

Bakalářská práce



České  
vysoké  
učení technické  
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická

## Nelineární pořad pro kulovou projekci

Vít Valečka

**Vedoucí: Ing. David Sedláček, PhD.**  
**Obor: Softwarové inženýrství a technologie**  
**Leden 2020**



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Valečka** Jméno: **Vít** Osobní číslo: **438245**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra počítačů**  
Studijní program: **Softwarové inženýrství a technologie**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Nelineární pořad pro kulovou projekci**

Název bakalářské práce anglicky:

**Non-linear Story Creation for Dome**

Pokyny pro vypracování:

Prostudujte možnosti řídicího systému SpaceCrafter užívaného Hvězdárnou a planetáriem Uherský Brod. Navrhněte a implementujte program, který rozšíří možnosti vzdáleného řízení planetária o skládání videí do nelineárních pořadů a jejich automatické přehrávání. Navrhněte scénář a vytvořte nelineární výukový audiovizuální program o délce alespoň 15 minut, který diváky seznámí se základními objekty sluneční soustavy a bude uzpůsoben pro projekci v planetáriu. Otestujte navržené řešení s pracovníky Hvězdárny a planetária Uherský Brod.

Seznam doporučené literatury:

- [1] <http://www.lss-planetariums.info/spacecrafter/>
- [2] Ed Lantz. 2007. A survey of large-scale immersive displays. In Proceedings of the 2007 workshop on Emerging displays technologies: images and beyond: the future of displays and interacton (EDT &#39;07). ACM, New York, NY, USA
- [3] William Goddard, Alexander Muscat, James Manning, and Jussi Holopainen. 2016. Interactive dome experiences: designing astrosurf. In Proceedings of the 20th International Academic Mindtrek Conference (AcademicMindtrek &#39;16). ACM, New York, NY, USA, 393-402
- [4] T. Ogi, D. Furuyama and T. Fujise, &quot;Layer-Based Dome Contents Creation Using Scenario Description Language,&quot; 2009 International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, Bradford, 2009, pp. 544-549
- [5] Donato Maniello, Augmented Reality in public spaces. Basic Techniques for video mapping. 2015, Le Penseur Publisher. 1st edition.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. David Sedláček, Ph.D., katedra počítačové grafiky a interakce FEL**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **02.09.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

Platnost zadání bakalářské práce: **19.02.2021**

Ing. David Sedláček, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.  
podpis děkana(ky)

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_

Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_

Podpis studenta

## Poděkování

Především bych chtěl poděkovat vedoucímu této práce Ing. Davidu Sedláčkovi, Ph.D. za trpělivost, vedení, rady a vůbec prvotní vzbuzení zájmu o problematiku 3D modelování díky jeho výuce v předmětu TDM. Díky patří také Ing. Radku Srncovi, řediteli Domu kultury Uherský Brod, který je provozovatelem Hvězdárny a planetária Uherský Brod, za svolení k užívání prostor nad rámec běžných možností. Dále mým kolegům, pracovníkům hvězdárny a planetária, za ochotu při konzultacích. Jmenovitě Ing. Rostislavu Rajchlovi, Leoši Assmannovi, Ing. Zbyňku Řešetkovi a Bc. Michalu Braunovi, bez kterých by tato práce nemohla vzniknout. Velké díky patří také všem, kteří mě (nejen) v průběhu tvorby této práce podporovali.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně, a že jsem uvedl veškerou použitou literaturu.

V Praze, 7. ledna 2020

## Abstrakt

Získávání obsahu pro planetária je velmi obtížné, obzvláště pak pro ta malá. Filmy a videa pro fulldome projekci jsou vzácná a velmi drahá, ať už mluvíme o časově omezené nebo doživotní licenci. Ceny ročního pronájmu pořadu tak mohou dosáhnout až stovek tisíc korun.

Je však v silách malých planetárií, aby si vytvářela vlastní obsah a prezentovala jej návštěvníkům? Bylo by možné za pomoci vlastního software vytvořit nelineární pořad, který by se přizpůsobil otázkám a zájmům obecnstva?

V této práci prozkoumáme možnosti 3D modelovacího software Maya a řídicího systému pro planetária SpaceCrafter.

**Klíčová slova:** planetárium, fulldome, SpaceCrafter, 3D modelování, fisheye, C#, .NET, kopule, projekce, astronomie, film, audiovizuální obsah

## Abstract

It is very hard to come across content for planetariums, even more so for small ones. Fulldome movies and videos are scarce and usually expensive to license or buy. Price for one-year license can be as much as hundreds of thousands of Czech Crowns.

However, is it possible for small planetarium to create original content and deliver it to visitors in a pleasing way? Is it possible with custom software, that we can deliver non-linear content that will adapt to questions and interests of audience?

In this thesis, we will be exploring possibilities of 3D modeling software Maya and planetarium system SpaceCrafter with goal of expanding possibilities of content creation and presentation.

**Keywords:** planetarium, fulldome, SpaceCrafter, 3D modeling, fisheye, C#, .NET, dome, projection, astronomy, movie, multimedia content

**Title:** Non-linear Story Creation for Dome

## Obsah

1.	Úvod .....	1
2.	Planetária .....	2
2.1	Typy projekcí a projekčních ploch .....	2
2.1.1	Plochá projekce .....	2
2.1.2	Sférické zrcadlo .....	2
2.1.3	Fulldome (Fisheye, Rybí oko) .....	4
2.1.3.1	Jednoprojektorová varianta .....	4
2.1.3.2	Víceprojektorová varianta .....	5
2.2	Typy planetárií .....	5
2.2.1	Mobilní planetária .....	5
2.2.2	Malá nepřenosná planetária .....	6
2.2.3	Konvenční planetária .....	7
2.3	Planetária a náklon kopule .....	7
2.3.1	Historický kontext a funkce planetárií .....	7
2.3.2	Náklon kopule .....	8
2.4	Řídící systémy planetárií .....	10
2.4.1	SpaceCrafter (Stellarium 360) .....	10
2.4.2	SkyExplorer .....	11
2.5	Hvězdárna a planetárium Uherský Brod .....	11
3.	Programy .....	12
3.1	Druhy programů .....	12
3.2	Nabídka videí .....	12
3.3	Filmy pro děti předškolního a nižšího školního věku .....	12
3.4	Filmy pro starší diváky .....	14
4.	Popis fungování systému SpaceCrafter .....	15
4.1	Řídící systém SpaceCrafter .....	15
4.2	MasterSweep .....	16
4.3	MasterPut .....	18
5.	Navrhované řešení .....	21
5.1	Aplikace pro ovládání z tabletu .....	21
5.2	Pořad .....	22
6.	Implementace v semestrálním projektu .....	23
6.1	Aplikace (pracovní název Project Arcturus) .....	23
6.2	Dodatečně zjištěné nedostatky aplikace .....	24

6.3	Pořad (Saturn a jeho svět) .....	25
7.	Implementace v bakalářské práci .....	27
7.1	Aplikace .....	27
7.1.1	Uživatelské rozhraní .....	27
7.1.2	Programové řešení UI a backend.....	31
7.1.3	Backend .....	31
7.2	Pořad (Sluneční soustava) .....	33
8.	Testování s pracovníky planetária .....	37
8.1	Výsledky testování.....	37
8.2	Vyhodnocení a doporučené změny .....	38
9.	Závěr .....	40
	Zdroje textur.....	41
	Zdroje a literatura.....	42



## Obrázky

Obr. 1: Schéma sférické projekce [5] .....	3
Obr. 2: Příklad realizace sférické projekce [5].....	3
Obr. 3: Příklad jednoprojektorové fisheye projekce (Hvězdárna a planetárium Uherský Brod, archiv autora).....	4
Obr. 4: Ukázka přenosného planetária (Hvezdáreň v Partizánskom) [8] .....	6
Obr. 5: Polaris [18] .....	13
Obr. 6: Tajemství gravitace [18].....	13
Obr. 7: MasterSweep .....	16
Obr. 8: Diagram synchronizace programu MasterSweep .....	17
Obr. 9: Uživatelské rozhraní programu MasterPut .....	18
Obr. 10: Virtuální klávesnice programu MasterPut .....	18
Obr. 11: Ukázka konfiguračního souboru aplikace MasterPut .....	19
Obr. 12: Diagram komunikace mezi programem MasterPut a SpaceCrafterem .....	20
Obr. 13: Náhled testovacího UI (Project Arcturus) .....	23
Obr. 14: Model planety Saturn a měsíce Enceladus .....	25
Obr. 15: Pohled na Saturn skrz Titanovu atmosféru .....	25
Obr. 16: Ukázka deformace obrazu pomocí fisheye kamery Arnold Rendereru .....	26
Obr. 17: Low-Fidelity model UI pro Project Betelgeuse.....	27
Obr. 18: High-Fidelity model uživatelského rozhraní.....	28
Obr. 19: Project Betelgeuse – finální verze UI .....	29
Obr. 20: Project Beid – finální verze UI .....	29
Obr. 21: Project Brachium – finální verze UI.....	30
Obr. 22: Project Bellatrix – finální verze UI .....	30
Obr. 23: Class Diagram .....	32
Obr. 24: Titan, vlevo verze za využití Bifröst, vpravo za využití Maya Software Rendereru.....	33
Obr. 25: Vlevo jednotlivé vrstvy modelu Země, vpravo kombinovaný obraz.....	34
Obr. 26: Venuše – vlevo snímek z této práce, vpravo fotografie (Zdroj: SpaceCrafter) .....	35
Obr. 27: Nahoře geoTIFF s výškovými daty otevřený v Adobe Photoshop, dole stejný soubor korigovaný křivkou vpravo .....	36



## 1. Úvod

V roce 2015 se po mnohaletém snažení podařilo tehdejší Hvězdárnu Domu kultury Uherský Brod rozšířit o planetárium, čímž bylo završeno snažení velkého množství lidí o rozšíření vědeckého a populárně naučného života v tomto městě. Jako člověk, který na hvězdárně působil od roku 2006, jsem byl zařazen mezi několik málo demonstrátorů, kteří v novém planetáriu provázeli.

Jak se ale během let ukázalo, protože je planetárií ve světě málo a jedná se o silně specifický trh, nabídka pořadů a videí pro projekci je velmi omezená, pořízení placených licencí nákladné a cena za krátký pořad tak snadno může přesáhnout sto tisíc korun, což je pro malé instituce, jako jsme my, nepředstavitelná částka.

K původnímu snu o našem vlastním planetáriu tedy přibyl nový. Sen, že jednoho dne budeme schopni si vytvářet obsah vlastní.

Tato bakalářská práce se zabývá tvorbou nelineárního vzdělávacího pořadu pro planetária. Skládá se ze dvou částí – samotného programu a doprovodné aplikace pro jeho plánování a spouštění na řídicím počítači. Cílem je rozšířit současnou funkcionalitu existujícího systému o užitečné funkce, které jsou v současné době vyhrazeny pouze komerčním řídicím systémům provozovaným ve velkých planetáriích.

V případě úspěšného uvedení do provozu by pak výsledky této práce mohly dopomoci nejen naší hvězdárně a planetáriu, ale i mnoha jiným malým provozovatelům, kteří u svých planetárií využívají stejný řídicí systém.

## 2. Planetária

### 2.1 Typy projekcí a projekčních ploch

V planetáriích se můžeme setkat s několika různými druhy projekcí, ty mají však několik věcí společných. V první řadě se jedná o projekční plochu. Tou je v naprosté většině případů *kopule*, tedy část koule, na kterou je promítáno z její vnitřní strany. Samotný povrch pak může být různých druhů [1] v závislosti na tom, zda je samotná kopule zděná (pak jsou využity nejrůznější nátěry pro projekční plochy), nebo se jedná o nějakou konstrukci. V takovém případě se nejčastěji setkáme s textilním povrchem nebo povrchem z perforovaného plechu. [2][3]

Jednotlivé druhy projekcí se liší dvěma hlavními faktory. Prvním je způsob, jakým (pokud vůbec) je obraz *deformován* pro zajištění projekce na kopuli, druhým počet projektorů v systému.

V následujících částech práce bude využito odborného názvosloví s ohledem na rozložení projekce. Pro její jednotlivé části budou převážně využívána označení *sever, jih, východ, západ*, popř. *zenit*<sup>1</sup>. Ta vyplývají z původního účelu planetárií, tedy umělé reprezentace noční oblohy. Za standard je považováno usazení návštěvníků v planetáriu tak, že sedí zády k severu promítané virtuální oblohy a dívají se směrem na jih. Po jejich levé ruce je virtuální východ, po pravé ruce západ.

#### 2.1.1 Plochá projekce

Jedná se o ten nejjednodušší způsob projekce, který je každému dobře znám. Obraz není nijak deformován a je promítán jediným projektorem na malou část kopule, kde není zakřivení příliš výrazné.

Tento druh projekce se v planetáriích využívá pouze výjimečně, a to pro nestandardní audiovizuální obsah, jako jsou například prezentace během přednášek, popřípadě pro doplnění dalších druhů projekcí.

Vzhledem k malému využití je plochá projekce pro účel této práce nepodstatná a není tedy o ní třeba uvažovat.

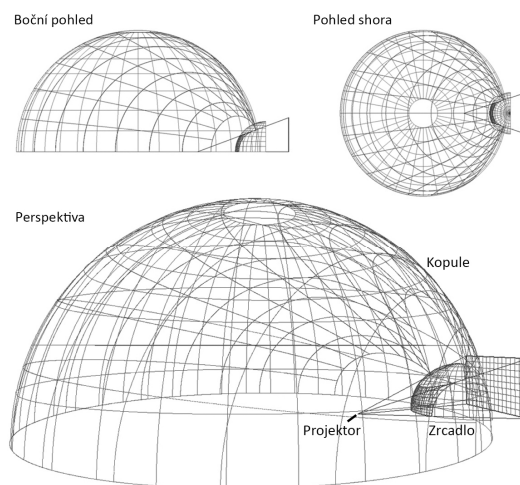
#### 2.1.2 Sférické zrcadlo

V případě planetárií je tato projekce občas označována jako tzv. *budget option*. Pro její realizaci totiž kromě běžného projektoru a sférického zrcadla není třeba žádné další speciální vybavení. A protože mnoho hvězdáren vlastní sférická zrcadla z dřívějších dob, kdy se při fotografování na film

---

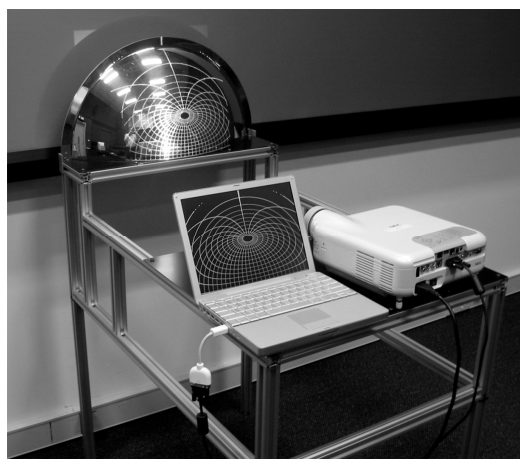
<sup>1</sup> Česky také *nadhlavník*. Jedná se o *nejvyšší místo na obloze*. Je to bod, kde se pomyslně protíná kolmice na horizontální rovinu pozorovacího místa s oblohou.

využívala pro tzv. *celooblohové snímky*<sup>2</sup>, je tak pro ně tento druh projekce nejlevnější a nejrychlejší cestou k vlastnímu planetáriu<sup>3</sup>. Schéma si můžete prohlédnout na obrázku 1.



Obr. 1: Schéma sférické projekce [5]

Bohužel kromě ceny a jednoduchosti nenabízí tento druh projekce mnoho výhod a jeho nevýhody převažují. Tou první je velmi špatné pokrytí severní části kopule, které vyplývá z technických omezení samotné projekce. Obraz bývá do značné míry deformován, bývá tmavý a málo kontrastní a jeho přizpůsobení pro tento druh projekce není snadné. [5]



Obr. 2: Příklad realizace sférické projekce [5]

<sup>2</sup> V astronomii se často pořizují snímky celé oblohy, od obzoru k obzoru. Tyto snímky mají zorné pole s úhlem větším než 120°. Obvykle se využívají pro snímkování meteorických rojů a zachytávání bolidů, protože umožňují snímání celé oblohy pomocí jediného přístroje.

<sup>3</sup> Systém fotografování oblohy pomocí sférického zrcadla byl vyvinut Astronomickým ústavem Akademie věd v Ondřejově. Díky své jednoduchosti a absenci složitých optických členů se rozšířil po celém světě. [4]

### 2.1.3 Fulldome (Fisheye, Rybí oko)

Jedná se o v současné době nejčastější druh projekce. Využívá se ve dvou základních variantách – jedno nebo víceprojektorové.

Obě verze mají mnoho společného. Stejně deformovaný vstupní obraz je pouze u víceprojektorové varianty ještě dále rozdělován řídicím počítačem/serverem mezi jednotlivé projektory, aby na sebe všechny části správně navazovaly.

Obě varianty trpí také podobnými neduhy. Mezi nejčastější patří i přes využití kvalitních a výkonných průmyslových projektorů nízký kontrast a jas promítaného obrazu. Ten je způsoben tím, že je mnohdy promítáno na větší plochu, než pro jakou je projektor konstruován, popřípadě použití dalších optických elementů. Řešení jsou omezená a nákladná, protože zahrnují pořízení výkonnějšího projektoru, popřípadě přechod na laserové projektory, jejichž ceny se v požadovaných kvalitách pohybují v milionech korun. [6]

#### 2.1.3.1 Jednoprojektorová varianta

Využívá jediný projektor umístěný ve středu planetária s objektivem typu *rybí oko* – tedy se zorným úhlem 180° ve všech směrech. Ten zajišťuje roztažení obrazu na celou kopuli.



Obr. 3: Příklad jednoprojektorové fisheye projekce (Hvězdárna a planetárium Uherský Brod, archiv autora)

Již zmíněné problémy s kontrastem a jasnem jsou nejvýraznější právě u této varianty. Tyto systémy jsou totiž cíleny především na menší planetária, kde jsou využívány standardní LED projektory.

Jeden zde pak musí často pokrýt i kopule o průměrech až 8 metrů. Řešení v podobě využití laserových projektorů zde většinou z finančních důvodů nepřipadají v úvahu – tato planetária si na ně nedokáží vydělat.

Z důvodu využití jednoho projektoru jsou využívána nižší rozlišení, nejčastěji se zde setkáme s rozlišeními HD 1080, resp. Full HD (1920 x 1080 px), WUXGA (1920 x 1200 px) nebo UHD, resp. 4K (3840 x 2160 px).

#### 2.1.3.2 Víceprojektorová varianta

Využívá několik projektorů pro dosažení stejného obrazového výstupu jako jedprojektorová varianta. To umožňuje dosáhnout vyššího celkového rozlišení obrazu. Nejčastější konfigurace jsou 2 projektory (sever, jih), 4 projektory (sever, jih, východ, západ), popřípadě 5 projektorů (sever, jih, východ, západ a zenit).

Tento systém je využíván ve větších planetáriích. Často jsou zde místo LED projektorů využívány projektory laserové. Z důvodů výše uvedených tak nejsou u této varianty zmiňované neduhy tolik patrné a obraz je velmi kvalitní. Díky využití více projektorů se zde nejčastěji setkáme se 4K<sup>4</sup> a 8K<sup>5</sup> rozlišením projekce.

## 2.2 Typy planetárií

Projekční plochy v planetáriích se od jejich počátků příliš nezměnily. Typicky se promítá na vnitřní stranu polokoule, tedy tzv. kopuli. Tyto kopule jsou instalovány v různých provedeních, které se většinou odvíjejí od druhu a velikosti planetária. Obecně je můžeme pro účely této práce rozdělit do tří skupin:

- mobilní planetária
- malá nepřenosná planetária
- konvenční planetária

Každá z těchto skupin má svá specifika, se kterými je v některých případech třeba počítat a tvorbu jim ve vybraných případech také přizpůsobit.

### 2.2.1 Mobilní planetária

Typicky malá přenosná planetária s kapacitou do 30 osob. Jako projekční plocha dnes slouží většinou nafukovací kopule se speciální úpravou na vnitřní straně. Ta je umístěna na podlahu místnosti,

---

<sup>4</sup> U nás například Hvězdárna a planetárium Brno, <https://www.hvezdarna.cz/>

<sup>5</sup> U nás například Planetárium Praha, <https://www.planetum.cz/>

na které sedí také návštěvníci (standardně usazeni zády ke stěnám). Kopule mívají různé velikosti, řádově do několika metrů. Využívá se *jednoprojektorová full dome projekce*. [2][3][6][7]

Vzhledem k tomu, že se tato planetária převážně, je třeba je na každém novém umístění znovu seřídit a nastavit. Tato procedura sice není obtížná, protože ale často probíhá v časové tísní, ustavení planetária a projekčního systému nemusí být naprosto přesné a obraz nemusí být perfektně ostrý jako v běžném planetáriu. Jsou také náchylná k nejrůznějším *nehodám*, kdy někdo strčí např. do projektoru nebo kopule a tím rozhodí celý systém.

Mezi provozovatele takovýchto planetárií na území České a Slovenské republiky patří například společnost Mobilní planetárium<sup>6</sup>, Hvezdáreň v Partizánskom<sup>7</sup> a další.



Obr. 4: Ukázka přenosného planetária (Hvezdáreň v Partizánskom) [8]

### 2.2.2 Malá nepřenosná planetária

Jedná se o nový druh planetárií, která se začala v posledních letech objevovat. Jde o modifikaci mobilních planetárií (využívají se stejné nebo podobné projekční a řídicí systémy) s tím rozdílem, že je vše pevně instalováno na jedno místo a nelze je převážet.

Projektor je umístěn na sloupek ve středu planetária, návštěvníci sedí na židlích buď zády k severu, nebo ke stěnám kopule (dle preferencí provozovatele). Kopule už nebývá nafukovací, využívá většinou konstrukce na bázi podtlaku – kopule je v podstatě vak, ze kterého je odčerpáván vzduch a tím je celá konstrukce napínána. Můžeme se ale také setkat s konstrukcemi s látkovým nebo plechovým povrchem. [7]

<sup>6</sup> Mobilní planetárium, <http://www.mobilniplanetarium.cz>

<sup>7</sup> Hvezdáreň v Partizánskom, <http://www.hvezdaren.sk>



Celá kopule bývá často nakloněna o 5 až 20° směrem k jihu pro zajištění snadného příchodu a odchodu návštěvníků. K tématu náklonu kopule se však ještě vrátíme v samostatné kapitole, kde budou zmíněny i náležité reference a další informace.

### 2.2.3 Konvenční planetária

Na území České republiky se v drtivé většině případů jedná o běžná planetária, která začínala své fungování jako mechanická a s postupem času se transformovala v digitální. Ve výjimečných případech se pak jedná o novostavby.

Kopule bývá zděná s vodorovnou spodní hranou (neprošlo-li planetárium přestavbou; u nás například Planetárium Ostrava<sup>8</sup>) nebo textilní a pod náklonem 5 až 20° (novostavby a planetária po velkých rekonstrukcích; např. Hvězdárna a planetárium Brno<sup>9</sup>). Tématu náklonu kopule se budeme věnovat v následující kapitole.

Využívá se především *víceprojektorová full dome projekce*. Projektoři bývají umístěny buď uprostřed konstrukce ve středu místnosti, nebo po okrajích kopule nad úrovní hlav návštěvníků. Často se jedná o laserové modely, které umožňují mnohem věrnější podání barev a lepší kontrast než běžné LED varianty.

Na rozdíl od předchozích kategorií jsou tato planetária řádově větší a mívají často kapacitu 100 a více návštěvníků.

## 2.3 Planetária a náklon kopule

### 2.3.1 Historický kontext a funkce planetárií

Již několikrát jsme zde zmiňovali informaci, že kopule *statických* planetárií bývají skloněny o přibližně 5 až 20° směrem k jihu. Je však třeba tyto informace uvést na pravou míru a podložit je potřebnými daty.

V začátcích sloužila planetária především k *simulaci* noční oblohy. Projekce byla zajištěna tzv. *projekčním planetáriem* složeným z opticko-mechanických prvků. Bylo možné zobrazovat pozice hvězd a souhvězdí, Slunce, Měsíce, planet sluneční soustavy a také různých slabých objektů, jako jsou například ty z Messierova katalogu. [9]

Kopule byly stavěny většinou zděné, velmi výjimečně byla využita projekce na děrovaný plech. Tato planetária vznikala především jako součásti *krajských* hvězdáren. [2]

---

<sup>8</sup> Planetárium Ostrava, <https://planetariumostrava.cz>

<sup>9</sup> Hvězdárna a planetárium Brno, <https://www.hvezdarna.cz>

V posledních letech se také začínají objevovat informace, že za velkým bohem stavby hvězdáren a planetárií v období komunistického Československa měla údajně stát snaha komunistické strany o potlačení vlivu nejrůznějších církví. Hlavní myšlenkou bylo, že pokud budou občané dostatečně informováni o tom, jak vesmír vypadá, co všechno se v něm nachází a jak funguje, oslabí to jejich víru a tím upevní komunistickou moc. Zda jsou tato tvrzení pravdivá dnes již s největší pravděpodobností neověříme (a asi by je nebylo možné ověřit ani před rokem 1989). Faktem však ale zůstává, že na rozlohu České republiky je u nás neobvykle vysoký počet hvězdáren a planetárií. [2]

Původním primárním účelem těchto planetárií tedy bylo *informovat*. Ukázat lidem, jak vesmír funguje, co se v něm nachází a co lze aktuálně na obloze pozorovat.

S rozvojem moderních technologií, především pak počítačové a digitální projekční techniky, se však toto změnilo. Možnosti projekce se značně rozšířily, což umožnilo například promítání fotografií, animací a filmů na celou plochu kopule. [2]

Moderní planetária jsou víceúčelová zařízení, která slouží nejen k poznávání oblohy a vesmíru skrze projekci oblohy, ale také ke vzdělávání s využitím animací a filmů. Často se také neomezují pouze na témata astronomie a kosmonautiky, ale také na biologii, archeologii a další vědní obory. Některé programy si naopak kladou za cíl kulturně-umělecké vyžití a kombinují tak hudbu s vizuálními efekty bez sdělování konkrétních relevantních vědeckých informací. [6][7]

Představu o celkové rozmanitosti globální programové nabídky planetárií lze získat například na webu Fddb<sup>10</sup>, který je obdobou webu IMDB<sup>11</sup>. Podobně jako se IMDB snaží sdružovat informace o všech filmech, televizních filmech a seriálech, které byly kdy vyprodukovány, Fddb plní stejnou funkci pro pořady pro planetária.

### 2.3.2 Náklon kopule

Jak je uvedeno v předchozí kapitole, původní planetária měla za úkol simulovat vzhled a chování reálné oblohy. Tomu byl přizpůsobeno i řešení kopule. Podlaha byla rovná, sedadla většinou v koncentrickém rozložení kolem projekčního systému v samotném středu. Spodní hrana kopule pak byla rovnoběžná s rovinnou horizontu, aby simulovala právě pomyslný dokonalý horizont, který není narušován budovami, kopci atd. [2]

---

<sup>10</sup> Fddb – FullDome Database, <https://www.fddb.org>

<sup>11</sup> IMDB – International Movie Database, <https://www.imdb.com>

Nedošlo-li v případě takovýchto planetárií v posledních letech k zásadní přestavbě, zůstává ve většině případů tato koncepce zachována. Najdou se však i případy, kdy byla tato koncepce zachována i po velké přestavbě, např. v případě Planetária Ostrava<sup>12</sup>.

Právě s ohledem na širší programovou náplň dnešních planetárií bývá volena konstrukce kopule, kdy je pomyslný horizont skloněn směrem k jihu. Návštěvníci již nejsou usazeni koncentricky zády k obvodovým stěnám kopule, ale naopak sedí čelem k jihu a zády k severu. Případně je navíc stupňovitá i samotná podlaha planetária. Tento přístup má totiž několik výhod.

V první řadě se pro pohled alespoň na jižní stranu kopule není třeba tolik zaklánět. To znamená větší pohodlí pro návštěvníky, pokud je výklad vázaný k jednomu konkrétnímu objektu, promítá se film, či probíhá běžná přednáška. Je-li navíc stupňovitá podlaha, návštěvníci si navzájem *nezaclánějí* a mají tak mnohem lepší výhled.

U menších planetárií tento náklon umožňuje posazení kopule níže, než by bylo obvykle možné. Díky tomu se kompenzuje menší rozměr kopule, která je tak návštěvníkům blíže. Sklon pak vytváří na severní straně dostatečně vysoký průchod, aby byl vstup do planetária pohodlný i pro vyšší návštěvníky. Další výhodou je, že nejsou tak velké nároky na výšku prostor, kam je planetárium umístěno.

Přijetí tohoto nového *standardu* má ještě jeden důležitý efekt. Tvůrci pořadů díky náklonu kopule k jižní straně vědí, kam se bude většina návštěvníků dívat. Proto mohou koncipovat své programy jednoduše tak, že *to důležité* je umístěno právě nad jižní obzor. Zpětně pak hromadné přijetí tohoto standardu mezi tvůrci obsahu tlačí na planetária, aby právě tento *standard* přijala.

Dochází-li tedy v současnosti k zásadní modernizaci, či stavbě nového planetária, většinou je koncipováno tak, aby byla kopule skloněna o 5 až 20° směrem k jihu. [2][6][7]

Příkladem takovéto rekonstrukce u velkého planetária může být Hvězdárna a planetárium Brno, kde před rekonstrukcí byla sice podlaha se sedadly mírně stupňovitá, spodní hrana kopule však byla rovnoběžná s horizontem. [12] Po rekonstrukci je však v kopuli umístěna konstrukce, která drží novou projekční plochu, která je již skloněná směrem k jihu. [13]

Jako novostavbu pak můžeme uvést projekt planetária v Hradci Králové, které bylo postaveno také v tomto duchu. [14]

---

<sup>12</sup> Kompletní oprava celého areálu hvězdárny a planetária byla dokončena v roce 2014 bez zásahu do způsobu konstrukce kopule. [10][11]

V případě malých planetárií postavených v posledních letech lze zase zmínit třeba Hvězdárnu a planetárium Uherský Brod<sup>13</sup>, nebo Planetárium Havlíčkův Brod. [15]

Použité sklony kopulí se liší. Tyto údaje nejsou standardně dostupné – z vlastních měření lze uvést několik příkladů:

- Hvězdárna a planetárium Ostrava – sklon 0°
- Hvězdárna a planetárium Brno – sklon přibližně 6°
- Hvězdárna a planetárium v Hradci Králové – sklon přibližně 8°
- Hvězdárna a planetárium Uherský Brod – sklon přibližně 10°
- Planetárium Havlíčkův Brod – sklon přibližně 10°

## 2.4 Řídící systémy planetárií

Informace o řídicích systémech planetárií se získávají obtížně. Mnohá velká planetária využívají vlastní systémy, které si již dlouhodobě vyvíjí *in-house*, nebo mají dodavatele, který je pro ně vyvíjí na zakázku. O informace se pak mnohdy nechtějí dělit (o samotném software ani nemluvě). Ostatní planetária mají omezené možnosti. Z velkých a časem ověřených systémů, se kterými se můžete setkat v České republice a na Slovensku, jsou nejčastější dva – SpaceCrafter (dříve pojmenovaný Stellarium 360) a SkyExplorer. [3][6][7]

### 2.4.1 SpaceCrafter (Stellarium 360)

Jak již původní název napovídá, SpaceCrafter je odvozený od populárního open-source software jménem Stellarium. Jedná se o modifikaci tohoto virtuálního planetária uzpůsobenou pro *fulldome* projekci v planetáriích včetně úprav uživatelského rozhraní a integrace vzdáleného ovládání. Vyvíjí jej skupina LSS Group a je poskytován ve dvou verzích. [16]

Ve variantě, která je zdarma k dispozici, obsahuje základní možnosti řízení pomocí příkazové konzole. S touto verzí se ovšem příliš neseťkáte. Pro použití v planetáriích se moc nehodí kvůli svým omezeným možnostem. [16]

Verze s placenými rozšířeními pak otevírá další možnosti například o software pro dálkové řízení MasterPut, synchronizační software MasterSweep, 3D modely, přehrávání VR360 videa, interakci s 3D modely v reálném čase pomocí ovladače DualShock4 pro PlayStation 4 a další. [6][7][16]

---

<sup>13</sup> Informace z archivu autora. Autor této práce je od roku 2008 demonstrátorem a od roku 2015 zaměstnancem Hvězdárny a planetária Uherský Brod.

Právě placená verze je velmi rozšířená – využívá ji velké množství mobilních planetárií na území České republiky a Slovenska [6][7] a je do značné míry rozšířená i mezi malá nepřenosná planetária, která jsou od těch mobilních odvozena. [6][7]

Hlavní částí SpaceCrafteru je projekce aktuální oblohy, na které lze zvětšovat různé objekty, vyvolávat obrázky, animace a videa. Celá práce se systémem je soustředěna právě kolem tohoto pohledu a ostatní prvky (již zmíněná videa, obrázky, animace, 3D modely atd.) se zdají být z pohledu návštěvníka samostatné, nepropojené se zbytkem systému.

#### 2.4.2 SkyExplorer

Jedná se o profesionální komerční řešení od společnosti RSA Cosmos, která má v tomto oboru dlouholetou tradici a zabývá se tvorbou komplexních řešení a pořadů pro planetária po celém světě. Na rozdíl od SpaceCrafteru by se dal označit za model známého vesmíru dle aktuální úrovně jeho poznání. Umožňuje volný pohyb v podstatě celým vesmírem. Díky tomu jsou jednotlivé části pocitově mnohem provázanější a demonstrátor nemusí tak často pouštět videa, která je nezdárka těžké navázat na běžný výklad. [17]

SkyExplorer nabízí také pokročilý software pro přípravu vlastních skriptů a programů a umožňuje rychlý import videí a dalších materiálů přímo do systému (např. z USB flash disku, externího disku atd.). [17]

Protože se jedná o komerční produkt, jehož cena je vysoká, je možné se s ním setkat především ve velkých planetáriích, u nás například na Hvězdárně a planetáriu Brno, na Slovensku pak například v Slovenské ústředné hvězdárni Hurbanovo. [3]

### 2.5 Hvězdárna a planetárium Uherský Brod

Planetárium v Uherském Brodě se nachází v prostorách bývalé plynové kotelny na místním Domě kultury. Jako projekční plocha slouží textilní kopule napínaná podtlakem (odsáváním vzduchu) o průměru 5 metrů.

O projekci se stará jediný projektor s objektivem typu rybí oko. Rozlišení projektoru je WUXGA (1920 x 1200 px), z něj je promítán pouze středový kruh s rozlišením 1200 x 1200 px.

Jako řídicí systém byl využíván systém Stellarium 360, začátkem prosince 2018 byl pak proveden upgrade na novější verzi s názvem SpaceCrafter. Ten byl spojený i s výměnou části hardware (především grafické karty) a rozšířením úložiště o dodatečné 2 TB (původně 512 GB).

## 3. Programy

### 3.1 Druhy programů

Nabídka filmů pro planetária je různorodá. Napříč všemi cílovými skupinami se lze setkat s pohádkami, dokumenty, vzdělávacími pořady a dalšími ať už ve formě 3D animovaných filmů, tak filmů natáčených na 360° kamery, nebo pomocí objektivů typu *rybí oko*.

Délka se běžně pohybuje v rozmezí od 10 do 45 minut dle obsáhlosti a náročnosti zvoleného tématu, nejběžněji však kolem 30 minut. Standardem je dnes 4K rozlišení a frekvence 29,97, resp. 30 snímků za sekundu. [18]

Méně často je možné se setkat s programy s frekvencí 24, resp. 25 snímků za vteřinu, zcela výjimečně pak 60 snímků za vteřinu. Ojedinelé jsou stále také pořady v rozlišení 8K. [18]

Nemá-li planetárium zájem o celý film, jsou možnosti již do značné míry omezené. Zde se již parametry různí. Rozlišení se pohybují od HD (720 x 720 px) až po 8K. Z vlastní zkušenosti se získáváním videí se nejčastěji setkáme se snímkovou frekvencí 24 a 30 snímků za sekundu.

### 3.2 Nabídka videí

Jak již bylo uvedeno, větší množství videí lze získat s nákupem placeného rozšíření řídicího systému SpaceCrafter. Menší nabídku pak má volně na svém webu také *ESA*<sup>14</sup> a *Hubble Space Telescope*<sup>15</sup>. Jiné zdroje ale téměř neexistují, maximálně ve formě trailerů k nejrůznějším filmům. [6]

Videa dodávaná se SpaceCrafterem mají poměrně dobrou kvalitu, větší část z nich však není primárně určena pro planetária – jedná se totiž o běžná videa, která jsou pouze deformována tak, aby se na projekční ploše planetária zobrazovala *správně*. Menší počet z nich je pak skutečnými tzv. *fulldome* videi – tedy videi určenými pro projekci na kopuli planetária.

Už jen díky různým způsobům vykreslování na sebe videa příliš dobře nenasazují.

### 3.3 Filmy pro děti předškolního a nižšího školního věku

Mezi pořady pro cílovou skupinu dětí ve věku přibližně od 5 do 13 let (tedy konec mateřské školy až 6. třída základní školy) se můžeme setkat se dvěma mírně odlišnými přístupy. Obě skupiny filmů mají společné to, že je pořad pojat formou pohádky. V hlavní roli je příběh, jehož cílem je děti zabavit.

---

<sup>14</sup> Dostupné online: <https://www.eso.org/public/videos/archive/category/fulldome>

<sup>15</sup> Dostupné online: <https://www.spacetelescope.org/videos/archive/category/fulldome>

První skupina pořadů se snaží co nejvíce držet příběhu. Pořad tak děti skutečně zabaví, ve výsledku je ale nic nového nenaučí a je z něj běžná pohádka, která se jenom odehrává na jiné planetě, vesmírné lodi atd. Grafické zpracování bývá silně stylizované, tvůrci rádi využívají možnosti 3D projekce ve velkých planetářiích. Typickým představitelem této skupiny je například *Polaris*<sup>16</sup>.



Obr. 5: *Polaris* [18]

Druhá skupina zahrnuje pořady, které se (zdánlivě) snaží kompenzovat nedostatky již zmíněných programů. Jejich cílem je publikum vzdělat v problematice astronomie, nebo příbuzných vědních oborů. Pořady se tak často věnují i velmi komplikovaným tématům, která jsou obtížná na pochopení. Typickým představitelem této kategorie je například *Tajemství gravitace*<sup>17</sup>.



Obr. 6: *Tajemství gravitace* [18]

<sup>16</sup> Dostupné online: <https://www.fddb.org/fulldome-shows/polaris-the-space-submarine-and-the-mystery-of-the-polar-night/>

<sup>17</sup> Dostupné online: <https://www.fddb.org/fulldome-shows/the-secrets-of-gravity-in-the-footsteps-of/>

Grafické zpracování je u obou skupin různorodé, převažuje však stylizovaná grafika v mnohém připomínající animované filmy počátku minulého desetiletí.

### 3.4 Filmy pro starší diváky

V pořadech pro starší diváky převažují běžné dokumenty, které již stylizované nebývají. Podobně jako u mladších diváků se objevují různá témata od astronomie a kosmonautiky až po další vědní obory. [18]

V grafickém zpracování bývá kladen důraz na fotorealismus. Příběhy a pohádky se neobjevují, naopak, cílem je poutavé předání informací divákům.



## 4. Popis fungování systému SpaceCrafter

V rámci této práce se budeme zaměřovat na planetária, která jako řídicí systém využívají SpaceCrafter ve verzi s placenými rozšířeními, tedy většinou mobilní a malá nepřenosná planetária. [6]

SpaceCrafter se skládá ze dvou základních částí: vlastní aplikace, která běží na řídicím počítači a programů MasterPut a MasterSweep, běžících na tabletu, který slouží pro vzdálené ovládání. Tablet a řídicí počítač jsou typicky propojeny po uzavřené síti pomocí WiFi bez připojení k internetu. [7]

Na úvod také uvedeme, že veškeré poznatky o vnitřním fungování aplikací byly získány pomocí reverzního inženýrství, protože s výjimkou uživatelských manuálů [19][20] neexistuje k těmto programům žádná dokumentace. Informace o Stellarium 360/SpaceCrafteru pocházejí hlavně ze zmiňovaného uživatelského manuálu v kombinaci se sledováním struktury celého systému a jeho reakcí na různé vstupy. Fungování MasterPutu a MasterSweePU bylo rozebíráno především pomocí sledování síťového provozu aplikací Wireshark, několik detailů pak vyplývá z uživatelské příručky a sledování chování.

### 4.1 Řídicí systém SpaceCrafter

Jak jsme již uvedli, SpaceCrafter, dříve pojmenovaný Stellarium 360, je založen na open-source projektu Stellarium<sup>18</sup>, což je virtuální planetárium pro zařízení s operačními systémy Windows, MacOS, Linux a Android. Velkou část funkcionality tedy přebírá od něj.

Aplikace je vyvíjena pouze pro operační systém Linux. Stellarium 360 vyžadovalo použití distribuce Mageia, současný SpaceCrafter pak Xubuntu. Systém je velmi málo odolný proti změnám, jeho připojení k internetu je tedy fakticky nemožné – aktualizace libovolné složky systému může znamenat kompletní vyřazení řídicího systému z provozu, jak jsme se sami přesvědčili na podzim roku 2016.

Kromě projekce (nejen) aktuální oblohy umožňuje zobrazování obrázků, přehrávání videí, skriptů *běžného* Stellaria, zobrazování 3D modelů a další, jak již bylo popsáno v kapitole 2.4.1. Vše je interně řešeno pomocí skriptů. Dle požadované operace se využívá buď skriptovací jazyk samotného Stellaria (např. výběr souhvězdí, přiblížení planety), nebo bash (např. zobrazení obrázku, přehrání videa).

Obrázky určené pro zobrazení musí být uloženy v předem určených složkách. Obrázky jsou již v počítači rozděleny dle obrazovek programu MasterPut, musí být ve formátu PNG s rozlišením

---

<sup>18</sup> Open-source projekt virtuálního planetária Stellarium, dostupný online: <https://stellarium.org>

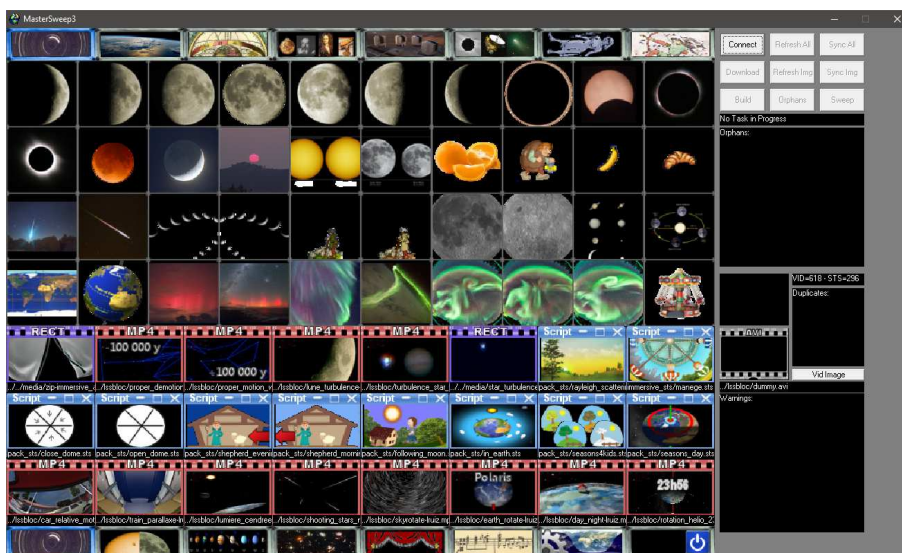
1200 x 1200 px a pojmenovány 01.png až 40.png. Nemá-li obrázek formát s poměrem stran 1:1, je nutné jej doplnit o barevné/průhledné pozadí. V opačném případě by totiž po jeho výběru nedošlo k promítnutí na kopuli planetária.

V případě videí jsou pravidla volnější. Mohou být umístěna v libovolných podsložkách hlavního adresáře pro obsah a mohou mít libovolné názvy a rozlišení. V případě Stellaria 360 byly podporovány pouze soubory typu AVI (kodeky DivX, Xvid) a MOV. V planetáriu úplně chyběla podpora pro MP4 video s kodeky H.264 pro video a AAC pro audio<sup>19</sup>. Tuto funkcionalitu doplnila až nová verze s názvem SpaceCrafter. Která videa jsou přístupná z tabletu, určuje konfigurační soubor programu MasterPut.

V této verzi (s placenými rozšířeními) aplikace postrádá webové rozhraní pro dálkové řízení, které je obsaženo v open-source variantě. To je nahrazeno FTP serverem běžícím na řídicím počítači, ke kterému se tablet zajišťující vzdálené ovládání připojuje.

## 4.2 MasterSweep

Stará se o synchronizaci obsahu (obrázky, videa, audio a skripty) mezi řídicím systémem a programem MasterPut. Ukázkou jeho uživatelského prostředí naleznete na následujícím obrázku. Detailní rozbor jeho fungování není pro účely této práce příliš podstatný, omezíme se proto pouze na popis základních principů, na kterých pracuje.



Obr. 7: MasterSweep

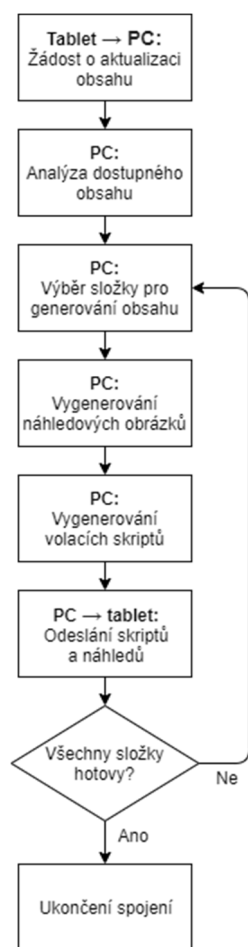
<sup>19</sup> Přehrání videí s kodekem H.264 bylo na řídicím počítači možné, ale jen mimo systém planetária a video nesmělo obsahovat audio kódované kodekem AAC.

Je-li spuštěna synchronizace, MasterSweep se připojí k FTP serveru na řídicím počítači. Zde postupně prochází předdefinované složky s obrázky, generuje jejich miniatury pro zobrazení na tabletu a zobrazovací skripty, které v případě jejich vybrání zajistí projekci. Souběžně je procházen konfigurační soubor programu MasterPut pro videa. I pro ta jsou generovány spouštěcí skripty a náhledy.

Všechna data jsou po dokončení generování stažena do tabletu, kde jsou vložena do adresářové struktury programu MasterPut. Z miniatur jsou vygenerovány náhledy pro použití na jednotlivých obrazovkách.

Celá operace je poměrně náročná, její provedení trvá v řádu desítek minut. V případě konkrétní instalace v planetáriu v Uherském Brodě zabere plná synchronizace přibližně 30 až 45 minut. Diagram celého procesu najdete na následujícím obrázku.

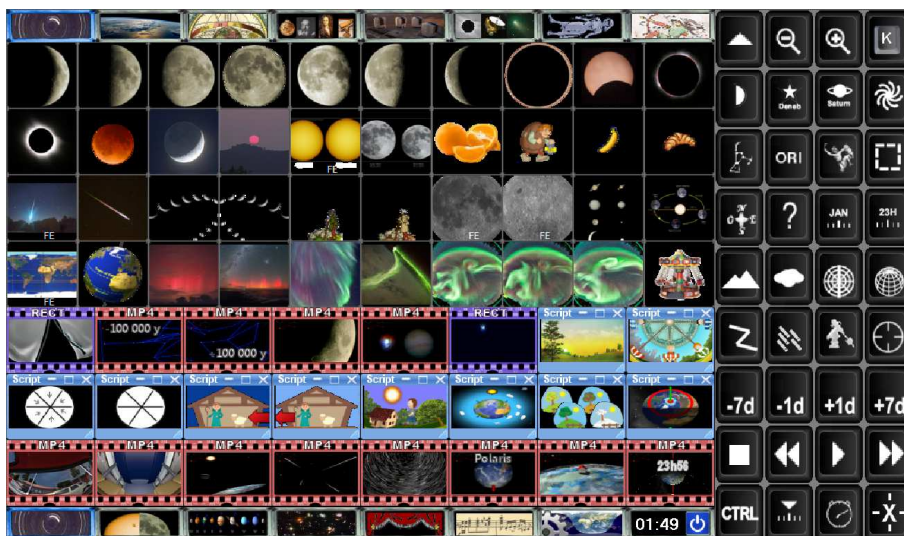
Vzhledem k jejich provázanosti jsou MasterSweep i MasterPut součástí jediného balíčku a jsou vyvíjeny pouze pro operační systém Windows.



Obr. 8: Diagram synchronizace programu MasterSweep

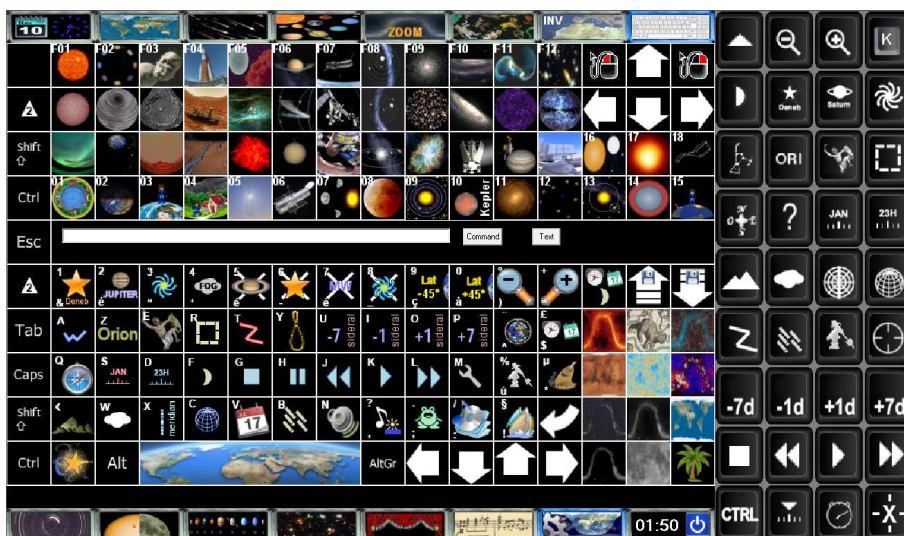
### 4.3 MasterPut

Slouží pro dálkové ovládání programu SpaceCrafter. Jeho rozhraní je rozděleno do 7 základních částí a virtuální klávesnice. Každá část se pak dělí na dalších 8 obrazovek. Na každou z nich lze umístit do horní části celkem 40 obrázků nebo audio souborů, do dolní části pak 24 videosouborů nebo skriptů, jak je možné vidět na následujícím obrázku. Obsah je tematicky rozdělen do skupin pokrývajících jednotlivé obrazovky. V pravé části se pak nachází několik kláves virtuální klávesnice, které umožňují přístup k vybraným základním funkcím.



Obr. 9: Uživatelské rozhraní programu MasterPut

Interně jsou jednotlivé obrazovky pouze obrázky ve formátu BMP, které při synchronizaci popsané v předešlé kapitole vytvořil MasterSweep. Nad tímto obrázkem je poté vrstva průhledných tlačítek, která po kliknutí zajišťuje spuštění požadované akce, videa nebo zobrazení obrázku.



Obr. 10: Virtuální klávesnice programu MasterPut

Aplikaci téměř není možné konfigurovat, lze pouze nastavit rozlišení obrazovky tabletu a IP adresu řídicího počítače. Změna těchto voleb se stejně jako přidávání videí provádí manuálně v konfiguračním textovém souboru, jehož ukázkou naleznete na následujícím obrázku. Systém je tedy náchylný na uživatelské chyby.

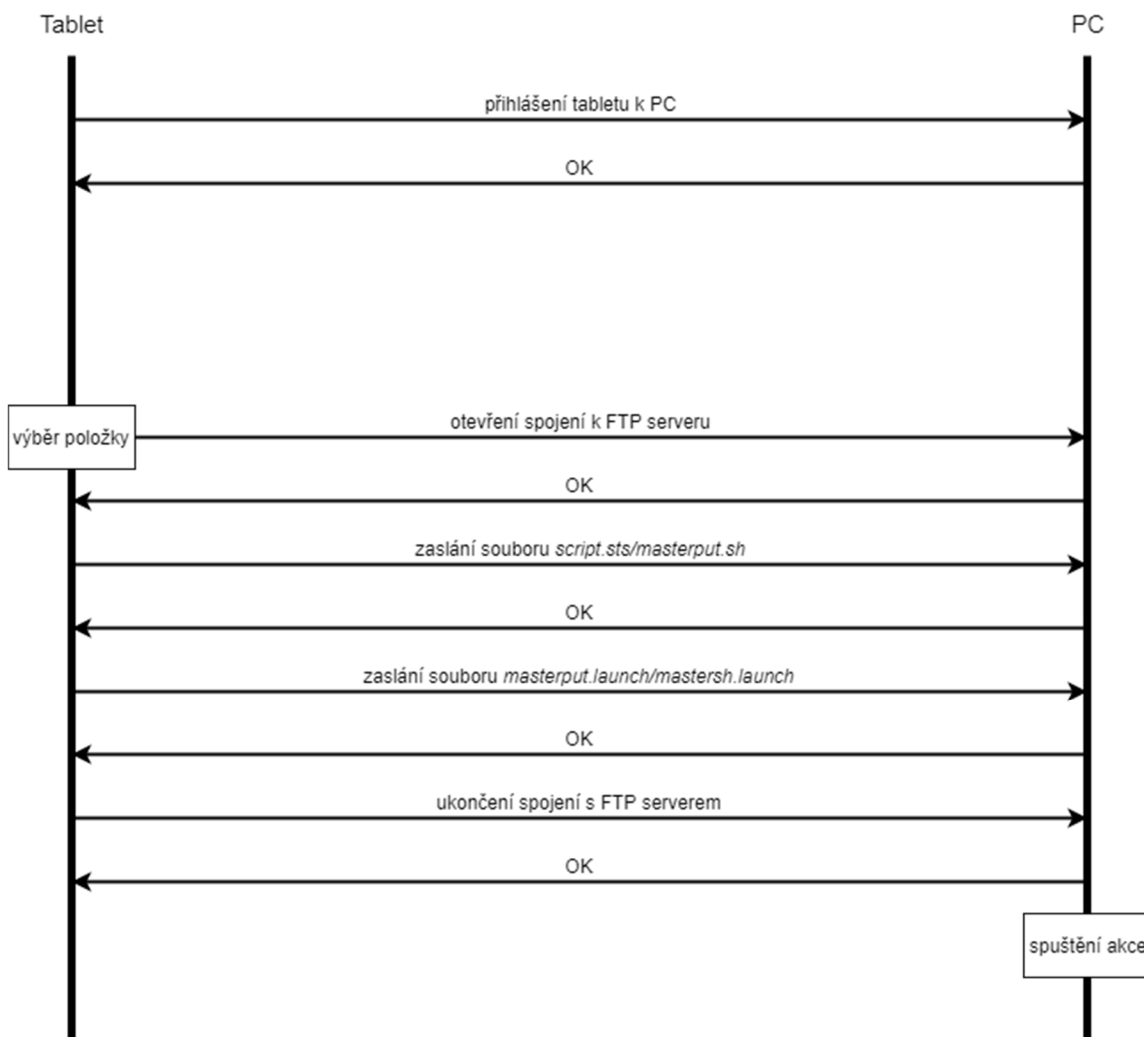
```
192.168.0.11;spacecrafter17;1024;768;0;180
01basis/base1/
../media/zip-immersive_adventure-trnsp.mp4
../lssbloc/proper_demotion_winter-lruiz.mp4
../lssbloc/proper_motion_winter-lruiz.mp4
../lssbloc/lune_turbulence-lruiz.mp4
../lssbloc/turbulence_star_planet-lruiz.mp4
../media/star_turbulence-lruiz.avi
pack_sts/rayleigh_scattering.sts
immersive_sts/manege.sts
pack_sts/close_dome.sts
pack_sts/open_dome.sts
pack_sts/shepherd_evening.sts
pack_sts/shepherd_morning.sts
pack_sts/following_moon.sts
pack_sts/in_earth.sts
pack_sts/seasons4kids.sts
pack_sts/seasons_day.sts
../lssbloc/car_relative_motion-lruiz.mp4
../lssbloc/train_parallaxe-lruiz.mp4
../lssbloc/lumiere_cendree-lruiz.mp4
../lssbloc/shooting_stars_ns-lruiz.mp4
../lssbloc/skyrotate-lruiz.mp4
../lssbloc/earth_rotate-lruiz.mp4
../lssbloc/day_night-lruiz.mp4
../lssbloc/rotation_helio_23h56-lruiz.mp4
```

Obr. 11: Ukázka konfiguračního souboru aplikace MasterPut

Jak již bylo uvedeno, MaserPut po synchronizaci s řídicím počítačem pomocí programu MasterSweep obsahuje spouštěcí skripty pro veškerý obsah, který je skrze něj dostupný. Navíc pak obsahuje předdefinované skripty pro operace přiřazené klávesám virtuální klávesnice.

Následující popis komunikace je poměrně složitý, pro větší názornost si jej můžete prohlédnout na přiloženém diagramu na konci této kapitoly.

Při svém startu se MasterPut přihlásí k FTP serveru na řídicím počítači. Pokud pak uživatel vybere nějakou akci, program dohledá ve své vlastní databázi příslušný spouštěcí skript a ten nahraje na FTP server počítače. Nahrávaný soubor se jmenuje script.sts, pokud se jedná o skript Stellaria, masterput.sh, pokud se jedná o bash skript. Po dokončení přenosu je dále zaslán soubor masterput.launch, popř. mastersh.launch. SpaceCrafter sleduje změny v adresáři FTP serveru a po úspěšném přijetí druhého souboru provede skript, který se nachází v tom prvním.



Obr. 12: Diagram komunikace mezi programem MasterPut a SpaceCrafterem

Z výše uvedeného diagramu lze také již nyní odvodit jeden z potenciálních problémů programu MasterPut, na který si uživatelé stěžují. [7] Aplikace se při *každém* spuštění rovnou pokusí připojit k řídicímu počítači a tomuto kroku nelze nijak zabránit. Dojde-li tedy například ke spuštění MasterPutu na tabletu dříve než ke spuštění řídicího počítače, aplikace začne zobrazovat varovná hlášení. Ta se ovšem zobrazují opakovaně po uplynutí přibližně 1 sekundy a začnou se tak na obrazovce vršit. Jedná se o modální okna, proto je v takovém případě ukončení MasterPutu velmi obtížné. Tomuto problému nepomáhá ani to, že zpráva v okně je psána ve francouzštině a vyskakování nových oken se nezastaví ani po spuštění/připojení řídicího počítače. Pro zastavení vyskakování dalších oken je třeba MasterPut ukončit a znovu jej spustit.

V některých případech se vyskakování nových oken zastaví i bez připojení řídicího počítače – jedná se však o ojedinělé případy a nepodařilo se zatím vysledovat příčinu tohoto chování.

## 5. Navrhované řešení

### 5.1 Aplikace pro ovládání z tabletu

Hned v úvodu je potřeba zmínit, že aby byla aplikace dobře použitelná, měla by splňovat několik základních požadavků.

#### a) **Uzpůsobení pro provoz v planetáriu**

Pro co největší přiblížení se reálným podmínkám probíhají programy v planetáriu za co největší tmy. Jediným zdrojem světla by mělo být projekční a ovládací zařízení. Z tohoto důvodu je třeba UI aplikace vytvořit ve tmavých barvách (černá), jako kontrastní barvu pro text a ovládací prvky pak využít červenou<sup>20</sup>, popř. šedou barvu.

#### b) **Uzpůsobení pro dotykové ovládání**

Aplikace poběží na tabletu s operačním systémem Windows. Je tedy nutné ji přizpůsobit dotykovému ovládání a brát v úvahu i malé displeje s malým rozlišením (např. 7" displej s rozlišením 1024 na 768 px).

#### c) **Jednoduché ovládání**

Případy, kdy jsou zaměstnanci hvězdáren a planetárií již důchodového věku, nejsou nikterak vzácné. Je tedy nutné, aby ovládání bylo intuitivní a jednoduché, aby se aplikace dobře ovládala i této skupině uživatelů.

#### d) **Snadná konfigurace a rozšíření o další obsah**

Nejen ovládání, ale i nastavení aplikace by mělo být jednodušší než přepisování řádek v textovém souboru. Nastavení aplikace by mělo být součástí GUI, aby byla zajištěna validnost vstupů a snížila se tak možnost narušení funkcionality systému vlivem chyby uživatele. Dále by mělo být snadné systém rozšířit o další videa, která nejsou součástí řešení navrhovaného v této práci.

Z důvodů uvedených výše by aplikace měla více spoléhat na text a popisky. V případě MasterPutu dochází totiž často k problémům s tím, že uživatel neví, co vlastně vybírá. Celé GUI totiž tvoří pouze obrázky.

---

<sup>20</sup> Z celého spektra je lidské oko nejméně vyváděno z adaptace na tmou právě světlem červené barvy. Protože plné přizpůsobení lidského zraku na tmou může trvat více než půl hodiny, je důležité, aby návštěvníci ani demonstrátor nebyli zbytečně oslňováni intenzivními zdroji světla. Vzhledem k nízké citlivosti lidského zraku na červenou barvu tak při jejím použití lidské oko nevychází z tzv. *pohody*, není oslňováno a zachovává si přizpůsobení na nastolené světelné podmínky. [21]

Aplikace umožní postupné vytvoření playlistu (seznamu přehrávaných souborů) z dostupných videí. Nad ním půjde provádět základní operace jako odebrání položky. Bude také možné základní ovládání přehrávání – tedy spustit a zastavit. Pozastavení a obnovení přehrávání a okamžitý skok na následující položku playlistu není s ohledem na možnosti SpaceCrafteru možný. Vytvořený playlist bude možné uložit do souboru pro pozdější užití při např. následujícím programu pro veřejnost. Přehrávání videí bude plynulé, přechody mezi jednotlivými soubory pro diváka neznatelné, aby nebyl vytrháván z výkladu.

Bude možná jednoduchá konfigurace programu včetně snadné rozšiřitelnosti o další obsah.

## 5.2 Pořad

Po konzultacích s pracovníky planetária jsme přistoupili v této fázi práce k realizaci nelineárního pořadu popisujícího sluneční soustavu. Výstupem by tedy měl být kromě software také soubor videí, který společně s již existujícím obsahem planetária dokáže tematicky obsáhnout všechna důležitá tělesa sluneční soustavy a společně s výkladem demonstrátora sdělit potřebné základní informace. Zahrnuta jsou následující tělesa:

- 1) Slunce
- 2) Merkur
- 3) Venuše
- 4) Země
  - a) Měsíc
- 5) Mars
- 6) Jupiter
  - a) Io
  - b) Europa
  - c) Ganymedes
- 7) Saturn
  - a) Titan
  - b) Enceladus
- 8) Uran
- 9) Neptun
- 10) Pluto
  - a) Charon

Jednotlivá videa budou koncipována tak, aby svým stylem připomínala již existující obsah planetária a bylo je tak možné z pohledu návštěvníka považovat za jeden celek.



## 6. Implementace v semestrálním projektu

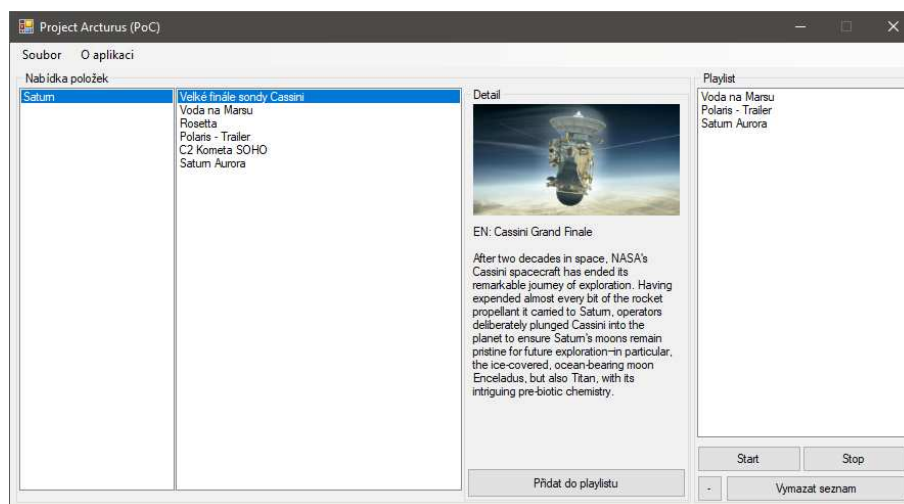
### 6.1 Aplikace (pracovní název Project Arcturus)

Aplikace byla prvotně implementována v *proof-of-concept* verzi. Použit byl jazyk C#/.NET s využitím knihovny Windows Forms pro GUI.

K výběru tohoto jazyka došlo z několika důvodů. Byť se jedná o jazyk, ve kterém autor pracuje nejkratší dobu, je si jeho užíváním nejjistější. Dále pak poskytuje velmi přívětivé rozhraní pro komunikaci s FTP servery, které vyžaduje minimum kódu (pro odeslání souboru na FTP server stačí tři řádky, nepočítáme-li složené závorky) a protože aplikace poběží výhradně na strojích využívajících Windows 8 a novější, naskýtá se také možnost využít některé z nativních knihoven tohoto operačního systému.

Cílem programu bylo především prezentovat proveditelnost a funkčnost klíčových vlastností výsledné aplikace. Mnohé vlastnosti a funkce popisované v předešlé kapitole tak nebyly přítomny.

Uživatelské rozhraní se dělilo na dvě části. Na pravé straně okna se nacházel playlist s tlačítky pro základní operace – zahájení a zastavení přehrávání, odebrání položky z playlistu a jeho úplné smazání.



Obr. 13: Náhled testovacího UI (Project Arcturus)

Zbytek okna zabírala část věnující se dostupnému obsahu. Úplně vlevo byl seznam jednotlivých kategorií, do kterých mohla být videa rozdělena (v této verzi se nacházela jediná kategorie). Vedle něj se byl seznam videí dostupných v dané kategorii. Po výběru konkrétní položky se v pravé části zobrazil náhledový obrázek a slovní popis daného bloku. Pod ním se nacházelo tlačítko pro přidání videa do playlistu.

Na pozadí aplikace komunikovala s FTP serverem prostřednictvím třídy WebClient dostupné v jazyce C#. Přístupové údaje k serveru byly získány reverzním inženýrstvím pomocí programu Wireshark a zachytávání síťového provozu.

Spouštěcí skripty se pro videa generovala při volání. Aplikace je vytvářela jako textové soubory s kódováním dle normy ISO-8859-1, která je ekvivalentem znakové sady Windows 1252 (západoevropské jazyky). Původně byly soubory kódovány v UTF-8, bohužel SpaceCrafter si nedokáže poradit s výchozí verzí tohoto kódování, kterou využívá C# pod Windows. Zde se uplatňuje kódování *UTF-8 with BOM*, které je pro řídicí systém nečitelné.

Pro zajištění navazování přehrávání videí aplikace na základě délky aktuálně přehrávaného souboru odpočítávala čas do jeho konce. Po dosažení předdefinovaného časového limitu před koncem videa vygenerovala spouštěcí skript pro následující soubor a odeslala jej společně se spouštěcím příkazem. Tím se zahájilo přehrávání dalšího videa. Po testování s reprezentativním vzorkem 30 videí běžně užívaných v planetáriu v Uherském Brodě byl dříve zmíněný časový limit pro generování a zaslání nového skriptu stanoven na 50 milisekund. Dle dalších pokusů se jednalo o dostatečnou časovou rezervu pro zajištění nepřetržitého přehrávání.

V této verzi měla aplikace pevně nastavený obsah a parametry pro své fungování, což mělo být ve finální verzi změněno.

## 6.2 Dodatečně zjištěné neduhy aplikace

Než pokročíme k popisu pořadu, který vznikl v rámci semestrálního projektu, bylo by dobré také zmínit neduhy zvoleného softwarového řešení, které se projevily při dlouhodobém testování v průběhu léta.

Tím nejzávažnějším bylo *problíkávání* mezi jednotlivými videi. Každý soubor se totiž otevírá v samostatném přehrávacím okně, která se nejprve otevře ve standardní velikosti a až poté přejde do *fullscreen* módu. Díky tomu dojde ke krátkému problíknutí bílého světla na kopuli.

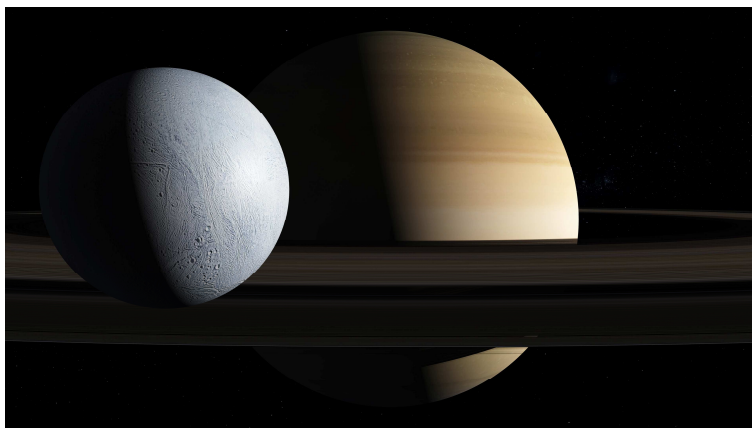
Délka tohoto problíknutí závisí na aktuálním vytížení řídicího počítače a na tom, zda je zdrojem videa pevný disk, či SSD.

Jak se ukázalo, problíknutí mohla v případě přehrávání z pevného disku a vyšším vytížením systému dosáhnout až délky 0,25 sekundy, což je pro zamýšlený účel aplikace nevhodné. Do budoucna bylo třeba tento problém řešit – což se v rámci bakalářské práce také podařilo. Více najdete v následujících kapitolách.

### 6.3 Pořad (Saturn a jeho svět)

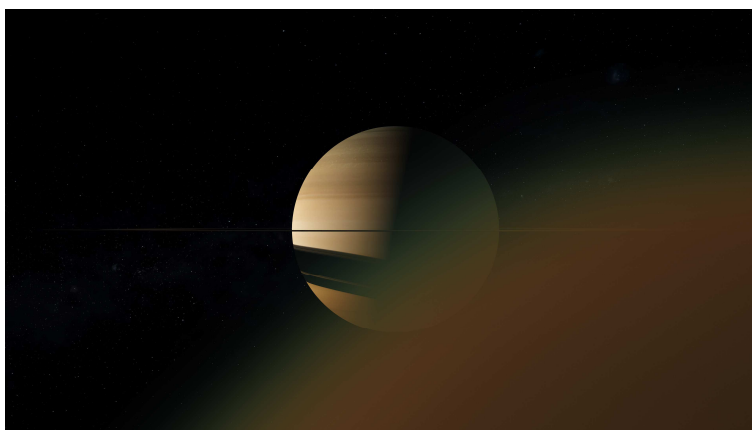
Podobně jako v případě aplikace i vytvořený pořad sloužil jako *proof-of-concept*. Cílem bylo ověřit technické možnosti programu Maya pro tvorbu videí uzpůsobených pro projekci v planetáriu.

V této verzi byla videa prosta jakéhokoliv příběhu a zvukového doprovodu. Zaměřovala se na planetu Saturn, její prstenec a dva velmi zajímavé měsíce – Titan a Enceladus (ten si lze prohlédnout na následujícím obrázku).



Obr. 14: Model planety Saturn a měsíce Enceladus

Z hlediska modelování se v případě planet a měsíců jedná o základní prostorové útvary s nanesenými příslušnými texturami. Ty byly získány z otevřených repositářů, které dává k dispozici NASA, popřípadě z databází fanoušků astronomie a kosmonautiky, kteří poskytují mnoho textur zdarma pod volnou licenci. Kompletní seznam využitých zdrojů textur (u semestrálního projektu i navazující bakalářské práce) se nachází mezi přílohami na konci tohoto dokumentu.

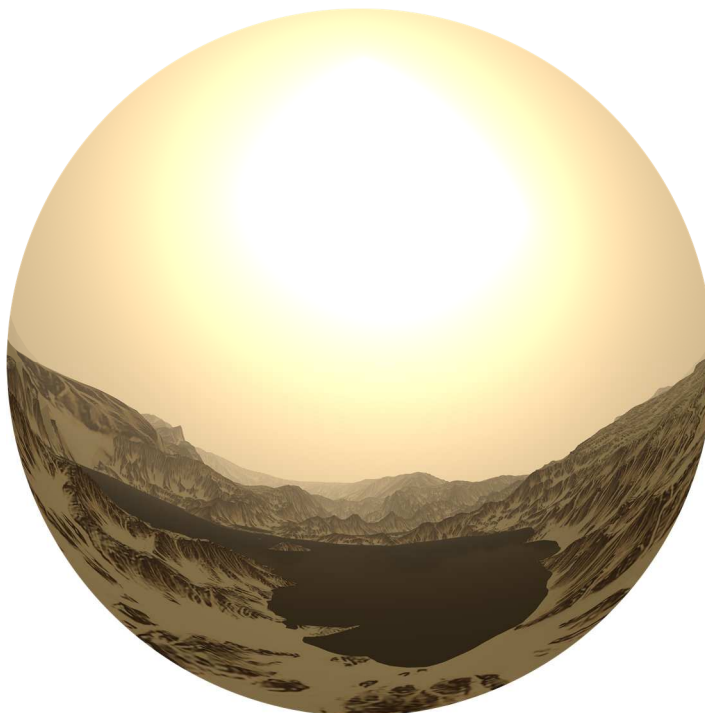


Obr. 15: Pohled na Saturn skrz Titanovu atmosféru

V případě plynné atmosféry Titanu byl využit *Bifrost*, který slouží k fyzikální simulaci kapalin a plynů. Díky tomu bylo možné vytvořit model, který velmi věrně kopíruje skutečný vzhled tohoto objektu. Můžete si jej prohlédnout na předcházejícím obrázku. Toto řešení je však velmi náročné na výpočetní výkon při renderingu, a proto bylo třeba do budoucna prozkoumat lepší možnosti implementace. Model povrchu vznikl na základě fotografií přistávacího modulu Huygens, který 14. ledna 2005 na Titanu přistál v rámci mise sondy Cassini, a na základě vizualizací, které vytvořila NASA.

Součástí pořadu měl být také detailní náhled prstence s jednotlivými objekty. Pro jeho implementaci by byla využita *MASH Network* (struktura v Mayi, která slouží k tvorbě *sítí* instancí objektů založených na *šabloně*, tedy jednom nebo více objektech, které se mají určitým způsobem na určeném prostoru opakovat). Díky ní a randomizaci parametrů jednotlivých instancí objektů mohl vzniknout model části prstence, který obsahuje desítky tisíc objektů, které jsou pouze variacemi na 6 skutečných modelů vytvořených pro tento účel. Bohužel toto řešení se ukázalo být výpočetně velmi náročné, a tak bylo z tehdejší verze programu vypuštěno.

Pro rendering a deformaci obrazu pro projekční plochu planetária byl využit *Arnold Renderer* dodávaný s nástrojem Maya. Kamery byly nastaveny pro *fisheye* projekci se zorným úhlem 180°, což odpovídá kopuli planetária. Příklad výstupu můžete najít na následujícím obrázku.



Obr. 16: Ukázka deformace obrazu pomocí fisheye kamery Arnold Rendereru

## 7. Implementace v bakalářské práci

### 7.1 Aplikace

Samotná aplikace se od fáze *proof-of-concept* na pohled z větší části změnila. Některé z těchto úprav souvisí s GUI, jiné s úpravami v backendu.

Pro bakalářskou práci byla původní aplikace označovaná *Project Arcturus* rozdělena na tři samostatné celky, které se vzájemně doplňují. Navíc je pak doplněna ještě o jednu aplikaci, která slouží jako rozcestník k jednotlivým částem včetně náležitého popisu. Umožňuje také nastavení přístupové cesty k programu MasterPut, aby bylo možné spouštět i ten.

*Project Betelgeuse* je nová verze aplikace pro skládání playlistu a řízení přehrávání videí.

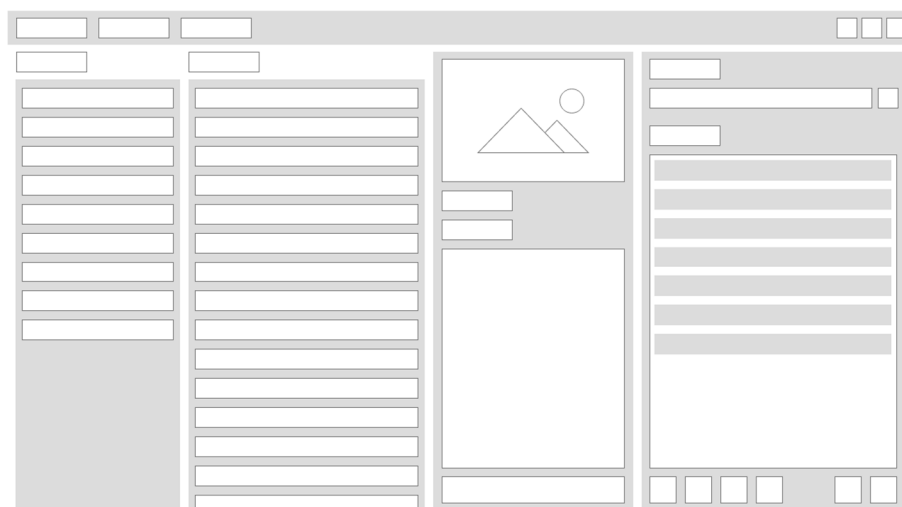
*Project Beid* se stará o správu databáze videí – tzn. úpravy informací u existujících souborů, přidávání nových videí, mazání z databáze atd.

*Project Brachium* zprostředkovává úpravy nastavení jednotlivých aplikací i proměnných pro komunikaci s řídicím počítačem.

*Project Bellatrix* je jakýsi *hub* pro všechny jednotlivé části. Místo hledání konkrétních spouštěcích EXE souborů je možné spustit tuto aplikaci a ona již nabídne jednotlivé funkce a možnosti dle aktuálního nastavení.

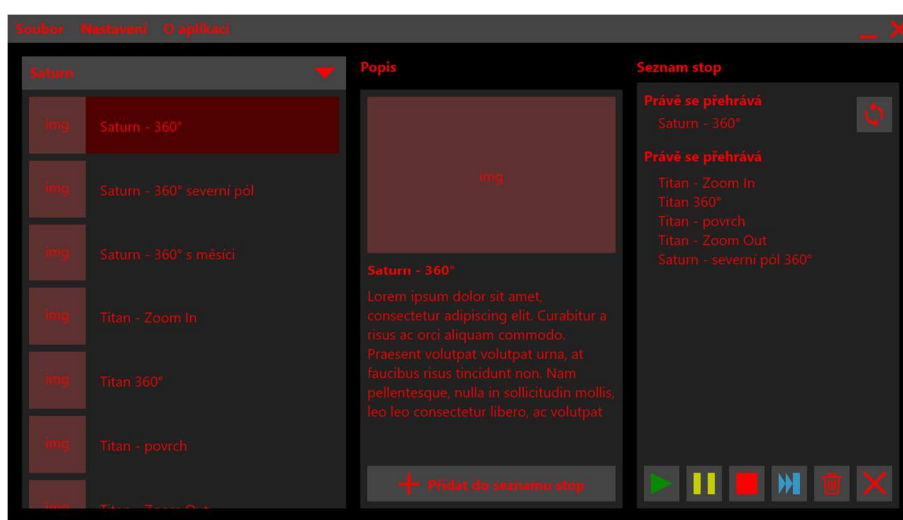
#### 7.1.1 Uživatelské rozhraní

Z hlediska návrhu uživatelského rozhraní probíhalo nejvíce práce u *Betelgeuse*, jakožto hlavní aplikace celku. První návrh low-fidelity modelu je přiložen na následujícím obrázku.



Obr. 17: Low-Fidelity model UI pro Project Betelgeuse

Jak je patrné, v počátcích se aplikace držela stylu nastoleného *proof-of-concept* verzi. V levé části okna se nacházela nabídka jednotlivých kategorií videí, vedle ní pak seznam videí v příslušné kategorii. Vpravo od tohoto seznamu byl prostor o detailní výpis informací o právě vybraném videu, který měl zahrnovat název, délku, náhledový obrázek a popis. Pod ním se mělo nacházet tlačítko pro přidání videa do playlistu. Na pravé straně okna pak byla část věnovaná samotnému playlistu se zvýrazněnou aktuální položkou, u které bylo možné zapnout opakování. Pod seznamem se nacházela ovládací tlačítka.



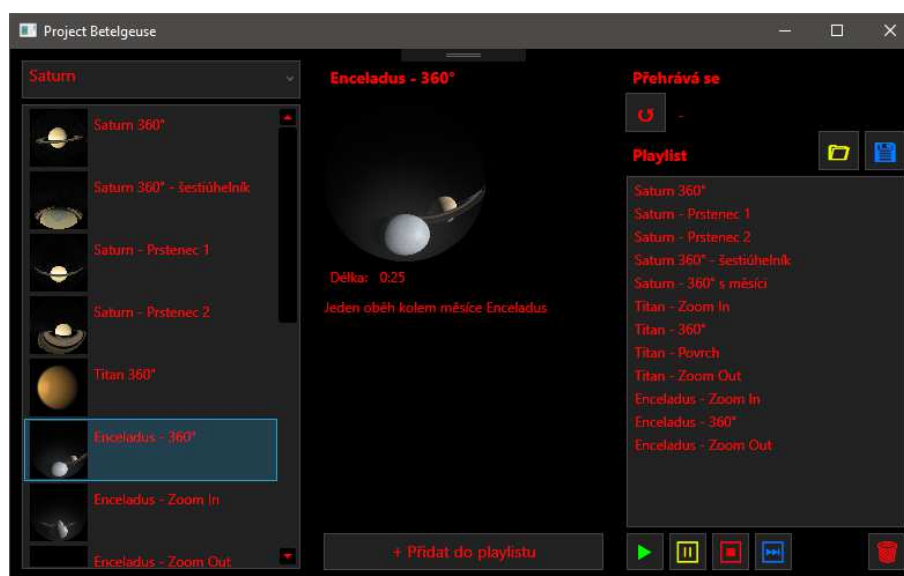
Obr. 18: High-Fidelity model uživatelského rozhraní

Při přechodu k high-fidelity modelu, který můžete vidět na obrázku výše, došlo kromě určení barevného řešení aplikace také k několika změnám v rozložení UI. Tou hlavní je odstranění samostatné sekce pro výběr kategorie videí, která byla nahrazena rozbalovací nabídkou. Důvodem je, že při projekcích v planetáriu demonstrátor nepřeskakuje příliš často *tam a zase zpátky* mezi objekty, proto nevdí, že bude tato možnost vyžadovat o klik více. Obzvláště proto, že tato úprava poskytne více prostoru pro další části UI.

MasterPut dokáže běžet na zařízeních s rozlišením 800 x 600 px a vyšším. Aplikace proto musí počítat s možností provozu i na takto zastaralé obrazovce.

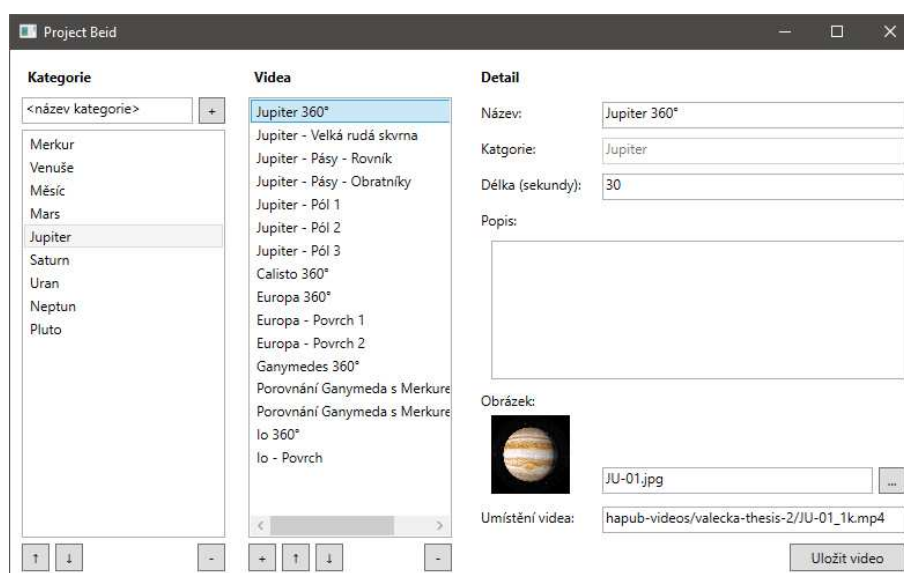
Další změnou oproti původní verzi je přidání tlačítka pauzy a skoku na další položku v playlistu. Jejich přidání umožnily úpravy na straně backendu aplikace, které budou zmíněny v samostatné kapitole.

Z návrhu jde také vidět, že v této fázi se ještě počítalo s tím, že vše potřebné bude obsaženo v jedné aplikaci.



Obr. 19: Project Betelgeuse – finální verze UI

Obrázek výše již ukazuje finální verzi aplikace. Proti high-fidelity prototypu došlo už jen k odstranění pásu menu (díky rozdělení aplikace na více částí), přestěhování tlačítka pro opakování položky před její název a k přidání funkce, která byla při návrhu opomenuta – tedy importu a exportu playlistu.

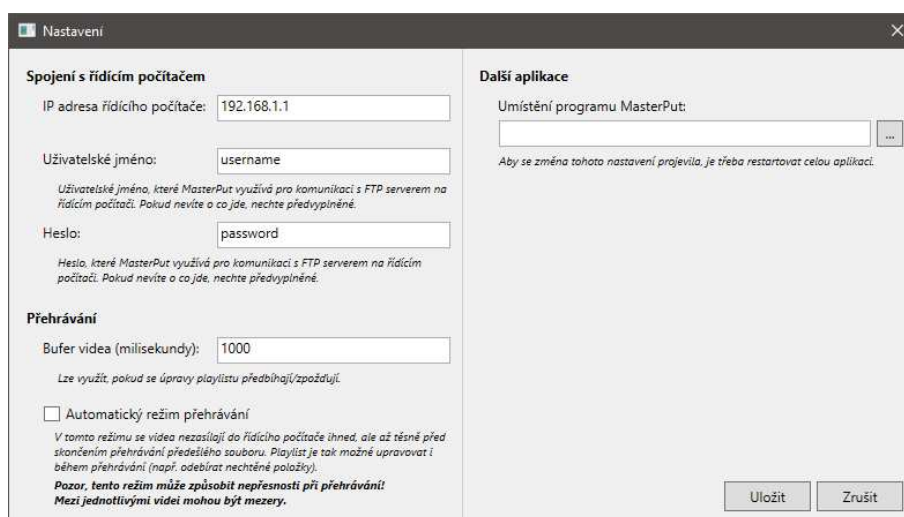


Obr. 20: Project Beid – finální verze UI

V případě *Project Beid* již návrh a ladění UI neprobíhalo. Aplikace vznikala s maximálně účelným prostředím a inspirovala se částečně u *proof-of-concept* verze. V levé části rozhraní se proto nachází dva seznamy – jeden s výběrem kategorií videí a druhý s výběrem konkrétního videa. V pravé části okna se nachází výpis detailních informací o vybrané položce s možností editace.

Protože se aplikace nebude využívat během projekcí, došlo také k vypuštění tmavého barevného řešení a UI bylo ponecháno ve výchozích barvách pro Windows aplikace.

V poslední řadě je třeba zmínit *Project Brachium* a *Project Bellatrix*. První se stará o správu nastavení – zde byl návrh UI opět čistě účelný bez složitého plánování. Podobně můžeme také mluvit o druhé zmiňované aplikaci.



Obr. 21: *Project Brachium* – finální verze UI



Obr. 22: *Project Bellatrix* – finální verze UI



### 7.1.2 Programové řešení UI a backend

V této části se ještě na chvíli vrátíme k UI. Z hlediska jazyka C#/.NET došlo pro potřeby bakalářské práce k výměně původně užitých *Windows Forms* za modernější *Windows Presentation Foundation* (zkráceně WPF). Důvodů pro tuto změnu bylo několik, za zmínku však stojí ten nejdůležitější.

WPF umožňuje na rozdíl od *Windows Forms* snadnější tvorbu responzivního UI. Protože aplikace bude muset běžet na velkém množství různých zařízení s různým rozlišením displeje, je třeba právě na tuto vlastnost klást důraz.

Uživatelské rozhraní všech aplikací proto respektuje nastavení DPI v operačním systému *Windows* a umí se mu také přizpůsobit.

Protože má být *Project Betelgeuse* navíc ovládán pomocí dotykové obrazovky, v případě této aplikace dochází nad rámec nastaveného DPI také ke škálování UI dle velikosti okna.

Každý přístup má však své výhody i nevýhody. Velmi problematickým se naopak ukázalo například řešení načítání obrázků, popřípadě tvorba seznamu videí s obrázky, kdy právě tyto úkony jsou ve *Windows Forms* mnohem snadnější.

### 7.1.3 Backend

Z hlediska samotného backendu pak již nebyly změny tak výrazné – zmíníme zde proto jen ty nejvýznamnější.

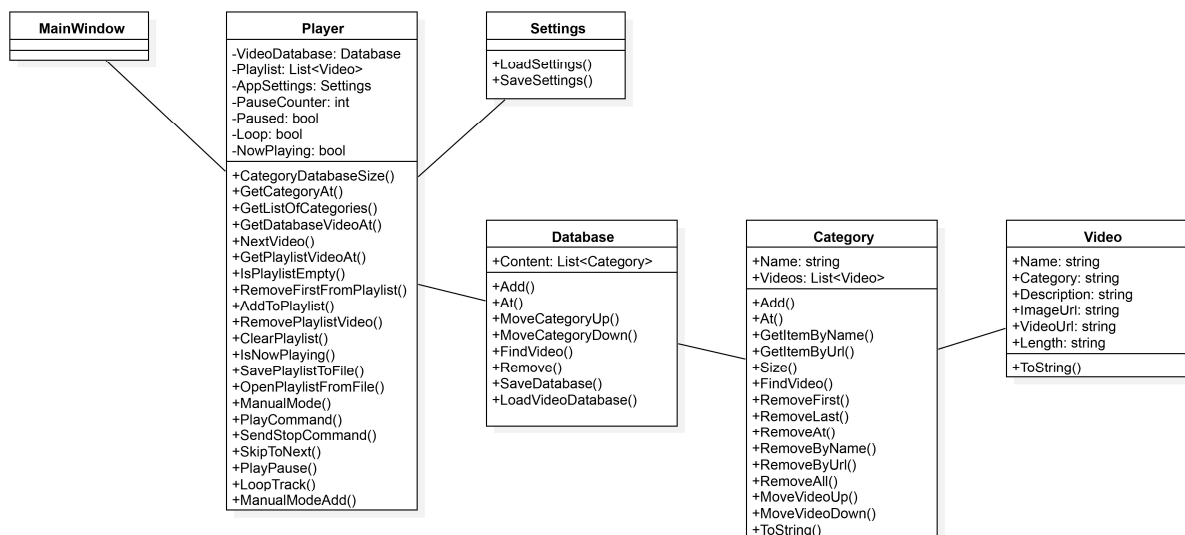
Absence komponenty *Timer* ve WPF znesnadnila řešení časovaných událostí, které tak nově muselo být implementováno skrze plánovač úloh samotného operačního systému. To mělo bohužel za následek snížení přesnosti načasování úloh a negativně se projevilo na fungování samotného programu. Z tohoto důvodu byl přidán tzv. *manuální mód*, který je ve výchozím nastavení aplikace aktivní. Rozdíl proti původnímu stavu je ten, že aplikace posílá videa do playlistu na hlavním počítači rovnou a nečeká až na skončení přehrávání předchozí položky. Má to však také jeden negativní dopad. Po přidání videa do playlistu jej již nejde odebrat a je možné pouze smazat celý playlist.

Další ze změn již mohl pozorný čtenář postřehnout na ukázkách uživatelského rozhraní. Oproti původnímu řešení došlo k přidání funkce pozastavení a obnovení přehrávání. Toto bylo možné díky změně přehrávacího systému videa. Zatímco původně *Project Arcturus* využíval stejný přehrávač, který využívá i *MasterPut*, *Project Betelgeuse* místo něj využívá *VLC Media Player*, který je součástí instalace řídicího systému jak ve verzi se *Stellariem 360*, tak se *SpaceCrafterem*. *VLC* má na rozdíl od původního přehrávače podporu tvorby playlistu. Díky tomu bylo možné původní problém *časování a přehrávání*

video ve správnou chvíli zjednodušit na problém přidání videa do playlistu v dostatečném předstihu. To umožnilo úplně odstranění jakýchkoliv problíknutí v průběhu přehrávání playlistu.

Nově bylo třeba také řešit ukládání nastavení a samotných videí. K tomu byly využity soubory XML, které jsou v současnosti standardem a většina programovacích jazyků nabízí uživatelsky přívětivé způsoby, jak je vytvářet, zapisovat do nich data a zpětně je také číst. V tomto případě jsou dva, tím prvním je soubor *database.xml*, který obsahuje samotnou databázi videí. Druhým je pak soubor *settings.xml*, který obsahuje samotné nastavení aplikace.

Nakonec je třeba zmínit samotné vnitřní řešení celé aplikace. Příslušný class diagram si můžete prohlédnout na obrázku níže. Jednotlivé části sdílí velkou část tříd a logika je v maximální možné míře oddělena od uživatelského rozhraní.



Obr. 23: Class Diagram

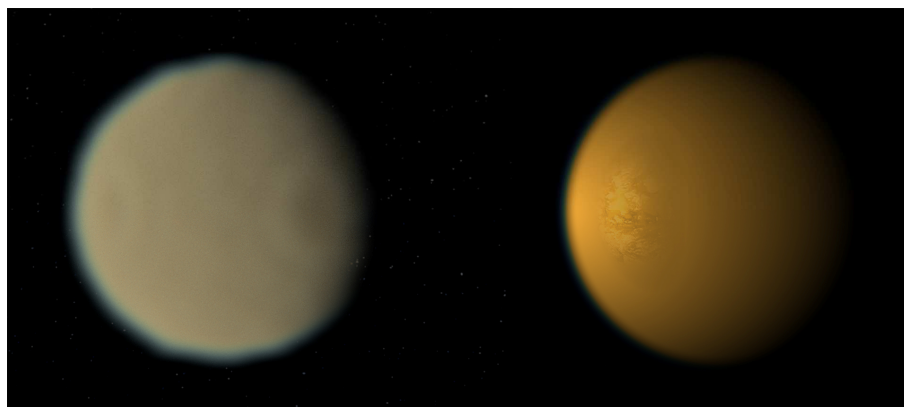
## 7.2 Pořad (Sluneční soustava)

Jak již bylo uvedeno v kapitole 5.2, plánované zaměření pořadu bylo na sluneční soustavu – konkrétním cílem bylo po konzultacích s pracovníky rozšíření nabídky planetária o nová videa tak, aby bylo možné složit nelineární pořad, který návštěvníky ve spojení s výkladem demonstrátora provede zmíněnou problematikou. Díky aplikaci s označením *Project Betelgeuse* pak bude také možné dynamicky reagovat na případné dotazy návštěvníků a upravovat tak směr a obsah výkladu dle aktuálních reakcí a dotazů.

Z hlediska tvorby modelů a jejich texturování se postupy od semestrálního projektu nezměnily. Seznam použitých zdrojů pro textury naleznete na samotném konci tohoto dokumentu.

Rendering doznal naopak zásadní změny. Místo renderování v HD rozlišení, tedy 720 x 720 px, bylo renderováno ve čtvercovém 4K rozlišení, tedy 4096 x 4096 px, což představuje zhruba 32násobný nárůst počtu pixelů. To je časově mnohem náročnější, a tak některé úkoly představovaly větší výzvu.

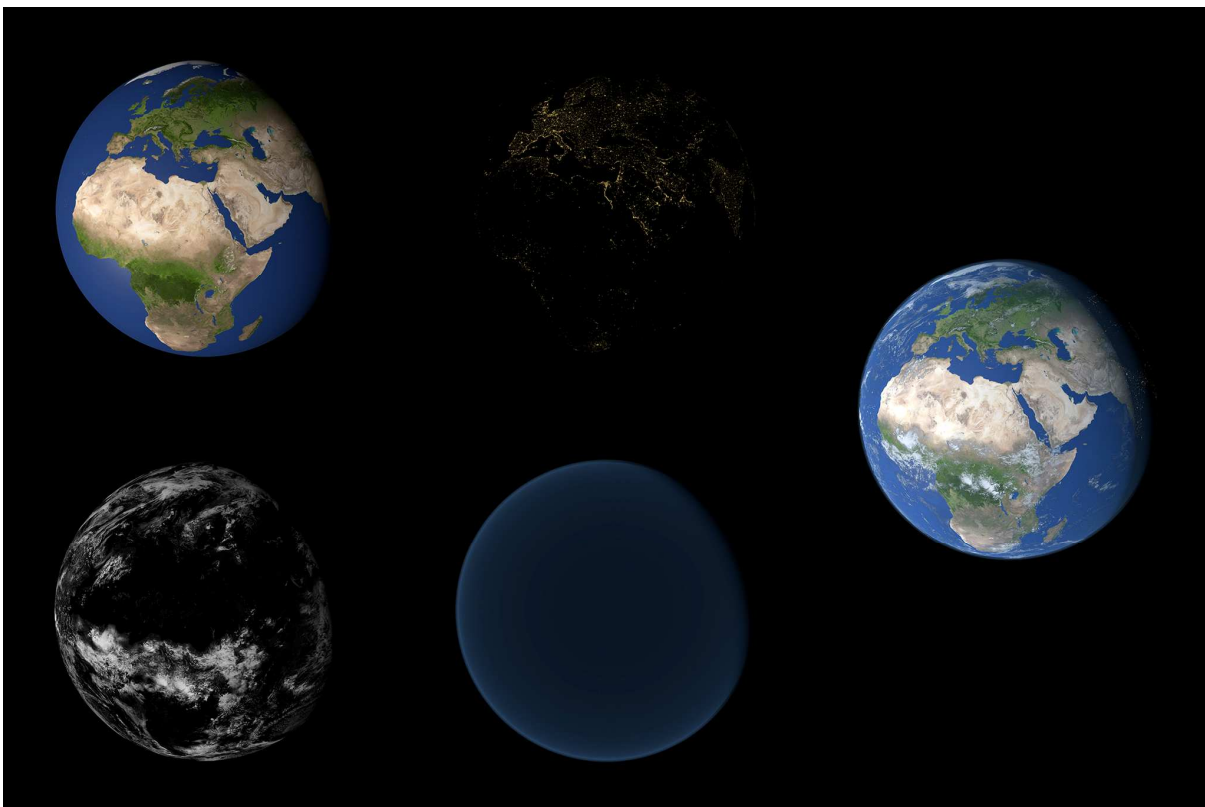
V semestrálním projektu byla zmíněna velká výpočetní náročnost v případě využití *Bifröstu*. Znáмым problémem, který bylo třeba u něj řešit, byla samotná existence fyzikální simulace spojené s časem. Díky tomu v případě, že by chtěl uživatel renderovat například až od snímku číslo 100 a ne od snímku 1, bylo třeba nejprve dopočítat fyzikální simulaci pro snímky 1 až 99 a až poté bylo možné zahájit renderování. Po delším zkoumání se podařilo právě tuto fyzikálně simulační část odpojit od běhu času, což odstranilo nutnost *dopočítávání* fyziky i pro nerenderované snímky. Bohužel, jak se ukázalo, z hlediska výkonu se nejednalo o největší zátěž – tou nakonec byl samotný fakt, že se místo polygonálního modelu pracuje s objektem, jehož materiál je typu *volume*. Prvotní testy se záběrem na měsíc Titan ze semestrálního projektu pak ukázaly, že rendering jednoho snímku pro video ve čtvercovém 4K rozlišení by trval přibližně 280 minut, což by i při využití fakultní renderovací farmy znamenalo 2 až 3 týdny nepřetržitého renderingu.



Obr. 24: Titan, vlevo verze za využití *Bifröst*, vpravo za využití *Maya Software Rendereru*

Zmíněný Titan byl proto v rámci bakalářské práce renderován pomocí *Maya Software Renderu*, bez použití raytracingu. Díky tomu se podařilo dobu nutnou pro render jednoho snímku zkrátit z 280 minut na přibližně 2,5 minuty. Rozdíl ve vzhledu si můžete prohlédnout na předchozím obrázku. Nevýhodou tohoto řešení je však skutečnost, že nelze použít *fisheye* deformaci u kamery. Záběry bylo proto nutné plánovat tak, aby deformace obrazu pro projekci v planetáriu nebyla nutná, což nelze udělat vždy.

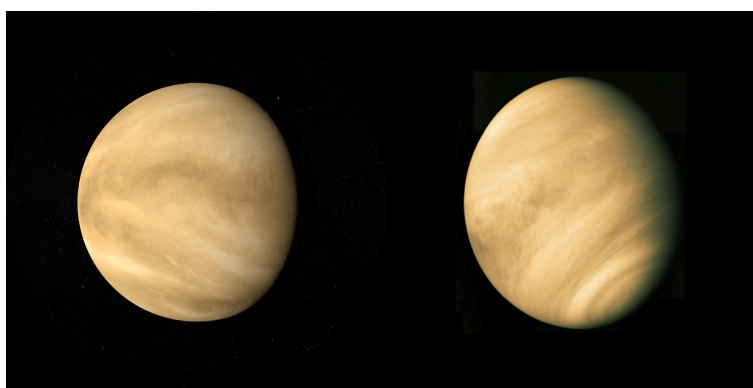
V případě ostatních těles, kde bylo třeba používat modely s materiály typu *volume*, byla zvolena jiná řešení. Například u Země byl model rozdělen na jednotlivé vrstvy – tedy samotný *holý* povrch, vrstvu se světly nočních měst, vrstvu s mraky a nakonec vrstvu atmosféry, kterou tvořil model s materiálem typu *volume*. Všechny vrstvy byly renderovány v plné délce, jen vrstva atmosféry byla vyrenderována jen jednou (tzn. jeden snímek) a byla ve výsledné kompozici využita staticky. Podobný postup byl využit například i u planety Mars. Jak vypadají jednotlivé vrstvy i výsledný kombinovaný obraz se můžete přesvědčit na následujícím obrázku.



Obr. 25: Vlevo jednotlivé vrstvy modelu Země, vpravo kombinovaný obraz

Další komplikací v průběhu modelování bylo získávání textur. Díky novodobé vlně výzkumu vesmíru naštěstí máme velké množství snímků, mnohdy je však problém získat materiály potřebné kvality. Největší problém pak byl mnohdy u těles, u kterých by to ani astronom nečekal – namátkou můžeme třeba zmínit planetu Venuši, nebo třeba Jupiterovy měsíce Io a Ganymedes, popřípadě Saturnův měsíc Enceladus.

V mnoha případech, pokud nebyl problém získat běžné textury, mohl člověk *narazit* při snaze o získání výškových map – málo které vesmírné těleso je dokonale ploché, proto je pro větší realističnost dobré modelu přidat tzv. *bump mapu*, resp. *displacement mapu*, která model bez zásahu do jeho polygonové sítě deformuje. Je tak možné docílit dojmu výrazně detailnějšího modelu bez nutnosti zvyšování jeho složitosti. I v těchto případech se dalo setkat s vcelku kuriózními případy. Za všechny zmiňme například případ planety Venuše – na obloze nejjasnější ze všech planet [22], tedy třetí nejjasnější objekt, který lze pozorovat. [23] Tato planeta má velmi hustou atmosféru a to jediné, co z ní můžeme vidět jsou mraky v její atmosféře (viz následující obrázek). Vše, co tedy o povrchu Venuše víme (z geografického hlediska), pochází z radarového mapování povrchu. Navzdory tomu je ale velmi obtížné získat vhodnou výškovou mapu této planety. [23]



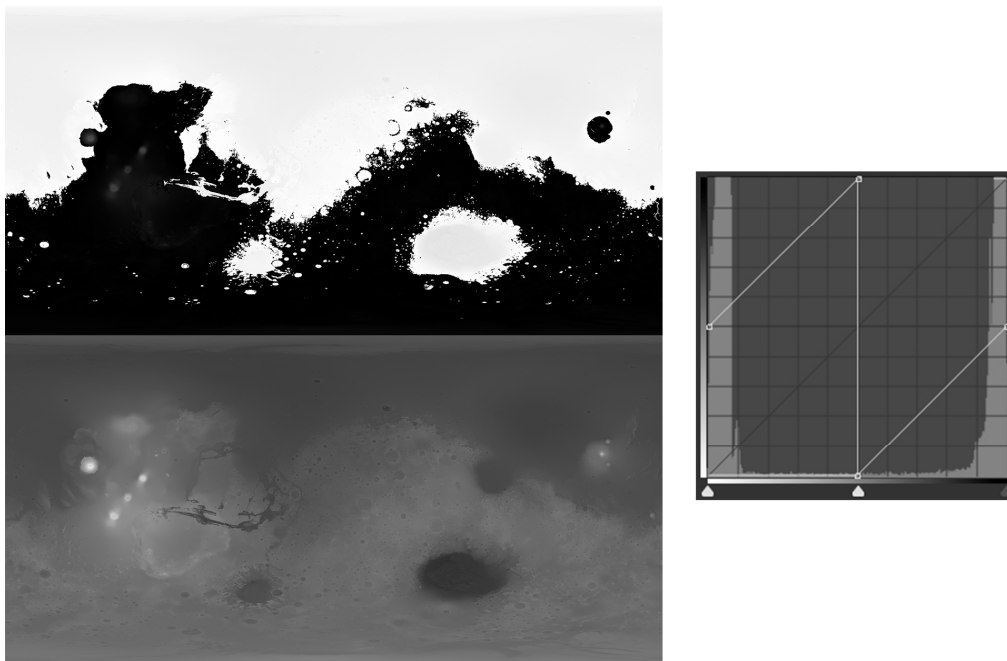
Obr. 26: Venuše – vlevo snímek z této práce, vpravo fotografie (Zdroj: SpaceCrafter)

Samozřejmě získat výškovou mapu je jen část úspěchu. Je třeba ji navíc zarovnat na texturu povrchu – ne vždy je využít stejný souřadnicový systém. I v ideálním případě ovšem lze narazit na komplikace, jako například u měsíce Io planety Jupiter. Toto těleso je nesmírně vulkanicky aktivní. Bylo tedy třeba získat texturu a výškovou mapu z přibližně stejného období, protože během pouhých pěti let se úplně změnily doslova desetitisíce kilometrů čtverečních povrchu.

Příležitostně lze ale také narazit na zcela opačný problém – příliš mnoho materiálů. S touto situací se lze setkat například u planety Mars. Zde dává NASA k dispozici celoplanetární výškové mapy

v rozlišení 200 metrů na pixel, standardní pak 232 metrů na pixel. Vybrané regiony lze ale získat i v rozlišení 25 centimetrů na pixel! Vrátime-li se tedy k uvedené celoplanetární mapě, takovéto soubory poskytované ve formátu geoTIFF mohou snadno přesahovat svou velikostí 10 GB. Některé programy pak mohou mít s takto velkými soubory problémy – například se ukázalo, že současná verze programu GIMP obsahuje chybu, která znemožňuje otevření podobně velkých souborů. Při použití staré verze již bylo otevření úspěšné – trvalo však závratných 40 minut, což je velmi vzdálené 30 sekundám při použití Adobe Photoshop. Rozdílné bylo například i využití paměti RAM, které u Photoshopu dosáhlo přibližně 13 GB, GIMP si naopak ukousnul 45 GB.

Problém může představovat ale i samotný geoTIFF. Pro jeho zpracování je nutný specializovaný software, který se obtížně získává. Chce-li jej uživatel zobrazit v některém z běžně dostupných programů, narazí na chybu ve čtení dat – data jsou zapsána specifickým způsobem ve formátu *float*. Při čtení dojde k posunutí jasu o 50 % a jeho *přetečení*. Jak taková situace vypadá si můžete prohlédnout na obrázku níže – v levé horní části se nachází soubor tak, jak jej zobrazí po otevření Adobe Photoshop, resp. GIMP. Je-li na obraz aplikována modifikace křivkou zobrazenou vpravo, získáme výstup zobrazený vlevo dole – tedy korektní výškovou mapu povrchu.



Obr. 27: Nahoře geoTIFF s výškovými daty otevřený v Adobe Photoshop, dole stejný soubor korigovaný křivkou vpravo

## 8. Testování s pracovníky planetária

Vzniklé aplikace byly v průběhu Vánoc na přelomu roku 2019 a 2020 testovány v běžném provozu Hvězdárny a planetária Uherský Brod v rámci tradiční akce *Vánoce v planetáriu*.

Připomínkování prováděli dva další pracovníci hvězdárny a planetária – první z uživatelů (dále jen Uživatel 1) užívá planetárium výhradně bez využití dálkového řízení pomocí programu MasterPut, ovládá jej tedy pouze fyzickou klávesnicí a s ovládáním tabletu nebyl dosud seznámen. Druhý z uživatelů (dále jen Uživatel 2) ovládá planetárium téměř výhradně z tabletu pomocí aplikace MasterPut a má s ním bohaté zkušenosti.

### 8.1 Výsledky testování

Uživatel 1 měl s ovládáním aplikace problémy a byl s ní schopný samostatně pracovat až po delší době zkoušení. Tento průběh však bylo možné očekávat, protože až do tohoto testu planetárium skrze tablet nikdy neovládal.

Uživatel 2 byl schopný po krátkém popisu s aplikací samostatně pracovat a nevyžadoval další asistenci.

Uživatelům nebyly předloženy žádné konkrétní scénáře, které by měli zkusit vykonat – naopak byli instruováni, aby si aplikaci vyzkoušeli sami a pokusili se v ní například sestavit některý z programů, které běžně v planetáriu přednáší.

Následně byli uživatelé dotazováni na své dojmy z aplikace a případné návrhy, co by na základě jejich zkušeností bylo třeba zlepšit. Z dotazování vplynuly následující podněty:

- 1) Možnost ukládat playlist je velmi přínosná, je však třeba umožnit jeho uložení i po ukončení přehrávání, ne pouze před jeho začátkem.
- 2) Seznam videí v příslušné kategorii zobrazuje příliš málo položek na jedné obrazovce – je třeba často scrollovat.
- 3) Prostor pro zobrazení detailů aktuálně vybraného videa je zbytečně velký.
- 4) Bylo by dobré mít možnost nastavit číselnou hodnotu konkrétního počtu opakování vybraného videa už předem při sestavování playlistu.
- 5) Přepínání mezi aplikací (myšlen *Betelgeuse*) a MasterPutem je v podstatě nemožné. Tablet v planetáriu neumožňuje gestem *vyvolat* panel Start a přepnout na jiné okno. Lze tedy

přepnout z aplikace do MasterPutu, pro návrat je však nutné MasterPut kompletně ukončit, protože neumožňuje minimalizování bez použití klávesnice.

Celkově byla aplikace hodnocena kladně. Mezi vyzdvihované vlastnosti ve srovnání s programem MasterPut byla zařazena především tvorba playlistu a doplnění dalších informací k jednotlivým položkám, jako je název, popis a délka – úplná absence jakýchkoliv textů v MasterPutu totiž znamená, že je velmi snadné se přehlédnout a vybrat *špatné video*. Pravděpodobnost takové situace je u vzniklé aplikace zásadně snížena právě díky doplnění názvů a popisů.

## 8.2 Vyhodnocení a doporučené změny

Protože vývoj aplikace bude pokračovat i po odevzdání bakalářské práce, byla v průběhu uživatelského testování získaná zpětná vazba velmi cenná. Doplníme tedy komentář k jednotlivým bodům.

V prvé řadě body 2) a 3). Ty se týkají uživatelského rozhraní. Zde došlo k *překompenzování* nedostatků MasterPutu a bylo by skutečně dobré do budoucna rozšířit seznam videí a omezit prostor s detaily pouze na nutné minimum. Zjednoduší a zrychlí se tím práce s aplikací.

Bod 1) zmiňuje doplnění možnosti zpětně uložit playlist. I v tomto případě se jedná o naprosto relevantní požadavek a do budoucna bude doplněn. Aktuálnímu doplnění brání nutnost většího zásahu do backendu samotné aplikace a následná nutnost testování.

S playlistem souvisí i bod 4). Byť by tato funkce byla do budoucna dozajista přínosná, v současné době není zřejmé, jak ji implementovat. Na druhou stranu lze její absenci obejít vícenásobným přidáním videa, které se má opakovat. Není-li zapnut manuální mód, je navíc možné manuálně korigovat počet opakování i během přehrávání.

Poslední připomínka číslo 5) pak poukazuje na mnohem komplexnější problém. Ne vždy chceme v planetáriu pouze pouštět videa. Jsou případy, kdy chceme výklad s videi kombinovat se samotným prostředím planetária, tzn. funkcemi samotného SpaceCrafteru.

Z hlediska aplikace *Project Betelgeuse* toto není problém. Aplikace se otevírá v běžném okně, které lze minimalizovat. Problém je však s MasterPutem. Ten se otevírá v *pseudo fullscreen režimu*. Zabírá tedy celou obrazovku, nejedná se však o klasický *fullscreen* režim, takže je okno stále v *nižší* vrstvě než hlavní panel, tzn. dolní panel s nabídkou Start a seznamem oken, proto by se za něj část aplikace standardně schovala. Z tohoto důvodu jsou tablety nastavovány tak, aby se hlavní panel automaticky skrýval.



Tablet v planetáriu v Uherském Brodě běží na původní verzi operačního systému Windows 8 (bez updatu na Windows 8.1), který neobsahuje gesto pro *vytažení* hlavního panelu. Přepnutí mezi okny je tedy bez klávesnice v podstatě nemožné a pro přepínání mezi vytvořenou aplikací a MasterPutem je třeba aktuálně otevřenou aplikaci zcela ukončit. Situaci by mohla částečně vyřešit instalace Windows 10 na ovládací tablet, protože tento systém již gesto pro zobrazení hlavní nabídky obsahuje. Stále však narážíme na nutnost přepínání mezi aplikacemi pomocí dotyků na displeji, které mohou vést ke spuštění nechtěných funkcí.

Na základě zpětné vazby se tedy ukazuje, že vzniklé řešení je vhodné pouze pro případy, kdy je účelem čistě přehrávání videí, což ani po značném rozšíření nabídky videí není případ programů Hvězdárny a planetária Uherský Brod. Vystává však otázka, nakolik lze této závěr zobecnit na další podobné instituce.

V každém případě se jako vhodnější řešení nabízí spíše tvorba aplikace, která by v plném rozsahu nahradila MasterPut a přidala potřebné funkce pro práci s videi. Tvorba takto velké aplikace však dalece přesahuje rozsah této práce.

## 9. Závěr

Tuto práci by bylo možné rozdělit na dvě části. Část věnovanou aplikaci a část věnovanou audiovizuálnímu pořadu.

V případě aplikace jsme si v předešlých kapitolách ukázali, že navzdory neexistující dokumentaci lze za pomoci reverzního inženýrství rozklíčovat fungování SpaceCrafteru, MasterSweepu i MasterPutu a vytvořit tak aplikaci, která dokáže s tímto již existujícím systémem spolupracovat a obohatit jej o nové funkce – vše samozřejmě v mezích celkových možností řídicího systému.

Project Betelgeuse dokládá, že původní požadavek na aplikaci, která umožní tvorbu playlistu z dostupných videí a jejich plynulé nepřerušované přehrávání, je realizovatelný a najde i uplatnění v současné nabídce planetárií. Tento závěr ostatně dokládá i zájem dodavatele uherskobrodského planetária, společnosti NOWATRON Elektronik, spol. s.r.o., o celý projekt a jeho případné využití.

Na základě uživatelské zpětné vazby však vyvstávají otázky s ohledem na míru jeho použitelnosti, které bude třeba ještě adresovat. S největší pravděpodobností tak bude aplikace od základu přepracována jako náhrada za program MasterPut.

U vzdělávacího pořadu pro planetárium jsme v této práci zkoumali technické možnosti nástroje Maya pro takovýto druh tvorby. Jak jsme popsali v 6. kapitole, Arnold Renderer je pro tento účel dobře vybaven díky zahrnutí fisheye kamery ve výchozí nabídce. Výstupy mají za použití správných technik a modelů dostatečnou kvalitu, pouze v některých případech narážíme na omezený výpočetní výkon nám dostupných strojů pro tvorbu a rendering. Tyto problémy se objevují zvláště v případě využití simulace plynů a kapalin Bifröst.

Převaze Blenderu v tomto odvětví navzdory, Maya se ukazuje jako velmi schopný nástroj pro tvorbu pořadů pro planetária.

Podobně jako u samotné aplikace, ani tvorba videí a práce na pořadu touto bakalářskou prací nekončí. Jak již bylo uvedeno, také o ně projevil společnost NOWATRON zájem. Modelování a rendering bude proto pokračovat s cílem ještě v průběhu roku 2020 vytvořit dokument o sluneční soustavě s celkovou stopáží alespoň 25 minut. Ten by následně spolu se sadou videí mohl tvořit celek pro nelineární pořady, kdy by po projekci filmu následoval výklad vedený demonstrátorem, kde by bylo možné rozvést části pořadu, které návštěvníky nejvíce zajímají.

## Zdroje textur

- i. USGS Astrogeology Science Center  
Merkur, Venuše, Mars  
Dostupné online: <https://astrogeology.usgs.gov/search>
- ii. Solar System Scope  
Venuše, Země, Jupiter, Saturn  
Dostupné online: <https://www.solarsystemscope.com/textures/>
- iii. NASA Scientific Visualization Studio – CGI Moon Kit  
Měsíc, Deep Star Map  
Dostupné online: <https://svs.gsfc.nasa.gov/>
- iv. DeviantArt: Askaniy  
Ganymedes, Europa, Calisto  
Dostupné online: <https://www.deviantart.com/askaniy>
- v. DeviantArt: Oleg-Pluton  
Io, Uran,  
Dostupné online: <https://www.deviantart.com/oleg-pluton>
- vi. DeviantArt: Kexitt  
Io  
Dostupné online: <https://www.deviantart.com/kexitt>
- vii. NASA Jet Propulsion Laboratory – Color Maps of Enceladus – 2014  
Enceladus  
Dostupné online: <https://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/details.php?id=PIA18435>
- viii. DeviantArt: jcpag2010  
Neptun  
Dostupné online: <https://www.deviantart.com/jcpag2010>
- ix. DeviantArt: Master-Bit  
Pluto, Charon  
Dostupné online: <https://www.deviantart.com/master-bit>
- x. SDO – Solar Dynamics Observatory  
Slunce  
<https://sdo.gsfc.nasa.gov/>

## Zdroje a literatura

- [1] Planetarium. *Encyclopaedia Britannica* [online]. United Kingdom: Encyclopaedia Britannica, 1998, 1998-07-20, 2019-05-16 [cit. 2020-01-01]. Dostupné z:  
<https://www.britannica.com/science/planetarium>
- [2] Téma: Historie astronomie na území České republiky, Planetária v Evropě  
Informace poskytl Ing. Rostislav RAJCHL, bývalý pracovník Štefánikovi hvězdárny v Praze, Planetária Praha a vedoucí Hvězdárny a planetária Uherský Brod, odborník v oboru archeoastronomie, orlojů a historie astronomie na území České a Slovenské republiky. Uherský Brod, opakovaně v roce 2019.
- [3] Mobilní planetária. *Audiovizuální technologie na klíč – NOWATRON* [online]. Praha: NOWATRON Elektronik, spol. s.r.o. [cit. 2020-01-02]. Dostupné z:  
<https://www.nowatron.cz/produkty-list-detail/mobilni-planetaria>
- [4] Astronomická fotografie – Fotografování meteorů. *Astronomia: Astronomie pro každého* [online]. Plzeň: Fakulta pedagogická Západočeská univerzity v Plzni, 2010, 2011-08-25 [cit. 2020-01-01]. Dostupné z: <http://astronomia.zcu.cz/astrofoto/meteory/2378-fotografovani-meteoru>
- [5] BOURKE, Paul. *Using a spherical mirror for projection into immersive environments*. Melbourne, Australia, 2005. Swinburne University.
- [6] Téma: Upgrade planetária Uherský Brod, Planetária na území České republiky  
Informace poskytl Petr VALEHRACH, obchodní manager společnosti NOWATRON Elektronik, spol. s.r.o. Uherský Brod, 2018-09-10, 2019-10-04.
- [7] Téma: Planetária na území České republiky a jejich technické řešení  
Informace poskytl Bc. Jiří ŽALUDEK, servisní technik společnosti NOWATRON Elektronik, spol. s.r.o. Uherský Brod, 2019-10-04.
- [8] *Hvezdáreň v Partizánskom* [online]. Partizánske [cit. 2019-05-24]. Dostupné z:  
<http://www.hvezdaren.sk/>
- [9] ŠALING, Samo, Mária IVANOVÁ-ŠALINGOVÁ a Zuzana MANÍKOVÁ. *Veľký slovník cudzích slov*. 2. revid. a dopl. vyd. Bratislava-Veľký Šariš: SAMO, 2000, 1328 s. ISBN 80-967524-6-4.  
Dostupné také z: <http://leccos.com/index.php/clanky/planetarium>

- [10] Z Ostravy se otevírá okno až ke hvězdám. *Magazín NAŠE MĚSTO* [online]. 2018, 2018-08-06 [cit. 2020-01-02]. Dostupné z: <https://www.nase-mesto.cz/z-ostavy-se-otevira-okno-az-ke-hvezdam/>
- [11] BARTÍKOVÁ, Petra. Vesmír na dotek. Ostrava otevírá opravené planetárium s hvězdárnou. *iDNES.cz* [online]. 2014, 2014-11-27 [cit. 2020-01-02]. Dostupné z: [https://www.idnes.cz/ostava/zpravy/vesmir-na-dotek-ostava-otevira-opravene-planetarium-s-hvezdarnou.A141127\\_004313\\_ostava-zpravy\\_jog](https://www.idnes.cz/ostava/zpravy/vesmir-na-dotek-ostava-otevira-opravene-planetarium-s-hvezdarnou.A141127_004313_ostava-zpravy_jog)
- [12] FOLTÁNKOVÁ, Kateřina. OBRAZEM: Planetárium je prázdné a opravy pokračují Zdroj: [https://brnensky.denik.cz/zpravy\\_region/obrazem-planetarium-je-prazdne-a-opravy-pokracuji-20130603.html](https://brnensky.denik.cz/zpravy_region/obrazem-planetarium-je-prazdne-a-opravy-pokracuji-20130603.html). *Brněnský deník* [online]. 2013, 2013-06-03 [cit. 2020-01-02]. Dostupné z: [https://brnensky.denik.cz/zpravy\\_region/obrazem-planetarium-je-prazdne-a-opravy-pokracuji-20130603.html](https://brnensky.denik.cz/zpravy_region/obrazem-planetarium-je-prazdne-a-opravy-pokracuji-20130603.html)
- [13] PRÝGL, Jiří. Přírodovědné digitárium je evropským unikátem. *Brněnská Drbna* [online]. Brno, 2013, 2013-10-31 [cit. 2020-01-02]. Dostupné z: <https://brnenska.drbna.cz/zpravy/vzdelani/prirodovedne-digitarium-je-evropskym-unikatem.html>
- [14] Projekt – Digitální planetárium v Hradci Králové. *Hvězdárna a planetárium v Hradci Králové* [online]. Hradec Králové [cit. 2020-01-02]. Dostupné z: <http://www.planethk.cz/projekt.html>
- [15] Havlíčkův Brod má nové planetárium. In: *Facebook – Hvězdárna a planetárium Brno* [online]. Brno, 2019, 2019-09-11 [cit. 2020-01-02]. Dostupné z: <https://www.facebook.com/hvezdarna.brno/posts/10156751975539842>
- [16] *Lhumeau Sky-System Open Project* [online]. 2009 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <http://www.lss-planetariums.info/>
- [17] *RSA Cosmos* [online]. Sorbiers [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <http://www.rsacosmos.com/>
- [18] *FullDome Database* [online]. Padova, Itálie, 2011 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://www.fddb.org/>
- [19] RUIZ, Lionel. *MasterPut3 StoryTeller: User Manual version 2016.08*. 2016.
- [20] RUIZ, Lionel. *MasterSweep: User manual version 2016.08*. 2016.

- [21] DICK, Robert. LEDs in Astronomy. *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*. Toronto, Kanada: The Royal Astronomical Society of Canada, 2013, 107(1), 20-24. ISSN 40069313. Dostupné také z: <https://www.rasc.ca/sites/default/files/publications/JRASC-2013-02-hr.pdf>
- [22] Planety – Venuše. ATKINSON, Stuart. *Kočíčí průvodce noční oblohou*. Praha: Euromedia Group, 2019, s. 44. ISBN 978-80-7617294-4.
- [23] Venuše. KLECZEK, Josip. *Velká encyklopedie vesmíru*. Praha: Academia, 2002, s. 533. ISBN 80-200-0906-x.
- [24] Io. KLECZEK, Josip. *Velká encyklopedie vesmíru*. Praha: Academia, 2002, s. 189. ISBN 80-200-0906-x.