

Teze disertační práce

## **Rekonstrukce trestného činu ve virtuální realitě**

### **Crime Scene Reconstruction within Virtual Reality**

**Autor:** **Ing. Jiří Ševčík, Ph.D.**

**Studijní program:** Inženýrská informatika (P3902)  
**Studijní obor:** Inženýrská informatika (3902V023)

**Školitel:** doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.

**Oponenti:** prof. Ing. Tomáš Loveček, PhD.  
doc. RNDr. Karla Barčová, Ph.D.  
doc. Ing. Kamil Židek, PhD.

Zlín, prosinec 2022

© Jiří Ševčík

**Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, edice Doctoral Thesis Summary, 2022**

*Klíčová slova: rekonstrukce trestného činu, 3D rekonstrukce, virtuální realita, bezkontaktní reflexivní skenování, retopologie, kriminalisticko-taktická metoda, forenzní vědy*

*Key words: crime scene reconstruction, 3D reconstruction, virtual reality, contactless reflective scanning, retopology, criminal, criminalistic-tactical method, forensic science*

Práce je dostupná v Knihovně UTB ve Zlíně.

ISBN 978-80-7678-142-9

## **ABSTRAKT**

Tato práce pojednává o potenciálech syntézy několika vědecko-technických oblastí, s úmyslem navrhnout a ověřit pracovní postup přípravy rekonstrukce scénáře trestného činu v prostředí virtuální reality. Ve své podstatě se jedná o modernizovanou verzi kriminalisticko-taktické metody zvláštního způsobu dokazování. K tvorbě prostorové digitální repliky místa trestného činu je nejprve využito metod bezkontaktního reflexivního skenování, následně 3D rekonstrukce polygonální sítě a textury. Výsledný komplexní 3D model místa trestného činu je následně zjednodušen pro splnění požadavků zobrazení ve virtuální realitě. S ohledem na omezené množství času a prostředků, které mají kriminalisté v praxi k dispozici, jsou v rámci práce navrženy modifikované způsoby řešení vybraných procesů pracovního postupu rekonstrukce scénáře trestného činu ve virtuální realitě. Praktická proveditelnost a parametry významných procesů jsou ověřeny prostřednictvím případových experimentů. Zásadním posláním navržené metody je snížení míry neurčitosti v rámci procesu dokazování trestného činu.

## **ABSTRACT**

This thesis discusses the potentials of synthesis of several scientific and technical fields, with the intention of designing and validating a workflow for the preparation of a crime scene reconstruction within virtual reality. In essence, it is a modernized version of a special method of proof included in criminalistics-tactical methods. Contactless reflective scanning methods followed by 3D reconstruction of the polygonal network and texture were utilized to create a spatial digital replica of the crime scene. The resulting crime scene complex 3D model is subsequently simplified to meet the requirements of display in virtual reality. Modified ways of solving selected processes of the crime scenario reconstruction workflow in virtual reality are proposed with regard to the limited amount of time and resources available to criminalists in practice. The practical feasibility and parameters of important processes are verified through case experiments. An uncertainty reduction within the crime proving process represents fundamental mission of the method proposed.

# OBSAH

ÚVOD.....	6
1. ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU .....	7
2. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE .....	8
3. ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ .....	8
3.1 Aplikované vědecké metody.....	9
3.2 Přístroje a metody bezkontaktního reflexivního skenování .....	9
3.3 Softwarové nástroje 3D rekonstrukce.....	9
3.4 Vývojové prostředí virtuální realit.....	9
4. ZÁSADY ZPRACOVÁNÍ 3D REKONSTRUKCE MÍSTA TČ VE VR .....	9
4.1 Identifikace limitů proveditelnosti.....	10
4.2 Evaluační trojúhelník.....	10
4.3 Typy 3D rekonstrukce místa TČ.....	10
4.3.1 Zjednodušená geometrická rekonstrukce .....	10
4.3.2 Autentická rekonstrukce .....	11
4.3.3 Autentická fotorealistická rekonstrukce .....	11
4.3.4 Účelová hybridní rekonstrukce.....	12
5. PRACOVNÍ POSTUP 3D REKONSTRUKCE SCÉNÁŘE TČ V PROSTŘEDÍ VR.....	12
5.1 Operační část.....	13
5.2 Výpočetní část.....	13
5.3 Kriminalisticko-taktická část .....	15
6. EXPERIMENT A – POŽADAVKY NA KVALITU VSTUPNÍCH DAT ..	15
6.1 Multimodální skenování prostoru.....	16
6.2 3D rekonstrukce .....	17
6.2.1 Srovnání výsledných modelů a přínos experimentu.....	17
6.3 Skenování zrcadlových a lesklých povrchů.....	18
6.4 Fotogrammetrie předmětů s využitím křížové polarizace .....	19
7. EXPERIMENT B – POLOAUTOMATICKÁ METODA ZJEDNODUŠENÍ POLYGONÁLNÍ SÍTĚ .....	19

7.1 Zjednodušení a import technikou AllinOne .....	20
8. PŘÍNOS PRO VĚDU A PRAXI .....	23
ZÁVĚR .....	24
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	26
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	26
SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ .....	26
Dosavadní publikační činnost autora .....	27
Curriculum vitae.....	29

# ÚVOD

Digitalizace je nezastavitelným procesem transformujícím jednotlivé odvětví lidské činnosti. Ambiciózně lze tvrdit, že lidstvo je svědky jakési digitální technologické revoluce. Termín revoluce, ač se může jevit příliš nadsazeně, je zvolen s ohledem na nerovnoměrnou schopnost jednotlivých generací obyvatelstva planety Země zachytit velmi strmý průběh evoluce informačních a komunikačních technologií z angl. Information and Communication Technologies (ICT), která s sebou nese bezesporu mnoho nových možností, jak současný svět zdokonalit, zefektivnit, či jiným způsobem inovovat. Na druhou stranu se žádná revoluce neobejde bez negativních dopadů, a proto je na místě každý takto strmý růst kontrolovat a podrobovat jej vědeckému, případně praktickému zkoumání.

Digitalizaci lze definovat jako proces převádějící informaci z původní analogové podoby, do podoby digitální. Je důležité si uvědomit, že digitalizovaná verze informace není náhradou originálu, je však provedena za určitým účelem. Cílem je převod vybraných měřitelných fyzikálních veličin digitalizovaného objektu do numerických hodnot, jejich kódování a uložení za účelem pozdějšího vygenerování jiných fyzikálních veličin s cílem umožnit pozdějšímu uživateli fyziologické vjemy nahrazující přímé vnímání originálu. Dle komplexity informace, nebo také objektu se odvíjí i náročnost jeho digitalizace, kupříkladu digitalizace karty pacienta představuje méně náročný úkol v porovnání s vytvořením digitalizované verze plánů budovy, tzv. informačních modelů budovy z angl. Building Information Model (BIM). Možnosti vytvářet komplexnější digitalizované kopie prakticky čehokoliv rostou doslova každým dnem. Za tímto neustálým a velmi rychlým vývojem stojí oblast informačních a komunikačních technologií, a dále rozvoj a dostupnost technologií strojového získávání, zpracování a následné interpretace atribut, reprezentujících vlastnosti originálních zdrojů informací.

Posláním zpracované disertační práce bylo navrhnout a prakticky ověřit metodický postup tvorby digitální prostorové rekonstrukce objektů potenciálně souvisejících s vyšetřováním trestného činu a následně specifikovat možnosti jejich využití v interaktivním prostředí virtuální reality. Z pohledu kriminalistické praxe lze celý proces popsat jako návrh technického řešení kriminalisticko-taktické metody. Nejednalo se tedy o návrh naprosto nové kriminalisticko-taktické metody, nýbrž o specifikaci a ověření technických možností aplikace moderních technologií snímání, zpracování a zobrazení strojově získaných informací v návaznosti na zvláštní způsoby dokazování trestného činu spadající pod obor kriminalistické taktiky. Vybrané kriminalisticko-taktické metody byly využity jako zdroj tvůrčí inspirace a především praktických, léty prověřených poznatků.

# 1. ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU

Problematika 3D rekonstrukce nebo také 3D dokumentace místa trestného činu (dále TČ) je mladou oblastí výzkumu, která se začala více rozvíjet s příchodem dostupného hardwarového a softwarového vybavení splňujícího požadavky forenzní dokumentace. Mezi základní aspekty praktické uplatnitelnosti se řadí především zvyšující se přesnost a rychlost 3D rekonstrukce. Uplatnění pokročilých metod 3D dokumentace v různých úrovních detailu je podrobováno komparačním vědeckým studiím, kde jsou moderní metody digitální 3D dokumentace porovnávány s těmi konvenčně využívanými v kriminalistické praxi. Za zrodem publikačních médií věnujících se tématu snímání a zobrazování ve forenzních vědách stojí zejména publikace věnující se otázce autenticity přenosu reálných objektů do digitální verze. Výstupem procesu prostorové rekonstrukce jsou 3D modely, které je nutné dále zpracovat do podoby, která umožní jejich následnou interpretaci. Ta může být nejen statická, ale i dynamická, kde je možno s objekty interagovat, s čímž souvisí potřeba objekty animovat a umožnit tak vizuální simulace jejich základních vlastností v 3D prostoru. Procedura dodatečné úpravy skenovaných, či jinak získaných prostorových dat představuje poměrně komplexní proces, který se může lišit dle účelu, za jakým mají být využita. Poslední vědecké práce experimentují s možnostmi interpretace a interakce forenzních dat prostřednictvím virtuální reality [1, 2]. Posláním této kapitoly je čtenáře seznámit s dosavadním vědeckým poznáním a současnými trendy této mladé velmi rychle se rozvíjející vědecké tematiky.

Metody prostorového snímání a zobrazování nachází uplatnění stále v širším výčtu forenzních aplikací. Toto interdisciplinární spojení vede k vývoji inovovaných, nebo naprosto nových forenzních metod, jejichž využití má potenciál snížit míru nejistoty v rámci vyšetřování, a především dokazování podstaty širokého spektra TČ, tedy i těch velmi závažných, kde dochází k rozsáhlé ať už přímé či nepřímé újmě na lidských obětech. Jako příklady oborů, kterých se tato symbióza týká lze jmenovat forenzní archeologii, antropologii, rekonstrukce otisku obuvi, odontologii, či vyšetřování místa činu, jeho následné prokazování v rámci soudního procesu [3].

Rekonstrukce scénáře TČ je poměrně komplexním tématem, poněvadž využívá konvergence hned několika oborů, těmi jsou:

- bezkontaktní reflexivní skenování,
- forenzní vědy a kriminalistika,
- 3D rekonstrukce a modelování,
- 3D interpretace a virtuální realita.

## 2. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

V této kapitole jsou představeny potenciální cíle disertační práce:

### 1. Zpracování metodiky 3D rekonstrukce modelových scén TČ.

Jedná se o souhrn doporučených zařízení, včetně parametrů nastavení a popis jednotlivých činností za účelem realizace požadované úrovně 3D rekonstrukce vybraných scén TČ.

Cíl lze specifikovat prostřednictvím několika dílčích celků:

- navrhnout postup posouzení proveditelnosti metody 3D rekonstrukce místa TČ,
- navrhnout pracovní postup 3D rekonstrukce místa TČ včetně specifikace dílčích metod a přístrojového vybavení,
- ověřit navržený postup na modelovém příkladu.

### 2. Specifikace a ověření postupu implementace detailní 3D rekonstrukce místa TČ do interaktivního rozhraní VR.

Manuální úprava fotorealistických 3D rekonstrukcí vybraných TČ dle požadavků zobrazení ve VR, představuje časově náročný proces. Cílem je specifikovat poloautomatický postup, který zajistí úpravu modelů dle požadavků vývojového rozhraní, zkrátí čas a sníží složitost operace.

Zadání lze specifikovat s využitím několika dílčích cílů:

- navrhnout a ověřit poloautomatický postup zjednodušení polygonální sítě a textury 3D rekonstruovaného modelu,
- ověřit navržený postup na modelovém příkladu,
- úspěšně realizovat import zjednodušeného modelu do vývojářského rozhraní VR,
- specifikovat parametry zjednodušení 3D rekonstruovaného modelu za účelem autentické vizualizace ve VR.

## 3. ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ

Obsáhlý seznam vědecko-technických oblastí, kterými je charakteristické téma zpracované disertační práce, vytváří požadavek na poměrně širokou paletu vědeckých metod a technických postupů, které bylo třeba využít v procesu naplňování jejich cílů. V následujících kapitolách jsou postupně představeny nejprve aplikované vědecké metody a následně technické postupy, přičemž jsou popsány vždy ve vztahu ke konkrétním částem práce, respektive experimentům provedeným v rámci jejího zpracování.



### 3.1 Aplikované vědecké metody

Metody **analýzy** a **syntézy** byly v určité míře využity v každé kapitole disertační práce. V úvodní kapitole, a především pak při zhodnocování současného stavu poznání řešené problematiky měly stěžejní význam.

### 3.2 Přístroje a metody bezkontaktního reflexivního skenování

Multimodální skenování je realizováno za využití dvojice metod, jedná se o:

- **terestriální laserové skenování na principu měření doby letu paprsku,**
- **fotogrammetrie.**

### 3.3 Softwarové nástroje 3D rekonstrukce

Experimenty v oblasti rekonstrukce reálných objektů či celých scén do trojrozměrné digitalizované verze následované dalším zpracováním za účelem optimalizovaného zobrazení ve VR představuje významnou část disertační práce. Hlavním SW nástrojem, který byl využit pro obě zmíněné techniky je **RealityCapture**. Poslední využitou verzí byla 1.2.016813. Paleta funkcí SW se od první verze neustále rozrůstá, což vedlo ke zjednodušení procesů 3D rekonstrukce v konkrétních případech využití. Jako vhodný příklad lze mínit funkci automatické tvorby normálových map při úpravách polygonální sítě 3D modelů. Tato operace musela být v počátečních verzích SW realizována s využitím dalších samostatných SW nástrojů.

### 3.4 Vývojové prostředí virtuální realit

**Unreal Engine** (dále jen UE) je jedním z nejčastěji využívaných vývojářských prostředí současnosti, navíc umožňuje vývoj aplikací umožňujících interakci s využitím HW komponent zprostředkávajících VR. Neustále rozšiřující se funkcionalita sofistikovaných vývojářských prostředí jako UE dochází v posledních letech k transformaci přístupů k vývoji aplikací využívajících 3D objekty, případně jejich sestavy

## 4. ZÁSADY ZPRACOVÁNÍ 3D REKONSTRUKCE MÍSTA TČ VE VR

Jelikož se ve zpracované disertační práci často opakují dvě poměrně podobná označení, a to 3D rekonstrukce místa TČ ve VR a rekonstrukce scénáře TČ ve VR je vhodné jednoznačně specifikovat tyto dvě zásadní aktivity a s nimi související cíle.

**3D rekonstrukce místa TČ ve VR** zahrnuje veškeré činnosti související s tvorbou, rekonstrukcí a následným zpracováním 3D repliky místa TČ, nebo míst relevantních v rámci vyšetřování TČ. V rámci pracovního postupu vyobrazeném na *Obr. 1* jsou tyto činnosti zahrnuty v operační a výpočetní části.

Zatímco **rekonstrukce scénáře TČ ve VR** reprezentuje celý proces, zahrnující 3D rekonstrukci místa TČ ve VR včetně návazných činností, kdy jsou výsledky 3D rekonstrukce využity k tvorbě virtuálních verzí vybraných kriminalisticko-taktických metod.

#### **4.1 Identifikace limitů proveditelnosti**

Limity proveditelnosti reprezentují okrajové podmínky reálné aplikace 3D rekonstrukce ve VR a vztahují se k jednotlivým částem pracovního postupu. Působnost limitů proveditelnosti vychází ze skutečnosti, že ne každý TČ lze 3D rekonstruovat v požadované kvalitě ve stanoveném čase s využitím dostupného SW a HW vybavení. Pro přehlednost se nabízí dělení na:

- technické,
- metodické,
- taktické.

#### **4.2 Evaluační trojúhelník**

Na základě identifikovaných limitů proveditelnosti a uskutečněných experimentů byl definován evaluační trojúhelník, který lze využít pro evaluaci náročnosti jednotlivých procesů pracovního postupu 3D rekonstrukce. Trojúhelník vyjadřuje závislost třech proměnných, jejichž úroveň zásadně ovlivňuje náročnost 3D rekonstrukce, a tudíž i proveditelnost metody. Jednotlivé vrcholy evaluačního trojúhelníku jsou reprezentovány následujícími atributy:

- **složitost zadání (*S*),**
- **doba/čas/trvání realizace (*t*),**
- **kvalita výsledku (*K*).**

#### **4.3 Typy 3D rekonstrukce místa TČ**

Dle kvality a účelu rekonstrukce byly vymezeny 4 základní typy 3D rekonstrukce. Obsahem této kapitoly je poskytnout detailnější popis jednotlivých typů v návaznosti na potenciální praktické využití.

##### **4.3.1 Zjednodušená geometrická rekonstrukce**

Simulace balistické dráhy střely, šíření požáru, nebo třeba jen ověření posloupnosti událostí dle poskytnutých důkazů. Všechny uvedené případy lze v určitých případech demonstrovat ve VR s využitím zjednodušené geometrické

rekonstrukce. V principu se jedná o reprezentaci základních stavebních prvků prostoru zájmu prostřednictvím jednoduchých geometrických těles, které jsou texturou spíše schématického významu, případně dostupnou z otevřených databází. Velký důraz je kladen na jednoduchost celého pracovního postupu prostorové rekonstrukce a následné interpretace ve VR. Typická je tedy nízká složitost zadání a rovněž kvalitativní náročnost. I když se jedná o zjednodušenou vizualizaci je třeba dodržet proporcionalitu, rozměry a uspořádání významných objektů v prostoru. 3D replika prostoru může být vytvořena, jednak na základě zaměření prostoru a jeho zpětného 3D modelování, jednak s využitím skenovaných dat. Nicméně, v případě snímání prostoru jsou využity časově velmi nenáročné metody, jako například ToF laserové skenování, a to buď v kombinaci s vysokou úrovní následného zjednodušení, nebo pouze za účelem zaměření.

### **4.3.2 Autentická rekonstrukce**

V porovnání se zjednodušenou vizualizací je v případě autentické rekonstrukce kladen důraz na autentickou vizuální reprezentaci jednotlivých součástí prostoru. Cílem je provést rekonstrukci jak geometrie, tak textury zájmových objektů. Účelem je mimo jiné navodit uživateli specifické pocity, spojené s místem činu. Důležitým aspektem určujícím potenciální proveditelnost této úrovně 3D rekonstrukce jsou adekvátní kompoziční a expoziční podmínky a v neposlední řadě materiály povrchů. Vysoký význam je těmto parametrům přikládán s ohledem na využití metody snímání, přičemž se předpokládá kompletní strojové nasnímání prostoru. Standardními metodami jsou fotogrammetrie, laserové snímání na principu ToF, či přesné snímání metodou strukturovaného světla. Důležitým požadavkem specifickým pro tento typ rekonstrukce je eliminace rušivých faktorů, které mohou představovat vady rekonstruovaných 3D modelů a další věcné odlišnosti od reálné podoby inkriminovaného prostoru.

### **4.3.3 Autentická fotorealistická rekonstrukce**

Společným jmenovatelem na úrovni 3D simulátorů, počítačových her nebo vizuálních efektů využívaných v dnešní filmové produkci je fotorealismus. V případě VR je vysoká úroveň grafického zpracování důležitým parametrem ovlivňujícím vnímání účastníka. Záměrem třetího typu 3D rekonstrukce je autentické vizuální zpracování jednotlivých objektů scény při zachování optických vlastností materiálů povrchů ve scéně. Žádaného jevu lze dosáhnout kombinací metod autentické 3D rekonstrukce a vykreslování na bázi fyzikálních vlastností jednotlivých materiálů z anglického Physical Based Rendering (PBR). V tuto chvíli se jedná o experimentální návrh, přičemž v práci není obsažen úplný postup, jak tuto metodu, která se vyznačuje vysokou složitostí a nároky na kvalitu výsledku, realizovat v praxi. Vizuálně registrovatelné vlastnosti materiálů jsou u této techniky reprezentovány v rámci jednotlivých vrstev, jejichž prolnutí vytváří finální fotorealistický efekt.

#### 4.3.4 Účelová hybridní rekonstrukce

Poslední varianta kombinuje možnosti třech typů představených v předešlých podkapitolách. V zásadě jde o přístup, jehož základ je tvořen autentickou rekonstrukcí, která je doplněná o další modely s cílem vytvořit interaktivní prostředí. Ty mohou vzniknout dle potřeby manuálně, nebo také s využitím snímaných dat. Klíčovým a zároveň úvodním krokem realizace je stanovení účelu, dle kterého se následně odvíjí specifikace požadavků. Důraz je následně kladen na požadavky stanovené parametry. Ať už se jedná o celkovou autenticitu, přesnost, kvalitu textury, nebo úroveň zpracování interaktivních objektů, z pohledu účelové hybridní rekonstrukce se jedná o jednotlivé parametry, jejichž úroveň je třeba dle účelu odvodit a zohlednit při definici zadání. Finální 3D rekonstrukce se v takovém případě sestává zpravidla z více modelů, přičemž každý může být tvořen za jiným účelem, s odlišnými parametry. Doplňující modely jsou vytvářeny odděleně. Vybrané části scény lze pro účelnost zvýraznit s využitím kontrastních barevných textur. Úpravy jednotlivých modelů jsou tedy připuštěny s ohledem na účel rekonstrukce.

## 5. PRACOVNÍ POSTUP 3D REKONSTRUKCE SCÉNÁŘE TČ V PROSTŘEDÍ VR

Pracovní postup 3D rekonstrukce je tvořen třemi základními částmi. První část se nazývá operační a je zaměřena na snímání prostorových dat a následnou 3D rekonstrukci geometrie a textury objektu. Ve druhé, výpočetní části, jsou data v surové podobě zpracována pro potřeby dynamického zobrazení ve VR. Třetí část popisuje aktivity spojené s návrhem aplikace, jejíž funkcí bude zprostředkovat využití dynamické interpretace snímaných dat za účelem podpory procesu vyšetřování a dokazování TČ. Diagram pracovního postupu rekonstrukce scénáře TČ v prostředí VR se nachází na *Obr. 5*. Cílem schématu je poskytnout čtenáři přehled o procesech a experimentech s následnou vizualizací jejich vzájemných vazeb. Navržený pracovní postup představuje základní navigační prvek, propojující teoretický rámec s realizovanými experimenty.

Rozdělení pracovního postupu na jednotlivé části je navrženo s ohledem na charakteristické činnosti pro ně typické. Ty se vzájemně výrazně odlišují a jejich realizace klade specifické požadavky na kvalifikaci realizující osoby.

Rozdělení pracovního postupu na jednotlivé části je navrženo s ohledem na charakteristické činnosti pro ně typické. Ty se vzájemně výrazně odlišují a jejich realizace klade specifické požadavky na kvalifikaci realizující osoby.

## 5.1 Operační část

Operační část představuje úvodní krok pracovního postupu 3D rekonstrukce scénáře TČ ve VR. V zásadě jsou v rámci operační části vykonávány dvojice klíčových procesů, a to:

- **skenování a zpracování snímaných dat,**
- **3D rekonstrukce polygonální sítě a textury,**

které jsou v případě tvorby zjednodušené geometrické rekonstrukce, případně účelové hybridní rekonstrukce prostoru zájmu doplněny o standardní metody 3D modelování a texturování. Zmíněné aktivity jsou však vzájemně provázány, přičemž úroveň zpracování 3D rekonstrukce je ovlivněna ve velké míře kvalitou skenovaných dat. Právě ze zmíněného důvodu je vhodné v některých případech procesy opakovat s využitím jiného nastavení přístrojů, případně s využitím rozdílných postupů.

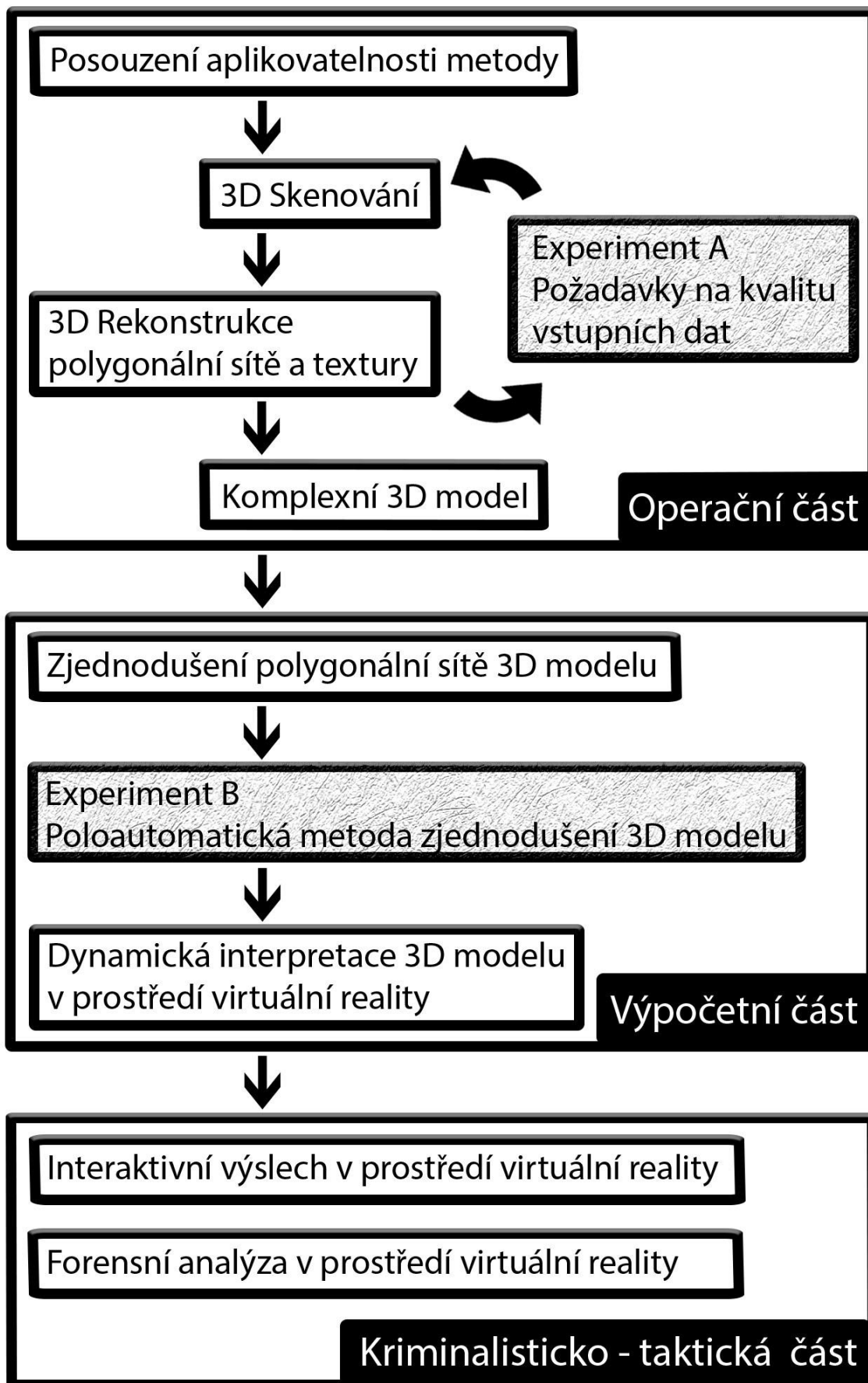
## 5.2 Výpočetní část

Výpočetní část je tvořena dvěma hlavními procesy:

- **zjednodušení polygonální sítě 3D modelu,**
- **dynamická interpretace 3D modelu v prostředí VR.**

Výsledkem operační části je jeden či více 3D modelů předmětného místa, jejichž společným parametrem je vysoká komplexita polygonální geometrie. Tento jev je úzce spjat s principem činnosti využitých metod 3D skenování a následné 3D rekonstrukce. Ať už je využito laserového skenování, nebo fotogrammetrie, všechny známé prakticky využívané metody ze své podstaty snímají každou část geometrie prostoru, či objektu s naprosto stejným rozlišením, což vede ke vzniku homogenně hustého mračna bodů a následně podobně rovnoměrně husté polygonální sítě geometrie vzniklého 3D modelu. Topologie polygonální sítě je tedy homogenní, ať už se jedná o složitý organický tvar, jako například korálový útes, nebo o standardní stěnu místnosti, kterou lze prakticky popsat jedním polygonem. Tato skutečnost je pozitivum vzhledem k požadavku autentického zachycení prostorových souřadnic povrchu skenovaných objektů, či celého prostoru. Naopak je tomu však z hlediska optimalizace geometrie modelu, jejímž účelem je snížení výpočetního výkonu nutného k vizualizaci 3D modelu. Význam zmíněné optimalizace je zvýšen požadavkem dynamické vizualizace co možná největšího množství 3D modelů v prostředí VR v reálném čase.

Možnosti řešení zjednodušení, případně retopologie polygonální sítě 3D modelu jsou obsahem *kapitoly 2.2*. Praktické ověření poloautomatické metody zjednodušení a následného importu do UE4 je popsáno v *kapitole 8*.



Obr. 1 - Pracovní postup 3D rekonstrukce scénáře TČ v prostředí VR

### 5.3 Kriminalisticko-taktická část

Poslední část pracovního postupu 3D rekonstrukce scénáře TČ ve VR je částí aplikační. Výsledky předcházejících procesů mohou být využity ve vyšetřování na základě konkrétního požadavku kriminalistické praxe, nicméně modelové situace, k jejichž realizaci byl pracovní postup navržen, jsou následující:

- **interaktivní výslech v prostředí VR,**
- **nástroje forensní analýzy v prostředí VR.**

První konkrétnější aplikaci představuje rozhraní zprostředkovávající výslech osob spjatých s TČ. Rozhraní bude využívat prostředí UE ve verzi 4 nebo 5. UE 5 sice přišel s pokrokovými nástroji pro zobrazování 3D modelů v reálném čase a efektivnější způsob osvětlování scén, nicméně tyto funkce nejsou podporovány v režimu produkce VR, tudíž byl přechod na novou verzi odložen.

Důležitou funkcí rozhraní bude záznam výpovědi. Ten bude dle návrhu probíhat na několika úrovních. Standardní je nahrávání zvuku, to bude realizováno s využitím externím mikrofونů.

Pro záznam pohybu vyslýchaného v prostředí VR, tedy v 3D rekonstrukci místa TČ, je v plánu využít zařízení umožňující snímání pohybu v reálném čase, v rozhraní UE4 pak bude probíhat záznam a zpětná rekonstrukce zaznamenaného pohybu s využitím inverzní kinematiky. Za účelem snímání pohybu lze využít více technologií, nicméně, v případě řešené aplikace se nabízí snímání pohybu pomocí zařízení vyhodnocujících pozici v prostoru, které by během výslechu byly umístěny na těle účastníka.

Navrhované řešení přináší několik možností dalších využití takto získaných dat. Postupně lze tímto způsobem zaznamenat podstatné výpovědi, a následně s jejich využitím realizovat rekonstrukci scénáře TČ.

Druhou aplikační sférou je forensní analýza. Zde je na základě poptávky z kriminalistické praxe výzkum směřován do oblastí balistiky a rekonstrukce požáru. V rozhraní UE4 je možné simulovat šíření požáru, dle vlastních parametrů, případně trasovat balistické křivky. Vývoj těchto nástrojů je v plánech budoucího výzkumu. Větší množství informací týkajících se aplikace 3D skenování a 3D rekonstrukce ve forensních vědách je uvedeno v *kapitole 2.3*.

## 6. EXPERIMENT A – POŽADAVKY NA KVALITU VSTUPNÍCH DAT

Nacházíme se v době, kdy se propracované 3D modely každým rokem více vizuálně podobají skutečnosti. Tento fenomén je v posledních pěti letech umocněn možností zobrazení ve VR. Jednou z možností, jak hodnotit míru vnoření do různých úrovní virtuálního vyobrazení reality, je využití empirických

experimentů, označovaných také jako případové studie. Vzájemnou komparací parametrů vstupního nastavení a výsledků jednotlivých experimentů lze s využitím jednoznačně definovaných kritérií klasifikovat evaluované postupy.

## 6.1 Multimodální skenování prostoru

Vzhledem k orientaci výzkumu na místa TČ byly pro skenování vybrány techniky, které umožní rychle a s dostatečnou přesností nasnímat jak interiérové, tak exteriérové prostory. Multimodální přístup v tomto případě využil synergie technik fotogrammetrie a terestriálního laserového skenování na principu měření délky letu paprsku. Záměrem bylo minimalizovat působení vnějších vlivů a nasnímat přesně tvar a texturu objektu ve vysokém rozlišení. Navzdory volbě dvou rozdílných skenovacích technik je nutné zajistit pokud možno ideální podmínky pro jejich aplikaci, jelikož je třeba vycházet z faktu, že kvalita výsledné 3D rekonstrukce je podmíněná kvalitě využitých dat.

Na základě požadavků byla jako první modelový prostor vybrána místnost mezi laboratořemi B101 a B102 v budově Fakulty aplikované informatiky, který bývá využíván také jako kuchyňka pro doktorandy. V místnosti se nachází několik objektů, konkrétně lednička, mikrovlnná trouba, multifunkční tiskárna, pracovní stůl, umyvadlo a hasicí přístroj. Dodatečně byl do místnosti umístěn měřicí obrazec TE42 v2 16:9 dodaný společností Image Engineering. Obrazec je určen pro měření modulační přenosové funkce optických soustav, interpretace odstínů šedi a barev.

Pro aplikaci techniky fotogrammetrie byly stejně jako u předchozí techniky využity dva vzorky dat. Snímání bylo podmíněno stejným požadavkům jako v případě terestriálního laserové skenování, byly tedy opět definovány dva přístupy, standardní K001 a zrychlený K001F. Nicméně, v případě fotogrammetrie rozdílný přístup definoval velmi odlišné postupy a měl významný dopad na rychlost procesu a také na kvalitu výsledků experimentu.

Tabulka 1 – Porovnání parametrů fotogrammetrie K001 a K001F

Parametr	K001	K001F
Rozměry snímku (pixel)	7952x5304	7952x5304
Bitová hloubka (bit)	24	24
Clonové číslo	f/13	f/9
Expoziční čas (sec)	6	1/100
Ohnisková vzdálenost (mm)	55	55
Počet snímků	1505	1492
Orientační doba pořízení jednoho snímku (sec)	30	3
Celkový čas sběru dat (min)	752,5	74,6



## 6.2 3D rekonstrukce

Rekonstrukce polygonové sítě popisující modelový prostor byla realizována v SW rozhraní RealityCapture ve verzi 1.0.3.10403 RC. Unikátní vlastností SW nástroje je 3D rekonstrukce na základě dat z více typů zdrojových zařízení, respektive více technik. V případě experimentů K001 a K001F bylo využito terestriální laserové skenování a metoda fotogrammetrie.

### 6.2.1 Srovnání výsledných modelů a přínos experimentu

V rámci experimentu byla uskutečněna 3D rekonstrukce stejného prostoru dvěma přístupy. Cílem experimentu bylo v rámci jednotlivých přístupů využít odlišného postupu sběru a následného zpracování dat. Jelikož je z renderovaných 2D náhledů obtížné kvalitativně posuzovat parametry výsledných modelů, byly pro potřeby budoucích experimentů a vyjádření základních aspektů na základě vizuálního posouzení formulovány následující závěry. Výsledný experimentu K001 dosahuje vyšší kvality rekonstrukce tvaru i textury modelové scény. Některé části scény však nedosahují požadované kvality ani v případě využití standardního přístupu. Skenování těchto povrchů s využitím sublimačního spreje je obsaženo v dodatkové kapitole 7.3. Využití rychlého přístupu však nabízí ještě mnoho dalších experimentů, počínaje sběrem dat, až po nastavení konečné rekonstrukce. Potenciál je sledován zejména v kombinaci rychlého přístupu a využití dalších světelných zdrojů, které by zajišťovaly homogenní osvětlení snímané scény, přesnější pozicování fotoaparátu, více skenovacích cyklů a další změny, které mají ambici zvýšit kvalitu výsledného modelu.



Obr. 1 - Nekvalitně 3D rekonstruovaná část modelu K001

### 6.3 Skenování zrcadlových a lesklých povrchů

Záměrem experimentu bylo ošetřit zmíněné části místnosti speciálním sublimačním sprejem, který pokryje povrch rovnoměrnou tenkou zmatňující vrstvou a tím umožní jeho nasnímání. Podobný sublimační nástřík lze ve větším měřítku nanášet s využitím airbrushové pistole. Využití zmatňujících nástříků je doporučováno zejména v kombinaci s metodami laserového skenování. Nevýhodou je znemožnění sejmání informací o textuře povrchu, ten je totiž opatřen sněhově bílou vrstvou. Rekonstrukce textury objektu byla uskutečněna pouze s využitím zdrojových snímků pořízených integrovanými HDR kamerami ToF laserového skeneru. V porovnání s původními modely K001 a K001F nebyly k rekonstrukci textury opravného modelu využity žádné další snímky. Experiment přinesl pozitivní výsledky, jelikož geometrie modelů byla rekonstruována v potřebné kvalitě pro využití v dalších procesech 3D rekonstrukce scénáře TČ ve VR.



*Obr. 2 - 3D model umyvadla včetně baterie, demonstrace výsledků skenování s využitím úpravy povrchů sublimačním zmatňujícím sprejem*

## 6.4 Fotogrammetrie předmětů s využitím křížové polarizace

V rámci experimentů věnovaných 3D rekonstrukci byly ověřovány i možnosti metody fotogrammetrie s využitím tzv. křížové polarizace z anglického Cross-Polarization. S využitím dvojúrovňové polarizace, jednak na straně osvětlení, jednak na straně snímacího zařízení, kde je však nutné nastavit polarizaci světelných paprsků s odklonem 90° vůči polarizačním filtrům světla.

Ověření funkce a možností využití této techniky proběhlo jako součást experimentu A. Předmětem skenování byl keramický hrnek s potiskem vnějších stěn nepravidelným vzorem, což umožňovalo nasnímání geometrie i textury vnějších stěn objektu ve vysoké kvalitě. Nedostatečný počet markantů však znemožnil přesné naskenování vnitřní části, a především dna hrnku.

Výsledný efekt křížové polarizace umožňuje snímání lesklých objektů, které jiným způsobem prostřednictvím metody fotogrammetrie nelze naskenovat. S využitím této techniky lze věrně skenovat lesklé keramické, kovové, nebo lakované předměty.

## 7. EXPERIMENT B – POLOAUTOMATICKÁ METODA ZJEDNODUŠENÍ POLYGONÁLNÍ SÍTĚ

Dynamické zobrazení 3D modelů představuje již od svých počátků základní optimalizační problém. S narůstajícím výpočetním výkonem zařízení se možnosti zobrazení dostaly až do současné úrovně, kdy nastupují nové možnosti vnímání digitálního prostoru s využitím náhlavních displejů VR. 3D model je možné reprezentovat více způsoby, s využitím rozdílných matematických modelů. Realizovaný experiment se však zaměřuje na zjednodušení 3D modelů popsaných s využitím hraniční reprezentace, přičemž cíle experimentu jsou:

- analýza interních nástrojů SW RealityCapture využitelných pro zjednodušení polygonální sítě a textury 3D rekonstruovaného objektu,
- ověření možnosti importu 3D rekonstruovaných objektů do vývojářského SW Unreal Engine 4.

Vstupní data experimentu B jsou reprezentována výstupem experimentu A, tedy komplexním 3D modelem prostoru kuchyňky. Přívlástek komplexní je využit v souvislosti s množstvím polygonů, kterými je tvořena síť definující geometrii a topologii modelu. Grafická primitiva, v kontextu hraniční reprezentace označované jako polygony, reprezentují základní stavební jednotku 3D modelu. Výsledkem 3D rekonstrukce je trojúhelníková polygonální síť, zjednodušeně označovaná jako mesh. Hustá topologie polygonální sítě poskytuje prostředky k zobrazení velmi jemných detailů povrchu 3D modelu. 3D rekonstrukce prostoru generuje meshe s homogenní topologií, kde jsou rovné plochy, jako například stěny, nebo dveře, desky stolů a další, reprezentovány

stejně hustou sítí jako hrany, nebo detaily specifických tvarů, jako například kamenný útes. Tato skutečnost je způsobena systémem sběru dat jednotlivými skenovacími metodami a následnou interpolací polygonálního modelu. Výsledkem je tedy přesný model, obsahující velké množství zbytečných informací. Dynamické zobrazení ve VR klade jasný požadavek na co nejnižší množství zobrazovaných polygonů, čímž je definován i hlavní cíl popisovaného experimentu.

Zadání však není jednoznačné, jelikož technická podpora vývojářského enginu Unreal přesně nedefinuje limity, či podmínky importu 3D modelů. V zásadě je totiž každý 3D model charakteristický a polygonální hustota není jediným aspektem, která má vliv na dosažitelnou snímkovou frekvenci dynamického zobrazení. Jelikož podmínky importu nejsou přesně stanoveny, bylo k jejich stanovení využito empirického přístupu.

Reálný import 3D modelu do vývojářského enginu je však možné provést až v jeho zjednodušené podobě. Proces zjednodušení, nebo také retopologie původního komplexního modelu nabízí více možných řešení. V případě řešeného experimentu je tím výchozím zjednodušením polygonální síť v rozhraní SW RealityCapture.

## **7.1 Zjednodušení a import technikou AllinOne**

Jednoznačně rychlejší variantou bylo pokusit se model zjednodušit v jeho původní podobě, jako vzorek zdrojových dat tedy využít kompletní 3D rekonstrukci prostoru kuchyňky K001. Základní nastavení vycházelo z úspěšného importu modelová části Ldn\_Dr. V případě diametrálně většího a komplexnějšího modelu K001 bylo nutné v rámci úvodních experimentálních importů specifikovat počet polygonů, při kterém nebude docházet k degradaci detailů, a kde se nebudou vyskytovat mrtvé polygony, zároveň však bude polygonální síť reprezentující geometrii modelu co možná nejjednodušší. Nejprve byl aplikován cyklus zjednodušení modelu, a to v několika iteracích, kde byl původní 3D model, reprezentovaný 76,3 milióny trojúhelníků, postupně zjednodušován na úroveň 10 mil., 1 mil., 100 tis., 50 tis., až na 10 tis. trojúhelníků. U jednotlivých verzí modelu byl ověřován import do UE4. S ohledem na výskyt mrtvých polygonů u modelů K001\_40K, K001\_100K a K001\_1M byly pro následné experimenty zaměřené na kvalitu textury zvoleny kandidátní řešení K001\_10K, K001\_15K a K001\_25K.

Výsledky modelových experimentů poukázaly na zásadní význam kvality textury vzhledem k úrovni vizuální autenticity rekonstruované scény. V případě využití techniky AllinOne, kde je celá scéna zpracovávána jako jeden model, je v případě požadavku zachování vysoké úrovně detailu třeba využít zpravidla více souborů textury. Technickým limitem importu do UE4 je maximální rozlišení jednoho souboru textury 8192 x 8192 pixelů, přičemž původní výslednou texturu modelu K001 tvoří 16 souborů s rozlišením 16384 x 16384 pixelů.

Obecně lze v procesu reprojekce volit řešení mezi dvěma limitními stavy, kde je výsledek reprezentován minimální kvalitou na straně jedné a maximální možnou kvalitou textury na straně druhé. Jak již bylo zmíněno zásadními měřitelným parametrem je množství souborů textury o daném rozlišení. Rozlišení je pro zjednodušení řešeného problému stanoveno na maximální možnou úroveň, tedy 8192 x 8192 pixelů. Otázkou však zůstává volba potřebného množství textur pro dosažení požadované celkové vizuální kvality importovaného objektu.

Druhou neznámou je výběr vhodné metody UV Unwrapu a odvíječícího se mapování textury. Významným aspektem pro výběr uvedených parametrů a metod je definice požadavků kvality zobrazení importovaného modelu ve vývojářském prostředí. Kvalitu zobrazení je možné hodnotit z více hledisek, které mohou být vzájemně v opozici. Typickým příkladem uplatnitelným v případě 3D rekonstrukce místa TČ je hodnocení importovaného modelu zjednodušeného za účelem:

- minimalizace potřebného výpočetního výkonu,
- zachování úrovně autenticity detailů 3D rekonstrukce.

Celková vizuální autenticita detailů 3D modelu se odvíjí od kvality geometrie a textury. V předchozím kroku byly specifikovány kandidátní řešení geometrie modelu K001. V následující části byla realizována další série importů kandidátních řešení, v tomto případě zaměřená na kvalitu textury modelu.

První série byla zaměřena na ověření kvality importovaných kandidátních modelů s využitím techniky limitního počtu textur. Nejprve byl ověřen import s prioritou na minimalizaci potřebného výpočetního výkonu. Pro tyto účely byly kandidátní modely texturovány s využitím samostatného souboru a následně dvou souborů textury.

V případě následné sady byla prioritou maximální možná kvalita textury za účelem zachování co nejvyšší úrovně autenticity, limitní hodnota počtu souborů textury byla stanovena jakožto čtyřnásobek původního počtu souborů textury. Tento výpočet byl definován na základě rozlišení textur původního modelu, který byl čtyřikrát větší, tedy 16384 x 16384. Nicméně automatické rozbalení nevyužilo maximálního stanoveného limitu ani u jednoho kandidátního modelu. Celá série byla realizována s gutterem o hodnotě 2.

Výsledky série jsou zobrazeny v *Tabulce 2*. ID verze modelu K001 je ve formátu: název modelu\_počet polygonů\_zadaný počet textur.

Druhá série adresovala texturování kandidátních modelů s využitím techniky fixní velikosti texelu. V případě fixní velikosti jsou parametry texturování jednoznačně stanoveny pevnou hodnotou velikosti texelu. Tu lze zadávat buď manuálně, nebo lze zvolit z přednastavených úrovní, ty jsou popsány výše v *kapitole 8.1.2*.

Tabulka 2 - Texturování s využitím techniky limitního počtu textur

ID	Reálný počet textur	Velikost texelu [mm]	Využití textury	Kalkulovaná kvalita textury	Subjektivní vizuální kvalita v UE4
K001_10K_1txt	1	53,58	56%	7%	Nízká
K001_15K_1txt	1	36,14	61%	7%	Nízká
K001_25K_1txt	1	49,39	63%	7%	Nízká
K001_10K_2txt	2	38,24	52%	10%	Střední
K001_15K_2txt	2	36,14	56%	10%	Střední
K001_25K_2txt	2	35,56	58%	10%	Střední
K001_10K_64txt	17	13,56	43%	28%	Vysoká
K001_15K_64txt	19	12,58	44%	30%	Velmi vysoká
K001_25K_64txt	23	11,54	43%	33%	Velmi vysoká
K001_25K_16txt	16	13,68	47%	28%	Vysoká

Nejvyšší možná kvalita je dosažitelná při nastavení výstupní kvality 25%, což je podmíněno především hodnotou maximálního rozlišení, které nesmí být vyšší, než limit UE4. Výsledky jsou ilustrovány formou *Tabulky 3*. ID verze modelu je v následujících dvou sériích ve formátu: název modelu\_počet polygonů.

Tabulka 3 - Texturování s využitím techniky fixní velikosti texelu

ID	Reálný počet textur	Velikost texelu [mm]	Využití textury	Kalkulovaná kvalita textury	Subjektivní vizuální kvalita v UE4
K001_10K	13	15,49	42%	25%	Vysoká
K001_15K	14	15,49	39%	25%	Vysoká
K001_25K	14	15,49	40%	25%	Vysoká

V následující sérii byla využita technika adaptivní velikosti pixelu. Nastavení UV Unwrapu lze uskutečnit zadáním výstupního kvalitativního intervalu, přičemž se dopočítává minimální a maximální velikost texelu. Výsledky druhé série se nachází v *Tabulce 4*.

Uskutečněné experimenty specifikovali blíže možnosti zjednodušení a následného importu na modelovém příkladu K001.

Volba využití techniky nezávisí nejen na zvoleném typu 3D rekonstrukce místa TČ, ale také na velikosti rekonstruovaného prostoru. Se zvětšujícím se prostorem zájmu narůstají nároky na výpočetní výkon, což vytváří požadavek na využití výpočetně úspornějších variant 3D rekonstrukce.

Výsledky experimentu vedly k identifikaci charakteristických vlastností využitých technik. Volbu techniky UV Unwrapu v rámci individuální případů 3D rekonstrukce místa TČ je však třeba vždy individuálně posoudit.

Tabulka 4 - Texturování s využitím techniky adaptivní velikost texelu

ID	Reálný počet textur	Max. velikost texelu [mm]	Min. velikost texelu [mm]	Využití textury	Subjektivní vizuální kvalita v UE4
K001_10K	2	7,76	38,73	52%	střední
K001_15K	2	7,76	38,73	54%	střední
K001_25K	2	7,76	38,73	60%	střední

## 8. PŘÍNOS PRO VĚDU A PRAXI

Zpracovaná disertační práce přináší nové poznatky v několika formách. Nesporný přínos lze spatřovat již v úvodní části zhodnocení současného stavu, jelikož tematický rozsah představuje doposud neřešenou kombinaci vědeckotechnických oblastí, jejichž syntéza otevírá v praxi doposud neaplikované metodické postupy, které mají potenciál zvýšit technickou připravenost kriminalistů a umožnit jim tak řešit vysoce složité závažné TČ. Tyto postupy jsou postupně specifikovány a ověřovány v rámci zpracování dílčích částí pracovního postupu 3D rekonstrukce scénáře TČ ve VR.

Vzhledem k požadavkům kriminalistické praxe vzniká potřeba posouzení aplikovatelnosti 3D rekonstrukce a návazných metod ve vztahu ke konkrétním TČ. Za tímto účelem byl navržen koncept hodnocení proveditelnosti 3D rekonstrukce TČ ve VR. Návrh s využitím výsledků praktických experimentů odvozuje proměnné, jež mají zásadní význam při realizaci 3D rekonstrukce místa TČ, a následně specifikuje jejich vzájemné vztahy prostřednictvím identifikace limitů proveditelnosti, sestavením evaluačního trojúhelníka a následného matematického zápisu. Navržený koncept tedy přímo reaguje na potřeby kriminalistů a nabízí tak postup potenciálně využitelný při hodnocení efektivity 3D rekonstrukce scénáře TČ ve VR v konkrétních případech.

Stěžejní částí je bezpochyby návrh pracovního postupu 3D rekonstrukce scénáře TČ ve VR a následné ověření vybraných dílčích procesů. Práce obsahuje metodický popis operační a výpočetní části pracovního postupu, přičemž metodiku demonstruje na konkrétním modelovém příkladu modelu K001. Specifikovaný postup má ambice sloužit jakožto podpurný nástroj 3D rekonstrukce reálných TČ.

V neposlední řadě je vhodné zmínit přínos Experimentů A a B, jejichž výsledky mohou sloužit, jako technický manuál realizace metod 3D rekonstrukce místa TČ a zjednodušení polygonální sítě a textury, na základě stanovených priorit.

Předložená disertační práce rovněž poskytuje základní znalostní základnu a představuje návrhy konceptů směřování budoucího výzkumu zpracovatele, případně dalších spolupracovníků.

## ZÁVĚR

Oblast kriminalisticko-taktických metod čerpá z dlouholeté zkušenosti a v České republice je vázána Trestním řádem. Uskutečnění, byť i drobné změny, jež by se měla promítnout do procesu prokazování TČ představuje nelehký úkol, jelikož musí být uskutečněna v souladu s relevantní legislativou. V této souvislosti byla již na počátku řešení tématu navázána spolupráce s Kriminalistickým ústavem ČR, kde byla mimo jiné diskutována relevance a potenciální míra využití možností oblasti 3D rekonstrukce a modelování. V návaznosti na projevený zájem ze strany kriminalistů byla zahájena spolupráce, na kterou následně navázalo zpracování zadání disertační práce.

Jak již je zhodnoceno v úvodní části práce, propojení oborů bezkontaktního laserového skenování, forenzních věd, kriminalistiky, 3D rekonstrukce, 3D modelování a VR může nalézt uplatnění v širokém spektru aplikací. Řešené téma navazuje na současný stav poznání a představuje novou metodu 3D rekonstrukce scénáře TČ ve VR.

Jelikož se jedná o nový, doposud nepopsaný přístup, bylo v rámci úvodních tvůrčích kroků nutné definovat základní pojmy. Ty se nachází v kapitole 4 – *Zásady zpracování 3D rekonstrukce místa TČ ve VR*. Nutno podotknout, že obsah této kapitoly je tvořen návrhem konceptu, nikoliv ověřeným metodickým postupem. V tomto případě lze však konstatovat, že v době řešení disertační práce nebylo možné tento návrh ověřit na dostatečném množství reálných případů z důvodu nepřístupnosti relevantních dat.

Přístup k forezně významným citlivým informacím lze získat až na základě odborné spolupráce. Ověření návrhu tak bude pravděpodobně možné realizovat až v rámci budoucích výzkumných aktivit. Záměrem je využít spolupráce s Kriminalistickým ústavem ČR a navázat tak na řešení tematicky přidruženého projektu zadavatele Ministerstva vnitra ČR. Cílem projektu je během následujících čtyřech let prakticky aplikovat navrženou metodu a ověřit tak míru využití při řešení specifických TČ.

Na základě analyzovaných poznatků a výsledků praktických experimentů byl navržen pracovní postup 3D rekonstrukce scénáře TČ ve VR. Pracovní postup, představený v kapitole 5 popisuje cíle, vzájemné vztahy a posloupnost dílčích procesů a spojuje tak podstatné části zpracované metodiky.

K realizaci experimentální části práce bylo využito SW RealityCapture. Finální projekt K001 má objem přibližně 700 GB a obsahuje 130 rekonstruovaných experimentálních modelů.

Dynamická interpretace 3D modelu ve VR byla zprostředkována s využitím vývojářského prostředí UE4, během zpracování práce byla společností Epic Games vydána nová verze prostředí označená jako UE5. Přejít na novou verzi bude relevantní s očekávanou implementací v současnosti absentujících systémů



Lumen, zprostředkovávajícího plně dynamické globální osvětlení a odrazivost povrchů, a systému Nanite, který umožňuje dynamický výpočet kvality zobrazení komplexních geometrií a textur ve VR. S příchodem zmíněné aktualizace je možné předpokládat zvýšení potenciálu využití 3D skenovaných dat v prostředí VR.

Prostorová rekonstrukce předmětů, prostorů, nebo také lidských osob v reálném čase, bude v případě nastaveného celosvětového technologického trendu nacházet uplatnění, ve stále širším spektru oborů. Výsledky realizovaných experimentů tak mají potenciál přispět k tématu transferu 3D skenovaných dat do VR obecně. Myšlenka vzniku 3D repliky vybraných částí, nebo dokonce celé planety Země ve VR už je skloňována odborníky nejen ve vědě a výzkumu.

Budoucím záměrem autora je rozpracování několika navazujících výzkumných vláken. Paralelně s procesem ověření navržené kriminalisticko-taktické metody v praxi, bude dále zkoumáno téma měření fyziologických a psychologických projevů uživatele VR. Jelikož zásadní podmínkou pro posouzení účinnosti neustále vznikajících aplikací VR je právě vyhodnocování míry vnoření jejího uživatele.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Sieberth, Till & Dobay, Akos & Affolter, Raffael & Ebert, Lars. (2018). Applying virtual reality in forensics – a virtual scene walkthrough. *Forensic Science, Medicine and Pathology*. 15. 1-7. 10.1007/s12024-018-0058-8.
- [2] Sieberth, Till & Dobay, Akos & Affolter, Raffael & Ebert, Lars. (2019). A toolbox for the rapid prototyping of crime scene reconstructions in virtual reality. *Forensic Science International*. 305. 110006. 10.1016/j.forsciint.2019.110006.
- [3] Rachael M. Carew, David Errickson, Imaging in forensic science: Five years on, *Journal of Forensic Radiology and Imaging*, Volume 16, 2019, Pages 24-33, ISSN 2212-4780, <https://doi.org/10.1016/j.jofri.2019.01.002>.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

SW	–	Software
HW	–	Hardware
UE	–	Unreal Engine
VR	–	Virtuální Realita
TČ	–	Trestný čin
3D	–	Třídídimenzionální, Třírozměrný
2D	–	Dvoudídimenzionální, Dvourozměrný
ToF	–	Time of Flight – Doba letu
BIM	–	Building information model – Informační model budovy
PBR	–	Physical Based Rendering
ICT	–	Information and Communication Technologies

## SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obr. 1 - Nekvalitně 3D rekonstruovaná část modelu K001 .....	17
Obr. 2 - 3D model umyvadla včetně baterie, demonstrace výsledků skenování s využitím úpravy povrchů sublimačním zmatňujícím sprejem.....	18

## SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka 1 – Porovnání parametrů fotogrammetrie K001 a K001F .....	16
Tabulka 2 - Texturování s využitím techniky limitního počtu textur .....	22
Tabulka 3 - Texturování s využitím techniky fixní velikosti texelu .....	22
Tabulka 4 - Texturování s využitím techniky adaptivní velikost texelu.....	23

# DOSAVADNÍ PUBLIKAČNÍ ČINNOST AUTORA

## **Časopisy – databáze Scopus**

[1] ŠEVČÍK, Jiří, URBÁNEK, Tomáš, ŠÍPEK, Jan. Novel approach to utilization of differential evolution for camera placement problem. *International Journal of Mathematics and Computers in Simulations*, 2015, roč. 9, č. 1, s. 136-140. ISSN 1998-0159.

[2] ŠEVČÍK, Jiří, SVOBODA, Petr. Video Surveillance System Functionality Quantification. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, 2014, roč. 2014, č. 8, s. 361-367. ISSN 1998-4464.

[3] MACH Vaclav, Milan ADAMEK, Jiri SEVCIK, Michaela KARHANKOVA a Karla BARCOVA. Glass-break Detector based on the Accelerometer embedded into the Glass Panel. *HardwareX*. ISSN 2468-0672.

[4] SVOBODA, Petr, SVOBODOVÁ, Blanka, ŠEVČÍK, Jiří. The optimization of the educational process of security technologies, systems and management. *International Journal of Mathematics and Computers in Simulations*, 2015, roč. Neveden, č. 9, s. 65-68. ISSN 1998-0159.

## **Časopisy – databáze Web of Science**

[5] ŠEVČÍK, Jiří, Václav MACH, Milan ADÁMEK, Jan VALOUCH a Karla BARČOVÁ. A special peripheral component interconnect express card for video surveillance systems in alarm applications. *Przegląd Elektrotechniczny* [online]. 2021, vol. 97, iss. 5, s. 28-33. [cit. 2021-09-17]. ISSN 0033-2097.

[6] SVOBODA, Petr, PADÚCHOVÁ, Alena, ŠEVČÍK, Jiří. The Use of the Virtual Battlespace 2 in TCV. *International Journal of Education and Information Technologies*, 2014, roč. 2014, č. 8, s. 63-66. ISSN 2074-1316.

[7] MACH Vaclav, Jiri SEVCIK, Milan ADAMEK a Karla BARČOVÁ. The Limitation of the Contact Glass-break Detectors Given by the Standardization. *Multimedia Tools and Applications*. ISSN: 1380-7501.

## **Patent – Česká republika**

[8] MACH Václav, Jiří ŠEVČÍK, Milan ADÁMEK. Poplachový detektor rozbíjení skla. Patent. 2021.

## **Časopisy - světový jazyk**

[9] ŠEVČÍK, Jiří. Evaluation of the Video Content Analysis applicability by risk level. *International Journal of Systems applications, Engineering & Development*, 2013, roč. 2013, č. 7, s. 87-94. ISSN 2074-1308.

[10] SVOBODA, Petr, ŠEVČÍK, Jiří, LUKÁŠ, Luděk. The Research of the Use of Training Simulators and VBS2 in the Security Forces. *International Journal of Education and Information Technologies*, 2014, roč. 2014, č. 8, s. 187-192. ISSN 2074-1316.

## **Konference – databáze Scopus**

[11] ŠEVČÍK, Jiří, ADÁMEK, Milan. Virtual Crime Scenario Reconstruction Methods Assessment. In *Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium*. Vienna : DAAAM International Vienna, 2018, s. 1144-1147. ISSN 1726-9679. ISBN 978-3-902734-20-4.

[12] ŠEVČÍK, Jiří, MALUS, Martin, SVOBODA, Petr. Large-scale industrial company alarm receiving centre modernization design. *WSEAS Transactions on Communications*, 2014, roč. 13, č. 1, s. 587-595. ISSN 1109-2742.

[13] SVOBODA, Petr, ŠEVČÍK, Jiří. VBS2 scenarios development for PSI purposes. *WSEAS Transactions on Computers*, 2014, roč. 13, č. Neuveden, s. 549-555. ISSN 1109-2750.

### ***Konference – databáze Web of Science***

[14] ŠEVČÍK, Jiří, LUKÁŠ, Luděk. Video Surveillance System Effectivity Optimization AOI Data Model Proposal. In *Advances in Education Research*. Syngapur : IERI&PRESS, 2015, s. 16-21. ISSN 2160-1070. ISBN 978-1-61275-072-9.

### ***Konference – světový jazyk***

[15] ŠEVČÍK, Jiří. Systemic Implementation of the Video Content Analysis. In *Recent Advances in Communications, Circuits and Technological Innovation*. Paris : WSEAS, 2012, s. 186-189. ISBN 978-1-61804-138-8.

[16] ŠEVČÍK, Jiří, ŽÁČEK, Petr. Image Functional Properties Evaluation Model. In *Software Engineering, Knowledge Engineering and Information Engineering*. Singapur : IERI&PRESS, 2015, s. 105-109. ISBN 978-1-61275-103-0

[17] MACH, Václav, VALOUCH, Jan, ADÁMEK, Milan, ŠEVČÍK, Jiří. Virtual reality – level of immersion within the crime investigation. In *MATEC Web of Conferences 292*. Les Ulis : EDP Sciences, 2019, s. 1-4. ISSN 2261-236X.

[18] SVOBODA, Petr, ŠEVČÍK, Jiří, LUKÁŠ, Luděk. The Research of the Use of Training Simulators in the Security Forces. In *Recent Advances in Computer Science; 6th WSEAS World Congress: Applied computing Conference (ACC'13)*. Istanbul : WSEAS, 2013, s. 180-183. ISSN 1790-5109. ISBN 978-960-474-354-4.

[19] SVOBODA, Petr, PADÚCHOVÁ, Alena, ŠEVČÍK, Jiří. The Use of the Virtual Battlespace 2 in Commercial Security Industry. In *Proceedings of the 14th WSEAS International Conference on Automation & Information (ICAI '13)*. Barcelona : WSEAS Press, 2013, s. 183-186. ISSN 1790-5117. ISBN 978-960-474-316-2.

[20] ŠEVČÍK, Jiří, SVOBODA, Petr, PADÚCHOVÁ, Alena. Novel Approach to the Video Surveillance System Image Operational Properties Evaluation. In *Proceedings of the 14th WSEAS International Conference on Automation & Information (ICAI '13)*. Barcelona : WSEAS Press, 2013, s. 174-178. ISSN 1790-5117. ISBN 978-960-474-316-2.

[21] ŠEVČÍK, Jiří, LUKÁŠ, Luděk. Aggregate coefficients of the Intelligent Video Surveillance Systems. In *Proceedings of the 13th International Conference on applied Computer and Applied Computational Science*. Nanjing : WSEAS Press, 2014, s. 56-61. ISSN 1790-5109. ISBN 978-960-474-368-1.

[22] ŠEVČÍK, Jiří, SVOBODA, Petr. Lighting Measurement Methods related to Intelligent Video Surveillance System Evaluation. In *Applied Mathematics, Computational Science and Engineering*. Varna : WSEAS Press, 2014, s. 231-238. ISSN 2227-4588. ISBN 978-1-61804-246-0.

[23] ŠEVČÍK, Jiří, SVOBODA, Petr. Intelligent Video Surveillance System Evaluation Dataset Proposal Methodology. In *Applied Mathematics, Computational Science and Engineering*. Varna : WSEAS Press, 2014, s. 275-282. ISSN 2227-4588. ISBN 978-1-61804-246-0.

# Curriculum vitae

**Ing. Jiří Ševčík**

## **Osobní údaje**

**Datum narození:** 25. 11. 1986

**Adresa:** Masarykova 994, 76326 Luhačovice

**E-mail:** jsevcik@utb.cz

**Tel.:** +420774202346

---

## **Vzdělání**

### **Dosažené vzdělání:**

vysokoškolské II. stupě (Magisterské) – Ing.

#### **2011 - současnost**

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky

Student DSP,

#### **2009 – 2011:**

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky

Obor: Bezpečnostní technologie, systémy a management

Magisterské studium – Ing.

#### **2006 – 2009:**

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta Aplikované Informatiky

Obor: Bezpečnostní technologie, systémy a management

Bakalářské studium – Bc.

#### **2002 – 2006:**

ISŠ Automobilní Brno

Obor: Silniční doprava – Diagnostika motorových vozidel

## **Přehled projektových aktivit**

- Odborný řešitel projektu Projekt VJ02010043 – Rekonstrukce scénáře bezpečnostního incidentu v prostředí virtuální reality
- Odborný řešitel projektu VG20112014067 – MV: Systém hodnocení odolnosti prvků a sítí vybraných oblastí kritické infrastruktury.
- Odborný řešitel projektu CZ.01.1.02/0.0/0.0/15\_019/0004581 - Modulární systém ENTER
- Odborný řešitel projektu CZ.01.1.02/0.0/0.0/15\_015/0004580 - Platforma INFOS
- Odborný řešitel projektu LO1303 (MSMT-7778/2014) – Projekt v rámci Národního programu udržitelnosti ED2.1.00/03.0089 - Centrum bezpečnostních, informačních a pokročilých technologií (CEBIA-Tech)
- Odborný řešitel projektu CZ.02.2.69/0.0/0.0/16\_031/0011594 – Tvorba programů celoživotního vzdělávání na UTB ve Zlíně.
- Odborný řešitel projektu CZ.02.2.67/0.0/0.0/16\_016/0002325 – Modernizace výukové infrastruktury FAI (MoVI-FAI)

## **Přehled aktivit během studia**

Vedení odborných seminářů z předmětů:

- Projektování bezpečnostních systémů,
- Technické prostředky bezpečnostních systémů,
- Multimedia,
- Kamerové systémy.

Budování laboratoře předmětu Kamerové systémy.

Vedoucí úspěšně obhájených:

- 8 Bakalářských prací,
- 13 Diplomových prací.

Realizace dlouhodobé spolupráce ve formě smluvního výzkumu se společností Continental Barum a.s.

## **Znalosti**

Jazykové znalosti:

- Anglický jazyk: B2 – C1

Ing. Jiří Ševčík, Ph.D.

## **Rekonstrukce scénáře trestného činu ve virtuální realitě**

Crime Scene Reconstruction within Virtual Reality

Teze disertační práce

Vydala Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně,  
nám. T. G. Masaryka 5555, 760 01 Zlín.

Náklad: vyšlo elektronicky

Sazba: Ing. Jiří Ševčík, Ph.D.

Publikace neprošla jazykovou ani redakční úpravou.

Pořadí vydání: První

Rok vydání 2022

ISBN 978-80-7678-142-9