

Metodika scelování po částech skenovaných předloh

Autorský tým:

Ing. Petr Žabička,

Ing. Michal Hradiš, Ph.D.,

Ing. Marek Šolony, Ph.D.,

Ing. Dávid Pukanec

Metodika vznikla v rámci projektu programu na podporu aplikovaného výzkumu a vývoje národní a kulturní identity (NAKI III, Ministerstvo kultury ČR) č. DH23P03OVV066 s názvem „Smart digilinka – strojové učení pro digitalizaci tištěného dědictví“

Oponenti:

Prof. Ing. Milan Konvit, Ph.D. (Komenského univerzita v Bratislavě),

Ing. Milan Talich, Ph.D. (Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický)

Moravská zemská knihovna v Brně
Vysoké učení technické v Brně
Brno, 2025

Obsah

1	ÚVOD A SHRUTÍ CÍLŮ METODIKY	3
2	DIGITALIZACE	4
2.1	PŘÍPRAVA DIGITALIZAČNÍHO PROCESU	5
2.2	SKENOVÁNÍ.....	6
2.2.1	Výběr skeneru, parametry skenování.....	6
2.2.2	Doporučené postupy při skenování.....	9
2.2.3	Praktické ukázky a typické chyby.....	9
2.2.4	Omezení systému spojování skenů	10
2.3	FOTOGRAFOVÁNÍ	11
2.3.1	Volba fotoaparátu	11
2.3.2	Nastavení fotoaparátu	11
2.3.3	Příprava dokumentu	13
2.3.4	Pořízení referenční fotografie	13
2.3.5	Pořizování fragmentů.....	15
2.3.6	Změření velikosti dokumentu	17
2.3.7	Omezení systému spojování fotografií.....	17
2.4	METADATA	18
3	SPOJOVÁNÍ SKENŮ VELKOFORMÁTOVÝCH DOKUMENTŮ.....	19
3.1	PŘEDZPRACOVÁNÍ DAT	19
3.2	HRUBÉ ZAROVNÁNÍ OBRÁZKŮ.....	19
3.3	ODHAD GEOMETRICKÉ TRANSFORMACE	20
3.4	KOMPOZICE A SPOJENÍ OBRAZU (BLENDING)	20
3.5	OPTICKÝ TOK.....	20
3.6	3D REKONSTRUKCE.....	21
3.7	DOSTUPNÝ SOFTWARE	22
4	MAPSTITCHER – SPOJOVÁNÍ SKENŮ	25
4.1	VYSVĚTLENÍ POUŽITÝCH POSTUPŮ.....	25
4.2	INSTALACE A SPUŠTĚNÍ.....	25
4.2.1	Instalace z příkazové řádky	26
4.2.2	Instalace s využitím Dockeru	27
4.3	NÁVOD K POUŽITÍ	28
4.3.1	Spuštění – Command Line Interface (CLI)	28
4.3.2	Struktura vstupních dat.....	29
4.3.3	Spuštění s použitím Dockeru.....	31
5	EXPOSEA – SPOJOVÁNÍ FOTOGRAFIÍ	34
5.1	VYSVĚTLENÍ POUŽITÝCH POSTUPŮ.....	34
5.2	INSTALACE A SPUŠTĚNÍ.....	35
5.2.1	Instalace z příkazové řádky	35
5.2.2	Instalace s využitím Dockeru	35
5.3	NÁVOD K POUŽITÍ	36
5.3.1	Spuštění.....	36
5.3.2	Struktura vstupních dat.....	36
5.3.3	Záznam v logu	38
5.3.4	Hardwarové nároky.....	38
6	ZÁVĚR.....	39
7	SEZNAM ZKRATEK A VYBRANÝCH POJMŮ	40
8	SEZNAM LITERATURY.....	42

1 Úvod a shrnutí cílů metodiky

Digitalizace velkoformátových map, plánů či grafických listů v českých paměťových institucích dlouho narážela na stejnou překážku: zatímco samotné snímání jednotlivých segmentů skenery či kamerou lze poměrně snadno zvládnout, jejich bezchybné spojení do jediného obrazu zůstávalo náročnou, často ruční a časově neúměrně dlouhou operací. Doposud bylo nutné spoléhat na drahý komerční software nebo na improvizovaná řešení, používající kombinaci různých placených nebo volně dostupných nástrojů. Problém uspokojivě neřešilo ani využití služeb komerčních firem, protože to jen přesouvalo řešení problému na externího dodavatele, který se potýkal se stejnými problémy a výzvami. Musel by tak pro scelení relativně malého množství map vynaložit hodně času a možná i programátorské práce, což ve většině případů činilo pro digitalizující instituce takovéto externí řešení nedosažitelné. Ani jeden přístup tak nevedl k uspokojivým výsledkům a jedním z příznaků tohoto stavu byla obtížná reprodukovatelnost pracovních postupů i tehdy, kdy se podařilo problém přijatelně vyřešit. V zahraničí se úloha snímání dokumentů velkých formátů řeší buď konstrukcí skenerů s co největší snímací plochou nebo využitím některé z existujících aplikací, zejména těch popsanych v kapitole 3.7.

Předkládaná metodika tyto potíže systematicky řeší a přináší první ucelený český návod, jak scelování segmentů převést na plně profesionální a standardizovaný proces. Je postavená na nově vyvinutých open-source aplikacích Exposea a MapStitcher, které vznikly v rámci projektu „Smart digilinka – strojové učení pro digitalizaci tištěného dědictví“ (NAKI III). Obě aplikace byly koncipovány přímo pro potřeby knihoven, archivů a muzeí: dokáží bez zdoluhavých ručních úprav spojit i velice rozsáhlé obrazové soubory, plynule navazují na běžné digitalizační workflow a jsou volně přístupné celé odborné komunitě. Metodika je sice zaměřena na velkoformátové dokumenty, dá se ale obdobně aplikovat i na další typy dokumentů a digitalizační postupy, při kterých snímaná plocha přesahuje záběr použitého snímacího zařízení.

Metodika podrobně popisuje všechny kroky, které pracovník musí zvládnout – od pořízení skenů, resp. snímků až po použití aplikací MapStitcher, resp. Exposea samotných. **Zaměřuje se především na operátory digitalizačních linek a kurátory sbírek, ale její přínos ocení i projektoví manažeři a správci digitálních repozitářů:** zefektivňuje práci, sjednocuje výstupy napříč institucemi a odstraňuje závislost na nákladných proprietárních nástrojích.

Tím, že metodika staví na zcela novém a otevřeném softwarovém řešení, vytváří pevnou oporu pro dlouhodobě udržitelnou praxi. Scelování, které dříve patřilo k nejproblematictějšími fázím digitalizace velkých předloh, se díky této metodice a v ní popsaným postupům stává rutinní a transparentní součástí digitálních pracovních postupů paměťových institucí.

2 Digitalizace

Digitalizace je po vyhotovení katalogizačních, resp. evidenčních záznamů dalším důležitým krokem procesu zpracování a zpřístupnění dokumentů v paměťových institucích. Během ní dochází k převodu analogových dokumentů do digitální podoby. Motivací k digitalizaci dokumentů velkého formátu je vedle snahy o zpřístupnění jejich informačního obsahu zejména snaha o ochranu originálních dokumentů, protože manipulace s nimi je náročnější než u jiných předloh a často se při požadavku na přístup k jednomu originálu manipuluje s mnoha dalšími, které jsou uskladněny společně například v jedné zásuvce mapníku.

Při digitalizaci velkoformátových předloh proto doporučujeme postupovat systematicky po jednotlivých společně uložených skupinách dokumentů, zejména pokud se jedná o dokumenty podobných formátů. Vzhledem k tomu, že v typické sbírce paměťové instituce tvoří velkoformátové dokumenty výraznou menšinu, přinese tento přístup mimo zmenšení rozsahu manipulace s fondem i možnost optimalizace všech pracovních procesů a zvýšení celkové rychlosti a kvality díky tomu, že pracovníci zapojení do procesu digitalizace budou mít celý proces zpracování zažitý podstatně lépe, než kdyby dělali s velkým časovým odstupem jen jednotliviny. I při rozhodnutí digitalizovat systematicky celou sbírku je vhodné zvážit, zda je nutná digitalizace všech dokumentů. Pokud se nejedná o unikáty, může být výhodnější koordinovat digitalizaci s dalšími institucemi, například prostřednictvím Registru digitalizace. U starších dokumentů nebo tam, kde není možné unikátnost jednoznačně určit, je ale snadno opodstatnitelné i rozhodnutí digitalizovat vše, protože to může být výhodnější nejen z odborného hlediska, ale i z hlediska ekonomiky nebo ochrany fondu.

Při plánování digitalizace je třeba zohlednit řadu požadavků a parametrů, které mají významný vliv na celkovou kvalitu výsledného výstupu. V případě velkoformátových předloh bude pravděpodobně největším limitem maximální velikost skenovacího pole skeneru. Vzhledem k pořizovacím cenám velkoformátových skenerů a jejich fyzické velikosti na straně jedné a složení sbírek na straně druhé jsou skenery skutečně velkých formátů v paměťových institucích spíše výjimkou. Na trhu tak sice existují i skenery formátu 2A0, ale v praxi se dá setkat spíše se skenery formátu A0, častěji A1 nebo A2. Cenově výhodnější alternativou jsou pak skenery průtahové (průchozí), používané běžně například pro technickou dokumentaci. U takových skenerů je limitem jen šířka dokumentu a délka je teoreticky neomezená, je u nich ale vyšší riziko poškození dokumentu. V řadě případů je proto pro instituci výhodnější zadat digitalizaci externě tomu, kdo je vhodným skenerem vybaven.

V případě dokumentů větších než snímací plocha skeneru je nezbytné zohlednit i jejich konstrukci: dovolí takový skener snímat jen část dokumentu? Nepoškodí se části přesahující snímací pole skeneru během snímání?

Zásadní je také rozhodnutí, zda skenovat i zadní stranu dokumentů, která často bývá prázdná. V dnešní době, kdy ceny úložišť nejsou nijak vysoké, lze snímání rubu dokumentů jen doporučit, je však nutné upozornit, že postup popisovaný v této metodice je zaměřen na digitalizaci dokumentů nesoucích informační obsah. Pokud je po částech skenována prázdná rubová strana dokumentu, nemusí software najít žádné vhodné zachytňné body, ze kterých by dokázal rekonstruovat její celkovou podobu.

Nesmíme také zapomínat, že součástí digitalizace není jen samotný převod dokumentu do digitální podoby a jeho úpravy, ale i doplnění metadat a zajištění dlouhodobě spolehlivého

uložení výsledných digitálních objektů. Ty je také potřeba co nejefektivněji zprostředkovat veřejnosti.

Digitalizace v knihovnách se řídí především Standardem Národní digitální knihovny a Pravidly popisu spravovanými Národní knihovnou ČR, které jsou umístěny na serveru standardy.ndk.cz. Pro digitalizaci kartografických a dalších velkoformátových dokumentů je nejdůležitější aktuální verze Definice metadatových formátů pro digitalizaci monografických dokumentů¹ a na něj navazující Pravidla pro popis monografií².

Proces digitalizace samozřejmě usnadňuje vhodný software. Ten zajistí tvorbu konzistentních metadat odpovídajících standardům, umožní sledování průchodu dokumentu digitalizační linkou a zajišťuje tak hladký průběh digitalizace. Národní knihovna ČR a Moravská zemská knihovna v Brně využívají pro tyto účely proprietární digitalizační linku vyvinutou v rámci projektu Vytvoření Národní digitální knihovny. Řada dalších knihoven pak využívá volně dostupný systém ProArc, který vyvíjí Knihovna Akademie věd a který také splňuje standardy a doporučení specifikované pro digitalizaci v knihovnách Národní knihovnou ČR. Sclování po částech skenovaných dokumentů je přitom speciálním krokem, který tyto aplikace samy nedokáží realizovat a postup popsáný v této metodice ukazuje řešení tohoto problému.

2.1 Příprava digitalizačního procesu

Velkoformátové dokumenty jsou součástí sbírek paměťových institucí obvykle buď v podobě různě poskládaného neroztříděného materiálu, rozptýleného v rámci fondu, nebo bývají vytrženy zvláště právě na základě specifického formátu, ale z téhož důvodu často bez jakékoli vnitřní logiky. Před zahájením digitalizace je nejprve potřeba stanovit priority závislé na možnostech a úkolech konkrétní instituce. Je velmi vhodné nejprve vytvořit spolehlivou elektronickou databázi všech dokumentů, používající jednoznačné identifikátory jednotlivých dokumentů. Pokud je to možné, doporučujeme označit každý samostatný dokument čárovým nebo QR kódem, který je uložen i v databázi, což velmi usnadní následný proces digitalizace. Tento kód by měl později tvořit i kořen názvu odpovídajících digitalizátů, čímž se nejlépe předejde chybám a ztrátám v průběhu procesu, kdy dokument prochází digitalizační linkou, zejména pokud tato linka není plně automatizovaná.

Při digitalizaci velkých formátů doporučujeme připravit si k digitalizaci dávky fyzicky obdobných dokumentů, které pak budou digitalizovány najednou. To umožní použít při digitalizaci shodné vybavení a nastavení parametrů pro celou dávku. Tímto způsobem je možné dosáhnout nejmenší chybovosti a největší efektivity, ať už jsou fyzické charakteristiky dokumentů jakékoli. Důležitou součástí přípravy k digitalizaci je také zamezení zbytečné duplicitní digitalizace. Té se v rámci v domácích paměťových institucí snaží předcházet Registr digitalizace, který k červenci 2025 obsahuje záznamy více než 41 000 již zdigitalizovaných grafických dokumentů, mezi nimiž je nejpravděpodobnější výskyt dokumentů velkého formátu.³ Přesto však je zatím jen malá pravděpodobnost že v něm budou nalezeny již zdigitalizované velkoformátové dokumenty právě z důvodu problémů, s jejichž řešením by

¹ FREMROVÁ, Květa et al. *Definice metadatových formátů pro digitalizaci monografických dokumentů (monografií, kartografických dokumentů, hudebnin)*. Verze 2.2 [online]. [cit 2025-07-04]. Dostupné z: https://standardy.ndk.cz/ndk/standardy-digitalizace/DMF_monografie_2.2_final_17_12_24.pdf

² FREMROVÁ, Květa et al. *Pravidla pro popis monografií*. Verze 2.3 [online], [cit. 2025-07-04]. Dostupné z: https://standardy.ndk.cz/ndk/standardy-digitalizace/ppp_mono_2.3_final_17_12_24.pdf

³ *Registr digitalizace: evidence dokumentů digitalizovaných v ČR* [online]. [cit 2025-07-07]. Dostupné z: <https://registrdigitalizace.cz>

měla pomoci tato metodika. Naopak je nutné zdůraznit, že zejména starší kartografické dokumenty mohou být považovány za unikátní, protože mohou obsahovat různé dodatečné informace, ať už dotištěné nebo rukopisné, nebo mohou být v různém fyzickém stavu z hlediska poškození nebo srážky papíru.

Registr digitalizace
evidence dokumentů digitalizovaných v ČR

Home Nápověda Info Kontakt Přihlásit English

Q nástěnná mapa Test duplicity DALŠÍ ZDROJE

Nalezeno: 11 položek

Použité filtry: dotaz: nástěnná mapa, Typ dokumentu: Mapa, Finanční program (2), Vlastník dokumentu (2)

Sloučeno podle: ČNB počet výsledků: 10 Seřazeno podle: relevance

Nástěnná mapa Podkarpatské Rusi
Podnázev: Nástěnná mapa Podkarpatskoje Rusi
Variantní název: Nástěnná mapa Podkarpatskoje Rusi
Hlavní autor: Šimek, J.
Místo vydání: V Praze
Nakladatel/vydavatel: nakladem Ústředního nakladatelství a knihupectví učitelstva československého
Rok(y) vydání: 1933
Podrobné bib. údaje

Vlastník	Počet svazků
✓ Univerzita Karlova - Mapová sbírka Přírodovědecké fakulty (ABD065)	1

Digitální dokument (1)
<https://kramerius.cuni.cz/uuid/uuid:a61d4782-58fe-11ec-b2df-fa163e4ea95f>

Seznam předloh (1)

Stav	ID exempláře	Vlastník	Rok per.	Část/roč.	Číslo	Financováno	Signatura	Čár. kód	Pozn.
■	212711	ABD065				NAKI			

Předlohy: 1 SKRÝT PŘEDLOHY

Záznam nástěnné mapy evidované v Registru digitalizace.

2.2 Skenování

2.2.1 Výběr skeneru, parametry skenování

Po výběru dokumentů přichází na řadu stanovení parametrů skenování. Především kvůli formátu dokumentu je předně třeba vybrat nejlépe odpovídající digitalizační zařízení. Pokud je to možné, doporučujeme vždy využít velkoformátové skenery, aby se předešlo pozdějšímu spojování dílčích skenů. Postup podle této metodiky by měl vždy být až poslední možností po vyčerpání jiných variant. Tuto metodiku je však v případě nezbytnosti možné aplikovat i na menší formáty, například v situaci, kdy je nutné skenovat dokument velikosti A2 na skeneru formátu A3 apod.

Zvolený skener by měl zachovávat barevnou i geometrickou věrnost předlohy a splňovat i další doporučení shrnutá v obecné rovině v metodickém pokynu Ministerstva kultury <https://mk.gov.cz/metodiky-pokyn-pro-digitalizaci-kulturniho-obsahu> (Ziskal, 2024) a detailně popsaná v metodikách Metamorfoze (Van Dormolen, 2025), FADGI (Rieger, 2023) nebo ISO 19264-1. S ohledem na typ dokumentu a účel digitalizace je nutné se rozhodnout, zda jít cestou střední, nebo nejvyšší kvality:

Kvalitativní stupeň	ISO 19264-1 (2021)	FADGI (2023)	Metamorfoze 2.0 (2024)	Typický účel
Nejvyšší	Level A	4-star	FULL	dlouhodobá archivace jedinečných originálů
Střední	Level B	3-star	LIGHT	běžné tisky, standardní rukopisné dokumenty

Tabulka 1: srovnání doporučení ISO 19264-1, FADGI a Metamorfoze 2.0

Rozhodnutí o kvalitě skenování, resp. parametrech skeneru bude však značně ovlivněno jednak dostupností skenerů a jednak jejich fyzickou konstrukcí. Například dokumenty velikosti mezi A0 a 2A0 by mohly teoreticky být skenovány na skeneru formátu 2A0, které vyrábí nebo vyrábělo několik různých výrobců. Autoři této metodiky však nemají informace o žádném takovém skeneru instalovaném v ČR. Většina institucí tak bude limitována nutností využít skenery formátu A0, kterými disponuje například Národní knihovna ČR nebo Moravská zemská knihovna v Brně, vlastní je však i některé další firmy a instituce.

Nevýhodou průtahových skenerů je riziko, že při kontaktním skenování může dojít k poškození vzácných originálů. Dokumenty lze alespoň zčásti chránit využitím průhledných ochranných fólií, které však snižují kvalitu skenování. Tento způsob skenování je omezen na volné listy, protože průtahové skenery nejsou běžně schopné zpracovat dokumenty s tloušťkou přes 15 mm, např. historické atlasy nebo mapy podlepené dřevem či tlustým kartonem. Průtahový skener přesto může být vhodným nástrojem pro skenování z toho důvodu, že je rychlý a má relativně nízké pořizovací náklady. Jeho typickým omezením bývá šířka – protože dokument prochází skrze tělo skeneru, není možné skenovat dokumenty s kratší stranou širší, než je průchozí šířka skeneru, zato délka dokumentu může být teoreticky neomezená (ve skutečnosti vždy existuje nějaký technický limit, ale může být značně vysoký).

Jako ideální se jeví velkoformátové shora snímající stolní skenery, nejlépe takové, které jsou vybavené lineárním snímačem a skleněnou deskou s regulovatelnou mírou přitlaku, schopné skenovat předlohy v celku alespoň do formátu A0. Lineární snímač pohybující se těsně nad mapou navíc minimalizuje riziko zkreslení digitální kopie mapy. Pro velkoformátové předlohy je pak významná konstrukce skeneru: Je možné, aby během skenování přesahoval dokument skenovací plochu skeneru? Je tento přesah v nějakém směru omezen jen na jednu stranu, nebo může dokument přesahovat bez poškození v obou směrech? Použitý skener by měl být v každém případě kalibrován a seřízený tak, aby výsledné skeny byly co nejkvalitnější a vzájemně konzistentní co do kvality a parametrů.

Jak je vidět, i běžné velkoformátové skenery mohou mít pro skenování nadrozměrných dokumentů své limity. Při skenování opravdu velkých ploch je proto někdy nutné přistoupit ke speciálním technikám, kdy je dokument snímán například ve svislé poloze speciální kamerou, která se před ním pohybuje a snímá jej v definovaném pravoúhlém rastru. Úspěšně byly testovány i techniky snímání velkých map upevněných na válcovou stěnu a snímání z jednoho místa jen pootáčením kamery a změnou její výšky.

Pokud špatný stav nebo extrémní velikost dokumentu neumožňuje mapu naskenovat běžným skenerem ani po částech, lze digitalizaci provést i s využitím digitálního fotoaparátu, resp. digitální stěny umístěné na stativu. Snímané dokumenty je však třeba připevnit na zakřivenou stěnu nebo rám a fotoaparát umístit na stativ tak, aby se při snímání zachovala konstantní vzdálenost od dokumentu a nedocházelo k nežádoucímu zkreslení. Tento postup při využití motorizovaného stativu GigaPan a specializovaného softwaru pro sešívání dílčích snímků GigaPan Stitch⁴ byl v letech 2013 až 2016 úspěšně použit v Archives and Records Council Wales v rámci projektu Cynefin⁵. Alternativně je možné snímací zařízení umístit na konstrukci, která umožňuje jeho pohyb ve dvou osách a pohybuje se v konstantní vzdálenosti od snímání předlohy. Tímto způsobem bývají snímány i nástěnné fresky nebo rozměrné obrazy v galeriích. Pokud ani takové řešení není možné, lze snímky dokumentu připravit postupem popsáním v následující kapitole.

Všechny výše uvedené metody snímání dokumentu je možné využít pro pořízení snímků částí dokumentů, které budou později sceleny podle postupu popsaného touto metodikou. Další možností je pak fotogrammetrická metoda, aplikovatelná na velké dokumenty, které nelze snadno vyrovnat do roviny, ta však není předmětem této metodiky. Jak je uvedeno dále, její nevýhodou je mimo jiné vznik děr v místech bez textury. Tento postup zmiňujeme jen pro úplnost, není předmětem této metodiky.

Účelem našeho metodického postupu není doporučení konkrétních parametrů skenování, jako je například rozlišení nebo hloubka barev, k tomu slouží výše zmíněné obecnější metodiky⁶. Základním požadavkem na skenování z hlediska pozdějšího scelování je dodržení shodných parametrů skenování (rozlišení, barevná hloubka, barvový profil, osvětlení apod.), snaha o udržení konzistentní orientace skenovaného dokumentu vůči skeneru při skenování jednotlivých částí dokumentu a zachování dostatečného překryvu jednotlivých částí. Pro uložení jednotlivých snímků před scelením doporučujeme použít některý z bezztrátových formátů, například TIFF bez komprese, případně s LZW kompresí, který podporuje většina běžných skenerů.

Po vytvoření digitálního obrazu je také třeba provést jeho ořez. Pokud skenujeme dokument po částech, je dobré při skenování krajních částí dokumentu ponechat za okrajem dokumentu ve výstupním skenu každé části jen velmi malý prázdný okraj. Je to z toho důvodu, aby nedocházelo k negativnímu ovlivnění výsledku scelování těmi částmi skenu, na kterých se scelovaný dokument nenachází. Případné chybějící části okrajů budou ve výsledném neořezaném obrazu doplněny černou barvou.

⁴ *GigaPan Stitch* [online], [cit. 2020-09-01]. Dostupné z: <http://www.gigapan.com/cms/support/download-gigapan-stitch>

⁵ *Cynefin project – National Library of Wales – repairing and digitising the country's tithe maps* [online], [cit. 2020-09-01]. Dostupné z: <https://advisor.museumsandheritage.com/features/cynefin-project-national-library-wales-repairing-digitising-countrys-tithe-maps/>

⁶ V tomto případě zejména Metodika pro tvorbu balíčků SIP se zaměřením na digitalizáty tištěných dokumentů verze 2.0 (CUBR, L.; KOČIŠOVÁ, P.; KOPSKÝ, V.; PAVČÍK, F. a kol. *Metodika pro tvorbu balíčků SIP se zaměřením na digitalizáty tištěných dokumentů verze 2.0*. 1. vydání. Praha: Národní knihovna, 2023. Dostupné online na <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-538239>)

2.2.2 Doporučené postupy při skenování

Pro dosažení kvalitního spojení a zajištění spolehlivého výsledku doporučujeme následující pravidla při pořizování skenů:

- **Skenování ve vzoru – pásy nebo mřížka:** Velké dokumenty je vhodné skenovat systematicky, například jako vodorovné nebo svislé pásy, případně v pravidelné mřížce. Důležité je zachovat konzistentní vzdálenosti mezi jednotlivými snímky a držet se jednotného směru. U vysokých dokumentů (např. plakátů) je vhodnější vertikální pás, u širších dokumentů je výhodnější mřížkové uspořádání.
- **Překrytí alespoň 15 %:** Sousední skeny by se měly překrývat minimálně o 15 %, ideálně okolo 20 %. Tím se zajistí, že algoritmus bude mít dostatek společných prvků pro úspěšné spojení, a předejde se selhání v oblastech s nízkým detailem.
- **Čisté pozadí u poloprůhledných materiálů:** U tenkých nebo průsvitných dokumentů je nutné umístit za list rovnoměrné, bílé pozadí. Zabrání se tomu, aby se do obrazu dostaly prvky z pozadí nebo spodní strany papíru, které by mohly algoritmus zmást.

Dodržování těchto zásad výrazně zvyšuje šanci na kvalitní, bezchybný výstup bez nutnosti ručního zásahu.

2.2.3 Praktické ukázky a typické chyby

V praxi se často setkáváme s následujícími problematickými situacemi:

- **Nedostatečné překrytí:** např. překryv menší než 10 % znemožňuje spolehlivé nalezení odpovídajících oblastí.



Příklad nedostatečného překrytí

- **Nekonzistentní rozestupy:** nepravidelné umístění snímků znesnadňuje prostorovou rekonstrukci výsledného obrazu.



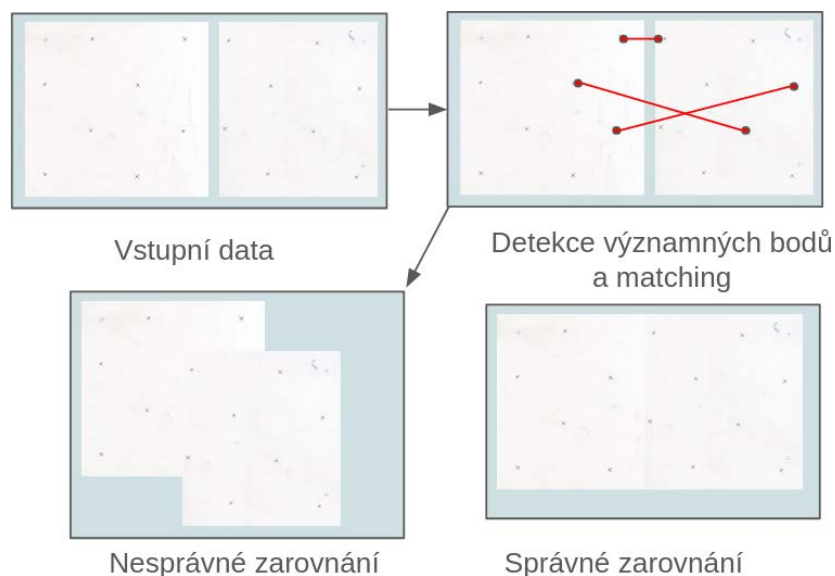
Příklad nekonzistentních překryvů

- Průsvitky skenované bez bílého podkladu: pozadí stolu nebo jiné objekty mohou „prosvítat“ do obrazu a způsobit chyby při zarovnání.

2.2.4 Omezení systému spojování skenů

I když systém pro spojování skenů funguje dobře v mnoha praktických scénářích, existují určitá omezení, která je třeba brát v úvahu:

- **Planární data:** Algoritmus předpokládá, že všechny skeny pocházejí z rovinných (plochých) dokumentů. Jakékoliv zakřivení, například blízko hřbetu knihy, může způsobit chyby v zarovnání, protože používané transformace (např. afinní nebo homografické) fungují spolehlivě pouze na rovných plochách.
- **Dostatečné překrytí:** Porovnání snímků je závislé na překrytí. Pokud překryv mezi dlaždicemi není dostatečný, systém nemusí být schopen najít shodné oblasti, což vede k selhání zarovnání.
- **Nízká textura nebo opakující se vzory:** Algoritmy pro hledání shod nebo algoritmy pro vyhlazení překryvů mají omezenou účinnost v oblastech bez výrazné struktury, nebo naopak v oblastech s pravidelnými opakujícími se vzory (např. mřížky). Výsledkem může být tzv. *drift* – posunutí zarovnání, které je v obraze viditelně rušivé.



Při nevýrazné nebo opakující se textuře může vzniknout nejednoznačnost při hledání shodných částí obrázků – tzv. drift.

- **Problémy s poloprůhlednými materiály:** Při skenování tenkých nebo poloprůhledných dokumentů (např. pauzovací papír) mohou být na výsledném obrazu slabě viditelné prvky z podkladu. To může algoritmus zmást a způsobit nesprávné zarovnání na základě informací, které tam ve skutečnosti nemají být. Pro eliminaci těchto problémů je doporučeno při skenování použít rovnoměrné bílé pozadí bez textury.

2.3 Fotografování

2.3.1 Volba fotoaparátu

V případě, že není k dispozici velkoformátový skener, lze využít fotografickou metodu. Ta spočívá v pořízení jednoho snímku celého dokumentu (referenční snímek) a dále řady detailních fotografií jednotlivých částí dokumentu (fragmentů). Pro správnou rekonstrukci výsledného snímku ve vysokém rozlišení je nezbytné pořídit tyto snímky, změřit délky stran dokumentu a vyznačit jeho rohy podle níže uvedených doporučení.

K pořízení snímků lze použít běžný fotoaparát. Pro dosažení vysokého rozlišení a maximální kvality obrazu je vhodné použít fotoaparát s full-frame senzorem, který nabízí lepší dynamický rozsah a nižší šum při vyšších ISO hodnotách. Jako alternativu lze použít i fotoaparáty se senzorem APS-C. U obou typů senzorů by mělo platit, že disponují rozlišením minimálně 20 megapixelů.

Pro kvalitní digitalizaci historických dokumentů pomocí fotoaparátů s full-frame snímačem hraje výběr objektivu zásadní roli z hlediska zachování detailů. Výběrem správného objektivu chceme minimalizovat zkreslení a zajištění ostrosti na celé ploše obrazu. Pro full-frame fotoaparát doporučujeme přímočaré *prime* nebo *makro* objektivy s ohniskovou vzdáleností v rozsahu **35–60 mm**. Tento rozsah poskytuje přirozenou perspektivu a je vhodný pro fotografování plochých dokumentů ze střední vzdálenosti. Makro objektivy jsou zvláště doporučovány díky svému designu s rovinným zaostřením, který zajišťuje rovnoměrnou ostrost od středu až po okraje snímku. Je třeba se vyhnout širokoúhlým objektivům s ohniskovou vzdáleností menší než 28 mm, protože obvykle způsobují zkreslení a měkkost okrajů, což je nežádoucí při reprodukci dokumentů.

Pro fotoaparáty s **APS-C senzorem** je situace odlišná. APS-C (Advanced Photo System type-C) je typ snímače, který je menší než full-frame. Menší velikost senzoru znamená, že zachycuje pouze středovou část obrazu promítaného objektivem. Tento jev se označuje jako **crop faktor** (obvykle 1,5× nebo 1,6× podle výrobce). Výsledkem je „přiblížení“ obrazu, protože efektivní úhel záběru je užší. Prakticky to znamená, že objektiv s ohniskovou vzdáleností 35 mm na APS-C senzoru poskytne zorný úhel odpovídající přibližně 50 mm na Full Frame.

Z tohoto důvodu je u APS-C fotoaparátů nezbytné zohlednit nejen skutečnou ohniskovou vzdálenost objektivu, ale také jeho **ekvivalentní ohnisko na full-frame**, což je běžně uváděný parametr. Při výběru objektivu je proto třeba věnovat zvýšenou pozornost tomu, aby výsledná perspektiva a rozsah záběru odpovídaly požadavkům na fotografování dokumentů.

Při sestavování doporučení byly zohledněny specifické podmínky fotografování mapy o rozměrech 2 × 2 metry ze vzdálenosti 2 metrů.

2.3.2 Nastavení fotoaparátu

Fotoaparát musí mít **konzistentní nastavení po dobu pořízování všech snímků** jednoho dokumentu. Z tohoto důvodu doporučujeme deaktivovat následující automatická nastavení a nastavit je ručně:

- **Expozice** – Použijte clonu v rozmezí **f/8 až f/11**, které obvykle poskytuje nejlepší kompromis mezi ostrostí a hloubkou ostrosti. Cílem je dosáhnout co nejrovnoměrnějšího zaostření v celé ploše snímku, včetně rohů. Nastavte co nejnižší hodnotu **ISO**, ideálně **ISO 100 až 500**, abyste minimalizovali obrazový šum a zachovali maximální kvalitu snímku. Vyhněte se velmi otevřeným clonám (např. **f/2.8**), které mohou způsobit neostrost mimo střed obrazu, a také extrémně zavřeným hodnotám (např. **f/16–f/22**), kde se začíná výrazně projevovat difrakce vedoucí k poklesu ostrosti.
- **Expoziční čas** – Přizpůsobte intenzitě osvětlení tak, aby výsledná expozice byla správná, bez přepalů nebo podexponovaných oblastí. Při použití stativu není problém prodloužit čas expozice pro dosažení ideálních výsledků.
- **Vyvážení bílé (White Balance)** – Zvolte pevné nastavení vyvážení bílé podle použitého osvětlení (např. „denní světlo“, „žárovka“) pro zajištění barevné konzistence mezi snímky. Doporučujeme použití tabulky Calibrite Color Checker (<https://calibrite.com/us/product/colorchecker-passport-photo-2/>), umožňující vytvoření barvového profilu raw souboru a vyvážení bílé.
- **HDR** – Vypněte funkci **HDR**, protože může způsobit rozdíly v jasu a kontrastu mezi jednotlivými snímky.
- **Osvětlení** – Dokument musí být **rovnoměrně osvětlený. Nepoužívejte vestavěný blesk.** Vyhněte se stínům, odleskům a lokálním přepalům. Doporučuje se použití **difuzního osvětlení**. Pozor na blikání (banding) u některých LED světel – vždy před snímáním otestujte světlo a případně použijte jiný zdroj nebo nastavte expozici tak, aby se blikání neprojevovalo. Světelné zdroje používané při digitalizaci kulturního dědictví musí mít vyvážené spektrální rozložení. Nevhodné jsou ty, které vykazují výrazné nedostatky v podání barev. Kvalitu světla vyjadřuje index podání barev (CRI); pro tyto účely by měl být **minimálně 90**,⁷ ideálně vyšší. Rovnoměrného osvětlení předlohy lze dosáhnout za předpokladu, že plocha světelného zdroje je větší než předloha. U rozměrných předloh se tohoto stavu těžko dosáhne přímým osvětlením. Vhodné řešení je použít místnost, ve které fotografujeme, jako světelný stan. Nejlépe zábleskové zařízení směřujeme od objektu do stěn tak, aby v kontextu daného prostoru došlo k rozptýlu světla homogenně a předloha tak byla nasvícena v celé ploše rovnoměrně. V případě stálého osvětlení LED budeme bohužel čelit malému výkonu zdroje, ale i tak lze dosáhnout alespoň zkrácení expoziční doby. Místnost by měla být bíle vymalovaná (pokud možno čistou bílou bez projasňovačů, tedy ne Arctic bílé varianty) a bez akcentů na stěnách (obrazy, objekty atd.). Umělý světelný zdroj by měl být dominantní, místnost ideálně zatemněna. Silně difuzní světlo značně změkčuje podání dokumentu, je vhodné ho na základě subjektivního posouzení, případně za využití kalibrační tabulky (viz výše) korigovat směrem k vyššímu kontrastu/prokreslení obrazu v rámci postprodukce.
- **Stativ** – Pokud je možnost použití stativu bez toho, aby vrhal stín na dokument, doporučujeme jej použít, protože to vede ke konzistentnějším fotografiím. V takovém případě doporučujeme používat remote shooting (ovládání přes telefon nebo počítač, pokud je to možné) nebo alespoň samospoušť, aby nedocházelo ke chvění přístroje

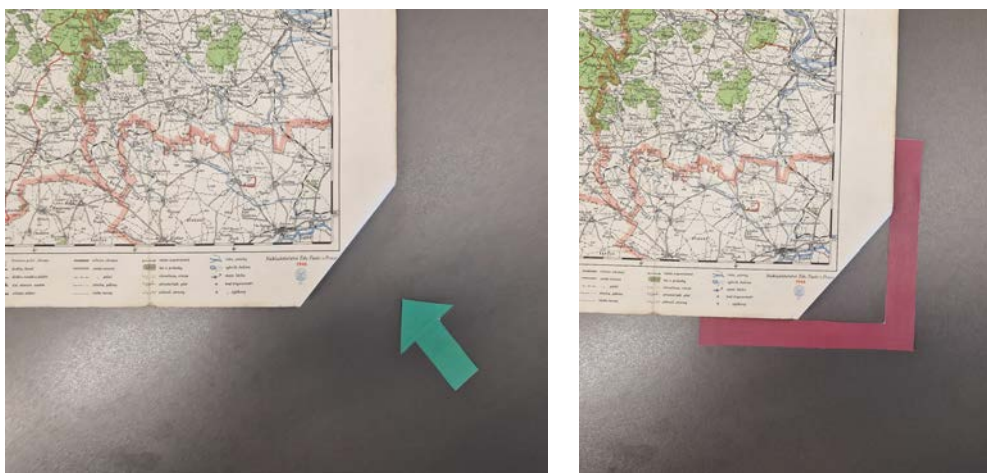
⁷https://www.digitizationguidelines.gov/guidelines/FADGITechnicalGuidelinesforDigitizingCulturalHeritageMaterials_ThirdEdition_05092023.pdf

způsobenému dotekem. V případě klasické zrcadlovky doporučujeme nastavit předsklopení zrcátka nebo fotografovat z tzv. live mode, kdy je zrcátko již sklopené a neovlivní svým pohybem vibrace během expozice. Vyšší rozlišení senzoru s sebou nese vyšší nároky na přesnost a omezení chvění předlohy či vlastního přístroje.

- **Podlaha** by měla být pevná (pozor na parkety nebo jiné pružné podklady, které opět mohou způsobit pohybovou neostrost. Také práce těžší mechanizace v okolí mohou způsobit viditelnou neostrost – nutno zkontrolovat výsledky ihned po nasnímání.

2.3.3 Příprava dokumentu

- Dokument položte na **rovný povrch** (např. stůl nebo podlahu) a podložte jej **jednobarevným, čistým pozadím**. Pokud je dokument tištěn na průsvitném papíře, je obzvláště důležité, aby pozadí nebylo rušivé.
- V případě, že je dokument **deformovaný** nebo má **chybějící rohy**, je nutné původní polohu rohů vyznačit vhodným způsobem, nejlépe přilepenou značkou, aby nedošlo k nechtěnému posunu značky. Podle značky musí být jednoznačně možné určit, který pixel představuje roh dokumentu (menší odchylky jsou v pořádku). Označení musí být provedeno tak, aby nezasahovalo do obrazové nebo textové plochy dokumentu a nijak nenarušovalo jeho obsah. V opačném případě by tato označení mohla být viditelná ve výsledném složeném obrazu. Označení slouží k detekci pixelových souřadnic rohů dokumentu, který musí být definovaný jako **pravoúhlá** obdélníková oblast.



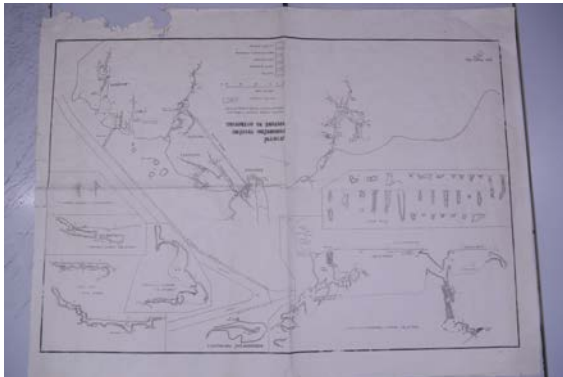
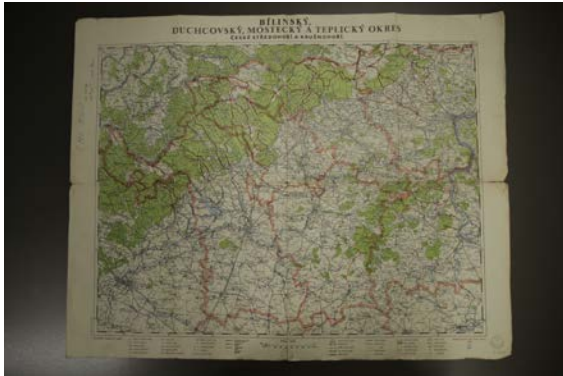
- Pro přehled o tom, které části dokumentu již byly nasnímány, je vhodné mimo oblast obsahové plochy vytvořit referenční mřížku. Ta usnadňuje orientaci při pořizování dílčích snímků a zároveň pomáhá minimalizovat riziko vynechání některé části dokumentu.

2.3.4 Pořízení referenční fotografie

Referenční fotografie slouží jako základ pro sestavení finálního digitalizovaného dokumentu. Je zdrojem informace o barevnosti výsledného dokumentu, proto je třeba u jejího pořizování dávat velký důraz na zachování co největší barevné věrnosti. Z tohoto důvodu je nutné, kromě výše uvedených technických požadavků, dodržet i následující postupy:

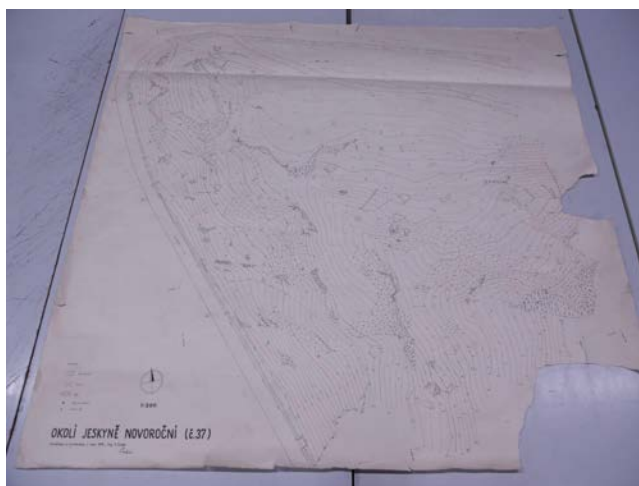
- **Dokument by měl být co nejvíce vyrovnán**, pokud to jeho fyzický stav (například poškození nebo deformace) umožňuje. Nerovnosti mohou negativně ovlivnit výslednou rekonstrukci.
- **Fotografie by měla být pořízena co nejvíce kolmo k rovině dokumentu**. Obrazový snímač fotoaparátu musí být rovnoběžný s povrchem dokumentu a optická osa objektivu by měla směřovat kolmo na jeho střed.

Příklady vhodných referenčních snímků:



Referenční obrázky obsahují celý dokument a snímek je pořízen paralelně ke kuželu vidění. Osvětlení je rovnoměrné a dokumenty jsou převážně planární.

Příklad nevhodného referenčního snímku:



Referenční snímek byl pořízen pod příliš velkým úhlem a chybějící roh není viditelně označen (jeho pozice je v tomto případě dokonce za hranicí okraje referenčního snímku).

2.3.5 Pořizování fragmentů

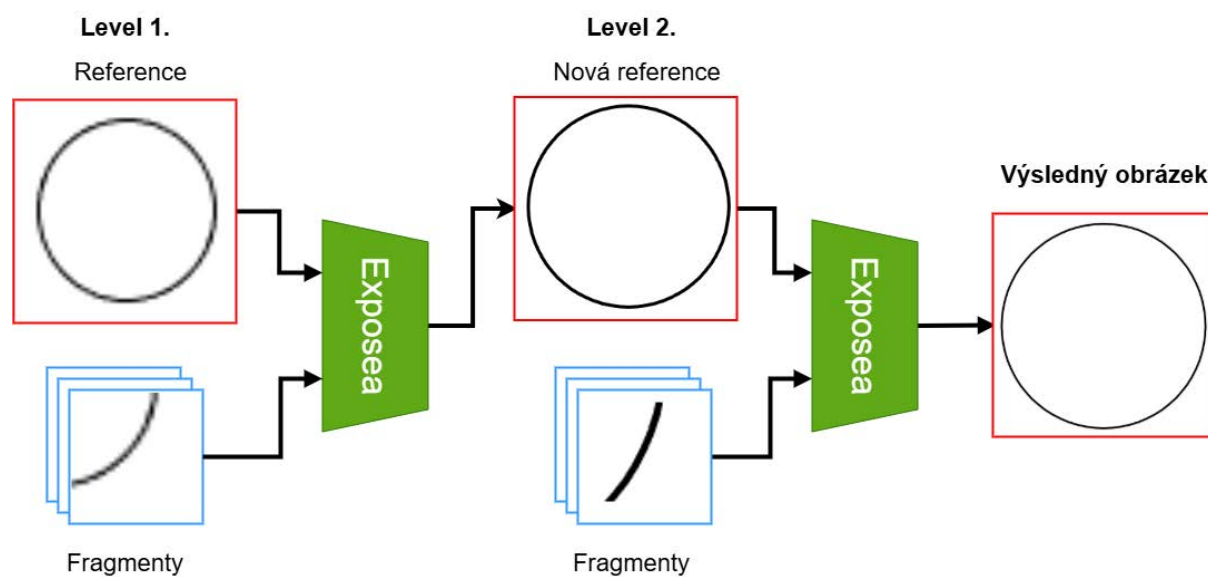
Obsah výsledného digitalizovaného obrazu se skládá z jednotlivých fragmentů zachycujících větší detaily dokumentu. Při pořizování těchto fragmentárních snímků doporučujeme dodržet následující zásady:

- **Fotografie by měly být pořízeny co nejvíce kolmo k rovině dokumentu.** Rovina snímáče by měla být rovnoběžná s povrchem dokumentu.
- Sousední fragmenty by se měly vzájemně překrývat. Doporučený překryv je **alespoň 20 %**, ideálně více. Program funguje i při menších překryvech, ale může dojít k horším spojům nebo přechodům mezi fragmenty.
- **Fragmenty by měly být rotačně zarovnané** s referenčním snímkem, tedy jejich orientace by měla co nejvíce odpovídat globálnímu pohledu na dokument. Použití upínacího zařízení nebo stativu může pomoci, ale snímky pořízené z ruky bez stativu jsou dostačující.
- Některé dokumenty mohou obsahovat **oblasti s nízkou texturou** nebo **jednotlivě barevné plochy**, které jsou problematické pro digitální zpracování. Pokud fragment zachycuje takovou oblast, je vhodné, aby současně obsahoval i část s výraznou texturou (například text, kresbu nebo jiný detail). Toho lze dosáhnout například tím, že **fragment zasahuje zároveň do plochy s texturou i bez ní.**

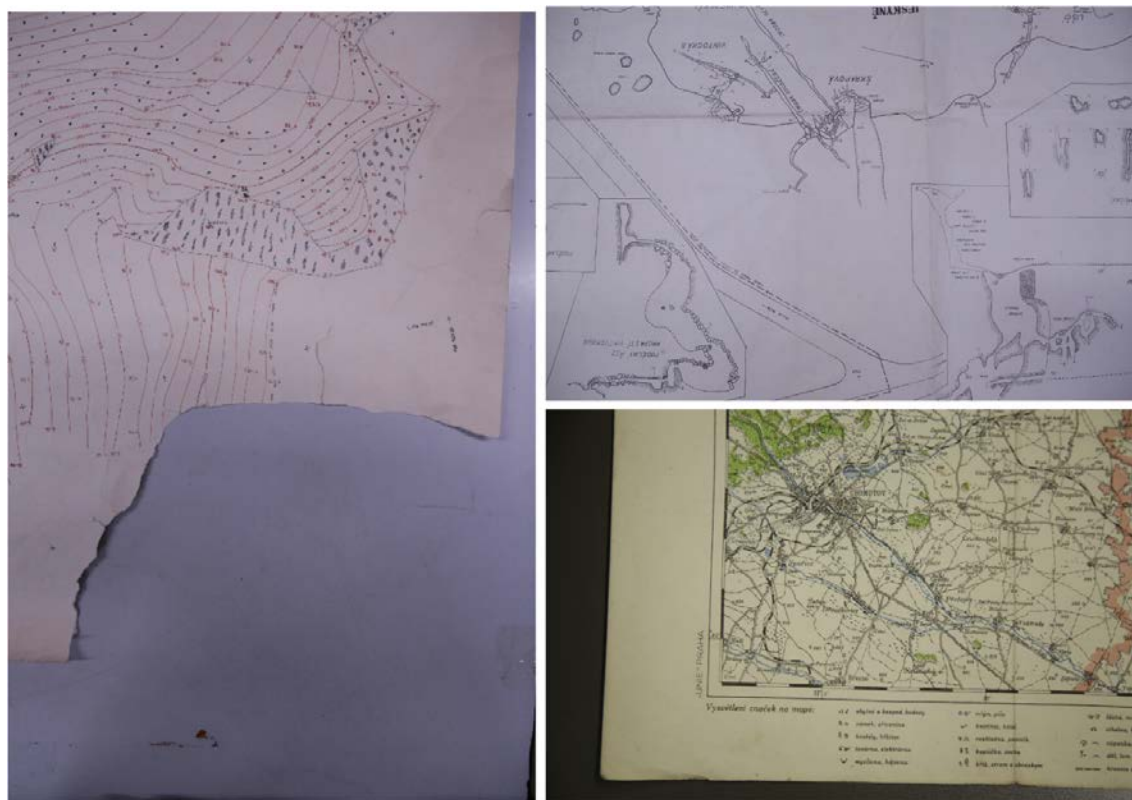
Pokud by se výsledný obraz dokumentu měl skládat z velkého množství malých fragmentů a poměr rozlišení mezi referenčním snímkem a fragmentem by přesáhl hodnotu 1:8, může být složení obrazu pomocí Exposea obtížné.

Řešením je pořizovat fragmenty s víceúrovňovým detailem, tedy „**kaskádově**“. Nejprve se vyfotografují fragmenty s menším detailem, ze kterých se složí nový referenční obrázek s vyšším rozlišením. Ten se pak použije jako podklad pro další úroveň zpracování, do které vstoupí fragmenty vyfotografované s ještě větším detailem (viz diagram).

Pro takový postup je tedy nutné připravit fragmenty v několika úrovních detailu (změnou vzdálenosti od dokumentu). Nedoporučujeme ale používat více než **3 úrovně**.

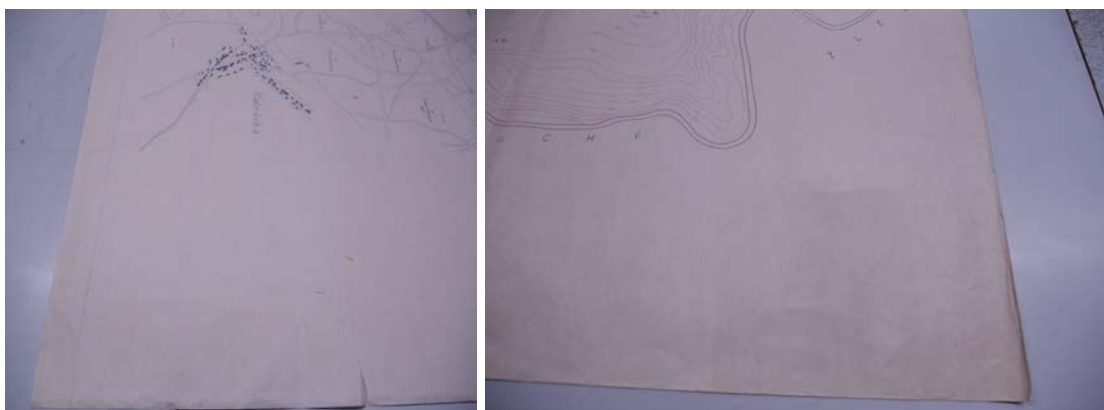


Příklady vhodných fragmentů:



Fragmenty obsahují část dokumentu s výraznými rysy a bez velkých plochých oblastí.

Příklady nevhodných fragmentů:



Fragmenty obsahují velké plochy prázdného papíru, které je obtížné porovnat s referencí. Navíc jsou snímky pořízeny pod velkým úhlem.

2.3.6 Změření velikosti dokumentu

Kromě samotných snímků je nutné provést také **měření délek stran dokumentu**, aby bylo možné při rekonstrukci zachovat správný poměr stran výsledného obrazu a vypočítat rozlišení odpovídající žádanému DPI. V případě, že je dokument deformovaný nebo má chybějící rohy, je třeba změřit vzdálenosti mezi vyznačenými referenčními rohy, tedy místy, která jsou na referenčním snímku označena jako rohy dokumentu.

2.3.7 Omezení systému spojování fotografií

Ačkoli Exposea dokáže spojovat fotografie s různými charakteristikami, existují určitá omezení, která je třeba dodržovat:

- **Plánární data:** Algoritmus předpokládá, že všechny skeny pocházejí z téměř plochých dokumentů. Pokud se na dokumentu nacházejí nerovnosti viditelné v referenčním snímku, tyto nerovnosti se přenesou i do výsledného obrazu.
- **Nízká textura nebo opakující se vzory:** Algoritmy pro hledání shod nebo vyhlazování překryvů mají omezenou účinnost v oblastech bez výrazné struktury, případně v oblastech s pravidelnými opakujícími se vzory (např. mřížky). Výsledkem může být tzv. *drift* – posunutí zarovnání, které je v obraze viditelně rušivé.
- **Problémy s poloprůhlednými materiály:** Při fotografování tenkých nebo poloprůhledných dokumentů (např. pauzovací papír) mohou být na výsledném obrazu slabě viditelné prvky z podkladu. Tyto prvky mohou zmást algoritmus při hledání shodných oblastí a zároveň se mohou přenést do výsledného obrazu, pokud se vyskytují ve fragmentech.
- **Rozdíly v rotaci fragmentů a referenčního snímku:** Současná metoda hledání shodných klíčových bodů si jen do určité míry dokáže poradit s rotací mezi fragmentem a referenčním snímkem. Proto musí být fragmenty přibližně rotačně zarovnané.

2.4 Metadata

Naskenované dokumenty je v průběhu digitalizačního procesu nezbytné opatřit metadatovým popisem. Obecně se požadavky na metadata řídí pravidly a požadavky digitalizující instituce, nicméně v prostředí českých knihoven se používá Standard NDK, spravovaný Národní knihovnou České republiky. Standard NDK je pro vytváření metadat také povinný pro projekty financované z programu VISK 7. V případě kartografických dokumentů se jedná o dokument *Definice metadatových formátů pro monografie* (v době vytváření této metodiky je aktuální verze 2.2), který pro tyto dokumenty obsahuje samostatnou kapitolu. Pro usnadnění tedy informace níže vycházejí z tohoto předpisu.

Metadatový popis se dělí na popisnou (deskriptivní) a technickou část. Popisná část vychází z katalogizačních pravidel a Minimálního záznamu pro RDA/MARC21 pro textové monografické zdroje. Předpokládá se, že výchozím zdrojem k popisným metadatům je katalogizační záznam digitalizovaného dokumentu. Popisnými formáty jsou mezinárodně užívané METS, MODS a Dublin Core. Pro uložení technických parametrů slouží formát MIX, administrativních PREMIS.

Vzhledem k tomu, že předmětem této metodiky je scelování kartografického dokumentu skenovaného po částech, je nutné tuto specifickou informaci do metadat také zaznamenat, stejně jako to, jakým způsobem došlo k sloučení jednotlivých částí. Informace o zpracování budou součástí technických metadat MIX. Informace by měla také být dostupná pro uživatele digitální knihovny, proto bude zaznamenána do popisných metadat v poznámce pod kontejnerovým elementem `<mods:physicalDescription>`.

Původní jednotlivé snímky, ze kterých bude výsledný dokument zkompletován, budou v rámci SIP balíčku uloženy ve složce OriginalData. V případě, že bude SIP balíček vytvářen podle Standardu NDK, bude kromě této složky obsahovat také složku mastercopy pro archivní verzi dokumentu, usercopy pro uživatelskou kopii v komprimovaném formátu, alto a txt pro soubory alto a ocr, amdsec pro administrativní a technická metadata a také soubory mets pro deskriptivní (popisná) metadata, info.xml pro obsah balíčku a nakonec soubor md5 s kontrolními součty. Konkrétní požadavky a předpis jsou součástí výše zmíněného dokumentu *Definice metadatových formátů*⁸.

⁸ FREMROVÁ, Květa. *Definice metadatových formátů pro digitalizaci textových dokumentů*. Dokument verze 2.2. Praha: Národní knihovna České Republiky, 2024. Případné novější verze dokumentu lze ověřit na webu <https://standards.ndk.cz/ndk/standards-digitalizace/metadata>.

3 Spojování skenů velkoformátových dokumentů

Proces spojování více snímků do jednoho souvislého obrazu probíhá typicky ve více krocích. Ať už se jedná o tvorbu panoramat, spojování skenů velkoformátových dokumentů, nebo rekonstrukci větších scén z dílčích snímků, základní postup zůstává podobný. Níže jsou popsány hlavní fáze, které tvoří kostru většiny moderních stitchovacích systémů.

3.1 Předzpracování dat

V první fázi jsou vstupní obrázky upraveny tak, aby byly vhodné pro efektivní zpracování. U obrazů s velmi vysokým rozlišením (např. 20 000 x 20 000 px nebo více) je práce s plnými daty výpočetně náročná a v mnoha případech zbytečná. Proto se běžně používá podvzorkování (tzv. downsampling), kdy jsou snímky dočasně zmenšeny pro účely detekce shod a geometrické analýzy.

Dále se může provádět odstranění okrajů, kontrastní úpravy, případně konverze do vhodného barvového prostoru. Cílem této fáze je připravit data tak, aby v dalších krocích bylo možné co nejefektivněji a nejpresněji určit, jak k sobě jednotlivé snímky patří.

3.2 Hrubé zarovnání obrázků

Druhou fází je automatické vyhledání odpovídajících oblastí mezi snímky, tedy míst, kde se jednotlivé obrazy překrývají. Tento krok je klíčový pro zjištění vzájemné polohy snímků v prostoru. Používají se různé algoritmy pro detekci a porovnání rysů (feature matching). Tyto algoritmy umožňují najít v každém obrázku charakteristické body a poté určit, které z nich odpovídají týmž bodům v jiném snímku. K nejznámějším a nejpoužívanějším metodám patří SIFT [Lowe, 2004], SURF [Bay et al., 2008] a ORB [Rubblee et al., 2011].

V prvním kroku se v každém obrázku detekují tzv. klíčové body, tedy místa s výraznou strukturou (např. rohy, hrany), která je možné spolehlivě lokalizovat i po změně měřítka nebo rotaci.

Jakmile jsou klíčové body detekovány, je třeba je reprezentovat pomocí vektoru čísel (deskriptoru), který zachycuje lokální strukturu okolí bodu. Dobrý deskriptor musí být diskriminační (popisuje bod tak, aby byl odlišitelný od ostatních) a odolný vůči změnám osvětlení, měřítka a rotace.

Na závěr se jednotlivé deskriptory porovnávají mezi obrázky, aby bylo možné určit, které body si odpovídají. To se provádí pomocí metriky vzdálenosti, která měří podobnost dvou deskriptorů.

Další možností je použití LoFTR (Local Feature Transformer) [Sun et. al., 2021], který oproti klasickým metodám (např. SIFT, ORB) nevyžaduje detekci klíčových bodů a pracuje přímo s hustým porovnáním celých oblastí. To je výhodné zejména při práci s obrázky s nízkou texturou, například skeny papírových dokumentů. Na druhou stranu má LoFTR potíže při zpracování snímků s výrazně odlišnou měřítkovou úrovní. Pokud je jeden obraz pořízen zblízka a druhý zachycuje širší celek, je vhodné použít metody založené na hlubokém učení, jako například **SuperPoint** [Detone et al., 2018] pro nalezení klíčových bodů s odpovídajícími deskriptory a **LightGlue** [Lindenberger et al., 2023] pro jejich spolehlivé spárování.

3.3 Odhad geometrické transformace

Na základě nalezených shod mezi snímky je třeba odhadnout transformační model, který popisuje, jak jednotlivé obrazy vzájemně posunout, natočit nebo změnit jejich měřítko, aby správně navazovaly.

Nejčastěji se používají následující modely:

- **Afinní transformace** – model zahrnující posun, rotaci, změnu měřítka a šikmost. Je vhodný pro spojování rovinných scén bez výrazného perspektivního zkreslení, typicky při skenování nebo fotografování dokumentů z kolmého pohledu.
- **Homografie** – obecnější model pro perspektivní transformace. Využívá se především u panoramat s výraznou hloubkou nebo u scén s perspektivním zkreslením.

Při výpočtu transformace se běžně používá metoda RANSAC [Fischler et al., 1981], která je odolná vůči špatným shodám a dokáže spolehlivě nalézt model i v přítomnosti chybných bodových párů. Metoda RANSAC funguje tak, že náhodně vybírá malé podmnožiny odpovídajících bodů a na jejich základě opakovaně odhaduje transformační model. Každý model je následně otestován na všech datech a je vyhodnoceno, kolik bodů s ním souhlasí (tzv. inliery). Výsledkem je model, který nejlépe odpovídá většině dat a ignoruje odlehlé hodnoty (outliery), které by jinak výpočet narušily.

3.4 Kompozice a spojení obrazu (blending)

Jakmile jsou známy transformace mezi jednotlivými obrázky, je možné je složit do jednoho společného výstupního obrazu. Tento proces se nazývá kompozice. Každý snímek je podle své pozice geometricky transformován a vložen do společného souřadného systému, čímž vzniká tzv. super-obraz.

V místech překryvu může docházet ke vzniku švů (viditelných přechodů), způsobených například mírnými rozdíly v zarovnání, osvětlení nebo geometrii. Pro jejich odstranění se používají různé techniky prolínání (blending), od jednoduchého lineárního prolínání až po pokročilé metody.

Jednou z nejúčinnějších technik pro vyhlazení překryvných oblastí je použití optického toku (optical flow). Ten slouží k určení jemného pohybu mezi dvěma překrývajícími se oblastmi a umožňuje přesné zarovnání i v případech, kde transformace nedokáže zachytit všechny geometrické rozdíly.

Pro ještě kvalitnější výstup je možné použít techniky tzv. super resolution, které dokáží využít více snímků jednoho místa, zkombinovat informaci v nich obsaženou a vytvořit tak výstup kvalitnější než jednotlivé vstupy. Jedná se buď o klasické metody, které modelují inverzní proces tvorby obrazu a hledají nejpravděpodobnější podobu předlohy, nebo je možné využít neuronové sítě trénované pro tuto úlohu [Kedra, 2025]. Tyto přístupy umí zvýšit ostrost, snížit šum i odstranit chyby způsobené drobnými nepřesnostmi v zarovnání.

3.5 Optický tok

Při spojování mapových skenů nebo panoramatických snímků může i po zarovnání pomocí geometrické transformace (např. affinity) zůstat ve společných oblastech mírný nesoulad. Ten

bývá způsoben například zkreslením skeneru, drobným posunem papíru nebo ne zcela přesným překryvem. Pro dosažení vizuálně plynulého přechodu mezi snímky se proto využívá optický tok, který odhaduje jemný, hustý pohyb pixelů mezi dvěma překrývajícími se oblastmi.

Klasické metody, jako je například Farnebackův algoritmus [Farneback, 2003] nebo Lucas-Kanade [Lucas et al., 1981], pracují s rozdíly v intenzitě mezi snímky a předpokládají malý a hladký pohyb. Tyto metody jsou rychlé a dobře fungují při malých deformacích, ale často selhávají v oblastech s nízkým kontrastem nebo výraznějšími nelinearitami.

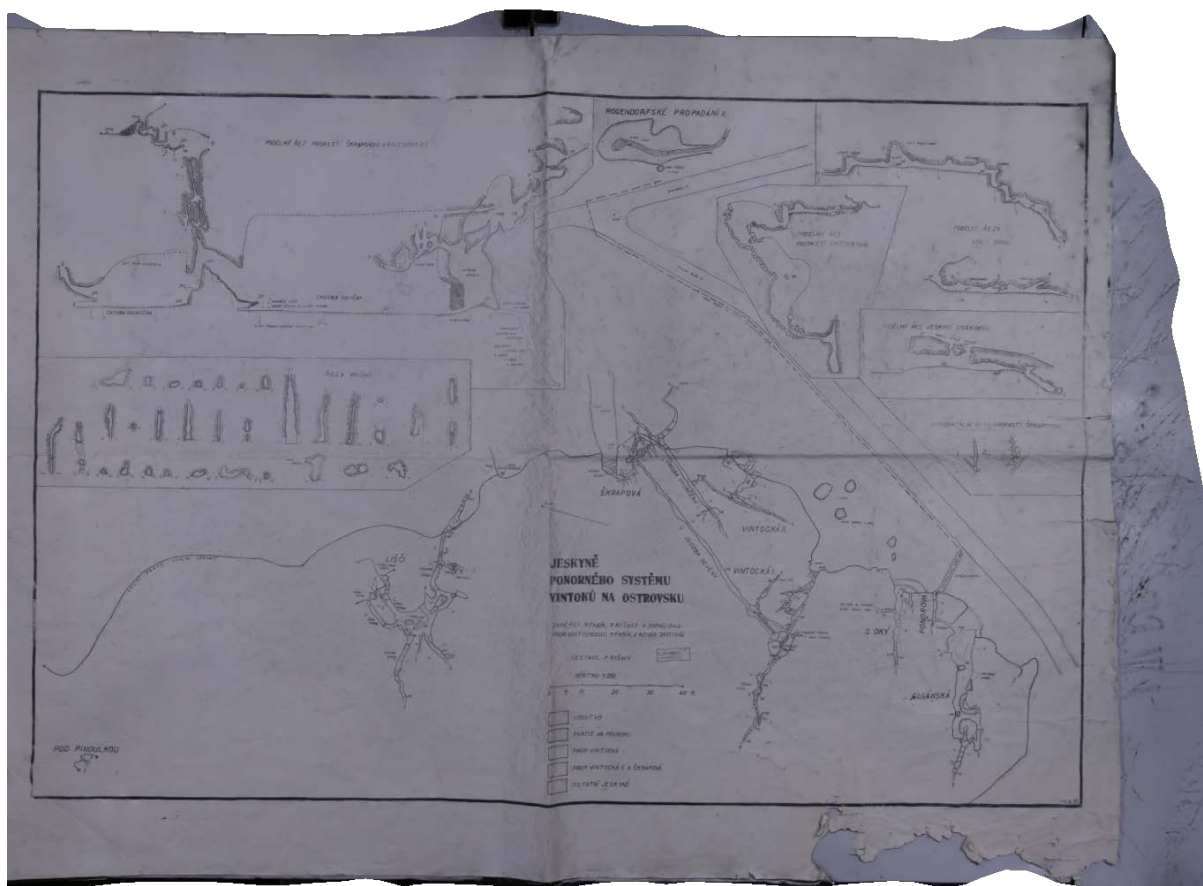
Moderní přístupy založené na hlubokých neuronových sítích, jako je RAFT (Recurrent All-Pairs Field Transforms) [Teed & Deng, 2020], Sea-raft [Wang, et al., 2024], MemFlow [Dong & Fu, 2024] přinášejí výrazně vyšší přesnost i v náročných scénách. RAFT modeluje vztah mezi všemi páry pixelů pomocí více iterací a dokáže robustně odhadnout jemné zarovnání i v oblastech s nízkou texturou nebo lokálním zkreslením. Představuje ideální nástroj pro dosažení hladkého prolinání při spojování map, kde běžné algoritmy nestačí k odstranění švů.

3.6 3D rekonstrukce

Dalším způsobem spojování obrazových dat je použití 3D rekonstrukce. Její princip je založen, podobně jako 2D metody, na detekci a párování výrazných bodů, odhadu polohy kamery v prostoru a následné triangulaci těchto bodů do 3D prostoru. Tímto způsobem lze vytvořit řídký 3D model skenovaného objektu. Tento řídký model je možné následně zahustit výpočtem hloubkových map pro jednotlivé pohledy.

Z hustého mračka 3D bodů je možné vypočítat povrchový polygonální model pomocí Poissonova algoritmu a texturu trojúhelníků získat z obrazových dat.

Nevýhodou tohoto přístupu je problém v místech bez textury. Na těchto místech vznikají díry nebo chybějící části.



Ukázka 3D rekonstrukce planárního objektu z fotografií. Pomocí aplikace Colmap⁹ je vytvořen řídký model a aplikace OpenMVS¹⁰ vytvoří polygonální model

3.7 Dostupný software

Při přípravě této metodiky čelil autorský tým několika výzvám: Ačkoli existuje vícero softwarů schopných přinejmenším poloautomaticky překrývajících se digitální obrazy spojovat, zejména u dokumentů větších než A0 a naskenovaných ve vysokém rozlišení vyvstávají problémy spojené s velkým objemem zpracovávaných dat.

Adobe Photoshop (funkce Photomerge) – Populární grafický editor Photoshop nabízí automatické spojení snímků přes Automatizaci > Photomerge. Výhodou je jednoduché použití přímo v dobře známém prostředí Photoshopu a možnost následně výsledek doladit pomocí vrstev a masek (Photoshop při skládání využívá vrstvy a masky pro plynulé sloučení). Photoshop také umí vyplnit chybějící okraje funkcí Content-Aware Fill. Nevýhodou jsou omezené možnosti nastavení projekce a úprav oproti specializovaným programům. Photomerge nabízí jen základní volby a nemá pokročilé funkce jako ruční určování kontrolních bodů. U složitějších případů může Photoshop narazit na problém a panorama nesloží optimálně. Při extrémně velkých výsledných obrazech (desítky tisíc pixelů) je navíc třeba použít formát PSB (velký dokument), protože standardní formát PSD má limit ~30 000 px na rozměr. Pro běžné účely ale Photoshop představuje snadno dostupné řešení “vše v jednom” s dostatečně kvalitním výsledkem u jednodušších projektů.

⁹ Colmap. [online] Dostupné z: <https://colmap.github.io/>

¹⁰ OpenMVS [online] Dostupné z: <https://github.com/cdcseacave/openMVS>

Adobe Lightroom – Modul pro skládání panoramat. Ovládání je ještě jednodušší než v Photoshopu, vše probíhá zcela automaticky a výsledkem může být panorama ve formátu DNG (RAW). To je výhoda z hlediska zachování obrazových dat. Nicméně Lightroom nabízí jen minimum nastavení (například typ projekce) a neumožňuje manuální zásahy, takže si neporadí s komplikovanějšími případy, jako jsou víceřadá panoramata nebo velmi jednotvárné předlohy. Zároveň je zde omezení na maximální délku delší strany výsledného obrázku 65 000 pixelů. Pokud je scéna statická a jde o menší počet snímků, Lightroom poslouží dobře. U složitějších spojení je však obvykle potřeba sáhnout po Photoshopu nebo jiném specializovaném nástroji.

Zoner Photo Studio – Zoner X obsahuje nástroj pro skládání panoramat (spojování snímků). Pracuje automaticky podobně jako Lightroom, uživatel jen vybere sadu fotek a zvolí Vytvořit > Panorama. Kvalita spojení je slušná a výhodou je integrace do editoru. Omezením je, že nejde o tak pokročilý nástroj jako specializované stitchery, nenabízí volbu různých projekcí či pokročilé ladění, u velmi rozsáhlých panoramat může narazit na limity výkonu.

PhotoStitcher – PhotoStitcher je jednoduchý komerční nástroj určený ke spojování fotografií a skenů do jednoho celku. Ovládání je maximálně zjednodušené, uživatel pouze vybere sadu obrázků a program je automaticky spojí. Podporuje základní typy projekcí a dokáže si poradit i s částečně posunutými nebo otočenými snímky. Vhodný je i pro skenované dokumenty, fotografie nebo mapy. Výhodou PhotoStitcheru je uživatelská jednoduchost a nízké systémové nároky, nevyžaduje žádné odborné znalosti ani silný hardware. Výsledky bývají dostatečné pro běžné použití, zvláště u pravidelně překrývajících se snímků. Nevýhodou je uzavřenost a nízká konfigurovatelnost, program neumožňuje manuální zásah do procesu spojování, nepodporuje pokročilé funkce jako kontrolní body. Rovněž nepracuje dobře s extrémně velkými daty, při snímcích nad několik tisíc pixelů na delší straně může být výpočet pomalý nebo nestabilní. Program je placený, bez možnosti rozšíření či automatizace.

PTGui – V případech, kdy spojení velkých obrazových souborů nezvládne automatická funkce Photomerge v rámci Photoshopu, lze pro vytvoření zceleného obrazu využít rovněž software PTGui, primárně určený k sešívání panoramatických snímků.¹¹ PTGui podporuje dialekt BigTIFF a je proto schopen pracovat i se soubory většími než 4 GB. Při intuitivní práci s programem prostřednictvím projektového asistenta je nejprve nutné nahrát dostatečně se překrývající zdrojové snímky, načež následuje jejich automatické zarovnání, optimalizace, vytvoření shodných kontrolních bodů a výběr vhodné projekce, expozice a barev. Náhled výsledného snímku lze otevřít v editoru panoramatu, kde je možné obraz a jeho projekci dále upravovat. Zlepšení výsledku napomáhá především skrývání, respektive odkrývání jednotlivých vrstev pomocí masek a práce s kontrolními body, jež je v problematických místech švů možné dle potřeby manuálně editovat. Výhodou PTGui je schopnost pracovat s velkými obrazovými soubory, avšak i přes velmi kvalitní automatické zarovnání může být u složitých scén potřeba manuální editace kontrolních bodů a masek. I v tomto případě se navíc jedná o zdoluhavý proces běžně vyžadující přidělení velké množství operační paměti a často zabírající desítky minut.

Hugin – Hugin je open-source alternativa k PTGui. Je zdarma a vychází z osvědčených Panorama Tools knihoven, nabízí tedy podobně pokročilou funkcionalitu (ruční kontrolní body, projekce). Avšak uživatelská přívětivost a spolehlivost jsou o něco nižší, například má občasné technické potíže – problémy s kompatibilitou určitých formátů (velké TIFF soubory). Automatické hledání kontrolních bodů v Huginu někdy selhává u scén s malým kontrastem či opakujícími se vzory, takže je nutné body doplnit ručně.

¹¹ PTGui. Create high quality panoramas. [online], [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.ptgui.com/>

Vzhledem k omezením existujících nástrojů, ať už jde o výkonové limity, chybějící podporu extrémně velkých dat, nebo nedostatečnou přesnost ve specifických případech, vznikla potřeba vytvořit vlastní nástroj zaměřený přímo na spojování naskenovaných obrazových dat. Navržené řešení je optimalizované pro poloautomatické zpracování velkoformátových skenů s minimálním vstupem od uživatele a bez potřeby práce v pomalém grafickém rozhraní. Zvládá i výstupy přesahující 500 MPix.

Na rozdíl od většiny existujících nástrojů integruje náš systém více algoritmů pro nalezení odpovídajících oblastí, včetně tradičního SIFT a moderního state-of-the-art LoFTR (Local Feature Transformer), který poskytuje výrazně lepší výsledky v oblastech s nízkou texturou nebo opakujícími se vzory. V dalším kroku je při spojování překrývajících se částí aplikován výpočet optického toku, který umožňuje jemné zarovnání i tam, kde klasické metody selhávají. Díky tomu dochází ke snížení výskytu tzv. ghostingu, tedy viditelných posunů nebo dvojitých obrysů v překryvu.

Většina běžných nástrojů na skládání panoramat (včetně PTGui, Photoshopu) sice nabízí sofistikované metody zarovnání, ale výpočet optického toku obvykle nevyužívají, případně jej aplikují jen v omezené podobě. Právě kombinace robustního hledání shod a následného zpřesnění pomocí optického toku představuje hlavní výhodu našeho přístupu při práci s komplexními nebo technicky náročnými obrazovými sadami.

Z těchto důvodů pristoupili autoři k vytvoření vlastních aplikací, jejichž použití je popsáno v následujícím textu.

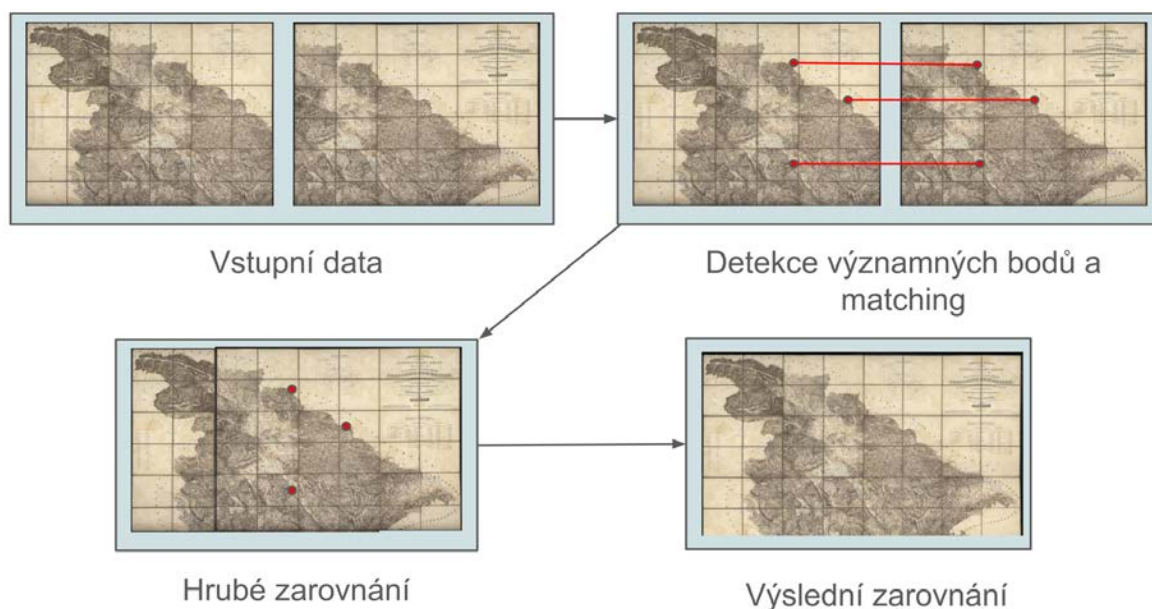
4 Mapstitcher – spojování skenů

4.1 Vysvětlení použitých postupů

Dále popsaná aplikace je navržena na spojování (stitching) částí naskenovaných dokumentů, které svou velikostí přesahují skenovací plochu skeneru a zároveň jsou obvykle skenovány ve velmi vysokém rozlišení do jednoho výsledného obrázku velkých rozměrů. Může jít o skeny s velmi vysokým rozlišením, často přesahujícím $20\,000 \times 20\,000$ pixelů. Hlavním cílem je tedy přesné zarovnání a sloučení několika dílčích skenů velkého dokumentu či povrchu do jednoho souvislého obrazu tak, aby se zachovalo co nejvíce detailů a současně se odstranily viditelné přechody či nesoulady.

Systém využívá techniky detekce významných bodů v obraze (LoFTR nebo SIFT) a vyhledávání odpovídajících bodů mezi snímky. Na základě těchto dat se odhaduje transformace, jež hrubě zarovná naskenované části, a pomocí blendingu a metod optického toku se odstraňují viditelné švy. Celý proces je navržen s důrazem na automatizaci, aby se minimalizovala potřeba ručních zásahů i v náročných případech, jako jsou oblasti s malým množstvím textury nebo nerovnoměrnými překryvy.

Základním vstupem do aplikace MapStitcher jsou názvy (a umístění) vstupních skenů a jejich vzájemné uspořádání. Podrobnosti o formátu vstupu jsou popsány v následující sekci.



Příklad procesu spojení dvou skenů (pro názornou ilustraci byl zvolen případ s výrazným překryvem).

4.2 Instalace a spuštění

Aplikace **MapStitcher** umožňuje dvě základní formy použití – buď jako nástroj spouštěný z příkazové řádky (CLI), nebo ve formě kontejnerizované aplikace přes Docker. CLI verze byla vyvinuta a testována primárně na systému Ubuntu, ale při splnění závislostí je možné ji

spustit i na jiných platformách. Pro jednodušší nasazení je k dispozici také připravený Docker image.

Zdrojový kód, návod k instalaci a ukázky použití jsou dostupné na GitHubu:

<https://github.com/DCGM/mapstitcher>

Hardwarové doporučení

Pro bezproblémový chod aplikace se doporučuje grafická karta s minimálně 8 GB VRAM a podporou CUDA (např. NVIDIA RTX). Dále je nutné mít alespoň 64 GB operační paměti RAM. Tyto požadavky vyplývají z charakteru zpracovávaných dat – výsledné složené obrázky mohou mít extrémní rozměry, například až 50 000 x 50 000 pixelů. Výpočetně náročné operace, jako je výpočet optického toku, probíhají na grafické kartě, zatímco samotné držení obrazových dat ve vysokém rozlišení a manipulace s nimi klade vysoké nároky na RAM.

Příklady velikostí dat a jejich náročnosti na paměť RAM jsou uvedeny v následující tabulce. Všechny výpočty proběhly na PC s procesorem AMD Ryzen 9 7950X3D (16 jader), grafickou kartou NVidia RTX 4090 a 192 GB RAM.

Přibližná velikost vstupu [px]	Velikost výstupu [Mpx]	Náročnost na paměť RAM [GB]	Časová náročnost [s]
4x 5000x4000	39	6.0	14
4x 8700x6400	105	14.3	32
4x 10000x8000	155	20.4	36
4x 13000x10000	241.5	31.2	52
4x 20000x15000	542.7	68.4	110
4x 26000*20000	965.1	120.6	188

4.2.1 Instalace z příkazové řádky

Instalace zahrnuje naklonování repozitáře, instalaci závislostí a v případě potřeby i nástrojů pro práci s formátem JPEG 2000. Následující příklad instalace zahrnuje také vytvoření virtuálního prostředí pro Python:

```
$ git clone https://github.com/DCGM/mapstitcher mapstitcher
$ cd mapstitcher
$ python3 -m venv ${PATH_TO_VENV}
$ source ${PATH_TO_VENV}/bin/activate
$ pip install --upgrade pip && pip install -r requirements.txt
$ sudo apt update
$ sudo apt install libopenjp2-tools
```

Kde `${PATH_TO_VENV}` je cesta k nově vytvořenému virtuálnímu prostředí. Balíček `libopenjp2-tools` slouží k práci s formátem JPEG 2000.

Dále lze stáhnout soubory s váhami pro matching a stitching. Jinak se stáhnou automaticky při spuštění aplikace.

```
$ mkdir -p weights
$ wget -O weights/outdoor_ds.ckpt
https://github.com/DCGM/mapstitcher/releases/download/v1.0.0/outdoor_ds.ckpt
$ wget -O weights/raft_large_C_T_SKHT_V2-ff5fadd5.pth
https://github.com/DCGM/mapstitcher/releases/download/v1.0.0/raft_large_C_T_SKHT_V2-ff5fadd5.pth
```

4.2.2 Instalace s využitím Dockeru

Pro instalaci pomocí Dockeru je nejprve nutné naklonovat Git repozitář, který obsahuje adresář `docker`.

```
$ git clone https://github.com/DCGM/mapstitcher mapstitcher
```

Aplikaci lze používat buď pro jednorázové spuštění, nebo také jako Docker servis. Soubory pro práci s Dockerem se nacházejí v adresáři `docker`. V konfiguračním souboru `docker-compose.yaml` jsou ve výchozím nastavení cesty pro vstupní a výstupní adresáře tak, aby zpracovaly ukázková data v adresáři `test_data` a uložily výstup do adresáře `output`. Pro zpracování vlastních dat je potřeba cesty změnit na vlastní.

```
volumes:
  - ../test_data/:/data
  - ../output/:/output
```

Build se pustí následujícím příkazem:

```
$ cd docker
$ docker compose -f docker-compose.yaml build
```

Po každé změně vstupních nebo výstupních adresářů je potřeba build znovu provést.

Aplikace vyžaduje běh na systému vybaveném grafickou kartou s podporou CUDA. Při instalaci pomocí Dockeru je nezbytná instalace NVIDIA Container Toolkit¹².

¹² NVIDIA Container Toolkit <https://docs.nvidia.com/datacenter/cloud-native/container-toolkit/latest/install-guide.html>

4.3 Návod k použití

4.3.1 Spuštění – Command Line Interface (CLI)

Při spuštění aplikace z příkazového řádku je možné zadat několik parametrů. Pro úplnost jsou všechny uvedeny a vysvětleny níže:

- **--list**
Cesta ke konfiguračnímu souboru se seznamem vstupních obrázků.
- **--path**
Cesta k adresáři se vstupními soubory, jejichž názvy kódují konfiguraci.
- **--optimization-model** (*affine / homography*)
Model pro optimalizaci zarovnání. Pro rovinné povrchy obvykle postačuje **affine**.
- **--matching-algorithm** (*loftr / sift*)
Algoritmus pro hledání odpovídajících bodů.
- **--loftr-model** (*outdoor / indoor*)
Volba modelu pro LoFTR. V praxi se jako spolehlivější osvědčil **outdoor**.
- **--subsample-flow**
Aktivuje podvzorkování při výpočtu optického toku.
- **--vram-size**
Velikost dostupné grafické paměti (VRAM) v GB. Experimentální parametr, který při vyšších hodnotách umožňuje zpracování větších bloků obrazu. Pro hodnotu **16** je doporučeno mít minimálně 24 GB VRAM.
- **--max-matches**
Maximální počet párovacích bodů použitých při optimalizaci. Vyšší počet zlepšuje přesnost, ale prodlužuje výpočetní čas.
- **--output**
Výstupní soubor. Formát lze určit pomocí přípony (např. **output.tif**, **output.jp2**). Pro výstup ve formátu **.jp2** je nutné mít nainstalovaný balíček **libopenjp2-tools**.
- **--silent**
Potlačí výstup do terminálu.

Při spuštění aplikace je nutné zadat jeden z parametrů **--path** nebo **--list**.

- V případě použití parametru **--path** se zadává cesta k adresáři, který obsahuje vstupní skeny. Tyto skeny musí mít ve svém názvu zakódovanou svou polohu vzhledem k ostatním (např. **image_0_1.png**, **image_0_2.png**).
- Pokud je použit parametr **--list**, je třeba zadat cestu ke konfiguračnímu souboru, který obsahuje seznam cest k jednotlivým skenům a zároveň popis jejich vzájemného uspořádání.

Podrobnosti pro oba způsoby použití jsou popsány v následujících sekcích.

4.3.2 Struktura vstupních dat

Použití názvů obrázků k určení jejich pozice

Při použití parametru `--path` je nutné, aby adresář obsahoval obrázky určené ke spojení, které jsou pojmenovány následujícím způsobem:

jméno_poziceY_poziceX.přípona

Pozice Y reprezentuje číslování řádků a pozice X číslování sloupců indexované od čísla 0. Podporované formáty vstupních souborů zahrnují: .jpg, .png, .tif.

Například následující obrázky budou spojeny tak, že image_0_0.tif, image_0_1.tif a image_0_2.tif tvoří horní řadu a image_1_0.tif, image_1_1.tif a image_1_2.tif spodní řadu výsledného obrázku:



Příklad uspořádání 6 obrázků, kde je pozice zakódovaná v názvu souborů

Pokud předpokládáme, že data jsou uložena ve složce `input_data`:

```
└─ mapstitcher
   └─ input_data
      ├── image_0_0.tif
      ├── image_0_1.tif
      ├── image_0_2.tif
      ├── image_1_0.tif
      ├── image_1_1.tif
      └─ image_1_2.tif
```

Pro spojení těchto obrázků z hlavního adresáře projektu použije se následující příkaz:

```
$ python image_stitch_batch.py --path input_data --output
vysledek.tif
```

Projekt obsahuje ukázková data a konfigurační soubor ve složce `test_data`. Pro jednoduchý test spojení pomocí parametru `--path` lze spustit následující příkaz:

```
$ python image_stitch_batch.py --path test_data --output  
vysledek.tif
```

Výsledný spojený obraz bude uložen do hlavního adresáře projektu.

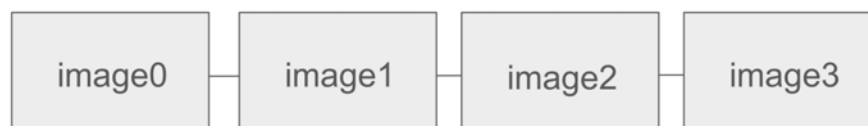
Konfigurační soubor má následující formát:

```
- images  
0 path_to_image_0  
1 path_to_image_1  
2 path_to_image_2  
...  
N path_to_image_N  
- rows  
0 1  
2 N
```

Sekce **images** obsahuje očíslovaný seznam vstupních obrázků (číslování začíná od nuly).

Sekce **rows** definuje prostorové uspořádání těchto obrázků ve výsledném výstupu.

Příklad 1 – čtyři obrázky v jedné řadě



Příklad uspořádání 4 obrázků vedle sebe

Tento příklad spojí čtyři obrázky uspořádané vedle sebe zleva doprava (obrázky se nacházejí ve stejném adresáři jako konfigurační soubor):

```
- images  
0 image0.tif  
1 image1.tif  
2 image2.tif  
3 image3.tif  
- rows  
0 1 2 3
```

Spuštění:

```
python image_stitch_batch.py --list cesta_k_list.txt --output  
vysledek.tif
```

Příklad 2 – šest obrázků ve dvou řadách



Příklad uspořádání 6 obrázků

Tento příklad spojí šest obrázků uspořádaných do dvou řad — tři nahoře a tři dole:

```
- images
0 image0.tif
1 image1.tif
2 image2.tif
3 image3.tif
4 image4.tif
5 image5.tif
- rows
0 1 2
3 4 5
```

Spuštění:

```
$ python image_stitch_batch.py --list cesta_k_list.txt --
output vysledek.tif
```

Projekt obsahuje ukázkový konfigurační soubor `list.txt` ve složce `test_data`. Spojení pomocí tohoto souboru lze provést následujícím příkazem:

```
$ python image_stitch_batch.py --list test_data/list.txt --
output result.tif
```

4.3.3 Spuštění s použitím Dockeru

Docker lze spustit buď jako službu, nebo jednorázově pro jedno zpracování.

Předpokládá se, že cesty ke vstupním datům a adresáři pro výstup jsou nastaveny v konfiguračním souboru `docker-compose.yaml` ještě před provedením buildu.

Jak služba, tak i jednorázový běh očekávají, že vstupní soubory budou pojmenovány se zakódovanou pozicí podle vzoru uvedeného v předchozí kapitole.

Spuštění zpracování:

```
$ docker compose up mapstitcher
$ docker compose up mapstitcher_service
```

Při použití ve formě služby bude program průběžně sledovat vstupní adresář. Kdykoliv se v něm objeví nový podadresář s daty (tj. obrázky s pozicí zakódovanou v názvu), spustí se automatické zpracování.

Aby nedošlo ke spuštění nad adresářem, do kterého právě probíhá kopírování, doporučuje se jej dočasně pojmenovat s příponou `_incomplete`. Po dokončení kopírování je možné příponu odstranit.

Adresáře, jejichž název končí na `_incomplete` nebo `_done`, jsou službou automaticky ignorovány.

```
└─ mapstitcher
  └─ input_data
    ├── mapa0_incomplete    // tady probíhá kopírování
    │   ├── image_0_0.tif
    │   ├── image_0_1.tif
    │   └─ ...
    │   └─ mapa1_done        // spojení už proběhlo
    │       ├── image_0_0.tif
    │       └─ image_0_1.tif
    └─ mapa2                // bude spojeno
        ├── image_0_0.tif
        ├── image_0_1.tif
        ├── image_0_2.tif
        ├── image_1_0.tif
        ├── image_1_1.tif
        └─ image_1_2.tif
  └─ output_data            // výsledky spojení
      └─ mapa1.jp2
```

Problémy při spuštění pomocí Dockeru

Při zpracování vstupu pomocí Dockeru je zároveň generován soubor s podrobnými informacemi o průběhu zpracování (nazev_vystupu.log). V případě, že zpracování selže, například pokud se nevytvoří výstup, je možné v tomto souboru dohledat příčinu problému. Nejčastější příčinou selhání je nedostatek paměti grafické karty. Ujistěte se, že grafická karta má alespoň 8 GB paměti a že žádné jiné procesy nevyužívají významnou část této paměti.

5 Exposea – spojování fotografií

5.1 Vysvětlení použitých postupů

Hlavním úkolem aplikace je zarovnání a spojení částečných fotografií velkého dokumentu do jednoho obrazu ve vysokém rozlišení tak, aby byly zachovány detaily, odstraněny viditelné přechody a sjednoceno osvětlení mezi jednotlivými fotografiemi.

Aplikace pracuje s jednou referenční fotografií celého dokumentu a několika detailními záběry (fragments), které zachycují jeho části zblízka kvůli zaznamenání jemných detailů. Systém využívá metody založené na hlubokém učení pro detekci a párování klíčových bodů, které slouží k odhadu hrubé transformace mezi referenčním snímkem a jednotlivými fragmenty. Následně je pro přesné zarovnání na úrovni pixelů použita metoda optického toku.

Vzhledem k tomu, že při pořizování snímků často dochází ke změnám osvětlení, aplikace na základě referenční fotografie provádí sjednocení světelných podmínek mezi jednotlivými fragmenty. Celý systém je navržen s důrazem na minimální zásah uživatele – jako vstup postačí samotné snímky a jednoduchý konfigurační soubor.

Aplikace pracuje v následujících čtyřech krocích:

Odhad hrubého zarovnání – V tomto kroku jsou v obrázcích detekovány klíčové body pomocí metody SuperPoint a následně jsou nalezeny jejich korespondence pomocí LightGlue. Na základě odhadnutých korespondencí a metody RANSAC je vypočítána transformace sloužící k přibližnému zarovnání fragmentu na referenční snímek. Toto zpracování probíhá ve zmenšeném rozlišení kvůli efektivitě.

Odhad přesného zarovnání – Přibližně zarovnané fragmenty jsou následně zarovnány na úrovni pixelů vůči referenčnímu snímku pomocí metody optického toku MemFlow. I tento krok probíhá v redukováném rozlišení kvůli výpočetní náročnosti a výsledky jsou následně škálovány na požadované rozlišení pomocí interpolace.

Optimalizace osvětlení – Protože při snímání fragmentů zblízka často dochází ke změnám osvětlení, je nutné tyto rozdíly vyrovnat. V zarovnaných fragmentech se osvětlení přizpůsobuje referenčnímu snímku pomocí optimalizátorů Adam nebo L-BFGS. Fragment je rozdělen na menší části kvůli paměťové náročnosti a je vytvořeno pole parametrů se zvolenými rozměry, přičemž každý parametr reprezentuje světelnou škálu v malém regionu. Pomocí vhodné chybové funkce, obvykle Mean Squared Error (MSE), jsou následně odhadnuty parametry, které co nejlépe přizpůsobí osvětlení referenčnímu snímku.

Skládání výsledného obrazu – Zarovnané a světelně upravené fragmenty jsou postupně vkládány do výsledného spojeného obrazu. Z každého fragmentu jsou vybrány pixely, které nejlépe zachovávají detaily v dané oblasti. K tomuto účelu využíváme Jakobianův determinant vypočtený z transformační matice získané v prvním kroku. Takto vybrané oblasti jsou na okrajích plynule smíchány s okolními regiony, aby se předešlo vzniku ostrých přechodů. Nakonec je výsledný obraz uložen ve formátu JPEG2000 nebo TIFF.

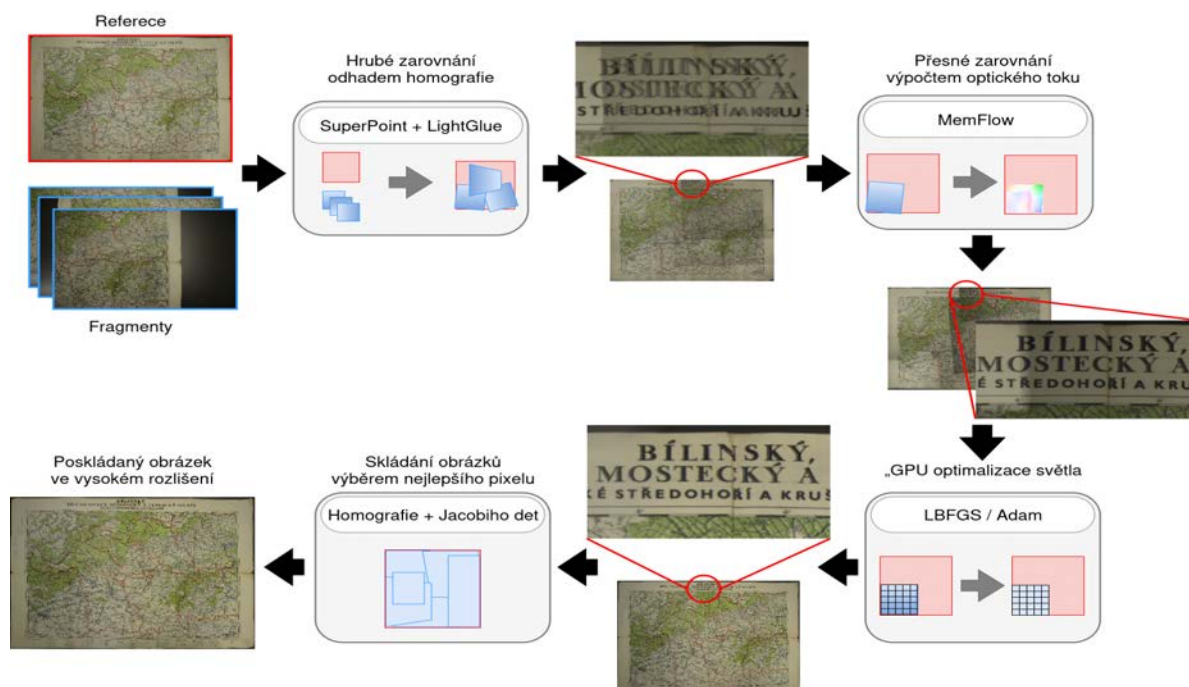


Schéma fungování aplikace Exposea.

5.2 Instalace a spuštění

Aplikace je dostupná na GitHub v repozitáři: <https://github.com/DCGM/Exposea>

Aplikace vyžaduje běh na systému vybaveném grafickou kartou s podporou CUDA. Při instalaci pomocí Dockeru je nezbytná instalace NVIDIA Container Toolkit¹³.

Pro instalaci jsou k dispozici dvě možnosti: prostřednictvím příkazové řádky s předem vytvořeným virtuálním prostředím nebo prostřednictvím Dockeru.

5.2.1 Instalace z příkazové řádky

Postup zahrnuje klonování repozitáře a instalaci knihoven potřebných ke spuštění programu.

```
$ git clone https://github.com/DCGM/Exposea.git $ cd Exposea
$ pip install --upgrade pip && pip install -r requirements.txt
$ sudo apt update
$ sudo apt install libopenjp2-tools
```

5.2.2 Instalace s využitím Dockeru

Pro instalaci pomocí Dockeru je nejprve nutné naklonovat Git repozitář, který obsahuje adresář **docker**.

```
$ git clone https://github.com/DCGM/Exposea
```

¹³ <https://docs.nvidia.com/datacenter/cloud-native/container-toolkit/latest/install-guide.html>

V adresáři `docker` se nachází soubor `docker-compose.yaml`, ve kterém je potřeba nastavit cesty k vstupnímu adresáři obsahujícímu soubory pro jednotlivé úlohy a k výstupnímu adresáři. Ve výchozím nastavení jsou v tomto konfiguračním souboru cesty nastaveny tak, aby zpracovaly ukázková data v adresáři `test_data` a uložily výstup do adresáře `output`.

`volumes:`

- `../test_data/./data`
- `../output/./output`

Sestavení (build) Docker kontejneru se spustí pomocí příkazu:

```
$ cd Exposea/docker
$ docker compose -f docker-compose.yaml build
```

Následně je třeba zvolit, zda spustit službu, která opakovaně sleduje vstupní složku a postupně zpracovává každý nový nezpracovaný vstup, nebo provést jednorázové zpracování, které zpracuje pouze jeden vstupní soubor a následně se zastaví.

```
$ docker compose up exposea_service
$ docker compose up exposea
```

5.3 Návod k použití

5.3.1 Spuštění

Aplikaci Exposea lze spustit dvěma způsoby. Prvním je použití příkazové řádky, kde je nutné zadat vstupní soubor s úlohou a výstupní soubor. Obsah souboru s úlohou je ukázán níže.

Příklad použití přes příkazovou řádku:

```
$ python register.py -i ./cesta/k/uloze -o ./cesta/k/vystupu/
```

Toto spuštění zpracuje konkrétní úlohový soubor uvedený na vstupu a uloží výstup do zadané cesty.

Druhým způsobem je spuštění programu pomocí Dockeru, buď v režimu „one shot“, který zpracuje všechny nevyřešené úkoly ze vstupního souboru, nebo v režimu „service“, který periodicky kontroluje vstupní složku a zpracuje všechny nezpracované úlohy. Příklad spuštění režimu „service“:

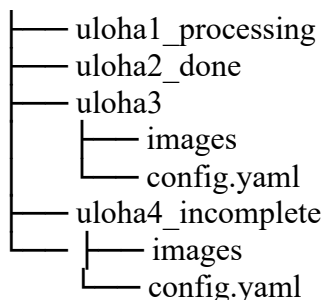
```
$ docker compose up exposea_service
```

Pozor! Při spuštění přes příkazový řádek je vstupní cesta `/vstupni/soubor/uloha1/`, zatímco v Dockeru se specifikuje složka obsahující úlohy, tedy `/vstupni/soubor/`.

5.3.2 Struktura vstupních dat

Každá složka představující jednu úlohu pro skládání dokumentu musí obsahovat podsložku **images** se všemi vstupními obrázky a konfigurační soubor **config.yaml**. Obsah tohoto souboru bude popsán níže.

Příklad struktury vstupní složky



Pokyny ke vstupním složkám

Při spuštění programu přes Docker image je nutné zajistit atomické operace nad vstupními složkami. Proto definujeme několik přípon, které informují program i uživatele o tom, jaká operace se se složkou provádí nebo byla provedena. Upozorňujeme, že toto chování platí pouze během zpracování vstupní složky pomocí Dockeru.

Níže jsou uvedeny speciální přípony a jejich význam:

- **“_incomplete”** – Tuto příponu doporučujeme používat u složek, které jsou právě kopírovány do vstupní složky, aby se zabránilo jejich předčasnému zpracování.
- **“_processing”** – Označuje složku, která je právě zpracovávána. Nedoporučuje se s ní manipulovat, aby nedošlo k chybám v běhu programu.
- **“_done”** – Označuje složku, která již byla zpracována a bude programem ignorována.

Každá jiná složka bez těchto přípon se považuje za vhodnou ke zpracování.

Konfigurační soubor

Každá složka s úlohou musí obsahovat konfigurační soubor pojmenovaný **config.yaml**. Tento konfigurační soubor slouží k nastavení aplikace. Pro jednoduchost je potřeba nastavit pouze několik povinných parametrů, které jsou uvedeny níže:

- **exp_name:** Název, pod kterým bude uložen výstup.
- **ref_name:** Název referenčního obrázku ve složce **images**.
- **preset_name:** Název preset konfiguračního souboru bez přípony **.yaml**. Protože aplikace dokáže zpracovávat obrázky v širokém rozsahu rozlišení, je nutné pro jednotlivá rozlišení nadefinovat odlišné parametry. Exposea má proto předpřipravených několik různých sad parametrů, z nichž je vždy nutné jednu zvolit.
- **final_res:** Požadované rozlišení finálního obrázku v pixelech, uvedené jako **[výška, šířka]**.
- **save_format:** Určuje formát, ve kterém bude výsledný obrázek uložen. Možné hodnoty: **,jp2‘, ,j2k‘, ,tiff‘, ,tif‘**
- **corner_points:** Seznam rohových bodů ve formátu **[[šířka, výška], ...]**

Pro správné fungování programu doporučujeme nastavit také:

- **relative_scale:** Násobek, který udává, kolikrát jsou fragmenty menší než referenční snímek. Tento parametr lze odhadnout podle toho, kolik obrázků je potřeba k pokrytí celého dokumentu – pokud jsou to 4, relativní měřítko je 2, pokud 9, relativní měřítko je 3, atd. Tento parametr nemusí být přesný, může jít o odhad, ale čím je přesnější, tím více pomáhá k dosažení správnějších výsledků.

5.3.3 Záznam v logu

Kromě výsledného obrázku bude v souboru obsažen také výsledný logovací soubor, který obsahuje informace o zpracování. Případné chyby či neočekávané chování programu budou vypsány v tomto souboru. Pro správné pochopení logovacího souboru uvedeme následující příklad:

```
2025-08-11 16:35:31,016 [LIGHT OPTIM] [INFO] Final loss:
0.0011
2025-08-11 16:35:31,483 [STITCHER] [INFO] Fragment 16 adding
to final blend
```

Jak je možné vidět, log obsahuje datum a čas, následovaný modulem, ve kterém byla daná zpráva vytvořena. Poté je vypsán typ zprávy, který může být INFO, WARNING nebo ERROR, za nímž je uvedena samotná zpráva.

5.3.4 Hardwarové nároky

Následující časy byly vypočítány na počítači s procesorem Intel i7 13700KF 13. generace, grafické kartě NVIDIA RTX 3090 s 24 GB paměti a 120 GB RAM:

Počet vstupních fragmentů	Velikost výstupu	Náročnost na paměť RAM	Časová náročnost
10	100 Mpx	27 GB	425 s
10	300 Mpx	54 GB	996 s
10	500 Mpx	81 GB	1655 s
10	700 Mpx	110 GB	2339 s
10	900 Mpx	120 GB	2835 s

Paměťová náročnost GPU u výše zmíněných testů se pohybovala okolo 6 GB. Tato hodnota se však může lišit v závislosti na použitých presetech či nastavení parametrů pro větší okna zpracování v pipeline. Z tohoto důvodu doporučujeme využít grafickou kartu s kapacitou paměti alespoň 16 GB, aby byl zajištěn dostatečný výkon a stabilita zpracování.

6 Závěr

Digitalizace velkoformátových dokumentů, jako jsou mapy, plány a grafiky, představovala pro paměťové instituce dlouhodobou výzvu. Ačkoliv tyto materiály často patří k nejcennějším a badatelsky nejatraktivnějším částem sbírek, jejich převedení do digitální podoby bylo technicky i finančně náročné a postrádalo standardizovaný postup. Dosavadní řešení se opírala o drahý komerční software, improvizované postupy nebo externí dodavatele, což vedlo k nekonzistentním a obtížně reprodukovatelným výsledkům.

Předkládaná metodika tento stav zásadně mění. Přináší ucelený a systematický návod, který provádí pracovníky paměťových institucí celým procesem – od přípravy a nastavení parametrů skenování až po finální scelení dílčích snímků do jednoho souvislého obrazu. Klíčovým přínosem je zavedení nově vyvinutých open-source aplikací Exposea a MapStitcher, které byly navrženy přímo pro potřeby knihoven, archivů a muzeí. Tyto nástroje odstraňují závislost na nákladných proprietárních řešeních a umožňují efektivní zpracování i velmi rozsáhlých obrazových souborů.

Metodika klade důraz na praktickou aplikovatelnost. Detailně popisuje doporučené postupy pro skenování i fotografování, včetně zásad pro zajištění dostatečného překryvu a konzistentních parametrů snímání, čímž minimalizuje riziko chyb a usnadňuje automatizované zpracování. Zároveň upozorňuje na možná úskalí, jako je práce s poloprůhlednými materiály nebo dokumenty bez výrazné textury, a nabízí konkrétní řešení.

Díky tomuto komplexnímu přístupu se scelování po částech naskenovaných předloh stává standardizovanou, transparentní a efektivní součástí digitalizačních pracovních postupů. Paměťové instituce tak získávají prostředek, jak samostatně a udržitelně zpřístupnit specifickou, avšak nesmírně cennou část svého fondu. Aplikace popsanych postupů výrazně přispěje nejen k ochraně fyzických originálů, ale především k otevření bohatého kulturního dědictví široké odborné i laické veřejnosti.

7 Seznam zkratek a vybraných pojmů

Afinní transformace: Geometrická transformace, která zachovává rovnoběžnost přímek, ale ne nutně úhly a délky. Používá se pro zarovnání skenů.

API: Application Programming Interface (Rozhraní pro programování aplikací). Jedná se o soubor pravidel a nástrojů, který umožňuje různým softwarovým aplikacím spolu komunikovat.

CUDA: Výpočetní platforma a programovací model od společnosti NVIDIA, který umožňuje vývojářům využívat výkon grafických procesorů (GPU) pro urychlení náročných výpočtů.

Digitalizace: Proces převodu analogových dokumentů do digitální podoby.

Digitalizační linka: Soubor hardwaru, softwaru a pracovních postupů určených k digitalizaci dokumentů.

Digitální objekt: Objekt složený z řady posloupností bitů. Může se jednat o objekt vytvořený digitalizací nebo dokument, který již jako digitální objekt přímo vznikl – „born digital“.

Digitální repozitář: Úložiště pro správu a dlouhodobé uchovávání digitálních dat.

Dlouhodobé uchovávání: Dlouhodobé udržování informací a dokladů o jejich hodnověrnosti v podobě, která je určené skupině srozumitelná sama o sobě.

Docker: Nástroj, který pomáhá balit a spouštět aplikace v izolovaných prostředích, což zajišťuje konzistentní chování bez ohledu na to, kde se spouští.

Dokument: Každý hmotný nebo digitální nosič zaznamenávající informace v písemné, obrazové, zvukové nebo elektronické podobě.

DPI: Dots per Inch (Body na palec) – jednotka, která udává rozlišení při tisku nebo skenování. Vyšší číslo DPI znamená vyšší hustotu bodů, a tedy detailnější a kvalitnější obraz.

FADGI: Federal Agencies Digitization Guidelines Initiative – iniciativa federálních agentur USA, která vytváří a publikuje soubor osvědčených postupů a technických směrnic pro digitalizaci historických a kulturních materiálů, aby byla zajištěna jejich vysoká kvalita a dlouhodobá udržitelnost.

Fotogrammetrie: Technika získávání spolehlivých informací o fyzických objektech a prostředí prostřednictvím záznamu, měření a interpretace fotografických obrazů a vzorů elektromagnetického záření a jiných jevů.

GitHub: Platforma pro hostování kódů a správu verzí, která vývojářům umožňuje spolupracovat na projektech a sdílet svůj kód.

Homografie: Geometrická transformace, která mapuje body z jedné roviny do druhé. V kontextu metodiky se používá pro zarovnání obrazů.

ISO: International Organization for Standardization (Mezinárodní organizace pro normalizaci) vyvíjí a publikuje mezinárodní standardy pro širokou škálu produktů, služeb a systémů.

JPEG 2000: Joint Photographic Experts Group 2000 – pokročilý standard pro kompresi obrazu, který nabízí lepší kvalitu obrazu při vyšším kompresním poměru než původní formát JPEG. Umožňuje jak bezeztrátovou, tak ztrátovou kompresi.

LZW: Lempel-Ziv-Welch – algoritmus pro bezeztrátovou datovou kompresi. To znamená, že data zkomprimovaná tímto algoritmem lze dekomprimovat do jejich původní

podoby bez jakékoliv ztráty informací. Běžně se používá například ve formátech TIFF a GIF.

Kartografický dokument: Mapa, plán nebo jiný dokument s kartografickým obsahem.

Klíčové body: Výrazné body v obraze, které jsou využívány pro nalezení shod mezi různými snímky a jejich následné zarovnání.

Metadata: Data popisující a dokumentující popisovaný objekt. Informují o datech nebo datových sadách, okolnostech pořízení digitalizátu a jeho parametrech. Lze je rozdělit na popisná, strukturální a administrativní.

NDK: Národní digitální knihovna – projekt, jehož cílem je digitalizovat, dlouhodobě uchovávat a zpřístupňovat knihovní fondy uchovávané v České republice.

Obrazová předloha: Fyzický dokument (např. mapa, grafika), který je předmětem digitalizace.

Open source: Software s otevřeným zdrojovým kódem, který je volně dostupný k použití, úpravám a distribuci.

Optický tok: Metoda používaná pro přesné zarovnání obrazů na úrovni pixelů na základě analýzy pohybu obrazových bodů mezi snímky.

Paměťová instituce: Instituce jako knihovny, archivy a muzea, které uchovávají kulturní dědictví.

PNG: Portable Network Graphics (Přenosná síťová grafika) – formát pro rastrovou grafiku, který podporuje bezztrátovou kompresi a průhlednost. Byl vyvinut jako vylepšená a volně dostupná náhrada za formát GIF.

PREMIS: Preservation Metadata Implementation Strategies – mezinárodní standard (datový slovník) pro metadata, která jsou nezbytná pro dlouhodobé uchovávání digitálních objektů. Definuje, jaké informace je třeba zaznamenat, aby bylo možné digitální soubory v budoucnu správně interpretovat a používat.

Python: Všestranný programovací jazyk, který se často používá pro webový vývoj, analýzu dat a umělou inteligenci.

Proprietární software: Komerční software s omezenými licenčními právy, který není volně dostupný.

Scelování: Proces spojování jednotlivých, po částech nasnímaných obrazových segmentů do jednoho celistvého a bezchybného obrazu.

TIFF: Tag Image File Format – flexibilní a rozšiřitelný formát souboru pro ukládání rastrové grafiky. Je velmi populární v profesionální oblasti (tisk, skenování, archivace) díky podpoře bezztrátové komprese, více stránek v jednom souboru a různých barvových modelů.

Velkoformátový dokument: Dokument, jehož rozměry přesahují běžné formáty a standardní možnosti skenovacích zařízení (např. A0, 2A0).

XML: Extensible Markup Language (Rozšiřitelný značkovací jazyk) – univerzální značkovací jazyk, který definuje pravidla pro kódování dokumentů ve formátu čitelném pro člověka i pro stroj. Používá se pro ukládání a přenos dat mezi různými systémy.

8 Seznam literatury

- Adobe. Optimize Photoshop performance [online], [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: <https://helpx.adobe.com/ca/photoshop/kb/optimize-photoshop-cc-performance.html>
- Adobe. Vytváření a úpravy panoramatických obrázků. [online], [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://helpx.adobe.com/cz/photoshop/using/create-panoramic-images-photomerge.html>
- Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T., & Van Gool, L. (2008). Speeded-up robust features (SURF). *Computer vision and image understanding*, 110(3), 346–359.
- Cynefin project – National Library of Wales – repairing and digitising the country’s tithe maps [online], [cit. 2020-09-01]. Dostupné z: <https://advisor.museumsandheritage.com/features/cynefin-project-national-library-wales-repairing-digitising-countrys-tithe-maps/>
- ČÚZK. Pokyny č. 32 pro skenování katastrálních map a grafických operátů dřívějších pozemkových evidencí. Praha 2004. Dostupné z: https://www.cuzk.cz/Predpisy/Resortni-predpisy-a-opatreni/Pokyny-CUZK-31-42/Pokyny_32.aspx
- Detone, Daniel; Malisiewicz, Tomasz; Rabinovich, Andrew. Superpoint: Self-supervised interest point detection and description. In: *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition workshops*. 2018. p. 224–236.
- Dong, Qiaole; Fu, Yanwei. Memflow: Optical flow estimation and prediction with memory. In: *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2024. p. 19068–19078.
- Farnebäck, G. (2003). Two-frame motion estimation based on polynomial expansion. In: *Proceedings of the 13th Scandinavian Conference on Image Analysis (SCIA)*, 363–370.
- Fischler, M. A., & Bolles, R. C. (1981). Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. *Communications of the ACM*, 24(6), 381–395.
- GigaPan Stitch [online], [cit. 2020-09-01]. Dostupné z: <http://www.gigapan.com/cms/support/download-gigapan-stitch>
- Hugin - Panorama photo stitcher. [online], [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: <http://hugin.sourceforge.net/download/>
- Kedra, David: Rekonstrukce textury z více pohledů. Brno, 2025. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Ing. Michal Hradiš, Ph.D.
- Lindenberger, Philipp; Sarlin, Paul-Edouard; Pollefeys, Marc. Lightglue: Local feature matching at light speed. In: *Proceedings of the IEEE/CVF international conference on computer vision*. 2023. p. 17627–17638.
- Lowe, D. G. (2004). Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International journal of computer vision*, 60(2), 91–110.
- Lucas, B. D., & Kanade, T. (1981). An iterative image registration technique with an application to stereo vision. In *Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*, 674–679.

- Panoráma. [Online nápověda Zoner Photo Studio X](https://manual.zoner.com/cs/panorama-52dd9a2/). [online], [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: <https://manual.zoner.com/cs/panorama-52dd9a2/>
- PTGui. Create high quality panoramas. [online], [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.ptgui.com/>
- Rieger, Thomas, ed. et al, 2023. *Technical Guidelines for Digitizing Cultural Heritage Materials* [online]. Third edition. Washington: Library of Congress [cit. 2025-09-04]. Dostupné z: https://www.digitalizationguidelines.gov/guidelines/FADGITEchnicalGuidelinesforDigitizingCulturalHeritageMaterials_ThirdEdition_05092023.pdf
- Ruble, E., Rabaud, V., Konolige, K., & Bradski, G. (2011). ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF. In Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2564–2571.
- Sun, J., Shen, Z., Wang, Y., Bao, H., & Zhou, X. (2021). LoFTR: Detector-Free Local Feature Matching with Transformers. In: Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 8922–8931.
- Talich, Milan a Antoš, Filip. Metody a postupy digitalizace a zpřístupnění starých kartografických děl. In: Inforum 2011 : 17. konference o profesionálních informačních zdrojích. Praha, 2011. Dostupné z: <https://www.inforum.cz/pdf/2011/talich-milan.pdf>
- Teed, Z., & Deng, J. (2020). RAFT: Recurrent all-pairs field transforms for optical flow. In: Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV), 402–419.
- van Dormolen, Hans, 2025. *Metamorfoze Preservation Imaging Guidelines Image Quality* [online]. Verze 2.0, duben 2025. KB National Library [cit. 2025-09-04]. Dostupné z: <https://www.metamorfoze.nl/sites/default/files/documents/Preservation%20Imaging%20Guidelines%20English%202.0%2C%20April%202025.pdf>
- Wang, Yihan; Lipson, Lahav; Deng, Jia. Sea-raft: Simple, efficient, accurate raft for optical flow. In: European Conference on Computer Vision. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. p. 36–54
- Získal, Bohuš, 2024. *Metodický pokyn pro digitalizaci kulturního obsahu – Národní plán obnovy* [online]. Praha: Ministerstvo kultury [cit. 2025-09-04]. Dostupné z: https://mk.gov.cz/doc/dokumenty_file/metodicky-pokyn-pro-digitalizaci-kulturniho-obsahu-1931.pdf
- Žabička, Petr a Páček, Miloš. Cataloguing and Presentation Tools for Old Maps and Map Series. In: e-Perimetry, Vol. 14, No. 4, 2019, p. [203–214]. Dostupné z: http://www.e-perimetry.org/Vol_14_4/Zabicka_Pacek.pdf