

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

OBOR GEODÉZIE A KARTOGRAFIE



DIPLOMOVÁ PRÁCE

3D VEKTOROVÁ DATA A JEJICH VZÁJEMNÉ PŘEVODY –
FORMÁTY DGN, DWG A PDF

Vedoucí práce: Ing. Jindřich Hodač, Ph.D.

Katedra geomatiky

Červenec 2016

Alexandra Larina

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tuto diplomovou práci *3D vektorová data a jejich vzájemné převody – formáty dgn, dwg a pdf* jsem vypracovala a napsala samostatně. Použitou literaturu a podkladové materiály uvádím v seznamu zdrojů.

V Praze dne _____

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Jindřichu Hodačovi, Ph.D. za jeho odborné rady během konzultací, poskytování podkladů a vedení v průběhu této práce. Dále bych poděkovala Zuzaně Ledbové za korekturu textu a morální podporu. Na závěr děkuji rodičům, sestře a kamarádům za podporu a inspiraci během studia.



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Larina	Jméno: Alexandra	Osobní číslo: 396902
Zadávací katedra: Katedra geomatiky		
Studijní program: Geodézie a kartografie		
Studijní obor: Geodézie a kartografie		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: 3D vektorová data a jejich vzájemné převody - formáty dgn, dwg a pdf

Název diplomové práce anglicky: 3D vector data and its conversions - dgn, dwg and pdf formats

Pokyny pro vypracování:

- seznamte se podrobně se způsobem ukládání 3D vektorových dat ve formátech MicroStation dgn, AutoCAD dwg a Adobe pdf,
- seznamte se s možnými způsoby konstrukce 3D objektů v CAD MicroStation a AutoCAD s důrazem na objekty „křivkové,, a nepravidelné,
- na vhodně zvoleném testovacím objektu proveďte testování vzájemného převodu zkoumaných formátů, hlavní pozornost věnujte celkové kvalitě převodu a zachování geometrické správnosti dat,
- na základě testování navrhnete vhodný způsob zpracování 3D modelů tak, aby byla zajištěna kompatibilita dat v daných formátech,
- výsledky prací shrňte a navrhnete další možné cesty bádání v dané oblasti.

Seznam doporučené literatury:

Bartošová, Dana - Tvorba 3D modelu ambitu minoritů Kláštera Sv. Anežky České.
bakalářská práce; Fakulta stavební, ČVUT v Praze, Praha 2012

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Jindřich Hodač, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 22. února 2016 Termín odevzdání diplomové práce: 22. května 2016

Podpis vedoucího práce Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutně uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

22.2.2016

Datum převzetí zadání Podpis studenta(ky)

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá problematikou převodu prostorových modelů z formátu DGN do formátu DWG. Jedním z úkolů je podrobné seznámení s ukládáním prostorových dat do CAD formátů, a to na základě připravených testovacích modelů. Hlavním cílem práce je najít optimální řešení pro konstrukci prostorových křivek a ploch v programu MicroStation V8i tak, aby při exportu do základního formátu DWG programu AutoCAD byla zachována správnost geometrie těchto útvarů. Dalším zadáním je provedení exportu 3D dat z formátu DGN do formátu 3D PDF s dosažením co nejlepší kvality zobrazení dat.

Výsledkem práce je popis optimálního postupu konstrukce 3D modelu v systému MicroStation a popis způsobu a nastavení exportu vektorového prostorového modelu z DGN do formátů DWG a 3D PDF. Dalším výstupem jsou výkresové soubory s výsledky průběžného testování různých metod modelování a exportu 3D objektů ve formátech DGN, DWG a PDF.

KLÍČOVÁ SLOVA

DGN, DWG, 3D PDF, MicroStation V8i, konverze formátů, export dat, AutoCAD, prostorové modelování.

ABSTRACT

This master thesis deals with conversion of 3D models issues, especially with export from the DGN format to DWG format. One of the main tasks of the thesis is a detailed familiarization with storing principles of spatial data using different CAD formats. The main goal of this work is to find an optimal way to construct spatial curves and surfaces in MicroStation V8i program so that after the export to standard DWG format in AutoCAD system, the quality and geometry of the 3D objects will be preserved. Another task is to export 3D data from the DGN format to 3D PDF format while achieving the highest possible quality of the final data display.

The main result of the thesis is a description of the optimal 3D modeling technique in MicroStation system. The other main outcome is a description of method how to configure and perform the export of vector spatial model from DGN to DWG and 3D PDF formats. Next outcome is a set of design files with results from an ongoing testing of various 3D construction and export methods (data are in DGN, DWG and PDF formats).

KEY WORDS

DGN, DWG, 3D PDF, MicroStation V8i, format's conversion, data export, AutoCAD, spatial modeling.

Obsah

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ	2
PODĚKOVÁNÍ	3
ABSTRAKT	5
ÚVOD	9
1 PROSTOROVÉ 3D MODELOVÁNÍ	11
1.1 TROJROZMĚRNÁ SOUŘADNICOVÁ SOUSTAVA	11
1.2 ZPŮSOBY ZOBRAZENÍ PROSTOROVÝCH DAT	12
1.2.1 Vektorová data	13
2 POUŽITÉ SOFTWAREOVÉ SYSTÉMY	14
2.1 SOFTWARE MICROSTATION V8I	14
2.2 SOFTWARE AUTOCAD A DWG TRUE VIEW	16
2.3 APLIKACE TETRA4D CONVERTER	17
3 FORMÁTY PROSTOROVÝCH DAT	19
3.1 CHARAKTERISTIKY FORMÁTU DGN	19
3.1.1 Základní informace	19
3.1.2 Porovnání formátu DGN 7 a DGN 8	19
3.2 CHARAKTERISTIKY FORMÁTU DWG	20
3.3 POROVNÁNÍ CHARAKTERISTIK FORMÁTŮ DGN A DWG	21
3.4 CHARAKTERISTIKY FORMÁTU PDF	22
4 KONVERZE DAT Z DGN DO DWG	23
4.1 TESTOVACÍ OBJEKTY	23
4.2 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ KVALITU ZOBRAZENÍ 3D DAT	24
4.2.1 Ukládání a export dat (DGN >> DWG)	25
4.2.2 Modelování nepravidelných objektů	28
4.2.2.1 Způsoby definice prostorových křivek	29
4.2.2.2 Volba metod tvorby prostorových křivek	35

4.2.2.3	Export prostorových křivek a ploch.....	35
4.2.3	Porovnání kvality zobrazení v různých softwarech	37
4.2.4	Parametry zobrazení v systému AutoCAD	39
4.3	SHRNUTÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	43
5	ZPŮSOBY PŘEVODU 3D DAT Z DGN DO PDF.....	45
5.1	TISK OHRADY DO 3D PDF V MICROSTATIONU V8i.....	45
5.2	TISK DO 3D PDF V MICROSTATIONU V8I POMOCÍ 2D ARCHU	48
5.3	TVORBA 3D PDF V TETRA4D CONVERTERU.....	50
5.4	VYHODNOCENÍ METOD TVORBY PDF	57
	ZÁVĚR	58
	SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ	61
	SEZNAM ZDROJŮ.....	63
	SEZNÁM PŘÍLOH.....	65
	PŘÍLOHA 1	66
	PŘÍLOHA 2	67

ÚVOD

V dnešní době široce využívanou technologií prostorové vizualizace památkových objektů je 3D modelování v CAD systémech. Provádí se s cílem uchování dosavadního stavu objektu v digitálním tvaru nebo pro vizualizaci historického stavu objektu, který již neodpovídá stavu současnému (realitě).

Při spolupráci odborníků z různých oborů, například architektů a geodetů, vzniká potřeba zpracování prostorového modelu zvoleného objektu ve více formátech nebo v kvalitním převodu mezi formáty, a to z důvodu využití různých CAD systémů. Správné interpretování výkresů a 3D modelů objektu je velice důležité pro následující rekonstrukci a obnovu památek, proto je nutné zajistit hodnotný export dat.

Konstrukční programy CAD v současnosti umí provádět exporty výkresů do různých formátů a pracovat s nimi. Při bližším zkoumání těchto vyexportovaných souborů se však objevují problémy s nekorektním zobrazováním dat, což následně působí nejasnosti a špatnou představu o tvaru objektu. Z toho vyplývá potřeba testování způsobu konstruování prostorových modelů a nastavení exportů. Zejména pro tyto účely slouží předložená diplomová práce.

Hlavním cílem této práce je provést zhodnocení problematiky vad zobrazení objektů v CAD systémech a stanovit možné faktory působící na kvalitu zobrazení 3D dat. Jedním z důležitých úkolů je také zkoumání funkcí softwarů mající vliv na zobrazení prostorových křivek, na základě kterých jsou tvořeny plošné prostorové stavební prvky památkových objektů. Pro tvorbu prostorových výkresů ve formátu DGN byl vybrán program MicroStation V8i a pro práci s DWG soubory pak program AutoCAD (verze 2015 a 2017). Dalším cílem je testování a určení optimálního způsobu konverze prostorových dat z formátu DGN do formátu 3D PDF.

Diplomová práce je členěna do několika kapitol. V úvodní kapitole jsou uvedeny teoretické informace o základech prostorového modelování a o způsobech zobrazení prostorových dat. Další kapitola je věnována použitým softwarovým programům a aplikacím, které se využívaly v rámci veškerého potřebného testování. Třetí kapitola se zabývá datovými formáty, které byly použity v softwarech uvedených v předchozí kapitole.

Nejrozsáhlejší a nejpodstatnější část práce představuje kapitola 4, kde jsou nejprve charakterizovány testovací prostorové modely a poté podrobně popsány metodiky testování tvorby prostorových křivek a ploch v těchto modelech. Zároveň jsou posouzena vhodná nastavení

zobrazovacích parametrů využitých softwarů a způsoby, jak je ovlivnit. Cílem této části práce je zjištění neoptimálnější metodiky tvorby prostorových výkresů ve formátu DGN (MicroStation) tak, aby se tato data po exportu zobrazovala podobně a se stejnou kvalitou jako ve formátu DWG (AutoCAD).

V poslední kapitole je porovnáno několik způsobů tvorby přehledných prostorových 3D PDF souborů obsahujících testovací modely, a to s využitím programu MicroStation V8i a aplikace Tetra4D Converter.

V závěru práce jsou vyhodnoceny jednotlivé výsledky použitých testovacích metod. Na základě jejich porovnání a zhodnocení kvality výsledků je navržena optimální cesta tvorby 3D dokumentace v programu MicroStation a také následné nastavení zobrazovacích parametrů systémů pro prohlížení vyexportovaného DWG formátu. Dále jsou zhodnoceny výsledky metod převodu prostorových dat z formátu DGN do 3D PDF formátu.

1 PROSTOROVÉ 3D MODELOVÁNÍ

Denně se setkáváme a využíváme spoustu informací, které mají vztah k prostoru, aniž bychom si toho všímali. Tyto prostorové informace je mnohdy potřeba speciálním způsobem zpracovat, analyzovat a převést do digitálního formátu. Pro tyto účely již bylo vyvinuto mnoho metod, z nichž jednou je 3D modelování.

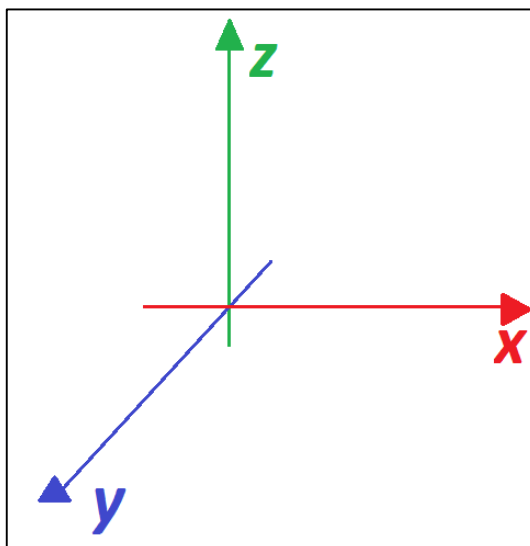
Pojmem 3D modelování se rozumí proces tvarování a vytváření 3D modelu, který může být reprezentován několika způsoby. Modely mohou být vytvořeny na počítači pomocí konstrukčního nástroje, podle dat získaných měřicím přístrojem (laserovým skenováním, fotogrammetrickými metody, atd.) z reálného světa nebo na základě počítačové simulace.

Pro reprezentaci těles v projektování a CAD se používá metoda CSG (konstruktivní geometrie pevných těles). Modely se konstruují z primitivních geometrických těles, takových jako jsou koule, kvádr, válec, kužel a další, a to pomocí operací sjednocení, průnik a rozdíl. Pro zobrazování se tento model většinou převádí do hraniční reprezentace, což znamená, že těleso je popsáno hranicemi (stěnami, hranami a vrcholy), dle [1].

1.1 TROJROZMĚRNÁ SOUŘADNICOVÁ SOUSTAVA

Chceme-li definovat 3D prostor v počítači, musíme mít vhodný model k reprezentaci vytvářených či upravovaných objektů ve třech rozměrech, jimiž jsou délka, šířka a hloubka (či výška). Takovým modelem je kartézská soustava souřadnic, kterou v 17. století formuloval francouzský filosof a matematik René Descartes. Její pomocí se Descartovi podařilo propojit euklidovskou geometrii s algebrou.

„Tři zmíněné rozměry mají v modelu podobu os konvenčně označovaných písmeny x , y a z . Každá ze tří dvojic těchto os tvoří rovinu, která je v trojrozměrném prostoru kolmá (ortogonální) na zbývající dvě. Bod v prostoru (základní jednotka počítačového zpracování trojrozměrného prostoru) je pak definován polohou na každé ze tří os. Počátkem, lépe řečeno středem prostoru je nula, jež je prostorově společná pro všechny tři osy.“ - jak se uvádí ve zdroji [2]. Koncepce kartézské soustavy souřadnic je uvedena na obrázku (Obr. 1).



Obr. 1 Trojrozměrná kartézská souřadnicová soustava

Záporné hodnoty se využívají k vyjádření opačných směrů na jednotlivých osách. Střed prostoru (o souřadnicích $[0,0,0]$) doplněný o kladné i záporné směry a jejich kombinace umožňuje takové zaplňování prostoru objekty, které není omezeno v žádném směru; může pokračovat do nekonečna, avšak limitujícím faktorem je paměť počítače. V této podkapitole je čerpáno z [2].

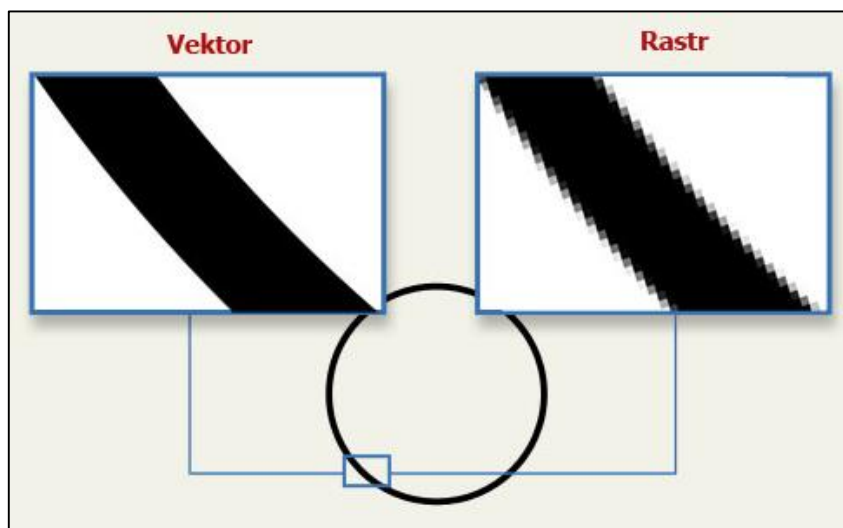
1.2 ZPŮSOBY ZOBRAZENÍ PROSTOROVÝCH DAT

Prostorová data se obvykle reprezentují v digitální podobě ve tvaru:

- vektorovém,
- rastrovém.

Základní rozdíl je ve způsobu popisu objektu. Při použití vektorové reprezentace dat jsou objekty popsány pomocí geometrických parametrů. U rastrových dat je objekt vyjádřen jako shluk bodů a je charakterizován velikostí pixelů. Pixel je nejmenší nedělená jednotka rastrového obrazu.

„Úsečka popsaná rastrem je množina bodů o různých souřadnicích, které zobrazené dohromady tvoří obraz úsečky. Úsečka ve vektorovém zápisu bude obsahovat pouze počáteční a koncový bod a informaci o barvě a tloušťce“, jak je uvedeno v [3]. Na obrázku (Obr. 2) jsou porovnány vektorové a rastrové způsoby zobrazení objektu.



Obr. 2 Vektorová a rastrová reprezentace objektu

V rámci této diplomové práce byla testována pouze vektorová data, proto v dalším odstavci budou podrobněji popsány charakteristiky hlavně vektorového datového modelu.

1.2.1 Vektorová data

Ve vektorovém datovém modelu se geometrické vlastnosti objektu popisují pomocí lineárních geometrických prvků – vektorů. Vektorový grafický soubor obsahuje informace o objektech, které jsou popsány pomocí následujících základních geometrických prvků:

- **bod** – jako vektor nulové délky (vektor, u něhož splyne počáteční a koncový bod);
- **linie** – jako otevřená posloupnost vektorů. U linie rozlišujeme počáteční a koncový bod, které se běžně označují termínem uzel, a mezilehlé body, které se označují termínem vrchol;
- **plocha** – je reprezentována svojí hraniční linií, která je uzavřená [4].

Je-li vektorově uložena např. kružnice, soubor neobsahuje data o všech jednotlivých bodech, které na ní leží. Uvádí však informace o tom, že se jedná o kružnici, dále soubor obsahuje souřadnice jejího středu, souřadnice jednoho bodu, jenž na kružnici leží, a poslední bod pak určuje rovinu její konstrukce. Také vektorový model může obsahovat informace o barvě objektu a o tloušťce čáry, kterou je sestaven. Program, pro který jsou tato data určena, musí být schopen informace správně přečíst a musí obsahovat algoritmus, který na základě daných informací kružnici sestojí, viz [5]. K tomuto účelu slouží CAD softwary, které se používají pro konstruování plošných a prostorových objektů.

2 POUŽITÉ SOFTWARE SYSTÉMY

Při zpracování grafických dat je velice důležité zvolit vhodný software, pomocí kterého se dá dosáhnout kvalitních výstupů. V oboru geodézie a fotogrammetrie je ve zvyku využívat konstrukční program MicroStation [6] firmy Bentley Systems [7], zatímco v oboru architektury a stavebnictví je velmi rozšířen program AutoCAD firmy Autodesk [8]. Pro navázání profesionální komunikace mezi těmito obory je vhodné znát charakteristiky a možnosti obou programů.

Na základě zadání diplomové práce bylo stanoveno, že veškeré testovací objekty budou tvořeny ve formátu DGN v systému MicroStation V8i a následně budou převedeny do formátu DWG, který je základním formátem systému AutoCAD. Pro prohlížení DWG souborů není AutoCAD nezbytným nástrojem, k tomuto účelu vystačí použití aplikace DWG TrueView 2017. Avšak pro vyhodnocení kvality zobrazení 3D objektů ve formátu DWG budou otestovány jak verze aplikace DWG TrueView, tak i verze programu AutoCAD.

Součástí zadání je převod prostorového modelu do formátu 3D PDF. V rámci mé bakalářské práce „Nový hrad u Kunratic – tvorba detailního 3D modelu vybrané části“ [9] byl již nalezen jeden z optimálních způsobů převodu prostorových dat do formátu PDF, a to pomocí nadstavby „Tetra4D Converter“ programu Adobe Acrobat. Uvedený postup bude použit na různých testovacích datech a výsledky budou následně porovnány s výstupy z dalších programů.

2.1 SOFTWARE MICROSTATION V8I

MicroStation je produktem společnosti Bentley Inc. „*Systém MicroStation je grafický editor střední třídy určený pro pořízení a editaci kresby v různých oborech technické praxe. Je koncipován jako hierarchie modulů, přičemž jádrem je modul se základními funkcemi pro rovinnou i prostorovou grafiku*“, jak je definováno v návodech do cvičení [10].

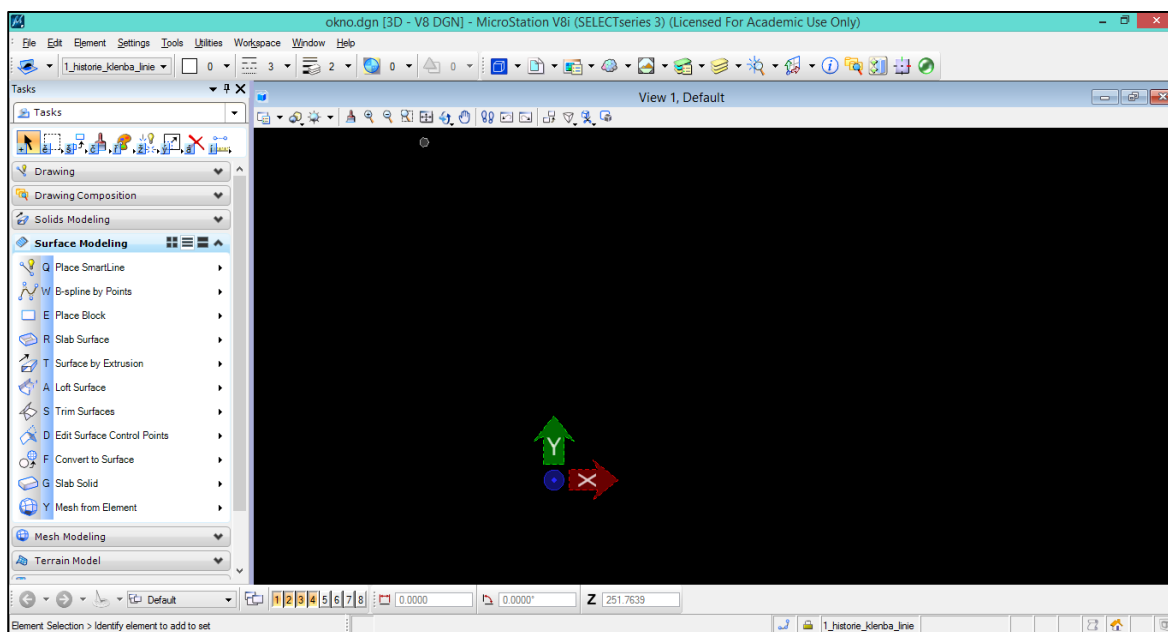
MicroStation je základem řešení společnosti Bentley Inc. pro architekturu, stavební inženýrství, dopravu, zpracovatelský průmysl, výrobní zařízení, státní správu a samosprávu a inženýrské a telekomunikační sítě. Hodnota dat, která jsou tvořena pomocí MicroStation, se může řádově zvýšit podle rozsahu a komplexnosti řešení, v rámci kterého se MicroStation používá [6].

MicroStation je systém, který se dynamicky vyvíjí a přizpůsobuje potřebám zákazníků, proto existuje více verzí programů s různými nastaveními. V rámci této diplomové práce byla využívána verze MicroStation V8i (SELECTSeries3). Pracovní rozhraní této verze uvádí obrázek *Obr. 3*.

MicroStation V8i umožňuje svým uživatelům vytvářet 3D modely objektů a budov. Modely a jejich jednotlivé části jsou elektronickou simulací reálných objektů a obsahují všechny informace o jejich parametrech. Tyto parametry i celé části modelů se přizpůsobují jednotlivým fázím životního cyklu objektu (návrh, projektování, výstavba, provoz), což zjednodušuje vedení projektu a zefektivňuje provoz objektu.

Co se týká formátu pracovních výkresů, MicroStation V8i pracuje s vlastním formátem známým jako DGN. Tento formát neobsahuje žádná omezení přesnosti, počtu vrstev či velikosti výkresu nebo buněk. Data vytvořená v MicroStation V8i jsou při ukládání do DGN souboru optimalizována, ověřena a zkomprimována, což šetří přenosovou kapacitu sítě i požadavky na ukládací prostor. Díky rozšiřitelnosti formátu DGN představuje MicroStation V8i nový standard v oblasti stability a splňuje nejen současné potřeby uživatelů, ale vytváří i pevný základ pro splnění budoucích nároků a požadavků [6].

Licence softwaru MicroStation V8i jsou zpoplatněny, a to včetně akademických verzí programu. V České republice je poskytovatelem systému MicroStation a obchodním partnerem společnosti Bentley Systems firma Gisoft v.o.s.



Obr. 3 Pracovní rozhraní systému MicroStation V8i

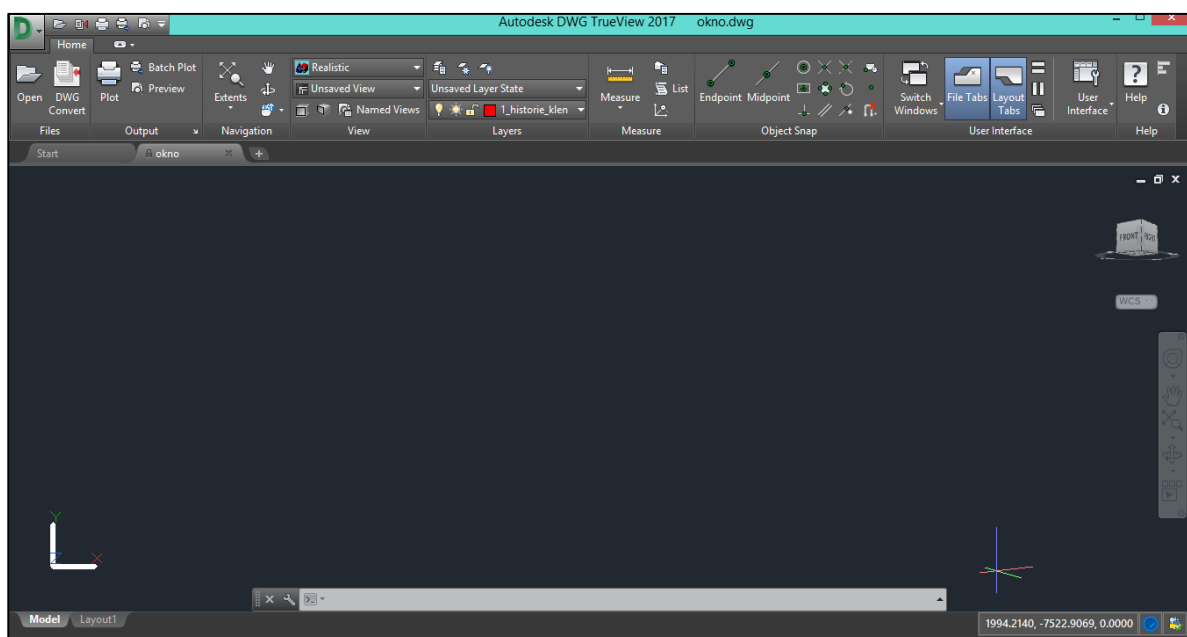
2.2 SOFTWARE AUTOCAD A DWG TRUE VIEW

AutoCAD, produkt firmy Autodesk, představuje světovou špičku mezi CAD programy. Jeho formáty souborů DWG a DXF jsou de facto standardem při výměně CADovských dat. V současné době je na světě přes 10 000 000 uživatelů AutoCADu. Vedoucí pozici aplikace AutoCAD na CAD trhu potvrzuje i opakované získání titulu CAD produkt roku, který bývá udělován odborným tiskem.

Software AutoCAD má velice široké uplatnění, zahrnuje oblasti od strojírenství přes stavebnictví, architekturu a mapování, ale i obory geodézie a GIS, elektrotechnika, chemie, astronomie, archeologie, ekologie nebo třeba divadelnictví. AutoCAD nám nabízí kreslení v 2D i 3D rovině (viz [11]).

Licence programu jsou zpoplatněny, avšak firma Autodesk umožňuje využití svých produktů zdarma pro studenty a školitele vysokých škol.

Dalším produktem společnosti Autodesk je software DWG True View, který umožňuje přesně zobrazovat, tisknout a publikovat autentické soubory technických formátu DWG a DXF. *„Aplikace DWG TrueView 2017 je ideálním řešením pro zpracování výkresové dokumentace ve formátu DWG bez ohledu na vlastnictví odpovídající licence AutoCAD. Může tak být výhodnou volbou pro řadu uživatelů, kteří přímo výkresovou dokumentaci nevytváří, ale využívají ji pro další činnost.“*, viz [12].



Obr. 4 Pracovní rozhraní aplikace DWG TrueView 2017

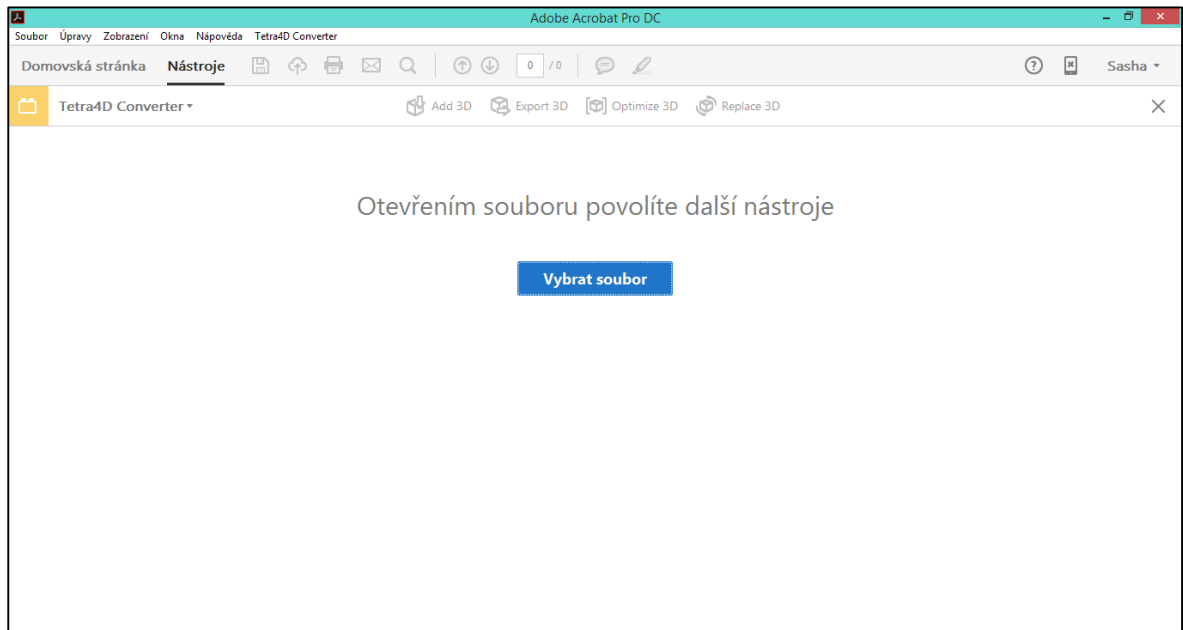
Hlavní funkce programu DWG True View:

- Snadné a přesné **sdílení výkresů** z aplikace AutoCAD mezi inženýry a architekty;
- **Prohlížení a tisk** souborů DWG a DXF;
- Přesné **měření vzdáleností a ploch** pomocí nového nástroje pro uchopování objektů;
- **Publikování** souborů 3D DWF;
- Plná podpora vylepšených kreslicích funkcí aplikace AutoCAD;
- Zajištění **integrity a spolehlivosti dat**;
- Zobrazení výkresů je stoprocentně věrné, protože prohlížeč využívá stejnou technologii jako AutoCAD;
- **Možnost převodu** sady výkresů z nových verzí aplikace AutoCAD **na starší verze** a naopak;
- V průběhu procesu převodu můžete přidat informace o **nastavení tisku** (převzato z [12]);
- **Softwarové licence** je Freeware (tj. forma distribuce software, která ponechává autorovi autorská práva, ale volně zpřístupňuje plně funkční software bez poplatků).

2.3 APLIKACE TETRA4D CONVERTER

Tetra4D Converter společnosti Tech Soft 3D „je řešení nové generace určené ke konverzi 3D CAD dat na bohaté interaktivní 3D PDF dokumenty. Obsahuje zjednodušené uživatelské rozhraní spustitelné přímo z panelu nabídek aplikace Adobe Acrobat X Pro. 3D PDF Converter obsahuje aktualizovanou verzi samostatné aplikace 3D Reviewer, která před vlastní publikací do 3D PDF umožňuje uživatelům *slučovat CAD soubory, přesouvat a mazat díly, vytvářet animace, rozkládat sestavy, a mnoho dalšího*“, uvádí internetová stránka společnosti Amos Software [13]. Vzhled pracovního okna je uveden na **Obr. 5**.

Licence programu Tetra4D Converter je poskytována za 498 € (platí k červnu roku 2016), avšak existuje možnost vyzkoušet si aplikaci zdarma v průběhu 28 dnů v rámci zkušební verze.



Obr. 5 Pracovní rozhraní aplikace Tetra4D Converter

Hlavní funkce Tetra4D Converter:

- **Konverze** 3D CAD souborů do bohatých 3D PDF dokumentů;
- **Podpora** mnoha CAD formátů (CATIA V5R20, Pro/ENGINEER Wildfire 5.0, Parasolid 23, U3D, 3DS, IGES atd.);
- Umožňuje **export** jak celého objektu, tak i jeho jednotlivých části;
- **Export** z 3D PDF do neutrálních 3D formátů (STEP, IGES, Parasolid nebo STL);
- **Slučování** CAD souborů, přesouvání a odstraňování jejich dílů, vytváření animace, rozkládání sestav a další.

Hlavní funkce 3D Reviewer:

- **Kombinování** heterogenních CAD dat do jediné sestavy;
- Možnost **provádění měření** a tvorby dynamických **průřezů a řezů**;
- **Výpočet bounding boxu** a fyzických vlastností modelu (objem, těžiště, hmotnost a povrch);
- Tvorba rozložených **pohledů a animace** (převzato z [13]).

3 FORMÁTY PROSTOROVÝCH DAT

V této kapitole jsou popsány základní datové formáty, ve kterých byla prováděna veškerá testování a práce.

3.1 CHARAKTERISTIKY FORMÁTU DGN

Základním formátem výkresů v produktech firmy Bentley Systems je formát označovaný jako **DGN**, což je zkratka z anglického slova *design*. V současné době se můžeme setkat se dvěma verzemi tohoto formátu, které jsou označovány jako **DGN V7** a **DGN V8** [6]. Výkresy ve formátu DGN mohou obsahovat jak 2D, tak 3D data.

3.1.1 Základní informace

„DGN je datový formát pro uložení technické dokumentace – výkresů, map, schémat, 3D modelů apod. Je to primárně vektorový formát, ačkoli v něm mohou být uložena i rastrová nebo popisná data.

S výkresy ve formátu DGN V7 je možné pracovat ve všech verzích MicroStationu a odvozených produktů, s výkresy ve formátu DGN V8 je pak možné pracovat ve verzích MicroStation 8.0 nebo vyšších a také odpovídajících verzích odvozených produktů“, viz [6].

„Výkres ve formátu DGN nemusí vždy obsahovat příponu DGN. MicroStation v něm nepozná výkres, protože má „správnou“ příponu, nýbrž podle dat, které obsahuje. Proto se v některých speciálních případech používají pro (atypické) výkresy jiné koncovky. Například HLN je koncovka výkresu se skrytými hranami (hoden lines). Velká výhoda je, že se ke každému formátu zachová „přiměřeně“. Formát rozpozná, a protože ví, jak je ten který formát omezený, tak uživateli nezpřístupní ty své funkce a možnosti, jež se s právě používaným výkresem nemohou dorozumět, čímž předejde spoustě chyb“, uvádí Petr Sýkora, autor uživatelské příručky programu MicroStation V8 [14].

3.1.2 Porovnání formátu DGN 7 a DGN 8

Neměnnost formátu má své jednoznačné výhody, avšak postupem času vznikají požadavky na rozšíření funkčnosti programu MicroStation a následně provedení upgradu základního formátu výkresu. Zásadní změnu společnost Bentley Systems provedla až v roce 2001, kdy byl současně s novou verzí MicroStation V8 uveden i nový formát DGN V8.

V rámci obnovy a upgradu byly provedeny následující změny:

- **Odstraněna omezení** formátu DGN V7 jako je maximální počet vrstev, maximální velikost souboru apod.;
- Standardní entity prvků a jejich atributy jsou **nadmnožinou entit** ve formátech DGN V7 a DWG – proto při importu dat z DWG nedochází ke ztrátě informací, resp. nedochází k náhradě komplexnějších prvků jednoduššími;
- Formát je snáze **rozšiřitelný**, umožňuje větší **flexibilitu ukládání dat** – v souboru je například možné ukládat i popisná data ve formátu XML;
- Formát umožňuje zcela **nové vlastnosti**, např. sledovat historii změn ve výkresu, ukládat více nezávislých modelů v jednom souboru apod.

Celkově se společnost Bentley Systems snažila navrhnout nový formát DGN tak, aby jeho základní strukturu nebylo nutné měnit po dobu dalších několika desítek let. Nezávislá asociace OpenDesign (dříve OpenDWG), která propaguje otevřenost a kompatibilitu CAD formátů, označuje formát DGN V8 jako jeden z nejlépe navržených CAD formátů v historii. Výše uvedené informace byly čerpány z [6].

3.2 CHARAKTERISTIKY FORMÁTU DWG

DWG představuje datový formát, který byl vyvinut společností Autodesk a je základním formátem softwaru AutoCAD. Název formátu byl odvozen z anglického slovesa *drawing*. DWG je jedním ze standardních výměnných datových formátů CAD softwaru. Výkresy ve formátu DWG mohou obsahovat 2D nebo 3D data.

Formát DWG je nejvyužívanějším konstrukčním formátem. „*S novou verzí AutoCADu je vždy formát upraven a rozšířen. Obecně platí pravidlo možnosti přenosu ze starší verze na novější a nutnost konverze z novější na starší*“, jak uvádí učebnice AutoCAD 2014 [15]. Proto určitou nevýhodu DWG představují rozdíly formátů ukládaných v jednotlivých verzích AutoCADu a ochrana příslušnými autorskými právy. DWG nemá otevřený zdrojový kód a ani jedna z 18 existujících verzí formátu není oficiálně popsána v publikované dokumentaci.

Čtení formátu DWG a jeho zápis umožňují nejen produkty firmy Autodesk (AutoCAD a DWG TrueView), ale i některé konkurenční programy. Avšak kvůli tomu, že DWG je neveřejným formátem firmy Autodesk, kompatibilita souborů vytvořených v jiných programech je neúplná a není zaručena.

Při práci s výkresy v programu AutoCAD se vytváří záložní kopie souboru ve formátu BAK a AC\$ (automatická kopie). Pokud dojde k poškození souboru DWG a nezdaří se ho obnovit pomocí vestavěných funkcí AutoCADu, je možné použít těchto záložních souborů. V případě problému při ukládání nebo při nechtěném uložení tak lze přepsáním koncovky BAK na DWG získat původní soubor [16].

3.3 POROVNÁNÍ CHARAKTERISTIK FORMÁTŮ DGN A DWG

Před převodem dat mezi formáty je velmi důležité zjistit, jaké charakteristiky mají a co podporují jednotlivé formáty. V následující tabulce jsou shrnuty nejpodstatnější vlastnosti formátů DGN a DWG.

Tabulka 1 Srovnání parametrů formátů DWG a DGN [převzato z 6]

Výkresy ve formátu DGN	Výkresy ve formátu DWG
<ul style="list-style-type: none">• Existují dvě verze – DGN V7 a DGN V8;• jsou odlišeny 2D a 3D výkresy;• v jednom souboru ve formátu DGN V8 může být několik modelů (výkresů) – jejich počet je prakticky neomezen, soubory ve formátu DGN V7 mají jeden model;• tabulka barev – pokud není uložena ve výkresu, použije se standardní tabulka. Je možné nadefinovat (připojit) jinou tabulku s vlastními barvami;• tradiční fonty (písma) jsou uloženy odděleně od výkresu v jednom nebo ve více souborech RSC (jeden soubor může obsahovat více fontů), ve výkresech DGN V8 je možné použít systémové TrueType fonty, např. Arial;• styly čar mohou být uloženy odděleně od výkresu v jednom nebo ve více souborech RSC a/nebo přímo ve výkresu (druhá možnost se týká jen formátu DGN V8);• nastavení viditelnosti vrstev v jednotlivých pohledech samostatně nebo globálně.	<ul style="list-style-type: none">• Existuje více verzí;• výkresy jsou vždy 3D, a to i tehdy, pokud obsahují jen 2D data (např. mapové podklady);• soubory ve formátu DWG mají v terminologii MicroStationu nejčastěji dva modely – samotný výkres (model space) a jeden nebo více modelů s rozvržením tisku (paper space);• tabulka barev je pevná a má odlišné rozložení barev oproti standardní tabulce barev MicroStationu. Není uložena ve výkresu;• tradiční fonty (písma) jsou uloženy odděleně v souborech SHX (každý soubor představuje jeden font), v novějších verzích je možné použít systémové TrueType fonty, např. Arial;• styly čar jsou uloženy přímo ve výkresu, pokud však obsahují symboly, ty jsou uloženy odděleně od výkresu v souboru nebo souborech SHX;• nastavení viditelnosti vrstev (hladin) pouze globálně.

Možnosti formátu DGN V8 jsou nadmnožinou možností formátu DWG, proto je převod z DGN do DWG složitější než opačný převod. Tato diplomová práce se proto snaží o nalezení optimálního řešení tohoto problému.

3.4 CHARAKTERISTIKY FORMÁTU PDF

PDF je zkratkou anglického názvu *Portable Document Format*, neboli česky přenosný formát dokumentů. Tento souborový formát byl vyvinut společností *Adobe*. PDF formát slouží k ukládání dokumentů nezávisle na softwaru i hardwaru uživatele. Soubor typu PDF může obsahovat text, kresbu nebo obrázky, přičemž je zajištěno, že se dokument zobrazí na všech zařízeních stejným způsobem. Vytváření souboru ve formátu PDF je umožněno jak v komerčním softwaru Acrobat od společnosti Adobe, tak v dalších programech včetně CAD systémů (často však pouze jako export do PDF). Prohlížení PDF dokumentů je možné provést ve volně dostupných prohlížečích pro mnoho platforem, nejznámějším je oficiální prohlížeč mateřské firmy *Adobe Reader*.

PDF je otevřeným standardem a jeho základní vlastností je snadný přenos dat. Proto je PDF velice rozšířeným a hojně využívaným formátem. Od roku 2008 je PDF formát publikován jako mezinárodní standard ISO 32000-1:2008. Informace jsou čerpány z [17].

Od roku 2004 formát PDF umožňuje zobrazení 3D objektů. Pro ukládání prostorových informací do PDF se využívají dvě technologie: **U3D a PRC**.

U3D je univerzální souborový formát, který slouží k ukládání prostorových dat. Jeho základní charakteristikou je dostatečně jednoduchá vnitřní reprezentace dat, formát neobsahuje žádné složité geometrické struktury a nepodporuje spliny a spline povrchy. U3D umožňuje kompresi dat, čímž se dá docílit poměrně velké redukce výsledného objemu souboru oproti formátům podporovaným CAD systémy. Maximální kompresní poměr dat je 1:30.

PRC představuje binární soubor pro ukládání 3D dat a je zaměřen na export dat z CAD systémů. Základní vlastností tohoto formátu je vysoká úroveň komprese dat – lze dosáhnout kompresního poměru až 1:100. Proto je PRC vhodný pro export obsáhlých 3D modelů, viz [18].

Prohlížeč Acrobat poskytuje možnosti prohlížení a analýzy prostorových dat (měření délek, určování objemu těles, atd.) v dokumentech, které byly vytvořeny v profesionálních CAD systémech a vyexportovány do formátu 3D PDF. Formát prostorového PDF umí pracovat s vrstvami uložených dat, proto je možné prohlížet, skrývat nebo otáčet jednotlivé části modelu [19]. Tím je možné o objektu zájmu získat dobrou představu.

4 KONVERZE DAT Z DGN DO DWG

Provedení kvalitní konverze prostorových dat je jednou z nejpodstatnějších věcí při spolupráci znalců z různých oborů. Proto je tato kapitola věnována snaze o nalezení optimálních metodik modelování ve výkresech DGN programu MicroStation V8i a následného exportu do formátu DWG. Bude také zjišťováno, zda existují další faktory, které mají vliv na kvalitu zobrazení vyexportovaných prostorových modelů.

4.1 TESTOVACÍ OBJEKTY

Pro kvalitativní vyhodnocení různých metod modelování bylo potřeba stanovit vhodné testovací prostorové modely, na kterých by se ověřovaly dostupné způsoby konstruování v systému MicroStation. Hlavním požadavkem pro objekty bylo, aby jejich tvar byl dostatečně členitý a nepravidelný.

Pro účely této diplomové práce jsem jako základní testovací objekt využila 3D model kaple Panny Marie (oratoř sv. Anežky), která je součástí kláštera sv. Anežky České v Praze. Uvedený model byl hlavním výstupem bakalářské práce studentky Heleny Míkové [20], která ho vytvořila na základě geodetického zaměření a fotogrammetrické metody (optické korelace). Následně jsem prováděla domodelování a částečnou opravu tohoto modelu v rámci projektu, jenž se konal v roce 2016 ve spolupráci s Národní galerií v Praze. Jako testovací objekty této práce byly nejvíce využity velmi členité stavební prvky modelu se zakřivenými liniemi a plochami.

Dalším objektem, poskytnutým vedoucím této práce Ing. Jindřichem Hodačem, Ph.D., byl 3D model (**Obr. 6**) vyhotovený Petrem Vaverkou v jeho diplomové práci [20]. Tento objekt byl vybrán za účelem ověření, zda je metodika modelování a exportu nalezená v průběhu mé práce využitelná pro jakýkoliv prostorový model.

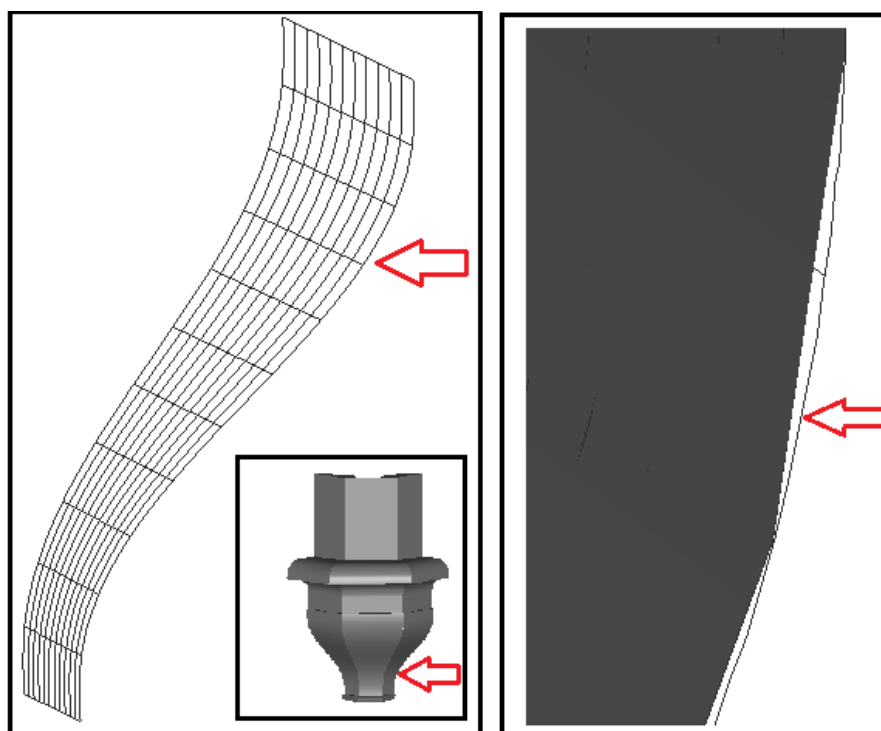


Obr. 6 Izometrický pohled na 3D model kostela sv. Štěpána v Kouřimi

V průběhu zkoušení metodik byly prováděny testovací práce jak na celkových objektech, tak i na jejich vybraných částech (např. okno, klenba, konzoly). Drobnější stavební prvky objektů byly využívány pro zjištění výsledné kvality použité metodiky ve větším měřítku.

4.2 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ KVALITU ZOBRAZENÍ 3D DAT

Při prvním zkušebním provedení jednoduchého exportu 3D objektu nepravidelného tvaru do formátu DWG v systému MicroStation V8i byl zjištěn následující problém. Export modelu proběhl úspěšně, avšak po načtení vyexportovaného souboru do programu AutoCAD se veškeré nepravidelné plochy typu B-spline zjednodušily a jejich hrany se zobrazovaly jako sekvenční přímky namísto plynoucích křivek (**Obr. 7**). Tento problém by mohl značným způsobem ovlivnit představu odborníka o tvaru objektu, a proto se mým úkolem stalo vyhledat optimální řešení, při kterém by bylo možné zobrazovat prostorové objekty geometricky správně jak ve formátu DGN, tak i v DWG.



Obr. 7 Zkušební export stavebního prvku (konzola); zjednodušení hrany B-spline plochy

Při logickém zhodnocení možných příčin geometricky nesprávné konverze dat můžeme vyčlenit následující body, které mohou ovlivňovat výslednou kvalitu zobrazení:

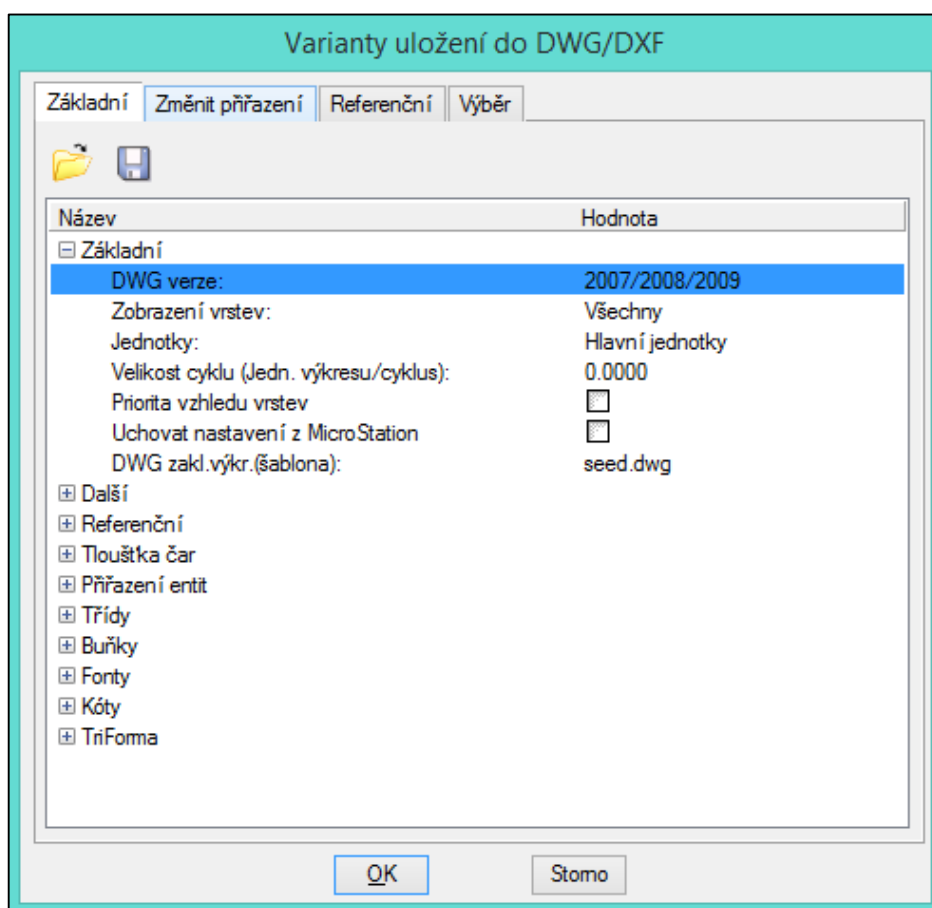
- 1) Metodika exportu dat (viz kapitola 4.2.1),
- 2) Způsob tvorby nepravidelných křivek a ploch (viz kapitola 4.2.2),
- 3) Použitá verze a typ prohlížečícího softwaru (viz kapitola 4.2.3),
- 4) Nastavení interpolace a charakteristik zobrazení softwarů (viz kapitola 4.2.4).

V následujících podkapitolách jsou probrány jednotlivé výše uvedené faktory ovlivňující kvalitu zobrazení prostorově modelovaných dat. Snahou bylo prozkoumat, čím je nekvalitní konverze dat způsobena, a najít cestu, jak tento problém ošetřit.

4.2.1 Ukládání a export dat (DGN >> DWG)

Prvním faktorem, který ovlivňuje výslednou kvalitu zobrazení prostorových objektů, je správné nastavení ukládání výkresu do formátu DWG. Rozebereme podrobněji, jaké možnosti ukládání prostorových dat v programu MicroStation V8i existují.

K parametrům ukládání formátu DWG a DXF se lze dostat přes *Soubor – Uložit jako – Uložit jako typ (vybrat z nabídky formát DWG) – Varianty*. Následně se objevuje formulář uvedený na obrázku (**Obr. 8**).

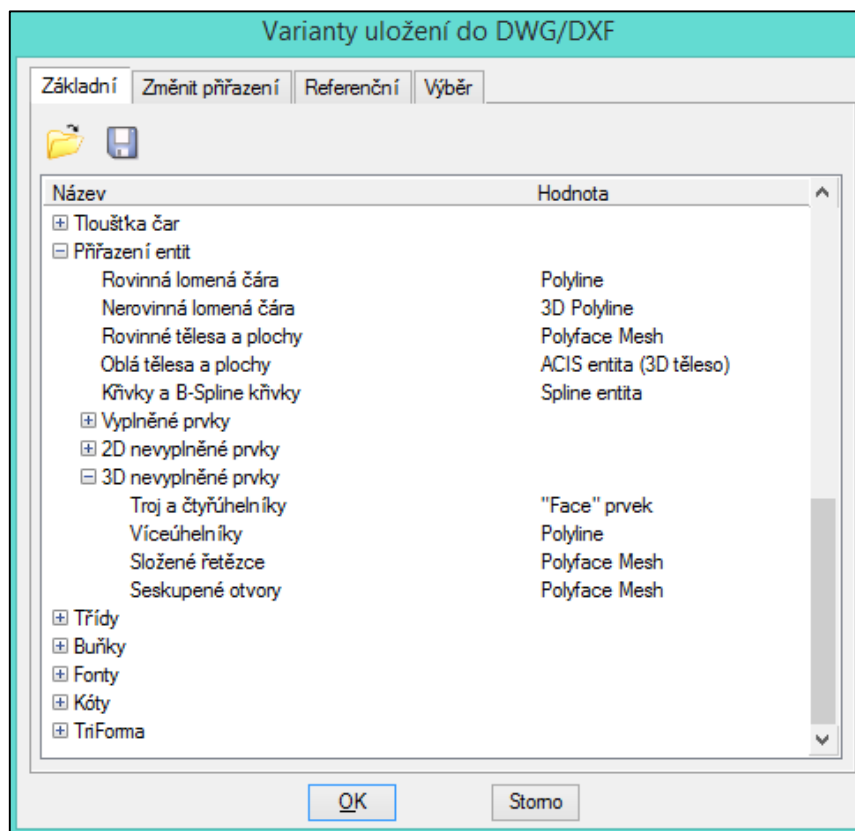


Obr. 8 Parametry ukládání DWG

Pro ukládání prostorových dat jsou zásadní následující záložky:

Základní – tady se nastavuje verze formátu DWG (v rámci této DP se nastavovala verze 2013/2014), dále se vybírá šablona základního výkresu DWG (byla vybrána standardní šablona poskytovaná systémem MicroStation V8i – seed.dwg);

Přiřazení entit – je jednou z nejdůležitějších záložek pro nastavení ukládání, v níž se definuje zejména to, jak se budou zobrazovat jednotlivé prvky modelu v závislosti na způsoby jejich tvorby (**Obr. 9**).



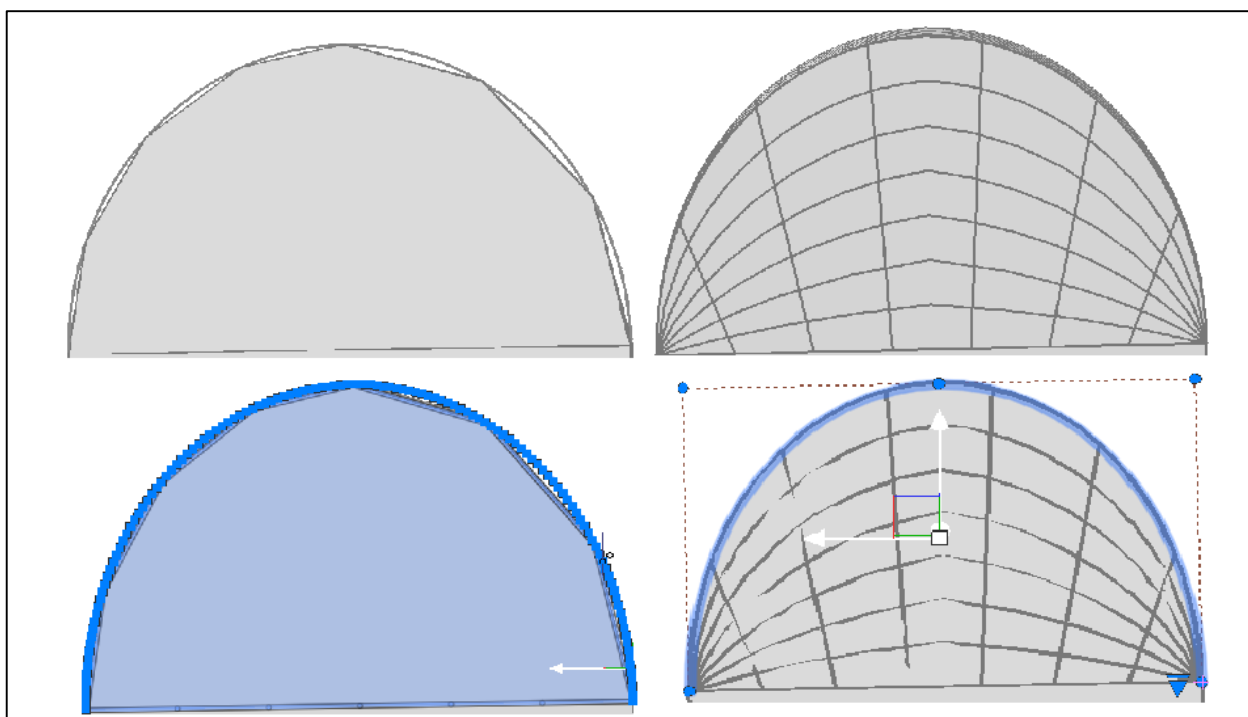
Obr. 9 Nastavení zobrazovacích entit

V našem případě bylo potřeba, aby byly správně vybrány následující charakteristiky zobrazení:

- **Rovinné lomené čáry** se mají zobrazovat jako polyline (lomené čáry složené z více přímek). MicroStation umožňuje vybrat mezi polyline nebo 3D polyline;
- **Nerovinné lomené čáry** se mají zobrazovat jako 3D polyline (prostorové lomené čáry složené z více přímek). MicroStation umožňuje vybrat mezi polyline a 3D polyline;
- **Rovinná tělesa a plochy** se mají zobrazovat jako Polyface Mesh (plošné sítě křivek). MicroStation umožňuje vykreslování objektu pomocí ACIS entity (3D tělesa), Polyface Mesh a Wireframe (drátový model);

- **Oblá tělesa a plochy** se mají zobrazovat jako ACIS entita (3D tělesa). V nabídce MicroStationu jsou: ACIS entity, Polyface Mesh a Wireframe;
- **Křivky a B-spline křivky** se mají zobrazovat jako Spline entita. V nabídce MicroStationu je možné vybrat mezi ACIS entitami a Polyline.

V dalších záložkách je mnoho doplňujících možností nastavení, například je možné změnit standardní přiřazení charakteristik základních prvků výkresu pomocí načtení souboru ve formátu CSV. Dále je možné definovat, jak se má zacházet s referenčními výkresy. Dokonce máme možnost určit, zda se má vyexportovat celý výkres anebo pouze jeho určitá část. Pro naše účely však nebylo potřeba měnit defaultně nastavené hodnoty těchto funkcí.



*Obr. 10 Porovnání nastavení exportu do formátu DWG (stavební prvek - Okno):
vlevo oblým tělesům přiřazená entita Polyface mesh a B-spline křivkám – Polyline,
vpravo oblým tělesům přiřazená entita ACIS entita (3D tělesa) a B-spline křivkám – Spline entita.*

Jak je zobrazeno na obrázku (Obr. 10), při vyzkoušení přiřazení entity Polyface Mesh formátu DWG B-spline plochám formátu DGN se vytvářejí rovinné plochy namísto prostorově zakřivených. Při přiřazení B-spline křivkám definice Polyline je rozdíl průběhu linie vidět jen při velkém zvětšení, přičemž tento rozdíl není moc velký. Avšak jak z obrázku plyne, křivka typu polyline obsahuje spoustu řídicích bodů, na rozdíl od spline křivky, která má pouze 5 řídicích bodů (jsou vyznačeny modrými kroužky). Při porovnání velikostí obou výsledných DWG souborů jsem zjistila, že větší objem dat obsahuje výkres s křivkami typu polyline a s plochami – Polyface Mesh. Uživatel tak musí věnovat pozornost správnému nastavení parametrů a tomu, co to bude obnášet. Výsledné testovací výkresy ve formátu DWG jsou uvedeny v příloze (Příl. 1).

Provedením nastavení uvedených na obrázku (**Obr. 9**) bylo dosaženo vhodného přiřazení zobrazovacích charakteristik jednotlivým prvkům prostorového výkresu, čímž byla zajištěna správná konverze dat alespoň ze strany softwaru MicroStation V8i.

Stejným způsobem funguje export výkresu DGN do formátu DWG (*Soubor – Export – DGN / DWG / DXF*). Veškerá nastavení, která byla provedena ve výše uvedených formulářích, přitom defaultně platí při exportu.


4.2.2 Modelování nepravidelných objektů

Prostorové objekty v CAD systémech mohou být definovány pomocí dvou základních technik:

1. tvorba objektu pomocí těles,
2. tvorba objektu pomocí ploch (sítí).

Techniku 3D modelování pomocí těles lze použít v případě, kdy je potřeba uvažovat nejen o povrchu objektu, ale i o jeho určité vnitřní hmotě. Tato metoda má výhodu ve své jednoduchosti, avšak využití má pouze u jednodušších objektů s nenáročným povrchem. Jednou z možností této modelovací techniky je tvorba modelu pomocí sjednocení, rozdílu a průniku jednotlivých těles.

Při potřebě konstruování složitějších a více členitých povrchů pomáhá metodika tvorby modelu pomocí ploch. Tato metoda klade důraz na podrobný popis tvaru objektu a jeho povrchu, avšak nezohledňuje hmotný vnitřek objektu [15].

V systému MicroStation V8i pro definici povrchových ploch existuje velmi bohatá nabídka funkcí. Avšak pro tvorbu 3D modelu na základě měřického podkladu, například geodetického zaměření, je nejoptimálnější způsobem modelování povrchu využití funkce *Konstrukce ploch hranami*. Tato funkce má velkou výhodu v tom, že umožňuje vytvořit plochu na základě ohraničujících křivek, jež vznikly spojením bodů geodetického měření. Pomocí využití této metody vznikají povrchy ve tvaru B-spline ploch, které lze pomocí speciální funkce převést na Smart plochy (*Modelování Povrchu – Převést na plochu* ).

Protože testovací 3D modely použité v této diplomové práci byly tvořeny především na základě měřických dat, rozhodla jsem se využívat výše popsaný postup modelování ploch.

Tím, že metoda tvorby ploch již byla zvolena, zbývá pouze vyzkoušet, zda má na kvalitu zobrazování dat vliv metoda modelování prostorových křivek. Proto je tato kapitola věnována

problematice modelování prostorových křivek podporovaných programem MicroStation. Každá metoda je podrobně popsána a její výsledky jsou zhodnoceny a porovnány s ostatními metodami.


4.2.2.1 Způsoby definice prostorových křivek

Konstrukční softwary typu CAD pro usnadnění a efektivitu práce podporují více možností definice nepravidelných křivek. Systém MicroStation V8i není výjimkou, a proto obsahuje bohatou nabídku tvorby prostorových křivek.

Následně jsou popsány jednotlivé způsoby definice křivek a každý z nich je vyzkoušen na testovacím modelu *Okno*, které je částí modelu kláštera sv. Anežky České v Praze. Je nutné uvést, že celý původní model byl tvořen pomocí B-spline křivek, B-spline ploch a Smart ploch. Pro korektní porovnání a vyhodnocení dílčích metod bylo stanoveno, že počet bodů definujících horní zakřivenou hranu okna bude 20 (původní křivka obsahuje 5 řídicích bodů). Po prvním vyhodnocení byly nejvhodnější metody vyzkoušeny na složitějších objektech a poté opět zhodnoceny. Takovým postupem se hledala nejoptimálnější metoda modelování křivek.

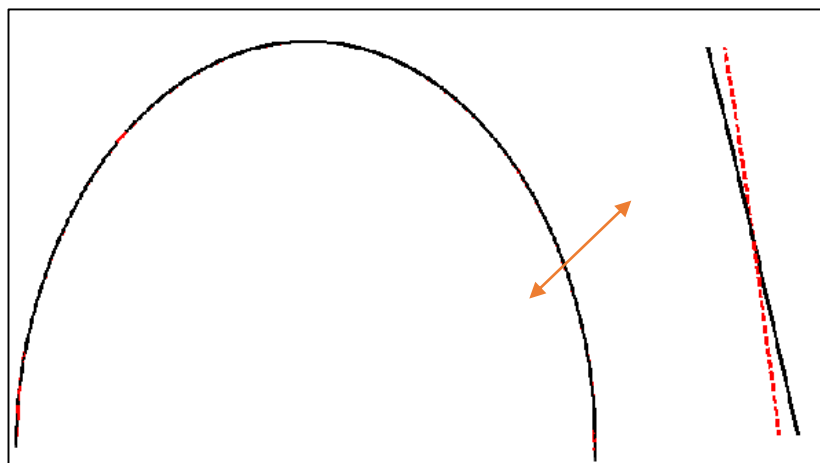
MicroStation umožňuje dva typy modelování prostorových křivek: jednoduchá křivka a B-spline křivka. Jednoduchá křivka může být vytvořena dvěma způsoby, zatímco křivka B-spline má mnoho různých metod tvorby.

1. Jednoduchá křivka

Jednoduchá křivka – metoda, která umožňuje modelování zakřivené linie pomocí dvou způsobů: proudové anebo bodové kreslení. Tato funkce se spouští pomocí nástroje *Kreslit – Umístit*  křivku.

Proudové kreslení není pro náš případ použitelné, neboť se jedná o tvorbu linie „od ruky“. Naše testovací modely však mají pevně dané měřické body.

Další možností je umístit křivku tak, aby procházela sekvencí datových bodů. Při využití této metody se průběh křivky liší od původního modelu (**Obr. 11**), což se však dalo očekávat, protože každá z křivek je definována vlastním matematickým modelem.



Obr. 11 Porovnání průběhu B-spline a Jednoduché křivky

Po ukládání do formátu DWG se ukázalo, že metoda jednoduché křivky vykazuje horší zobrazovací výsledky než ostatní konstrukční techniky. Hrany a izočáry ploch modelu se zobrazují jako lomené čáry. Výsledky této metody jsou zobrazené v souborech, které jsou součástí příloh (**Příl. 1**).

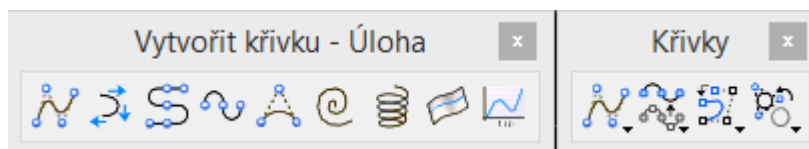
2. B-spline křivka

B-spline křivky jsou matematicky velmi podrobně podchycené křivky, které jsou definovány určitým polynomickým modelem. Křivka B-spline je jednoznačně určena řídicím polygonem, řádem a typem (otevřená nebo uzavřená).

Řídicí polygon je lomená čára, kterou B-spline křivka aproximuje. Tento polygon je součástí vykreslované linie a zpravidla se zobrazuje přerušovaně se zvýrazněnými vrcholy. Pomocí voleb v dialogu *Nastavení B-spline (nabídka Prvek – B-spline a 3D)* lze určit, zda řídicí polygon B-spline křivky bude v pohledu vidět. Avšak pokud se nastavení provedou až po tvorbě křivky, tak tato nastavení neovlivní stávající křivky, pouze nové. Proto lze u stávajících křivek změnit tyto charakteristiky pouze v dialogu *Editovat řídicí body (Nástroje – Křivky – Upravit parametry křivky – Editovat řídicí body)*.


B-spline je poskládána z polynomiálních funkcí ($y = a_1x^{n-1} + a_2x^{n-2} + \dots + a_nx + k$, kde n je řád křivky). Řád B-spline křivky je přirozené číslo v rozmezí od 2 do 26, které udává, jak hladká křivka je, respektive jak přesně aproximuje řídicí polygon. Platí jednoduché pravidlo – čím je řád B-spline křivky vyšší, tím je křivka méně hrbolatá a tím méně aproximuje polygon. Dalším podstatným pravidlem je, že řád B-spline křivky nemůže být vyšší než počet bodů řídicího polygonu.

Mezi nejdůležitější vlastnosti B-spline křivek patří plynulost, to znamená, že při vykreslování se zobrazuje hladká a nekostrbatá linie. Ovládání B-spline křivek se provádí prostřednictvím níže uvedených panelů nástrojů (**Obr. 12**). Tyto panely je možné najít v nabídce hlavní lišty programu *Nástroje – Křivky* [22].



Obr. 12 Panely nástrojů křivek

Následně budou popsány metody tvorby B-spline křivek, které umožňuje verze systému MicroStation – MicroStation V8i (SELECTSeries3).

- a) **Umístit B-spline křivku body** –  tato metoda je jedna z nejjednodušších a nejpohodlnějších způsobů umístění křivek typu B-spline procházejících stanovenými body. V následujícím dialogu (Obr. 13) se ukazují vlastnosti křivky, které se dají nastavit podle potřeby.



Obr. 13 Nastavení umístění B-spline křivky pomocí bodů (různé metody)


Umístění B-spline křivky body se provádí pomocí pěti metod:

- **Řídící body** – uživatel postupně určuje body řídicího polygonu;
- **Body** – uživatel postupně určuje body, kterými má křivka procházet;
- **Nejmenší čtverec** – na základě zadávaných bodů se vypočítává optimální umístění křivky tak, aby čtverce vzdáleností vykreslované linie od řídicího polygonu nabývaly co nejmenší hodnoty.
 - *Nejmenší čtverec tolerance* – tato metoda umožňuje nastavit maximální přípustnou hodnotu vzdálenosti aproximované vykreslované linie od zadávaných bodů;
 - *Nejmenší čtverec počet bodů* – tato metoda umožňuje vykreslovat křivku s požadovaným počtem vrcholů mezi sadou zadaných bodů s využitím MNČ;
- **Catmull-rom** – vykreslování křivky na základě interpolační metody, při které je strana řídicího polygonu rovnoběžná s průsečíkem dvou zadávaných okolních bodů.

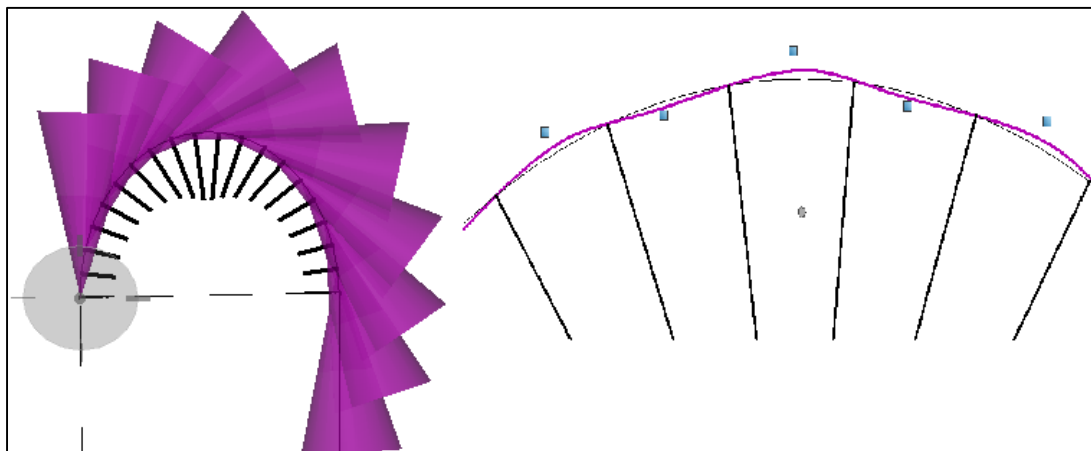
U každé z výše uvedených definicí křivek jsou odlišná nastavení charakteristik, jak je uvedeno na **Obr. 13** (např. řády, tolerance, počet vrcholů křivky, atd.). Proto každý uživatel může nastavit vlastnosti křivek podle svých přání a požadavků.

Pro účely konstruování 3D modelů na základě měřických bodů nejsou všechny uvedené metody užitečné. Například v našem případě se jedná o konstruování křivky procházející pevně stanovenými body, proto není vhodné využití funkce *Řídící body*. Další nevhodnou metodou je *MNČ počet bodů*, neboť tato definice křivky neodpovídá našim požadavkům. V příloze (**Příl. 3**) jsou zobrazeny průběhy jednotlivých křivek vytvořených pomocí uvedených metod, pro zajímavost jsou zobrazeny i křivky tvořené prostřednictvím funkce *Řídící body* a *MNČ počet bodů*. Při porovnání průběhu jednotlivých křivek s původní křivkou modelu je vidět, že největší odlehlost prokazuje metoda *Body* (počátek a konec křivky). Maximální odlehlost nabývá hodnoty 0,4 mm, což je v našem případě zanedbatelné, a tak může být tato metoda využita. Ostatní metody prokázaly dostatečně dobré výsledky a byly použity pro další testování.

b) Umístit B-spline křivku definováním tečností




V MicroStationu lze vytvářet zakřivené linie  i pomocí speciálního nástroje *Vytvořit křivku definováním tečností*. B-spline křivka je uživatelem definována pomocí „šipek-vektorů“ určujících směr tečen (v matematickém pojetí se jedná o derivace) v určitých bodech


B - spline křivky [22]. Avšak po vyzkoušení tohoto nástroje je vidět (**Obr. 14**), že není použitelný pro náš případ.



Obr. 14 Tvorba B-spline křivky definováním tečností

MicroStation umožňuje i další nástroje pro tvorbu zakřivených linií, ale pro účely této diplomové práce nejsou použitelné, proto nejsou podrobně popsány. Jedná se o tyto funkce:

- c) **Umístit kuželosečku,** 
- d) **Umístit spirálu,** 
- e) **Umístit šroubovici.** 

Dalším nástrojem, který v této práci není použit, je  **Křivkový kalkulátor.** Tato funkce umožňuje parametricky definovat libovolnou křivku, volit její parametry a umístit ji do výkresu.

3. Jiné křivky

Software MicroStation V8i umožňuje konstrukci i jiných typů zakřivených linií než B-spline a „jednoduchých“ křivek. Níže jsou uvedeny způsoby tvorby a nastavení specifických vlastností těchto křivek.

- a) **Umístit skládanou křivku** 

Tento nástroj slouží k vytvoření sekvence na sebe navazujících segmentů (oblouků, lomených čar, Beziérových křivek). V nabídce funkce je možné nalézt následující režimy:

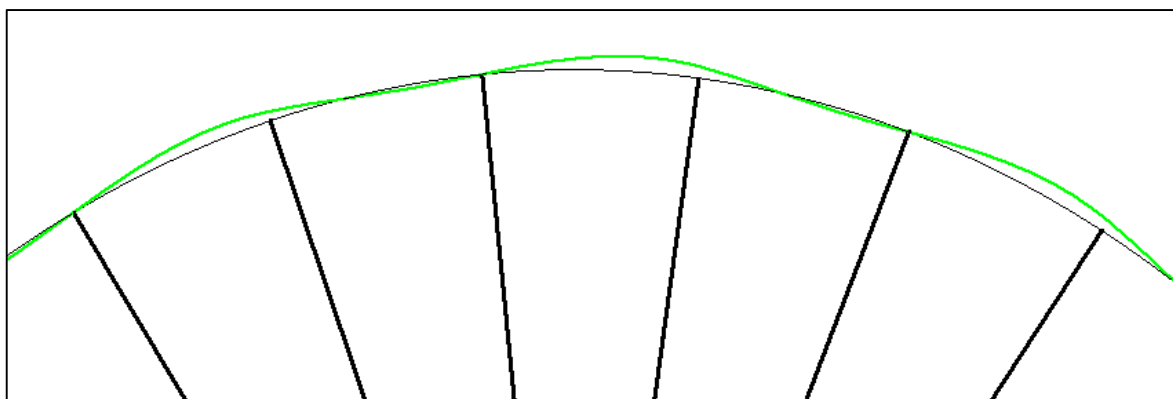
- *Oblouk body,*
- *Oblouk středem,*

- *Beziérový křivky,*
- *Lomená čára.*

U veškerých metod nabízených tímto nástrojem je možné ovlivnit návaznost segmentů (obyčejná, hladká či plynulá návaznost), a to pomocí přepínače *Hladký*. Další velkou výhodou nástroje *Umístit skládanou křivku* je, že výše uvedené režimy lze měnit i v průběhu vytváření křivky.

Pro naše modelovací účely jsou vhodné pouze tyto metody: *Oblouk body* a *Beziérový křivky*. Pomocí funkce *Oblouk body* se podařilo vykreslit křivku, která byla nejvíce podobná stávající křivce původního modelu, a odlehlosti byly minimální.

Beziérová křivka je speciálním případem B-spline křivky, kdy řád B-spline křivky je roven počtu vrcholů v řídicím polygonu. Po vyzkoušení tohoto nástroje je evidentní (**Obr. 15**), že není použitelný pro náš případ.



Obr. 15 Beziérová křivka (zeleně)

b) **Konstrukce interpolace oblouků**

Tento nástroj je jednodušší variantou funkce *Umístit skládanou křivku*. Výsledná vykreslená linie je vždy složeným řetězcem, nikoli křivkou. Uživateli je umožněno zadávání *Datových bodů* nebo interpolace *Lomenou čarou*.

Tato metoda prokazuje velmi podobné až stejné výsledky jako funkce *Umístit skládanou křivku*, proto bylo rozhodnuto ji nepoužívat.

4.2.2.2 Volba metod tvorby prostorových křivek

Popsané metody byly zhodnoceny podle následujících charakteristik: složitost definice, vhodnost pro měřická data, podobnost stávající křivce v původním modelu. Na základě mnou provedeného testování byly za nejvhodnější metody tvorby křivek zvoleny následující (podrobněji v příloze **Příl. 1 a Příl. 3**):

- B-spline křivka tvořená zadanými body (*Body, MNČ tolerance a Catmul-rom*);
- Umístění skládané křivky (*Oblouk body*);
- Jednoduchá křivka (tato metoda neprokázala dobré výsledky, bylo však potřeba otestovat její kompatibilitu s formátem DWG).

4.2.2.3 Export prostorových křivek a ploch

Pro testování veškerých uvedených metod byl vytvořen jeden 3D DGN výkres (**Příl. 1 a Příl. 4**), do kterého byl vícekrát umístěn testovací objekt *Okno*. Na základě tohoto modelu byla konstruována horní zakřivená část objektu, a to pomocí různých definic křivek.

Poté byly generovány B-spline plochy pomocí funkce *Konstrukce plochy hranami*, kde byly za hrany zvoleny křivky vytvořené různými metodami.

Dále bylo rozhodnuto vyzkoušet export nejenom B-spline ploch, ale i Smart ploch. Proto byl původní model převeden na plošný typ – Smart.

Výsledky ukládání do DWG a zobrazení v programu AutoCAD 2017:

- Křivky

Tabulka 2 Vyhodnocení zobrazení křivek v závislosti na vybrané metodě modelování

Typ křivky	Metoda tvorby křivky	Použitelná pro modelování na základě geod. měření	Zobrazení v AutoCAD 2015
B-spline	Body	Ano	kostrbatá, jako lomená čára
B-spline	MNČ tolerance	Ano	relativně hladká křivka
B-spline	Catmull-rom	Ano	relativně hladká křivka
B-spline	Řídící body	Ne	velmi plynulá hladká křivka
Křivka	Jednoduchá křivka	Ano	kostrbatá, jako lomená čára



B-spline	Definovaná tečností	Ne	kostrbatá, jako lomená čára
Složité řetěz	Oblouk body	Ano	kostrbatá, jako lomená čára
Složité řetěz/ B - spline	Beziérova křivka	Ne	kostrbatá, jako lomená čára

Při zhodnocení vyexportovaného souboru v programu AutoCAD byly zjištěny výše uvedené charakteristiky každé metody. Z tabulky vyplývá, že způsob definice křivky má vliv na její zobrazení ve formátu DWG. Nejplynulejší zobrazení poskytuje B-spline křivka, která byla definována řídicími body. Celý výkres pochopitelně nemůže být tvořen touto metodou, a proto bude v následující kapitole hledán způsob, jak lze ovlivnit zobrazovací charakteristiky křivek v AutoCADu.

- **Plochy:**

Při načtení souboru do AutoCADu 2017 se B-spline a Smart plochy zobrazovaly nesprávně, veškeré izočáry ploch byly kostrbaté a plochy nenavazovaly na své hrany. Jediný rozdíl mezi B-spline a Smart plochami byl v tom, že po exportu do formátu DWG tyto prvky dostaly různé definice: z B-spline plochy se stal Povrch a ze Smart plochy se stala Oblast.

Z výše uvedeného plyne, že je potřeba najít způsob správného vykreslování anebo alespoň zlepšení zobrazování ploch v programu AutoCAD. Proto bude následující kapitola věnována hledání způsobu, jak lze ovlivnit zobrazovací charakteristiky prostorových ploch v AutoCADu.

4.2.3 Porovnání kvality zobrazení v různých softwarech

Každý CAD systém je vyvinut jinak a má odlišné charakteristiky. Proto se nelze divit tomu, že se některé prvky zobrazují v MicroStationu odlišně, než je tomu v AutoCADu. Každá nová verze softwaru navíc může mít jiné parametry než předchozí. Při předávání vyhotoveného výkresu pro zajištění kompatibility je proto potřeba uvést, v jakém softwaru a v jaké jeho verzi byl výkres vytvořen.

V této kapitole bylo mým cílem porovnat kvalitu zobrazení prostorových dat v různých softwarech a zjistit, zda existuje způsob, jenž by umožňoval změnit parametry zobrazení modelu. Testování se provádělo na výkresu, který byl vytvořen v přechozí kapitole a obsahoval zkušební model *Okno* tvořený více metodami.

Pro vyhodnocení kvality obrazu bylo rozhodnuto použít následující programy:

výkresy ve formátu DGN:

- MicroStation V8i (SELECTSeries 3)

výkresy ve formátu DWG 2013/2014 (uloženém z formátu DGN):

- AutoCAD 2015,
- AutoCAD 2017,
- DWG TrueView 2017.

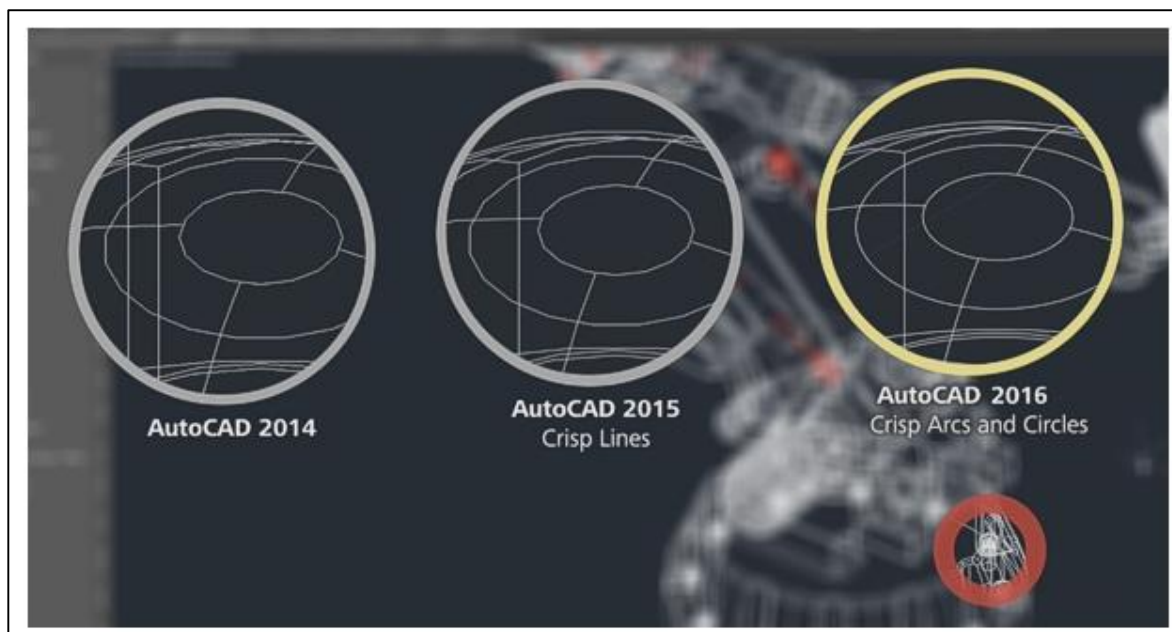
Na základě vlastního testování jsem sestavila tabulku (**Tabulka 3**), která uvádí zhodnocení výše kvality zobrazování různých druhů ploch a křivek v jednotlivých programech (program MicroStation není v tabulce uveden, protože testovací výkres je původem z MicroStationu a veškeré tvary objektů se tam zobrazují plynule a kvalitně):

Tabulka 3 Kvalita zobrazení křivek a ploch v CAD softwarech

Typ objektu	AutoCAD 2015	AutoCAD 2017	DWG TrueView 2017
B-spline křivka (Body)	lomená čára	plynulá	plynulá
B-spline křivka (Řídící body)	plynulá	plynulá	plynulá
B-spline křivka (MNČ tolerance)	plynulá	plynulá	plynulá

B-spline křivka (Catmull-rom)	plynulá	plynulá	plynulá
Jednoduchá křivka	lomená čára	plynulá	plynulá
B-spline křivka (Definovaná tečností)	lomená čára	plynulá	plynulá
Složité řetěz (Oblouk body)	lomená čára	plynulá	plynulá
Složité řetěz/ B-spline křivka (Beziérová křivka)	lomená čára	plynulá	plynulá
B-spline plocha	Zkreslená (hrany= lomené čáry)	Zkreslená (hrany= lomené čáry)	Zkreslená (hrany= lomené čáry)
Smart plocha	Zkreslená (hrany= lomené čáry)	Zkreslená (hrany= lomené čáry)	Zkreslená (hrany= lomené čáry)


Jak je uvedeno na stránkách společnosti CAD Studio a.s. (partner firmy Autodesk a poskytovatel AutoCAD na českém trhu), od roku 2015 je v nové verzi AutoCAD 2016 zajištěn nový způsob vyhlazování zakřivených linií. I výše uvedená tabulka dokládá, že kvalita zobrazování křivek v programu AutoCAD 2017 je mnohem lepší než ve starší verzi.



Obr. 16 Vyhlazování křivek AutoCAD 2016 [23]

4.2.4 Parametry zobrazení v systému AutoCAD

V systému AutoCAD i v programu DWG TrueView existuje způsob, jak změnit parametry zobrazení křivek a ploch. Nastavení vhodných hodnot parametrů zobrazení umožňuje vyhlazovat křivky, aby se linie vykreslovaly více plynule.

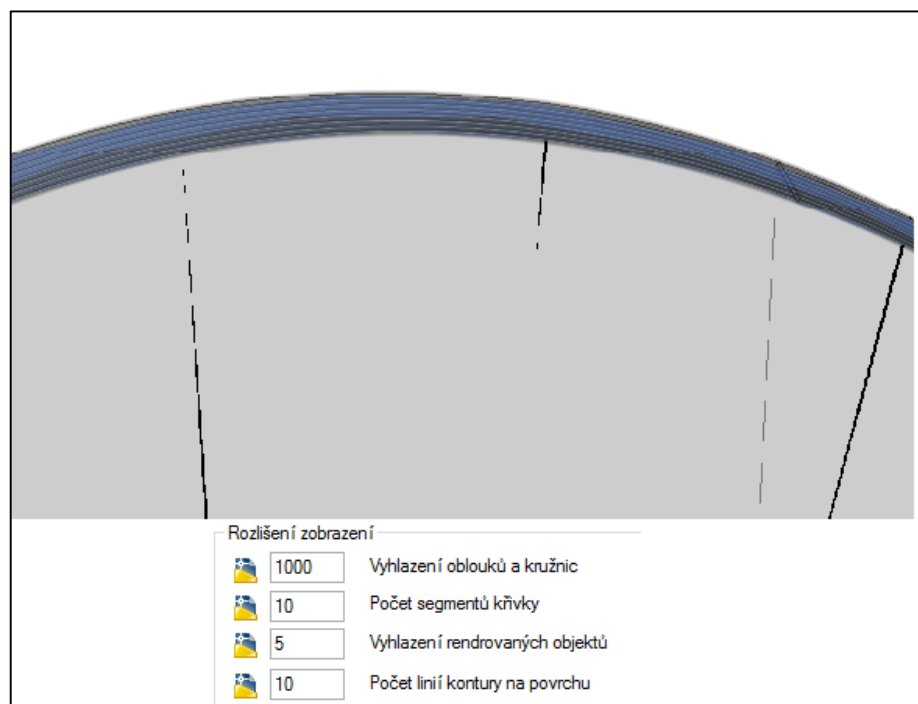
Nastavení byla provedena v dialogu *Možnosti*, který lze nalézt v záložce *Soubor*  umístěné na hlavní liště programu. Podstatnou pro nás byla část *Rozlišení zobrazení*, v níž bylo možné změnit následující hodnoty:

- Míra vyhlazení oblouků a kružnic (rozmezí: 1 až 20 000);
- Počet segmentů křivky (rozmezí: -32678 až 32768) – funkce umožňuje nastavit počet úsečkových segmentů vyhlazené křivky spline, které mají být generované volbou spline příkazu KEDIT;
- Vyhlazení rendrovaných objektů (rozmezí: 0.01 až 20);
- Počet linií kontury na povrchu (rozmezí: 0 až 2047) – určuje počet obrysových čar zobrazených na zakřivených plochách 3D těles;

Při testování výše uvedených parametrů jsem získala následující výstupy:



Obr. 17 Nízké rozlišení zobrazení 3D modelu Okna (šipka uvádí izočáry plochy)



Obr. 18 Vysoké rozlišení 3D modelu Okna

Z těchto výstupů vyplývá, že při nastavení menších hodnot parametrů, než bylo defaultně přednastaveno, se model zřetelně zjednodušuje. Při nastavení vyšších parametrů se model vyhlazuje, avšak jen do určité míry.

V našem případě byla míra vyhlazení nedostačující, a proto jsem se rozhodla hledat jiný způsob zlepšení kvality zobrazení nepravidelných objektů. Dále jsou uvedeny postupy, jak vylepšit vykreslování křivek a ploch v systému AutoCAD 2015.

Křivky:

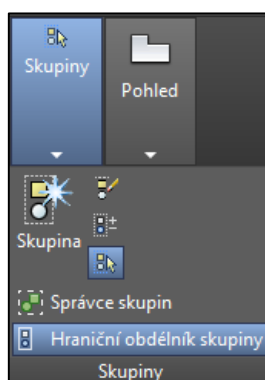
Po vyzkoušení různých nastavení a funkcí v programu AutoCAD 2015 jsem zjistila, že je možné opravit vzhled a zobrazení spline a obyčejných křivek. Níže uvádím postup opravy pro jednotlivé křivky a poté i pro hromadnou editaci souborů křivek.

Postup pro jednotlivé křivky:

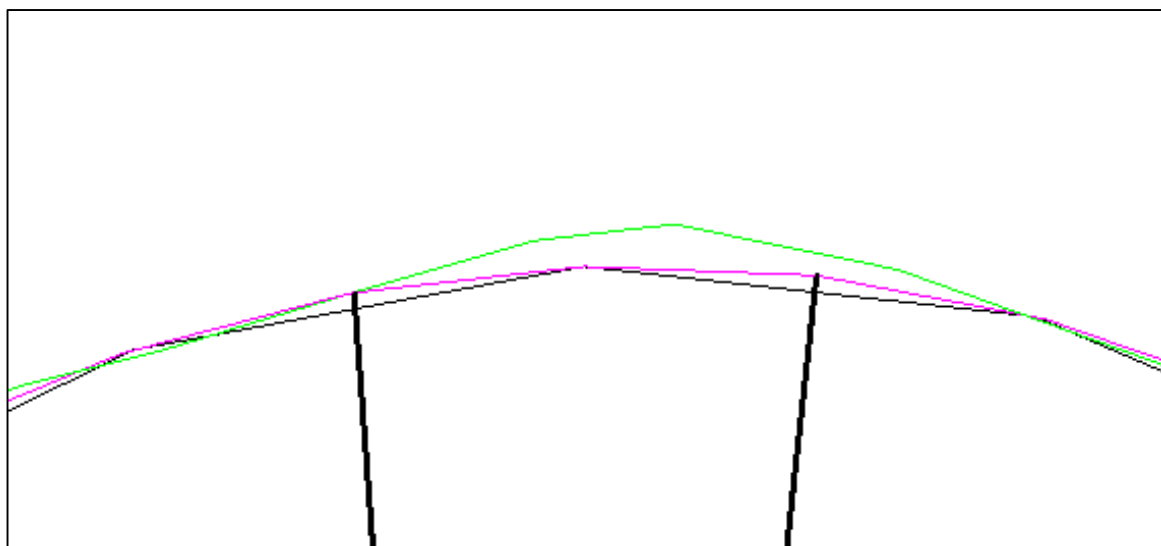
Je potřeba vybrat křivku, která se zobrazuje nekorektně, a kliknout na ni pravým tlačítkem myši. Následně se v AutoCADu nabídne seznam s rychlými nástroji. Pokud vybereme možnost *Spline – Zobrazit body vyhlazení anebo Zobrazit řídicí body*, křivka se narovná a bude se zobrazovat tak, jak by měla, tj. plynule a hladce. To samé je možné provést pomocí příkazové řádky AutoCADu, stačí napsat *SPE(SPLINEEDIT)*. Poté zvolíme spline křivku, která se zobrazuje nekorektně, a v další nabídce pak funkci *Data vyhlazení*. Poznámka: křivky jiného typu než spline lze upravit pomocí funkce *Křivka – Vyhlazení křivky*.

Hromadná editace křivek:

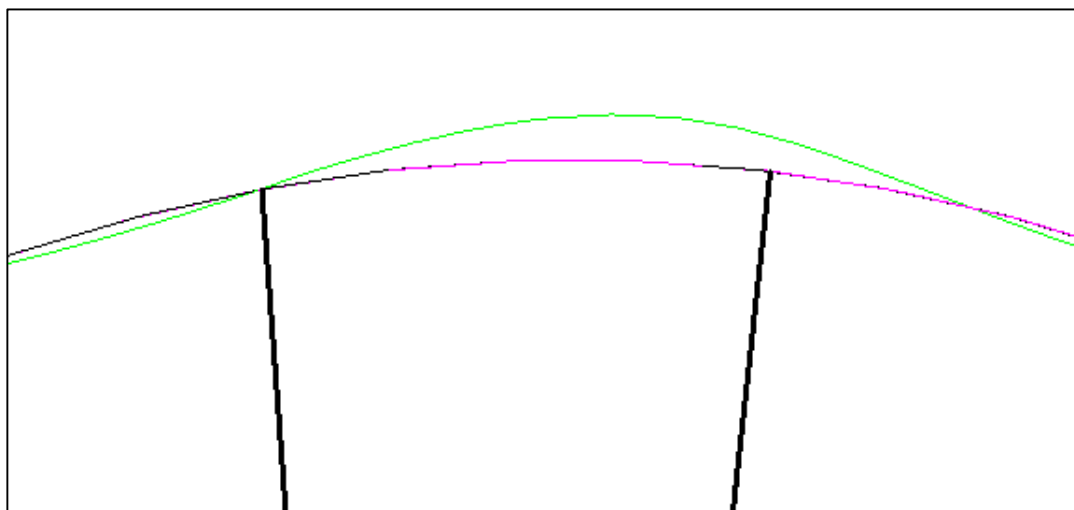
Nejprve je potřeba seskupit všechny křivky, které je potřeba opravit (**Obr. 20**), do jednoho objektu. Toho lze docílit pomocí nástrojů pro práci se skupinami (nástroje najdeme v hlavní liště programu AutoCAD), viz (**Obr. 19**). Nejdříve se vytvoří nová skupina ve *Správci skupin*, u ní se nastaví jméno a přidají se všechny křivky modelu. Následně v příkazové řádce AutoCADu napíšeme *SPE(SPLINEEDIT)*. Poté zvolíme vytvořenou skupinu křivek, které se zobrazují nekorektně, a v další nabídce funkci *Data vyhlazení*. Tím bude provedena hromadná editace křivek včetně spline a dalších druhů křivek (**Obr. 19**).



Obr. 19 Nástroje pro práci se skupinami v programu AutoCAD 2015



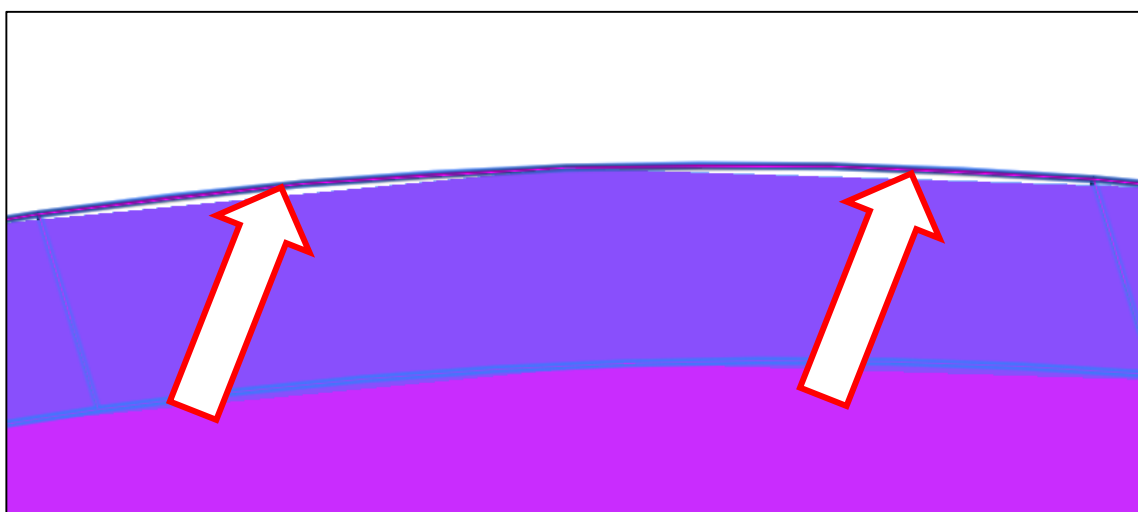
Obr. 20 Zobrazení křivek před opravou (program AutoCAD 2015)



Obr. 21 Zobrazení křivek po úpravě (program AutoCAD 2015)

Plochy:

U ploch bohužel nebyla nalezena cesta ke kvalitnímu zobrazení v programu AutoCAD. Nastavení rozlišení zobrazení v softwaru AutoCAD a DWG True View má pouze malý vliv na zobrazení zakřivených prostorových ploch. Během testování jsem zkoušela převádět plochy na typ NURBS – s takto definovanými plochami lze dále manipulovat. Můžeme například zvýšit počet izočár definujících plochu a na základě toho znovu sestavit plochu NURBS. To však zhoršuje návaznost ploch celého objektu. Při zkoušení dalších funkcí pro úpravy ploch také nebylo docíleno hodnotných výsledků, proto můžeme soudit, že AutoCAD buď zatím neumí pracovat s B-spline plochami vyexportovanými z MicroStationu nebo nebyla nalezena správná funkce na úpravu zobrazení ploch. Tato otázka je mimo rozsah mé diplomové práce a zůstává otevřenou k dalšímu zkoumání.



Obr. 22 Příklad zobrazení ploch: modře je vyznačena plocha tvořící horní část Okna; šipkou je vyznačena nenávaznost plochy na svou hraniční křivku.

4.3 SHRnutí DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

V této kapitole bylo cílem **stanovit a otestovat faktory**, které působí na kvalitu zobrazení prostorových objektů exportovaných z formátu DGN do formátu DWG. Dalším cílem bylo najít **optimální způsob** modelování křivek a ploch a také provedení nastavení exportu v systému MicroStation pro zajištění požadované kvality výstupů.

V kapitole 4.2 byly stanoveny faktory, které mohou ovlivňovat kvalitu zobrazení 3D dat:

- 5) *Metodika exportu dat (viz kapitolu 4.2.1),*
- 6) *Způsob tvorby nepravidelných křivek a ploch (viz kapitolu 4.2.2),*
- 7) *Použitá verze a typ prohlížečícího softwaru (viz kapitolu 4.2.3),*
- 8) *Nastavení interpolace a charakteristik zobrazení softwarů (viz kapitolu 4.2.4)*

V uvedených podkapitolách bylo provedeno testování jednotlivých faktorů a poté zhodnocení jejich vlivu na kvalitu vykreslování modelů.

Při hledání optimální metodiky **exportu dat** bylo stanoveno, že správná konverze prostorových dat je závislá na způsobu přiřazení entit. Na základě mého zhodnocení, ověřeného během vlastního testování, lze konstatovat následující: pro korektní uložení prostorových křivek a ploch musí být křivkám přiřazena *Spline entita* a plochám *ACIS entita (3D těleso)*.

Dále byly stanoveny vhodné **metody modelování** pro případ tvorby modelu **na základě geodetického měření**. Následující metody byly posouzeny jako nejlépe vyhovující:

- *B-spline křivka tvořená zadanými body (Body, MNČ tolerance a Catmul-rom);*
- *Umístění skládané křivky (Oblouk body);*
- *Jednoduchá křivka (tato metoda neprokázala dobré výsledky, bylo však potřeba otestovat její kompatibilitu s formátem DWG).*

Při následném exportu vytvořených prostorových modelů však bylo zjištěno, že v AutoCADu 2015 (resp. v DWG TrueView 2015) je jediným typem křivky, který se zobrazuje plynule, **metoda B-spline křivky definované pomocí řídicích bodů**.

V další části bylo ověřeno, že verze prohlížečícího softwaru má vliv na kvalitu zobrazení objektu vyexportovaného do formátu DWG. Od verze AutoCAD 2016 (resp. DWG TrueView 2016) se například prostorové křivky zobrazují plynule a korektně, avšak starší verze vykreslují spline křivky jako lomené čáry. Ve všech uvedených softwarech pro prohlížení DWG souborů se plochy zobrazují nekorektně.



V poslední podkapitole byla hledána možná provedení nastavení tak, aby křivky a plochy modelu vyexportovaného z formátu DGN do formátu DWG vypadaly přirozeně a shodně se zobrazením v systému MicroStation. Bylo zjištěno, že v programu AutoCAD (resp. DWG TrueView) existuje možnost ovlivnit rozlišení zobrazení pomocí editace různých parametrů v *Možnostech*, avšak vyhlazení probíhá pouze do určité míry. Dále byl hledán způsob opravy zobrazení křivek typu spline ve starších verzích softwaru AutoCAD (zejména AutoCAD 2015), viz kapitolu 4.2.4. Podobný způsob pro zobrazení prostorově nepravidelných ploch při testování nebyl nalezen.

5 ZPŮSOBY PŘEVODU 3D DAT Z DGN DO PDF


V posledních letech má společnost Adobe snahu o vývoj funkčnosti a rozšíření vlastností formátů PDF. Již od roku 2004 umožňuje formát PDF prohlížet nejen texty a 2D grafiku, ale i 3D grafiku vytvořenou v CAD systémech. Výhoda takového způsobu prezentace prostorových dat je v důvěryhodnosti a pohodlnosti zobrazení dat (PDF formát je standardní a zobrazuje se stejně v různých hardwarech). Dalším kladem je kvalitní komprimace prostorových dat (výsledný soubor PDF může mít menší velikost než CAD soubor). Pokud uživatel nemá ani CAD software, ani speciální CAD prohlížeč, zobrazení prostorových dat ve formátu PDF je dobrou možností vizualizace objektů.

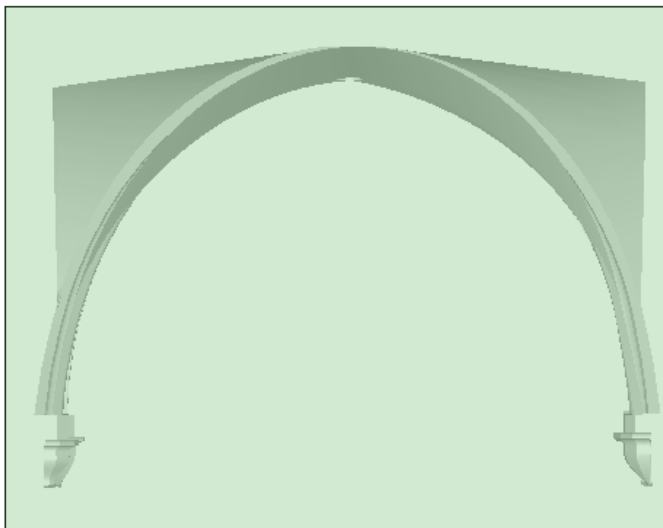
V současnosti existuje mnoho způsobů převodu 3D dat do formátu PDF, avšak každý program nakládá s daty jinak a výsledná kvalita se může výrazně lišit. Proto v této kapitole budou otestovány různé metody exportů prostorových objektů z programu MicroStation do formátu PDF. Tvorba 3D PDF bude provedena z následujících zkušebních modelů:

- Model kaple Panny Marie v klášteře sv. Anežky České (zejména *Jednoduchá klenba, klenba s konzolami, Okno*);
- Model kostela sv. Štěpána v Kouřimi (*Celek*).

U původního modelu *Klenba s konzolami*, který byl vytvořen studentkou Helenou Míkovou v její bakalářské práci [20], byly zjištěny chyby v návaznosti některých ploch klenby (plochy na sebe nenavazují plynule a jsou mezi nimi malé díry). Avšak pro testování bylo rozhodnuto tuto závadu ponechat a vyzkoušet, zda export do 3D PDF bude dostatečně kvalitní a zda výsledný soubor zachová popsanou nedokonalost objektu.

5.1 TISK OHRADY DO 3D PDF V MICROSTATIONU V8i

V programu MicroStation je velmi užitečná funkce *Umístit ohradu* (*Nástroje – Hlavní – Umístit ohradu*), pomocí  níž lze vymezit oblast zájmu, aby v poli tisku nebyl zachycen zbytečný prostor kolem objektu. Tímto způsobem byla vybrána oblast (**Obr. 23**), která bude vyexportována do formátu PDF.

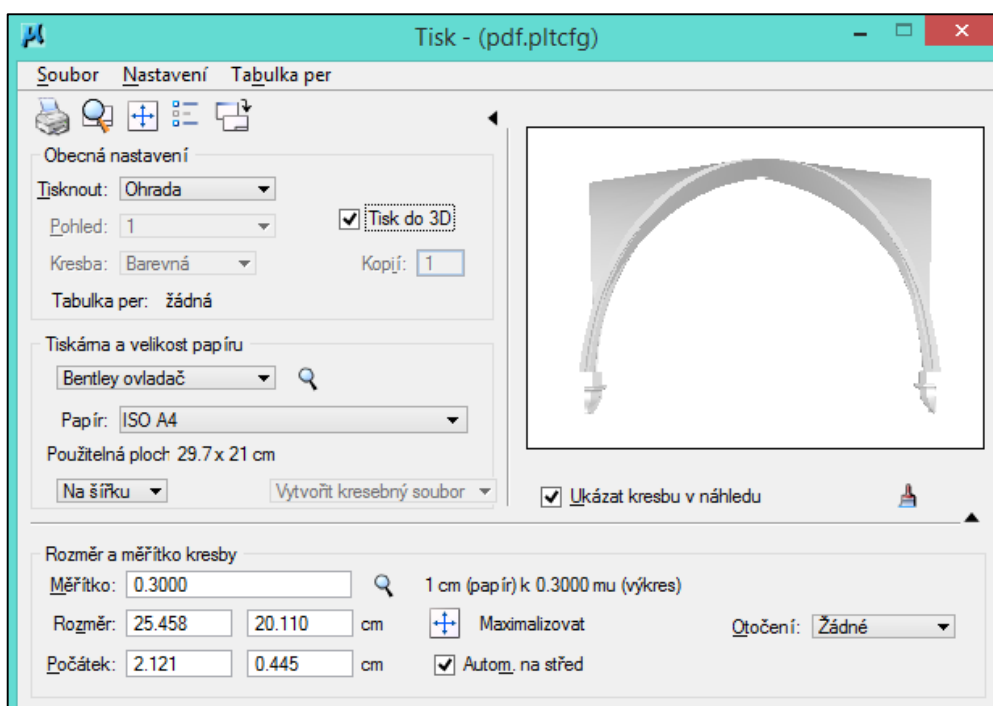


Obr. 23 Umístění ohrady v programu MicroStation

Následně byla v okně tisku provedena vhodná nastavení rozměru papíru, měřítka modelu a byla vybrána funkce tisku do prostorového PDF (Obr. 24). Parametry prostorového tisku je možné změnit v záložce *Nastavení – 3D tisk*. V tomto nastavení se dá změnit:

- Rozlišení a tolerance sítě;
- Animace objektu;
- Způsob výsledného defaultního zobrazení v PDF (např. stínování, světový režim, barvu pozadí, pohled atd.).

S výsledným PDF je možné manipulovat v prohlížeči Adobe Acrobat.

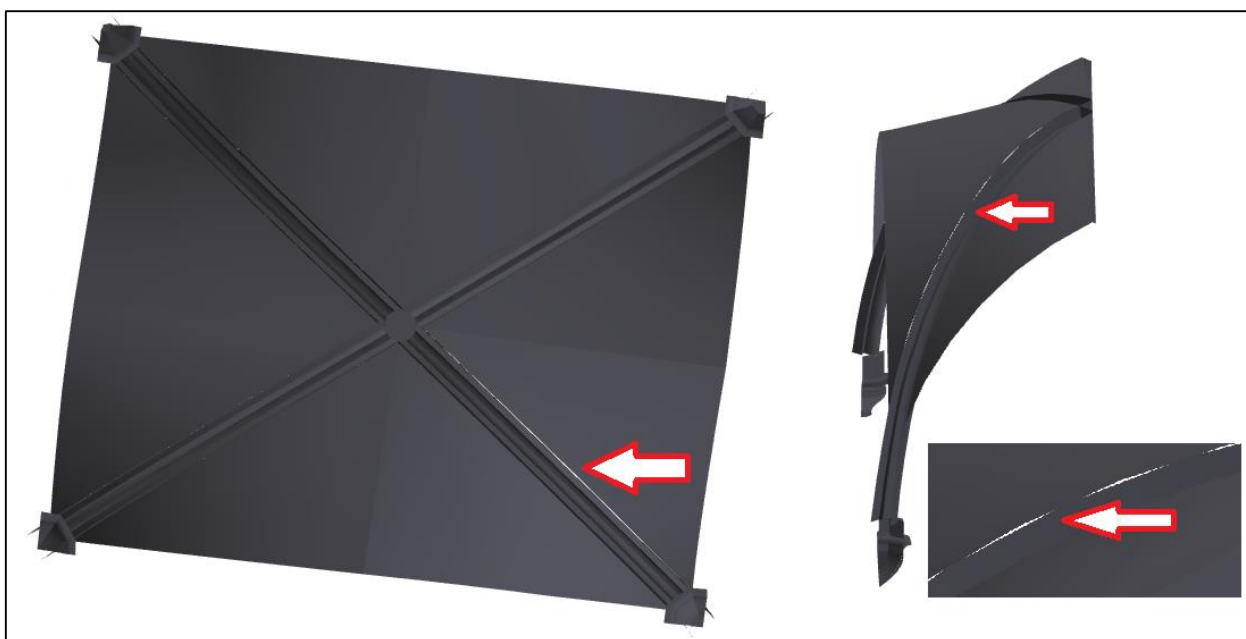


Obr. 24 Nastavení tisku ohrady v MicroStationu

Vyhodnocení metody:

Při bližším zkoumání geometrie modelu ve vytvořeném PDF souboru byly zjištěny velké chyby v zobrazení (**Obr. 25** a **Příl. 1**). Největším problémem bylo velké zjednodušení spline křivek a jejich rozložení na sekvenční přímky, čímž se závada nenávaznosti ploch modelu ještě zvýšila. Tento jev má velký vliv na vnímání tvaru objektu a jeho členitosti, proto můžeme konstatovat, že pomocí uvedené metody nelze dosáhnout požadovaných výsledků.

Poznámka: při změně defaultních nastavení 3D tisku se kvalita modelu výrazně nezlepšuje.



Obr. 25 Chybné zobrazení spline křivek ve formátu PDF (model Klenba s konzolami)

5.2 TISK DO 3D PDF V MICROSTATIONU V8I POMOCÍ 2D ARCHU

Následující metoda byla převzata z návodu publikovaného na internetové stránce CAD Lexikonu [23]. Tento postup je nestandardní tím, že se tisk do 3D PDF provádí pomocí tiskového 2D archu, do kterého se 3D model vkládá prostřednictvím reference.

Z důvodu velkého rozsahu a pro větší přehlednost je podrobný postup této metody uveden v příloze (Příl. 2). V této kapitole pouze naznačím stručný postup exportu do prostorového PDF:

1. Založení 2D tiskového archu

V tomto kroku se založí 2D DGN výkres a vytvoří se model – 2D arch. V případě potřeby je možné do zobrazeného archu doplnit veškeré náležitosti výkresu, např. obvodní rámeček, měřítko výkresu, popisové pole a další. **Poznámka:** pokud byl výkres zavřen a poté znovu otevřen, tak se zobrazí standardní pracovní prostředí MicroStationu. Pro zobrazení 2D archu stačí vyvolat funkci *Modely* a vybrat definovaný model 2D archu.

2. Připojení referenčního 3D výkresu

Do výkresu s 2D archem se vloží daný 3D objekt a umístí se do rámečku 2D archu. **Poznámka:** pokud jsou v podkladovém 3D výkresu zapnuty jen některé vrstvy, potom se při přidání reference do 2D archu zobrazí pouze tyto vybrané vrstvy.

3. Nastavení stínování 3D modelu

V tabulce referencí se nastaví způsob stínování modelu pomocí funkce *Styl zobrazení*.

4. Tisk archu do 3D PDF

V posledním kroku se 2D arch vytiskne do prostorového 3D PDF. Je potřeba vybrané referenci v 2D archu nařídit, aby do PDF "přinesla" i třetí rozměr. Při tisku do PDF je nutné vypnout přepínač *Rastrovat*, který by zajistil, aby bylo vše převedeno na rastrové obrázky, což není vhodné.

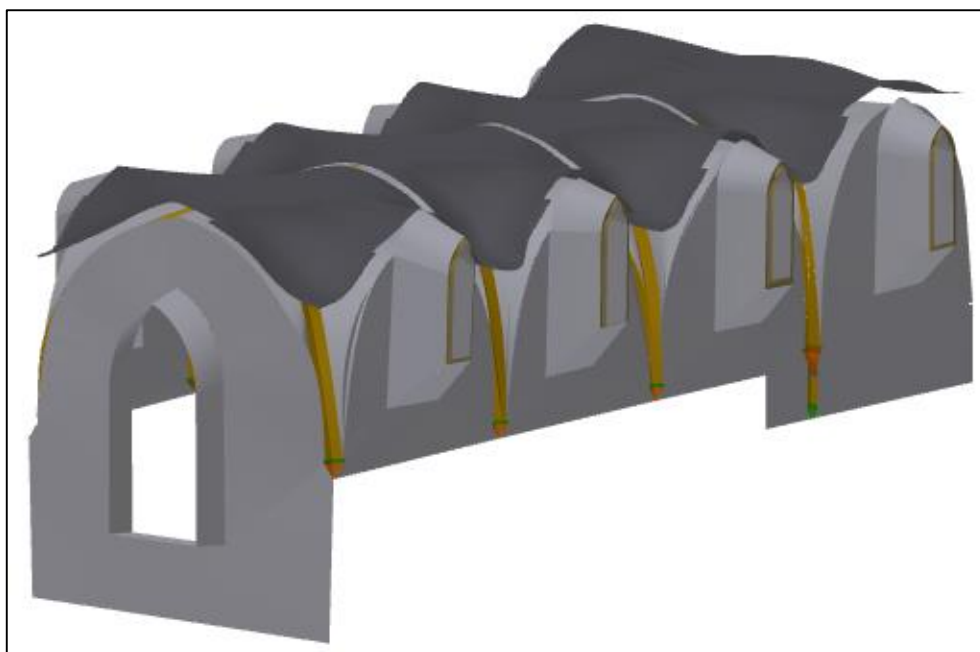
Testování:

Pro objektivní zhodnocení této metody jsem se rozhodla použít několik modelů, zejména *Klenbu s konzolami* (část modelu kaple Panny Marie v klášteře sv. Anežky České) a celkový *model kostela sv. Štěpána v Kouřimi*. Tyto modely jsou zčásti definovány pomocí odlišných druhů prvků (např. podle různých typů ploch a křivek). Tímto jsem testovala, zda je uvedená metoda optimální pro kterýkoliv objekt.

Vyhodnocení metody tvorby PDF:



Obr. 26 3D plný drátový model“ Klenby s konzolami“ vytvořený v MicroStationu V8i pomocí 2D archu



Obr. 27 3D stínovaný model klenby (detail modelu kostela sv. Štěpána v Kouřimi)

Tento způsob je složitější a časově náročnější než předchozí, avšak po studiu kvality výsledných 3D PDF (**Obr. 26**, **Obr. 27**) je možné říci, že výstupy této metody jsou překvapivě o mnoho lepší a kvalita 3D modelů je velice dobrá. Spline křivky vypadají přirozeně, proto modely

vypadají prakticky stejně jako v MicroStationu. Plochy modelů v PDF nejsou zkrusleny, zobrazují se plynule a navazují na své řídicí hrany. Důležitým faktorem je i to, že konstrukční čáry ploch jsou definovány podobným způsobem jako v MicroStationu. V PDF byly zachovány i drobné závady modelu – malé díry ve spárách mezi jednotlivými plochy klenby, což bylo způsobeno nedostatečnou návazností ploch v testovacím výkresu DGN. Podle mého názoru je tato metoda úspěšná a poskytuje vysokou kvalitu 3D PDF. Výsledné soubory 3D PDF jsou uvedeny v příloze (Příl. 1).

5.3 TVORBA 3D PDF V TETRA4D CONVERTERU

Jak již bylo uvedeno v teoretické části této diplomové práce, Tetra4D Converter je placená aplikace, která byla navržena společností Tech Soft 3D. Tetra4D Converter pracuje na bázi programu Adobe Acrobat a podporuje různé 3D formáty dat (**Obr. 28**). Tato nadstavba umožňuje přímo v programu Adobe Acrobat načítat 3D modely a provádět s nimi interaktivní práci (otáčet, zoomovat, vytvářet řezy modelem atd.).

File Format	File Extension
ACIS	.sat
IGES	.igs, .iges
JT	.jt
Parasolid	.x_t
PRC	.prc
STEP	.stp, .step
Stereo Lithography (STL)	.stl
U3D	.u3d
VRML	.vrm , .wrl
X3D	.x3d

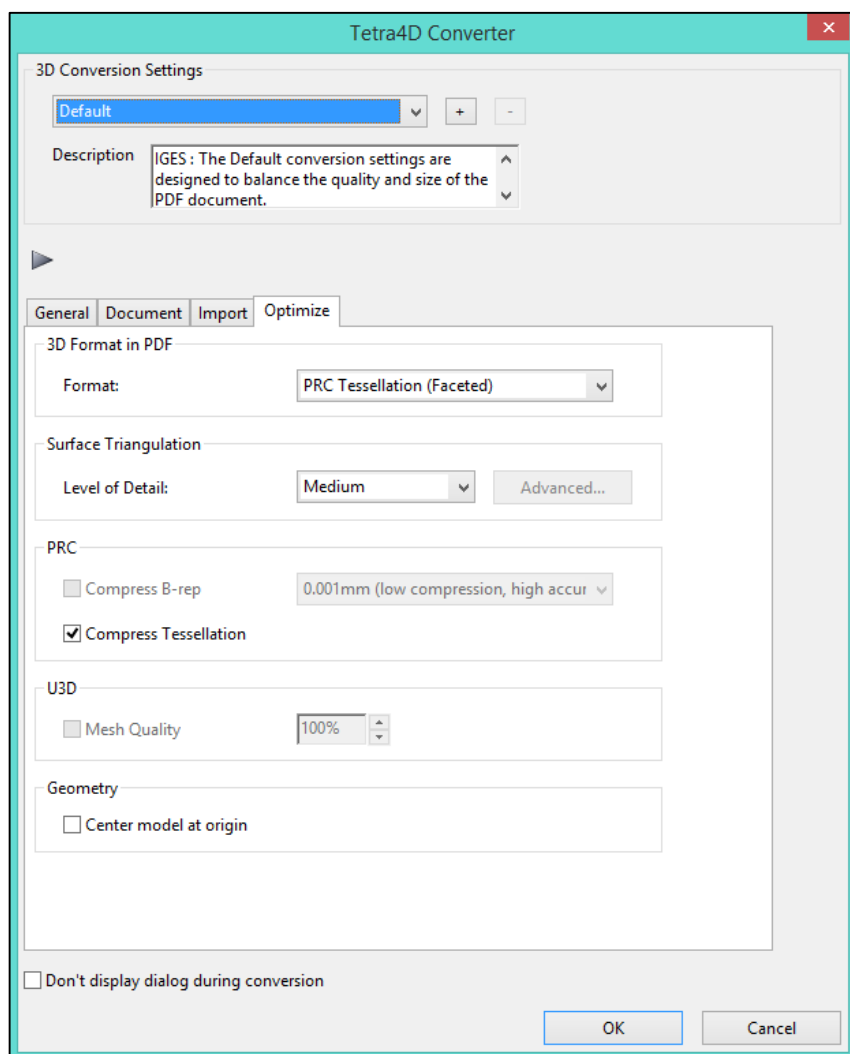
Obr. 28 Podpora formátů v SW Tetra4D Converter

Tetra4D Converter bohužel nepodporuje základní formát grafického softwaru MicroStation – DGN. Proto je nutné připravit vhodné exporty 3D objektů v různých formátech. MicroStation nabízí možnost exportu 3D dat do všech výše uvedených formátů s výjimkou formátů PRC a X3D. Avšak všechny tyto formáty nejsou použitelné a užitečné. Export testovacích modelů (*Klenba s konzolami a model kostela sv. Štěpána v Kouřimi*) byl proveden do všech podporovaných formátů systémem MicroStation V8i (SELECTSeries 3) a aplikací Tetra4D Converter.

Následně byly vyexportované soubory načteny do aplikace Tetra4D Converter, která je vyvinutá jako nástroj pro Adobe Acrobat. Při testování byla použita nejnovější verze Adobe Acrobat DC. Při načtení formátu IGES bylo nutné provést nastavení konverze dat do 3D PDF v úvodním dialogu. V úvodním okně (**Obr. 29**) je možné nastavit:

- technologie, pomocí které bude proveden export;
- typ stínování, typ světla, pohled, barvu pozadí a další charakteristiky pro vizualizaci modelu;
- formát dat 3D PDF (U3D, PRC a odvozené formáty).

Během zkoušení různých nastavení u jednotlivých prostorových formátů byl většinou vytvářen model stejné kvality a pouze u málo souborů docházelo ke změnám zobrazení modelu. Proto v tomto dialogu neexistují optimální nastavení a každý uživatel je musí vyzkoušet na vlastním modelu.



Obr. 29 Úvodní dialog exportu aplikace Tetra4D Converter

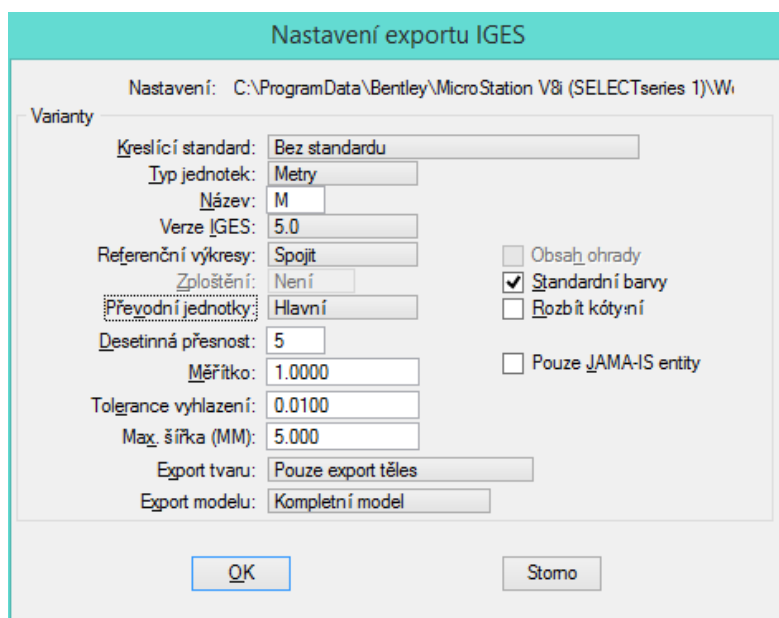
Dále jsou popsány formáty vyexportovaných dat z formátu DGN, které prokázaly kvalitní nebo alespoň dostačující výsledky.

Použité formáty exportu dat:

1. **IGES (Initial Graphics Exchange Specification)** – je standardní 2D/3D vektorový formát dat, který se často využívá v CAD systémech. Pomocí tohoto formátu lze ukládat drátové modely, reprezentace povrchu objektu, schémata a další objekty.

Testování:

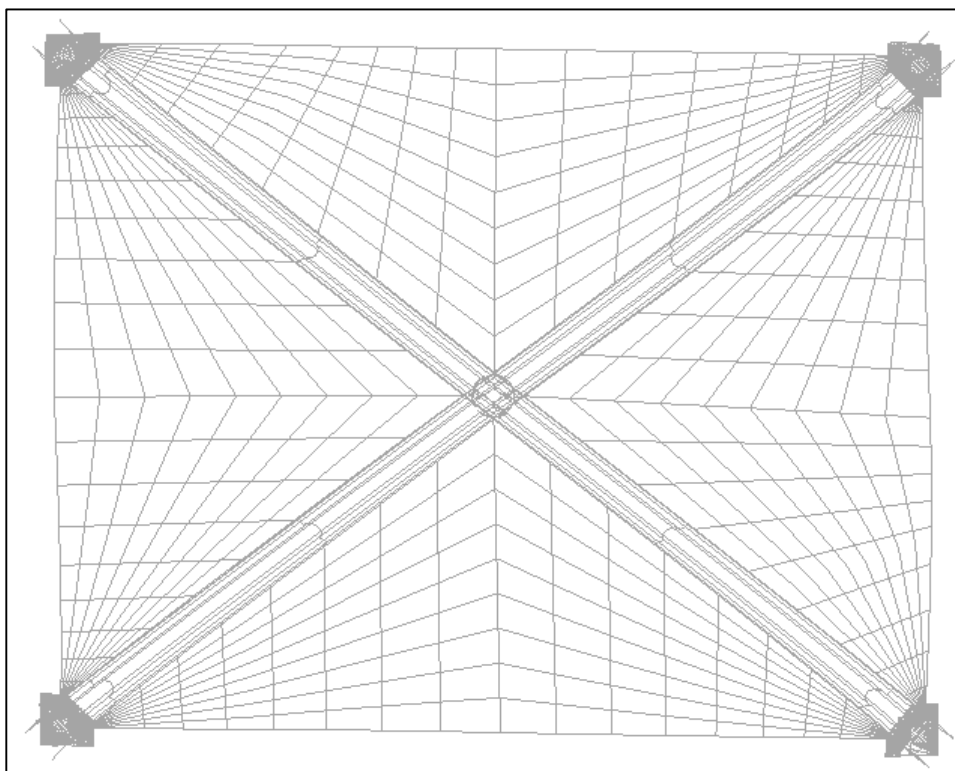
V systému MicroStation V8i byl proveden export prostorových testovacích modelů do formátu IGES (soubory mají příponu .igs). Při exportu byla možnost změnit nastavení exportu, avšak defaultní hodnoty jsem považovala za vhodné a ponechala je.



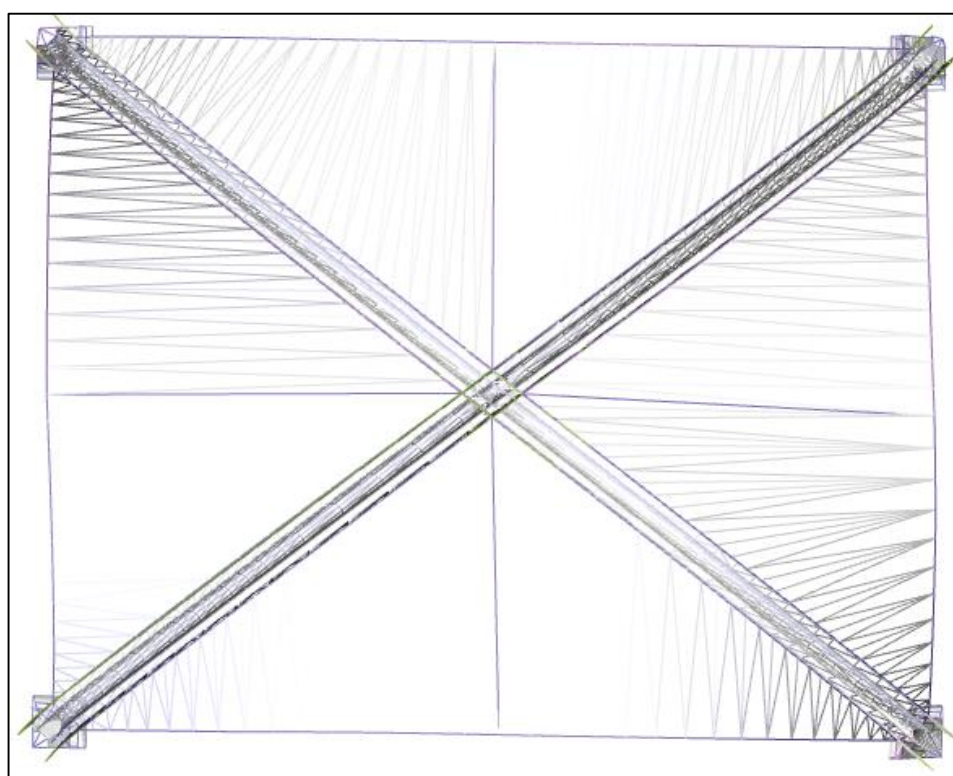
Obr. 30 Obecná nastavení exportu IGES

Vyhodnocení výsledků metody:

Při tvorbě 3D PDF z prvního objektu (*Klenba s konzolami*) z formátu IGES byl vytvořen dostatečně kvalitní 3D model v 3D PDF. Výsledný model v PDF se zobrazuje plynule, spline křivky vypadají přirozeně. Plochy modelu v PDF jsou zobrazovány trochu zkrusleně, jsou více vyhlazené než ve výkresu DGN. V PDF se zachovaly i drobné závady modelu – malé díry ve spárách mezi jednotlivými plochy klenby. Avšak jak vyplývá z obrázků (**Obr. 31 a Obr. 32**), tento formát má jiný způsob vykreslování konstrukčních čar ploch prostorových objektů.



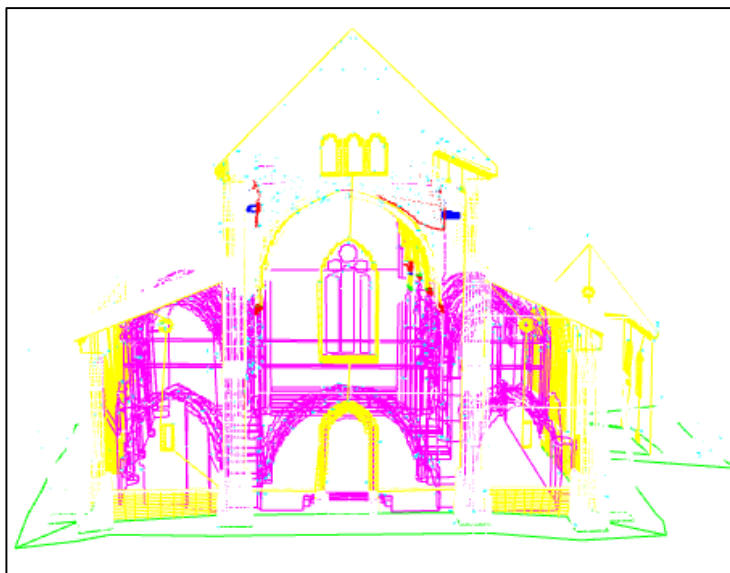
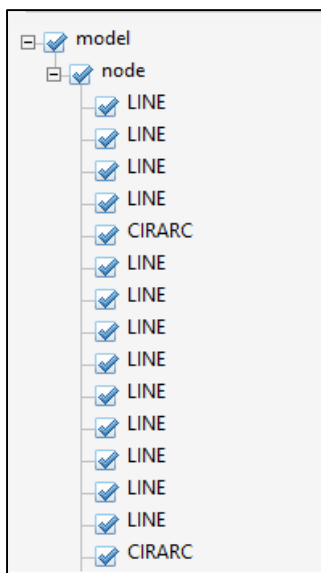
Obr. 31 3D drátový model „Klenby s konzolami“ v programu MicroStation V8i



Obr. 32 3D Drátový model „Klenby s konzolami“ vygenerovaný z formátu IGES

Podle mého názoru je u modelu *Klenby s konzolami* tato metoda dostatečně úspěšná, poskytuje však méně přesné výsledky v porovnání s metodou popsanou v kapitole 5.2.

Po posouzení výsledků exportu druhého modelu (kostel sv. Štěpána v Kouřimi) můžeme říci, že tato metoda selhala. Model se rozbil na sekvenční přímky a v seznamu vrstev jsou chaotické jednotlivé prvky namísto křivek a ploch.

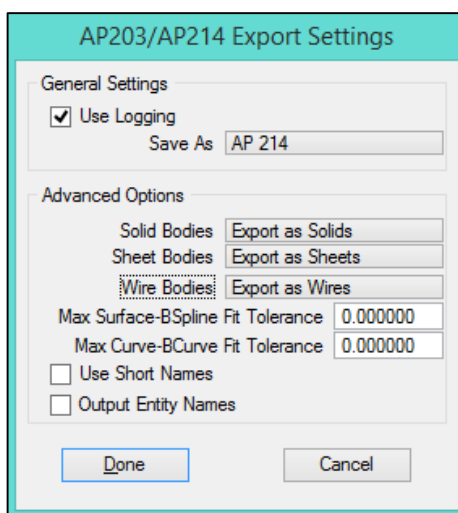


Obr. 33 Seznam vrstev modelu (Obr. 34)

Obr. 34 3D model kostela sv. Štěpána v Kouřimi (PDF z IGS)

Celkové zhodnocení této metody je takové, že pro některé typy objektu je vhodné použít export do formátu IGES a pro některé modely nikoliv. Znamená to, že uživatel musí vyzkoušet uvedenou metodu na vlastním objektu. Tento způsob avšak není optimálním řešením převodu prostorových dat z formátu DGN do 3D PDF.

2. **STEP** – je mezinárodní standard pro výměnu CAD dat (ISO 10303). Je vyvíjen od roku 1984 jako nástupce formátu IGES.

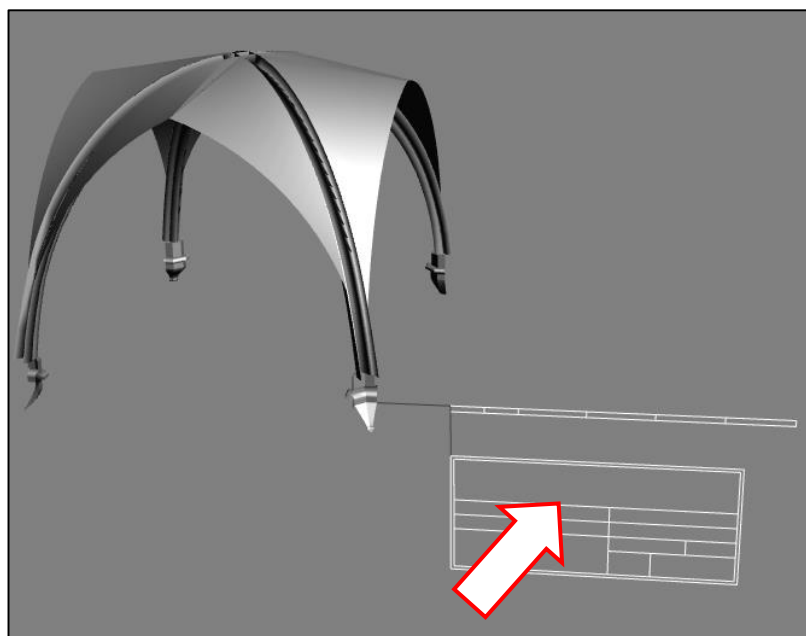


Obr. 35 Nastavení exportu do STEP formátu v systému MicroStation

Jak je zobrazeno na obrázku (**Obr. 35**), v systému MicroStation je možné nastavit jen několik parametrů pro export do formátu STEP (příponou souboru je .stp).

Vyhodnocení metody:

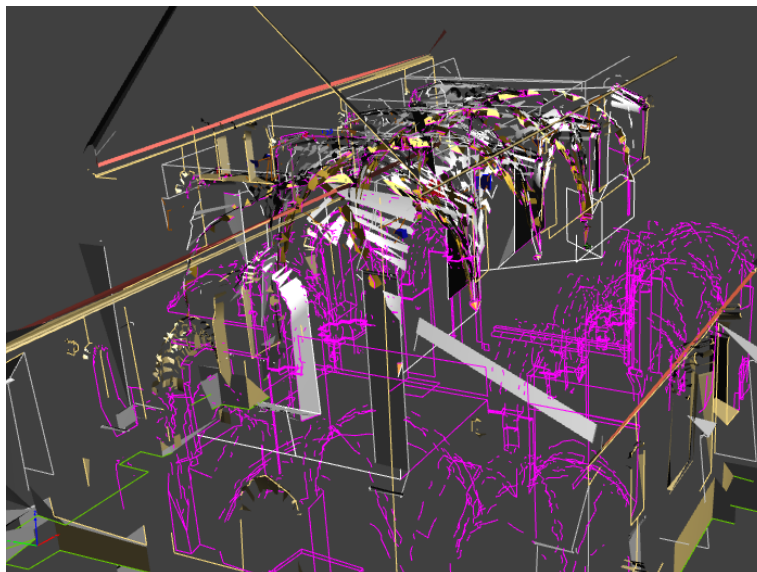
Pro první model tato metoda prokazuje podobné výsledky jako předchozí metoda. V aplikaci Tetra4D Converter byl vytvořen 3D model, který se zobrazuje příliš plynule. Spline křivky vypadají dostatečně přirozeně. V PDF nebyly zachovány drobné závady modelu, proto můžeme konstatovat, že plochy modelu byly zkresleny. Dalším záporem této metody je, že nepřenáší texty, viz (**Obr. 36**). Způsob vykreslování konstrukčních čar ploch objektu je stejný jako u formátu IGS.



Obr. 36 3D model klenby s konzolami (STEP do 3D PDF); chybí text v tabulce

Pro druhý model tato metoda prokazuje špatné výsledky stejně jako metoda exportu z IGES formátu. Model se zobrazuje chaoticky, některé plochy se nezobrazují. Při přiblížení a zobrazení detailu modelu můžeme vidět chaotické čáry a plošné střepy (**Obr. 37**). Tento způsob je nepoužitelný pro prostorový model kostela.

Výsledné hodnocení: uvedená metoda prokazuje nízkou kvalitu zobrazení, zjednodušuje a zkresluje plochy. Tato metoda není optimálním řešením exportu z formátu DGN do 3D PDF, může být využita jen na jednodušších objektech.



Obr. 37 Přiblížení ve 3D modelu kostela sv. Štěpána v Kouřimi (STEP do 3D PDF)

1. U3D – je univerzální souborový formát, který slouží k ukládání prostorových dat. Tento formát má dostatečně jednoduchou reprezentaci dat a je jedním ze základních formátů, se kterými pracuje Tetra4D Converter.

Vyhodnocení metody:

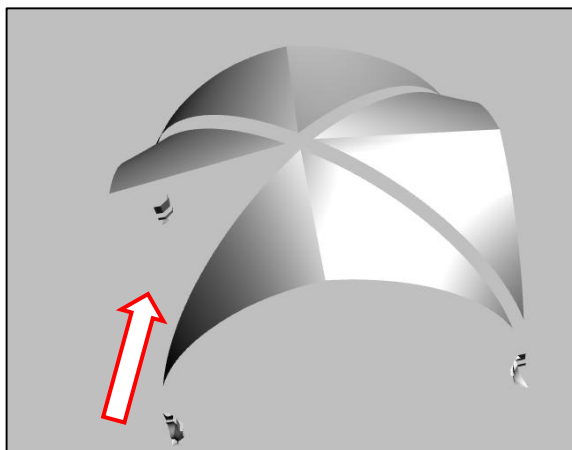
Z tohoto formátu byly vytvořeny dva 3D modely. Spline křivky v tomto formátu jsou zjednodušeny a vykreslují se jako lomené čáry. Plochy modelů v PDF vypadají zkresleně. I když tento formát neposkytuje zobrazení modelů ve vysoké kvalitě, je to jeden z mála formátů, který dostatečně dobře zobrazuje oba objekty a zachovává popisový text. Dalším kladem je to, že definice konstrukčních čar tohoto formátu je velmi podobná s definicí programu MicroStation.



Obr. 38 3D model kostela sv. Štěpána v Kouřimi (U3D do 3D PDF)

Testování dalších formátů:

Při testování tvorby 3D PDF z jiných formátů byly dosaženy horší výsledky než u předchozích třech metod. Příkladem je obrázek (**Obr. 39**), na kterém je zobrazen model vytvořený z formátu Parasolid. U takto vytvořeného modelu jsou příliš vyhlazeny plochy a část modelu chybí. Veškerá provedená testování jsou doložena výslednými PDF soubory vytvořenými z různých formátů prostorových dat (**Příl. 1**).



Obr. 39 3D PDF z formátu Parasolid (vada: chybí částí modelu, plochy jsou zjednodušeny)

5.4 VYHODNOCENÍ METOD TVORBY PDF

Po vyzkoušení různých metod tvorby 3D PDF prostřednictvím programů jako MicroStation V8i a Tetra4D Converter bylo provedeno zhodnocení výsledků. Za nejoptimálnější a nejkvalitnější metodu můžeme považovat způsob tvorby 3D PDF přímo v programu MicroStation prostřednictvím použití 2D archu. Tato metoda zachovává původní tvar obou modelů, tvar a geometrii křivek a vytváří přehledné konstrukční čáry ploch.

Další dostatečně úspěšnou metodou je tvorba PDF pomocí aplikace Tetra4D Converter s využitím podkladového výkresu ve formátu U3D. Výsledné modely jsou méně vyhlazené než ve formátu DGN, ale plochy modelů obsahují dostatečně podobný průběh konstrukčních čar jako v softwaru MicroStation. I když je tato metoda méně časově náročná než výše uvedená, je naproti tomu finančně náročnější (uživatel musí zakoupit aplikaci Tetra4D Converter za necelých 500 eur).

Podle mého názoru má na výslednou tvorbu 3D PDF formátu velký vliv typ dat, která používaný model obsahuje. Proto by měl uživatel počítat s tím, že než najde ideální způsob reprezentace vlastního modelu ve formátu 3D PDF, bude muset vyzkoušet více metod ukládání dat.

ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývala problematikou nekorektního zobrazování prostorových modelů ve formátu DWG v prohlížečích (AutoCAD, DWG TrueView), přičemž výkres DWG byl vždy vytvořen při exportu nebo přímým ukládáním testovacího výkresu z formátu DGN. Důvodem tohoto šetření byla snaha zajistit kvalitní předávání dat mezi odborníky z různých technických oborů. Pro zajištění kvalitního předávání dat je nutné provádět korektní a správnou konverzi prostorových modelů z programu MicroStation, který je více využíván geodety, do nativního formátu softwaru AutoCAD, jenž používá většina architektů, stavebních inženýrů a konstruktérů.

Mým hlavním cílem proto bylo provést průzkum problematiky vad zobrazení objektů v CAD systémech a stanovit možné faktory působící na kvalitu obrazu. Jedním z důležitých úkolů také bylo zkoumání funkcí softwarů majících vliv na zobrazení prostorových křivek, na základě kterých byly tvořeny plošné prostorové stavební prvky památkových objektů. Pro tvorbu prostorových výkresů ve formátu DGN byl vybrán program MicroStation V8i a pro práci s DWG soubory program AutoCAD (verze 2015 a 2017).

Při logickém zhodnocení možných příčin geometricky nesprávné konverze dat jsem stanovila následující body, které mohou ovlivňovat výslednou kvalitu zobrazení:

- 1) *Metodika exportu dat;*
- 2) *Způsob tvorby nepravidelných křivek a ploch;*
- 3) *Nastavení interpolace a charakteristik zobrazení (MicroStation a AutoCAD);*
- 4) *Použitá verze a typ prohlížečího softwaru.*

Dále bylo testováno, zda výše uvedené položky mají vliv na způsob zobrazení dat.

Během zkoumání nastavení **charakteristik exportu** v systému MicroStation bylo ověřeno, že metodika exportu do formátu DWG má velkou váhu u výsledné zobrazovací schopnosti. Při exportu je například možné podle požadavků uživatele nastavit, zda se mají B-spline křivky zobrazovat jako prostorové spline křivky anebo jako prostorové multičáry (lomené čáry). Podle mých zhodnocení ověřených na vlastním testování platí: pro korektní uložení prostorových křivek a ploch musí být přiřazena křivkám *Spline entita* a plochám – *ACIS entita (3D těleso)*.

Dále byly určeny vhodné **metody modelování** prostorových prvků (křivky, plochy) pro případ tvorby modelu **na základě geodetického měření** v programu MicroStation. Následující metody byly považovány za nejlépe vyhovující:

- *B-spline křivka tvořená zadanými body (Body, MNC tolerance a Catmul-rom),*
- *Umístění skládané křivky (Oblouk body),*
- *Jednoduchá křivka (tato metoda neprokázala dobré výsledky, bylo však potřeba otestovat její kompatibilitu s formátem DWG).*

Avšak při následném exportu vytvořených prostorových modelu bylo zjištěno, že v AutoCADu 2015 (resp. v DWG TrueView 2015) jediný typ křivky, který se zobrazuje plynule je **metoda B - spline křivky definované pomocí řídicích bodů**. . Ostatní typy křivek se zkreslují a vypadají jako lomené čáry.

Následně se ukázalo, že je velmi důležité **zvolit správně software**, ve kterém se bude pracovat s vyexportovaným DWG souborem, neboť různé verze stejného programu mohou zobrazovat stejné prvky v odlišné kvalitě. Například od verze AutoCAD 2016 (resp. DWG TrueView 2016) prostorové křivky se zobrazují plynule a korektně, avšak starší verze vykreslují spline křivky jako lomené čáry. Ve všech uvedených softwarech pro prohlížení DWG souborů se plochy zobrazují nekorektně.

V podkapitole 4.2.4 bylo zjištěno, že do určité míry je možné vyhlazovat křivky a plochy a upravovat **vlastnosti zobrazení** přímo v nastavení programu AutoCAD, a to pomocí funkce *Možnosti – Rozlišení zobrazení*. Dále byl vyhledán způsob opravy zobrazení křivek typu spline ve starších verzích softwaru AutoCAD (zejména AutoCAD 2015) viz kapitola 4.2.4. Podobný způsob pro zobrazení prostorově nepravidelných ploch při testování nebyl nalezen.

V poslední kapitole bylo provedeno **testování exportu** prostorových dat z formátu DGN do 3D PDF. Byla nalezena optimální metoda tvorby 3D PDF, a to prostřednictvím MicroStationu V8i (metoda 2D archu). Tato metoda prokázala vysokou kvalitu výstupů a ukázala se jako vhodná pro všechny mnou testované 3D modely. Některé metody tvorby 3D PDF v aplikaci Tetra4D poskytovaly taktéž dobré výsledky, avšak nebyl nalezen optimální formát pro všechny testovací modely. To znamená, že uživatel musí vyzkoušet ty metody sám na základě vlastního modelu.

V této diplomové práci byly dosaženy téměř všechny cíle stanovené na počátku. V rámci této práce byly provedeny testování dat a na základě vyhodnocení výsledků byly vyhledány: optimální způsoby modelování prostorových dat v systému MicroStation V8i, vhodná nastavení

exportu dat do formátu DWG, optimální metody zobrazení dat v různých softwarech, atd. Jediné, co se nepodařilo vyřešit, je problematika korektního zobrazení prostorových spline ploch v programu AutoCAD (resp. DWG TrueView). Veškerá testování, která byla provedena, nesplnila požadavky na kvalitu zobrazení. Možné zdůvodnění neúspěchu je v tom, že AutoCAD zatím neumí pracovat se spline plochami, vyexportovanými z formátu DGN do formátu DWG. Anebo mé znalosti v programu AutoCAD byly příliš povrchové a hlubší zkoumání této problematiky a funkcí AutoCADu pomůžou najít optimální řešení tohoto problému.

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obr. 1 Trojrozměrná kartézská souřadnicová soustava	12
Obr. 2 Vektorová a rastrová reprezentace objektu	13
Obr. 3 Pracovní rozhraní systému MicroStation V8i	15
Obr. 4 Pracovní rozhraní aplikace DWG TrueView 2017	16
Obr. 5 Pracovní rozhraní aplikace Tetra4D Converter	18
Obr. 6 Izometrický pohled na 3D model kostela sv. Štěpána v Kouřimi	23
Obr. 7 Zkušební export stavebního prvku (konzola); zjednodušení hrany B-spline plochy ..	24
Obr. 8 Parametry ukládání DWG	25
Obr. 9 Nastavení zobrazovacích entit	26
Obr. 10 Porovnání nastavení exportu do formátu DWG (stavební prvek - Okno):	27
Obr. 11 Porovnání průběhu B-spline a Jednoduché křivky	30
Obr. 12 Panely nástrojů křivek	31
Obr. 13 Nastavení umístění B-spline křivky pomocí bodů (různé metody)	31
Obr. 14 Tvorba B-spline křivky definováním tečností	33
Obr. 15 Beziérova křivka (zeleně)	34
Obr. 16 Vyhlazování křivek AutoCAD 2016 [23]	38
Obr. 17 Nízké rozlišení zobrazení 3D modelu Okna (šipka uvádí izočáry plochy)	39
Obr. 18 Vysoké rozlišení 3D modelu Okna	40
Obr. 19 Nástroje pro práci se skupinami v programu AutoCAD 2015	41
Obr. 20 Zobrazení křivek před opravou (program AutoCAD 2015)	41
Obr. 21 Zobrazení křivek po úpravě (program AutoCAD 2015)	42
Obr. 22 Příklad zobrazení ploch: modře je vyznačena plocha tvořící horní část Okna;	42
Obr. 23 Umístění ohrady v programu MicroStation	46
Obr. 24 Nastavení tisku ohrady v MicroStationu	46
Obr. 25 Chybné zobrazení spline křivek ve formátu PDF (model Klenba s konzolami)	47
Obr. 26 3D plný drátový model“ Klenby s konzolami“ vytvořený v MicroStationu V8i pomocí 2D archu	49
Obr. 27 3D stínovaný model klenby (detail modelu kostela sv. Štěpána v Kouřimi)	49
Obr. 28 Podpora formátů v SW Tetra4D Converter	50
Obr. 29 Úvodní dialog exportu aplikace Tetra4D Converter	51
Obr. 30 Obecná nastavení exportu IGES	52
Obr. 31 3D drátový model „Klenby s konzolami“ v programu MicroStation V8i	53

Obr. 32 3D Drátový model „Klenby s konzolami“ vygenerovaný z formátu IGES	53
Obr. 33 Seznam vrstev modelu (Obr. 28)	54
<i>Obr. 34 3D model kostela sv. Štěpána v Kouřimi (PDF z IGS).....</i>	54
Obr. 35 Nastavení exportu do STEP formátu v systému MicroStation.....	54
Obr. 36 3D model klenby s konzolami (STEP do 3D PDF); chybí text v tabulce	55
Obr. 37 Přiblížení ve 3D modelu kostela sv. Štěpána v Kouřimi (STEP do 3D PDF).....	56
Obr. 38 3D model kostela sv. Štěpána v Kouřimi (U3D do 3D PDF).....	56
Obr. 39 3D PDF z formátu Parasolid (vada: chybí části modelu, plochy jsou zjednodušeny)	57
Obr. 40 Okno zakládání nového modelu – 2D archu	67
Obr. 41 Nastavení referenčního 3D výkresu	68
Obr. 42 Nastavení stínování 3D objektu	69

SEZNAM ZDROJŮ

1. Počítačová 3D grafika. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Po%C4%8D%C3%ADta%C4%8Dov%C3%A1_3D_grafika
2. Základy reprezentace trojrozměrného prostoru v počítači. In: *Wikisofia* [online]. 2010 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: https://wikisofia.cz/index.php/Z%C3%A1klady_reprezentace_trojrozm%C4%9Bn%C3%A9ho_prostoru_v_po%C4%8D%C3%ADta%C4%8Di
3. PROCHÁZKOVÁ, Jana a Vojtěch VITÁSEK. *Základy počítačové grafiky* [online]. Brno: VUT v Brně, 2007 [cit. 2016-06-20]. Dostupné z: <http://mathonline.fme.vutbr.cz/pg/flash/TeorieGrafika/celaGrafika.pdf>
4. RAPANT, Petr. *Úvod do geografických informačních systémů*. Ostrava: VŠB-TU, 2002.
5. Úvod, grafická data: studijní text. In: *Počítačová geometrie a grafika* [online]. Brno: Ústav matematiky FSI VUT Brno, 2005, s. 8 [cit. 2016-06-03]. Dostupné z: <http://mathonline.fme.vutbr.cz/Prednaska/sc-1245-sr-1-a-261/default.aspx>
6. *MicroStation: Gissoft.cz* [online]. 2016 [cit. 2016-06-07]. Dostupné z: <http://www.gissoft.cz/MicroStation/MicroStation>
7. *Bentley Systems: MicroStation* [online]. USA, 2016 [cit. 2016-06-07]. Dostupné z: <https://www.bentley.com/en/products/brands/microstation>
8. *Autodesk, Inc.: AutoCAD* [online]. USA, 2016 [cit. 2016-06-07]. Dostupné z: <http://www.autodesk.cz/products/autocad/overview>
9. LARINA, Alexandra. *Nový hrad u Kunratic-tvorba detailního 3D modelu vybrané části*. 2014. Bakalářská práce. Fsv ČVUT v Praze. Vedoucí práce Jindřich Hodač.
10. BARTONĚK, Dalibor a Alena BERKOVÁ. *MicroStation: Návod do cvičení*. VUT FAST Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001. ISBN 80-214-2000-6.
11. *Cadstudio: AutoCAD* [online]. ČR, 2016 [cit. 2016-06-11]. Dostupné z: <http://www.cadstudio.cz/autocad>
12. DWG True View. In: *Adeon: Váš systémový integrátor* [online]. ČR, 2016 [cit. 2016-06-10]. Dostupné z: <http://www.adeon.cz/reseni/prohlizeni-souboru/72-dwg-true-view>
13. 3D PDF Converter: Hlavní charakteristiky a funkce. *Amos software* [online]. ČR, 2016 [cit. 2016-06-11]. Dostupné z: <http://www.amsoft.cz/Produkty/Tetra4d/3DPDFConverter/funkce.html>

14. SÝKORA, Petr. *MicroStation V8 XM edition :podrobná uživatelská příručka*. Brno: Computer Press, 2007. ISBN:9788025115237
15. FOŘT, Petr a Jaroslav KLETEČKA. *AutoCAD 2014: učebnice*. Brno: Computer Press, 2014. ISBN 9788025141540.
16. DWG. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-06-20]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/DWG>
17. Portable Document Format. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-06-15]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Portable_Document_Format
18. GREGOR, Petr. *3D v PDF*. Brno, 2008. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, fakulta informatiky. Vedoucí práce RNDr. Petr Sojka, Ph.D.
19. Zobrazení 3D modelů v souborech PDF. In: *Adobe* [online]. ČR: 2016 [cit. 2016-06-20]. Dostupné z: http://help.adobe.com/cs_CZ/acrobat/using/WS58a04a822e3e50102bd615109794195ff-7bfd.w.html
20. MÍKOVÁ, Helena. *Tvorba 3D modelu kaple Máří Magdalény Kláštera Sv.Anežky České*. Praha, 2012. Bakalářská práce. Fsv ČVUT v Praze. Vedoucí práce Ing. Jindřich Hodač, Ph.D.
21. VAVERKA, Petr. *Měřická dokumentace kostela sv. Štěpána v Kouřimi (okr. Kolín)*. Praha, 2015. Diplomová práce. Fsv ČVUT v Praze. Vedoucí práce Ing. Jindřich Hodač, Ph.D.
22. SÝKORA, Petr. *MicroStation V8: podrobná příručka*. Praha: Computer Press, 2001. ISBN 8072265407.
23. AutoCAD 2016: co je nového? *Cadstudio* [online]. ČR: CAD Studio a.s., 2015 [cit. 2016-06-28]. Dostupné z: <http://www.cadstudio.cz/autocad-2016-co-je-noveho-art2064>
24. SÝKORA, Petr. Jak vytvořit 3D PDF. In: *CAD Lexikon* [online]. ČR, 2013 [cit. 2016-06-16]. Dostupné z: <http://www.cadlexikon.cz/sk/bentley-microstation-2/tlac/do-souboru/251-jak-vytvorit-3d-pdf>
25. Tetra4D Converter 2016 User Guide. In: *Tetra 4D* [online]. USA: Tech Soft 3D, 2016 [cit. 2016-06-28]. Dostupné z: http://www.tetra4d.com/tetra4d_converter_2016_user_guide_1_29/

SEZNÁM PŘÍLOH

Příloha 1 - DVD s výsledky testování

Příloha 2 - Podrobný popis metody exportu z DGN do PDF v programu MS pomocí 2D archu

Příloha 3 – Ilustrace porovnání B-spline křivek definovaných body (různé metody) – volná tištěná příloha

Příloha 4 - Ilustrace modelů *Okna* tvořených pomocí různých metod – volná tištěná příloha

PŘÍLOHA 1

Obsah DVD:

- Původní testovací výkresy ve formátu DGN
- Testovací výkresy (převodu dat z formátu DGN do DWG)
- Soubory 3D PDF tvořené pomocí metod:
 - tisk ohrady v MicroStationu
 - pomocí 2D archa a referenčního výkresu v MicroStationu
 - z vyexportovaných prostorových formátů (MicroStation a Tetra4D Converter)



PŘÍLOHA 2

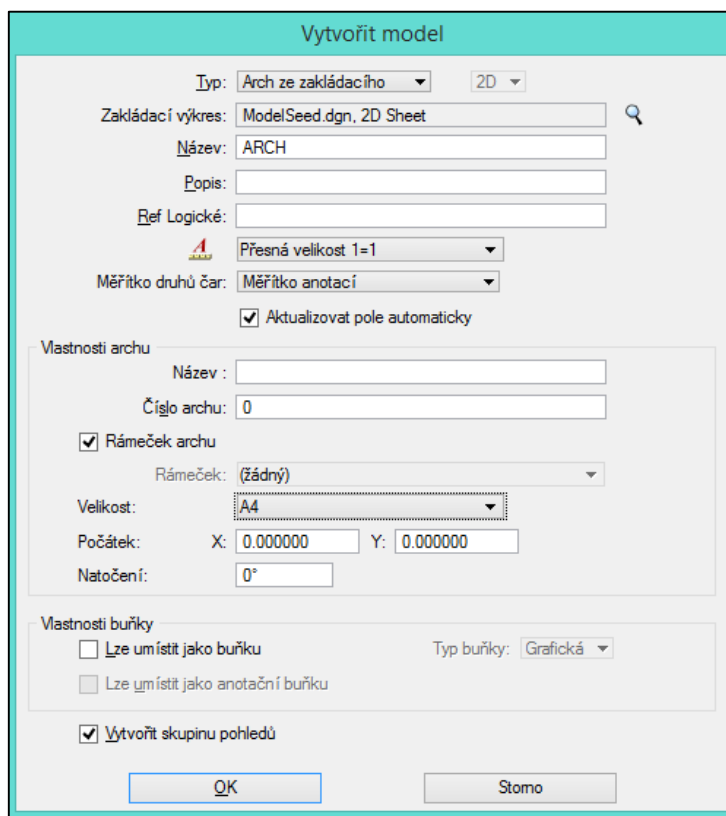
Podrobný popis metody exportu z DGN do 3D PDF v programu MicroStation pomocí 2D archu:

Následující metoda byla převzata z návodu publikovaného na internetové stránce CAD Lexikonu [23]. Tato metoda byla ověřena během mého vlastního testování několika objektů a dle mého názoru je jedním z optimálních způsobů tvorby 3D PDF. Uvedený postup je nestandardní tím, že se tisk do 3D PDF provádí pomocí tiskového 2D archu, do kterého se 3D model vkládá prostřednictvím reference.

Postup exportu do prostorového PDF je následující:

1. Založení 2D tiskového archu


Nejprve se vytvoří nový 2D DGN výkres, poté se pomocí ikony *Modely* na  horní liště nástrojů založí nový model (funkce *Vytvořit nový model* ). Ve vzniklém okně se nastaví typ modelu (důležité je zvolit 2D arch), velikost tiskového archu a další vlastnosti, jak je vidět na **Obr. 40**. Následně je možné do zobrazeného archu doplnit veškeré náležitosti výkresu, např. obvodní rámeček, měřítko výkresu, popisové pole a další.



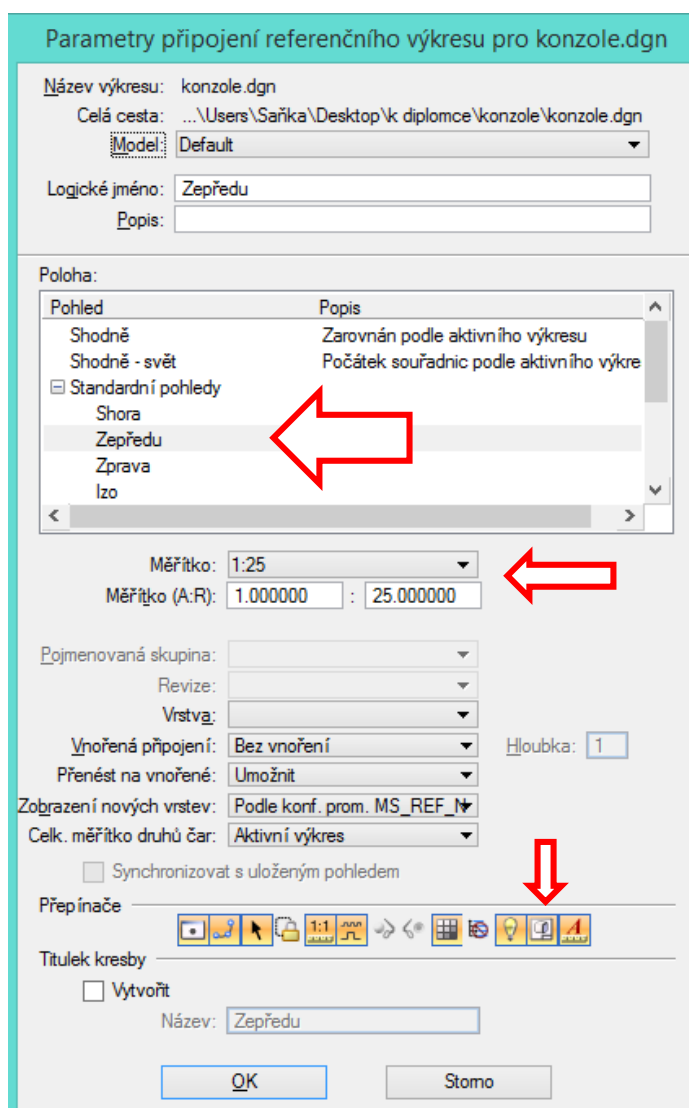
Obr. 40 Okno zakládání nového modelu – 2D archu

Poznámka: pokud byl výkres s 2D archem zavřen a poté znovu otevřen, tak se zobrazí standardní pracovní prostředí MicroStationu. Pro zobrazení 2D archu stačí vyvolat funkci *Modely* a vybrat definovaný model 2D archu.

2. Připojení referenčního 3D výkresu


Prostřednictvím ikony *Referenční výkresy*  na horním panelu nástrojů se připojí referenční 3D model. V následujícím okně se opět vybere vhodné nastavení. Jak je uvedeno na obrázku (**Obr. 41**), nejdříve se zvolí pohled výkresu (doporučuje se vybrat jednoduchý standardně definovaný pohled, avšak je možné vybrat jakýkoliv vlastní pohled). Dále se musí nastavit měřítko tak, aby model nepřesahoval hranice archu. Poté je nutné vybrat ikonu, která umožňuje ukládání 3D PDF. Tato ikona je zvýrazněna na **Obr. 41** třetí červenou šipkou.

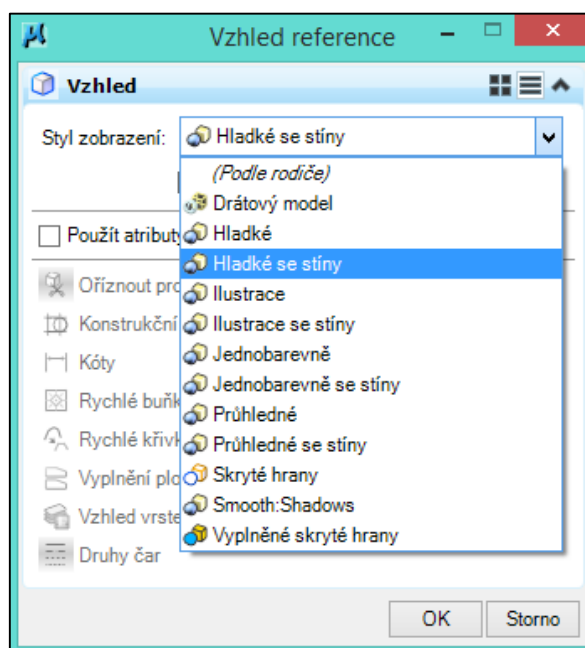
Poznámka: Pokud jsou v podkladovém 3D výkresu zapnuty jen některé vrstvy, potom se při přidání reference do 2D archu zobrazí pouze tyto vybrané vrstvy.



Obr. 41 Nastavení referenčního 3D výkresu

3. Nastavení stínování 3D modelu

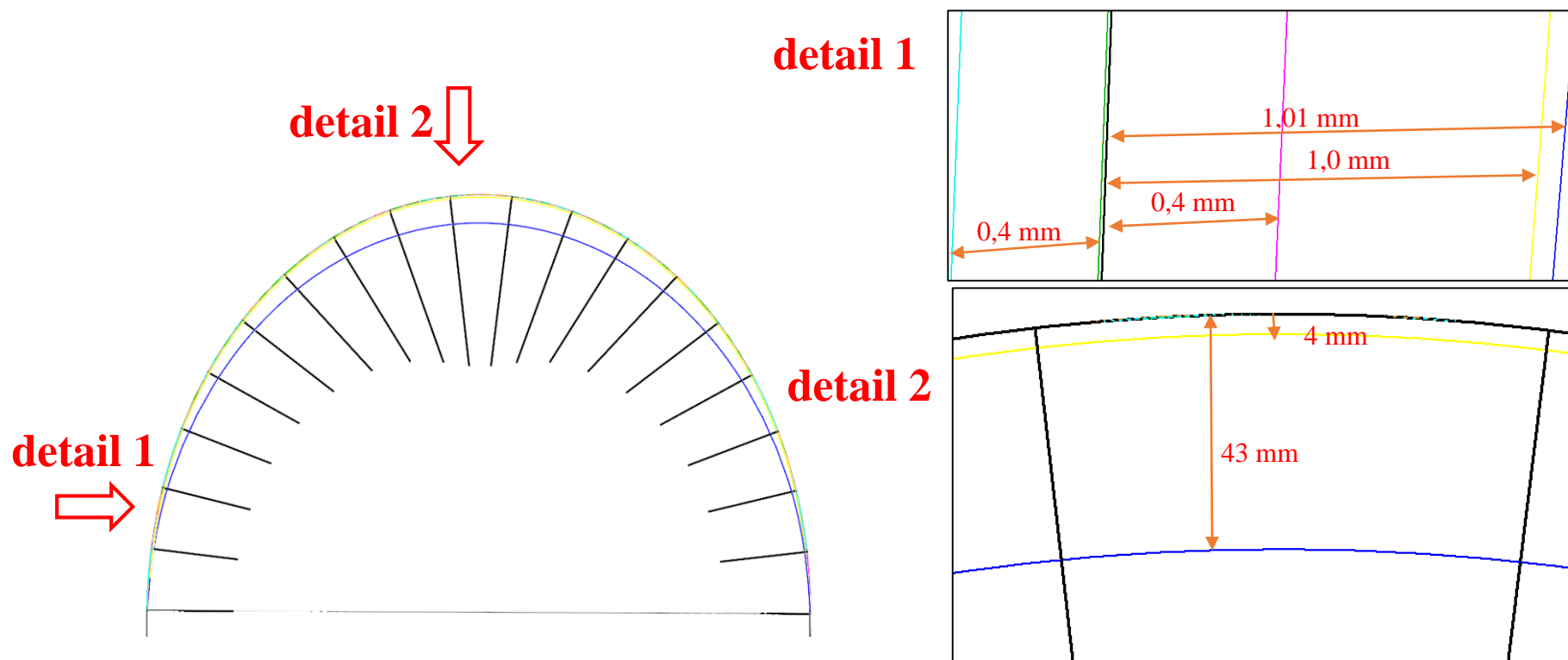
3D referenci je již možné vidět v různých rendrovaných (stínovaných) režimech – nesmí nás zmást, že práce probíhá ve 2D Archu. Reference je 3D, a tak s ní lze provádět některé 3D akce. Proto je v tuto chvíli možné provést změnu stínování modelu – tj. *drátový model* bude vyměněn za *hladké stínování*. Změna se provede v tabulce referencí, stačí kliknout levým tlačítkem myši na sloupec *Prezentace* (ve starších verzích je nutné kliknout na ikonu ) a v následujícím okně (**Obr. 42**) nastavit vhodný *Styl zobrazení*.



Obr. 42 Nastavení stínování 3D objektu

4. Tisk archu do 3D PDF

V posledním kroku se 2D arch vytiskne do prostorového 3D PDF. Je potřeba vybrané referenci ve 2D archu nařídit, aby do PDF "přinesla" i třetí rozměr. To zajistí nastavení implicitního tisku do 3D PDF (*Soubor – Editovat ovladač tisku – Implicitní tisk do 3D – True*). Při tisku do PDF je nutné vypnout přepínač *Rastrovat*, který by zajistil, aby bylo vše převedeno na rastrové obrázky, což není vhodné.

PŘÍLOHA 3 - Ilustrace porovnání B-spline křivek definovaných body (různé metody), viz kapitolu [4.2.2.1]

Model: Okno

Černá křivka – stávající křivka **původního modelu**,

Modrá křivka – křivka tvořená metodou „**Rídící body**“ (Charakteristiky: řád = 19)

Žlutá křivka – křivka tvořená metodou „**Rídící body**“ (Charakteristiky: řád = 4)

Růžová křivka - křivka tvořená metodou „**Body**“

Tyrkysová křivka - křivka tvořená metodou „**MNČ body**“ (Charakteristiky: řád=19, vrchol =1)

Oranžová křivka - křivka tvořená metodou „**MNČ tolerance**“ (Charakteristiky: řád=19, vrchol =1)

Zelená křivka – křivka tvořená metodou „**Catmull-rom**“