



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

**Automatická vyjímací stanice do kalící linky
drátu**

**Automatic removal station for the wire
hardening line**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2021

Kristina BITTMANNOVÁ

Studijní program: (NDTT) Dopravní a transportní technika

Studijní obor: (N071TTTE) Transportní technika

Vedoucí práce: Ing. Martin Havlíček

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Automatická vyjímací stanice do kalící linky drátu“ vypracovala samostatně pod vedením Ing. Petra Švingera a Ing. Martina Havlíčka, s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

- V Praze dne

podpis autora

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat panu Ing. Martinu Havlíčkovi, za vstřícný přístup k mé firemní diplomové práci a pevné nervy. Zároveň chci poděkovat panu Ing. Petru Švingerovi za všechny potřebné podklady, které mi byly poskytnuty a volný čas, který mi věnoval. Také za odborné konzultace a pomoc při důležitých otázkách konstrukce a výpočetních kontrolách. Chci poděkovat svým kolegům z firmy Mubea, kteří mi díky své dlouholeté praxi byli schopni se vším poradit.

Nakonec chci poděkovat celé své rodině a blízkým přátelům za jejich morální podporu během celého mého studia.

Anotační list

Jméno autora:	Kristina BITTMANNOVÁ
Název DP:	Automatická vyjímací stanice do kalící linky drátu
Anglický název:	Automatic removal station for the wire hardening line
Rok zpracování:	2021
Studijní program:	(NDTT) Dopravní a transportní technika
Obor studia:	(N071TTTE) Transportní technika
Ústav:	Ústav konstruování a částí strojů
Vedoucí práce:	Ing. Martin Havlíček
Konzultant:	Ing. Petr Švinger
Bibliografické údaje:	Počet stran: 60 Počet obrázků: 58 Počet příloh: 1
Klíčová slova:	pružina, cutter, vyjímání, Mubea, kalení, tepelné zpracování, stříh
Key words:	spring, cutter, removal, Mubea, hardening, heat treatment, cutting

Anotace: Tato diplomová práce obsahuje návrh na úpravu stávajícího zařízení na tepelnou úpravu patentovaného pružinového drátu firmy Mubea. Úvod práce se zaměřuje na rešerši ve formě seznámení se zařízením a jeho částmi. Dále pokračuje návrhy jednotlivých částí pro stanici Cutteru a novým vyjímacím zařízením pro zajištění kladného CE protokolu a s ním možným bezpečným provozem linky.

Abstrakt: This diploma thesis contains a proposal for the modification of the existing equipment for heat treatment of the patented spring wire of the company Mubea. Introduction focuses on research in the form of acquaintance with the machine and its parts. Furthermore, the design of individual parts for the Cutter station and a new extraction device to ensure a positive CE protocol and with it the possible safe operation of the line continues.

Obsah

1. Úvod	1
1.1 Společnost Mubea.....	2
1.2 Účel podvozkových pružin	4
1.3 Tepelné zpracování pružinového drátu.....	5
1.4 Proces výroby vinutých pružin	6
2. Popis výrobního zařízení pružinového drátu (ITW)	7
2.1 Odvíječ drátu	8
2.2 Vodící stojan	8
2.3 Mobilní rovnací zařízení	9
2.4 Čistící zařízení.....	9
2.5 Pohonné jednotky s rovnačkou drátu.....	10
2.6 Zahřívání drátu	10
2.7 Kalení drátu	11
2.8 Žihání drátu	11
2.9 Chlazení drátu	12
2.10 Pohon.....	12
2.11 Cutter – s ručním pohybem	13
2.12 Pneumatická výhybka	13
2.13 Kontrolní stanice povrchových trhlin (Circograph) +.....	14
inkoustová tiskárna a naváděcí sklopná soustava	14
2.14 Uspořádání drátu před svinutím	14
2.15 Navíječ drátu	15
3. Nárok na bezpečnost	15
4. Technické zhodnocení nově upravené linky	15
5. Návrh	16
5.1 Ideová studie.....	16
5.2 Časový rozbor studie stříhu a vyjímání	17
5.2.1 Cutter.....	17
5.2.2 Vyjímání.....	21
5.3 Konstrukční návrh zařízení	28
5.3.1 Automatický pohyb cutteru.....	28
5.3.2 Zachycení odstřížků 600 ÷2000 [mm].....	41
5.3.3 Vyjímací zařízení odstřížků	41



6. Ekonomický přínos	46
6.1 Náklady na přestavbu zařízení (vyčíslení nákladů ve zvyklostech firmy Mubea).....	46
6.2 Úspora mzdových prostředků (eliminace pracovníka)	47
5. Závěr (Vyhodnocení)	49
Seznam použité literatury	50
Seznam použitých znaků	52
Seznam obrázků	53
Seznam příloh	54

1. Úvod

Cíl mé závěrečné práce spočívá v seznámení formou rešerše s procesem výroby pružin, aktuálním výrobním zařízením používaným ve firmě Mubea pro výrobu pružin a bezpečnostními normami spojené s touto linkou. Dalším cílem je úprava nového vyjímacího zařízení na odběr odstřížku drátu a úprava stávajícího hydraulického cutteru na stříh drátu.

Provoz cutteru byl akreditovanou certifikační firmou shledán jako obsluze velmi nebezpečný a situaci nelze řešit ani žádným předpisem. Na výrobní zařízení nebyl vydán kladný CE Protokol. Zařízení má podmíněnou výjimku provozu do konce roku 2021. Pakliže nebude sjednána náprava, bude zařízení odstaveno z provozu. Z hlediska nasmlouvaných kontraktů je odstavení zařízení finančně nemyslitelné.

Z důvodu zvýšení bezpečnosti bude na místo manuálního odběru vzorků a přípravy drátu instalováno nové automatické zařízení, díky kterému nemusí být u vyjímání vzorků přítomna obsluha. To se bude skládat z automatické vyjímací stanice a rozšíření stávajícího ručně ovládaného Cutteru na Cutter s automatickým strojním pohybem. Zákazník vyžaduje stříhání odstřížků v délce $600 \div 2000$ mm s návazností na laboratorní oddělení z důvodu testování mechanických vlastností zušlechtěného drátu.

Návratnost investice z ekonomického hlediska pro firmu Mubea je třeba hodnotit nejen z pohledu ušetření času na obsluhu, která nebude muset operace provádět manuálně, ale převážně z hlediska možného provozu linky. Pakliže by koncem roku 2021 nebyl vydán kladný CE protokol, linka bude odstavena a produkce bude zastavena. To by znamenalo ukončení nasmlouvaných kontraktů a způsobilo firmě značné finanční ztráty.

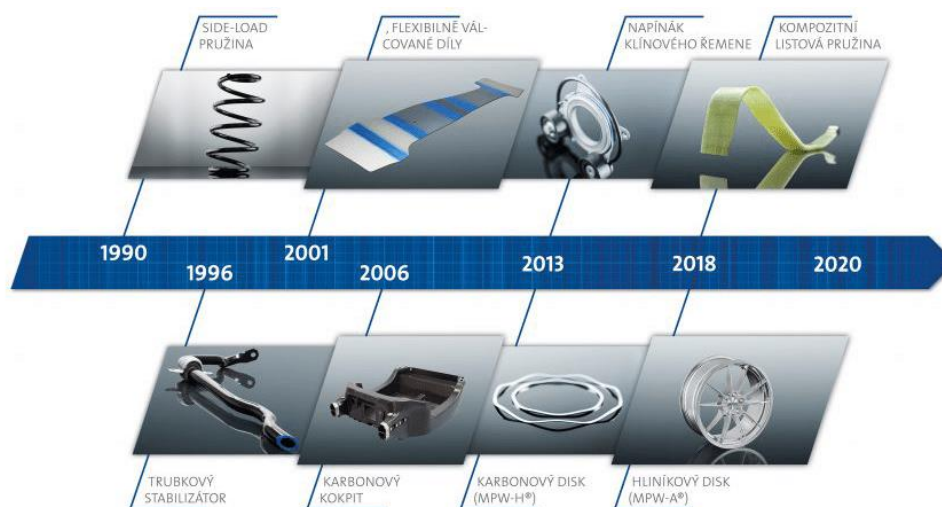
1.1 Společnost Mubea

Mubea

light.efficient.global.

Obr. 1: Logo společnosti [1]

K založení společnosti došlo uzavřením nájemní smlouvy tovární budovy Josefem Muhrem 27.června 1916. Vstupem ručícího společníka pana Ludwiga Bendera vzniklo finální jméno společnosti Muhr & Bender. Název Mubea je složen z počátečních písmen příjmení obou zakladatelů a místa vzniku. Tedy Mu(hr),Be(nder) a A(ttendorn). V letech 1995-1998 vznikly v České republice dva závody a to v Prostějově a v Žebráku, které se řadí mezi nejvýznamnější a to v rámci celého koncernu. V roce 2016 vznikl závod v Dolních Kralovicích, jako třetí a poslední v České republice. Firma je nyní rozšířená celkově na 4 kontinentech z toho ve 20 zemích a čítá zhruba 50 závodů o 15 000 zaměstnanců a 600 učňů. Mubea se soustředí na vývoj a výrobu automobilových výrobků s jedinečnými vlastnostmi. Jedním z hlavních hesel společnosti je „Light“. Snaha o snížení hmotnosti součástí přispívá i ke snižování spotřeby paliva a tím k ochraně životního prostředí snížením emisí CO₂. Díly se vyrábí například pro firmy Audi, BMW, Porsche, Ford, Fiat, Chrysler nebo VW. [1]



Obr. 2: Sortiment společnosti Mubea [1]

Díky tomu, že společnost Mubea úzce spolupracuje se středními a vysokými školami nabízí Mubea spousty benefitů ve formě stipendií, odborných praxí, výzkumných projektů a bakalářských, diplomových a dizertačních prací. Mezi partnerské školy patří například České vysoké učení technické v Praze (ČVUT), Vysoké učení technické v Brně (VUT), nebo Západočeská univerzita v Plzni. [2]

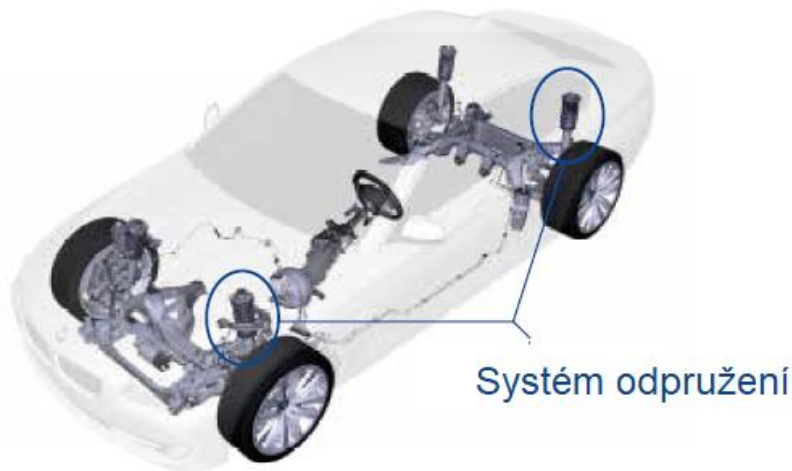
Spolupracující vysoké školy



Obr. 3: Spolupracující vysoké školy [2]

1.2 Účel podvozkových pružin

Hustota provozu na dnešních silnicích znamená, že automobily musí být dostatečně bezpečné a pohodlné, aby umožňovaly řidiči plné soustředění na okolní dění. Zároveň musí klást důraz i na co nejmenší unavení řidiče při vzdálených cestách. Krom požadavků na snadnou manipulaci, palivové úspornosti a nízkých požadavků na údržbu, je nesmírně důležitý také zvýšený komfort a bezpečnost jízdy.



Obr. 4: Moderní tlumící systém [3]

Splnění těchto požadavků vyžaduje začlenění elastických a rázu absorbujících komponentů na systém podvozku vozidla (Obr. 4). Na jedné straně musí chránit prostor pro cestující proti většině nárazů a vibrací ze silnice, zatímco na druhé straně trvale zajistit dobrou trakci kol. [3]

Tlačné pružiny jsou zvláště dobré při zajišťování pružnosti, a to následovně:

- jejich kompaktní design umožňuje prostorově úspornou instalaci do pomocných rámců a na ovládací ramena
- lze je kombinovat s tlumičem do jedné jednotky
- jejich charakteristická křivka může být lineární nebo progresivní,
- jsou nákladově efektivní, a proto je lze vyrobit za nízkou cenu
- jsou prakticky bezúdržbové

1.3 Tepelné zpracování pružinového drátu

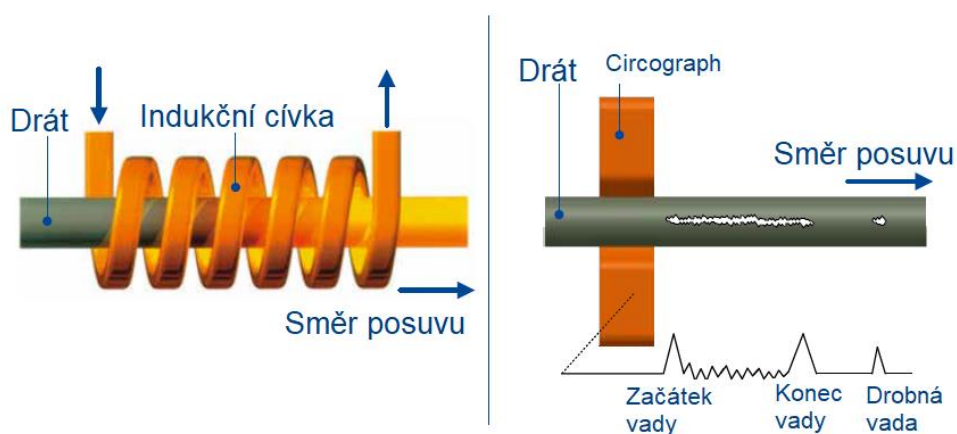
Tlačné pružiny, které jsou vystaveny největšímu namáhání, jsou navíc podrobeny broušení otěrů během procesu tažení. Tento proces zahrnuje dvě rotační brusky, které odstraňují povrchové vady.

V následném procesu „kalení“ se tažený drát indukčně zahřívá na teplotu v oblasti austenitu v jedné kalicí a popouštěcí lince, před přímým popuštěním vodou (Obr. 5 vlevo).

Martenzitická transformace struktury vytváří zvýšenou materiálovou pevnost, trvanlivost a odolnost.

Pružinový drát se znovu zahřeje, aby se nastavila požadovaná pevnost a houževnatost. Tím je zajištěno dobré deformování vlastnosti během studeného vinutí tlačné pružiny.

Jak je uvedeno v plánu zkoušek a inspekcí (specifikace QA), jsou podrobeny tvrzené dráty k tahovým zkouškám (pevnost, zmenšení plochy) a metalografickým vyšetřením (mikrostruktura, oduhličování, povrchové vady a tvrdost v průřezu). Kromě toho nepřetržitě vířivé testování (circograf) se provádí na kalicích a popouštěcích linkách, aby se zkontrolovaly povrchové vady. Jakékoliv detekované povrchové chyby jsou označeny a v odpovídající oblasti se automaticky vyřadí z výrobního procesu pružiny (obr. 4.9 vpravo). [3]



Obr. 5: Indukční popouštění drátu (vlevo), testování vířivými proudy (vpravo) [3]

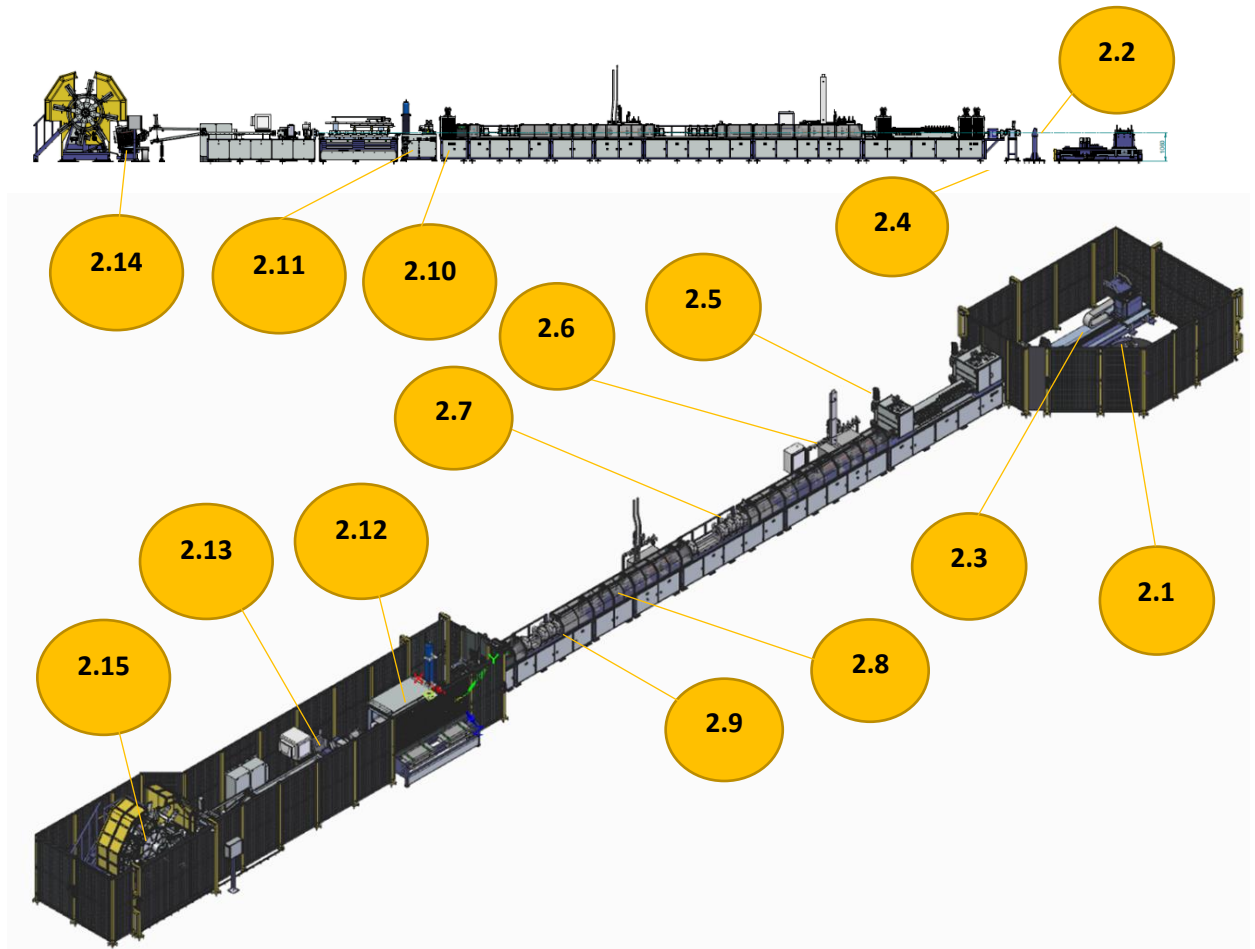
1.4 Proces výroby vinutých pružin

Osvědčené technické postupy nařizují, že vinuté pružiny pro osobní automobily jsou buď navíjeny kolem trnu za tepla (rozsah austenitu) a pak tvrzeny a kaleny („vinutí za tepla“), nebo je kalený drát volně navíjen za studena („studené vinutí“). V případě obou výrobních technologií je dalším krokem přednastavení, broušení a natírání pružin, aby byly chráněny proti korozi.

Proces, který společnost MUBEFA Fahrwerksfedern GmbH používá k výrobě závěsných spirálových pružin při velkosériové výrobě, se nazývá HPP (High Performance Process), který je rozdělen na tyto dílčí procesy:

- | | |
|--------------------------------|--|
| 1. Vinutí | -Vinutí za studena |
| 2. Odlehčení od stresu žíháním | -Odstranění vnitřního namáhání cívek způsobeného tvářením |
| 3. Nastavení s řízenou zátěží | -Plastifikace pro zvýšení přednastavené pevnosti a indukci tlakového namáhání pro zvýšení únavové životnosti |
| 4. Hřejivé brokování | -Akumulace tlakového namáhání v povrchové vrstvě |
| 5. Kalení | -Zchlazení ve vodní lázni na pokojovou teplotu v rámci přípravy na další postup |
| 6. Kuličkování | -Optimalizace tlakového namáhání v oblasti povrchové vrstvy |
| 7. Přednastavení | -Konečná plastifikace pro nastavení požadovaného zkušebního zatížení a zaručení přednastavené pevnosti |
| 8. Laserové značení | -Označení koncových cívek laserovou signaturou |
| 9. Nátěr | -Ochrana proti korozi, ochrana proti vlivům životního prostředí |
| 10. Testování zatížení | -100% testování parametrů pružiny dle požadavků zákazníka |
| 11. Označení | -Označení barevným kódem nebo štítkem |

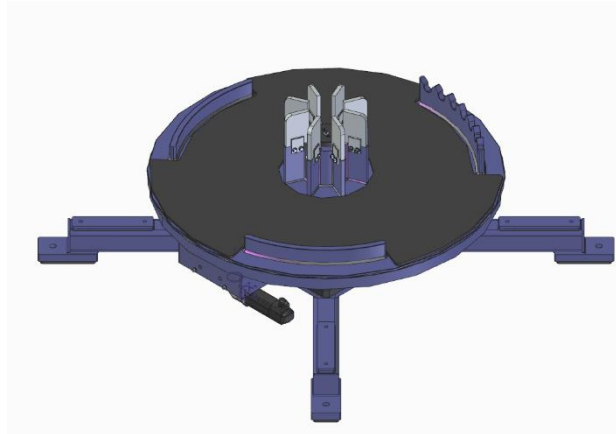
2. Popis výrobního zařízení pružinového drátu (ITW)



Obr. 6: Kompletní výrobní linka [4]

Výrobní ITW Linka – Manisa na výrobu pružinových drátů se momentálně skládá zhruba z patnácti dílčích pracovišť. Na začátku výrobního procesu vstupuje do linky surový drát bez jakékoliv povrchové úpravy. Stávající linka byla určena pro opracovávání drátu o průměru 10 – 18 mm, nyní se předělává pro drát o průměru 20 mm. Dojde k náležitě úpravě některých pracovišť a přidáním nového vyjímacího zařízení, jakož to náhradu za manuální vyjímání obsluhy, které již z bezpečnostních důvodů nebude možné dále vykonávat. [4]

2.1 Odvíječ drátu

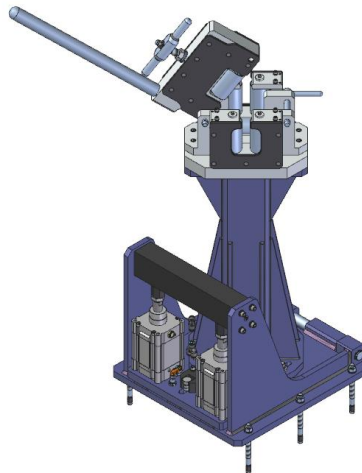


Obr. 7: Odvíječ drátu [4]

Funkce sestavy:

Odvíječ slouží k snadnému odvíjení drátu z cívky. Odvíječ má pohon a je poháněn pouze odvíjeným drátem, který je vytahován pohonnou jednotkou přes kladkový systém. Otočná deska odvíječe je uložena na ložisku, které umožňuje snadné odvíjení drátu z cívky.

2.2 Vodící stojan

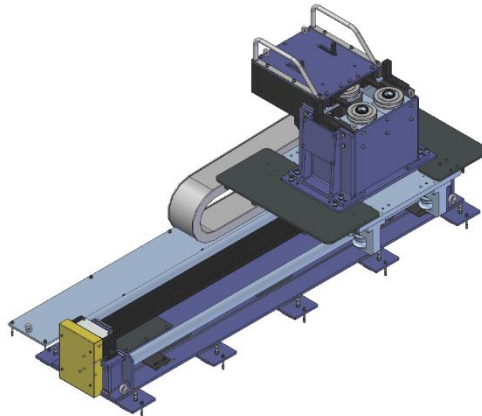


Obr. 8: Vodící stojan [4]

Funkce sestavy:

Vodící válce slouží k nastavení správného směru drátu před čištěním. Válečky vedou drát, zatímco je odvíjen. Válečky jsou namontovány v ložiscích. Toto zařízení funguje jako bezpečnostní zařízení proti zaseknutému drátu v odvíječi.

2.3 Mobilní rovnací zařízení

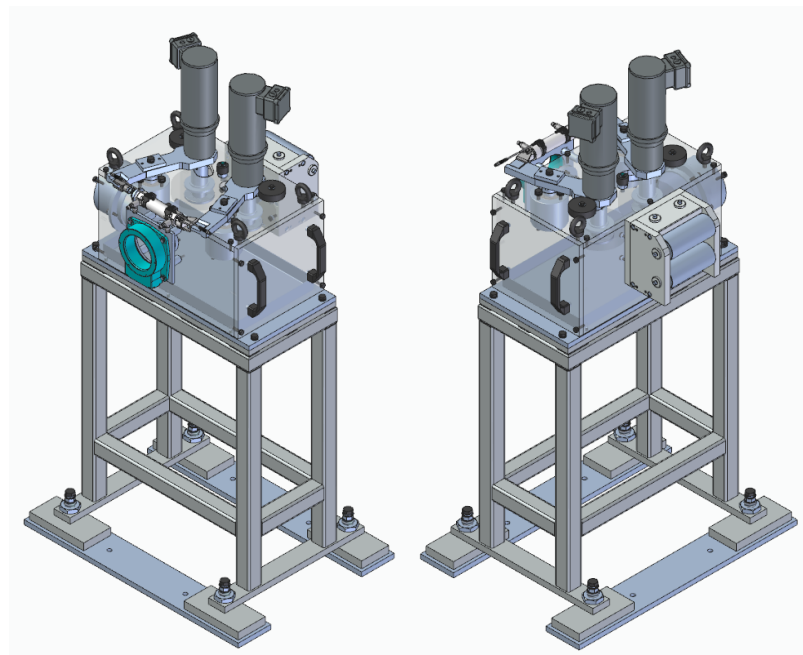


Obr. 9: Mobilní rovnačka [4]

Funkce sestavy:

Narovnávací zařízení se používá k narovnání silného drátu a současně s vložením do pohonné jednotky

2.4 Čistící zařízení

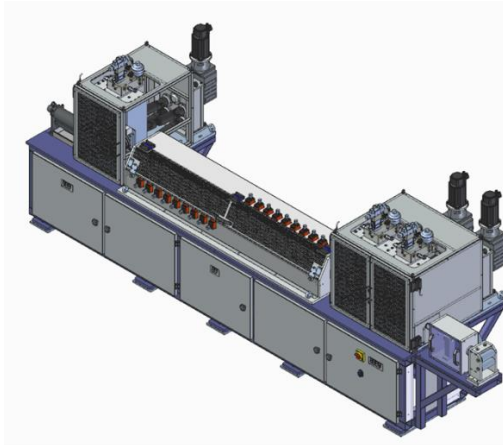


Obr. 10: Čistící zařízení [4]

Funkce sestavy:

Funkce čistící jednotky drátu spočívá v odstranění povrchového znečištění drátu před zahřátím a tepelnou úpravou. Samotný proces čištění se provádí pomocí spirálového drátěného kartáče.

2.5 Pohonné jednotky s rovnačkou drátu

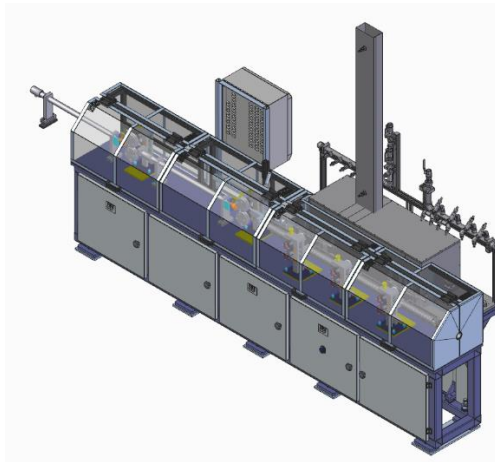


Obr. 11: Pohonné jednotky a rovnačka drátu [4]

Funkce sestavy:

Pohony se používají pro tažení drátu přes linku. Pohyb pohonu se přenáší ze servomotoru vybaveného planetovou převodovkou na drát pomocí hydraulických válců. Rovnačka narovnává drát, aby usnadnila jeho průchod. Drát se musí narovnat, jakmile je dodáván ke zpracování jako meziprodukt ve svitcích.

2.6 Zahřívání drátu

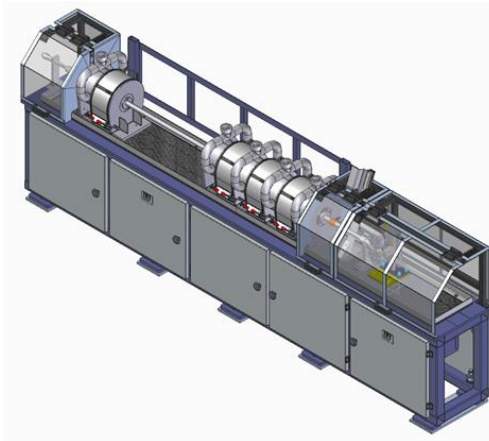


Obr. 12: Zahřívání drátu [4]

Funkce sestavy:

Na tomto pracovišti se drát zahřívá. Sestava obsahuje sadu vodicích válečků a matic pro kontrolu drátu, které zajišťují správné vedení drátu linkou. Teploty drátu, doby ohřevu a další parametry tepelného zpracování se stanoví v technologickém procesu.

2.7 Kalení drátu

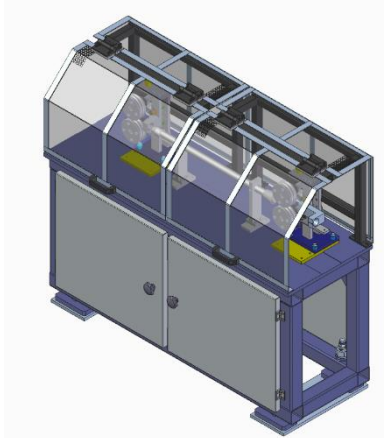


Obr. 13: Kalička [4]

Funkce sestavy:

Prudké zchlazení drátu u kalení se provádí přiváděním studeného roztoku do uzavřených nádob, kde se táhne ohřátý drát. V nádobách jsou tažné matrice a vodicí kužele s tryskami zajišťujícími přesné vedení drátu i rovnoměrný přísun chladicí kapaliny. Ve spodní části stolu je instalováno odtokové potrubí pro sběr chladicí vody. Teploty drátu / chladicí kapaliny, doby chlazení, průtok chladicí kapaliny a další parametry kalení budou specifikovány v technologickém procesu.

2.8 Žihání drátu

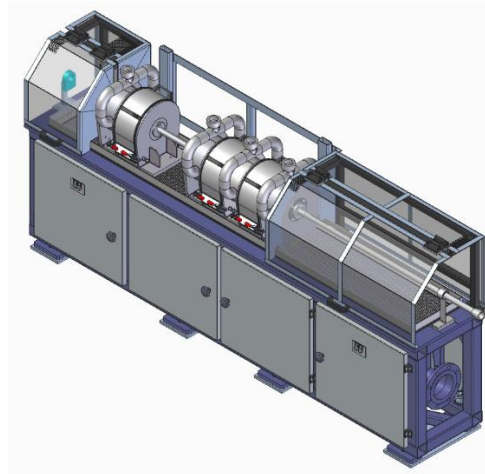


Obr. 14: Žihání drátu [4]

Funkce sestavy:

Na této stanici se drát zahřívá. Sestava obsahuje sadu vodicích válečků a matic pro tažení drátu pro kontrolu drátu, které zajišťují správné vedení drátu linkou. Teploty, doby ohřevu a další parametry žihání se opět stanoví v technologickém procesu.

2.9 Chlazení drátu

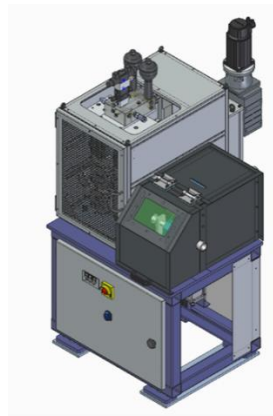


Obr. 15: Chlazení drátu [4]

Funkce sestavy:

Chlazení drátu se provádí přívodem studeného roztoku do uzavřených nádob, kterými se protahuje ohříváný drát. V nádobách jsou matrice a vodicí kužely s tryskami zajišťujícími jak přesné vedení drátu, tak rovnoměrné napájení chladicí kapaliny. Ve spodní části stolu je instalováno odtokové potrubí pro sběr chladicí vody. V technologickém procesu se stanoví teploty drátu/chladiva, doba chlazení, průtok chladicí kapaliny a další parametry chlazení.

2.10 Pohon

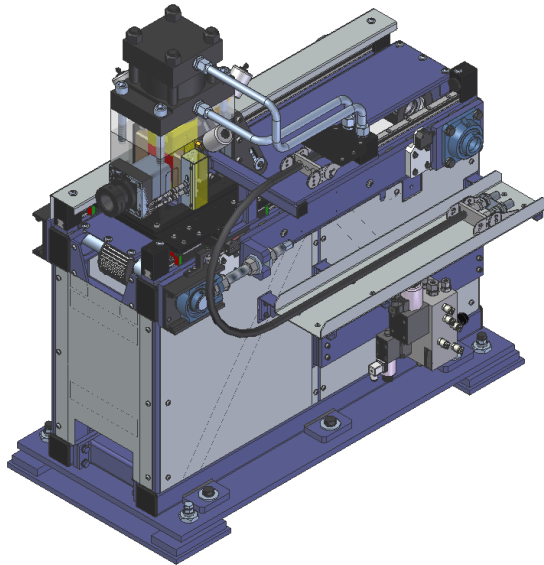


Obr. 16: Pohon [4]

Funkce sestavy:

Pohony se používají k protahování drátu linkou tepelného zpracování. Krouticí moment se přenáší ze servomotoru vybaveného planetovou převodovkou na drát pomocí hydraulických přítlačných válců.

2.11 Cutter – s ručním pohybem

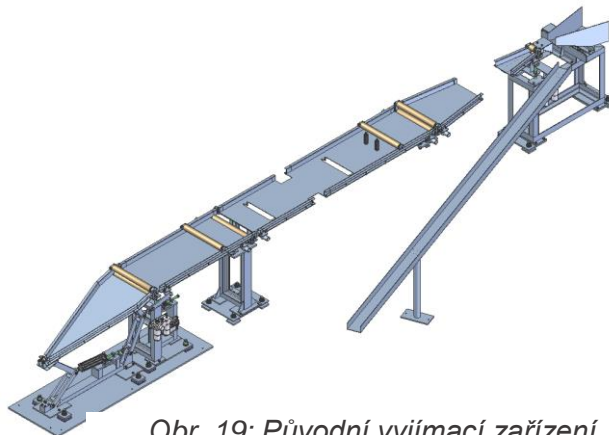


Funkce sestavy: *Obr. 17: Manuální Cutter*

Nůž v hydraulickém Cutteru slouží k odstříhnutí první délky drátu přiváděného do stroje při spuštění, protože přední část drátu projde systémem neošetřená a měla by být odstraněna.

Dále by mělo být odebráno několik vzorků drátu pro testování pevnosti v tahu. Provoz stroje lze zahájit až poté, co vzorky úspěšně prošly testem. Koncová část drátu je také odříznuta.

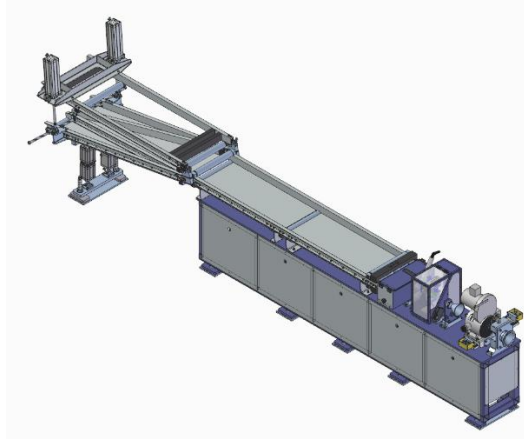
2.12 Pneumatická výhybka



Funkce sestavy: *Obr. 19: Původní vyjímací zařízení*

Pneumaticky ovládaná výhybka s ručním řízením, která odstraňovala odstřížky vedle do žlabu. Vše manuálně a vše nebezpečný ruční proces.

2.13 Kontrolní stanice povrchových trhlin (Circograph) + inkoustová tiskárna a naváděcí sklopná soustava



Obr. 20: Automatický podavač drátu

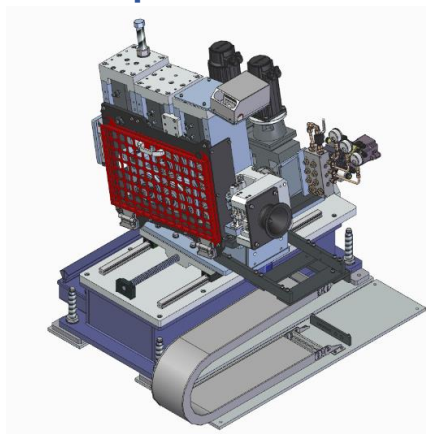
Automatické podávání drátu: slouží k odběru vzorků drátu pro testování. V tomto okamžiku je drát stále ještě rovný, než jsou zpětně navinut do svitku.

Kartáčová jednotka: vytváří malý povrch kartáče na drátu

Inkjet: označuje nesprávné místo drátu

Circograph: Toto zařízení (Circograph®) se používá ke kontrole ošetřeného drátu na skryté vady.

2.14 Uspořádání drátu před svinutím

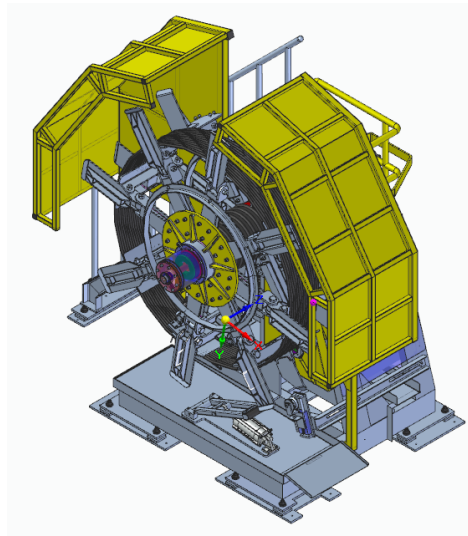


Obr. 21: Uspořádání drátu

Funkce sestavy:

Zařízení má zajistit přehledné převinutí drátu znovu do cívky na konci procesu tepelného zpracování. Je naprogramován tak, aby byl drát řádně položen na cívku, aniž by došlo k jeho křížení.

2.15 Navíječ drátu



Obr. 22: Navíječ drátu

Funkce sestavy:

Zařízení se používá k navíjení tepelně zpracovaného drátu zpět do původního tvaru - cívky.

3. Nárok na bezpečnost

Současný stav zařízení nesplňuje nezbytné kritéria udělení CE protokolu z důvodu pohybu (přítomnosti) osoby při stříhu drátu – nutná eliminace obsluhy. Proces stříhání musí být automatický.

V současné době je k zařízení vydána časově omezená výjimka pro provoz bez CE protokolu za dodržování výjimečných bezpečnostních předpisů a to do konce roku 2021.

4. Technické zhodnocení nově upravené linky

- Automatický proces přechodu linky z rozběhové části do produkční.
- Třídění iO a NiO odstřížků
- Úspora zušlechtěného materiálu
- Možnost stříhat odstřížky dlouhé 600 mm (odpadá dodatečné dělení materiálu mimo linku)

5. Návrh

5.1 Ideová studie

Vzorky drátu k metalurgickým testům musí být odebírány až po dosažení všech technologických parametrů zušlechťování (Teplota a rychlost ohřevu pro kalení, intenzita průtoku chladící vody po kalení, ochlazení, teplota popouštění, intenzita průtoku chladící vody po popouštění). Tzn., že linka už jede ustálenou rychlostí drátu, proces je kontinuální a vzorky musí být odstřiženy a odebrány bez ovlivnění kontinuity procesu.

Úlohu budu řešit:

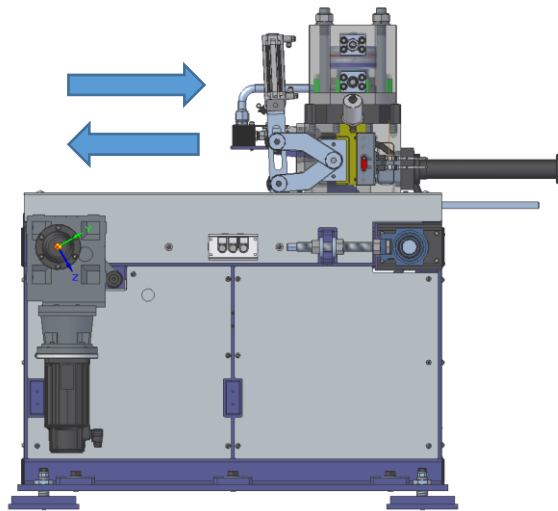
5.1.1 K ručně posuvného Cutteru (stříhadla) byl navržen automatický podélný pohon, který urychlí Cutter na shodnou aktuální rychlost drátu (max. 200 mm/s), aby mohl být realizován stříh drátu.

5.1.2 Pohon Cutteru byl navržen pro vyšší rychlost, aby po odstřižení vzorku mohl ještě zrychlit a vytvořit tak prostor pro zastavení a předání odstřížku vyjímacímu zařízení.

5.1.3 Vyjímací zařízení musí stihnout v krátkém čase 5 vteřin odstranit odstřížek z dráhy drátu, separovat ho do příslušného odběrního místa a vrátit se zpět do počáteční pozice.

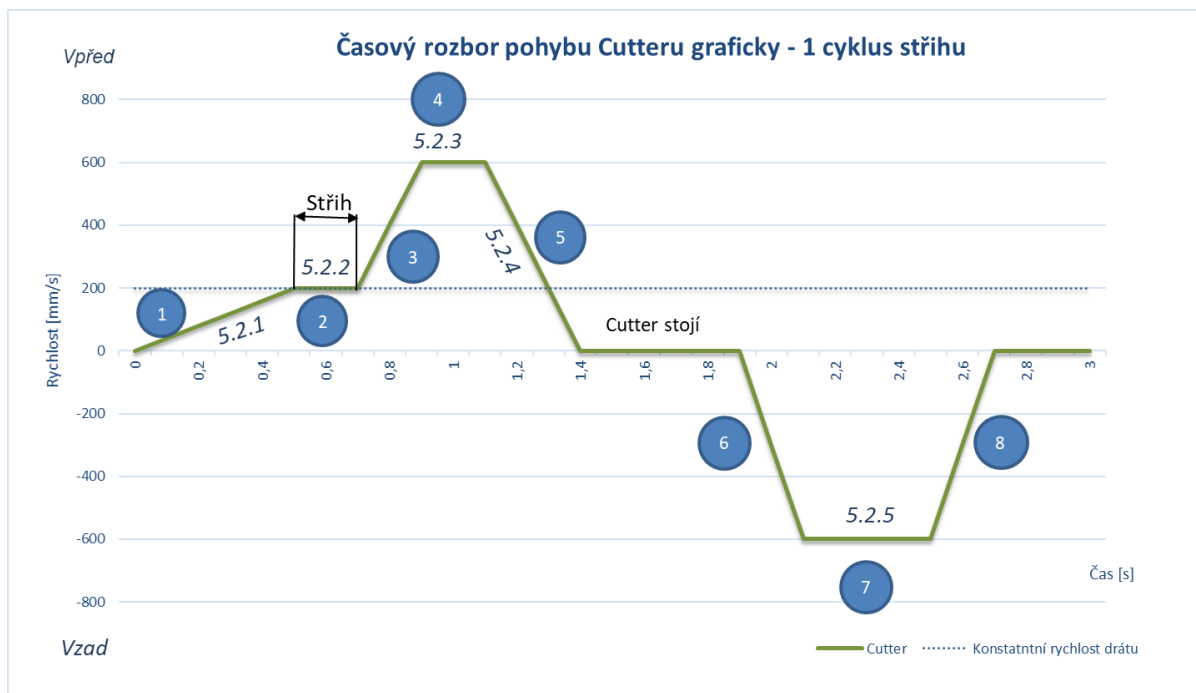
5.2 Časový rozbor studie stříhu a vyjímání

5.2.1 Cutter



Obr. 23: Pohyb Cutteru

Hydraulický Cutter se může z konstrukčního hlediska pohybovat v rozsahu 700 mm. Hydraulický Cutter se nejprve snaží sesynchronizovat svou rychlost s rychlostí drátu (200 mm/s). V moment, kdy dojde k synchronizaci, Cutter oddělí odstřížek, popojede s ním, aby předběhl kontinuálně se posouvající následující úsek drátu, a předá ho do uchopovacích čelistí vyjímacího zařízení.



Obr. 24: Časový rozbor pohybu Cutteru graficky

V pracovním cyklu zařízení se budou opakovat následující fáze:

START CYKLU 1; čas $T=0$ sekund

- 1 5.2.1 Rozjezd Cutteru na shodnou rychlost s drátem (synchronizace)
- 2 5.2.2 Za synchronizované rychlosti stříhání drátu (200 mm/s)
- 3 4 5.2.3 Urychlení pohybu Cutteru pro vytvoření mezery mezi odstřížkem a postupujícím drátem k jeho odběru vyjímacími zařízeními
- 5 5.2.4 Zastavení Cutteru a převzetí odstřížku uchopovacími čelistmi vyjímacího zařízení
- 6 7 8 5.2.5 Návrat Cutteru do výchozí pozice

Celý cyklus stříhání a vyjímání nesmí trvat déle než 3 sekundy.

Křivka v grafu (Obr. 24) je rozdělena do osmi úseků. Celková dráha z úseků 1.-5. spočítána na základě zvolených rychlostí a časů musí být ≥ 700 mm (podmíněno maximálním možným posuvem z konstrukčního hlediska kolejnic). To samé platí pro návrat Cutteru do původní polohy na úsecích 6.-8..

Dráhy na úseku 1.,3.,5.,6., a 8. budou vypočteny podle vzorce pro rovnoměrně zrychlený pohyb:

$$s = \frac{1}{2} \cdot (v_0 + v) \cdot t \quad (1)$$

s ... Dráha [mm]

v_0 ... Počáteční rychlost [mm/s]

v ... Koncová rychlost [mm/s]

t ... Čas [s]

Dráhy na zbylých úsecích 2.,4., a 7. budeme počítat pro dráhu při konstantní rychlosti podle vzorce:

$$s = v \cdot t \quad (2)$$

s ... Dráha [mm]

v ... Koncová rychlost [mm/s]

t ... Čas [s]

$$1) v_0 = 0 \text{ mm/s} , t = 0,5 \text{ s} , v = 200 \left[\frac{\text{mm}}{\text{s}} \right]$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot (0 + 200) \cdot 0,5 = 50 \text{ [mm]} \quad (3)$$

$$2) t = 0,2 \text{ s} , v = 200 \left[\frac{\text{mm}}{\text{s}} \right]$$

$$s = 200 \cdot 0,2 = 40 \text{ [mm]} \quad (4)$$

$$3) v_0 = 200 \text{ mm/s} , t = 0,2 \text{ s} , v = 600 \left[\frac{\text{mm}}{\text{s}} \right]$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot (200 + 600) \cdot 0,2 = 80 \text{ [mm]}$$

(5)

$$4) t = 0,2 \text{ s} , v = 600 \left[\frac{\text{mm}}{\text{s}} \right]$$

$$s = 600 \cdot 0,2 = 120 \text{ [mm]} \quad (6)$$

$$5) v_0 = 600 \text{ mm/s} , t = 0,3 \text{ s} , v = 0 \left[\frac{\text{mm}}{\text{s}} \right]$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot (600 + 0) \cdot 0,3 = 90 \text{ [mm]} \quad (7)$$

Kontrolu provedeme součtem drah: $50 + 40 + 80 + 120 + 90 = 380 \text{ mm}$

$380 \text{ mm} < 700 \text{ mm}$ z čehož vyplývá, že Cutter je schopen za daný časový úsek ujet dráhu i s dostatečnou rezervou. Podmínku tedy splňuje.

Dále je potřeba zkontrolovat, že se Cutter stihne vrátit do počáteční polohy. (Úseky 6.-8.)

$$6) v_0 = 0 \text{ mm/s} , t = 0,2 \text{ s} , v = 600 \left[\frac{\text{mm}}{\text{s}} \right]$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot (0 + 600) \cdot 0,2 = 60 \text{ [mm]} \quad (8)$$

$$7) t = 0,435 \text{ s} , v = 600 \left[\frac{\text{mm}}{\text{s}} \right]$$

$$s = 600 \cdot 0,433 = 260 \text{ [mm]} \quad (9)$$

$$8) v_0 = 600 \text{ mm/s} , t = 0,2 \text{ s} , v = 0 \left[\frac{\text{mm}}{\text{s}} \right]$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot (600 + 0) \cdot 0,2 = 60 \text{ [mm]} \quad (10)$$

380 mm < 700 mm z čehož vyplývá, že Cutter je schopen za daný časový úsek vrátit zpět do původní polohy. Podmínku tedy splňuje.

Pro volbu vhodného pohonu je nutné spočítat maximální možnou rychlost pohybu Cutteru při použití motoru a převodovce.

Pohyb je zprostředkováván synchronním servomotorem od firmy BOSCH Rexroth. Jedná se o model MSK076C-0450. Jeho technické parametry viz Obr. 25.

Electrical data

Type	Maximum speed	Standstill torque	Maximum torque	Standstill current	Maximum current	Moment of inertia
	n_{Max} [1/min]	M_0 [Nm]	M_{Max} [Nm]	I_0 [A]	I_{Max} [A]	J [kgm ²]
MSK076C-0300	4700	12	43.5	7.2	32.4	0.0043
MSK076C-0450	5000			12.2	54.9	

Obr. 25: Parametry servomotoru Bosch [5]

Pro optimalizaci otáček je za motor připojena převodovka GKS06-3NHAR-4E s převodovým poměrem $i=41,47$.



Obr. 26: Převodovka od firmy Lenze [6]

Servomotor má maximální otáčky 5000 ot/min, převod v převodové skříni je $i = 41,47$ a roztečná kružnice ozubeného kola, přes které je zprostředkován pohyb řetězu, na němž je upevněný Cutter má $\varnothing d = 123$ mm. Z těchto údajů je následně vypočítána maximální možná rychlost pohybu Cutteru, která musí být větší, než je námi navržená maximální rychlost v grafech, tedy 600 mm/s. To spočítáme pomocí následujících vzorců:

$$\text{Úhlová rychlost: } \omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60 \cdot i} \text{ [rad/s]} \quad (11)$$

$$\text{Obvodová rychlost: } v_o = \omega \cdot r \text{ [mm/s]} \quad (12)$$

n ...otáčky motoru

r ...poloměr patní kružnice v záběru

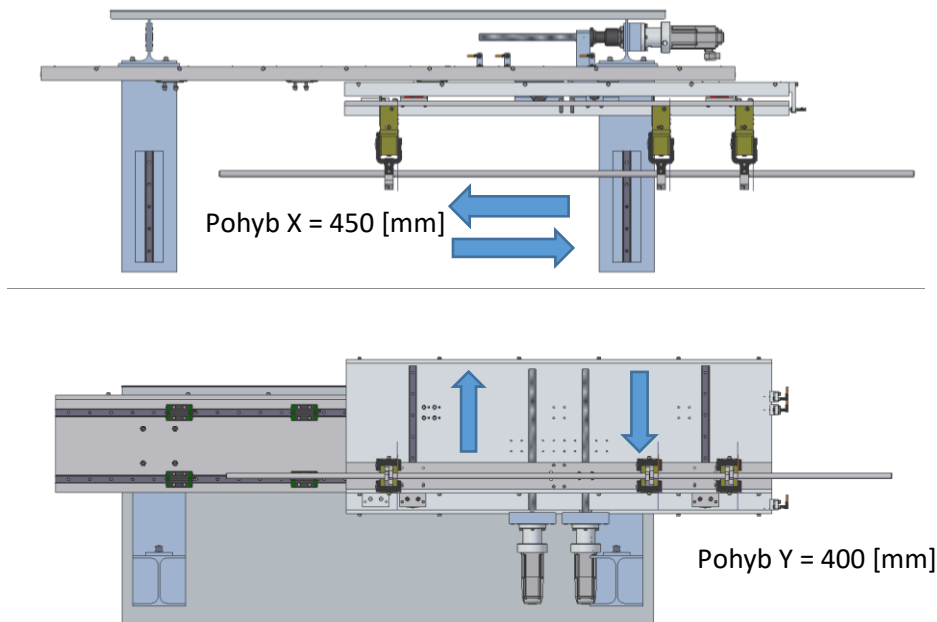
i ...převodový poměr

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot 5000}{60 \cdot 41,47} = 12,6 \text{ [rad/s]} \quad (13)$$

$$v = 12,6 \cdot \frac{123}{2} = 774,9 \text{ [mm/s]} \quad (14)$$

774,9 mm/s > 600 mm/s z čehož vyplývá, že motor vyhovuje našim požadavkům na maximální rychlost a společně s převodovkou splňují podmínky.

5.2.2 Vyjímání



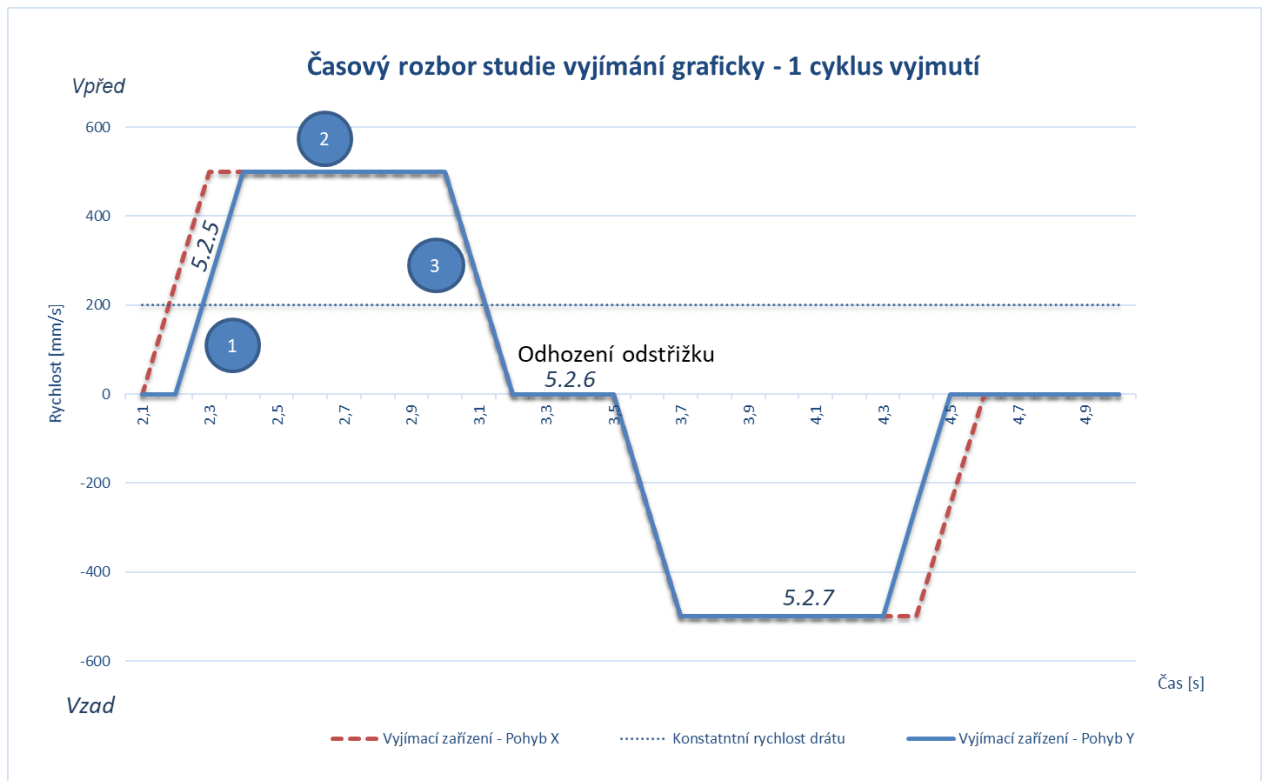
Obr. 27: Pohyb vyjímacího zařízení

Vyjímací zařízení z Obr. 27 se pohybuje dvěma směry. Zařízení čeká, až se drát z Cutteru dostatečně přiblíží k vyjímacímu manipulátoru, aby bylo možné drát uchopit. V moment, kdy je drát v upínacích čelistech ještě manipulátor čeká, až Cutter odjede, aby nedošlo ke kolizi. Poté popojede s drátem ve směru linky, aby byl drát celou délkou nad skluzem pro odběr odstřížků.

Bude se počítat stejný časový rozbor jako u Cutteru. Rozdíl zadání je v tom, že u Cutteru jsme byli omezení rozměrem spíše teoreticky, aby Cutter nevyjel z kolejnic, zatím co u vyjímacího zařízení jsme vázáni na konkrétní vzdálenosti pro odvod drátu, aby byl odstřížek správně napozicován.

Oba dva pohyby manipulátoru můžeme pro úsporu času nastavit tak, že poběží vesměs zároveň.

Pohyb do směru linky, viz Obr. 27 nahoře, je dlouhý 450 mm. Druhý pohyb je kolmý směrem ke skluzu 400 mm. Počítat budeme každý zvlášť. V grafu na Obr.28 jsou znázorněny oba prolínající se pohyby.



Obr. 28: Časový rozbor vyjímání graficky

1 5.2.5 Návrat Cutteru do výchozí polohy, Start vyjímání mimo dráhu drátu

5.2.6 Odložení odstřížku mimo dráhu drátu

START CYKLU 2 CUTTERU ; čas T=3 sekundy

5.2.7 Návrat vyjímacího zařízení do výchozí

Opět jako u Cutteru dráhy na úseku 1. a 3. budeme počítat podle vzorce pro rovnoměrně zrychlený pohyb: viz vzorec (1). Dráhu zbylého úseku budeme počítat pro dráhu při konstantní rychlosti podle vzorce (2).

Dráha zpětného chodu do počáteční polohy je zrcadlová, její časová osa je identická s chodem vpřed, nemusíme tedy počítat.

Nejprve se udělá časový rozbor pro křivku: „Vyjímací zařízení – Pohyb X“ z Obr. 27.

$$1) v_0 = 0 \text{ mm/s} , t = 0,2 \text{ s} , v = 500 \text{ mm/s}$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot (0 + 500) \cdot 0,2 = 50 \text{ mm} \quad (15)$$

$$2) t = 0,7 \text{ s} , v = 500 \text{ mm/s}$$

$$s = 500 \cdot 0,7 = 350 \text{ mm} \quad (16)$$

$$3) v_0 = 500 \text{ mm/s} , t = 0,2 \text{ s} , v = 0 \text{ mm/s}$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot (500 + 0) \cdot 0,2 = 50 \text{ mm} \quad (17)$$

Kontrola proběhne stejně jako u Cutteru a to součtem drah, který musí být roven 490 mm. $50+350+50 = 450$ mm a podmínku tímto splňuje.

Následně se vypočítá časový rozbor pro druhou křivku: „Vyjímací zařízení – Pohyb Y“ z Obr. 27.

$$1) v_0 = 0 \text{ mm/s} , t = 0,2 \text{ s} , v = 500 \left[\frac{\text{mm}}{\text{s}} \right]$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot (0 + 500) \cdot 0,2 = 50 \text{ [mm]} \quad (18)$$

$$2) t = 0,6 \text{ s} , v = 700 \left[\frac{\text{mm}}{\text{s}} \right]$$

$$s = 500 \cdot 0,6 = 300 \text{ [mm]} \quad (19)$$

$$3) v_0 = 500 \text{ mm/s} , t = 0,2 \text{ s} , v = 0 \left[\frac{\text{mm}}{\text{s}} \right]$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot (500 + 0) \cdot 0,2 = 50 \text{ [mm]} \quad (20)$$

Opět se zkontroluje součet drah, který musí být tentokrát roven 400 [mm]. $50+300+50 = 400$ [mm] a tímto podmínku také splňuje.

Stejně jako u Cutteru je potřeba zkontrolovat výběr správného pohonu a převodovky pro dosažení maximální možné rychlosti, v tomto případě 500 mm/s.

Pro pohyb X i Y je zvolen motor opět od firmy BOSCH Rexroth typu MSK040B-0600. Jeho technické parametry viz Obr. 29.



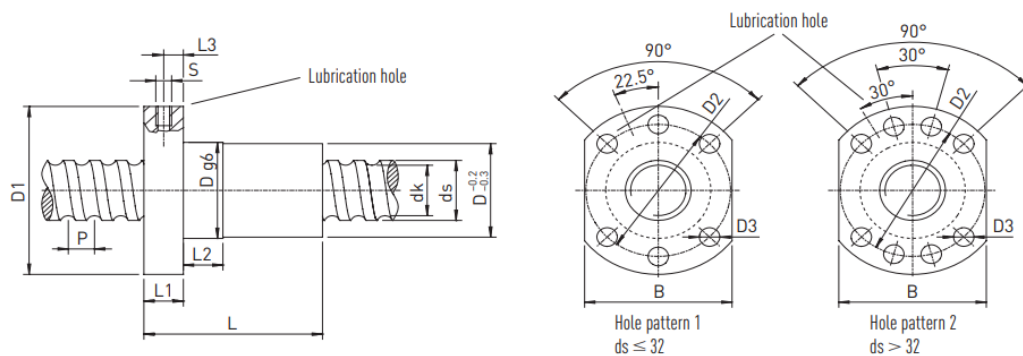
Technical data

Type	Maximum speed	Standstill torque	Maximum torque	Standstill current	Maximum current	Moment of inertia
	n_{Max} [1/min]	M_0 [Nm]	M_{Max} [Nm]	I_0 [A]	I_{Max} [A]	J [kgm ²]
MSK030B-0900	9000	0.4	1.8	1.5	6.8	0.00013
MSK030C-0900		0.8	4			0.00003
MSK040B-0450	6000	1.7	5.1	2	8	0.0001
MSK040B-0600	7500					

Obr. 29: Technické parametry pohonu Bosch [5]

Pohyb je zprostředkován kuličkovým šroubem od firmy HIWIN.RBS-R25-05K4-FSC-650 , jejíž parametry jsou v Obr. 30.

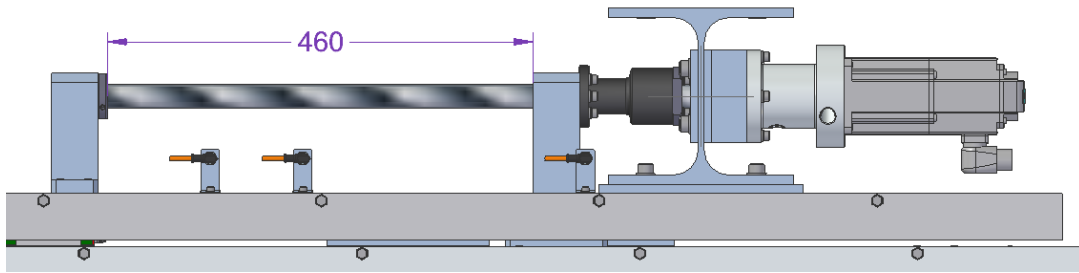
6.4.1 DIN single nut FSC (DIN 69051 Part 5) with total recirculation



Article number	ds	P	Ball diameter	D min.	D1	D2	D3	Hole pattern	L	L1	L2	L3	S	B	dk	Rigidity [N/μm]	Dynamic load rating C_{dyn} [N]	Static load rating C_0 [N]
R25-05K4-FSC	25	5	3.175	40	62	51	6.6	1	43	10	10	5	M6	48	22.32	490	16,500	46,120

Obr. 30: Kuličkový šroub HIWIN [8]

5.2.2.1 Výpočet na posuv X



Obr. 31: Zapojení šroubu a pohonu ze sestavy X

Kuličkové šrouby nesmějí pracovat v oblastech kritických otáček, je tedy důležité je určit v závislosti na délce a průměru hřídele. Z kritických otáček se spočítají otáčky maximální, které by neměli přesáhnout 80% kritických otáček.

n_k – kritické otáčky [min^{-1}]

n_{max} – maximální otáčky [min^{-1}]

d_k – střední průměr hřídele [mm]

l_s – délka nepodepřené hřídele [mm]

f_n – koeficient uložení [–] V tomto případě se jedná o podepřené šroub, tedy podle katalogu firmy HIWIN je to hodnota $f_n = 0,446$

Kritické otáčky motoru se spočítají z rovnice (21)

$$n_k = 2,71 \cdot 10^8 \cdot \left(\frac{f_n \cdot d_k}{l_s^2} \right) [min^{-1}] \quad (21)$$

$$n_k = 2,71 \cdot 10^8 \cdot \left(\frac{0,446 \cdot 22,32}{460^2} \right) = 12\,749 [min^{-1}]$$

Maximální otáčky se spočítají dle vzorce (22).

$$n_{max} = n_k \cdot 0,8 \quad (22)$$

$$n_{max} = 12\,749 \cdot 0,8 = 10\,199 [min^{-1}]$$

Kontrola maximální rychlosti kuličkového šroubu se spočítá z rovnice (23)

$$v_v = \frac{P \cdot n_{max}}{60} = \frac{5 \cdot 10\,199}{60} = 850 \text{ mm/s} \quad (23)$$

P... stoupání šroubu

Vypočtená rychlost je vyšší než se požaduje, splňuje podmínky.

Výpočet servomotoru bude obdobný s výpočtem z rovnice (23).

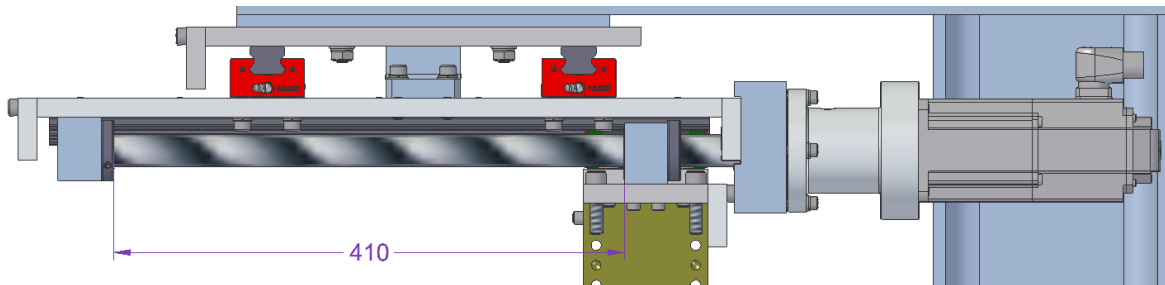
Servomotor má maximální otáčky 7 500 [ot/min].

Rychlost pohonu na kuličkový šroub: $v = \frac{P \cdot n_{nom}}{60} = \frac{5 \cdot 7\,500}{60} = 625 \text{ [mm/s]}$ (24)

Výsledek je $850 > 625 > 500 \text{ [mm/s]}$

Maximální možná rychlost na kuličkový šroub > Maximální rychlost pohonu > než maximální potřebná rychlost, návrh tedy vyhovuje.

5.2.2.2 Výpočet na posuv Y



Obr. 32: Zapojení šroubu a pohonu ze sestavy Y

Opět se vypočtou kritické a maximální otáčky na kuličkový šroub jako pro posuv X. Jedná se o stejný typ kuličkového šroubu s rozdílem v délce.

Jedná se opět o podepřený šroub, tedy podle katalogu firmy HIWIN je to hodnota $f_n = 0,446$

Kritické otáčky motoru se spočítají z rovnice (21)

$$n_k = 2,71 \cdot 10^8 \cdot \left(\frac{f_n \cdot d_k}{l_s^2} \right) \text{ [min}^{-1}\text{]} \quad (21)$$

$$n_k = 2,71 \cdot 10^8 \cdot \left(\frac{0,446 \cdot 22,32}{410^2} \right) = 16\,048 \text{ [min}^{-1}\text{]} \quad (25)$$

Maximální otáčky se spočítají dle vzorce (22) s dosazenou hodnotou z rovnice (25)

$$n_{max} = n_k \cdot 0,8 \quad (22)$$

$$n_{max} = 16\,048 \cdot 0,8 = 12\,838 \text{ [min}^{-1}\text{]} \quad (26)$$

Kontrola maximální rychlosti kuličkového šroubu

bude vypočtena z rovnice (23) s výslednou hodnotou z rovnice (26)

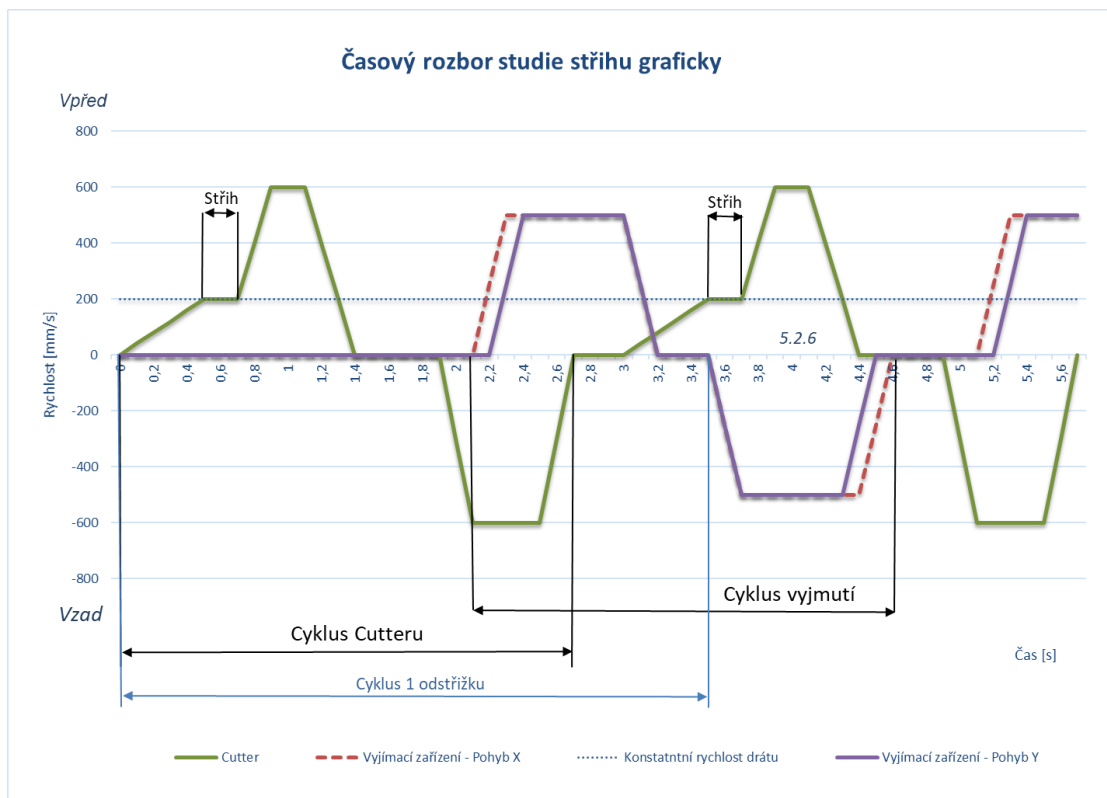
$$v_v = \frac{P \cdot n_{max}}{60} = \frac{5 \cdot 12\,838}{60} = 1\,069 \left[\frac{mm}{s} \right] \quad (27)$$

Vypočtená rychlost je vyšší než se požaduje, splňuje podmínky.

Servomotor je totožný, jako u posuvu Y. Výsledek je tedy stejný

$$1\,069 > 625 > 500 \text{ [mm/s]}$$

Maximální možná rychlost na kuličkový šroub > Maximální rychlost pohonu > než maximální potřebná rychlost, návrh tedy vyhovuje.



Obr. 33: Časový rozbor studie stříhu

V grafu z Obr. 33 je zobrazena návaznost a překrytí jednotlivých manipulačních jednotek, včetně časových sekvencí a potřebných rychlostí. Z grafu můžeme potvrdit podmínku, že cyklus Cutteru je menší než 3 vteřiny a že celkový cyklus pro jeden odstřížek netrvá déle jak 5 vteřin.

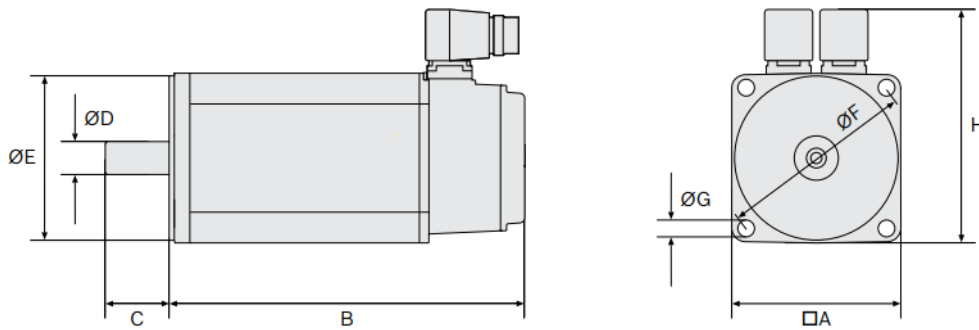
5.3 Konstrukční návrh zařízení

5.3.1 Automatický pohyb cutteru

5.3.1.1 Návrh pohonu cutteru

Pohon Cutteru byl z důvodu ideové studie vybrán již v bodě 5.2.1.

Byl vybrán synchronní servomotor od firmy BOSCH Rexroth viz Obr. 34.



Type	A	B	C	Ø D	Ø E	Ø F	Ø G	H	Earth
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg]
MSK076C-0300		292.5	50	24	110			180	13.8
MSK076C-0450									

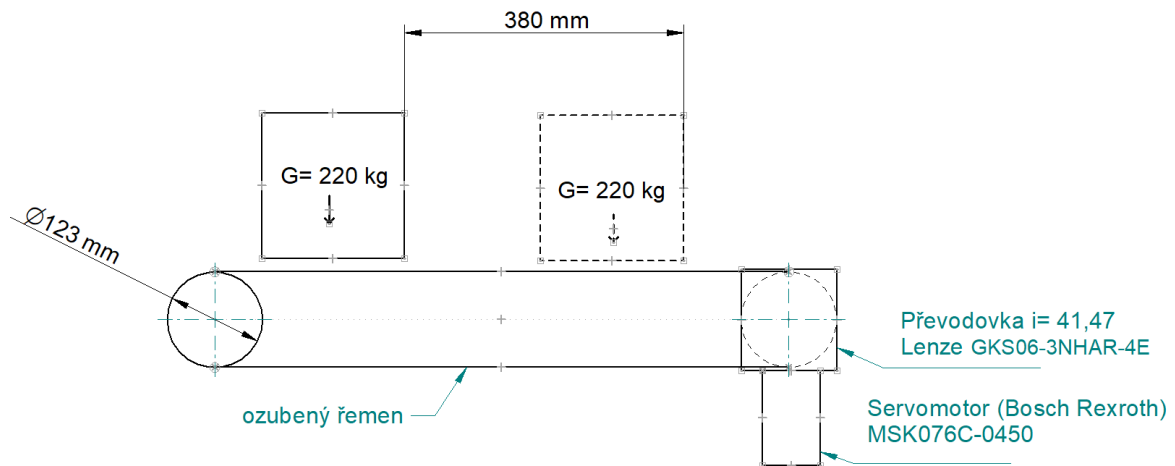
Electrical data

Type	Maximum speed	Standstill torque	Maximum torque	Standstill current	Maximum current	Moment of inertia
	n_{Max} [1/min]	M_o [Nm]	M_{Max} [Nm]	I_o [A]	I_{Max} [A]	J [kgm ²]
MSK076C-0300	4700	12	43.5	7.2	32.4	0.0043
MSK076C-0450	5000			12.2	54.9	

Obr. 34: Parametry motoru Rexroth

S jeho otáčkami $5000 [min^{-1}]$ a maximální rychlostí $774,9 [mm/s]$ viz výpočet (11). Splňuje dané podmínky pro časovou studii pohybů Cutteru.

Daný graf se schématem a hmotou, kterou musí pohon přenášet, byl poslán do firmy BOSCH Rexroth pro kontrolu.



Obr. 35: Skica rozložení pro firmu Bosch

Celková dráha (z konstrukčního hlediska) je zhruba 700 mm. Náš potřebný posuv je 380 mm.

Hydraulický Cutter se pohybuje na ozubeném řemenu přes kolo o průměru 123 mm. Celková hmotnost pohybovaného Cutteru je 220 kg.

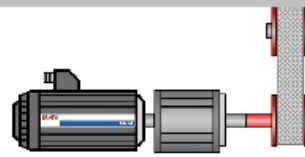
Četnost cyklů Cutteru:

- 1) 3x za sebou – pro odstřížky 600 mm
- 2) 6x za sebou – pro odstřížky 2000 mm
- 3) Poté Cutter zhruba 2-3 hodiny stojí a celý cyklus se opakuje

Application

Mechanism
Motion profile

Belt and Pulley
Standard (linear motion)



Selected drive

Drive type	HCS02.1E-W0070-_-03-__		
Motor type	MSK076C-0450-NN-_-_-0-__		
Drive series	IndraDrive C HCS02	Motor family	MSK Synchronous Servo
Supply unit		Mains Choke	-
Safety factor	1		
Main voltage	3 x AC 400 V (-5%)	PWM-frequency	4 [kHz]
Maximum torque	43.50 [Nm]	Cont. torque	12.00 [Nm]
Cooling mode of motor	Self-cooling	Motor mounting:	60K
Maximum NC usable speed	5000.00 [1/min]	Motor inertia	0.0043000 [kgm ²]
Brake holding torque	0.00 [Nm]	Brake inertia	0.0000000 [kgm ²]

Input data for mechanism - Belt and Pulley

Moving weight	220.000 [kg]	Additional force	0.000 [N]
Diameter of pulley(s)	123.000 [mm]	Additional torque	0.00 [Nm]
Moment of inertia (pulley)	0.1410560 [kgm ²]	Axis slope (0-90°)	90.000 [°]
Efficiency	0.900 [-]	Counterbalance (relative)	0.000 [-]
Coefficient of friction	0.290 [-]	Counterforce (hyd./pneum.)	0.000 [-]

Obr. 36: Zadané parametry od Bosch

Do programu u firmy Bosch Rexroth byly zadány hodnoty a parametry, se kterými pracujeme a to včetně rozložení a způsobu instalace motoru, převodu a ozubeného řemenu.

Connection elements
Input data for gear 1

Name/type		Moment of inertia	0.0000000 [kgm ²]
Translation ratio	41.47	Efficiency	0.900

Drive Data (calculated)

Maximum value of moving weight	220.000 [kg]	Resulting moments of inertia	0.0005659 [kgm ²]
Ratio J ext / J motor	0.1		

motion profile on the motor side

Cycle time	2.950 [s]	Maximum acceleration	2022.927 [rad/s ²]
max. torque (with motor inertia)	13.58 [Nm]	max. torque (without motor inertia)	4.89 [Nm]
effective torque (with motor inertia)	6.10 [Nm]	effective torque (without motor inertia)	3.99 [Nm]
Maximum NC usable speed	3863.51 [1/min]	Average speed	1582.51 [1/min]

Detailed torque values

Maximum torque acceleration (without motor inertia)	1.41 [Nm]	Maximum torque brake (without motor inertia)	0.93 [Nm]
Maximum torque acceleration (with motor inertia)	10.11 [Nm]	Maximum torque brake (with motor inertia)	9.63 [Nm]
Maximum torque weight	3.95 [Nm]	Maximum torque friction	0.00 [Nm]
Maximum torque processing	0.00 [Nm]		

thermal utilization

thermic utilization of motor	65.05 [%]	thermic utilization of converter	33.66 [%]
thermic utilization of DC bus	11.86 [%]		

dc bus characteristics from motion profile

maximum absolute dc bus power	4.842 [kW]	effective dc bus power	1.466 [kW]
maximum dc bus power injecting	4.838 [kW]	average dc bus power injecting	0.635 [kW]
maximum dc bus power braking	-4.842 [kW]	average dc bus power braking	-0.378 [kW]
Efficiency factor motor shaft to inverter	78.997 [%]		

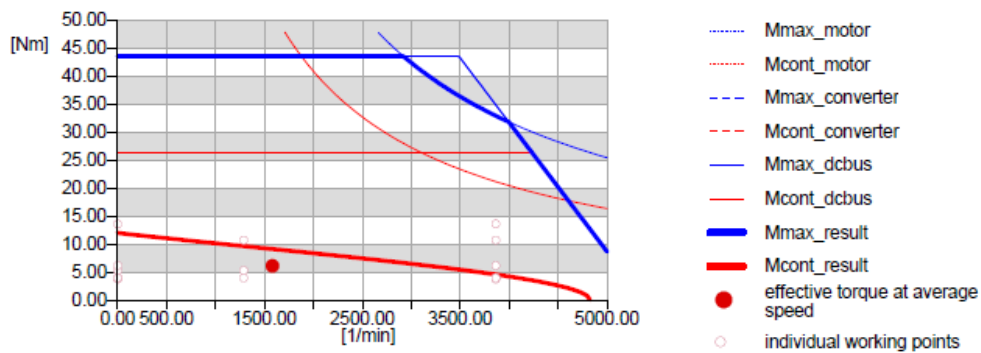
Further sizing informations

average motor losses	148	[W]
average inverter losses	92	[W]
average mains apparent current	1.7	[A]
Internal brake resistor feasible	yes	
Internal brake resistor utilization	76.2	[%]

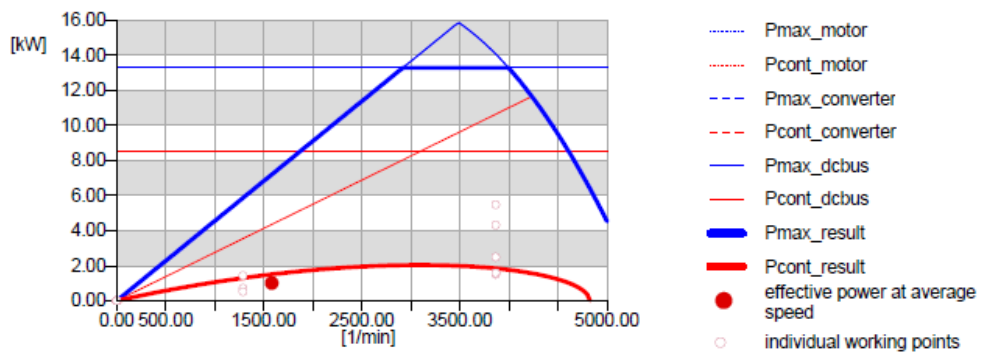
Obr. 37: Parametry motoru

Drive characteristics with working points

Speed-Torque Diagram



speed-power diagram



thermal utilization

Obr. 38: Vyhodnocené grafy

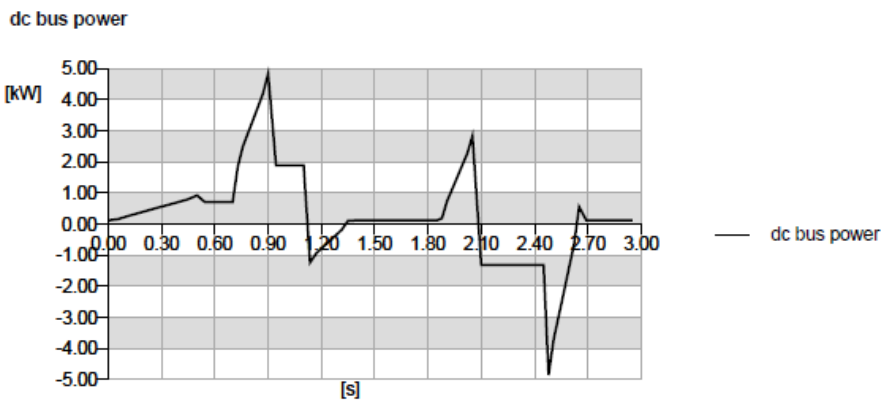
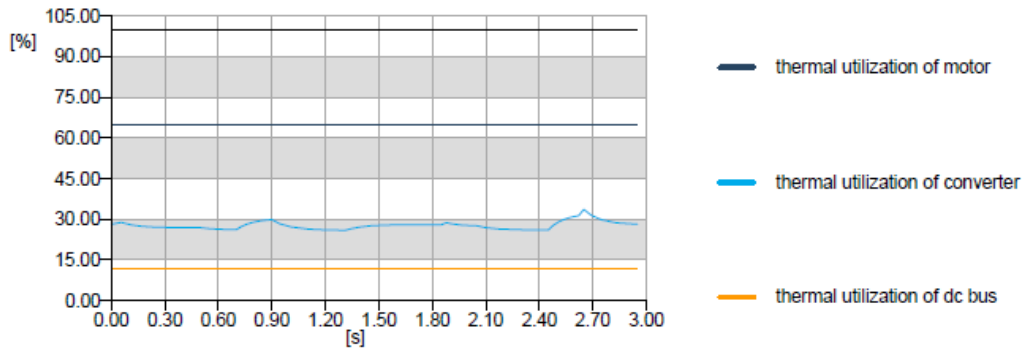
Ve zprávě byly zahrnuty i grafy točivého momentu a výkonu v závislosti na rychlosti motoru.

IndraSize

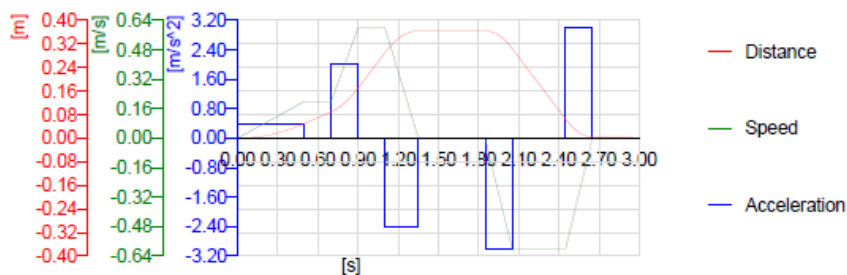
Output Report 01-04-2021 13:42

Software for Sizing Drives

Version 06.06.20210310



Motion profile - Standard (linear motion)



Obr. 39: Výsledky pohybů

Na posledních stranách zprávy byly graficky znázorněné výsledné tepelné využití a napájení sběrnice.

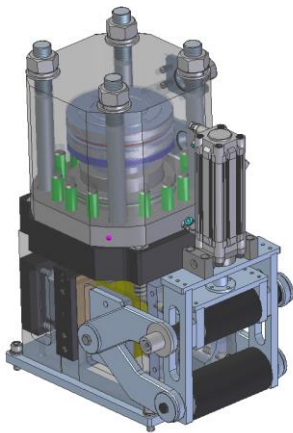
Na posledním grafu na Obr.39 je znázorněná vzdálenost, rychlost a zrychlení v závislosti na čase.

5.3.1.2 Zvýšení střížné síly cutteru

Střížná síla stávajícího cutteru je pro průměr drátu 20 mm nedostatečná. Aktuální válec o průměru 160 mm má při přitlaku 200 bar sílu 402 kN (maximální možnost tlaku linky).

Byly provedeny zkoušky s externí hydraulickou centrálou, která umožnila tlak 230 bar při síle 462 kN. Cutter bezpečně stříhal drát 20 mm, ale stávající hydraulický válec o průměru 160 mm, je možno provozovat jen do tlaku 210 bar (při zkouškách byl krátkodobě přetížen).

Nejvyšší řady na průměry válců umožňují 160 mm a poté až průměr 200 mm. Sice dostaneme 2x větší sílu, ale válec rozměrově nevyhovuje potřebnému konstrukčnímu řešení kvůli velkým rozměrům. Požadavek firmy je udělat pouze „upgrade“ válce, tudíž byl navržen vlastní hydraulický válec na zakázku od firmy Hydraulics tak, aby vyhovoval rozměrovým a silovým parametrům a připojovacím rozměrům.



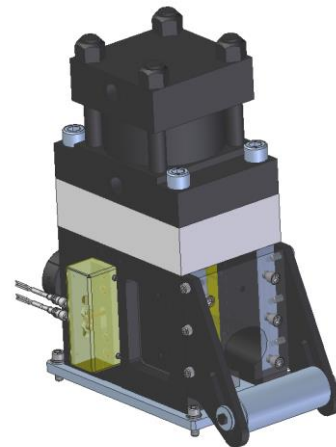
Obr. 40: Nový válec od Hydraulics

Parametry:

Provozní tlak 200 [bar] (síla 509 kN)
(max.220 bar)

Průměr pístu -180 [mm]

Zdvih válce - 28 [mm]



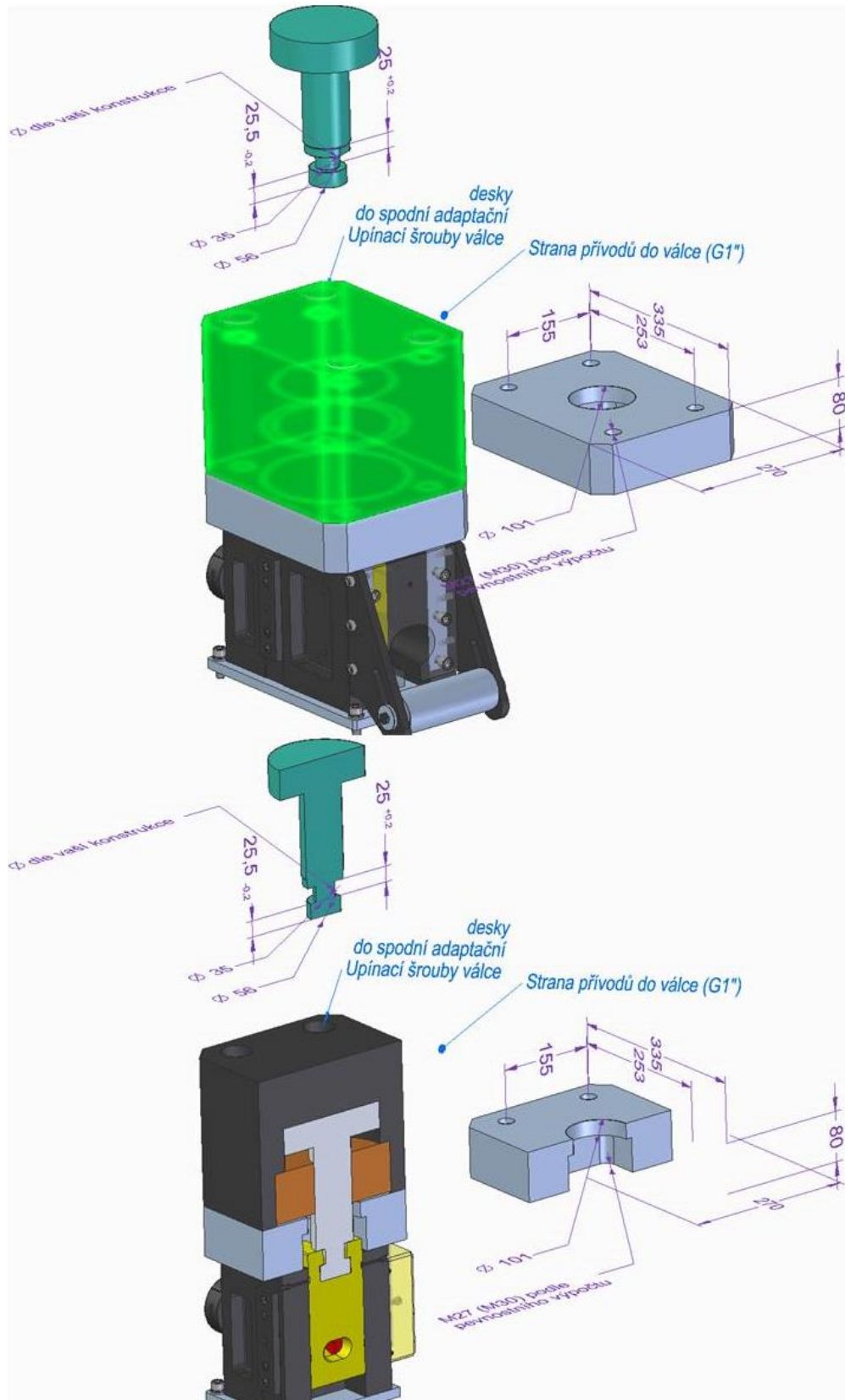
Obr. 41: Původní válec standardní Comforty

Parametry:

Provozní tlak 200 [bar] (síla 402 kN)
(max.220 bar)

Průměr pístu -160 [mm]

Zdvih válce – 25 [mm]

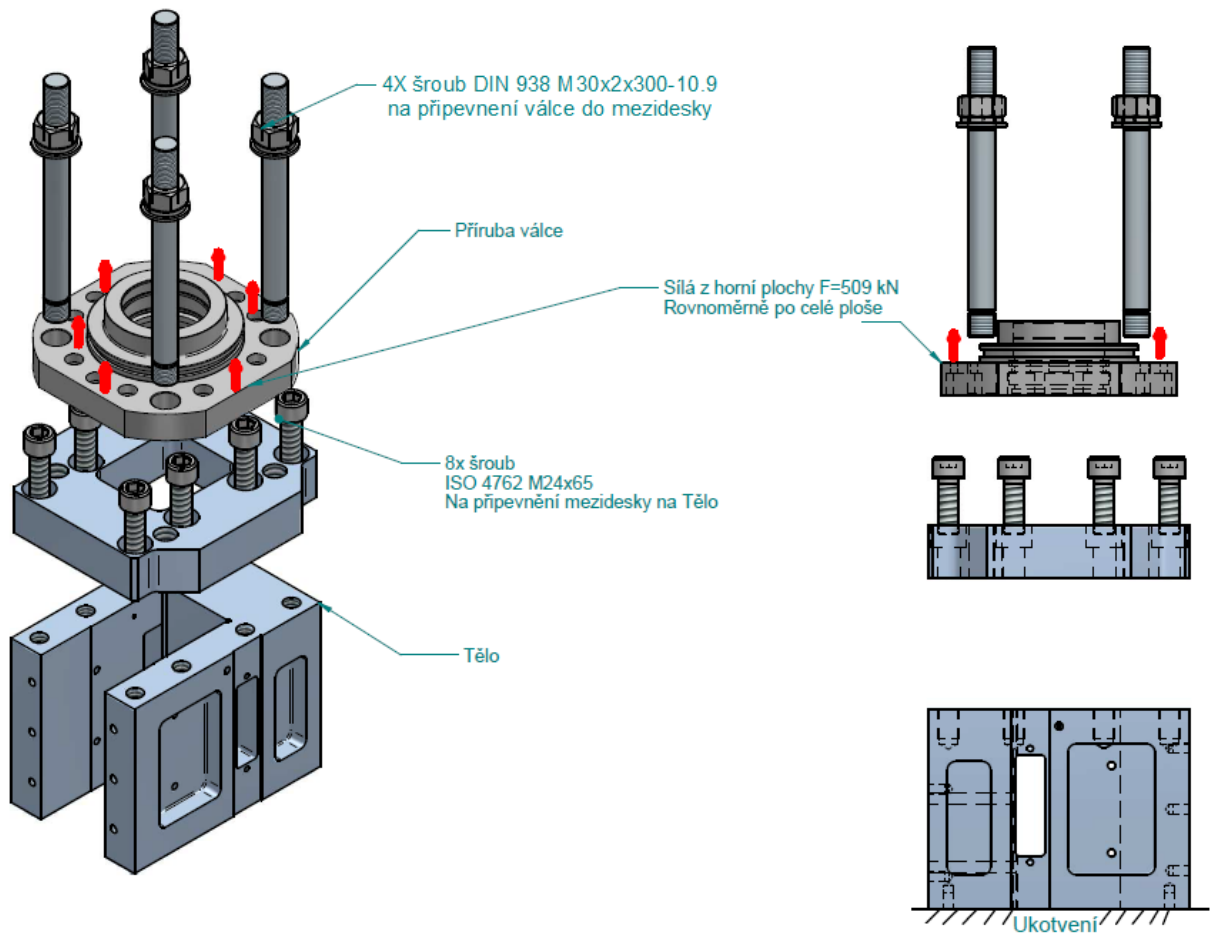


Obr. 42: Nový válec od firmy Hydraulics s napasováním

5.2.1.3 Pevnostní výpočet cutteru (MKP)

Jakož to součást, kterou je vhodné podrobit výpočtem MKP, je mezideska pod Hydraulickým válcem. Je zajištěna čtyřmi šrouby M30 od válce a osmi šrouby M24 od těla Cutteru.

Materiály komponentů a jejich popis je v Obr.43.



Hydraulický válec o $\Phi 180$ mm má tlak 200 bar (20 MPa, sílu $F=509$ kN)

Mezideska materiál 1.2767 (45NiCrMo16)

Příruba válce materiál 1.0715 (11SMn30)

Tělo materiál 1.0601 (C60)

Obr. 43: Popis pro výpočet

Podle online výpočtu předpjatých šroubů od firmy Bossard, bylo určeno minimální předpětí šroubu DIN 938 M30x2x300_10.9 na 300 kN.

BOSSARD
Proven Productivity

Vstup pro výpočet	Mechanická a rozměrová data	Výsledky
Třída vlastností: 10.9	Pevnost v tahu Rm: 1000 N/mm ²	Utahovací moment T: 754.78 Nm
Velikost závitu: M 30	Mez kluzu Rp02: 940 N/mm ²	Předpětí Fmean: 314.5 kN
Využití meze kluzu %: 90	Průměr D: 30 mm	Předpětí Fmin: 314.5 kN
Součinitel matice K: 0.08	Rozteč P: 2 mm	Předpětí Fmax: 314.5 kN
Přesnost klíče: ±0%	Oblast napětí As: 560.59 mm ²	

Obr. 44: Výpočet šroubu M30 [6]

Do výpočetního programu byly zadány hodnoty předepjatého šroubu jakož to počáteční stav napětí.

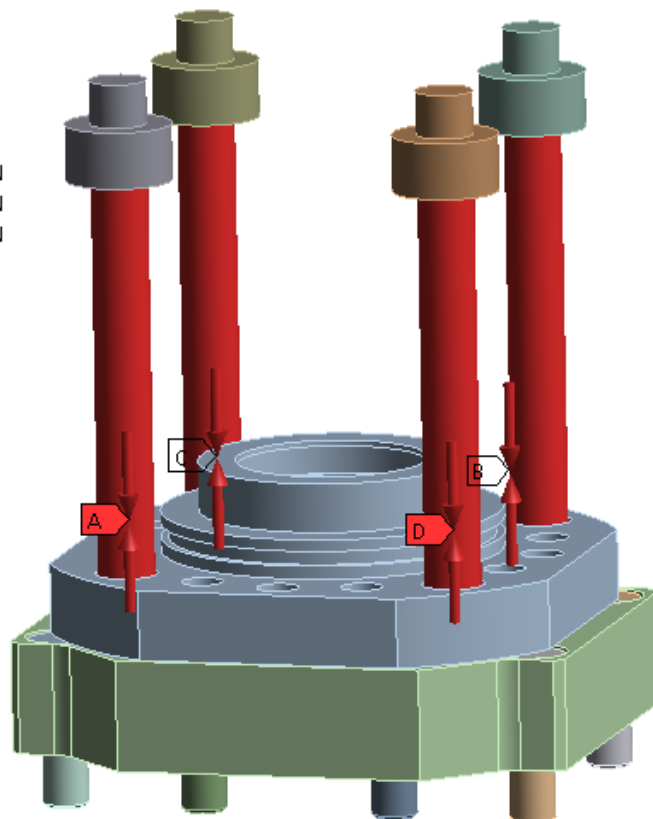
B: Static Structural

Bolt Pretension 4

Time: 1. s

06.04.2021 15:22

- A** Bolt Pretension: 3.e+005 N
- B** Bolt Pretension 3: 3.e+005 N
- C** Bolt Pretension 2: 3.e+005 N
- D** Bolt Pretension 4: 3.e+005 N



Obr. 45: Nastavení předpětí

Stejný výpočet proběhl i pro osm šroubů M24x65_10.9. Zvolilo se minimální možné předpětí 190 kN.

BOSSARD
Proven Productivity

Vstup pro výpočet

Třída vlastností	10.9
Velikost závitu	M 24
Využití meze kluzu %	90
Součinitel matice K	0.08
Přesnost klíče	±0%

Mechanická a rozměrová data

Pevnost v tahu Rm	1000 N/mm ²
Mez kluzu Rp02	940 N/mm ²
Průměr D	24 mm
Rozteč P	3 mm
Oblast napětí A _s	352.49 mm ²

Výsledky

Utahovací moment T	318.61 Nm
Předpětí F _{mean}	199.1 kN
Předpětí F _{min}	191.2 kN
Předpětí F _{max}	207.1 kN

Obr. 46: Výpočet šroubů M24

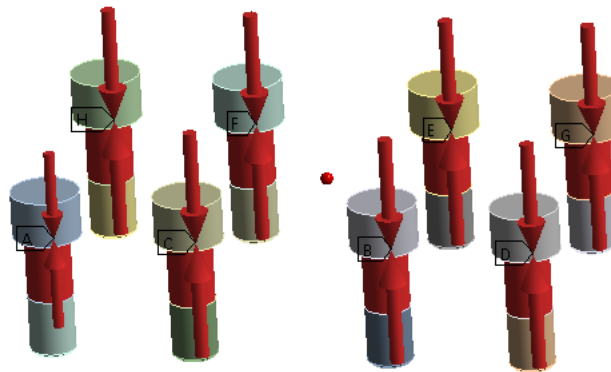
B: Static Structural

Bolt Pretension 12

Time: 1. s

06.04.2021 15:26

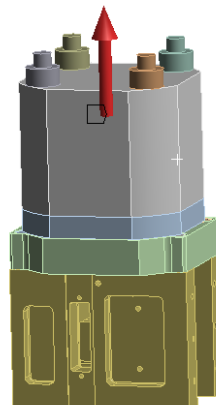
- A** Bolt Pretension 5: 1.9e+005 N
- B** Bolt Pretension 7: 1.9e+005 N
- C** Bolt Pretension 6: 1.9e+005 N
- D** Bolt Pretension 8: 1.9e+005 N
- E** Bolt Pretension 10: 1.9e+005 N
- F** Bolt Pretension 11: 1.9e+005 N
- G** Bolt Pretension 9: 1.9e+005 N
- H** Bolt Pretension 12: 1.9e+005 N



Obr. 47: Nastavení předpětí

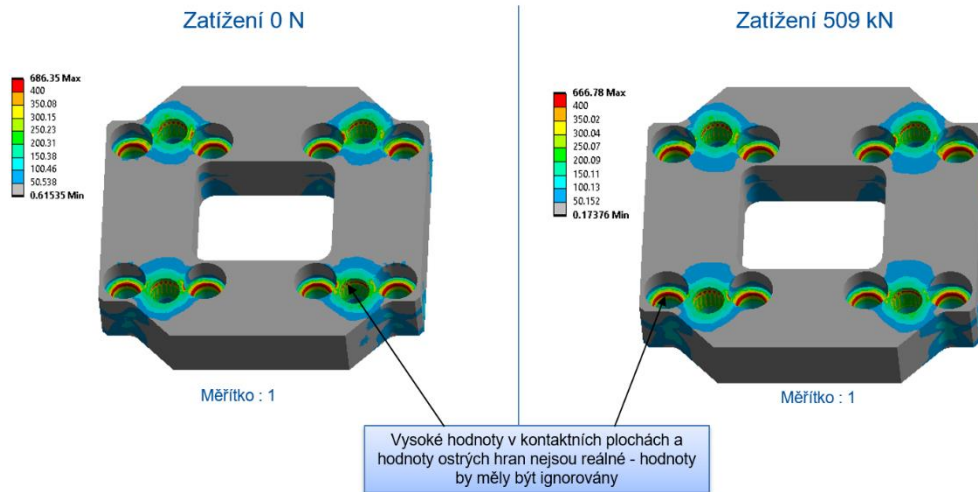
Následně byly zvoleny dva stavy zatížení. První je při 0 kN, tedy moment, kdy Cutter nestřihá a jediné působící síly jsou od předpětí šroubů. Druhý stav je při síle, kterou působí Cutter, sepne-li se hydraulický válec na stříh, viz text u Obr. 48. Síla je 509 kN.

B: Static Structural
Force
Time: 2. s
06.04.2021 15:29
Force: 5.09e+005 N
Components: 0,0,5.09e+005 N

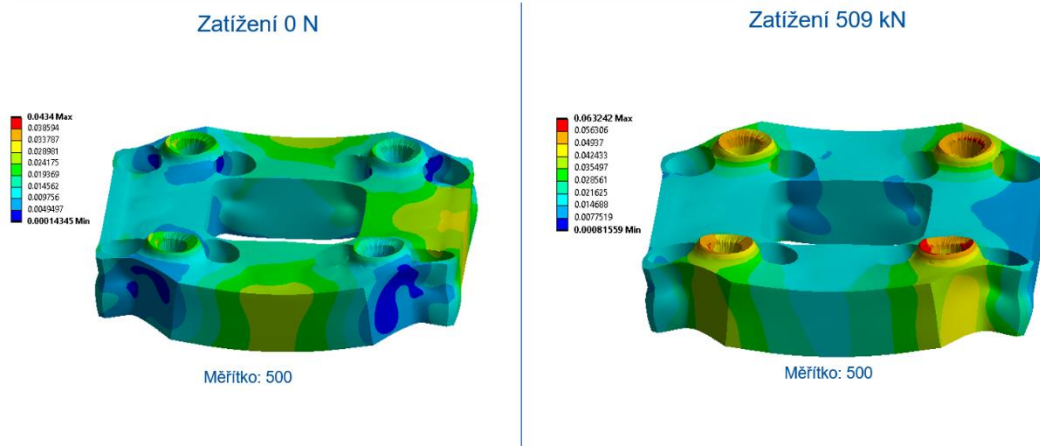


Obr. 48: Nastavení zatěžující síly

Napětí, [MPa]



Celková deformace, [mm]



Obr. 49: Výsledné napětí a deformace

Z výsledků MKP výpočtů je vidět celková deformace a napětí dané součásti. U napětí jsou na součásti viditelné vysoké hodnoty v oblastech kontaktních ploch a ostrých hran, které však nejsou reálné a měli by proto být ignorovány. Poněvadž uložení je definováno na ostrou hranu jedná se o singularitu, jejímž následkem může být extrémně vysoké napětí.

ČSN 41 9655		Středně legovaná, Ni-Cr-W-Mo ocel					OCEL	
STN 41 9655		pro práci za studena					19 655	
Chemické složení [hm. %]								
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	W
0,35–0,45	0,40–0,70	0,20–0,40	max 0,030	max 0,035	1,40–1,80	3,80–4,60	0,20–0,40	0,40–0,80
Polotovary								
[1] tyče válcované nebo kované za tepla (kruhové, čtvercové a ploché)								
[2] výkovky – kruhové do průměru 320 mm								
– čtvercové do rozměru 280 mm								
– ploché do rozměru 500 × 160 mm								
Mechanické vlastnosti								
Polotovary					[1]			
Rozměr d [mm]					20			
Stav					kalený a popuštěný			
Mez kluzu R_p 0,2 [MPa]					1220–1605 (při tvrdosti 42–50 HRC)			
Mez pevnosti R_m [MPa]					1400–1850 (při tvrdosti 42–50 HRC)			
Tažnost A_5 [%]					~ 12 (při tvrdosti 42–50 HRC)			
Kontrakce Z [%]					~ 40–45 (při tvrdosti 50–42 HRC)			
Vrubová houževnatost KCU 2 [J . cm ²]					~ 45–50 (při tvrdosti 50–42 HRC)			
Tvrdost HRC					42–50 (K. t. 830 °C/olej; P. t. 150–500 °C/2 h)			
Mez kluzu v tlaku R_{pt} [MPa]					1 240–1 750 MPa (při tvrdosti 42–50 HRC)			
Fyzikální vlastnosti								
Hustota	Měrná tepelná kapacita	Teplotní součinitel roztažnosti		Tepelná vodivost	Konduktivita			
ρ [kg . m ⁻³]	c_p [J . kg ⁻¹ . K ⁻¹]	α [K ⁻¹]		λ_t [W . m ⁻¹ . K ⁻¹]	λ_s [MS . m ⁻¹]			
7 910	–	12,5 . 10 ⁻⁶		~ 30	–			
Odolnost proti degradačním procesům								
ODOLNOST PROTI KOROZI snížená					ODOLNOST PROTI KŘEHKÉMU LOMU dobrá			
ODOLNOST PROTI OPOTŘEBENÍ poměrná otěruvzdornost abrazí 170 %								

Obr. 50: Vlastnosti oceli 1.2767 (ČSN 19 655) [7]

Mez pevnosti v kluzu je minimálně 1220 MPa. Pokud bereme v potaz reálné hodnoty napětí z MKP výpočtu (zhruba 200 MPa), pak je možné vypočítat bezpečnost materiálu pro daný účel součásti.

σ_k ... Mez kluzu materiálu [MPa]

σ_s ... Napětí v součásti [MPa]

k ... Bezpečnost [-]

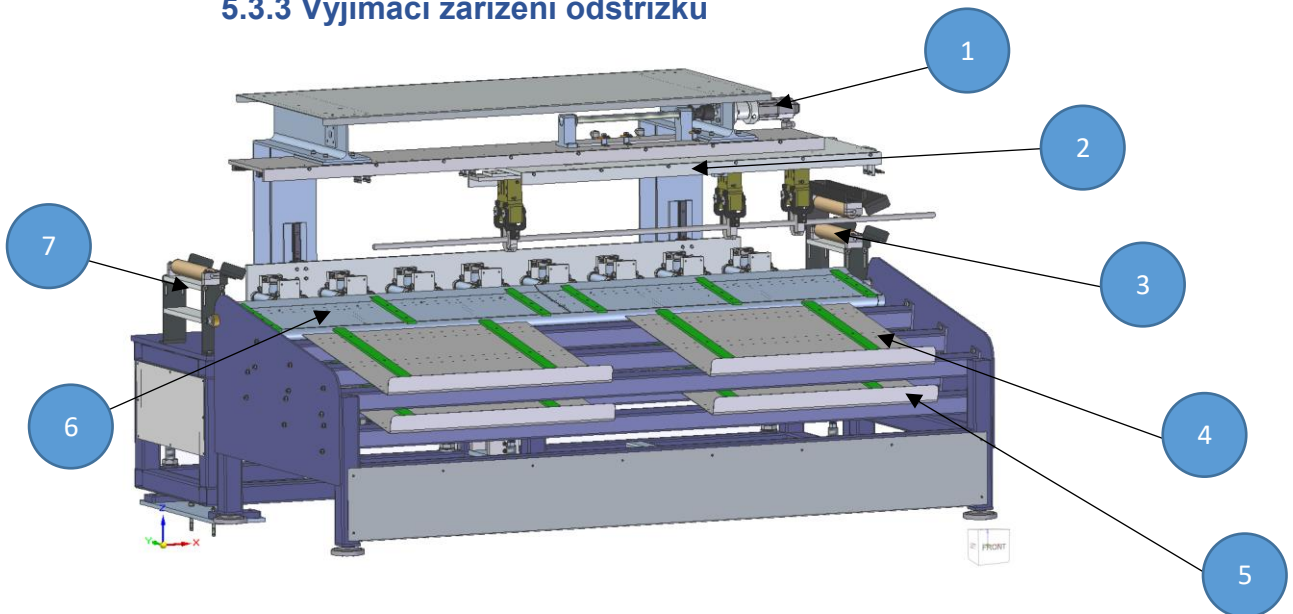
$$k = \frac{\sigma_k}{\sigma_s} = \frac{1220}{200} = 6,1 [-] \quad (28)$$

Bezpečnost materiálu součásti vyšla 6,1 [-], vyhovuje požadavkům.

5.3.2 Zachycení odstřížků 600 ±2000 [mm]

Jak již bylo znázorněno v Obr.27 se odstřížky od Cuterru vyjmají přes nově navržené vyjímací zařízení z důvodu bezpečnosti, eliminace pracovníka v nebezpečné oblasti linky a tím splnění požadavků pro kladný CE protokol. Díky tomu bude možno uvést linku do provozu i po skončení podmíněného provozu po konci roku 2021. Pohyby zařízení vypočtené výše v rovnicích (15) až (20) znázorňují maximální pohyby pro přenos odstřížků z Cutteru na odkládací rampu, kde si je již může bezpečně převzít obsluha a odnést je na pevnostní kontroly.

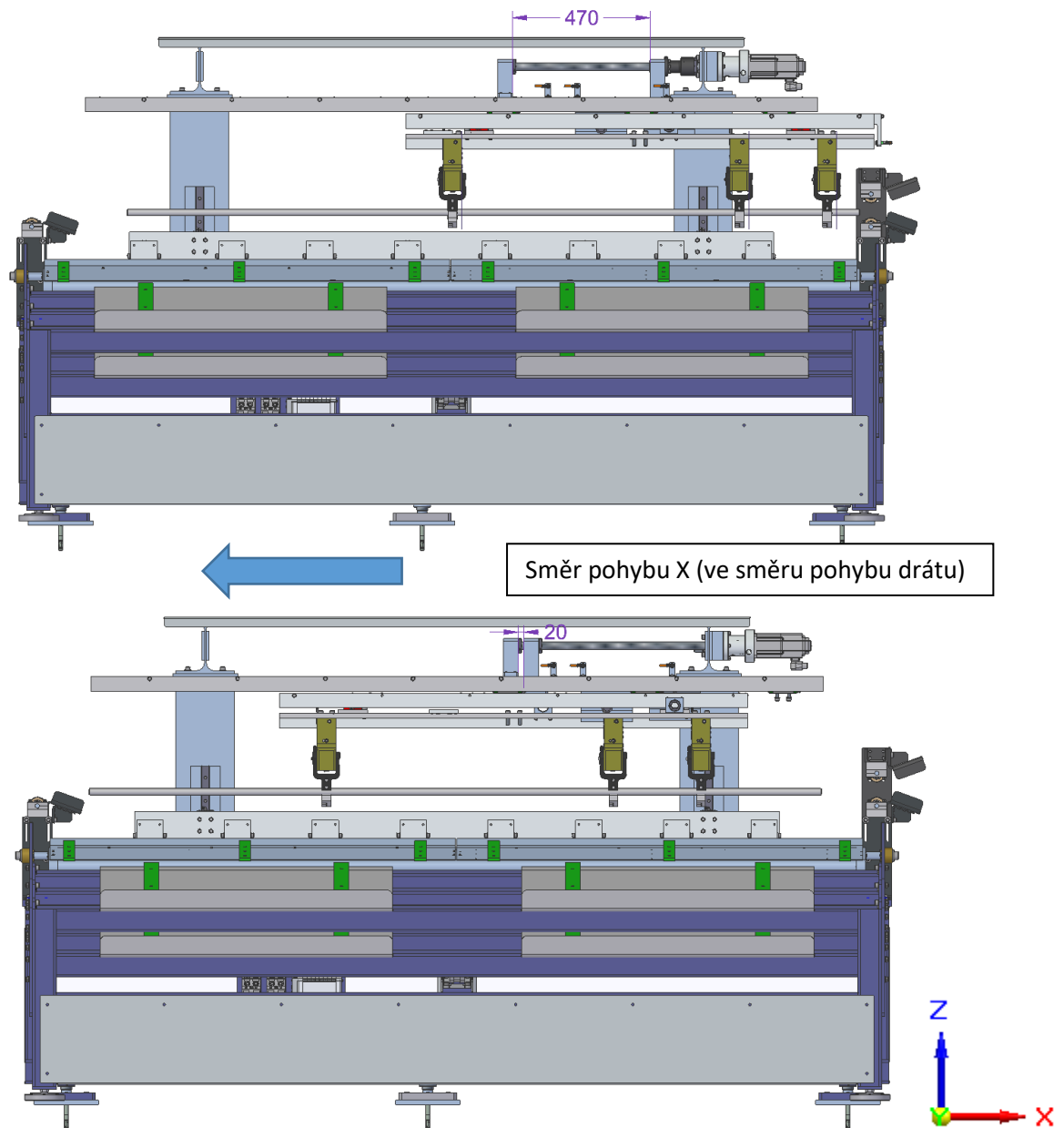
5.3.3 Vyjímací zařízení odstřížků



Obr. 51: Vyjímací zařízení

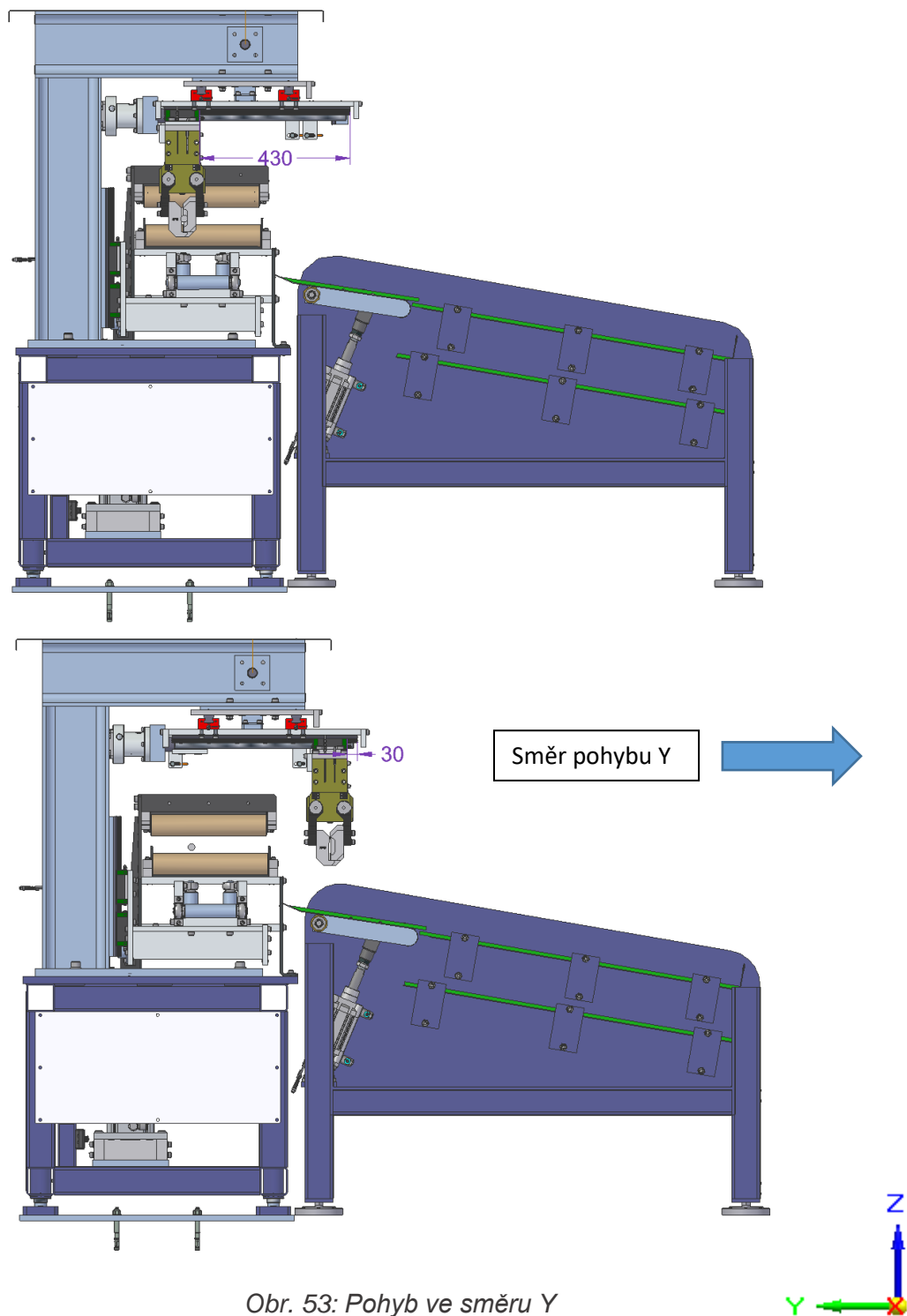
Základní konstrukce vyjímacího zařízení se skládá z:

- 1 Servomotor pro pohyb ve směru X
- 2 Dva servomotory pro pohyb ve směru Y
- 3 Čelisti na uchopení drátu
- 4 Odkládací skluz na iO odstřížky
- 5 Odkládací skluz na NiO odstřížky
- 6 Třídící výhybka
- 7 Přidržovací válečky na obou stranách zařízení



Obr. 52: Pohyb ve směru X

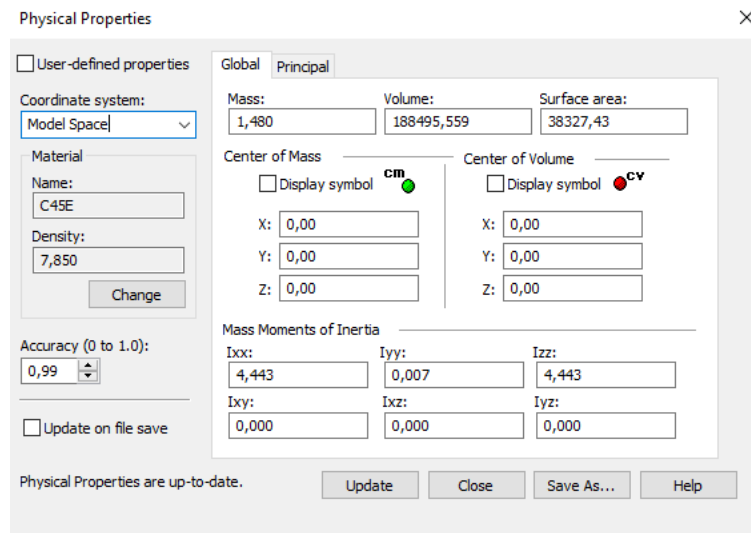
Na Obr. 52 je znázorněný pohyb ve směru X. Manipulátor s čelistmi uchopí drát a popojede s ním ve směru X o 450 mm rychlostí 500 mm/s v čase 2,1 až 3,2 vteřiny v celkové časové ose jednoho cyklu odstřižku.



Obr. 53: Pohyb ve směru Y

Pohyb ve směru Y je zprostředkován párem servomotorů rychlostí stejnou jako pro směr X, tedy 500 mm/s s 0,1 vteřinovým posunutím. Časový cyklus tohoto pohybu je od 2,2 do 3,2 vteřiny a vzdáleností 400 mm.

Protože odstřížek drátu o průměru 20 mm k testování je dlouhý pouze 600 mm a je chycen pouze jednou ze tří čelistí, je vhodné první čelist upravit tak, aby byl odstřížek správně uchopen a nevyklouzl z příliš úzkých čelistí. Hmotnost 600 mm odstřížku, se speciálním patentovaným materiálem firmy Mubea, je podle CAD programu Solid Edge 1,48 kg (neboli síla $G=14,8$ N) viz Obr.54.



Obr. 54: Hmotnost odstřížku podle programu SE19

Čelisti jsou od firmy SCHUNK, model DRG 100-90-AS. Jedná se o pneumatické chapadlo s udržováním uchopovací síly a zavíracího momentu o velikosti 144.4 Nm. Viz Obr. 55.

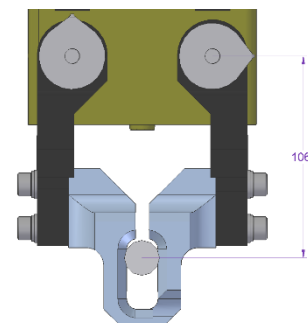
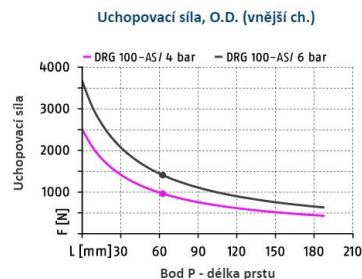
DRG 100-90-AS



Popis

Radiální chapadlo DRG, Velikost: 100, pneumatický, s udržováním uchopovací síly: AS

- Úhel otevření: 90 °
- Zavírací moment: 144,4 Nm
- Max. okolní teplota: 90 °C

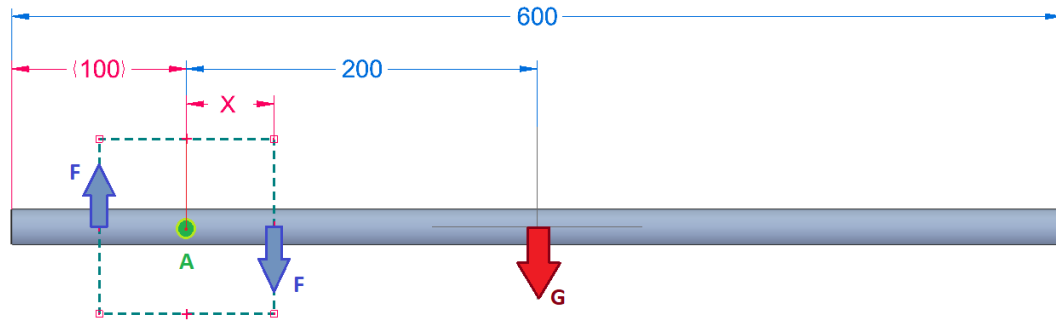


Obr. 55: Uchopovací chapadlo SCHUNK [8]

Uchopovací síla se mění v závislosti na délce prstu a bodu úchopu. V našem případě je délka od bodu rotace k uchopení tyče 106 mm. Z grafu Síla/Vzdálenost na Obr. 55 se odečte uchopovací síla pro (DRG 6 bar) $F_u=1\ 000$ N.

Spočítá se momentová dvojice působící na drát při součiniteli tření $f = 0,15$ [-].

$$F = F_u \cdot f = 1\,000 \cdot 0,15 = 150\,N \quad (29)$$



Obr. 56: Momentová rovnice na uchopení

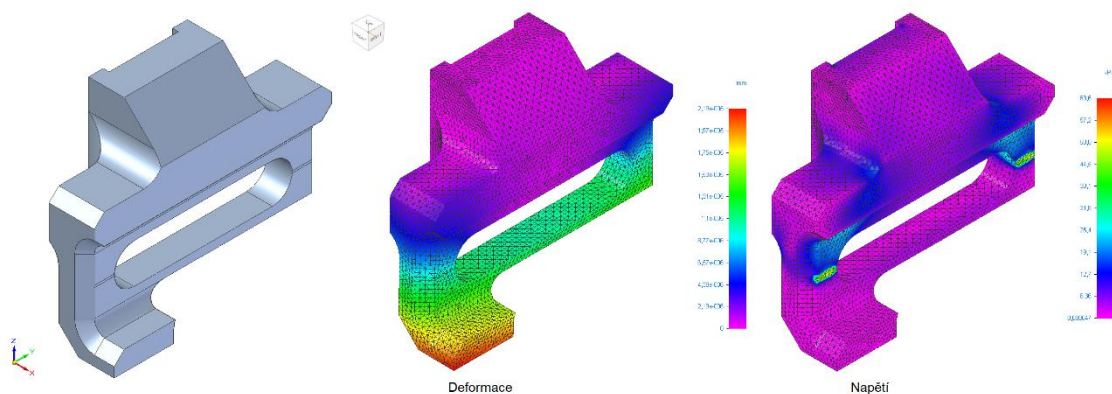
Z Obr. 56 se spočítá momentová rovnice, aby byla zjištěna hodnota X, neboli vhodná tloušťka čelisti pro uchopení.

$$F \cdot X = G \cdot 200 \quad (30)$$

$150 \cdot X = 14,8 \cdot 200$ po úpravě vznikne rovnice:

$$X = \frac{14,8 \cdot 200}{150} = 19,73\,mm \quad (31)$$

Výsledkem je, že celková šířka čelisti musí být alespoň 39,5 mm. S bezpečností $k=3$ (jistota uchopení) je výsledná šířka čelisti 120 mm.



Obr. 57: Ukázkový výpočet v SE9

Byla vymodelována čelist podle požadavků, náležitě odlehčena a jen pro ukázkou byl model vložen do MKP výpočtového programu v SE9 kde lze vidět hodnoty deformace a napětí při stisku čelisti o drát uchopovací silou 1000 N.

6. Ekonomický přínos

6.1 Náklady na přestavbu zařízení (vyčíslení nákladů ve zvyklostech firmy Mubea)

Mubea		ZBF Žebrák		
Angebot 1446_V2/2019/ZBF/DN		Seite 1/2		
Erstellt für Maik Hartwig (Dominik Kurze)		Angebot-Nr.:		
		Datum:	11.08.2020	
		erstellt durch:	P.Švinger	
Optimierung ITW10 Weissensee für Draht DN20				
Automatisierung des Arbeitsprozesses				
Nach dem Nachfrage von Herrn Dominik Kurze und Maik Hartwig den 31.7. 2019				
Pos	Bezeichnung	Stück	Termin	Summe [EUR]
1.	Automatische Bewegung des Cutters	1		35 000 €
2.	Integrierung neue Entnahmestation für NIO und Muster Teile	1		37 100 €
3.	Installation und Inbetriebnahme in W'SEE	1		19 600 €
GESAMTPREIS:				91 700 €

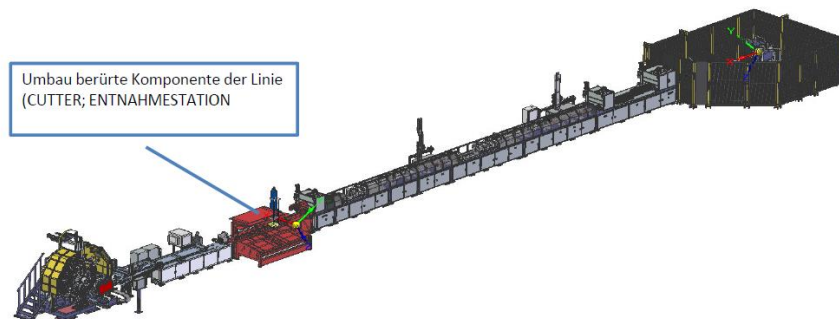
Detaillierte Preisspezifikation der Optimierung

Bemerkungen:

Liefertermin nach Vereinbarung (bis 5 Monaten) ab des Datums der Einkommen der Bestellung nach ZBF Zebrak. Bei Bestellung ist es notwendig über den Liefertermin zu Verhandeln mit Rücksicht auf die aktuelle Auslastung unserer Firma mit Aufträgen. Liefertermin könnte auch verkürzen.

Bereich der Arbeiten:

Siehe per rot markierte Baugruppen in Bild



Stillstand der Anlage während Umbau 3 Wochen (2 Woche Umbau, 1 Woche IBN)

Angebot ist 1 Monate gültig

Aufgeführte Lieferzeit gilt jeweils nach Bestelleingang und Klärung aller kaufmännischen und technischen Details.

Der Preis gilt für Lieferungen ab Werk, Verpackung ausschliesslich, ohne MwSt.

Gewährleistung 1 Jahr nach IBN. Bezieht sich auf Verschleissteile nicht und die Zukaufteile wo der Lieferant kürze Gewährleistung bestätigt.

Die Gewährleistung bezieht sich auf die durch schlechte Instandhaltung und durch fehlerhafte Bedienung verursachte Störungen nicht

11.08.2020

Unterschrift

Obr. 58: Náklady na přestavbu zařízení

Firmou Mubea byly stanoveny celkové náklady na úpravu zařízení. V dalším kroku bude zjištěna návratnost v případě ušetření času obsluhy a celkové ekonomické zhodnocení dané úpravy.

6.2 Úspora mzdových prostředků (eliminace pracovníka)

- | | |
|--|---------|
| 1) Usadí nový svitek do navíjedla | 3 min |
| 2) Zavádí drát do linky až ke Cutteru | 5 min |
| 3) Spustí linku (vizuální kontrola chodu jednotlivých sekcí) | 1 min |
| Pohyb | |
| Ohřev | |
| Chlazení | |
| 4) Stříhání a odběr tepelně neupravených odstřížků | 1 min |
| 5) Stříhání NiO odstřížků pro stabilizační dobu | 0,5 min |
| 6) Stříhání iO odstřížků 3x600 mm | 0,1 min |
| 7) Odběr vzorků a opuštění prostoru | 1 min |

Při automatizaci linky vložením nového vyjímacího zařízení skončí obsluha u bodu 3) a zbylé čtyři body již vykonává linka automaticky bez nutnosti obsluhy. Obsluha tedy ušetří necelé 3 minuty na jedné lince z původních 12 minut. To činí 25% času na dané lince.

Rok 2021 má 252 pracovních dnů a při třisměnném provozu se jedná o 3 · 2 016 pracovních hodin -> 6 048 hodin celkem.

25% z 6 048 hodin = 1 512 hodin

Srovnávací, režijní náklady na jednoho pracovníka činí 20 €.

Úspora dělá ročně 30 240 € neboli 816 480 CZK.

Zaměstnanec v daném volném čase může obsluhovat další linky, které by musely v době, kdy byl nutný rozběh dané ITW Linie, stát nebo by byly obsluhovány dalším člověkem.

Investice do zařízení má návratnost zhruba za 3 roky.

Nicméně, hlavní finanční hledisko, které je nutné brát v potaz, co se týče ekonomického zhodnocení je, že Linka by bez dané úpravy nebyla schopná provozu po roce 2021 z důvodu bezpečnosti. Ve schvalovacím řízení neobdržela pozitivní CE protokol a nesplňuje tak normativní předpisy pro získání „ES Prohlášení o shodě“ podle přílohy 2, část A, směrnice 2006/42/EC , jak bylo řečeno na začátku práce. To znamená, že přestavba linky (resp. Doplnění o zařízení zvyšující její bezpečnost provozu) byla nutná z hlediska zisku výroby. Linka a jí podobné,, produkují patentovaný drát pro výrobu pružin za studena v mnoha dceřiných firmy Mubea a jejich odstavení by znamenalo nevyčísitelné ztráty.

5. Závěr (Vyhodnocení)

V diplomové práci jsem formou rešerše popsala všechna stanoviště výrobní ITW linie, která je v současné době v podmíněném provozu na pobočce v Turecku a v Prostějově. Popsala jsem způsob tepelného zušlechťení drátu jeho následné výroby pro účely podvozkových pružin. Vzhledem k podmíněnosti provozu jsem měla za úkol upravit ručně tažený hydraulický cutter na cutter s automatickým posunem. Kvůli zvětšení průměru drátu z $\varnothing 18$ mm na $\varnothing 20$ mm bylo také nutné zvýšit střížnou sílu cutteru a to za pomoci na zakázku navrženého hydraulického válce od firmy Hydraulics.

Na takto upravený Cutter navazuje nově navržené automatické vyjímací zařízení. Jeho účelem je bez přítomnosti obsluhy odstranit z linky odstřížky drátu. A to, jak odstřížky při náběhu linky na provozní parametry tak vzorky pro metalurgické testy. Zařízení se skládá z dvouosého manipulačního portálu. Ten je poháněn celkově třemi servomotory s posuvovým systémem kuličkových šroubů. První zajišťuje pohyb čelistí pro uchopení drátu ve směru pohybu drátu a dva servomotory pohybují s čelistmi kolmo. To aby bylo možné odstřížky uvolnit nad třídící výhybku, která rozřadí odstřížek do iO nebo do NiO skluzu. Po správném temperování již nebude dále drát odstříhován a unášen na skluzu, ale projede vyjímacím zařízením dále až ke stanovišti, kdy je tepelně upravený drát zpětně navinut na cívku, jakož to hotový produkt.

U obou zařízení byla z důvodu kontinuálně pohybujícího se drátu potřeba správná časová studie a cyklování jednotlivých pohybů pro dosažení ideálních podmínek automatického sladěného běhu obou částí. Pohyby Cutteru musely být překontrolovány firmou Rexroth, od které byl následně servomotor objednan a jež má k dispozici simulační programy pro tyto účely, z důvodu možnosti zrychlení relativně velkých hmot v daných časových úsecích.

Práce na diplomové práci probíhala současně s realizací na skutečném výrobním zařízení. Linka je s těmito úpravami schopná získat kladný bezpečnostní CE protokol a bude možné prodloužit její produkci i po roce 2021. Co se týče návratnosti, je tu určitá finanční úleva při ušetřeném čase obsluhy, avšak hlavní a nejdůležitějším faktorem je, že linka bude provozuschopná.

Seznam použité literatury

- [1] M. u. Bender, „pracemubea,“ Mubea s.r.o., [Online]. Available:
<https://www.pracemubea.cz/skupina-mubea/>. [Přístup získán 3 12 2020].
- [2] M. u. Bender, „Studenti a žáci,“ Mubea s.r.o., [Online]. Available:
<https://www.pracemubea.cz/studenti-zaci/>. [Přístup získán 3 12 2020].
- [3] M. u. Bender, „ww.Mubea.com,“ Leden 2018. [Online]. [Přístup získán 10 1 2021].
- [4] Mubea Werkzeugbau Konstruktion, *Technical Specification*
ITW EB 27 RL / ITW Linie- Manisa, Žebrák: Mubea spol.sr.o., 2020.
- [5] B. Rexroth, „Rexroth a Bosch Company,“ [Online]. Available:
<https://www.boschrexroth.com/en/xc/products/product-groups/electric-drives-and-controls/motors-and-gearboxes/synchronous-servo-motors/ms2n/self-cooled/ms2n04#>.
[Přístup získán 2021 3 25].
- [6] Bossard, „Moment a předpětí,“ Bossard Proven productivity, 2020.
- [7] C. I. K. M. D. D. I. J. S. C. a. k. a. Ing. Ivan Furbacher, „Lexikon Technických materiálů,“
v *Svazek K*, Praha, Verlag Dashofer, listopad 1999, pp. část 4, díl4, 19655, str.1.
- [8] S. G. & C. KG, „Uchopovací systémy SCHUNK,“ SCHUNK GmbH & Co. KG, [Online]. Available:
https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/product/7224-0307110-drg-100-90-as/.
[Přístup získán 20 4 2021].
- [9] BoschRexroth, „Servomotory,“ [Online]. Available:
https://www.boschrexroth.com/dcc/content/internet/en/pdf/PDF_p146802_en.pdf.
[Přístup získán 23 03 2021].
- [10] L. V. GmbH, „Lenze,“ © Lenze, [Online]. Available:
<https://productfinder.lenze.com/dsc-core/index;jsessionid=71B403B322F4CF5E2BDC323E426F26F3?deepLink=true&lang=E>.
[Přístup získán 23 3 2021].

[11] D. Jim, „HIWIN motion and control technology,“ HIWIN Corporation Huntley, [Online]. Available:

<https://www.hiwin.com/stock-ballscrews.html>. [Přístup získán 2021 3 25].

[12] BS-08-2-EN-1704-K, „Hiwin corporatin,“ [Online]. Available:

<https://hiwin.co.uk/wp-content/uploads/2017/06/Ballscrews.pdf>. [Přístup získán 3 13 2021].

[13] V. Špičák, Části a mechanismy strojů, V Praze: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2008.

Seznam použitých znaků

s	- dráha [mm]
v_0	- počáteční rychlost [mm/s]
v	- koncová rychlost [mm/s]
t	- čas [s]
ω	- úhlová rychlost [rad/s]
v_o	- obvodová rychlost [mm/s]
n	- otáčky motoru [min^{-1}]
r	- poloměr patní kružnice v záběru [mm]
i	- převodový poměr [–]
n_k	- kritické otáčky [min^{-1}]
n_{max}	- maximální otáčky [min^{-1}]
d_k	- střední průměr hřídele [mm]
l_s	- délka nepodepřeného hřídele [mm]
f_n	- koeficient uložení [–]
P	- stoupání šroubu [mm]
σ_k	- mez kluzu materiálu [MPa]
σ_s	- napětí v součásti [MPa]
k	- bezpečnost [-]
F_u	- uchopovací síla pro DRG [N]
X	- rameno síly u čelistí na tyč [mm]
F	- celková síla čelisti od těžiště [N]
G	- tíhová síla odstřižku 600mm [N]

Seznam obrázků

Obr. 1: Logo společnosti [1].....	2
Obr. 2: Sortiment společnosti Mubea [1]	2
Obr. 3: Spolupracující vysoké školy [2]	3
Obr. 4: Moderní tlumící systém [3]	4
Obr. 5: Indukční popouštění drátu (vlevo), testování vířivými proudy (vpravo) [3].	5
Obr. 6: Kompletní výrobní linka [4]	7
Obr. 7: Odvíječ drátu [4]	8
Obr. 8: Vodící stojan [4].....	8
Obr. 9: Mobilní rovnačka [4]	9
Obr. 10: Čistící zařízení [4].....	9
Obr. 11: Pohonné jednotky a rovnačka drátu [4]	10
Obr. 12: Zahřívání drátu [4]	10
Obr. 13: Kalička [4].....	11
Obr. 14: Žihání drátu [4].....	11
Obr. 15: Chlazení drátu [4]	12
Obr. 16: Pohon [4].....	12
Obr. 18: Hydraulický Cutter [4]	13
Obr. 17: Manuální Cutter	13
Obr. 19: Původní vyjímací zařízení	13
Obr. 20: Automatický podavač drátu	14
Obr. 21: Uspořádání drátu.....	14
Obr. 22: Navíječ drátu	15
Obr. 23: Pohyb Cutteru	17
Obr. 24: Časový rozbor pohybu Cutteru graficky.....	17
Obr. 25: Parametry servomotoru Bosch [5]	20
Obr. 26: Převodovka od firmy Lenze [6]	20
Obr. 27: Pohyb vyjímacího zařízení	21
Obr. 28: Časový rozbor vyjímání graficky	22
Obr. 29: Technické parametry pohonu Bosch [5]	24
Obr. 30: Kuličkový šroub HIWIN [8].....	24
Obr. 31: Zapojení šroubu a pohonu ze sestavy X	25

Obr. 32: Zapojení šroubu a pohonu ze sestavy Y	26
Obr. 33: Časový rozbor studie stříhu	27
Obr. 34: Parametry motoru Rexroth	28
Obr. 35: Skica rozložení pro firmu Bosch	29
Obr. 36: Zadané parametry od Bosch	30
Obr. 37: Parametry motoru.....	31
Obr. 38: Vyhodnocené grafy.....	32
Obr. 39: Výsledky pohybů	33
Obr. 40: Nový válec od Hydraulics	34
Obr. 41: Původní válec standartní Comforty.....	34
Obr. 42: Nový válec od firmy Hydraulics s napasováním	35
Obr. 43: Popis pro výpočet.....	36
Obr. 44: Výpočet šroubu M30 [6].....	37
Obr. 45: Nastavení předpětí	37
Obr. 46: Výpočet šroubů M24.....	38
Obr. 47: Nastavení předpětí	38
Obr. 48: Nastavení zatěžující síly.....	38
Obr. 49: Výsledné napětí a deformace.....	39
Obr. 50: Vlastnosti oceli 1.2767 (ČSN 19 655) [7].....	40
Obr. 51: Vyjímací zařízení	41
Obr. 52: Pohyb ve směru X	42
Obr. 53: Pohyb ve směru Y	43
Obr. 54: Hmotnost odstřížku podle programu SE19	44
Obr. 55: Uchopovací chapadlo SCHUNK [8].....	44
Obr. 56: Momentová rovnice na uchopení	45
Obr. 57: Ukázkový výpočet v SE9	45
Obr. 58: Náklady na přestavbu zařízení	46

Seznam příloh

Příloha 1: 3D pdf sestavy vyjímacího zařízení