



STŘEDOŠKOLSKÁ TECHNIKA 2022

SETKÁNÍ A PREZENTACE PRACÍ STŘEDOŠKOLSKÝCH STUDENTŮ NA ČVUT

Tvarová optimalizace ramena lopatového nakladače

Josef Zalabák

**Střední průmyslová škola strojnická a Střední odborná škola profesora
Švejcara, Plzeň, Klatovská 109**

STŘEDNÍ PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA STROJNICKÁ
A STŘEDNÍ ODBORNÁ ŠKOLA PROFESORA
ŠVEJCARA, PLZEŇ

**Tvarová optimalizace ramena lopatového
nakladače**

MATURITNÍ PRÁCE

Josef Zalabák

Obor vzdělání 23-41-M/01 Strojírenství, třída: 4STB

Vedoucí práce: Ing. Josef Gruber.

Plzeň 2022

Prohlašuji, že jsem maturitní práci vypracoval/a samostatně s použitím uvedené literatury a zdrojů informací.

V Plzni, 25. března 2022

.....
vlastnoruční podpis

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat především vedoucímu práce Ing. Josefu Gruberovi za jeho přístup, snahu, podporu, trpělivost při vypracování této práce, protože bez jeho vedení by tato práce nikdy nebyla vytvořena.

OBSAH

1	ÚVOD.....	2
2	STAVEBNÍ NAKLADAČ.....	3
2.1	HISTORIE	3
2.2	ROZDĚLENÍ NAKLADAČŮ	3
3	KONSTRUKCE NAKLADAČE.....	5
3.1	DRUHY ZAŘÍZENÍ NAKLADAČE.....	5
4	KINEMATIKA VÝLOŽNÍKU	6
4.1	P-KINEMATIKA.....	6
4.2	Z-KINEMATIKA.....	6
4.3	TP-KINEMATIKA	6
5	POSTUP ŘEŠENÍ VÝLOŽNÍKU NAKLADAČE POMOCÍ TVAROVÉ OPTIMALIZACE	7
5.1	MĚŘENÍ ROZMĚRŮ, FOTODOKUMENTACE A SBĚR PODKLADŮ	7
5.2	SCHÉMA A ZJIŠTĚNÍ ZATÍŽENÍ NA VÝLOŽNÍK	8
5.2.1	ForceEffect a ForceEffect Motion.....	8
5.3	MODEL VÝLOŽNÍKU POMOCÍ AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2021	8
5.4	TVAROVÁ OPTIMALIZACE RAMENE VÝLOŽNÍKU.....	9
5.4.1	Tvarová optimalizace – MKP (metoda konečných prvků).....	9
5.5	POROVNÁNÍ PŮVODNÍHO A VYGENEROVANÉHO TVARU SOUČÁSTI	10
5.6	KONTROLA PEVNOSTNÍ ANALÝZOU	11
5.6.1	Konvergence výsledků analýzy	11
5.7	KONTROLA TVAROVÉ STABILITY RAMENE.....	12
5.8	3D TISK SOUČÁSTI V MĚŘÍTKU	13
	ZÁVĚR	14
	RESUMÉ.....	15
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	16
	SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK, GRAFŮ A DIAGRAMŮ	17
	PŘÍLOHY	I

1 ÚVOD

Stavební stroje se dnes využívají u většiny stavebních projektů a firem na zpracovávání všemožných materiálů. Jejich používání zastupuje obtížnou práci vykonávanou v minulosti lidmi například při stavbách domů, úpravách terénu nebo při stavbě silniční infrastruktury. Spojení spalovacích motorů, nebo v dnešních dobách elektromotorů a hydraulických zařízení snižuje náklady a potřebný čas na vykonání požadované práce.

Nakladač, nebo také lopatový nakladač je typ stavebního stroje, určený převážně k nakládání sypkých materiálů a manipulaci s nimi na krátké vzdálenosti, což ve stavebnictví činí více jak 80 % činností. V praxi se používají nakladače od 2 do 200 tun. Mezi nejmenší nakladače patří čelní nakladače řízené smykem neboli kompaktní nakladače, používané například při pracích vykonávaných v malých prostorech, ty se vyznačují malými rozměry a dobrou ovladatelností. Do nakladačů také patří čelní nakladače, nakladače stavěné na bázi traktorů – traktorové nakladače, které jsou velmi univerzální díky čelnímu výložníku a zadnímu rypadlovému ramenu.

Nakládací lopata je hlavní součástí pracovního zařízení. Objem lopaty je důležitý parametr a závisí na výkonu stroje a jeho hmotnosti a má velký dopad na efektivitu stroje. Většina výrobců uvádí jako hlavní parametr statické překlopné zatížení, což je maximální hmotnost nákladu stroje. Při překročení této hmotnosti ztratí zadní kola kontakt s povrchem, což může vést až k převrácení a poškození stroje. Právě kvůli tomuto důvodu je pro každou práci nutno zvolit ideální rozměr a typ nakladače.

Práce se zabývá výložníkem kolového nakladače typu WL38 od výrobce Wacker Neuson. Budou v ní použity rozměry a parametry, které vychází ze skutečné konstrukce stroje. Cílem práce bylo seznámení s tvarovou optimalizací součástí v programu Autodesk Inventor Professional 2021 (dále AIP), její pevnostní analýzou a okrajově s kontrolou tvarové stability v programu Autodesk Fusion 360. Dalším cílem byl 3D tisk příkladu optimalizované součásti.



Obrázek 1 – nakladač WL 38
Autor obrázku – Josef Zalabák

2 STAVEBNÍ NAKLADAČ

Stavební nakladač WL38 je stroj pracující primárně v přetržitých provozech. Stavební nakladače řady WL jsou stavěné k manipulaci s materiálem, který nabírají různými způsoby konstrukce, jež se liší podle velikostí stroje a jeho hlavním použitím. [1] [2]

2.1 HISTORIE

V roce 1911 ve švédském Eskilstune firma Munktel Sweden (předchůdce Volvo) vyrábějící stroje pro zemědělství zkonstruovala první nakladač. Otočili směr jízdy zemědělského traktoru a před původně zadní nápravu umístili výložníkové zařízení ovládané lanovým mechanismem (pozdější typy již hydraulicky). Stroj se řídil natáčením původně přední nápravy, která se nyní nacházela vzadu. V 40. a 50. letech se z nich vytvořily samostatné stavební stroje. Původně byly řízeny zadní nápravou nebo oběma nápravami stroje a v pozdějších letech se začaly zavádět stroje řízené kloubovým rámem. Pohon zajišťují převážně výkonné vznětové motory, ale v určitých provozech se začaly v posledních letech zavádět stroje s elektrickým motorem, do jejichž vývoje se zapojila spousta světových výrobců. [1] [2]

2.2 ROZDĚLENÍ NAKLADAČŮ

Rozdělují se do dvou největších skupin na čelní a otočné nakladače. Otočné nakladače jsou takové nakladače, jejichž výložník je otočný. Nabírání probíhá čelně, ale vyložení lopaty nastává ve většině případů po natočení do 90° od osy stroje nebo na opačnou stranu. Čelní nakladače jsou takové, u kterých se lopata zvedá a spouští ve směru pohybu stroje.

Další rozdělení nakladačů se odvíjí od způsobu řízení podvozku. Rozdělují se na nakladače řízené smykem, kloubovým rámem a nápravovým řízením. Smykové řízení pracuje na principu rozdílnosti otáček jednotlivých kol. Stroje tohoto typu se vyrábějí do hmotnosti 6 t. Kloubové řízení pracuje s natáčením předního rámu oproti zadnímu o 35–45°. Výhodou těchto nakladačů je možnost ohybu rámu vůči nerovnému povrchu, čímž se zlepší záběr kol stroje. Nakladače s nápravovým řízením se uplatňovaly převážně v minulosti a dnešní



Obrázek 2 – druhy nakladačů
Autor obrázku – Josef Zalabák

použití je spíše vzácné. Jejich výhodou je menší poloměr otočení, ale jsou konstrukčně komplikovanější a méně spolehlivé. [1] [2] [4]

3 KONSTRUKCE NAKLADAČE

U kloubového nakladače tvoří pojezd dva tuhé samostatné rámy spojené středovým čepem umožňující natočení podélných os stroje až o 45° a navíc i příčný výkyv náprav o 15°. Zároveň tvoří základní nosnou strukturu stroje. Přední rám nese nabírací lopatu s výložníkem. Lopata je k výložníku připevněna čepem. Pod výložníkem se nachází přední náprava. Zadní rám obsahuje pohonnou jednotku stroje, převodovka a hydrogenerátory, které společně slouží jako protiváha. Kabina je umístěna v polovině vzdálenosti obou náprav. [3]



Obrázek 3 – popis nakladače;

1 - přední rám, 2 - zadní rám, 3 - výložník, 4 - nabírací lopata, 5 - čep uložení výložníku v rámu, 6 - přední náprava, 7 - zadní náprava, 8 - prostor uložení motorové jednotky, 9 - kabina, 10 - kloubové spojení rámu (centrální kloubový čep), 11 - prostor uložení hydroměniče, převodovky a hydraulického zařízení, 12 - hydraulický píst a válec zavírání lopaty [3]

3.1 DRUHY ZAŘÍZENÍ NAKLADAČE

Nakladače jsou kromě jiného i univerzální stroje, ke kterým se mohou připojit různé druhy nářadí na jejich výložné zařízení. Podle požadované práce se zvolí nejvhodnější nářadí. Používají se například nástroje na manipulaci s paletami, zemědělské nástroje, nástroje na odklízení sněhu a těžarské nástroje [1]



Obrázek 4 – příklady druhů zařízení nakladače [8]

4 KINEMATIKA VÝLOŽNÍKU

V praxi existuje několik typů výložníků, které se liší kinematickou strukturou. Způsob uspořádání závisí na konkrétním použití stroje. Každý jednotlivý druh disponuje různými vlastnostmi a výhodami jako jsou: vedení naloženého materiálu, velikost vylamovací a zvedací síly, stabilitu a výšpnou výšku lopaty stroje. [3]

4.1 P-KINEMATIKA

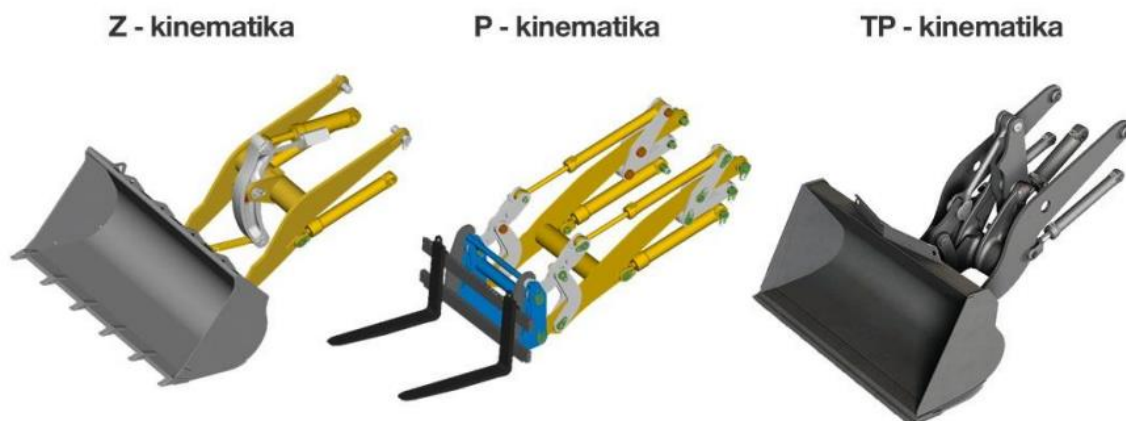
Paralelní kinematika je vhodná pro přesnou manipulaci a ukládání břemen ve výškách: například při manipulaci s paletami pomocí vidlí. Výhodou je dosažení vyššího zdvihu a tato kinematika neobsahuje klopné síly při zavírání lopaty. [3]

4.2 Z-KINEMATIKA

Nejpoužívanější typ, který se uplatňuje především ve stavebnictví, při manipulaci se sypkými materiály. Síla vytvořená hlavním hydraulickým pístem usazeným uprostřed výložníku je přenášena táhly, které připomínají Z. Vlastnostmi jsou velká síla při zavírání, ale zároveň menší síla při otevírání lopaty, které způsobuje malé otevření při nejvyšším bodu zdvihu. [3]

4.3 TP-KINEMATIKA

Kombinuje spojení výhod Z a P kinematiky. Lopata je vedena po celou dobu zdvihu paralelně a zároveň má velkou vylamovací a zdvihovou sílu. [3]



Obrázek 5 – druhy kinematik [7]

5 POSTUP ŘEŠENÍ VÝLOŽNÍKU NAKLADAČE POMOCÍ TVAROVÉ OPTIMALIZACE

5.1 MĚŘENÍ ROZMĚRŮ, FOTODOKUMENTACE A SBĚR PODKLADŮ

Prvním krokem k realizaci řešení výložníku bylo měření a fotodokumentace na centrále Wacker Neuson na adrese U Plynárny 1456/103 v Praze 10, jehož součástí byl i test stroje v praxi. Měření probíhalo v servisních dílnách firmy standardními metodami pomocí svinovacích metrů a posuvného měřítka a naměřené hodnoty byly u návrhu řešeného modelu tedy pouze přibližné. Dále byla pořízena podrobná fotodokumentace stroje především výložníku a jeho částí, která dále sloužila při vytváření schémat a modelu výložníku. V práci se vyskytují i informace uvedené v katalogu kolových nakladačů modelové řady WL. V příloze 1 se nachází ukázka fotodokumentace a v příloze 2 naměřené rozměry výložníku.



Obrázek 6 – fotodokumentace výložníku
Autor obrázku – Josef Zalabák



Obrázek 7 – dílna pobočky
Autor obrázku – Josef Zalabák

5.2 SCHÉMA A ZJIŠTĚNÍ ZATÍŽENÍ NA VÝLOŽNÍK

Díky fotodokumentaci bylo načrtnuto přibližné schéma nakladače. Pomocí tohoto schématu výložníku a obrázku nakladače z katalogu strojů bylo vytvořeno v aplikaci ForceEffect schéma výložníku, v kterém bylo následně vypočítáno zatížení všech částí. Zjištěné síly byly dále použity v řešení výložníku. Dále v aplikaci ForceEffectMotion bylo vytvořeno kinematické schéma a zachycena animace výložníku ke znázornění pohybu a funkce zařízení. Znázornění celkového schématu v příloze 3 a kinematického schématu v příloze 4.

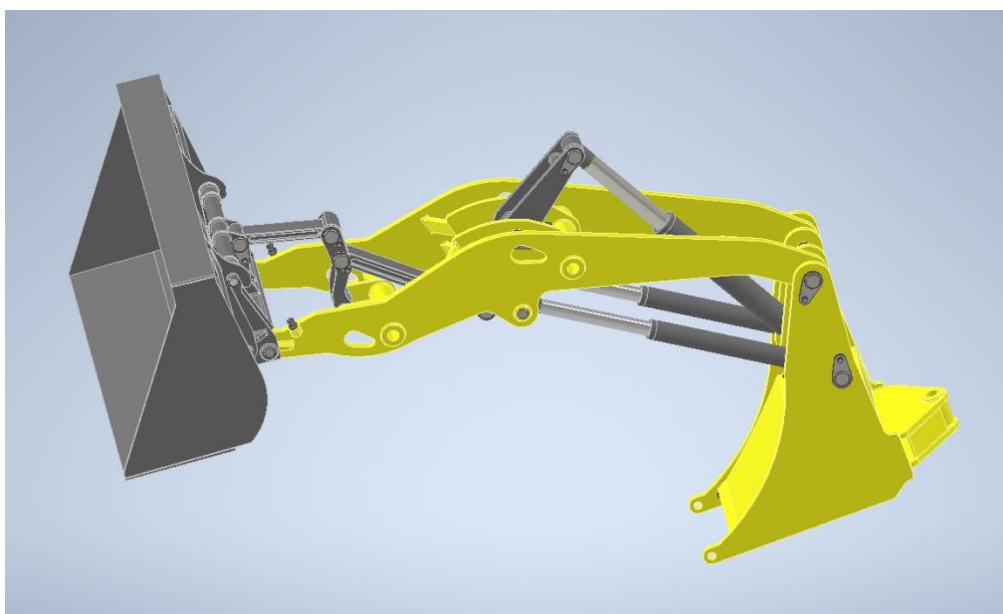
5.2.1 FORCEEFFECT A FORCEEFFECT MOTION

Aplikace vytvořené v děčínském vývojovém centru Autodesku. Obě tyto aplikace jsou zdarma a vytvořeny pro mobilní zařízení Android a iOS. Je to software pro návrhové, konstrukční a animační řešení jednoduchých konstrukčních konceptů. Aplikace ForceEffect umožňuje vytváření, kreslení schémat a definování vazeb statických systémů. Díky diagramům rovnováhy sil řeší zatížení dané vazby nebo součásti. Změny ve schématu jsou okamžitě zaznamenány programem a výsledné síly aktualizovány. ForceEffectMotion pracuje na stejném principu, ale jeho použitelnost spočívá ve vytvoření kinematických schémat a následné simulaci pohybových možností. Dokáže vypočítat rychlosti a zrychlení jednotlivých částí. Jeho výstupem může být i video vytvořeného pohybu schématu. [9]

V dnešních dobách již Autodesk aplikaci nevyvíjí, a proto se stala zastaralou, ale k řešení našeho problému skvěle posloužila. Pro práci v systému Windows byl použit emulátor, v našem případě BlueStacks 5, který vytvořil prostředí Android, se kterým se dalo pracovat na PC ve Windows prostředí. Vytvořená videa a schémata byla přenesena z Androidu do Windows pomocí aplikace RSFileManager

5.3 MODEL VÝLOŽNÍKU POMOCÍ AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2021

Za pomoci schémat, fotodokumentace, naměřených rozměrů a oficiálních údajů byl vytvořen v počítačové aplikaci Autodesk Inventor podrobný 3D model výložníku inspirovaný výložníkem WL 38. Součástí modelu výložníku je i lžice stroje.



Obrázek 8 – 3D model výložníku
Autor obrázku – Josef Zalabák

5.4 TVAROVÁ OPTIMALIZACE RAMENE VÝLOŽNÍKU

Tvarová optimalizace byla prováděna stejně jako modelování v programu Autodesk Inventor Professional 2021. Rameno výložníkového zařízení bylo pro optimalizaci tvaru zjednodušeno a bylo z něj odstraněno několik nepodstatných prvků, které by mohly komplikovat síť konečných prvků a zpomalovat výpočet tvaru součásti (výpočtový model). Při řešení byly použity síly zjištěné v aplikaci Autodesk ForceEffect. Postup práce spočíval v zadání zatížení, vazeb součásti a zadání materiálu. Dále byly ohraničeny plochy, které chceme zachovat z konstrukčních důvodů (místa uložení čepů apod.). Výsledkem byl vygenerovaný tvar, znázorněný sítovým modelem, znázorňující místa, kde na materiál působí napětí způsobené zatěžovanou silou a místa, kde napětí nepůsobí, tudíž je zde materiál nepotřebný. Pomocí vygenerovaného tvaru byl odstraněn přebytečný materiál a součást byla konstrukčně a esteticky upravena.

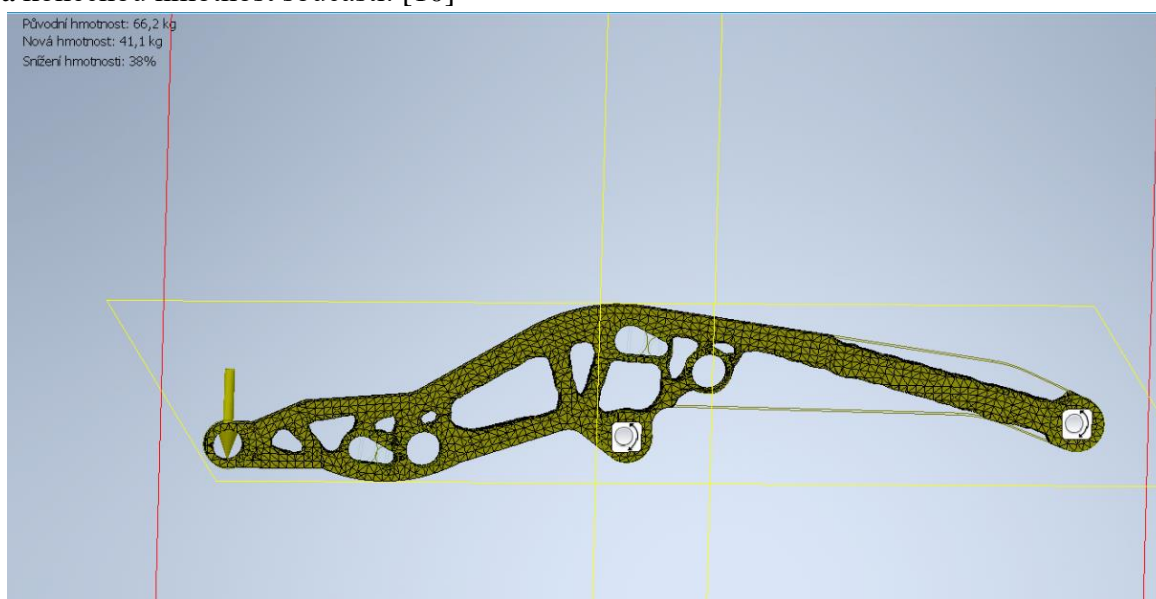
V příloze 5 jsou vyznačeny použité vazby, zatížení a místa možného odlehčení součásti:

- 1, 2 – znemožněn radiální a axiální posuv, umožněn tangenciální pohyb (rotace),
- 3 – zatížení 47 518 N
- 4 – příklad míst s možností odstranění materiálu

V příloze 6 je vyznačeno zachování oblastí, které nechceme změnit z konstrukčních důvodů výložníku.

5.4.1 TVAROVÁ OPTIMALIZACE – MKP (METODA KONEČNÝCH PRVKŮ)

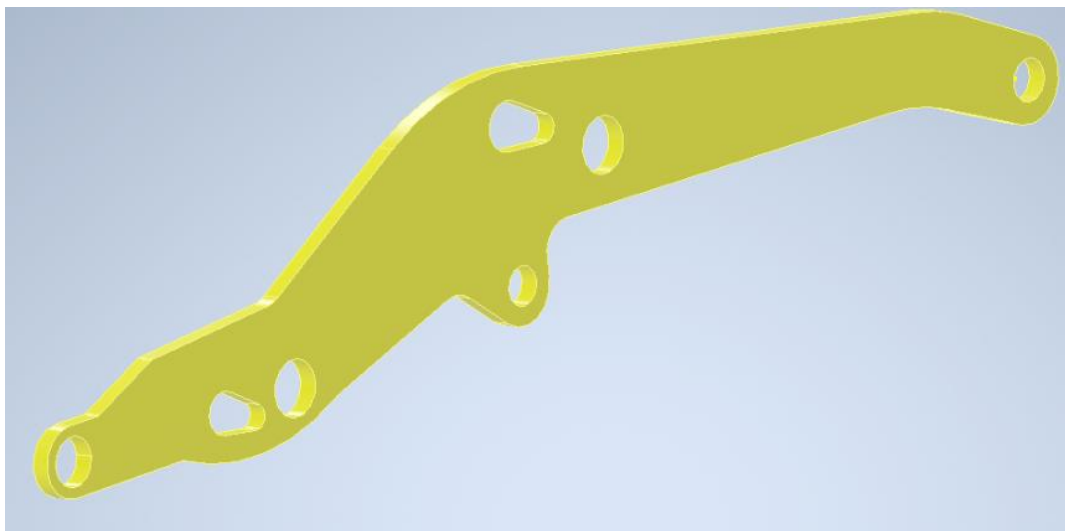
Tvarová optimalizace je jedna z metod generativního navrhování, která pracuje na zadání vstupních požadavků dílu. Následně program sám navrhne různé tvary a vytvoří optimální tvar splňující zadané požadavky. Program vygeneruje síť prvků, se kterou bude dále pracovat. Z posunutí uzlů soustavy vyvodí napětí v materiálu, tento výpočet vychází z Hookova zákona (lineární pružnosti). Na základě toků napětí v součásti ubírá výpočet materiál tam, kde ho není zapotřebí. Díky tomuto programu lze snížit množství materiálu a konečnou hmotnost součásti. [10]



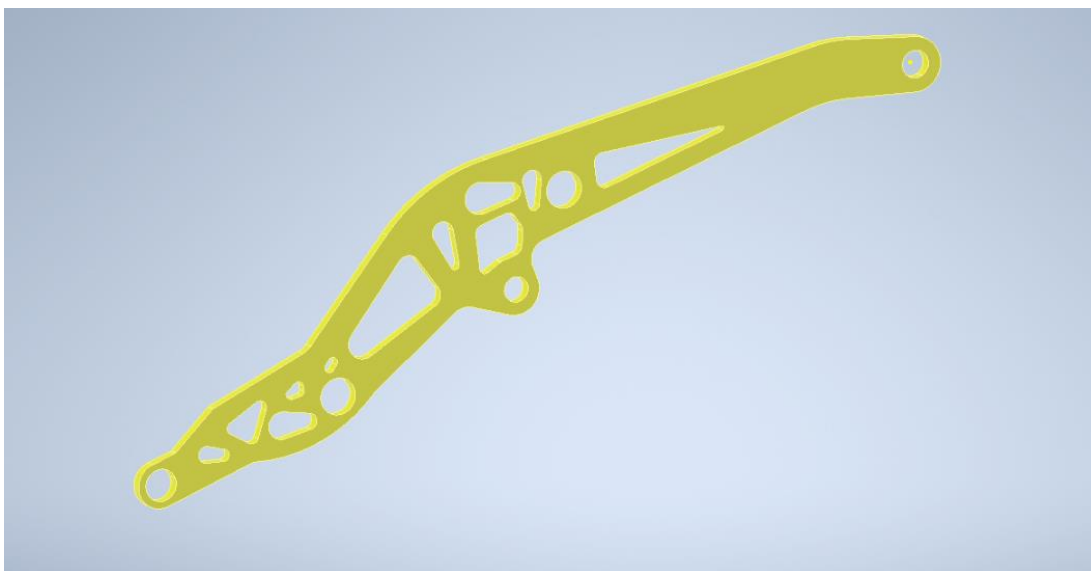
Obrázek 9 – vygenerovaný tvar ramene
Autor obrázku – Josef Zalabák

5.5 POROVNÁNÍ PŮVODNÍHO A VYGENEROVANÉHO TVARU SOUČÁSTI

Tvar, vygenerovaný programem, splňuje stejné pevnostní parametry jako původní součást. Vygenerovaný tvar je ale o 40 % lehčí. To znamená, že původní hmotnost byla 66,2 kg a nová hmotnost po upravení tvaru pomocí generátoru je 54,1 kg. Výsledný výložník je tudíž schopný unést o 24,2 kg větší hmotnost díky úbytku na jeho vlastní váze.



Obrázek 10 – původní rameno
Autor obrázku – Josef Zalabák



Obrázek 11 – rameno po úpravě tvarovou optimalizací
Autor obrázku – Josef Zalabák

5.6 KONTROLA PEVNOSTNÍ ANALÝZOU

Vytvořená součást byla zkontrolována pomocí pevnostní analýzy, která je také součástí programu Autodesk Inventor Professional 2021 (modul Inventor Simulation). Pracuje na principu MKP jako tvarová optimalizace, ale zkoumá tok napětí v součásti, posunutí a přetvoření dané součásti. Znázorňuje napětí, která způsobují zadaná zatížení, a simuluje deformace součásti. Po zkontrolování součásti je patné, že součást splňuje stejné parametry jako ta původní. V příloze 7 pevnostní analýza sestavy ramene nakladače.

V příloze 8 jsou vyznačeny použité vazby, zatížení a hodnoty vypočítané programem:

1, 2 – znemožněn radiální a axiální posuv, umožněn tangenciální pohyb (rotace),

3 – zatížení 47 518 N

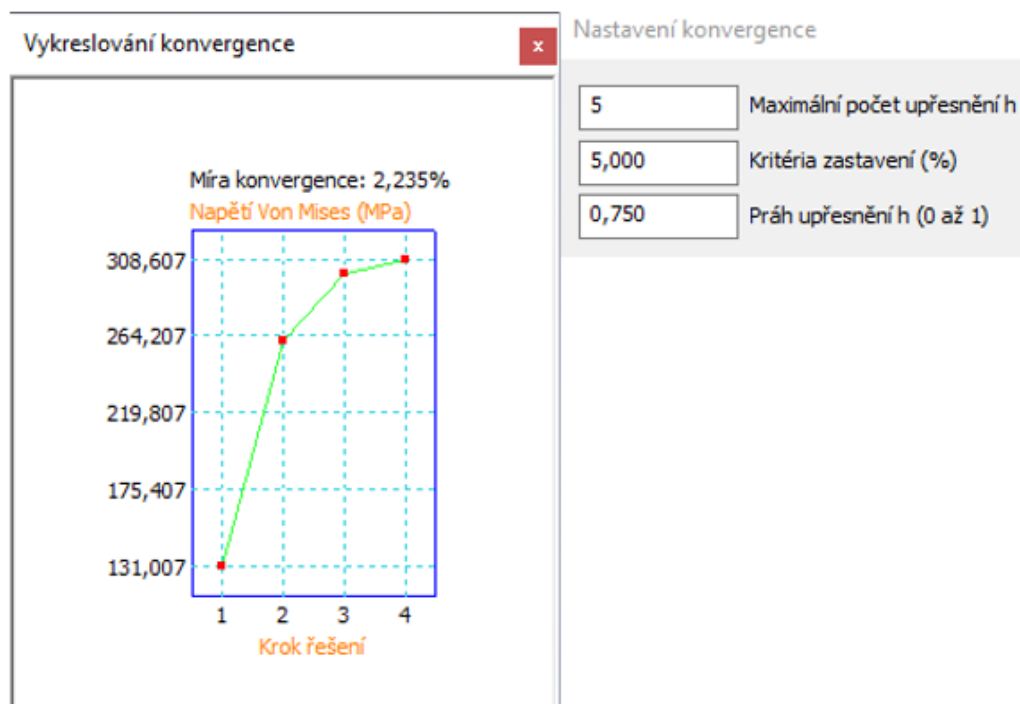
4 – maximální napětí v součásti

V příloze 9 je vyznačeno maximální posunutí

5 – maximální posunutí

5.6.1 KONVERGENCE VÝSLEDKŮ ANALÝZY

Konvergence neboli sblížování se používá při výpočtech o velkém počtu matematických úkonů. V našem případě se uplatnila při pevnostních analýzách, kde pomohla k dosažení přesnějších výsledků. V programu zadáme nastavení konvergence, kde hlavním parametrem je kritérium zastavení, což je procentuální odchylka dvou po sobě jdoucích výsledků pevnostních výpočtů. Při rozdílu dvou po sobě jdoucích výsledků o tuto nastavenou hodnotu se výpočet zastaví a vyhodnotí výsledky. Díky této funkci můžeme provádět i výpočty pomocí diferenciálních rovnic.



Obrázek 12 – ideální graf a nastavení konvergence při pevnostní analýze
Autor obrázku – Josef Zalabák

5.7 KONTROLA TVAROVÉ STABILITY RAMENE

Kromě ověření napětí je u podobné tenkostěnné konstrukce nezbytné ověření tvarové stability, tedy bezpečnosti proti vybočení. Protože program Autodesk Inventor Professional 2021 nemá modul pro tvarovou stabilitu (angl. Linear Buckling Mode), bylo použito programu Autodesk Fusion 360, který v EDU verzi tuto možnost nabízí.

Výsledkem je zjištění bezpečnosti proti vybočení. Namísto zatížení celého svarku byla kontrolována bočnice, styčné body, které spojují díl s ostatními součástmi, byly nahrazeny vazbami (podrobná kontrola tvarové stability celé konstrukce nebyla předmětem této práce, jde pouze o orientační zjištění).

V příloze 10 jsou vyznačeny použité vazby a zatížení:

- 1, 2 – znemožněn radiální a axiální posuv, umožněn tangenciální pohyb (rotace),
- 3, 4 – umožněn radiální pohyb, znemožněn posuv axiální a tangenciální (svařeno s dalšími díly),
- 5 – zatížení o velikosti 47 518 N.

Z výsledků vyplývá, že bezpečnost proti vybočení je téměř 17.

V příloze 11 je navíc vazba č. 6 (Frictionless), která znemožňuje oddálení, ale umožňuje posuv (tzv. ideální vazba).

V tomto případě je bezpečnost proti vybočení vyšší (větší tuhost), téměř 50. V obou případech je rameno dostatečně bezpečné.

5.8 3D TISK SOUČÁSTI V MĚŘÍTKU

Pro tištěný model svarku celého ramene byl zvolen zjednodušený model výpočtový, který dobře charakterizuje řešený problém, a navíc představuje jednodušší tisk. Sestava byla exportována v AIP do grafického formátu STEP, což je univerzální formát pro přenos 3D souborů. Toto řešení bylo zvoleno proto, aby se dala sestava převést na jediné těleso, s nímž bude jednoduchá manipulace, což snadno umožnil program Autodesk Fusion 360 příkazem Combine (Seskupit). Následně bylo toto těleso zmenšeno v měřítku 1:10 a rozděleno na dvě zrcadlové poloviny, jejichž vytištěním a slepením vznikne hotový model. Tyto poloviny byly exportovány do souborů stl. Formát stl je nejčastěji používaným vstupním formátem pro 3D tisk.

Pro tisk byl použit hardware a software firmy Prusa Research, tato společnost vyrábí jedny z nejlepších tiskáren své třídy. Jde o metodu FDM (Fused Deposition Modelling), která spočívá v nanášení vrstev nataveného plastu na tiskovou podložku. Ve škole je k dispozici tiskárna PRUSA i3 Mk3S. Kód pro 3D tisk byl vygenerován v programu PrusaSlicer (slicery jsou programy, které „rozřežou“ stl model do vrstev, ty pak podle kódu vytváří tiskárna). V příloze 12 je rozdělený zjednodušený model v programu Autodesk Fusion 360, v příloze 13 je vygenerovaný tiskový soubor. Výplň modelu byla nastavena na 15 %, což představuje dobrý kompromis mezi pevností, dobou tisku a spotřebou filamentu. U 3D tisku neplatí, že plný objekt je pevnější než model s vnitřní strukturou, naopak vhodně zvolená vnitřní struktura pevnost zvyšuje. Bylo nutno použít podpor pro převislé plochy. Přestože podpory obecně zhoršují povrch dílu, Průšův software je řeší velmi citlivě. S plochami jsou spojené miniaturními můstky, které umožňují velmi snadné odlomení nebo odříznutí. Celková doba tisku je podle programu 3 h 18 min. Jako materiál byl zvolen PLA. Představuje bezproblémový tisk i složitých modelů, nepodléhá smršťování a dobře se lepí. Hůře se opracovává broušením (natavuje se už při 60 °C), ale s postprocessingem zde kromě lepení nebylo počítáno.

ZÁVĚR

Cílem práce byl návrh ramene výložníku nakladače pomocí aplikace metody konečných prvků na tvarovou optimalizaci, pevnostní analýzu statického namáhání a okrajově na kontrolu tvarové stability.

Řešení problému spočívalo v odměření základních rozměrů na reálném stroji a následném vytvoření prvotních schémat. Dále zjištění zatížení, pomocí kterých byl následně vytvořen 3D model výložníku. Následným postupem bylo zadání parametrů do nástrojů pro tvarovou optimalizaci a upravení výsledného tvaru součásti. Konečnou fází byla kontrola statické pevnosti a kontrola tvarové stability součásti. V závěru práce byl proveden 3D tisk modelu vytvořené součásti.

V průběhu práce se vyskytla velká spousta problémů, se kterými bylo třeba se vypořádat, například s programy nepodporovanými systémem Windows, které bylo třeba pomocí emulátoru prostředí Android ovládat. Dalším úskalím byl optimální nastavení tvarové optimalizace a kontrolních výpočtů (dosažení konvergence výsledků).

Díky tvarové optimalizaci byla dosažena úspora hmotnosti v části výložníku, která by se dala využít při aplikaci tohoto postupu na více částí ke snížení hmotnosti stroje nebo zvýšení překlopného zatížení.

RESUMÉ

Práce se na svém začátku zabývá definicí nakladačů, jejich historií a popisem základních částí jejich konstrukce. Dále se zabývá popisem funkčnosti nakladačů při použití přídavných zařízení a rozdělením základních kinematik výložníků.

V druhé části se práce zabývá sběrem podkladů a měřením předlohového stroje. Popisuje použité programy, které byly použity na výpočet zatížení a vytvoření kinematického schématu. Byly důležité pro další části práce. Stručně popisuje vytváření 3D modelu výložníku. V závěru druhé části řeší samotnou tvarovou optimalizaci a následnou kontrolu pomocí pevnostní analýzy a kontroly tvarové stability. V konečné části se zabývá 3D tiskem modelu vytvořených částí.

Výsledkem práce je aplikace prvků generativního navrhování na součást výložníku a jejím cílem je snížení hmotnosti příčníků odebráním přebytečného materiálu v místech vypočítaných programem.

SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

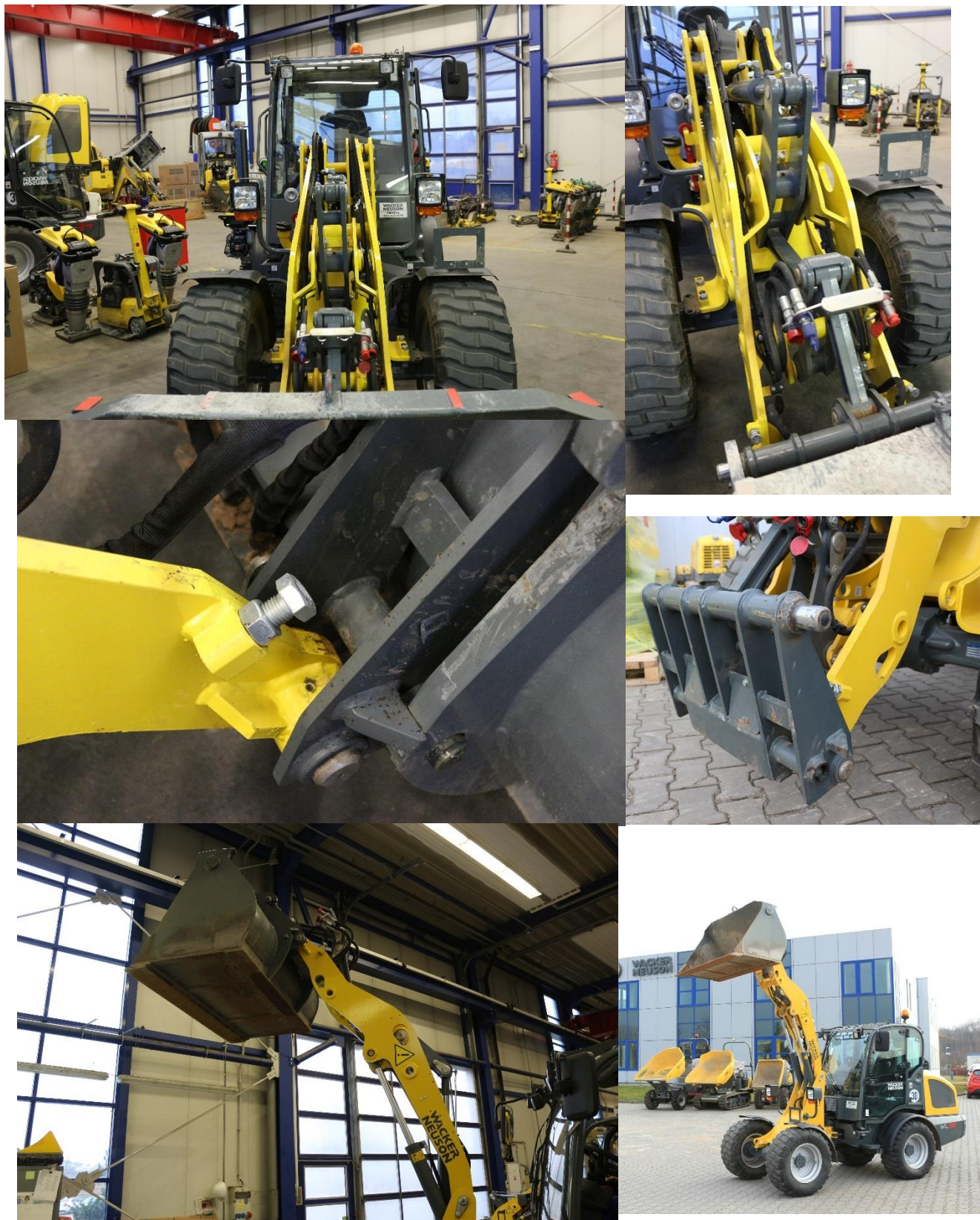
- [1] Nakladač. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, last modified on 17.2. 2022 [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Naklada%C4%8D>
- [2] Loader. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, last modified on 13 March 2022 [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Loader_\(equipment\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Loader_(equipment))
- [3] NEJMAN, Jan. Motorová jednotka stavebního stroje. [online]. Brno, 2017 [cit. 2022-03-17]. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=149860
- [4] GREGOR, Jirí. Návr výložníku nakladače Dapper. [online]. Brno, 2018 [cit. 2022-03-17]. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=54336
- [5] PETERKA, Jaroslav. Kolové naklače nosnosti 700 až 2500 kg- kritická přehledová studie. [online]. Brno, 2012 [cit. 2022-03-17]. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=54336
- [6] Popis nakladače [online] [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=149860
- [7] Druhy kinematik [online] [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=104084
- [8] Druhy zařízení nakladače [online] [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: https://www.wackerneuson.eu/fileadmin/user_upload/downloads/Product_Group_Brochures/wheel-loaders/Wacker-Neuson_BRO_Wheel-Loaders_V09_CZ.pdf
- [9] Autodesk: Mobilní aplikace ForceEffect pro simulace na iPadu. In: Konstrukter [online]. Vydavatelství Nová média, s.r.o. -2019. [cit. 2022-03-17] Dostupné z: <https://www.konstrukter.cz/autodesk-force-effect-simulace-na-ipadu/>
- [10] Generativní navrhování. In: ARKANCE systems [online]. ARKANE Systems CZ - 2022. [cit. 2022-03-17] Dostupné z: <https://www.arkance-systems.cz/reseni/cad-cam-pro-strojirenstvi/generativni-navrhovani>

SEZNAM OBRÁZKŮ

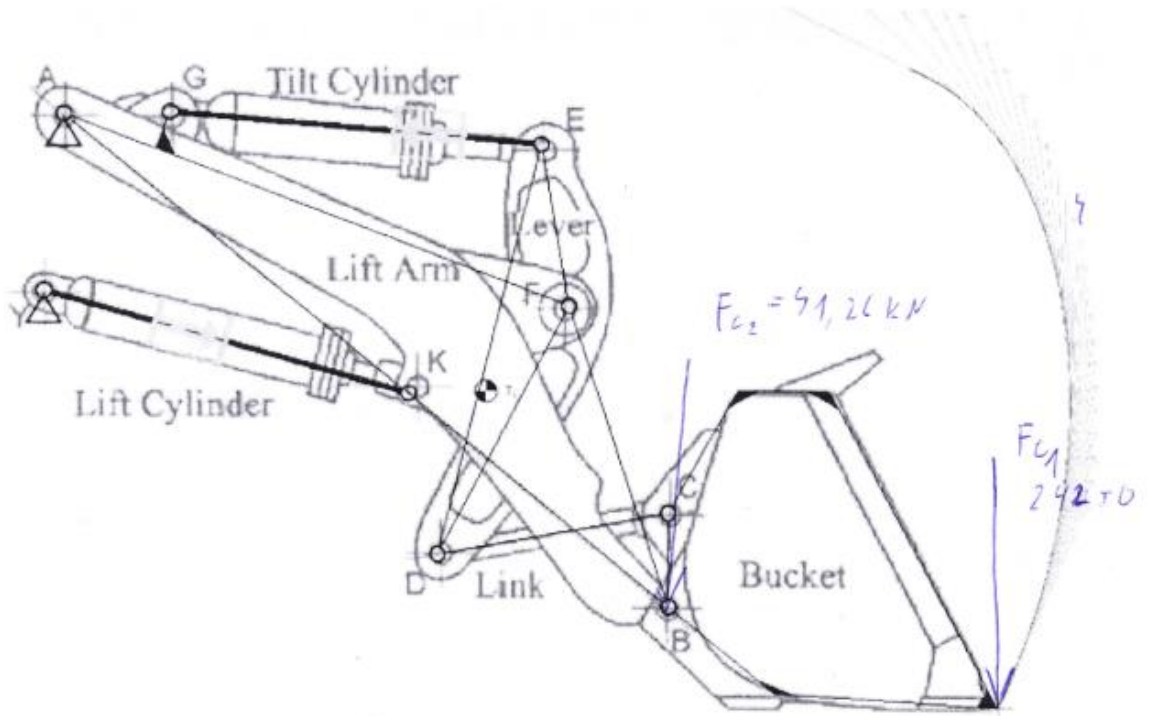
Obrázek 1 – nakladač WL38	2
Obrázek 2 - druhy nakladačů.....	3
Obrázek 3 – popis nakladače	4
Obrázek 4 – příklady druhů zařízení nakladače	4
Obrázek 5 - druhy kinematik	5
Obrázek 6 - fotodokumentace výložníku.....	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 7 - dílna pobočky.....	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 8 - 3D model výložníku	7
Obrázek 9 - vygenerovaný tvar příčnicku	8
Obrázek 10 - původní příčnick.....	9
Obrázek 11 - příčnick po úpravě tvarovou optimalizací	9
Obrázek 12 -ideální graf a nastavení konvergence při pevnostní analýze	10

PŘÍLOHY

Příloha 1: Ukázka fotodokumentace



Příloha 2: naměřené hodnoty výložníku

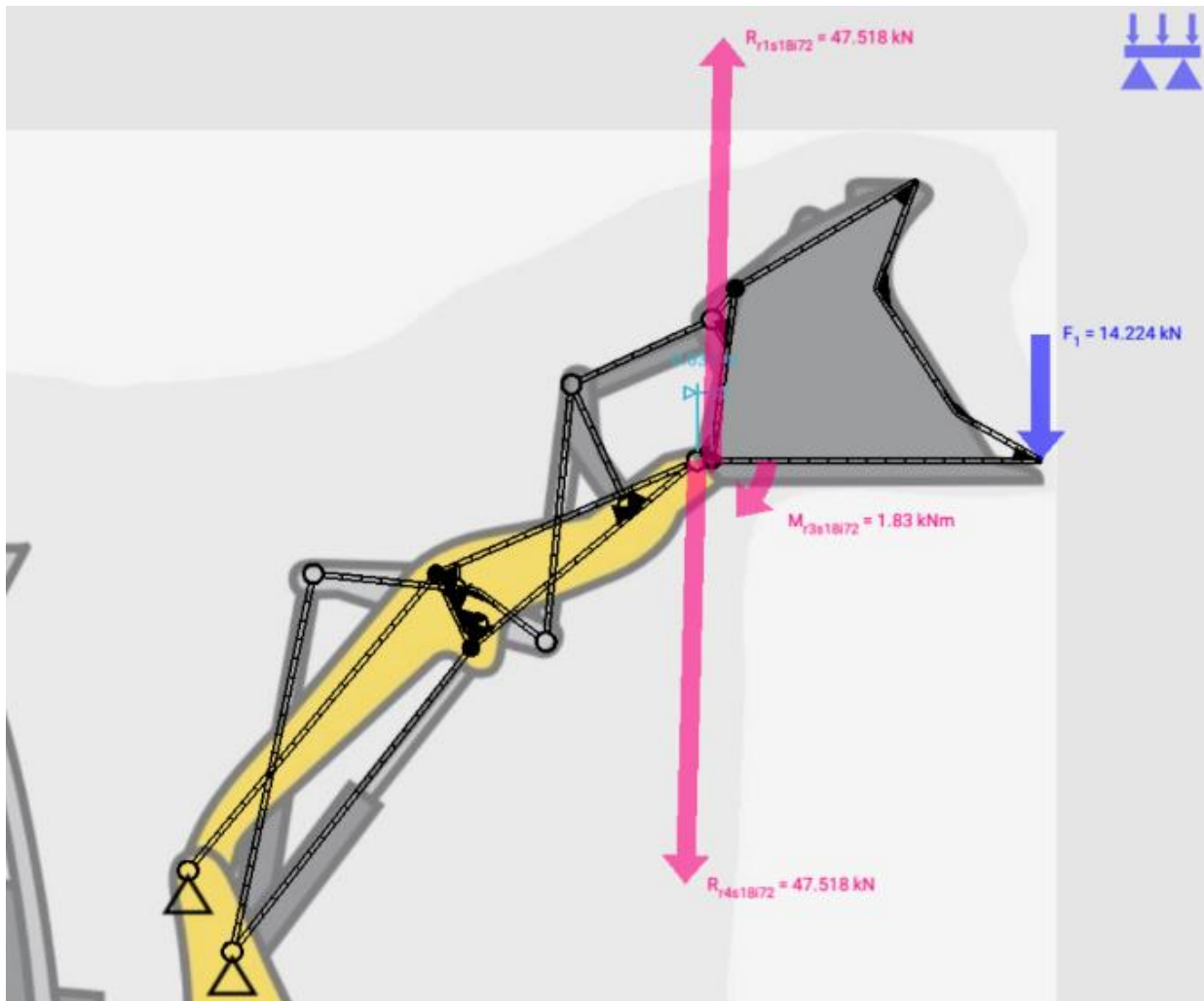


$A-B = 1900 \text{ mm}$
 $B-C = 350 \text{ mm}$
 $C-D = 850 \text{ mm}$
 $D-E = 550 \text{ mm} \sim 700$
 $E-F = 350 \text{ mm}$
 $E-G = 950 \text{ mm}$
 $K-F = 800 \text{ mm}$
 $A-K = 400 \text{ mm} \sim 1000$
 $D-F = 700 \text{ mm} \sim 350$

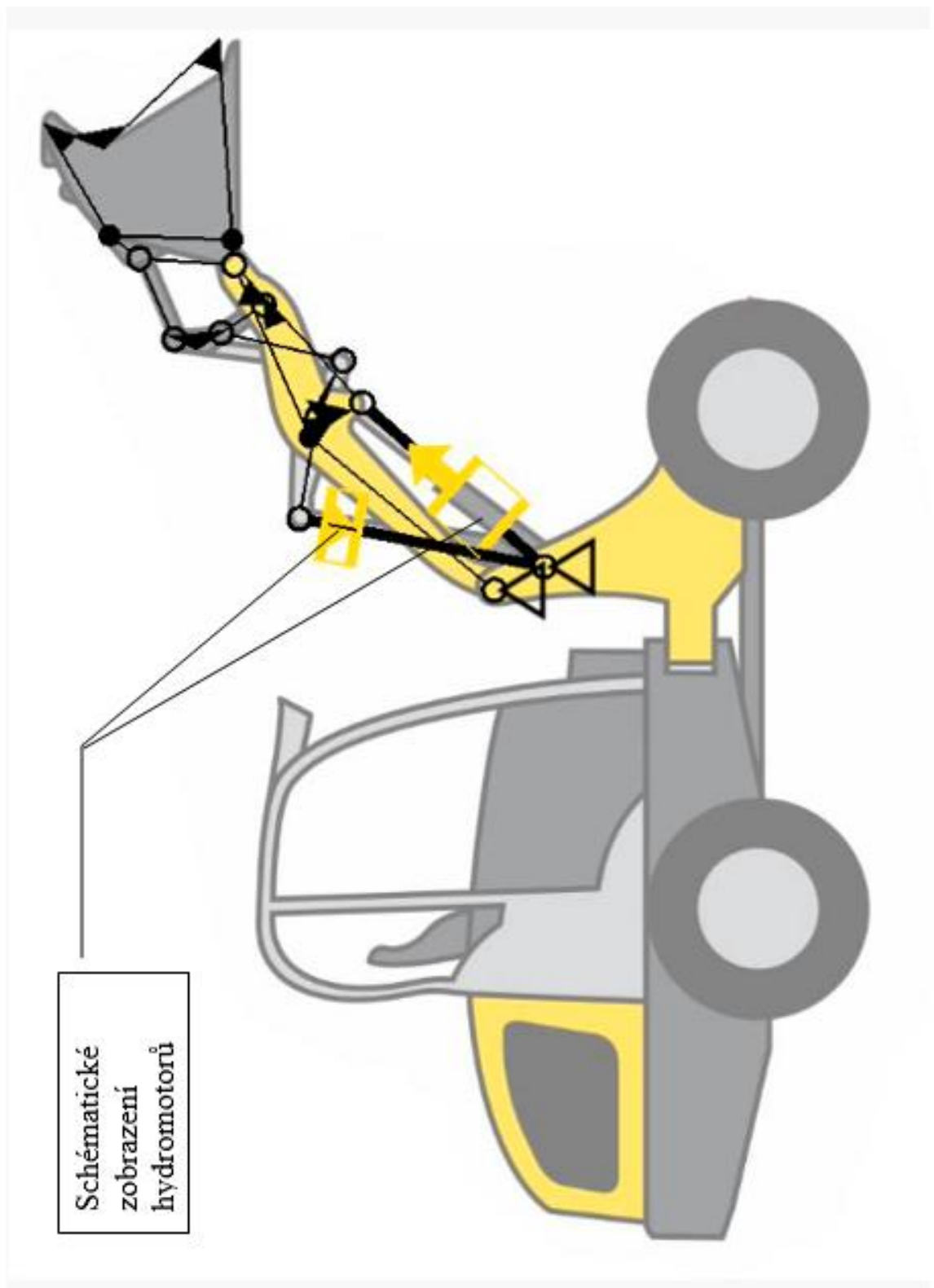
ϕ -typi
 $A-40$
 $b-35$
 $c-45$
 $D-45$
 $E-38$
 $F-56$
 $b-40$
 $K-70$
 $?-80$

lift arm - $z=25$
 - rhybe 15-20 mm

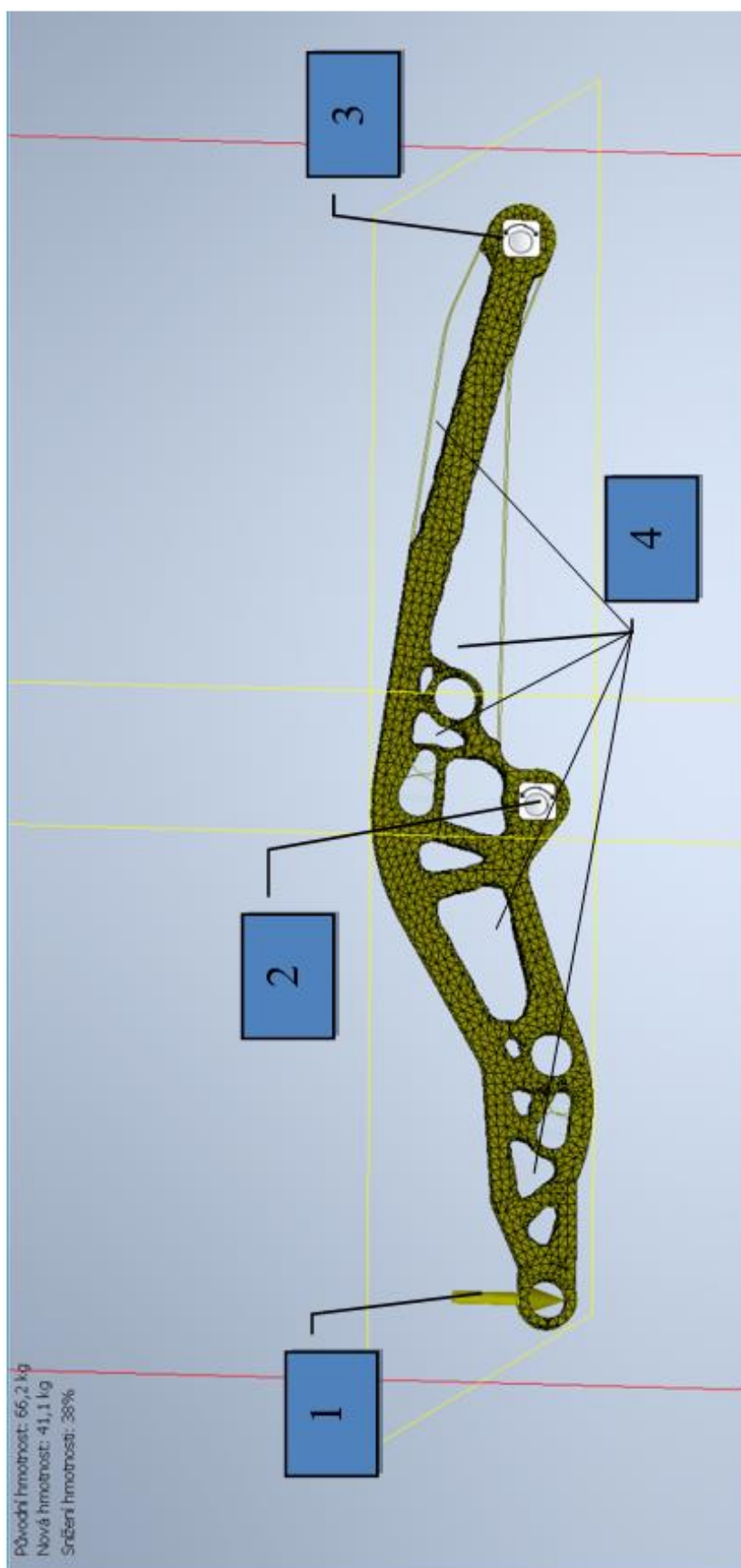
Příloha 3: Schéma výložníku s vypočítanými silami



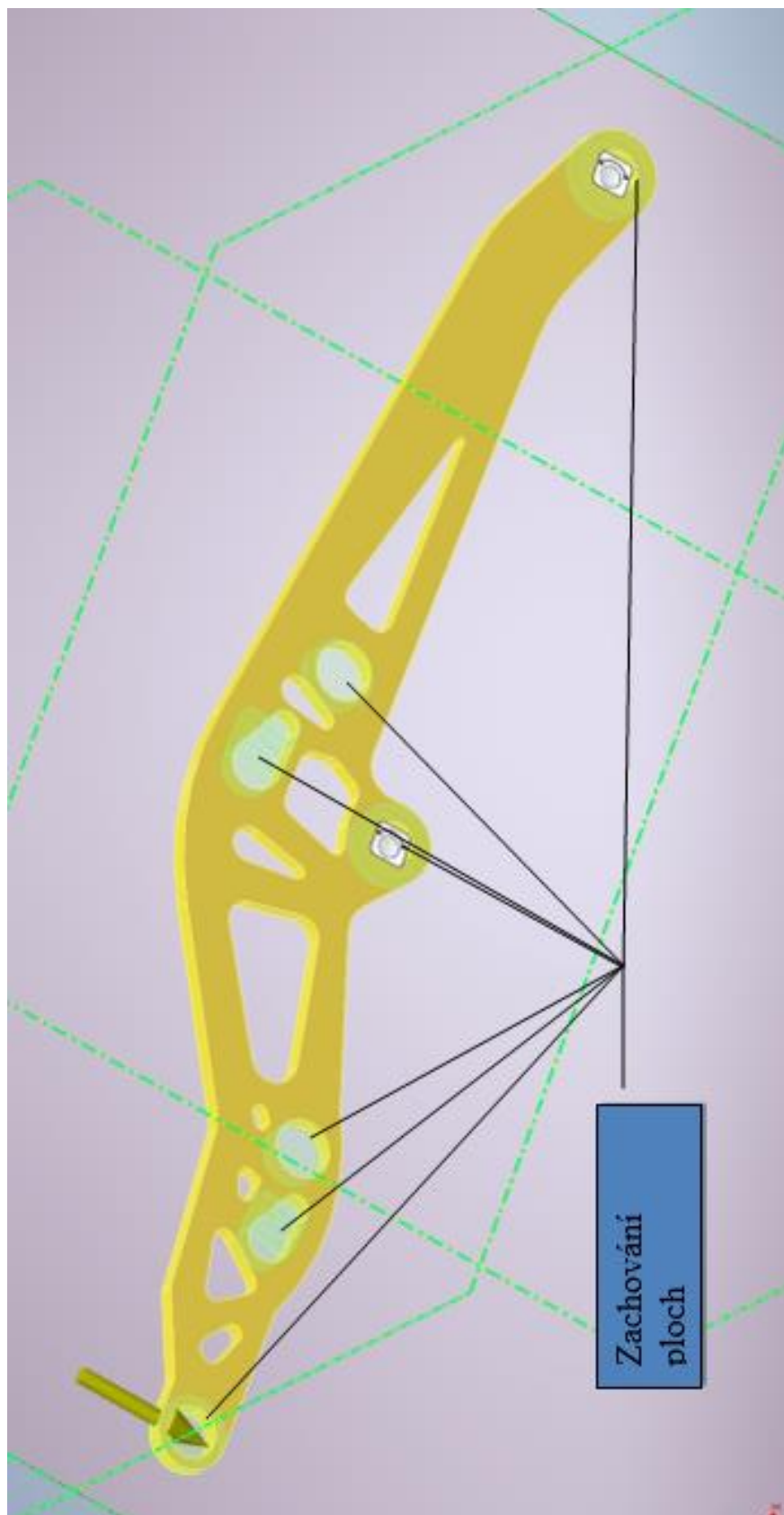
Příloha 4: Kinematické schéma výložníku



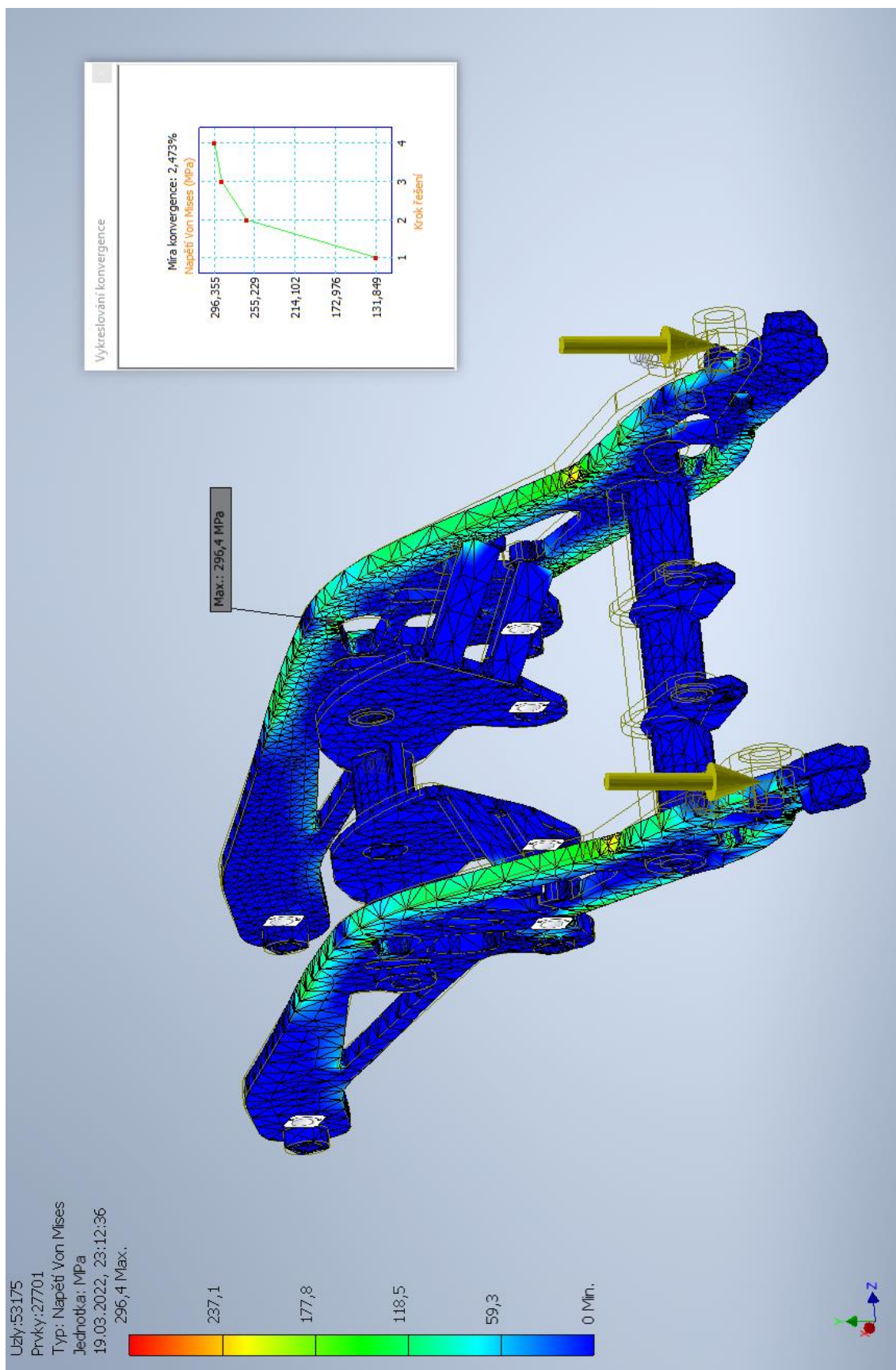
Příloha 5: Tvarová optimalizace ramene



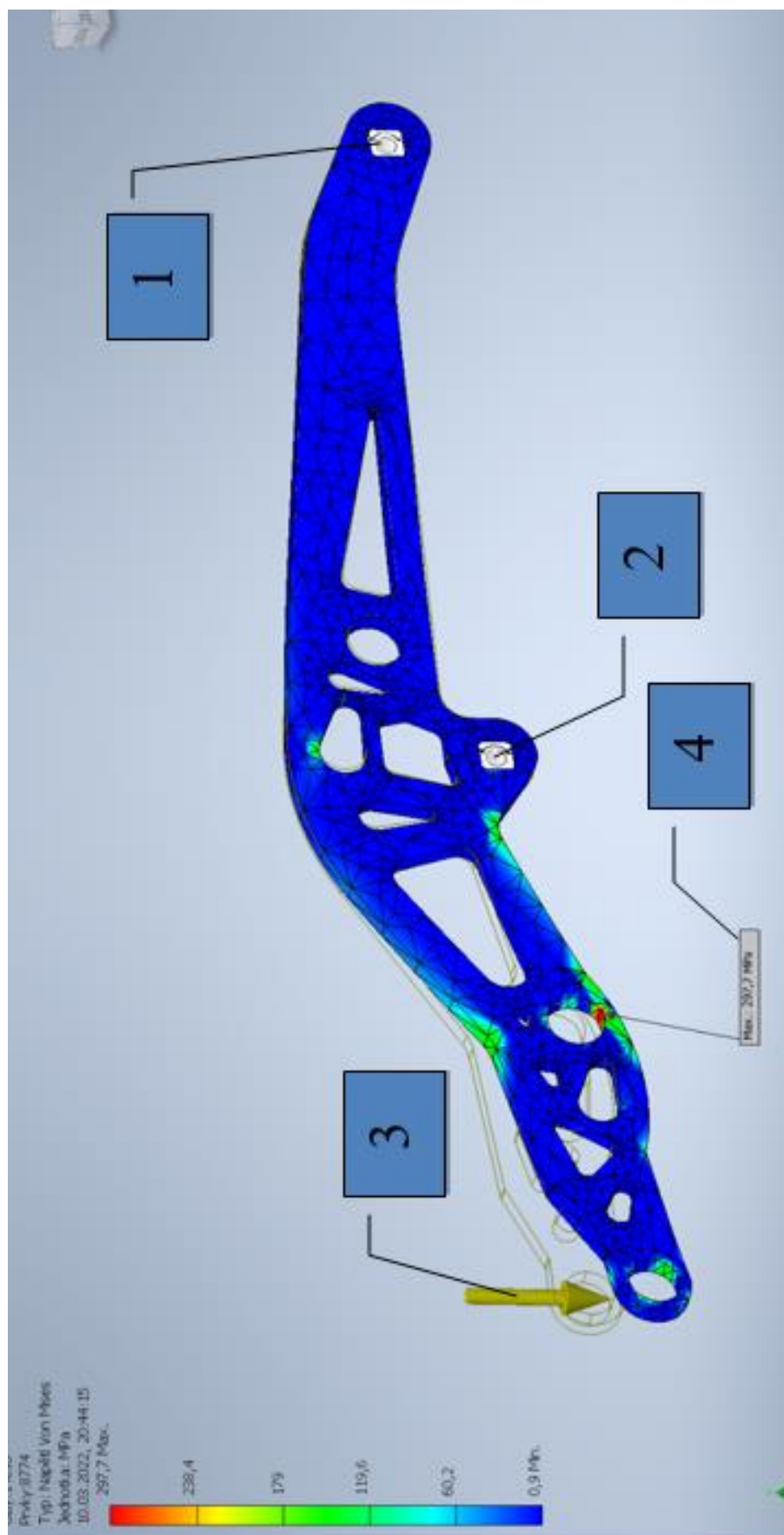
Příloha 6: Vyznačení zachovaných oblastí



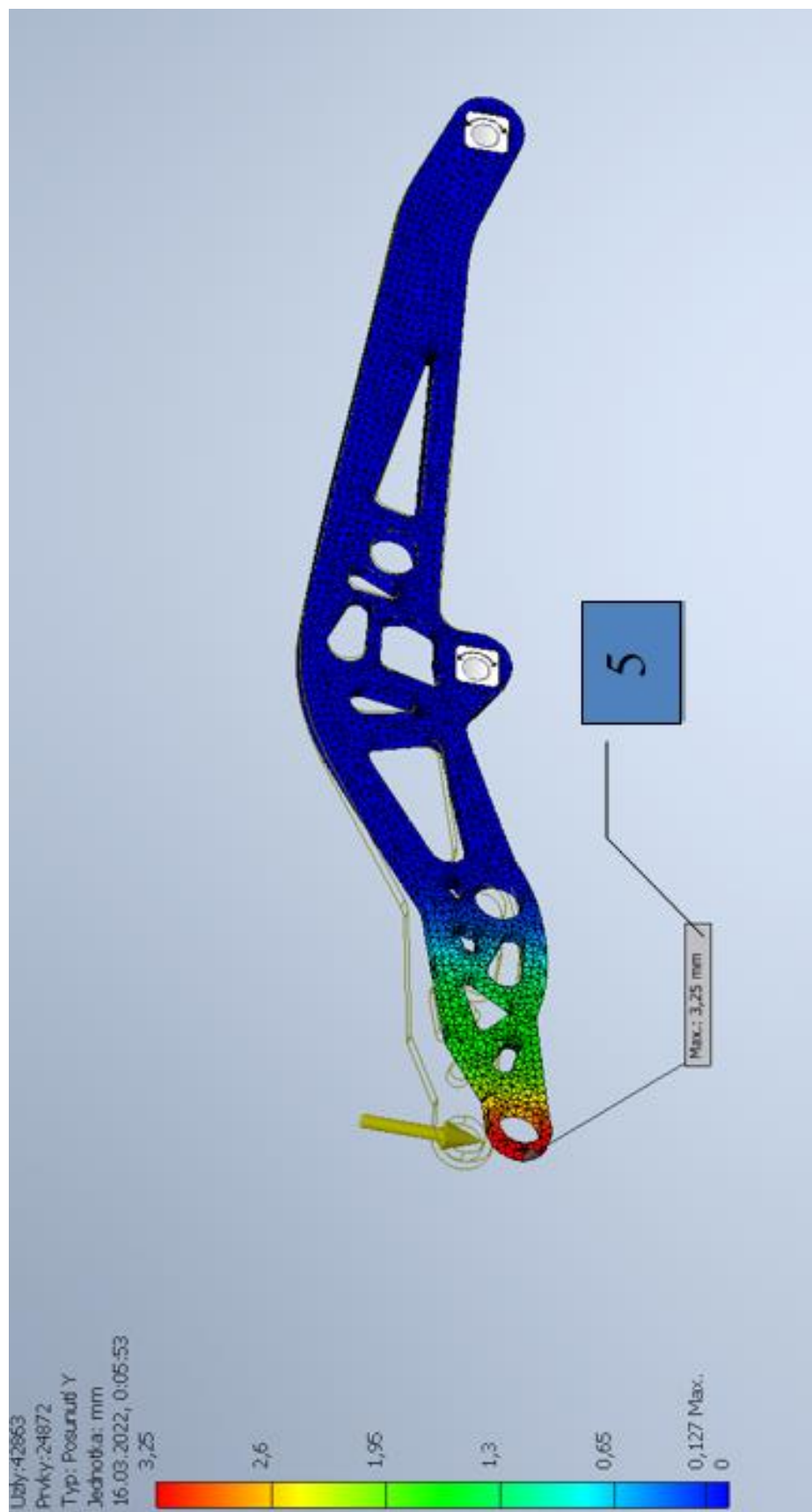
Příloha 7: Pevnostní analýza sestavy ramene nakladače s grafem konvergence výpočtu



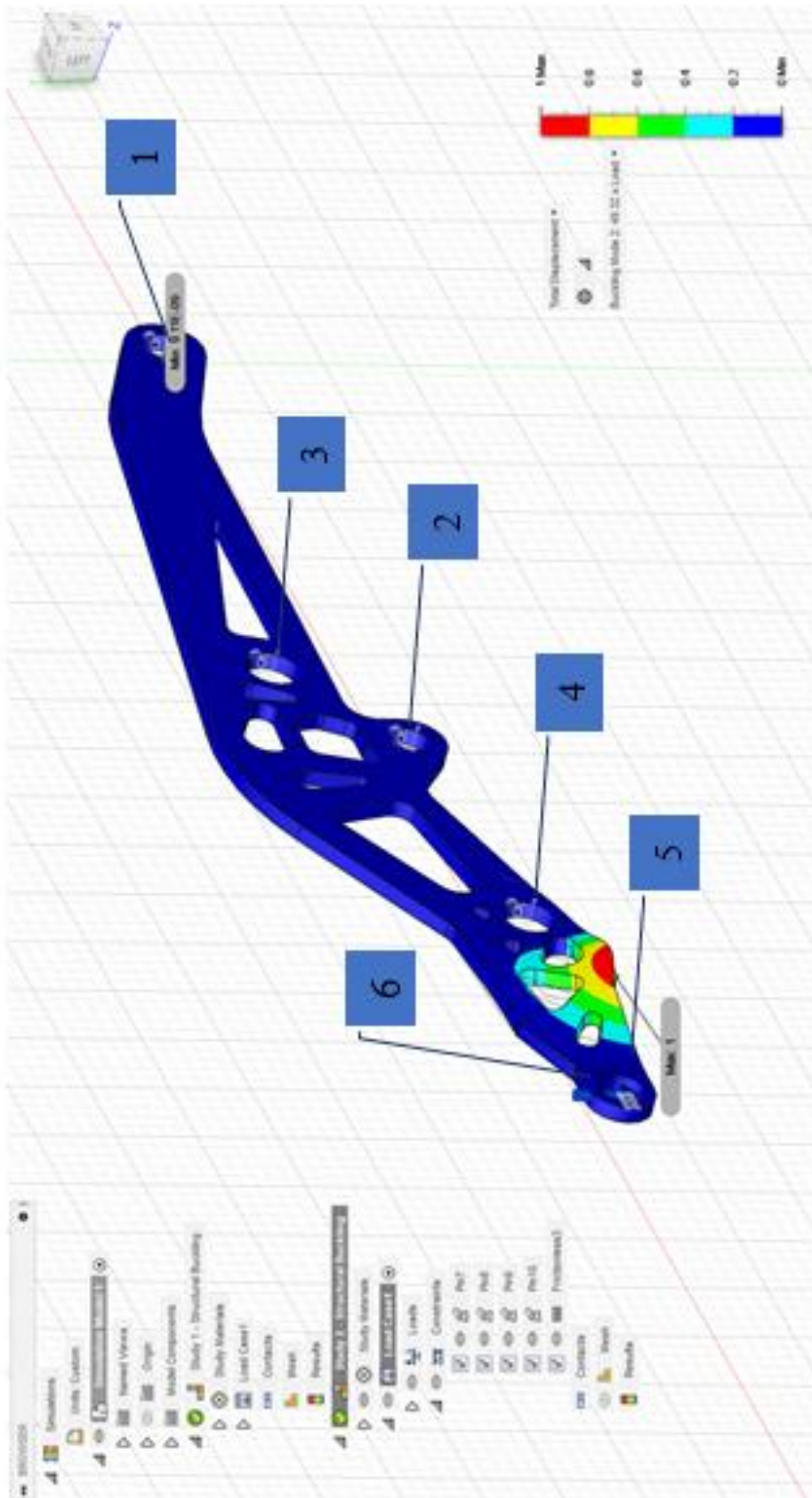
Příloha 8: Pevnostní analýza odlehčeného ramene



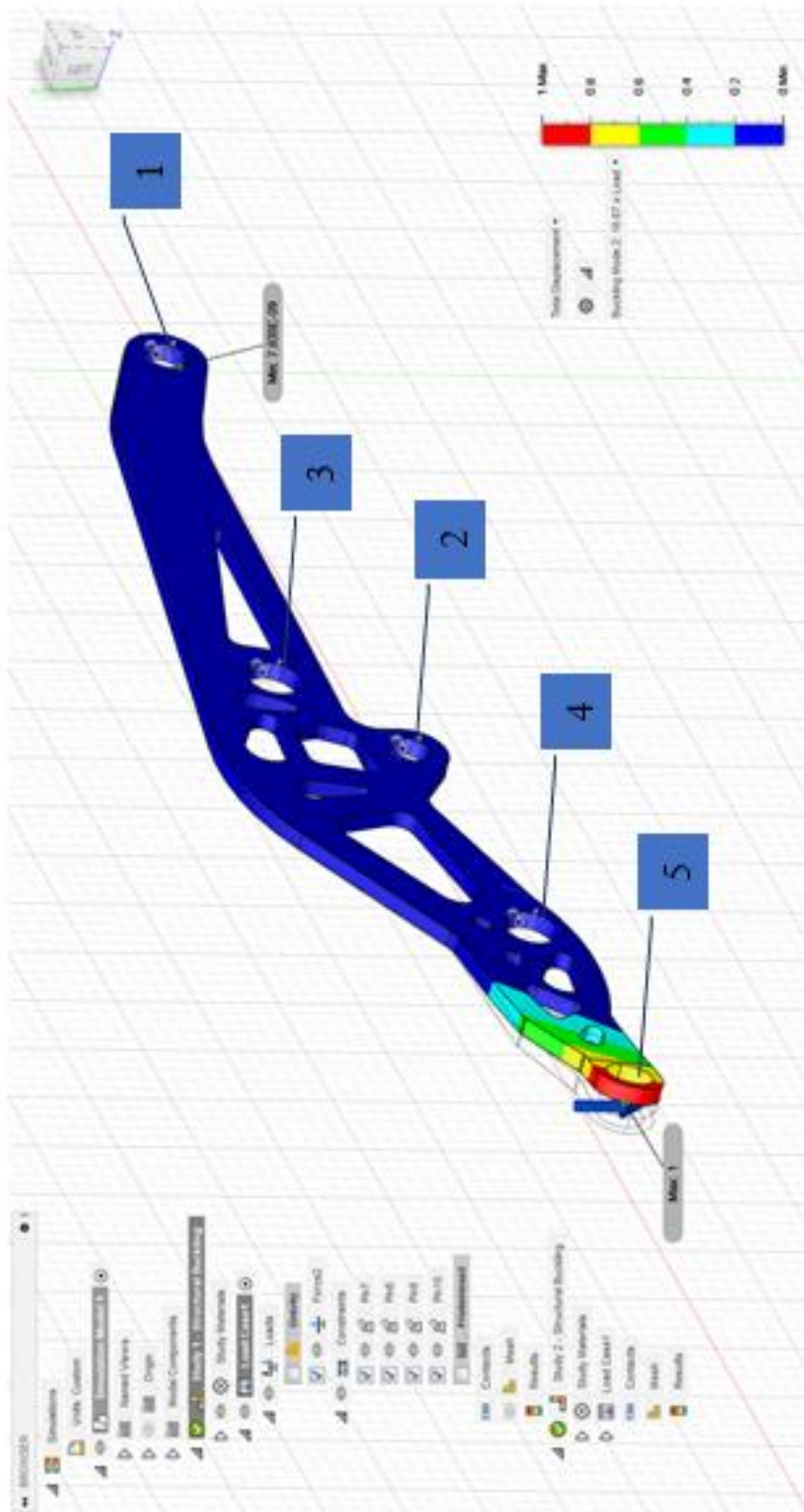
Příloha 9: vyznačení maximálního posunutí



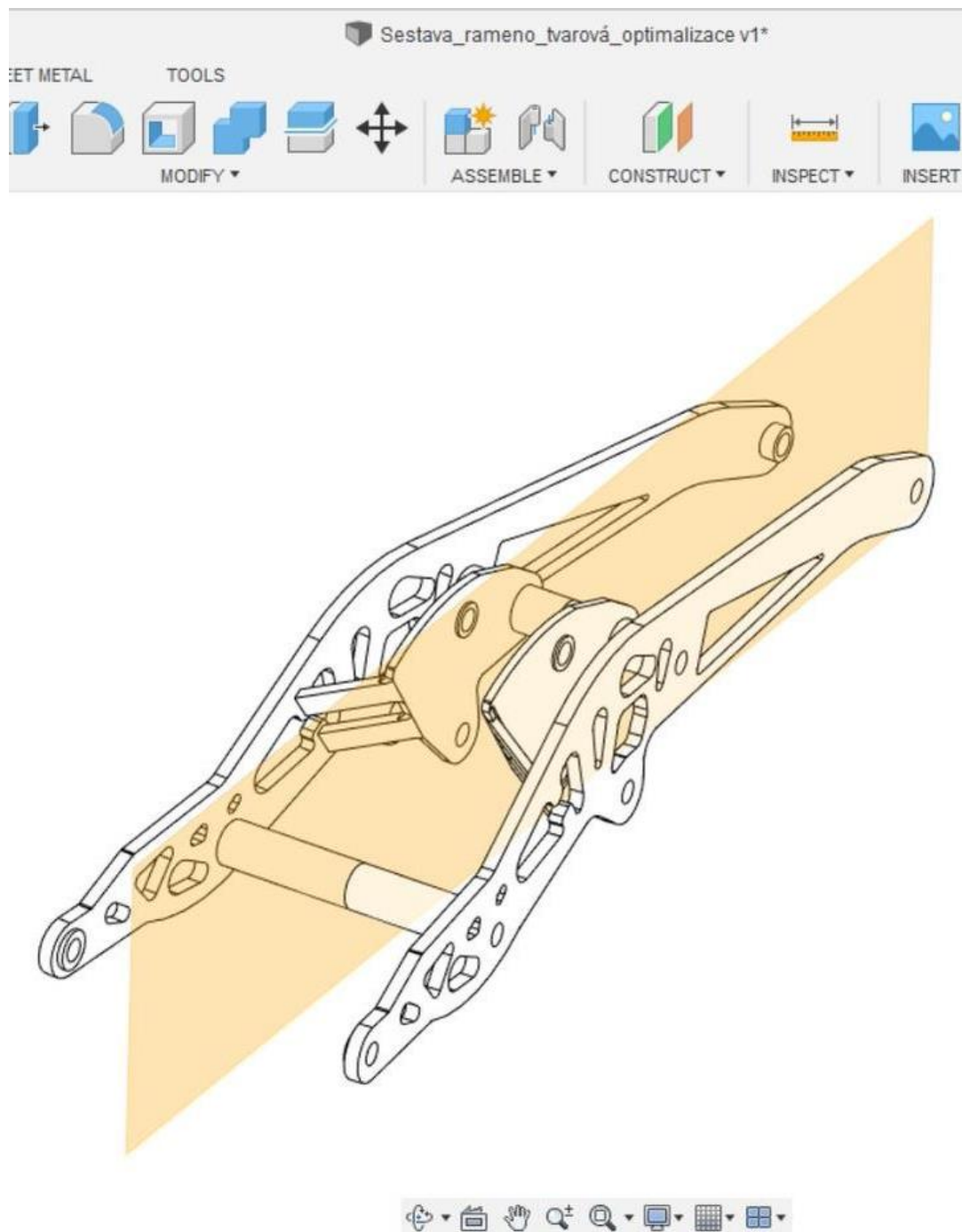
Příloha 10: Kontrola tvarové stability 1



Příloha 11: Kontrola tvarové stability 2



Příloha 12: Rozdělení zjednodušeného modelu pro 3D tisk



Příloha 13: vygenerovaný tiskový soubor

The screenshot displays the PrusaSlicer 2.4.0 interface. The main 3D view shows a red mechanical part with green supports on a grid. The top panel includes a vertical scale from 0.20 to 27.00 mm. The left sidebar contains a 'Feature type' table and printer settings. The right sidebar shows 'Print settings' and 'Sliced Info'.

Feature type	Time	Percentage	Used filament
Perimeter	28m	14.0%	1.54 m, 4.59 g
External perimeter	43m	21.8%	1.62 m, 4.82 g
Overhang perimeter	1m	0.5%	0.08 m, 0.23 g
Internal infill	4m	2.2%	0.30 m, 0.91 g
Solid infill	43m	21.7%	2.89 m, 8.63 g
Top solid infill	11m	5.6%	0.58 m, 1.74 g
Bridge infill	10m	5.2%	0.79 m, 2.35 g
Gap fill	13m	6.8%	0.24 m, 0.71 g
Skirt/Brim	49s	0.4%	0.05 m, 0.15 g
Support material	31m	15.6%	1.54 m, 4.58 g
Support material interface	12m	6.0%	0.57 m, 1.70 g
Custom	11s	0.1%	0.02 m, 0.06 g

Print settings:
 Filament: 0.20mm QUALITY (modified)
 Printer: Prusament PLA
 Supports: Original Prusa i3 MK3S & MK3S+
 Infill: 15%
 Brim:

Sliced Info:
 Used Filament (m): 10.22
 Used Filament (mm³): 24585.91
 Used Filament (g) (including spool): 30.49 (231.49)
 Cost: 0.92
 Estimated printing time: 3h18m (normal mode), 3h21m (stealth mode)

Estimated printing times [Normal mode]:
 Total: 3h18m
 First layer: 16m
 Show stealth mode

Export G-code