CASE STUDIES Z PRŮMYSLOVÉ PRAXE

Zpráva o řešení praktických úloh vycházejících ze zadání průmyslové praxe formou Case studies

CASE STUDY č. 3

Název projektu:	**Zkvalitnění technického vzdělávání strojařů**
Kód projektu:	403401DYG5
Operační program:	Interreg VI-A Slovensko – Česko
Vedoucí partner:	Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Hlavní přeshraniční partner:	Žilinská univerzita v Žilině

Téma řešené case study:	**Reversní inženýrství stojní součásti**
Mentor za VŠB-TUO:	Jiří kozák
Firemní mentor:	Ing. Karel Kouřil, Ph.D. (VK Tools s.r.o.)
Konzultant za ŽU v Žilině:	Ing. Miroslav Cedzo, PhD.
Zapojení studenti VŠB-TUO:	Jan Urban Ing. Dominik Ježek
Zapojení studenti ŽU v Žilině:	Ján Ďuraš Bc. Monika Kojdová

Popis řešeného problému v praxi:

Reverzní inženýrství je moderní proces využívaný ve strojírenství k rekonstrukci digitální podoby fyzických součástí, u kterých chybí původní výkresová dokumentace nebo 3D model. Metoda je založena na přesném měření, 3D skenování a následném vytváření CAD modelu, který lze dále využít pro výrobu, analýzu nebo optimalizaci dílu. V praxi se jedná o klíčový postup zejména při opravách starších zařízení, obnově náhradních dílů, kontrole kvality i digitalizaci výroby.
Problém, který se reverzním inženýrstvím řeší, spočívá v nedostupnosti dokumentace, časových tlacích na obnovu provozu a potřebě přesně reprodukovat či upravit součást bez toho, aby byla známá její původní konstrukce, nebo hledat různé cesty, které v tomto směre se ponoukají. Metoda vyžaduje znalost práce s 3D skenery, měřicími systémy a CAD softwarem, a proto je nutné studenty v této oblasti vzdělávat, aby byli schopni tuto technologii efektivně využívat v praxi.

Hlavní charakteristiky

- Základem je získání přesného digitálního mračna bodů pomocí 3D skenování nebo kontaktního měření.

- Získaná data se zpracovávají do polygonálního modelu (mesh) a následně do plnohodnotného parametrického CAD modelu.
- Proces zahrnuje interpretaci reálné geometrie, rekonstrukci tvarů, úpravu nepřesností a kontrolu odchylek vůči fyzickému dílu.
- Výsledkem je digitální dvojče součásti použitelné pro výrobu, simulaci, kontrolu nebo konstrukční úpravy.
- Metoda umožňuje porovnání naměřených dat se stávající dokumentací, odhalování deformací a vyhodnocení životnosti či opotřebení.

Klíčové výhody a využití

- Rychlá a přesná rekonstrukce dílů bez dokumentace – zásadní při opravách starších nebo zahraničních zařízení.
- Úspora času a nákladů díky možnosti okamžité výroby náhradního dílu podle vytvořeného digitálního modelu.
- Tvorba nového 3D modelu dílu na základě skenované proti součásti.
- Široké uplatnění v oblasti údržby, renovací, kontroly kvality, vývoje i optimalizace konstrukce.
- Umožňuje digitalizaci starších konstrukčních celků, podporuje zavádění Průmyslu 4.0 a moderních výrobních postupů.
- Vzdělávání v oblasti RE rozvíjí u studentů technické myšlení, práci s moderními měřicími systémy, samostatnost, přesnost a schopnost řešit technické problémy.

Shrnutí realizace za období 04/2025 – 07/2025

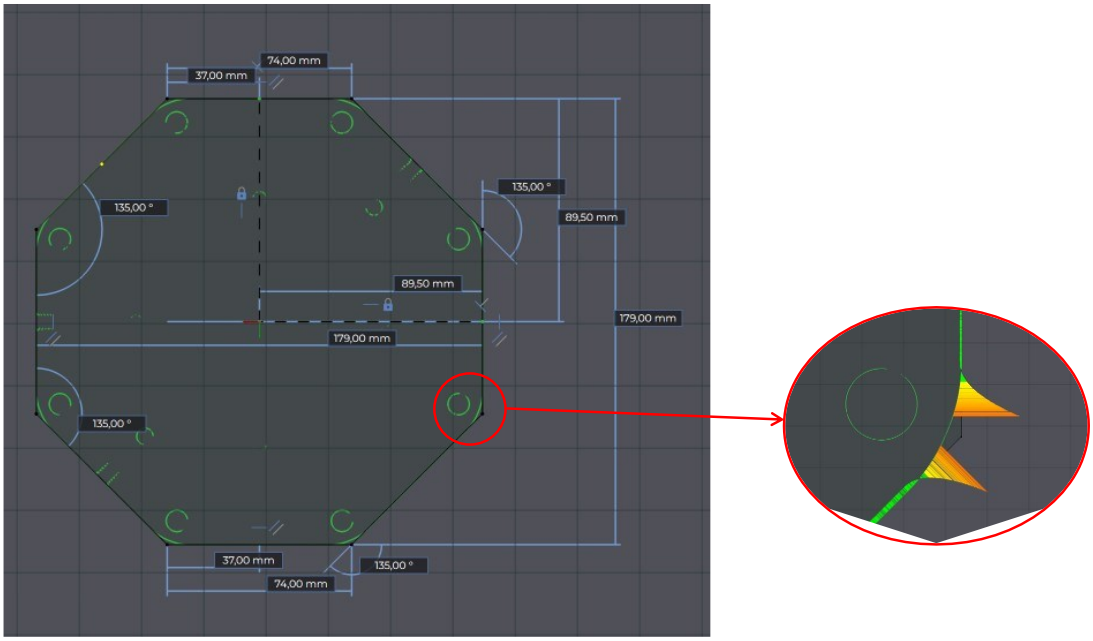
V rámci realizace projektu v daném období probíhala práce na teoretické úrovni prostřednictvím systematického studia odborných zdrojů zaměřených na reverzní inženýrství, 3D digitalizaci a moderní metody měření. Analýza byla postavena především na vědeckých článcích indexovaných v databázích jako Scopus a Web of Science, dále na technických publikacích a normách. Důraz byl kladen zejména na studie publikované v posledních pěti letech, aby byly reflektovány aktuální trendy v oblasti 3D skenování, zpracování mračen bodů a rekonstrukce digitálních modelů. Například práce autorů jako Francesco Remondino a Stefano Campana (2021) nebo Dimitris Mourtzis (2022) potvrzují rostoucí význam digitalizace fyzických objektů v průmyslové praxi. Současný stav dostupné literatury zároveň jednoznačně ukazuje, že reverzní inženýrství představuje neoddělitelnou součást moderního strojírenství, zejména v situacích, kdy není k dispozici výkresová dokumentace nebo je nutné analyzovat reálný stav fyzické součásti (např. W. Wang et al., 2020; D. Mourtzis et al., 2022).

Výzkum dále ukázal, že žádná reálně vyrobená součást není geometricky dokonale přesná, což potvrzují studie zaměřené na výrobní nepřesnosti a toleranční analýzu (např. Richard Leach, 2021). V průběhu životního cyklu dochází k opotřebení, plastickým deformacím i výrobním odchylkám, které je nutné při digitalizaci správně identifikovat a interpretovat v CAD modelu. Moderní technologie, jako jsou optické 3D skenery nebo průmyslová počítačová tomografie, umožňují získat detailní mračno bodů a zachytit reálnou geometrii součásti s vysokou přesností (Leach, 2021; Remondino et al., 2021). Následná rekonstrukce geometrie do parametrického CAD modelu představuje komplexní proces, který

kombinuje metody filtrace dat, aproximace ploch a algoritmy rekonstrukce tvaru, jak popisují například studie publikované v časopisech jako Precision Engineering nebo Measurement.

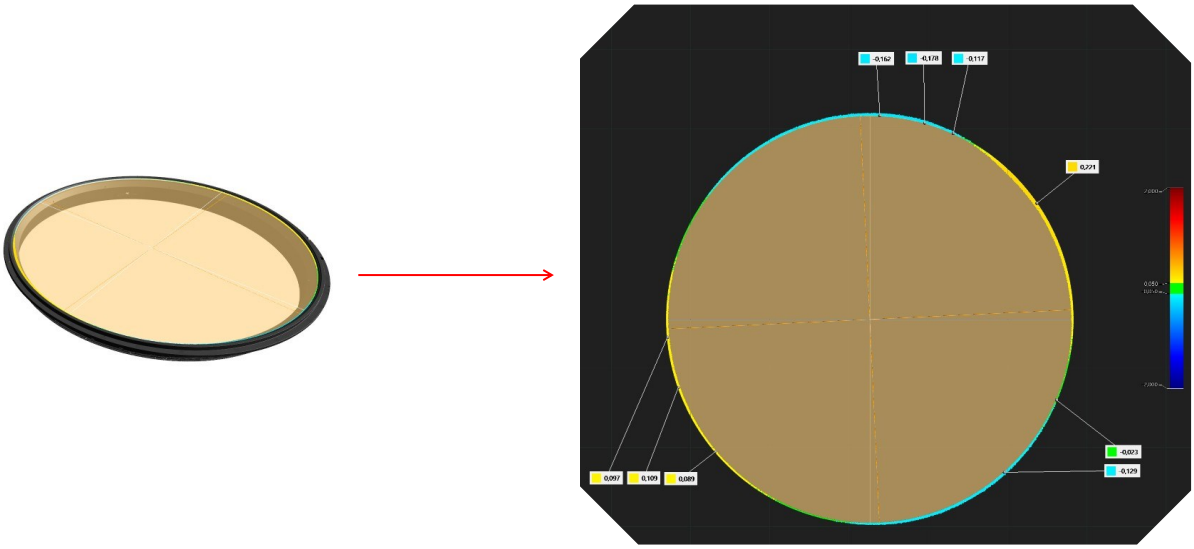
Reverzní inženýrství tak sehrává klíčovou roli při obnově dokumentace, výrobě náhradních dílů, kontrole odchylek nebo při optimalizaci stávajících konstrukčních řešení. Jak uvádí Dimitris Mourtzis (2022), jeho význam dále roste v kontextu konceptu Industry 4.0, kde je digitalizace fyzických objektů zásadním prvkem propojení reálného a virtuálního prostředí. S rostoucími požadavky na přesnost, rychlost výroby flexibilitu produkce se zvyšuje i význam pokročilých měřicích systému a algoritmů zpracování dat. Tyto technologie umožňují dosahovat vysoké kvality digitálních modelů, což významně přispívá ke zvýšení efektivity konstrukčních i výrobních procesů a podporuje implementaci digitálních dvojčat v průmyslové praxi.

Popis výsledku:
V rámci tohoto výzkumu byly realizovány 3D skeny různých typů strojních součástí, na nichž byly následně vyhodnocovány vybrané geometrické rozměry. Součástí tohoto hodnocení byly také odpovídající CAD modely, které v tomto kontextu reprezentují nominální hodnoty sledovaných rozměrů. Jedním z klíčových problémů, jak v oblasti reverzního inženýrství, tak při inspekci strojních dílů, kde se 3D skenování v posledních letech výrazně prosazuje, je způsob proložení naskenovaných dat. V případě reverzního inženýrství dochází k aproximaci polygonální sítě pomocí základních geometrických entit (např. přímek, kružnic apod.), zatímco při inspekci je typicky realizováno prostorové zarovnání CAD modelu s naskenovanými daty. V obou přístupech má zásadní vliv na výslednou velikost odchylek mezi reálným a ideálním (nominálním) tvarem právě zvolená metoda proložení, resp. metoda zarovnání. Kromě těchto metod jsou odchylky dále ovlivněny výrobními nepřesnostmi, provozním opotřebením, deformacemi materiálu a dalšími faktory. Zatímco některé z těchto odchylek lze v rámci inspekce a reverzního inženýrství kvantifikovat s relativně vysokou přesností, v řadě případů se konstruktér či operátor 3D skenování opírá o empirické zkušenosti a obecné znalosti konstrukčních zásad při interpretaci výsledků.



Obr. 1 – Příklad proložení geometrie skenu a náčrt při reverzním inženýrství – software Creaform OS

Na Obr. 1 je vyobrazený stav při kterém byl pomocí geometrických útvarů proložen tvar odpovídající řezu 3D skenu v daném místě pomocí jednoduchých geometrických útvarů, přičemž je možné vysledovat odchylku mezi teoretickým reverzním stavem a naskenovaným povrchem. Podobně lze postupovat i v případě inspekce strojního dílu, kde lze také zobrazit tyto odchylky. Obr. 2 popisuje měření odchylek mezi skenem a CAD modelem.



Obr. 2 – Ukázka ověřování odchylek formou inspekce strojního dílu – Vxelements (VxInspect)

V obou případech, barevné zobrazení reprezentuje odchylky právě mezi teoretickým a naskenovaným tvarem.

08/2025 – 10/2025

Realizace projektu byla v tomto období zaměřena na proces reverzního inženýrství vybrané strojní součásti s cílem vytvořit její přesný digitální model využitelný pro výukové, vědecké i výzkumné účely. Stejně jako řada technických dílů používaných v průmyslové praxi vykazuje i analyzovaná součást určitou variabilitu svých tvarů a rozměrů, která vznikla vlivem výroby, dlouhodobého provozu a opotřebení. Tato variabilita představuje zásadní výzvu při rekonstrukci geometrie a hodnocení přesnosti digitalizace, proto byl zvolen přístup založený na detailním snímání skutečného stavu dílu a tvorbě jeho reprezentativního CAD modelu.

V rámci projektu byla nejprve pořízena 3D data za pomocí optického skeneru, která byla následně zpracována do podoby polygonální sítě. Na základě získaných dat byl navržen specifický postup tvorby kombinující práci se sestavou a tvorbu křivek a řezů. Tento způsob modelování výrazně zjednodušuje celý proces rekonstrukce, zvyšuje plynulost práce se skenerem a umožňuje provádět tvarové úpravy.

Postup tvorby 3D CAD modelu ze skenu probíhal následovně:

1. ***Post-processing 3D skenu v softwaru VXelements (modul VXmodel):***
   Zarovnání souřadnicového systému a tvorba referenčních entit potřebných pro rekonstrukci 2D tvaru v definovaných rovinách.
2. ***Import dat do CAD prostředí (DS SolidWorks):***
   Otevření upraveného skenu, tvorba náčrtů pomocí řezů a vytvoření odpovídající 2D geometrie sloužící jako podklad pro následné parametrické modelování.
3. ***Vytvoření základního 3D modelu:***
   Modelování pomocí standardních metod (rotace, vysunutí, booleovské operace) i pokročilejších postupů (tažení, šablonování apod.).
4. ***Detailování geometrie:***
   Postupné zpřesňování tvaru pomocí operací, jako jsou zaoblení, zkosení a další úpravy vedoucí k vyšší věrnosti digitálního modelu.
5. ***Porovnání s měřenými daty:***
   Využití barevné mapy odchylek pro porovnání vytvořeného CAD modelu s polygonální sítí a zhodnocení přesnosti modelování.
6. ***Zhotovení výkresové dokumentace:***
   Vytvoření technické dokumentace včetně volby vhodných tolerancí jako finálního výstupu procesu reverzní rekonstrukce.

Tento přístup umožňuje rychlejší iterace, přesnější přizpůsobení tvaru reálné součásti a přehlednější proces modelování. Metodika má potenciál být dále rozvíjena a využívána jak ve výuce, tak při praktických úlohách reverzního inženýrství.

Popis výsledku:

Níže uvedený text popisuje postup reverzního inženýrství na základě 3D skenování vybraných strojíreních součástí. Proces zahrnuje přípravu a realizaci skenování, zpracování dat v prostředí VXelements, tvorbu CAD modelu v softwaru SolidWorks a následné ověření přesnosti pomocí porovnání s polygonální sítí. Výstupem je parametrický 3D model a odpovídající výkresová dokumentace využitelná pro další konstrukční nebo výrobní účely.

Předmětem skenování byla soustava dílů na sebe navazující:

- Šnek extruderu č. 1

- Šnek extruderu č. 2
- Komora extruderů



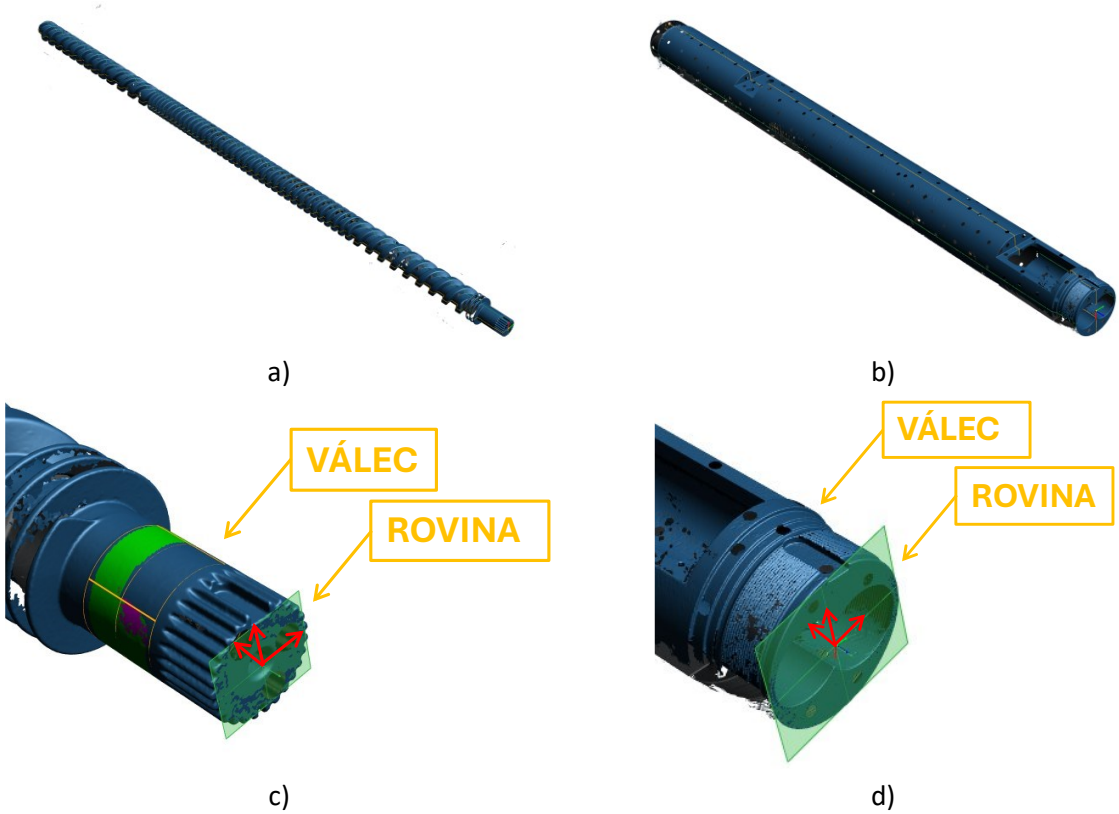
a) b)

Obr. 3 – Set-up při skenování – a) Šneku extruderu 1 a 2, b) Komora extruderu

Skenování bylo zahájeno aplikací referenčních bodů na snímané objekty. Využity byly magnetické referenční body v kombinaci s modrými polygonálními terči, které významně usnadňují proces snímání a zároveň snižují celkový počet nutných reflexních bodů. Tento přístup má pozitivní dopad jak na časovou, tak ekonomickou náročnost měření. V případě komory byly referenční body umístěny jak na podložku, tak na válcové tělo součásti. Ve všech případech bylo nutné zohlednit vzájemnou orientaci jednotlivých skenů a jejich následné sloučení do uzavřené polygonální sítě. Pro zlepšení orientace během post-processingu byly referenční body v určitých částech šneku a komory rozmístěny tak, aby vytvářely jednoduché geometrické útvary, což usnadnilo jejich jednoznačnou identifikaci. Samotné skenování bylo realizováno po částech, přičemž každá součást byla nasnímána ve třech polohách odpovídajících přibližně 120°. Jednotlivé dílčí skeny byly následně sloučeny pomocí funkce „Best Fit“, čímž byl vytvořen kompletní uzavřený polygonální model (Obr. 4a,b). V navazujících krocích proběhl post-processing dat v softwaru VXelements (modul VXmodel), kde došlo k zarovnání souřadnicového systému a vytvoření referenčních entit pro konstrukci 2D řezů. Takto upravená data byla exportována do CAD prostředí, kde byl následně vytvořen parametrický model.

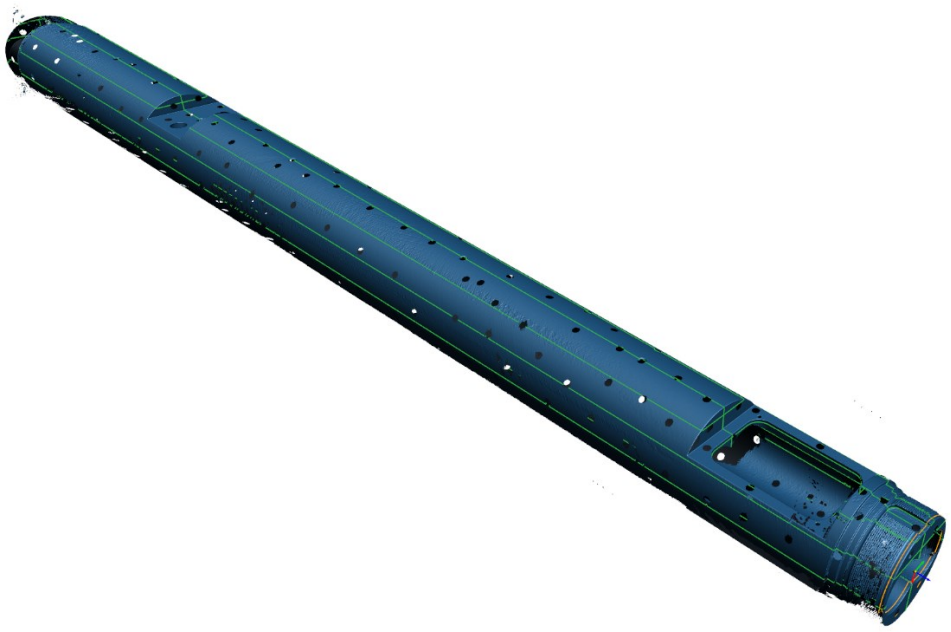
Vybrané geometrické prvky, jako jsou otvory nebo drážky, byly pro zvýšení přesnosti a kontrolu výsledků doplňkově přeměřeny manuálně.

Důležitou součásti post-processingové činnosti byla definice souřadnicového systému obou modelů ve smysluplných místech zejména s ohledem na funkci a práci s modelem (Obr. 4c,d).

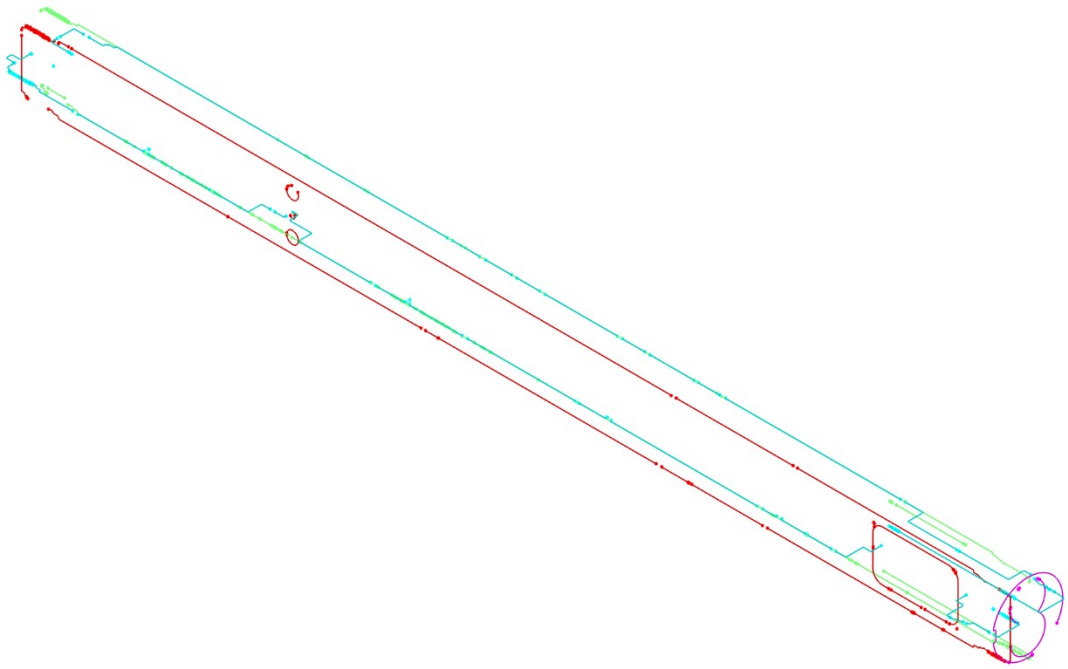


Obr. 4 - Spojení dílčích skenů pomocí metody „Best fit“ – a) Šnek extruderu, b) Komora extruderu; Zarovnání souřadnicového systému šneku (a) a komory (b)

Jak již bylo zmíněno výše, po definici souřadnicového systému bylo nutné definovat dílčí entity, nejčastěji roviny, které posloužili k extrakci 2D dat potřebných pro tvorbu náčrtů a celkové pochopení konstrukce. Obr. 5 a Obr. 6 vyobrazují export 2D náčrtů z prostředí programu VXelements do prostředí programu DS SolidWorks – stejný postup byl aplikován i v případě šneků extruderů.



Obr. 5 – Definice řezů pro tvorbu 2D náčrtů na polygonické síti – VxElements (VxModel)



Obr. 6 – Export 2D náčrtů do programu DS SolidWorks

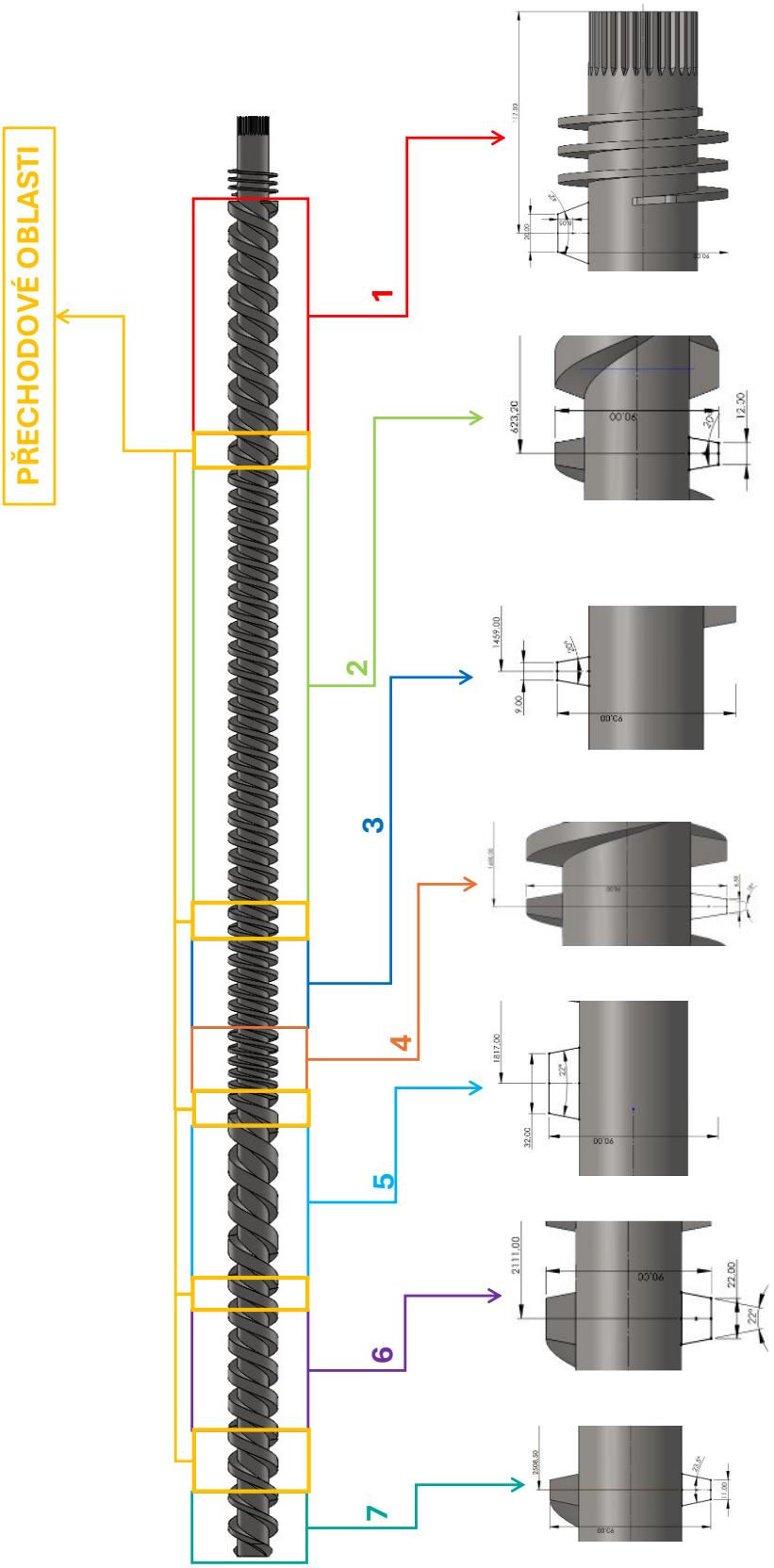
Příklad náčrtů exportovaných do DS SolidWorks, viz Obr. 6 představuje entity ve formě křivek, které nejsou zcela vhodné pro tvorbu 3D geometrie. Důvodů je několik:

- Křivky jsou generovány na základě průsečnic polygonální sítě s rovinami řezů definovanými v prostředí VXelements. Hustota bodů těchto křivek závisí na rozlišení zvoleném při skenování – vyšší hustota bodů sice zvyšuje přesnost, avšak zároveň vede k vyšší výpočetní náročnosti při zpracování v CAD prostředí, což se může projevit sníženou plynulostí práce.

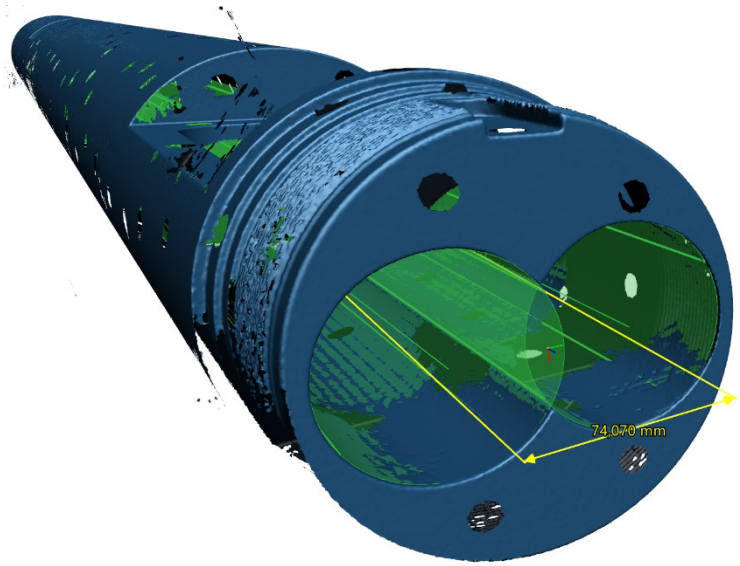
- Křivky, respektive jejich body, v sobě nesou nejen nepřesnosti měření, ale i odchylky způsobené výrobou či provozním opotřebením skenované součásti.
- Dochází ke ztrátě parametrické vazby modelu, což výrazně komplikuje jeho další úpravy – i drobné změny geometrie mohou být následně velmi časově a technicky náročné.
- Použití křivek komplikuje definici vazeb v rámci sestav, což omezuje možnosti jejich efektivního parametrického provázání a následné úpravy modelu.

S ohledem na uvedené skutečnosti je vhodné křivky nahradit náčrtem založeným na standardních geometrických entitách (úsečky, kružnice, oblouky apod.), které snižují výpočetní náročnost při tvorbě 3D geometrie a zároveň umožňují efektivní definici vazeb v rámci sestav.

Nedílnou součástí této fáze činnosti je rovněž studium konstrukce analyzovaného zařízení nebo strojního dílu. V daném případě bylo nutné detailně analyzovat konstrukci šneku extruderu. Na základě provedených řezů a extrahovaných 2D náčrtů bylo zjištěno, že šroubovice šneku je členěna do sedmi oblastí odpovídajících jednotlivým technologickým fázím procesu extruze plastu (Obr. 7). Naopak v případě komory extruderu byly pomocí 2D řezů určovány horní a dolní mezní úchylky rozteče komor, včetně stanovení tolerancí uložení šneku v komoře (Obr. 8). Podobným způsobem byly naměřeny všechny důležité rozměry a byly vytvořeny jednotlivé 3D modely.



Obr. 7 – Vyobrazení jednotlivých částí šroubovic ze kterých se šnek skládá
Pozn. Jednotlivé části se liší mezi sebou průřezem a stoupáním šroubovice

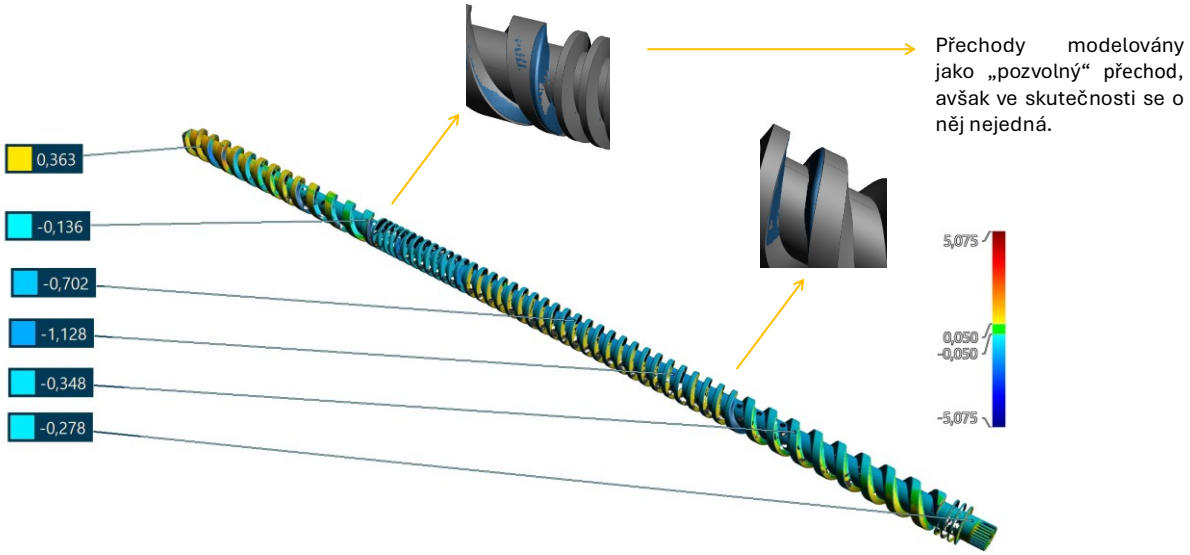


Obr. 8 – Měření rozteče komor šneků

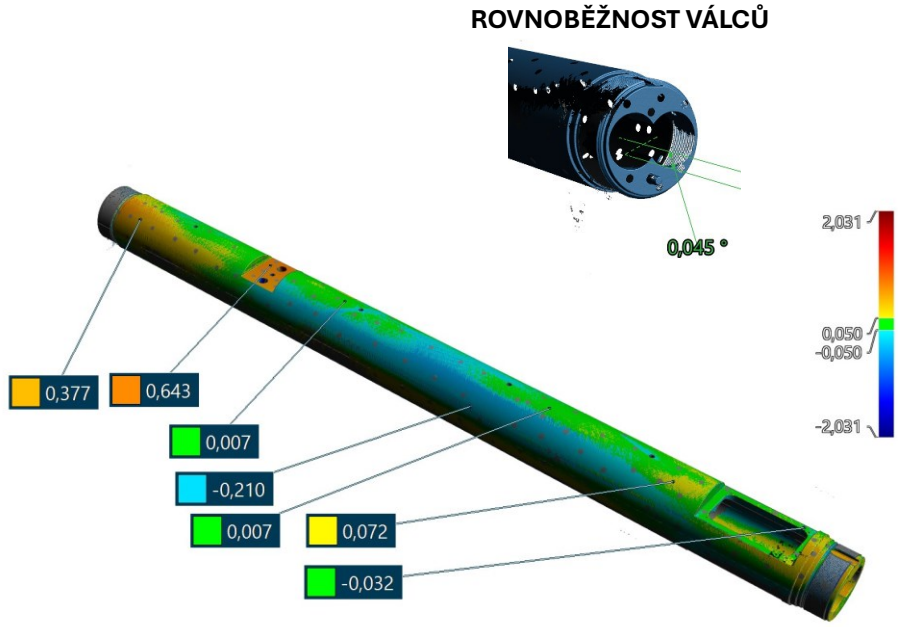


Obr. 9 – Převod polygonické sítě na objemové modely

Přesnost vytvořených 3D modelů byla ověřena pomocí tzn. barevné mapy (Obr. 10 a Obr. 11), jejíž princip spočívá v „překrytí“ reverzně vytvořeného 3D modelu s polygonickou sítí. Pro tzv. překrytí je vhodná metoda zarovnání „Best fit“.

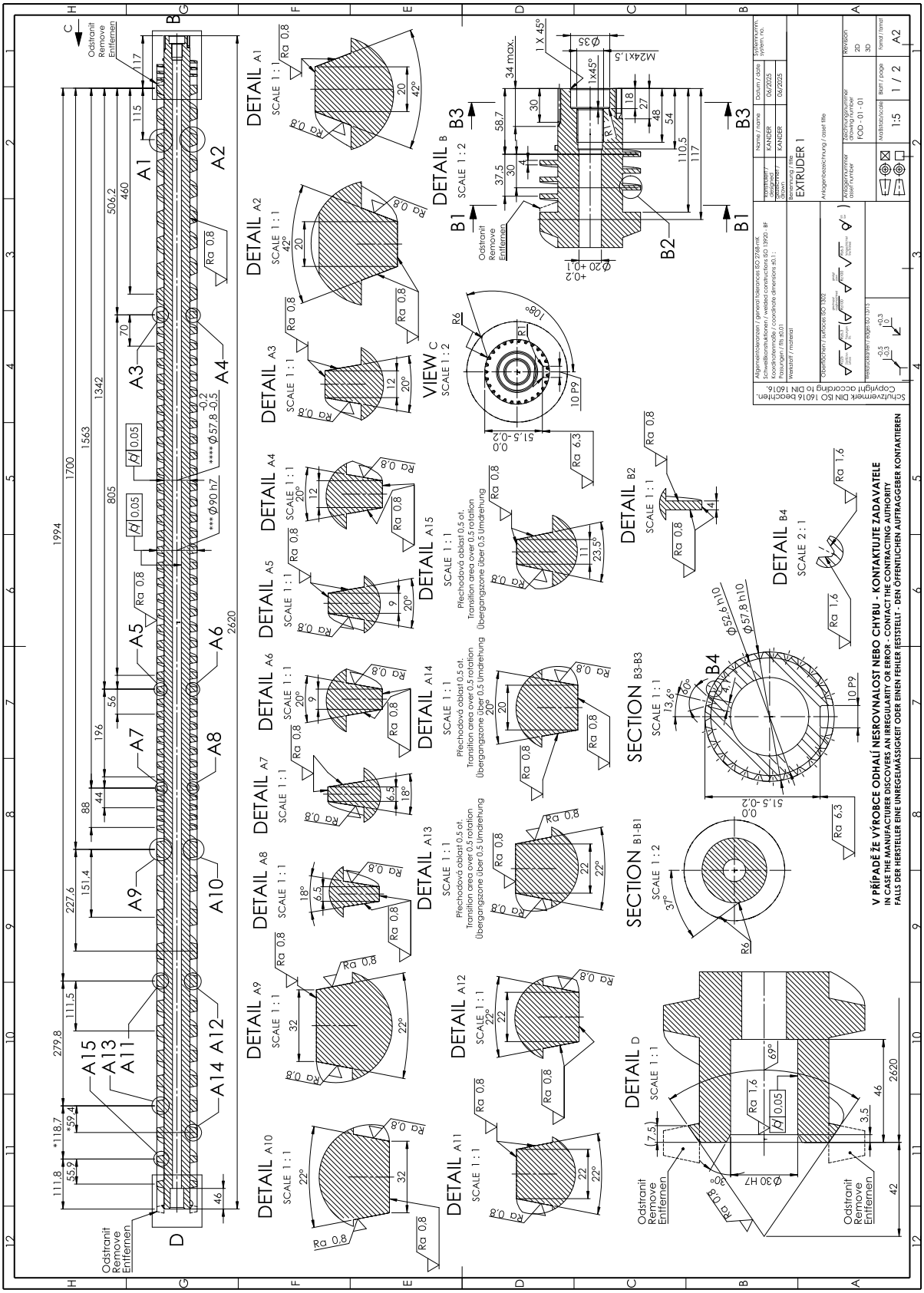


Obr. 10 – Barevná mapa šneku extruderu

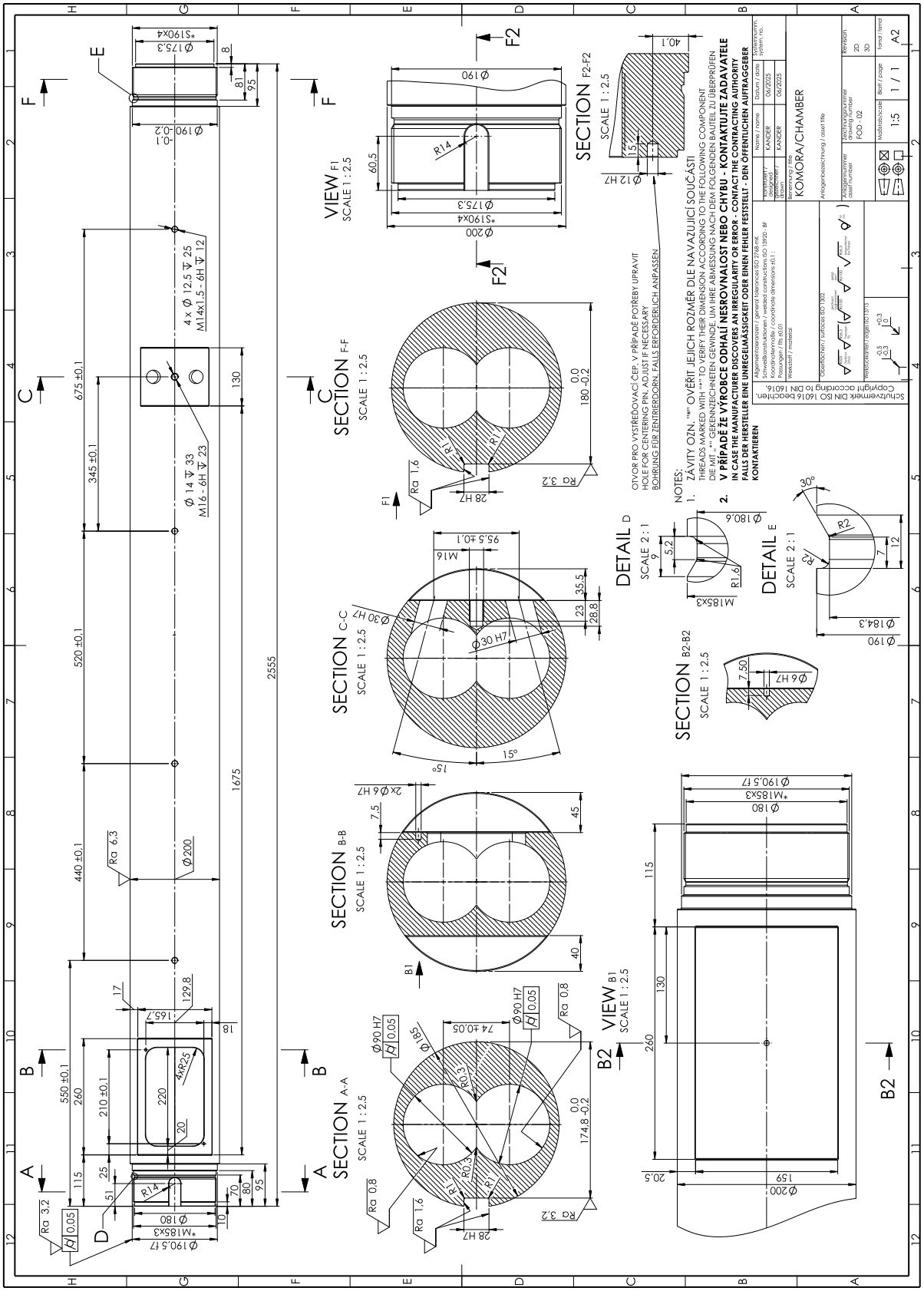


Obr. 11 – Barevná mapa komory extruderu

Na Obr. 10 je patrné, že některé konstrukční prvky vytvořeného 3D modelu neodpovídají zcela naskenovaným datům. V takových případech je nezbytné posoudit relevanci daného prvku z hlediska jeho vlivu na funkci součásti. V uvedeném případě se jednalo o technologicky podmíněný rozdíl, kdy byl přechod v CAD modelu z teoretického hlediska navržen jako plynulý, zatímco ve skutečnosti vykazoval mírně stupňovitý charakter. Tento nesoulad vedl k odchylkám mezi modelovanou a reálnou geometrií. Klíčovým aspektem při vyhodnocení barevné mapy odchylek je volba mezního rozsahu, který je ještě považován za vyhovující. V tomto případě byla jako dostatečná stanovena tolerance odchylky ±0,05 mm.



Obr. 12 – Výrobní výkres šneku extruderu



Obr. 13 – Výrobní výkres komory extruderu

Závěr

Předložená studie se zabývá problematikou reverzního inženýrství strojních součástí s využitím 3D skenování, zpracování mračen bodů a následné tvorby parametrických CAD modelů. Cílem bylo ověřit možnosti využití těchto metod při rekonstrukci reálných dílů a posoudit jejich přesnost ve vztahu k funkci součásti, zejména v situacích, kdy není k dispozici původní technická dokumentace.

V rámci řešení byly realizovány 3D skeny vybraných strojních součástí (šneků extruderu a komory), které byly následně zpracovány do polygonální sítě a využity pro tvorbu parametrických CAD modelů. Na tomto základě byla navržena metodika zahrnující post-processing dat, definici souřadnicového systému, tvorbu řezů a následné modelování v CAD prostředí. Tento přístup se ukázal jako vhodný zejména při rekonstrukci složitějších součástí v kontextu sestavy, kde je nutné zohlednit nejen geometrii, ale i funkční vazby mezi jednotlivými díly.

Z výsledků vyplývá, že přesnost výsledného modelu není závislá pouze na kvalitě samotného skenování, ale zásadním způsobem ji ovlivňuje způsob zpracování dat. Klíčovým faktorem je především volba metody zarovnání a proložení geometrie, která má přímý vliv na velikost a charakter výsledných odchylek mezi reálným a nominálním tvarem. Bylo prokázáno, že různé přístupy k těmto operacím mohou vést k odlišným interpretačním závěrům při hodnocení přesnosti.

Přesnost vytvořených modelů byla ověřena pomocí barevných map odchylek, které umožňují názorné a detailní porovnání CAD modelu se skenem. Analýza ukázala, že část odchylek je způsobena nejen nepřesností měření, ale také výrobními tolerancemi, provozním opotřebením či deformacemi materiálu. Zásadní je proto jejich posuzování v kontextu funkce součásti, přičemž v rámci této studie byla jako vyhovující stanovena tolerance ±0,05 mm.

Současně bylo potvrzeno, že proces tvorby CAD modelu není pouhým převodem reálné geometrie, ale zahrnuje i její interpretaci a v určitých případech nezbytnou idealizaci. Tento přístup umožňuje vytvořit funkčně správný a konstrukčně využitelný model, přičemž významnou roli zde hrají zkušenosti konstruktéra a jeho schopnost správně vyhodnotit význam jednotlivých geometrických odchylek.

Hlavním přínosem studie je návrh a experimentální ověření metodiky reverzního inženýrství, která integruje měřicí a konstrukční přístupy do jednoho systematického postupu. Výstupem je parametrický 3D model odpovídající reálné součásti, doplněný o výkresovou dokumentaci a postup umožňující systematické hodnocení odchylek. Navržená metodika je využitelná jak v průmyslové praxi, například při opravách, kontrole kvality nebo výrobě náhradních dílů, tak i ve výuce, kde přispívá k rozvoji technického myšlení, práce s moderními technologiemi a schopnosti interpretace naměřených dat.

Výsledky studie potvrzují, že propojení 3D skenování, CAD modelování a inspekčních metod představuje významný nástroj moderního strojírenství, který nachází uplatnění nejen v průmyslové praxi, ale i ve výuce. Navržený přístup tak přispívá ke zkvalitnění technického vzdělávání a rozvoji kompetencí studentů v oblasti digitalizaci výroby a implementaci principů Průmyslu 4.0.

Shrnutí výsledků:

- Ověření metodiky stanovení odchylek mezi 3D skenem a teoreticky přesným modelem (pro inspekci i reverzní inženýrství).
- Potvrzení zásadního vlivu metody proložení/zarovnání na výsledné odchylky.
- Návrh a ověření metodiky reverzního inženýrství složitého dílu v kontextu sestavy.
- Ověření přesnosti reverzně vytvořeného 3D modelu pomocí porovnání se skenem (barevné mapy odchylek).
- Stanovení vyhovující oblasti odchylek s ohledem na funkci součásti.
- Zjištění významné role zkušeností konstruktéra při interpretaci odchylek a tvorbě modelu.
- Vytvoření metodiky využitelné v praxi i ve výuce.

Zdroje:

REMONDINO, Fabio. Reality-based 3D documentation of natural and cultural heritage sites. *Applied Geomatics*. 2011, roč. 3, č. 3, s. 85–100. ISSN 1866-9285. Dostupné z: https://link.springer.com/article/10.1007/s12518-011-0064-x?utm_source=chatgpt.com

REMONDINO, Fabio. 3D surveying and modelling of complex architectural sites. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2011. Dostupné z: https://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/5-W16/pdf/remondino.pdf?utm_source=chatgpt.com

MOURTZIS, Dimitris, et al. A Literature Review of the Challenges and Opportunities of the Transition from Industry 4.0 to Society 5.0. *Energies*. 2021, roč. 14, č. 7. Dostupné z: https://www.mdpi.com/1996-1073/14/7/1829?utm_source=chatgpt.com

MOURTZIS, Dimitris, et al. Advances in Adaptive Scheduling in Industry 4.0. *Procedia CIRP*. 2020, roč. 93, s. 676–681. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827120307994?utm_source=chatgpt.com

LEACH, Richard K. *Basics of Precision Engineering*. Boca Raton: CRC Press, 2011. ISBN 978-1-4200-8301-5. Dostupné z: https://www.routledge.com/Basics-of-Precision-Engineering/Leach/p/book/9781420083015?utm_source=chatgpt.com

LEACH, Richard K. Basics of Precision Engineering. Nottingham Repository [online]. 2011 [cit. 2026-05-23]. Dostupné z: https://repository.nottingham.ac.uk/32938?utm_source=chatgpt.com

Digital twins in Industry 4.0. Semantic Scholar [online]. [cit. 2026-05-23]. Dostupné z: https://www.semanticscholar.org/paper/Digital-Twin-Driven-Smart-Manufacturing-Tao-Zhang/?utm_source=chatgpt.com

Towards Intelligent Digital Heritage: From Latest Digital Survey Techniques to Advanced 3D Data Analytics and Use. *ISPRS Annals*. 2020. Dostupné z: https://isprs-annals.copernicus.org/articles/V-2-2020/33/2020/?utm_source=chatgpt.com

Industry 4.0 and smart manufacturing. *International Journal of Production Research*. 2019. Dostupné z: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207543.2018.1444806?utm_source=chatgpt.com

The Road to Industry 4.0 and Beyond. *Procedia Manufacturing*. 2017. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978917304067?utm_source=chatgpt.com