

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program:
Studijní zaměření:

2302T019 Strojní inženýrství
Konstrukce výrobní strojů a zařízení

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Náhrada litých stojanů třtinového mlýnu svařenci

Autor:

Bc. Petr Borecký

Vedoucí práce:

Doc. Ing. Jan Hlaváč, PhD.

Akademický rok 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr BORECKÝ**
Osobní číslo: **S11N0028P**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení**
Název tématu: **Náhrada litých stojanů třtinového mlýnu svařenci**
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Na základě výkresové dokumentace odlitku stojanu mlýnu, vstupního víka a výstupního víka navrhnete řešení ve formě svařenců. Doložena bude výkresová dokumentace, podpůrné výpočty, nejvhodnější technologie a postup svařování.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Úvod, třtinové mlýny
2. Popis stávajícího stavu
3. Návrh konstrukce stojanu
4. Kontrola konstrukce stojanu
5. Zhodnocení práce

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **50-70 stran A4**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. Příručka strojního inženýra 1. Brno: Computer Press, 1999

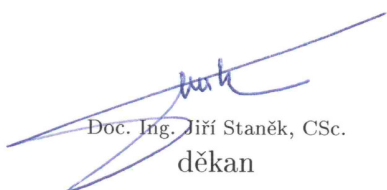
ČERNOCH, S. Strojně technická příručka, Svazek 1. Praha: SNTL, 1977

ČERNOCH, S. Strojně technická příručka, Svazek 2. Praha: SNTL, 1977

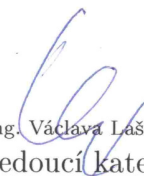
Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Hlaváč, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant diplomové práce: **Ing. Pavel Fiala**
Invelt Industry International, a.s., Plzeň

Datum zadání diplomové práce: **23. září 2013**
Termín odevzdání diplomové práce: **23. května 2014**


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan




Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 23. září 2013

Prohlášení o autorství:

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr magisterského studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.“

V Plzni dne:

.....

(Podpis autora)

Poděkování

„Chtěl bych touto cestou poděkovat všem, kteří napomáhali vzniku této diplomové práce. Především bych chtěl poděkovat Doc. Ing. Janovi Hlaváčovi, Ph.D. za vedení diplomové práce, za nespočet podmětů a konzultací ohledně tématu, které velmi obohatily předkládanou práci.“

„Také bych chtěl velmi poděkovat panu Doc. Ing. Janu Kalousovi, CSc. IWE za vedení mé práce v oblasti svařování a Ing. Josefu Vacíkovi, Ph.D za konzultace MKP výpočtů. Dále mé díky patří Ing. Fialovi a Ing. Maškovi ze zadavatelské firmy, za jejich cenné a přínosné rady při tvoření této práce.“

„Také bych chtěl poděkovat své rodině, že mi umožnila studovat na vysoké škole, a podpořovali mě během celého studia. Nechtěl bych zapomenout ani na své blízké a kolegy, kterým patří také velký dík za pomoc a podporu při studiu.“

Petr Borecký, Nýřany, 20. května 2014

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Borecký	Jméno Petr		
STUDIJNÍ OBOR	2302T019 „Stavba výrobních strojů a zařízení“			
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Hlaváč, Ph.D.	Jméno Jan		
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST – KKS			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Náhrada litých stojanů třtinového mlýnu svařenci			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2014
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	70	TEXTOVÁ ČÁST	44	GRAFICKÁ ČÁST	17
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Diplomová práce se zaměřuje na nahrazení stávajícího odlitku stojanu třtinového mlýnu svařencem. V práci byl proveden rozbor zatížení u původního odlitku, návrh variant a jejich zhodnocení, kontrola pomocí MKP. Byl vytvořen finální model s výkresovou dokumentací.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Cukrová třtina, mlýn, lisování, svařování tlustých plechů, MKP

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Borecký	Name Petr	
FIELD OF STUDY	2302T019 “ Design of Manufacturing Machines and Equipment“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Hlaváč, Ph.D.	Name Jan	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Replacement cast stands (frames) by weldments of sugarcane mill		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2014
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	70	TEXT PART	44	GRAPHICAL PART	17
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The master thesis is focused on replacement of cast stands by weldments of a sugarcane mill. Design analysis of cast stand have been made. The new variants and evaluation of this variants by FEM have been made. Final design of new construction with drawing have been made.
KEY WORDS	Sugar cane, mill, pressing of, welding of thick plates, FEM

Obsah

1	Úvod	1
2	Cukrová třtina, zpracování třtiny	2
2.1	Cukrová třtina	2
2.2	Zpracování cukrové třtiny	3
2.3	Popis mlýnu	4
3	Svařování tlustých plechů	7
3.1	Metody svařování	7
3.1.1	Metoda 111 (Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou)	7
3.1.2	Metoda 135 (MAG – Metal Active Gas)	8
3.2	Tepelné zpracování	9
3.2.1	Tepelné zpracování před svařování	9
3.2.2	Předehřev při svařování	10
3.2.3	Tepelné zpracování po svařování	11
4	Zatěžování mlýnů	12
4.1	Zatížení od technologie lisování	12
4.2	Zatížení od pohonu	15
5	Zatížení původního odlitku	17
5.1	Deformace	20
5.2	Napětí	22
5.3	Vlastní frekvence	23
6	Návrh a porovnání variant	25
6.1	Skříňový rám, varianta 1	25
6.2	Otevřený rám, varianta 2	25
6.3	Porovnání variant	27
6.3.1	Deformace	27
6.3.2	Napětí	28
6.3.3	Vlastnosti	28
6.4	Vyhodnocení	29
7	Rozpracování vybrané varianty	30
7.1	Deformace	31
7.2	Napětí	32

8	Porovnání původního odlitku se svařencem	33
8.1	Porovnání deformací	34
8.2	Porovnání napětí	35
8.3	Celkové srovnání	39
9	Finální model	40
10	Návrh vhodné svařovací technologie	42
10.1	Volba svarů	43
10.2	Postup svařování	43
10.2.1	Svařování rámu	43
10.2.2	Svařování vík	46
11	Závěr	49
A	WPS (Welding process specification)	A1
B	Materiálový list S355J2G3 (ČSN 11 523)	B1
C	Vlastnosti svařovacího drátu	C1

Seznam tabulek

4.1	Hodnoty otevření válců	13
4.2	Hodnoty excentrit lisovacích sil	14
4.3	Hodnoty momentů	15
4.4	Hodnoty obvodových sil	15
4.5	Hodnoty normálových sil	16
5.1	Hodnoty zatížení od pohonu	19
5.2	Gravitační síly ložisek a válců	19
5.3	Hodnoty celkového zatížení stojanu	20
5.4	Hodnoty deformací v sledovaných místech	22
5.5	Hodnoty napětí v sledovaných místech	23
6.1	Hodnoty deformací v sledovaných místech	27
6.2	Hodnoty napětí v sledovaných místech (redukované napětí Von-Mises)	28
7.1	Hodnoty deformací v sledovaných místech	31
7.2	Hodnoty napětí v sledovaných místech	32
8.1	Hodnoty napětí v sledovaných místech (redukované napětí Von-Mises)	37
8.2	Srovnání svařence a odlitku	39
10.1	Parametry svařování)	43

1

Úvod

Diplomová práce vznikla na základě požadavku společnosti INVELT, producenta třtinových mlýnů, na jejich modifikaci na lis zpracovávající traviny či obilniny v Evropě. Využilo se mlýnů na lisování cukrové třtiny, které mají stejnou koncepci. Tyto mlýny mají ale několik úskalí, kvůli kterým není výhodné jejich použití. Jedná se totiž o odlitky, které jsou z ekonomických důvodů vyráběny v zemích třetího světa (Pákistán, Indie, atd.). Tyto mlýny jsou pro použití v Evropě nevhodné z důvodů výrobních nepřesností a nedodržování evropských konstrukčních a výrobních standardů (materiálové a technologické standardy). Při dodržení těchto standardů, nebo přesunu výroby do Evropy by cena těchto mlýnů nebyla rentabilní. A to hlavně z důvodu odklonu vyspělého strojírenství od technologie kusového odlévání, která je technologicky, ekonomicky, ale i ekologicky náročná. Výroba je též časově náročná, a proto se přechází k jednodušším a levnějším technologiím výroby, jako např. svařování.

Tendence nahrazovat odlitky svařenci se prosazuje v Evropě již několik desítek let. I v konstrukci třtinových mlýnů byla snaha o změnu technologie, ale tyto pokusy se ve velké míře nezdařily. Většina svařovaných rámců nedosáhla požadované životnosti a proto se dále pokračuje ve výrobě mlýnů ve formě odlitků.

Výzkum a vývoj svařovaných mlýnů pro zpracování cukrové třtiny v zemích třetího světa nebyl prioritou strojní vědy. To se změnilo až s možností lisovat i jiné plodiny na území Evropy. Tím začal vývoj mlýnů se svařovaným rámcem, kterým se bude zabývat i tato diplomová práce.

2

Cukrová třtina, zpracování třtiny

2.1 Cukrová třtina

Cukrová třtina (*Saccharum officinarum*) je druh jednoděložné rostliny z čeledi lipnicovitých (*Poaceae*). V dnešní době je hojně pěstovaná především kvůli vysokému obsahu cukru.

Cukrová třtina je víceletá, značně mohutná tráva se vzpřímenými masivními stébly, která mohou být až 6 m vysoká a 5 cm tlustá. Stéblo má v průměru asi 20 až 40 kolének a je vyplněno měkkou dřevinou, která obsahuje až 20 % cukru (především tedy sacharózy, dále také malé množství fruktózy a glukózy), který se zde ukládá jako produkt fotosyntézy. Listy cukrové třtiny dosahují délky 100-200 cm a šířky okolo 7 cm a jejich uspořádání je střídavé. Plodem cukrové třtiny je obilka. Avšak na plantážích je květenství cukrové třtiny nežádoucí, neboť s květem se snižuje obsah cukru ve stéblech, čímž se snižuje hodnota rostliny pro pěstitele.

Optimální teplota pro růst cukrové třtiny je 30 °C. Při 20 °C se její růst silně zpomaluje a pod 15 °C úplně zastavuje. Rostlina vyžaduje propustnou půdu bohatou na humus a živiny. Cukrovou třtinu nelze skladovat, proto se musí okamžitě zpracovávat. V posledních letech byly vyšlechtěny vysoce výkonné odrůdy poskytující až 22 tun cukru z 1 hektaru. Po sklizni se v půdě zanechávají kořeny a části stébel, z nichž pak vyrůstají nové rostliny. [1]

Historie

Původ cukrové třtiny není zcela jasný. Nejpravděpodobněji vznikla z planého, 10 m vysokého druhu *Saccharum robustum*, který roste na Nové Guneji, okolních ostrovech a na březích řek. Známé však ještě jeden planý druh, a sice *Saccharum spontaneum*, rostoucí od severovýchodní Afriky po Asii až k Pacifiku. Tato vytrvalá tráva dorůstá výšky 8 m a dnes se používá při šlechtění ke zlepšení vlastností cukrové třtiny, zejména její odolnosti vůči chorobám.

Asi ve 14. století se Benátčané naučili rafinovat cukr a obchodovali s ním i v zemích střední Evropy. V Čechách se začal třtinový cukr užívat až ve středověku po křížáckých válkách. Do té doby se u nás i jinde v Evropě sladilo medem. První dovážený cukr byl velmi drahý a byl spíše považován za lék. Po objevení Ameriky přivezl Kolumbus cukrovou třtinu na Haiti, odkud byla šířena dále na Kubu, do Mexika a Brazílie. Příznivé podmínky, kterými byly



Obrázek 2.1: Čerstvá cukrová třtina
[9][10]

především podnebí a levná pracovní síla, umožnily pěstovat třtinu na velkých plochách a to vedlo k rychlému zvýšení produkce levného cukru. Dovoz třtinového cukru ze zámoří trval až do konce napoleonských válek, kdy Napoleon Bonaparte vydal zákaz dovážet anglické zboží. V té době se začalo se šlechtěním cukrové řepy a třtinový cukr byl postupně nahrazován cukrem řepným.[1]

Produkce

Jelikož je k pěstování cukrové třtiny potřeba stálá teplota nad 30 °C, pěstuje se tato plodina především v tropickém podnebí. Největší plantáže cukrové třtiny jsou dnes na Kubě, v Brazílii, Mexiku, Indii, Austrálii a v jižní Africe[1]

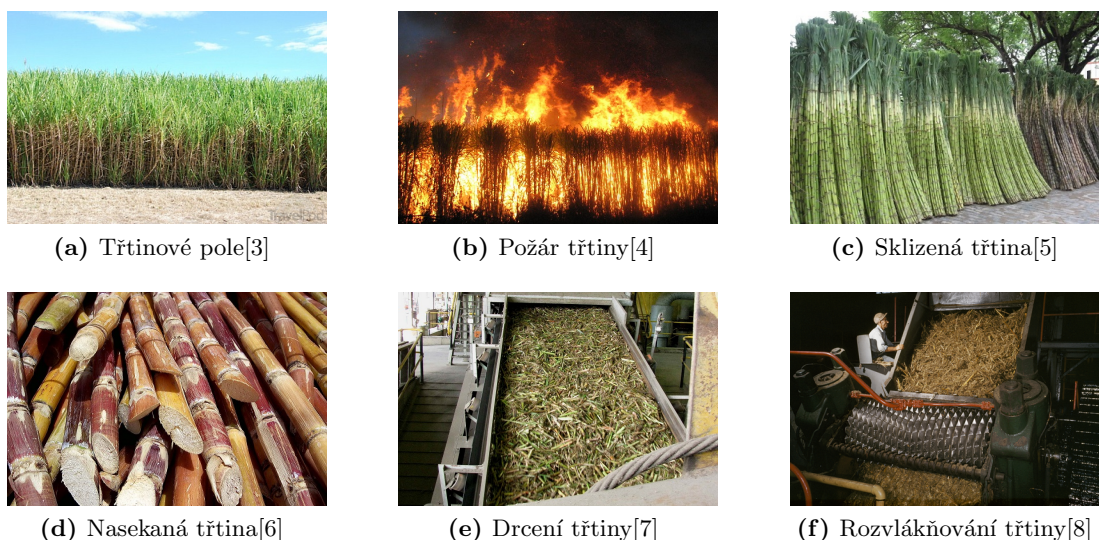
Koncentrace produkce cukrové třtiny je v současné době extrémně vysoká v Brazílii a v Indii. Dohromady sklídí přes polovinu z celosvětového množství Z pozic poněkud ustupuje Karibik, zejména v důsledku významného poklesu produkce Kuby – ta ještě v roce 1961 figurovala spolu s Brazílií na 2. místě na světě. Poté obě země zaznamenaly diametrálně odlišný vývoj. Zatímco na Kubě sklizeň klesla do současnosti na třetinu, v Brazílii vzrostla 12-krát. Hlavním důvodem je skutečnost, že 60 % cukrové třtiny směřuje na výrobu bioetanolu, zbytek na produkci cukru. Klasickou karibskou oblast zastihuje nyní nově jihovýchodní Čína a zejména Thajsko [2]

2.2 Zpracování cukrové třtiny

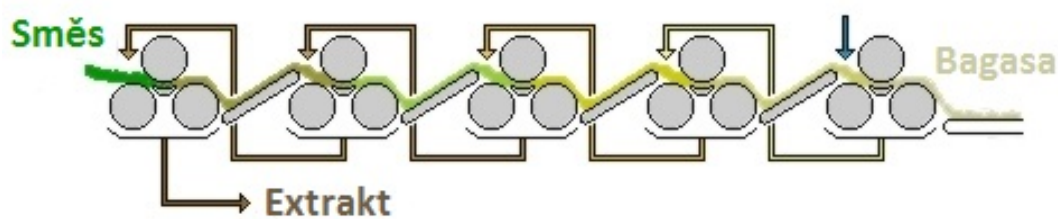
Sklizeň cukrové třtiny Obr. 2.2a začíná opálením spodních uschlých listů Obr. 2.2b. V poslední době je však vzrůstající tendence sklízet bez vypalování. Tomuto postupu se říká sklizeň zelené třtiny. Je to postup, jehož použití nejen zvyšuje výnos cukru, ale na poli po něm zůstává ochranná vrstva zapařené slámy a ta zase prospěšně působí proti erozi půdy a plevelům.

Poté přijdou na řadu speciální sklízecí stroje, v obtížně dosažitelných polohách rolníci s mačetami. Od okamžiku useknutí stébla začíná boj s časem, cukrová třtina se totiž začíná do 24 hodin kazit. Po sklizni Obr. 2.2c se třtinová stébla odvázejí do cukrovarů, kde se před samotným lisováním rostliny rychle rozřežou Obr. 2.2d, nadrtí Obr. 2.2e a rozvlákní Obr. 2.2f. Drť je spařena horkou vodou a přivedena do lisovací tratě Obr. 2.3 (většinou 3-6 lisů řazených

za sebou) Získaná šťáva z lisování se následně několikrát povaří a nakonec rychle zchladí. Na povrchu šťávy vykrystalizuje jantarově zabarvený třtinový cukr. Po oddělení cukrové krusty zůstane v nádobě melasa (odpadní cukerný sirup), tedy hustá, tmavá a poněkud nahořklá látka, z níž se posléze může vyrábět třeba rum. Ze 2-3 l melasy se vyrobí 1 l rumu, dále gin, vodka, kvasnice a jiné výrobky. Melasa je také vhodným krmivem pro hospodářská zvířata. Kromě melasy je dalším vedlejším produktem bagasa (zbytky stébel po vylisování, biomasa). Vylisovanými stébly se topí v cukrovarech nebo se používají jako surovina pro výrobu papíru, lepenek a desek z umělé hmoty. Ve směsi s melasou se zbytky stébel také zkrmuji. Stébla cukrové třtiny se také od nepaměti žvýkají.[1]



Obrázek 2.2: Zpracování cukrové třtiny



Obrázek 2.3: Lisovací trať

2.3 Popis mlýnu

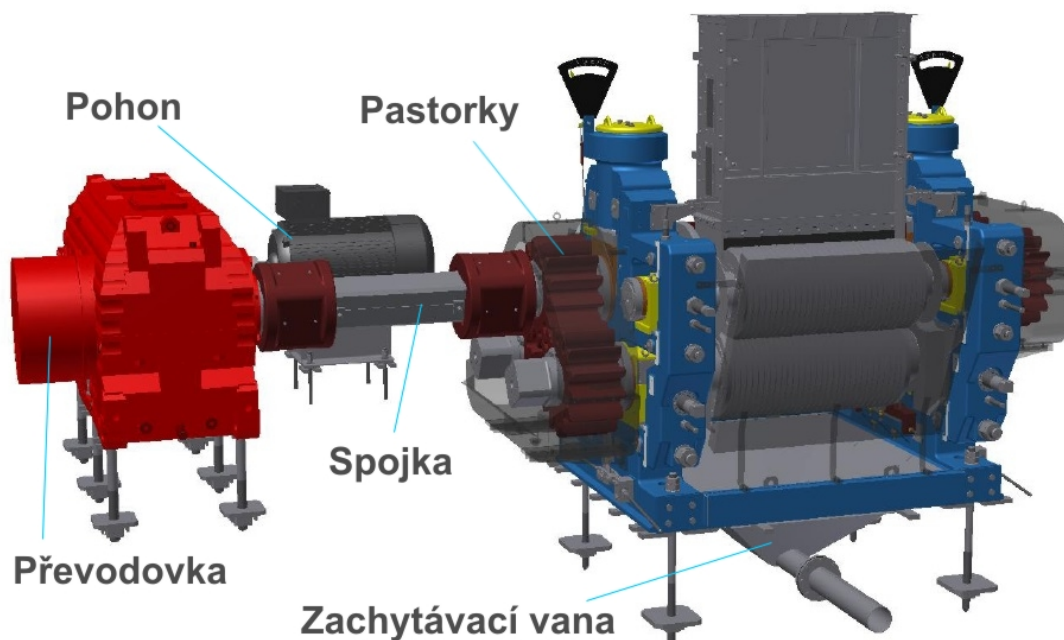
Základní funkcí mlýnu je získání co největšího procenta tekutiny (směs vody a extraktu) z cukrové třtiny, která se dále čistí a získává se z ní krystalizací cukr) z přiváděné směsi (drť cukrové třtiny spařená horkou vodou), lisováním mezi válci mlýnu. Lisování probíhá na několika mlýnech, řazených za sebou, na tzv. lisovací trati viz. Obr. 2.3. Jednotlivé mlýny jsou propojeny dopravníky, které transportují směs z výstupu jednoho mlýnu ke vstupu dalšího.

Třtinový mlýn **Obr. 2.4** se skládá z :

- třech pracovních válců
- jednoho podávacího válce
- pravého a levého stojanu
- zachytávací vany
- pastorků pohonu
- spojky
- převodovky
- pohonu

Pohon mlýnu je přiváděn z asynchronního motoru o výkonu 160 kW přes převodovku a spojku na hlavní hřídel s horním válcem. Dále je pomocí pastorků na levé straně přenášén na hřídele se spodními válci a dvojice pastorků na pravé straně pohání podávací válec **Obr. 2.4**. Pastorky jsou odlitky z oceli 1.0416 (ČSN 42 2630). Pracovní otáčky mlýnu jsou pouze 5 ot/min. Pro výpočet tedy nemusíme uvažovat s dynamickými účinky hřídelů a válců.

Lisovací síla je vyvozována dvěma pracovními hydraulickými válci o maximálním pracovní tlaku 26 MPa umístěnými v horních víkách stojanu. Z hydraulických válců je síla přenášena přes kluzně uložené ložiskové domky na horní válec, který vyvozuje požadovanou lisovací sílu v pracovním prostoru mlýnu. Uložení hřídelů válců je kluzné v ložiskových domcích. Domky mají bronzovou pánev, která je mazána.

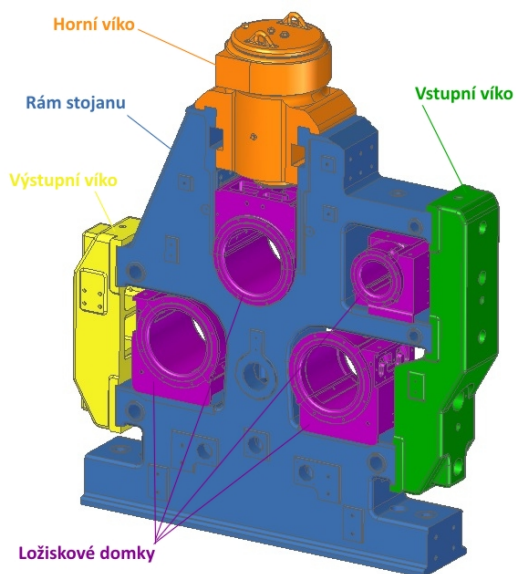


Obrázek 2.4: Čtyřválcový mlýn

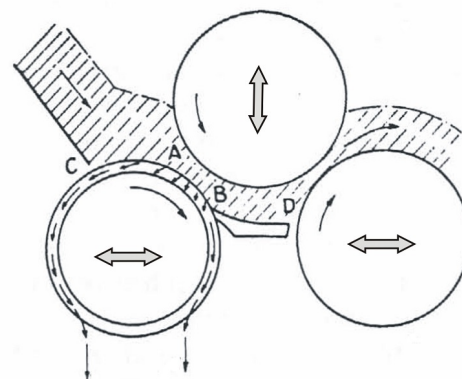
Boční stojany mlýnu se skládají z hlavního rámu, horního víka, vstupního víka, výstupního víka, ložiskových domků válců (pracovních a podávacího) a kluzných vedení Obr. 2.5. Díly jsou odlitky z oceli AISI 1045, kluzná vedení jsou z bronzu. Víka jsou s rámem spojena pomocí předeprnutých šroubů. Ložiskové domky jsou kluzně uložené, horizontální poloha spodních a podávacího je vymezena stavěcím šroubem. Horizontální zatížení ložiskových domků je přenášeno stavěcími šrouby do vík. Horní víko s hydraulickým válcem je uloženo přes pera a zámky v rámu. Válec působí silou, vytvořenou tlakem, na horní ložiskový domek s uloženým horním válcem, který vyvozuje lisovací sílu mlýnu. Rám je pomocí předeprnutých kotev připevněn k základu.

Samotné lisování probíhá mezi třemi pracovními válci, uspořádání válců viz. Obr. 2.6. Kde spodní válce jsou stavitelné v horizontálním směru a horní válec je stavitelný ve vertikálním směru. Tím je možné nastavit optimální podmínky lisovacího procesu. Ty se primárně určují z vlhkosti bagasy, která vystupuje z mlýnu. Bagasa vystupující z mlýnů má mezi 45% a 55% vlhkosti. Mezi spodními válci je umístěn škrabák, který zamezuje ulpívání směsi na pracovních válcích a zajišťuje přesun směsi ze spodního vstupního válce na výstupní. Správné a kontinuální plnění pracovního prostoru a předlisování zajišťuje podávací válec.

Extrakt ze směsi stékající po válcích je zachytáván do nerezové vany a odváděn ke zpracování. Extrakt se nejdříve čistí a pak destiluje a z destilátu krystalizuje finální produkt třtinový cukr.



Obrázek 2.5: Stojan mlýnu



Obrázek 2.6: Schéma lisování třtiny [11]

3

Svařování tlustých plechů

Pro svařování tlustých plechů jsou ve většině případů voleny metody 111 (Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou) a 135 (MAG – Metal Active Gas). Důležitou roli hraje tepelné zpracování před i po svařování a nezbytný je předehřev svařovaného materiálu.

3.1 Metody svařování

3.1.1 Metoda 111 (Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou)

Obloukové svařování využívá k natavení základního materiálu elektrický oblouk. Ten hoří mezi elektrodou a svařovaným materiálem a roztaví kov elektrody i základní materiál. Roztavený kov elektrody přechází sloupcem oblouku do tavné lázně a promísením tohoto přídavného materiálu a nataveného základního materiálu vzniká svarový spoj. Používané elektrody se skládají z kovového jádra a obalu. Liší se nejen průměrem, tloušťkou nalisovaného obalu, ale především druhem obalu.

Úkolem obalu je stabilizovat oblouk, chránit svarový kov před účinky atmosféry, zpomalit chladnutí svaru vytvořenou struskou a dodat do tavné lázně některé přídavné prvky (Cr, Ni, Mo, W a jiné). Obaly elektrod se rozdělují dle chemického složení a metalurgických reakcí strusky [14].

Kyselý obal Základní složkou jsou oxidy železa. Elektrody s kyselým obalem se používají jak pro střídavý, tak pro stejnosměrný proud a přímé zapojení elektrody. Vzhledem k tomu, že oblouk je velice teplý a struska se stává tekutější, je nevhodný pro svařování v polohách. Přednostně pak jen pro polohy PA nebo PB. Kyselé elektrody docilují hlubokých závarů a vysokých výkonů. Svarový kov má vyšší houževnatost, ale nižší pevnost.

Bazický obal Je složen převážně z uhličitanů, jako je vápenec, křída, mramor a další. U bazického obalu se využívá stejnosměrného proudu při nepřímém zapojení elektrody (elektroda připojena k anodě + pól). Oblouk těchto elektrod má nižší teplotu než elektrody s kyselým

obalem, proto je elektroda odtavována ve velkých kapkách a tavná lázeň rychleji tuhne. To umožňuje svařovat ve všech polohách. Před svařováním je nutné elektrody vysoušet až několik hodin, kvůli častému vlhnutí a vzniku pórů. Bazické elektrody umožňují dosáhnout velmi kvalitního svarového kovu, který je vhodný pro dynamické namáhání i pro nízké teploty.

Rutinový obal Obal tvoří převážně rutil (TiO_2) a další uhličitany a silikáty. Svařování je umožněno jak střídavé, tak stejnosměrné při přímém zapojení elektrod. Svarový kov i struska mají poměrně vysokou viskozitu a proto je možné svařování v polohách nebo při větších svarových mezerách. Vzhledem k poměrně malému závaru není vhodné svařování tlustých plechů. Elektrody s rutilovým obalem mají velmi dobré fyzikální a redukční vlastnosti. [12] [13]

Dále existují obaly stabilizační, organické (např. celulózový), se solí halových prvků atd.

Výhody:

- zařízení je relativně jednoduché a přenosné
- metoda nevyžaduje externí zařízení plynového hospodářství, ochrannou vrstvu vytváří obal elektrody je relativně nenáchylný na povětrnostní podmínky (odfouknutí plynu)
- proces může být použitý i v podmínkách s nižším nárokem na přístup
- různorodá použitelnost v oblasti materiálů (uhlíková ocel, slitiny, nerez, litina, hliník)
- možnost svařovat v polohách

Nevýhody:

- nutnost odstranění strusky z povrchu materiálů
- nízká produktivita z hlediska častých výměn elektrod
- metoda není vhodná na povrchově upravené materiály jako Ti, Zn z důvodů vysokého vneseného tepla
- metodu nelze aplikovat na reaktivní prvky, titanium, zirkonium, tantalum, colombium z důvodů reakce a kontaminace kyslíkem

Díky své všestrannosti, nízké pořizovací ceně a možnosti svařování ve všech polohách patří ruční svařování elektrickým obloukem stále mezi nejpoužívanější metody svařování. Je vhodné pro nelegované, nízkolegované i vysokolegované oceli, pro Al, Cu, Ni a jejich slitiny a pro tloušťky základního materiálu od 2 do 100 mm. Svařovací proud se používá v rozsahu od 50 do 450 A, napětí na oblouku 15 až 40 V. [12] [13]

3.1.2 Metoda 135 (MAG – Metal Active Gas)

Jedná se o obloukové svařování, kdy elektroda (drát) se taví pod ochranou přiváděného plynu, který se aktivně účastní procesů v elektrickém oblouku. Elektroda je ve formě drátu navinutého na cívce. Drát je podáván podávacím mechanismem do hořáku. Aktivní plyn je obvykle CO_2 , nebo směsné plyny (směsi CO_2 , argonu, kyslíku apod.). Svařování MAG se používá ke

svařování nelegovaných, nízkolegovaných a vysoce legovaných ocelí. Metodami MIG/MAG lze s výhodou svařovat pulsním obloukem (pulsním proudem), čímž dostáváme definovaný přenos kapek kovu obloukem. [14]

Výhody:

- vysoká svařovací rychlost = vyšší produktivita
- nižší nároky na čištění strusky
- oblouk i svarová lázeň je jasně viditelná
- umožňuje svařování ve všech svařovacích polohách
- odstranění prostoje na výměnu klasických elektrod

Nevýhody:

- svařovací zdroj je náročnější na obsluhu
- pořizovací cena je vyšší
- relativně vysoké vyzářené teplo do prostoru

3.2 Tepelné zpracování

Tepelné zpracování svařovaných konstrukcí je prováděno z důvodu dosažení určitých požadovaných vlastností materiálu. Požadované vlastnosti se dají ovlivnit ohřevem a řízeným ochlazováním, dosáhne se tak změn ve struktuře. Díky tepelnému zpracování se snižuje vnitřní pnutí, které vzniká v konstrukci v důsledku svařování. Po svaření se všechny svarové spoje tepelně zpracovávají. Tepelné zpracování má na každý materiál jiný vliv, je důležité používat vhodné způsoby tepelného zpracování ve vhodný čas.

3.2.1 Tepelné zpracování před svařování

Toto tepelné zpracování má připravit díl ke svařování. Je nutné zejména tam, kde stav materiálu neodpovídá požadavkům na svařování. Příkladem může být ocel na odlitky, aby se zjemnila a zrovnoměnila její struktura. Druh tepelného zpracování před svařováním bude určen typem oceli, která se má svařovat (viz. materiálové listy příslušné oceli). [12]

- Nízkouhlíkové a nízkolegované oceli:
 - Normalizační žíhání
 - Žíhání ke snížení pnutí
- Střednělegované a vysokolegované oceli:
 - Zušlechťování
- Austenitické oceli:
 - Austenitizační (rozpouštěcí) žíhání

- Stabilizační žíhání
- Oceli s feritickou strukturou:
 - Žíhání ke snížení pnutí

3.2.2 Předehřev při svařování

Snižuje tepelný spád, zpomaluje rychlost ochlazování, dále snižuje vnitřní pnutí a možnost vzniku trhlin za studena. Předehřev je u některých svařovaných materiálů nutný. Ohřev se provádí svařovacími hořáky, přenosnými pískami, nebo ve stabilních elektrických nebo plynových pecích. Teploty předehřevu se pohybují dle počátku vzniku martenzitu, což je 100°C až 250°C u uhlíkových ocelí tř. 11, 12 a 100°C až 450°C u legovaných ocelí tř. 13 až 16. Předehřev je nutný při dosažení jedné z podmínek:

$$s > 25mm \quad C > 0,2hm.\% \quad C_{ekv} > 0,45hm.\% \quad (3.1)$$

Odpovídající teplotu předehřevu dané oceli najdeme v materiálových listech nebo vypočteme pomocí tzv. Seféniova vzorce:

$$T_p = 350 * \sqrt{C_p - 0,25} \quad (3.2)$$

- kde:

$$C_p = C_c + 0,05 * s * C_c \quad (3.3)$$

- kde:

$$C_c = \frac{360C + 40(Mn + Cr) + 20Ni + 28Mo}{360} \quad (3.4)$$

s ...tloušťka svařovaného materiálu [mm]
 $C, Mn, atd.$obsah prvků v oceli [%]

Předehřev před svařováním Předehřev se provádí před samotným svařováním, v průběhu svařování se již nepřihřívá. Následuje pomalé ochlazení. Tento způsob je vhodný zejména pro hmotné konstrukce, kdy vlivem velké objemnosti teplota okolí svaru pomaleji chladne.

Předehřev před svařování s vyrovnávacím dohřevem Tento teplotní režim je vhodný pro svařované konstrukce o velké hmotnosti z uhlíkových a nízkolegovaných ocelí. Teplotní gradient mezi svařovaným předmětem a svařovacím kovem musí být minimální. Dohřev na teplotu předehřevu je důležitý především z hlediska transformace poslední navařené housenky na rozpadové produkty, které odpovídají podle ARA diagramu teplotě dohřevu.

Svařování s meziochlazením, INTERPASS Svařenec se předehřeje a přihřívá se během svařování. Po dohřevu po svařování se svařenec meziochladí na teplotu interpassu, tj. 150°C a pak se provede popuštění. Svařování s meziochlazením je moderní způsob svařování, který potlačuje výskyt trhlin. Za teploty 150°C zabráníme vzniku zákalné martenzitické struktury, neboť proběhne rozpad zbytkového austenitu na příznivý nízkouhlíkový martenzit s karbidy, příp. bainit. Je vhodné pro svařování legovaných ocelí, s vyšším obsahem zbytkového austenitu 10% a více, tj. svařovaných v oblastech horního bainitu a při svařování velkých tlouštěk.

3.2.3 Tepelné zpracování po svařování

Tepelné zpracování po svařování není třeba provádět vždy, je však nutné vědět jakých vlastností potřebujeme po svaření konstrukce docílit a tedy jaký druh tepelného zpracování bude na svařenec použit. Tepelným zpracování po svařování se snižuje vnitřní pnutí, obsah vodíku ve svarovém kovu a TOO, zajišťuje se rozměrová stabilita svařence, zlepšuje se mikrostruktura a mechanické a plastické vlastnosti svarového spoje. [13]

Žihání Ohřev se provádí 30 až 50 °C nad teplotou Ac3 podle druhu materiálu, následuje výdrž a ochlazení na vzduchu v otevřené peci. Normalizační žihání po svaření se provádí zejména kvůli odstranění hrubého zrna ve svaru a v tepelně ovlivnitelné oblasti a také kvůli požadavku stejných mechanických, fyzikálních i chemických vlastností svarového spoje se základním materiálem. Používá se u složitých svařovaných konstrukcí namáhaných jak staticky tak dynamicky např. u tlustostěnných tlakových nádob. Je nutné provádět zejména při svařování elektrostruskovém a plamenovém.

Žihání ke snížení vnitřních pnutí Provádí se při pomalém ohřátí pod teplotu Ac1 tj. asi 550 až 650 °C. Setrvání na této teplotě je asi 4 minuty na každý milimetr svařované tloušťky. Ochladuje se pomalu v uzavřené peci. Tento druh TZ se provádí z důvodu snižování tepelných a mechanických pnutí vznikajících ve svarovém kovu nerovnoměrným ohřevem a ochlazováním nebo kvůli deformaci vzniklé za tepla či za studena. Při žihání se vlivem zvyšující teploty snižuje mez kluzu a ke snížení vnitřního pnutí dochází plastickou deformací, která působí po dobu výdrže svarového spoje na teplotě prodlevy. Tento způsob TZ se využívá u nelegovaných a nízkolegovaných ocelí.

Popouštění Popouštění je ohřev na určenou teplotu pod A1, výdrž na této teplotě k vytvoření struktur bližších rovnovážnému stavu oceli a pomalé ochlazení na teplotu okolí. Popouštěním oceli se sníží hladina vnitřních pnutí, sníží se tvrdost svarového spoje a zvýší se jeho plasticita a houževnatost. Dochází k rozpadu základních struktur martenzitického a bainitického charakteru, které vznikly ve svarovém spoji v důsledku jeho rychlého ochlazování. Výsledná struktura je sorbit nebo popouštěný bainit.

Zušlechťování Při zušlechťování se provádí nejdříve kalení a následně popouštění za teplot pod Ac1. Používá se při požadavku stejných mechanických vlastností svarového spoje a základního materiálu.

Austenitizační žihání Uskutečňuje se při teplotách 1030 až 1100 °C, následuje výdrž 20 – 30 min a rychlé ochlazení ve vodě, čímž se zabrání vyloučení karbidů po hranicích zrn. Účelem austenitizačního žihání je získat homogenní strukturu ve svarovém spoji a také předejít vzniku mezikrystalické koroze. Toto TZ je vhodné pro nestabilizované austenitické oceli.

Stabilizační žihání Probíhá při teplotách 800 až 850 °C, výdrž na této teplotě je asi 6 až 10 hod. a ochlazení je pomalé na vzduchu. Cílem je stejně jako u austenitizačního žihání disperzně rozložit karbidy a snížit odolnost proti interkrystalické korozi. Použití je stejné pro oceli nestabilizované s austenitickou strukturou.

4

Zatěžování mlýnů

Zatížení stojanu bylo rozděleno do dvou skupin, podle způsobu vyvození sil:

- zatížení od technologie lisování
- zatížení od pohonu

4.1 Zatížení od technologie lisování

Vychází ze zatížení válců silou hydraulického válce. Pro výpočet se bude používat jeden stojan, tudíž bude uvažována i síla působící od jednoho víka.

Síla působící od jednoho víka [Obr. 4.1](#):

$$F_H = p * S = p * \frac{\pi * D^2}{4} = 26 * \frac{\pi * 49087}{4} = 1276272N \quad (4.1)$$

Síla působící na škrabák podle [Obr. 4.1](#) [11]:

$$R_B = 0.25 * F_H = 0.25 * 1276272 = 1264239.5N \quad (4.2)$$

$$R_{Bx} = \sin \beta * R_B = 55406N \quad R_{By} = \cos \beta * R_B = 314221N \quad (4.3)$$

Lisovací síly působící mezi válci viz. [Obr.4.1](#), byly stanoveny podle [11] a po domluvě s konzultantem tak, že poměr mezi F_2 a F_3 je 30:70 a že odběr této dvojice sil bude 90 % z F_H . Síla F_4 bude odebírat 9 % z F_H . Tento předpoklad je kombinací poznatků z praxe a poměrů otevření mezi jednotlivými válci. Úhly a otevření [Tab.4.1](#) mezi jednotlivými válci byly stanoveny z původního stojanu.

mezi válci 1-2	34,3 mm
mezi válci 1-3	16,1 mm
mezi válci 1-4	84,3 mm

Tabulka 4.1: Hodnoty otevření válců

Síla mezi válci 1-2:

$$F_2 = 0.9 * 0.7 * F = 0.63 * 1276272 = 344593N \quad (4.4)$$

$$F_{2x} = \sin \frac{\alpha}{2} * F_2 = 223567N \quad F_{2y} = \cos \frac{\alpha}{2} * F_2 = 262226N \quad (4.5)$$

Síla mezi válci 1-3:

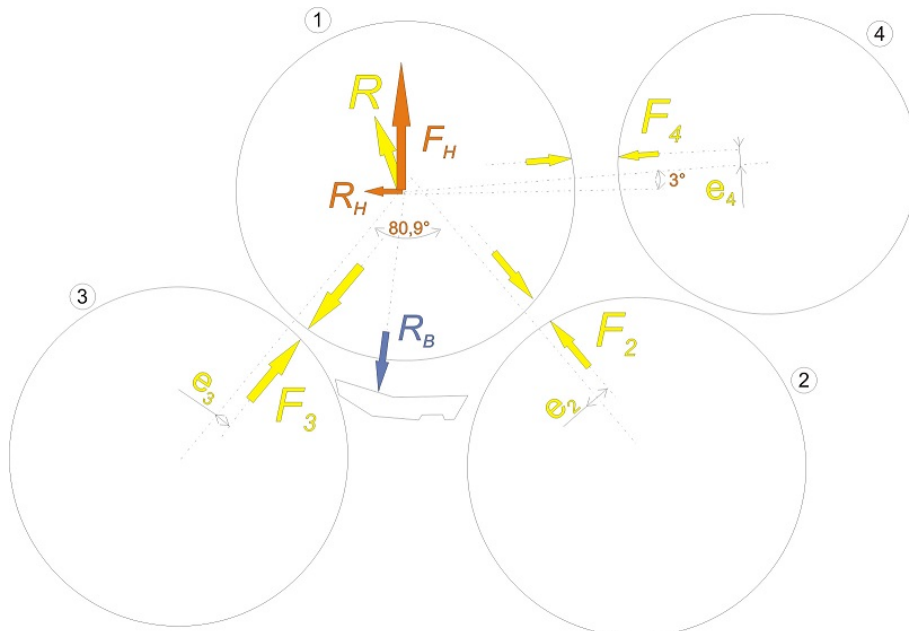
$$F_3 = 0.9 * 0.3 * F = 0.27 * 1276272 = 804051N \quad (4.6)$$

$$F_{3x} = \sin \frac{\alpha}{2} * F_3 = 521656N \quad F_{3y} = \cos \frac{\alpha}{2} * F_3 = 611861N \quad (4.7)$$

Síla mezi válci 1-4:

$$F_4 = 0.09 * F = 114864N \quad (4.8)$$

$$F_{4x} = \sin \frac{\alpha}{2} * F_4 = 104399N \quad F_{4y} = \cos \frac{\alpha}{2} * F_4 = 7300N \quad (4.9)$$



Obrázek 4.1: Síly vyvozené technologií

Z vypočtených hodnot dopočteme R_H [11]:

$$R_H = F_{3x} - F_{2x} - F_{4x} - R_{Bx} = 138284N \quad (4.10)$$

Excentricita lisovacích sil byla určena z polohy neutrální osy **Obr.4.2**. Hodnota byla stanovena podle [11]:

$$e_A = \frac{\text{otevření}}{D_{\text{válcce}}} \quad (4.11)$$

$$\cos \nu = \frac{1 + e_A}{2} + \sqrt{\left(\frac{1 + e_A}{2}\right)^2 - r * e_A} \quad (4.12)$$

- kde r ...reabsorpční faktor

Reabsorpční faktor je závislý na struktuře a rozvláknění cukrové třtiny (tento faktor má stejnou funkci jako přetvárný odpor u válcování plechů). Hodnota faktoru byla zvolena $r=1,2$ podle [11].

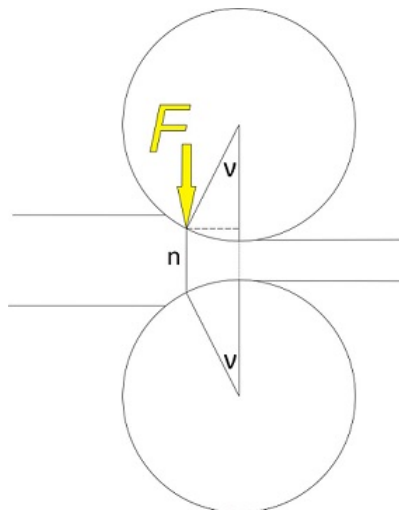
Excentricita lisovacích sil:

$$e = \sin \nu * \frac{D}{2} \quad (4.13)$$

-kde D ...průměr válce

$e_2 = 47,2mm$
$e_3 = 31,8mm$
$e_4 = 70,9mm$

Tabulka 4.2: Hodnoty excentrit lisovacích sil



Obrázek 4.2: Excentricita lisovacích sil

4.2 Zatížení od pohonu

Na rám, kromě zatížení od technologie lisování, působí také síly od momentů přenášené pas-
torky Obr.4.3. Moment byl stanoven z lisovacích sil a jejich excentricit.

Výpočet momentu:

$$M = \frac{F * e}{1000} \quad [N * m] \quad (4.14)$$

$M_2 = 16280N * m$
$M_3 = 25574N * m$
$M_4 = 7426N * m$

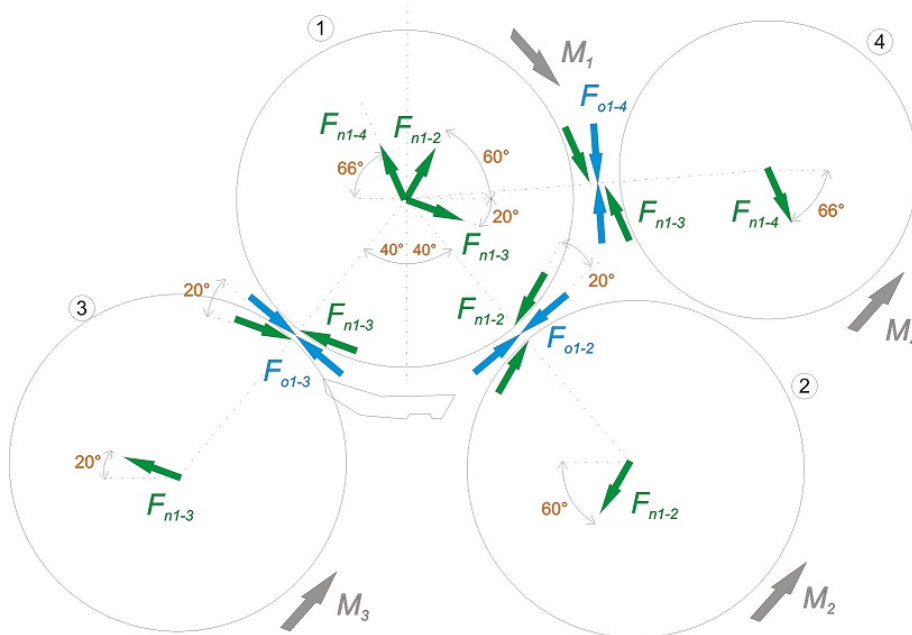
Tabulka 4.3: Hodnoty momentů

Výpočet obvodové síly:

$$F_o = \frac{M}{\frac{D}{2}} * 1000 \quad [N] \quad (4.15)$$

$F_{o1-2} = 53379N$
$F_{o1-3} = 83849N$
$F_{o1-4} = 26807N$

Tabulka 4.4: Hodnoty obvodových sil



Obrázek 4.3: Síly vyozené pohonem

Výpočet normálové síly:

$$F_n = \frac{F_o}{\cos \alpha} \quad [N] \quad (4.16)$$

-kde α ...úhel záběru zubů ($\alpha = 20^\circ$)

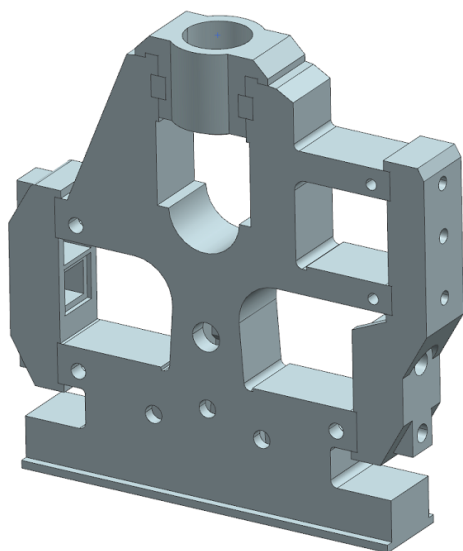
$F_{n1-2} = 56804N$
$F_{n1-3} = 89230N$
$F_{n1-4} = 28528N$

Tabulka 4.5: Hodnoty normálových sil

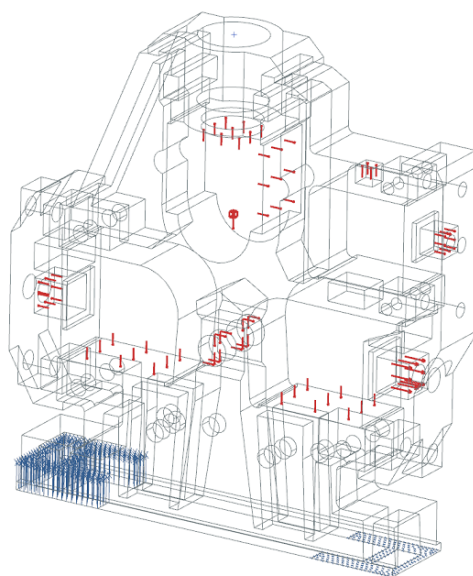
5

Zatížení původního odlitku

Pro výpočet zatížení původního stojanu odlitku byl ze zadané dokumentace vytvořen zjednodušený model, vhodný pro výpočet metodou konečných prvků (dále jen MKP) Obr. 5.1. Pro tento výpočtový model musely být odstraněny technologické rádiusy odlitku, přebytečné díry a osazení, které neměly podstatný vliv na rozložení napětí ve stojanu.



Obrázek 5.1: Sestava odlitku stojanu



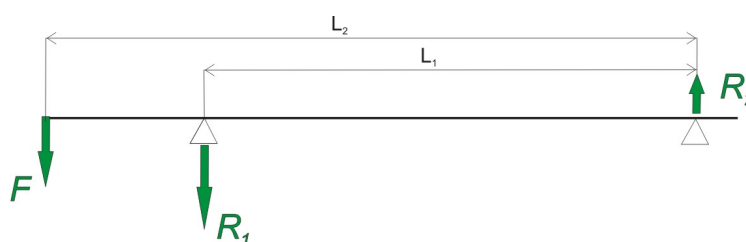
Obrázek 5.2: Zatížení odlitku stojanu

Na zjednodušeném stojanu byly stanoveny okrajové podmínky, ukotvení stojanu bylo nahrazeno dvěma vazbami, na plochách pod a v těsné blízkosti uchycení stojanu. Vazba na vstupní straně zamezuje pohybu i rotaci ve všech směrech a vazba na výstupní straně zamezuje vertikálnímu pohybu. Tyto vazby dostatečně popisují náhradu skutečného stavu a jsou využívány i v dalších postupných výpočtech. Zadán byl materiál odlitku, litá ocel AISI 1045

($E = 206\,000\text{ MPa}$)

Jednotlivé části jsou spojeny pomocí funkce "Surface to surface gluing" (slepení ploch), která slepí nejbližší uzly sítě dohromady. Ve skutečnosti jsou ale vstupní a výstupní víka stojanu spojeny pomocí předepnutých šroubů, horní víko je spojeno pomocí zámků a per. Funkce slepení ploch tuto skutečnost sice potlačuje, ale pro prvotní výpočty je naprosto postačující. Nastavení kontaktů mezi jednotlivými částmi bude zahrnuto až u dalších postupných výpočtů.

Zatížení stojanu silovými účinky je reprezentováno sadou působících sil v horizontálním a vertikálním směru. Síly F_{c1x} a F_{c1y} nahrazují působení zatížení od horního ložiska, síly F_{c2x} a F_{c2y} od vstupního ložiska, síly F_{c3x} a F_{c3y} od výstupního ložiska a síly F_{c4x} a F_{c4y} od ložiska podávacího válce. Síly působí v ose pastorků, které jsou oproti ose stojanu vyložené. Vyložení osy pastorku od osy stojanu je 435,5 mm. Podle Obr. 5.3 nosník s převislým koncem, bylo spočteno zatížení v osách stojanů. Pro výpočet bude použit více zatížený stojan.



Obrázek 5.3: Reakce v uložení hřídele od pastorků

Z obrázku Obr. 5.3 plyne dvojice rovnic:

$$R_1 * L_1 = R_2 * L_2 \quad R_2 = R_1 - F \quad (5.1)$$

Upravením rovnic 5.1 a dosazením délek $L_1 = 1,99\text{ m}$ a $L_2 = 2,43\text{ m}$ se získá:

$$R_1 = 1,22F \quad R_2 = 0,22F \quad (5.2)$$

Výsledná síla od pohonu v místě horního válce podle Obr. 4.3¹:

$$F_{p1x} = 1,22 * F_{n1-2} * \cos 60^\circ + 1,22 * F_{n1-3} * \cos 20^\circ + 0,22 * F_{n1-4} * \cos 66^\circ \quad (5.3)$$

$$F_{p1y} = 1,22 * F_{n1-2} * \sin 60^\circ - 1,22 * F_{n1-3} * \sin 20^\circ - 0,22 * F_{n1-4} * \sin 66^\circ \quad (5.4)$$

Výsledná síla od pohonu v místě spodního vstupního válce podle Obr. 4.3:

$$F_{p2x} = -1,22 * F_{n1-2} * \cos 60^\circ \quad (5.5)$$

$$F_{p2y} = -1,22 * F_{n1-2} * \sin 60^\circ \quad (5.6)$$

¹Síla F_{n1-4} je poháněna pastorkem na opačné straně než ostatní síly, proto bylo nutné otočit působení síly viz. Obr. 5.3 a použít koeficient 0,22 z Rov. 5.1.

Výsledná síla od pohonu v místě spodního výstupního válce podle Obr. 4.3:

$$F_{p3x} = -1,22 * F_{n1-3} * \cos 20^\circ \quad (5.7)$$

$$F_{p3y} = -1,22 * F_{n1-3} * \sin 20^\circ \quad (5.8)$$

Výsledná síla od pohonu v místě podávacího válce podle Obr. 4.3 a Obr. 5.3:

$$F_{p4x} = 0,22 * F_{n1-4} * \cos 66^\circ \quad (5.9)$$

$$F_{p4y} = -0,22 * F_{n1-4} * \sin 66^\circ \quad (5.10)$$

	směr x	směr y
horní válec	$F_{p1x} = 139\,499\text{ N}$	$F_{p1y} = 17\,051\text{ N}$
vstupní válec	$F_{p2x} = -34\,651\text{ N}$	$F_{p2y} = -60\,017\text{ N}$
výstupní válec	$F_{p3x} = -102\,296\text{ N}$	$F_{p3y} = 37\,233\text{ N}$
podávací válec	$F_{p4x} = -2\,553\text{ N}$	$F_{p4y} = 5\,734\text{ N}$

Tabulka 5.1: Hodnoty zatížení od pohonu

Síly od hmotností (gravitační síla) ložisek a válců ²

místo	ložisko x	válec
1	$F_{l1} = 2\,845\text{ N}$	$F_{v1} = 19\,664\text{ N}$
2	$F_{l2} = 2\,227\text{ N}$	$F_{v2} = 17\,844\text{ N}$
3	$F_{l3} = 2\,227\text{ N}$	$F_{v3} = 17\,844\text{ N}$
4	$F_{l4} = 1\,158\text{ N}$	$F_{v4} = 10\,953\text{ N}$

Tabulka 5.2: Gravitační síly ložisek a válců

Celková síla v místě horního válce:

$$F_{c1x} = F_{p1x} + R_H \quad (5.11)$$

$$F_{c2y} = F_H + F_{p1y} - F_{bt} - F_{rt} \quad (5.12)$$

Celková síla v místě vstupního válce:

$$F_{c2x} = F_{p2x} + F_{2x} \quad (5.13)$$

$$F_{c2y} = F_{p2y} - F_{2y} - F_{bbf} - F_{rbf} \quad (5.14)$$

²U válce je uvažována polovina síly, protože je uložen ve dvou stojanech

Celková síla v místě výstupního válce:

$$F_{c3x} = F_{p3x} - F_{3x} \quad (5.15)$$

$$F_{c3y} = F_{p3y} - F_{3y} - F_{bbb} - F_{rbb} \quad (5.16)$$

Celková síla v místě podávacího válce:

$$F_{c4x} = F_{p4x} + F_{4x} \quad (5.17)$$

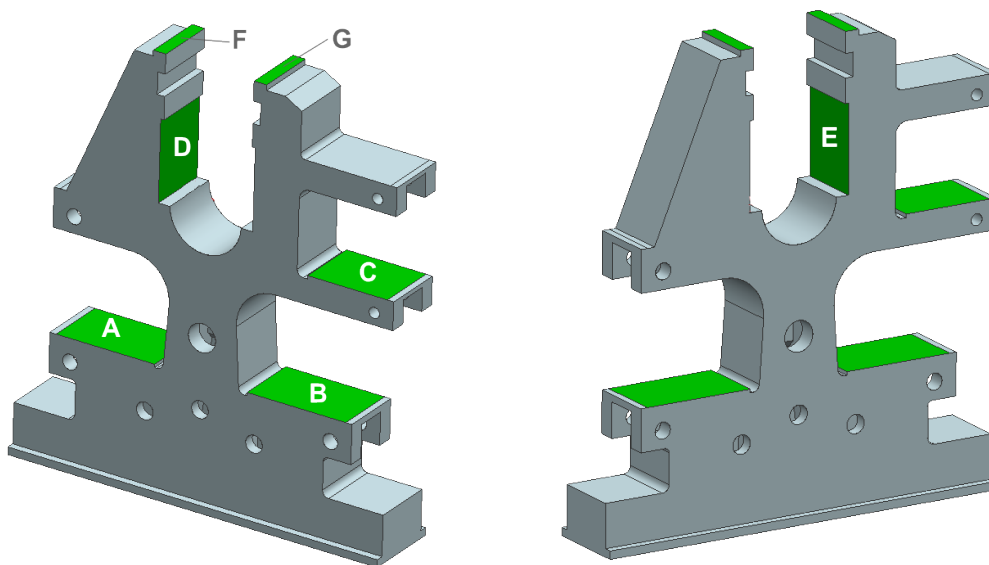
$$F_{c4y} = F_{p4y} + F_{4y} - F_{bf} - F_{rf} \quad (5.18)$$

ložisko	směr x	směr y
horní válec	$F_{c1x} = 277\,783\text{ N}$	$F_{c1y} = 1\,270\,814\text{ N}$
vstupní válec	$F_{c2x} = 188\,916\text{ N}$	$F_{c2y} = -342\,314\text{ N}$
výstupní válec	$F_{c3x} = -623\,951\text{ N}$	$F_{c3y} = -594\,700\text{ N}$
podávací válec	$F_{c4x} = 101\,847\text{ N}$	$F_{c4y} = 918\text{ N}$

Tabulka 5.3: Hodnoty celkového zatížení stojanu

5.1 Deformace

Na rámu byla stanovena funkční místa, u kterých bude sledována deformace ve vybraných směrech. Jedná se hlavně o vodící a dosedací plochy ložiskových domků, u kterých je sledování deformace podstatné z důvodu správného chodu stroje [Obr. 5.4](#).

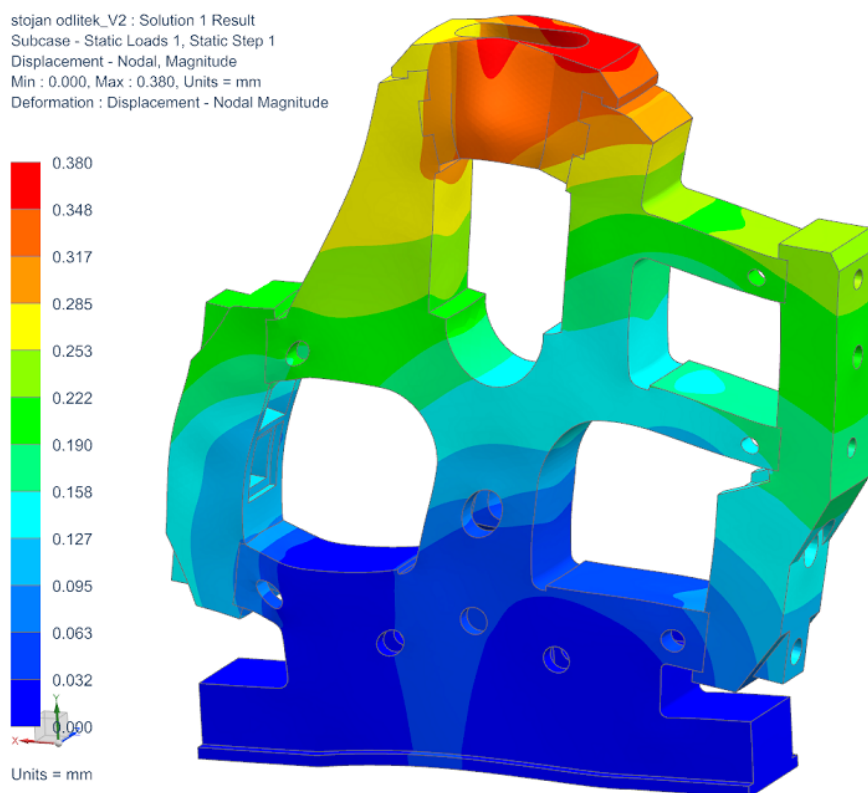


Obrázek 5.4: Sledovaná místa deformací

Popis sledovaných funkčních míst:

- Místo A, vodící plocha spodního výstupního ložiskového domku, sledovaný směr X
- Místo B, vodící plocha spodního vstupního ložiskového domku, sledovaný směr Z
- Místo C, vodící plocha podávacího ložiskového domku, sledovaný směr Z
- Místo D, vodící plocha horního ložiskového domku, sledovaný směr X
- Místo E, vodící plocha horního ložiskového domku, sledovaný směr X
- Místo F, dosedací plocha horního víka s hydraulickým válcem, sledovaný směr X a Z
- Místo G, dosedací plocha horního víka s hydraulickým válcem, sledovaný směr X a Z

Rám se deformoval viz. **Obr. 5.5**. Výpočtem byla zjištěna maximální hodnota deformace stojanu 0,38 mm. Maximální deformace rámu je na horním zámku, její hodnota je 0,33 mm. Získané hodnoty původních deformací rámu budou použity pro porovnání s nově navrhovanými rámy.



Obrázek 5.5: Deformace odlitku stojanu

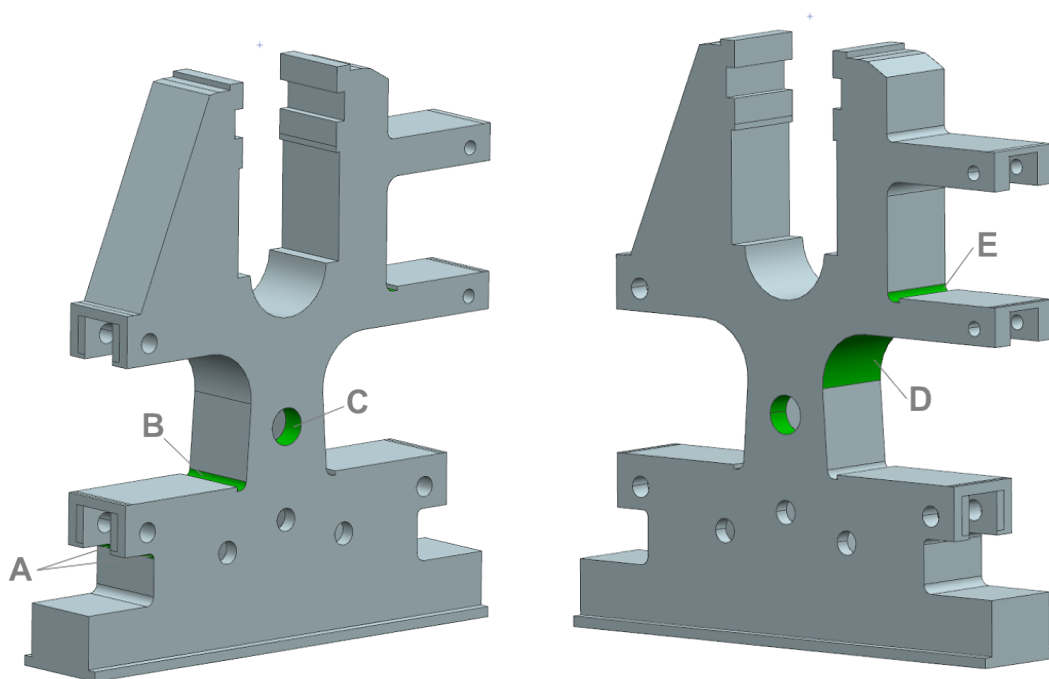
Výsledné deformace stojanu (potažmo rámu), jsou vzhledem k funkci stojanu naprosto vyhovující. Je nutno si uvědomit, že se jedná o zemědělský stroj, kde vůle mezi jednotlivými součástmi, převyšují vypočtené deformace.

místo	směr X	směr Z
A	-	0,040 mm
B	-	-0,023 mm
C	-	-0,024 mm
D	-0,214 mm	-
E	-0,183 mm	-
F	-0,190 mm	0,199 mm
G	-0,299 mm	0,152 mm

Tabulka 5.4: Hodnoty deformací v sledovaných místech

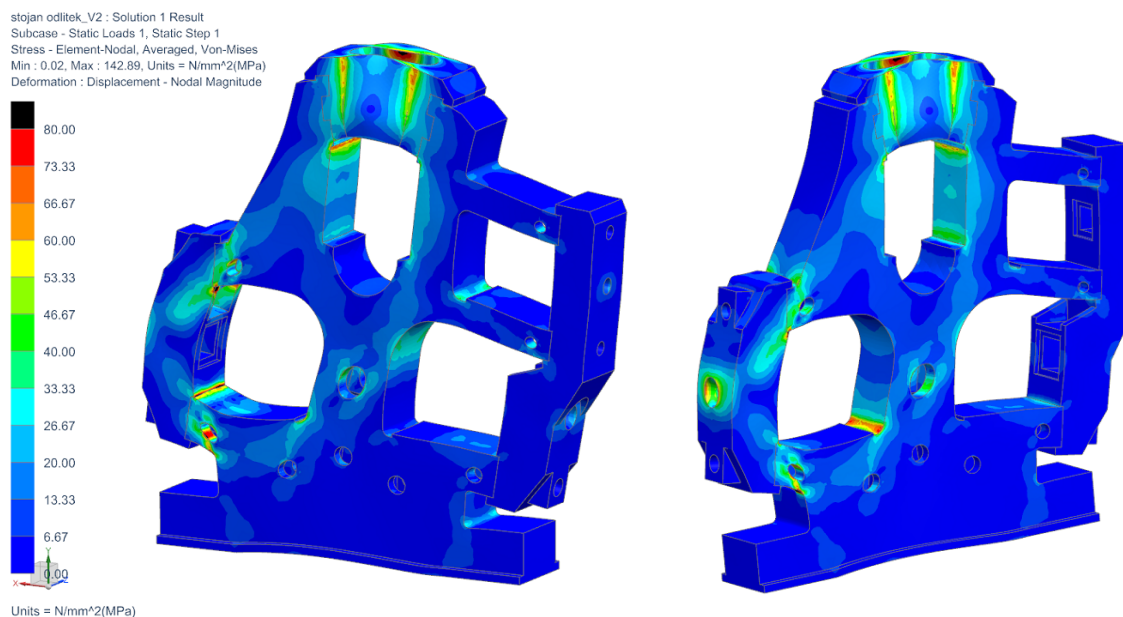
5.2 Napětí

Po první výpočtu byla na rámu určena místa s vyšší koncentrací napětí Obr. 5.6. Tato místa budou sledována, aby nedošlo k překročení meze kluzu. Dále se budou porovnávat s nově navrženými rámy a bude snaha u nových konstrukcí nepřekročit hodnoty napětí v těchto místech, popřípadě tato místa eliminovat. Vypočtené hodnoty budou uváděny v redukovaném napětí podle teorie Von-Mises.



Obrázek 5.6: Sledovaná místa napětí

Zobrazené hodnoty napětí Obr. 5.7 byly omezeny hranicí 80 MPa (černá barva v zobrazení). Nad touto hranicí je nutné zatížená místa sledovat a vyhodnotit jejich reálný vliv na konstrukci. Hodnoty napětí budou porovnávány s nově navrženými rámy. Hodnoty maximálních napětí pod hranicí 142,5 MPa (AISI 1045, $R_e = 285$ MPa, $k = 2$) jsou vyhovující. K překročení této hranice na skutečných špičkách napětí nedošlo.



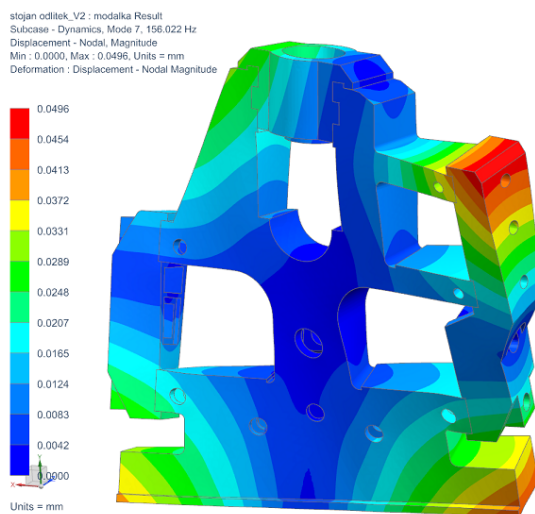
Obrázek 5.7: Napětí odlitku stojanu

místo	průměrné napětí(Von-Mises)	špička napětí (Von-Mises)
A	94,5 MPa	139,7 MPa
B	64,4 MPa	75,8 MPa
C	41,4 MPa	43,3 MPa
D	32,3 MPa	34,0 MPa
E	27,8 MPa	41,7 MPa

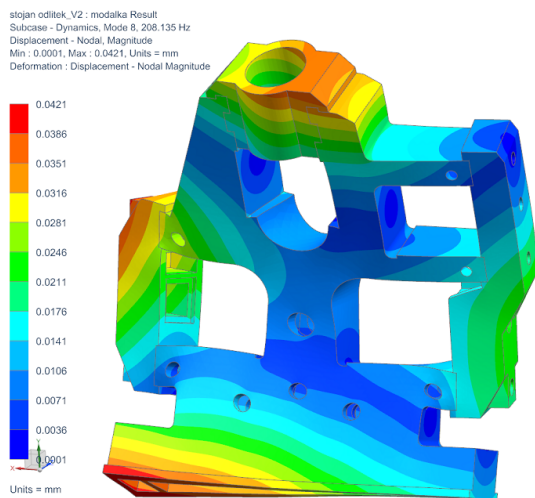
Tabulka 5.5: Hodnoty napětí v sledovaných místech

5.3 Vlastní frekvence

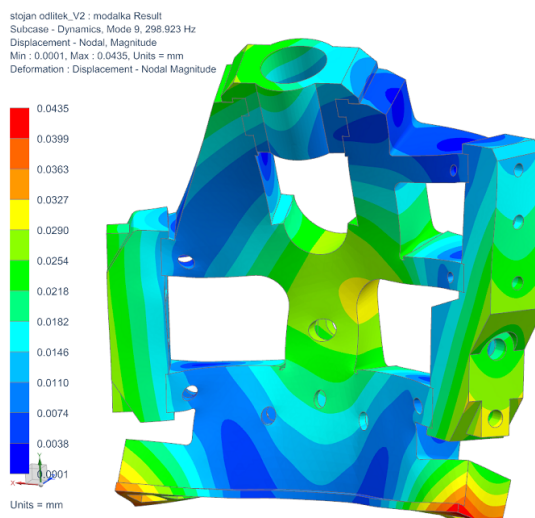
Součástí analýzy bylo i určení vlastních frekvencí stojanu Obr. 5.8. I přesto, že nejsou očekávány žádné dynamické účinky od chodu stroje, může modální analýza ukázat v jakých směrech zatěžování, je stojan nejvíce poddajný. Zobrazeny byly první tři vlastní frekvence stojanu. Hodnoty 156 Hz, 208 Hz s 299 Hz jsou dostatečně vysoké, než aby jsme jich dosáhli nějakou budicí frekvencí od činnosti stroje.



(a) 1. vlastní frekvence 156 Hz



(b) 2. vlastní frekvence 208 Hz



(c) 3. vlastní frekvence 299 Hz

Obrázek 5.8: Modální analýza stojanu odlitku

6

Návrh a porovnání variant

Po zhodnocení současného stavu a definování výpočtového modelu zatížení, bylo započato s navrhováním konstrukčních variant. Varianty rámu musely splňovat požadavky zadavatele práce. Hlavním požadavkem bylo použití stejných ložiskových domků a horního víka, dále pak zachování tvaru rámu a jeho přípojných bodů.

Z těchto omezení vzešel vnější tvar a rozměry, které se shodují s původním odlitkem. Konstrukční úprava byla tedy možná pouze uvnitř rámu, z toho vyšla idea uzavřeného (skříňového) a otevřeného rámu. Tyto dvě koncepce byly rozpracovány do konstrukčních návrhů rámu a osazeny víky.

Obě varianty prošly několika optimalizačními kroky k dosažení podobné tuhosti jako u u původního odlitku.

6.1 Skříňový rám, varianta 1

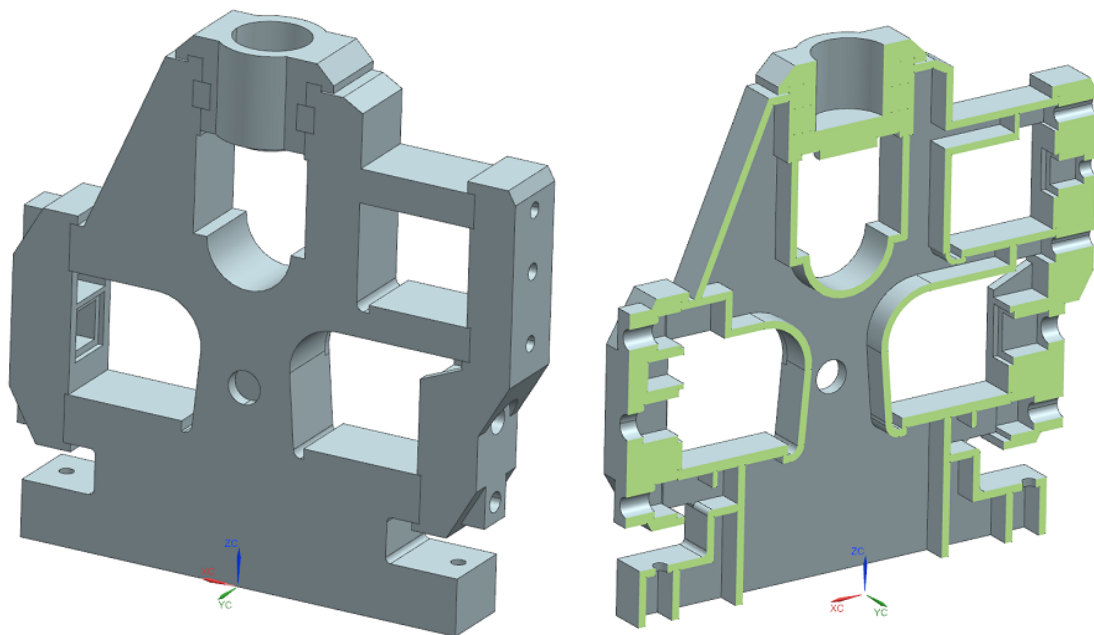
Vychází z provedení původního odlitku. Rám je tvořen dvěma bočními plechy (výpalky tloušťky 50mm). Boční plechy jsou spojeny obvodovými plechy a žebry (plechy tloušťky 30mm) Obr. 6.1. Vnější tvar shodný jako u původního rámu.

Výhodou skříňového rámu je jeho stabilnější poloha. Uzavřený rám se bude lépe udržovat, co se znečištění týče. Rám bude lehčí oproti otevřenému. Díky dvou hlavním plechům nebude potřeba složité žebrování (méně materiálu a méně svarů = nižší cena).

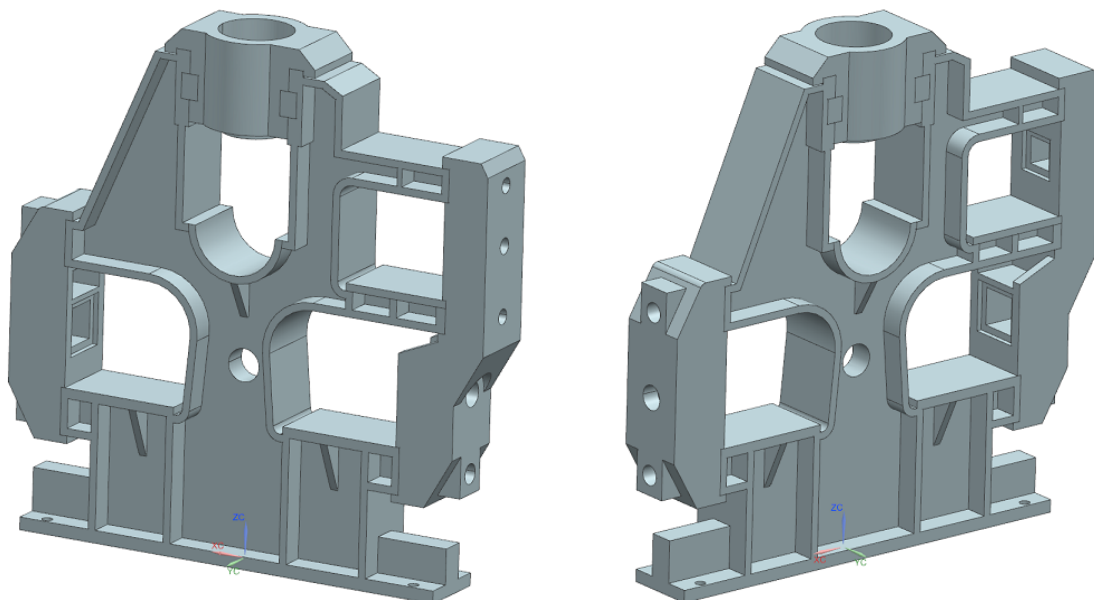
6.2 Otevřený rám, varianta 2

Otevřený rám je tvořen centrálním nosným plechem (výpalek tloušťky 100 mm) a obvodovými plechy (tloušťky 30 mm). Vnější tvar schodný jako u původního rámu. Rám je vystužen žebry (tloušťky 30 mm) Obr. 6.2.

Jeho velkou výhodou je jednoduchost výroby, kdy jsou všechny svary volně přístupné. Dobrá přístupnost ke svarům je podmínkou pro jejich následnou kontrolu. Otevřený rám umožňuje pozdější zásah do konstrukce (např. přidání žeber).



Obrázek 6.1: Konstrukční návrh V1



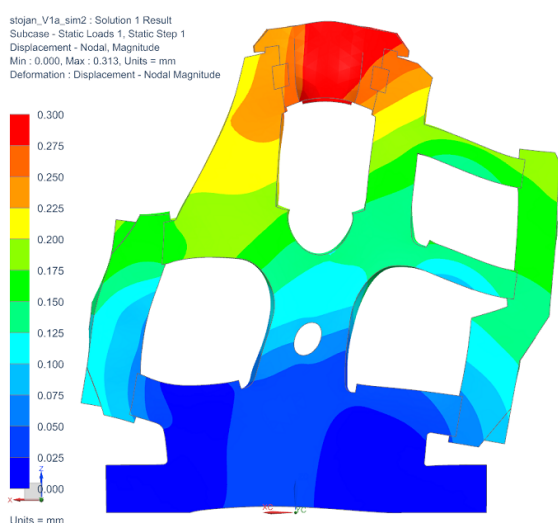
Obrázek 6.2: Konstrukční návrh V2

6.3 Porovnání variant

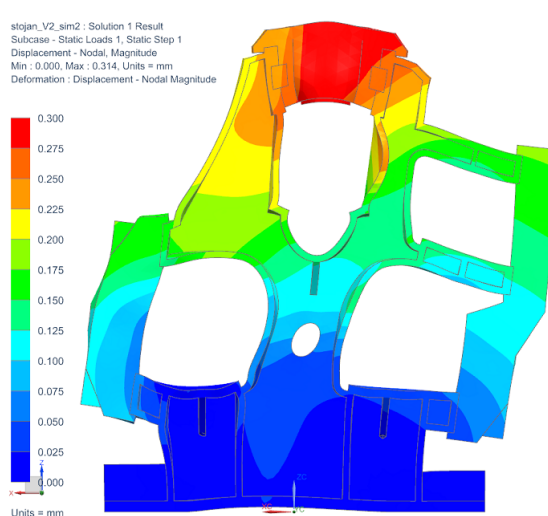
Na obě konstrukční varianty byly použity stejné okrajové podmínky jako u původního odlitku, jak silové zatížení, tak vazby viz. **Obr. 5.2**. Jako materiál pro konstrukční návrhy byla zvolena válcovaná ocel ($E = 210\,000$ MPa, $R_e = 235$ MPa, $R_m = 340$ MPa). Materiál byl zvolen s ohledem na své mechanické vlastnosti, konečná volba materiálu bude provedena až u finální konstrukce s ohledem na technologické vlastnosti a dostupnost.

Výsledné deformace a napětí byly porovnány mezi sebou a s původním odlitkem. Dále byly hodnoceny další faktory ovlivňující návrh, výrobu a chod stroje.

6.3.1 Deformace



Obrázek 6.3: Deformace V1



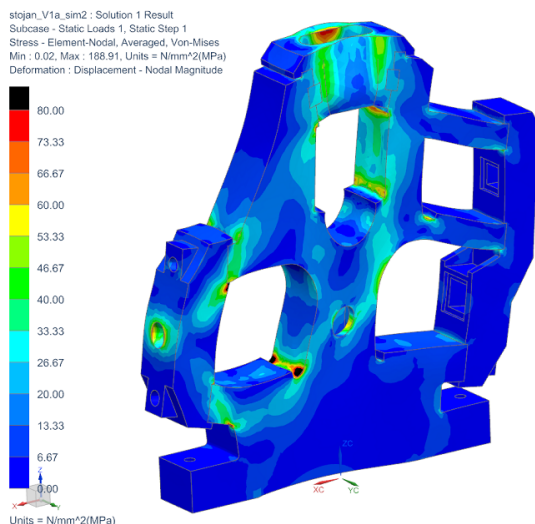
Obrázek 6.4: Deformace V2

místo	V1		V2		původní odlitek	
	směr X	směr Z	směr X	směr Z	směr X	směr Z
A	-	0,015 mm	-	0,012 mm	-	0,040 mm
B	-	0,014 mm	-	-0,001 mm	-	-0,023 mm
C	-	0,017 mm	-	0,010 mm	-	-0,024 mm
D	-0,166 mm	-	-0,169 mm	-	-0,214 mm	-
E	-0,141 mm	-	-0,145 mm	-	-0,183 mm	-
F	-0,138 mm	0,188 mm	-0,138 mm	0,188 mm	-0,190 mm	0,199 mm
G	-0,219 mm	0,170 mm	-0,220 mm	0,172 mm	-0,299 mm	0,152 mm

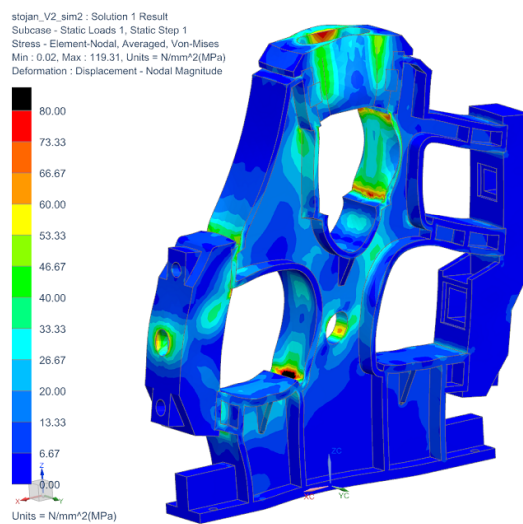
Tabulka 6.1: Hodnoty deformací v sledovaných místech

Obě varianty dosáhly identických hodnot deformací ve sledovaných místech, i mimo ně viz. **Obr. 6.3** a **Obr. 6.4**. Tyto výsledky byly očekávány z důvodu volby stejného hlavního průřezu rámu (V1: 2x plech tl. 50 mm, V2: 1x plech tl. 100 mm a boční plechy tl. 30 mm u obou variant).

6.3.2 Napětí



Obrázek 6.5: Napětí V1



Obrázek 6.6: Napětí V2

místo	V1, napětí Von-Mises		V2, napětí Von-Mises		odlitek, napětí Von-Mises	
	průměrné	špička	průměrné	špička	průměrné	špička
A	93,3 MPa	126,4 MPa	27,5 MPa	52,3 MPa	94,5 MPa	139,7 MPa
B	73,1 MPa	101,8 MPa	71,8 MPa	98,8 MPa	64,4 MPa	75,8 MPa
C	53,9 MPa	58,3 MPa	54,2 MPa	62,7 MPa	41,4 MPa	43,3 MPa
D	39,8 MPa	55,9 MPa	42,4 MPa	60,8 MPa	32,3 MPa	34,0 MPa
E	45,9 MPa	73,9 MPa	39,1 MPa	67,5 MPa	27,8 MPa	41,7 MPa

Tabulka 6.2: Hodnoty napětí v sledovaných místech (redukované napětí Von-Mises)

Hodnoty napětí (průměrné i špičky) u obou variant dosahovaly podobných hodnot, o trochu nižších hodnot dosáhla v místech hodnocení konstrukční varianta 2 viz. Obr. 6.5 a Obr 6.6. Celkový průběh napětí v obou rámech je identický (místa v vyšší koncentrací napětí jsou ve stejných místech).

V porovnání s původním odlitkem dosáhlo napětí u obou variant vyšších hodnot. To je vykompenzováno vyšší hodnotou dovoleného napětí, jelikož mez kluzu lité oceli byla menší než u svařence použité válcované oceli. Z tohoto pohledu návrh vyhovuje a dodržuje předpoklad navrhování nové konstrukce rámu na odpovídající hodnoty napětí původního odlitku.

6.3.3 Vlastnosti

Hmotnost U kritéria hmotnosti je výhodnější varianta 1 s hmotností $m_{V1} = 1875$ kg než varianta 2 s $m_{V2} = 2002$ kg. Druhá varianta je o 6,7% těžší, rozdíl hmotností je 127 kg. Původní odlitek vážil $m_o = 2531$ kg, což je úspora 656 kg u první a 529 u druhé varianty.

Údržba, čištění Je výhodnější u varianty 1. Ta má menší vnější povrch a méně záhybů, kde se mohou usazovat nečistoty. Toto kritérium je v zemědělské výrobě, potažmo u mletí třtiny, nezanedbatelné.

Aplikovatelnost U tohoto kritéria hraje roli využití stojanu pro stávající komponenty. U ložiskových domků a vík není mezi variantami rozdíl. Ale pro připojení dalších částí mlýnu (škrabáky, zachytávací vana, podávací tubus, mazání, atd.) je výhodnější varianta 1.

Vyrobitelnost Jednodušeji vyrobitelná je varianta 2. Na hlavní centrální plech jsou navařeny boční plechy a žebra. Všechny svary jsou dobře přístupné, na rozdíl od varianty 1. Jednodušší u varianty 2 bude také kontrola a technologický postup svařování.

Náklady výroby Náklady materiálu jsou přímo úměrné hmotnosti, kde je výhodnější varianta 1 o 6,7%. Náklady na svařování se odvíjí od délky svaru a pracnosti. Celková délka svarů je podobná a pracnost je větší u varianty 1.

6.4 Vyhodnocení

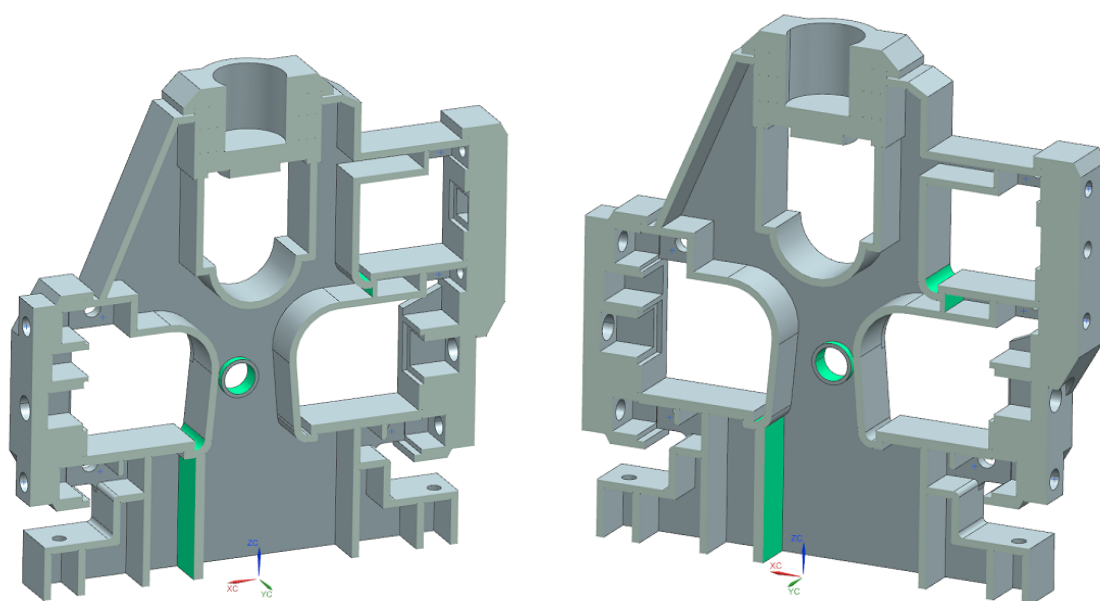
U vyhodnocení vhodnější varianty neovlivňovaly výběr deformace ani průběh napětí v rámech, jelikož vypočtené hodnoty u obou variant byly skoro shodné a neměly zásadní vliv na konstrukci. Tudíž hlavním kritériem výběru byly ostatní hodnocené vlastnosti.

Po porovnání konstrukčních návrhů z tohoto pohledu byla vybrána varianta 1. Hlavním faktorem pro tento výběr byla jednoduchá zaměnitelnost s původním stojanem bez složitě potřeby přepracovávat ostatní stávající díly, nebo složitě upravovat nový rám. To byl také jeden z hlavních požadavků zadavatele. Přesto, že výrobní složitost vybrané varianty je podstatně vyšší a tudíž i dražší, výše zmíněná modularita varianty 1 byla pro rozhodovací analýzu zásadní.

7

Rozpracování vybrané varianty

Vybraná varianta byla rozpracována a byly navrženy konstrukční úpravy dle výsledků předešlé MKP analýzy. Konstrukční úpravy se týkaly přidání žebér, změny velikostí rádiusů a změny tloušťky plechů. Následně byla provedena kontrola pomocí MKP výpočtu, který lépe popisoval stav zatížení, než v [Kap. 6](#).



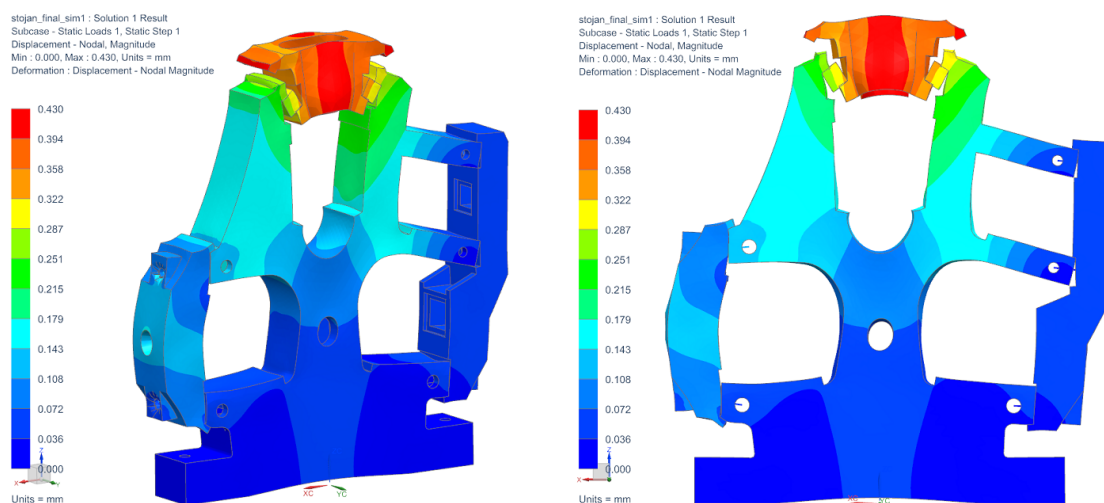
Obrázek 7.1: konstrukční úpravy vybrané varianty

Do konstrukce byla postupně vkládána příčná žebra, která ale měla minimální účinek na snížení deformace či napětí. Ani s ohledem na hodnotu napětí či deformací, nebylo potřeba konstrukci speciálně vystužovat, což by vedlo k ještě zvýšení složitosti výroby. Byla přidána pouze dvě žebra. Jedno pod vodící plochu výstupního ložiska a druhé pod vodící plochu

podávacího ložiska. Obě žebra byla umístěna blízko sledovaných rádiusů. Dále byla prodloužena plocha otvoru v rámu pro lepší rozložení napětí v tomto místě. Sledované rádiusy byly zvětšeny na maximální možnou velikost vzhledem k zachování polohy a rozměru vodících ploch ložisek. Hlavní plechy byly zeslabeny na tloušťku 45 mm (změny zvýrazněny zelenou barvou na Obr. 7.1.

Byl zpřesněn výpočtový model, kdy horní víko bylo spojeno s rámem pomocí kontaktů. Boční víka byla spojena pomocí výpočtové náhrady předepnutých šroubů a na dosedacích plochách nastaven kontakt. Uchytení i zatížení stojanu je shodné s předešlými výpočty viz. Obr. 5.2.

7.1 Deformace



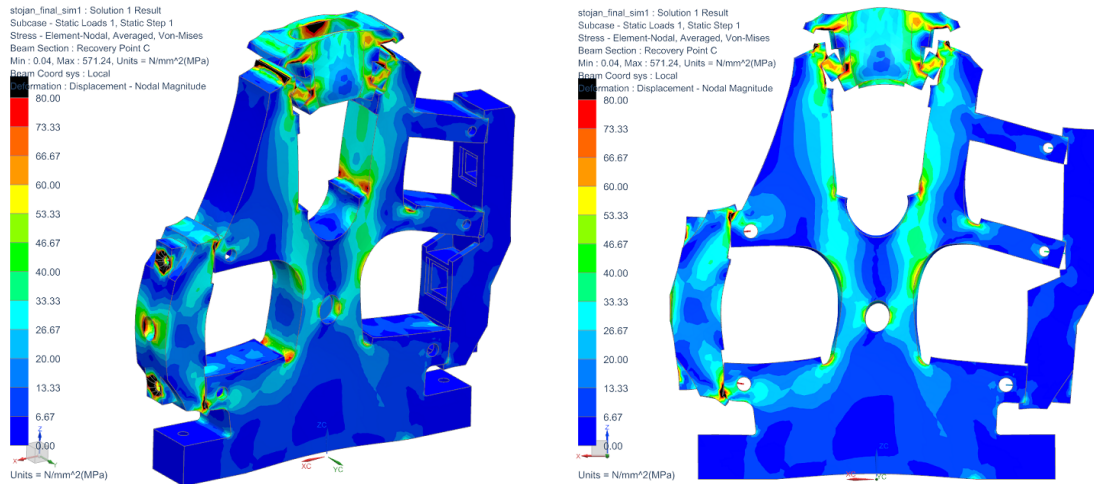
Obrázek 7.2: Sledovaná místa deformací

místo	směr X	směr Z
A	-	-0,002 mm
B	-	-0,003 mm
C	-	0,090 mm
D	-0,013 mm	-
E	-0,033 mm	-
F	0,057 mm	0,254 mm
G	-0,134 mm	0,271 mm

Tabulka 7.1: Hodnoty deformací v sledovaných místech

U zpřesněného výpočtového modelu optimalizované varianty byly deformace Obr. 7.2 sledovaných míst ještě nižší než u předchozích výpočtů. Hodnoty deformací byly velmi nízké a neovlivní chod stroje. Navržená konstrukce z pohledu deformací vyhovuje.

7.2 Napětí



Obrázek 7.3: Sledovaná místa deformací

místo	průměrné napětí(Von-Mises)	špička napětí (Von-Mises)
A	52,2 MPa	62,7 MPa
B	56,7 MPa	81,1 MPa
C	49,8 MPa	64,1 MPa
D	42,4 MPa	60,8 MPa
E	52,9 MPa	86,9 MPa

Tabulka 7.2: Hodnoty napětí v sledovaných místech

Hodnoty napětí (průměrné i špičky) se podařilo konstrukčními úpravami lehce snížit. Stále jsou na konstrukci místa přesahující zvolenou hranici 80 MPa, ale zdaleka nedosahují hranice dovoleného napětí 140 MPa ($R_e = 320$, $k = 2$) Tato místa je potřeba sledovat a klást důraz na jejich správné provedení při výrobě a následně kontrolovat. Jelikož se tato místa se zvýšenou koncentrací napětí objevovala i na původním odlitku, není potřeba je dál eliminovat. Vycházíme z předpokladu, že původní řešení fungovalo správně a nový rám je dimenzován pevnostně na stejné hodnoty napětí.

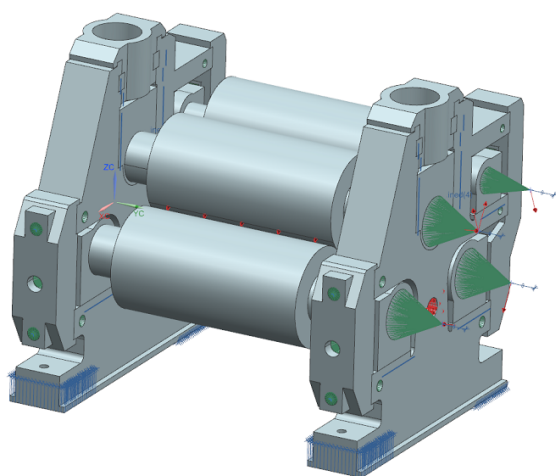
Následně bude sestaven finální výpočtový model, který bude zahrnovat celý mlýn a opět provedena kontrola a porovnání výsledků s odlitkem.

8

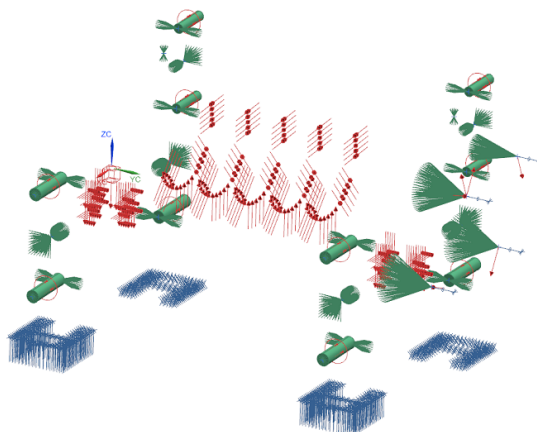
Porovnání původního odlitku se svařencem

Pro finální výpočet zatížení stojanu, byl sestaven model celého mlýnu s ložiskovými domky i s pracovními a podávacím válcem Obr. 8.1. Tento model bylo potřebné sestavit z důvodu zjištění co nejpřesnějšího zatížení na stojanu. Doposud ve výpočtech síly zatěžovaly plochy stejnoměrně a v jednom směru a jejich vektor byl orientován jako normála k ploše. Ve skutečnosti tomu ale takto není. Síly působící na válec a pastorky ohýbají a natáčejí hřídel. Přes ložiskové domky toto zatížení vyvozuje na vodících plochách stojanu nesouměrné zatížení.

Celkový model mlýnu byl sestaven, jak pro původní odlitek, tak pro finální sestavu svařence, aby bylo možné výsledky porovnat. Sestava se skládá z bočních stojanů, do kterých byly umístěny ložiskové domky. Kluzné vedení domků bylo nahrazeno kontakty a domky byly pomocí tuhých elementů RBE2 (nahrazujících stavěcí šrouby) spojeny s víky. Tím se zajistil přenos zatížení z ložiska do stojanu. Kluzné uložení válců v ložiskách bylo opět nahrazeno kontakty.



Obrázek 8.1: Sestava mlýnu



Obrázek 8.2: Okrajové podmínky

Převíslé konce hřídelů s pastorky byly nahrazeny rigidovými růžicemi. Na jejich konce se aplikovaly síly F_{n1-2} , F_{n1-3} a F_{n1-4} podle Obr. 4.3. Síly F_2 , F_3 a F_4 od technologie lisování působí mezi válci podle Obr. 4.1. Síly působí od sebe do účinné pracovní plochy válců Obr. 8.2. Plochy byly stanoveny z úhlů neutrálních ploch viz. Rov.4.12. Dále je tu i síla R_B působící do škrabáku.

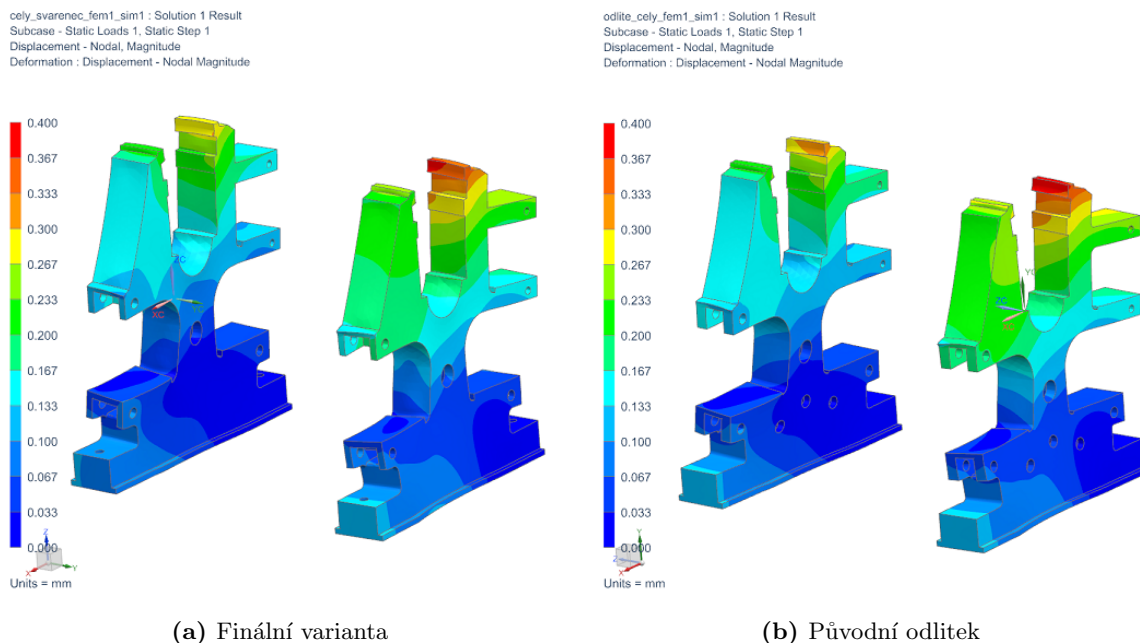
Přípevnění bočních a horních vík pomocí předepnutých šroubů je stejné jako v předešlých výpočtových modelech. Materiál, uchycení stojanu i ostatní okrajové podmínky jsou totožné s předchozími výpočtovými modely.

8.1 Porovnání deformací

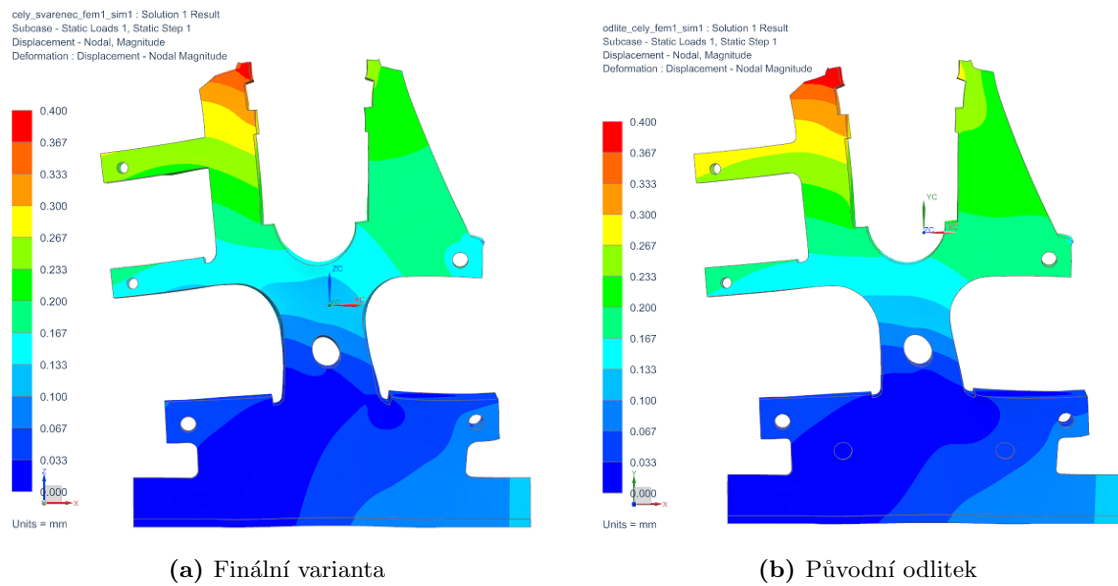
Maximální hodnoty celkových deformací jsou skoro totožné, jak pro původní odlitek, tak pro navrhovaný svařenec. Hodnota maximální deformace stojanu odlitku je 0,40 mm a svařence je 0,38 mm. Maximální hodnoty splňují předpoklad, aby výsledný svařenec měl stejnou nebo nižší hodnotu deformací než odlitek Obr. 8.3.

Rozdílná deformace pravého a levého stojanu je dána zatížením stojanu od pohonu, které více zatěžuje pravý stojan viz. Obr. 5.2. Jinak je průběh deformací v obou mlýnech stejný, jediným rozdílem je o 0,02 mm menší hodnota maximální deformace viz. Obr. 8.4, což je zanedbatelná hodnota. Proto nově navržený stojan vyhovuje.

Nový výpočtový model také mění styl zatížení, kdy jsou spodní vodící plochy natáčeny dovnitř od průhybu pracovních válců. Vypočtené hodnoty deformací v žádném případě nehrožují chod ani správné nastavení stroje.



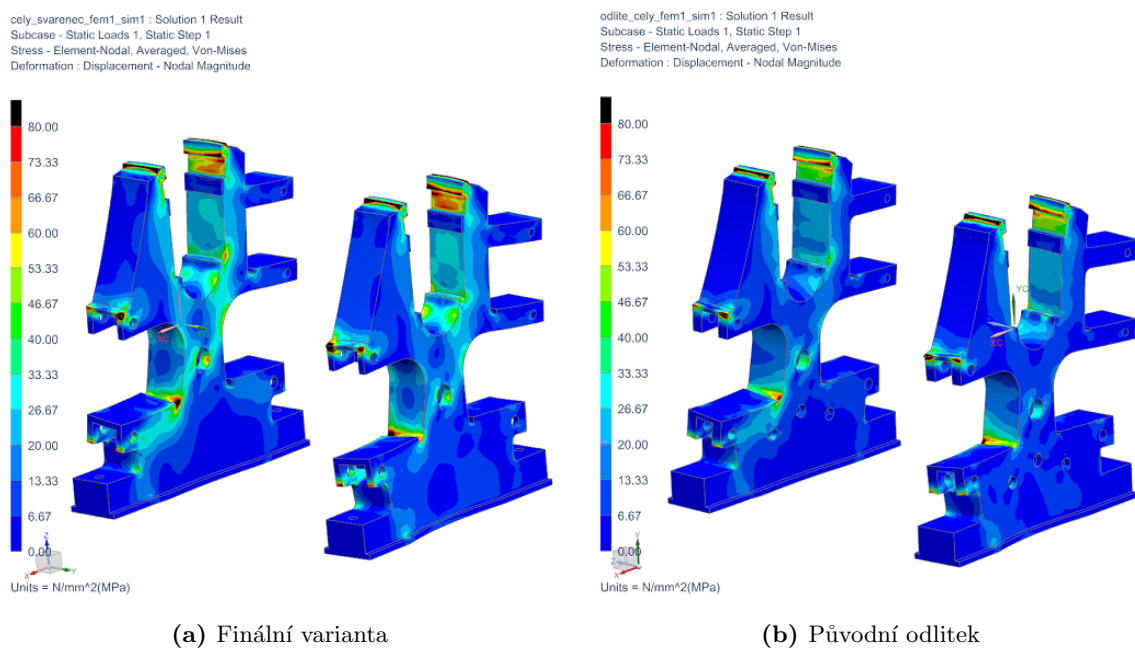
Obrázek 8.3: Porovnání deformací stojanů mlýnu



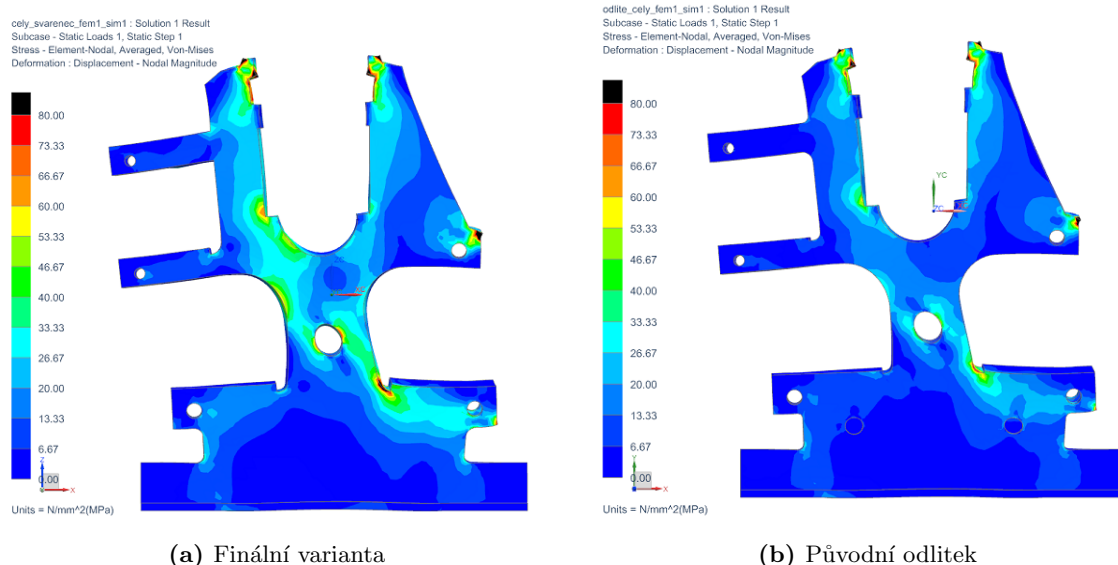
Obrázek 8.4: Porovnání vnitřní strany více zatíženého stojanu

8.2 Porovnání napětí

Oproti deformacím se napěťově svařenec s odlitkem liší. Průběh napětí je sice stejný, nebo velice podobný, ale výsledky se liší hodnotami, kdy ve svařenci máme vyšší hodnoty napětí. To je patrné z Obr. 8.5 a Obr. 8.6. Natáčení spodních vodících ploch rámu, nepříznivě ovlivňuje sledované místo B, kde dochází ke koncentraci napětí na jedné straně viz. Obr. 8.9 nebo Obr. 8.10

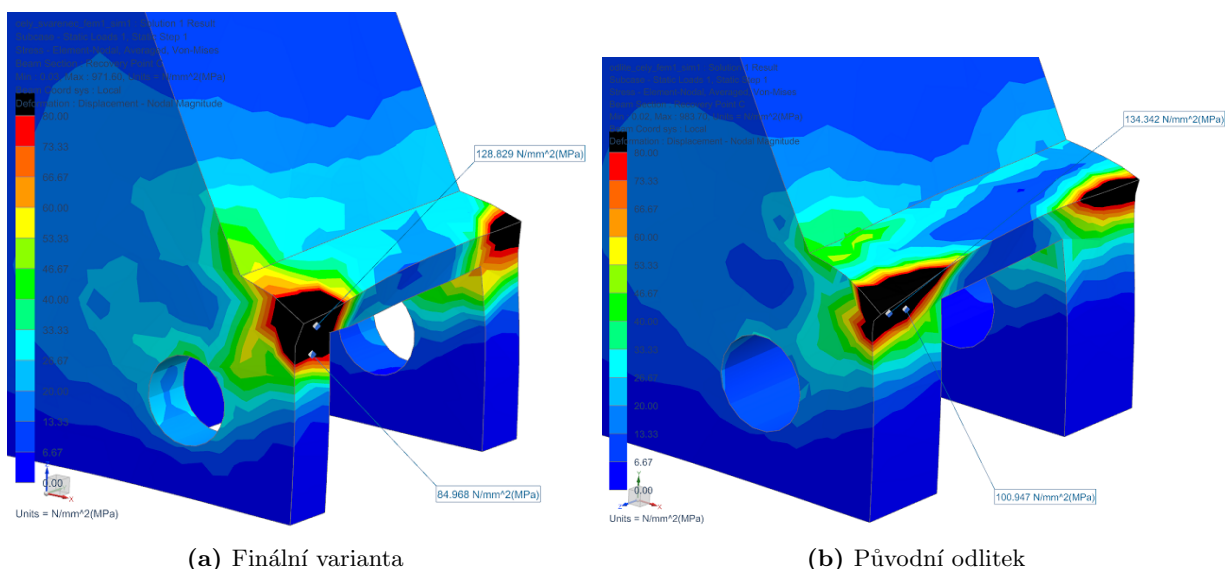


Obrázek 8.5: Porovnání napětí stojanů mlýnu



Obrázek 8.6: Porovnání vnitřní strany více zatíženého stojanu

Porovnání na vnitřní straně více zatíženého pravého stojanu Obr. 8.6 ukazuje vyšší hodnoty napětí na odlitku, celkové průměrné napětí na celé stěně je u svařence 17 MPa, zatímco u odlitku 12,5 MPa. To sice nesplňuje ideu navrhování nového rámu na hodnoty napětí stejných nebo nižších, přesto nový rám vyhovuje. A to z důvodu volby materiálu rámu, kdy zvolený materiál S355J2G3 (ČSN 11 523, $E = 210\,000$ MPa, $R_e = 335$ MPa, materiálový list viz. Příloha B) je schopen přenést větší zatížení než původní materiál odlitku, litá ocel AISI 1045 ($E = 206\,000$ MPa, $R_e = 285$ MPa).



Obrázek 8.7: Porovnání zatížení v místě spoje rámu s výstupním víkem

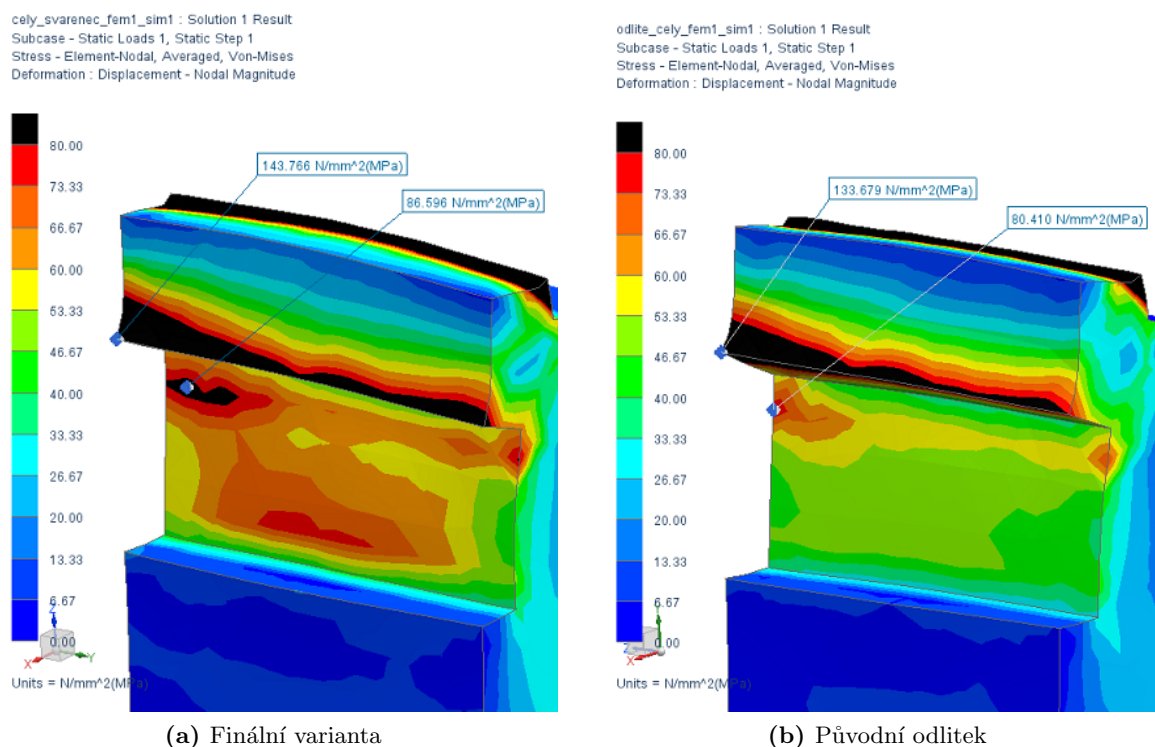
Na Obr. 8.7 je ukázáno místo spojení rámu s výstupním víkem. Hodnoty v těchto místech přesahují zvolenou hodnotu 80 MPa a na hranách se dokonce přibližují hodnotám dovoleného namáhání, a proto je tomuto místu věnována vyšší pozornost. Vyšší napětí je zapříčiněno

ostrou hranou ve výpočtovém modelu, který si není s tímto jevem schopen poradit, a vykazuje vyšší hodnoty napětí v modelu než jsou ve skutečnosti. Proto je i toto místo vyhovující a to i z důvodu porovnání s odlitkem, kde hodnoty vypočtených napětí byly ještě vyšší.

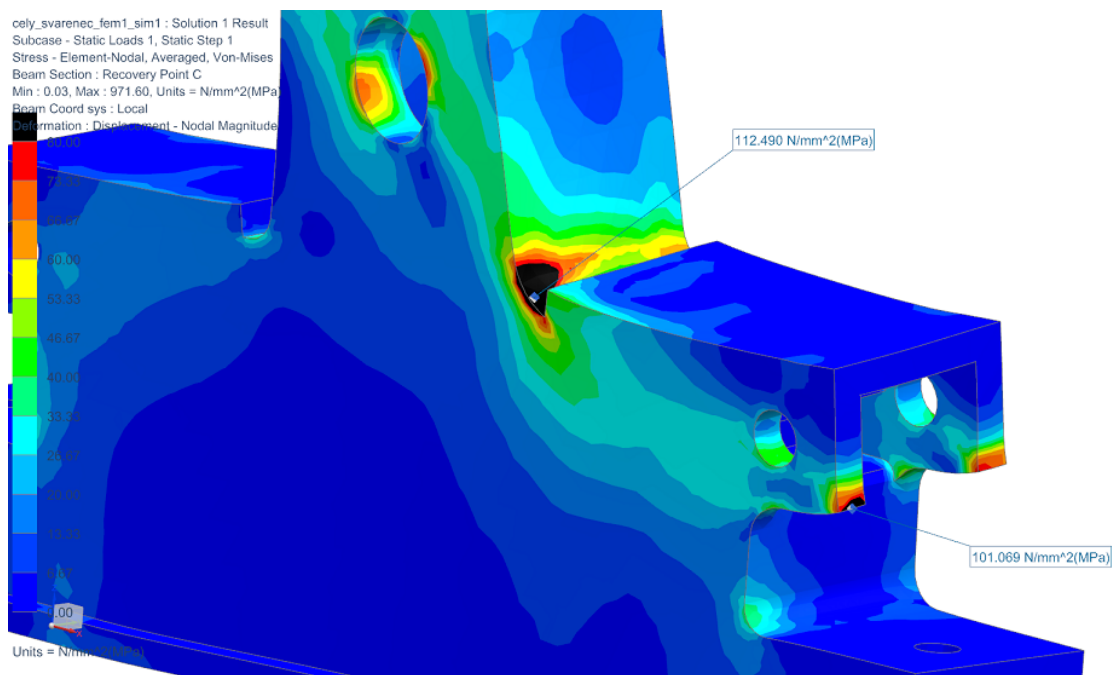
místo	svařenec, napětí Von-Mises		odlitek, napětí Von-Mises	
	průměrné	špička	průměrné	špička
A	51,5 MPa	55,5 MPa	35,3 MPa	43,1 MPa
B	60,0 MPa	112,5 MPa	53,7 MPa	84,8 MPa
C	43,8 MPa	51,8 MPa	43,5 MPa	46,3 MPa
D	34,0 MPa	53,9 MPa	26,0 MPa	31,5 MPa
E	28,5 MPa	34,3 MPa	12,6 MPa	18,3 MPa

Tabulka 8.1: Hodnoty napětí v sledovaných místech (redukované napětí Von-Mises)

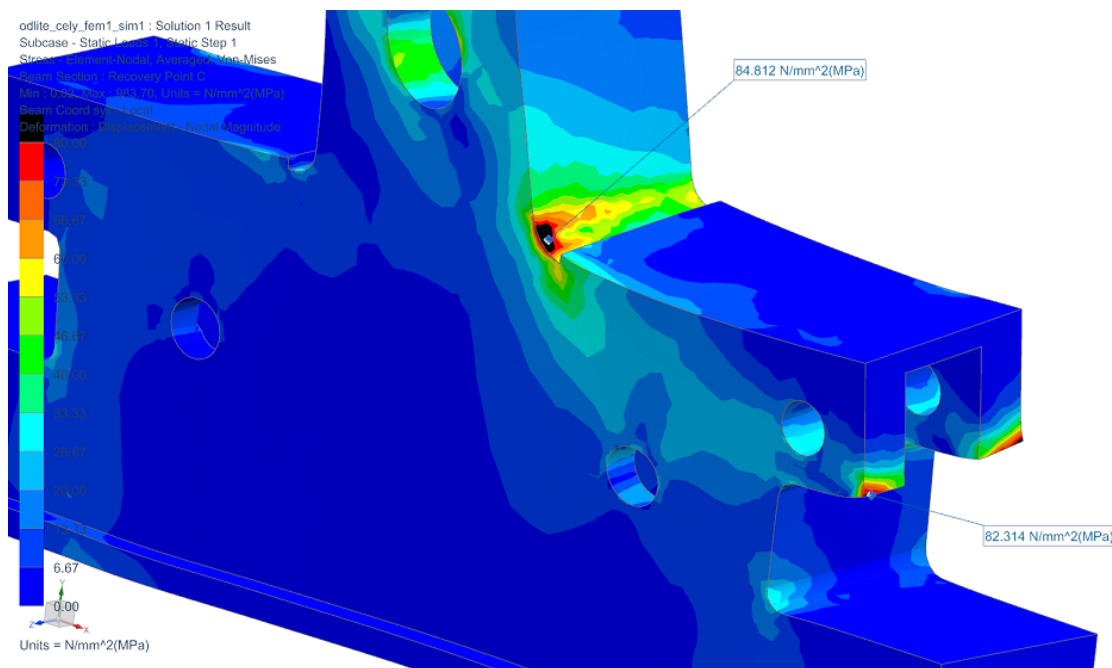
Na Obr. 8.8 je ukázáno místo spojení rámu s horním víkem. Na dosedací ploše pro pera je napětí u svařence 86,2 MPa, což je hodnota nad zvolenou hranicí, ale v porovnání s odlitkem, kde je hodnota v stejném místě 80,4 MPa, je to hodnota vyhovující. Dále je zde znázorněna špička napětí na rohu zámku pera, kde jsou hodnoty napětí na svařenci 143,8 MPa a na odlitku 133,7 MPa. Jelikož se jedná jen o 7,5% nárůst napětí svařence vzhledem k odlitku, je i toto místo vyhovující. Tento nárůst napětí u svařence je kompenzován materiálem s lepšími mechanickými vlastnostmi.



Obrázek 8.8: Porovnání zatížení v místě spoje rámu s horním víkem



Obrázek 8.9: Napětí svařence v okolí místa B



Obrázek 8.10: Napětí odlitku v okolí místa B

8.3 Celkové srovnání

Z [Tab. 8.2](#) je patrné, že náhradou došlo u rámu k podstatnému snížení hmotnosti za cenu o něco vyšších napětích, která jsou ale pro daný model vyhovující viz. [Kap. 8.2](#).

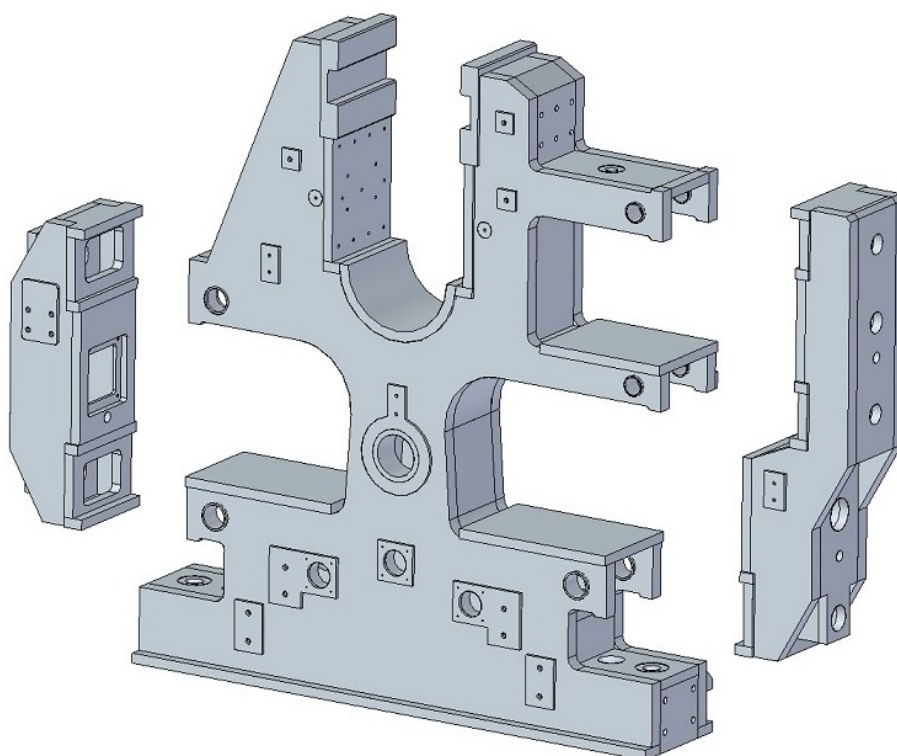
Kritérium	Svařenec	Odlitek
Hmotnost rámu	1832 kg	2531 kg
Max. deformace	0,38 mm	0,40 mm
Průměrné napětí na stěně	17 MPa	12,5 MPa
Max. špička napětí	112,5 MPa	84,5 MPa

Tabulka 8.2: Srovnání svařence a odlitku

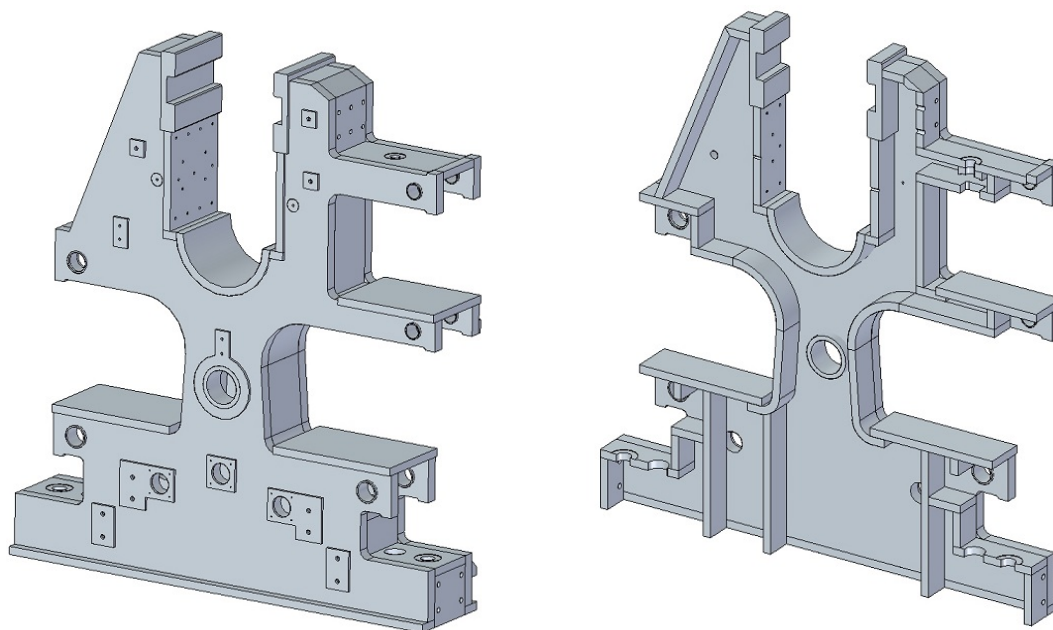
9

Finální model

Z rozměrů výpočtových modelů byl navrhnut rám mlýnu a vstupní a výstupní víka [Obr. 9.1](#). Výpočtový model byl podroben technologické analýze s ohledem na výrobní technologii svařování. Dále byl rozložen na jednotlivé části (plechy), s ohledem na nejvhodnější postup výroby viz. [Kap. 10](#) , a spojen do jednotlivých svařenců (rám, vstupní víko a výstupní víko).

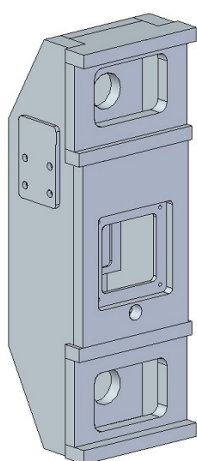


Obrázek 9.1: Rozstřel stojanu mlýnu

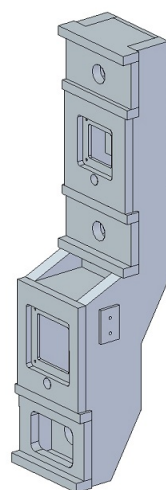


Obrázek 9.2: Svařenec rámu mlýnu

Oproti výpočtovému modelu finální model obsahuje všechny kotvící a přípojné body pro připevnění ostatních dílů mlýnu Obr. 9.2. Byla namodelována i vstupní a výstupní víka stojanu Obr. 9.1 a Obr. 9.1. Pro svařenec byly použity plechy tloušťky 45, 30, 15 a 10 mm. Byla vypracována výkresová dokumentace, která je součástí práce.



Obrázek 9.3: Svařenec výstupního víka



Obrázek 9.4: Svařenec vstupního víka

10

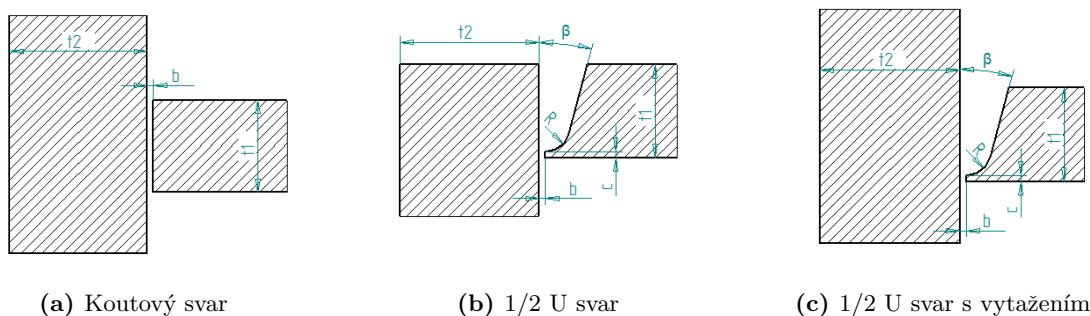
Návrh vhodné svařovací technologie

Při volbě vhodné svařovací technologie bylo přihlíženo k základním zásadám návrhu svařovaných konstrukcí:

- Využívat vhodné normalizované díly, válcované polotovary a profily a volit co nejméně náročnou přípravu svarových ploch.
- Snaha o snížení hmotnosti a to vhodnou konstrukcí a volbou vhodného materiálu s odpovídající svařitelností za dodržení pevnostních a tuhostních požadavků na konstrukci.
- Využít moderní technologie svařování s vysokou tepelnou koncentrací s minimálním tepelným ovlivněním základního materiálu.
- Konstrukci a technologii volit tak, aby bylo možno co nejvíce uplatnit mechanizaci a automatizaci ve svařování.
- Správnou volbou tvaru konstrukce, základních a přídatných materiálů, vhodná velikost a umístění svarů a tím snížení deformací a vnitřních pnutí.
- Vhodný návrh tvaru konstrukce a umístění svarů tak, aby bylo možno svar provést přístupností svaru pro výrobu, kontrolu a případně opravu) atd.
- Určit zda je potřeba např. předehřev, dohřev, žíhání, což jsou velice nákladné operace, ale pro některé aplikace naprosto nezbytné (svařování silných plechů, svařování vysokopevnostních ocelí apod.).
- Svařovací technologii volit s ohledem na možnosti výrobního závodu (např. ohřívací pec, jeřáb na manipulaci s rozměrnými svařenci aj.).
- Ekonomické hledisko cena, materiálové náklady, pracnost atd.

10.1 Volba svarů

Z výkresové dokumentace rámu a vík byly určeny polohy a velikosti svarů. Byly zvoleny koutové svary, 1/2 U svary a 1/2 U svary s vytažením (vytažení se rovná přibližně 0,2 velikosti svaru). Tvary a rozměry svarů dle ČSN EN 29692.



Obrázek 10.1: Zvolené svary

Pro svařování tlustých plechů rámu z nelegované oceli S355J2G3 (ČSN 11 523, materiálový list viz. [Příloha B](#)) byla vybrána metoda 135 (MAG – Metal Active Gas). Jako přídavný materiál byl zvolen poměděný drát OK Autorod 12.51 od firmy ESAB VAMBERK, viz. [Příloha C](#). Tloušťka drátu 1,6 mm. Svařovat se bude v ochranné atmosféře směsného plynu Ar/20CO2. Parametry svařování:

Napětí [V]	Svařovací proud [A]	Rychlost podávání [m/min]	Průtok plynu L/min]
28 - 38	225 - 550	2,3 - 12	20

Tabulka 10.1: Parametry svařování)

Konkrétní rozměry a další parametry svařování viz. [Příloha A](#)

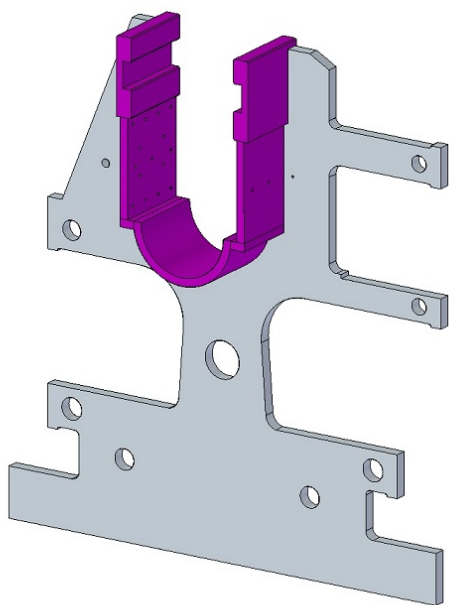
10.2 Postup svařování

Postup svařování bude u všech částí stejný, bude se pouze lišit v rozdílném skládání plechů.

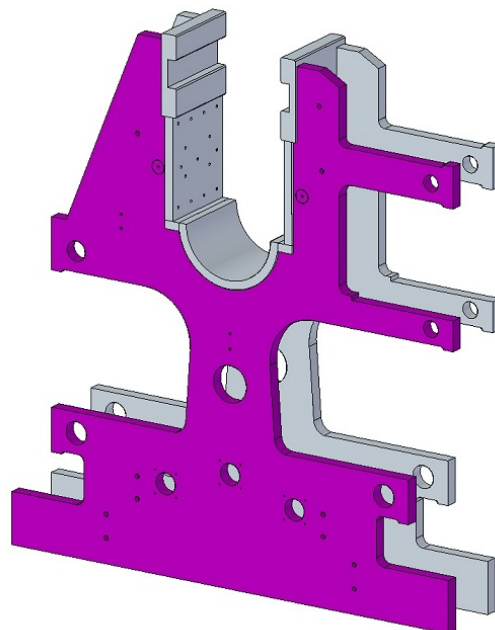
10.2.1 Svařování rámu

- Postupně ustavit, nalícovat plechy a nastehovat, dle [Obr. 10.2](#) a [Obr. 10.3](#)
- Lokální předehřev 200°C – 250°C, rychlost ohřevu 50°C/h (předehřívací přípravek)
- Postupně svařit metoda 135 dle WPS TM01, WPS TM02 [Příloha A](#)
- Kontrola ultrazvukem dle ČSN EN 1712
- Kontrola kapilární dle ČSN EN 1289
- Žíhat na odstranění vnitřního pnutí 600°C – 650°C/4h, 50°C/h
- Proměřit a vyrovnat plamenem

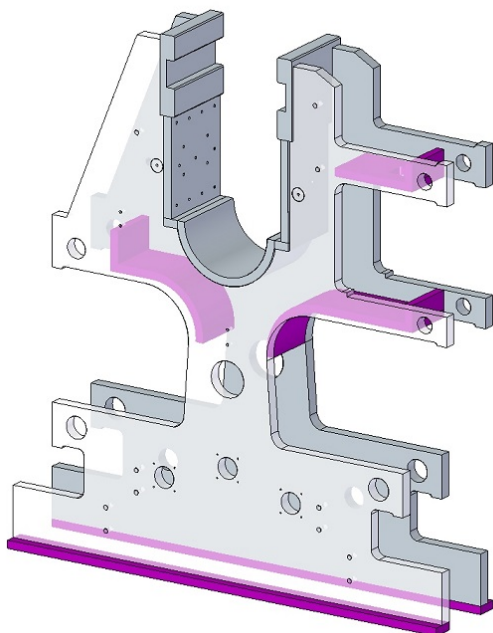
Následující obrázky znázorní postup svařování jednotlivých plechů rámu:



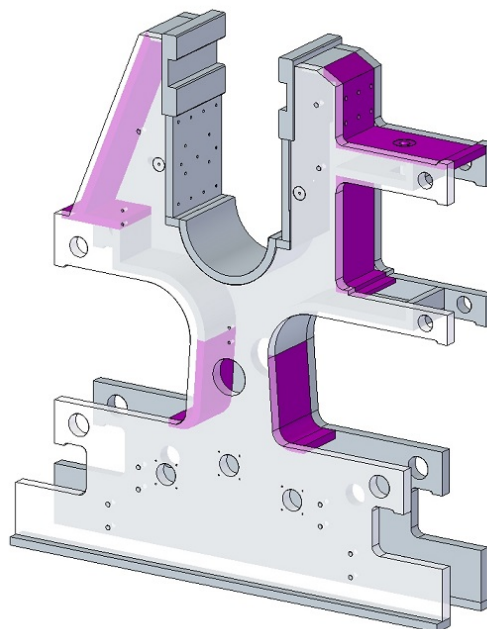
(a) 1. krok



(b) 2. krok

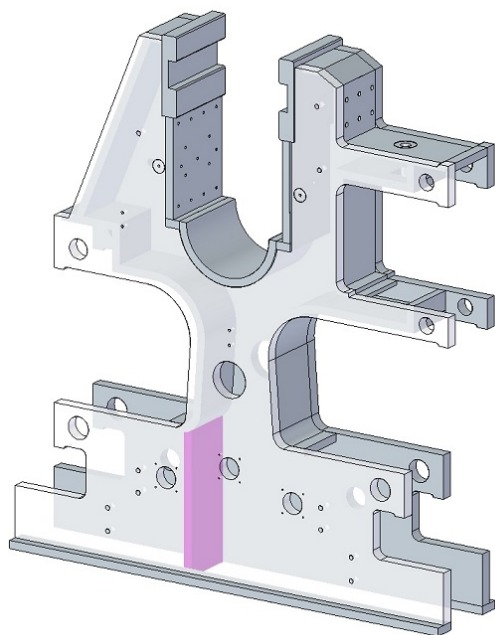


(c) 3. krok

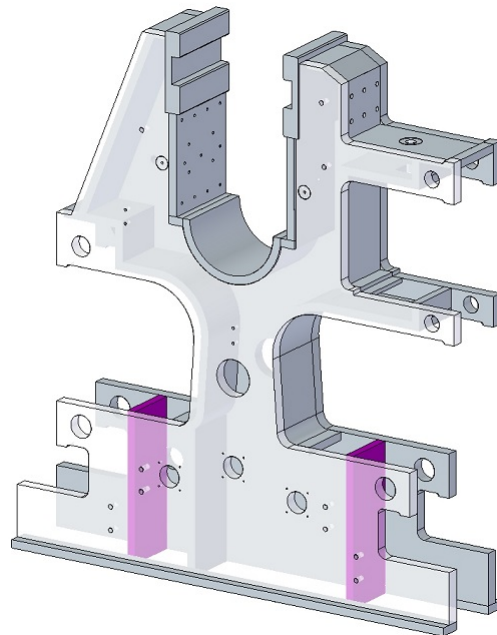


(d) 4. krok

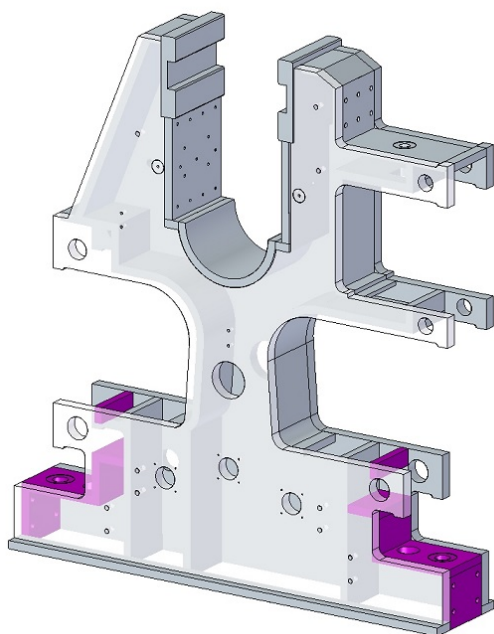
Obrázek 10.2: Postup svařování rámu, část 1



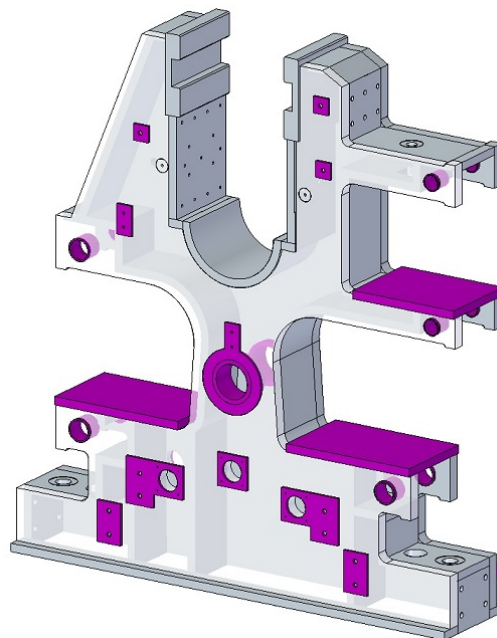
(a) 5. krok



(b) 6. krok



(c) 7. krok



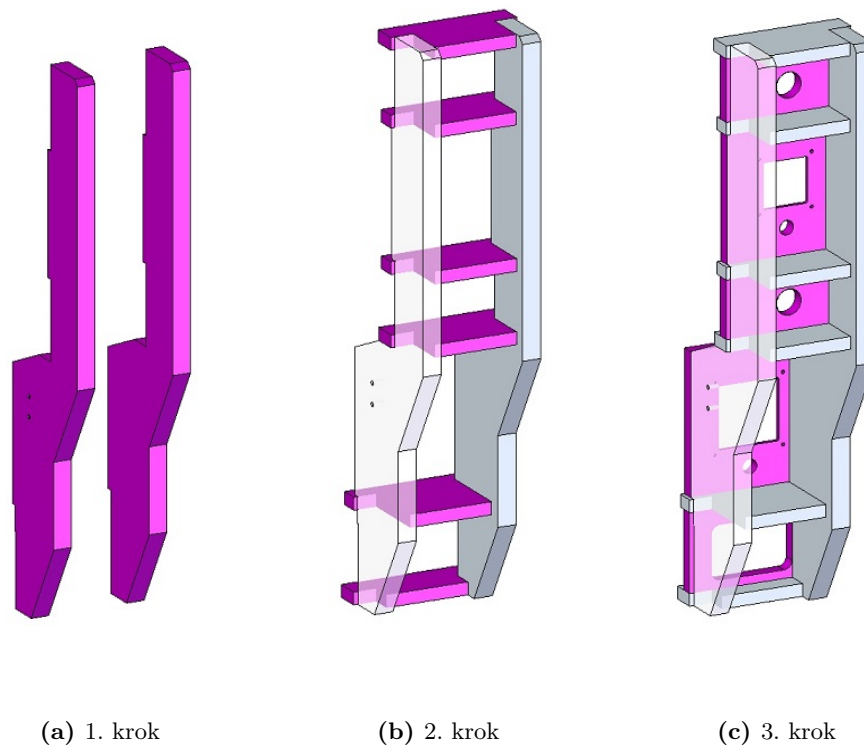
(d) 8. krok

Obrázek 10.3: Postup svařování rámu, část 2

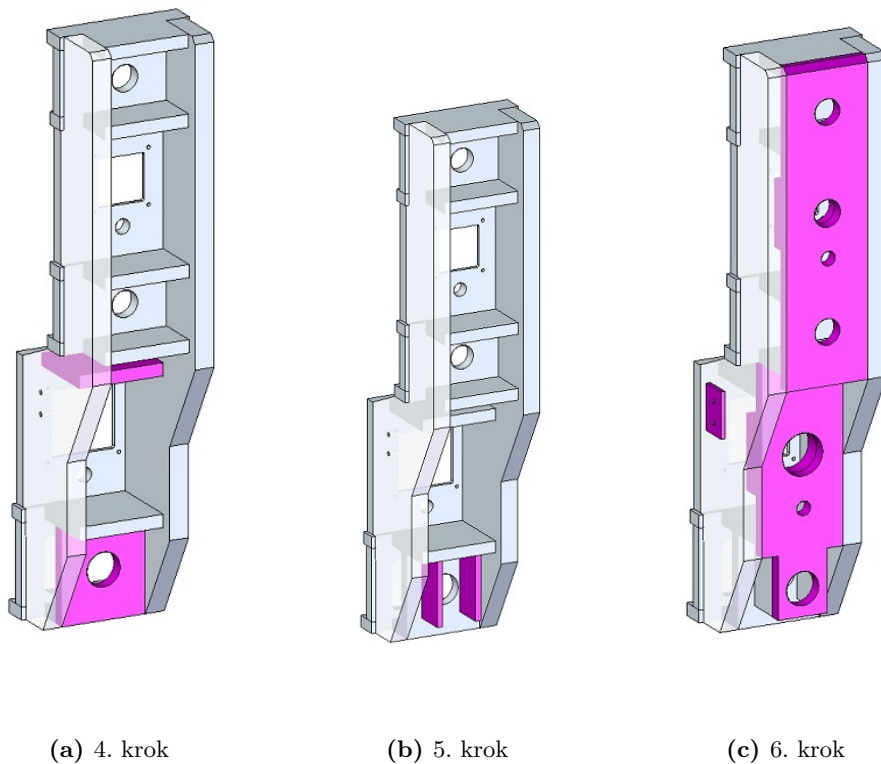
10.2.2 Svařování vík

- Postupně ustavit, nalícovat plechy a nastehovat, pro vstupní víko dle [Obr. 10.4](#) a [Obr. 10.5](#) a pro výstupní víko dle [Obr. 10.6](#) a [Obr. 10.7](#)
- Lokální přehřev $200^{\circ}\text{C} - 250^{\circ}\text{C}$, rychlost ohřevu $50^{\circ}\text{C}/\text{h}$ (přehřívací přípravek)
- Postupně svařit metoda 135 dle WPS TM01, WPS TM02 [Příloha A](#)
- Kontrola ultrazvukem dle ČSN EN 1712
- Kontrola kapilární dle ČSN EN 1289
- Žíhat na odstranění vnitřního pnutí $600^{\circ}\text{C} - 650^{\circ}\text{C}/4\text{h}$, $50^{\circ}\text{C}/\text{h}$
- Proměřit a vyrovnat plamenem

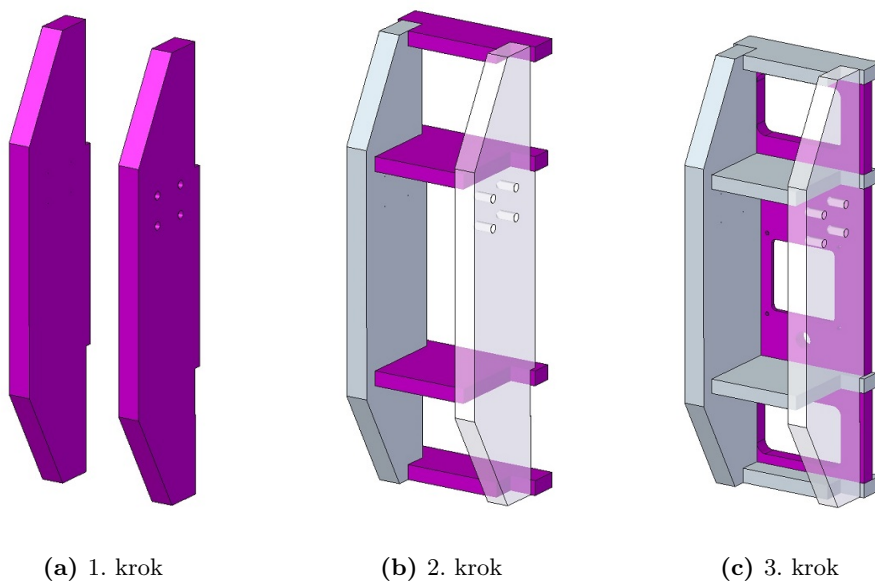
Následující obrázky znázorňují postup svařování jednotlivých plechů vstupního a výstupního víka:



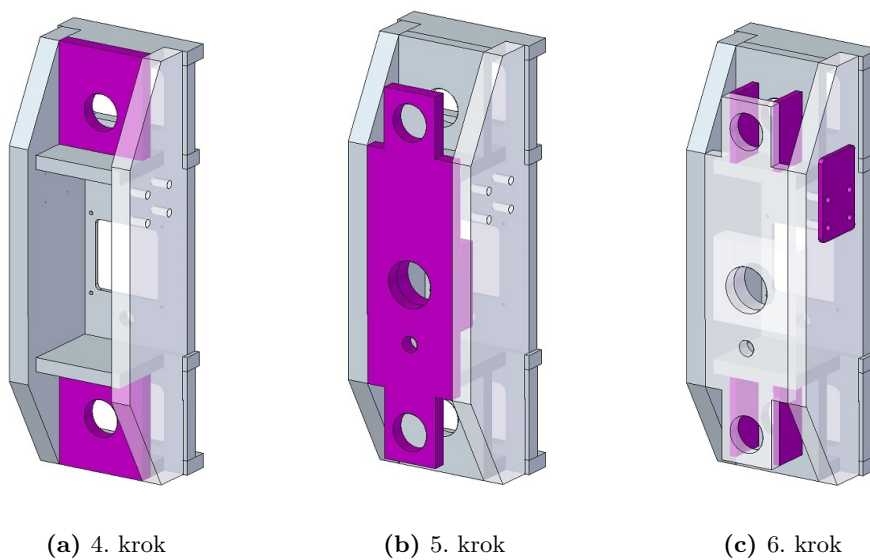
Obrázek 10.4: Postup svařování vstupního víka, část 1



Obrázek 10.5: Postup svařování vstupního víka, část 2



Obrázek 10.6: Postup svařování výstupního víka, část 1



Obrázek 10.7: Postup svařování výstupního víka, část 2

11

Závěr

V první fázi práce jsem se seznámil s tím, co to třtinové mlýny jsou, jak pracují a pro co se používají. Velkým přínosem byly konzultace s pracovníky zadávající firmy. Nedílnou součástí pochopení problematiky bylo studium odborné literatury. Díky těmto získaným znalostech jsem začal určovat a popisovat funkce zatížení stojanu. Zatížení stojanu jsem stanovil tak, aby popisovalo co nejhorší možné podmínky. Přesto že je nelze přesně určit, jelikož se jedná o zemědělský stroj a zemědělskou výrobu, kdy do procesu mletí mohou zasáhnout různé vlivy. Do směsi se mohou dostat nežádoucí předměty od kamenů až po části lisovací tratě. Proto jsem zatížení stanovil z maximální hodnoty výkonu pohonu a maximálního pracovního tlaku hydraulického válce. Na základě úvahy, že nový rám bude dimenzován pevnostně na podobné hodnoty jako původní odlitek, jsem začal s výpočty. Nejprve jsem získal pevnostní hodnoty původního rámu a začal je porovnávat s novým návrhem. Výpočty jsem postupně upravoval, aby lépe popisovaly skutečný stav zatěžování při lisování.

Ve finální verzi jsme konstrukčně optimalizoval rám, provedl kontrolní výpočet a navrhl celkový model mlýnu. Z výsledků vyplynulo vyšší zatížení nového svařovaného rámu, ale s ohledem na volbu materiálu, který přenesení větší zatížení než materiál odlitku, nové řešení vyhovuje. Rám i víka byla navrhována s ohledem na zvolenou svařovací technologii.

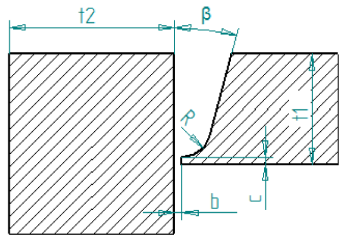
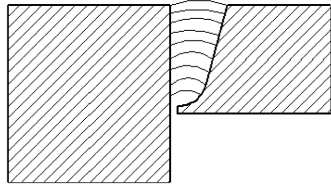
Literatura

- [1] *Cukrová třtina* [online], poslední aktualizace 2011-09-23 13:53, cit. 2014-01-27. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Cukrová_třtina
- [2] ANĎEL, J., BALEJ, M., RAŠKA, P.: *Cukrová řepa versus cukrová třtina – prostorová a vývojová dimenze*, Ústí nad Labem: Přírodovědecká fakulta UJEP, 2013. Dostupné z: http://www.cukr-listy.cz/on_line/2013/PDF/295-298.pdf
- [3] *Třtinové pole* [online], cit. 2014-04-16 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: http://images.travelpod.com/tw_slides/ta00/d48/1a6/sugar-cane-field-n1-ayr.jpg
- [4] *Požár pole* [online], cit. 2014-04-16 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: <http://www.tourismportdouglas.com.au/typo3temp/pics/fefc1fe99a.jpg>
- [5] *Sklizená třtina* [online], cit. 2014-04-16 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: <http://www.eko-plasty.cz/produkty-z-cukrove-trtiny/>
- [6] *Třtinové pole* [online], cit. 2014-04-16 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: <http://www.inovacnipodnikani.cz/aktuality/chemie-a-materialy/?id=855>
- [7] *Třtinová drť* [online], cit. 2014-04-16 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: <http://www.nams.ca/MagiBlog//wp-content/uploads/2010/08/2010.08.04-cane-on-conveyor-to-shredder.jpg>
- [8] *Předlisování* [online], cit. 2014-04-16 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: <http://www.natgeocreative.com/photography/1094801>
- [9] *Sugar cane* [online], cit. 2014-04-16 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: <http://www.healthandfitnesstalk.com/wp-content/uploads/2013/02/Fresh-sugar-cane-over-white-background-.jpg>
- [10] *Sugar cane* [online], cit. 2014-04-16 obrázek ve formátu jpg. Dostupné z: <http://www.ireceptar.cz/res/data/108/013183.jpg>
- [11] HUGOT, E.: *Handbook of cane sugar engineering*, třetí přepracované vydání, Amsterdam: ELSEVIER, 1986. ISBN 0-444-4-42438-5
- [12] KOVAŘÍK, R., ČERNÝ, F.: *Technologie svařování*, druhé vydání, Plzeň: ZČU v Plzni, 2010. ISBN 80-7082-697-5
- [13] KUNCIPÁL, J.: *Teorie a technologie svařování, svařovací stroje a zařízení*, Plzeň: Editační středisko VŠSE, 1980.
- [14] MINAŘÍK, V.: *Přehled metod svařování*, Zeross-svářečské nakladatelství Ostrava, 1998.

Přílohová část

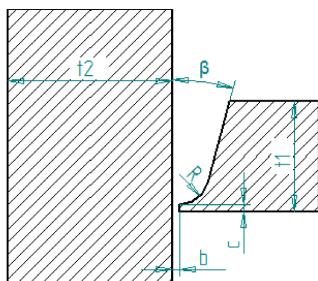
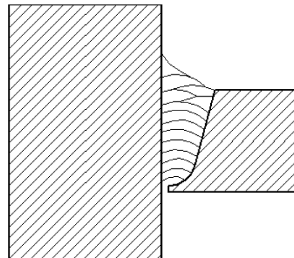


WPS (Welding process specification)

Pokyny pro svařování (WPS)		Číslo WPS: TM01	Rev.						
		Strana 1 od 1							
<p>Místo: Číslo WPQR: Kvalifikace svařeče: Svařovací proces: 135-(MAG) Druh svaru: 1/2 U-svar Zákazník: Číslo zakázky: Číslo výkresu: Číslo dílu:</p>		<p>Zkoušební nebo zkušební: Způsob přípravy a čištění: Čištění Opracování kořenové vrstvy: Čištění Specifikace základního materiálu: Č. skupiny ISO 15608: 1) [11 523] S355J2G 2) [11 523] S355J2G Tloušťka materiálu: 45 mm Vnější průměr: Poloha svařování: PG</p>							
<p>Rozměry: t1=30 t2=45 b=2 c=2 R=8 β=15</p>	<p>Geometrie spoje</p> 	<p>Postup svařování</p> 							
Poznámka:									
Detaily pro svařování									
	Vrstva svaru	Proces	Ø přidávaného materiálu [mm]	Proud	Napětí [V]	Druh proudu / polarita	Rychlost podávání drátu	Rychlost svařování [cm/min]	Vložená energie [kJ/mm]
A)	Kořenová vrstva	135	1,6	225-550 A	28-38	DCEP	2,3-12 m/min		
B)	Plnicí vrstva	135	1,6	225-550 A	28-38	DCEP	2,3-12 m/min		
Přidávaný materiál / svařovací prášek				Zvláštní předpisy pro sušení					
	Označení	Název značky	Výrobce	Čas [h]	Teplota [°C]				
A)	poměděný drát	OK Autorod 12.51	ESAB VAMBERK						
B)	poměděný drát	OK Autorod 12.51	ESAB VAMBERK						
Ochranný plyn									
	Typ	Název značky	Výrobce	Průtok [l/min]	Doba předfuku [s]	Doba dofuku [s]			
A)	Svařování: M21-ArC-20			20	1	3			
B)	Svařování: M21-ArC-20			20	1	3			
Další informace									
Parametry / hodnota				Rozkvy: Teplota předehřátí [°C]: Mezivrstvá teplota [°C]:		Přímočará housenka 200-250			
				Metoda Způsob ohřevu Rychlost ohřevu Udržovací teplota Doba udržování Chladnutí Rychlost chladnutí		Žihání ke snížení pnutí Pec 600-650 °C 4 h Zpomalené chladnutí 50 °C/hod K/min			
Datum / vyhotovil:		Datum / zkontroval:		Datum / schválil:					
Podpis		Podpis		Podpis					

Pokyny pro svařování (WPS)		Číslo WPS: TM02	Rev.
Strana 1 od 1			

Místo: Číslo WPQR: Kvalifikace svářeče: Svařovací proces: 135-(MAG) Druh svaru: 1/2 U-svar s vytažením Zákazník: Číslo zakázky: Číslo výkresu: Číslo dílu:	Zkoušející nebo zkušebna: Způsob přípravy a čištění: Čištění Opracování kořenové vrstvy: Čištění Specifikace základního materiálu: Č. skupiny ISO 15608: 1) [11 523] S355J2G 2) [11 523] S355J2G Tloušťka materiálu: 45 mm Vnější průměr: Poloha svařování: PG
--	---

Rozměry: $t_1=45$ $t_2=30$ $b=2$ $c=2$ $R=8$ $\beta=15$	Geometrie spoje 	Postup svařování 
Poznámka:		

Detaily pro svařování									
	Vrstva svaru	Proces	Ø přídavného materiálu [mm]	Proud	Napětí [V]	Druh proudu / polarita	Rychlost podávání drátu	Rychlost svařování [cm/min]	Vložená energie [kJ/mm]
A)	Kořenová vrstva	135	1,6	225-550 A	28-38	DCEP	2,3-12 m/min		
B)	Plnicí vrstva	135	1,6	225-550 A	28-38	DCEP	2,3-12 m/min		

Přídavný materiál / svařovací prášek				Zvláštní předpisy pro sušení		
Označení	Název značky	Výrobce	Čas [h]	Teplota [°C]		
A) poměděný drát	OK Autorod 12.51	ESAB VAMBERK				
B) poměděný drát	OK Autorod 12.51	ESAB VAMBERK				

Ochranný plyn						
Typ	Název značky	Výrobce	Průtok [l/min]	Doba předfuku [s]	Doba dofuku [s]	
A) Svařování: M21-ArC-20			20	1	3	
B) Svařování: M21-ArC-20			20	1	3	

Další informace	
Parametry / hodnota	Rozkyv: Teplota předehřátí [°C]: Přimočará housenka 200-250 Mezičvrstková teplota [°C]: Metoda: Žihání ke snížení prnutí Způsob ohřevu: Pec Rychlost ohřevu: Udržovací teplota: 600-650 °C Doba udržování: 4 h Chladnutí: Zpomalené chladnutí Rychlost chladnutí: 50°C/hod K/min

Datum / vyhotovil:	Datum / zkontroloval:	Datum / schválil:
Podpis	Podpis	Podpis

Vytvořeno pomocí softwaru weldassistant® od hsk-welding solutions

Obrázek A.2: WPS 1/2 U svaru s vytažením

Pokyny pro svařování (WPS)		Číslo WPS: TM03	Rev.
Strana 1 od 1			

Místo: Číslo WPQR: Kvalifikace svařeče: Svařovací proces: 135-(MAG) Druh svaru: 1/2 U-svar Zákazník: Číslo zakázky: Číslo výkresu: Číslo dílu:	Zkoušející nebo zkušebna: Způsob přípravy a čištění: Čištění Opracování kořenové vrstvy: Čištění Specifikace základního materiálu: Č. skupiny ISO 15608: 1) [11 523] S355J2G 2) [11 523] S355J2G Tloušťka materiálu: 45 mm Vnější průměr: Poloha svařování: PG
--	---

Rozměry: $t_1=30$ $t_2=45$ $b=0$	Geometrie spoje 	Postup svařování
Poznámka:		

Detaily pro svařování									
	Vrstva svaru	Proces	Ø přídavného materiálu [mm]	Proud	Napětí [V]	Druh proudu / polarita	Rychlost podávání drátu	Rychlost svařování [cm/min]	Vložená energie [kJ/mm]
A)	Kořenová vrstva	135	1,6	225-550 A	28-38	DCEP	2,3-12 m/min		
B)	Plnicí vrstva	135	1,6	225-550 A	28-38	DCEP	2,3-12 m/min		

Přídavný materiál / svařovací prášek				Zvláštní předpisy pro sušení	
Označení	Název značky	Výrobce	Čas [h]	Teplota [°C]	
A) poměděný drát	OK Autorod 12.51	ESAB VAMBERK			
B) poměděný drát	OK Autorod 12.51	ESAB VAMBERK			

Ochranný plyn						
Typ	Název značky	Výrobce	Průtok [l/min]	Doba předfuku [s]	Doba dofuku [s]	
A) Svařování: M21-ArC-20			20	1	3	
B) Svařování: M21-ArC-20			20	1	3	

Další informace	
Parametry / hodnota	Rozkvy: Teplota předehřátí [°C]: Přimočará housenka 200-250 Mezihrstvá teplota [°C]: Metoda: Žihání ke snížení prnutí Způsob ohřevu: Pec Rychlost ohřevu: Udržovací teplota: 600-650 °C Doba udržování: 4 h Chladnutí: Zpomalené chladnutí Rychlost chladnutí: 50 °C/hod K/min

Datum / vyhotovil:	Datum / zkontroval:	Datum / schválil:
Podpis	Podpis	Podpis

Vytvořeno pomocí softwaru weldassistant® od hsk-welding solutions

Obrázek A.3: WPS koutového svaru

B

Materiálový list S355J2G3 (ČSN 11 523)

ČSN 41 1523		Nelegovaná konstrukční jemnozrná				OCEL					
STN 41 1523		ocel vhodná ke svařování				11 523					
Chemické složení [hm. %]											
C	Mn	Si	P	S	N						
max 0,20	max 1,60	max 0,55	max 0,040	max 0,040	max 0,009						
Polotovary											
[1] tyče válcované za tepla	[2] tyče tvarové válcované za tepla	[3] dráty válcované za tepla	[4] tlusté plechy válcované za tepla	[5] široká ocel válcovaná za tepla	[6] tenké plechy válcované za tepla	[7] pásy válcované za tepla	[8] výkovky	[9] tyče tažené za studena	[10] pásy a pruhy válcované za studena	[11] duté profily tvářené za tepla nebo za studena	[12] duté profily svařované, tvářené nebo tažené za studena
Mechanické vlastnosti											
Polotovary	[1]										
Rozměr d, t [mm]	≤ 16	16-40	40-63	63-80	80-100	100-150	150-200	> 200			
Stav	.1										
Mez kluzu R_{eH} [MPa] min	355	345	335	325	315	295	285	275			
Mez pevnosti R_m [MPa]	490-630					470-630	450-630				
Tažnost A_5 [%] podél min	22		21	20		18	17				
Nárazová práce $KV_{0°C}$ [J] min	27					-					
Modul pružnosti E [GPa]	206										
Polotovary	[2] [3]		[4]								
Rozměr d, t [mm]	≤ 16	> 16	3-16	16-40	40-63	63-80	80-100	> 100			
Stav	.0		.1			.1 nebo .5					
Mez kluzu R_{eH} [MPa] min	355	345	355	345	335	325	315	295			
Mez pevnosti R_m [MPa]	490-630		490-630					470-630			
Tažnost A_5 [%] min	22 podél		napříč 20		napříč 19	napříč 18		-			
Nárazová práce $KV_{0°C}$ [J] min	-	27	27			-					
Polotovary	[8]										
Rozměr d, t [mm]	< 40	40-63	63-80	80-100	100-150	150-200					
Stav	.1										
Mez kluzu R_p [MPa] min	345	335	325	315	295	285					
Mez pevnosti R_{eH} [MPa]	490-630					470-630	450-630				
Tažnost A_5 [%] podél min	22	21	20		18	17					
Mez kluzu $R_p 0,2$ [MPa] min za zvýšených teplot	100°C		200°C		300°C		400°C				
polotovary [4] tl. 3-16 mm	315		285		255		205				
polotovary [4] tl. 16-63 mm	295		265		235		195				

Obrázek B.1: Materiálový list oceli S355J2G3 (ČSN 11 523), část 1

Fyzikální vlastnosti						
Hustota ρ [kg . m ⁻³]	Měrná tepelná kapacita C_p [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	Teplotní součinitel roztažnosti α [K ⁻¹]		Tepelná vodivost λ_1 [W.m ⁻¹ . K ⁻¹]	Konduktivita λ_e [MS.m ⁻¹]	
7 850	458	11,7.10 ⁻⁶		53,4	5,9	
Odolnost proti degračním procesům						
ODOLNOST PROTI KOROZI	ODOLNOST PROTI ÚNAVĚ		ODOLNOST PROTI KŘEHKÉMU LOMU			
	Mez únavy při ohybu za rotace [MPa]		Lomová houževnatost J_{IC} [KJ.m ⁻²]		Teplota nulové houževnatosti [°C]	
běžná	324		-50 °C	60	výkovky	plech výkovky
			-70 °C	80		
			-90 °C	75		
Technologické údaje						
TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ						
normalizační žhání	870-900 °C	ochlazovat na vzduchu, tlusté průřezy zrychleně				
žhání na měkko	680-710 °C	zvolna ochlazovat				
žhání ke snížení pnutí	600-650 °C	zvolna ochlazovat				
popouštění	670-700 °C	ochlazovat na vzduchu				
teploty přeměn	$A_{c1} \sim 712-738$ °C	$A_{c3} \sim 839-870$ °C	$A_{r3} \sim 831-743$ °C	$A_{r1} \sim 663-590$ °C		
TVAŘITELNOST						
třída tvařitelnosti za tepla 1	teploty tváření 1 150-800 °C					
SVAŘITELNOST						
podle ČSN 05 1309 vhodná ke svařování, max hodnotu uhlíkového ekvivalentu C_e lze dohodnout						
doporučený přídatný materiál pro svařování						
el. obloukem ručně	EMn2Mo-20B	E 52. 33	E 48.93			
OBROBITELNOST						
tyče stav .1 .5	soustružení, hoblování		frézování vrtání			
	14b		14b			
Použití						
Mostní a jiné svařované konstrukce, ohýbané profily, svařované konstrukce z dutých profilů a součástí strojů, automobilů, motocyklů a jízdních kol. Součástí tepelných energických zařízení a součástí tlakových nádob vyrobených z tyčí.						
Ostatní vlastnosti						
Druh oceli podle způsobu výroby	Barevné značení podle ČSN 42 0010		Třída odpadu podle ČSN 42 0300			
uklidněná jemnozrná	černá - zelená		001			

Obrázek B.2: Materiálový list oceli S355J2G3 (ČSN 11 523), část 2

C

Vlastnosti svařovacího drátu

OK Autrod 12.51

SFA/AWS A 5.18: ER 70S-6
EN ISO 14341A: G3Si1

Klasifikace, certifikace:

CE EN 13479 ABS 3YSA
BV SA 3YM DB 42.039.06
DNV III YMS GL 3YS
LR 3S, 3YS TÜV 00899
další: PRS, RS

Ochranný plyn:

M21, C1 (EN ISO 14175)

Klasifikace svarového kovu:

EN ISO 14341-A: G 38 2 C1 3Si1
G 42 3 M21 3Si1

Svařovací proud:

Typické chemické složení drátu (%):

C	Si	Mn
0,09	0,90	1,50

Polohy svařování:



Použití:

Pro svařování nelegovaných konstrukčních ocelí, pro výrobu tlakových nádob s pevností do 530 MPa a jemnozrných ocelí s mezí kluzu do >420 MPa. Drát umožňuje svařování vysokým proudem (sprchový proces) a má krátký přenos oblouku v poloze vodorovné i mimo ni. Drát je dodáván i ve velkokapacitním balení MARATHON PAC™ (platí pro průměr 0,8, 1,0 a 1,2 mm).

Vhodnost pro svařování, např.: P 235/S 235 až P 420/S 420

Typické mechanické hodnoty čistého svarového kovu:

Podmínky	Stav	Plyn	R _m MPa	R _{el.} (R _{p0,2}) MPa	A ₅ (A ₄) %	+20	KV (J)/°C -20	-30	-29
EN	TZ 0	M21	560	470	26	130	90	70	
EN	TZ 1	M21	495	370	28	120	90		
EN	TZ 2	M21	455	310	32	100	75		
EN	TZ 0	C1	540	450	25	110	70		
AWS	TZ 0	C1	>480	(>400)	(>22)				>27

TZ 0 - stav po svařování, TZ 1 - stav po žihání 620°C/15 h, TZ 2 - stav po norm. žihání 920°C/0,5h.

Svařovací parametry a orientační výkonové hodnoty:

Ø d (mm)	Proud (A)	Napětí (V)	Výtěžnost svar. kovu g/100g drátu	Spotřeba plynu (l/min)	Rychlost podávání (m/min)	Výkon svařování (kg/h)
0,6	30 - 100	15 - 20	95	12	5,5 - 13,0	0,7 - 1,7
0,8	60 - 200	18 - 24	95	14	3,2 - 13,0	0,8 - 3,0
1,0	80 - 300	18 - 32	96	16	2,7 - 15,0	1,0 - 5,6
1,2	120 - 380	18 - 34	97	18	2,5 - 15,0	1,3 - 8,0
1,6	225 - 550	28 - 38	98	20	2,3 - 12,0	2,1 - 11,4

Obrázek C.1: Vlastnosti svařovacího drátu