

**Vysoká škola technická a ekonomická
v Českých Budějovicích**

Diplomová práce

Bc. Tomáš Křepel

2023

Vysoká škola technická a ekonomická

Ústav technicko-technologický

Optimalizace konstrukce vykusovacích lopat pro čelní nakladače

Autor diplomové práce: Bc. Tomáš Křepel

Vedoucí diplomové práce: Ing. Ján Majerník, PhD.

České Budějovice, květen 2023



VYSOKÁ ŠKOLA TECHNICKÁ A EKONOMICKÁ V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Akademický rok: 2022/2023

Student:	Bc. Tomáš Křepel
UČO:	22220
Program:	Strojírenství
Specializace:	Strojírenství
Téma práce:	Optimalizace konstrukce vykusovacích lopat pro čelní nakladače
Téma práce anglicky:	
Vedoucí práce:	Ing. Ján Majerník, PhD.
Zadání:	Práce je zaměřena na optimalizaci konstrukce vykusovacích lopat pro čelní nakladače, s cílem zlevnění výroby při zachování užitečných vlastností produktu. Úkolem je určení konstrukčních uzlů, u kterých je možné provést optimalizaci jak po stránce dizajnové, tak po stránce funkční. Optimalizaci navrhnout, konstrukčně provést a numericky ověřit po stránce pevnostní a funkční. Sekundárním úkolem práce je provedení ekonomického zhodnocení vykonaných úprav a jejich efektivity.
Literatura:	

Souhlasím se zadáním (podpis, datum):

.....
Bc. Tomáš Křepel
student

.....
Ing. Ján Majerník, PhD.
vedoucí práce

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pouze s použitím uvedených zdrojů.

V Českých Budějovicích 9. 5. 2023

.....
vlastnoruční podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat Ing. Jánovi Majerníkovi, PhD., za pomoc a cenné rady k vypracování bakalářské práce. Dále pak firmě Kre-kovovýroba s.r.o. za odpovědi na mé dotazy, rady při optimalizaci konstrukce vykusovací lopaty a možnost využití jejích strojů.

Abstrakt

Cílem diplomové práce je optimalizaci konstrukce vykusovací lopaty pro čelní nakladač. Teoretická část práce se zabývá představením výrobních procesů, které jsou při výrobě lopaty využívány, ty jsou do detailu představeny a popsány. V aplikační části poté dojde k představení konstrukce lopaty, a určení částí, které budou optimalizovány. Dále se aplikační část zabývá výběrem materiálu vany, pevnostní analýzou, pevnostními výpočty čepů a pevnostními výpočty pístnic.

Klíčová slova

Vykusovací lopata pro čelní nakladač, pevnostní analýza, pevnostní výpočty, model, konstrukce

Abstract

The aim of the master's thesis is to optimize the design of a cutting bucket for a front loader. The theoretical part of the thesis deals with the presentation of production processes that are used in the production of the bucket. These processes are presented and described in detail. In the application part, the construction of the bucket is introduced, and the parts that will be optimized are identified. Furthermore, the application part deals with the selection of material for the body, strength analysis, strength calculations of the pins, and strength calculations of the pistons.

Key Words

Shovel with biter for the front loader, strength analysis, strength calculations, model, construction

Obsah

1	Úvod	1
2	Teoretická část diplomové práce	2
2.1	Mechanické destruktivní zkoušky svarů	3
2.1.1	Zkouška svarů tahem	3
2.1.2	Zkouška svarů rázem	4
2.2	Výrobní procesy použité při výrobě a optimalizaci čelní lopaty	5
2.2.1	Svařování	5
2.2.2	Ohýbání	11
2.2.3	Laserové řezání	15
2.2.4	Vrtání	16
2.3	Pevnostní analýza	18
2.3.1	Pevnostní analýza simulací	18
3	Aplikační část diplomové práce	19
3.1	Představení a informace o produktu	19
3.1.1	Rozměry a specifikace lopaty	20
3.1.2	Čepy lopaty	21
3.1.3	Pístnice lopaty	21
3.2	Požadavky na vykusovací lopaty	22
3.3	Ověření pevnosti vany lopaty a porovnání různých tloušťek plechu	23
3.3.1	Výběr materiálu	23
3.3.2	Volba tloušťky plechu	26
3.3.3	Pevnostní analýza	27
3.3.4	Výběr tloušťky plechu	42
3.4	Kontrola svarů vany	42
3.4.1	Tahová zkouška	43

3.4.2	Shrnutí výsledků	48
3.5	Výměna současných pístnic	48
3.5.2	Výpočet průměru pístnice.....	49
3.5.3	Vyhodnocení pístnic	52
3.6	Výměna čepů.....	53
3.6.1	Porovnání nových a starých čepů	53
2.5.2	Vyhodnocení čepů	58
4	Diskuze výsledků.....	59
5	Závěr.....	60
	Seznam zdrojů.....	61
	Seznam použitých zkratk	64
	Seznam obrázků.....	65
	Seznam tabulek.....	66
	Přílohy.....	67

1 Úvod

Diplomová práce se zabývá optimalizací konstrukce vykusovací lopaty pro čelní nakladač. V současné chvíli jsou některé části lopaty předimenzované a z těchto důvodů došlo k rozhodnutí, že tyto části mohou být vyměněny za levnější, ale pouze v případě, že nebudou nijak snižovat pevnost konstrukce a ani její vlastnosti s ohledem na nosnost. Hlavním cílem tedy také je, aby došlo ke zlevnění produktu a stal se tak atraktivnější pro širší škálu zákazníků. V případě, že by nebylo možné nějakou ze mnou zvolených částí lopaty vyměnit za levnější, mohou poznatky získané výzkumem alespoň posloužit pro budoucí konstrukce a zjistit, zda by byly slabší části využitelné v případě změny požadavků či snížení požadovaných vlastností lopaty.

2 Teoretická část diplomové práce

Teoretická část diplomové práce bude věnována představení produktu jako takového, možnostem jeho zlepšení v rámci optimalizace a zlevnění výroby a dále také představení výrobních procesů využitých při výrobě a jeho zlepšení.

V Teoretické části se zaměřím na druhy destruktivní zkoušky svarových spojů, tato zkouška bude provedena poté v aplikační části na svařencích různých tloušťek a materiálů. V teoretické části budou jednotlivé druhy těchto zkoušek představeny. V teoretické části dále následuje představení výrobních procesů využitých při výrobě lopaty a jejich obecnému přiblížení čtenáři, pevnostním analýzám provedeným na lopatě a procesům, které jsou s tímto spojené.

První část aplikační části je věnována modelu lopaty, na který jehož optimalizaci je diplomová práce zaměřena. Spolu s ním budou představeny i komponenty, které je dle mého názoru třeba optimalizovat a tím zefektivnit výrobu produktu. Konkrétně jsou to komponenty jako vana, čepy, pístonice a procesy úpravy lopaty spojené s výměnou těchto dílů. Tyto komponenty jsou stěžejními prvky celé konstrukce a jejich optimalizace zajistí levnější výrobní řešení se stejnými vlastnostmi a atributy, které za předchozí variantou v ničem nezaostávají. Následující část je věnována testování a optimalizaci konstrukčních řešení lopaty. Nejdříve je provedeno porovnání vybraných materiálů, které mohou nahradit současný materiál 11 373.0. Po výběru materiálů, ze kterých bude určen plech. Následuje určení tloušťky plechů vany, které mohou nahradit používaný plech o tloušťce 5 mm. U každého z těchto materiálů a tloušťek plechů bude několik výhod a nevýhod, které by jejich zahrnutí do konstrukčního řešení představovalo. Po těchto procesech bude určen nejvíce vhodný materiál a tloušťka, ze které bude vana lopaty vyrobena.

2.1 Mechanické destruktivní zkoušky svarů

Destruktivní zkoušky svarů jsou testy, které se provádějí na svařencích s cílem zjistit, zda jsou tyto svařence kvalitní a bezpečné pro použití. Tyto testy obvykle zahrnují fyzické poškození nebo zničení svařence, aby se zjistilo, jak dobře je spojení svaru vyrobeno a jak odolné je vůči napětí, tlaku, tahu a dalším fyzikálním faktorům.

Příklady mechanických destruktivních zkoušek svarů zahrnují:

- 1) Zkouška tahem: Při této zkoušce se na svařenci aplikuje postupně zvyšující se tahové zatížení, dokud svařenec nepraskne. Tím se zjistí, jaké je maximální zatížení, které může svařenec unést.
- 2) Zkouška rázem: Destruktivní zkouška svarů rázem je metoda zkoušení svarů, která se provádí tak, že se na svar aplikuje rázová síla nebo zatížení. Cílem této zkoušky je určit kvalitu svaru a jeho schopnost odolávat nárazům nebo rázovému zatížení.
- 3) Zkouška ohybem: Při této zkoušce se svařenec ohýbá, dokud nedojde k jeho trhnutí. Tím se zjišťuje, jak dobře svařenec odolává praskání a lámání pod tlakem.

Tyto testy jsou důležité, protože zajišťují bezpečnost a kvalitu svařených konstrukcí. Nicméně jelikož, tyto zkoušky ničí svařenec, je obvykle nutné provést více svařování, aby se zajistilo, že kvalita svařenců je dostatečná pro použití. [1,2,6,16]

2.1.1 Zkouška svarů tahem

Destruktivní zkoušky svarů tahem jsou prováděny k posouzení pevnostních vlastností svaru. Tyto zkoušky se provádějí na zkouškových vzorcích, které byly vytvořeny svařením stejného materiálu, jaký je použit v reálné konstrukci.

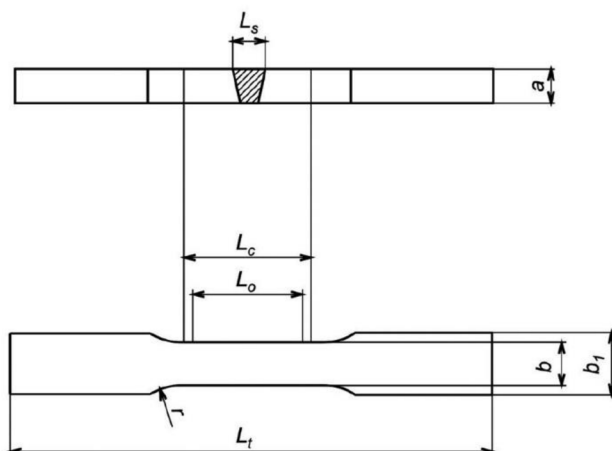
Během zkoušky tahem je na zkouškový vzorek postupně aplikována zátěž, dokud nedojde k jeho protržení. Deformace a napětí v materiálu jsou monitorovány, aby bylo možné zjistit jeho pevnostní vlastnosti.

Zkoušky svarů tahem se provádějí na různých typech zkouškových vzorků. Nejběžnější jsou tažné tyče a zkoušky tahem v drážce. Tažné tyče jsou rovné tyče, na které jsou na obou koncích upevněny závity. Tyče jsou vytvořeny ze stejného materiálu jako svařená konstrukce a jsou svařeny do spoje typu "U" nebo "V".

Průběh zkoušky vypadá tak, že se na jednom konci tyče připevní zátěžové zařízení a na druhém konci se aplikuje tahová síla, dokud nedojde k protržení tyče. Při zkoušce tahem v drážce jsou na svařenci vytvořeny drážky a zkouška se provádí tím, že se na oba konce drážek připojí tahová zařízení a zkouška se opět opakuje, dokud nedojde k protržení.

Zkoušky svarů tahem jsou důležitou součástí procesu kvality svařených konstrukcí, protože umožňují zjistit, zda jsou svarové spoje dostatečně pevné a odolné. [1,6,16]

Obrázek ploché zkušební tyče



Obrázek 1 - Zkouška svaru tahem [20]

2.1.2 Zkouška svarů rázem

Zkoušky svarů rázem jsou prováděny k určení pevnosti a kvality svaru při vystavení rázovým zatížením. Tento typ zkoušky se provádí v laboratořích nebo výrobních halách, a to buď manuálně nebo s pomocí speciálních strojů pro zkoušení svarů rázem.

Pro zkoušku svarů rázem se také používají speciální stroje, které umožňují aplikovat velmi přesně definovaná rázová zatížení. Tato zařízení mohou být manuální, poloautomatická nebo plně automatizovaná. Při provádění zkoušky se vytvoří svar, na kterém jsou předem definovány body, které se budou zkoušet. Tyto body jsou vystaveny rázovému zatížení, které se postupně zvyšuje, dokud nevzniknou praskliny nebo jiné vady.

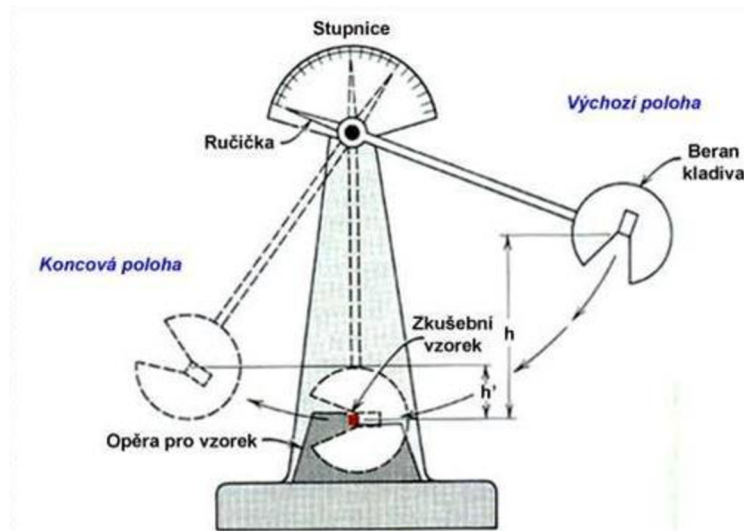
Výsledky zkoušky se hodnotí na základě vizuální kontroly svaru a detekce vzniklých prasklin a výmolů. Pokud svar obstojí zkoušku svarů rázem, je považován za kvalitní a schopný odolat rázovým zatížením. Pokud se na svaru vyskytnou defekty, musí být svar opraven a zkouška svarů rázem opakována. [1,6,16]

2.1.2.1 Charpyho zkouška rázem

Charpyho zkouška rázem je destruktivní zkouška svarů, která se používá k měření pevnosti materiálu při nízkých teplotách. Tato zkouška se provádí na malém vzorku materiálu, který má standardní rozměry a tvar – čtvercový profil o rozměrech 10 x 10 mm a délce 55 mm.

Během zkoušky se vzorek umístí na podpěru a pomocí kyvadla se na něj aplikuje rázové zatížení. Kyvadlo padá z určité výšky a při dopadu na vzorek se uvolní určité množství energie. Toto množství energie, které je potřebné k prasknutí vzorku, se měří a výsledek se vyhodnocuje jako Charpyho údaj o praskání.

Výsledek Charpyho zkoušky rázem ukazuje pevnost materiálu a jeho schopnost odolávat rázovému zatížení. Hodnota je udávána jako množství energie, které je potřebné k prasknutí svaru při určité teplotě, obvykle při teplotách pod bodem mrazu.



Obrázek 2 - Charpyho kladivo [24]

Tato zkouška se používá pro různé druhy svarů, jako jsou svarové spoje, tepelně zpracované materiály a jiné konstrukční prvky. Tento typ zkoušky umožňuje nejen rychlé a přesné měření pevnosti materiálu, ale také identifikaci problémů s kvalitou svaru. [6,16]

2.2 Výrobní procesy použité při výrobě a optimalizaci čelní lopaty

Zde budou představeny jednotlivé druhy výrobních procesů ve strojírenství a dále se zaměříme a rozšíříme jednotlivé druhy těchto procesů, které budou využity při optimalizaci konstrukce.

2.2.1 Svařování

Svařování je proces spojování materiálů, obvykle kovů, pomocí tepelného zdroje a přídavného materiálu, který se roztaví a spojí se základním materiálem. Tento proces se obvykle používá ke spojování dvou či více kovových dílů vytvořením pevného a trvanlivého spoje. Svařování se používá v mnoha odvětvích průmyslu, jako je například stavebnictví, automobilový průmysl, letecký průmysl, energetika a mnoho dalších.

Správné provedení svařování je klíčové pro zajištění trvalého a spolehlivého spoje. To vyžaduje správnou volbu svařovací technologie, vhodný svařovací materiál a kvalifikovaného svařovacího operátora s potřebnou kvalifikací a zkušeností.

Existuje několik druhů svařování, včetně obloukového svařování, laserového svařování, plazmového svařování a odporového svařování. Každý typ svařování má své vlastní výhody a nevýhody a vyžaduje odlišnou úroveň zkušeností a speciálního vybavení pro jeho provedení.

Druhy svařování:

- 1) Obloukové svařování – jedná se o nejrozšířenější způsob svařování, kdy se spojované kovy rozežřejí na vysokou teplotu pomocí elektrického oblouku a přídavný materiál se přidává postupně.
 - SMAW svařování – známé také jako svařování krytou elektrodou, je metoda svařování, při níž se používá kovová elektroda s vrstvou ochranného materiálu, který taje a chrání rozpouštěný kov před oxidací. Tato metoda se používá především pro svařování ocelových konstrukcí.
 - TIG svařování – též známé jako svařování wolframovou elektrodou, kde se oblouk tvoří mezi wolframovou elektrodou a kovem. Přídavný materiál se obvykle používá odděleně.
 - MIG/MAG svařování – zahrnuje ochranný plyn, který chrání svařenou oblast před oxidací. Přídavný materiál se přivádí kontinuálně ze svařovací dráty.
- 1) Plazmové svařování – založeno na vysokoteplotním plazmovém oblouku mezi elektrodou a kovem, který roztavuje kovy a přídavný materiál.
- 2) Laserové svařování – využívá vysoký výkon laseru pro rozežhání kovových dílů, aby se následně mohly spojit.
- 3) Bodové svařování – používá se k svařování plechů a kovových dílů v místech, kde jsou potřebné pevné a trvanlivé body spojení.

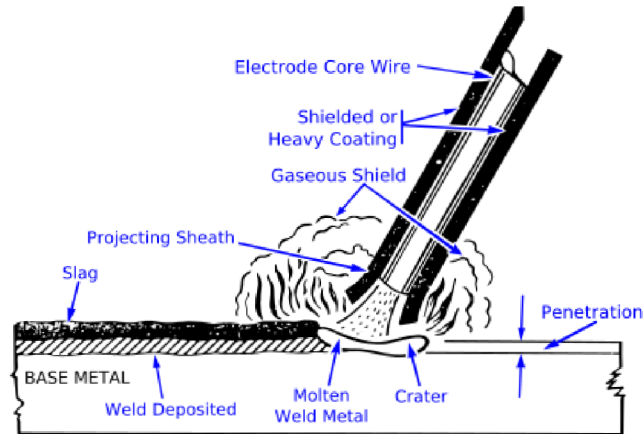
Každý typ svařování má své vlastní výhody a nevýhody a vyžaduje odlišné svařovací vybavení, přístroje a způsoby postupu. [12,6,15]

2.2.1.1 Obloukové svařování

Obloukové svařování je nejrozšířenější způsob svařování, který se používá ke spojování kovů. Spojující se kovy se zahřejí na vysokou teplotu pomocí elektrického oblouku a přídavný materiál se přidává postupně. Elektrický oblouk se tvoří mezi elektrodou a pracovním kovem a rozežhává je tak, aby se staly tekutými a mohly se spojit.

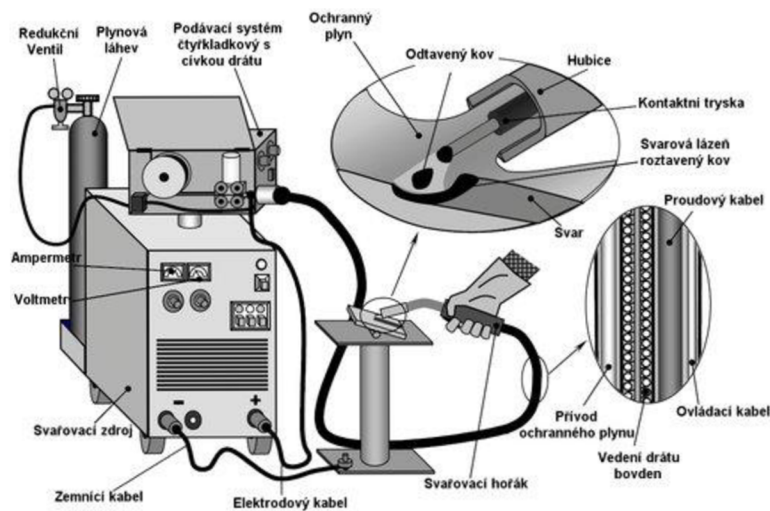
Obloukové svařování se dělí do několika kategorií podle typu použitého oblouku. Mezi nejčastější patří:

- 1) Svařování krytou elektrodou (SMAW) - Elektroda pokrytá vrstvou ochranného materiálu se používá k vytvoření oblouku mezi pracovním kovem a elektrodou. Tato metoda se používá nejčastěji pro svařování oceli.



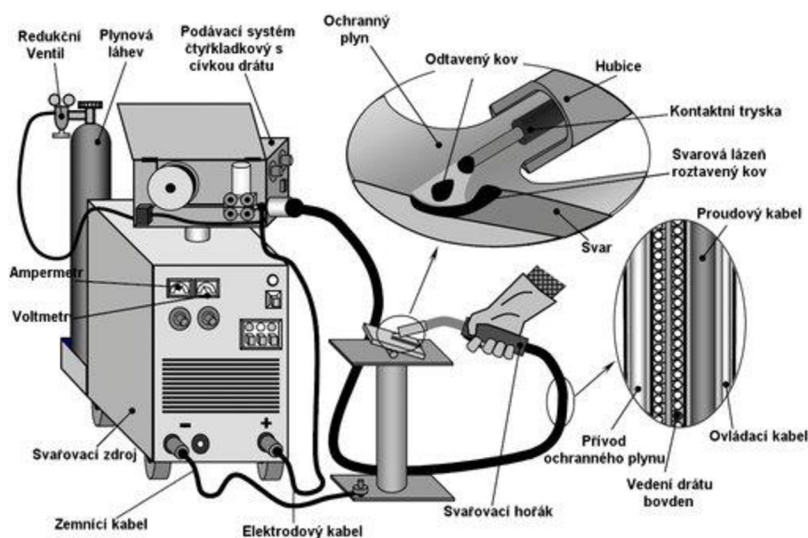
Obrázek 3 - SMAW svařování [17]

- 2) Svařování inertním plynem (TIG) - Oblouk se tvoří mezi wolframovou elektrodou a kovem. Přídavný materiál se používá odděleně. Tato metoda se používá pro svařování tenkých plechů a kovů, jako jsou hliník, měď a nerezová ocel.



Obrázek 4 - TIG svařování [28]

- 3) Svařování aktivním plynem (MIG/MAG) - Používá se ochranný plyn, který chrání svařenou oblast před oxidací. Přídavný materiál se přivádí kontinuálně ze svařovacího drátu. Tato metoda se používá pro svařování oceli, hliníku, mědi a dalších kovů.



Obrázek 5 - MIG/MAG svařování [23]

Obloukové svařování se používá ve většině odvětví průmyslu jako je automobilový průmysl, stavebnictví, lodní průmysl, ropné a plynové průmysly a mnoho dalších. Tato metoda svařování vyžaduje značnou zkušenost a odbornost, protože kvalita svařených spojů závisí na správném výběru svařovacích parametrů a techniky práce svářeče. [12,15,17,23,28]

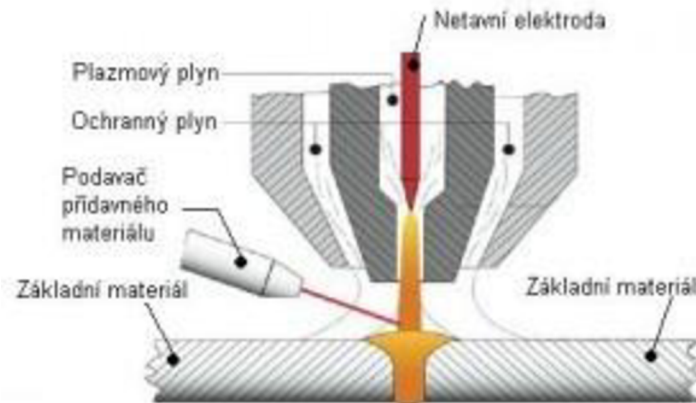
2.2.1.2 Plazmové svařování

Plazmové svařování (Plasma Arc Welding – PAW) je metoda svařování, která používá plazma oblouk k rozehtání svařovaného kovu a k vytvoření svařovacího spoje. Plazma oblouk se vytváří mezi elektricky vodivou elektrodou a pracovním kovem a vyzářuje energii, která rozehtívá svařované kovy na teplotu tání.

Při plazmovém svařování se používají speciální plazmové hořáky, které vytvářejí plazma oblouk a současně proud ochranného plynu, který chrání svařovanou oblast před oxidací a kontaminací. Plazma oblouk umožňuje svařování různých materiálů, včetně nerezové oceli, hliníku, mědi a titanu.

Výhodou plazmového svařování oproti jiným metodám je vysoká přesnost a kvalita svařovacího spoje. Plazmové svařování umožňuje svařování velmi tenkých materiálů a dílů s velmi malým průměrem. Dále má nízkou tepelnou deformaci a minimalizuje množství post-svařovacího zpracování.

Nicméně plazmové svařování vyžaduje vysokou úroveň odbornosti a kvalifikace operátora, aby byly dodrženy správné svařovací parametry a aby byla dosažena kvalita svařeného spoje. [12,15,21]



Obrázek 6 - Svařování plazmou [21]

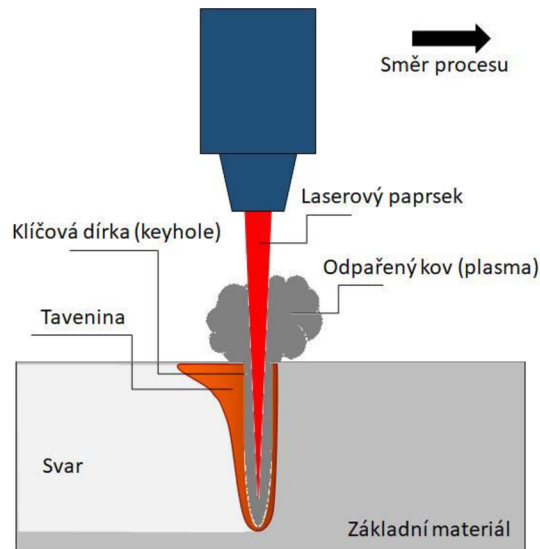
2.2.1.3 Laserové svařování

Laserové svařování je moderní a přesná metoda svařování, která používá laserový paprsek k vytvoření svařovacího spoje. Laserové svařování využívá vysokého energetického paprsku k rozpouštění a spojování materiálů, což umožňuje dosáhnout vysoké přesnosti a kvality svařování.

Tento typ svařování se používá především pro svařování tenkých plechů, ale také pro svařování různých materiálů, jako jsou ocel, hliník, měď, titan a další. Laserové svařování umožňuje svařování materiálů s vysokou tepelnou vodivostí a vysokou teplotou tání.

Výhodou laserového svařování je vysoká přesnost a rychlost svařování, což umožňuje svařování velkého množství dílů během krátké doby. Dále má nízkou tepelnou deformaci a minimalizuje množství post-svařovacího zpracování. Vzhledem k tomu, že laserové svařování nepotřebuje přídavný materiál, je to také ekonomická metoda svařování.

Nicméně, laserové svařování vyžaduje vysokou úroveň odbornosti a kvalifikace operátora, aby byly dodrženy správné svařovací parametry a aby byla dosažena kvalita svařeného spoje. Navíc, laserové svařování může být nákladné, zvláště při svařování větších dílů. [12,15,22]

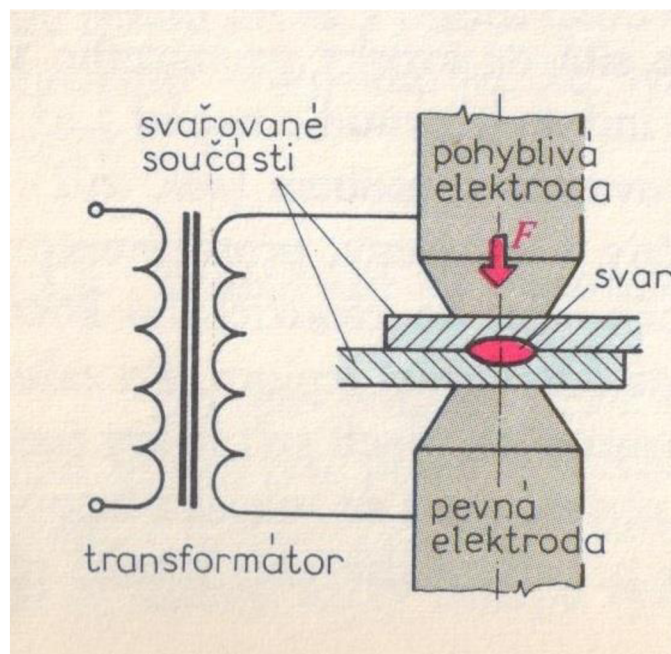


Obrázek 7 - Laserové svařování [22]

2.2.1.4 Bodové svařování

Bodové svařování je metoda svařování, při které jsou dva kusy materiálu spojeny bodovým spojem. Bodový spoj vytváří malou tečku, která drží dva kusy materiálu pevně spolu. Tato metoda svařování se často používá při výrobě automobilů a dalších kovových konstrukcí. Tento typ svařování se provádí pomocí speciálního svařovacího stroje, který generuje vysoký proud elektrického proudu, aby rozehtl materiál na teplotu tání. Při tomto procesu se do kovu vtlačí elektroda, aby se vytvořil kontakt s kovem. Tato elektroda slouží k vedení elektrického proudu do svařovaného materiálu.

Bodové svařování umožňuje svařování různých materiálů, jako jsou ocel, hliník a měď. Tato metoda je obzvláště užitečná pro svařování tenkých plechů, protože nezpůsobuje deformaci materiálu. Výhodou bodového svařování je také vysoká rychlost svařování a minimální množství zbytkového materiálu. Nicméně, bodové svařování může být náročné na úpravu svařovaných povrchů, aby byla dosažena správná teplota tání a kvalita svařovacího spoje. Bodové svařování také vyžaduje přesnou kontrolu svařovacích parametrů, aby byl dosažen požadovaný výsledek. [12,15,27]



Obrázek 8 - Bodové svařování [27]

2.2.2 Ohýbání

Ohýbání je proces, při kterém se materiál ohýbá, tvaruje nebo deformuje za účelem vytvoření požadovaného tvaru. Ohýbání se používá v mnoha různých průmyslových odvětvích a řemeslech, včetně kovových konstrukcí, elektrotechniky, stavebnictví, nábytku a mnoha dalších. Ohýbání se provádí pomocí speciálních nástrojů, které mohou být manuální nebo strojové. Materiál se umístí do nástroje a poté se aplikuje síla, která ho ohýbá do požadovaného tvaru. Materiály, které se obvykle ohýbají, zahrnují kovy, plasty a dřevo.

Existují různé druhy ohýbání, které se používají v závislosti na materiálu, který se ohýbá, a na požadovaném výsledném tvaru. Některé z nejčastějších druhů ohýbání zahrnují:

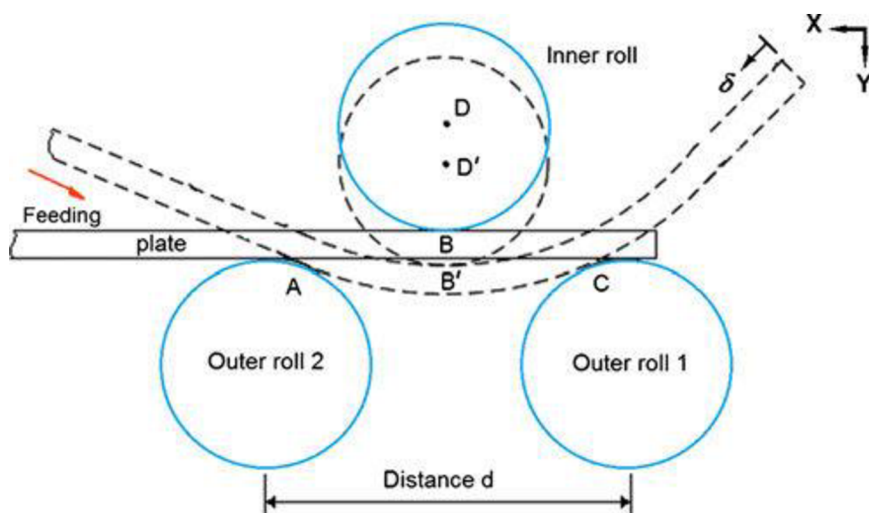
- 1) Válcování – při válcování se materiál ohýbá kolem válcového nástroje, který je obvykle válcovitý nebo kuželovitý. Tento proces se používá hlavně při ohýbání kovů.
- 2) Ohýbání na ohýbačce – ohýbačka je speciální stroj, který umožňuje ohýbání materiálů do různých tvarů. Ohýbačky se používají v mnoha průmyslových odvětvích a jsou k dispozici v mnoha velikostech a výkonových kategoriích.
- 3) Tvarování na formě – formy jsou speciální nástroje, které se používají k vytváření materiálů do určitého tvaru. Materiál se umístí na formu a poté se použije tlak, který ho ohýbá do požadovaného tvaru.
- 4) Ohýbání pomocí zářezů – zářezy jsou speciální řezy, které jsou provedeny na materiálu, aby se zvýšila jeho flexibilita a snížila síla potřebná k ohýbání. Tento proces se používá k ohýbání kovů, ale také se používá k ohýbání plastů a dalších materiálů. [15,25]

2.2.2.1 Válcování

Válcování je technologie ohýbání materiálů, při níž se trubky, profily a plechy ohýbají na požadovaný poloměr pomocí válců. Tento proces probíhá v ohýbacím stroji, který se skládá z řady válců, z nichž některé jsou pohyblivé a některé pevné. Pohyblivé válce jsou nastaveny na určitý poloměr ohýbání a pohybují se po obvodu pevných válců, které jsou uloženy v pevných stojanech.

Při ohýbání materiálu jsou ohýbací válce přitlačovány k materiálu a postupně ho deformují, dokud nedosáhnou požadovaného tvaru. Materiál může být ohýbán v různých úhlech a křivostech a lze ho upravit pro různé aplikace. Válcové ohýbání se používá v mnoha průmyslových odvětvích, jako jsou stavebnictví, automobilový průmysl, letectví, energetika a další.

Mezi výhody válcového ohýbání patří vysoká přesnost, rychlost a opakovatelnost procesu, což umožňuje výrobu velkého množství stejných dílů. Zároveň je to ekonomicky efektivní způsob ohýbání, protože není potřeba vytvářet drahé nástroje pro každý nový díl, jak tomu bývá u jiných technologií. [6,7,15,26]



Obrázek 9 - Ohýbání válcováním [26]

2.2.2.2 Ohýbání na ohýbačce

Ohýbání na ohýbačce je technologie, při níž se pomocí ohýbačky, která může mít různé tvary, ohýbají kovové materiály na požadovaný tvar. Ohýbačky mohou být různých velikostí, aby bylo možné ohýbat materiál různých průměrů a délek.

Proces ohýbání na ohýbačce začíná přípravou materiálu, který má být ohnut. Nejprve se určí bod, kde bude ohnutí provedeno, a poté se materiál umístí do ohýbačky. Ohýbačka se poté zavře, aby se materiál pevně uchopil a umožnil tak ohýbání. Poté se materiál ohýbá pomocí různých nástrojů a technik, až dosáhne požadovaného tvaru.

Ohýbání na ohýbačce se používá pro výrobu různých druhů kovových dílů, jako jsou dráty, trubky, plechy a další konstrukční prvky. Tato technologie umožňuje vytvářet křivky různých tvarů a průměrů, které jsou vyžadovány pro různé aplikace. Mezi výhody ohýbání na ohýbačce patří vysoká přesnost, rychlost a opakovatelnost procesu, což umožňuje výrobu velkého množství stejných dílů.



Obrázek 10 - Ohraňovací lis TruBend 3170 (vlastní zdroj)

Existuje mnoho druhů ohýbaček, které se používají pro různé druhy materiálů a ohýbání. Mezi nejčastější druhy ohýbaček patří:

- 1) Ruční ohýbačky – jsou nejjednodušší a nejlevnější variantou ohýbaček, které se používají pro ohýbání menších průměrů materiálu. Ruční ohýbačky jsou ideální pro ohýbání drátů a tenkých trubek.
- 2) Strojní ohýbačky – jsou výkonnější než ruční ohýbačky a umožňují ohýbat větší průměry materiálu. Tyto ohýbačky jsou často řízeny počítačem, což zajišťuje vysokou přesnost ohýbání.
- 3) Ohýbačky na CNC strojích – jsou automatizované stroje, které umožňují ohýbat velké množství materiálu rychle a přesně. Tyto stroje jsou často používány v průmyslové výrobě, kde je potřeba velké množství stejných dílů.
- 4) Hydraulické ohýbačky – jsou speciální stroje, které používají hydraulickou sílu k ohýbání materiálu. Tyto stroje jsou obvykle velmi výkonné a mohou ohýbat velké průměry materiálu.
- 5) Profilové ohýbačky – jsou ohýbačky, které jsou speciálně navrženy pro ohýbání materiálu do složitých a netypických tvarů. Tyto ohýbačky se často používají v průmyslu, kde je potřeba vytvořit složité a přesné křivky. [15,25,26]

2.2.2.3 Tvarování na formě

Tvarování na formě je proces, při kterém se materiál, obvykle plech nebo deska, ohýbá a deformuje na speciální formě, aby vytvořil požadovaný tvar. Tento proces se používá v mnoha odvětvích, jako jsou automobilový průmysl, nábytkářský průmysl a výroba kovových konstrukcí.

Forma, která se používá k tvarování, je speciálně navržena tak, aby materiál ohýbala do požadovaného tvaru. Materiál se obvykle přidržuje na místě pomocí upínacích zařízení, zatímco hydraulický nebo mechanický systém stlačuje materiál na formu, aby vytvořil požadovaný tvar. Tvarování na formě se často používá pro výrobu kovových dílů, jako jsou karoserie automobilů, kovové nábytkové díly nebo konstrukce. Tento proces umožňuje vytvářet velmi přesné a opakovatelné tvary, což je důležité v průmyslové výrobě.

Výhody tvarování na formě zahrnují vysokou přesnost, opakovatelnost, rychlost a relativně nízké náklady na výrobu velkých sérií dílů. Nevýhodou může být vysoká počáteční investice do formy, ale tato investice se obvykle vyplatí v dlouhodobém horizontu, pokud se vyrábí velké množství dílů.

Celkově lze říct, že tvarování na formě je efektivní a přesný způsob, jak vytvářet složité tvary z kovových materiálů a najde uplatnění v mnoha průmyslových odvětvích. [6,7,15]

2.2.2.4 Ohýbání pomocí zářezů

Ohýbání pomocí zářezů je proces ohýbání plechu nebo trubky na rohových zářezech tak, aby se vytvořil požadovaný tvar. Tento proces se často používá pro výrobu konstrukčních a průmyslových dílů.

Proces ohýbání se zářezem začíná s materiálem, který je umístěn v ohýbací stroji. Tento stroj obvykle obsahuje horní a spodní matrice, které se používají k deformaci materiálu. Materiál je pak ohnut podél rohového zářezu v požadovaném úhlu a tvaru.

Ohýbání zářezem může být provedeno na různých typech materiálů, včetně oceli, hliníku a nerezové oceli. Materiál se obvykle přidržuje v místě ohýbání pomocí upínacích zařízení, aby se zabránilo jeho posunutí během procesu ohýbání.

Tento proces je velmi přesný a umožňuje vytvářet složité tvary, které by jinak byly obtížné nebo nemožné vyrobit jinými metodami. Mezi výhody tohoto procesu patří vysoká přesnost, rychlost a opakovatelnost, proto se často používá v průmyslové výrobě, jako jsou výroba automobilových dílů, konstrukčních prvků a různých strojů. Celkově lze říci, že ohýbání na zářezech je efektivní a přesný způsob, jak vytvářet složité tvary z kovových materiálů a najde uplatnění v mnoha průmyslových odvětvích. [6,7,15]

2.2.3 Laserové řezání

Laserové řezání je technologie, která umožňuje řezání různých materiálů pomocí laserového paprsku a je používáno v mnoha průmyslových odvětvích, jako jsou například automobilový průmysl, elektrotechnika, strojírenství a mnoho dalších.

Laserové řezání funguje tak, že se laserový paprsek zaměří na povrch materiálu a rychle se pohybuje podél požadované řezné trasy. Intenzita paprsku se mění tak, aby materiál byl řezán přesně podle požadovaných parametrů. Tento proces se opakuje, dokud není materiál kompletně rozřezán a výhodou oproti jiným tradičním metodám řezání je zmíněné velmi přesné a opakovatelné řezání. To znamená, že řezné kvality jsou velmi vysoké a konzistentní, další výhodou je rychlost a flexibilita, což umožňuje řezání složitých geometrických tvarů a detailů.

Podle typu laseru se pak také odráží i možnost řezání různých druhů materiálů a kvalita řezu jako takového. Některé z nejběžnějších materiálů, které je možné řezat laserem jsou:

- 1) Kovové materiály, jako jsou ocel, hliník, měď, mosaz a titan
- 2) Plasty, jako jsou akryl, nylon, polystyren, PVC, polykarbonát a teflon
- 3) Dřevo, jako jsou dřevovlákná, špalíky, lamináty, dýhy a pevné dřevo
- 4) Sklo, jako jsou skleněné desky, optická skla a safíry
- 5) Papír, karton a textilie
- 6) Pryž, jako jsou gumy a silikony
- 7) Keramické materiály, jako jsou oxid hlinitý, oxid křemičitý a karbid křemíku

Je důležité mít na paměti, že některé materiály nemusí být vhodné kvůli svým vlastnostem, jako je například tmavá barva, vysoká reflexe nebo absorpce laserového záření. Proto je důležité při výběru materiálu pro získat doporučení od odborníka.

Laserové řezání může být prováděno různými typy laserů, jako jsou například CO₂ lasery, vláknové lasery a pevnolátkové lasery. Každý typ laseru má své vlastní výhody a omezení, které určují jeho použití v určitém odvětví průmyslu.

Existuje několik různých druhů laserů, které se používají v průmyslovém laserovém řezání. Každý typ laseru má své vlastní výhody a omezení v závislosti na aplikaci a materiálu, který se řeže. Zde je přehled několika nejčastěji používaných typů laserů:

- 1) CO₂ lasery: Tento typ laseru vytváří infračervený paprsek pomocí plynné směsi CO₂, dusíku a helia. CO₂ lasery se používají k řezání materiálů jako jsou dřevo, plast, textilie, sklo, kov a papír.
- 2) Vláknové lasery: Tento typ laseru využívá vláknový kabel k vedení světla a vytváří laserový paprsek s vysokou intenzitou. Vláknové lasery se často používají k řezání kovů jako jsou ocel, hliník a měď.
- 3) Pevnolátkové lasery: Tento typ laseru vytváří paprsek pomocí pevných krystalů jako jsou rubín a safír. Pevnolátkové lasery se používají k řezání různých materiálů, včetně kovů a nekovů.
- 4) Eximerové lasery: Tento typ laseru vytváří krátkovlnné ultrafialové paprsky, které se používají k řezání tenkých kovů, skla a keramiky.

- 5) Diodové lasery: Tento typ laseru využívá polovodičové diody a je často používán v průmyslových aplikacích, jako je řezání kovů a svařování.

Celkově lze říct, že laserové řezání je velmi užitečná a efektivní technologie, která se používá v mnoha průmyslových odvětvích. Tato technologie umožňuje vysokou přesnost, rychlost a flexibilitu, což umožňuje výrobu složitých geometrických tvarů a detailů. [6,15]

2.2.3.1 CO2 Lasery

CO2 laser (též nazývaný "laser s plynovým výbojem") je druh laseru, který využívá jako aktivní médium plynou směs oxidu uhličitého, dusíku a helium. Při průchodu elektrického výboje touto směsí dojde k excitaci atomů plynu, což vede ke vzniku stimulované emise záření, což je základní princip pro vznik laserového paprsku. Laserový paprsek generovaný CO2 laserem má vysokou vlnovou délku kolem 10,6 mikrometrů, což mu umožňuje být efektivním nástrojem pro řezání a gravírování různých materiálů.

Tyto druhy laserů jsou využívány pro širokou škálu aplikací, včetně průmyslového zpracování kovů a nekovových materiálů, medicínských aplikací a vědeckého výzkumu. Tyto lasery jsou schopny generovat velmi vysoké výkony, což umožňuje efektivní řezání a gravírování. CO2 lasery jsou také schopny generovat pulzní paprsky, což umožňuje využití pro přesné a detailní řezání, gravírování a označování.

CO2 lasery mají také několik nevýhod. Jsou to poměrně velké a těžké zařízení, které vyžadují značné množství energie pro provoz. Laserový paprsek s vysokým výkonem také může být nebezpečný pro lidské oko, proto je nutné při práci s CO2 lasery dodržovat bezpečnostní předpisy. [6,15,22]

2.2.4 Vrtání

Vrtání je proces, při kterém se pomocí vrtacího nástroje vytváří otvor nebo díra v materiálu. Tento proces může být proveden ručně nebo strojově a používá se v mnoha různých oblastech, včetně stavebnictví, průmyslu a řemesel. Obvykle se vrtání provádí pomocí vrtáku, což je nástroj s ostrým hrotem, který se otáčí a vytváří otvor. Vrtáky mohou mít různé velikosti a tvary, aby se přizpůsobily různým materiálům a typům otvorů, které se mají vytvořit.

Průběh vrtání začíná u označení místa, kde se má otvor vytvořit, a nástroj se umístí na toto místo. Poté se nástroj otáčí a pohybuje se směrem do materiálu, dokud se nevytvoří požadovaný otvor. Během vrtání se často používá chladicí kapalina, aby se snížilo tření a zvýšila se životnost vrtáku.

Vrtání se používá k vytváření otvorů různých velikostí a tvarů v mnoha materiálech, jako jsou dřevo, kov, plast, keramika a další. Vrtání může být také použito k vytváření závitů, závitových děr a dalších speciálních typů otvorů.

Mezi nejčastější druhy vrtání patří:

- 1) Ruční vrtání – Jedná se o tradiční metodu, při které se vrták drží rukou a otáčí se pomocí síly a rychlosti, kterou na něj působí osoba. Ruční vrtání se obvykle používá pro menší otvory v měkkých materiálech.
- 2) Strojové vrtání – Tento druh vrtání se provádí pomocí stroje, jako je například vrtačka nebo frézka. Strojové vrtání se používá pro větší a složitější otvory a umožňuje přesnější a efektivnější vrtání.
- 3) Soustružení – Soustružení se používá k vytváření otvorů v kovových materiálech. Při soustružení se materiál otáčí kolem své osy a vrták je poháněn do materiálu, aby vytvořil otvor.
- 4) Tepelné vrtání – Tepelné vrtání se používá k vrtání otvorů v tvrdých materiálech, jako jsou keramika nebo sklo. Při tepelném vrtání se používá vysoce teplotní plamen, který rozpouští materiál a vytváří otvor.
- 5) Diamantové vrtání – Diamantové vrtání se používá pro vrtání otvorů v tvrdých materiálech, jako jsou beton, kámen a sklo. Diamantové vrtáky jsou vyrobeny z diamantu a jsou schopny řezat materiál velmi rychle a efektivně. [6,15]

2.2.4.1 Strojové vrtání

Strojové vrtání je technologie, která umožňuje vrtat otvory do materiálů pomocí speciálních nástrojů poháněných strojem. Tyto nástroje jsou obvykle vyráběny z karbidu, HSS (rychlořezné oceli) nebo keramiky a mají tvar trubice se závitem na konci. Samotný vrták je umístěn v upínači a poháněn strojem, který dodává otáčky a sílu. Při vrtání se nástroj otáčí a současně se posouvá směrem k materiálu. Tím vzniká otvor, který má stejný průměr jako vrták.

Při tomto procesu jsou využívány různé stroje, jako sloupové vrtačky, radiální vrtačky nebo obráběcí centra. Tyto stroje umožňují vrtat otvory různých průměrů a hloubek, s různou přesností a rychlostí v závislosti na požadavcích výrobce.

Strojové vrtání se používá při výrobě různých součástek a dílů v oblastech jako jsou strojírenství, elektrotechnika, stavebnictví nebo automobilový průmysl. [6,15]

2.3 Pevnostní analýza

Pevnostní analýza je proces, který se používá k posouzení, zda materiál nebo konstrukce jsou dostatečně pevné, aby odolaly vnějším silám a zátěžím. Mezi odvětví, která tento způsob testování konstrukcí využívají patří strojírenství, inženýrství, architektura, stavebnictví, výroba a další obory, kde je kladen důraz na pevnost a stabilitu materiálů a konstrukcí. Pevnostní analýza může být prováděna pomocí různých metod a technik, jako jsou například analytické výpočty, numerické simulace, zkoušky materiálu a experimentální testování. Cílem je stanovit, jak velké zatížení může materiál nebo konstrukce snést, aniž by došlo k trvalému poškození nebo selhání.

V úvahu je potřeba brát mnoho faktorů, jako jsou typ materiálu, jeho fyzikální vlastnosti, geometrie konstrukce, typ zatížení a další faktory. Výsledkem pevnostní analýzy je obvykle hodnota maximálního zatížení, které může materiál nebo konstrukce bezpečně unést.

Pevnostní analýza má velký význam v průmyslu a je důležitá pro bezpečnost a stabilitu konstrukcí a strojů. Díky ní lze předpovědět chování materiálů a konstrukcí při různých zatíženích a optimalizovat jejich design a použití. [8]

2.3.1 Pevnostní analýza simulací

Pevnostní analýza simulací je jeden z nejčastějších způsobů, jak provádět pevnostní analýzu v průmyslu. Tento proces využívá počítačové simulace k vytvoření modelu materiálu nebo konstrukce a provedení virtuálních testů za různých podmínek zatížení.

Simulační pevnostní analýza umožňuje rychle a efektivně testovat různé návrhy a zjišťovat, jaké jsou jejich pevnostní vlastnosti. Simulační analýza může být použita k řešení různých pevnostních problémů, jako jsou například analýza napětí, analýza pružnosti a analýza životnosti.

V simulacích se používají různé techniky, jako jsou například Finite-Elemente-Methode (FEM), Finite-Volume-Method (FVM), Smoothed-particle hydrodynamics (SPH) a další. Tyto metody umožňují modelovat různé typy materiálů, jako jsou kovy, plasty, sklo, beton a další.

Výhodou simulací je, že umožňují rychle provést mnoho různých testů za různých podmínek a porovnat výsledky. To umožňuje snížit náklady na testování a zkrátit čas potřebný pro vývoj a výrobu nových materiálů a konstrukcí.

Simulační pevnostní analýza je velmi důležitá pro průmyslové odvětví, protože umožňuje inženýrům a designérům vytvářet bezpečné a spolehlivé materiály a konstrukce, které vyhovují přesným požadavkům a specifikacím. [8]

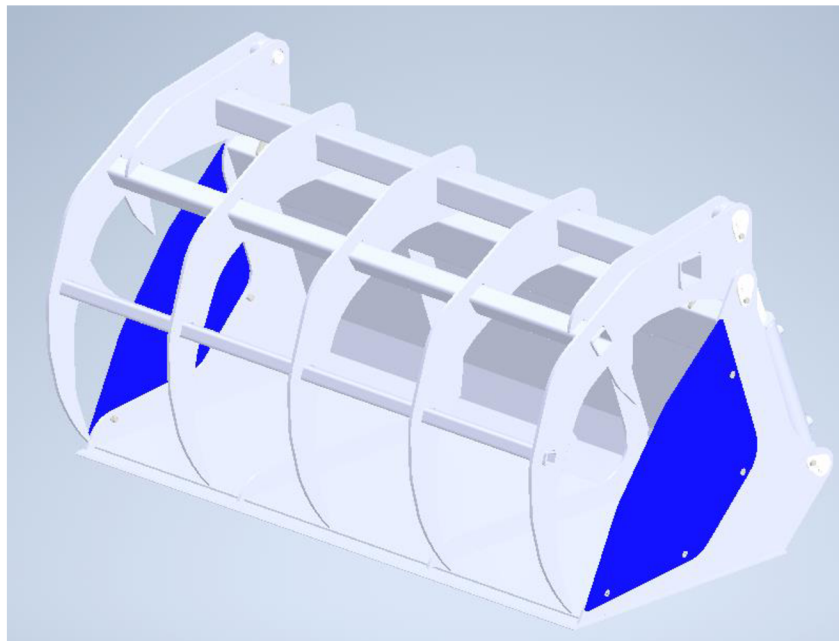
3 Aplikační část diplomové práce

Aplikační část diplomové práce se zaměřuje na představení lopaty, na které jsou optimalizace provedeny a dále použité metody výroby a konstrukce vykusovači lopaty. Tyto metody dále ovlivní anebo ověří správnost zvolené konstrukce, změny na ní provedené a ověří, zda a v jakém měřítku bylo lopata optimalizována.

3.1 Představení a informace o produktu

Vykusovací lopata, která bude analyzována a optimalizována s cílem zjednodušit a zlevnit, je bez velkých změn vyráběna již několik let. Z tohoto důvodu, a i s ohledem na zpětnou vazbu od zákazníků, vystupuje otázka, zda by nemohla být nějakým způsobem zjednodušena a zlevněna. Dle poznatků jsou některé komponenty lopaty až příliš silné a jejich náhrada za o něco slabší varianty je pak na místě.

Konkrétní model, kterému bude v této práci věnována pozornost, je model s šířkou vany 1750 mm. Avšak poznatky zjištěné při optimalizaci tohoto typu mohou být použity i u ostatních modelů s rozdílnými rozměry a konstrukcí.



Obrázek 11 - Kompletní model lopaty

3.1.1 Rozměry a specifikace lopaty

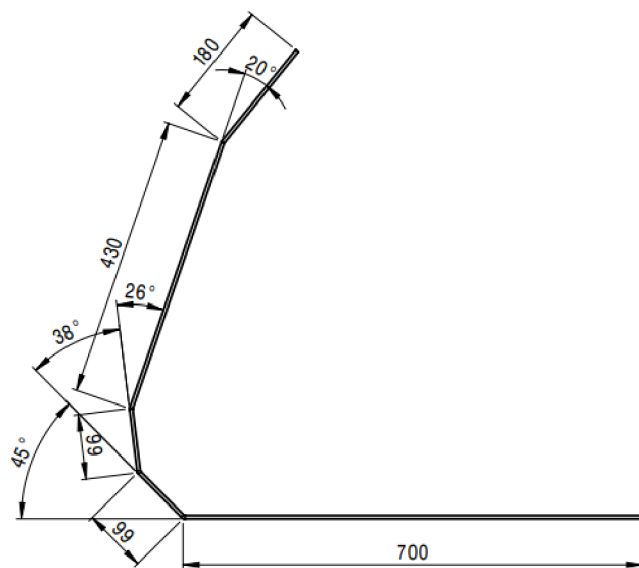
Lopata jako taková má, jak již bylo zmíněno, šířku vany 1750 mm, dále pracuje s objemem 1,25 m³ a její váha je 380 kg. Je koncipována pro zemědělské využití a práci na statcích, kde po připojení k čelnímu nakladači většinou slouží k přepravě sena, hnoje a dalších materiálů. Nosnost konstrukce je 1500 kilogramů.

3.1.1.1 Vana lopaty

Vana lopaty je vyráběná z plechu, který prochází procesem vyřezání na CNC laseru a po následném vyříznutí je ohnuta na CNC ohraňovacím lisu do požadovaných úhlů a rozměrů. Konkrétní materiál využívaný v současné době k těmto účelům je ocel 11 373.0 určená přímo pro plechové konstrukce. Plech, ze kterého je tato deska vyříznuta, musí mít kvůli velkému rozměru vany velikost 3000 mm x 1500 mm. Jedná se zároveň o největší možný rozměr plechu, který je laser schopen zpracovat. Po vyříznutí na laseru bude vana přesunuta na stanoviště CNC ohraňovacího lisu pro ohnutí.

Tloušťka vany

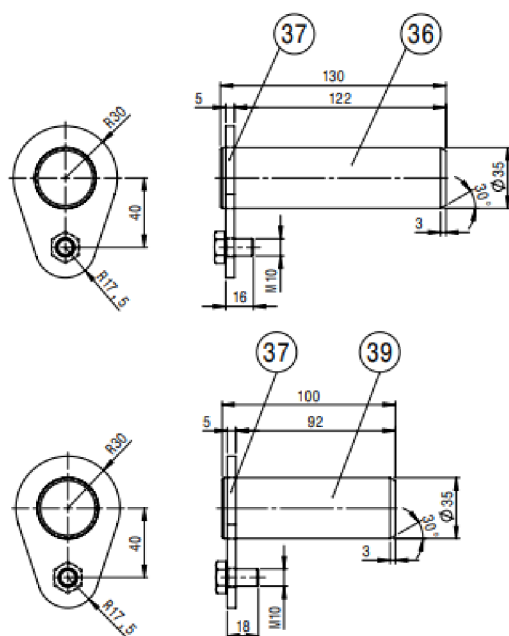
V současné době je vana vyráběná z plechu o tloušťce 5 mm, avšak kvůli zlevnění výroby by bylo vhodné, aby mohl být využit plech s menší tloušťkou, jako například plech tlustý 4 mm. Z toho důvodu budou ohledně plechu vany provedeny pevnostní analýzy, ve kterých bude vyhodnocen stav a výhody, které tenčí či tlustší plech nabízí.



Obrázek 12 - Výkres ohybů vany

3.1.2 Čepy lopaty

O spojení čelistí s vanou lopaty se starají čepy jsou navrženy tak, aby pracovaly s tlakem 65 MPa. Tato hodnota je dána materiálem, ze které jsou čepy vyrobeny, a tím je ocel 11 523. Tato ocel je využívána i pro mostní konstrukce a jiné svařované konstrukce. Čepy jsou normalizované a jejich vlastnosti jsou odvozeny ze strojnických tabulek. Tloušťka čepů je v současné chvíli 35 mm a jejich délka pak 130 mm (čepy využité k uchopení pístnic k vaně) a 100 mm (písty využité k uchopení pístnic k čelistem).

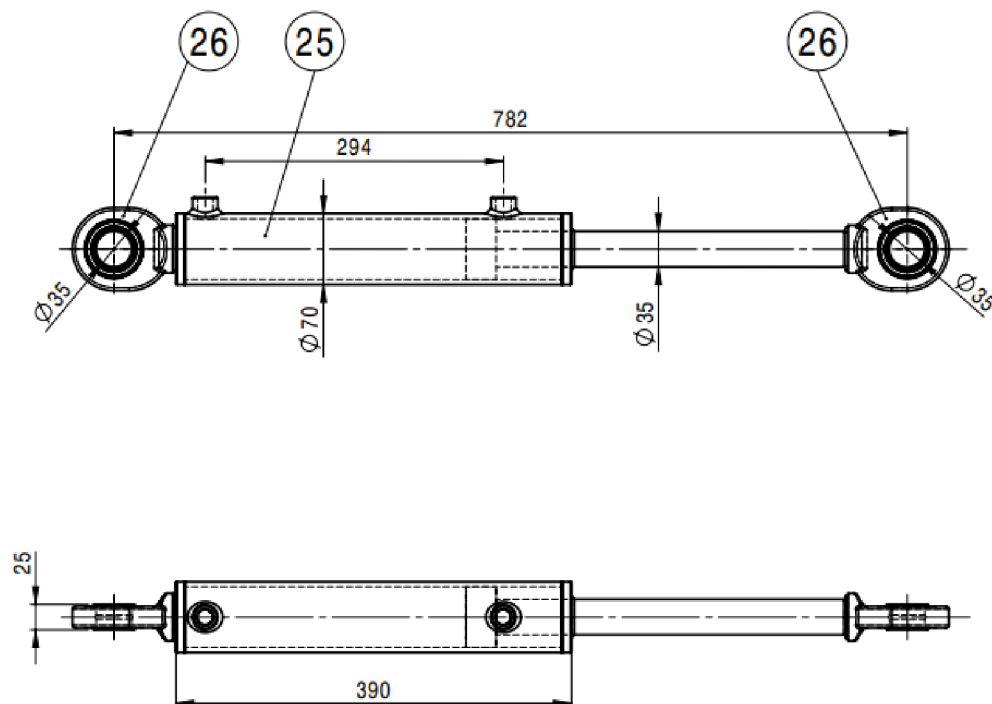


Obrázek 13 - Čepy

Čepy se pokusím zlevnit a najít vhodnou variantu, která by za stejných podmínek vyhovovala a neoslabovala konstrukci lopaty. Tento proces bude proveden výpočtem čepů na odtlačení.

3.1.3 Pístnice lopaty

Lopata v současné chvíli využívá dva (jeden na každé straně) dvojčinné válce firmy Granit s rozměry 36-60-250-1. Každý z těchto válců má tlakovou sílu 3 tuny, což je pro účely lopaty nadbytečné. Z toho důvodu se budu snažit vyhledat pístnice o tlakové síle kolem 1,5 tuny, tato síla by měla mít určitou rezervu s ohledem na to, kdyby byla lopata při svém použití mírně přetěžována. Z toho nám vznikne kombinovaná tlaková síla 3 tuny a ta bude jedním z hlavních požadavků na nové pístnice.



Obrázek 14 - Pístnice lopaty

V případě výměny pístnic a čepů bude nutné také vyměnit kloubové hlavy o průměru 35 mm. Tyto hlavy jsou využívány spolu s čepy tloušťky 35 mm, které bude mým cílem nahradit za levnější a vyhovující nastaveným požadavkům.

3.2 Požadavky na vykusovací lopaty

Požadavky na nosnost lopaty jsou stejné jako při vypracování dané lopaty v mé bakalářské práci. Účelem těchto kroků není snížit použitelnost lopaty, ale vytvořit konstrukční řešení, které bude nadále vyhovovat stejným požadavkům, avšak za menší náklady. Nosnost lopaty je tedy 1500 kg. Lopata musí být stále využitelná pro různé druhy operací jako nakládání sena, zrní či v omezeném užití jako lopata pro nakládání zeminy.

Lopata bude opět konstruována tak, aby bylo možné dle požadavků zákazníka jednoduchým způsobem přizpůsobit uchycení vany na čelní nakladač tak, aby byl zákazník spokojen a lopata mohla být použita na širokém množství čelních nakladačů.

Seznam požadavků na lopatu:

- Nosnost lopaty 1500 kg
- Vhodná pro převoz různorodých materiálů
- Hydraulicky ovládaný vykusovač
- Snížení ceny lopaty

3.3 Ověření pevnosti vany lopaty a porovnání různých tloušťek plechu

Vana lopaty je vytvořena vypálením desky plechu na CNC laseru. V tuto chvíli se využívá plech z oceli 11 373.0. Tento plech jsem díky jeho vlastnostem vybral, protože byl v danou chvíli nejdostupnější a nejvhodnější k výrobě vany lopaty. Existuje však mnoho jiných materiálů, které by se dali pro tuto konstrukci využít. Každý z těchto materiálů má samozřejmě své výhody a nevýhody, ať už se jedná o konstrukční vlastnosti, či cenu materiálu.

Spolu s materiálem bude vytvořena pevnostní analýza různých tloušťek materiálů, které by mohli současný plech nahradit. Tato pevnostní analýza bude vytvořena v programu Autodesk Inventor Professional 2023, který mám díky studentské licenci poskytnuté od Vysoké školy ekonomické v Českých Budějovicích zdarma. Podle výsledků z těchto analýz pak budou jednotlivé tloušťky porovnány a z výsledků bude vybrána ta nejvhodnější s ohledem na konstrukční požadavky lopaty, cenu materiálu dané tloušťky.

3.3.1 Výběr materiálu

Prvním druhem oceli, který zvažuji pro náhradu současného materiálu je ocel 11 343.0. 11 343.0 se využívá jako konstrukční ocel se zaručenou svařitelností, kdy je doporučeno pouze mírné statické a popřípadě i dynamické namáhání. Nejčastější využití této oceli je pak pro drobné lisované a tvářené výrobky, málo namáhané nýtované a svařované konstrukce a svařované trubky. Mechanické vlastnosti pak jsou 320-410 MPa pro pevnost ve stříhu, 180 MPa pro pevnost v tahu, a tvrdost HB v maximu až 217. Bohužel je tato ocel určena pro menší konstrukce s nižšími nároky na pevnost a méně náročnými požadavky s ohledem na ohýbání, které je v tomto případě důležitým prvkem při výběru plechu.

Dalším materiálem zvažovaným je ocel třídy 11 423.0. Tyto oceli jsou využívány k výrobě mírně namáhaných hřídel, čepů a ozubených kol. Svařitelnost je zaručena. Mechanické vlastnosti zahrnují 450-520 MPa pro pevnost ve stříhu, 226 MPa pro pevnost v tahu, a tvrdost HB v maximu až 185. Nevýhodou této oceli je, že konstrukce, ve kterých by měla být využívána by neměly být odolné proti opotřebení.

Předposledním materiálem, který je zvažován pro náhradu je ocel 11 500.0. Tento materiál je jednou z nejčastěji využívanou ocelí ve strojírenské praxi. Konstrukční prvky, ve kterých je tato ocel využívána jsou součástí namáhané staticky i dynamicky. Mezi tyto prvky patří: hřídele, ozubená kola, čepy kolíky, položky a mnoho dalších spojovacích materiálů. Výhodou je pak také využití při výrobě tepelných energetických zařízení. Mechanické vlastnosti jsou 470-610 MPa pro pevnost ve stříhu, 245 MPa pro pevnost v tahu, a tvrdost HB v maximu až 268. Díky těmto vlastnostem a ceně byl tento materiál upřednostněn v mé bakalářské práci před ostatními. Největší nevýhodou této oceli je však velmi obtížná svařitelnost, která by mohla při vytváření konstrukce lopaty způsobovat bez investic do nákladnějších svařovacích technologií jisté problémy.

Jak již bylo zmíněno, v současné chvíli se k výrobě vany lopaty využívá ocel 11 373.0. Tato ocel se vyznačuje zaručenou tavnou svařitelností, vhodností pro kování, lisování a schopností být za studena ohýbaná. Použití přímo zmiňuje, že ocel je využívána jako základ pro plechy využívané na strojní konstrukce a dále pak konstrukce mostní, jeřábové a stropní. Mechanické vlastnosti: jsou 340-440 MPa pro pevnost ve stříhu, 186 MPa pro pevnost v tahu, a tvrdost HB v maximu až 225. Díky těmto vlastnostem a ceně byl tento materiál upřednostněn v mé bakalářské práci před ostatními.

Pro jednodušší orientaci ve vlastnostech materiálů, jejich použití v praxi, mechanických vlastnostech a v neposlední řadě i výhodách a nevýhodách je zde přiložena tabulka dle strojnických tabulek, který usnadňuje orientaci.

Označení dle ČSN	Mechanické vlastnosti			Třída odpadu	Vlastnosti a použití
	R _m (MPa)	R _{e min} (MPa)	Tvrdość HB		
11 343.0	320-410	180	Max. 217	001	Konstrukční ocel, tavná svařitelnost zaručena. Vhodná pro pokovování a cementování svařované součásti menších tlouštěk namáhané staticky, popř. i mírně dynamicky, součásti svařované tlakem: kované součásti tepelných, energetických zařízení do 300 °C, drobné lisované a tvářené výrobky, stavební a nábytkové kování, třmeny, rozpěrky, páky, zděře, hřebíky, svorníky, drážky. Málo namáhané nýťované a svařované konstrukce, svařované trubky z oceli 11 320.
11 373.0	340-440	186	Max. 225	001	Konstrukční ocel, tavná svařitelnost zaručena. NŽ – 900 až 930 °C.
					Jednoduché, mírně namáhané, kované, lisované, zastudena ohýbané součásti. Plechy na strojní konstrukce, páky, šrouby, zděře, nýty. Profilové materiály. Součásti do 300 °C, mostní, jeřábové a stropní konstrukce namáhané staticky a mírně dynamicky.
11 423.0	420-520	226	Max. 185	001	Konstrukční ocel, tavná svařitelnost zaručena. NŽ – 890 až 920 °C Mírně namáhané hřídele, čepy, ozubená kola, kde se nevyžaduje odolnost proti opotřebení. Zápustkové výkovky a výlisky. Součásti železničních vozidel.
11 500.0	470-610	245	Max. 268	001	Konstrukční ocel, tavná svařitelnost obtížná. NŽ – 850 až 880 °C, ŽM – 680 až 720 °C, K – 850 až 870 °C/voda, olej P – 530 až 670 °C vzduch. Strojní součásti namáhané staticky i dynamicky: hřídele, ozubená kola, strojní součásti soustružené, čepy, kolíky, podložky, příruby, pouzdra, základové desky, šrouby, matice, kladky, hrdla apod. Kovové součásti tepelných energetických zařízení.

Tabulka 1 - Zvažované materiály pro vanu (Zdroj: LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky str. 233)

Po uvážení všech prvků jednotlivých materiálů není vhodné nahrazovat současný materiál, ze kterého jsou plechy vyrobeny. Důvodem této volby je největší dostupnost tohoto materiálu, jeho způsobilost pro ohyb, který je vyžadován při konstrukci vany lopaty a zaručená svařitelnost. Ostatní materiály jako 11 500.0 či 11 423.0 sice disponují lepšími mechanickými vlastnostmi, ale jejich nevhodnost při ohledu na svařitelnost, či použití pro ohýbané konstrukce je řadí jako nevyhovující. Ocel 11 343.0 je určena spíše pro menší součásti, jako třmeny, rozpěry, hřebíky a podobné spojovací součásti. S ohledem na všechny tyto poznatky se ocel 11 373.0 stále jeví jako nejvhodnější pro konstrukci vany lopaty a není nejmenší důvod ji nahrazovat některou z alternativ, které ostatní představené oceli představují.

3.3.2 Volba tloušťky plechu

Hlavní podmínkou pro volbu tloušťky plechu materiálu je, aby zvládl odolat zátěži 1500 kilogramů. Pokud by se tak nestalo, bude třeba zvolit větší tloušťku, která by dané zátěži odolala. V současné chvíli je pro účely lopaty využíván plech o tloušťce 5 mm, tento plech bude sloužit jako orientační a porovnávací. Pro účely plechu testu budou provedeny pevnostní analýzy na tloušťkách 4 mm a 3 mm. Pokud by některý z těchto plechů vyhovoval, znamenalo by to výrazné snížení ceny lopaty a usnadnění výrobních procesů jako je ohýbání, svařování a řezání plechu na CNC laseru. Po provedení pevnostních analýz na samotné vaně, budou analýzy dále provedeny i na kompletní spodní čisti lopaty. Tyto analýzy budou provedeny z důvodu, že lopata disponuje dodatečnými podpěrami, které zesilují její konstrukci, pevnost a zvyšují i její nosnost.

Vana radlice je tvarována několika kroky pomocí CNC ohraňovacího lisu značky Trumf. Tento stroj zvládne ohnout plechy o maximální délce 4080 mm a pracuje s lisovací silou 1700 kN. Díky těmto vlastnostem nemá ohraňovací problém s ohnutím plechů mnohem větších tlouštěk, než se kterými budu pracovat. (viz. Obrázek č. 10)

3.3.2.1 Porovnání cen plechů

Cena, která je v tabulce výše uvedena slouží pouze orientačně, a to z důvodu neustálých změn na trhu. Tyto změny hýbají s cenou každý den a proto je třeba brát tyto výkyvy v potaz. V porovnání s cenami z roku 2021, kdy byl vrchol epidemické krize covid 19 jsou však naštěstí ceny skoro o polovinu nižší. V roce 2019 byla ale cena za tabuli plechu 3000 x 1500 x 3 mm za cenu kolem 1300 Kč. Tyto a další důvody pak ztěžují konkurenci schopnost menších firem na trhu oproti velkým korporátům, které nabírají materiál v mnohem větších množstvích za nižší ceny.

Jak již bylo zmíněno, tloušťky porovnávaných plechů jsou 3 mm, 4 mm a 5 mm. V současné chvíli je vana radlice vyráběna z plechu 5 mm. Nejlevnější z těchto plechů je dle očekávání plech tloušťky 3 mm, avšak jeho vhodnost pro lopatu s touto nosností bude zřejmá až po vypracování pevnostní analýzy. Plech tloušťky 4 mm by v tomto ohledu mohl splňovat volbu takzvané „zlaté střední cesty“, avšak i u něj je pevnostní způsobilost nejistá, ale cena je opět nižší než u plechu tloušťky 5 mm. Plech tloušťky 5 mm je tam v současné chvíli jediným, který s jistotou splňuje pevnostní podmínky pro použití u radlice s požadovanou nosností 1500 kg. V případě, že by plechy tloušťky 3 mm a 4 mm nesplnily požadované podmínky, mohou být poznatky získané z jejich pevnostních analýz použity v případě budoucích konstrukcí radlic

s nižší nosností, než je ta současná. Dále pak bude provedena analýza i na vaše o tloušťce 6 mm. V současné chvíli nebude podle předběžných odhadů tato tloušťka použita, ale může být využita v budoucích úpravách konstrukce v případě, že by zákazník vyžadoval radlici se zvýšenou nosností a pevností. Ovšem stejně jako se zvýší tloušťka plechu se zvýší i konečná cena radlice.

Rozměr plechu	Váha plechu	Výsledná cena
3000 x 1500 x 3 mm	108,4 kg	2710 Kč
3000 x 1500 x 4 mm	141,3 kg	3533 Kč
3000 x 1500 x 5 mm	176,6 kg	4415 Kč
3000 x 1500 x 6 mm	211,9 kg	5297 Kč

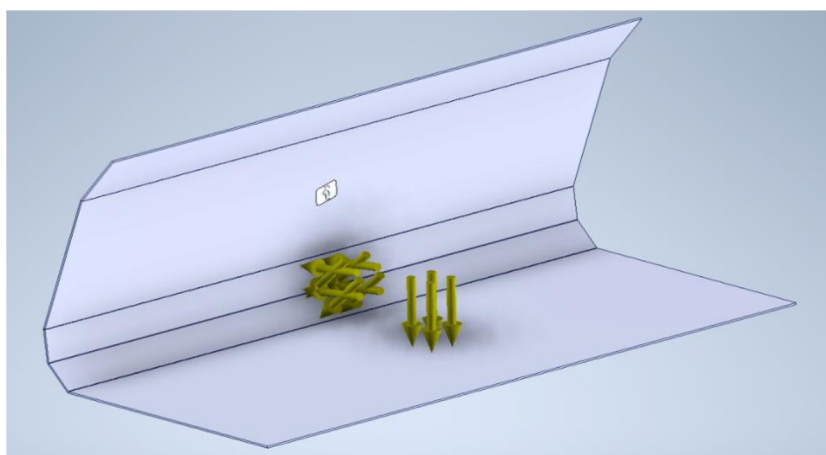
Tabulka 2 - Porovnání hmotnosti a cen plechů

3.3.3 Pevnostní analýza

K vytvoření pevnostní analýzy bude použit program Autodesk Inventor Professional 2023. Tento program je jedním z nejvíce využívaných v oboru strojírenství. Tento program se každý rok aktualizuje o nové položky, postupy a funkce, které mi budou napomáhat s vytvořením nových konstrukčních prvků. Licenci mám díky studiu na Vysoké škole technické a ekonomické v Českých Budějovicích zdarma. Díky své dostupnosti, rozšířenosti a možnosti přístupu do široké škály knihoven obsahujících mnoho komponentů pro vytvoření konstrukcí je velmi vhodný pro účely a potřeby, které pro porovnání van radlic mám.

Jak již bylo v předchozí kapitole řečeno, vana lopaty bude vytvořena z plechu 11 373.0. Tento materiál je přímo určen k plechovým konstrukcím, který nemá problém s ohýbáním a má zaručenou svařitelnost.

Síly jsou na vaně lopaty rozprostřeny tak, jak by ji zatěžovaly v reálné situaci. Nejtěžší materiály, které lopatu budou zatěžovat jsou materiály sypkého původu jako písek, šterk a zemina. Dle toho jsou pak během analýzy zvoleny a umístěny síly, kterým vana musí odolat. Všechny tloušťky vany jsou zatíženy silou 15000 N. Tato síla odpovídá maximální nosnosti lopaty 1500 kg.

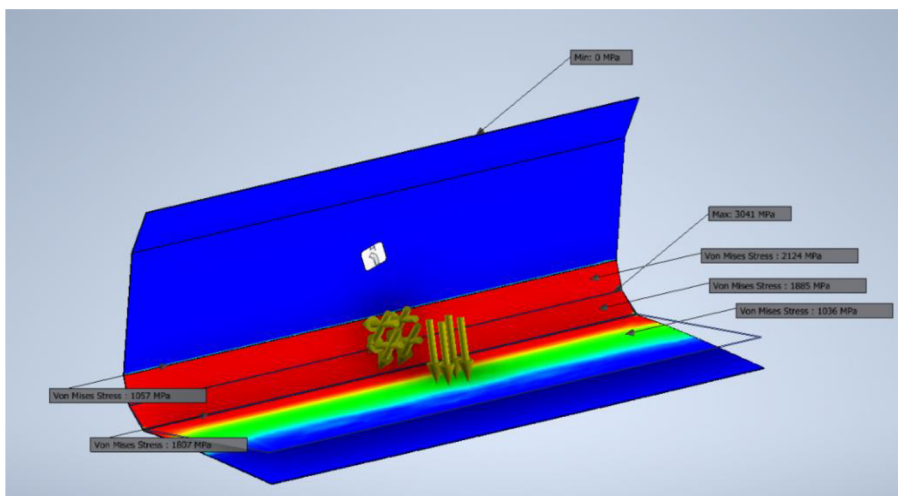


Obrázek 15 - Síly působící na vanu

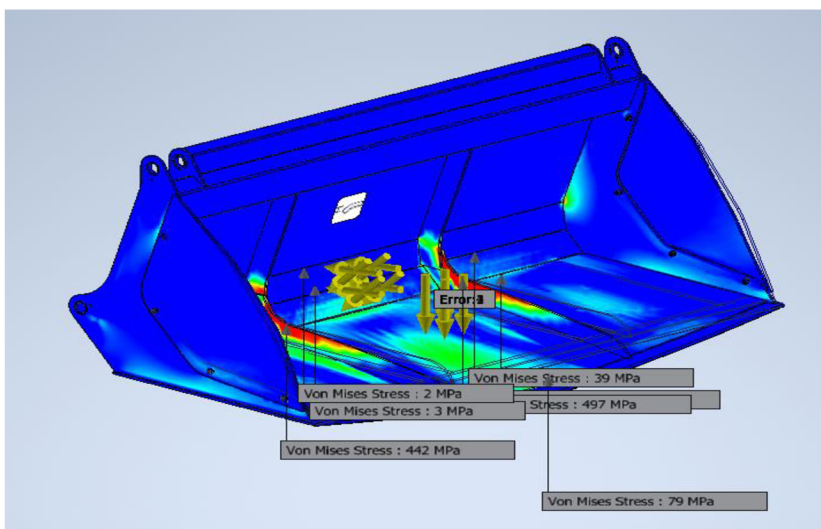
Tloušťka plechu	Napětí v bodě 1	Napětí v bodě 2	Napětí v bodě 3
3 mm	1057 MPa	3041 MPa	1807 MPa
4 mm	1488 MPa	1748 MPa	1418 MPa
5 mm	1201 MPa	915 MPa	670 MPa
6 mm	300 MPa	896 MPa	511 MPa

Tabulka 3 - Síly působící na vanu

3.3.3.1 Vana z materiálu 11 373.0 o tloušťce 3 mm



Obrázek 16 - Pevnostní analýza vany 3 mm



Obrázek 17 - Pevnostní analýza kompletní spodní část s plechem 3 mm

U plechu tloušťky 3 mm pevnostní analýza ukázala naprostou nevhodnost materiálu pro konstrukci. Většina ohybů je po přidání zátěži poškozena a lopata jako taková by byla nevratně zničena. Stejně tak došlo k poškození neohnutých ploch mezi ohyby, které už nebude možné opravit. Jedinou výhodou tedy u plechu 3 mm zůstává jeho nízká cena a nízká váha. Cena, která by se mohla promítnout při konstrukci této lopaty tedy není tak velkým benefitem na to, aby se riskovala nespokojenost zákazníků. Tato tloušťka tedy v našem případě nepřipadá v úvahu a je vyřazena pro nevhodnost pro danou konstrukci. Tato pevnostní analýza však může posloužit pro budoucí projekty, které by pracovali s nižšími nároky na nosnost a pevnost konstrukce. Nespornou výhodou tohoto řešení by však byla váha, která by byla snížena skoro o 70 kg. Což je úspora na váze o více než čtvrtinu oproti současnému řešení lopaty.

Name	Minimum	Maximum
Volume	7871030 mm ³	
Mass	61,7876 kg	
Von Mises Stress	0,00006823 MPa	3041,38 MPa
1st Principal Stress	-271,899 MPa	3559,96 MPa
3rd Principal Stress	-2729,31 MPa	345,33 MPa
Displacement	0 mm	1660,75 mm
Safety Factor	0,0680611 ul	15 ul
Stress XX	-2701,49 MPa	3146,77 MPa
Stress XY	-1346,05 MPa	1192,12 MPa
Stress XZ	-402,269 MPa	413,948 MPa
Stress YY	-1954,63 MPa	2513,14 MPa
Stress YZ	-311,619 MPa	321,431 MPa
Stress ZZ	-819,497 MPa	1148,75 MPa
X Displacement	-1657,57 mm	0,0616946 mm
Y Displacement	-102,939 mm	0,00842443 mm
Z Displacement	-0,392845 mm	0,12393 mm
Equivalent Strain	0,000000000370729 ul	0,0132864 ul

1st Principal Strain	-0,0000113265 ul	0,0151063 ul
3rd Principal Strain	-0,0123465 ul	0,000166244 ul
Strain XX	-0,0121743 ul	0,0131544 ul
Strain XY	-0,00833271 ul	0,00737982 ul
Strain XZ	-0,00249024 ul	0,00256254 ul
Strain YY	-0,00851409 ul	0,0101655 ul
Strain YZ	-0,00192907 ul	0,00198981 ul
Strain ZZ	-0,00301125 ul	0,00345169 ul

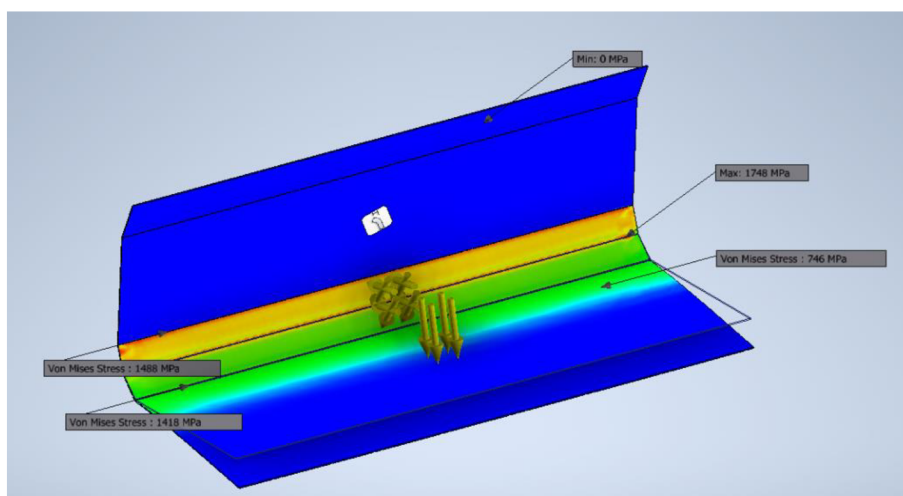
Tabulka 4 - Síly působící na vanu 3 mm

Name	Minimum	Maximum
Volume	31230100 mm ³	
Mass	245,156 kg	
Von Mises Stress	0 MPa	4162,03 MPa
1st Principal Stress	-373,354 MPa	3746,21 MPa
3rd Principal Stress	-2158,47 MPa	266,795 MPa
Displacement	0 mm	10,4794 mm
Safety Factor	0,0497353 ul	15 ul
Stress XX	-787,734 MPa	991,525 MPa
Stress XY	-423,316 MPa	472,501 MPa
Stress XZ	-2105,77 MPa	2282,08 MPa
Stress YY	-562,277 MPa	966,5 MPa
Stress YZ	-565,394 MPa	633,185 MPa
Stress ZZ	-527,46 MPa	2388,62 MPa
X Displacement	-2,24365 mm	2,27129 mm

Y Displacement	-0,407572 mm	0,540654 mm
Z Displacement	-10,4717 mm	0,0479411 mm
Equivalent Strain	0 ul	0,0172147 ul
1st Principal Strain	-0,000100709 ul	0,0171833 ul
3rd Principal Strain	-0,0135262 ul	0,0000714698 ul
Strain XX	-0,00293917 ul	0,00346532 ul
Strain XY	-0,00262053 ul	0,002925 ul
Strain XZ	-0,0130357 ul	0,0141272 ul
Strain YY	-0,00235704 ul	0,00227066 ul
Strain YZ	-0,00350006 ul	0,00391972 ul
Strain ZZ	-0,00228329 ul	0,00877915 ul
Contact Pressure	0 MPa	90332,6 MPa
Contact Pressure X	-73848,4 MPa	88792,5 MPa
Contact Pressure Y	-13366 MPa	9803,43 MPa
Contact Pressure Z	-19603,2 MPa	7451,58 MPa

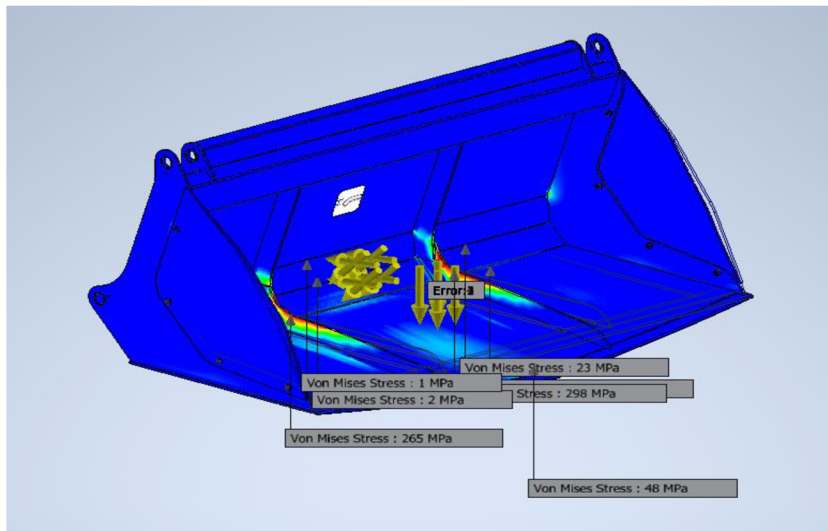
Tabulka 5 - Síly působící na kompletní spodní část lopaty s vanou 3 mm

2.5.3.1 Vana z materiálu 11 373.0 o tloušťce 4 mm



Obrázek 18 - Pevnostní analýza vany 4 mm

Plech o tloušťce 4 mm prošel pevnostní zkouškou o poznání lépe, většina neohnutých ploch nebyla nevratně poškozena a lopata by se po uvolnění zátěže částečně vrátila zpět do původního stavu. Toto však nelze říci o žebrování, které je na vaně nevratně poškozeno a k němu je zde i riziko jeho prasknutí a v nejhorším případě i zranění obsluhy lopaty. Z těchto důvodů je i plech o tloušťce 4 mm vyřazen pro nevhodnost z důvodu nesplnění požadavku na pevnost a nosnost. Jak už již však bylo zmíněno u předchozího materiálu, i tato pevnostní analýza může být využita v budoucích konstrukcích, kde je nárok na nosnost lopaty nižší. V prospěch plechu o tloušťce 4 mm také mluví opět i nižší cena než u v současné době používaného materiálu. Dalším benefitem je snížená váha konstrukce oproti v současné chvíli využívanému plechu tloušťky 5 mm. Rozdíl mezi nimi je 35 kg, což už je nezanedbatelná hodnota.



Obrázek 19 - Pevnostní analýza kompletní spodní část s plechem 4 mm

Name	Minimum	Maximum
Volume	10502700 mm ³	
Mass	82,4459 kg	
Von Mises Stress	0,000208717 MPa	1747,8 MPa
1st Principal Stress	-266,026 MPa	2158,56 MPa
3rd Principal Stress	-1482,82 MPa	261,58 MPa
Displacement	0 mm	714,842 mm
Safety Factor	0,118435 ul	15 ul
Stress XX	-1450,35 MPa	1902,38 MPa

Stress XY	-834,121 MPa	679,186 MPa
Stress XZ	-230,738 MPa	246,072 MPa
Stress YY	-1113,31 MPa	1596,03 MPa
Stress YZ	-286,141 MPa	139,669 MPa
Stress ZZ	-494,686 MPa	711,831 MPa
X Displacement	-713,415 mm	0,0488356 mm
Y Displacement	-45,1573 mm	0,00566679 mm
Z Displacement	-0,171396 mm	0,0890037 mm
Equivalent Strain	0,00000000865555 ul	0,00772738 ul
1st Principal Strain	-0,0000000227997 ul	0,00895257 ul
3rd Principal Strain	-0,00686693 ul	0,0000000260349 ul
Strain XX	-0,00671624 ul	0,00781391 ul
Strain XY	-0,0051636 ul	0,00420448 ul
Strain XZ	-0,00142838 ul	0,0015233 ul
Strain YY	-0,00484487 ul	0,0062873 ul
Strain YZ	-0,00177135 ul	0,000864618 ul
Strain ZZ	-0,00125179 ul	0,00201078 ul

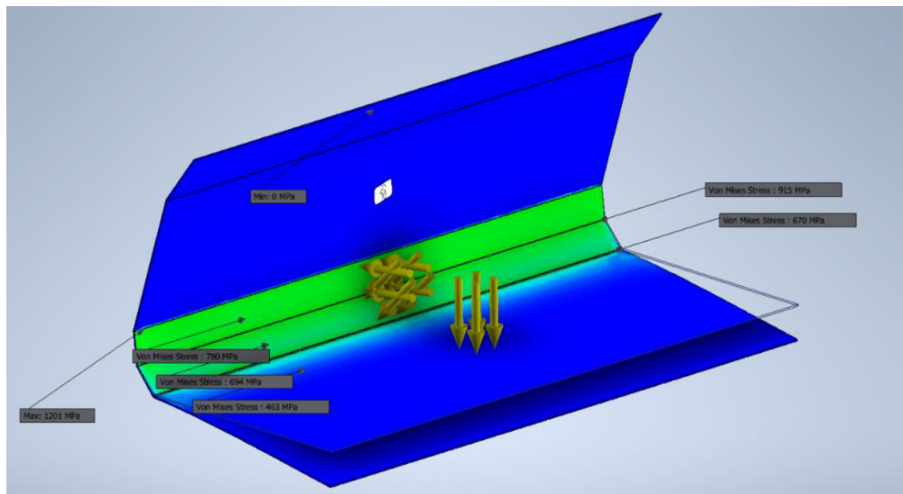
Tabulka 6 - Síly působící na vanu 4 mm

Name	Minimum	Maximum
Volume	31230100 mm ³	
Mass	245,156 kg	
Von Mises Stress	0 MPa	2497,1 MPa
1st Principal Stress	-223,878 MPa	2247,67 MPa
3rd Principal Stress	-1295,11 MPa	159,765 MPa

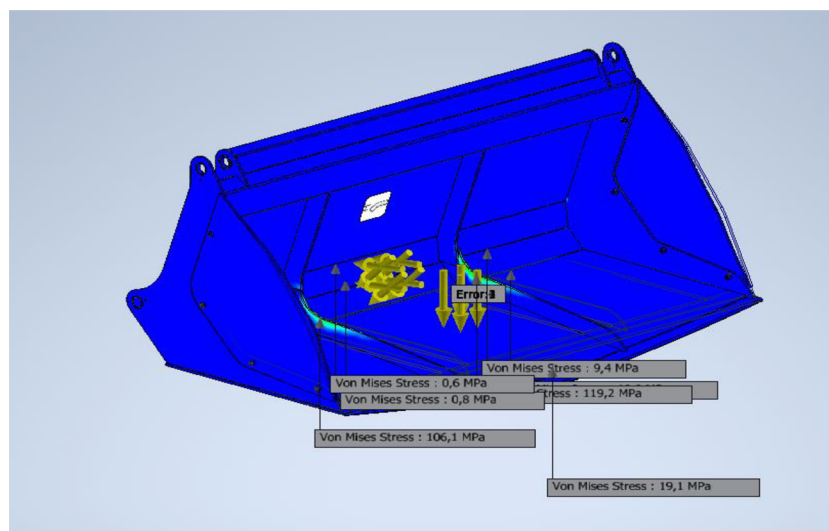
Displacement	0 mm	6,28766 mm
Safety Factor	0,0828961 ul	15 ul
Stress XX	-471,999 MPa	594,415 MPa
Stress XY	-254,095 MPa	283,538 MPa
Stress XZ	-1263,45 MPa	1369,17 MPa
Stress YY	-337,396 MPa	579,868 MPa
Stress YZ	-339,238 MPa	379,907 MPa
Stress ZZ	-316,474 MPa	1433,14 MPa
X Displacement	-1,34619 mm	1,36277 mm
Y Displacement	-0,244543 mm	0,324392 mm
Z Displacement	-6,28301 mm	0,0287646 mm
Equivalent Strain	0 ul	0,0103283 ul
1st Principal Strain	-0,0000604134 ul	0,0103098 ul
3rd Principal Strain	-0,00811577 ul	0,0000431141 ul
Strain XX	-0,00176126 ul	0,00207919 ul
Strain XY	-0,00157297 ul	0,00175524 ul
Strain XZ	-0,00782138 ul	0,00847583 ul
Strain YY	-0,00141418 ul	0,00136239 ul
Strain YZ	-0,00210005 ul	0,0023518 ul
Strain ZZ	-0,00136996 ul	0,00526744 ul
Contact Pressure	0 MPa	54198,4 MPa
Contact Pressure X	-44309,6 MPa	53274,1 MPa
Contact Pressure Y	-8019,06 MPa	5881,35 MPa
Contact Pressure Z	-11762 MPa	4470,95 MPa

Tabulka 7 - Síly působící na kompletní spodní část lopaty s vanou 4 mm

3.3.3.2 Vana z materiálu 11 373.0 o tloušťce 5 mm



Obrázek 20 - Pevnostní analýza vany 5 mm



Obrázek 21 - Pevnostní analýza kompletní spodní část s plechem 5 mm

Plech o tloušťce plechu 5 mm je v současné chvíli využíváných pro výrobu této lopaty. Proto není ani tak překvapivé, že touto pevnostní analýzou zatím prošel v porovnání se všemi předchozími materiály úplně nejlépe. Jak ohyby, tak neohnuté plochy mezi nimi nevykazují poškození, které by bylo nevratné a lopata by nebyla schopna dalšího používání. Avšak nevýhodou oproti předchozím tloušťkám je vyšší pořizovaný cena.

Name	Minimum	Maximum
Volume	13133900 mm ³	
Mass	103,101 kg	
Von Mises Stress	0,0000978743 MPa	1201,44 MPa
1st Principal Stress	-205,711 MPa	1555,01 MPa
3rd Principal Stress	-1082 MPa	352,536 MPa
Displacement	0 mm	369,392 mm
Safety Factor	0,172294 ul	15 ul
Stress XX	-1081,92 MPa	1504,53 MPa
Stress XY	-534,159 MPa	427,495 MPa
Stress XZ	-172,067 MPa	169,141 MPa
Stress YY	-712,242 MPa	1133,85 MPa
Stress YZ	-95,3627 MPa	93,413 MPa
Stress ZZ	-357,138 MPa	544,948 MPa
X Displacement	-368,61 mm	0,0399411 mm
Y Displacement	-24,0622 mm	0,00298786 mm
Z Displacement	-0,08028 mm	0,0637503 mm
Equivalent Strain	0,00000000416071 ul	0,00534543 ul
1st Principal Strain	-0,0000000402886 ul	0,00628049 ul
3rd Principal Strain	-0,00447249 ul	0,0000000182512 ul
Strain XX	-0,00447199 ul	0,00614699 ul
Strain XY	-0,0033067 ul	0,0026464 ul
Strain XZ	-0,00106518 ul	0,00104707 ul
Strain YY	-0,00307561 ul	0,00443418 ul

Strain YZ	-0,000590341 ul	0,000578271 ul
Strain ZZ	-0,000864061 ul	0,00117627 ul

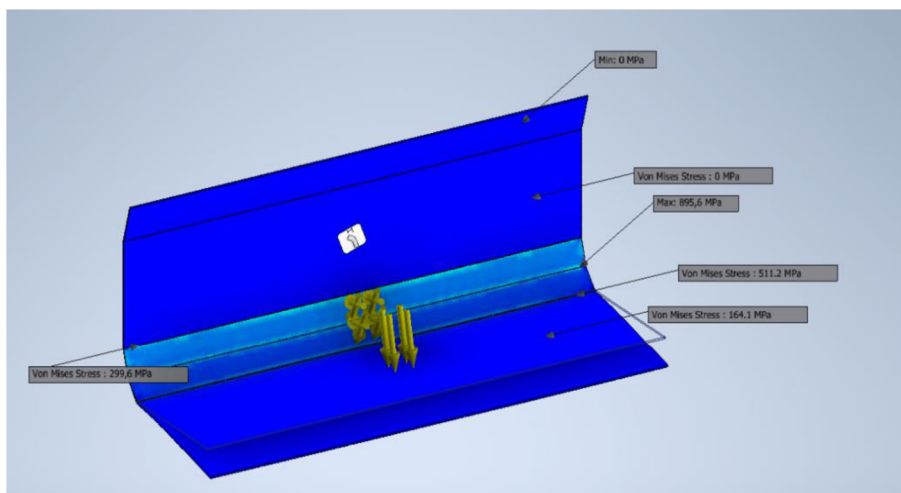
Tabulka 8 - Síly působící na vanu 5 mm

Name	Minimum	Maximum
Volume	31230100 mm ³	
Mass	245,156 kg	
Von Mises Stress	0 MPa	998,817 MPa
1st Principal Stress	-89,5125 MPa	899,875 MPa
3rd Principal Stress	-517,572 MPa	63,8743 MPa
Displacement	0 mm	2,51503 mm
Safety Factor	0,207245 ul	15 ul
Stress XX	-187,635 MPa	237,722 MPa
Stress XY	-101,649 MPa	113,728 MPa
Stress XZ	-505,49 MPa	547,659 MPa
Stress YY	-134,972 MPa	232,429 MPa
Stress YZ	-135,697 MPa	152,025 MPa
Stress ZZ	-126,675 MPa	573,785 MPa
X Displacement	-0,538471 mm	0,545104 mm
Y Displacement	-0,0978149 mm	0,129755 mm
Z Displacement	-2,51317 mm	0,0115059 mm
Equivalent Strain	0 ul	0,00413122 ul
1st Principal Strain	-0,0000241449 ul	0,00412645 ul
3rd Principal Strain	-0,00324624 ul	0,000020938 ul
Strain XX	-0,000692342 ul	0,000831653 ul

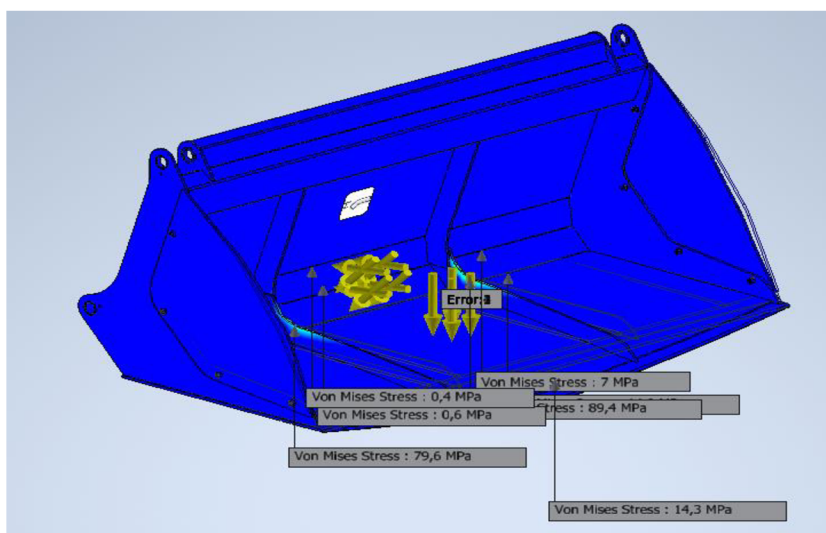
Strain XY	-0,000629257 ul	0,000704032 ul
Strain XZ	-0,00312922 ul	0,00339027 ul
Strain YY	-0,000566468 ul	0,00054496 ul
Strain YZ	-0,000840026 ul	0,000941109 ul
Strain ZZ	-0,000548061 ul	0,00210779 ul
Contact Pressure	0 MPa	21665 MPa
Contact Pressure X	-17723 MPa	21293,8 MPa
Contact Pressure Y	-3206,32 MPa	2348,75 MPa
Contact Pressure Z	-4704,1 MPa	1787,82 MPa

Tabulka 9 - Síly působící na kompletní spodní část lopaty s vanou 5 mm

3.3.3.3 Vana z materiálu 11 373.0 o tloušťce 6 mm



Obrázek 22 - Pevnostní analýza vany 6 mm



Obrázek 23 - Pevnostní analýza kompletní spodní část s plechem 6 mm

Vana o tloušťce plechu 6 mm je dle očekávání nejvhodnější volbou s ohledem na pevnost celé konstrukce lopaty. Ohyby a stejně tak i neohnuté plochy jsou po zatížení 15000 N skoro nepoznamenané a materiál by snesl i mnohem větší zátěž. Dle pevnostní analýzy tedy vychází plech o tloušťce 6 mm jako nejideálnější volba pro naši konstrukci, bohužel je o více jak třetinu dražší než v současné době používaný plech o tloušťce 5 mm a jeho výhoda v pevnosti a nosnosti není ospravedlnitelným důvodem pro jeho využití. Dalším z důvodem, který se negativně podepsal na výsledné konstrukci je i výsledná váha, která by byla po změně materiálu i více než 35 kg vyšší, než v případě současného řešení. Stejně tak ale bude moct být tato pevnostní analýza využita v případě budoucích změn konstrukce vykusovací lopaty.

Name	Minimum	Maximum
Volume	15778200 mm ³	
Mass	123,859 kg	
Von Mises Stress	0,0003373 MPa	895,573 MPa
1st Principal Stress	-73,4538 MPa	1186,71 MPa
3rd Principal Stress	-654,208 MPa	218,973 MPa
Displacement	0 mm	207,218 mm
Safety Factor	0,231137 ul	15 ul
Stress XX	-632,269 MPa	1056,05 MPa
Stress XY	-399,931 MPa	293,56 MPa
Stress XZ	-98,4944 MPa	99,7085 MPa
Stress YY	-463,945 MPa	834,332 MPa
Stress YZ	-75,2214 MPa	60,2684 MPa
Stress ZZ	-209,946 MPa	387,161 MPa
X Displacement	-206,774 mm	0,0329484 mm
Y Displacement	-13,5561 mm	0,00289673 mm
Z Displacement	-0,0434767 mm	0,0484003 mm
Equivalent Strain	0,00000000167913 ul	0,00403138 ul
1st Principal Strain	-0,00000000201651 ul	0,00478512 ul
3rd Principal Strain	-0,00300653 ul	0,00000000408853 ul
Strain XX	-0,00294251 ul	0,00397629 ul
Strain XY	-0,00247576 ul	0,00181728 ul
Strain XZ	-0,000609727 ul	0,000617243 ul
Strain YY	-0,00204338 ul	0,0031958 ul

Strain YZ	-0,000465656 ul	0,00037309 ul
Stráni ZZ	-0,000717575 ul	0,000827789 ul

Tabulka 10 - Síly působící na vanu 6 mm

Name	Minimum	Maximum
Volume	31230100 mm ³	
Mass	245,156 kg	
Von Mises Stress	0 MPa	749,368 MPa
1st Principal Stress	-67,0823 MPa	674,346 MPa
3rd Principal Stress	-388,551 MPa	48,5376 MPa
Displacement	0 mm	1,88628 mm
Safety Factor	0,276233 ul	15 ul
Stress XX	-140,727 MPa	179,312 MPa
Stress XY	-76,2404 MPa	85,2276 MPa
Stress XZ	-379,049 MPa	410,913 MPa
Stress YY	-101,166 MPa	173,966 MPa
Stress YZ	-101,767 MPa	113,98 MPa
Stress ZZ	-94,9901 MPa	429,983 MPa
X Displacement	-0,403854 mm	0,408829 mm
Y Displacement	-0,0733616 mm	0,0973167 mm
Z Displacement	-1,88488 mm	0,00862944 mm
Equivalent Strain	0 ul	0,00309959 ul
1st Principal Strain	-0,000018114 ul	0,00309313 ul
3rd Principal Strain	-0,00243463 ul	0,0000155142 ul
Strain XX	-0,000519275 ul	0,000623741 ul

Strain XY	-0,000471964 ul	0,000527599 ul
Strain XZ	-0,00234649 ul	0,00254375 ul
Strain YY	-0,000424769 ul	0,000408719 ul
Strain YZ	-0,000629988 ul	0,000705591 ul
Strain ZZ	-0,000411035 ul	0,00158041 ul
Contact Pressure	0 MPa	16249 MPa
Contact Pressure X	-13292,3 MPa	15970,6 MPa
Contact Pressure Y	-2404,79 MPa	1762,35 MPa
Contact Pressure Z	-3528,3 MPa	1341,02 MPa

Tabulka 11 - Síly působící na kompletní spodní část lopaty s vanou 6 mm

3.3.4 Výběr tloušťky plechu

Dle výsledků pevnostní analýzy vychází, že plechy tloušťky 3 mm a 4 mm jsou z důvodu konstrukčních požadavků na lopatu nevhodné, a i přes jejich benefity, kterými jsou hlavně nižší cena a váha je nelze použít. Obě dvě řešení by nesplňovala požadavek na nosnost, jež je 1500 kg. Další variantou, která je ve po pevnostních analýzách nevhodná je plech o tloušťce 6 mm. Tento plech, byť pevností dalece předčil předchozí řešení, je oproti nim příliš nákladný a těžký, což přesahuje jeho již zmíněný klad. Pevnostní analýzy u všech těchto řešení však nejsou zbytečné a mohou být použity u budoucích konstrukčních změn vykusovací lopaty, ať už se jedná o nový model se zvýšenou nosností, nebo o model se sníženou vahou konstrukce.

Překvapivě se tak nebude u plechu lopaty měnit tloušťka. V současné chvíli využívaný plech o síle 5 mm svými vlastnostmi a výhodami přesahuje jiná konstrukční řešení, která ať už svou zvýšenou cenou a pevností, nebo sníženou vahou až tak velké benefity. Kombinace pevnosti, váhy, ceny a nosnosti představují jedinou a nejideálnější volbu.

3.4 Kontrola svarů vany

V rámci výběru materiálu, tloušťky plechu a provedení pevnostní analýzy je provedena ještě kontrola svarů na vaně. Tato zkouška je prováděna se dvěma svařenými tělísky o rozměrech 15x100x d (d = tloušťka zkušebního tělíska). Svařená tělíska jsou při této zkoušce postupně napínána, dokud nedosáhneme hranice výdrže či nedojde k přetržení zkušebního tělíska. Pokud dojde k přetržení tělíska a svar vydrží, můžeme zkoušku považovat za úspěšnou a pevnost svaru je vyšší než pevnost materiálu.

3.4.1 Tahová zkouška

Tahová zkouška svarů je destruktivní zkouška, což znamená, že po dokončení zkoušky nelze svar použít dále, protože došlo k jeho zničení. Během tahové zkoušky svaru se na svarový kus materiálu působí rostoucí tahová síla a měří se, jak dlouho svar vydrží této síle odolávat, než dojde k jeho prasknutí. Tato zkouška se používá k posouzení kvality svaru, protože ukazuje, jak pevný a odolný je svar vůči přetížení a lámání. Nicméně, po dokončení tahové zkoušky svaru již není svar použitelný, protože došlo k jeho destrukci. To znamená, že pokud se svar zkouší na reálném produktu, jako je například letadlo nebo most, musí být před tímto testem odstraněn a nahrazen novým svařencem. Je důležité poznamenat, že tahová zkouška svarů je nutná a důležitá pro zajištění bezpečnosti v různých průmyslových odvětvích, protože poskytuje důležité informace o pevnosti a odolnosti svaru. Přestože je destruktivní, pomáhá zajistit bezpečnost a spolehlivost výrobků, které jsou vyráběny ze svarů.

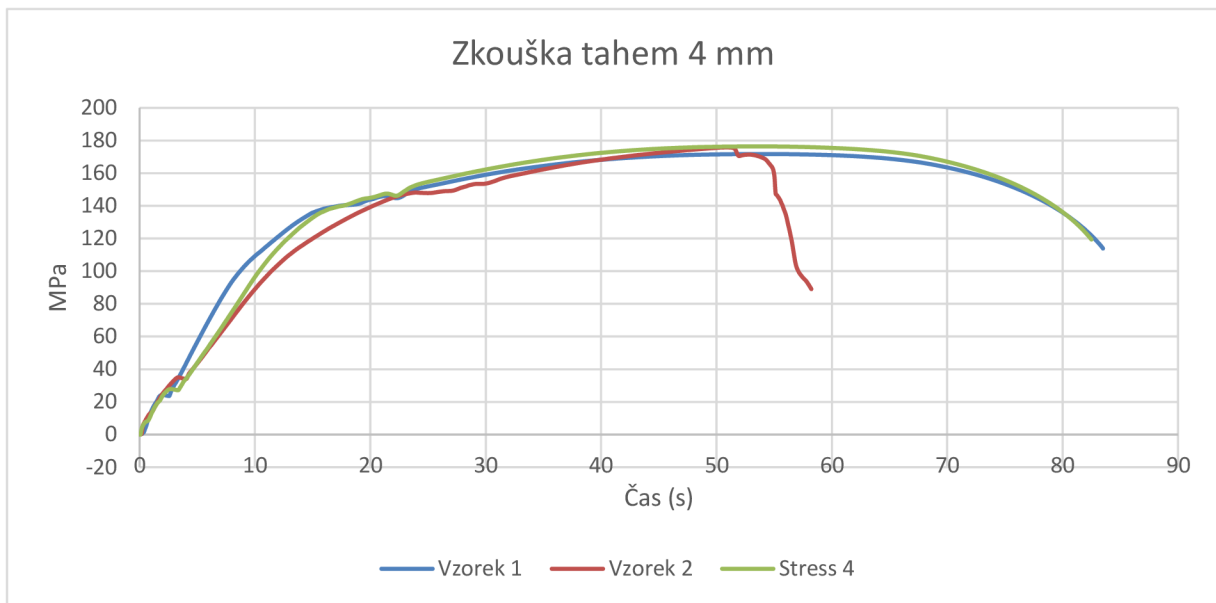
Pro uskutečnění tahové zkoušky jsem uskutečnil tento postup:

1. Příprava svarového vzorku: Nejprve se připraví svarový vzorek, který obsahuje svarový spoj, na kterém bude zkouška provedena. Tento vzorek musí být v souladu s předepsanými normami a standardy.
2. Natažení svarového vzorku: Svarový vzorek se natahuje do zařízení na tahové zkoušky, které může být buď manuální nebo automatizované.
3. Nastavení zařízení na tahové zkoušky: Následně se nastaví parametry zařízení na tahové zkoušky podle předepsaných norem a standardů, jako je například rychlost tahového zařízení nebo množství tahové síly.
4. Provedení tahové zkoušky: Po připravení svarového vzorku a nastavení parametrů se spustí tahová zkouška. Během zkoušky se postupně zvyšuje tahová síla, dokud nedojde k prasknutí svaru. Během zkoušky se zaznamenávají různé parametry, jako je maximální tahová síla, prodloužení a průřezová plocha před a po prasknutí svaru.
5. Vyhodnocení výsledků: Po dokončení tahové zkoušky se zpracují získaná data a vyhodnotí se, zda svar splňuje stanovené normy a standardy. Pokud svar prošel zkouškou, je považován za kvalitní a bezpečný k použití.

Tahová zkouška pro mojí konstrukci bude osahovat data ze tří zkoušených tloušťek materiálů, a z tělísek 4 mm a 5 mm z materiálu oceli 11 373.0 a z Hardoxu 450, ze kterého je vytvořen břít lopaty. Z důvodu, že by u některého ze zkušebních tělísek došlo k nepřiměřenému prohřátí, nekvalitnímu svaru, či jinak kvalitu zhoršujícímu incidentu budou pro každý zkušební vzorek použity tři zkušební tělíska.

3.4.1.1 Tahová zkouška pro 11 373.0 o tloušťce 4 mm

Prvním materiálem, na kterém bude provedena tahová zkouška svaru je ocel 11 373.0 o tloušťce 4 mm. Ze tří zkušebních vzorků, které byly pro tento pokus vytvořeny a testovány došlo u druhého vzorku (červená křivka) k roztržení. Po bližším prozkoumání roztrženého vzorku bylo zjištěno, že při jeho vytvoření došlo k nedostatečnému provaření svaru a vytvoření vzduchové bubliny uvnitř něj. Z tohoto důvodu byl svar značně oslaben a po zvýšení tahové síly na něj působící došlo k přetržení. Riziko takto se opakujícího nekvalitního svaru je naštěstí velmi nízké, a to z důvodu náročnosti svaření zkušebních vzorků, kdy jsou součásti tak malé, že se zvyšuje náročnost vytvoření takzvané „housesny“. Zbylé vzorky zkoušku splnily a tyto svary tak mohou být použity pro konstrukci lopaty.



Obrázek 24 - Zkouška tahem 4 mm

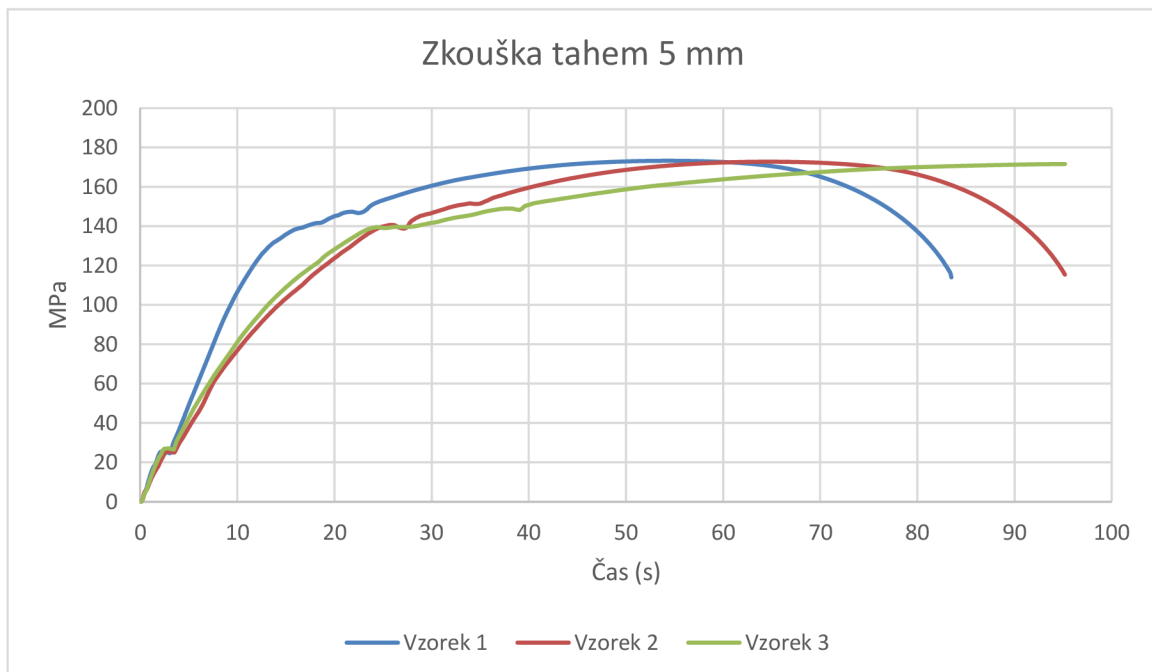


Obrázek 25 - Zničený zkušební vzorek s nekvalitním svarem 4 mm

Zde je k vidění přetržený druhý vzorek o tloušťce 4 mm (červená číslice „1.“ slouží pouze k identifikaci přetržených částí). Na vzorku je patrné velmi malé prodloužení materiálu, ke kterému došlo z důvodu, že pevnost svaru nesplnila podmínky, a to kvůli nedokonalosti svaru. Závěrem lze říct, že přetržení vzorku během tahové zkoušky je indikátorem nedostatečné kvality svařeného spoje.

3.4.1.2 Tahová zkouška pro 11 373.0 o tloušťce 5 mm

Druhým zkoušeným svarovým spojen byla tělíska o tloušťce 5 mm, kde nedošlo k přetržení ani jednoho ze vzorků. Tento úspěch potvrzuje kvalitu a spolehlivost svařeného spoje. Svařený spoj byl schopen odolat zátěži a nedeformoval se při tahové zkoušce, což ukazuje, že byl proveden kvalitně a bez vad. Je také důležité poznamenat, že úspěšná tahová zkouška prokazuje, že byl použit správný svařovací proces a technologie pro daný materiál o tloušťce 5 mm. To zvyšuje důvěru v kvalitu a spolehlivost svařených spojů a zajišťuje, že výrobky budou vyhovovat požadavkům na pevnost a spolehlivost. Celkově lze tedy říct, že úspěšná zkouška svaru pro materiál o tloušťce 5 mm je pozitivním výsledkem a ukazuje na kvalitní a spolehlivé provedení svarového procesu. To zajišťuje bezpečnost a spolehlivost konstrukce, na které budou svary vytvořeny, a i se tím zvyšuje důvěra v její dlouhodobou funkčnost. Zelená křivka na grafu představuje vzorek 3, který odolával síle podstatně lépe a z toho důvodu byla zkouška prováděna déle. Jeho výsledek byl však shodný se zbylými dvěma vzorky.



Obrázek 26 - Zkouška tahem 5 mm

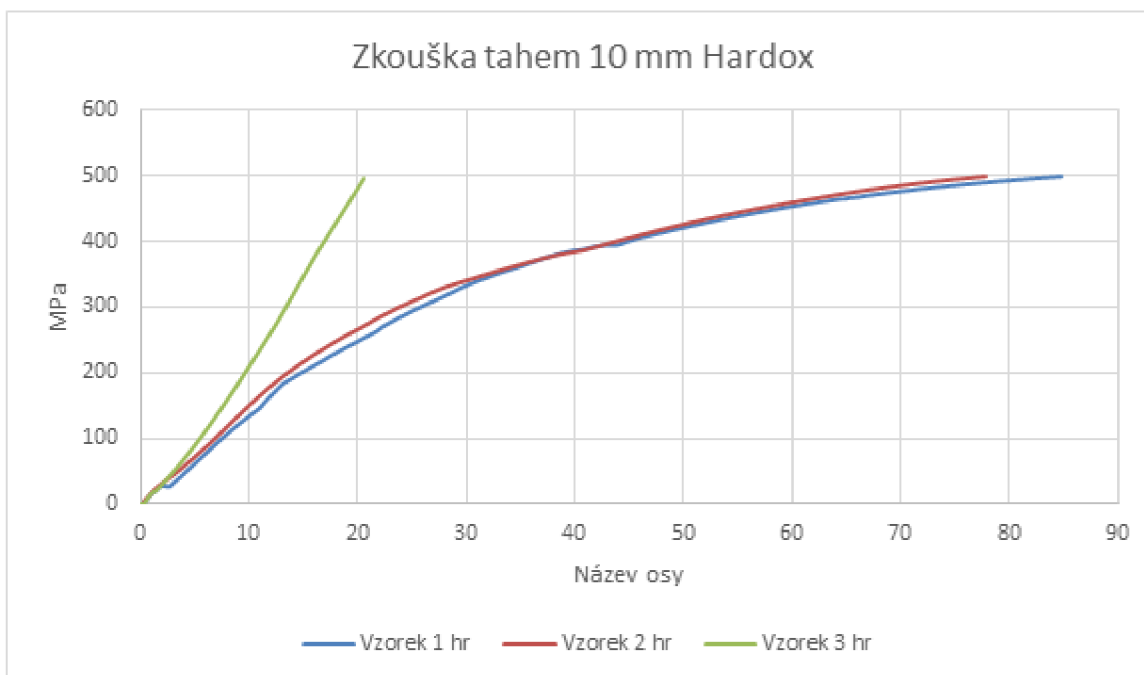


Obrázek 27 - Zničený vzorek 5 mm

Obrázek výše znázorňuje úspěšnou pevnostní zkoušku, u které došlo k přetržení zkoušení materiálu dříve než u svaru. Na koncových tělískách, zvláště pak u levého je patrné prodloužení, ke kterému dochází při správnosti svaru, který je pevnější než samotný materiál. Díky výsledku této zkoušky si můžeme být jisti, že metoda, materiál a provedení svaru jsou vhodné a mohou být použity pro konstrukci lopaty.

3.4.1.3 Tahová zkouška pro Hardox 450 o tloušťce 10 mm

Hardox je speciální druh vysokopevnostní oceli, která je velmi tvrdá, odolná a zároveň lehká. Hardox je často používán v různých odvětvích průmyslu, kde se vyžaduje vysoká odolnost vůči opotřebení, nárazům, korozi a dalším druhům mechanického namáhání. Hardox se vyrábí z ocelového plechu, který je ocelovým hutím vystaven procesu tvrzení a zušlechťování. Tento proces dává materiálu vysokou odolnost a pevnost, a zároveň mu umožňuje zachovat si svou lehkost. Hardox je dostupný v různých stupních tvrdosti a tloušťkách, které se vybírají podle konkrétního účelu použití. Na lopatě je z Hardoxu 450 vyroben břit. Břit je z tohoto materiálu vyroben proto, že oproti jiným ocelím má Hardox podstatně vyšší odolnost proti opotřebení způsobeného otěrem. Dále pak zvyšuje pevnost konstrukce lopaty, kdy je břit po celé délce náběhové hrany vany lopaty.



Obrázek 28 - Zkouška tahem 10 mm Hardox

Hardox 450 tahovou zkoušku splnil dle očekávání výborně a nedošlo k žádnému poškození vzorků. V případě, že by 450 zkoušku nesplnil může být nahrazen Hardoxem 500, ten je však dražší. Všechny tři vzorky mají shodné výsledky, jen u vzorku 3 (zelená křivka) došlo k zaznamenání menšího počtu měření než u zbylých dvou tělísek. Výsledky jsou tedy totožné a všechna tři měření proběhla bez problémů a úspěšně.



Obrázek 29 - Zkušební vzorek 10 mm Hardox

Zde můžeme vidět zkušební tělisko z materiálu Hardox 450. Tento materiál je jak již bylo zmíněno vysoce odolný proti vnějším vlivům a silám. Díky tomu u něj nedošlo v podstatě ke skoro žádným deformacím, které by poté oslabily jeho vlastnosti. Na svaru nejsou vidět sebemenší známky poškození a jediná místa, která byla v místě svaru ovlivněna bylo pár okují, které se na povrchu svaru nacházeli a vlivem tahu odpadly. Je však také třeba zmínit, že stroj na kterém byla zkouška provedena není primárně určen pro zkoušky na takto silných materiálech, ale pro zjištění pevnosti a svarů na lopatě dostačuje.

3.4.2 Shrnutí výsledků

Úspěšné provedení těchto tahových zkoušek pro svary o různých tloušťkách materiálu je klíčovým faktorem pro zajištění bezpečnosti a spolehlivosti výrobků vyrobených ze svarů. Výsledky těchto zkoušek ukazují, že svařené spoje jsou dostatečně pevné a odolné vůči přetížení a budou spolehlivě fungovat i při vysoké zátěži.

V případě svarů o tloušťce 5 mm a 10 mm jsou výsledky zkoušek pozitivní. U svarů 4 mm došlo u jednoho tělíška k přetržení, to jak již bylo zmíněno o samotného vzorku není, tak na vině byla malá velikost svařovaného materiálu a nedostatečné prohřátí svaru, které způsobilo přítomnost vzduchové bubliny, která pevnost svaru značně oslabila. V případě svarů zhotovených na finálním produktu k těmto narušením nedochází a je vytvořena stabilní a pevná „houseska“. Zbytek zkoušených svařených spoje odolal zátěži a nedeformovaly se, což potvrzuje správnost a kvalitu provedeného svaru. Tyto výsledky jsou velmi důležité pro zajištění bezpečnosti a spolehlivosti výrobků, které jsou vyrobeny z těchto svarů.

Zdůraznit je třeba, že úspěšnost těchto svarových zkoušek ukazuje, že svařovací proces byl správně přizpůsoben druhu materiálu a tloušťce materiálu. To zvyšuje důvěru v kvalitu a spolehlivost svařených spojů a zajišťuje, že výrobky budou vyhovovat požadavkům na pevnost a spolehlivost.

Celkově lze tedy říct, pozitivní výsledek potvrzuje kvalitní a spolehlivé provedení svařovacího procesu. Tato zkouška zvyšuje důvěru v bezpečnost a spolehlivost výrobků vyrobených ze svarů a zajišťuje, že tyto výrobky budou mít dlouhou životnost a budou plně funkční při vysokých zátěžích.

3.5 Výměna současných pístnic

V současné chvíli pracuje lopata s pístnicí DW-OB-060/035/0250. Tato pístnice byla zvolena pro její tlakovou a tažnou sílu, které dalece převyšují síly působící při použití lopaty. Z tohoto důvodu jsem učinil rozhodnutí pro výměnu této pístnice za slabší, a levnější. Touto náhradou bude ušetřena cena při konstruování a lopata se stane dostupnější pro případné zákazníky, kteří by při této konstrukční výměně nebyli ochuzeni o vlastnosti lopaty v žádném ohledu. Díky tomu jsou dány i některá kritéria, která nelze změnit a nahradit s ohledem na konstrukci lopaty. Konkrétně se jedná o zdvih, který je v případě současných pístnic 250 mm a v případě výměny pístnic by měla mít nová pístnice stejný zdvih.

Pístnice, které budou po vytvoření výpočtů zvažovány k nahrazení současného typu budou také podřízeny předešlým zkušenostem s výrobcí, od kterých jsou pístnice odebírány. V současné době je tedy po řadě několika negativních zkušenostech s jistými výrobcí podřízen výběr pro výrobce jménem Granit. Tato značka je po několika letech využívání jejích výrobků spolehlivá a díky častému odběru jsou pístnice, které nabízí levnější pro pořízení než konkurenční. V minulosti také došlo k nalezení cenově dostupnějších alternativ, avšak delší spolupráce vždy vedla ke zklamání.

Specifikace současné pístnice DW-OB-060/035/0250:	
Pístní tyč Ø A (mm):	35
vnitřní Ø válce B (mm):	60
Zdvih C (mm):	250
Max. provozní tlak (p ₂) (bar):	250
Tlaková síla t:	6.8
Tažná síla (t):	4.5
Přípoj E:	G 3/8"
Ø D (mm):	70
D (mm):	50
L1 (mm):	30
L2 (mm):	23
Z (mm):	410
Připojovací závit BSP:	G 3/8" BSP
Hmotnost:	7,43 kg
Cena:	3 304,- Kč k 12.4.2023

Tabulka 12 - Specifikace současné pístnice DW-OB-060/035/0250 (Zdroj: Kre-kovovýroba s.r.o.)

Specifikace současné pístnice DW-OB-060/030/0250:	
Pístní tyč Ø A (mm):	30
vnitřní Ø válce B (mm):	60
Zdvih C (mm):	250
Max. provozní tlak (p ₂) (bar):	250
Tlaková síla t:	5.0
Tažná síla (t):	4.0
Přípoj E:	G 3/8"
Ø D (mm):	70
D (mm):	50
L1 (mm):	30
L2 (mm):	23
Z (mm):	410
Připojovací závit BSP:	G 3/8" BSP
Hmotnost:	7,43 kg
Cena:	4 247,- Kč k 12.4.2023

Tabulka 13 - Specifikace současné pístnice DW-OB-060/030/0250 (Zdroj: Kre-kovovýroba s.r.o.)

3.5.2 Výpočet průměru pístnice

U uvažovaných pístnic DW-OB je pístnicový materiál ocel C45. Pro tento materiál je mezi tloušťkami $16 < d \leq 40$ mez kluzu Re o hodnotě 430 MPa. Konkrétně se jedná o tvrdě pochromovanou ocel C45 s Ra 0,25. Maximální provozní tlak p_2 je stejný jako u v současné chvíli používané pístnice.

1. Mez pevnosti

$$\sigma_D = \frac{Re}{k} \rightarrow$$

$$\rightarrow \sigma_D = \frac{430}{5} = \mathbf{86 \text{ MPa}}$$

2. Výpočtová síla

$$F_{z1} = \frac{F_z}{2} \rightarrow$$

$$\rightarrow F_{z1} = \frac{80\,000}{2} = \mathbf{40\,000\,N}$$

V konstrukci lopaty jsou využity dvě pístnice, a to konkrétně jak již bylo zmíněno DW-OB-060/035/0250. Dohromady tvoří tažnou sílu o 9 tunách, které představují 90000 N. Jedna tato pístnice pak tedy disponuje tažnou silou 4,5 tuny, což se rovná 45 000 N. Ty však mohou být nahrazeny slabšími, jelikož není potřeba, aby měli takto silné specifikace. Proto lze počítat s menším kombinovaným tlakem do 80000 N.

$$F_o = (0,1 * F_{z1}) \rightarrow$$

$$\rightarrow F_v = F_{z1} + F_o = F_{z1} + (0,1 * F_{z1})$$

$$\rightarrow F_v = 40\,000 + (0,1 * 40\,000) = \mathbf{44\,000\,N}$$

3. Průměr pístnice d_p

$$\sigma = \frac{F_v}{S_p} \leq \sigma_D [Mpa] \rightarrow$$

$$\rightarrow \sigma \geq \frac{4 * F_v}{\pi d_p^2} [Mpa] \rightarrow$$

$$\rightarrow d_p \geq \sqrt{\frac{4 * F_v}{\pi * \sigma_D}} [mm] \rightarrow$$

$$\rightarrow d_p \geq \sqrt{\frac{4 * 44\,000}{\pi * 86}} = \mathbf{25,523\,mm}$$

Díky tomuto výpočtu známe minimální průměr, který můžeme při konstrukci lopaty použít. Žádná pístnice však nedisponuje tímto rozměrem pístnice. Nejbližším vhodným pístem tedy bude pístnice o průměru 30 mm.

$$\text{Kontrolní výpočet : } \sigma = \frac{F_v}{S_p} = \frac{4 * F_v}{\pi d_p^2} = \frac{F_v}{\frac{\pi * d_p^2}{4}} = \frac{44\,000}{\frac{\pi * 30^2}{4}} = \mathbf{62,28\ MPa}$$

Další výpočty tak budou uvažovat píst o tloušťce 30 mm, který by měl s rezervou vystačit pro účely lopaty a požadavky zákazníků.

Po předchozím zkušenostech s konstrukcí této radlice je nám znám tlak (p), který mají pístnice k dispozici, aby mohly správně vykonávat své úkony a splňovaly na ně kladené požadavky. Čelisti neslouží k rozdělování materiálu a jejich jediným úkonem je jeho přidržování při převážení z bodu A do bodu B.

4. Průměr pístu D

$$p_2 * S_2 = F_{z1} + F_o = 1,1 * F_{z1} \rightarrow$$

$$\rightarrow p_2 * S_2 \geq 1,1 * F_{z1} \rightarrow$$

$$\rightarrow S_2 = \frac{1,1 * F_{z1}}{p_2} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{\pi}{4} * (D^2 - d_p^2) \geq \frac{1,1 * F_{z1}}{p_2} \rightarrow$$

$$\rightarrow D \geq \sqrt{\frac{4 * F_{z1} * 1,1}{\pi * p_2} + d_p^2} \rightarrow$$

$$\rightarrow D \geq \sqrt{\frac{4 * 40\,000 * 1,1}{\pi * 30} + 900} = \mathbf{52,62\ mm}$$

Předchozí výpočet udává, jaký by měl být minimální průměr. Nejbližší rozměr pístu tedy odpovídá průměru o velikost 60 mm. Píst o tomto průměru je standardně vyráběn, a to

dokonce v několika variacích. K tomuto pístu o daném rozměru a stejném zdvihu je DW-OB-060/030/0250. Tento válec jako jediný splňuje požadavky pro výměnu v konstrukci lopaty.

5. Kontrola pístu

$$S_2 = \frac{1,1 * F_{z1}}{p_1} \rightarrow$$

$$p_1 = \frac{1,1 * F_{z1}}{S_2} \rightarrow$$

$$p_1 = \frac{1,1 * F_{z1}}{\frac{\pi}{4} * (D^2 - d_p^2)} \rightarrow$$

$$\rightarrow p_1 = \frac{1,1 * 40\,000}{\frac{\pi}{4} * (60^2 - 30^2)} = \mathbf{20,75\ MPa}$$

$$p_2 = 250\ bar = 25\ Mpa$$

$$\mathbf{p_1 < p_2}$$

Díky vytvořeným výpočtům jasně vidíme, že tlak p_1 je nižší než provozní tlak, se kterým budou pístonice pracovat (p_2). Díky tomu můžeme usoudit, že nová pístonice může být využita pro naši konstrukci a je schopna nahradit tu současnou.

Hodnoty, které jsou použity pro výpočty sloužící ke zvolení pístonic jsou víceméně orientační a slouží jako doporučení pro případně zákazníky. Platí tedy, že pokud se zákazník bude řídit výsledky z nich vyvozených, bude radlice pracovat tak jak má a nedojde k ohrožení její životnosti z důvodu nesprávného použití.

3.5.3 Vyhodnocení pístonic

I přesto, že pístonice DW-OB-060/030/0250 a DW-OB-060/035/0250 jsou dva shodné typy pístonic, které mají pro konstrukci lopaty vhodné specifikace. Existuje mezi těmito dvěma pístonicemi jedna zásadní rozdílnost, kterým je jejich rozdílná cena. DW-OB-060/030/0250 je dražší než v současné chvíli využívaná DW-OB-060/035/0250, což znamená, že pro některé zákazníky může být výběr mezi těmito dvěma pístonicemi problematický. I přesto může pístonice

DW-OB-060/030/0250 sloužit jako náhrada v případě, že DW-OB-060/035/0250 nebude dostupná anebo její cena naroste a stane se pro zákazníky ekonomicky méně vhodnou volbou.

Celkově lze říci, že cena může být důležitým faktorem při výběru mezi pístnicemi DW-OB-060/030/0250 a DW-OB-060/035/0250. Pokud mají tyto pístnice stejné specifikace a jsou navrženy pro stejné aplikace, mohou zákazníci zvolit levnější variantu, pokud si nemohou dovolit dražší alternativu. Nicméně, při výběru je třeba zvážit i další faktory, jako je výkon a účinnost, aby byla zvolena ta nejvhodnější pístnice pro danou aplikaci.

I přesto, že je DW-OB-060/030/0250 vhodnou náhradou k současně využívané DW-OB-060/035/0250, její využití není v současnosti možné.

Dalším důležitým faktorem při výběru mezi pístnicemi DW-OB-060/030/0250 a DW-OB-060/035/0250 je také dostupnost. Zákazníci by měli být informováni o tom, že DW-OB-060/030/0250 bude dostupná až k 21.8.2023, což může být důležitým faktorem pro některé průmyslové aplikace, které vyžadují okamžitou výměnu poškozené pístnice. Pokud je pro zákazníka nutné nahradit poškozenou pístnicí co nejdříve, může být výhodnější zvolit dražší variantu DW-OB-060/030/0250, která je momentálně k dispozici. V opačném případě, pokud není žádná naléhavost a cena hraje významnou roli, může být lepší počkat na dostupnost levnější varianty DW-OB-060/035/0250.

Je třeba zdůraznit, že rozhodnutí mezi těmito dvěma pístnicemi by mělo být založeno na důkladné analýze potřeb zákazníka, včetně specifikací aplikace, požadovaného výkonu, dostupnosti a ceny. Použití nevhodné pístnice může vést k nákladným opravám a zpožděním v provozu, což by mohlo mít negativní dopad na výkonnost celého průmyslového zařízení.

3.6 Výměna čepů

Spolu s předimenzovanými pístnicemi byly při konstrukci lopaty použity i čepy s větším průměrem, než by bylo třeba. V současné chvíli jsou používány čepy o shodném průmětu 35 mm s rozdílem v jejich délce. Kdy čep ve spodní části vany disponuje délkou 130 mm a čep využívaný k ovládání čelistí má délku 100 mm. Délka těchto čepů bude nezměněna, naším cílem je nahradit čepy užší variantou.

Oba čepy nejsou normalizované a jsou vyráběny na zakázku, proto máme při volbě jejich náhrady volnou ruku a cílem vytvořit levnější variantu při zachování stejné funkčnosti radlice, u které nebude pro zákazníky riziko snížení životnosti či nosnosti a dalších vlastností.

3.6.1 Porovnání nových a starých čepů

Jak již bylo řečeno, současné čepy mají rozměr o průměru 35 mm a délku 100 mm a 130 mm. Na lopatě jsou využity 4 čepy o délce 130 mm, kdy na každé straně lopaty jsou využity dva. Původní čepy jsou vyrobeny z materiálu 11 523.0. S ohledem na tyto údaje bude proveden výpočet současných čepů, které berou ohled na použití předchozích pístnic. Tyto nové čepy však pak budou uvažovány pouze s použitím pístnice DW-OB-060/030/0250, která pracuje s menšími silami než její předchůdce.

3.6.1.1 Výpočet pro původní čepy

Označení dle ČSN	Mechanické vlastnosti			Třída odpadu	Vlastnosti a použití
	R _m (MPa)	R _{e min} (MPa)	Tvrдость HB		
11 500.0	470-610	245	Max. 268	001	Konstrukční ocel, tavná svařitelnost obtížná. NŽ – 850 až 880 °C, ŽM – 680 až 720 °C, K – 850 až 870 °C/voda, olej P – 530 až 670 °C vzduch. Strojní součásti namáhané staticky i dynamicky: hřídele, ozubená kola, strojní součásti soustružené, čepy, kolíky, podložky, příruby, pouzdra, základové desky, šrouby, matice, kladky, hrdla apod. Kovové součásti tepelných energetických zařízení.
11 523.0	520 až 628	333	Max. 274	002	Konstrukční ocel, tavná svařitelnost do tloušťky 25 mm zaručená, do tloušťky 50 mm podmíněčně zaručená, NŽ – 870 až 900 °C, P – 670 až 700 °C. Mostní a jiné svařované konstrukce, pásy na ohýbané profily a trubky, součásti strojů, bezešvé a svařované trubky, trubkové svařované konstrukce strojů, automobilů, motocyklů a jízdních kol (namáhané staticky a dynamicky)
11 550.0	540 až 586	295	Max. 205	001	Konstrukční ocel, tavná svařitelnost obtížná. NŽ. Trubky bezešvé přesné: na vysokotlaká hydraulická zařízení, podpěry a sloupy v dolech, střešní konstrukce, součásti strojů, přístrojů, lokomotiv, vagónů, aut, letadel, stožárů, nádrže, sady, trubky na šestihranné nástrčné klíče.

Tabulka 14 - Tabulka porovnávaných ocelí pro čepy (Zdroj: LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky str. 233-234)

Při výběru původních čepů bylo vybíráno z několika druhů materiálů. Po porovnání výhod všech, jsem dospěl k názoru, že ocel 11 523.0 je nejlepší volbou a od toho se odvíjí i následující výpočty pro původní čepy, ze kterých následně budeme vycházet pro čepy nové.

Výpočty budou vycházet z těchto údajů:

Dovolený tlak: 65 MPa (Odvozeno z materiálu vlastností materiálu 11 523)

Průměr čepu: 35 mm (Určen vnitřním průměrem kloubové hlavy na pístnici)

Síla působící na čep: 50 000 N (Maximální tlaková síla pístnice)

a) **Výpočet čepů vany (35 x 130):**

1. Výpočet čepu na otláčení

$$P = \frac{F}{b * d} \leq Pd \Rightarrow d$$

$$d = \frac{F}{b * Pd} = \frac{50000N}{98 * 65} = 7,85 \text{ mm} \Rightarrow \mathbf{35 \text{ mm}}$$

2. Kontrola čepu na ohyb

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} < \sigma_d$$

$$\sigma_o = \frac{F * (b + 2a)}{8 * \frac{2 * F}{\pi * d^2}} = \frac{4 * F * (b + 2a)}{\pi * d^3} < \sigma_d$$

$$\sigma_o = \frac{4 * F * (b + 2a)}{\pi * d^3} < \sigma_d$$

$$\sigma_o = \frac{4 * 30000 * (98 + 16)}{\pi * (35)^3} = \mathbf{101,56 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_o < \sigma_d, \sigma_d = \mathbf{150 \text{ MPa}}$$

3. Kontrola čepu na smyk

$$\tau_s = \frac{F}{\frac{2 * (\pi * d^2)}{4}}$$

$$\tau_s = \frac{2 * F}{\pi * d^2}$$

$$\tau_s = \frac{2 * 30000}{\pi * 35^2} = \mathbf{15,59 \text{ MPa}}$$

b) **Výpočet čepů vykusovače (35 x 100):**

1. Výpočet čepu na odtlačení:

$$P = \frac{F}{b * d} \leq Pd \Rightarrow d$$

$$d = \frac{F}{b * Pd} = \frac{50000N}{62 * 65} = 12,41 \text{ mm} \Rightarrow \mathbf{35 \text{ mm}}$$

2. Kontrola čepu na ohyb

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} < \sigma_d$$

$$\sigma_o = \frac{F * (b + 2a)}{8 * \frac{2 * F}{\pi * d^2}} = \frac{4 * F * (b + 2a)}{\pi * d^3} < \sigma_d$$

$$\sigma_o = \frac{4 * F * (b + 2a)}{\pi * d^3} < \sigma_d$$

$$\sigma_o = \frac{4 * 50000 * (62 + 20)}{\pi * (35)^3} = \mathbf{121,76 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_o < \sigma_d, \sigma_d = \mathbf{150 \text{ MPa}}$$

3. Kontrola čepu na smyk

$$\tau_s = \frac{F}{\frac{2 * (\pi * d^2)}{4}}$$

$$\tau_s = \frac{2 * F}{\pi * d^2}$$

$$\tau_s = \frac{2 * 50000}{\pi * 35^2} = \mathbf{25,98 \text{ MPa}}$$

3.6.1.2 Výpočet pro nové čepy

a) Výpočet čepů vany (30 x 130):

4. Výpočet čepu na otláčení

$$P = \frac{F}{b * d} \leq Pd \Rightarrow d$$

$$d = \frac{F}{b * Pd} = \frac{40000N}{98 * 65} = 6,28 \text{ mm} \Rightarrow \mathbf{30 \text{ mm}}$$

5. Kontrola čepu na ohyb

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} < \sigma_d$$

$$\sigma_o = \frac{F * (b + 2a)}{8 * \frac{2 * F}{\pi * d^2}} = \frac{4 * F * (b + 2a)}{\pi * d^3} < \sigma_d$$

$$\sigma_o = \frac{4 * F * (b + 2a)}{\pi * d^3} < \sigma_d$$

$$\sigma_o = \frac{4 * 40000 * (98 + 16)}{\pi * (30)^3} = \mathbf{215,04 MPa}$$

$$\sigma_o < \sigma_d, \sigma_d = \mathbf{150 MPa}$$

6. Kontrola čepu na smyk

$$\tau_s = \frac{F}{\frac{2 * (\pi * d^2)}{4}}$$

$$\tau_s = \frac{2 * F}{\pi * d^2}$$

$$\tau_s = \frac{2 * 40000}{\pi * 30^2} = \mathbf{28,29 MPa}$$

b) Výpočet čepů vykusovače (30 x 100):

4. Výpočet čepu na odtlačení:

$$P = \frac{F}{b * d} \leq Pd \Rightarrow d$$

$$d = \frac{F}{b * Pd} = \frac{40000N}{62 * 65} = 12,41 mm \Rightarrow \mathbf{35 mm}$$

5. Kontrola čepu na ohyb

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} < \sigma_d$$

$$\sigma_o = \frac{F * (b + 2a)}{8 * \frac{2 * F}{\pi * d^2}} = \frac{4 * F * (b + 2a)}{\pi * d^3} < \sigma_d$$

$$\sigma_o = \frac{4 * F * (b + 2a)}{\pi * d^3} < \sigma_d$$

$$\sigma_o = \frac{4 * 40000 * (62 + 20)}{\pi * (30)^3} = \mathbf{154,68 MPa}$$

$$\sigma_o < \sigma_d, \sigma_d = \mathbf{150 MPa}$$

6. Kontrola čepu na smyk

$$\tau_s = \frac{F}{\frac{2 * (\pi * d^2)}{4}}$$

$$\tau_s = \frac{2 * F}{\pi * d^2}$$

$$\tau_s = \frac{2 * 40000}{\pi * 30^2} = \mathbf{28,29 MPa}$$

2.5.2 Vyhodnocení čepů

Po propočítání hodnot pro nové čepy musím bohužel konstatovat, že čepy s menším průměrem nelze využít do konstrukce lopaty. Důvodem je, že čepy nesplňují pevnost v ohybu a při plném zatížení by docházelo k jejich ohybu a nevratnému poškození, které by znamenalo v lepším případě pouhou nutnost jejich výměny za nové a v horším případě by mohlo dojít k nevratnému poškození lopaty. Z toho důvody původní čepy o rozměrech 35 x 130 mm a 35 x 100 mm nelze nahradit. Nabízí se tedy možnost využít ještě jiný materiál čepů, který by byl odolnější v tomto ohledu. Tyto materiály jako například ocel 11 550.0 jsou však nákladnější a jejich výhody tedy shazuje jejich vyšší pořizovací cena, která je při optimalizaci výroby a konstrukce lopaty hlavním výstupním požadavkem.

Bohužel tedy v tuto chvíli neexistuje řešení, které by mohlo stávající čepy nahradit. Avšak lze nad nimi uvažovat v případě, že by došlo k vývoji úplně nového typu lopaty, který by disponoval sníženými požadavky na pevnost, či nosnost. V tomto případě by byly slabší čepy vhodnou volbou a bylo by na místě nad jejich využitím uvažovat.

4 Diskuze výsledků

Po porovnání všech možností, výpočtů a analýz lze říci, že optimalizace lopaty možná je, ale pouze po změně nároků na ní. Veškeré úpravy by bylo třeba konzultovat se zákazníkem a po této diskuzi provést následné úpravy, které by počítali například se sníženou nosností konstrukce. Z těchto důvodů tedy není nutnost konstrukci lopaty měnit a díly nahrazovat jinými. Kdyby k tomuto kroku došlo, lopata by se mohla pro zákazníka stát méně zajímavá, a to z důvodu zvýšení její ceny anebo snížení jejích schopností.

Tato logika je dobře vidět u materiálu, ze kterých bylo pro konstrukci vany lopaty vybíráno. Žádný z nich nenabízí vlastnosti, které by opodstatnily nárůst ceny a případně i náročnost výroby na strojích, které jsou k dispozici. Také nelze materiál nahradit levnějším, jelikož by došlo ke snížení pevnosti a nosnosti konstrukce, která by se poté mohla při současném maximálním povoleném zatížení zhroutit a v nejhorším případě i zranit obsluhu. S tímto jsou spojené i pevnostní analýzy, které ukázaly názorné narušení vany lopaty v případě, že bude současný materiál nahrazen slabším.

Výpočty pak ukázaly, že současné komponenty za nové nahradit jdou. Bohužel je tato možnost proveditelná pouze v případě, že by současné nebyly k dispozici. Tato varianta je možná při výběru pístnice, které i přesto že nabízí menší tlakovou a tahovou sílu stojí o více než třetinu ceny současně používaných. U čepů pak znovu platí, že by bylo nutné snížit nosnost lopaty a tím nabídnout zákazníkovi méně za cenu, která tomuto řešení neodpovídá.

5 Závěr

Závěrem lze říct, že optimalizace lopaty možná je, avšak nebude možné splnit současné vlastnosti, kterými konstrukce disponuje. Proto by bylo třeba veškeré změny konzultovat se zákazníkem a obeznámit ho, že provedené změny mohou snížit nosnost, pevnost konstrukce a celkově zhoršit její vlastnosti. Změny by pak také mohli zvýšit cenu produktu o několik procent. Tato cena se bude neustále měnit a odrážet se na chování trhu, které je v současné chvíli velmi nepředvídatelné a ceny, za které je materiál nabízen dnes nemusí odpovídat cenám, za které bude nabízen další měsíc, ať už se jedná o zvýšení, či snížení ceny.

Výsledky však ukázali, že v případě konstrukce úplně nového zařízení lze tyto poznatky využít a ulehčit si tím při vývoji práci. Tomu odpovídají například i výsledky výpočtů u čepů, které i přes fakt, že by současný nápor při snížení jejich průměru nezvládly a došlo by k jejich poškození, tak u konstrukce s nižší nosností a slabšími pístnicemi mohou současné čepy nahradit.

Lze tedy konstatovat, že původní konstrukce přináší v současné chvíli optimální poměr ceny a výkonu. Přidanou hodnotou této práce tedy je, možnost modularity podle požadavků zákazníka anebo v případě, že současné komponenty nebudou k dispozici, či jejich cena klesne. V budoucnu by bylo možné na lopatě provést ještě rozsáhlejší modernizaci. Při těchto změnách by bylo třeba upravit ještě více prvků konstrukce, jako například její čelisti, které jsou v současné chvíli konstruovány spolu s pístnicemi o zdvihu 250 mm a jiné, než mnou zvolené varianty tuto vlastnost nenabízí. V budoucnu tedy lze lopaty modernizovat ještě razantněji, avšak tyto změny se projeví ve vlastnostech konstrukce.

Seznam zdrojů

A) vnitropodnikové materiály, statistiky, právní předpisy, normy, ověřené technologie, užité vzory a další institucionální zdroje

- [1] ČSN EN ISO 14556. Zkouška rázem v ohybu na kyvadlovém kladivu tyčí Charpy s V-vrubem. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017, 24 s.
- [2] ČSN EN ISO 4136. Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů: Příčná zkouška tahem. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013, 16 s.
- [3] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 4., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008. ISBN 978-80-7361-051-7

B) knihy, kvalifikační práce

- [4] BAUER, Zdeněk. Stroje na stavbách: stavby, stavitelé a jejich stroje v Českých zemích a na Slovensku 1849-1948. Praha: Gradis Bohemia, 2011. ISBN 978-80-86925-11-0.
- [5] CERHA, Josef. Hydraulické a pneumatické mechanismy I. Vyd. 2. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2010. ISBN isbn978-807-3725-600.
- [6] DVOŘÁK, Milan. Technologie II. Brno: CERM, 2001. Učební texty vysokých škol. ISBN isbn80-214-2032-4.
- [7] FISCHER, Ulrich. Základy strojnictví. Praha: Europa-Sobotáles, 2004. ISBN 80-86706-09-5.
- [8] FOŘT, Petr a Jaroslav KLETEČKA. *Autodesk Inventor 6*. Brno: Computer Press, 2003. Učebnice pro střední školy (Computer Press). ISBN isbn80-7226-911-9.
- [9] GREČENKO, Alexandr. Strojní součásti I. 2., upr. vyd. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2010. ISBN 9788074142406.
- [10] MELICHAR, Jan, Jaroslav BLÁHA a Karel BRADA. Hydraulické stroje: konstrukce a provoz. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02657-4.
- [11] MIČKAL, Karel. Technická mechanika I: pro střední odborná učiliště a střední odborné školy. 4., nezměn. vyd. Praha: Informatorium, 2008. ISBN 978-80-7333-063-7.
- [12] MUSIL, Miloslav a Jaromír MORAVEC. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: výukové materiály pro kurzy Mezinárodní svářečský inženýr IWE, Mezinárodní svářečský technolog IWT. Česká Třebová: DOM - ZO 13, 2017. ISBN isbn978-80-906720-0-0.

[13] NERUDA, Jindřich. Technika a technologie v lesnictví: učební text pro předměty Technika a technologie v lesnictví, Základní procesy těžby a dopravy dříví, Technika a technologie lesní těžby a Technika a technologie dopravy dříví. 2., přeprac. vyd. V Brně: Mendelova univerzita, 2015. ISBN 978-80-7509-191-8.

[14] PILGR, Milan. *Kovové konstrukce: výpočet jeřábové dráhy pro mostové jeřáby podle ČSN EN 1991-3 a ČSN EN 1993-6*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2012. ISBN 978-80-7204-807-6.

[15] NOVOTNÝ, Jiljí. *Technologie I: (slévání, tváření, svařování a povrchové úpravy)*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. ISBN isbn80-01-01420-7.

C) odborné časopisecké články a studie ze sborníků

[16] Měření ve strojírenství, Řízení jakosti a TQM. *Průmyslové spektrum*. 2004, červen 2004(6), 102.

D) jiné

[17] Arc welding and its operation of the strike. ResearchGate [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Arc-welding-and-its-operation-of-the-strike_fig1_352602497

[18] Contarini Válec DW-OB-060/030/0250. Granit Parts [online]. 2023 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.granit-parts.cz/e/product/82003088?id=45944575>

[19] Contarini Válec DW-OB-060/035/0250. Granit Parts [online]. 2023 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.granit-parts.cz/e/product/82003101?q=OB-35/60/25&id=45944588>

[20] Destruktivní zkoušky svarových spojů. Techportal.cz [online]. 2017 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: https://www.techportal.cz/33/destruktivni-zkousky-svarovych-spoju-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4Eg9YJ2KmsjmWCzr_8RwoSJo/

[21] Fyzikální metody ve svařování. ELUC [online]. 2023 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1809>

[22] Laserové svařování. Laser Therm [online]. 2023 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.lasertherm.cz/technologie/svarovani-navarovani-kaleni-laserem/laserove-svarovani-kovu>

[23] MIG/MAG (CO₂). Automig [online]. 2023 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://automig.cz/o-svarovani/metody/migmag-co2/>

- [24] Nože - Nůž - Vybrané vlastnosti vrstvených ocelí. Noze-nuz.com [online]. 2023 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <http://www.noze-nuz.com/recenze/vlastnosti-damasku/vlastnosti-damasku.php>
- [25] PRAVIDLA SPRÁVNÉHO OHRAŇOVÁNÍ. *TOOLSCZ* [online]. 2023 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.tools.cz/2021/06/21/ohranovani/>
- [26] Schematic diagram of three roll bending process. ResearchGate [online]. 2023 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-three-roll-bending-process_fig1_257337530
- [27] Svařování elektrické odporové. ELUC [online]. 2021 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1808>
- [28] TIG (Tungsten Inert Gas Welding). Automig [online]. 2023 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://automig.cz/o-svarovani/metody/tig-wig-plasmatig/>

Seznam použitých zkratek

d	mm	průměr čepu
b	mm	délka čepu na který působí síla pístnice
a	mm	délka čepu na úchyty
τ_s	MPa	smykové namáhání
P	MPa	otlačení čepu
Pd	MPa	dovolené napětí
W_o	mm ³	průřezový modul v ohybu
M_o	N.mm	ohybový moment
σ_o	MPa	napětí v ohybu
r	mm	poloměr
mm		milimetr
cm		centimetr
m		metr
kg		kilogram
t		tuna
Kč		Koruna česká
kN		kiloNewton

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Zkouška svaru tahem [20].....	4
Obrázek 2 - Charpyho kladivo [24]	5
Obrázek 3 - SMAW svařování [17].....	7
Obrázek 4 - TIG svařování [28].....	7
Obrázek 5 - MIG/MAG svařování [23]	8
Obrázek 6 - Svařování plazmou [21]	9
Obrázek 7 - Laserové svařování [22].....	10
Obrázek 8 - Bodové svařování [27].....	11
Obrázek 9 - Ohýbání válcováním [26]	12
Obrázek 10 - Ohraňovací lis TruBend 3170 (vlastní zdroj)	13
Obrázek 11 - Kompletní model lopaty	19
Obrázek 12 - Výkres ohybů vany	20
Obrázek 13 - Čepy	21
Obrázek 14 - Pístnice lopaty	22
Obrázek 15 - Síly působící na vanu	27
Obrázek 16 - Pevnostní analýza vany 3 mm.....	28
Obrázek 17 - Pevnostní analýza kompletní spodní část s plechem 3 mm	28
Obrázek 18 - Pevnostní analýza vany 4 mm.....	31
Obrázek 19 - Pevnostní analýza kompletní spodní část s plechem 4 mm	32
Obrázek 20 - Pevnostní analýza vany 5 mm.....	35
Obrázek 21 - Pevnostní analýza kompletní spodní část s plechem 5 mm	35
Obrázek 22 - Pevnostní analýza vany 6 mm.....	39
Obrázek 23 - Pevnostní analýza kompletní spodní část s plechem 6 mm	39
Obrázek 24 - Zkouška tahem 4 mm.....	44
Obrázek 25 - Zničený zkušební vzorek s nekvalitním svarem 4 mm	44
Obrázek 26 - Zkouška tahem 5 mm.....	45
Obrázek 27 - Zničený vzorek 5 mm	46
Obrázek 28 - Zkouška tahem 10 mm Hardox.....	47
Obrázek 29 - Zkušební vzorek 10 mm Hardox.....	47

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Zvažované materiály pro vanu (Zdroj: LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky str. 233).....	25
Tabulka 2 - Porovnání hmotnosti a cen plechů.....	27
Tabulka 3 - Síly působící na vanu	28
Tabulka 4 - Síly působící na vanu 3 mm	30
Tabulka 5 - Síly působící na kompletní spodní část lopaty s vanou 3 mm.....	31
Tabulka 6 - Síly působící na vanu 4 mm	33
Tabulka 7 - Síly působící na kompletní spodní část lopaty s vanou 4 mm.....	34
Tabulka 8 - Síly působící na vanu 5 mm	37
Tabulka 9 - Síly působící na kompletní spodní část lopaty s vanou 5 mm.....	38
Tabulka 10 - Síly působící na vanu 6 mm	41
Tabulka 11 - Síly působící na kompletní spodní část lopaty s vanou 6 mm.....	42
Tabulka 12 - Specifikace současné pístnice DW-OB-060/035/0250 (Zdroj: Kre-kovovýroba s.r.o.)	49
Tabulka 13 - Specifikace současné pístnice DW-OB-060/030/0250 (Zdroj: Kre-kovovýroba s.r.o.)	49
Tabulka 14 - Tabulka porovnávaných ocelí pro čepy (Zdroj: LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky str. 233-234)	54

Přílohy

Příloha 1: Lopata s vykusovačem 1750 mm 1 Křepel, 22220

Příloha 2: Lopata s vykusovačem 1750 mm 2 Křepel, 22220

Příloha 3: Lopata s vykusovačem 1750 mm 3 Křepel, 22220

**Příloha 4: KREKO0005-Čelní nakladač plný s přidržovačem 1750
Křepel, 22220**