

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Stavba výrobních strojů a zařízení

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Porovnání vlastností litých a svařovaných stojanů kalandrá

Autor: **Bc. Jiří DEKASTELLO**
Vedoucí práce: **Doc. Ing. Jan HLAVÁČ, Ph.D.**

Akademický rok 2018/2019

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří DEKASTELLO**

Osobní číslo: **S17N0021P**

Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení**

Název tématu: **Porovnání vlastností litých a svařovaných stojanů kalandrů**

Zadávací 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:

V úvodu práce bude provedena rešerše na téma kalandry. V práci bude vypracována varianta litého a svařovaného stojanu kalandru. Pro svařovanou variantu bude zpracováno konstrukční řešení včetně jeho ověření. Na závěr práce bude vypracována výkresová dokumentace vybraných dílů.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Provedení rešerše na téma kalandry
2. Návrh konstrukčních variant
3. Konstrukční návrh svařované stojiny
4. Vypracování zadané výkresové dokumentace

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

KOVÁČ, A, JENKUT, M. *Tvárníacie stroje*. Bratislava: Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1978

KAMELANDER, I. *Tvářecí stroje I.* Brno: VUT, 1989

STANĚK, J. *Základy stavby výrobních strojů - Tvářecí stroje*. Plzeň: ZČU v Plzni, 2001

RUDOLF, B., KOPECKÝ, M. *Tvářecí stroje*. Praha: SNTL, 1985

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

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Jan Hlaváč, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant diplomové práce: **Ing. Milan Círek, Ph.D.**
Buzuluk, a.s.

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2018**
Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2019**


Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan




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

V Plzni dne 16. října 2018

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr 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: 24. 5. 2019

.....

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

| | | | |
|----------------------|--|------------------------------|----------------------|
| AUTOR | Příjmení Dekastello | Jméno Jiří | |
| STUDIJNÍ OBOR | „Výrobní stroje a zařízení“ | | |
| VEDOUcí PRÁCE | Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Hlaváč, Ph.D. | Jméno Jan | |
| PRACOVÍŠTĚ | ZČU - FST - KKS | | |
| DRUH PRÁCE | DIPLOMOVÁ | BAKALÁŘSKÁ | Nehodící se škrtněte |
| NÁZEV PRÁCE | Porovnání vlastností litých a svařovaných stojanů kalandrů | | |

| | | | | | |
|----------------|---------|----------------|-----|--------------------|------|
| FAKULTA | strojní | KATEDRA | KKS | ROK ODEVZD. | 2019 |
|----------------|---------|----------------|-----|--------------------|------|

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

| | | | | | |
|---------------|----|---------------------|----|----------------------|---|
| CELKEM | 81 | TEXTOVÁ ČÁST | 73 | GRAFICKÁ ČÁST | 8 |
|---------------|----|---------------------|----|----------------------|---|

| | |
|---|---|
| <p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p> | <p>Diplomová práce se zaměřuje na stojany tvářecích strojů, přesněji gumárenských kalandrů. Porovnává vlastnosti litého a svařovaného stojanu a dává si za cíl určit, je-li možné jeden nahradit druhým při zachování žádaných vlastností. K tomuto porovnání je využito metody konečných prvků a CAE systému Siemens NX.</p> |
| <p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p> | <p>gumárenství, gumárenské kalandry, lité stojany, svařované stojany, změna technologie, MKP, Siemens NX</p> |

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

| | | | |
|--------------------------|---|-----------------|----------------------------|
| AUTHOR | Surname Dekastello | Name Jiří | |
| FIELD OF STUDY | 23-35-8 "Transport and handling machinery" | | |
| 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 | Comparison of properties of cast and welded calender stands | | |

| | | | | | |
|----------------|---------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|------|
| FACULTY | Mechanical Engineering | DEPARTMENT | Machine Design | SUBMITTED IN | 1999 |
|----------------|---------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|------|

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

| | | | | | |
|----------------|----|------------------|----|-----------------------|---|
| TOTALLY | 81 | TEXT PART | 73 | GRAPHICAL PART | 8 |
|----------------|----|------------------|----|-----------------------|---|

| | |
|---|---|
| BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS | This master thesis is aimed on stands of forming machines, specifically rubber industry calanders. It compares properties of cast and welded stand and its aim is to tell whether or not it is possible to replace one with the other while keeping the requested properties. To said comparision a finite element method and CAE system Siemens NX are used. |
| KEY WORDS | rubber industry, calenders for rubber, cast stands, welded stands, change of technology, FEM, Siemens NX |

Obsah

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Úvod..... | 9 |
| 1.1 | Cíle práce | 9 |
| 2 | Buzuluk a.s. | 10 |
| 3 | Kaučuk a pryž..... | 11 |
| 4 | Popis kalandru a jeho konstrukce..... | 12 |
| 4.1 | Pracovní válce – obecné možnosti uspořádání | 12 |
| 4.2 | Způsoby kompenzace průhybu válců..... | 14 |
| 5 | Průzkum trhu a patentová řešerše..... | 15 |
| 5.1 | Průzkum trhu..... | 15 |
| 5.1.1 | Buzuluk a. s. | 15 |
| 5.1.2 | Comerio Ercole..... | 16 |
| 5.1.3 | KraussMaffei Berstorff..... | 18 |
| 5.1.4 | Hsin Yin Machinery Works (HYMC)..... | 19 |
| 5.1.5 | Bainite Machines | 20 |
| 5.1.6 | Santosh Rubber Machinery Pvt., Ltd..... | 21 |
| 5.1.7 | Wuxi Double Elephant Rubber & Plastic Machinery Co., Ltd | 21 |
| 5.1.8 | Bongshin..... | 22 |
| 5.1.9 | Porovnání technických parametrů kalandrů | 22 |
| 6 | Konkretizace zadání a kalandr Buzuluk 03741 | 24 |
| 6.1 | Popis stroje..... | 24 |
| 6.2 | Pohyby, rozměry a technické parametry konkrétního kalandru Buzuluk 03741 ... | 25 |
| 7 | Virtuální simulace kalandru Buzuluk 03741 | 27 |
| 7.1 | 3D model..... | 27 |
| 7.2 | Materiály | 27 |
| 7.3 | MKP síť..... | 27 |
| 7.4 | Okrajové podmínky výpočtu..... | 28 |
| 7.4.1 | Definice kontaktů a spojení | 28 |
| 7.4.2 | Definice uchycení | 30 |
| 7.5 | Zátěžné síly | 30 |
| 7.5.1 | Síly na stavěcích válcích..... | 31 |
| 7.5.2 | Síly na systému křížení..... | 31 |
| 7.5.3 | Síly od systému ohybu válců | 32 |
| 7.6 | Výsledky pevnostního výpočtu..... | 34 |

| | | |
|--------|--|----|
| 7.7 | Výsledky posunutí a tuhosti..... | 35 |
| 7.7.1 | Měření tuhosti rámu..... | 36 |
| 8 | Obecný návrh svařence čtyřválcového kalandru..... | 38 |
| 8.1 | Analýza způsobu vložení tělesa křížení mezi desky bočnice | 38 |
| 8.1.1 | Způsob první – přivaření těles mezi desky..... | 38 |
| 8.1.2 | Způsob druhý – přivaření těles do otvorů v bočnicích..... | 39 |
| 8.1.3 | Virtuální simulace..... | 39 |
| 9 | Prvotní návrh nové stojanu kalandru..... | 41 |
| 9.1 | Popis stroje..... | 41 |
| 9.2 | Pohyby a rozměry stroje | 42 |
| 9.3 | Nové zatížení stojanu kalandru | 42 |
| 9.3.1 | Síly na stavěcích válcích..... | 43 |
| 9.3.2 | Síly na systému křížení..... | 43 |
| 9.3.3 | Síly od systému ohybu..... | 44 |
| 9.4 | Výpočet zatížení stojanu 1. návrhu kalandru s využitím MKP | 46 |
| 9.4.1 | 3D model | 46 |
| 9.4.2 | Materiály..... | 46 |
| 9.4.3 | MKP síť | 46 |
| 9.4.4 | Okrajové podmínky výpočtu | 49 |
| 9.4.5 | Výsledky MKP výpočtu – typické zatížení | 50 |
| 9.4.6 | Výsledky MKP výpočtu – maximální zatížení..... | 52 |
| 9.4.7 | Odečtení tuhosti stojanu | 53 |
| 10 | Variantní návrh vnitřních výztuh stojanu | 55 |
| 10.1 | Variety vyztužení | 55 |
| 10.2 | Porovnání výsledků výpočtu pro maximální zatížení | 58 |
| 10.2.1 | Napětí Von-Mises 0-50 MPa | 58 |
| 10.2.2 | Napětí Von-Mises 0-150 MPa | 59 |
| 10.2.3 | Posunutí..... | 60 |
| 10.2.4 | Číselné porovnání výsledků simulací | 60 |
| 11 | Simulace zatížení s přiznanými svary | 62 |
| 11.1 | Výsledky MKP výpočtu - napětí..... | 63 |
| 11.2 | Výsledky MKP výpočtu – posunutí | 64 |
| 11.3 | Výsledky MKP výpočtu – tuhost | 64 |
| 11.4 | Výsledky MKP výpočtu – napětí svarů..... | 65 |
| 12 | Diskuze výsledků..... | 67 |

| | | |
|--------|---|----|
| 13 | Ekonomické porovnání stojanů | 68 |
| 13.1 | Litý stojan..... | 68 |
| 13.2 | Svařovaný stojan | 68 |
| 14 | Závěr..... | 71 |
| 15 | Bibliografie..... | 72 |
| 16 | Příloha 1 – Patentová řešerše..... | 73 |
| 16.1.1 | CN104325586 (A) - Čtyřválcový kalandr | 73 |
| 16.1.2 | US4332191 A - Calender..... | 74 |
| 16.1.3 | US3581340 A – Calenders, particularly in drawing calenders for the production of webs of foil or film | 75 |
| 16.1.4 | EP0779394A1 – Method and apparatus for preventing vibrations of a roll set 77 | |
| 16.1.5 | Souhrn informací z provedené patentové řešerše | 78 |

1 Úvod

Součástí tvářecí technologie je také kalandrování. Kalandrování je proces typicky používaný v gumárenském, textilním a papírovém průmyslu. Principem procesu je průchod suroviny mezi alespoň jedním párem válců, čím získá výsledný produkt finální pásový tvar. Tato práce porovnává vlastnosti litých a svařovaných stojanů kalandrů firmy Buzuluk, která se zabývá výrobou strojů pro gumárenský průmysl. Důvodem k porovnání je optimalizace návrhu svařovaného stojanu. Proto je využito metody konečných prvků, která nám umožňuje provádět virtuální simulace bez vysokých nákladů na výrobu a experimenty testovacích dílů.

Metoda konečných prvků je v současnosti nedílnou součástí vývoje téměř všech výrobků ze všech odvětví průmyslu. Umožňuje zpracovávat simulace mnohých fyzikálních procesů a na základě jejich výsledků optimalizovat konstrukční návrhy výrobků. Přestože základy této metody pocházejí již ze 40. let 20. století, pro vysokou výpočetní náročnost začal růst jejího využívání až s využitím moderní výpočetní techniky.

V současné době lze metodou konečných prvků simulovat mnohé úlohy z pružnosti a pevnosti, přestupu tepla, proudění tekutin, elektromagnetismu, chemie, biomechaniky či např. šíření vln. Možnosti nezůstávají pouze u statických dějů, ale je možné simulovat i děje přechodové, kdy se okrajové podmínky výpočtu mění s časem.

Hlavním přínosem zavedení této metody do vývojového procesu je snížení nákladů na vývoj produktu. Využitím počítačového simulování se sníží, či zcela odpadnou, náklady na výrobu experimentálních vzorků, náklady na samotné provedení experimentů a další náklady odpadnou zrychlením celého testovacího procesu. Metoda umožňuje provést simulace, jejichž reálný experiment by vůbec nebylo možné provést.

1.1 Cíle práce

Hlavním cílem diplomové práce je analyzovat stávající litý stojan kalandru a navrhnout jeho svařovanou náhradu. Očekávanými výhodami svařovaného stojanu jsou: kratší výrobní čas, možná variabilita konstrukčního řešení, nižší podíl na subdodávkách.

- Seznámení se s kalandrem a technologií na něm prováděnou.
- Rešerše konkurenčních řešení a patentová rešerše.
- Analýza stávajícího stojanu.
- Návrh nového svařovaného stojanu a jeho ověření.
- Zhodnocení ekonomických přínosů nového řešení.

2 Buzuluk a.s.

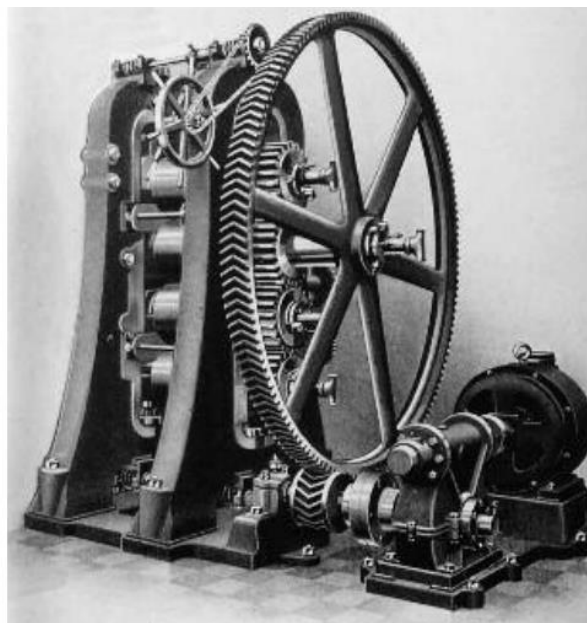
Buzuluk a. s je moderní inženýrskou a výrobní společností se dvěma divizemi. První je Divize gumárenské stroje a zaměřuje se na vývoj, výrobu a servis kalandrovacích a míchacích linek, vulkanizačních lisů, zkušebních strojů pro testování pneumatik apod. Druhou divizí je Divize pístní kroužky. Ta se zabývá vývojem a výrobou pístních a těsnících kroužků nejen pro automobilový průmysl. Poslední je Divize umělecká litina. Divize nyní navazuje na tradici a v nabídce mají odlitky z umělecké litiny vyráběné výhradně ručně a podle starých postupů. (1)



Obrázek 1 - Logo Divize gumárenské stroje společnosti Buzuluk (1)

Tato společnost, sídlící ve středočeském Komárově, má velmi dlouhou historii sahající až do roku 596, kdy se objevuje první zmínka o založení železářské hutě Comoravium (Komárov). Avšak první potvrzený historický záznam pochází z roku 1460 a popisuje vznik slévárny, jež měla výhodnou polohu uprostřed brdských lesů právě kvůli snadnému přístupu k velkému množství dřeva. Tato kovárna byla panským majetkem až do roku 1902, kdy ji odkoupila firma C. T. Petzold a spol. a tato ji v roce 1919 proměnila na akciovou společnost se sídlem v Praze.

Roku 1904 firma začala s výrobou válců odkoupením od firmy Kudlicz v Praze. Po dalších 33 letech, tedy v roce 1937, začala komárovská firma s výrobou kalandrovacích gumárenských strojů, kterou po válce přenesla do Gottwaldova, aby ji v roce 1952 opět vrátila zpět do Komárova.

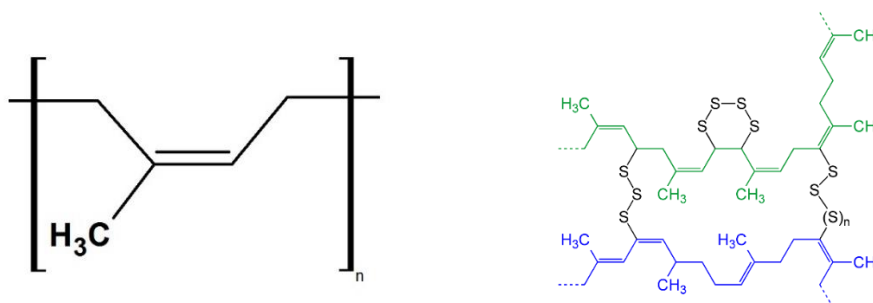


Obrázek 2 - Čtyřválcový kalandr z roku 1930 (1)

V současné době je Buzuluk a.s. v rukou čínské společnosti Dalian China. (2)

3 Kaučuk a pryž

Kaučuk je původně přírodní polymerický materiál, jehož hlavní vlastností je vysoká pružnost. Je tvořen dlouhými lineárními makromolekulami cis-1,4-polyisoprenu, což má za následek právě pružnost kaučuku, malou pevnost, špatnou odolnost vůči rozpouštědlům a ozonu. (3)



Obrázek 3 - Chemická struktura cis-1,4-polyisoprenu a spojení jeho makromolekul disulfidickými můstky (4) (5)

Prvním, kdo do Evropy přivezl kaučuk, byl Kryštof Kolumbus, když se v roce 1495 vrátil ze své druhé cesty k americkému kontinentu. On a jeho námořníci viděli, jak místní indiáni hrají hru s míčem z pružného kaučuku, který je získáván ve formě mízy stromů nazývaných „Cau-Uchu“ – plačící dřevo.

V polovině 18. století bylo kaučuk využíván pro výrobu kostiček určených pro mazání písma třením po papíru. Později se kaučuk rozpouštěný v terpentýnu používal jako lepidlo. Ke konci 18. století byl vyráběn textil s impregnací z kaučuku, jehož velkou nevýhodou byla vysoká lepidivost za teplejších dnů a naopak křehkost v zimě. (6)

V roce 1844 si nechal Charles Goodyear patentovat objev vulkanizace. To je proces kdy se za působení vulkanizačního činidla (síry či jejích sloučenin) a tepla stává z kaučuku pryž tím, že se dlouhé makromolekuly kaučuku zasítují tzv. disulfidickými můstky. Výsledná pryž má oproti původnímu kaučuku výrazně zlepšené vlastnosti jako je pevnost v tahu, vratnost deformace, odolnost proti oděru, snížená teplota skelného přechodu apod. (5)

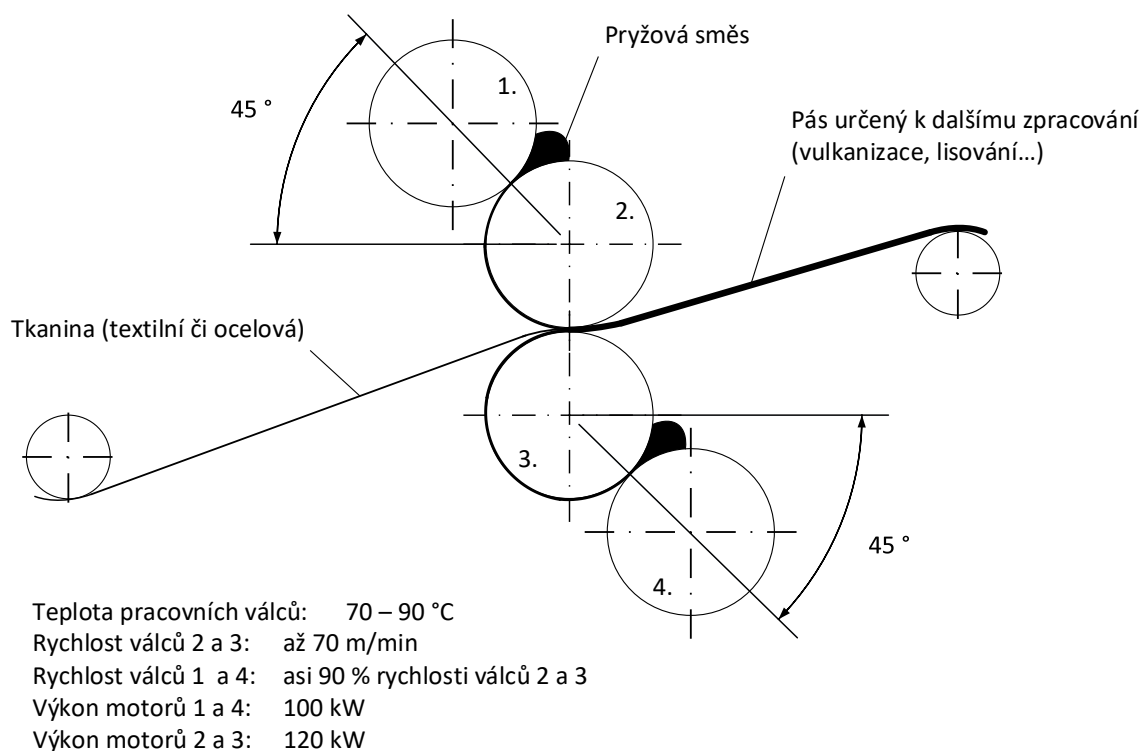
V roce 1909 v Německu byl vyrobený první syntetický kaučuk a to polyisopren (IR) a v roce 1910 v Rusku vzniká první polybutadienový kaučuk (BR). Významným objevem byl v roce 1935 butadien-styrenový kaučuk (SBR), který pochází z Německa a vyrábí se z ropy. Dodnes je hlavním materiálem používaným na výrobu pneumatik. (3)



Obrázek 4 - Výroba pneumatik Vari ve vulkanizačních lisech (7)

4 Popis kalandru a jeho konstrukce

Kalandr je válcovací stroj pro výrobu fólií a pásů různých druhů. Na následujícím obrázku je znázorněn proces výroby pásu s vnitřní tkaninou. Takové pásy se používají jako polotovary při výrobě dopravních pásů, výrobě pneumatik a dalších gumárenských produktů. Proces začíná tím, že mezi 1. a 2. válec a 3. a 4. válec se zásobovacím zařízením dodává homogenizovaná kaučuková směs. Mezi těmito válci se vytvoří horní, resp. dolní vrstva výsledného produktu. Dále je mezi 2. a 3. válcem vedena vnitřní tkanina (tzv. kord), na kterou jsou tyto dvě vrstvy nanесeny a zaválcovány. Tím vznikne pás, který je určen k dalšímu zpracování.



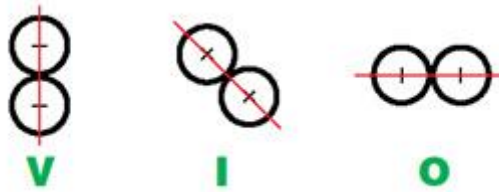
Obrázek 5 Princip funkce čtyřválcového kalandru (parametry odpovídají stroji BUZULUK 03741)

Dále je možné na tomto stroji vyrábět pásy s dvěma různými vrstvami bez vnitřní tkaniny, pásy s jednou vrstvou pryže a tkaninou na spodní straně, či válcovat tenké fólie, kdy materiál projde přes více pracovních štěrbin.

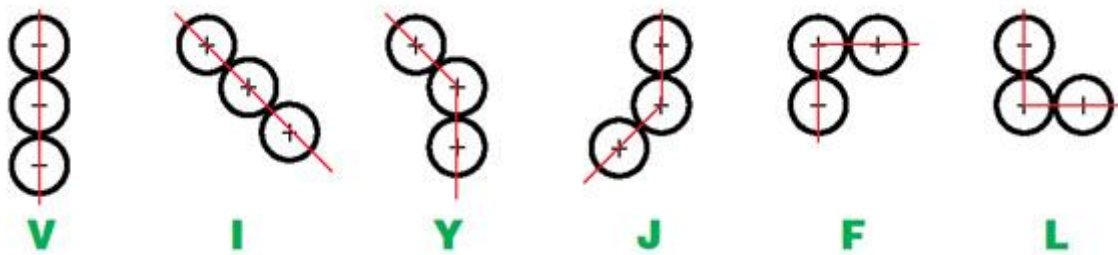
Válce jsou při válcování teoreticky namáhané přibližně spojitým obtížením, které válce prohýbá. Platí, že na tloušťku produktu je předepsaná určitá tolerance, kterou je nutné dodržet jak napříč tak podél. V oblasti dodávání pryže je, u kalandru s průměry válců 600-650mm, velikost spojitého obtížení přibližně 500 N/mm, čímž vznikne deformace na těle válce (pracovní část válce bez čepů) 0,1 mm. Mezi 2. a 3. válcem, kde dochází k spojování fólií s kordem, je spojitě obtížení přibližně 100 N/mm.

4.1 Pracovní válce – obecné možnosti uspořádání

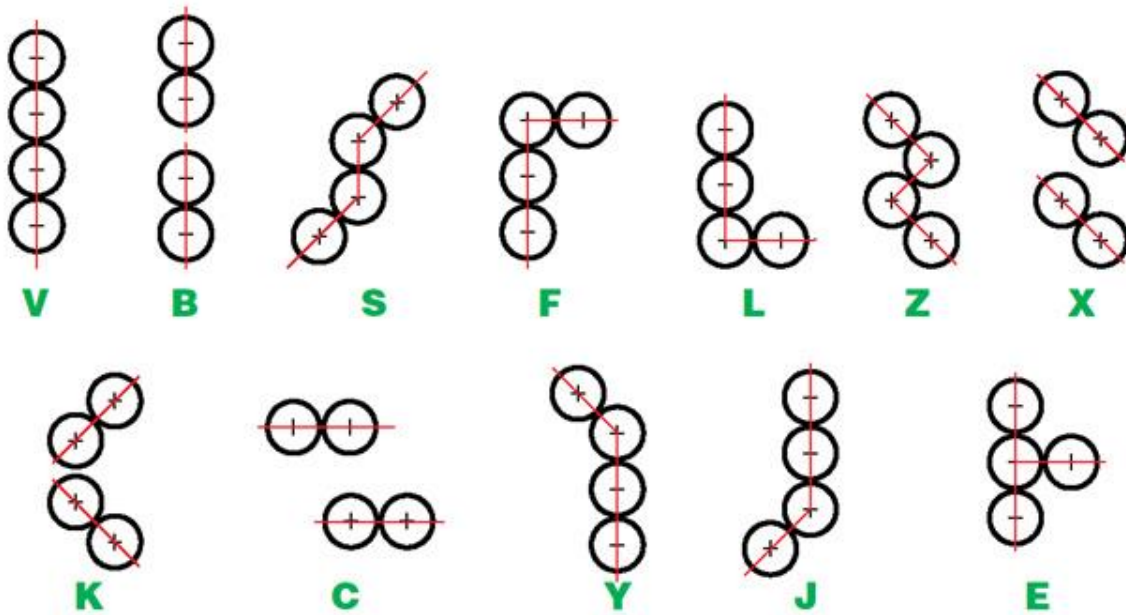
Kalandry mohou mít různý počet válců i různou konfiguraci uložení válců ve stojanech stroje. Dle počtu válců a jejich uložení se odvíjí možné aplikace strojů, jejich výkonnost, kvalita a přesnost produktu.



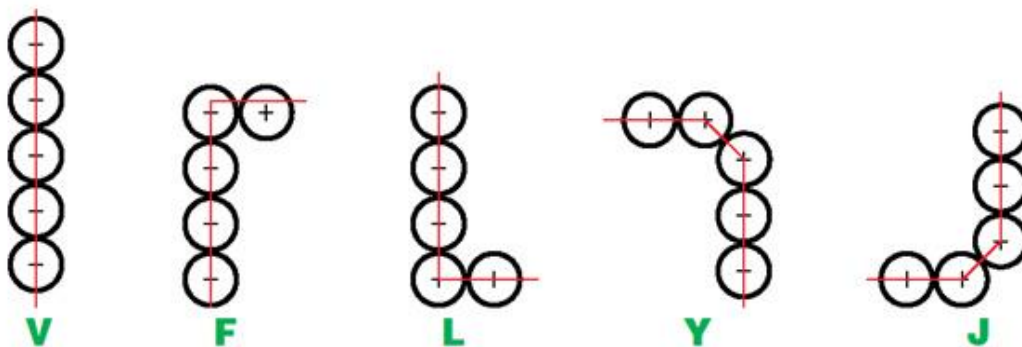
Obrázek 6 - Uložení dvouválců (8)



Obrázek 7 - Uložení tříválců (8)



Obrázek 8 - Uložení čtyřválců (8)



Obrázek 9 - Uložení pětiválců (8)

Důležitým faktorem pro udržení vysoké přesnosti, stability a kvality povrchu finálního výrobku je počet štěrbin, přes které materiál prochází a kvalita povrchu samotných válců. Válce jsou většinou litinové broušené a někdy leštěné, v některých aplikacích navíc na povrchu chromované pro zlepšení otěruvzdornosti. Chromování je častou úpravou povrchu vyrobených z oceli z důvodu snížení lepivosti a zlepšení otěruvzdornosti.

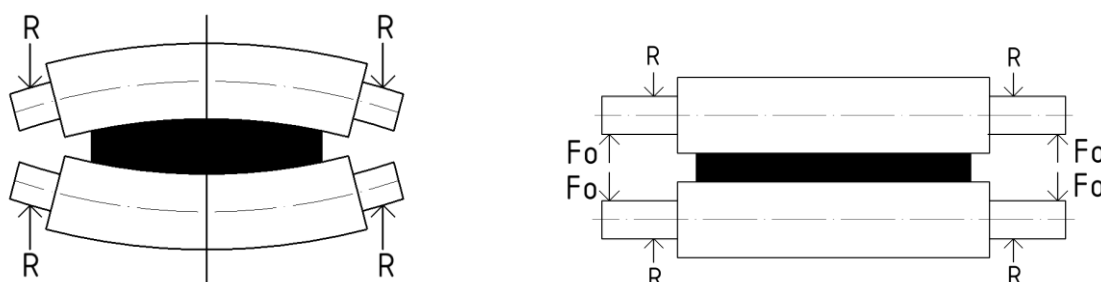
Konstrukci válce ztěžuje i nutnost přesné temperace válce tak, aby měl jeho povrch vždy požadovanou teplotu a ta byla v čase konstantní. To je řešeno vrtanými kanály v těle válce, které vedou tlakovou vodu udržující stálou teplotu.

Pro potřeby práce budeme uvažovat uspořádání válců čtyřválcového kalandru do tvaru písmena S.

4.2 Způsoby kompenzace průhybu válců

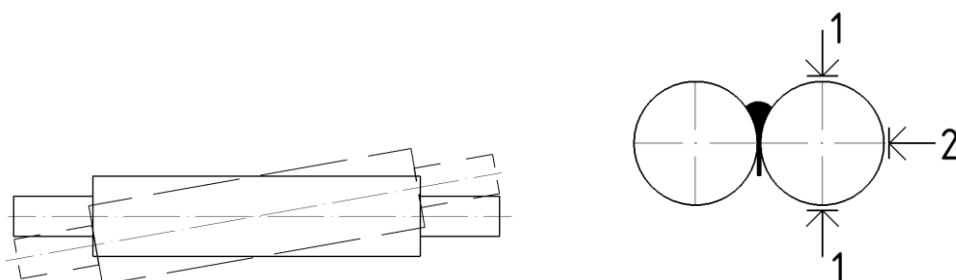
Kalandrování na tomto typu stroje je operací s vysokou přesností. Tloušťka výsledného produktu se liší maximálně o 0,1 mm a to při rychlosti kalandrování až 70 m/min. Aby toho bylo dosaženo, je nutné kompenzovat průhyby pracovních válců od působení pryžové směsi.

Jedním ze způsobů je takzvaný protiohyb válců či ohyb protimomentem. Pro tento způsob mají pracovní válce prodloužené čepy, na kterých jsou přes naklápěcí ložiska nasazené speciální kroužky a ty jsou spojené s pevnými konzolami na stojanu. Kroužky jsou s konzolami spojené pevnými táhly či hydraulickými válci tak, aby bylo možné za koncové čepy válců tahat proti směru jejich ohybu a tím je narovnávat jako na následujícím obrázku.



Obrázek 10 - Protiohyb pracovních válců, R značí silovou reakci do rámu, F_o značí ohýbací sílu

Druhým způsobem je křížení válců. Princip je v tom, že se stroj snaží vychýlit osy dvou válců tak, aby výsledná mezera mezi nimi byla po celé jejich délce stejná. V případě kalandrů řešených v této práci se vychylují válce č. 1 a č. 4. vůči válcům č. 2 a č. 3. K tomu jsou využívány kameny, které jsou v kontaktu s vychylovanými válci, jako je tomu na následujícím obrázku. V závislosti na ustavení těchto kamenů dochází k posunutí osy válce.



Obrázek 11 - Systém křížení válců, kameny jsou na pozici 1

5 Průzkum trhu a patentová rešerše

Kapitola je věnována průzkumu trhu výrobců zařízení pro gumárenský průmysl – kalandrům a patentové rešerši. Jde o specifický segment trhu, proto existuje pouze několik výrobců na celém světě.

5.1 Průzkum trhu

5.1.1 Buzuluk a. s.

Společnost Buzuluk a.s. (příjemce projektu) na svých internetových stránkách prezentuje víceválcové kalandry jako hlavní složku svého výrobního portfolia. Společnost dodává kalandry samotné i jako součást celé linky.

Díky kvalitnímu strojnímu vybavení mají válce perfektní zpracování povrchu a ke každému válci je dodán i certifikát kvality. Válce jsou vyrobeny z litiny či z kované oceli pro případ velkých kalandrů. Kalandry se vyznačují vysokou přesností výsledného produktu díky hydraulickému stavění válců, možností kompenzace průhybu válce protimomentem, křížením a předpětím válců a velkým množstvím pomocných zařízení. Dodávané kalandry jsou vždy navrženy tak, aby odpovídaly požadavkům zákazníka. (9)



Obrázek 12 - Kalandr 03741 s průměrem válců 650 mm a jejich délkou 1800 mm (9)

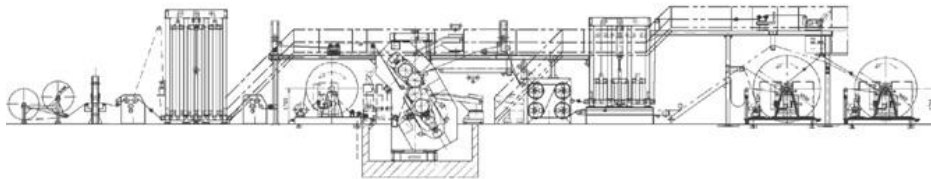


Obrázek 13 - Kalandr 03891 s průměrem válců 462 mm a jejich délkou 1020 mm (9)

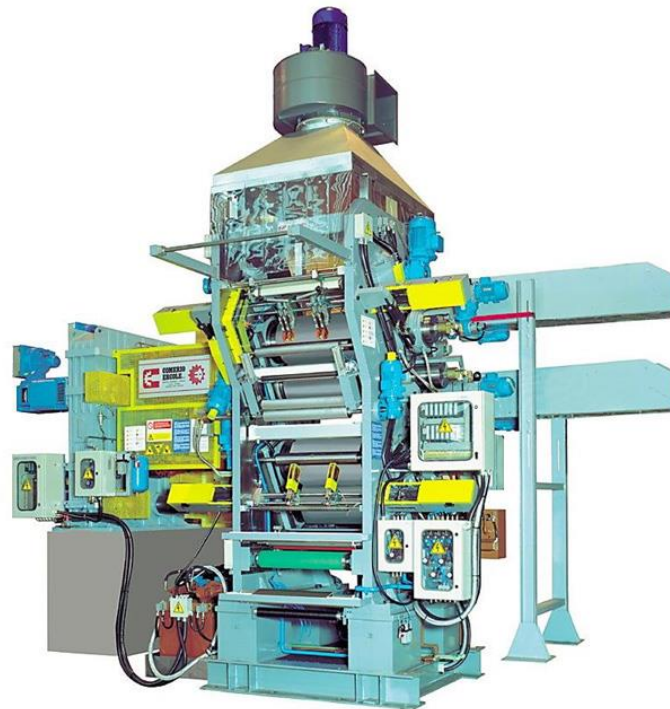
5.1.2 Comerio Ercole

Internetové stránky samotného výrobce žádné informace o kalandrech nenabízí. Dostupné informace se nalézají na internetových stránkách společnosti IPM, polského prodejce těchto strojů.

Kalandry Comerio Ercole dosahují vysoké přesnosti hlavně křížením a ohýbáním válců, účinnou termoregulací válců a hydraulickým stavěním válců. Válce jsou individuálně stavěny a také poháněny. (8)



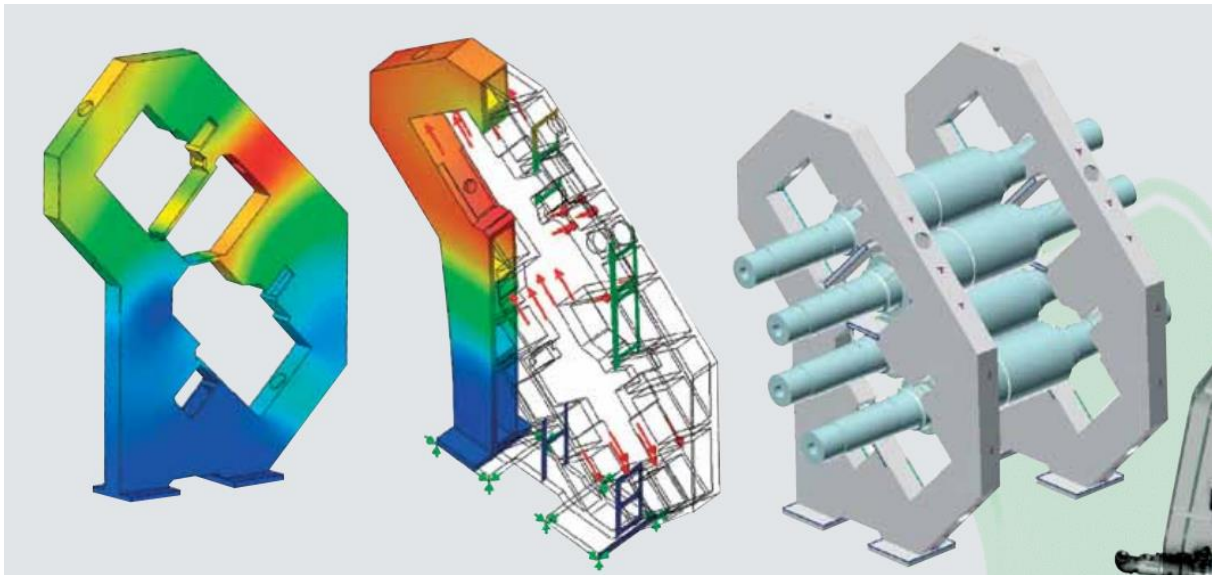
Obrázek 14 - Kalandr CG4 660x2200 - S firmy Comerio Ercole s nákresem linky pro výrobu dopravníkových pásů (8)



Obrázek 15 - Kalandr typu X, neboli inner-roller, firmy Comerio Ercole (8)



Obrázek 16 - Porovnání velikosti kalandru s Fiatem 500 (8)



Obrázek 17 - Zjednodušený model kalandru a příklad jeho optimalizace pomocí MKP (10)



Obrázek 18 - Kalandr firmy Comerio Ercole (10)

5.1.3 KraussMaffei Berstorff

KraussMaffei Berstorff je německou společností podnikající v oblasti zařízení pro plastikářský a gumářský průmysl. Následuje popis vlnkové lodi – kalandru.

Tento kalandr je vlnkovou lodí společnosti KraussMaffei Berstorff. V závislosti na vlastní aplikaci je navržen tak, aby vyráběl pryžové pásy o šířce 1200 až 2400 mm rychlostí až 35 m/min. Přímé diagonální rozložení válců zabraňuje vzniku neznámých, a tedy nekontrolovatelných sil. Korekce ustavení válců se provádí automaticky díky sensorům, které sledují odchylky v jejich pozici. (11)



Obrázek 19 - Vizualizace velkého kalandru firmy KraussMaffei Berstorff (11)

5.1.4 Hsin Yin Machinery Works (HYMC)

Tato taiwanská společnost nabízí kompletní portfolio pryžových kalandrů s 2 - 4 válci o šířce 300 až 2800 mm a různými druhy uložení válců. Kalandry mohou být použity pro zpracování pryže, umělých hmot, i kompozitních materiálů. Stroje jsou automatizované. (12)



Obrázek 20 - Kalandr typu S firmy HYMC (12)



Obrázek 21 - Kalandr typu X, neboli inner-roller, firmy HYMC (12)



Obrázek 22 - Velký kalandr typu S firmy HYMC (12)

5.1.5 Bainite Machines

Bainite Machines je Indický producent zařízení pro gumárenský průmysl.

Kalandry Bainite Machines jsou speciálně navrhovány pro jednostranné i oboustranné nanášení, válcování fólií a další operace. Návrh je zakázkový pro různé konfigurace uložení dvou až čtyř válců s různými rozměry. Mezi hlavní prvky patří robustní skříň z obrobené oceli bez vnitřního pnutí, litinové válce, podpovrchově vrtané chladicí kanály a kompenzování průhybu válce křížením, protimomentem a předpětím. Hlavní rozměry válců v palcích jsou 16"x36", 18"x48", 18"x54", 22"x60", 24"x68" a 26"x84". (13)



Obrázek 23 - Tříválcový kalandr firmy Bainite Machines (13)

5.1.6 Santosh Rubber Machinery Pvt., Ltd

Santosh Rubber Machinery je dalším z Indických producentů gumárenské techniky.

Použití těchto kalandrů je víceméně stejné jako u jiných značek, stejně tak Santosh nabízí 2 – 4 válcové kalandry různých konfigurací. Volitelnou kompenzací deformace válce je křížení válců a jejich předepnutí.

Hlavní rozměry válců v milimetrech jsou 150x450, 200x610, 250x750, 300x910, 400x1220, 450x1370, 560x1700. (14)

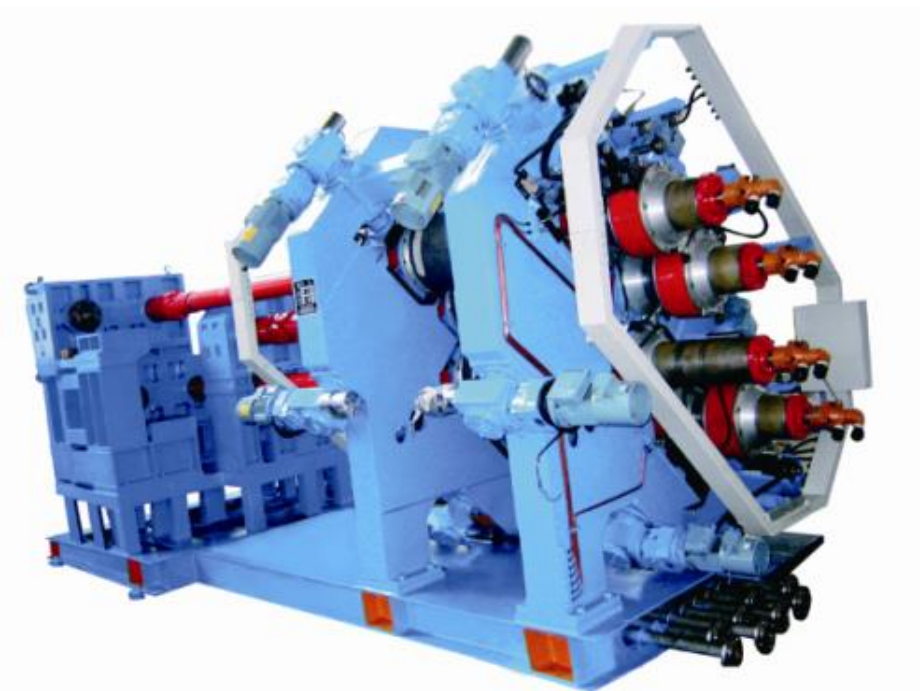


Obrázek 24 - Kalandr firmy Santosh typu obráceného L (14)

5.1.7 Wuxi Double Elephant Rubber & Plastic Machinery Co., Ltd

Wuxi Double Elephant Rubber & Plastic Machinery Co., Ltd je Čínský producent.

Válce jsou vyrobeny z litiny a díky vrtaným kanálům mají dobrou ohřívací a chladičí charakteristiku. Pro zpřesnění výroby nabízí kalandr možnost připojení zařízení umožňujícího křížit, předpínat válce a kompenzovat jejich průhyb. Díky samostatnému pohonu jednotlivých válců je možné nastavit pro každý válec jinou pracovní rychlost. Stroj má také, vysokou míru automatizace. (15)



Obrázek 25 - Kalandr firmy Wuxi Double Elephant (15)



Obrázek 26 - Kalandr firmy Wuxi Double Elephant (16)

5.1.8 Bongshin

Jedná se o jihokorejskou společnost dodávající širokou nabídku gumářenských strojů. Ke svým kalandrům mnoho informací neudává, pouze rozměrovou řadu a ke každému rozměru odpovídající pracovní rychlost, maximální šířku produktu a výkon motoru. (17)

5.1.9 Porovnání technických parametrů kalandrů

Výrobci si údaje o svých strojích velmi střeží a není tedy snadné nalézt na internetu nabídku konkrétních strojů spolu s technickými parametry strojů. Tabulky s některými údaji na internetu zveřejňuje pouze společnosti Buzuluk a. s., Wuxi Double Elephant Rubber & Plastic Machinery Co., Ltd a Bongshin.

Tabulka 1 – Dostupné parametry kalandrů, řazeno dle průměru válce (9) (15) (17)

| Výrobce | Typ | Průměr válce [mm] | Délka válce [mm] | Konfigurace válců | Kalandrovací šířka [mm] | Min. tloušťka kalandrování [mm] | Rychlost válců [m/min] | Výkon pohonu [kW] | Hmotnost [t] |
|----------|-----------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------------|---------------------------------|------------------------|-----------------------|--------------|
| Bongshin | | 203,2 | 508-609,6 | | 406,4-508 | | | 7,5-15 | |
| Buzuluk | 014580 | 250 | 630 | F | | | 30 | 2 x 27,5 | |
| Bongshin | | 254 | 609,6-762 | | 508-609,6 | | | 11,25-15 | |
| Buzuluk | 03869 | 300 | 720 | F | | | 15 | 9,2 - 11 - 9,2 - 7,5 | |
| Bongshin | | 304,8 | 762-914,4 | | 609,6-762 | | | 15-40,5 | |
| Bongshin | | 355,6 | 914,4-1066,8 | | 762-914,4 | | | 22,5-37,5 | |
| Wuxi | XY-4S1220 | 400 | 1220 | S | 700 | 0,2 | 3 - 30 | 4 x 22 | 25 |
| Bongshin | | 406,4 | 1066,8-1219,2 | | 914,41066,8 | | | 37,5-75 | |
| Wuxi | XY-4S1250 | 450 | 1250 | S | 800 | 0,2 | 3,5 - 35 | 4 x 37 | 30 |
| Bongshin | | 457,2 | 1066,8-1371,6 | | 914,4-1219,2 | | | 56,25-112,5 | |
| Buzuluk | 03891 | 462 | 1020 | Double I | | | 35 | 4 x 37 | |
| Buzuluk | 03740 | 500 | 1300 | S | | | 4 - 40 | 4 x 40 | |
| Wuxi | XY-4S1250 | 510 | 1250 | S | 800 | 0,2 | 3,5 - 35 | 4 x 37 | 33 |
| Bongshin | | 558,8 | 1371,6-1676,4 | | 1168,4-1371,6 | | | 93,75-150 | |
| Bongshin | | 609,6 | 1524-1828,8 | | 1219,2-1524 | | | 112,5-187,5 | |
| Wuxi | XY-4S1730 | 610 | 1730 | S | 1500 | 0,2 | 5 - 50 | 2 x 75, 2 x 90 | 65 |
| Buzuluk | 03741 | 650 | 1800 | S | | | 3 - 60 | 4 x 130 | |
| Wuxi | XY-4S2030 | 660 | 2030 | S | 1800 | 0,2 | 5 - 50 | 4 x 110 | 73 |
| Bongshin | | 660,4 | 1676,4-1981,2 | | 1371,6-1676,4 | | | 150-225 | |
| Wuxi | XY-4S2300 | 710 | 2300 | S | 2000 | 0,2 | 5 - 50 | 4 x 132 | 82 |
| Buzuluk | 03764 | 710 | 2500 | S | | | 2 - 40 | 120 - 145 - 145 - 120 | |
| Buzuluk | 03506 | 710 | 1800 | S | | | 3 - 60 | 94 | |
| Bongshin | | 711,2 | 1828,8-2133,6 | | 1524-1828,8 | | | 187,5-300 | |
| Wuxi | XY-4S2500 | 760 | 2500 | S | 2200 | 0,15 | 5 - 50 | 4 x 160 | 90 |
| Bongshin | | 762 | 1981,2-2286 | | 1676,4-1981,2 | | | 225-337,5 | |
| Wuxi | XY-4S3400 | 900 | 3400 | S | 3100 | 0,15 | 5 - 50 | 4 x 200 | 145 |

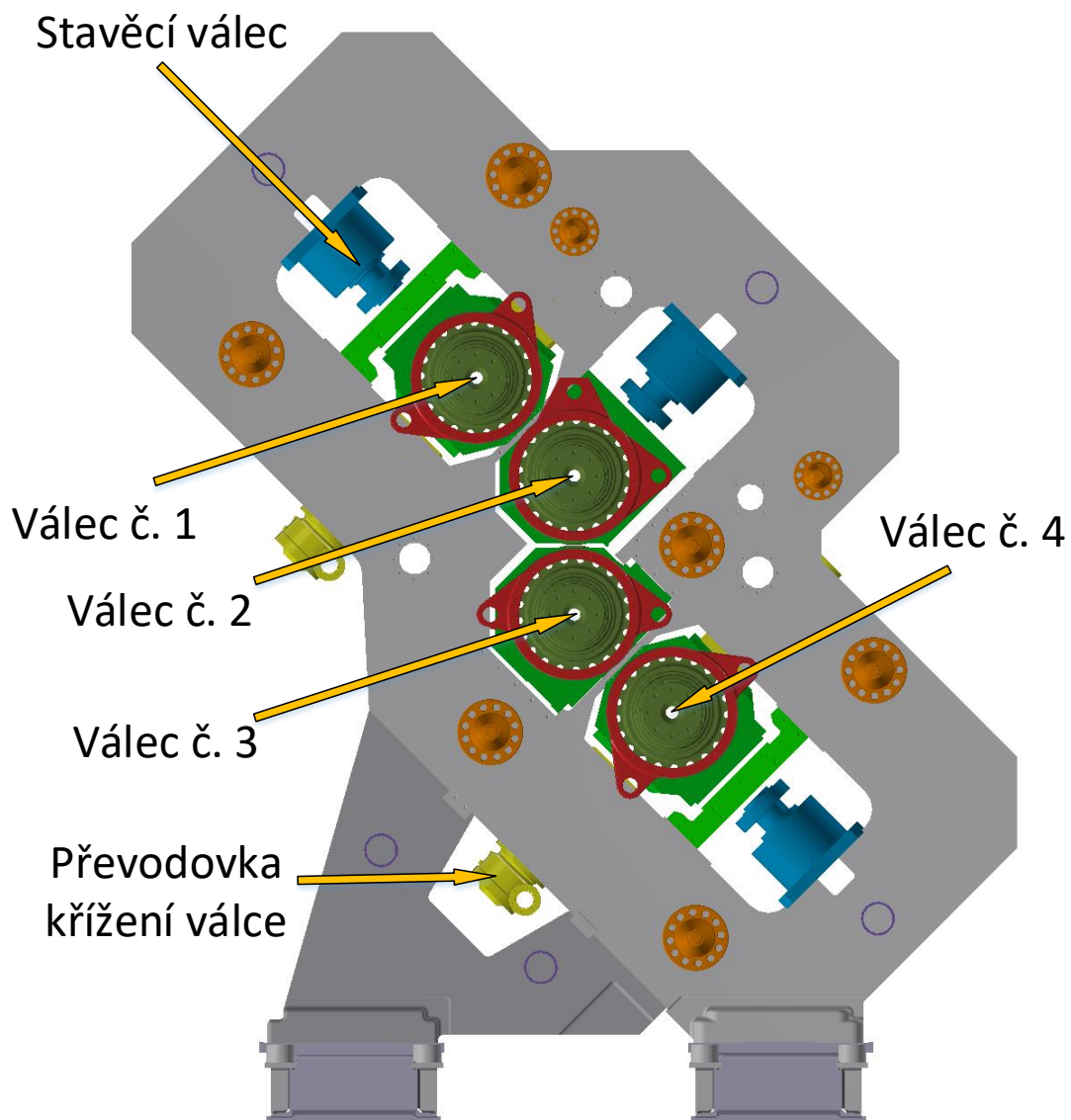
Z dostupných informací je zřejmé, že se kalandry vyrábějí v určitých velikostních řadách. Někteří výrobci preferují rozměry v metrickém a někteří pak v palcovém systému.

Z dostupných informací, především obrazových, není zcela zřejmé, jaká výrobní technologie bočnic se využívá. Pravděpodobně převládají duté lité stojany. Stojan na fotografii jednoho z menších kalandrů Comerio Ercole (Obrázek 15) je pravděpodobně řešena jako plechový výpalek.

6 Konkrétní zadání a kalandr Buzuluk 03741

6.1 Popis stroje

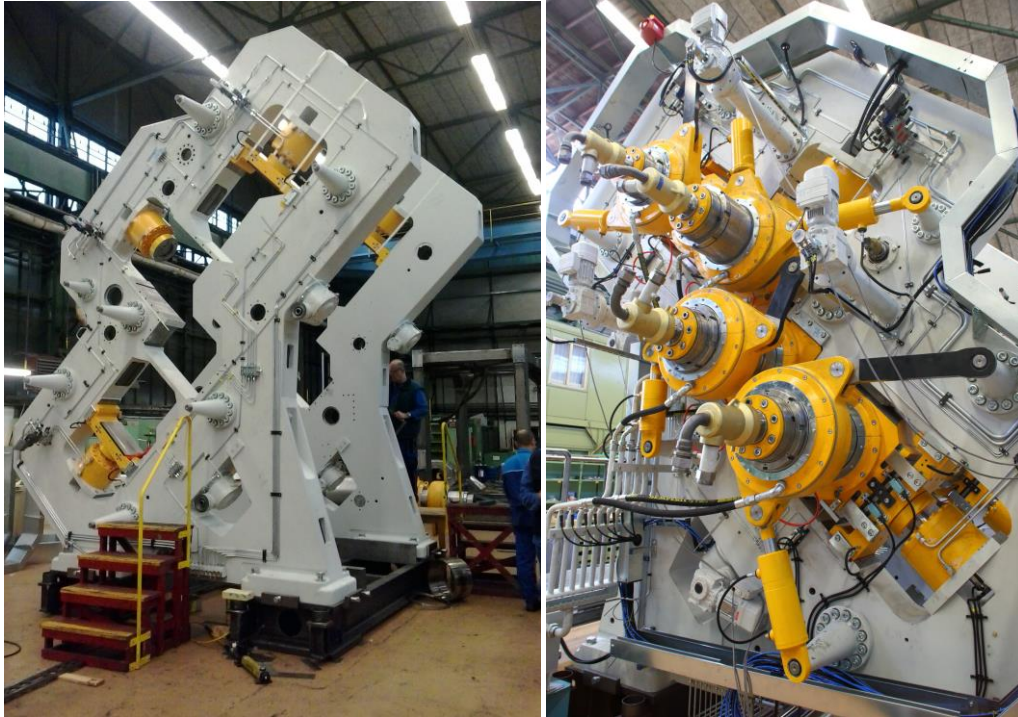
Kalandr se skládá z několika hlavních částí. Nosnou částí je rám tvořený dvěma stojany, který je pevně ukotven, přes svařované základové trámce, v masivním betonovém základu. Stojany bývají většinou vytvořeny jako odlitek. Mezi stojany jsou vlastní pracovní válce, které zpracovávají příchozí pryžovou směs a z ní válcují výsledné produkty. Válce jsou v tomto případě 4 a číslují se od horního ke spodnímu. Jsou uloženy tak, že připomínají tvar písmena S. Pístnice stavěcích válců jsou pevně spojeny s hlavním ložiskovým domkem pracovních válců a ustavují pracovní válce do správných poloh tak, aby měl výsledný produkt požadovanou tloušťku. Eliminace průhybů válců a vymezování vůlí je řešeno samostatnými systémy protiohybu a křížení válců, které jsou popsány v kapitole 4.2.



Obrázek 27 - Popis základních částí kalandru

6.2 Pohyby, rozměry a technické parametry konkrétního kalandru Buzuluk 03741

Protože pro virtuální simulaci bude jako etalon použit stávající kalandr Buzuluk 03741, je zde dále více popsán.

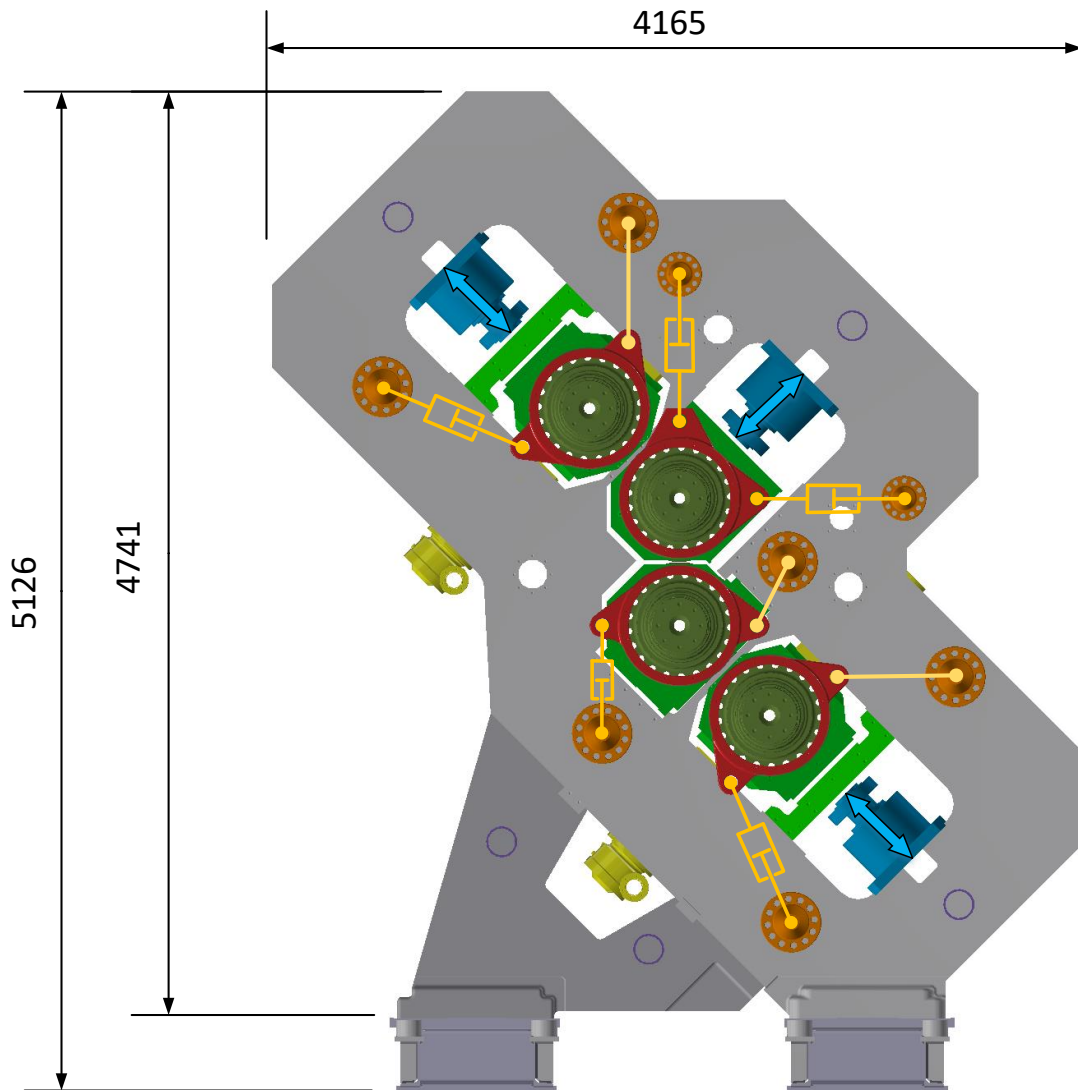


Obrázek 28 - Pohled na kalandr Buzuluk 03741 v průběhu montáže



Obrázek 29 - Pohled na sestavu kalandru Buzuluk 03741

Kromě vlastní rotace se pracovní válce i posouvají a to působením právě stavěcích válců. Tento pohyb je na obrázku 26 znázorněn modrými šipkami. Zároveň jsou v obrázku žlutými čarami znázorněna táhla a hydraulické válce systému ohybu válce, který je více popsán v kapitole 327.5.3. Na obrázku je rovněž zakótována délka stroje výška stroje s a bez části stojanu, která je součástí betonového základu. Osová vzdálenost stojanů, tedy vzdálenost středních rovin hlavních ložisek válců, je 2400 mm.



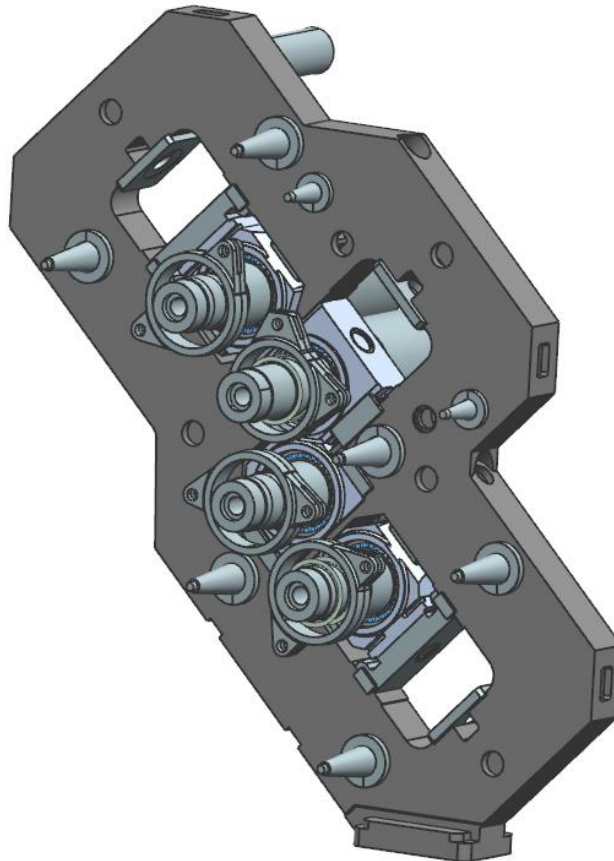
Obrázek 30 - Pohyby, táhla, hydraulické válce a rozměry kalandru Buzuluk 03741

7 Virtuální simulace kalandru Buzuluk 03741

Kalandr Buzuluk 03741 má rám vyráběný jako odlitek a je použit jako etalon pro návrh nového. Jedná se o vyzkoušené řešení, jehož vlastnosti, zejména tedy tuhost, budou měřítkem vhodnosti navrženého svařence.

7.1 3D model

Z důvodu symetrie byla pro výpočet zjednodušena jedna polovina stroje. Polovina je vytvořena tak, že jsou pracovní válce přerušeny v polovině své délky. Model poté obsahuje jeden stojan.



Obrázek 31 – Zjednodušený 3D model pro výpočet

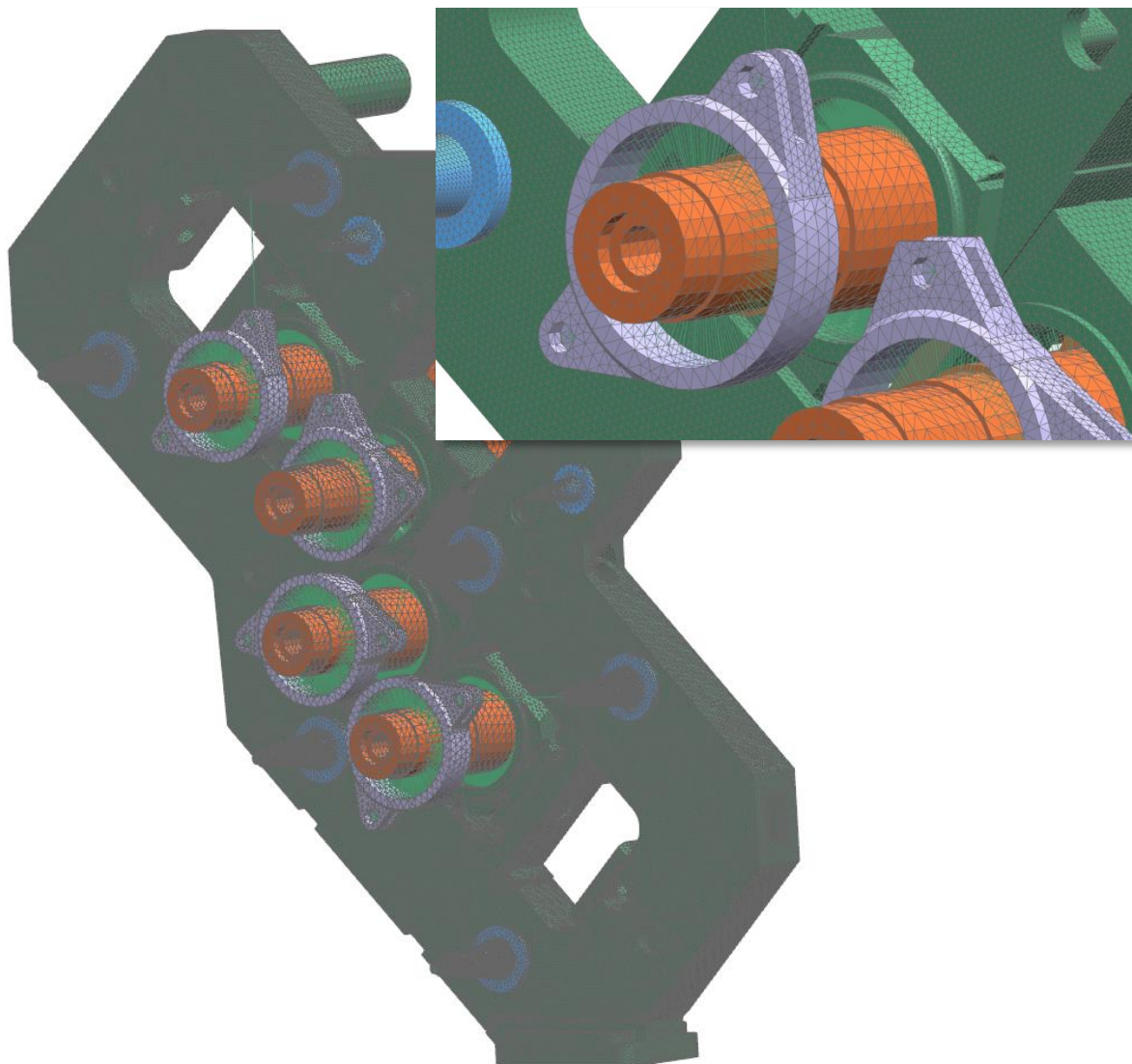
7.2 Materiály

Ve výpočtu jsou pro všechna tělesa (sítě) uvažovány materiálové charakteristiky oceli. $E = 207\,000\text{ MPa}$, Poissonova konstanta $\mu = 0,3$.

7.3 MKP síť

Pro výpočet byla využita kombinace 3D sítě a 1D spojovacích prvků. 3D prvky byly použity typu tetraedr s meziuzlem o maximální velikosti prvku 40 mm . Celkový počet 3D elementů je 1 499 244.

Pro náhrady ložisek, čepů, nebo hydraulických válců byly využity tuhé prvky typu rigid které při povolení vybraných stupňů volnosti nahradily vybrané geometrie.

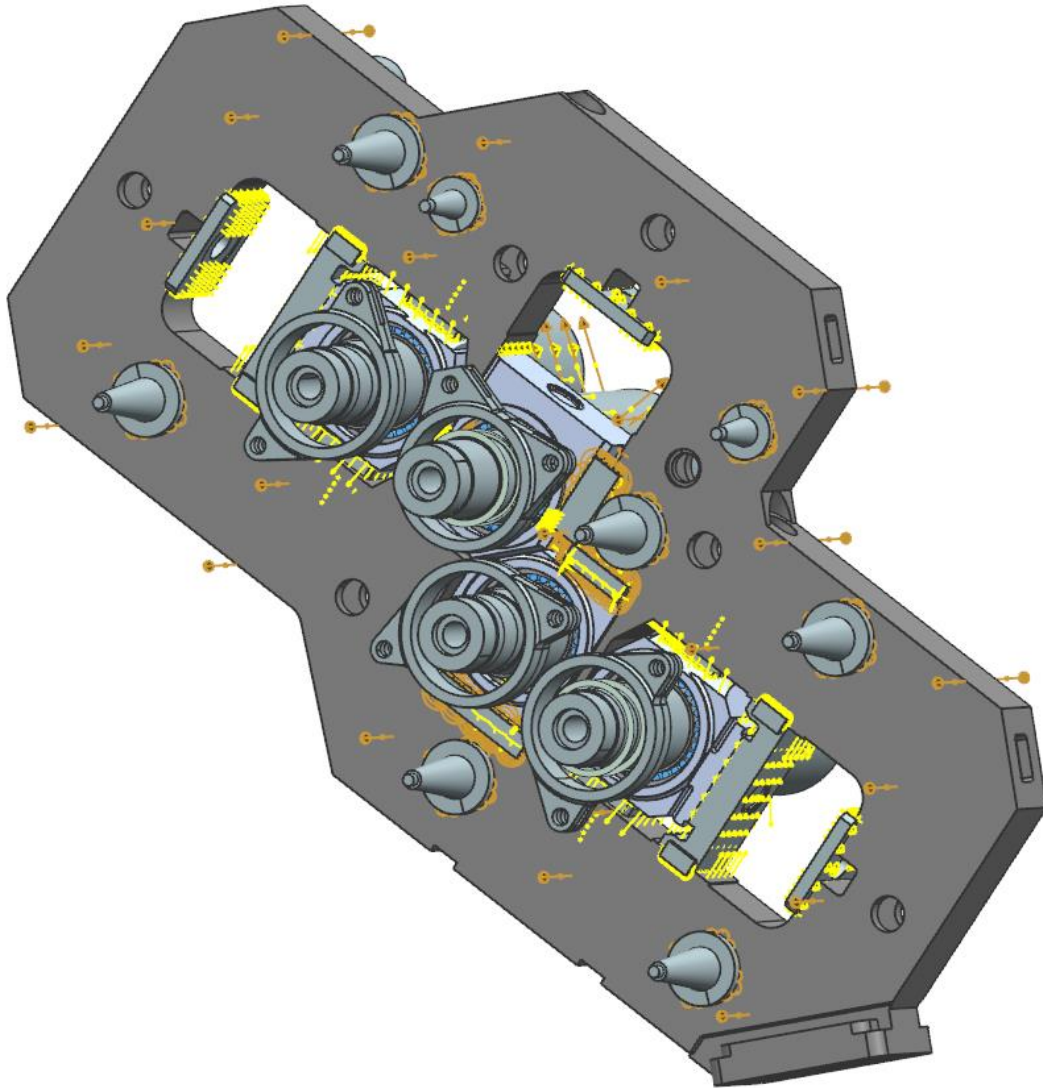


Obrázek 32 – MKP síť- celkový pohled a detail 1D náhrady valivých ložisek a táhel protiohybu

7.4 Okrajové podmínky výpočtu

7.4.1 Definice kontaktů a spojení

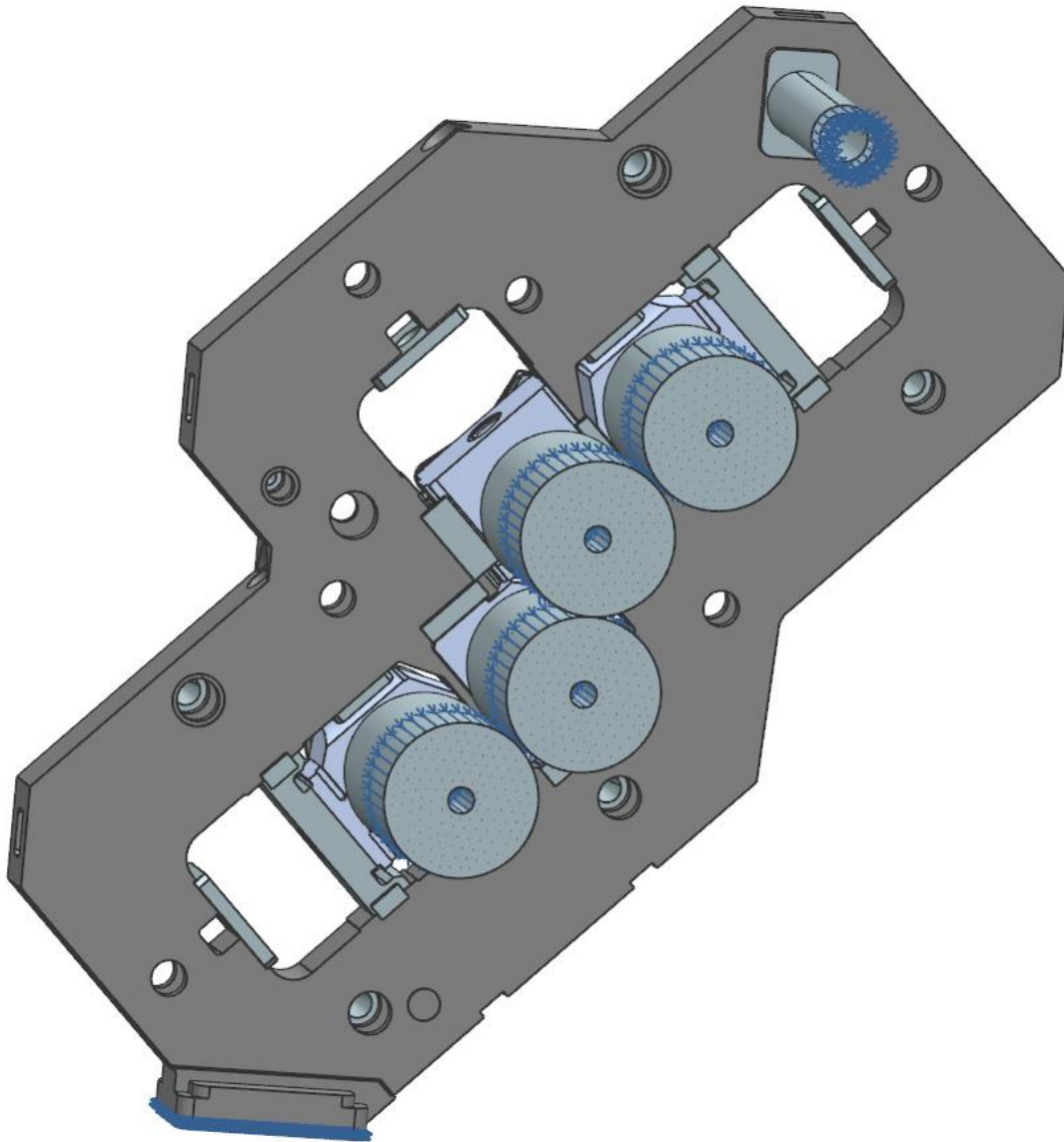
Pro spojení sítí byly využity okrajové podmínky slepení u nepohyblivých částí a kontakty u pohyblivých. Koeficient tření mezi kontaktními plochami byl zvolen 0,1, u valivých uložení 0,001.



Obrázek 33 – Okrajové podmínky typu kontakt (žlutá) a slepení (hnědá)

7.4.2 Definice uchycení

Celý model je na spodní dosedací ploše uchycen k základu a dále je využito symetrie konstrukce a na rozdělení válců v polovině jejich délky je nadefinována podmínka symetrie.



Obrázek 34 – Uchycení modelu v prostoru a definice symetrie

7.5 Zátěžné síly

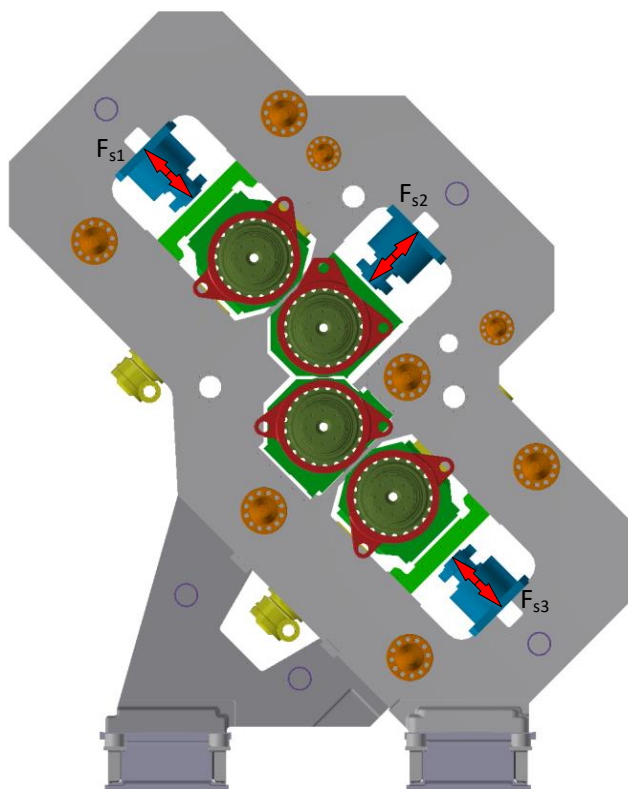
Hlavní síly, které zatěžují bočnici kalandru lze rozřadit do tří následujících skupin.

- Síly na stavěcích válcích
- Síly na systému křížení
- Síly od systému ohybu válců

Prvotní simulace neobsahuje gravitační sílu a opěrnou nohu kalandru, protože účelem bylo otestování funkčnosti výpočtu a zjištění chování stojanu při jednoduchém zatěžování technologickými silami.

7.5.1 Síly na stavěcích válcích

Stavěcí válce ustavují pracovní válce do požadovaných poloh. Síly od válcovacího procesu a zatížení od protiohybu pracovních válců jsou přenášeny do stojanu přes stavěcí hydraulické válce, které pracovní válce polohují na předepsanou šterbinu. Síly vyvinuté stavěcími válci jsou odpovědí na sílu od válcovacího procesu. Stavěcí válce jsou uloženy v masivní přírubě, která je k rámu připevněna šrouby.



Obrázek 35 - Zobrazení působišť a směru působení sil od stavěcích válců

Průměr stavěcích válců je 280 mm a maximální přípustný tlak je 18 MPa (mechanickým pojistným ventilem) a maximální provozní tlak je 16 MPa (elektricky řízeným ventilem). Maximální přípustná síla je potom 1 108 kN a maximální provozní 985 kN. Dále jsou v následující tabulce uvedeny typické provozní hodnoty sil, které jsou výrazně nižší.

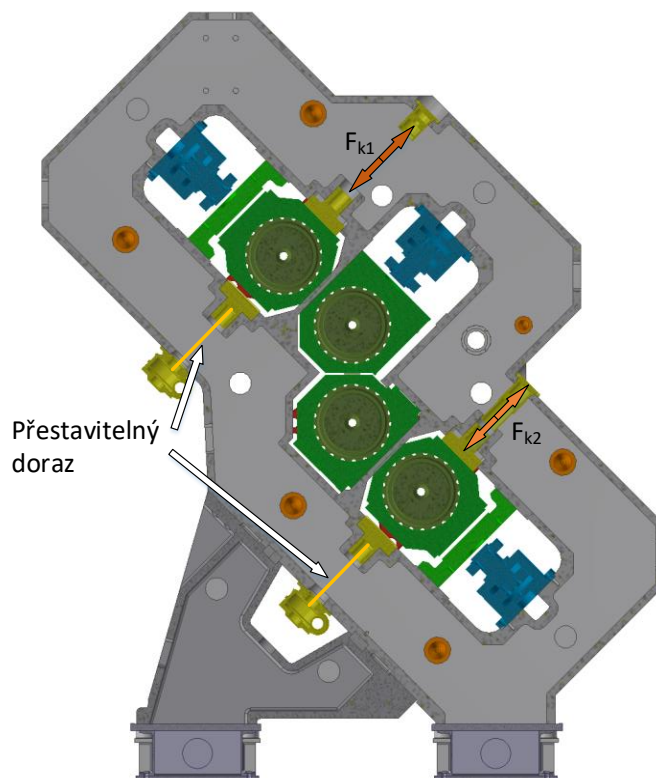
Tabulka 2 - Velikosti sil od stavěcích válců

| Síla | Velikost maximální síly [N] | Velikost typické provozní síly [N] |
|----------|-----------------------------|------------------------------------|
| F_{s1} | 1 000 000 | 450 000 + 100 158 (protiohyb) |
| F_{s2} | 1 000 000 | 135 000 + 59 554 (vymezení vůlí) |
| F_{s3} | 1 000 000 | 450 000 + 100 158 (protiohyb) |

7.5.2 Síly na systému křížení

Systém křížení se skládá ze dvou hlavních částí. První část, která je mechanická, je složena z převodovky se šnekovým převodem, pohybového šroubu a kamene. Kámen je šroubem posouvám kolmo k ose pracovního válce. Druhou částí, která je hydraulická a leží na druhé straně pracovního válce, je složena z hydraulického válce a kamene. Kámen je válcem přitlačován kolmo k ose pracovního válce. Hydraulická část systému vymezuje vůle a vyvíjí sílu F_{k1} , resp. F_{k2} . Mechanická část je pevná (působí jako přestavitelný doraz) a zachycuje a

dále do rámu přenáší reakce od sil F_{k1} a F_{k2} . Pevný doraz je do modelu vložen jako 1D absolutně tuhý element.



Obrázek 36 - Zobrazení působíště a směru působení sil od systému křížení

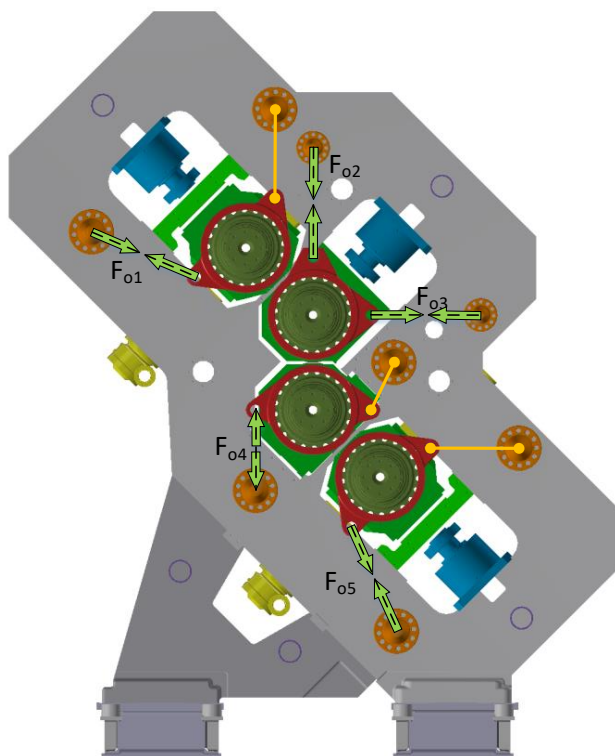
Velikost sil vyvolaných hydraulickými válci se spočetla jako součin pracovního tlaku a plochy pístu válce. Pracovní tlak je 7 MPa a píst má průměr 110 mm. Jedná se o trvale nastavenou hodnotu.

Tabulka 3- Velikost sil od systému křížení

| Síla | Velikost síly [N] |
|----------|-------------------|
| F_{k1} | 66 525 |
| F_{k2} | 66 525 |

7.5.3 Síly od systému ohybu válců

Pracovní válce mají prodloužené čepy o 650 mm, na kterých je ložiskový domek (zobrazen červeně) s ložiskem. Tento domek má na svém těle oka pro připojení táhel (zobrazena žlutě) a hydraulických válců. Těmito hydraulickými válci je realizováno samotné ohýbání pracovních válců tak, aby se vykompenzoval průhyb od technologického zatížení, či vymezení vůlí u pracovního válce č. 2. Hydraulické válce a táhla jsou s rámem spojeny přes konzolky (zobrazeny oranžově) a konzolky jsou s rámem spojeny 12 šrouby. Táhla jsou do modelu vložena jako 1D absolutně tuhý element.



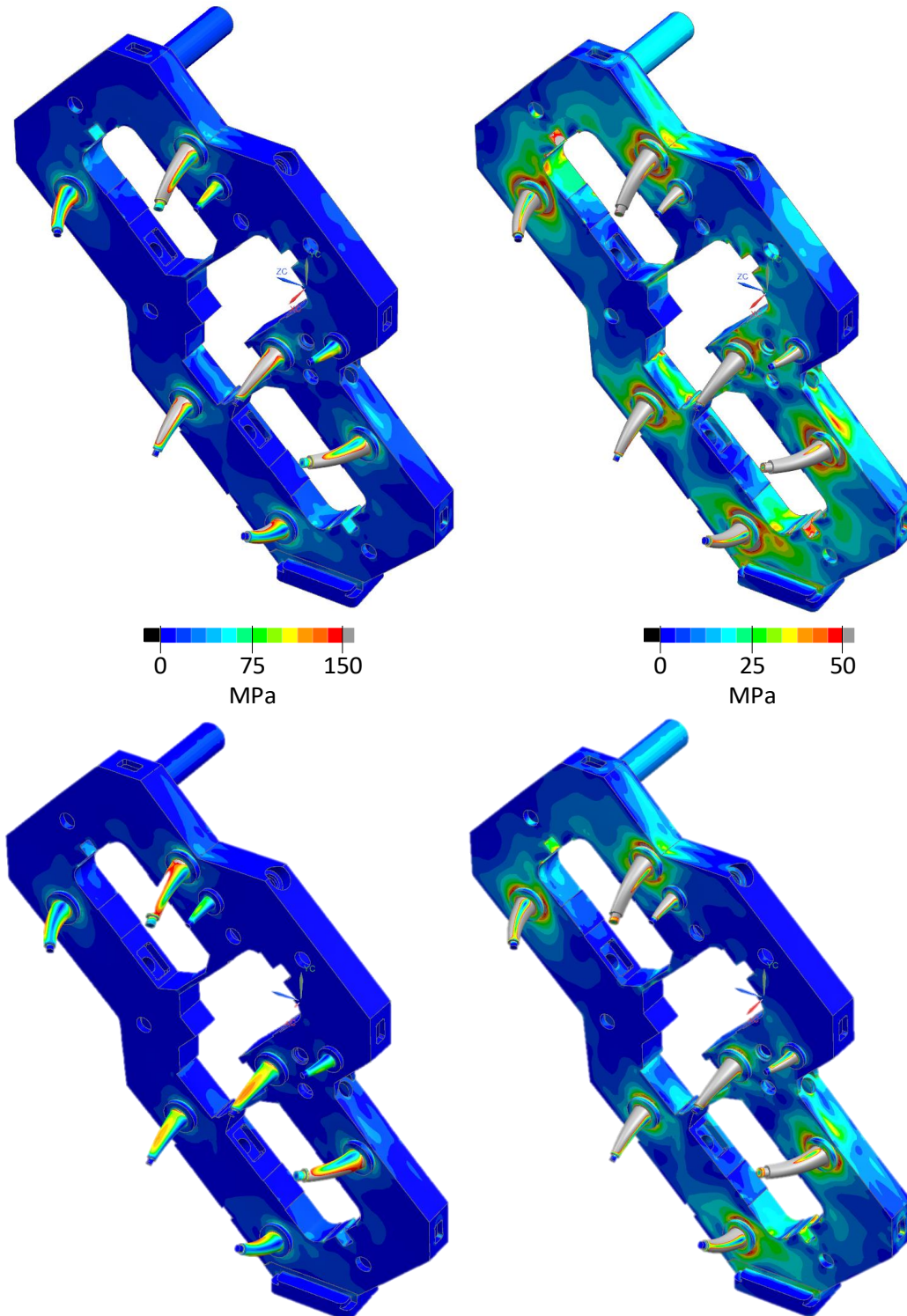
Obrázek 37 - Zobrazení působíště a směru působení sil systému ohybu

Tabulka 4 - Velikosti sil od systému ohybu při maximálním tlaku 11 MPa

| Síla | Velikost maximální síly [N] | Velikost typické provozní síly [N] | Rameno momentu [m] |
|----------|-----------------------------|------------------------------------|--------------------|
| F_{o1} | 146 474 | 108 024 | 0,65 |
| F_{o2} | 54 928 | 42 111 | 0,32 |
| F_{o3} | 54 928 | 42 111 | 0,32 |
| F_{o4} | 171 806 | 100 629 | 0,65 |
| F_{o5} | 146 474 | 108 024 | 0,65 |

7.6 Výsledky pevnostního výpočtu

V této kapitole jsou shrnuty výsledky výpočtu stojanu bez podpůrné nohy a bez vlivu gravitace. Pro větší přehlednost je zobrazen rám stroje bez válců a ložiskových těles. Výpočet kalandru byl proveden i s podpůrnou nohou a uvažováním vlivu gravitace a zhodnocení jeho tuhosti je v kapitole 7.7.1.



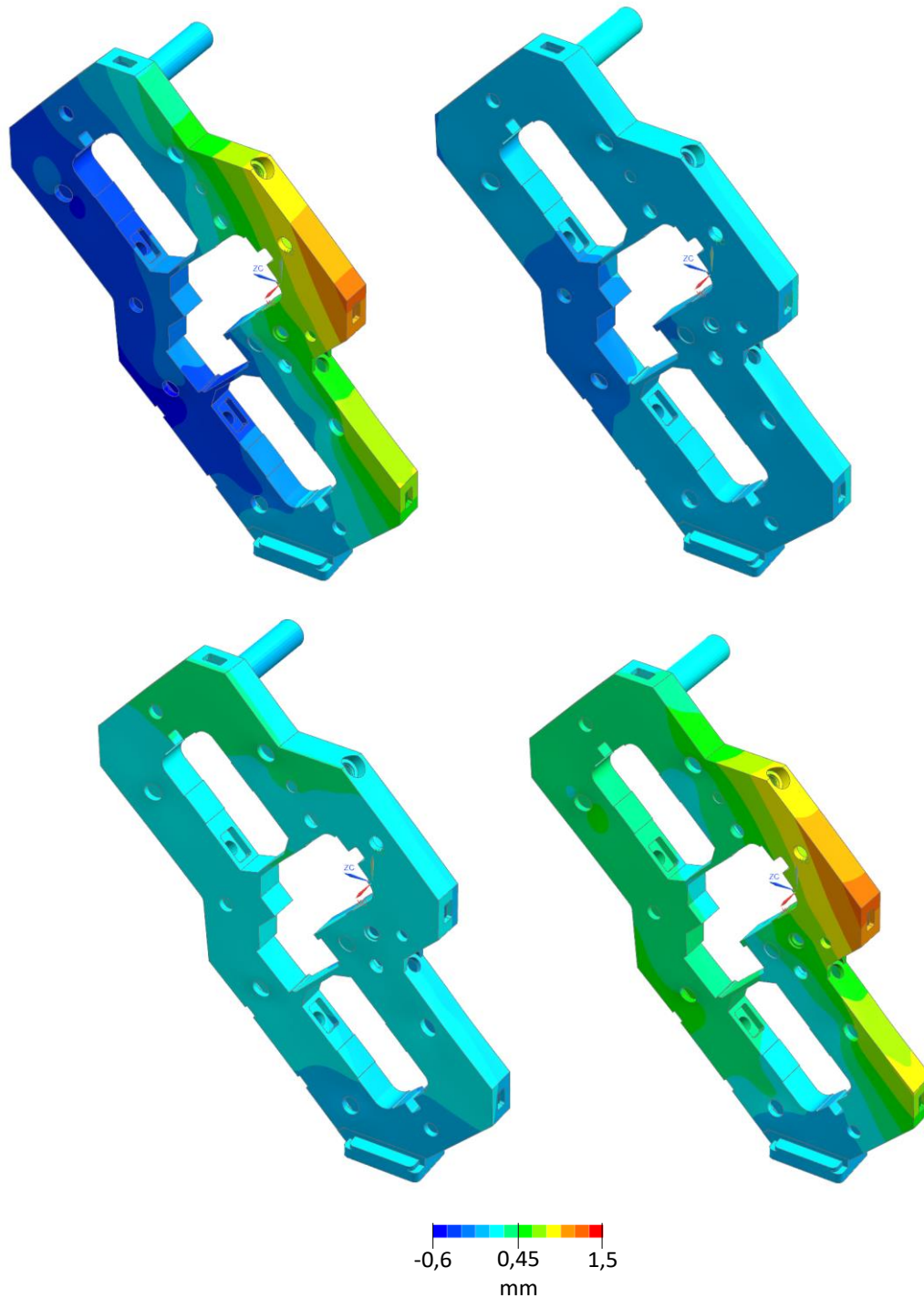
Obrázek 38 – Zobrazení průběhu napětí při maximálním zatížení (horní řada) a typickým provozním zatížením (spodní řada) kalandru 03741 s litým stojanem, (průměrované, redukované von Mises) [MPa]

Z hlediska pevnosti je konstrukce dostatečně dimenzována.

Nejslabším článkem jsou konzoly, které přenášejí zatížení protiohybu válců. Protože je diplomová práce řešena na téma stojan kalandru, tak zde není konzola dále řešena, nicméně byla řešena v rámci nadřazeného projektu.

7.7 Výsledky posunutí a tuhosti

Následující obrázek reprezentuje posunutí simulované sto kalandru zatíženého maximálními silami.

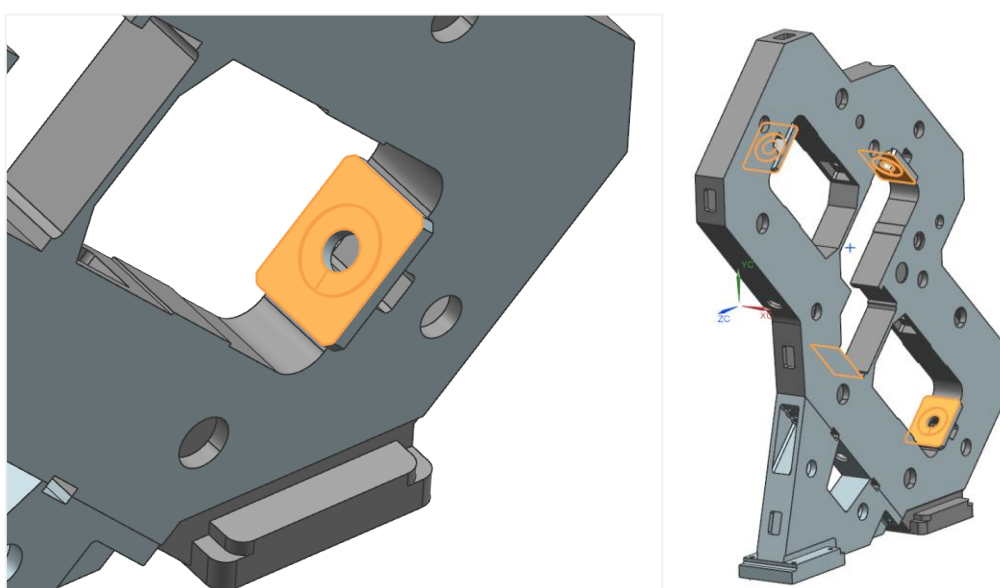


Obrázek 39 - Posunutí ve směru osy X (vlevo nahoře), Y (vpravo nahoře), Z (vlevo dole) a celkové (vpravo dole) [mm] posunutí kalandru 03741 s litým stojanem zatíženým maximálními silami

Protože samotné výsledky posunutí jsou obtížně využitelné při návrhu nového zařízení, přistoupili jsme ke stanovení tuhosti stojanu.

7.7.1 Měření tuhosti rámu

Výsledná tuhost byla změřena jako podíl maximální stavěcí síly a natažení stojanu v daném směru působení. Tyto směry jsou dva, první směr je rovnoběžný se směrem působení stavěcích válců č. 1 a č. 4. Druhý směr je totožný se směrem působení stavěcího válce č. 2. Jelikož tyto směry nejsou rovnoběžné s hlavním souřadným systémem, byl ještě před provedením výpočtu vytvořen systém pomocný, který je oproti hlavnímu natočen o 45° v rovině stojanu. Tím se usnadní odečítání posunutí měřených ploch v těchto směrech. Měřenými plochami jsou tři desky určené pro připevnění stavěcích válců a dosedací plocha pro ložiskový domek pracovního válce č. 3. Právě jejich posunutí, resp. součet hodnot posunutí dvou protilehlých ploch, je bráno jako celkové natažení stojanu v daném směru.



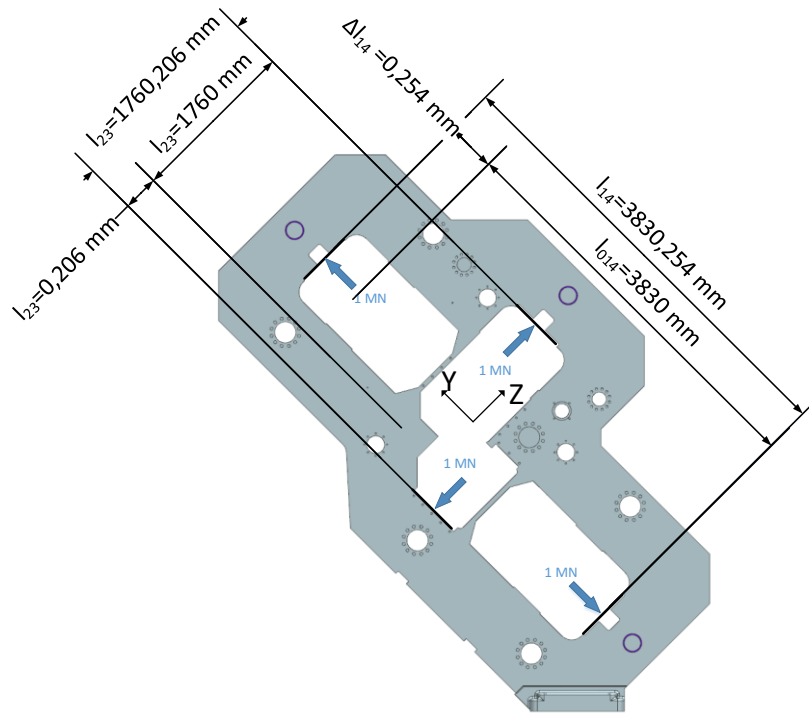
Obrázek 40 – Měřené plochy

Následující tabulka udává hodnoty tuhostí v obou zkoumaných směrech pro výpočet stojanu kalandru bez podpůrné nohy a s podpůrnou nohou. U výpočtu stojanu s nohou byl brán v potaz i vliv gravitace.

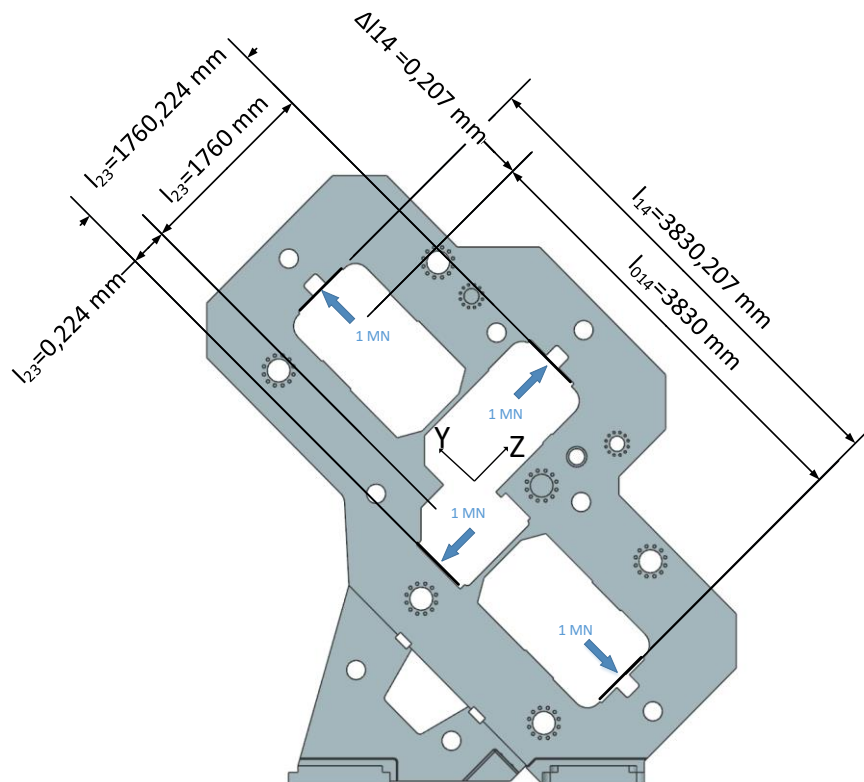
Tabulka 5 – Posunutí a tuhosti stojanu ve směrech Y a Z

| Stojan bez podpůrné nohy | | | Stojan s podpůrnou nohou | | |
|--------------------------|-----------|-------|--------------------------|-----------|-------|
| Posunutí ve směru Y | 0,254068 | mm | Posunutí ve směru Y | 0,207481 | mm |
| Posunutí ve směru Z | 0,205570 | mm | Posunutí ve směru Z | 0,223894 | mm |
| Působící síla | 1 000 000 | N | Působící síla | 1 000 000 | N |
| Tuhost ve směru Y | 3,94 | MN/mm | Tuhost ve směru Y | 4,82 | MN/mm |
| Tuhost ve směru Z | 4,86 | MN/mm | Tuhost ve směru Z | 4,47 | MN/mm |

Obrázky Obrázek 41 - Odečítání deformací v modelu kalandru bez podpory stojanu a působení gravitace37 a 38 znázorňují směry, v nichž bylo měřeno posunutí kontrolních ploch stojanu.37



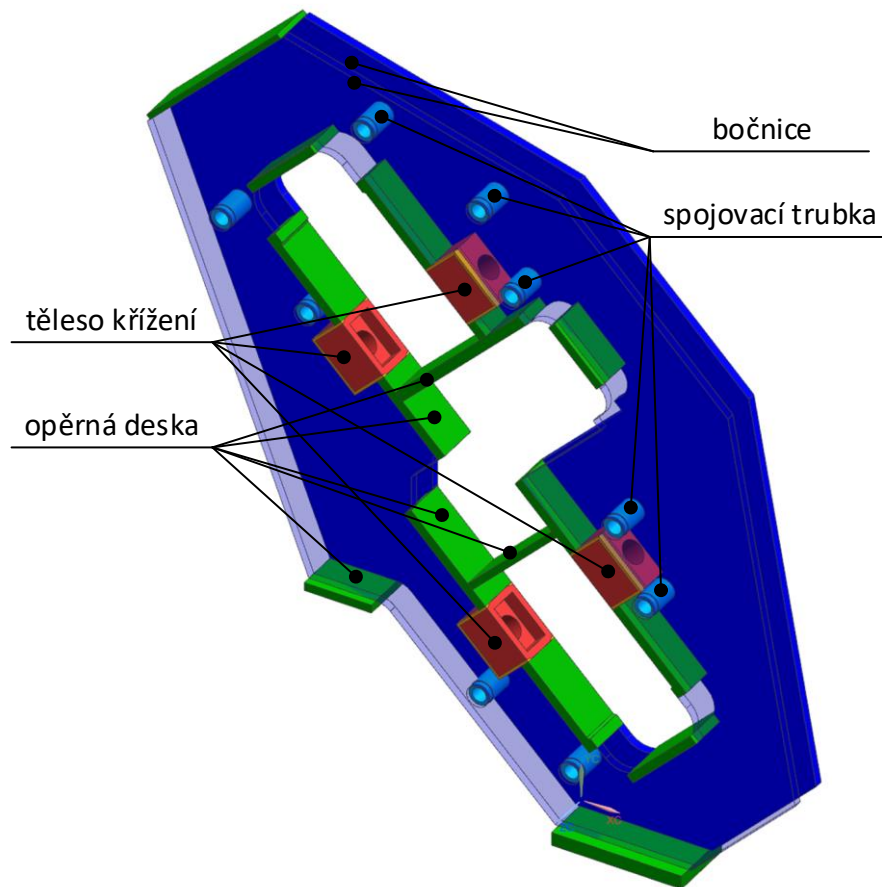
Obrázek 41 - Odečítání deformací v modelu kalandru bez podpory stojanu a působení gravitace



Obrázek 42 - Odečítání deformací v modelu kalandru s podporou stojanu a s působením gravitace

8 Obecný návrh svařence čtyřválcového kalandru

S ohledem na převládající tvar stávajícího stojanu kalandru bylo rozhodnuto navrhovat nový jako svařenec dvou navzájem propojených rovnoběžných desek - bočnic.



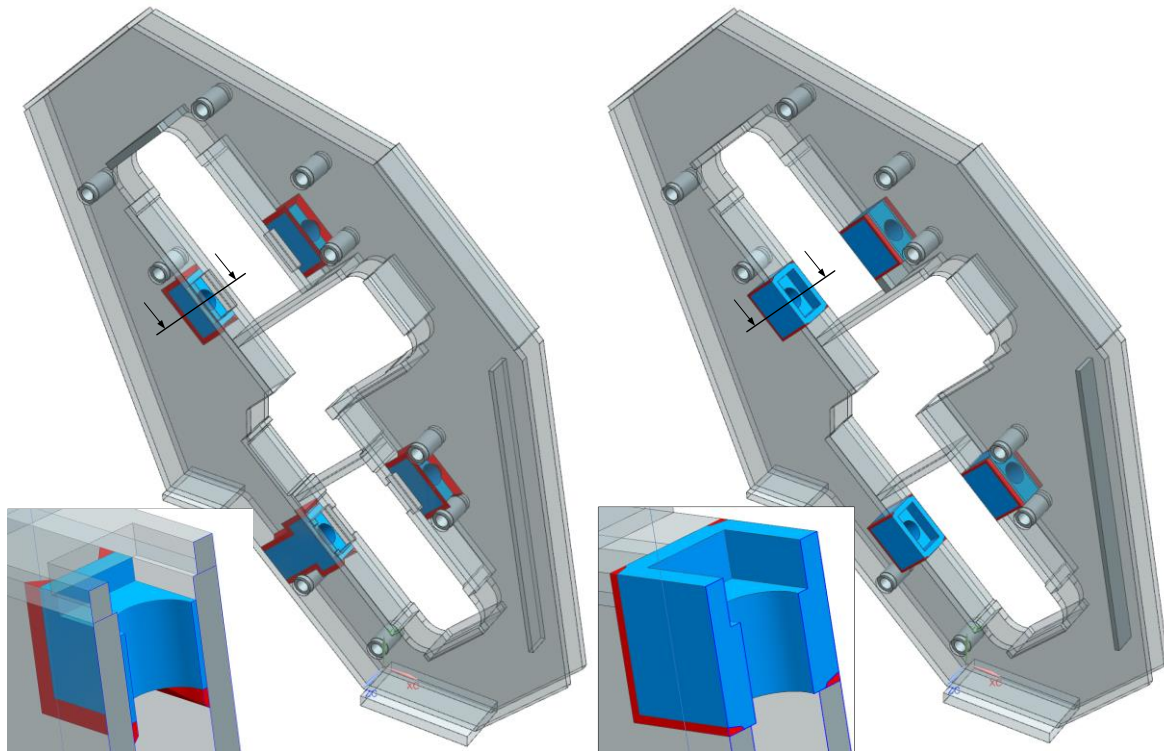
Obrázek 43 - Prvotní návrh svařovaného stojanu (částečná průhlednost přední bočnice, bez podpěrné nohy)

8.1 Analýza způsobu vložení tělesa křížení mezi desky stojanu

Byly navrženy dva způsoby vložení těles křížení mezi bočnice. Prvním způsobem vložení těles je přivaření mezi bočnic. Druhým je přivaření těles do otvorů vytvořených v bočnicích.

8.1.1 Způsob první – přivaření těles mezi desky

Smyslem přivaření těles mezi desky je zachování celistvosti desek, které přenáší pracovní síly mezi stavěcími válci. Komplikací je nutnost provedení svarů mezi deskami ve vzdálenosti 160 mm od vnějšího okraje stojanu. Nevýhodou je přenos zatížení pouze smykovým zatížením použitého svaru.



Obrázek 44 - Celkový pohled a detail řezu vložení tělesa mezi desky (vlevo: přivaření mezi desky; vpravo: přivaření do otvorů v bočnicích)

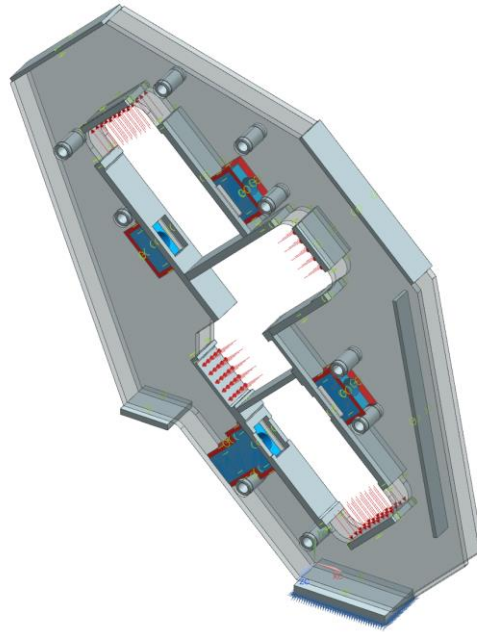
8.1.2 Způsob druhý – přivaření těles do otvorů v bočnicích

Vložním těles do otvorů vytvořených v deskách bočnic dochází k narušení celistvosti desek bočnice, které jsou zatížené pracovními silami. Výhodou je snazší vyrobiteľnosť, pretože jsou svary přístupné z vnějšku.

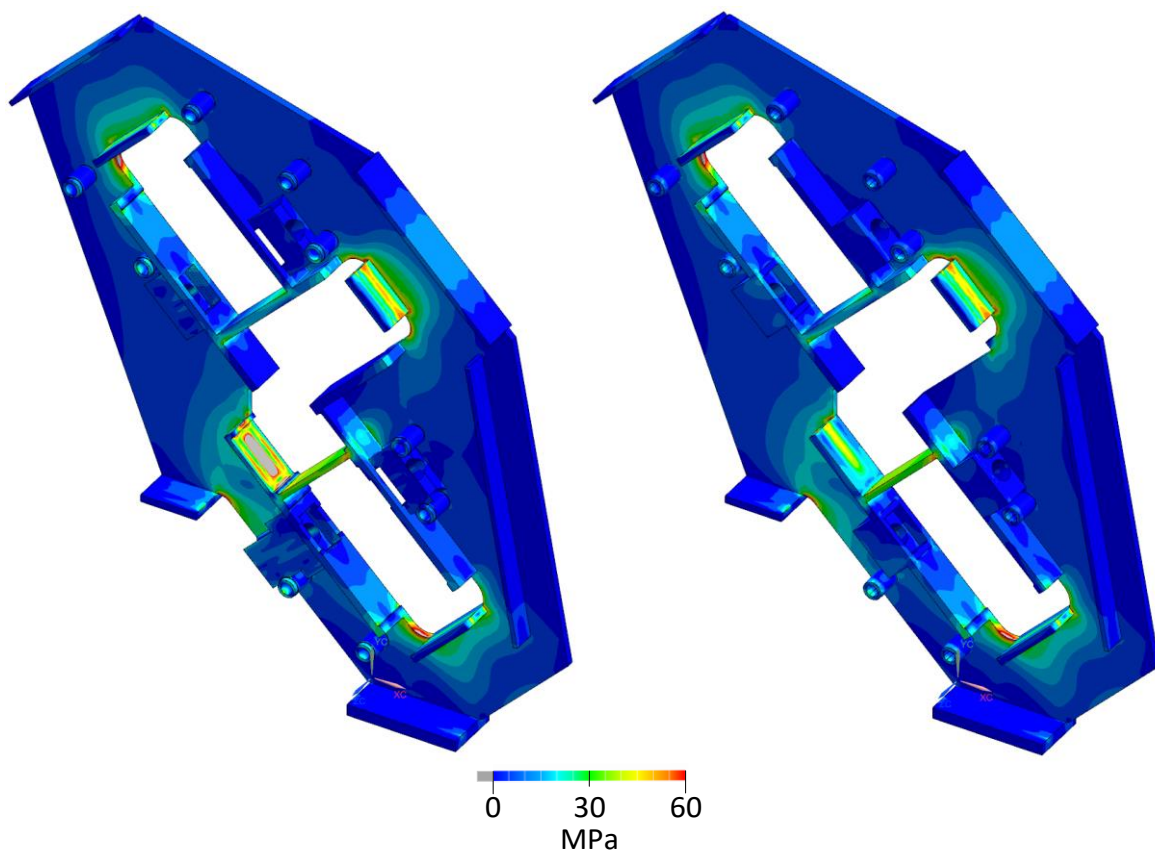
8.1.3 Virtuální simulace

Skutečné tělesa křížení nejsou při provozu stroje nijak zatížena (jediné zatížení může nastat vlivem tření pohybujícího se ložiskového tělesa uchycení válce). Pro simulaci je proto využito pouze samotný stojan zatížený stavěcími silami (vždy 1 MN) válců, viz následující Obrázek 45.

V modelu jsou modelovány plánované svary a pouze jimi jsou tělesa křížení spojena s deskami bočnic.



Obrázek 45 - Virtuální model simulace možností vložení tělesa křížení



Obrázek 46 - Zobrazení průběhu redukovaného napětí zatíženého stojanu (vlevo: přivaření mezi desky; vpravo: přivaření do otvorů v bočnicích), odstraněna přední bočnice

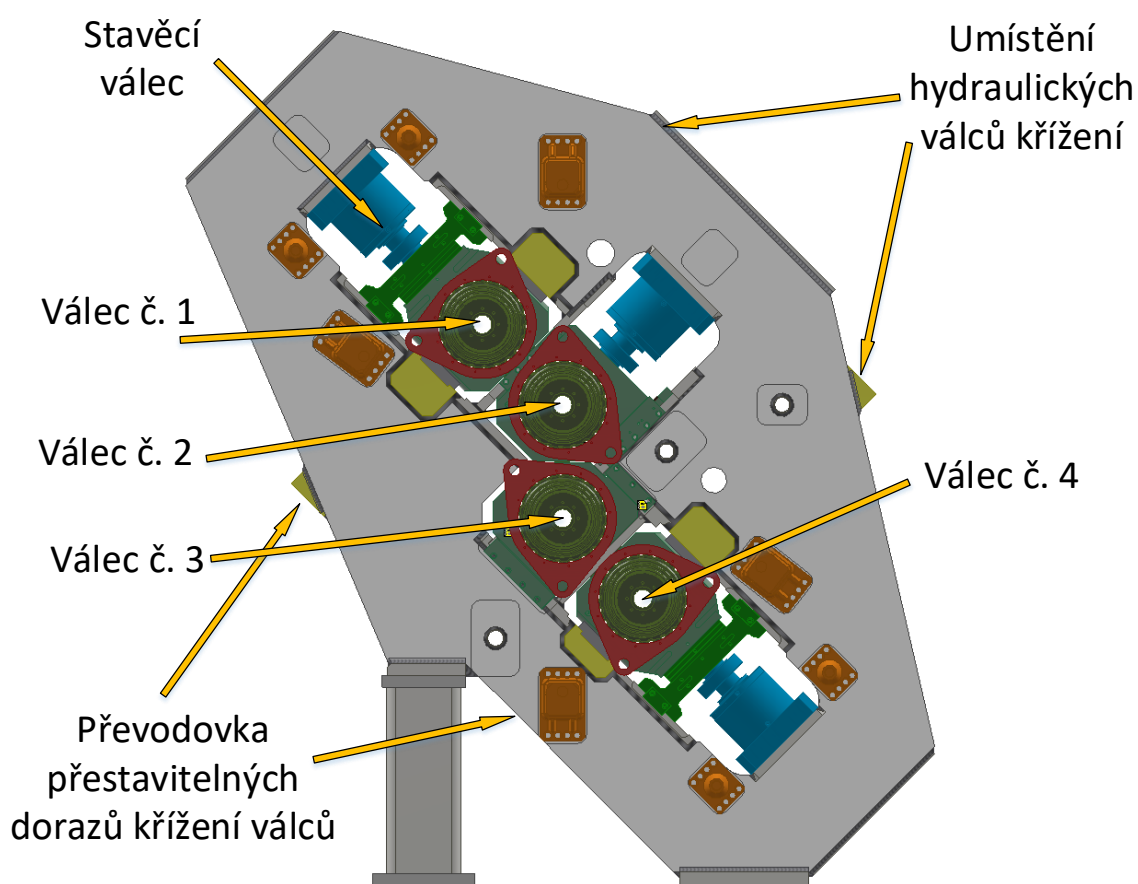
Z výsledků simulace zatížení je zřejmé, že způsob vložení tělesa křížení nemá na celek stojanu kalandru vliv. Dále bude používán způsob přivaření do otvorů v bočnicích, jelikož svar je zde prováděn z venku stojanu.

9 Prvotní návrh nové stojanu kalandru

Nově navrhovaný kalandr se oproti vzorovému s litým stojanem liší rozměry válců (vzorový $\varnothing 650 \times 1\,800$ a nově navrhovaný $24" \times 68"$ (cca 610×1727)).

9.1 Popis stroje

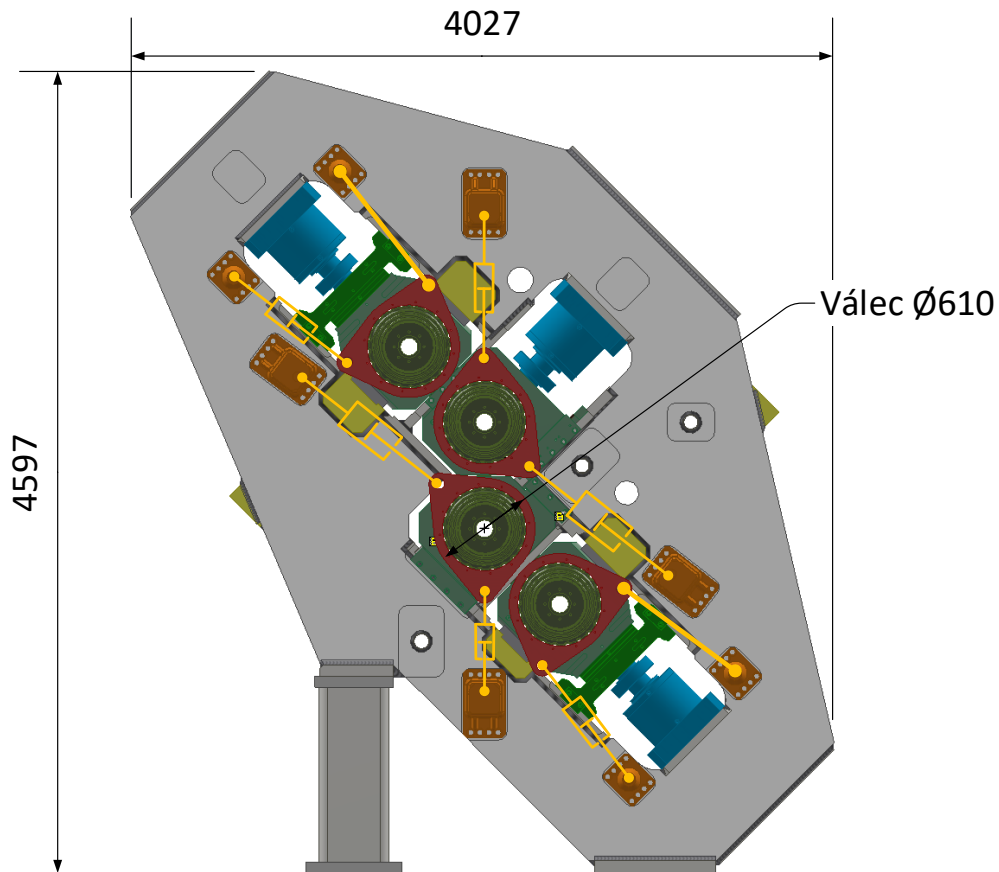
Kalandr se skládá z několika hlavních částí. Nosnou částí je rám tvořený dvěma stojany, který je pevně ukotven v masivním betonovém základu, aby měl dostatečnou stabilitu. Mezi stojany jsou vlastní pracovní válce, které zpracovávají příchozí pryžovou směs a z ní válcují výsledné produkty. Válce jsou v tomto případě 4 a číslovány se od horního ke spodnímu. Jsou uloženy tak, že připomínají písmeno S. Pístnice stavěcích válců jsou pevně spojeny s hlavním ložiskovým domem pracovních válců a ustavují pracovní válce do správných poloh tak, aby měl výsledný produkt požadovanou šířku.



Obrázek 47 - Popis základních částí kalandru

9.2 Pohyby a rozměry stroje

Kromě vlastní rotace se pracovní válce i posouvají a to působením právě stavěcích válců. Zároveň jsou v obrázku Obrázek 48 žlutými čarami znázorněna táhla a hydraulické válce systému ohybu válce. Na obrázku je rovněž zakótována délka a výška stroje. Osová vzdálenost stojanů je 2240 mm.

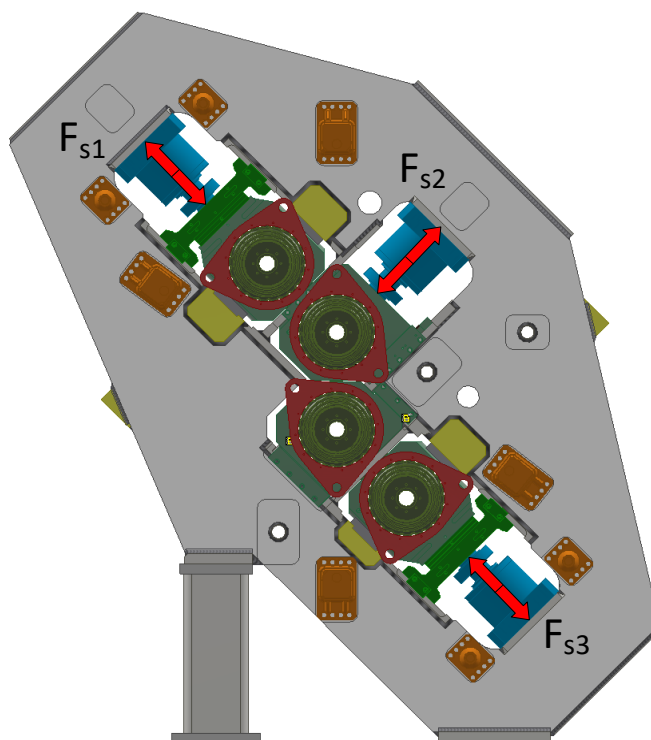


Obrázek 48 - Pohyby, táhla, hydraulické válce a rozměry kalandru

9.3 Nové zatížení stojanu kalandru

Nový kalandr bude osazen vylepšeným způsobem protiohbu třetího válce. Vylepšení se projevuje změnou umístění konzol protiohybu druhého a třetího válce a náhradou dvou pevných táhel hydraulickým válcem.

9.3.1 Síly na stavěcích válcích



Obrázek 49 - Zobrazení působiště a směru působení sil od stavěcích válců

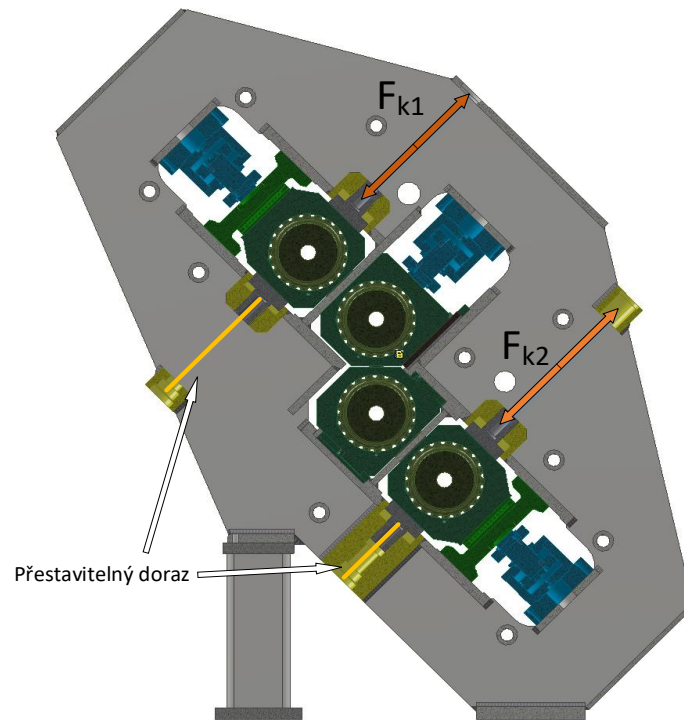
Stavěcí válce ustavují pracovní válce do požadovaných poloh. Síly od válcovacího procesu a zatížení od protiohybu pracovních válců jsou přenášeny do stojanu přes stavěcí hydraulické válce, které pracovní válce polohují na předepsanou šterbinu. Síly vyvinuté stavěcími válci jsou reakcí na sílu od válcovacího procesu. Stavěcí válce jsou usazeny v masivní přírubě, která je k rámu připevněna šrouby.

Tabulka 6 - Velikosti sil od stavěcích válců

| Síla | Typické síly [N] | Maximální síly [N] |
|----------|------------------|--------------------|
| F_{s1} | 520 000 | 1 000 000 |
| F_{s2} | 177 040 | 1 000 000 |
| F_{s3} | 520 000 | 1 000 000 |

9.3.2 Síly na systému křížení

Systém křížení se skládá ze dvou hlavních částí. První část, která je mechanická, je složena z převodovky se šnekovým převodem, pohybového šroubu a kamene. Kámen je šroubem posouvám kolmo k ose pracovního válce. Druhou částí, která je hydraulická a leží na druhé straně pracovního válce, je složena z hydraulického válce a kamene. Kámen je válcem přitlačován kolmo k ose pracovního válce. Hydraulická část systému vymezuje vůle a vyvíjí sílu F_{k1} , resp. F_{k2} . Mechanická část je pevná (působí jako přestavitelný doraz) a zachycuje a dále do rámu přenáší reakce od sil F_{k1} a F_{k2} . Pevný doraz je do modelu vložen jako 1D absolutně tuhý element.



Obrázek 50 - Zobrazení působiště a směru působení sil od systému křížení

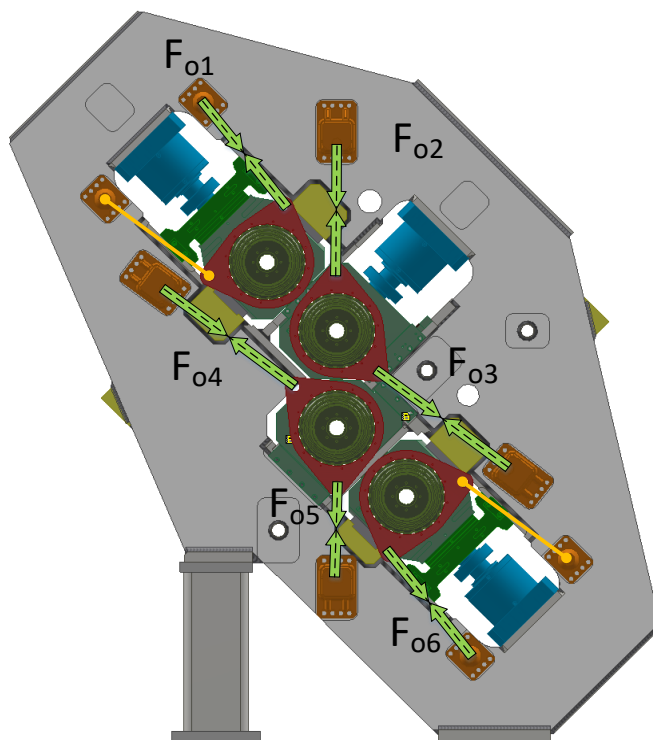
Velikost sil vyvolaných hydraulickými válci se spočetla jako součin pracovního tlaku a plochy pístu válce. Pracovní tlak je 7 MPa a píst má průměr 110 mm.

Tabulka 7- Velikost sil od systému křížení

| Síla | Velikost síly [N] |
|----------|-------------------|
| F_{k1} | 66 525 |
| F_{k2} | 66 525 |

9.3.3 Síly od systému ohybu

Pracovní válce mají prodloužené čepy, na kterých jsou ložiskové kroužky (zobrazeny červeně) s ložisky. Tento kroužek má na svém těle oka pro připojení táhel (zobrazena žlutě) a hydraulických válců. Těmito hydraulickými válci je realizováno samotné ohýbání pracovních válců tak, aby se vykompenzoval průhyb od technologického zatížení. Hydraulické válce a táhla jsou s rámem spojeny přes konzoly (zobrazeny oranžově) a konzoly jsou s rámem spojeny 8 šrouby. Táhla jsou do modelu vložena jako 1D absolutně tuhý element.



Obrázek 51 - Zobrazení působíště a směru působení sil systému ohybu

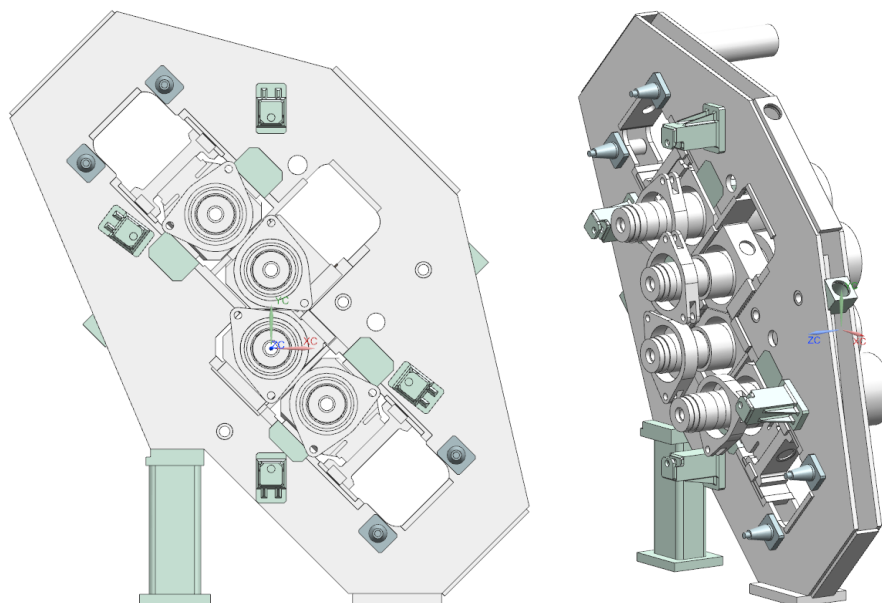
Tabulka 8 - Velikosti sil od systému ohybu

| Síla | Typické síly [N] | Maximální síly [N] | Rameno momentu [m] |
|----------|------------------|--------------------|--------------------|
| F_{o1} | 35 344 | 50 491 | 0,26 |
| F_{o2} | 35 000 | 50 000 | 0,46 |
| F_{o3} | 170 000 | 201 966 | 0,46 |
| F_{o4} | 170 000 | 201 966 | 0,46 |
| F_{o5} | 35 000 | 50 000 | 0,46 |
| F_{o6} | 35 344 | 50 491 | 0,26 |

9.4 Výpočet zatížení stojanu 1. návrhu kalandru s využitím MKP

9.4.1 3D model

Pro zjednodušení výpočtu, zkrácení doby přípravy modelu a samotného vypočtení úlohy, byla vzhledem k symetričnosti stroje zpracována pouze jedna polovina stroje. Zároveň byl model zjednodušen tak, že všechny svary vyskytující se na stojanu, byly odstraněny. Jednotlivé díly, které jsou ve skutečnosti spojeny svary, jsou spojeny v jedno těleso. Výpočet, který by ukázal i namáhání jednotlivých svarů, je proveden až po nalezení optimální varianty žebrování a nachází se v kapitole 11.



Obrázek 52 – Zjednodušený 3D model pro výpočet

9.4.2 Materiály

Ve výpočtu jsou pro všechna tělesa (sítě) uvažovány materiálové charakteristiky oceli. $E = 207\,000\text{ MPa}$, Poissonova konstanta $\mu = 0,3$.

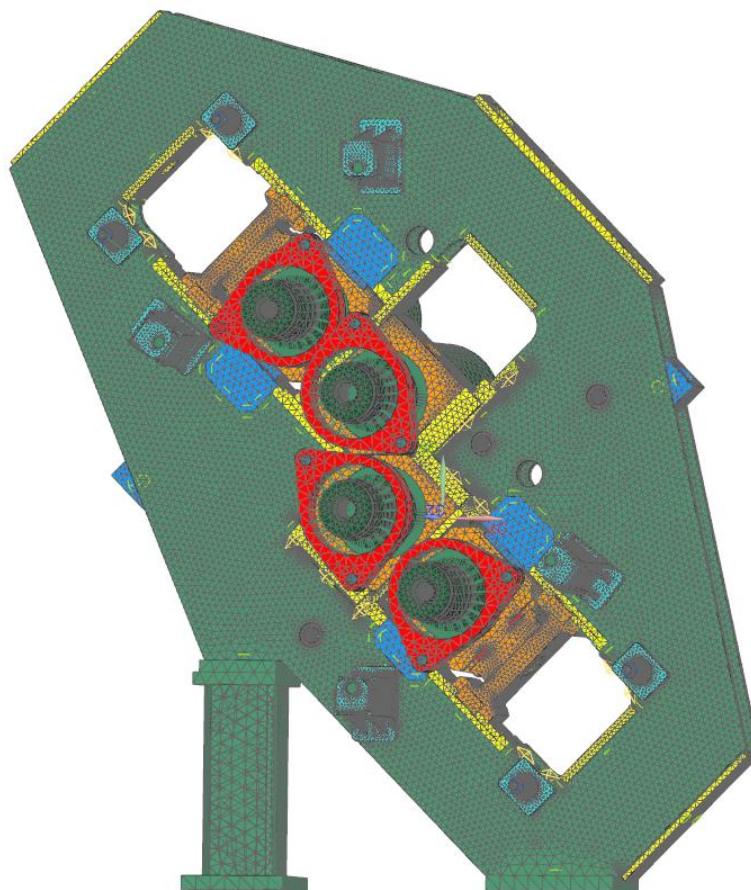
9.4.3 MKP síť

Pro výpočet byla využita kombinace 3D sítě a 1D spojovacích prvků. 3D prvky byly použity typu tetraedr s meziuzlem o maximální velikosti prvku 40 mm . Celkový počet 3D elementů je 742 120.

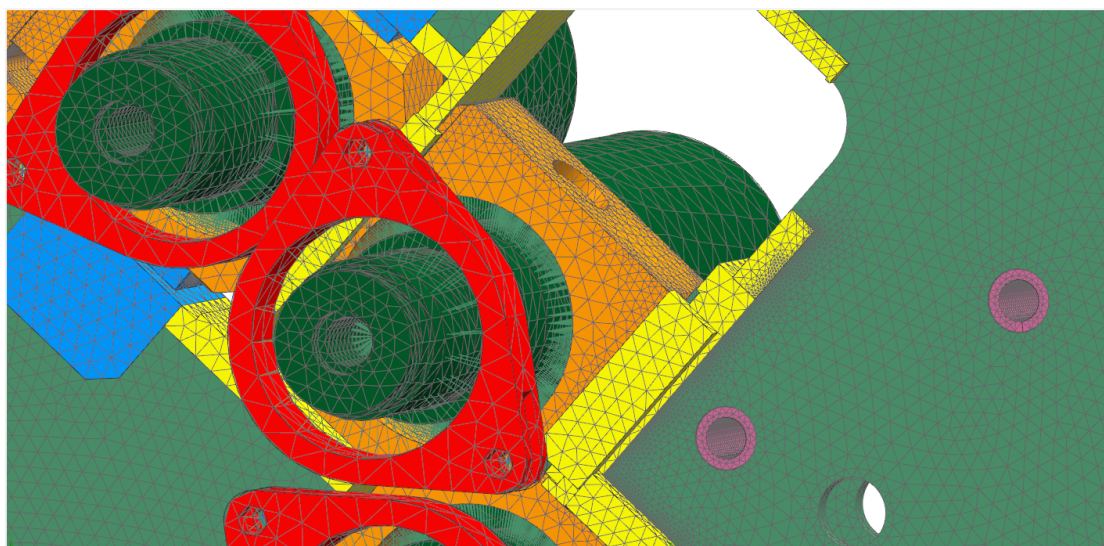
Pro náhrady ložisek, čepů, nebo hydraulických válců byly využity tuhé prvky typu rigid které při povolení vybraných stupňů volnosti nahradily vybrané geometrie.

Součásti stojanu jako opěrné desky, vodící desky, vedení křížicích opěrek a další jsou se stojanovými plechy spojeny svary. V tomto prvotním výpočtu byly tyto součásti upraveny a jejich síť jsou funkcí Mesh Mating spojeny se sítěmi stojanových plechů.

Konzoly jsou s plechy spojeny taktéž funkcí Mesh mating.

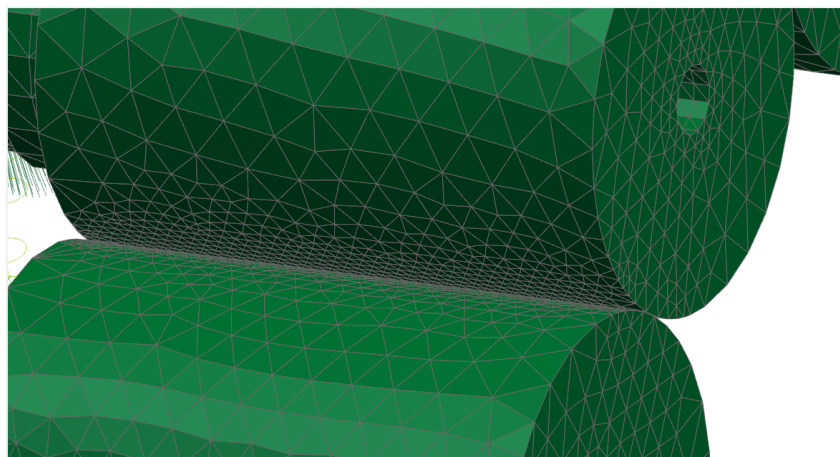


Obrázek 53 - MKP síť - celkový pohled

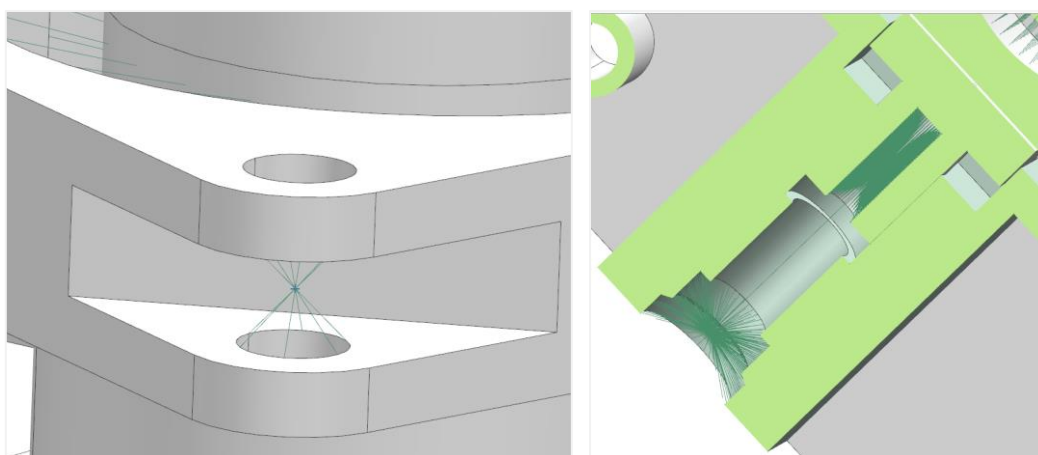


Obrázek 54 - MKP síť - detail náhrady ložisek 1D prvky

Pro ušetření počtu uzlů modelu byly pro síť pracovních válců použity prvky CTETRA4 o velikosti 80 mm. Síť však byla zjemněna na 20 mm v oblasti kontaktů mezi jednotlivými válci.

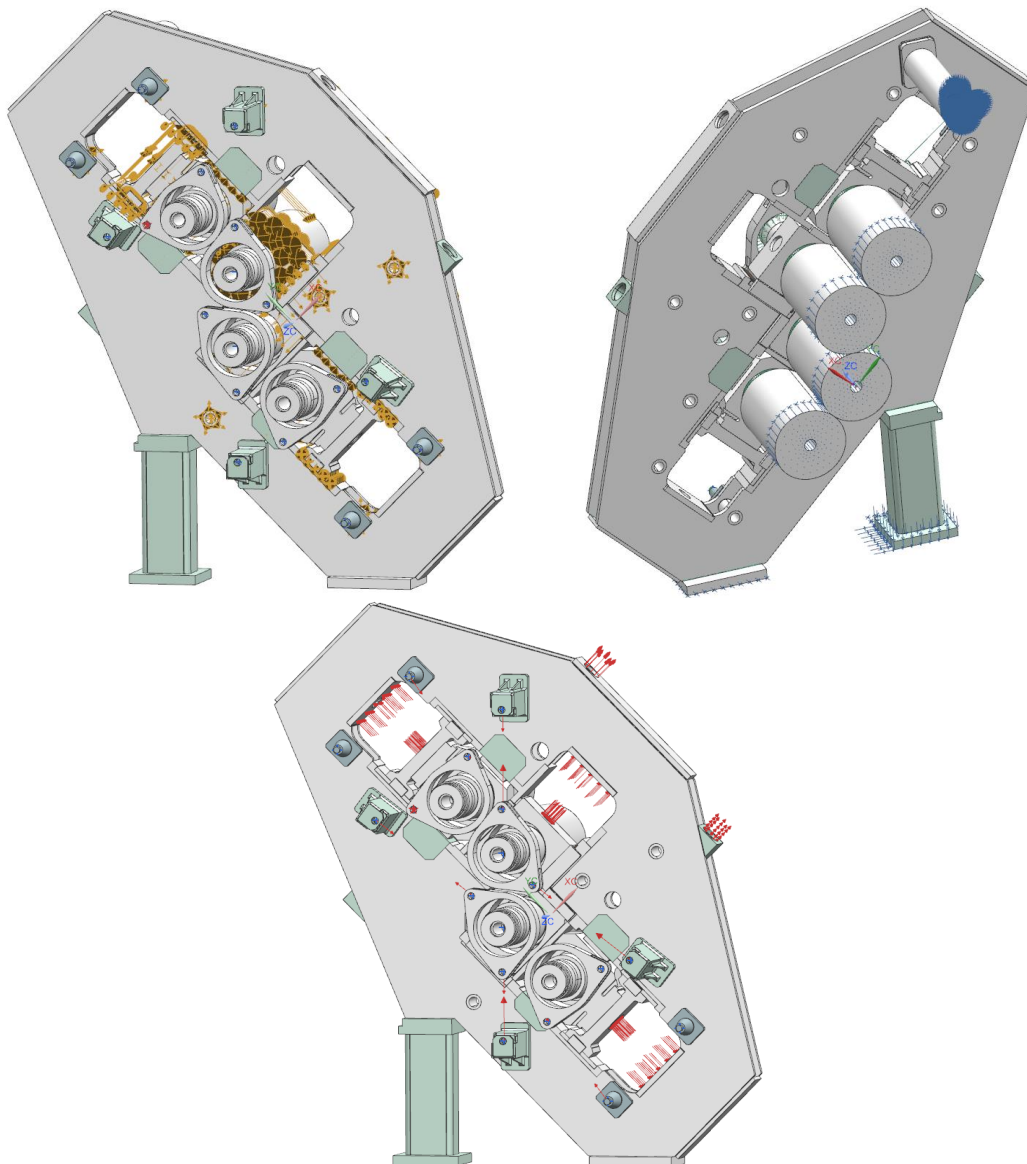


Obrázek 55 - MKP síť - detail sítě pracovních válců



Obrázek 56 MKP síť – detail rigidové růžice jako náhrady čepu a použití rigidových prvků jako pevného dorazu křížení válců

9.4.4 Okrajové podmínky výpočtu



Obrázek 57 - Okrajové podmínky typu kontakt a slepení (vlevo nahoře), uchycení modelu v prostoru s definicí symetrie (vpravo nahoře) a celkové zatížení modelu

- Definice kontaktů a spojení

Pro spojení sítí válcových spojek, které spojují oba stojanové plechy dohromady, byly využity okrajové podmínky slepení a u pohyblivých součástí jsou použity kontakty. Koeficient tření mezi kontaktními plochami je 0,15.

- Definice uchycení

Celý model je na spodní dosedací ploše pevně uchycen k základu, noha má zakázaný pohyb ve vertikálním směru a dále je využito symetrie konstrukce. Válce mají dále zakázán posun ve směru své osy rotace.

- Zatížení modelu

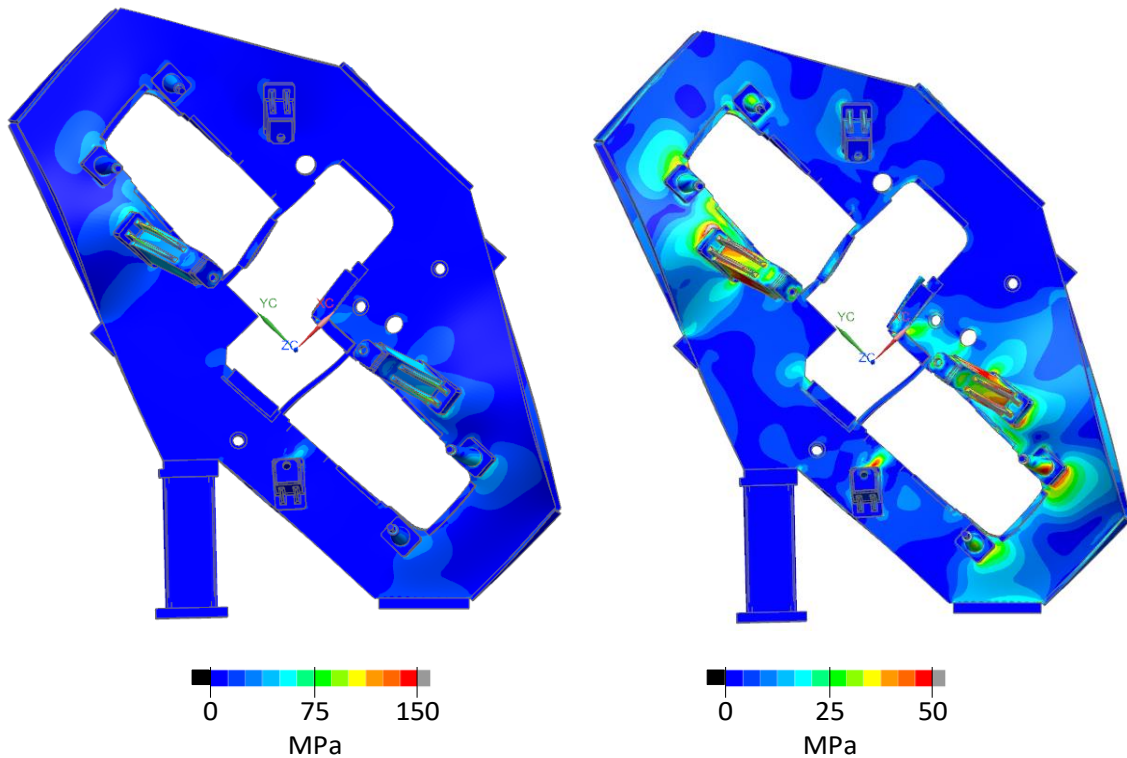
Hodnoty sil jsou uvedeny v předchozích kapitolách a výpočet byl proveden pro oba zatěžovací stavy.

9.4.5 Výsledky MKP výpočtu – typické zatížení

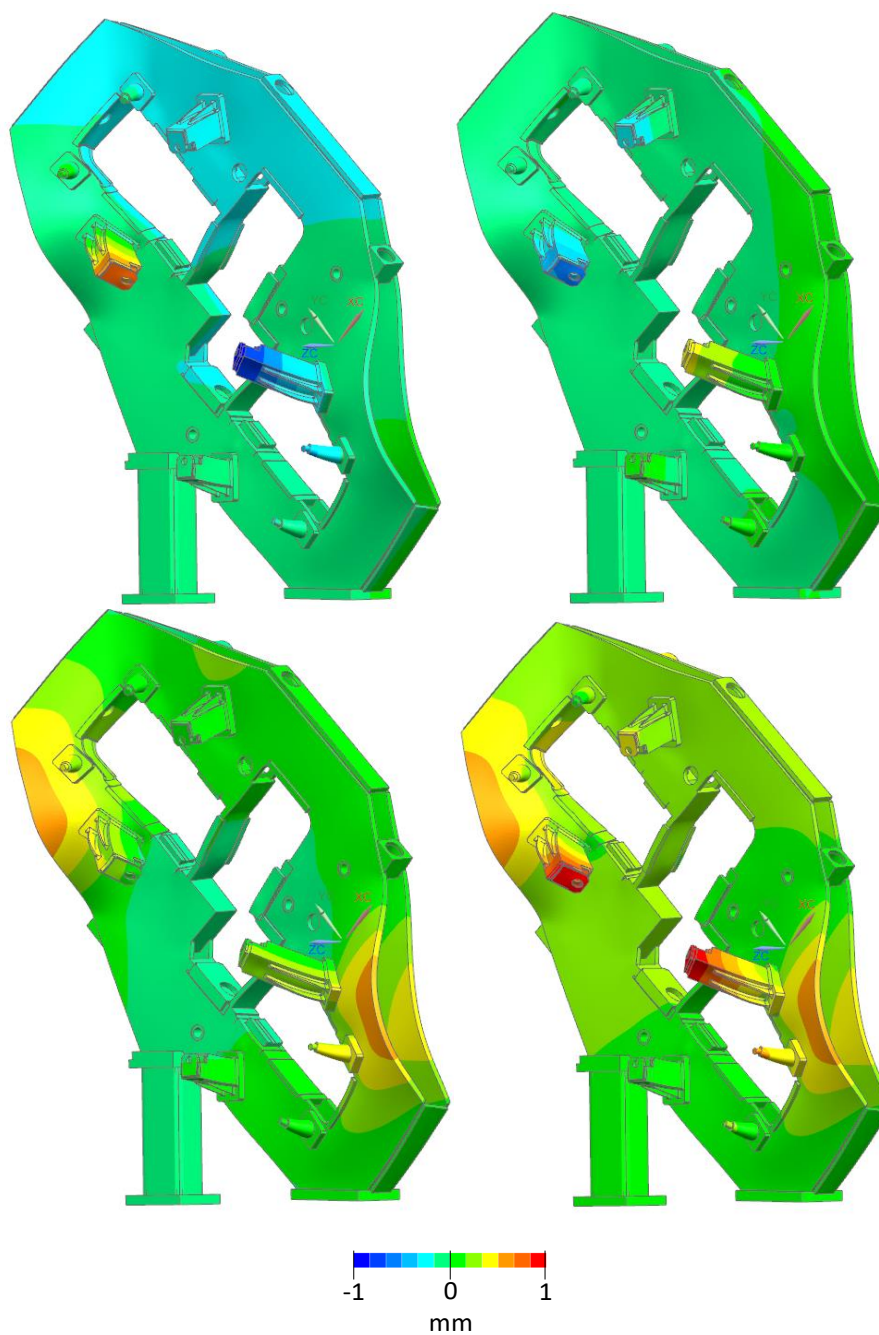
Pro větší přehlednost je zobrazen rám stroje bez válců a ložiskových těles.

Namáhání

Z hlediska pevnosti je konstrukce dostatečně dimenzována. Nejslabším článkem jsou konzoly systému protiohybu pracovních válců. Konkrétně ty konzoly, které přenášejí síly F_{03} a F_{04} .



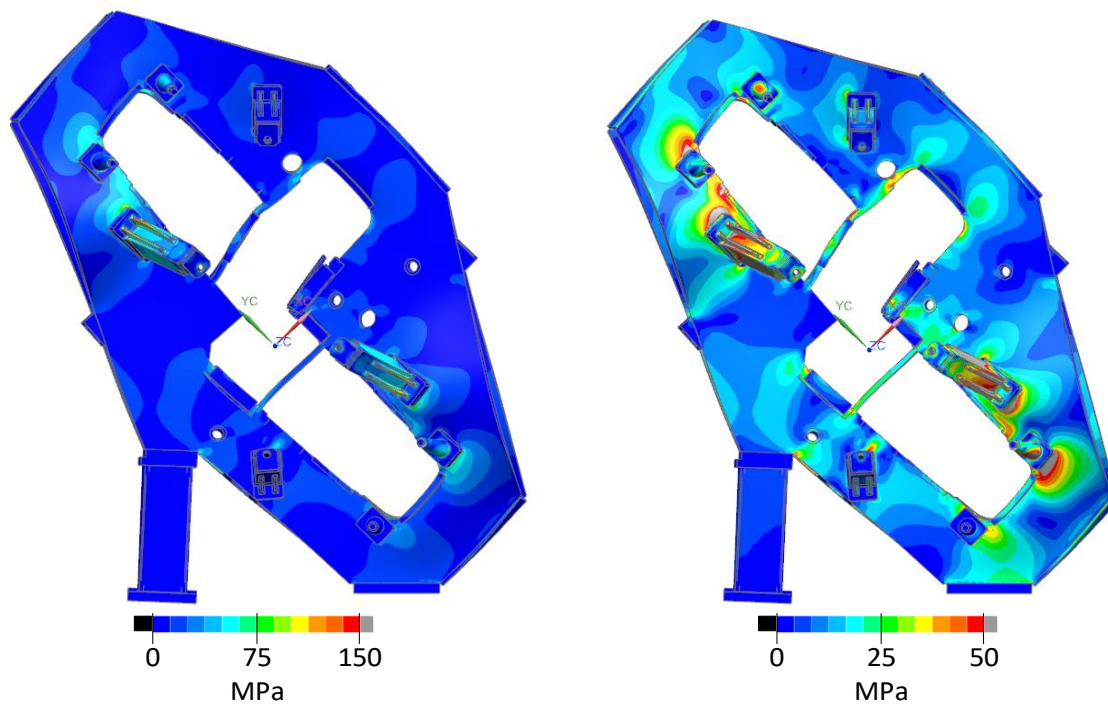
Obrázek 58 - Zobrazení redukovaného namáhání (Von - Mises [MPa], 10% zvýraznění deformací)

Výsledky posunutí

Obrázek 59 - Posunutí ve směru osy X (vlevo nahoře), Y (vpravo nahoře), Z (vlevo dole) a celkové (vpravo dole) [mm], 10% zvýraznění deformací

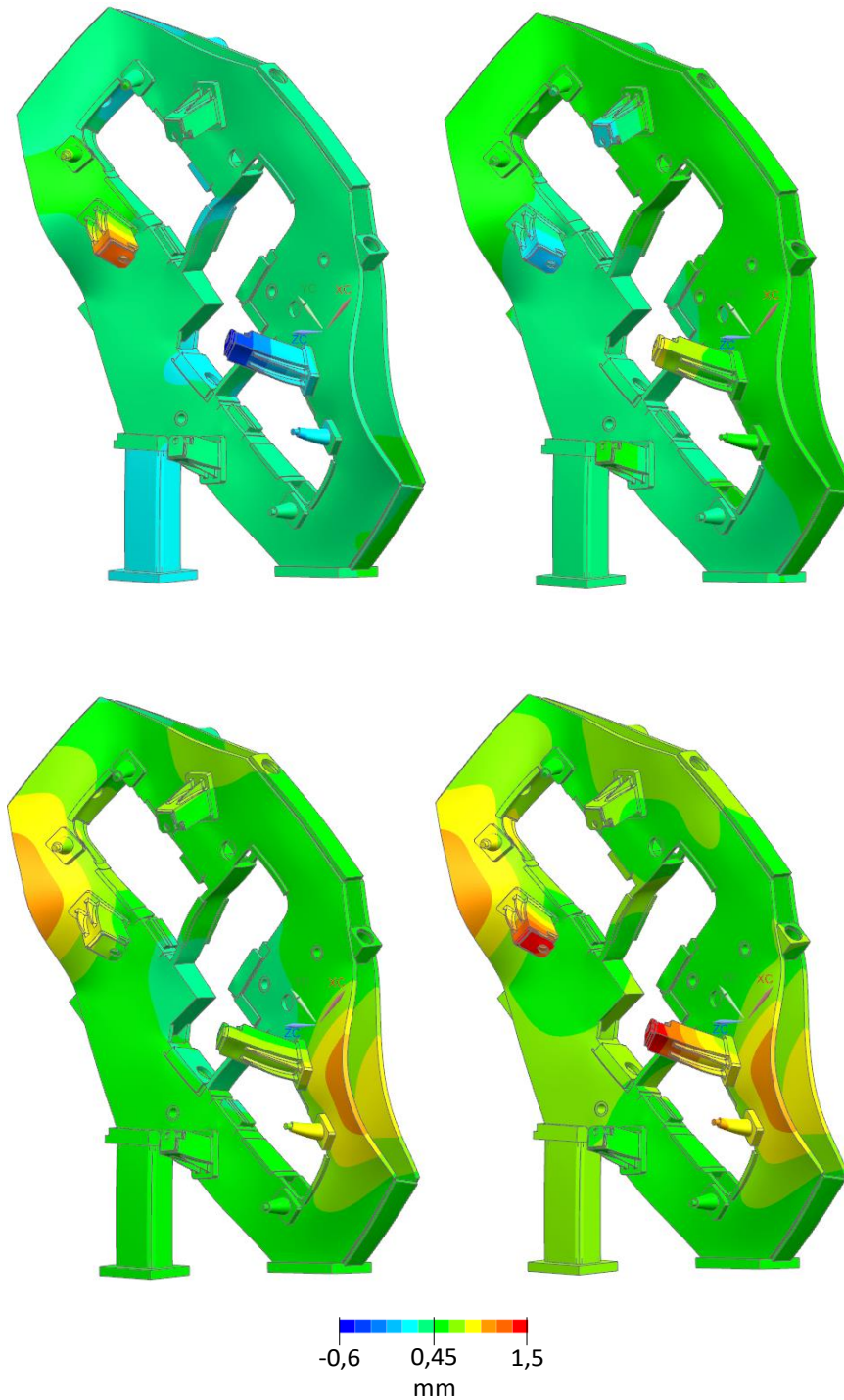
9.4.6 Výsledky MKP výpočtu – maximální zatížení

Namáhání



Obrázek 60 - Zobrazení namáhání (Von – Mises [MPa])

Výsledky posunutí



Obrázek 61 - Zobrazení posunutí ve směru osy X (vlevo nahoře), Y (vpravo nahoře), Z (vlevo dole) a celkové (vpravo dole) [mm], 10% zvýraznění deformací

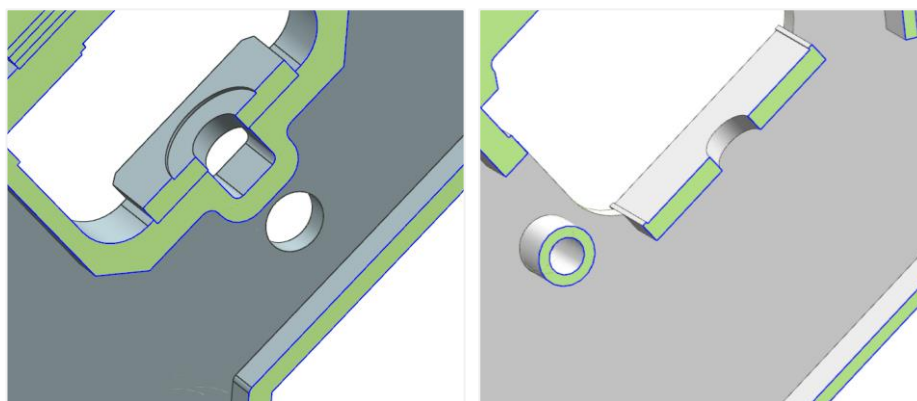
9.4.7 Odečtení tuhosti stojanu

Způsob, jakým byla tuhost svařovaného stojanu zjištěna, je stejný jako u stojanu litého. Bylo měřeno posunutí desek určených pro uchycení stavěcích válců a dosedací plochy válce č. 3 ve směru jejich normál.



Obrázek 62 - Odečítání deformací v modelu kalandru

Výsledná tuhost svařence je nižší nežli u litého stojanu. Jedním důvodem je fakt, že se jedná o prvotní návrh, který čeká další optimalizace pro vylepšení tuhosti. Druhým důvodem je způsob odečítání. Celkové posunutí v daném směru ovlivňuje totiž průhyb samotných měřených desek. Ty nejsou na rozdíl od litého stojanu podepřeny významným množstvím materiálu, pouze na krajích jsou spojeny s bočními plechy stojanu. Ve skutečnosti bude mezi tyto desky a stavěcí válec umístěna další deska o tloušťce 100 mm, čímž se průhyb měřených desek omezí a skutečná tuhost svařence bude vyšší.



Obrázek 63 – Spojení opěrných desek stavěcích válců a stojanu

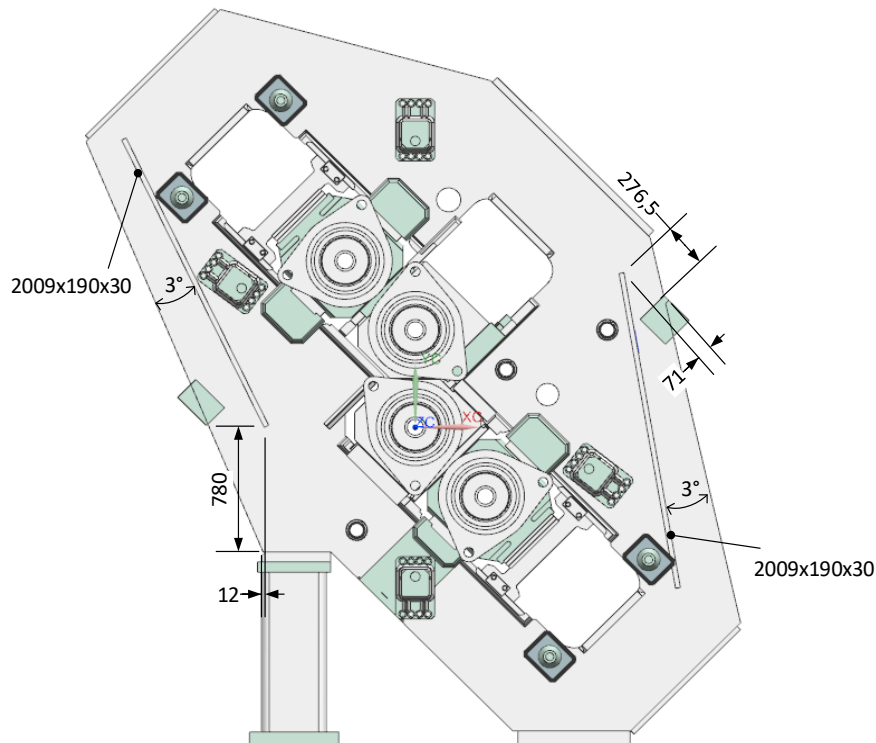
Tabulka 9 - Deformace a tuhosti stojanu ve směrech Y a Z

| Tuhost stojanu | | |
|----------------------|-----------|-------|
| Deformace ve směru Y | 0,266616 | mm |
| Deformace ve směru Z | 0,313479 | mm |
| Působící síla | 1 000 000 | N |
| Tuhost ve směru Y | 3,75 | MN/mm |
| Tuhost ve směru Z | 3,19 | MN/mm |

10 Variantní návrh vnitřních výztuh stojanu

Dále je proveden návrh a výpočet různých možností výztuh, které jsou uloženy mezi oběma hlavními plechy stojanu. V této kapitole bude ukázáno jejich umístění a rozměry a poté porovnání napětí a posunutí v porovnání s konstrukcí bez výztuh.

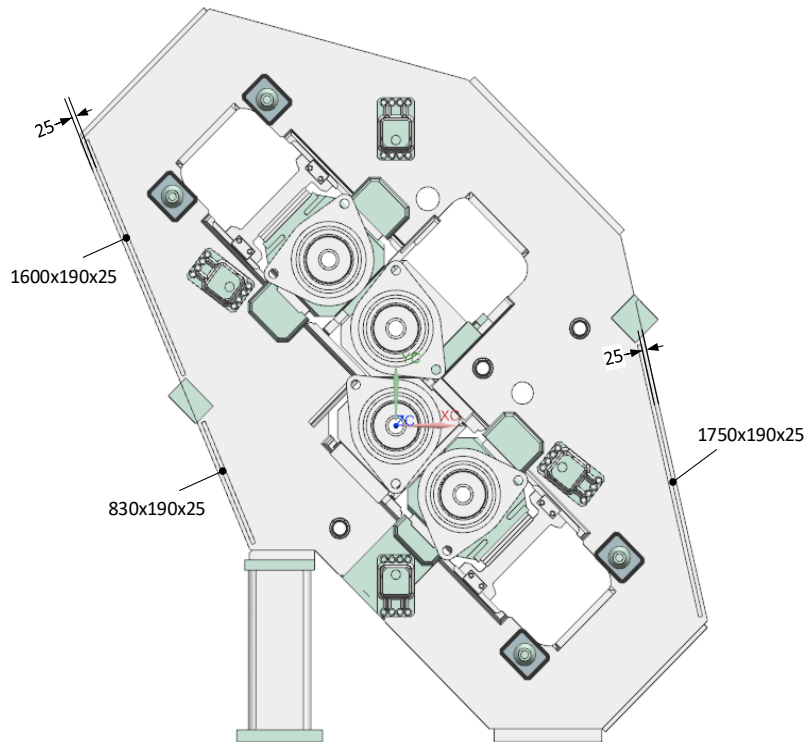
10.1 Varianty vyztužení



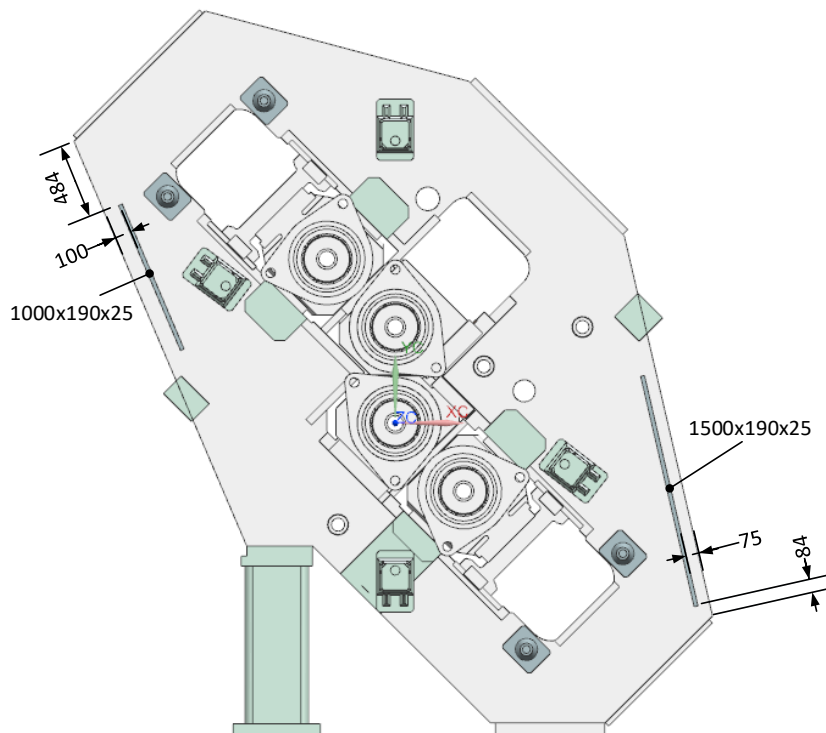
Obrázek 64 - Umístění výztuh - typ I

Výztuhy varianty **typ I** jsou navrženy tak, aby byly omezeny převládající deformace desek bočnic identifikované ve výchozí variantě (bez vyztužení).

Výztuhy varianty **typ II** jsou navrženy tak, aby krycí plechy sloužily jako krytí vnitřku stojanu. Plechy jsou umístěny 25 mm hluboko v stojanu, aby je bylo možné snadno přivařit.



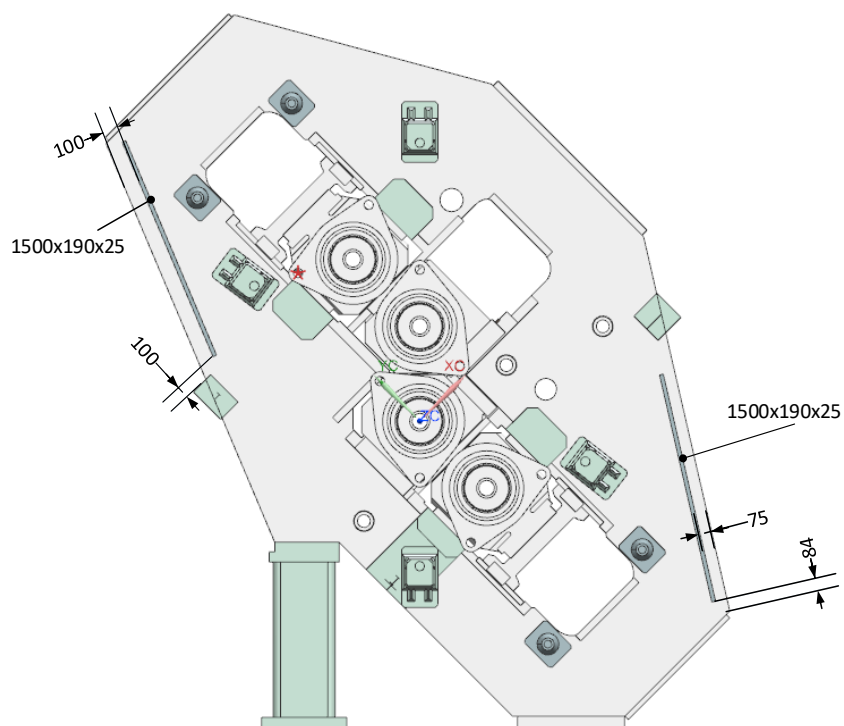
Obrázek 65 - Umístění výztuh - typ II



Obrázek 66 – Umístění výztuh - typ III

Výztuhy varianty **typ III** vycházejí z varianty **typ I**, ale jsou zkráceny a umístěny rovnoběžně s okrajem bočnic.

Výztuhy varianty **typ IV** vycházejí z varianty **typ III**, ale jsou prodlouženy, rovnoběžné umístění s okrajem bočnic je zachováno.

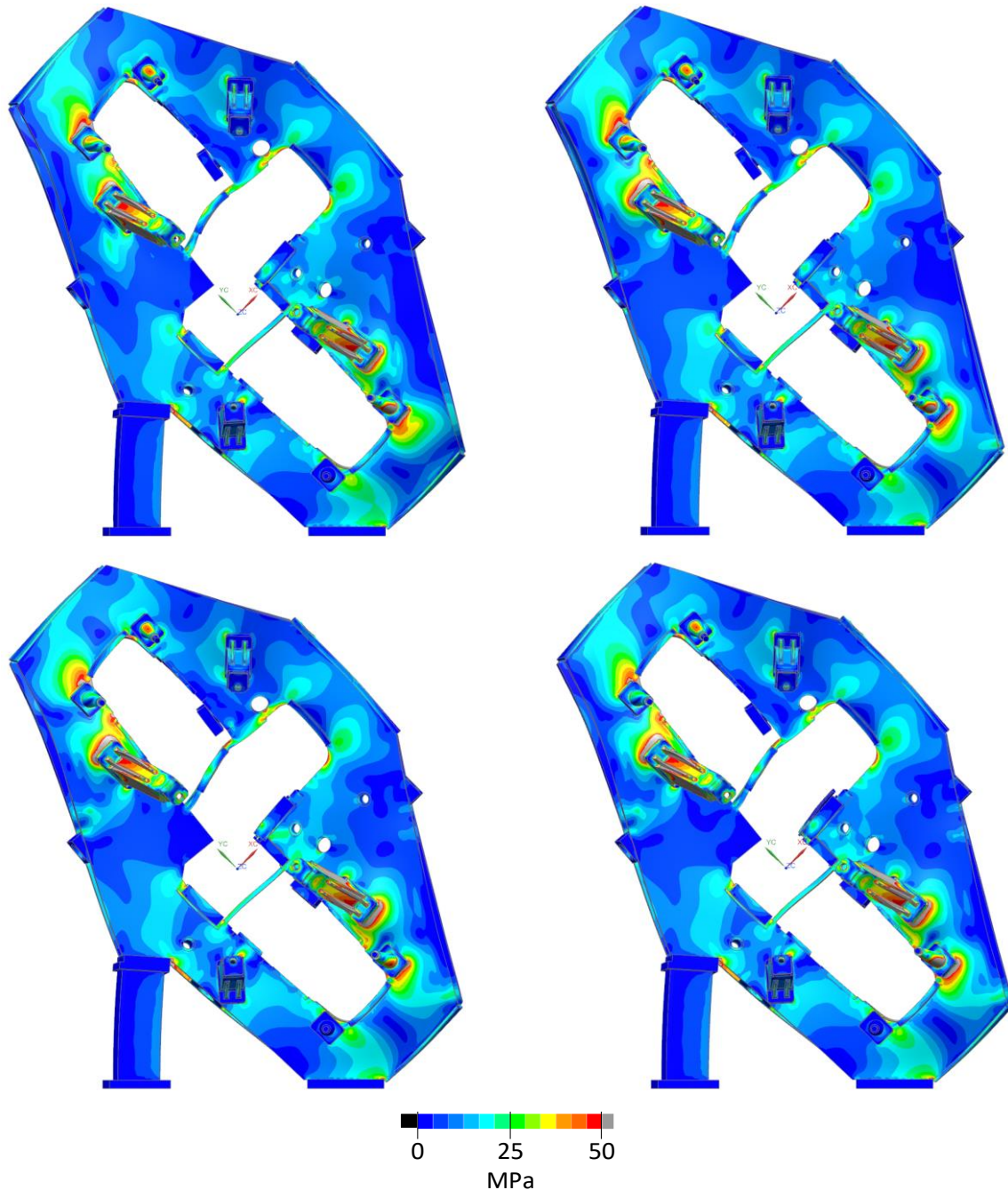


Obrázek 67 - Umístění výztuh - typ IV

10.2 Porovnání výsledků výpočtu pro maximální zatížení

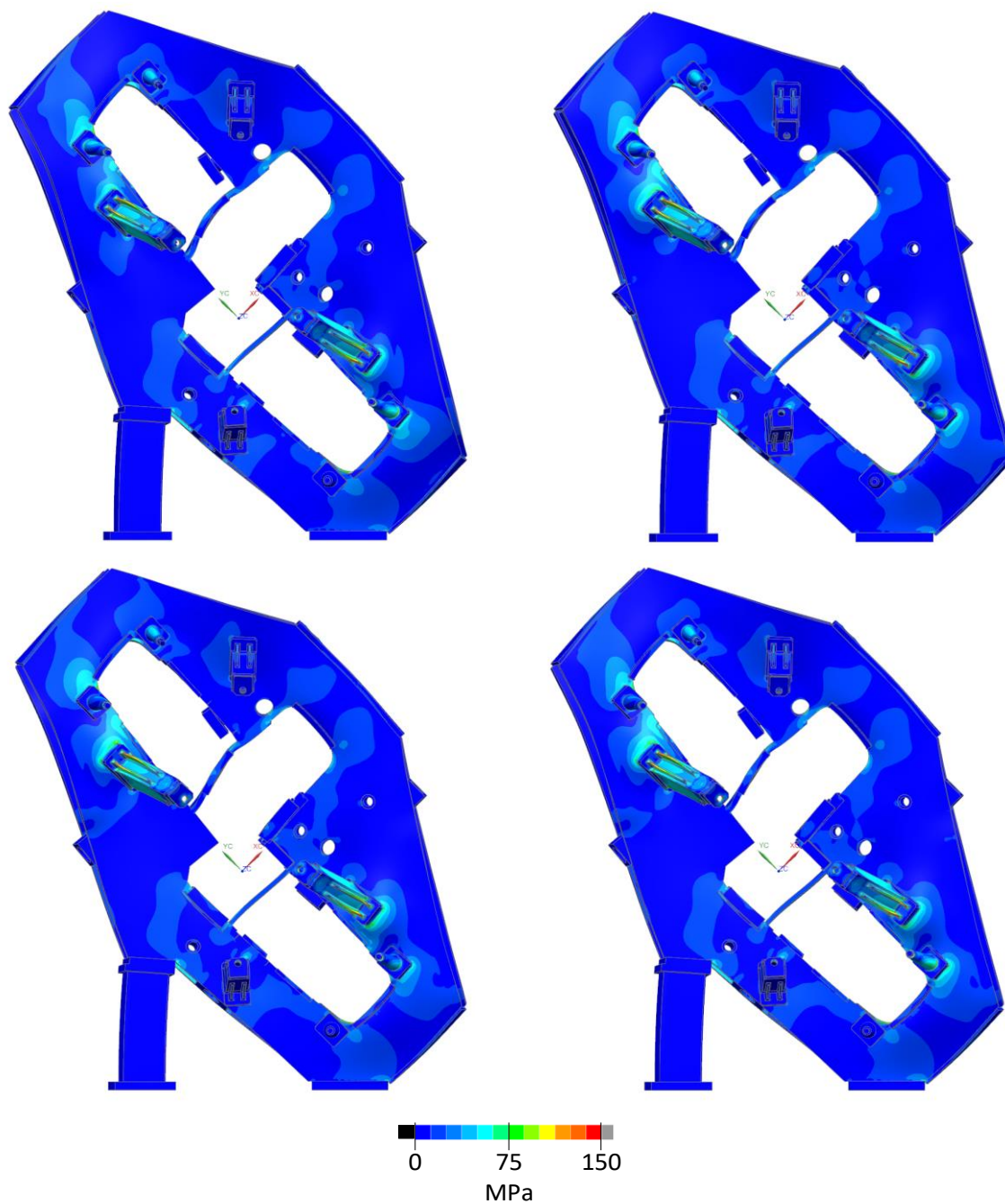
Následuje porovnání variant při maximálním zatížení. Prvním porovnávaným výsledkem je rozložení redukovaného napětí podle hypotézy Von Mises a to pro hodnoty $0 \div 50 \text{ MPa}$ a $0 \div 150 \text{ MPa}$. Další část je věnována porovnání posunutí, která jsou odlišná pro každou verzi vyztužení. Porovnávací stupnice je stejná pro každý výsledek.

10.2.1 Napětí Von-Mises 0-50 MPa



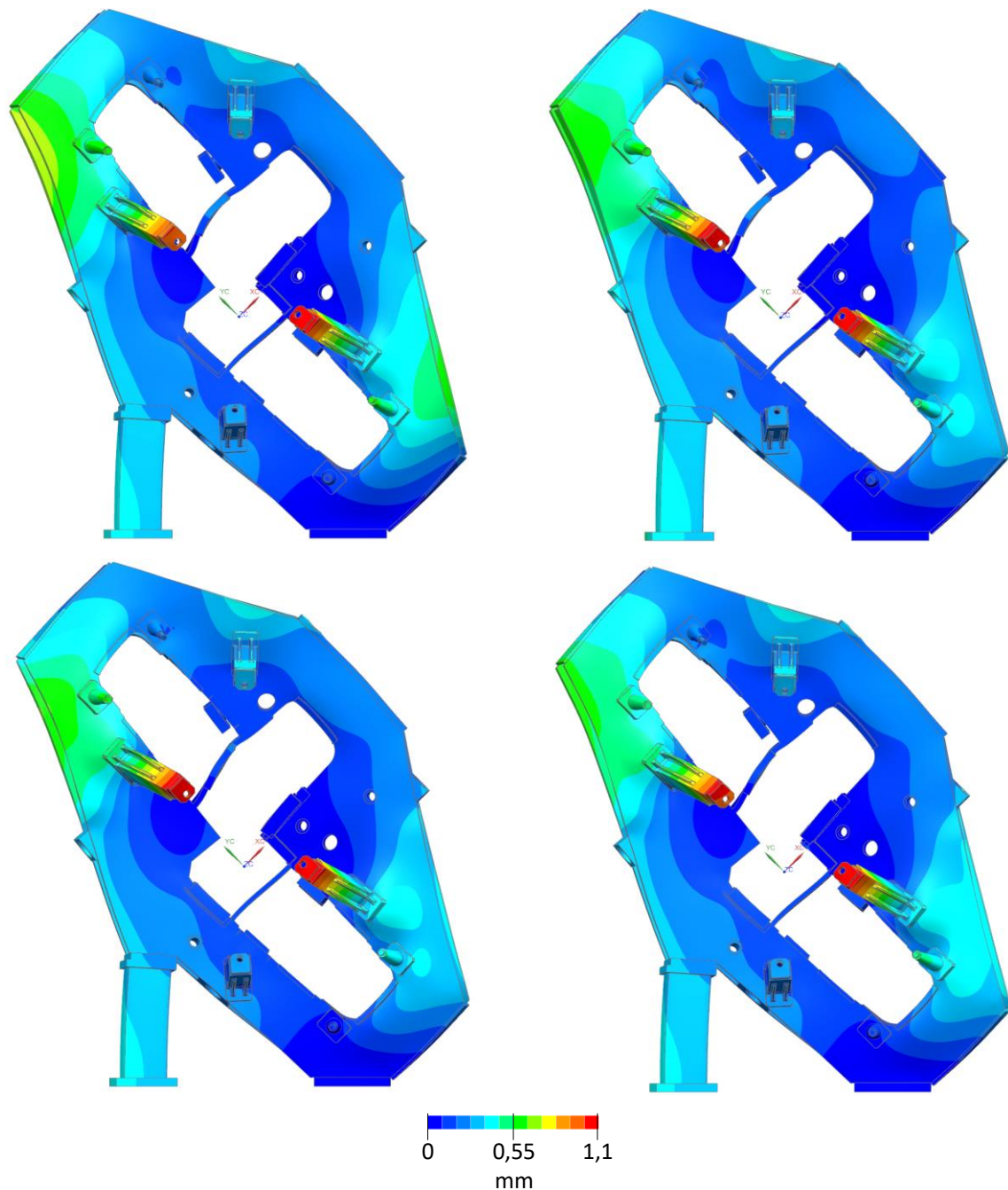
Obrázek 68 - Rozložení napětí ve škále 0-50MPa (typ I (vlevo nahoře), typ II (vpravo nahoře), typ III (vlevo dole) a typ IV (vpravo dole))

10.2.2 Napětí Von-Mises 0-150 MPa



Obrázek 69 - Rozložení napětí ve škále 0-150MPa (typ I (vlevo nahoře), typ II (vpravo nahoře), typ III (vlevo dole) a typ IV (vpravo dole))

10.2.3 Posunutí

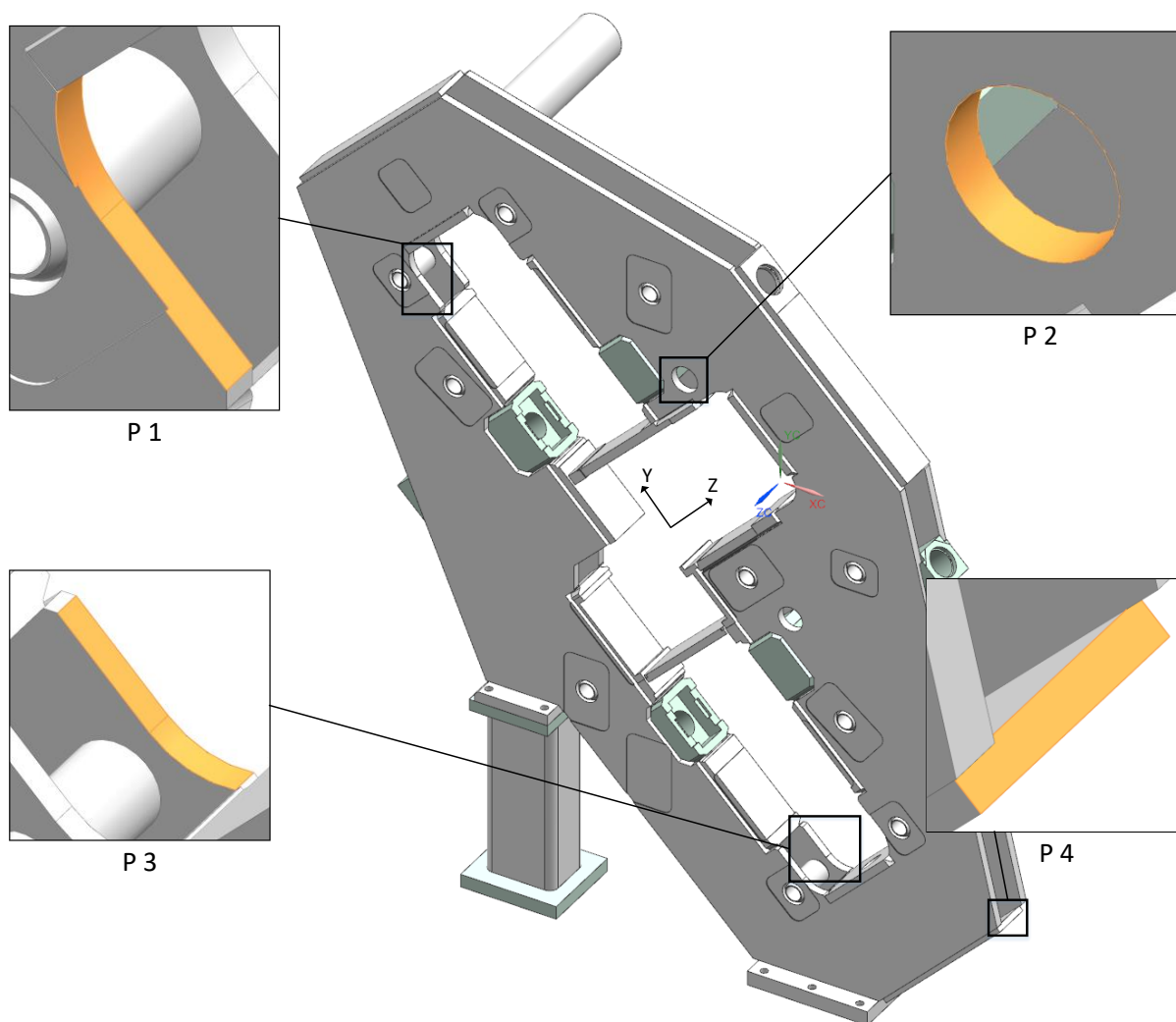


Obrázek 70 - Posunutí (typ I (vlevo nahoře, max 1,067 mm), typ II (vpravo nahoře, max 1,087 mm), typ III (vlevo dole, max 1,097 mm) a typ IV (vpravo dole, max 1,066 mm))

Z grafického porovnání výsledků provedených simulací variant typ I až typ IV je zřejmé, že rozdíly nejsou zásadní. Z pohledu namáhání jsou nejvíce namáhány konzoly protiohybu (obdobně jako na vzorovém kalandru).

10.2.4 Číselné porovnání výsledků simulací

Na následujícím obrázku jsou vyobrazena místa, kde jsou odečteny maximální hodnoty redukovaného průměrovaného napětí.



Obrázek 71 - Místa odečtu hodnot napětí

V následující tabulce jsou shrnuty odečtené hodnoty napětí pro jednotlivé simulace variant žebrování.

Tabulka 10 Odečtené hodnoty napětí a tuhosti

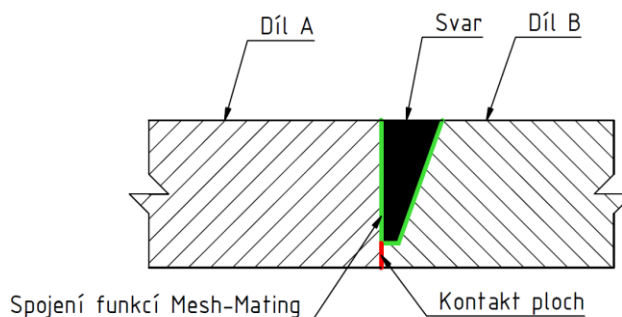
| | Maximální napětí [MPa] | | | | Tuhost [MN/mm] | |
|---------|------------------------|--------|---------|--------|----------------|-------|
| | P 1 | P 2 | P 3 | P 4 | Y | Z |
| Typ I | 107,738 | 91,94 | 120,32 | 84,764 | 2,987 | 4,396 |
| Typ II | 116,27 | 89,766 | 116,366 | 58,311 | 3,031 | 4,258 |
| Typ III | 119,812 | 86,51 | 116,056 | 60,42 | 3,026 | 4,103 |
| Typ IV | 110,752 | 83,719 | 125,51 | 62,76 | 3,134 | 4,065 |

Z těchto výsledků by vybrán Typ II jako nejlepší varianta s vyhovujícím poměrem tuhostí v obou směrech. Další výhodou tohoto řešení je, že žebra umístěna na okraji stojanových plechů mají rovněž funkci zakrytování.

11 Simulace zatížení s přiznanými svary

Následující kapitola popisuje výsledky výpočtu a výpočtový model zahrnující tělesa veškerých svarů.

Předcházející výpočtové modely nebraly v potaz svary a jejich zatěžování, jelikož se jednalo o výpočty hledající optimální návrh stojanu. V tomto případě byla pro každý svar vytvořena síť. Tyto sítě byly pomocí funkce Mesh-Mating spojeny se součástmi, které ten daný svar spojuje. Zároveň byly definovány kontakty na ty plochy, kde se spojovaná tělesa ve skutečnosti dotýkají. Vše vysvětluje následující obrázek.



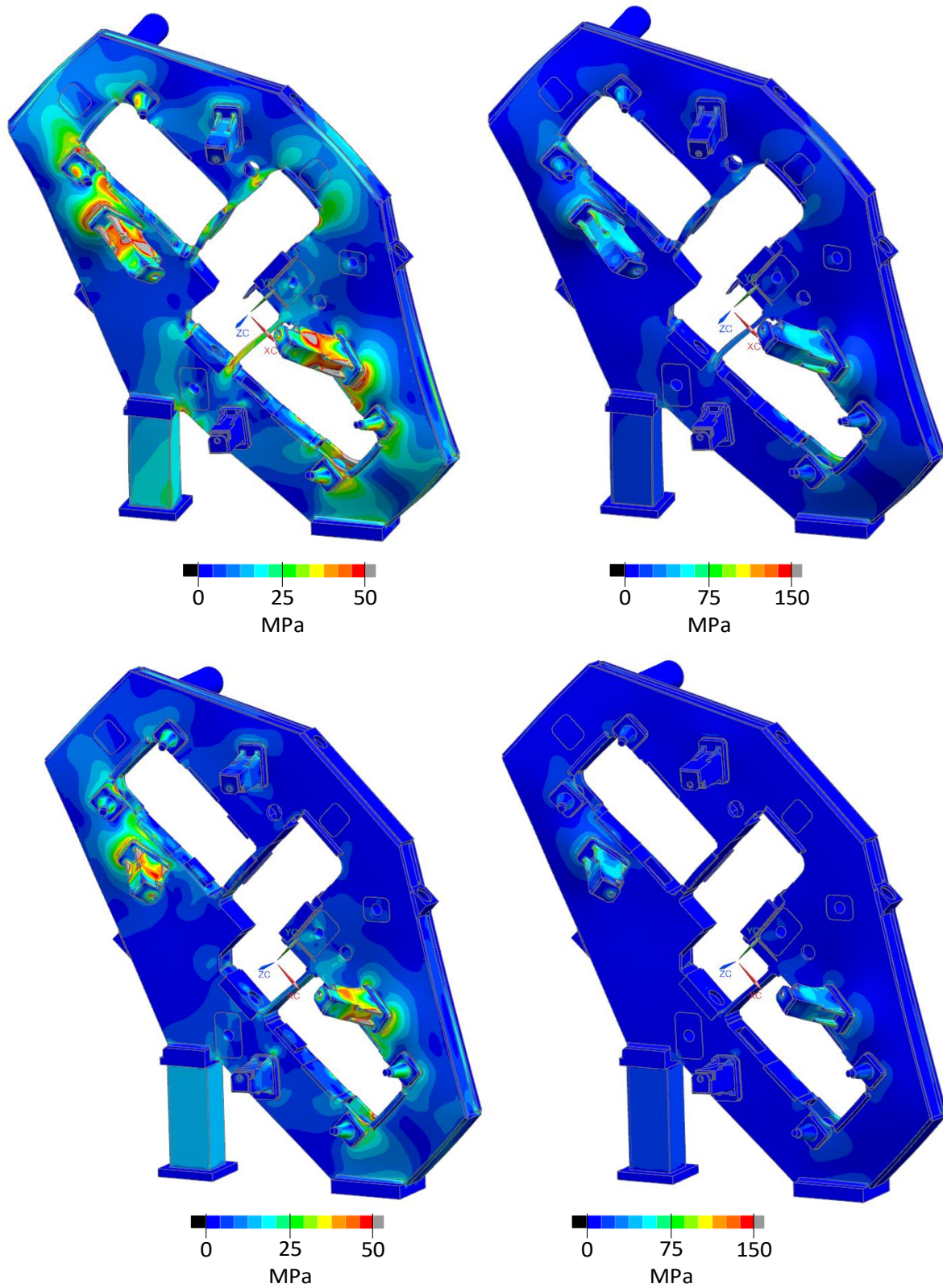
Obrázek 72 - Schéma definování kontaktů a funkce Mesh-Mating u svaru

Prvotní výpočty stojanu se svary využívaly pro spojení funkcí Gluing, která definuje spojení dvou ploch tak, že uzly lepených ploch mají stejné posunutí. Tím získává menší a poddajnější svar tuhost větší a tužší součásti a to vyústí ve vyšší napětí v blízkosti takto lepených ploch.

Naopak funkce Mesh-Mating sítě dvou těles spojuje v jednu síť, čímž se odebírá matematická podmínka stejných posunutí. Tato funkce uzly na plochách obou spojovaných sítí postaví proti sobě a pak každý pár uzlů, jeden z tělesa svaru a druhý z tělesa dílu, sloučí do jednoho uzlu. Jedná se o metodu, která je velmi pracná na přípravu sítě.

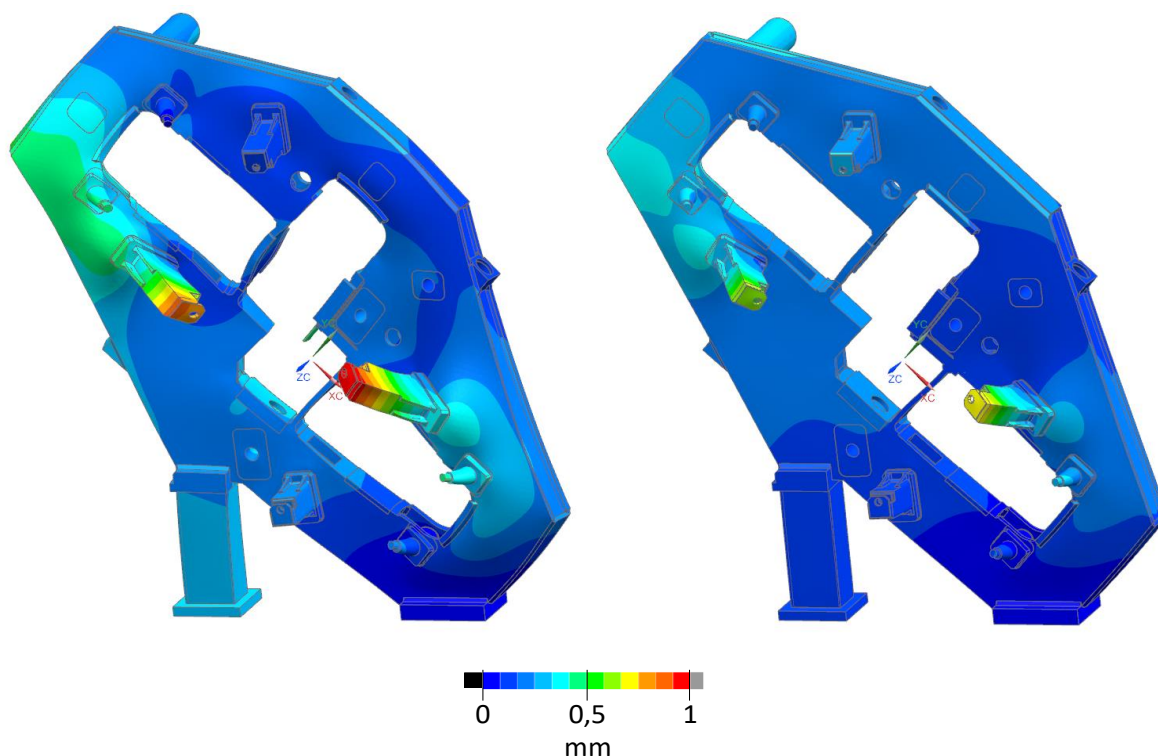
Okrajové podmínky výpočtu, jako je zatížení, vazby, či kontakty nesouvisející se svary, se nemění, a tudíž jsou výsledky plně srovnatelné s výsledky předchozích výpočtů. To je ostatně vidět z následujících obrázků rozložení napětí na stojanu a výsledků posunutí.

11.1 Výsledky MKP výpočtu - napětí



Obrázek 73 - Zobrazení průběhu napětí při maximálním zatížení (horní řada) a typickým provozním zatížení (spodní řada) návrhu kalandru 03928 se svařovaným stojanem při respektování svarů, (průměrované, redukované von Mises) [MPa]

11.2 Výsledky MKP výpočtu – posunutí



Obrázek 74 – Výsledky posunutí při maximální zatížení (vlevo) a typickém zatížení (vpravo) návrhu kalandru 03928 se svařovaným stojanem při respektování svar

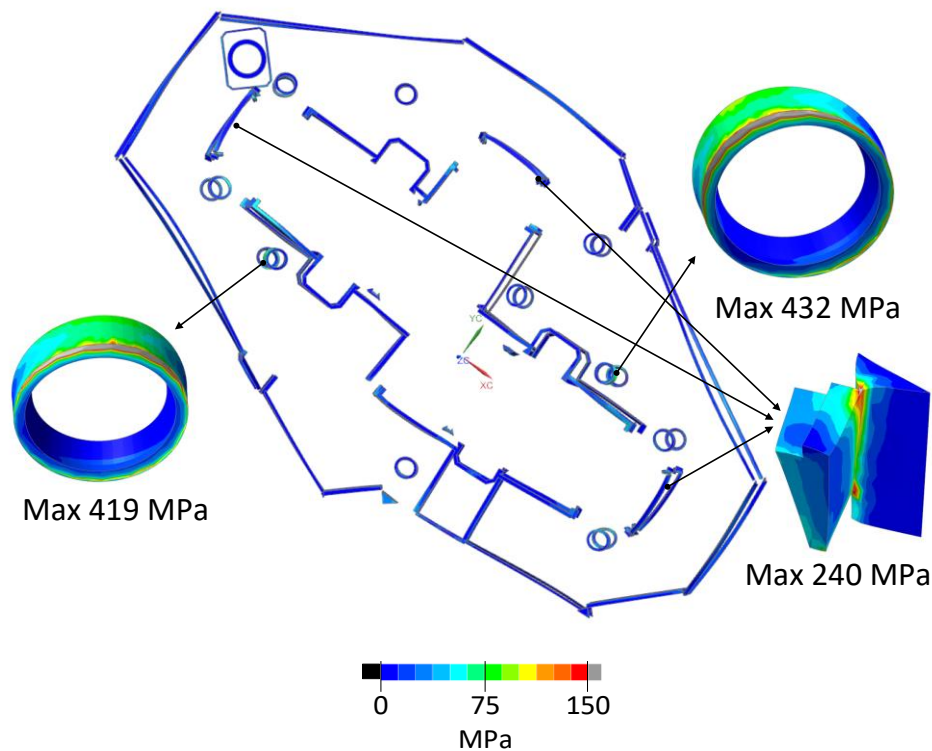
11.3 Výsledky MKP výpočtu – tuhost

Z výsledků tohoto výpočtu taktéž došlo k zjištění tuhosti svařence. V tomto případě je výsledná tuhost ovlivněna skutečností, že spojení dílů je provedeno pouze svary, které mají nižší tuhost nežli idealizované spojení z předchozího výpočtu. Tím pádem dochází k ještě většímu průhybu desek, na jejichž čelních plochách se měří posunutí stojanu. Jak bylo již uvedeno, přenos stavěcí síly ze stavěcího hydraulického válce na tyto desky bude realizován přes další vloženou desku o přibližné tloušťce 100 mm. Tím se omezí průhyb měřených desek a skutečná tuhost rámu bude vyšší. Navíc po diskuzi se zadavatelem práce byly tuhosti vycházející z tohoto výpočtu označeny za vyhovující.

Tabulka 11 - Deformace a tuhosti stojanu ve směrech Y a Z

| Tuhost stojanu | | |
|----------------------|-----------|-------|
| Deformace ve směru Y | 0,2640037 | mm |
| Deformace ve směru Z | 0,282225 | mm |
| Působící síla | 1 000 000 | N |
| Tuhost ve směru Y | 3,79 | MN/mm |
| Tuhost ve směru Z | 3,54 | MN/mm |

11.4 Výsledky MKP výpočtu – napětí svarů

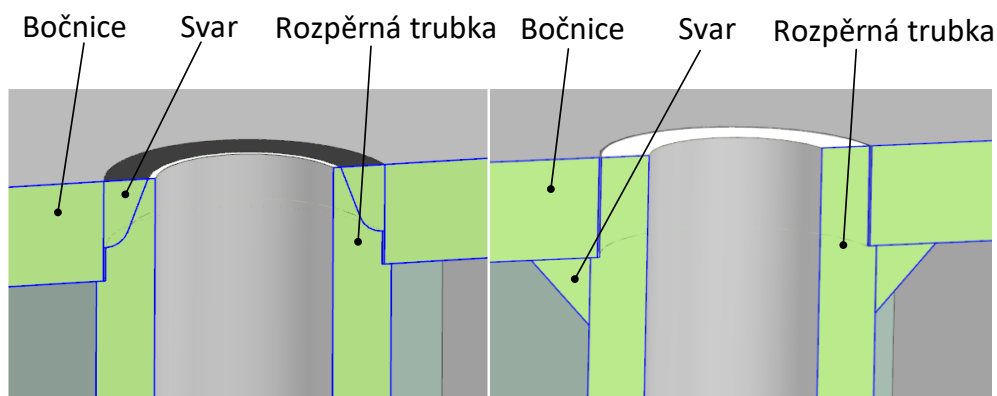


Obrázek 75 – Zobrazení průběhu napětí na svařích stojanu při maximálním zatížení a zvýraznění nejvíce namáhaných svařů

Tyto výsledky ukazují, že namáhání svařů středících trubek, nad nimiž se nacházejí nejvíce namáhané konzoly, je značné a rozhodně pevnostně nevyhovují. Toto zjištění je cenným poznatkem výpočtu s respektováním svařů, které by při zjednodušených výpočtech uniklo a hrozilo by poškození stojanu při provozu stroje. Z důvodu významné komplexnosti není v době ukončení této práce návrh finální a tento problém bude dále řešen.

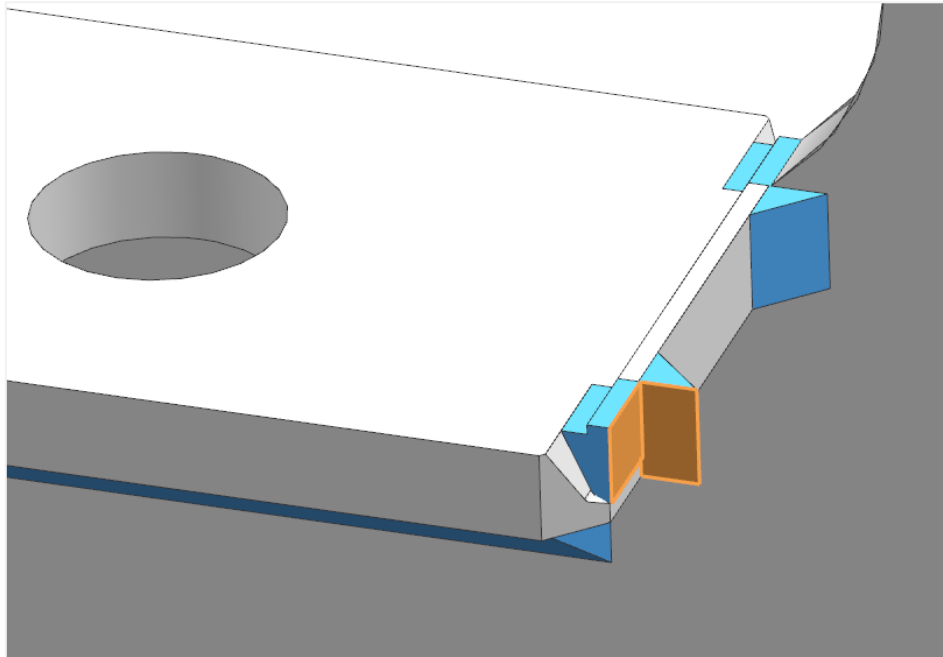
Možným řešením je změna typu svaru z J-svaru na vnější straně bočnice na svar koutový z vnitřní strany. Stalo by se to, že zatížení z rozpěrné trubky na bočnici by bylo přenášeno jejich přímým kontaktem a svar by plnil pouze spojovací funkci. Což je rozdíl oproti stávajícímu řešení, kdy svar sám přenáší zatížení z bočnice na trubku a obráceně.

Vzhledem k umístění rozpěrné trubky, tedy blízko k okraji bočnice, je možné provést nový koutový svar mezi bočnicemi bez významných obtíží.



Obrázek 76 - Schéma svaru mezi bočnicí a rozpěrnou trubkou

Dalším kritickým místem jsou svary desek stavěcích válců. Z důvodů zmíněných v kapitolách 9.4.7 a 11.3 dochází ve výpočtu k průhybu těchto desek a což je příčinou vysokého namáhání těchto svarů. Předpokládá se, že reálné napětí bude výrazně nižší, jelikož dojde k omezení průhybu další vloženou deskou, jak již bylo zmíněno v předchozích částech práce.



Obrázek 77 - Provedení svarů desek stavěcích válců. Zvýrazněné plochy spojují stojanový plech

12 Diskuze výsledků

V práci byl nejdříve proveden výpočet litého stojanu kalandru Buzuluk 03741. Tento typ stojanu již používaný a jeho konstrukce je osvědčená a proto se neočekávalo, že výsledky odhalí vysoká napětí na stojanu. Tento předpoklad se vyplnil a lze konstatovat, že litý stojan kalandru je pevnostně dobře navržen.

Totéž lze ze stejného důvodu říci i o zjištěné tuhosti stojanu, která dosahuje ve směru Y 4,82 MN/mm a ve směru Z 4,47 MN/mm.

Navržený a výpočetně ověřený svařovaný stojan kalandru Buzuluk 03928 je výsledkem mnoha výpočtů, které proběhly při hledání optimálního řešení. Základní konstrukční prvky, jako jsou vodící plochy pro ložiskové domky, některé konzoly, systém křížení apod., jsou odvozené z kalandru 03741 díky podobnosti těchto prvků. Bylo hledáno optimální rozložení výztuh bočnic a způsob spojení bočnic a těles systému křížení.

Je tedy nasnadě, že návrh nového stojanu splňuje pevnostní nároky, na které byl konstruován, a nikde nevzniká tak vysoké napětí aby mohlo dojít v porušení stojanu. Co se týče tuhosti stojanu, tak přestože dosahuje nižších hodnot, bylo po konzultaci se zadavatelem práce uznáno, že je dostatečná a návrh splňuje požadavky technologie. Číselně jde o hodnoty 3,79 MN/mm pro směr Y a 3,54 MN/mm pro směr Z.

13 Ekonomické porovnání stojanů

13.1 Litý stojan

Výroba litého stojanu začíná u zadání objednávky slévárně. Protože součástí výroby odlitků je i výroba modelu, je časová náročnost výroby značná. Jakmile se odlitek nachází ve výrobní hale společnosti Buzuluk, tak může přijít na řadu obrábění. Obrábí se všechny funkční plochy odlitku, vodící plochy pro ložiskové domky, dosedací plochy pro konzoly a díry pro šrouby, plochy pro systém křížení válců apod. Dále se k tomu obrábí i pohledové plochy, jelikož povrch odlitku je velmi hrubý.

Tabulka 12 - Parametry odlitku

| Odlitek | | |
|---------------------|--------|----------------|
| Hmotnost odlitku | 11 163 | kg |
| Plocha vnějších čel | 8,2 | m ² |

Výrobce si své údaje o kompletním rozsahu obrábění a dalších prací a o cenách za ně chrání, proto zde nejsou publikovány.

13.2 Svařovaný stojan

Dominantním dílem tohoto stojanu jsou bočnice. Jedná se o velké výpalky, kterým je třeba před svařováním obrobit opálené stěny. Stejně tak pro další díly, které lze vyrobit tímto způsobem, což je většina, je nutné vypálit a poté obrobit a případně do nich vyfrézovat drážku pro J-svar. Po samotném svaření stojanu dojde na jeho vyžihání pro odstranění pnutí. Nakonec se nechají obrobit funkční plochy a stojan je možné osadit příslušenstvím.

Výsledná cena se tedy bude skládat z nákladů na materiál, délky řezů při vypalování, frézování, svařování, následného žihání a finálního frézování.

Tabulka 13 - Délka drážek svaru

| Frézování drážek pro svary | | | |
|----------------------------|------------|---------------|---------------------------|
| Výška [mm] | Úhel [deg] | Zaoblení [mm] | Celková délka drážek [mm] |
| 40 | 25 | 10 | 16114 |
| 30 | 25 | 10 | 800 |
| 30 | 20 | 10 | 4775 |
| 25 | 25 | 10 | 2240 |
| 25 | 20 | 10 | 4775 |
| 25 | 20 | 8 | 1319 |
| 20 | 25 | 5 | 270 |
| Celkem | | | 30293 |

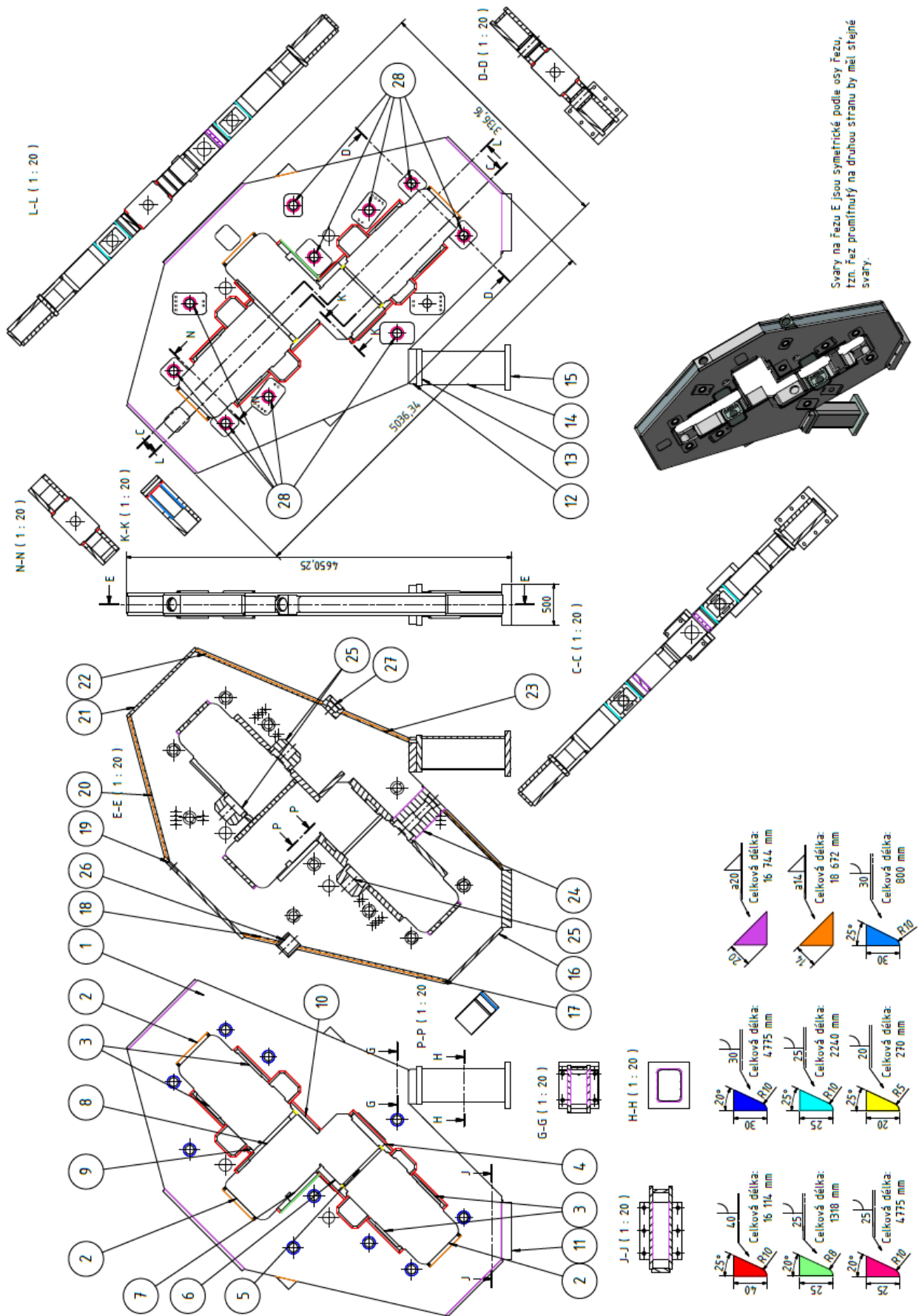
Následující tabulka obsahuje všechny díly stojanu seřazené podle pozic na obrázku 70 Obrázek 78. Zároveň udává označení polotovaru potřebného k jejich výrobě, počet kusů jednoho druhu dílu, hmotnost polotovaru. V případě, že se jedná o výpalek, obsahuje tabulka i hmotnost dílu po vypálení, tedy hmotnost polotovaru bez hmotnosti odpadového materiálu. Poslední položkou je délka řezu vypalovacího stroje na každý díl. Zároveň je možné porovnat hmotnost odlitku a souhrnnou hmotnost všech dílů stojanu před obrobením a je vidět, že svařenec je lehčí, což značí úsporu na materiálu.

Tabulka 14 – Kusovník dílů

| Pozice | Polotovár | Počet [ks] | Hmotnost materiálu [kg] | Hmotnost výpalku [kg] | Délka řezu [mm] |
|-------------------------------|--------------------------|------------|-------------------------|-----------------------|-----------------|
| 1 | P45-5000x1300 | 2 | 5475,5 | 2558,5 | 31000 |
| 2 | P45-530x330 | 3 | 61,8 | 56,6 | 2097 |
| 3 | P70-570x280 | 4 | 87,7 | 87,7 | 1700 |
| 4 | P80-690x280 | 1 | 121,3 | 121,3 | 1940 |
| 5 | P40-660x280 | 1 | 58,0 | 58,0 | 1880 |
| 6 | P100-510x280 | 1 | 112,1 | 121,1 | 1580 |
| 7 | P70-660x280 | 1 | 101,5 | 101,5 | 1880 |
| 8 | P55-1020x280 | 1 | 123,3 | 123,3 | 2600 |
| 9 | P60-100x280 | 1 | 13,2 | 13,2 | 760 |
| 10 | P70-500x280 | 1 | 76,9 | 76,9 | 1560 |
| 11 | P90-690x500 | 1 | 243,7 | 243,7 | 2380 |
| 12 | P70-490x420 | 1 | 113,1 | 113,1 | 1820 |
| 13 | P70-490x450 | 1 | 121,2 | 121,2 | 1880 |
| 14 | TR OBD 350x250x16 - 1000 | 1 | 159,2 | - | - |
| 15 | P80-550x490 | 1 | 169,2 | 169,2 | 2080 |
| 16 | P35-945x220 | 1 | 57,1 | 57,1 | 2330 |
| 17 | P25-1845x190 | 1 | 68,8 | 68,8 | 4070 |
| 18 | P25-475x190 | 1 | 17,7 | 17,7 | 1330 |
| 19 | P45-1360x220 | 1 | 105,7 | 105,7 | 3160 |
| 20 | P25-1815x190 | 1 | 67,7 | 67,7 | 4010 |
| 21 | P35-1170x220 | 1 | 70,7 | 70,7 | 2780 |
| 22 | P25-1655x190 | 1 | 61,7 | 61,7 | 3690 |
| 23 | P25-890x190 | 1 | 33,2 | 33,2 | 2160 |
| 24 | P300-600x360 | 1 | 508,7 | 508,7 | 1920 |
| 25 | P300-360x245 | 3 | 207,7 | 207,7 | 1210 |
| 26 | P210-230x220 | 1 | 83,4 | 83,4 | 900 |
| 27 | P160-250x230 | 1 | 72,2 | 72,2 | 960 |
| 28 | Ø170-280 | 10 | 49,9 | - | - |
| Celkem | | 45 | 8442,4 | 5320,1 | 83677 |
| Celková hmotnost stojanu [kg] | | | 8670,3 | | |

Výslednou cenu svařovaného stojanu opět není možné publikovat. Společnost Buzuluk si ji chrání jako své interní údaje. Obecně je výroba odlitků levnější, jelikož stačí vyrobit jednu slévárenskou formu a poté již produkovat výrobky. To je výhodné především v sériové výrobě. V tomto případě, kdy každý kalandr má být přizpůsobitelný zákazníkovi na míru, již jednoduchost slévání přestává mít výhodu, protože by bylo nutné pro každý nový kalandr vyrábět novou formu. Navíc má dodavatelská slévárna dlouhé dodací lhůty.

Oproti tomu je výroba svařence jednoduchá a kromě vyžihání je společnost schopná provést všechny výrobní operace sama. Tím se snižuje cena a dodací čas.



Obrázek 78 – Znázornění pozic svarů různých velikostí a jednotlivých dílů stojanu

14 Závěr

Tato práce se věnovala výpočtům zatížení stojanů kalandrovacích strojů s použitím metody konečných prvků. Za cíl si dala ověřit, zda navržený svařenec stojanu může nahradit současně vyráběný odlévaný stojan při dodržení pevnostních a tuhostních požadavků. V průběhu prací je také možné původní návrh optimalizovat na základě průběžných výsledků.

Přípravy na tuto práci spočívaly v seznámení se s technologií kalandrování a strojem Buzuluk 03741, provedení průzkumu trhu a nakonec provedení patentové rešerše. Následovalo prostudování okrajových podmínek a stavů při jakých ke kalandrování dochází, tedy silové účinky, působení systému předohybu válců, více zátěžných stavů.

Výsledný výpočet tohoto kalandru udělal představu, v jakých mezích by se měla tuhost následného návrhu svařence pohybovat. Právě zde metoda konečných prvků ukázala svou sílu, jelikož je levnější a rychlejší udělat kontrolní výpočet, než provést experiment na konkrétním stroji za konkrétních podmínek a tyto podmínky dále přenést do kontrolních výpočtů při navrhování svařence.

Následovalo mnoho výpočtů prvotního návrhu svařence, při kterých docházelo k postupné optimalizaci stojanu a jeho částí. Kontrolní výpočty dokázaly usnadnit rozhodování při volbě umístění těles křížení válců ve stojanu. Díky tomu bylo možné vybrat variantu, která se vyznačuje snazší vyrobiteľností při zachování pevnosti a tuhosti. Dále se ověřovaly 4 varianty vyztužení stojanu pro snížení jejich vlnění způsobeném vysokým zatížením konzol. Nakonec byl proveden výpočet finálního modelu včetně respektovaných svarů pro zjištění jejich dostatečného dimenzování.

Výsledkem ekonomického srovnání lité a svařované varianty stojanu kalandru je zjištění, že výrobní cena svařence je nepatrně nižší a možná variabilita a především rychlost výroby jsou významnými výhodami svařované varianty.

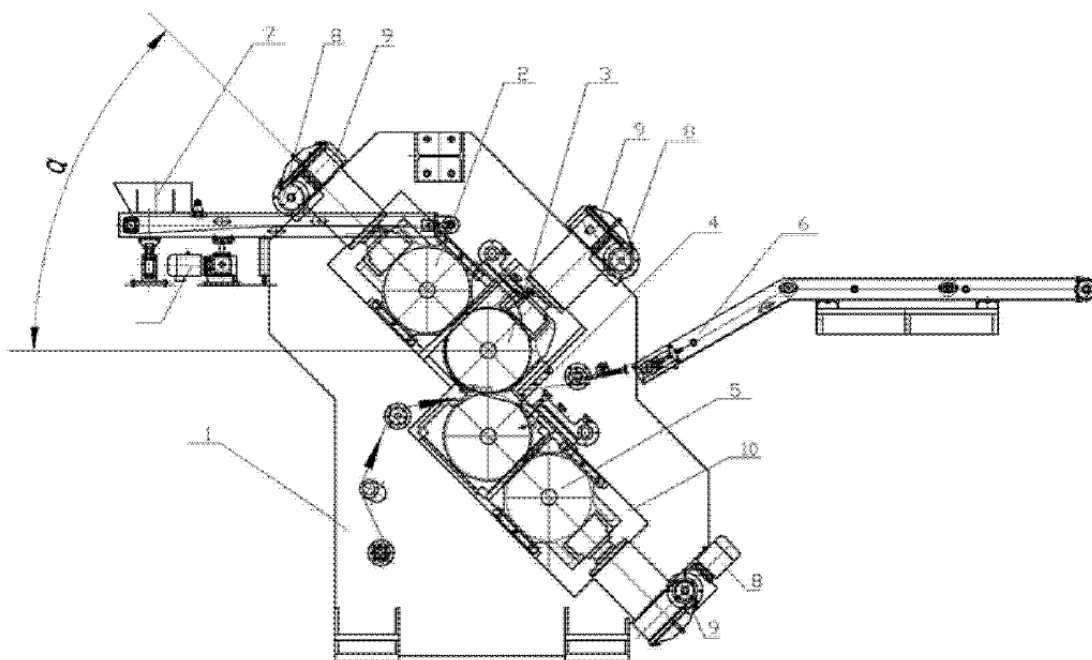
15 Bibliografie

1. **Buzuluk a.s.** Výrobní program. [Online] [Citace: 3. Květen 2019.] <http://www.buzuluk.com/cz/divize-gumarenske-stroje/o-divizi-gumarenske-stroje/dokumenty-ke-stazeni>.
2. —. Historie Buzuluku Komárov. *Buzuluk*. [Online] [Citace: 3. Květen 2019.] <http://www.buzuluk.com/cz/buzuluk/historie>.
3. **Wikipedie.** Kaučuk. *Wikipedie*. [Online] [Citace: 5. Květen 2019.] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kaučuk>.
4. **VŠCHT Praha.** Věci známé i neznámé: Gutaperča a přírodní kaučuk. *STEP*. [Online] [Citace: 4. Květen 2019.] <http://step.vscht.cz/zajimavosti/veci-zname-nezname-gutaperca-prirodni-kaucuk/>.
5. **Wikipedie.** Vulkanizace. *Wikipedie*. [Online] [Citace: 8. Květen 2019.] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Vulkanizace>.
6. **Oddělení povrchového inženýrství KMM, FST, ZČU.** Pryž. *Přednášky pro studenty*. [Online] [Citace: 2. Květen 2019.] <https://www.opi.zcu.cz/download/pryz.pdf>.
7. **Vari a.s.** Výroba pneumatik Vari. *Vari*. [Online] [Citace: 10. Květen 2019.] <https://www.vari.cz/rady-a-navody/technologie/vyroba-pneumatik-vari/art:40981/>.
8. **IPM.** *IPM*. [Online] Srpen 2017. <http://www.ipmtc.com.pl/en/comerio.html>.
9. **Buzuluk a. s.** *Buzuluk*. [Online] Srpen 2017. <http://www.buzuluk.com/cz/divize-gumarenske-stroje/vyrobní-program/kalandry/4-valcove-kalandry>.
10. **Comerio Ercole.** *Rubber Division*. [Katalog] 2014.
11. **KraussMaffei Berstorff.** *KraussMaffei Berstorff*. [Online] Srpen 2017. <http://www.kraussmaffeiberstorff.com/en/slash-calender.html>.
12. **Hsin Yin Machinery Works Co., Ltd.** *HYMC*. [Online] Srpen 2017. http://www.hsinyin.com.tw/en/pro2_1.htm.
13. **Bainite Machines.** *Bainite Machines*. [Online] Srpen 2017. <http://www.bainitemachines.in/products.html#verticalTab7>.
14. **Santosh Rubber Machinery Pvt., Ltd.** Calenders. *Santosh*. [Online] Srpen 2017. <http://www.santoshrubbermachinery.com/calenders1.htm>.
15. **Wuxi Double Elephant Rubber & Plastic Machinery Co., Ltd.** [Online] Srpen 2017. <http://www.wsxj.com/en/product.asp?plt=4&Pone=9>.
16. —. *Alibaba.com*. [Online] Srpen 2017. <https://doubleelephant.en.alibaba.com/>.
17. **Bongshin.** *Bongshin*. [Online] Srpen 2017. https://bongshincm.en.ec21.com/CALENDERS--1_117217.html.
18. **Shanxi Debang Rubber Products Co., Ltd.** *Four-roller calander*. CN104325586 Čínská lidová republika, 4. Únor 2015. kalandr.
19. **Valmet, Oy.** *Calender. FI793200A* Finsko, 15. Říjen 1979. kalandr.
20. **Schloemann, AG.** *Calenders, particularly in drawing calenders for the production of webs of foil or film. DE19671729043* Německo, 30. Listopad 1967. kalandr.
21. **Valmet, Oy.** *Method and apparatus for preventing vibrations of a roll set. EP0779394A1* Evropa, 5. Listopad 1996. kalandr.

16 Příloha 1 – Patentová řešerše

16.1.1 CN104325586 (A) - Čtyřválcový kalandr

| | |
|-------------------|---|
| Číslo publikace: | CN104325586 (A) |
| Vynálezce: | Xing WEI, QUI HUIJUN, |
| Příhlašovatel: | Shanxi Debang Rubber Products Co., Ltd |
| Datum přihlášení: | 4. 2. 2015 |
| Adresa URL: | https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=7&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=20150204&CC=CN&NR=104325586A&KC=A |
| Abstrakt: | <p>Vynález se týká čtyřválcového kalandru. Stojan, hlavní motor a převodovka jsou rozmístěny na těle stroje. Hlavní motor je připojen k převodovce. První, druhý, třetí a čtvrtý válec jsou postupně rozmístěny na stojanu shora dolů a jsou uloženy ve tvaru S, kde každé dva sousedící válce jsou uloženy relativně rotačně. Úhel mezi přímkou procházející středy 1. a 2. válce a přímkou procházející středy 3. a 4. válce a horizontální přímkou je 45°. Převodovka, připevněná k tělu stroje je se všemi válci spojena kardanovou spojkou. Stavěcí mechanismy jsou rozmístěny v tomto pořadí umístěny na prvním, druhém a čtvrtém válci a jsou připojeny k dvourychlostnímu motoru. Aparát zásobování materiálem je umístěn na levé horní části těla stroje. Přijímací a transportní aparát je umístěn na pravé straně těla stroje. Čtyřválcový kalandr lze použít na jednostranně či oboustranně lepící operace, výrobu dopravníkových pásů či výrobu běžných pláten a pruhů. (18)</p> |



Obrázek 79 – Patent CN104325586 (A) (18)

16.1.2 US4332191 A - Calender

| | |
|-------------------|--|
| Číslo publikace | FI793200A |
| Vynálezce: | Matti KANKAANPAA |
| Příhlašovatel: | Valmet Oy |
| Datum přihlášení: | 15. 10. 1979 |
| Adresa URL: | https://patents.google.com/patent/US4332191A/en?q=D21F3%2f0218,calender&before=19800101 |
| Abstrakt: | Calender apparatus adapted to be directly associated with a paper machine for calendering a web leaving the same wherein at least two separate calendering units are mounted on a unitary frame spaced from one another. Each calendering unit includes at least one intermediate roll and two hard end rolls defining a respective pair of nips with the intermediate roll on substantially diametrically opposed sides thereof. The intermediate roll of a calendering unit may comprise a soft roll so that the pair of nips of the calendering unit are soft nips so that the calender apparatus comprises a supercalender. (19) |

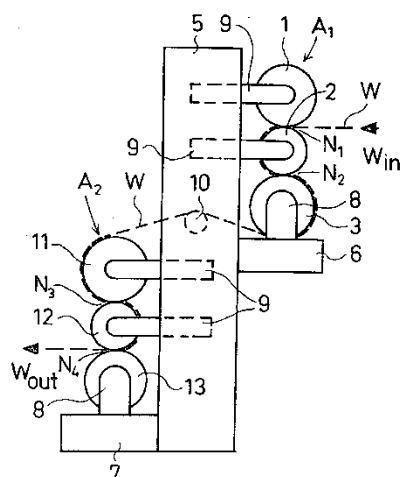


FIG. 1

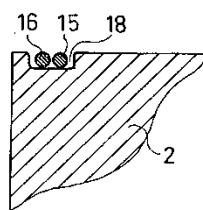


FIG. 1b

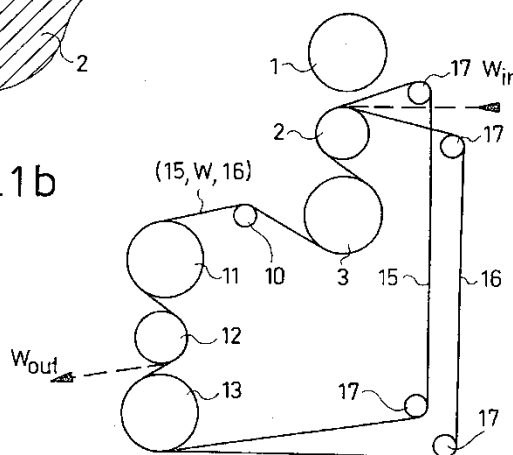
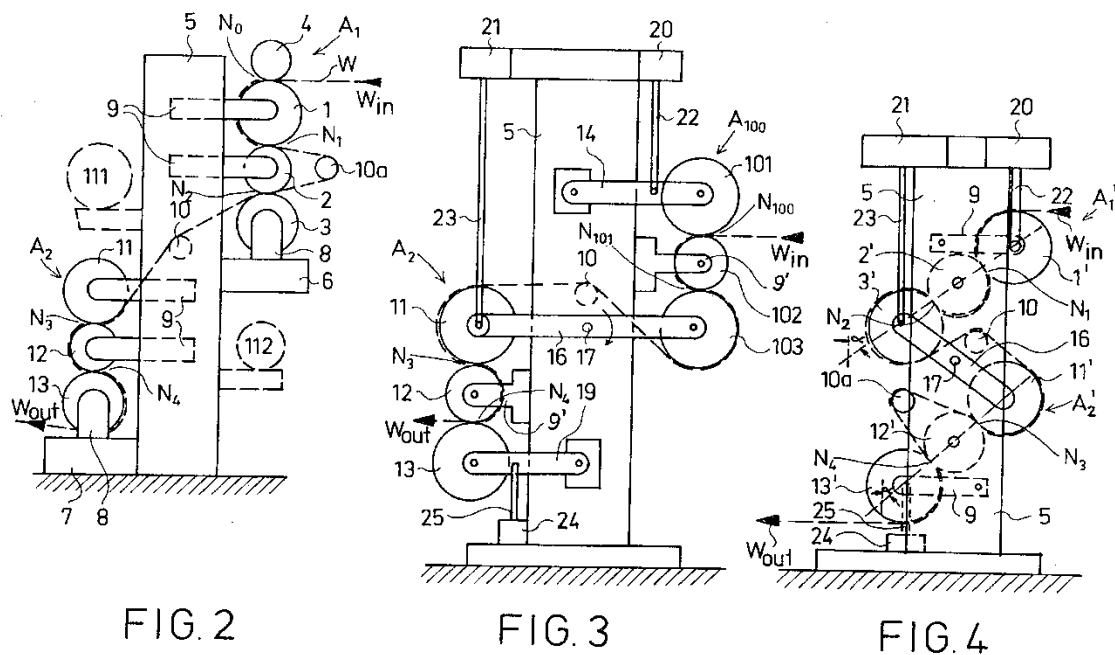
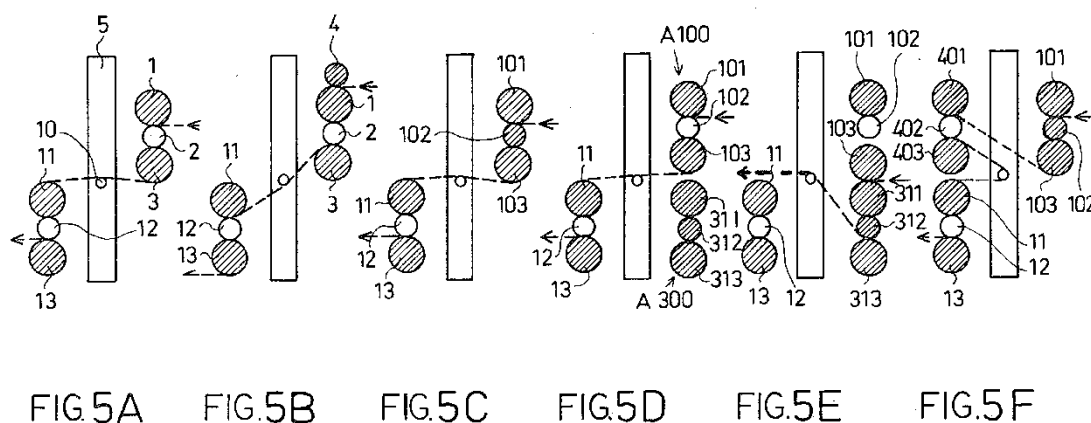


FIG. 1a

Obrázek 80 Patent US4332191 A - bokorys kalandrového zařízení podle předloženého vynálezu znázorňuje strukturu rámu, nosné a posunovací zařízení pro různé jejich válce (19)



Obrázek 81 Patent US4332191 A - bokorys dalšího provedení kalandrového zařízení podle předkládaného vynálezu

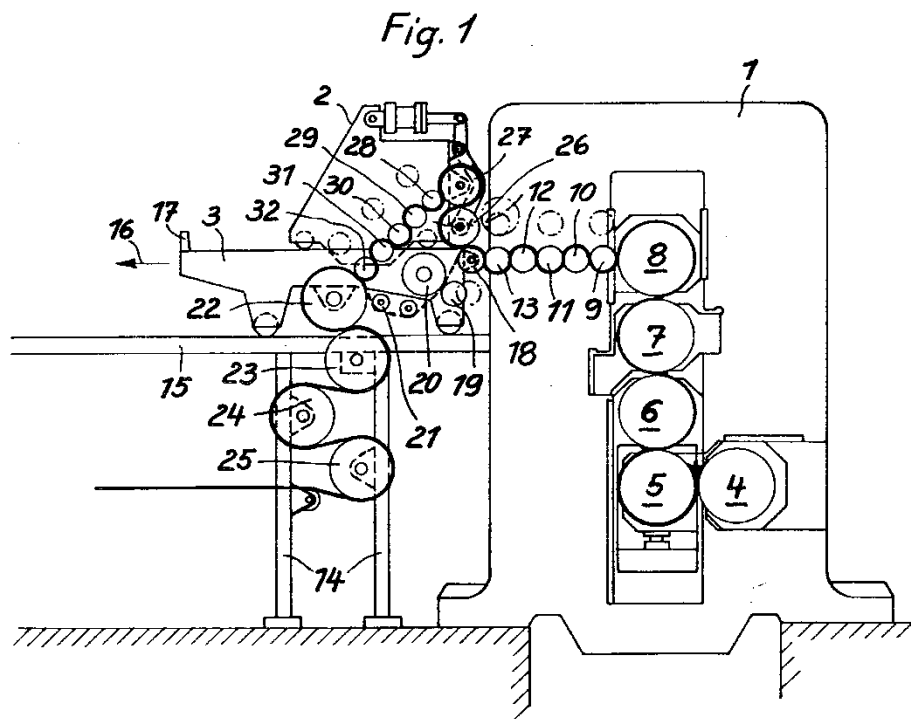


Obrázek 82 Patent US4332191 A - schematické pohledy na různá provedení kalandrového zařízení podle předkládaného vynálezu

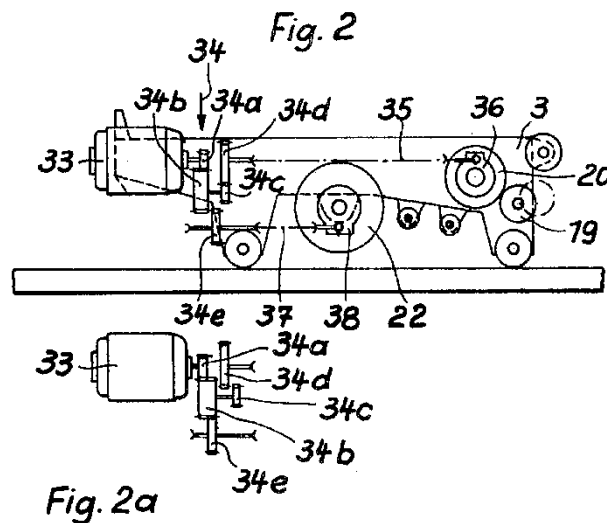
16.1.3 US3581340 A – Calenders, particularly in drawing calenders for the production of webs of foil or film

| | |
|-------------------|---|
| Číslo publikace | DE19671729043 |
| Vynálezce: | Uwe THIEME |
| Příhlašovatel: | Schloemann AG |
| Datum přihlášení: | 19. 11. 1968 |
| Adresa URL: | https://patents.google.com/patent/US3581340A/en?q=rubber&q=calander |

| | |
|------------------|---|
| <p>Abstrakt:</p> | <p>A calendar, particularly a drawing calendar for the production of foil webs from rubber or thermoplastic materials, followed by optional racking and embossing means, the racking means and the embossing means each being lodged in a separate carriage capable of travelling between a working position close to the calendar and an idle position, the two carriages being mounted one above the other for parallel running, and the lower carriage being provided, and at the end adjacent to the calander, with an overhanging bowl which can also serve as a guiding roller. The upper carriage may be mounted upon the lower carriage, for travelling thereon. (20)</p> |
|------------------|---|



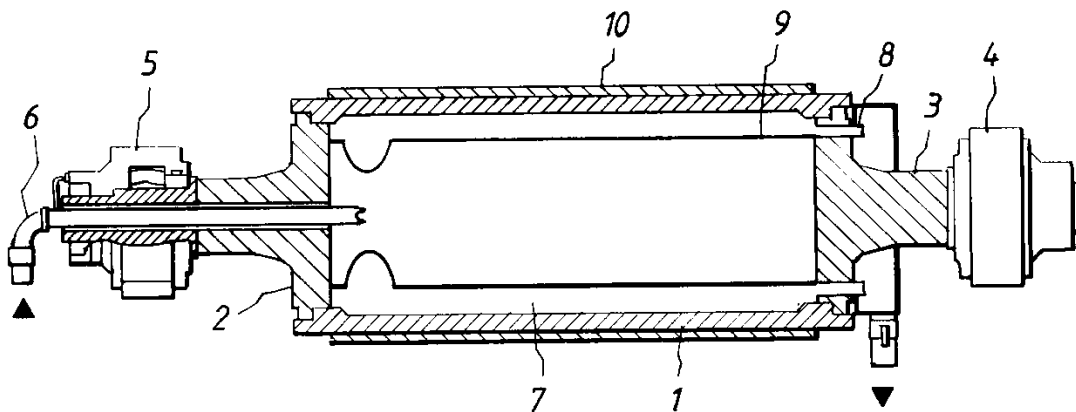
Obrázek 83 Patent US3581340 A - boční nárys (20)



Obrázek 84 Patent US3581340 A - detailní znázornění výhodného uspořádání hnacího kola (20)

16.1.4 EP0779394A1 – Method and apparatus for preventing vibrations of a roll set

| | |
|-------------------|---|
| Číslo publikace | EP0779394A1 |
| Vynálezce: | Esa LEHTOVIRTA, Jorma KÖLIÖ, Markku SALO, Kari LUOSTARINEN |
| Příhlašovatel: | Valmet Oy |
| Datum přihlášení: | 5. 11. 1996 |
| Adresa URL: | https://patents.google.com/patent/EP0779394A1/en?q=rubber&q=c alander&page=2 |
| Abstrakt: | A method and apparatus for preventing vibrations of a roll set of a paper making apparatus, wherein the roll set comprises at least two rolls of which at least one is a soft roll coated with a compressible coating and comprising a temperature control system. According to the method the natural frequency of the roll set is changed during the operation of the apparatus by changing the temperature of the coating of at least one soft roll. The changing of the natural frequency prevents the resonance on a natural frequency of the roll set. (21) |

*Fig.1*

Obrázek 85 EP0779394A1 – schematický pohled na typický vodou chlazený válec (21)

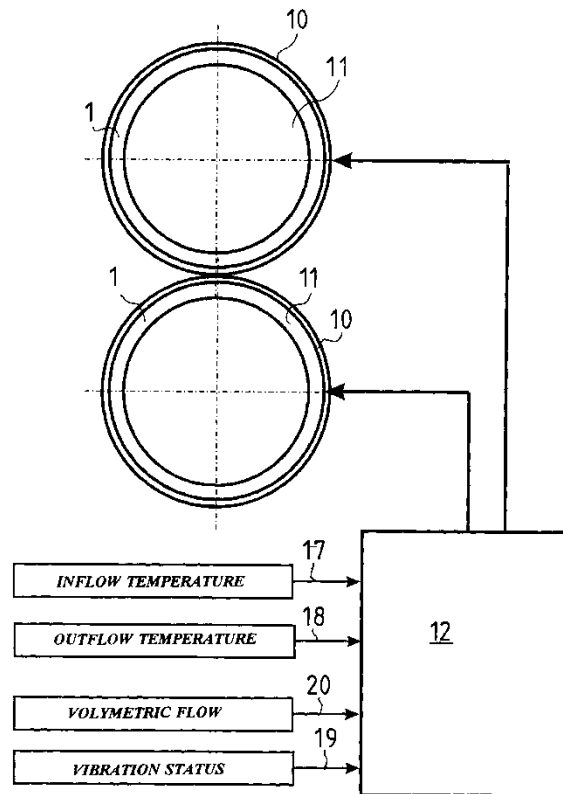
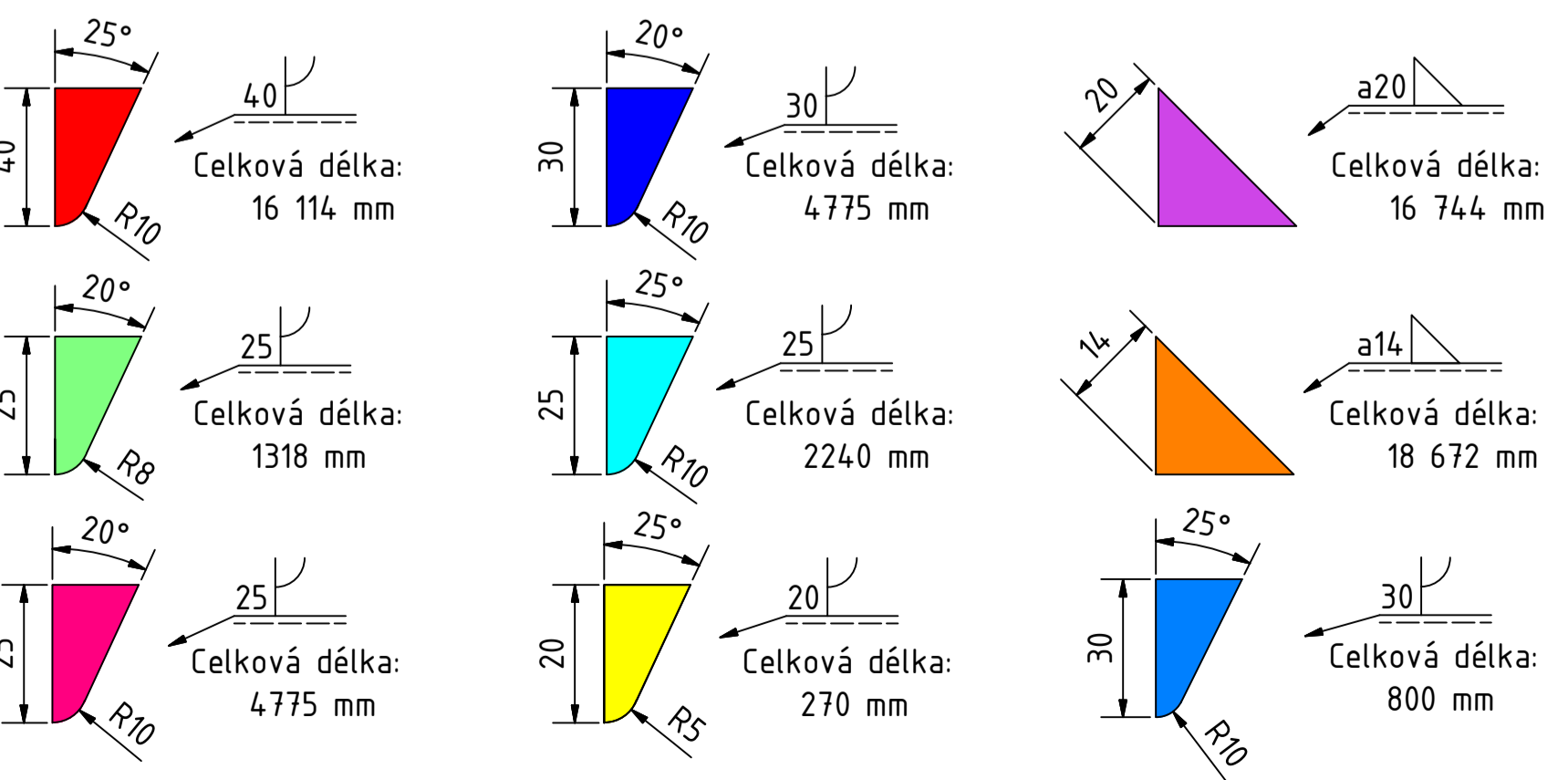
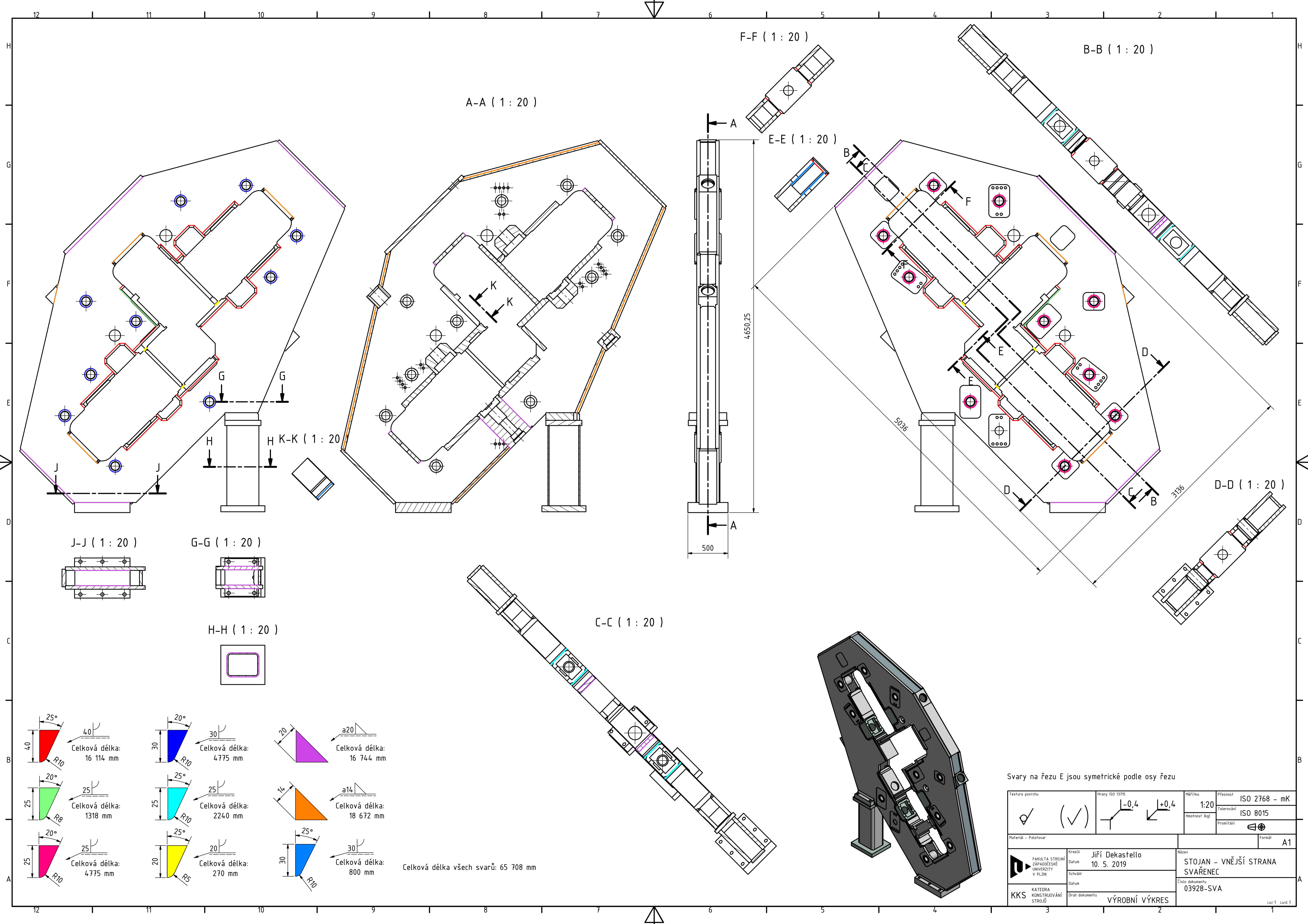


FIG. 2

Obrázek 86 EP0779394A1 – diagram vhodného řídicího systému pro implementaci (21)

16.1.5 Souhrn informací z provedené patentové rešerše

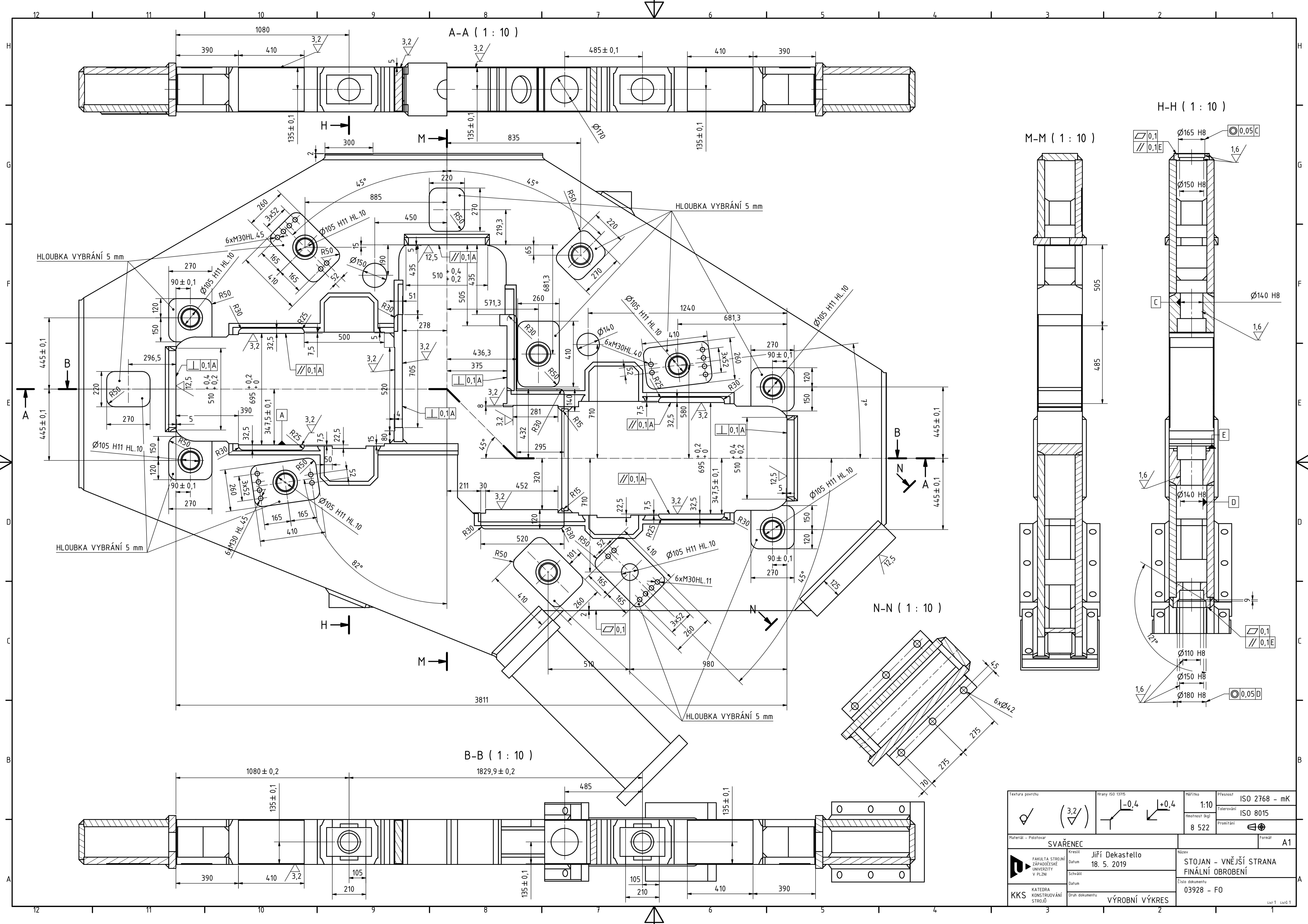
Z provedené patentové rešerše je zřejmé, že patentovou ochranou plechových bočnic stojanu se nikdo speciálně nevěnoval. Řešení tedy není z tohoto pohledu omezeno.



Celková délka všech svarů: 65 708 mm

Svary na řezu E jsou symetrické podle osy řezu

| | | | |
|----------------------|----------------------------|---------------------------------|---------------|
| Textura povrchu | Normy ISO 13715 | Měřítko | Přesnost |
| ✓ (✓) | ±0,4 / +0,4 | 1:20 | ISO 2768 - mK |
| | | | Tolerování |
| | | | ISO 8015 |
| | | | Promítání |
| | | | Formát |
| | | | A1 |
| Materiál - Polotovár | Kreslil | Název | |
| | Jiří Dekastello | STOJAN - VNĚJŠÍ STRANA SVÁRENEC | |
| | Datum | Číslo dokumentu | |
| | 10. 5. 2019 | 03928-SVA | |
| | Schválil | Druh dokumentu | |
| | | VÝROBNÍ VÝKRES | |
| KKS | KATEDRA KONSTRUVÁNÍ STROJŮ | Líst 1. z celk. 1 | |



| | | | |
|---|----------------------------------|------------------------|---|
| Textura povrchu ✓ (3,2) | Normy ISO 13715 -0,4 / +0,4 | Měřítko 1:10 | Přesnost ISO 2768 - mK |
| | | Hesnost listů 8 522 | Tolerování ISO 8015 |
| Materiál - Polotovár SVAŘENEC | | Formát A1 | |
| Kresil Jiří Dekastello Datum 18. 5. 2019 | Schválil | | Název STOJAN - VNĚJŠÍ STRANA FINÁLNÍ OBROBĚNÍ |
| KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ | Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES | | Číslo dokumentu 03928 - FO |