

Zpravodaj Československého sdružení uživatelů TeXu

Vít Novotný

Příprava videozáznamu české premiéry multimediálního díla „Fantasia Apocalyptica“

Zpravodaj Československého sdružení uživatelů TeXu, Vol. 34 (2024), No. 1-4, 7–27

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/152647>

Terms of use:

© Československé sdružení uživatelů TeXu, 2024

Institute of Mathematics of the Czech Academy of Sciences provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This document has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ*:
The Czech Digital Mathematics Library <http://dml.cz>

Příprava videozáznamu české premiéry multimediálního díla „Fantasia Apocalyptica“

VÍT STARÝ NOVOTNÝ

Dne 11. října 2019 se při příležitosti oslav 25. výročí založení Fakulty informatiky Masarykovy univerzity uskutečnila česká premiéra multimediálního díla „Fantasia Apocalyptica“ za osobní účasti autora, Donalda Knutha. Z představení byl pořizen záznam, který je dostupný na kanálu YouTube Fakulty informatiky.

V tomto článku popisují přípravu záznamu od akvizice a zpracování surových audiovizuálních dat přes přípravu replik panelů doprovázejících představení po spojení jednotlivých částí do výsledného záznamu. S výjimkou střihu úvodního slova a závěru, navýšení rozlišení videa a zúžení dynamického rozsahu zvuku proběhlo zpracování pomocí svobodných nástrojů jako $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$, Audacity, Aegisub, FFmpeg, MLT, PDFtk a ImageMagick. V článku ukazují užití těchto nástrojů.

Klíčová slova: audiovizuální záznam, zpracování videa, titulky, zpracování zvuku, $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$, Audacity, Aegisub, ASS, FFmpeg, ImageMagick, MLT, PDFtk, waifu2x

Dne 11. října 2019 se v jezuitském kostele Nanebevzetí Panny Marie uskutečnila česká premiéra multimediálního díla „Fantasia Apocalyptica“ [1] za osobní účasti autora, Donalda Knutha. Z představení byl pořizen záznam, který je veřejně dostupný na kanálu YouTube Fakulty informatiky (FI MU) [2]. Předchozí články ve Zpravodaji ζTUGu popisují průběh představení [3] a přednášek Donalda Knutha při příležitosti návštěvy Brna [4]. V tomto článku popisují přípravu záznamu představení.

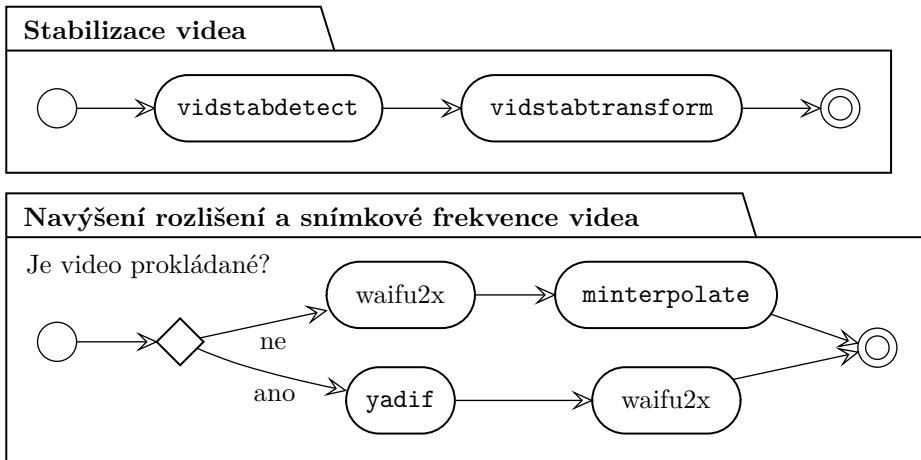
Nejprve v sekci 1 popisují akvizici a zpracování surových audiovizuálních dat. Následně v sekci 2 na straně 9 popisují přípravu videozáznamu úvodního slova a závěru představení. Dále v sekci 3 na straně 14 popisují přípravu panelů doprovázejících představení. Nakonec v sekci 4 na straně 20 popisují spojení jednotlivých částí do výsledného záznamu. V sekci 5 na straně 23 popisují promítání hotového videozáznamu na FI MU 18. prosince 2019.

1 Akvizice a zpracování videa a zvuku

Video a zvuk představení zaznamenali a předzpracovali Pavel Šiler, Petr „Tudy“ Holubář a studenti laboratoře LEMMA [5]. Poté jsem u videa sjednotil formát dat a do zvuku jsem přimíchal zvuky okolí a úvodní slovo Jiřího Zlatušky.

1.1 Záznam videa

Videozáznam představení pořídil Pavel Šiler na kameru Sony PXW-X70. Video zahrnuje přednášky Donalda Knutha na FI MU [6; 7; 8, adresář `staticka/`], záběry kostela a varhan a úvodní slovo Jiřího Zlatušky.



Obrázek 1: Diagram aktivit zpracování videa pomocí nástrojů FFmpeg a waifu2x.

1.2 Zpracování videa

Ačkoliv jsem video obdržel v rozlišení 1920×1080 px a s frekvencí 25 snímků za sekundu, od výsledného videozáznamu se očekávalo alespoň dvojnásobné rozlišení 4K a frekvence 50 snímků za sekundu. Záznamy přednášek jsem obdržel v neprokládaném (tzv. „progressive“) formátu, zatímco záběry kostela, varhan a úvodní slovo byly v prokládaném (tzv. „interlaced“) formátu. Přednášky a úvodní slovo byly dále natáčeny ze stativu, na rozdíl od záběrů kostela a varhan, které byly pořízeny z ruky. Cílem zpracování videa bylo nejen navýšení rozlišení a snímkové frekvence, ale také sjednocení formátu videa a stabilizace záběrů z ruky.

Video jsem zpracoval svobodným nástrojem FFmpeg [9] a otevřeným nástrojem waifu2x [10], vizte obrázky 1–4. Nejprve jsem stabilizoval záběry z ruky filtry `vidstabdetect` [11] a `vidstabtransform` [12] nástroje FFmpeg. Potom jsem navýšil rozlišení a snímkovou frekvenci následujícím způsobem:¹

- U neprokládaných videí jsem nejprve navýšil rozlišení nástrojem `waifu2x`. Následně jsem navýšil snímkovou frekvenci filtrem `minterpolate` [13] nástroje FFmpeg, který chybějící snímky interpoluje podle okolních snímků.
- U prokládaných videí jsem nejprve navýšil snímkovou frekvenci filtrem `yadif` [14], který chybějící půlsnímky interpoluje podle okolních půlsnímků a řádků. Nakonec jsem navýšil rozlišení nástrojem `waifu2x`.

¹Navýšené rozlišení a především snímková frekvence jsou jen iluze. Proto upravené video tvoří jen ca 7 minut ze 104minutového videozáznamu. Zbýlých 97 minut tvoří animované panely, které mají nativní rozlišení 4K a snímkovou frekvenci 50 snímků za sekundu.

1.3 Záznam zvuku

Zvuk představení byl zaznamenán šesti mikrofony:

- Dva mikrofony Zoom H1 [15] byly umístěny na řečnickém pultu a nad panely.
- Dva mikrofony Oktava MK012 [16, soubor ORTF-MK012_nearReversed.flac] byly zapojeny do rekordéru Zoom H4, umístěny na kůru a namířeny do kostela.
- Mikrofon Roland R26 [17] a mikrofon kamery Sony PXW-X70 [18] byly umístěny na kůru a namířeny na varhany.

Zvuk předzpracoval Petr „Tudy“ Holubář [16]. Hlavním vstupem jeho mixu byl prostorový záznam z mikrofonů Oktava MK012. Do prostorového záznamu Petr pro konkrétnost lehce přimíchal přímý záznam varhan z mikrofonu Roland R26, který frekvenčně ošetřil tak, aby se neprojevil nežádoucí fázové posuny ve spodním pásmu. Pro zúžení dynamického rozsahu použil Petr digitální VST modul SSL G-Master Buss Compressor [19] od firmy Waves Audio.

1.4 Zpracování zvuku

Zvuk jsem zpracoval svobodným programem Audacity [20; 21], vizte Obrázek 5. Výsledný mix zahrnuje svobodný zvuk zvonu kostnické katedrály [22], předzpracovaný zvuk představení od Petra Holubáře a úvodní slovo Jiřího Zlatušky podkreslené zvuky okolí z mikrofonů Oktava MK012.

2 Příprava videozáznamu úvodního slova a závěru

Videozáznam úvodního slova a závěru jsem připravil se Šimonem Mačejovským.

2.1 Střih úvodního slova a závěru

Videozáznamy úvodního slova a závěru [23] připravil Šimon Mačejovský nástrojem Sony Vegas 15. Videozáznam obsahuje záběry z přednášek Donalda Knutha na FI MU, záběry kostela a varhan, úvodní slovo Jiřího Zlatušky a fotografie od Martiny Morávkové [24].

2.2 Titulky úvodního slova

Úvodní slovo Jiřího Zlatušky jsem opatřil titulky ve formátu ASS² [28], které jsem připravil ve svobodném nástroji Aegisub [29], vizte Obrázek 6.

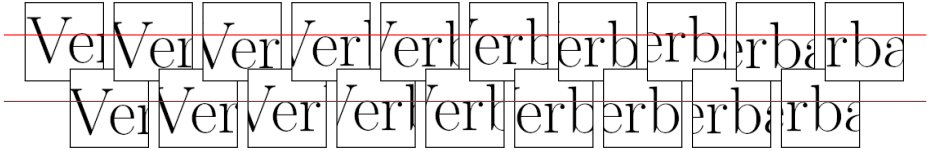
²Pro vypálení titulků do obrazu videa slouží filtr `ass` nástroje FFmpeg:

```
$ ffmpeg -i vstupní-video.mp4 -vf ass=vstupní-titulky.ass video-s-titulky.mp4
```

Filtr `ass` [25] implementuje softwarová knihovna `libass` [26], která ve výchozím nastavení nepoužívá kerningovou tabulku použitého písma [27]. Pro použití kerningové tabulky je třeba do sekce `[Script Info]` souboru `vstupní-titulky.ass` přidat řádek `Kerning: yes`.

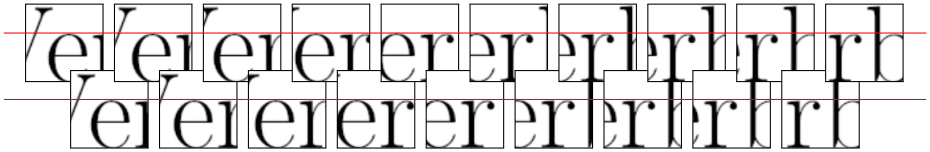


Verba volant, scripta manent.



(a) Při záznamu videa z ruky může vzniknout záznam s rozřešeným obrazem.

```
$ ffmpeg -i vstupní-video.mp4 -vf vidstabdetect -f null -  
$ ffmpeg -i vstupní-video.mp4 -vf vidstabtransform výstupní-video.mp43
```



(b) Filtry `vidstabdetect` a `vidstabtransform` izolují a odstraňují rychlé pohyby kamery. Dále dochází k přiblížení obrazu tak, aby nebyly viditelné okraje záběru.

Obrázek 2: Stabilizace videa pomocí filtrů nástroje FFmpeg.



(a) Obraz zachycený digitální kamerou může mít nedostatečné rozlišení.

```
$ ffmpeg -i vstupní-video.mp4 -f image2 obrázky-snímků/%06d.png  
$ find obrázky-snímků/ -name '*.png' | sort > obrázky-snímků.txt  
$ th waifu2x.lua -l obrázky-snímků.txt -model_dir models/photo -tta 1 \  
> -o zvětšené-obrázky/%06d.png  
$ ffmpeg -framerate 25 zvětšené-obrázky/%06d.png výstupní-video.mp4
```



(b) Nástroj `waifu2x` dokáže zvýšit rozlišení obrazu pomocí umělých neuronových sítí [30].

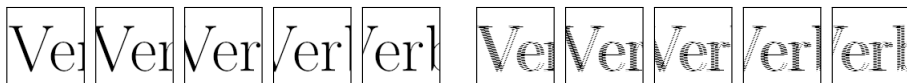
Obrázek 3: Navýšení rozlišení videa pomocí nástroje `waifu2x`.



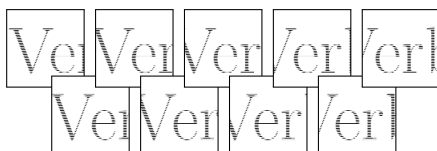
Verba volant, scripta manent.



(a) Při záznamu videa na digitální kameru dochází k zachycení mnoha snímků za sekundu.

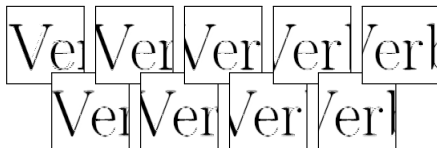
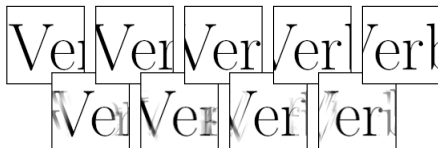


(b) U videa v neprokládaném formátu (nahore) obsahují snímky obraz pro daný okamžik. U videa v prokládaném formátu (vpravo nahore) obsahují snímky dva půlsnímky v polovičním rozlišení (vpravo) s obrazem ze dvou sousedních okamžiků.



```
$ ffmpeg -i vstupní-video.mp4 \  
> -vf minterpolate \  
> výstupní-video.mp4
```

```
$ ffmpeg -i vstupní-video.mp4 \  
> -vf yadif=send_field \  
> výstupní-video.mp4
```



(c) Filtr `minterpolate` dokáže u neprokládaných videí odhadnout obraz v mezilehlých okamžicích podle okolních snímků.⁴

(d) Filtr `yadif` dokáže u prokládaných videí zdvojnásobit rozlišení půlsnímku podle daného půlsnímku a jeho sousedů.

Obrázek 4: Navýšení snímkové frekvence videa pomocí filtrů nástroje FFmpeg.

³Všechny příkazy nástroje FFmpeg používají navíc následující výstupní parametry:

```
-c:v libx265 -crf 17 -preset placebo -pix_fmt yuv420p -c:a aac -b:a 384k -ar 44.1k
```

Tyto parametry zajišťují vizuálně a auditivně bezztrátovou kompresi videa [31] a zvuku [32].

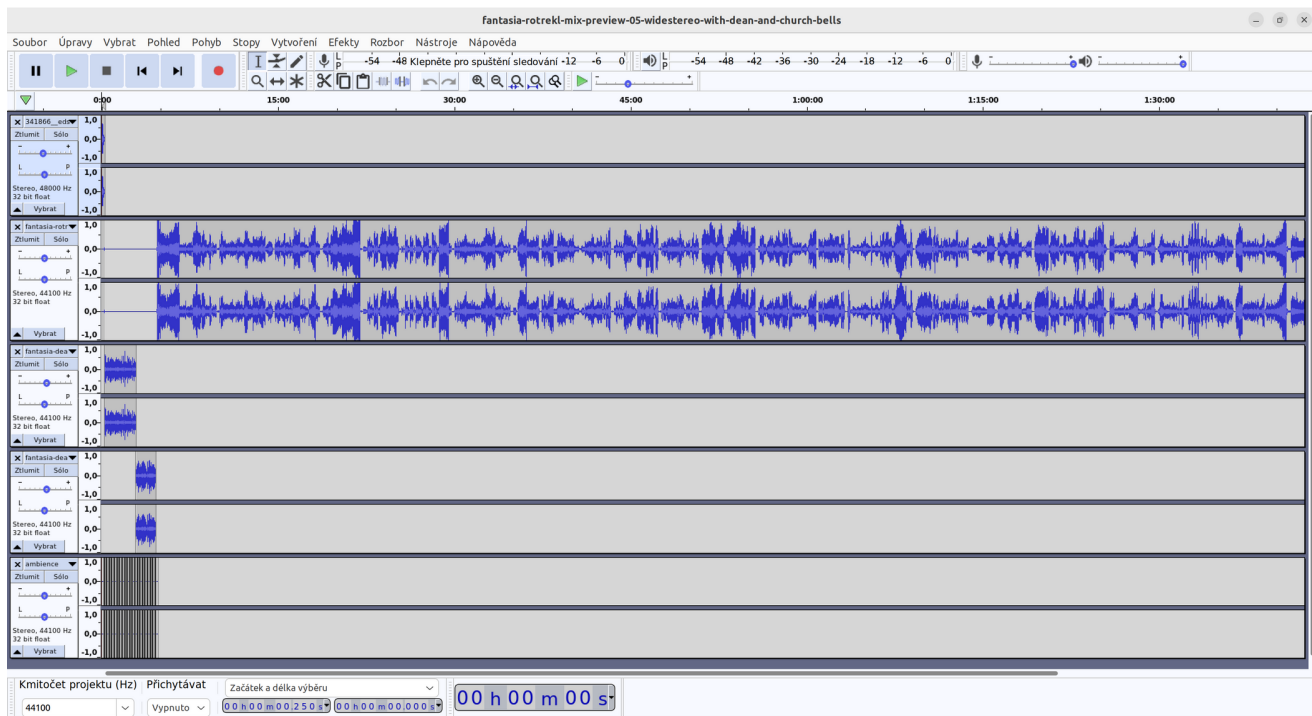
⁴Při rychlém pohybu kamery nebo zabíraného objektu mohou při použití filtru `minterpolate` vznikat vizuální artefakty, především na okrajích snímků a objektů. Při zpracování přednášek Donalda Knutha na FI MU jsem proto ze vstupního videa nejprve vytvořil obrázky snímků:

```
$ ffmpeg -i vstupní-video.mp4 -vf minterpolate obrázky-snímku/%06d.png
```

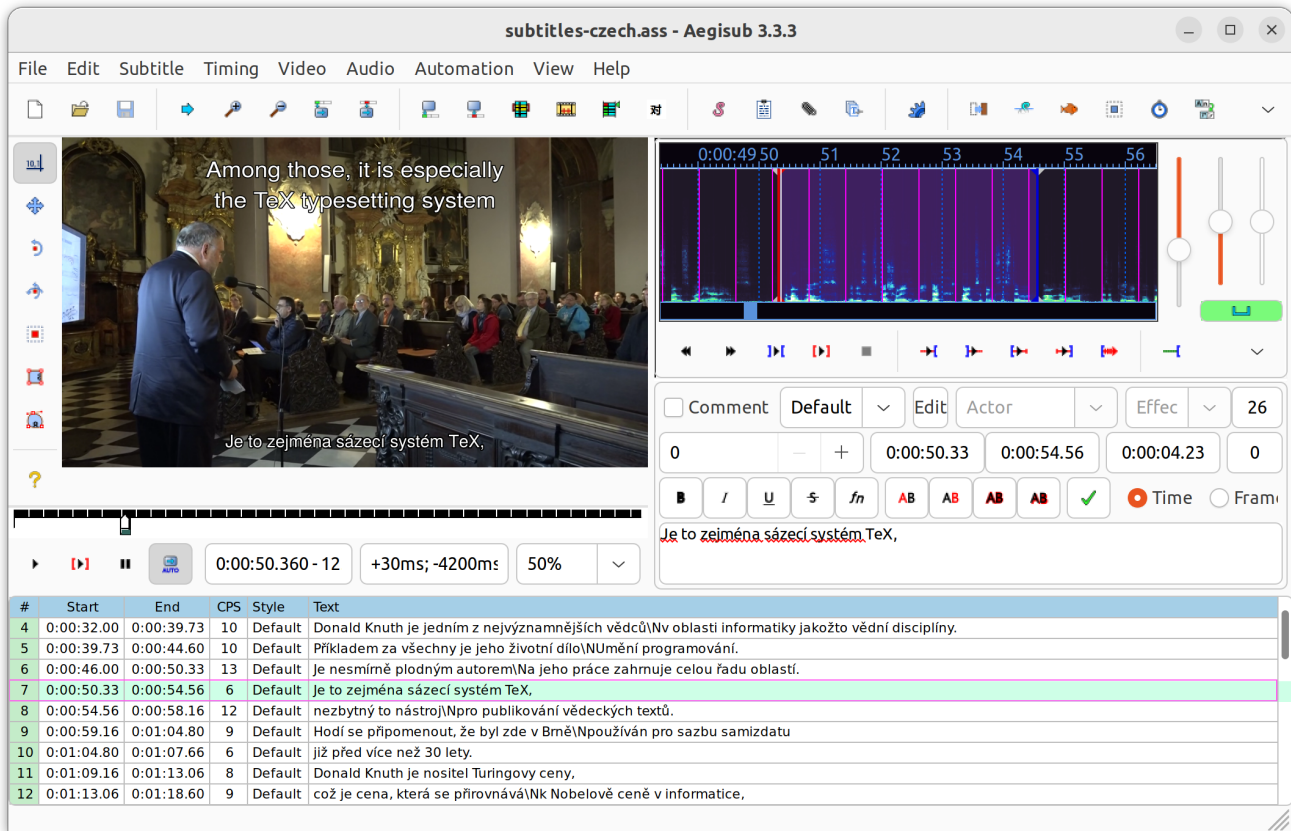
Potom jsem obrázky snímků ručně prošel a smazal jsem ty, na kterých byly viditelné artefakty na osobě Donalda Knutha. Nakonec jsem z obrázků snímků vytvořil výsledné video:

```
$ ffmpeg -framerate 50 obrázky-snímku/%06d.png výstupní-video.mp4
```

Video mělo proměnlivou frekvenci 25–50 snímků za sekundu podle počtu smazaných obrázků.



Obrázek 5: Zpracování zvuku ve svobodném programu Audacity. Výsledný mix zahrnuje zvuk zvonu (nahore), předzpracovaný zvuk představení od Petra „Tudy“ Holubáře (druhý odshora) a úvodní slovo Jiřího Zlatušky (uprostřed) podkreslené zvuky okolí (dole).



Obrázek 6: Příprava titulků úvodního slova ve svobodném programu Aegisub.

3 Příprava panelů doprovázejících varhanní oratorium

Představení doprovázela projekce na dvou panelech: První panel zobrazoval text Janovy Apokalypsy v novozákonní řečtině a anglickém překladu a druhý panel zobrazoval ilustrace Duane Bibbyho.⁵

Ve videozáznamu jsme panely oproti představení obohatili takto:

1. Do panelu s textem jsem přidal český překlad Janovy Apokalypsy.
2. Navýšil jsem rozlišení ilustrací od Duane Bibbyho.
3. Změny textu a ilustrací na prvních dvou panelech jsem ozvláštnil animací.
4. Tomáš Szaniszlo připravil třetí panel, který zobrazuje noty pro varhany.

V této sekci popisují proces přípravy panelů použitých ve videozáznamu.

3.1 Příprava panelu s trojjazyčným textem Zjevení Janova

Pro řecký a anglický text jsem použil PDF dokument [34] z kanadské premiéry, který zobrazuje nejprve řecký text na světle žlutém poli a pod ním anglický text na modrém poli, vizte Obrázek 7a.

Aby řecký a anglický text tvořily horní dvě barvy české trikolory, nejprve jsem PDF dokument dekomprimoval svobodným nástrojem Pdftk [35]. Následně jsem pomocí POSIXového editoru `sed` upravil barvu textu a pozadí v dekomprimovaném dokumentu tak, aby byl anglický text na červeném poli, vizte Obrázek 7b.

Pro český text jsem se svolením České biblické společnosti použil český ekumenický překlad. Pomocí \TeX u, písma Slabo od písmolijny Tiro Typeworks a nástroje ImageMagick [36] jsem vytvořil dokument, který vzhledově odpovídá řeckému a anglickému textu a který zobrazuje text na modrém poli, vizte Obrázek 7c.

3.2 Příprava panelu s ilustracemi Duanea Bibbyho

Ilustrace Duanea Bibbyho [37] jsem nejprve extrahoval z dokumentu PDF pomocí svobodného nástroje `pdftimages`. Poté jsem navýšil jejich rozlišení pomocí nástroje `waifu2x` podobně jako na Obrázku 3:

```
$ pdftimages -png fant-screen1-art.pdf ilustrace/ilustrace
$ find ilustrace/ -name '*.png' | sort > ilustrace.txt
$ th waifu2x.lua -l ilustrace.txt -model_dir models/anime_style_art_rgb \
> -noise_level 3 -tta 1 -o zvětšené-ilustrace/%06d.png
```

3.3 Animace panelů s textem a ilustracemi

Nejprve jsem pro všechny následující páry obrázků z panelů s textem a ilustracemi vygeneroval nástrojem FFmpeg videa s animací přechodu, vizte Obrázek 9.

Posléze jsem obrázky z panelů s textem a ilustracemi synchronizoval se zvukem představení ve svobodném programu Flowblade [38] pro digitální střih videa, vizte Obrázek 8. Projekt Flowblade jsem exportoval do souboru XML ve formátu

⁵Ilustrace Duane Bibbyho vyšly také v knize *Fantasia Apocalyptic Illustrated* [33], kterou je možné zakoupit např. na českém e-shopu bookshop.cz.

ΤΟΙΣ ΔΕ ΔΕΙΛΟΙΣ ΚΑΙ ΑΠΙΣΤΟΙΣ ΚΑΙ ΕΒΔΕΛΥΓΜΕΝΟΙΣ ΚΑΙ
ΦΟΝΕΥΣΙ ΚΑΙ ΠΟΡΝΟΙΣ ΚΑΙ ΦΑΡΜΑΚΟΙΣ ΚΑΙ ΕΙΔΩΛΟΛΑΤΡΑΙΣ
ΚΑΙ ΠΑΣΙ ΤΟΙΣ ΨΕΥΔΕΣΙ ΤΟ ΜΕΡΟΣ ΑΥΤΩΝ ΕΝ ΤΗ ΛΙΜΝΗ ΤΗ
ΚΑΙΟΜΕΝΗ ΕΝ ΠΥΡΙ ΚΑΙ ΘΕΙΩ Ο ΕΣΤΙΝ Ο ΘΑΝΑΤΟΣ Ο
ΔΕΥΤΕΡΟΣ

But cowards, traitors, perverts, murderers, the immoral,
those who practice magic, those who worship idols, and all
liars—the place for them is the lake burning with fire and
sulfur, which is the second death.”

(a) Pro vrchní část panelu jsem použil řecký a anglický text z kanadské premiéry. [34]

```
$ pdftk dokument.pdf output dekomprimovaný-dokument.pdf uncompress
$ sed -i dekomprimovaný-dokument.pdf \  
> -e's/\.686 \.933 \.933 RG \.686 \.933 \.933 rg/1 .890 .902 RG 1 .890 .902 rg/' \  
> -e's/\.627 \.322 \.176 RG \.627 \.322 \.176 rg/.184 .31 .31 RG .184 .31 .31 rg/'
```

But cowards, traitors, perverts, murderers, the immoral,
those who practice magic, those who worship idols, and all
liars—the place for them is the lake burning with fire and
sulfur, which is the second death.”

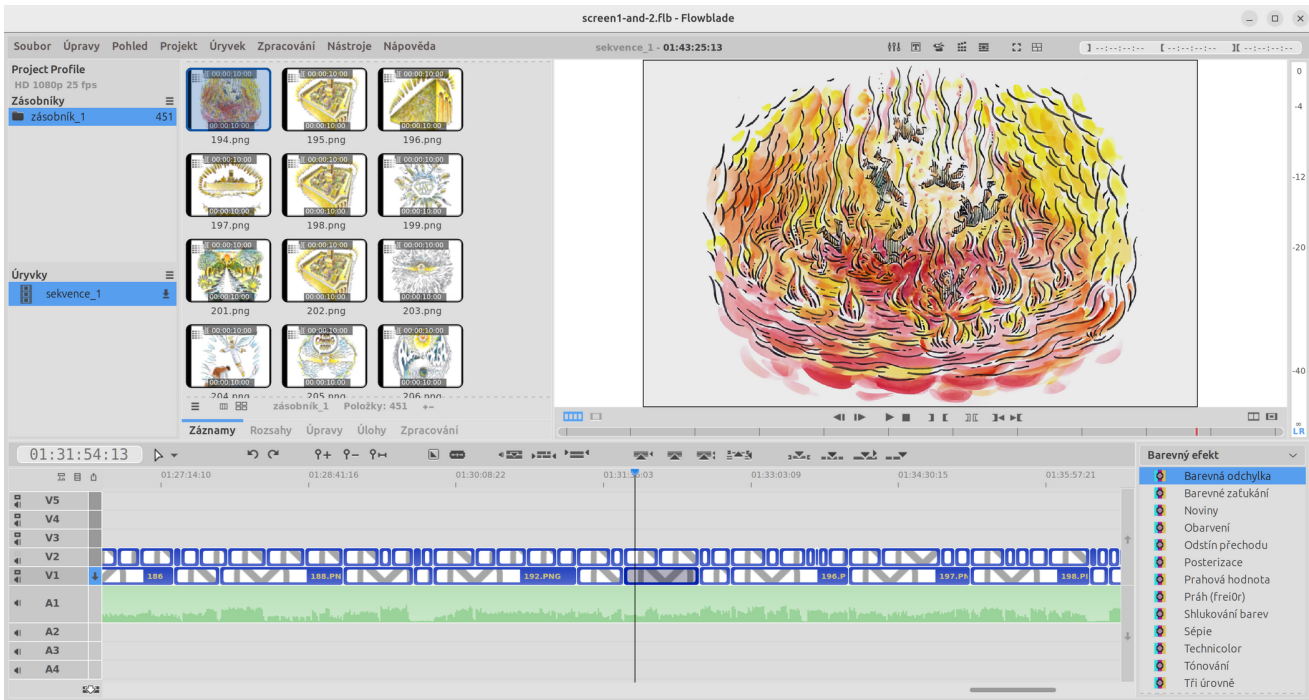
(b) PDF dokument s řeckým a anglickým textem jsem dekomprimoval nástrojem PDFtk a následně jsem ho upravil POSIXovým editorem sed tak, aby byl anglický text byl na červeném poli a spolu s řeckým textem tak tvořil horní dvě barvy české trikolory.

```
$ parallel -- convert -density 600 {} -resize '1920x1200!' sRGB {..}.png ::: *.pdf
$ ROZMAZEJ='-resize 50% -filter Gaussian -define filter:sigma=12 -resize 200%'
$ convert pozadí.png \(\ (zářící-text.png $ROZMAZEJ \) základní-text.png \  
> -composite \) -composite výsledný-překrytý-text.png
```

Avšak zbabělci, nevěrní, nečistí, vrahové, cizoložníci, zaklí-
nači, modláři a všichni lháři najdou svůj úděl v jezeře, kde
hoří oheň a síra. To je ta druhá smrt.“

(c) Pro spodní část panelu jsem pomocí T_EXu vytvořil samostatný dokument s českým ekumenickým překladem Janovy Apokalypsy. Pro efekt záře jsem vytvořil tři verze dokumentu s pozadím, zářícím textem a základním textem. Dokumenty jsem rasterizoval na bitmapy, zářící text jsem rozmazal a bitmapy jsem překryl, vše nástrojem ImageMagick.

Obrázek 7: Příprava panelu s trojjazyčným textem Zjevení Janova.

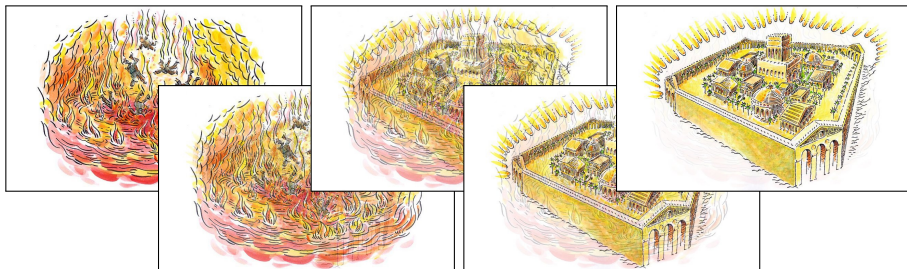


Obrázek 8: Synchronizace panelů s textem a ilustracemi se zvukem představení ve svobodném programu Flowblade.

```

$ ffmpeg -loop 1 -framerate 50 -i první-vstupní-obrázek.png \
> -loop 1 -framerate 50 -i druhý-vstupní-obrázek.png \
> -filter_complex "
> [0:v]trim=start=0:end=$D[prvni];
> [1:v]trim=start=0:end=$D[druhy];
> [prvni]format=yuva420p,fade=out:st=0:d=$D:alpha=1[stmivacka];
> [druhy]format=yuva420p,fade=in:st=0:d=$D:alpha=1[roztmivacka];
> [stmivacka][roztmivacka]overlay[prechod]
> " -map '[prechod]' -r 50 výstupní-video.mp4

```



Obrázek 9: Animace přechodu mezi dvěma obrázky pomocí nástroje FFmpeg.

používaném svobodnou softwarovou knihovnou MLT [39] pro střih videa. Z tohoto souboru jsem pomocí následujícího programu v jazyce Python 3 extrahoval soubory se seznamem obrázků a dobou jejich trvání vyčíslenou v snímčích videa:

```

import xml.etree.ElementTree as ET
from pathlib import Path

obrazky = {}
strom = ET.parse('vstupní-projekt.xml')
for producer in strom.findall('./producer'):
    obrazek = Path(producer.find('property[@name="resource"]').text)
    producer_id = producer.attrib['id']
    entry = strom.find(f'./playlist/entry[@producer="{producer_id}"]')
    trvani = int(entry.attrib['out']) - int(entry.attrib['in']) + 1
    obrazky[obrazek] = trvani

with open('časování-ilustrací.txt', 'wt') as f1, \
    open('časování-řeckého-a-anglického-textu.txt', 'wt') as f2, \
    open('časování-českého-textu.txt', 'wt') as f3:

```

⁶Proměnná D značí délku animace v sekundách. Použil jsem hodnoty $D=0.52$ pro krátké přechody o délce 520 milisekund a $D=1$ pro dlouhé přechody o délce jedné sekundy. Při frekvenci 50 snímků za sekundu trvají krátké přechody 26 snímků a dlouhé přechody 50 snímků.

```

for obrazek, trvani in sorted(obrazky.items()):
    if obrazek.parent.name == 'ilustrace':
        print(f'{obrazek.name}\t{trvani}', file=f1)
    elif obrazek.parent.name == 'řecký-a-anglický-text':
        print(f'{obrazek.name}\t{trvani}', file=f2)
        print(f'{obrazek.name}\t{trvani}', file=f3)

```

Jeden řádek výstupního souboru časování-ilustrací.txt je např. 194.png 1119. To znamená, že obrázek ilustrace/194.png s ilustrací verše 21:8 trvá 1 119 snímků videa, což je při frekvenci 50 snímků za sekundu přibližně 22 sekund.

Pro každý obrázek jsem vybral animaci podle jeho doby trvání:

- Po obrázcích kratších než 2 sekundy následuje okamžitě další obrázek.
- Po obrázcích dlouhých 2–5 sekund následuje krátká animace přechodu (520 ms).
- Po obrázcích delších než 5 sekund následuje dlouhá animace přechodu (1 s).

Např. po obrázku ilustrace/194.png následuje dlouhá animace přechodu.

Dále jsem pro každý obrázek nástrojem FFmpeg vygeneroval video, jehož délka odpovídala době trvání obrázku po odečtení doby trvání animace. Např. video pro obrázek ilustrace/194.png trvá 1 119 snímků videa po odečtení jedné sekundy pro dlouhou animaci přechodu:

```

$ ffmpeg -loop 1 -framerate 50 -i ilustrace/194.png \
> -t $(bc -l <<< '1119 / 50 - 1') \
> -r 50 výstupní-video-pro-verš-21-08.mp4

```

Nakonec jsem videa obrázků a videa animací spojil nástrojem FFmpeg do tří animovaných videí s řeckým a anglickým textem, českým textem a ilustracemi [40].

3.4 Příprava panelu s notami pro varhany

Pro každou z 22 kapitol si Tomáš Szanislo na notebooku otevřel digitalizované noty pro varhany [1, sekce „Music scores to download“] v prohlížeči PDF dokumentů a začal zaznamenávat obrazovku počítače. Následně si Tomáš pustil zvuk představení a pomocí trackpadu posouval noty tak, aby zobrazená část odpovídala zvuku. Výsledkem bylo 22 videí not pro varhany, vizte Obrázek 10.

Tato videa jsem nástrojem FFmpeg seřízl z 1920 px na 1344 px, aby zmizely postranní šedivé okraje:

```

$ ffmpeg -i vstupní-video.mp4 \
> -vf 'crop=1344:1076:280:4,
> pad=w=1920:h=1076:x=ow-ih/2:y=oh-ih/2:color=white' \
> výstupní-video.mp4

```

Dále jsem do horní části videí doplnil bílý obdélník o výšce 62 px, který na začátku videa překrývá horní šedivý okraj a pak se změní na poloprůhledný obdélník, který přechází od plné neprůhlednosti ve své horní části po plnou průhlednost ve své spodní části a tvoří tak měkký předěl mezi notami a ilustracemi:

```

$ ffmpeg -i vstupní-video.mp4 \

```

First system of musical notation, featuring a bass clef and a 3/4 time signature. The right hand has a triplet of eighth notes, and the left hand has a quarter note followed by a quarter rest.

Second system of musical notation, featuring a grand staff with treble and bass clefs. The right hand has a quarter note followed by eighth notes, and the left hand has a triplet of eighth notes followed by a quarter note.

Third system of musical notation, featuring a grand staff with treble and bass clefs. The right hand has a triplet of eighth notes followed by a quarter note, and the left hand has a quarter note followed by a quarter rest. The dynamic marking *Sw mf* is present.

Obrázek 10: Videozáznam not pro varhany od Tomáše Szaniszla.

```

> -vf "drawbox=0:0:1920:62:white:fill:enable='lte(n,$N7)',
> drawbox=0:0:1920:1:white@1.0000:enable='gt(n,$N)',
> drawbox=0:1:1920:1:white@0.9838:enable='gt(n,$N)',
> drawbox=0:2:1920:1:white@0.9677:enable='gt(n,$N)',
> ...
> drawbox=0:61:1920:1:white@0.016:enable='gt(n,$N)'" \
> výstupní-video.mp4

```

Poté jsem videa sestříhal a synchronizoval se zvukem představení v programu Flowblade podobně jako v předchozí sekci. Výsledné video jsem vykreslil nástrojem Melt z knihovny MLT:

```

$ melt vstupní-projekt.xml -consumer avformat:výstupní-video.mp4 \
> vcodec=libx265 crf=17 preset=veryslow pix_fmt=yuv420p \
> acodec=aac ab=384k ar=44100

```

Pro srovnání surových videí not s výsledným videem vizte obrázky 10 a 12.

4 Spojení jednotlivých částí do výsledného videa

Nejprve jsem videa panelů s textem, ilustracemi a notami pro varhany spojil podle diagramu na Obrázku 11:

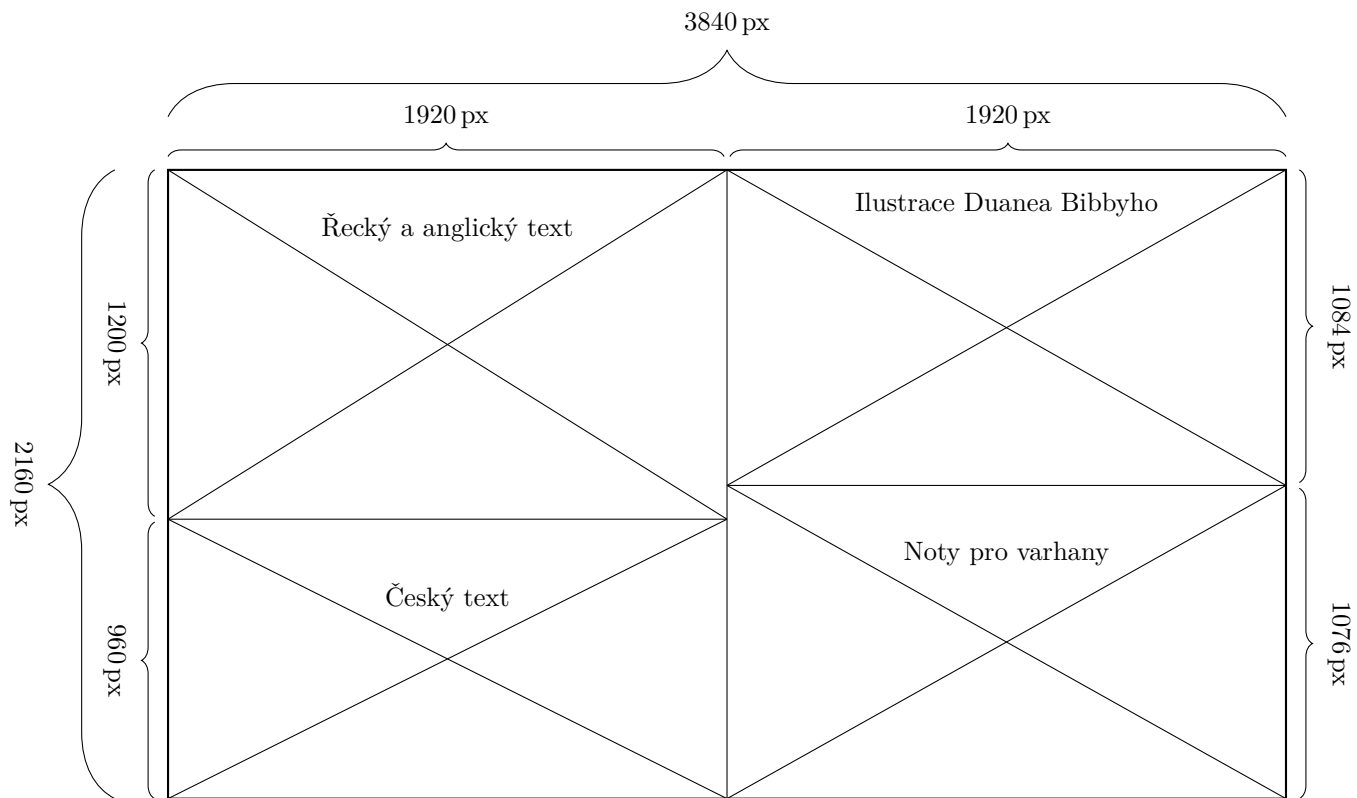
```

$ ffmpeg -f lavfi -i color=c:white:s=3840x2160:rate=50 \
> -i vstupní-video-s-řeckým-a-anglickým-textem.mp4 \
> -i vstupní-video-s-českým-textem.mp4 \
> -i vstupní-video-s-ilustracemi.mp4 \
> -i vstupní-video-s-notami-pro-varhany.mp4 \
> -filter_complex '
> [0:v]null[pozadi]; [1:v]null[recky-a-anglicky-text];
> [2:v]crop=1920:960:0:63[cesky-text];
> [3:v]pad=1920:1084:ow-ih/2:oh-ih/2:white[ilustrace];
> [4:v]crop=1344:1076:280:4,
> pad=1920:1076:ow-ih/2:oh-ih/2:white[noty];
> [pozadi][recky-a-anglicky-text]overlay=0:160[kolaz1];
> [kolaz1][cesky-text]overlay=0:1360[kolaz2];
> [kolaz2][noty]overlay=1920:1084[kolaz3];
> [kolaz3][ilustrace]overlay=1920:0[kolaz]' \
> -map '[kolaz]' -t 01:43:25 -r 50 výstupní-video.mp4

```

Potom jsem k výsledku připojil videozáznam úvodního slova a závěru [40]. Obrázek 12 ukazuje výsledné video.

⁷Proměnná $\$N$ značí snímek, po kterém se obdélník změní na poloprůhledný, a liší se pro jednotlivá videa not. Např. ve videu pro 21. kapitolu jsem nastavil $N=2700$. Při frekvenci 50 snímků za sekundu tedy dojde ke změně po 54 sekundách, kdy již Tomáš posunul noty tak, že horní šedivý okraj není vidět.



Obrázek 11: Diagram pro spojení jednotlivých panelů do výsledného videa.

21:08

ΤΟΙΣ ΔΕ ΔΕΙΛΟΙΣ ΚΑΙ ΑΠΙΣΤΟΙΣ ΚΑΙ ΕΒΔΕΛΥΓΜΕΝΟΙΣ ΚΑΙ
ΦΟΝΕΥΣΙ ΚΑΙ ΠΟΡΝΟΙΣ ΚΑΙ ΦΑΡΜΑΚΟΙΣ ΚΑΙ ΕΙΔΩΛΟΛΑΤΡΑΙΣ
ΚΑΙ ΠΑΣΙ ΤΟΙΣ ΨΕΥΔΕΣΙ ΤΟ ΜΕΡΟΣ ΑΥΤΩΝ ΕΝ ΤΗ ΛΙΜΝΗ ΤΗ
ΚΑΙΟΜΕΝΗ ΕΝ ΠΥΡΙ ΚΑΙ ΘΕΙΩ Ο ΕΣΤΙΝ Ο ΘΑΝΑΤΟΣ Ο
ΔΕΥΤΕΡΟΣ

But cowards, traitors, perverts, murderers, the immoral,
those who practice magic, those who worship idols, and all
liars—the place for them is the lake burning with fire and
sulfur, which is the second death.”

Avšak zbabělci, nevěrní, nečistí, vrahové, cizoložníci, zaklí-
nači, modláři a všichni lháři najdou svůj úděl v jezeře, kde
hoří oheň a síra. To je ta druhá smrt.“

Obrázek 12: Výsledné video.



5 Závěr

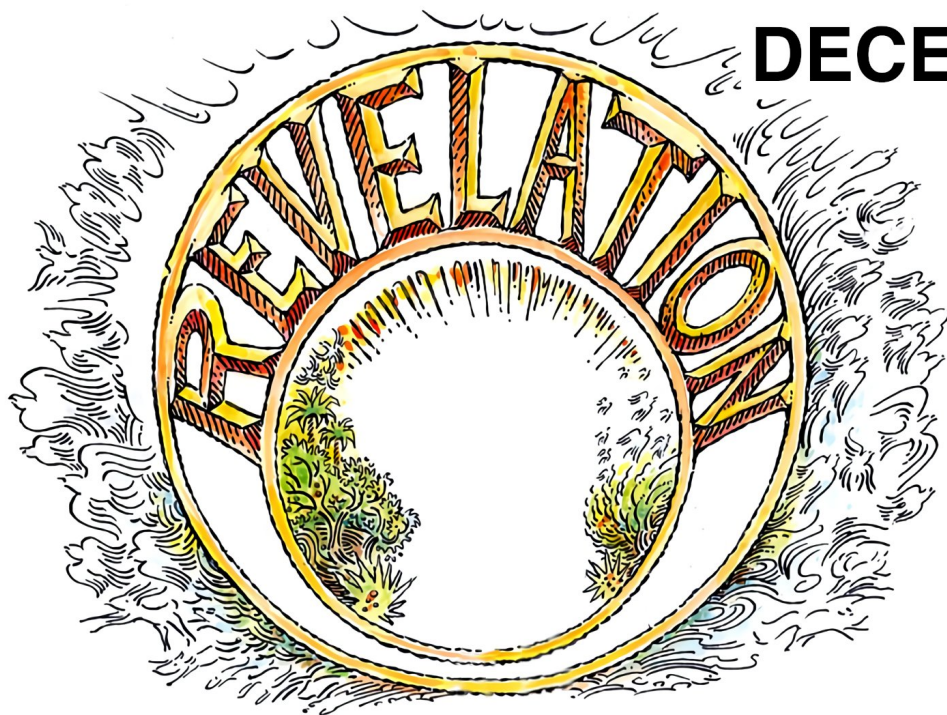
Dne 18. prosince 2019 se v posluchárně D3 na FI MU konalo promítání videozáznamu představení, vizte Obrázek 13.

Před začátkem promítání spustil Tomáš Szaniszlo přes piezoelektrické reproduktory integrované na základních deskách počítačů v počítačové hale digitalizovanou verzi hudby, která při představení doprovází verš 2:1 Zjevení. Zároveň zobrazil na monitorech všech počítačů v hale zprávu: „Přijďte na promítání v D3 o 18:18“ [41]. Překvapeně studující následně dovedl do posluchárny autor článku, přestrojený za proroka Jana.

Videozáznam byl zveřejněn na YouTube kanálu FI MU 1. ledna 2020 [2].

Odkazy

1. KNUTH, Donald. *Fantasia Apocalyptica* [online]. [cit. 2023-09-10]. Dostupné z: <https://www-cs-faculty.stanford.edu/~knuth/fant.html>.
2. FAKULTA INFORMATIKY MASARYKOVY UNIVERZITY. *Fantasia Apocalyptica: Česká premiéra* [online]. YouTube, 2020-01-01 [cit. 2023-09-10]. Dostupné z: <https://youtu.be/wk7dEKMP68>.
3. LUPTÁK, Dávid. *Fantasia Apocalyptica: Česká premiéra. Zpravodaj ČSTUGu*. 2019, roč. 29, č. 1–4, s. 11–18. ISSN 1211-6661. Dostupné z DOI: 10.5300/2019-1-4/11.
4. SZANISZLO, Tomáš. *Dva bloky otázek a odpovědí od Donalda Knutha na FI MU. Zpravodaj ČSTUGu*. 2020, roč. 30, č. 1–2, s. 64–97. ISSN 1211-6661. Dostupné z DOI: 10.5300/2020-1-2/64.
5. *Laboratoř elektronických multimediálních aplikací (LEMMA) – Filmový festival FI MU: Celouniverzitní spolek* [online]. [cit. 2024-04-08]. Dostupné z: <https://www.muni.cz/studenti/studentske-spolky/lemma-filmovy-festival-fi-mu>.
6. ŠILER, Pavel. *Knuth Q&A Session 1 (video, Sony PXW-X70)* [online]. 2019-10-08. [cit. 2024-04-08]. Dostupné z: <ssh://anxur.fi.muni.cz/export/fi-graphics/2019-10-Turing-week/2019-10-08-video-Knuth-QA1-Sony-Siler/>.
7. ŠILER, Pavel. *Knuth Q&A Session 2 (video, Sony PXW-X70)* [online]. 2019-10-09. [cit. 2024-04-08]. Dostupné z: <ssh://anxur.fi.muni.cz/export/fi-graphics/2019-10-Turing-week/2019-10-09-video-Knuth-QA2-Sony-Siler/>.
8. ŠILER, Pavel. *Fantasia Apocalyptica (video, Sony PXW-X70)* [online]. 2019-10-11. [cit. 2024-04-08]. Dostupné z: <ssh://anxur.fi.muni.cz/export/fi-graphics/2019-10-Turing-week/2019-10-11-video-Fantasia-apocalyptica-Sony-Siler/>.



DECEMBER 18
D3 18:18



Obrázek 13: Plakát zvoucí studující a zaměstnance FI MU na promítání videozáznamu přestavení.

9. *FFmpeg: A complete, cross-platform solution to record, convert and stream audio and video* [online]. [cit. 2024-04-11]. Dostupné z: <https://ffmpeg.org/>.
10. NAGADOMI. *waifu2x: Image Super-Resolution for Anime-Style Art* [online]. [cit. 2019-11-21]. Dostupné z: <https://github.com/nagadomi/waifu2x>.
11. *FFmpeg Filters Documentation: vidstabdetect* [online]. [cit. 2024-04-08]. Dostupné z: <https://ffmpeg.org/ffmpeg-filters.html#vidstabdetect>.
12. *FFmpeg Filters Documentation: vidstabtransform* [online]. 2024-04-07. [cit. 2024-04-08]. Dostupné z: <https://ffmpeg.org/ffmpeg-filters.html#vidstabtransform>.
13. *FFmpeg Filters Documentation: minterpolate* [online]. [cit. 2024-04-08]. Dostupné z: <https://ffmpeg.org/ffmpeg-filters.html#minterpolate>.
14. *FFmpeg Filters Documentation: yadif* [online]. [cit. 2024-04-08]. Dostupné z: <https://ffmpeg.org/ffmpeg-filters.html#yadif-1>.
15. SOJKA, Petr. *Fantasia Apocalyptica (zvuk, Zoom H1)* [online]. 2019-10-11. [cit. 2024-04-08]. Dostupné z: <ssh://anxur.fi.muni.cz/export/fi-graphics/2019-10-Turing-week/2019-10-11-audio-Fantasia-apocalyptica-ZoomH1-TS/>.
16. HOLUBÁŘ, Petr. *Fantasia Apocalyptica (zvuk, mix)* [online]. 2019-10-11. [cit. 2024-04-08]. Dostupné z: <ssh://anxur.fi.muni.cz/export/fi-graphics/2019-10-Turing-week/2019-10-11-audio-Fantasia-apocalyptica-Mix-Tudio/>.
17. SOJKA, Petr. *Fantasia Apocalyptica (zvuk, Roland R26)* [online]. 2019-10-11. [cit. 2024-04-08]. Dostupné z: <ssh://anxur.fi.muni.cz/export/fi-graphics/2019-10-Turing-week/2019-10-11-audio-Fantasia-apocalyptica-RolandR26zLemma-organ/>.
18. ŠILER, Pavel. *Fantasia Apocalyptica (zvuk, Sony PXW-X70)* [online]. 2019-10-11. [cit. 2024-04-08]. Dostupné z: <ssh://anxur.fi.muni.cz/export/fi-graphics/2019-10-Turing-week/2019-10-11-audio-Fantasia-apocalyptica-Sony-Siler/>.
19. *SSL G-Master Buss Compressor: "Glue" tracks into a smooth, cohesive mix* [online]. [cit. 2024-04-29]. Dostupné z: <https://www.waves.com/plugins/ssl-g-master-buss-compressor>.
20. STARÝ NOVOTNÝ, Vít. *Fantasia Apocalyptica (zvuk, mix)* [online]. 2019-11-19. [cit. 2024-04-08]. Dostupné z: <ssh://anxur.fi.muni.cz/export/fi-graphics/2019-10-Turing-week/2019-11-19-audio-Fantasia-apocalyptica-Mix-Novotny/>.
21. STARÝ NOVOTNÝ, Vít. *Fantasia Apocalyptica (zvuk, mix)* [online]. 2019-12-09. [cit. 2024-04-08]. Dostupné z: <ssh://anxur.fi.muni.cz/export/fi-graphics/2019-10-Turing-week/2019-12-09-audio-Fantasia-apocalyptica-Mix-Novotny/>.

22. EDSWARD. *ChurchBellKonstanz.wav: Church bells of the Minster in Constance, Germany* [online]. 2016-04-01. [cit. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://freesound.org/people/edsward/sounds/341866/>.
23. MAČEJOVSKÝ, Šimon. *Úvodní slovo a závěr (video)* [online]. 2019-12-24. [cit. 2024-05-02]. Dostupné z: <ssh://anxur.fi.muni.cz/export/fi-graphics/2019-10-Turing-week/2019-12-24-video-strih-4k-Macejovsky/>.
24. MORÁVKOVÁ, Martina. *Knuth Q&A Session 1 (fotografie)* [online]. 2019-10-08. [cit. 2024-05-02]. Dostupné z: <ssh://anxur.fi.muni.cz/export/fi-graphics/2019-10-08-foto-dek1-Mor%C3%A1vkov%C3%A1/>.
25. *FFmpeg Filters Documentation: ass* [online]. [cit. 2024-05-02]. Dostupné z: <https://ffmpeg.org/ffmpeg-filters.html#ass>.
26. *libass* [online]. [cit. 2024-05-02]. Dostupné z: <https://github.com/libass/libass>.
27. STARÝ NOVOTNÝ, Vít. *Enable font kerning by default* [online]. 2020-01-02. [cit. 2024-05-02]. Dostupné z: <https://github.com/Aegisub/Aegisub/issues/164>.
28. STARÝ NOVOTNÝ, Vít. *Úvodní slovo a závěr (titulky)* [online]. 2019-12-12. [cit. 2024-05-02]. Dostupné z: <ssh://anxur.fi.muni.cz/export/fi-graphics/2019-10-Turing-week/2019-12-12-titulky-Novotny/>.
29. *Aegisub: Advanced Subtitle Editor* [online]. [cit. 2024-05-02]. Dostupné z: <https://aegisub.org/>.
30. DONG, Chao; LOY, Chen Change; HE, Kaiming; TANG, Xiaoou. Image Super-Resolution Using Deep Convolutional Networks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2016, roč. 38, č. 2, s. 295–307. Dostupné z DOI: 10.1109/TPAMI.2015.2439281.
31. *FFmpeg: H.265/HEVC Video Encoding Guide* [online]. [cit. 2024-10-03]. Dostupné z: <https://trac.ffmpeg.org/wiki/Encode/H.265>.
32. *FFmpeg: AAC Audio Encoding Guide* [online]. [cit. 2024-10-31]. Dostupné z: <https://trac.ffmpeg.org/wiki/Encode/AAC>.
33. KNUTH, Donald; BIBBY, Duane. *Fantasia Apocalyptica Illustrated*. Center for the Study of Language a Information, Stanford, 2018. ISBN 978-1684000449.
34. MORLAND, Isaac. *Fantasia Apocalyptica* [online]. 2018. [cit. 2024-08-05]. Dostupné z: <https://www-cs-faculty.stanford.edu/~knuth/fant-screen2-texts.pdf>.
35. *PDFtk: The PDF Toolkit* [online]. [cit. 2024-08-26]. Dostupné z: <https://www.pdflabs.com/tools/pdftk-the-pdf-toolkit/>.
36. *ImageMagick: Mastering Digital Image Alchemy* [online]. [cit. 2024-10-03]. Dostupné z: <https://imagemagick.org/>.
37. BIBBY, Duane R.; KNUTH, Donald E. *Fantasia Apocalyptica Illustrated*. Stanford, California: Center for the Study of Language a Information,

2018. ISBN 978-1684000449. Dostupné také z: <https://www-cs-faculty.stanford.edu/~knuth/fant-screen1-art.pdf>.
38. *Flowblade: Free & Libre Video Editor* [online]. [cit. 2024-10-03]. Dostupné z: <https://jliljeb1.github.io/flowblade/>.
39. *MLT Multimedia Framework* [online]. [cit. 2024-10-03]. Dostupné z: <https://www.mltframework.org/>.
40. *FFmpeg: Concatenating media files* [online]. [cit. 2024-10-03]. Dostupné z: <https://trac.ffmpeg.org/wiki/Concatenate>.
41. SZANISZLO, Tomáš. *Knuth: Fantasia Apocalyptica D3 call* [online]. 2019-12-18. [cit. 2024-10-23]. Dostupné z: <https://gitlab.fi.muni.cz/unix/beplay/-/commit/68c59a75>.

Summary: Recording the Czech premiere of the “Fantasia Apocalyptica” multimedia work

On October 11, 2019, the Czech premiere of the “Fantasia Apocalyptica” multimedia work was held for the 25th anniversary of Masaryk University’s Faculty of Informatics, featuring its author, Donald Knuth. A video recording of the performance was taken and published at the YouTube channel of the Faculty of Informatics.

In this article, I describe how the recording was prepared from processing the raw footage through replicating the panels that accompanied the performance to the final composition. Apart from super-resolution imaging, the editing of the intro and the wrap-up, and the compression of sound, only free open-source tools like $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$, Audacity, Aegisub, FFmpeg, MLT, PDFtk, and ImageMagick were used. In the article, I describe how readers can use these tools for their own recordings.

Keywords: footage acquisition, audio-visual production, subtitles, $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$, Audacity, Aegisub, ASS, FFmpeg, ImageMagick, MLT, PDFtk, waifu2x

Vít Starý Novotný, witiko@mail.muni.cz