

Příjemci podpory:

Poskytovatel:

Název projektu ze Smlouvy či z Rozhodnutí + identifikační kód:

Metodika rychlé bezkontaktní a nedestruktivní detekce zplodin výstřelu -
VK01010037

Název předkládaného výsledku:

Software pro zpracování výsledků měření povýstřelových zplodin

Typ výsledku dle Definice druhů výsledků	Evidenční číslo (příjemce)	Rok vzniku
<i>R – Software</i>		2025
ISBN/ISSN (pokud je k dispozici)	Webový odkaz na výsledek (pokud je k dispozici)	Kde a kdy publikováno (v případě publikačních výsledků)

Stručná anotace k výsledku v českém jazyce:

Specializovaný software určený pro zpracování, kvantitativní vyhodnocení a vizuální porovnávání výsledků měření povýstřelových zplodin. Aplikace umožňuje analýzu obrazových dat získaných jak standardními chemickými otiskovými metodami, tak nedestruktivními infračervenými měřicími technikami. Software integruje nástroje digitálního zpracování obrazu, segmentace oblastí, výpočtu prostorových charakteristik povýstřelových zplodin a jejich vizualizace.

Řešitelský tým:

Ing. et Ing. Jan Hejda Ph.D., Ing. Petr Volf Ph.D., Ing. Marek Sokol, doc. Ing. Patrik Kutílek M.Sc., Ph.D.

*Nehodící nevyplňujte

** Vše se musí vejít na tuto jednu stránku

**Název výsledku (cz): Software pro zpracování výsledků měření
povýstřelových zplodin**

**Název výsledku (en): Software for processing the results of
gunshot residue measurements**

Autor:

Ing. et Ing. Jan Hejda Ph.D.

Ing. Petr Volf Ph.D.

Ing. Marek Sokol

doc. Ing. Patrik Kutílek M.Sc., Ph.D.

Číslo projektu: VK01010037

Identifikační číslo výsledku: VK01010037-V2

Typ výsledku: R

Odpovědný pracovník: Ing. et Ing. Jan Hejda, Ph.D.

PRAHA, SRPEN 2025

Jazyk výsledku: CZE

Hlavní obor: JC - Počítačový hardware a software

Uplatněn: ANO

Název výsledku česky:

Software pro zpracování výsledků měření povýstřelových zplodin

Název výsledku anglicky:

Software for processing the results of gunshot residue measurements

Popis výstupu/výsledku z návrhu projektu VK01010037:

Specializovaný software určený pro zpracování výsledků měření povýstřelových zplodin. Vstupem budou datové výstupy jednak nových infračervených měřicích metod v podobě termografických sekvencí či spektrálních map a jednak standardně používané chemické otiskové metody. Součástí softwaru bude uživatelské rozhraní, které operátorovi umožní načíst vstupní soubory, nastavit parametry vyhodnocení, zobrazit výsledné rozložení povýstřelových zplodin a exportovat výsledky.

Abstrakt k výsledku česky:

Výsledkem je specializovaný software určený pro zpracování, kvantitativní vyhodnocení a vizuální porovnávání výsledků měření povýstřelových zplodin. Aplikace umožňuje analýzu obrazových dat získaných jak standardními chemickými otiskovými metodami, tak nedestruktivními infračervenými měřicími technikami. Software integruje nástroje digitálního zpracování obrazu, segmentace oblastí, výpočtu prostorových charakteristik povýstřelových zplodin a jejich vizualizace. Modulární architektura umožňuje rozšíření o externí analytické skripty v jazyce Python, včetně metod založených na umělé inteligenci. Výsledné řešení podporuje reprodukovatelné vyhodnocení měření povýstřelových zplodin s přímým uplatněním ve forenzní praxi.

Abstrakt k výsledku anglicky:

The result is a specialized software tool designed for the processing, quantitative evaluation, and visual comparison of gunshot residue measurement results. The application enables the analysis of image data acquired using both standard chemical imprint methods and non-destructive infrared measurement techniques. The software integrates tools for digital image processing, region segmentation, computation of spatial characteristics of gunshot residue, and their visualization. Its modular architecture allows extension through external analytical scripts written in Python, including methods based on artificial intelligence. The resulting solution supports reproducible evaluation of gunshot residue measurements with direct applicability in forensic practice.

Klíčová slova česky:

povýstřelové zplodiny, zpracování obrazu, segmentace obrazu, infračervené měření, umělá inteligence

Klíčová slova anglicky:

gunshot residue, image processing, image segmentation, infrared measurement, artificial intelligence

Vlastník výsledku:

České vysoké učení technické v Praze (IČO 68407700)

Lokalizace: Kriminalistický ústav Policie České republiky

Licence: Ne

Licenční poplatek: Ne

Ekonomické parametry:

Software byl vyvinut v rámci řešení projektu VK01010037 a je určen především pro využití ve forenzní praxi a výzkumu. Ekonomický přínos spočívá zejména ve snížení časové a personální náročnosti vyhodnocování povýstřelových zplodin, zvýšení efektivity expertní práce a omezení potřeby využívání externích specializovaných nástrojů. Nepřímý ekonomický efekt je dán možností širšího využití softwaru v dalších výzkumných a aplikačních oblastech bez nutnosti dodatečných investic.

Technické parametry:

Typ systému: modulární softwarová platforma pro zpracování a vizualizaci povýstřelových zplodin

Programovací jazyk: C# a Python 3.12

Podporované operační systémy: Windows 10/11

Datové vstupy: obrazové snímky ve formátu JPEG, PNG, GIF, BMP, TIFF a CR3

Výstupy: CSV soubor se statistickými výstupy analýzy, obrazové snímky s výsledky srovnání

Integrace AI: multitask obrazový klasifikátor: ensemble 5× (k-fold) ResNet-18 s ImageNet předtrénovaným backbone

Vizualizační rozhraní: desktopová WinForms aplikace pro Windows

Kategorie nákladů: výše nákladů $\leq$ 10 mil. Kč

Charakteristika software

Vyvinutý software představuje specializovanou desktopovou aplikaci určenou pro parametrickou analýzu, kvantitativní vyhodnocení a vizuální porovnávání obrazových dat v makroskopickém měřítku. Primárním účelem aplikace je podpora forenzní analýzy povýstřelových zplodin (Gunshot Residue, GSR), zejména při hodnocení prostorového rozložení částic vzniklých výstřelem a jejich porovnávání s referenčními snímky pořízenými za známých podmínek.

Software vznikl jako cílené rozšíření open-source nástroje SPixel a byl od počátku navrhován ve spolupráci s odborníky z oblasti forenzní a balistické analýzy. Jeho hlavním přínosem je sjednocení vizuálního hodnocení obrazů s kvantitativní parametrickou analýzou v jednom prostředí, bez nutnosti použití externích skriptů nebo specializovaného programování.

Aplikace je koncipována jako nástroj pro expertní práci, kde je kladen důraz na kontrolu nad jednotlivými kroky analýzy, transparentnost zvolených parametrů a reprodukovatelnost výsledků.

Uživatelské rozhraní i interní dokumentace jsou v angličtině.

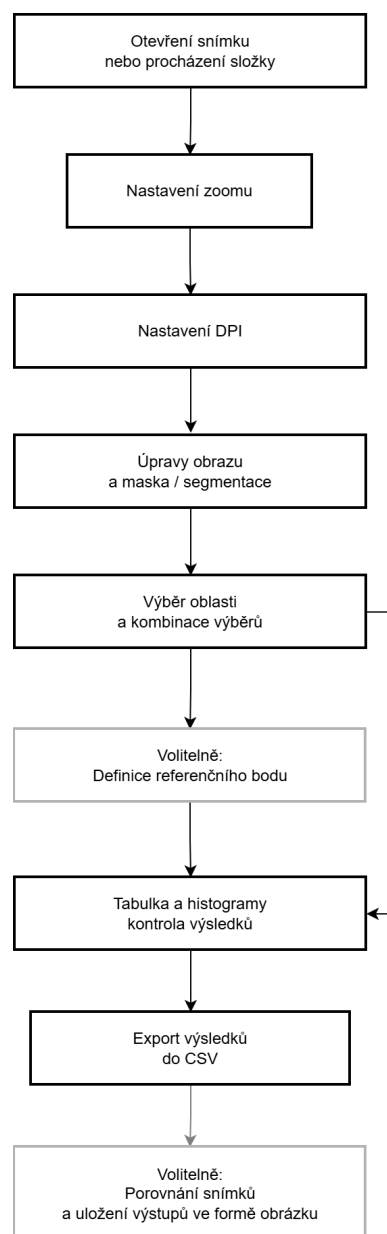
Typický workflow použití aplikace

Typický postup zpracování snímků (Obr. 1) v aplikaci zahrnuje otevření obrazového souboru nebo plynulé procházení snímků ve složce, nastavení vhodného přiblížení pro detailní práci a definici DPI, které je nezbytné pro správný přepočet fyzikálních jednotek. Následují úpravy obrazu a tvorba masky či segmentace oblasti zájmu, případně kombinace více výběrů. Volitelně lze definovat referenční bod pro výpočet vzdáleností a úhlových parametrů. Výsledky analýzy jsou následně zkontrolovány pomocí tabulek a histogramů a exportovány do formátu CSV. V případě potřeby lze snímky dále porovnat s referencemi v režimech překryvu a uložit výsledné obrazové výstupy.

Softwarová architektura a technologické řešení

Aplikace (Obr. 2) je implementována v jazyce C# na platformě .NET (verze 8, s podporou WinForms), což zajišťuje plnou kompatibilitu s operačními systémy Windows běžně používanými ve forenzní a výzkumné praxi. Grafické uživatelské rozhraní vychází z WinForms frameworku, který byl zvolen s ohledem na kontinuitu s původním projektem SPixel a na požadavek rychlé odezvy při práci s velkoformátovými obrazovými daty.

Zpracování obrazu je realizováno pomocí knihovny AForge.NET, která poskytuje robustní implementace základních i pokročilých algoritmů digitálního zpracování obrazu. Architektura aplikace je modulární a jednotlivé části systému (načítání dat, zpracování obrazu, segmentace, analýza, vizualizace, export) jsou navrženy tak, aby bylo možné je dále rozšiřovat bez zásahu do jádra aplikace.

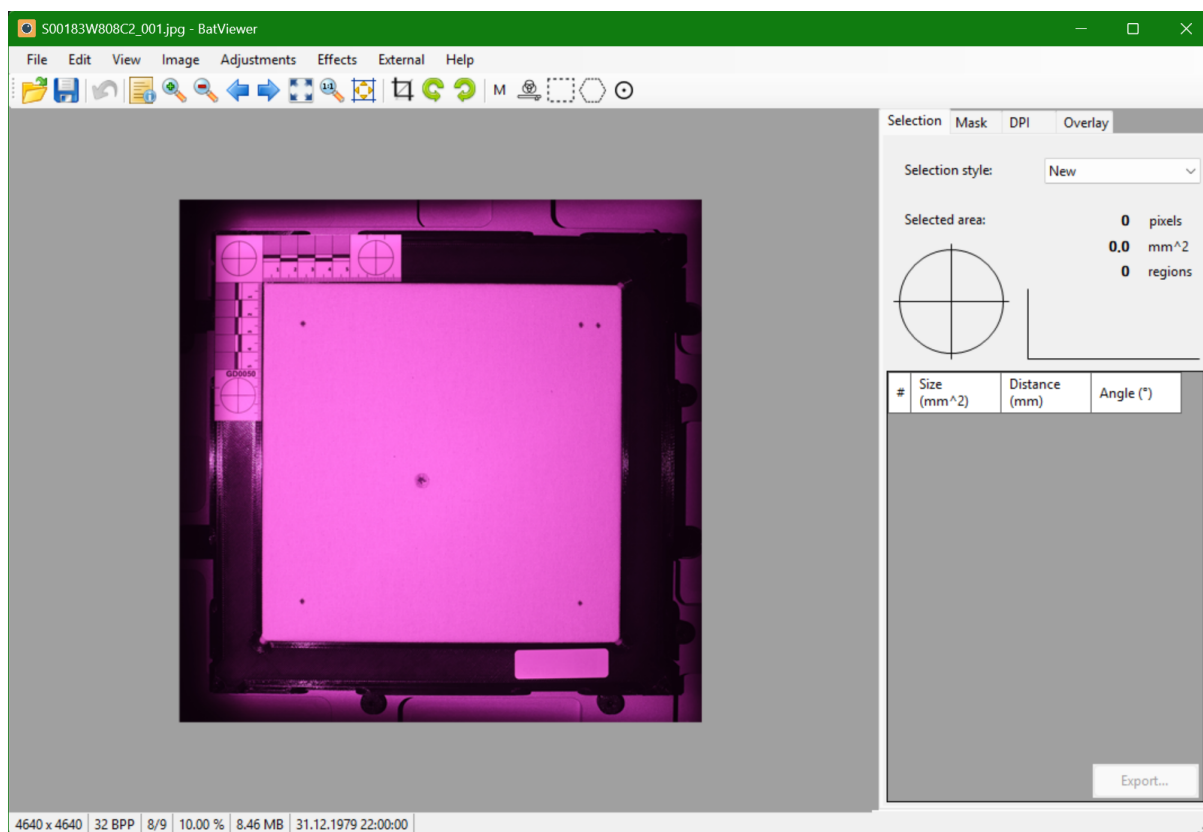


Obr. 1 Typický workflow použití aplikace

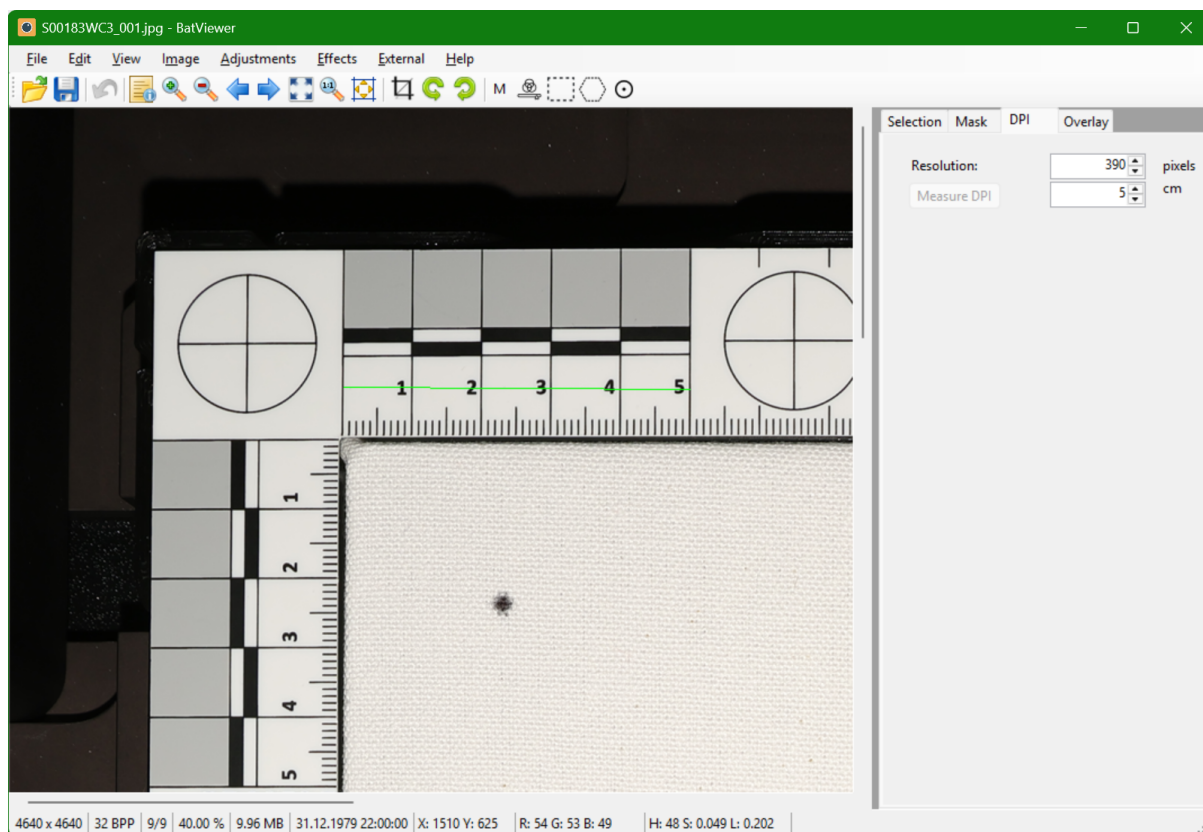
Podpora obrazových dat a metod akvizice

Software je navržen tak, aby podporoval obrazová data získaná různými metodami používanými v analýze GSR. Primárně se jedná o:

- RGB snímky pořízené standardní kamerou,
- snímky získané chemografickými metodami, kde jsou povýstřelové zplodiny zvýrazněny pomocí chemických činidel, zachycené standardní RGB kamerou,
- obrazy získané metodami infračervené nedestruktivní inspekce (IRNDI), zejména infračervené termogramy pořízené po pulzním buzení,
- snímky vytvořené dalšími perspektivními nedestruktivními metodami.



Obr. 2 Základní okno aplikace.



Obr. 3 Interaktivní určení rozlišení

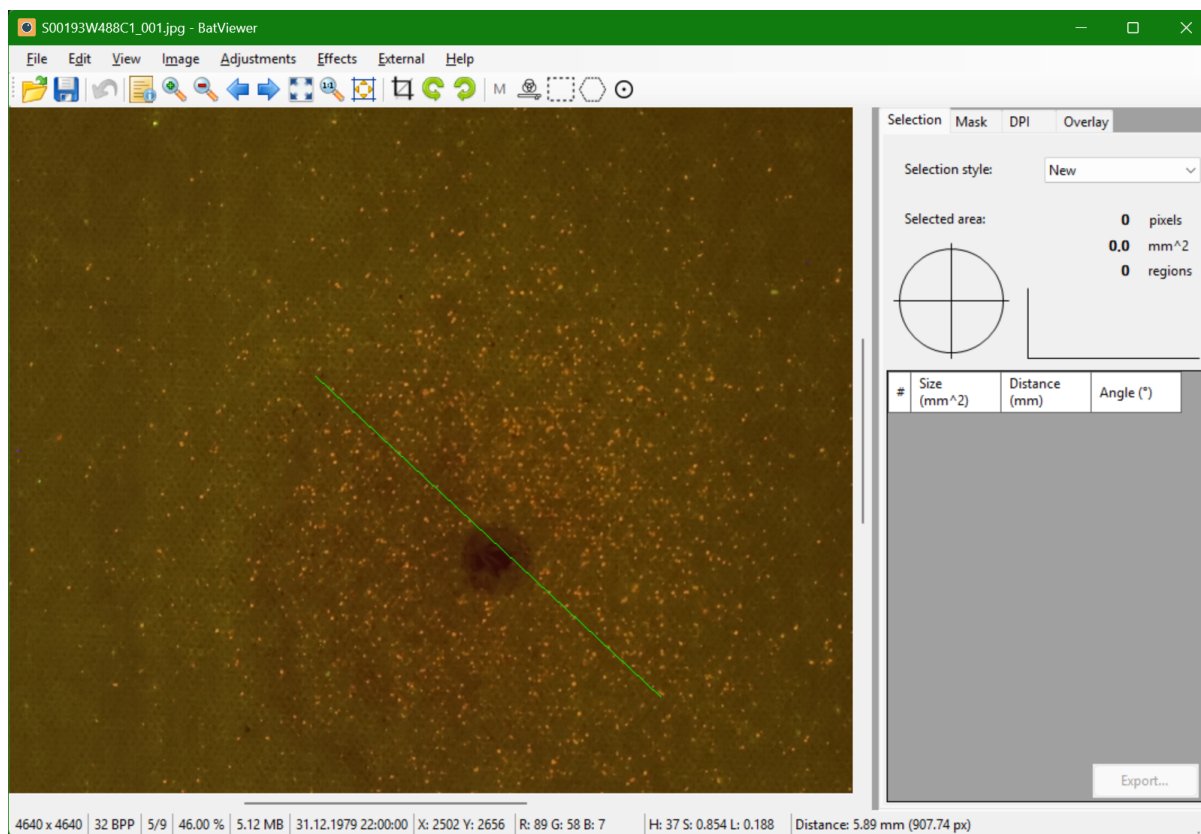
Aplikace pracuje s běžnými bitmapovými formáty, jako jsou JPEG, PNG, GIF, BMP, TIFF a CR3, a umožňuje nastavit interaktivně měřítko obrazu pomocí DPI (Obr. 3), což je klíčové pro převod pixelových veličin na reálné jednotky (mm, mm²).

Procházení snímků ve složce je realizováno pomocí interaktivních navigačních prvků bez nutnosti opakovaného vyvolávání systémového dialogu pro otevírání souborů.

Základní funkce analýzy a zpracování obrazu

Aplikace po nastavení správného DPI umožňuje měření skutečných rozměrů:

- vzdálenosti pomocí měřítka mezi dvěma body (Obr. 4),
- obsah, vzdálenosti a polohu segmentů vůči referenčnímu bodu (viz odstavec Kvantitativní analýza vybraných oblastí).



Obr. 4 Ukázka měření vzdálenosti mezi dvěma body - určená vzdálenost je uvedena v pravém dolním rohu.

Součástí aplikace je rozsáhlá sada nástrojů pro základní úpravy obrazu, které slouží k optimalizaci vizualizace a přípravě dat pro další analýzu. Mezi tyto funkce patří zejména:

- rotace, převrácení, ořez a změna velikosti obrazu,
- úpravy histogramu včetně jasu, kontrastu, saturace a gama korekce,
- práce s barevnými kanály (extrakce kanálů, jejich filtrování a kombinace),
- úpravy v barevných prostorech RGB a HSL,

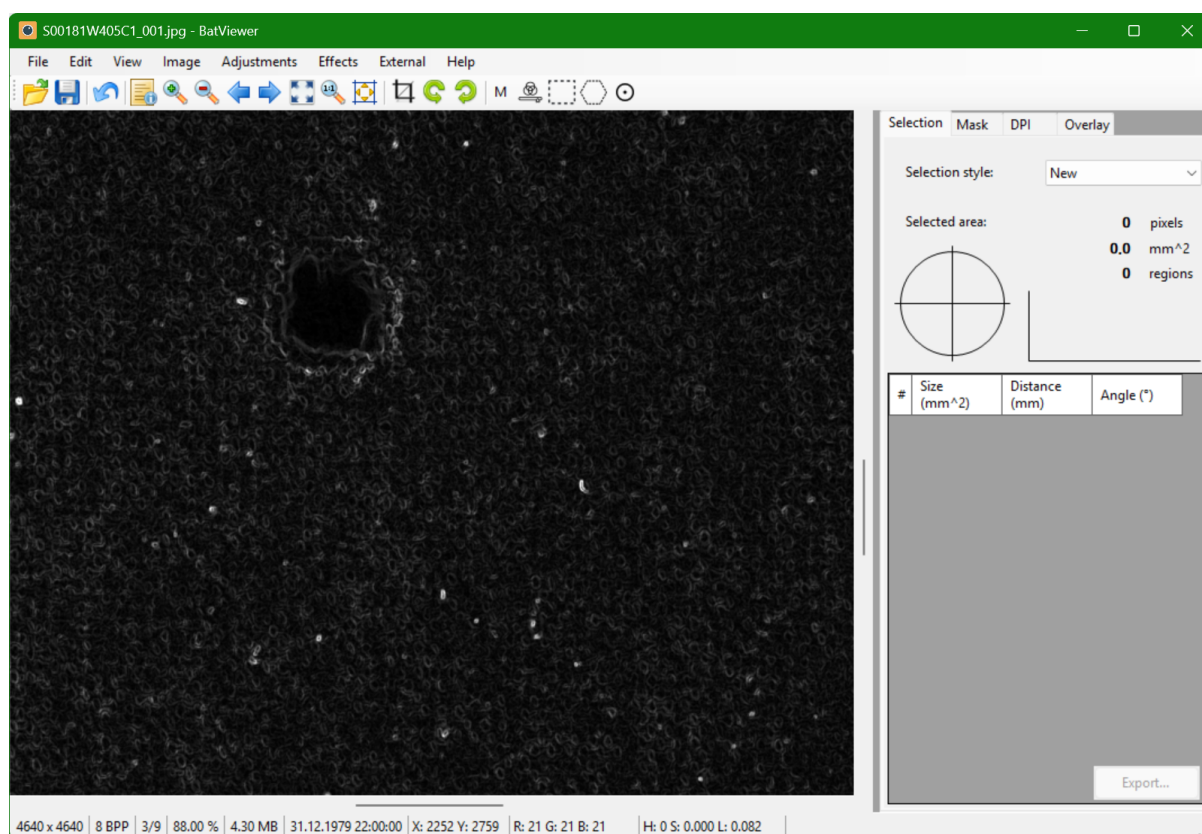
- inverze barev a převod do odstínů šedi.

Tyto operace umožňují zvýraznit struktury povýstřelových zplodin a potlačit rušivé prvky pozadí bez destruktivních zásahů do původních dat.

Pokročilé zpracování obrazu

Aplikace dále integruje pokročilé metody digitálního zpracování obrazu, které jsou nezbytné pro analýzu jemných struktur. Patří sem zejména:

- rozostření a doostření obrazu (např. Gaussovy filtry),
- prahování pro převod obrazu do binární podoby,
- morfologické operace (eroze, dilatace, otevření a uzavření),
- detekce hran pro zvýraznění strukturálních detailů.



Obr. 5 Aplikace hranového detektoru pro zvýraznění GSR.

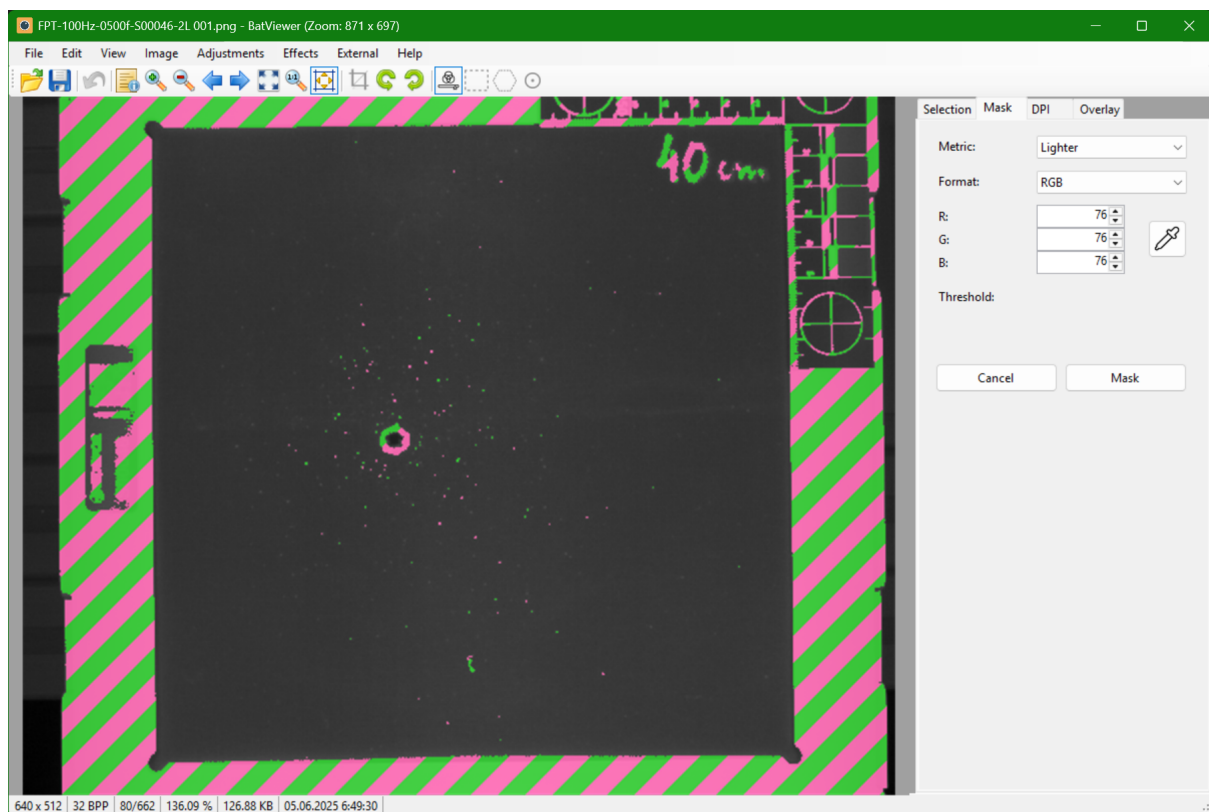
Tyto funkce jsou využívány především při přípravě obrazu pro segmentaci a při separaci jednotlivých oblastí povýstřelových zplodin (viz Obr. 5).

Segmentace a výběr oblastí zájmu

Jednou z klíčových vlastností software je pokročilý systém výběru oblastí zájmu. Uživatel má k dispozici:

- obdélníkový výběr,
- volně kreslený polygonální výběr,
- výběr na základě jasu nebo barvy s využitím prahů v RGB nebo LAB prostoru (viz Obr. 6),
- region growing založený na Eukleidovské vzdálenosti od referenční barvy.

Jednotlivé výběry lze kombinovat pomocí logických operací (sjednocení, průnik, rozdíl, negace), což umožňuje velmi přesnou definici analyzované oblasti. To je důležité zejména při vyloučení nežádoucích částí obrazu, jako je otvor po střele, okraje vzorku nebo výrobní artefakty textilie.



Obr. 6 Výběr oblastí světlejších než referenční bod

Kvantitativní analýza vybraných oblastí

Po vytvoření finální binární masky provádí software automatickou analýzu jednotlivých disjunktních oblastí pomocí modifikovaného algoritmu Flood Fill, který umožňuje spolehlivou identifikaci oddělených segmentů i v případě nepravidelných nebo částečně propojených struktur. Každý identifikovaný segment je dále kvantitativně popsán souborem geometrických a prostorových parametrů, které slouží jako základ pro následné vyhodnocení a porovnávání snímků.

Pro každý segment jsou vypočteny zejména následující charakteristiky:

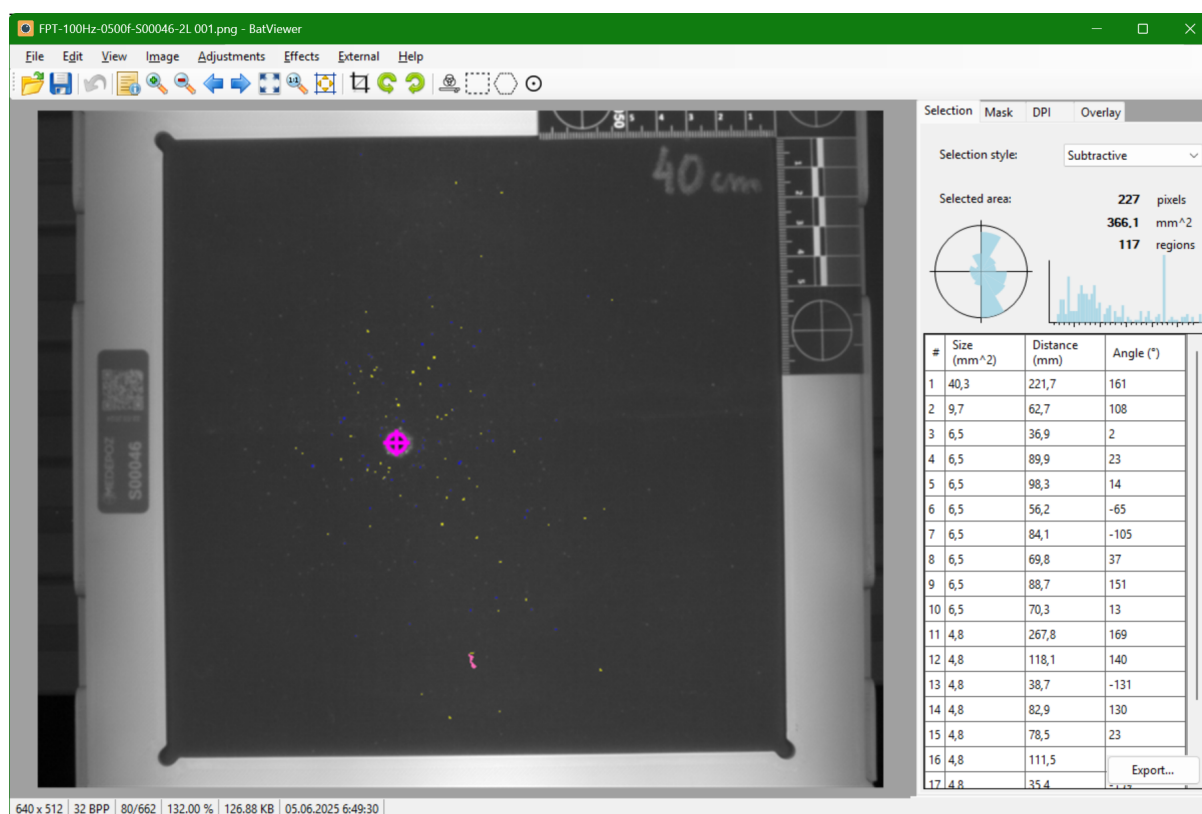
- plocha segmentu vyjádřená v pixelech a současně přepočtená na reálné jednotky (mm^2) na základě uživatelem definovaného DPI,
- vzdálenost segmentu od referenčního bodu definovaného v obraze,

- relativní poloha segmentu vyjádřená pomocí úhlové orientace.

Referenční bod je zpravidla umísťován do oblasti otvoru po průstřelu a slouží jako společný geometrický základ pro analýzu všech segmentů v daném snímku. Vzdálenost i úhlová poloha jsou určovány vzhledem k těžišti jednotlivých segmentů, což zajišťuje konzistentní a reprodukovatelné vyhodnocení i při variabilním tvaru analyzovaných oblastí.

Výsledné hodnoty jsou prezentovány v přehledné tabulkové formě a současně sumarizovány pomocí klasických i polárních histogramů, které umožňují rychlou vizuální interpretaci prostorového rozložení analyzovaných segmentů. Tabulka je interaktivně propojena s obrazovou částí aplikace – při pohybu kurzoru nad jednotlivými položkami dochází k okamžitému zvýraznění odpovídající oblasti v obraze, což usnadňuje kontrolu správnosti segmentace i interpretaci vypočtených parametrů.

Celý analytický postup je doplněn o možnost přímého exportu numerických výsledků do otevřeného formátu CSV, přičemž uživatelské rozhraní (viz Obr. 7) umožňuje plynulé propojení vizuálního hodnocení s kvantitativními výstupy bez nutnosti opuštění aplikace.



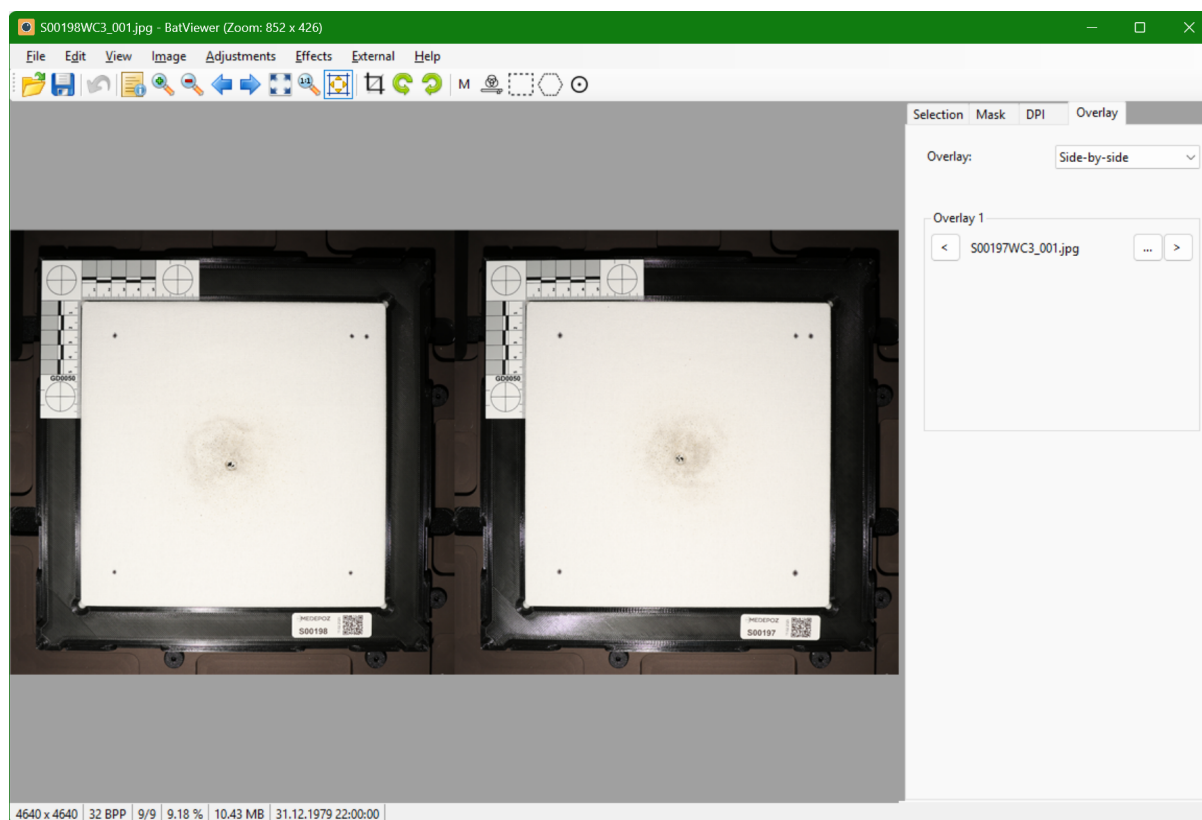
Obr. 7 Finálně segmentovaná oblast zájmu s vyznačeným průstřelem, zobrazenou kvantitativní analýzou s možností exportu do CSV formátu a interaktivně vybraným segmentem zájmu (fialová oblast dole, v tabulce #1).

Nástroje pro porovnávání obrazů

Nedílnou součástí software je specializovaný modul pro vizuální porovnávání analyzovaných a referenčních obrazových dat, který je navržen tak, aby podporoval expertní hodnocení rozdílů v prostorovém rozložení povýstřelových zplodin. Modul umožňuje porovnávat více

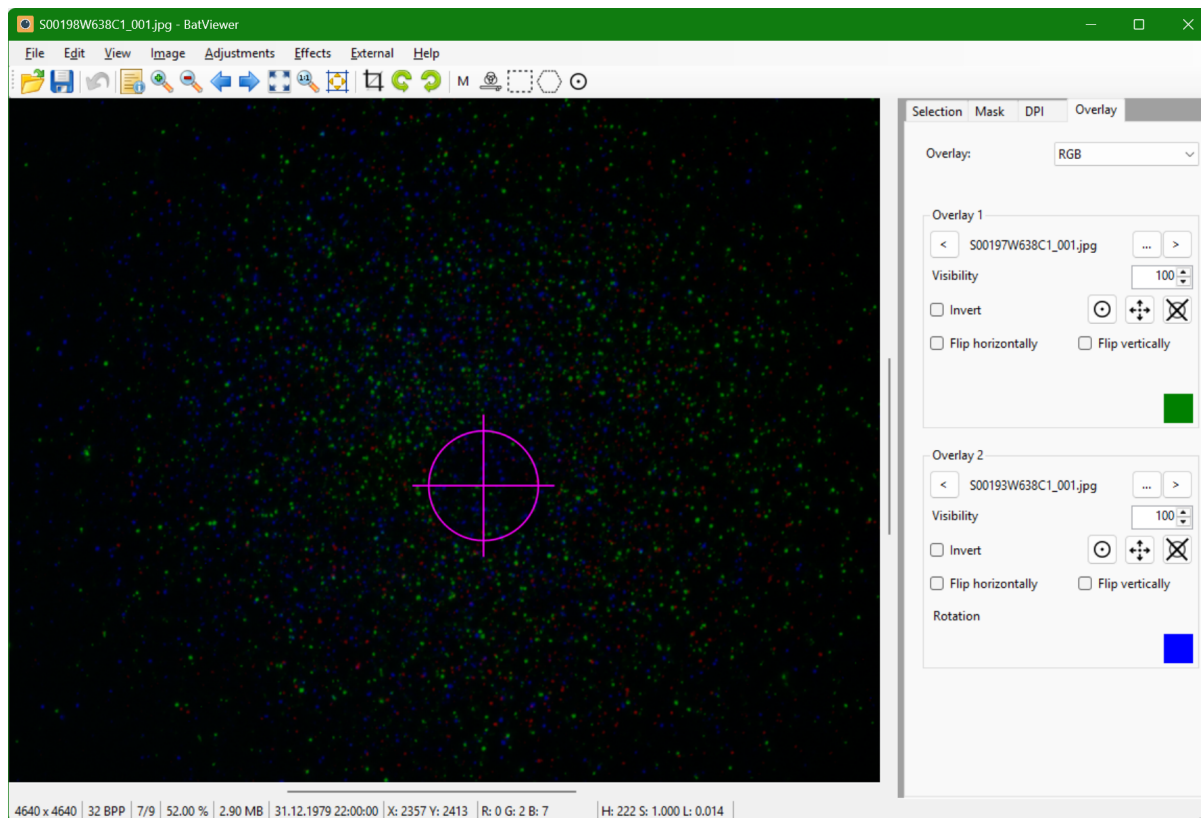
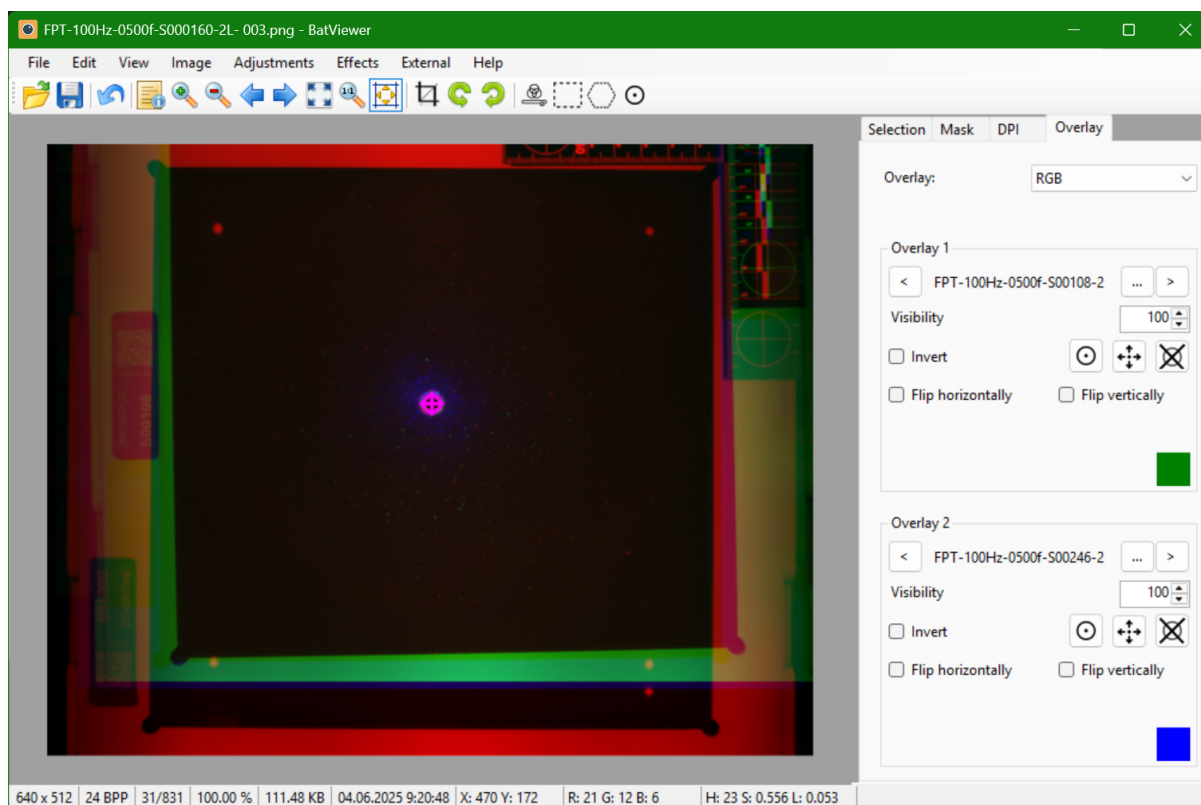
snímků v rámci jednoho pracovního prostředí a nabízí několik komplementárních způsobů zobrazení, které se vzájemně doplňují a reagují na různé analytické potřeby.

Základním režimem je zobrazení snímků vedle sebe (side-by-side, viz Obr. 8), které umožňuje vizuální kontrolu analyzovaného obrazu a jedné nebo dvou referencí. Tento způsob porovnání je vhodný zejména pro rychlou orientační analýzu a identifikaci hrubých rozdílů mezi vzorky pořízenými za odlišných podmínek, například při různých vzdálenostech výstřelu nebo použití odlišných metod akvizice obrazu.



Obr. 8 Zobrazení pro porovnávání obrazů - režim vedle sebe.

Dalším nástrojem je mapování obrazů do RGB kanálů (Obr. 9), při kterém je analyzovaný snímek i až dva referenční snímky převedeny do odstínů šedi a následně přiřazeny jednotlivým barevným kanálům (červený, zelený a modrý), což dovoluje přehlednou vizualizaci rozdílů mezi snímky, neboť oblasti shodné se zobrazují neutrálně, zatímco rozdíly se projeví výrazným barevným posunem. Uživatel má možnost jednotlivé obrazy invertovat, upravovat jejich průhlednost a dočasně je skrývat, čímž lze zvýraznit specifické rysy analyzovaných struktur.

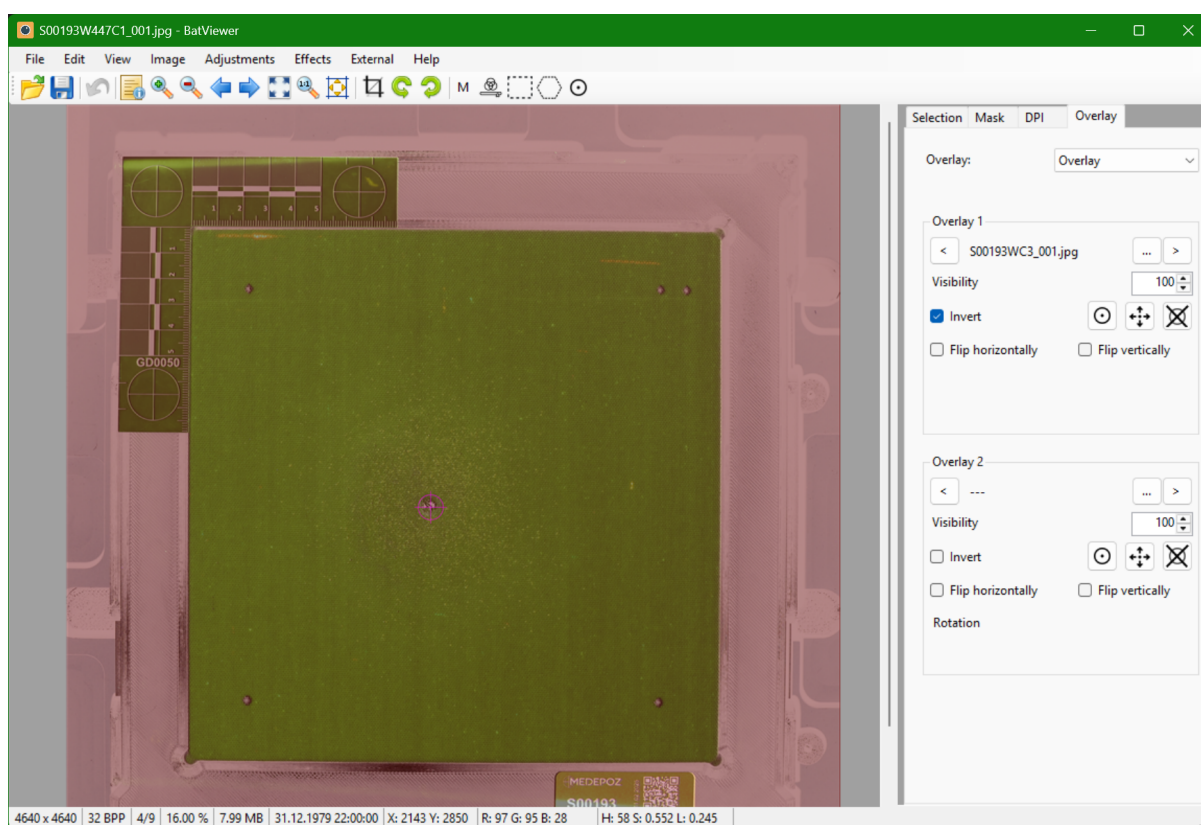


Obr. 9 Zobrazení pro porovnávání - mapování do RGB kanálů. Terč vyznačuje místo průstřelu, pomocí kterého jsou snímky zarovnány.

Třetím režimem je překryv obrazů (Obr. 10), při kterém jsou snímky zobrazeny přes sebe s nastavitelnou mírou průhlednosti. Stejně jako v případě RGB mapování je možné obrazy

invertovat, individuálně nastavovat jejich viditelnost a pracovat s nimi jako s oddělenými vrstvami.

Pro zajištění přesného porovnání umožňuje aplikace zarovnání obrazů na základě uživatelem definovaného referenčního bodu, kterým je v kontextu analýzy povýstřelových zplodin typicky otvor po průstřelu. Tento referenční bod slouží jako společný geometrický základ pro všechny porovnávané snímky a umožňuje jejich prostorové sjednocení i v případě drobných rozdílů v orientaci nebo umístění vzorku při akvizici. Díky tomu je zachována geometrická konzistence porovnávání a minimalizován vliv artefaktů, které by mohly zkreslit interpretaci rozdílů mezi jednotlivými obrazy.



Obr. 10 Zobrazení pro porovnávání - režim překrytí. Ukázka zobrazení různých metod snímání přes sebe.

Praktickým prvkem modulu pro porovnávání obrazů je možnost plynulého procházení snímků uložených ve složkách pomocí jednoduchých navigačních prvků. To významně zrychluje práci s rozsáhlejšími datovými sadami a umožňuje efektivní porovnávání většího množství referenčních snímků bez nutnosti jejich opakovaného ručního načítání.

Díky kombinaci uvedených nástrojů aplikace podporuje systematické a reprodukovatelné hodnocení rozdílů mezi analyzovanými a referenčními vzorky. Propojení vizuálních porovnávacích režimů s kvantitativními výstupy analýzy zároveň umožňuje interpretovat pozorované rozdíly v širším kontextu a zvyšuje využitelnost software jak ve forenzní praxi, tak ve výzkumných aplikacích.

Modulární integrace externích analytických skriptů v Pythonu

Softwarová architektura aplikace je navržena s důrazem na rozšiřitelnost a dlouhodobou udržitelnost, což se promítá i do možnosti využití externích analytických skriptů implementovaných v jazyce Python. Tím je oddělena základní funkcionalita aplikace, zaměřená na interaktivní zpracování a parametrickou analýzu obrazových dat, od výpočetně náročných nebo experimentálních metod, které se typicky vyvíjejí a testují v prostředí vědeckého výzkumu.

Externí skripty jsou spouštěny v samostatném Python prostředí s vlastním virtuálním prostředím (venv), které je nezávislé na systémové instalaci Pythonu i na běhovém prostředí samotné aplikace. Díky tomu je možné přesně definovat verze použitých knihoven, zajistit reprodukovatelnost výsledků a současně minimalizovat riziko konfliktů mezi jednotlivými závislostmi. Tento způsob integrace rovněž usnadňuje aktualizaci nebo nahrazení konkrétních analytických modulů bez nutnosti zásahu do jádra aplikace.

Využití externích skriptů pro pokročilou analýzu obrazů

Hlavním motivem pro integraci Python skriptů je možnost využití moderních metod strojového učení a umělé inteligence, které nejsou nativně implementovány v prostředí .NET a jejichž vývoj a ladění je v ekosystému Pythonu výrazně efektivnější. Externí skripty pracují s obrazovými daty a s kvantitativními parametry vypočtenými aplikací, čímž je zachována kontinuita mezi deterministickou parametrickou analýzou a datově řízenými modely.

Tento modulární přístup umožňuje nasazení pokročilých analytických metod bez omezení interaktivních schopností aplikace. Zároveň poskytuje prostor pro experimentální vývoj nových modelů, jejich validaci na rozšiřujících se datových sadách a případné nahrazení či doplnění stávajících analytických postupů.

Modul pro odhad vzdálenosti střelce založený na AI

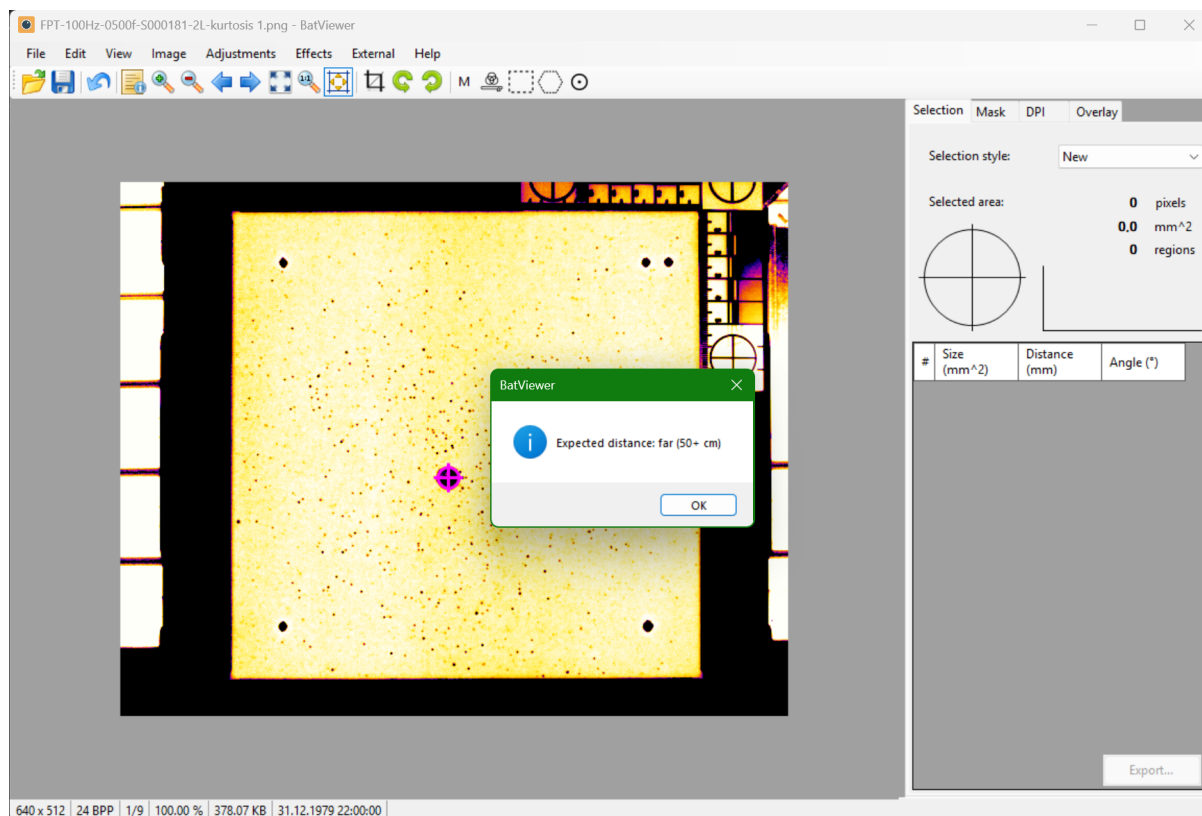
Konkrétním příkladem využití externího Python modulu je implementace experimentálního nástroje pro automatické hodnocení vzdálenosti střelce (Obr. 11). Tento nástroj navazuje na kvantitativní a obrazová data připravená v aplikaci a rozšiřuje je o inferenční vrstvu založenou na metodách umělé inteligence.

Použitý přístup kombinuje hluboké učení a klasické metody strojového učení v rámci jednoho multimodálního modelu. Obrazová data jsou nejprve zpracována konvoluční neuronovou sítí typu ResNet, využívající přenos učení (transfer learning) z databáze ImageNet. Z této sítě jsou extrahovány hluboké reprezentace, které zachycují komplexní obrazové struktury a globální kontext analyzovaných snímků.

Současně jsou z těchto obrazů vypočítávány ručně navržené obrazové příznaky, zahrnující zejména charakteristiky tvaru, hranových struktur a textury. Tyto příznaky reprezentují

doplňující, interpretovatelnou informaci, která reflektuje domain-specifické znalosti vztahující se k prostorovému rozložení povýstřelových zplodin.

Oba zdroje informace – hluboké reprezentace i ručně navržené příznaky – jsou následně sloučeny do společného vektorového popisu a dále zpracovány pomocí plně propojených vrstev neuronové sítě. Tato architektura umožňuje modelu efektivně kombinovat globální obrazové vzory s lokálními a statistickými charakteristikami.



Obr. 11 Ukázka použití experimentálního modulu pro odhad vzdálenosti střelce pomocí AI.

Modul pro odhad vzdálenosti střelce je implementován jako experimentální rozšíření softwaru a je součástí předloženého výsledku R ve vývojové podobě.

Přínos modulární koncepce

Integrace externích Python skriptů s vlastním virtuálním prostředím představuje klíčový prvek rozšiřitelnosti aplikace. Umožňuje propojit interaktivní, expertně řízenou analýzu obrazů s moderními metodami umělé inteligence, aniž by došlo ke ztrátě transparentnosti nebo kontroly nad analytickým procesem.

Tento koncept vytváří pevný základ pro další rozvoj software, ať už ve formě nových AI modelů, alternativních přístupů k analýze obrazových dat nebo rozšíření aplikace do dalších aplikačních oblastí.

Export dat a návaznost na externí analýzu

Veškeré numerické výstupy generované aplikací lze exportovat do otevřeného formátu CSV, který je určen pro další statistické a analytické zpracování v externích nástrojích, jako jsou Python, R, MATLAB nebo Microsoft Excel.

Kromě numerických dat aplikace umožňuje ukládání obrazových výstupů vzniklých v průběhu analýzy, včetně upravených snímků a vizualizačních režimů pro porovnávání obrazů. Uložit lze také výsledné kompozice vzniklé překryvem více snímků nebo jejich mapováním do barevných kanálů, a to do běžně podporovaných obrazových formátů.

Díky tomu je možné plynule navázat na další zpracování dat, jejich archivaci nebo využití pro dokumentační a prezentační účely mimo samotnou aplikaci.

Oblasti využití a aplikační potenciál mimo GSR

Přestože je software primárně určen pro analýzu GSR, jeho funkcionality je obecně použitelná pro další úlohy, kde je potřeba:

- analyzovat prostorové rozložení struktur vzhledem k referenčnímu bodu,
- porovnávat obrazová data pořízená za různých podmínek,
- kombinovat vizuální hodnocení s kvantitativními parametry,
- uživatelsky interaktivně aplikovat navržené Python skripty na snímky.

Závěr

Vyvinutý software představuje specializovaný nástroj pro zpracování, kvantitativní vyhodnocení a vizuální porovnávání obrazových dat v oblasti analýzy povýstřelových zplodin. Aplikace integruje interaktivní práci s obrazem, parametrickou analýzu segmentovaných oblastí a nástroje pro porovnávání snímků do jednoho konzistentního prostředí určeného pro expertní použití. Tím reaguje na praktické potřeby forenzní praxe, kde je kladen důraz na přesnost, transparentnost a reprodukovatelnost vyhodnocení.

Podstatným přínosem software je možnost systematického výpočtu prostorových a plošných charakteristik povýstřelových zplodin na základě uživatelsky definovaného referenčního bodu. Kombinace tabulkových výstupů s jejich přímou vazbou na obrazovou reprezentaci usnadňuje kontrolu správnosti analýzy a podporuje konzistentní interpretaci výsledků při porovnávání více snímků pořízených za odlišných podmínek. Významnou součástí aplikace je modul pro porovnávání obrazů, který nabízí několik vzájemně se doplňujících režimů zobrazení. Tyto nástroje umožňují efektivní vizuální hodnocení rozdílů mezi analyzovanými a referenčními snímky a současně podporují práci s rozsáhlejšími datovými sadami. Možnost ukládání upravených a kombinovaných obrazových výstupů zajišťuje návaznost na dokumentaci výsledků a jejich další využití mimo samotnou aplikaci.

Modulární architektura software vytváří předpoklady pro jeho další rozvoj. Integrace externích analytických skriptů v jazyce Python, provozovaných ve vlastním virtuálním

prostředí, umožňuje rozšiřování funkcionality o pokročilé metody zpracování obrazů a umělé inteligence bez zásahu do jádra aplikace. Implementovaný experimentální modul pro odhad vzdálenosti střelce ilustruje tento přístup a potvrzuje použitelnost navržené koncepce.

Celkově software představuje praktický výsledek aplikovaného výzkumu s přímým uplatněním ve forenzní oblasti. Díky obecně pojaté koncepci a orientaci na obrazová data je současně využitelný i pro další výzkumné a metodické úlohy, kde je vyžadována kombinace vizuálního hodnocení a kvantitativní analýzy.

Programátorský manuál

Krátký technický manuál pro vývojáře — orientace v kódu, rozšíření a běžná práce s aplikací.

Obsah

- Přehled projektu
- Struktura a klíčové soubory
- Obecný popis UI
- **Features** — rozšíření
- **Features/scripts** — poznámka o experimentech v Pythonu
- Funkcionality převzaté ze SPixel
- Sestavení a spuštění
- Doporučení pro rozšíření

Přehled projektu

- Název: **BatViewer** (Windows Forms, C# 12, .NET 8).
- Hlavní projekt: **BatViewer\BatViewer.csproj**.
- Cílem aplikace je průzkumné zpracování obrazových dat s rozšiřitelnou architekturou modulů.

Struktura a klíčové soubory

- **Program.cs** — vstupní bod aplikace.
- **MainForm.cs, MainForm.Designer.cs, MainForm.resx** — hlavní okno a UI.
- **AboutForm.cs, AboutForm.Designer.cs, AboutForm.resx** — dialog „O aplikaci“.
- **View Forms/** — pomocná okna pro vizualizaci a statistiky (např. **ImageStatisticsWindow.cs**).
- **Features/** — modulární rozšíření a algoritmy.
- **Features/scripts/** — experimentální Python skripty (viz níže).
- **Properties/Resources.resx** — vestavěné prostředky.

Obecný popis UI

UI je postavené na Windows Forms. Hlavní komponenty: - **MainForm** — centrální okno s pracovní plochou pro zobrazení obrázků a ovládacími panely pro nástroje a parametry. - Menu a toolbar — volání funkcí (otevírání souborů, spuštění filtrů, export apod.). - Stavový řádek — informace o aktuálním souboru, pozici myši a stavu operací. - Dialogy — **AboutForm** (informace o verzi a odkaz), okna s detaily obrazu/statistikami.

Navrhování nových UI prvků: logiku oddělit od UI (business logic v **Features**), do UI vkládat jen volání veřejných metod.

Features — rozšíření

Složka **Features** obsahuje implementace filtrů, předzpracování, maskování, wrapperů pro externí nástroje a další algoritmy. Zásady práce: - Každá samostatná funkce (feature) by měla být v oddělené třídě soustředěné ve **Features**. - Veřejné API feature tříd by mělo být jednoduché, testovatelné a bez závislosti na WinForms. - Integrace s externími procesy dělaná přes **Features\External.cs** (používá **System.Diagnostics.Process**).

Features/scripts

Podadresář **Features/scripts** obsahuje experimentální Python skripty (prototypy využívající AI — např. detekce, předzpracování). Poznámky: - Skripty jsou experimentální a nejsou součástí produkčního běhu (.NET aplikace). - Spouštění vyžaduje lokální instalovaný Python; závislosti se obvykle spravují přes **requirements.txt** (pokud přítomen). - Integrace do C# je řešena výstupem do souborů nebo voláním skriptů jako externích procesů (**Process.Start**).

Funkcionality převzaté ze SPixel

Aplikace používá některé algoritmy a části koncepce ze SPixel (například metody segmentace / superpixel). Tyto části jsou v kódu stručně komentovány — detailní popis algoritmů a použití najdete v originálním repozitáři SPixel: <https://github.com/markodt/SPixel>.

Sestavení a spuštění

Požadavky: .NET 8 SDK.

V IDE (Visual Studio): - Otevřít řešení **BatViewer.sln** a nastavit startovací projekt **BatViewer**. - Spustit debug (F5).

CLI: - **dotnet build BatViewer\BatViewer.csproj - dotnet run --project BatViewer\BatViewer.csproj**

Debugování: breakpointy v **MainForm.cs** nebo v třídách v **Features**.

Uživatelský manuál

1) Účel aplikace a základní pracovní postup

Aplikace slouží k otevření obrazových dat, jejich interaktivní úpravě a segmentaci oblastí zájmu. Nad vybranou oblastí následně provádí výpočet statistik disjunktních objektů a (při definici referenčního bodu) i výpočet vzdáleností a úhlových hodnot včetně náhledových histogramů. Číselné výsledky lze exportovat do CSV a upravené výstupy lze ukládat do podporovaných obrazových formátů.

Typický postup práce:

1. Otevřít snímek (případně procházet snímky ve složce).
2. Nastavit přiblížení (zoom) pro pohodlnou práci.
3. Nastavit DPI (nutné pro fyzikální jednotky mm / mm²).
4. Provedení úprav obrazu (jas/kontrast apod.) a vytvoření masky/segmentace.
5. Výběr oblasti a volba způsobu kombinace výběrů.
6. Volitelně definovat referenční bod.
7. Zkontrolovat tabulku a histogramy a exportovat výsledky do CSV.
8. (Volitelně) Porovnat snímky v režimu Overlay (vedle sebe / RGB / přes sebe) a uložit kompozici.

2) Otevření souboru a procházení snímků ve složce

2.1 Otevření souboru

Použijte File → Open (nebo ikonu  v horní liště).

Po otevření se snímek zobrazí v hlavním plátně.

2.2 Procházení snímků ve složce

Aplikace umožňuje rychlé procházení snímků uložených ve stejné složce bez nutnosti opakovaného otevírání systémového dialogu:

V horní liště nástrojů použijte modré šipky doleva/doprava  (navigace na předchozí / následující snímek v adresáři).

Tato funkce je vhodná při porovnávání sad referenčních snímků nebo při dávkové kontrole dat.

3) Zobrazení a zoom (přiblížení)

Pro efektivní práci s detaily aplikace nabízí několik způsobů přiblížení:

3.1 Zoom

V horní liště použijte ikony lupy   pro přiblížení / oddálení. Přiblížení 100 % lze rychle nastavit pomocí ikony .

Kromě toho lze přiblížení plynule měnit kolečkem myši.

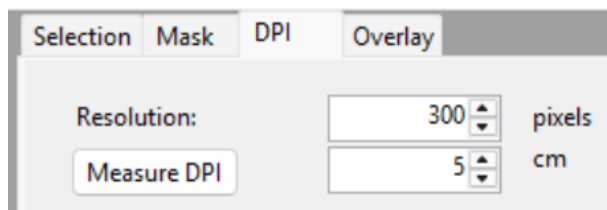
3.2 „Fit Images to Window“

Funkce Fit Images to Window  nastaví měřítko tak, aby se celý snímek vešel do okna. Doporučeno po otevření nového souboru nebo po výrazných úpravách zoomu.

4) Nastavení DPI a fyzikálních jednotek (mm, mm²)

Fyzické rozměry a plochy jsou v aplikaci odvozovány z nastaveného DPI. Bez správně nastaveného DPI budou výstupy v mm/mm² nepřesné.

Na pravé straně otevřete záložku **DPI**:



Zobrazí se pole pro Resolution (např. 300) a referenční délku (např. 5 cm) a tlačítko Measure DPI.

Klikněte na **Measure DPI**.

Postupujte podle interního měřicího režimu (typicky označení známé délky na měřítku/etalonové části snímku).

Aplikace přepočte DPI tak, aby odpovídalo realitě snímku.

Doporučení: Nastavte DPI vždy před exportem CSV a před interpretací ploch v mm².

5) Manipulace s obrazem (rotace, převrácení, změna velikosti, ořez)

Základní geometrické úpravy jsou dostupné v menu Image (ve screenu je otevřený rozbalovací seznam):

- **Rotate Left / Rotate Right** – otočení obrazu o 90°.
- **Custom Rotation...** – otočení o zadaný úhel.
- **Horizontal Flip / Vertical Flip** – zrcadlení vodorovně / svisle.
- **Resize...** – změna velikosti.
- **Crop** – ořez na vybranou oblast.

Praktický tip: Geometrické úpravy proveďte před segmentací a výpočty, aby na sebe navazovaly souřadnice, referenční bod i výsledné vzdálenosti.

6) Úpravy obrazu (jas, kontrast, kanály, filtry)

Úpravy pro zvýraznění struktur a potlačení pozadí se provádějí v menu **Adjustments**:

- **Brightness...** – jas
- **Contrast...** – kontrast
- **Saturation...** – saturace
- **Gamma Correction...** – gama korekce
- **Channels** – práce s barevnými kanály
- **HSL Filtering...** a **Hue Modifier...** – úpravy v HSL prostoru
- **Color Filtering...** a **Euclidean Color Filtering...** – filtrování dle barvy (vhodné pro zvýrazněné částice / struktury)

Doporučení: Úpravy obrazu používejte tak, aby zlepšily separaci analyzovaných struktur od pozadí, ale zároveň nezpůsobily ztrátu relevantních detailů.

7) Efekty (Effects) pro zpracování obrazu

V menu **Effects** jsou dostupné operace pro předzpracování a zvýraznění struktur:

- **Grayscale, Invert Colors** – převody a inverze
- **Colors** – výběr konkrétních barevných kanálů
- **Blur & Sharpen** – rozmazání a doostření
- **Binarization** – převod na binární obraz (často před segmentací)
- **Morphology** – morfologické operace (např. vyhlazení, spojení/oddělení oblastí)
- **Edge Detectors** – detekce hran

Dále doplňkové filtry (např. **Adaptive/Conservative Smoothing, Mean, Median**)

Poznámka: Efekty používejte cíleně – typicky jako přípravu před maskováním nebo pro stabilizaci segmentace (odstranění šumu / vyhlazení).

8) Výběr oblastí a tvorba masky

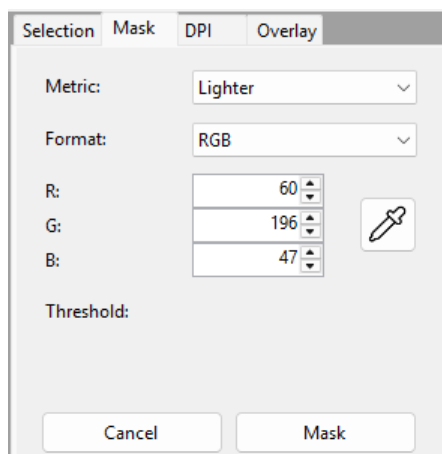
8.1 Nástroje výběru

V horní liště jsou dostupné nástroje výběru:

- **Obdélník** 
- **Mnohoúhelník** 

Výběr slouží k vymezení oblasti zájmu a k řízení dalších kroků (maskování, analýza).

8.2 Maskování podle barvy/jasu



Záložka **Mask** po aktivaci tlačítkem  umožňuje vytvoření masky na základě pixelových vlastností (viz screenshot s volbami):

- **Metric:**
 - **Euclidean** (barevná vzdálenost)
 - **Lighter / Darker** (podle jasu)
- **Format:** **RGB** nebo **LAB**

Ikona pipety  pro výběr referenční barvy přímo z obrazu.

Tlačítko **Mask** pro aplikaci

Doporučení: LAB je vhodné pro stabilnější separaci barev při proměnlivém osvětlení; RGB může být výhodné při výrazných barevných kontrastech.

9) Kombinování výběrů (Selection style)

V záložce **Selection** lze řídit, jak se nový výběr kombinuje s existujícím (ve screenu je rozbalovací seznam):

- **New** – nový výběr nahradí původní
- **Additive** – přičtení (sjednocení)
- **Subtractive** – odečtení (odebrání části)
- **Intersection** – průnik
- **Negation** – negace (invertování)

Tento mechanismus umožňuje postupné upřesňování oblasti zájmu, např. odečtením otvoru po průstřelu nebo odstraněním okrajů a artefaktů.

10) Referenční bod a prostorové parametry (vzdálenost, úhel)

Pokud je v aplikaci nastaven referenční bod (tlačítko  v horní liště), rozšíří se kvantitativní analýza o prostorové parametry:

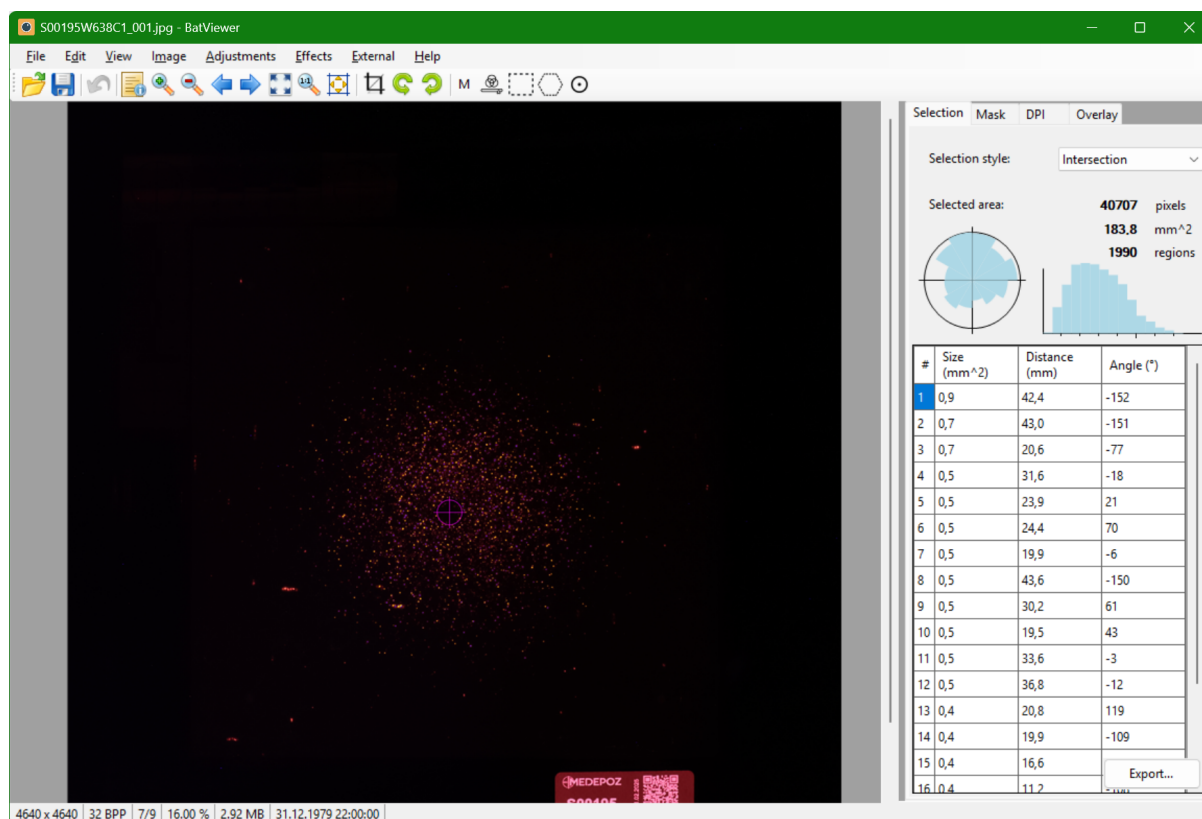
- vzdálenost segmentu od referenčního bodu,
- úhlovou míru (orientaci) segmentu vzhledem k referenčnímu bodu.

Prakticky se referenční bod obvykle umísťuje do oblasti průstřelu. Všechny vzdálenosti a úhly jsou pak počítány konzistentně pro jednotlivé disjunktní objekty.

11) Statistika disjunktních objektů a histogramy

Po vytvoření finální masky aplikace analyzuje disjunktní objekty a zobrazuje výsledky v záložce **Selection**:

- souhrnné hodnoty vybrané oblasti (v pixelech i v mm²),
- počet regionů (disjunktních objektů),
- tabulka objektů s parametry (např. Size (mm²), Distance (mm), Angle (°)),
- náhledové histogramy (včetně polárního náhledu pro úhlovou distribuci).



Důležité: Převod na mm a mm² je přímo závislý na nastaveném DPI (viz kapitola 4).

12) Export výsledků do CSV

V panelu s tabulkou je k dispozici tlačítko **Export...**

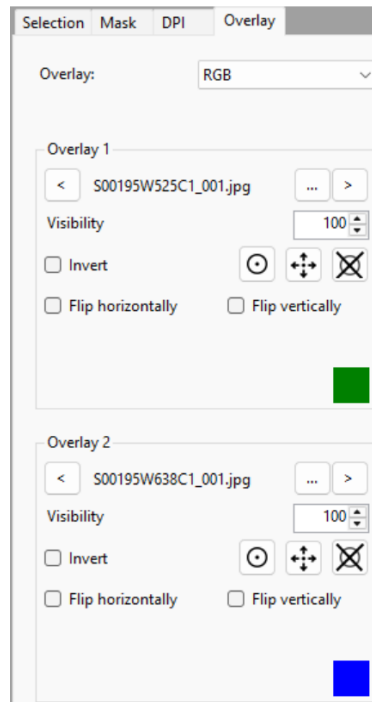
Export vytvoří CSV soubor obsahující kvantitativní parametry jednotlivých disjunktních objektů, určený pro následné zpracování (např. statistika, ML/AI, reporty). Doporučeno používat až po finální kontrole masky, DPI a referenčního bodu.

13) Režimy porovnávání obrazů (Overlay)

Záložka **Overlay** slouží k porovnávání snímků, zejména mezi analyzovaným snímkem a referencemi. V horní části je volba režimu Overlay a panel pro výběr referenčního souboru (včetně tlačítka „...“ a navigačních šipek).

Podporované režimy:

- **Side-by-side** – zobrazení vedle sebe (rychlé vizuální porovnání).
- **RGB** – mapování snímků do barevných kanálů (vhodné pro zvýraznění rozdílů).
- **Přes sebe (overlay)** – překryv s nastavením průhlednosti (detailní kontrola souladu struktur).



Praktický postup:

- 1) V záložce Overlay zvolte režim.
- 2) Vyberte referenční snímek pomocí tlačítka „...“.
- 3) Procházejte referenční snímky navigačními šipkami a porovnávejte změny.

Při **RGB** a **Overlay** režimu lze u referenčních snímků

- nastavit viditelnost,
- provést inverzi,
- použít horizontální nebo vertikální převrácení,
- změnit barvu nebo orientaci.

14) Uložení upraveného obrazu a kompozic

Upravený obraz (včetně výsledků úprav, segmentace nebo porovnávacích režimů – např. překryv více snímků / RGB kompozice) lze uložit do podporovaných obrazových formátů pomocí funkcí v menu File (typicky „Save/Save as“ dle konfigurace aplikace). Uložené výstupy jsou vhodné pro dokumentaci, prezentaci výsledků a archivaci.

15) Analýza pomocí externích Python skriptů

Pro spuštění experimentální analýzy vzdálenosti střelce zvolte v horním menu External → GSR Analysis. Pokud je aktuálně otevřený snímek ve správném vstupním formátu, aplikace automaticky spustí externí Python skript využívající AI model pro odhad vzdálenosti střelce.

Výsledek analýzy je po dokončení výpočtu zobrazen formou informačního dialogu, který obsahuje odhadovanou kategorii nebo interval vzdálenosti (např. far (50+ cm)). Analýza probíhá nad aktuálně zobrazeným obrazem bez nutnosti dalších uživatelských zásahů.

Tento AI modul má experimentální charakter a je určen především pro výzkumné a vývojové účely. Předpokládá se jeho další rozšiřování a úpravy funkcionalit, včetně aktualizace modelů, vstupních parametrů a způsobu prezentace výsledků.

16) Doporučení pro reprodukovatelnost

Nastavujte DPI vždy konzistentně (ideálně měřením v aplikaci).

U analýz s referenčním bodem udržujte jednotný způsob jeho umístění.

Export CSV provádějte až po finální kontrole masky a výběru (Selection style).

Při porovnávání používejte stejné režimy overlay pro stejné typy úloh (side-by-side pro screening, RGB/overlay pro detail).