovat libovolně orientovanou stěnu 3D parcely. V praxi mohou nastat případy, kdy je parcela ohraničena kombinací těchto dvou typů stěn (viz obr. 11b). Takové parcely se nazývají prahové (*liminal*) a je třeba s nimi počítat při vývoji software pro práci s těmito daty (ÚNMZ 2014).



Obr. 11: (a) Řetězec hraničních stěn – *boundary face string*; (b) Kombinace 2D a 3D parcel. Převzato z (ÚNMZ 2014).

4.4.2. Integrace ve výšce

Z hlediska bezešvé integrace 2D a 3D parcel je potřeba zvolit způsob ukládání informací o výšce bodů definujících parcely a to tak, aby poskytovaly i informaci o poloze bodů vůči povrchu země. Toto je třeba vyřešit například pro správnou vizualizaci dat katastru. Stoter (2004) navrhuje dvě možnosti řešení tohoto problému: použití absolutní z-souřadnice a použití relativní z-souřadnice.

Použití absolutní z-souřadnice

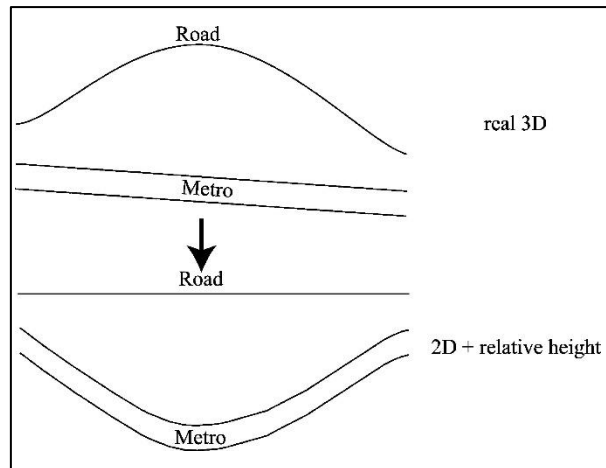
V případě ukládání 3D parcel za použití absolutní z-souřadnice definované v rámci národního výškového systému je nutné převést 2D parcely na 2.5D reprezentaci, aby bylo možné definovat geometrické a topologické vztahy mezi 3D a 2D parcelami (např. „pod“, „nad“ a „protíná“). Zároveň nestačí každé parcele přiřadit pouze jednu výškovou hodnotu, protože výšky jednotlivých hraničních bodů parcel jsou často velmi rozdílné.

Stoter (2004) navrhuje definičním bodům 2D parcel doplnit informaci o výšce na základě dat získaných laserovým skenováním. Tato data ale obsahují spoustu nadbytečných informací, a proto je vhodné je generalizovat. Jednou z možností je použít Delaunayovu triangulaci s podmínkami (constrained Delaunay triangulation) pro vytvoření nepravidelné trojúhelníkové sítě (TIN) a lomovým bodům 2D parcel přiřadit výškové hodnoty získané z této sítě. V databázi je potom možné neukládat celou trojúhelníkovou síť, ale pouze výškové hodnoty těchto lomových bodů.

Použití relativní z-souřadnice

Další možností výškové integrace je ukládání relativních výšek definičních bodů parcel vůči povrchu Země. V tomto přístupu není třeba převádět 2D parcely na 2.5D, pokud předpokládáme použití 3D parcel v oblasti, ve které je výrazně rovinný terén. Navíc u 3D parcel, které kopírují povrch země, jako ukazuje Stoter (2004) na příkladu potrubí, stačí ukládat výšku, která je po délce parcely neměnná.

Problém nastává ve chvíli, kdy se výška 3D parcely vůči povrchu mění. Příkladem může být metro procházející pod kopcem, přes který vede silnice (viz obr. 12). Při použití absolutních vertikálních souřadnic by zobrazení metra odpovídalo skutečnosti, zatímco použití relativních souřadnic by trasu metra zkreslilo (Navratil a Unger 2013).



Obr. 12: Ukázka různých vjemů při použití absolutních a relativních vertikálních souřadnic. Převzato z (Navratil a Unger 2013).

Je zřejmé, že v zastavěném území by použití relativních výšek bylo problematické, protože tím, jak jsou komunikace ve městech neustále rekonstruovány, mění se i relativní výška budov. Například nová vrstva asfaltu na silnici se může projevit až několikacentimetrovou změnou. Proto by v takovém případě bylo nutné relativní výšky udržovat aktuální (Navratil a Unger 2013).

Pro modelování vybraných situací pomocí 3D parcel jsou pro jednoduchost v této práci použity právě výšky relativní, přičemž modelování vybraných situací předpokládá rovinný terén. V obecném pojetí by bylo nutné převést 2D parcely na 2.5D reprezentaci.

4.5. Validita 3D parcel

Pro správnou manipulaci s objekty je nezbytné, aby byly validní. Například není možné spočítat objem krychle s jednou chybějící stěnou. Takovéto chyby v datech mohou způsobit selhání software, nebo špatný výsledek dotazu. Proto je nutné objekty při jejich vkládání a aktualizaci v databázi validovat (Stoter 2004; Thompson 2013).

Thompson a Oosterom (2012) definují následující důvody validace 3D parcel:

1. Abychom zajistili, že definice 3D parcely je jednoznačná.
 - Software manipulující s 3D parcelami předpokládá předem definovanou strukturu 3D parcel.
2. Abychom umožnili „Programming by Contract“.
 - Je výhodné, aby programy pracující s daty nemusely počítat se speciálními případy, které jsou validací vyloučeny.

3. Abychom zajistili, že data mohou být přenesena bez ztráty integrity.
 - Musí existovat interoperabilita mezi programy (Ledoux 2013). Data jsou ukládána s určitou chybou (floating point) a je třeba zajistit, aby vnesením takovéto chyby nevznikaly v datech chyby (např. bod, který má být na jedné straně linie, bude po vnesení chyby na druhé nebo se dva body vlivem chyby ztotožní – kolaps bodů).
4. Abychom odstranili chyby v databázi.
 - Při vkládání nových dat do databáze validační proces určí chyby, které je třeba odstranit před akceptováním těchto dat.

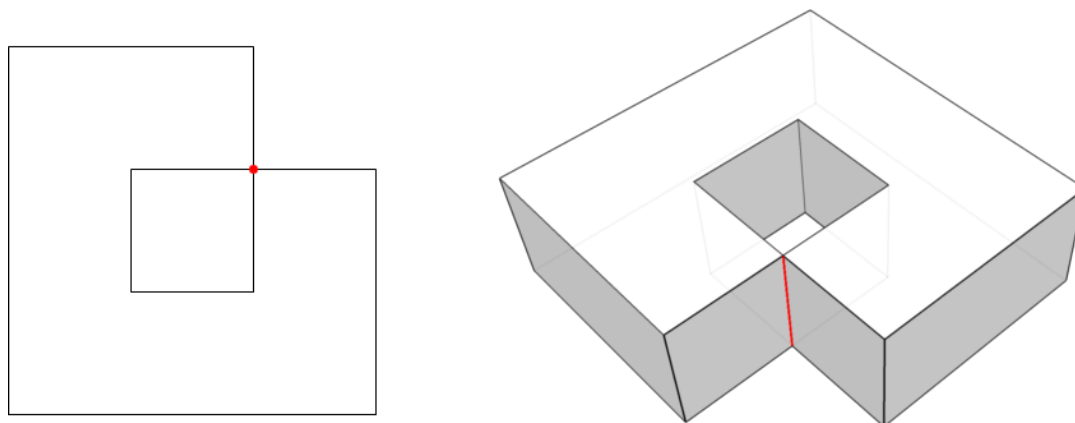
4.5.1. Rozpor v definici 3D objektů

V posledních desetiletích vzniklo množství specifikací (ISO a OGC) a nástrojů na validaci 2D geometrií, a přestože 3D geometrii objektů je nutné validovat také, neměl vývoj standardů v této oblasti takovou podporu a tak byly 3D objekty reprezentovány a ukládány v databázích na základě různých pravidel a definic (Ledoux 2013).

Autoři publikací (Thompson a Oosterom 2012; Ledoux 2013; Oosterom 2013; Ying a kol. 2014; Janečka a Karki 2016) konstatují, že definice 3D geometrických těles, kterou uvádí norma ISO 19107, není dostačující pro 3D geometrický popis předmětů evidence katastru. Schránka geometrického tělesa, definovaného normou ISO 19107, totiž musí být 2-manifold³. Protože většina programů (GIS, CAD a DBMS) pro práci s 3D objekty jejich definici zakládá na normě ISO 19107, nebo má vlastní definici, nemá reprezentace pomocí non-manifold⁴ objektů v těchto programech dobrou podporu (Oosterom 2013). Příkladem systému založeném na ISO 19107 je Oracle DBMS, který non-manifold objekty za validní nepovažuje. V reálném světě přitom mohou nastat situace, které je třeba v 3D katastru modelovat právě pomocí non-manifold 3D objektů, viz příklad na obr. 13.

³ Geometrický objekt, kde pro každý bod jeho schránky existuje okolí tohoto bodu, na kterém je tato schránka topologicky podobná rovině. Z toho plyne, že do každé hrany vstupují právě dvě stěny a schránka je uzavřená. Ekvivalentně, 1-manifold je objekt, kde pro každý bod jeho schránky existuje okolí tohoto bodu, na kterém je tato schránka topologicky podobná přímce. Reálné příklady parcel, které nejsou 1-manifold ze současné katastrální evidence uvádí Oosterom a kol. (2003).

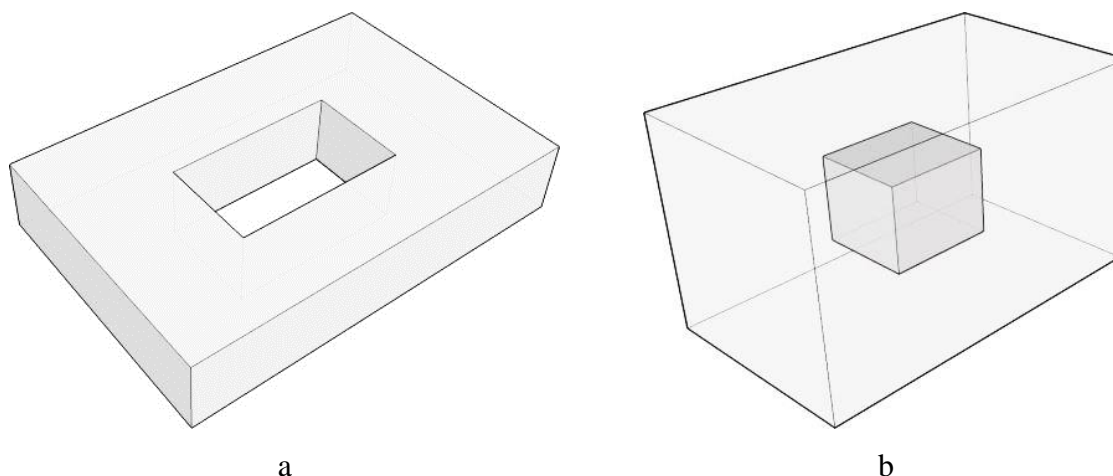
⁴ Objekt, který není n-manifold.



Obr. 13: Ukázka non-manifold objektu ve 2D a 3D (objekty, dotýkající se samy sebe, je nutné v 3D katastru považovat za validní 3D parcelu).

Algoritmy a nástroje používané v současnosti pro práci s 3D objekty nejsou z výše uvedených důvodů dostačující. Kromě chybějící podpory non-manifold objektů se jedná i o absenci podpory děr skrz geometrická tělesa (viz obr. 14a) a prázdných prostorů uvnitř jejich objemu (viz obr. 14b) (Ledoux 2013).

Při definici validního 3D objektu je nezbytné brát v potaz účel jeho využití (Thompson a Oosterom 2012). Z tohoto důvodu je v práci popsáno rozšíření definice validního 3D objektu pro účely 3D katastru (použití 3D objektů pro reprezentaci 3D parcel).



Obr. 14: (a) Díra v geometrickém tělese; (b) Prázdný prostor uvnitř objemu geometrického tělesa

4.5.2. Axiomy pro validní 3D parcely

Samotný proces validace 3D objektů se může zdát samozřejmý z pohledu člověka, ale počítač potřebuje sadu explicitních pravidel. Je proto nutné přesně definovat 3D geometrické primitivum použité pro reprezentaci legálního prostoru (3D parcely) (Stoter 2004). Pravidla pro validaci 3D parcel definují Thompson a Oosterom (2011) pomocí sady axiomů. Tyto

axiomy (uvedené níže) mohou být použity jako pravidla pro validaci 3D parcel a tvorbu základů pro validační procesy, potřebné k posouzení správnosti často komplexních geometrií 3D parcel. Jejich porušení by mohlo způsobovat nesprávnou činnost, či úplné selhání software, pracujícího s těmito daty (Thompson a Oosterom 2011; Karki a kol. 2013).

- A1. Vzdálenost mezi žádnými dvěma vrcholy není menší než ϵ .
 - Zamezí malým artefaktům.
- A2. Z každého vrcholu vychází alespoň 3 hrany.
 - Zabráni situaci, kdy je na hraně stěny parcely vložen přebytečný bod.
- A3. Stěny, které mají společný vrchol, se neprotínají jinde než ve společné hraně.
- A5. Hrany, které se neprotínají, mezi sebou nesmí mít vzdálenost menší, než ϵ .⁵
- A6. Každá hrana je místem, kde se setkává sudý počet stěn tak, že jejich orientované hrany⁶ kolem této tvoří alternující řadu.
 - Zajišťuje, aby byla zachována orientace stěn.
- A7. Orientované hrany, vytyčující díru v stěně parcely, musí být zároveň součástí vnější hranice jiných stěn této parcely.
 - Je implikovaný A2 a proto jej v případě použití A2 není třeba zavádět.
- A8. Hrany tvořící stěnu jsou v rovině v rámci tolerance ϵ .
- A9. Žádný vrchol není od stěny ve vzdálenosti menší než ϵ , pokud není součástí její definice.
 - Spolu s A5 implikuje, že žádná hrana není ve vzdálenosti menší než ϵ , pokud není součástí její definice.
- A10. Žádná hrana neprotíná žádnou stěnu jinde než ve vrcholu této stěny.

Tolerance

Jak popisuje Stoter (2004), proces validace a některé 3D operace mají na vstupu hodnotu tolerance: například stěny mnohostěnu jsou ploché pouze v rámci tolerance. To je způsobeno tím, že body v 3D prostoru, které tvoří polygon ohraničující tuto stěnu, mohou nepatrně vystupovat mimo její povrch z důvodu nepřesnosti měření a konečné reprezentace souřadnic v počítači (*floating point*). Jako řešení tohoto problému byla zavedena hodnota blízká nule

⁵ Thompson a Oosterom (2012) dokazují, že axiom A4 je implikován A5. Pro zachování označení nebyly následující axiomy přečíslovány.

⁶ Orientované hrany ohraničují stěnu proti směru hodinových ručiček při pohledu na tuto stěnu směrem z vnějšího dovnitř objektu, ohraničeného touto stěnou.

nazývaná tolerance ε . Tato hodnota nesmí být nulová, protože jinak by vznikaly chyby i ve funkcích spuštěných nad některými validními objekty, a naopak nesmí být ani příliš vysoká, protože jinak by validační algoritmy považovaly za validní i objekty, které validací projít nesmí. Stoter (2004) jako hodnotu tolerance navrhuje použít například směrodatnou odchylku geodetických měření, na základě kterých je v počítači reprezentována geometrie parcel.

4.5.3. Validace v postprocessingu

Jak uvádí Thompson (2015), tradičním přístupem je validace dat před jejich nahráním do databáze. Pokud data nejsou validní, ale je možné je automaticky opravit, jsou někdy používány automatické korekce. V případě jejich použití může ale dojít ke ztrátě některých informací, případně zanesení informací nepravdivých. Thompson (2015) jako příklady možných chyb zanesených automatickou korekcí uvádí odstranění malých parcel, nežádoucí pohyb bodů, či změnu velikosti úhlů. Je tedy potřeba, aby navrhované opravy posoudil zkušený odborník.

Zároveň je ale vhodné zpřístupnit data co nejdříve. Thompson (2015) proto navrhuje tzv. validaci v postprocessingu (*lazy cleansing of data*), tedy umožnit vkládání nevalidních dat do databáze a tato data označovat. Později by zkušený operátor danou situaci posoudil a opravil případnou chybu. Pokud by totiž software pro práci s těmito daty byl dostatečně robustní, nemělo by být zobrazení většiny nevalidních dat problémem.

5. Návrh prostorové databáze

Návrh databáze 3D katastru je komplexní úkol a nabízí se několik možností, jak jej zpracovat. Hlavními faktory pro výběr vhodného datového modelu jsou:

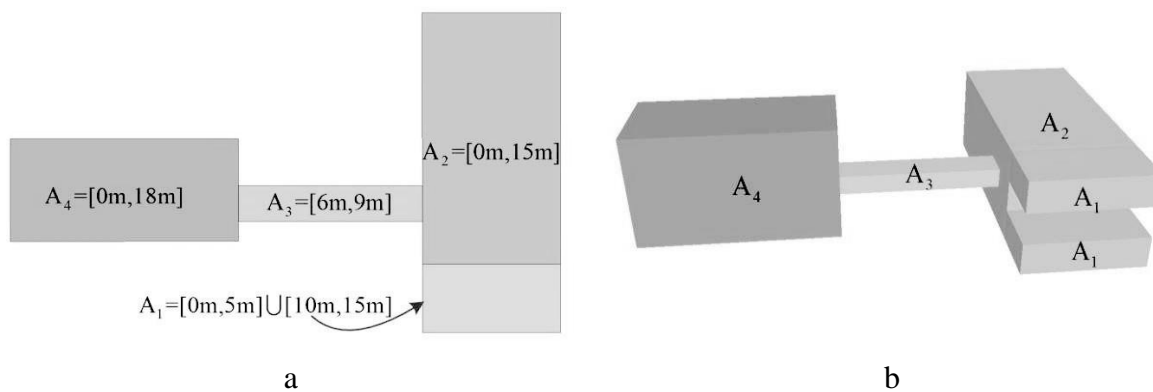
- **Maximální podporovaná úroveň komplexity 3D parcel** (viz kapitola 4.2)
- **Podporované typy kódování geometrie parcel** (viz kapitola 4.1)
- **Způsob integrace 2D a 3D parcel** – v této práci preferujeme integraci 2D a 3D parcel v jedné databázi pro možnost prostorových dotazů nad kombinací obou datových sad.

Pro praktickou realizaci prostorové databáze 3D katastru nemovitostí je třeba, aby ideálně podporovala obecně složité 3D parcely (viz kapitola 4.2) a zároveň měla rozumné nároky na úložný prostor a výpočetní kapacitu. Kapitoly 5.1 až 5.4 popisují datové modely, které se vzhledem k těmto kritériím jeví jako potenciálně vhodné. Dalším důležitým požadavkem na datový model je, aby byl v souladu s normou ISO 19152. Tento požadavek je zde uvedený především z důvodů standardizovaného přístupu k budování prostorové databáze 3D katastru.

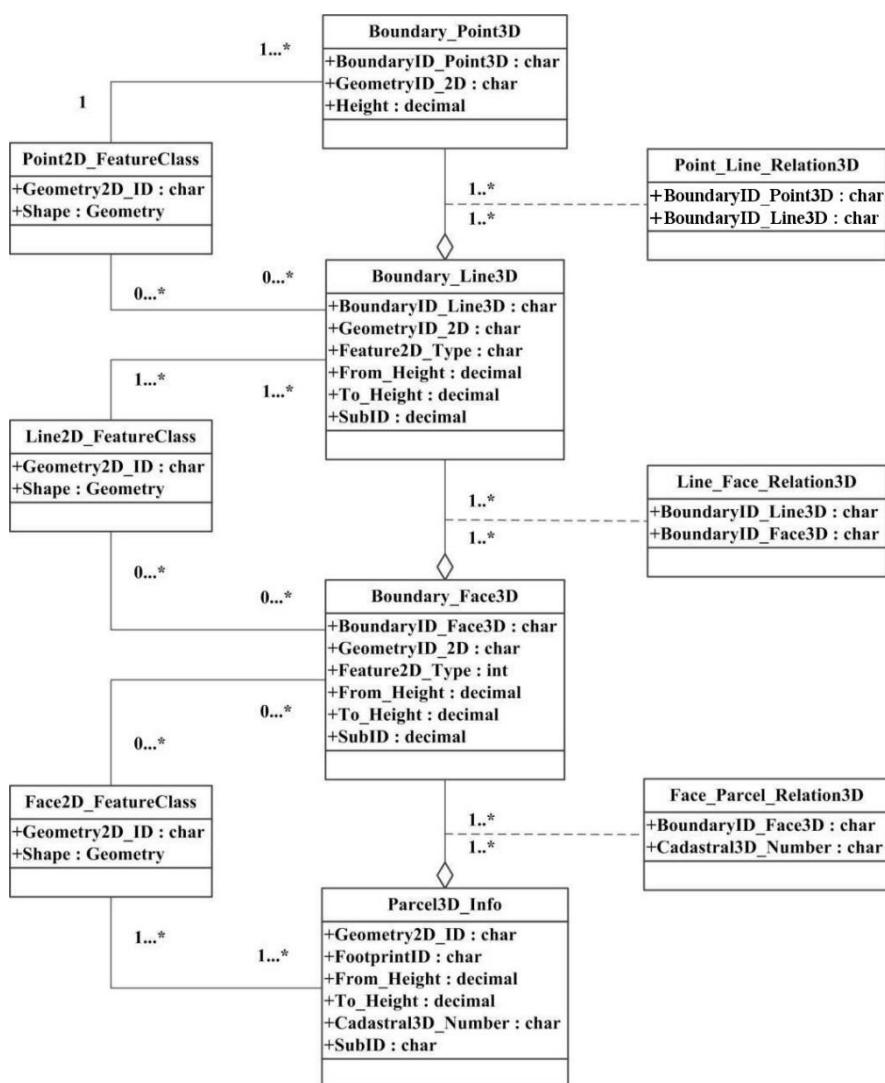
5.1. Datový model na základě protlačení

Metoda protlačení (*extrusion*) je v GIS běžně používána pro modelování reálných 3D objektů, které je možné modelovat pomocí hranolů. Tato metoda spočívá v uložení půdorysu objektu a výšek jeho dolní a horní podstavy. Toto je minimum informací pro zobrazení hranolu a oproti případu ukládání všech stěn je tím tedy ušetřen diskový prostor (Ding a kol. 2016). Velké množství potencionálních předmětů evidence pomocí 3D parcel může mít právě tento charakter (budovy, bytové jednotky), a proto je tento přístup možné použít i pro katastrální data (Olivares García a kol. 2011; Ding a kol. 2016).

Ding a kol. (2016) představují datový model na základě metody protlačení, který umožňuje uložení parcel typu *multi-valued stepped spatial unit* (viz kapitola 4.1). Parcely, které mají více než dvě horizontální stěny a není tedy pro jejich konstrukci metodu protlačení možné použít, jsou při modelování tímto způsobem rozděleny na menší objekty, které metodou protlačení konstruovat možné je. V případě, že jsou půdorysy některých takto rozdělených částí totožné, v databázi se ukládají pouze jednou. Na obr. 15 je znázorněn příklad použití této metody.



Obr. 15: Modelování parcely metodou protlačení. (a) Výškový rozsah jednotlivých částí 3D parcely; (b) Konstrukce parcely protlačení jednotlivých částí jejího půdorysu. V případě části A_1 pak dvojnásobným protlačení. Převzato z (Ding a kol. 2016).



Obr. 16: Datový model využívající metodu protlačení. Upraveno podle (Ding a kol. 2016).

Z datového modelu (viz obr. 16) je vidět, že pro uložení topologie není využit koncept boundary face string, hrany nejsou orientované a není tedy ani uchováván odkaz na přilehlé objekty levé a pravé straně. Body, linie a stěny jsou nicméně ukládány pouze jednou, jsou mezi objekty sdíleny a jedná se tak o topologickou strukturu.

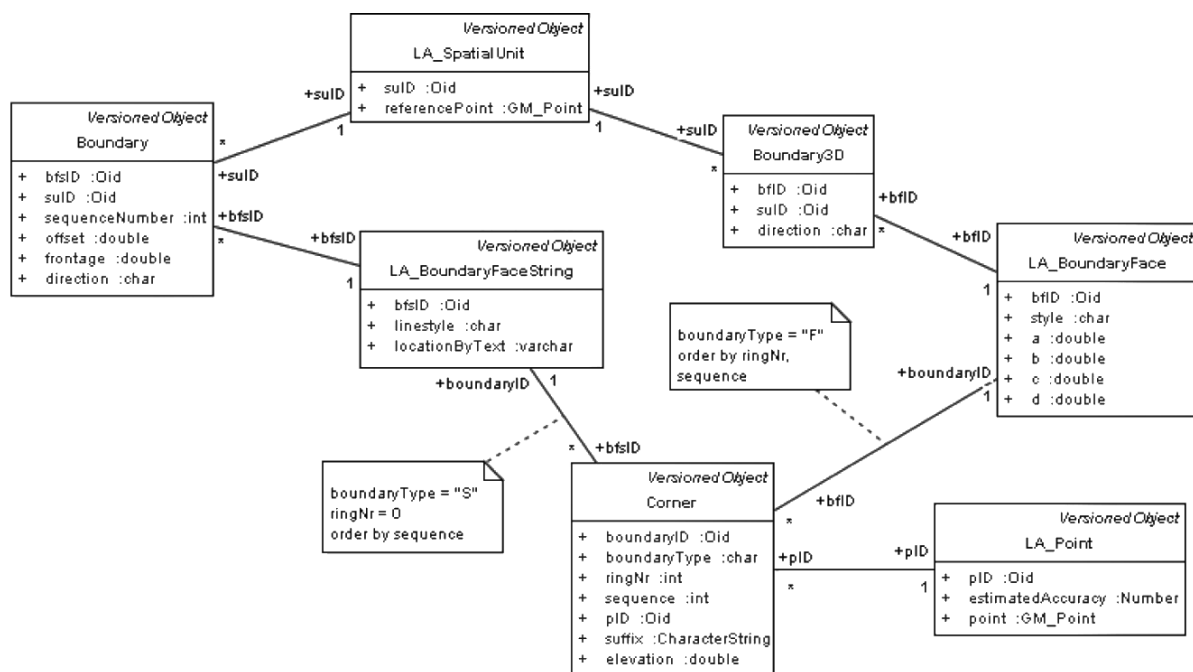
5.2. Topologický datový model podporující obecné 3D parcely

Protože některé objekty evidence katastru není možné evidovat pomocí hranolů, jsou vyvíjeny i datové modely podporující složitější 3D parcely. Thompson (2013, 2015) popisuje tvorbu datového modelu (viz obr. 17) pro data katastru vytvořeného na základě LADM a umožňujícího uložení dat ve všech typech kódování (viz kapitola 4.1), s podporou zachování kompletní historie dat.

Thompson (2015) ukazuje funkčnost modelu na existující databázi katastru v Queenslandu, což svědčí o tom, že navržený datový model vyhovuje praktickému použití.

Poznámky k datovému modelu (Thompson 2015):

1. Třídy “Boundary”, “Boundary3D” a “Corner” řeší vztahy m-n v definici LADM.
2. Pro každou parcelu sdílející jeden LA_BoundaryFaceString (řetězec hraničních stěn) existuje jeden objekt Boundary (hranice).
3. Pro každou parcelu sdílející jeden LA_BoundaryFace (hraniční stěnu) existuje jeden objekt Boundary3D (3D hranice).
4. LA_SpatialUnit (parcela) může být ohraničená kombinací LA_BoundaryFace a LA_BoundaryFaceString.
5. LA_Point je považován za 2D bod. Corner je 3D bod, ležící na svislici, procházející bodem LA_Point. Podle konvence zavedené v Queenslandu je identifikován abecední příponou (např.: Corner 2a a 2b jsou na svislici, dané bodem LA_Point 2).
6. Třída LA_Point je zde ve zjednodušené formě (neobsahuje některé atributy).



Obr. 17: Topologický datový model podporující obecné 3D parcely testovaný s použitím dat katastru v Queenslandu. Převzato z (Thompson 2013).

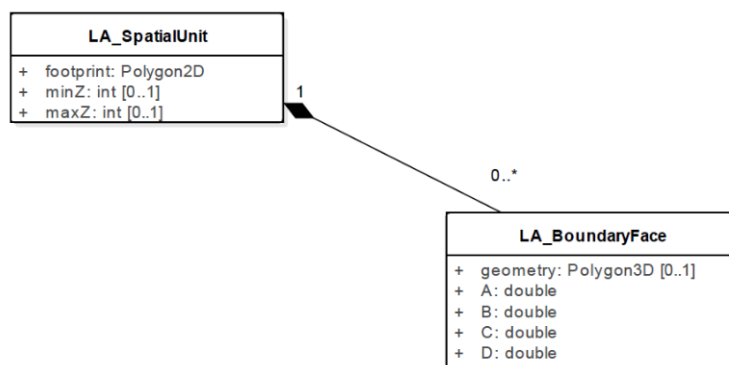
Topologie je v tomto datovém modelu zajištěna principem okřídlené hrany. U tříd *Boundary* a *Boundary3D* je informace o poloze parcely vzhledem k orientaci této její hranice určena atributem *direction*, přičemž orientace u stěny *Boundary3D* je určena její normálou, definovanou atributy *a*, *b* a *c*.

Konečná struktura reálné databáze se v některých ohledech může lišit a to například v následujících ohledech (Thompson 2013):

1. Přidání tabulek a atributů pro potřeby státu v rámci dané legislativy.
2. Přidání relací a případných nadbytečných dat pro lepší výkon systému (například ukládat pro každou parcelu minimální obdélník).

5.3. Geometrický datový model podporující obecné 3D parcely

Thomson a kol. (2016a) navrhuje pro data 3D katastru použít geometrický datový model (viz obr. 18), který na rozdíl od ostatních zde uvedených modelů eviduje pro každou parcelu geometrii zvlášť.



Obr. 18: Geometrický datový model podporující obecné 3D parcely. Převzato z (Thompson a kol. 2016a).

Třídy `LA_SpatialUnit` a `LA_BoundaryFaceString` jsou zde sloučeny do jediné (`LA_SpatialUnit`) a 2D geometrie parcel je definována atributem *footprint* (půdorys). 3D parcely nejsou v tomto modelu reprezentovány pomocí `GM_Solid` z následujících důvodů (Thomson a kol. 2016a):

1. Některé stěny solid objektu by koincidovaly se stěnami *boundary face string*, definovanými atributem *footprint* a byly by tak přebytečné.
2. `GM_Solid` musí být „vodotěsný“⁷ a neumožňuje tedy reprezentaci otevřených 3D parcel vzniklých např. vyříznutím 3D parcely z prostoru hranolu implikovaného půdorysem 2D parcely.

Třída `LA_SpatialUnit` je proto asociována s třídou `LA_BoundaryFace`, pomocí které jsou reprezentovány stěny, které se stěnami *boundary face string* nekoincidují. Instance třídy `LA_BoundaryFace` nejsou sdíleny mezi jednotlivými 3D parcelami.

Mohou nastávat situace (viz obr. 19), kde část, nebo v extrémních případech dokonce žádná ze stěn řetězce *boundary face string*, není součástí definice 3D parcely. I přesto je ale vhodné pro takové případy tuto reprezentaci geometrie ukládat. Jsou díky tomu umožněny tři možné přístupy ke geometrii parcely (Thomson a kol. 2016a):

⁷ Geometrický objekt je označován jako vodotěsný, pokud je jeho schránka kompletně uzavřená.

1. Půdorys

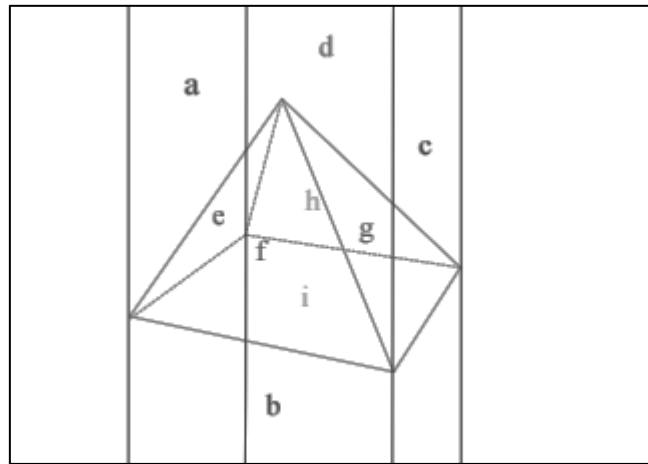
- LoD⁸; k databázi je možné přistupovat i pomocí 2D GIS.

2. Hranol

- LoD1; na základě atributů minZ a maxZ třídy LA_SpatialUnit, určujících výškový rozsah 3D parcely, je možné například generovat aproximaci 3D parcely v podobě hranolu.

3. Kompletní 3D geometrie

- Vyšší LoD; zde je potřeba určitý zásah softwaru, např. databázová procedura, která z kombinace boundary face string a boundary face vygeneruje polyhedron. Thompson a kol. (2016a) tento typ algoritmu testovali v programovacím jazyku Java, nicméně není důvod tvrdit, že by nemohl být implementován přímo v databázovém systému.



Obr. 19: Reprezentace 3D parcely pomocí boundary-face a nadbytečného boundary-face-string. Převzato z (Thompson a kol. 2016b).

Atributy minZ a maxZ nejsou nezbytně nutné a je možné je nahradit databázovými procedurami, které by tyto hodnoty vypočítaly z tabulky LA_BoundaryFace, nicméně jsou zde doporučeny pro rychlejší odezvu databáze. Mohou být generovány například materializovaným databázovým pohledem (Thompson a kol. 2016a).

⁸ Level of detail – Úroveň detailu reprezentace budovy. Jednotlivé úrovně definuje standard CityGML (Gröger a kol. 2012).

Atributy A, B, C a D zde, stejně jako v předchozím datovém modelu (viz kapitola 5.2), definují polohu a orientaci 3D stěn, přičemž musí platit:

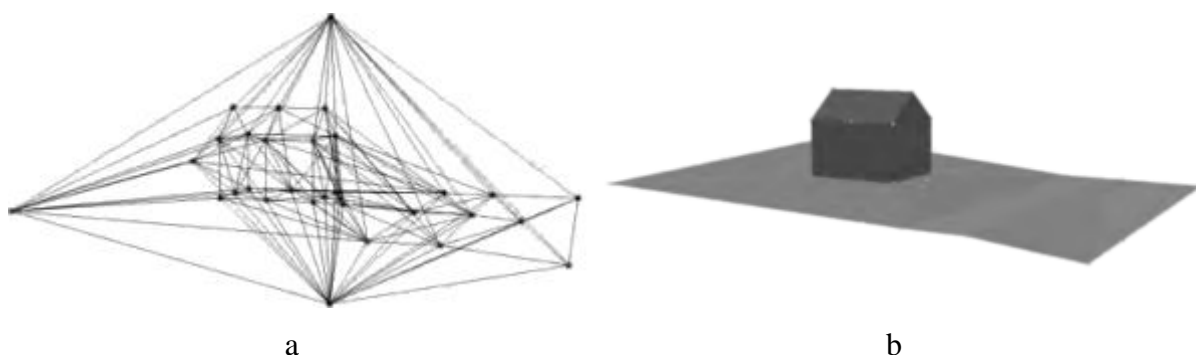
$$A \cdot x + B \cdot y + C \cdot z + D = 0 \quad \wedge \quad A^2 + B^2 + C^2 = 1$$

kde x, y a z jsou souřadnice bodu ležícího v rovině této stěny (Thompson a kol. 2016a), normálový vektor (A, B, C) je jednotkový.

5.4. Datový model na bázi čtyřstěňů

V předchozích modelech bylo na 3D parcelu obecně pohlíženo jako na jediný mnohostěn a topologie byla případně řešena sdílením stěn jednotlivých mnohostěňů. Penninga a Oosterom (2008) navrhuje modelování 3D objektů sítí čtyřstěňů s podmínkami (constrained tetrahedral network (TEN)), viz obr. 20. Ve své práci ukazuje, že reprezentace 3D objektů pomocí čtyřstěňů vyžaduje podobný diskový prostor (řádově stejný) jako reprezentace těchto objektů pomocí mnohostěňů. V tomto návrhu je ovšem pomocí čtyřstěňů modelován celý prostor, tzn. včetně země a vzduchu, což způsobí dodatečný nárůst objemu dat. Jako výhody takové reprezentace v porovnání s předchozími datovými modely uvádí Penninga a Oosterom (2008) a Janečka a Karki (2016) integraci topografie (DMT) s 3D objekty, snadnou validaci, topologické dotazování a další operace. Geometrické výpočty operace jsou jednodušší i díky faktu, že čtyřstěny jsou konvexní, dobře definované a v tomto modelu vyplňují celý prostor.

Problémy nastávají u aktualizace dat. Protože lokální editace v TEN může způsobit špatné rozložení čtyřstěňů, je potřebné jednou za čas kompletně přestavět síť (Peninga a Oosterom 2008).



Obr. 20: (a) Tetrahedronizace objektů; (b) zobrazení hraničních trojúhelníků. Upraveno podle (Peninga a Oosterom 2008).

Z pohledu modelování 3D objektů pro 3D katastr je nevýhodou tohoto datového modelu skutečnost, že není založen na standardu LADM. Případná implementace by vyžadovala synchronizaci modelu na bázi čtyřstěňů se specifikacemi LADM (Zulkifli a kol. 2015).

5.5. Volba datového modelu

Na základě informací z (Penninga a Oosterom 2008; Thompson 2013; Thompson 2015; Ding a kol. 2016; Penninga 2016; Thompson a kol. 2016a) jsou vyhodnoceny datové modely popsané v kapitolách 5.1 až 5.4 podle kritérií uvedených na začátku kapitoly 5 (viz tab. 3, tab. 4 a tab. 5). Hodnocenými modely tedy jsou: datový model na základě protlačení, topologický datový model podporující obecné 3D parcely (dále označovaný jako Thompsonův topologický model), geometrický datový model podporující obecné 3D parcely (dále označovaný jako Thompsonův geometrický model) a datový model na bázi čtyřstěňů. Na základě provedeného porovnání bude vybrán model, který bude prakticky implementován a otestován pro řešení vybraných situací 3D katastru (viz kapitoly 6 a 7).

datový model	maximální podporovaná úroveň komplexity 3D parcel
model na základě protlačení	<i>Multi-valued stepped spatial unit</i>
Thompsonův topologický model	<i>General 3D spatial unit</i>
Thompsonův geometrický model	<i>General 3D spatial unit</i>
datový model na bázi čtyřstěňů	<i>General 3D spatial unit</i>

Tab. 3: Porovnání datových modelů na základě maximální podporované úrovně komplexity geometrie parcel.

datový model	podporované typy kódování geometrie parcely					
	na textu založená	na náčrtech založená	na bodech založená	nestr. na liniích založená	na polygonu založená	na topologii založená
model na základě protlačení	ne	ne	ne	ne	ano	ano
Thompsonův topologický model	ano	ano	ano	ano	ano	ano
Thompsonův geometrický model	ne	ne	ne	ne	ano	ne
datový model na bázi čtyřstěňů	ne	ne	ne	ne	ne	ano

Tab. 4: Porovnání datových modelů na základě podporovaných typů kódování geometrie parcely.

datový model	Způsob integrace 2D a 3D parcel
model na základě protlačení	Řešení integrace 2D parcel z informací, uvedených v (Ding a kol. 2016) není zřejmé.
Thompsonův topologický model	Integrace je řešena využitím konceptů <i>boundary face</i> a <i>boundary face string</i> . Topologické uložení parcel zajišťuje správnou návaznost parcel.
Thompsonův geometrický model	Integrace je řešena využitím konceptů <i>boundary face</i> a <i>boundary face string</i> . Z důvodu geometrického uložení je třeba aplikovat procedury, zajišťující správnou návaznost parcel.
datový model na bázi čtyřstěňů	Stěny 3D parcel i 2D parcely jsou reprezentovány označenými stěnami čtyřstěňů. Stěny, reprezentující 2D parcely zároveň znázorňují topografii. (Penninga 2008)

Tab. 5: Porovnání datových modelů na základě způsobu integrace 2D a 3D parcel.

Na základě provedené rešerše byl vybrán Thompsonův topologický datový model, který jako jediný z uvedených umožňuje ukládat parcely ve všech popsáných typech kódování jejich geometrie. Protože se nejedná o geometrický datový model, je při jeho použití složitější načítat geometrii parcel (musí být proveden dotaz přes několik relací) ale díky topologickému uložení dat a využití konceptů *boundary face* a *boundary face string* normy ISO 19152 umožňuje bezešvou integraci 2D a 3D parcel. Nezanedbatelným faktorem je i fakt, že byl tento datový model již úspěšně testován na datech katastru ve státě Queensland v Austrálii (Thompson 2015).

6. Implementace v prostorové databázi

Vybraný koncepční datový model byl implementován v databázi Oracle, konkrétně Oracle Database 11g Enterprise Edition Release 11.2.0.1.0, umístěné na serveru Západočeské univerzity v Plzni. Hlavní motivací pro tuto volbu byl fakt, že současná databáze katastru v České republice je založena právě na technologii Oracle a předpokládá se, že tomu tak bude i v budoucnosti. Pro realizaci datového modelu byl použit software Oracle SQL Developer.

Vybraný datový model byl doplněn o následující:

1. Byly přidány tabulky TILE_2D_SU a TILE_3D_SU pro rychlé načítání parcel ve vizualizačním programu, viz kapitola 7.2.1.
2. Z důvodu optimalizace databázových dotazů byly na primární a cizí klíče tabulek aplikovány indexy.

Výsledný fyzický datový model je na obr. 21.

Pro vizualizaci bylo třeba databázi naplnit daty. Jako zdroj pro 2D data je k dispozici výměnný formát katastru (formát VFK) (ČÚZK, 2014). Veřejně dostupné sobory (dostupné z: <http://services.cuzk.cz/vfk>), sice poskytují omezené informace, ale obsahují kompletní informaci o geometrii parcel, což je pro potřeby této práce dostačující. Pro možnost importu dat do databáze bylo zapotřebí data ze souboru ve formátu VFK převést na strukturu, kterou je možné vložit do vytvořené databáze (viz kapitola 6.1). 3D parcely bylo třeba modelovat, protože 3D data ke zkoumaným objektům nám nebyla k dispozici (viz kapitola 6.2).

6.1.1. Výměnný formát katastru

Výměnný formát katastru je určen k vzájemnému předávání dat mezi systémem ISKN a jinými systémy zpracování dat (ČUZK 2014). Jedná se o textový soubor s hodnotami oddělenými středníkem a pevně danou strukturou. Obsahuje (ČUZK 2014):

1. Hlavičku
2. Datové bloky
3. Koncový znak &K

Každý z datových bloků (dále označovaných jako tabulky) obsahuje (ČUZK 2014):

1. Seznam atributů s jejich datovými typy (v požadovaném pořadí).
 - Vždy je na prvním řádku tabulky a tvoří její hlavičku. Řádek je označen počátečním znakem &B
2. Vlastní data (ve stanoveném pořadí).
 - Na dalších řádcích tabulky. Řádky jsou označeny počátečním znakem &D.

Pro konverzi byly prozatím použity pouze vybrané tabulky a atributy, viz diagram na obr. 22. Konkrétně se jedná o (ČUZK 2014):

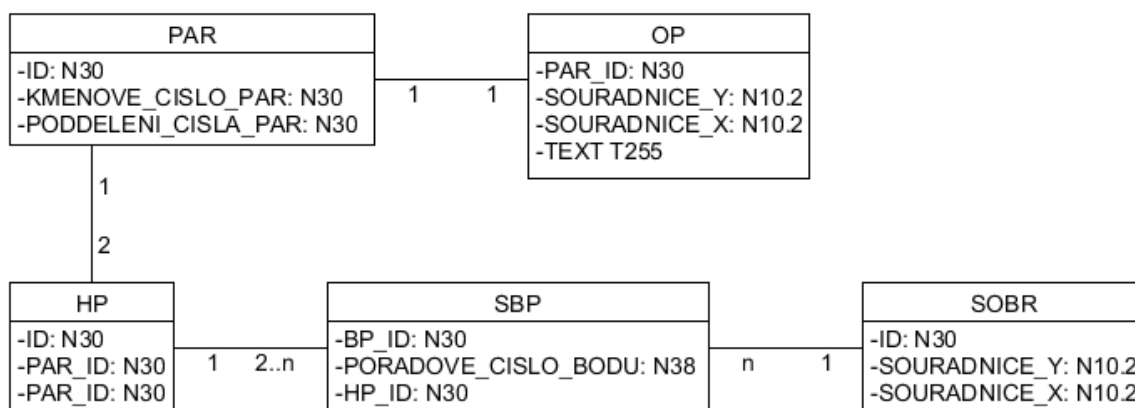
1. SOBR – Souřadnice obrazu
 - Tabulka obsahuje body polohopisu – čísla bodů a souřadnice obrazu v mapě.
2. SBP – Spojení bodů polohopisu
 - Popisuje vazbu mezi podrobnými body, jejichž spojením vzniká liniový polohopisný prvek katastrální mapy. Většinou je tímto definována jediná úsečka, nicméně je nutné si uvědomit, že je tímto způsobem možné definovat libovolně dlouhý řetězec úseček.
3. HP – Hranice parcel
 - Tabulka obsahuje liniové prvky, vymezuující hranice mezi dvojicemi parcel (pokud netvoří hranici státu).
 - Využitím sloupců PAR_ID1 a PAR_ID2 lze získat k dané parcele seznam okolních parcel, nicméně je nutné si uvědomit, že jedna hranice může atributem PAR_ID1 odkazovat na parcelu vlevo, jiná hranice stejným atributem na parcelu vpravo, kde směr hranice je určen pořadím jejich definičních bodů

4. PAR – Parcely

- Tabulka obsahuje údaje o parcelách, evidovaných v ISKN (Informační systém katastru nemovitostí).

5. OP – Obrazy parcel

- Tabulka obsahuje souřadnice definičních bodů parcel a jejich textový popis (parcelní číslo).



Obr. 22: Diagram vybraných tříd a atributů výměnného formátu katastru.

Veřejně dostupné soubory VFK neobsahují tabulku PAR. Na díky vazbě 1-1 mezi tabulkami PAR a OP je ale možné vytvořit vazbu mezi tabulkami HP a OP na základě cizích klíčů PAR_ID1 a PAR_ID2 tabulky HP a PAR_ID tabulky OP. Potom je možné z veřejných dat načítat i definiční bod parcely a z textového popisu i její číslo.

6.1.2. Program pro konverzi dat výměnného formátu katastru

Program VFK2SQL-ISO19152 je napsaný v programovacím jazyce Java a poskytuje GUI (grafické uživatelské rozhraní) i API (aplikační programové rozhraní). Princip jeho fungování je následující:

Nejprve jsou všechny potřebné tabulky načteny do programových objektů a jsou mezi nimi vytvořeny atributové vazby.

Z načtených objektů jsou vybrány objekty SOBR a SBP definující parcely.

Tyto vybrané objekty a všechny objekty HP a OP jsou použity pro tvorbu objektů nového datového modelu (viz přiřazení atributů na tab. 6). Souřadnice jsou uloženy v datovém typu SDO_GEOMETRY.

VFK		LADM	
Objekt	Atribut	Atribut	Objekt
SOBR	ID	PID	LA_POINT
	SOURADNICE_X	POINT (SDO_GEOMETRY)	
	SOURADNICE_Y		
SBP	BP_ID	PID	CORNER
	PORADOVE_CISLO_ BODU	SEQUENCE	
	HP_ID	BOUNDARYID	
HP	ID	BFSID	LA_BOUNDARYFACE STRING
OP	PAR_ID	SUID	LA_SPATIALUNIT
	SOURADNICE_X	REFERENCE_POINT	
	SOURADNICE_Y	(SDO_GEOMETRY)	

Tab. 6: Přiřazení atributů objektů VFK objektům datového modelu podle LADM

Některé atributy ovšem nebylo možné naplnit pouhou kopií z VFK (viz tab. 7)

Objekt	Atribut
BOUNDARY	SUID
	BFSID
	SEQUENCENUMBER
	DIRECTION
CORNER	RINGNR

Tab. 7: Seznam objektů a jejich atributů, jejichž hodnoty nebylo možné naplnit jednoduchou kopií z objektů VFK

Pro každou parcelu je třeba vytvořit seznam jejích orientovaných hranic, určit pořadí těchto hranic a zaznamenat, které z těchto hranic reprezentují obvod parcely a které vyznačují díry (atribut RINGNR). Orientace má být určena atributem DIRECTION, kde + znamená orientaci ve směru pořadí definičních bodů. Toto pořadí bodů je určeno atributem SEQUENCE objektu CORNER. V případě, že se jedná o hranici, reprezentující obvod parcely, má být orientována proti směru hodinových ručiček. Hranice vyznačující díry mají být orientovány v opačném směru.

Atributovým dotazem je v programu získán seznam hranic pro každou parcelu a tyto jsou seřazeny, zorientovány (určen atribut DIRECTION) tak, aby na sebe správně navazovaly, a jsou rozděleny na jednotlivé polygony. Pomocí L'Huilierových vzorců:

$$\text{Obsah polygonu} = \sum_{i=1}^n \frac{y_i \cdot (x_{i-1} - x_{i+1})}{2}$$

kde n je počet vrcholů polygonu, je vypočítán obsah těchto polygonů a je vybrán největší. Tento polygon je určen jako obvod parcely a ostatní polygony jako díry. Dále je zjištěna orientace jednotlivých polygonů tak, že jsou sečteny úhly na levé straně mezi po sobě jdoucími hranicemi. Na základě vzorců pro určení součtu vnitřních a vnější úhlů polygonu:

$$\text{Součet vnitřních úhlů} = 180^\circ \cdot (n - 2)$$

$$\text{Součet vnějších úhlů} = 180^\circ \cdot (n + 2)$$

je pak zjištěno, zda se jedná o vnitřní či vnější úhly, tedy zda má řetězec hranic správnou orientaci a v případě, že tomu tak není, je orientace otočena.

Na základě takto získaných údajů program doplní zbývající atributy (viz tab. 7) a všechny objekty vypíše do textového souboru ve formátu SQL pro import dat do databáze. Pro urychlení vládání je použit zápis INSERT ALL, díky kterému není do databáze vkládán každý objekt zvlášť, ale blokově více objektů najednou. Následuje zkrácená ukázka jednoho bloku výstupu:

```
INSERT ALL
  INTO LA_Point VALUES(1005405208, NULL, SDO_GEOMETRY(2001, NULL,
    SDO_POINT_TYPE(-694656.21, -1042020.58, NULL), NULL, NULL)
  :
SELECT 1 FROM DUAL;
```

Nevýhodou programu je, že všechny objekty načítá do paměti RAM a při zpracování dat velkých katastrálních území (např. Plzeň-město) může dojít k jejímu vyčerpání a skončení programu chybou. Pro takové případy je prozatím navrženo dočasné řešení alokováním více paměti programu Java.exe.

Program je společně se zdrojovým kódem poskytnut ke stažení na serveru GitHub, URL: <https://github.com/Jamalek/VFK2SQL-ISO19152>

6.2. Modelování 3D parcel

Modelování jednotlivých 3D parcel probíhalo poloautomaticky za použití programu Microsoft Excel.

Z katastrální mapy bylo zjištěno, které existující body a hranice 2D parcel definují zároveň 3D parcely. Tyto body a hranice byly z databáze vybrány atributovým dotazem a importovány do programu Excel. Ostatní informace o geometrii modelovaných 3D situací, které nebylo možné získat ze současných katastrálních dat, byly získány přibližným odměřením z fotografií či odhadem⁹. V případě, že se jednalo o modelování oblouku, byla tímto způsobem zjištěna geometrická informace dvou bodů oblouku a jeho poloměr. Z těchto údajů byly následně vypočteny mezilehlé body, definující stěny aproximující tento oblouk (viz kapitola 4.3).

Na základě takto vytvořených údajů byly vygenerovány příkazy pro vložení entit tabulek LA_POINT, CORNER, LA_BOUNDARYFACE, BOUNDARY3D a LA_SPATIALUNIT. Provedením těchto příkazů byla požadovaná data nahrána do databáze.

Z 3D situací, uvedených v kapitole 2, byly modelovány následující:

1. Stavba na stavbě – příklad na náměstí Milady Horákové v Plzni – Situace byla modelována jako dvě parcely typu *Single-valued stepped spatial unit* (viz kategorizace v kapitole 4.2), všechny stěny jsou tedy horizontální, či vertikální. Tyto dvě parcely mají celkem čtyři společné stěny.
2. Sklep pod cizím pozemkem – hypotetický příklad – Tato modelovaná situace nebyla založena na reálném případě. Byly proto zvoleny dvě budovy přičemž jedna byla doplněna o hypotetický sklep. Budova se sklepem byla modelována jako typ *Single-valued stepped spatial unit* a druhá budova jako *Polygonal slice spatial unit* opět pouze s horizontálními, či vertikálními stěnami.
3. Stavba přes komunikaci – příklad v Ostravě-Porubě – Pro modelování této budovy bylo třeba vytvořit vnitřní stěny oblouků (viz výše). Jedná se tedy o typ *General 3D spatial unit*.

Z 3D situací, uvedených v kapitole 2, dosud nebyly namodelovány následující:

1. Podzemní stavba – na příkladu Archeoparku Pavlov – Situace by byla modelována jako parcela typu *General 3D spatial unit*, protože je ale terén v okolí zvlněný, byla

⁹ Cílem modelování 3D parcel v rámci této práce bylo vytvořit názorné příklady jejich užití, nikoli přesnou reprezentaci. Pro skutečnou implementaci by bylo zapotřebí použít geodetické metody měření.

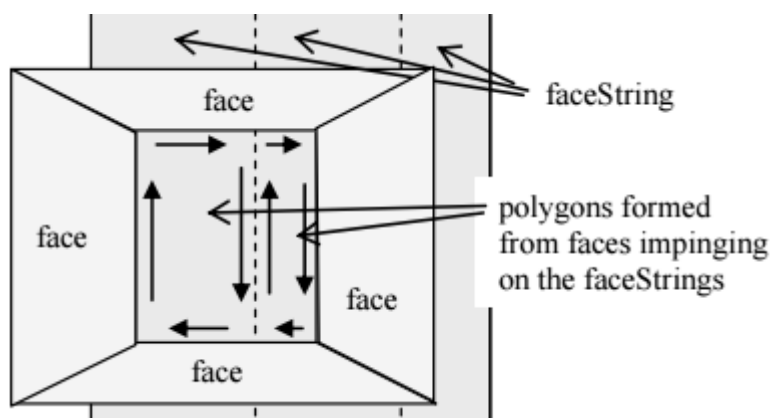
by její vizualizace, při použití relativních výšek, deformována (viz kapitola 4.4.2).

Oproti 2D evidenci je ovšem situaci možné modelovat pomocí jediné 3D parcely.

2. Stavba na vodním díle – příklad na přehradě Hracholusky – Opět by se jednalo o typ *General 3D spatial unit*.
3. Sítě technického vybavení – bez příkladu – Jednalo by se o parcely typu *General 3D spatial unit*, reprezentující ochranné okolí sítě.

I přes automatizaci částí procesu tvorby modelů byl tento proces v programu Excel zdlouhavý a pro tvorbu rozsáhlejších anebo komplexnějších modelů by bylo potřeba vytvořit efektivnější proceduru. Příkladem by mohla být tvorba modelů v programu Google Sketchup a následná konverze dat.

V ideálním případě by vertikální stěny 3D parcel typu *boundary face*, koincidující se stěnami typu *boundary face string*, nebyly z důvodu přebytnosti modelovány. Pro získání 3D solid objektů například pro účely vizualizace by ale bylo třeba vytvořit proceduru, která tyto stěny vytvoří, průnikem stěn typu *boundary face* a stěn typu *boundary face string* (viz obr. 23). Tato procedura ovšem v této práci implementována nebyla a bylo proto třeba modelovat a ukládat i tyto přebytné stěny.



Obr. 23: Konstrukce stěn 3D parcely na základě průniku stěn typu *boundary face* a stěn typu *boundary face string* (Lemmen a kol. 2010b).

7. Vizualizace 3D parcel

Po vytvoření databáze a načtení dat bylo zapotřebí data vybraným způsobem vizualizovat. Přehledná vizualizace je jednou z klíčových součástí 3D katastru. Shojaei (2014) uvádí několik důvodů proč upřednostnit vizualizaci dat ve 3D oproti 2D plánům, vygenerovaných z 3D dat uložených v databázi. Patří mezi ně například rostoucí veřejná poptávka po přístupu ke geoinformacím bez potřeby být specialistou v oboru.

7.1. Výběr způsobu vizualizace

Existuje velké množství přístupů umožňujících vizualizaci katastrálních dat. Shojaei (2014) a Pouliot a kol. (2016) podávají rozsáhlý přehled dosažených výsledků v tomto oboru. Všechny uvedené aplikace se přitom soustředí na rozšíření existujícího software, který již 3D vizualizaci podporuje. Následující kapitoly popisují některé vybrané přístupy.

Produkty firmy ESRI

Jednou z možností 3D vizualizace je využití produktů firmy ESRI. Ty nabízí širokou škálu nástrojů pro práci s 3D daty a jsou využívány v oborech jako je územní plánování nebo architektura. Jedná se například o aplikaci CityEngine, která uživatelům umožňuje modelovat především městské prostředí pro různé simulace. Její hlavní síla je právě ve vytváření 3D objektů. Umožňuje procedurálně modelovat 3D objekty z 2D dat na základě sady pravidel. Je ovšem nutné si uvědomit, že CityEngine nebyl vyvíjen jako vizualizační nástroj, ale pouze jako nástroj pro modelování. Pro vizualizaci firma Esri nabízí webovou aplikaci ArcGIS online, do které je možné data z CityEngine importovat (Ribeiro a kol. 2014; Shojaei 2014; Pouliot a kol. 2016).

Dalšími produkty firmy ESRI, umožňující 3D katastrální vizualizaci, jsou ArcScene a ArcGlobe. Ty je možné dokonce propojit přímo s databází Oracle, ale vyžadují instalaci a konfiguraci aplikace Oracle Client (ESRI 2016).

Google Earth

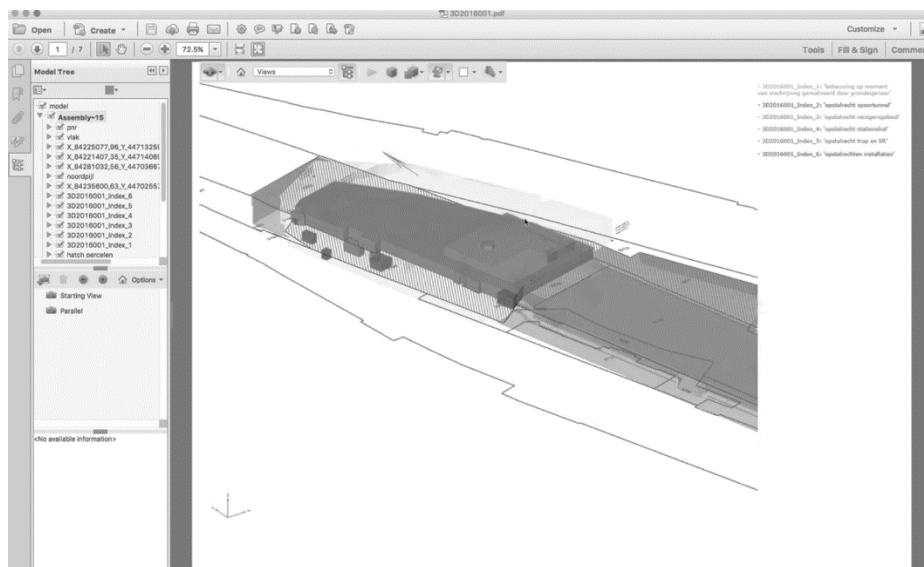
Jako další možnost vizualizace se nabízí aplikace Google Earth, která poskytuje virtuální glóbus a sadu mapových vrstev, které je možné na něm zobrazit. Zároveň uživatelům umožňuje importovat vlastní data ve formátu KML a to včetně 3D objektů. Umožňuje také připojení

mapových služeb, poskytujících například současné 2D katastrální mapy (Olivares García a kol. 2011, Shojaei 2014).

3D PDF

3D PDF je označení pro soubory ve formátu PDF (Portable Document Format), které obsahují geometrickou reprezentaci 3D těles a definici panelu pro jejich zobrazení. Uživatel může data v tomto formátu zobrazit a manipulovat s nimi (např. otáčet je pomocí myši). Existuje široká škála programů, které dokáží se soubory ve formátu PDF pracovat, ale pro soubory 3D PDF je doporučen program Adobe Reader (Shojaei 2014).

V březnu roku 2016 byl tento formát v Nizozemsku poprvé použit pro katastrální evidenci a 3D vizualizaci budovy nádraží v Delft, viz obr. 24 (Stoter a kol. 2016a).



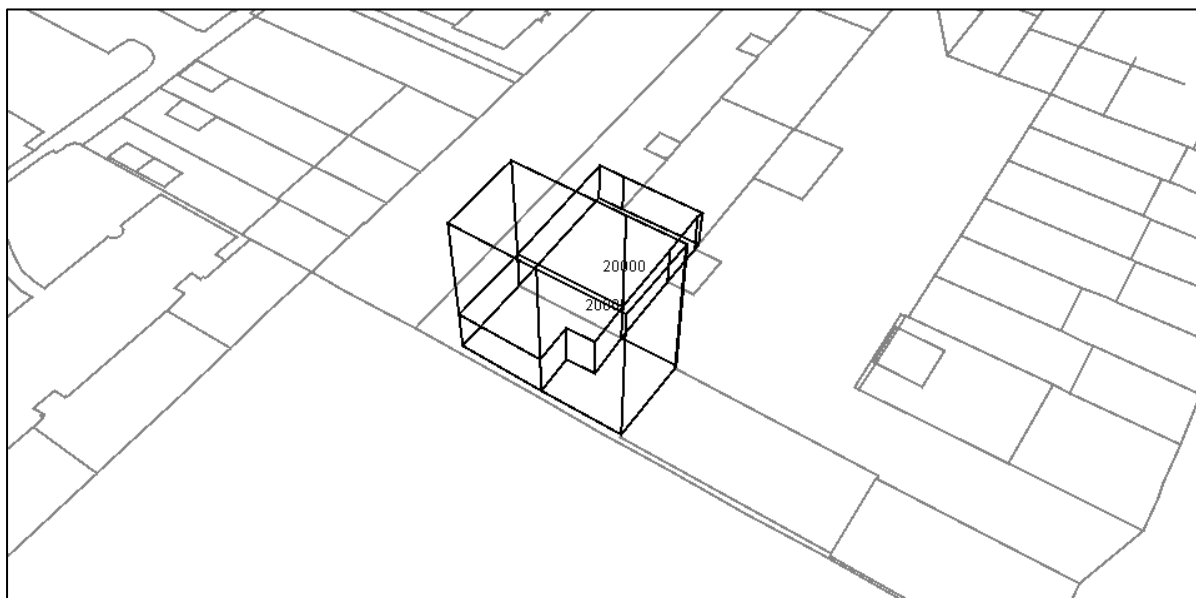
Obr. 24: Budova nádraží v Nizozemském městě Delft uložená ve formátu 3D PDF. Prohlídku interaktivní vizualizace je možné shlédnout na adrese: <https://www.youtube.com/embed/vFMoH-2r7xo> (poslední přístup: 15.5.2017). Převzato z (Stoter a kol. 2016a).

7.1.1. Rozšíření vlastní aplikace

Na základě provedené rešerše bylo shledáno, že žádný z testovaných software popsanych v předchozích odstavcích nebyl vyvíjen pro účel 3D vizualizace katastrálních dat. Případná vizualizace by vyžadovala složitou instalaci a konfiguraci dalšího software jako je Oracle client, nebo by data před vizualizací musela být exportována do speciálního datového formátu. Jako řešení dané situace bylo zvoleno vytvoření vlastního software, který by umožňoval snadnou vizualizaci dat katastrální databáze implementující zvolený datový model.

Původní snahou bylo rozšířit již existující vlastní software napsaný v programovacím jazyce Java, umožňující vizualizaci 3D dat uložených v Oracle databázi. Aplikace vizualizovala geometrii objektů, uloženou v datovém typu SDO_GEOMETRY jako 3D solid, k čemuž nevyužívala žádných externích vykreslovacích knihoven a vizualizační procesy nebyly zajišťovány grafickou kartou. Pro načítání dat z databáze využívala knihovnu ojdbc7.jar a databázovou proceduru pro konverzi dat z formátu SDO_GEOMETRY na WKT. Data byla následně vizualizována jako drátěné modely. Virtuální kamera (viz kapitola 7.2.2) byla umístěna tak, že směřovala na určený bod s možností otáčení kolem tohoto bodu a přiblížení či oddálení, ale bez možnosti jiného pohybu v prostoru.

Aplikace byla upravena tak, aby načítala data uložená v databázi podle implementovaného datového modelu a zobrazovala jak 3D, tak 2D parcely. Aby se omezil objem načítaných dat, byla načítána pouze data do určené vzdálenosti od virtuální kamery. Aplikace k tomu účelu využívala funkci *SDO_WITHIN_DISTANCE(geometry1, aGeom, params)*, která z dané tabulky vybrala pouze data jejichž geometrie (*geometry1*) byla ve vzdálenosti od geometrie bodu (*aGeom*), ve kterém byla umístěna virtuální kamera, menší než hodnota určená parametrem *distance* (jeden z parametrů – *params*). Zobrazení dat, načtených pomocí tohoto programu, je vidět na obr. 25.



Obr. 25: Vizualizace katastrálních dat pomocí rozšířené vlastní aplikace.

V aplikaci byla také implementována možnost přepnutí na stereoskopický obraz, využívající efektu anaglyph 3D¹⁰.

Výhodou tohoto řešení byla jeho jednoduchost, díky které byl uživatel schopen velice rychle zobrazit data vybrané databáze, využívající zde implementovaný model. Díky použitému programovacímu jazyku byla také multiplatformní.

Použitá platforma pro vykreslování neposkytovala dostatek zabudovaných funkcí, a proto byla implementace každé další funkce (např. pohybu kamery) velmi náročná. Navíc se při načtení většího množství dat projevovala neefektivita využívání výpočetních zdrojů a načítání dat bylo pomalé. Z těchto důvodů bylo hledáno řešení s efektivnějším způsobem vykreslování.

7.1.2. Využití herního 3D engine

Jako možné řešení se ukázalo využití herního engine. Herní engine je softwarový balík, který efektivně využívá vykreslovací postupy a speciální datové struktury k vizualizaci 3D objektů v reálném čase. Je jádrem počítačových her a často je jeden engine používán pro více her. Obrovská poptávka po vývoji nových her dala vzniknout samostatnému odvětví vývoje počítačového software zabývajícího se pouze tvorbou těchto enginů, přičemž vznikají jak komerční, tak opensourcové varianty. Některé enginy jsou přitom pouze sadou nezbytných knihoven, jiné poskytují vlastní vývojové prostředí s možností modelování geometrických tvarů.

Při hledání vhodného enginu byla původně tendence vyhledávat varianty určené pro tvorbu programů v jazyce Java. Testovanými variantami byly JMonkeyEngine a Lightweight Java Game Library. Později bylo hledání rozšířeno i na enginy, nabízející 3D vizualizaci, které podporují jiné programovací jazyky.

Na základě provedené rešerše byl pro vizualizaci zvolen vývoj vlastního software na bázi enginu Unity, který podporuje jazyky C# a JavaScript, 3D i 2D vizualizaci a je multiplatformní. Může běžet jak na desktopovém, tak na mobilním zařízení, ve webovém prohlížeči, ale i na

¹⁰ Použití dvou obrazů (jeden pro každé oko) a jejich rozložení na barevné složky (obvykle modrozelenou a červenou). Za pomoci dvou barevných filtrů může uživatel každým okem sledovat jeden z těchto dvou obrazů a získat tak prostorový vjem. Díky jednoduchosti této metody a levným barevným filtrům je tato metoda přístupná široké veřejnosti.

zařízeních jako je Oculus Rift. Mezi další výhody patří i fakt, že poskytuje vlastní vývojové prostředí a relativně snadnou rozšiřitelnost software.

3D vizualizace na základě enginu Unity již byla testována i v několika GIS aplikacích. Agugiaro a kol. (2011) vytvořili aplikaci, která vizualizuje Mayskou archeologickou lokalitu. Ruzinoor a kol. (2015) v prostředí Unity implementují správu palmové plantáže.

7.2. Architektura vizualizačního software

Vizualizace v prostředí Unity funguje na podobném principu jako například filmová scéna. Základními prvky jsou (Unity 2017):

1. **Scény** – Lze si představit například jako prostor, ve kterém mají být zobrazeny parcely, ale také jako případnou úvodní obrazovku s uživatelským rozhraním.
2. **Objekty** – Jako tzv. *GameObject* jsou v prostředí unity označovány všechny prvky scény. Jedná se například o virtuální kameru (viz kapitola 7.2.2), osvětlení, nebo v tomto případě geometrické objekty reprezentující 2D a 3D parcely.
3. **Scripty** – Obdoba filmových scénářů. Jednotlivé objekty mohou mít přiřazeny libovolný počet scriptů, kterými se řídí.

Pro vývoj aplikací Unity poskytuje vlastní vývojové prostředí Unity Editor v kombinaci s aplikacemi MonoDevelop nebo Microsoft Visual Studio. Unity Editor je používán pro organizaci projektu, scén a objektů, kompilaci vytvářené aplikace a její spuštění, zatímco prostředí MonoDevelop a Microsoft Visual Studio jsou určeny pouze pro tvorbu scriptů (Unity 2017).

Cílem implementace vizualizačního software je zajistit komunikaci mezi databází a jejím uživatelem. Pro tento účel je nutné při běhu programu získávat požadavky od uživatele, tyto požadavky zpracovávat a na základě těchto zpracovaných požadavků vybírat data z databáze. Tato data pak vizualizovat či existující vizualizaci doplňovat o další data. Celý systém je přitom možné popsat jako vícevrstvou architekturu:

1. **Vrstva pro přístup k datům** – Komponenty zajišťující transport dat z databáze do programu, podrobně viz kapitola 7.2.1
2. **Aplikační vrstva** – Komponenty zajišťující logické úkony. Jedná se především o:
 - Vytvoření objektů hraničních linií 2D parcel.
 - Vytvoření objektů stěn 3D parcel.

- Ovládání virtuální kamery (viz kapitola 7.2.2).

3. **Prezenční vrstva** – Komponenty zajišťující vykreslení obrazu vytvořených objektů. Je součástí engine Unity.

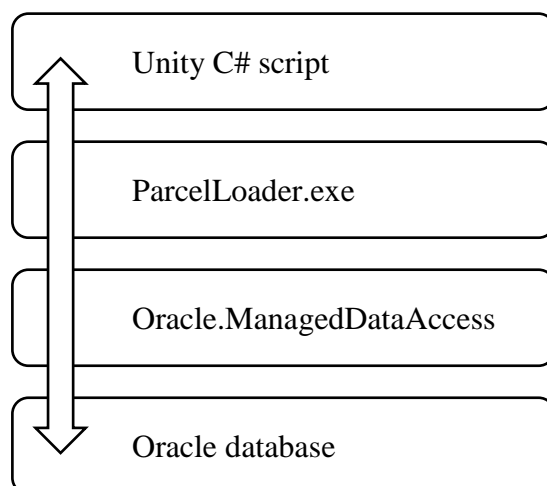
Všechny vytvořené komponenty jsou napsány v jazyce C#.

7.2.1. Načítání dat

V původním programu napsaném v jazyce Java (viz kapitola 7.1.1) připojení k oracle databázi zajišťovala knihovna ojdbc7.jar. Pro jazyk C# existuje několik podobných knihoven. Většina z nich ovšem vyžaduje instalaci a konfiguraci software Oracle Client. Proto byla využita knihovna Oracle.ManagedDataAccess, která tento požadavek nemá. Tato knihovna ovšem vyžaduje .net framework verze 4. Unity přitom pro scripty nabízí podporu pouze pro .net do verze 2.0.

Jako řešení tohoto problému byl vytvořen externí program ParcelLoader.exe, napsaný v programu C#, využívající knihovnu Oracle.ManagedDataAccess. Ve scriptu v prostředí Unity je tento program spouštěn s parametry, na základě kterých jsou v tomto programu vytvořeny databázové dotazy (viz příloha I), které jsou zaslány do databáze. Vracená odpověď je nahrána přímo do parametru ve scriptu v prostředí Unity (Postup je znázorněn na obr. 26).

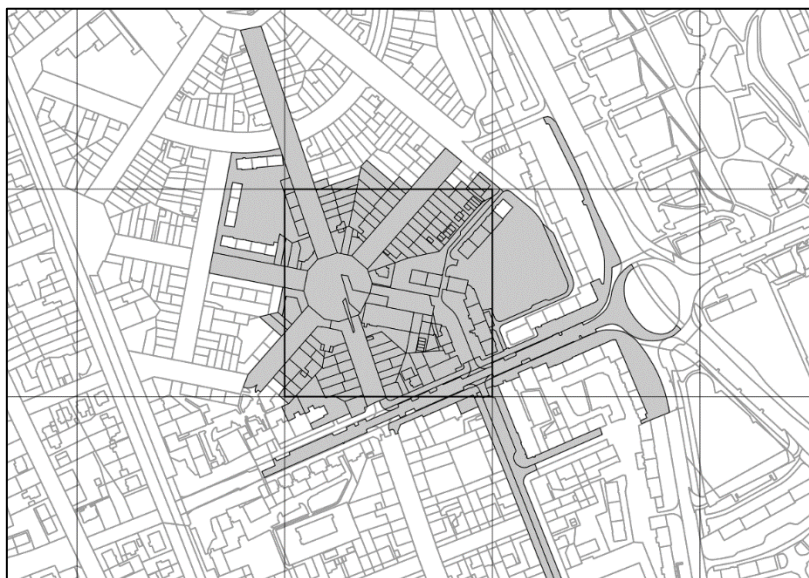
Program ParcelLoader je společně se zdrojovým kódem na přiloženém CD a online (k dispozici na: <https://github.com/Jamalek/ParcelLoader>)



Obr. 26: Znázornění přístupu scriptu v prostředí Unity k datům v databázi Oracle.

Optimalizace načítání dat

Není vhodné do vizualizačního programu načítat veškerá data v databázi, a proto je třeba objem načítaných dat omezit. Při implementaci v tomto programu byl využit princip vektorových dlaždic, kdy je prostor rozdělen na čtverce (dlaždice) zvolené velikosti. Z databáze jsou potom načítány pouze prvky, které mají průnik s vybranými dlaždicemi (viz obr. 27).



Obr. 27: Znáznornění principu tvorby jedné vektorové dlaždice.

V databázi proto měla být vytvořena speciální tabulka, která by ukládala informaci o příslušnosti parcely k dlaždici. Při praktické implementaci se ale ukázalo, že je vhodné načítat 2D a 3D data odděleně, protože tyto dvě datové sady mají odlišný charakter. Proto byly vytvořeny tyto tabulky dvě (TILE_2D_SU a TILE_3D_SU) každá pro jednu datovou sadu. Entity těchto tabulek reprezentují vztahy mezi parcelami a dlaždicemi. Jedna dlaždice přitom může obsahovat libovolný počet parcel a parcela může mít průnik s libovolným počtem dlaždic, jedná se tedy o vztah m-n. Pro aktualizaci těchto vztahů byla vytvořena databázová procedura (viz příloha II).

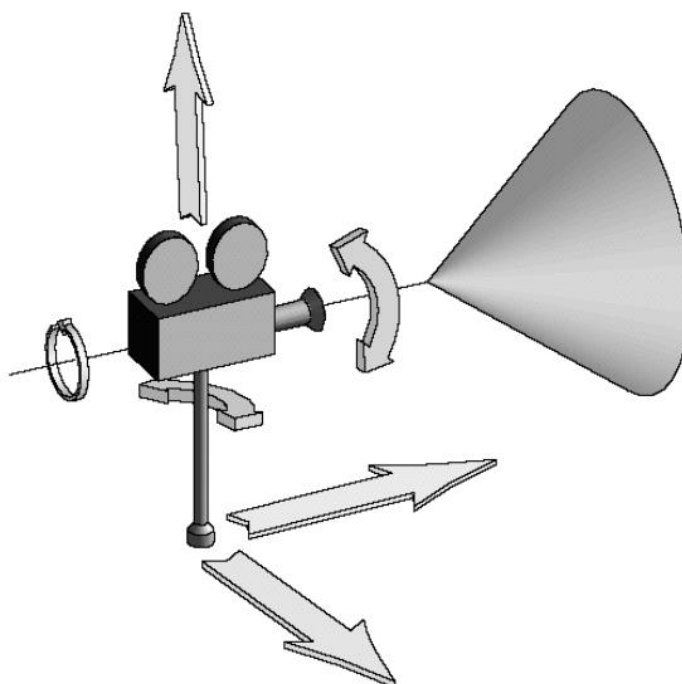
Software načítá vždy 9 dlaždic, které jsou nejbližší virtuální kameře, pokud je již nenačetl. Velikost dlaždic byla nastavena na 200 metrů krát 200 metrů.

7.2.2. Pohyb v 3D prostoru

Jedním z klíčových prvků 3D vizualizace je virtuální kamera, která má za úkol, podobně jako kamera v reálném světě, zachytit prvky 3D scény a vytvořit jejich 2D obraz. Virtuální kamera

(dále jen kamera) umožňuje uživateli zobrazit grafické informace o virtuálním prostředí, nicméně bez možnosti ovládní kamery má uživatel k dispozici pouze obraz části zkoumaného prostoru. Je proto nezbytné, aby měl uživatel možnost změnit obraz manipulací parametrů kamery. (Drucker 1994)

V této práci je uvažováno sedm stupňů volnosti kamery – tři pro translaci, tři pro rotaci a jeden pro ovládní zorného pole (viz obr. 28). Jak uvádí Drucker (1994), existují i další, jako např. snímková frekvence či osvětlení, ale těmi se v implementaci software není třeba zabývat, protože tyto parametry ovládá přímo Unity.



Obr. 28: Virtuální kamera a její stupně volnosti. Převzato z (Drucker 1994)

Jak zmiňují Pouliot a kol. (2016), existují pro manipulaci s kamerou dva základní přístupy:

1. Jednoduchý mód – manipulace parametrů kamery není uživateli přímo přístupná. Kamera je fixní a například po kliknutí na hyperlink je přemístěna na jinou pozici.
2. Pokročilý mód – uživatel má k dispozici ovládní parametrů kamery

Základní pohyby, které může kamera vykonávat jsou spolu s kinematografickým termínem uvedeny v tab. 8.

Termín	Definice
<i>Pan</i>	Rotace kamery podle svislé osy – pohled do stran
<i>Tilt</i>	Rotace kamery podle osy směřující do strany (směr do strany je určen jako vektorový součin vektoru normály obrazu a vektoru svislé osy) – pohled nahoru/dolů
<i>Roll</i>	Rotace kamery podle normály obrazu – naklánění do stran
<i>Dolly</i>	Pohyb kamery podél normály obrazu
<i>Truck</i>	Pohyb kamery podél osy ve směru do strany
<i>Crane</i>	Pohyb kamery podél osy ve směru vzhůru (směr vzhůru je určen jako vektorový součin vektoru normály obrazu a vektoru ve směru do strany)
<i>Zoom</i>	Změna zorného pole

Tab. 8: Základní pohyby virtuální kamery (Drucker, 1994)

Pouliot a kol. (2016) uvádí několik typů rozhraní, skrze které je uživatel schopný s kamerou tyto pohyby vykonávat. Jedná se především o tradiční přístup pomocí klávesnice a myši a dále o ovladače jako je Nintendo Wii či Joystick a headsety jako Oculus Rift nebo Google Glass. Prozatím byla implementována možnost ovládání pomocí klávesnice a myši, o další možnosti ovládání jde program případně rozšířit.

Z pohybů vyjmenovaných v tab. 8 v rámci této práce nebylo nalezeno využití pro pohyb *roll*, který je využíván například pro simulace letadla, a *zoom*. Zbylé uvedené pohyby jsou mapovány následovně:

1. kliknutí a táhnutí myši – *pan* a *tilt*
2. klávesy *A* a *D* – *truck*
3. klávesy *S* a *W* – *dolly*
4. klávesy *shift* a mezeník – *crane*

7.3. Vizualizace dat vytvořeným programem

Výsledný program LADMViz.exe je součástí obsahu příloženého CD a jeho zdrojové kódy jsou k dispozici na serveru GitHub (dostupné z: <https://github.com/Jamalek/LADM-visualization>). Program je možné spustit z příkazové řádky příkazem:

```
LADMViz.exe dbServer dbPort dbSID dbUsername dbPassword
Y_kamera X_kamera ID_vybrana
```

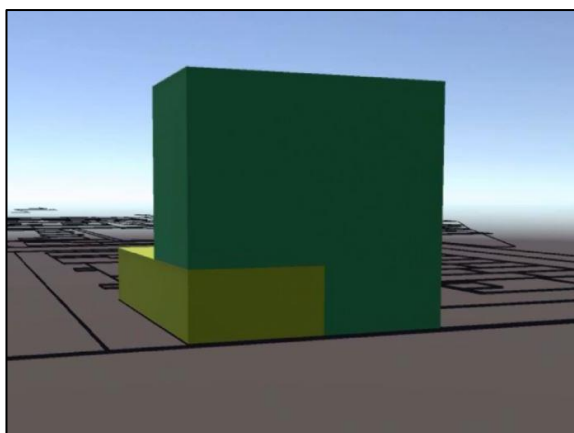
Argumenty tohoto příkazu jsou popsány v tab. 9.

Argument	Popis
dbServer	IP adresa serveru, na kterém je Oracle databáze, ke které se uživatel chce připojit
dbPort	Číslo síťového portu, skrze který je možné s databází komunikovat
dbSID	Identifikátor instance databáze
dbUsername	Uživatelské jméno
dbPassword	Heslo
Y_kamera	Souřadnice umístění virtuální kamery
X_kamera	
ID_vybrana	Volitelný argument, na základě kterého program označí jednu parcelu, jejíž atribut SUID s obsahem tohoto argumentu souhlasí

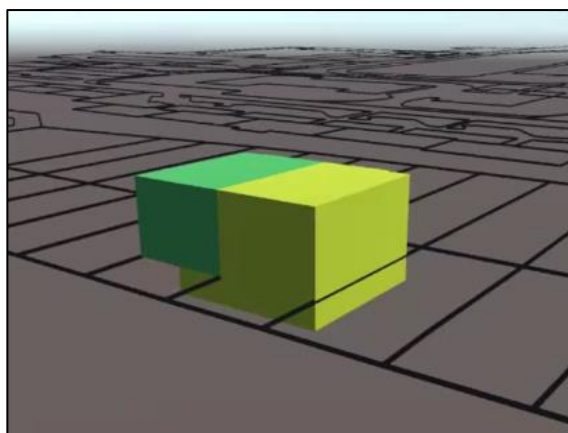
Tab. 9: Argumenty programu LADMViz.exe

Pokud jsou argumenty zadány správně, otevře se po spuštění okno programu, ve kterém je možné prohlížet vybranou situaci ve 3D. Pro ovládání kamery je možné použít klávesy W, A, S, D, shift, mezerník a kliknutí a táhnutí myši (viz kapitola 7.2.2).

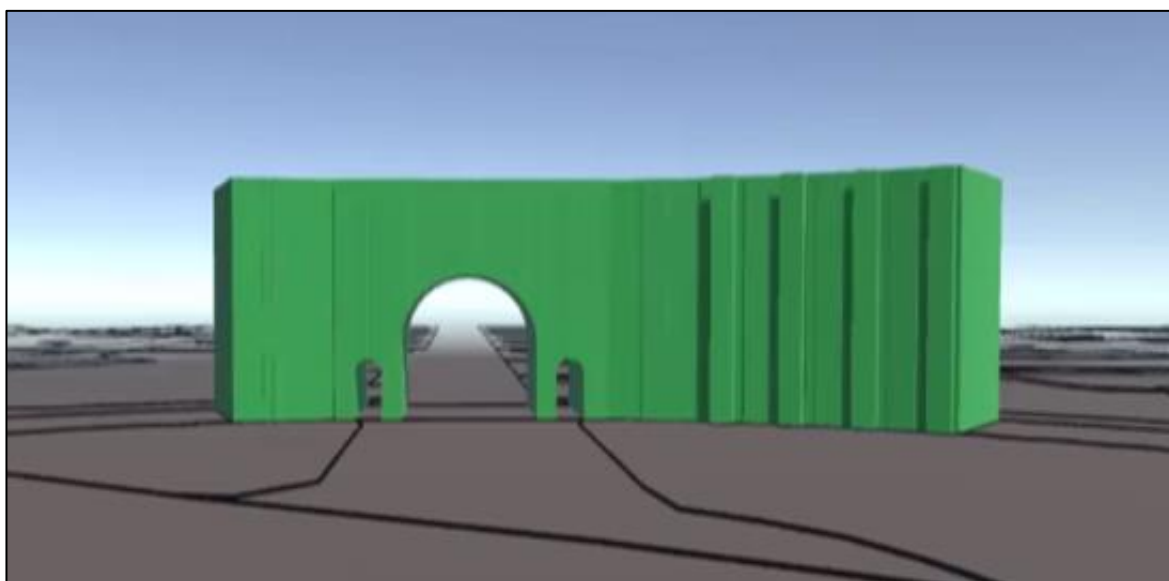
Tímto způsobem byly vizualizovány modelované 3D situace (viz obr. 29) a je ukázáno, že pomocí 3D parcel lze evidovat a přehledně zobrazit rozsah právního prostoru vlastníků.



a



b



c

Obr. 29: Vizualizace modelovaných 3D situací v prostředí vlastního programu LADMViz.exe: (a) stavba na stavbě; (b) sklep pod cizím pozemkem; (c) stavba přes komunikaci.

8. Závěr

V rámci diplomové práce byly představeny vybrané reálné situace, jejichž stávající 2D evidence v katastru nemovitostí není dostačující, a to především z pohledu vizualizace rozsahu vlastnických a jiných práv vztažených k evidovaným nemovitostem. Jako řešení evidence těchto případů byla využita mezinárodní norma ISO 19152 definující konceptuální datový model pro katastrální data. Tento konceptuální datový model umožňuje evidenci práv pomocí kombinace 2D a 3D parcel. Diplomová práce se zaměřuje na geometrický popis vybraných situací katastru nemovitostí, přičemž konceptuálně vychází z toho, že se zachová existující 2D stav (v ideálním případě jej lze převést pomocí DMR na 2,5D stav) a integruje do něj 3D parcely, které budou sloužit k vymezení rozsahu legálního prostoru evidovaných objektů.

V práci byl definován pojem 3D parcela, popsány možné typy kódování 3D parcel, jejich kategorizace a rozebrána problematika validity jejich geometrie. Dále byla provedena rešerše existujících datových modelů pro ukládání 3D parcel a na základě definovaných kritérií byl jeden z nich vybrán. Tento model byl implementován v prostorové databázi Oracle.

Jako základ pro naplnění této prostorové databáze byla použita data výměnného formátu katastru poskytovaná ČÚZK, pro jejichž konverzi do struktury databáze byl v programovacím jazyce Java vytvořen autorem práce vlastní program VFK2SQL.jar. Dále byly namodelovány vybrané 3D situace pomocí 3D parcel a ty byly integrovány a uloženy společně s 2D parcelami v jedné prostorové databázi současně.

Na základě provedené rešerše bylo shledáno, že existující aplikace poskytující 3D vizualizaci nejsou dostačující pro případ přímé vizualizace dat uložených v databázi Oracle, a byl proto vyvíjen vlastní program. Nejprve byla snaha rozšířit existující vlastní aplikaci napsanou v jazyce Java, ale z důvodu neefektivního způsobu vykreslování obrazu byl její vývoj opuštěn. Jako náhrada byl vybrán herní engine Unity, na jehož základě byl postaven nový vizualizační software, a to v programovacím jazyce C#. Snahou bylo vytvořit efektivní a rozšiřitelný software, na jehož vývoj by bylo možné v budoucnosti navázat.

Pomocí vytvořeného programu byly vizualizovány modelované 3D situace, přičemž byla ukázána možnost přehledného zobrazení rozsahu právního prostoru bez zavádění věcných břemen či zbytečného dělení parcel.

V rámci diplomové práce se nepodařilo vizualizovat případy, kdy je 3D parcela ohraničena kombinací hranic typu *boundary face* a *boundary face string*. V databázi jsou proto (z důvodu vizualizace) v některých případech uloženy nadbytečné hraniční stěny typu *boundary face*.

V rámci následující práce by navržená prostorová databáze mohla být rozšířena o podporu úrovní prostorových jednotek a historických dat. Vizualizační software by také bylo vhodné rozšířit o podporu 3D parcel, jejichž některé vertikální stěny jsou definovány pomocí hranice typu *boundary face string*.

Seznam literatury

- Agugiaro, G., Remondino, F., Girardi, G., von Schwerin, J., Richards-Rissetto, H., De Amicis, R. (2011) *A Web-Based Interactive Tool for Multi-Resolution 3d Models of a Maya Archaeological Site*, ISPRS Trento 2011 Workshop, Trento, Italy
- Bydłosz, J. (2015) *The application of the Land Administration Domain Model in building a country profile for the Polish cadastre*, Land Use Policy, Volume 49, Krakow, Poland
- Česko (2012) *Zákon č. 89/2012 Sb. (občanský zákoník)*, Praha, Česká republika
- ČNI (1989) *Mapy velkých měřítek – kreslení a značky*, Český normalizační institut, Praha, Česká republika
- ČÚZK (2014) *Struktura výměnného formátu informačního systému katastru nemovitostí České republiky*, Český úřad zeměměřický a katastrální, Praha, Česká republika, dostupné z: <http://www.cuzk.cz/Katastr-nemovitosti/Poskytovani-udaju-z-KN/Vymenny-format-KN/Vymenny-format-ISKN-v-textovem-tvaru.aspx>
- ČÚZK (2017) *Vyhláška o katastru nemovitostí (katastrální vyhláška)*, Český úřad zeměměřický a katastrální, Praha, Česká republika
- Ding, Y., Wu, C., Jiang, N., Ma, B., Zhou, X. (2016) *Construction of geometric model and topology for 3D cadastre – Case study in Taizhou, Jiangsu*, 78th FIG Working Week, Christchurch, New Zealand, ISBN 978-87-92853-52-3
- Drucker, S.M. 1994 *Intelligent Camera Control for Graphical Environments*, PhD. Thesis, Massachusetts Institute of Technology
- Döner, F., Thompson, R.J., Stoter, J., Lemmen, C., Ploeger, H., van Oosterom, P.J.M., Zlatanova, S. (2010) *4D cadastres: First analysis of legal, organizational, and technical impact—With a case study on utility networks*, Land Use Policy, Volume 27
- Döner, F., Thompson, R.J., Stoter, J., Lemmen, C., Ploeger, H., van Oosterom, P.J.M., Zlatanova, S. (2011) *Solutions for 4D cadastre – with a case study on utility networks*, International Journal of Geographical Information Science, Volume 25
- Drobež, P., Fras, M., Ferlan, M., Lisec A. (2017) *Transition from 2D to 3D real property cadastre: The case of the Slovenian cadaster*, Computers, Environment and Urban Systems, Volume 62, Ljubljana, Slovenia

- ESRI (2016) *Connect to Oracle from ArcGIS*, [online], dostupné z:
<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/gdbs-in-oracle/connect-oracle.htm>
- Janečka, K. (2015) *3D katastr v Česku – utopie, či reálná budoucnost?* GIS Ostrava, Ostrava, Česká republika, ISBN: 978-80-248-3677-5
- Janečka, K. (2016) *ISO 19152 Model domény Správa pozemků - vývoj a příklady využití*, Geodézia, kartografia a geografické informačné systémy, Demänovská dolina, Slovakia
- Janečka, K., Karki, S. (2016) *3D Data Management - Overview Report*, 5th International FIG 3D Cadastre Workshop, Athens, Greece
- Karki, S., Thompson, R.J., McDougall, K. (2013) *Development of validation rules to support digital lodgement of 3D cadastral plans*, Computers, Environment and Urban Systems, Volume 40
- Ledoux, H. (2013) *On the validation of solids represented with the international standards for geographic information*, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering
- Lemmen, C., van Oosterom, P.J.M., Eisenhut, C., Uitermark, H. (2010a) *The Modelling of Rights, Restrictions and Responsibilities (RRR) in the Land Administration Domain Model (LADM)*, 24th FIG International Congress, Sydney, Australia, ISBN: 978-87-90907-87-7
- Lemmen, C., van Oosterom, P.J.M., Thompson, R.J., Hespanha, J., Uitermark, H. (2010b) *The Modelling of Spatial Units (Parcels) in the Land Administration Domain Model (LADM)*, 24th FIG International Congress, Sydney, Australia, ISBN: 978-87-90907-87-7
- Lemmen, C., van Oosterom, P.J.M., Bennett, R.M. (2015) *The Land Administration Domain Model*, Land Use Policy, Volume 49, 2015
- MFČR (2017) *Administrativní registr ekonomických subjektů*, [online], dostupné z:
http://wwwinfo.mfcr.cz/ares/ares_es.html.cz
- Navratil, G., Unger, E. (2013) *Requirements of 3D cadastres for height systems*, Computers, Environment and Urban Systems, Volume 40
- Olivares García, J.M., Virgós Soriano, L.I., Velasco Martín-Varés, A. (2011) *3D Modeling and Representation of the Spanish Cadastral Cartography*, 2nd International Workshop on 3D Cadastres, Delft, the Netherlands

- Olivová, K. (2016) *Zobrazení netypických staveb v katastru nemovitostí*, Katastr nemovitostí aktuálně, ČSGK, Praha
- van Oosterom, P.J.M., Quak, W., Tijssen, T. (2003) *Polygons: the unstable foundation of spatial modeling*, ISPRS Joint Workshop on 'Spatial, Temporal and Multi-Dimensional Data Modelling and Analysis', Québec, Canada
- van Oosterom, P.J.M., Stoter, J., Ploeger, H., Thompson, R.J., Karki, S. (2011) *World-wide Inventory of the Status of 3D Cadastres in 2010 and Expectations for 2014*, FIG Working Week, Marrakech, Morocco, ISBN: 978-87-90907-92-1
- van Oosterom, P.J.M. (2013) *Research and development in 3D cadastres*, Computers, Environment and Urban Systems, Volume 40
- Penninga, F. (2008) *3D Topography A Simplicial Complex-based Solution in a Spatial DBMS*, PhD thesis, TU Delft, The Netherlands
- Penninga, F., van Oosterom, P.J.M. (2008) *A simplicial complex-based DBMS approach to 3D topographic data modelling*, International Journal of Geographical Information Science, Volume 22
- Pouliot, J., Wang, C., Hubert, F., Rajabifard, A., Ellul, C. (2016) *3D Cadastre visualization and dissemination: Most recent progresses and future directions*, 5th International FIG 3D Cadastre Workshop, Athens, Greece
- Ribeiro, A., Duarte de Almeida, J-P., Ellul, C. (2014) *Exploring CityEngine as a Visualization Tool for 3D Cadastre*, 4th International Workshop on 3D Cadastres, Dubai, United Arab Emirates
- Ruzinoor C.M., Zulkifli A.N., Nordin N., Mohd Yusof S.A. (2015) *Online 3D Oil Palm Plantation Management Based on Game Engine: A Conceptual Idea*, Jurnal Teknologi, volume 78
- Shojaei, D. (2014) *3D cadastral visualisation: understanding users' requirements*, PhD Thesis, Infrastructure Engineering Department, The University of Melbourne, Australia
- Stoter, J.E. (2004) *3D Cadastre*, Ph.D. Thesis, TU Delft, ISBN: 90-6132-286-3

Stoter, J.E., van Oosterom, P.J.M., Ploeger, H.D. (2012) *The Phased 3D Cadastre Implementation in the Netherlands*, 3rd International FIG Workshop on 3D Cadastres, Shenzhen, China

Stoter, J.E., Ploeger, H., Roes, R., van der Riet, E., Biljecki, F., Ledoux, H. (2016a) *First 3D Cadastral Registration of Multi-level Ownerships Rights in the Netherlands*, 5th International FIG 3D Cadastre Workshop, Athens, Greece

Stoter, J., Vallet, B., Lithen, T., Pla, M., Wozniak, P., Kellenberger, T., Streilen, A., Ilves, R., Ledoux, H. (2016) *State-of-the-art od 3D national mapping in 2016b*, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences

Thompson, R.J., van Oosterom, P.J.M. (2011) *Axiomatic Definition of Valid 3D Parcels, potentially in a Space Partition*, 2nd International Workshop on 3D Cadastres, Delft, Netherlands

Thompson, R.J., van Oosterom, P.J.M. (2012) *Modelling and validation of 3D Cadastral objects*, 28th Urban Data Management Symposium, Delft, Netherlands

Thompson, R.J. (2013) *Progressive Development of a Digital Cadastral Data Base*, 5th Land Administration Domain Model Workshop, Kuala Lumpur, Malaysia

Thompson, R.J. (2015) A model for the creation and progressive improvement of a digital cadastral data base, Land Use Policy, Volume 49

Thompson, R.J., van Oosterom, P.J.M., Karki, S., Cowie, B. (2015) *A Taxonomy of Spatial Units in a Mixed 2D and 3D Cadastral Database*, FIG Working Week, Sofia, Bulgaria, ISBN: 978-87-92853-35-6

Thompson, R.J., van Oosterom, P.J.M., Soon, K., Priebbenow, R. (2016a) *A Conceptual Model Supporting a Range of 3D Parcel Representations through all Stages: Data Capture, Transfer and Storage*, 78th FIG Working Week, Christchurch, New Zealand, ISBN: 978-87-92853-52-3

Thompson, R.J., van Oosterom, P.J.M., Soon, K. (2016b) *Mixed 2D and 3D Survey Plans with Topological Encoding*, 5th International FIG 3D Cadastre Workshop, Athens, Greece

Unity (2017) Unity blogs, [online], dostupné z: <https://blogs.unity3d.com/>

ÚNMZ (2014) *ČSN EN ISO 19152 Geografická informace – Model domény Správa pozemků (LADM)*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, Česká republika

Ying, S., Guo, R., van Oosterom, P.J.M., Li, L., Stoter, J. (2014) *Construction of 3D Volumetric Objects for a 3D Cadastral System*, Transactions in GIS, Volume 19

Zulkifli, N.A., Rahman, A.A., Jamil, H., Teng, C.H., Tan, L.C., Looi, K.S., Chan, K.L., van Oosterom, P.J.M. (2014) *Towards Malaysian LADM Country Profile for 2D and 3D Cadastral Registration System*, 25th FIG Congress, Kuala Lumpur, Malaysia, ISBN 978-87-92853-21-9

Zulkifli, N.A., Rahman, A.A., van Oosterom, P.J.M. (2015) *An overview of 3D topology for LADM-based objects*, Joint International Geoinformation Conference, Kuala Lumpur, Malaysia

Přílohy

I. Databázové dotazy na data konkrétní dlaždice

Načtení stěn boundary face string

```
SELECT
  b.bfsid,
  c.sequence,
  p.point.SDO_POINT.y,
  p.point.SDO_POINT.x
FROM
  tile_2D_SU suidx,
  la_spatialunit su,
  boundary b,
  corner c,
  la_point p
WHERE
  suidx.roundy = -479800 AND
  suidx.roundx = -1101200 AND
  suidx.suid = su.suid AND
  su.suid = b.suid AND
  b.bfsid = c.boundaryid AND
  c.pid = p.pid
GROUP BY
  b.bfsid,
  c.sequence,
  p.point.SDO_POINT.y,
  p.point.SDO_POINT.x
ORDER BY
  b.bfsid,
  c.sequence;
```

Načtení stěn boundary face

```
SELECT
  su.suid,
  su.cislo_par,
  b.bfid,
  b.direction,
  c.sequence,
  p.point.SDO_POINT.y,
  p.point.SDO_POINT.x,
  c.elevation
FROM
  tile_3D_SU suidx,
  la_spatialunit su,
  boundary3D b,
  corner c,
  la_point p
WHERE
  suidx.roundy = -479800 AND
  suidx.roundx = -1101200 AND
  suidx.suid = su.suid AND
  su.suid = b.suid AND
  b.bfid = c.boundaryid AND
  c.pid = p.pid
GROUP BY
  su.suid,
  su.cislo_par,
  b.bfid,
  b.direction,
  c.sequence,
  p.point.SDO_POINT.y,
  p.point.SDO_POINT.x,
  c.elevation
ORDER BY
  su.suid,
  b.bfid,
  c.sequence;
```

II. Procedura pro aktualizaci vektorových dlaždic

```
CREATE OR REPLACE
PROCEDURE UPDATE_SPATIALUNIT_INDEX AS
BEGIN
  DELETE FROM TILE_2D_SU;
  INSERT INTO TILE_2D_SU (SUID, CENTER)
  SELECT
    suid,
    SDO_GEOMETRY(2001, NULL, SDO_POINT_TYPE(roundY, roundX,
    NULL), NULL, NULL)
  FROM
    (SELECT DISTINCT
      su.suid suid,
      ROUND(p.point.SDO_POINT.y/2, -2)*2 roundY,
      ROUND(p.point.SDO_POINT.x/2, -2)*2 roundX
    FROM
      la_spatialunit su,
      boundary b,
      corner c,
      la_point p
    WHERE
      su.suid = b.suid AND
      b.bfsid = c.boundaryid AND
      c.pid = p.pid);
  DELETE FROM TILE_3D_SU;
  INSERT INTO TILE_3D_SU (SUID, CENTER)
  SELECT
    suid,
    SDO_GEOMETRY(2001, NULL, SDO_POINT_TYPE(roundY, roundX,
    NULL), NULL, NULL)
  FROM
    (SELECT DISTINCT
      su.suid suid,
      ROUND(p.point.SDO_POINT.y/2, -2)*2 roundY,
      ROUND(p.point.SDO_POINT.x/2, -2)*2 roundX
    FROM
      la_spatialunit su,
      boundary3D b,
      corner c,
      la_point p
    WHERE
      su.suid = b.suid AND
      b.bfid = c.boundaryid AND
      c.pid = p.pid);
END UPDATE_SPATIALUNIT_INDEX;
```