



Konstrukční návrh stolní odporové svářečky

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T010 – Konstrukce strojů a zařízení

Autor práce: **Bc. Petr Havlík**
Vedoucí práce: prof. Ing. Přemysl Pokorný, CSc.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr Havlík**
Osobní číslo: **S14000286**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce strojů a zařízení**
Název tématu: **Konstrukční návrh stolní odporové svářečky**
Zadávací katedra: **Katedra výrobních systémů a automatizace**

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

Cílem diplomové práce je zhotovení a optimalizace konstrukčního návrhu pro firmu Descon engineering s.r.o.

1. Proveďte rešerši současného stavu v oblasti stolních odporových svářeček a popište základní princip technologie odporového bodového svařování.
2. Definujte základní požadavky pro konstrukční návrh stolní odporové svářečky.
3. Proveďte konstrukční návrhy stolní svářečky dle definovaných požadavků.
4. Proveďte kontrolní výpočty a pro vybrané části využijte MKP.
5. Dle výsledků MKP zvolte nejvhodnější konstrukci a proveďte optimalizaci konstrukce.
6. Zhodnoťte dosažené výsledky.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **60 stran včetně příloh**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

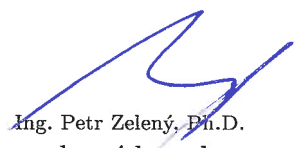
Seznam odborné literatury:

- [1] NEUMANN, H. Teorie svařování a pájení. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014. ISBN 978-80-7494-171-9
[2] MORAVEC, J. Teorie svařování a pájení II: speciální metody svařování. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. ISBN 978-80-7372-439-9
[3] KOVAŘÍK, R. a ČERNÝ, F. Technologie svařování. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2008dotisk. ISBN 978-80-7082-697-3
[4] ZHANG, H. a SENKARA, J. Resistance welding: fundamentals and applications. Boca Raton: Taylor and Francis, 2006. ISBN 0-8493-2346-0
[5] ZHANG, H. a SENKARA, J. Resistance welding: fundamentals and applications. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, c2012. ISBN 978-1-4398-5371-9
[6] Resistance welding manual. Revised 4th. ed. Philadelphia: Resistance Welder Manufacturers' Association (RWMA), 2003. ISBN 0-9624382-0-0

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Přemysl Pokorný, CSc.**
Katedra výrobních systémů a automatizace
Konzultant diplomové práce: **Ing. Jiří Gruber**
Descon engineering s.r.o.
Datum zadání diplomové práce: **1. listopadu 2016**
Termín odevzdání diplomové práce: **1. února 2018**


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




Ing. Petr Zelený, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2016

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 23.5.2017

Podpis: 

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl s úctou poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Prof. Ing. Přemyslu Pokornému, Csc. a dalším členům Katedry výrobních systémů a automatizace za jejich věcné připomínky a rady při vypracování této práce. Dále bych rád poděkoval firmě DESCON Enginnering s.r.o., především konzultantovi Ing. Jiřímu Grubnerovi, za cenné rady a možnost vypracovat tuto práci.

Na závěr bych chtěl poděkovat mé rodině, především za samotnou možnost studovat vysokou školu. Hlavně rodičům za jejich trpělivost a podporu v průběhu studií na Technické univerzitě v Liberci.

TÉMA: **Konstrukční návrh stolní odporové svářečky**

ABSTRAKT:

Diplomová práce je zaměřena na konstrukční návrh a optimalizaci stolní odporové svářečky. První část práce popisuje technologii odporového svařování a rozebírá základní svařovací parametry. Další část je zaměřena na analýzu stávajícího stavu, studii trhu v oblasti stolních odporových svářeček a definici požadovaných parametrů. Hlavní část práce obsahuje návrh stolní odporové svářečky a 3D CAD modelu, vytvořeného dle výsledků zjednodušených analytických výpočtů. Nedílnou součástí práce je technická dokumentace a 3D model přiloženy v elektronické podobě.

Klíčová slova: (Stolní odporová svářečka, MKP, CAD, konstrukční návrh, optimalizace konstrukce)

THEME : **Engineering design of the bench type welder machine**

ABSTRACT:

This diploma thesis is focused on the engineering design and design optimization of the bench type welder machine. There are resistance welding technology and resistance spot welding process parameters depicted in the first part of the work. Another part of the work analyzes the current state of the stock market in the area bench type welder machine and defines the requirements. The main part of the work includes design of the bench type spot welder machine and 3D CAD model, created with support of simplified analytical calculations. The technical documentation is the integral part of in this work. 3D model are included in digital form.

Keywords: (Bench type welder machine, FEM, CAD, engineering design, construction optimize)

Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra výrobních systémů a automatizace

Dokončeno: 2017

Počet stran: 67

Počet příloh: 5

Počet tabulek: 23

Počet modelů nebo jiných příloh: 1

OBSAH

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	10
1 Odporové svařování	11
1.1 ZÁKLADNÍ PRINCIP TECHNOLOGIE ODPOROVÉHO SVAŘOVÁNÍ	11
1.2 ZÁKLADNÍ KONSTRUKCE A DRUHY ODPOROVÝCH SVÁŘEČEK.....	12
1.3 ZÁKLADNÍ PRINCIP TECHNOLOGIE ODPOROVÉHO BODOVÉHO SVAŘOVÁNÍ	12
1.4 ZÁKLADNÍ PARAMETRY ODPOROVÉHO SVAŘOVÁNÍ.....	14
1.5 VZNIKLÉ ELEKTRICKÉ ODPOROVÉ TEPLO	15
1.6 CELKOVÝ ČINNÝ ODPOR.....	16
1.7 SVAŘOVACÍ REŽIMY	16
1.8 HODNOTY VÝKONŮ A ZATĚŽOVATELE ODPOROVÉ SVÁŘEČKY.....	17
2 Analýza stávajícího stavu.....	18
2.1 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI DESCON ENGINEERING S.R.O.....	18
2.2 STUDIE TRHU V OBLASTI STOLNÍCH BODOVÝCH SVÁŘEČEK.....	19
2.2.1 Přehled konkurenčních produktů	19
2.3 MOŽNÁ PATENTOVÁ OMEZENÍ	24
3 Definice požadovaných parametrů	25
4 Konstrukční návrh	26
4.1 VÝBĚR PNEUMATICKÉHO POHONU A LINEÁRNÍHO VEDENÍ.....	26
4.1.1 Stanovení potřebného průměru pístu pneumatického válce	27
4.1.2 Návrhy dvoupolohového pneumatického pohonu	27
4.1.3 Návrhy třípolohových pneumatických válců	30
4.1.4 Návrhy lineárního vedení.....	31
4.1.5 Volba pneumatického válce a vedení společně s návrhem horního ramene	33
4.2 VOLBA TRANSFORMÁTORU	35
4.3 KONSTRUKČNÍ NÁVRH RÁMU STROJE	35

4.3.1	Vypracování variant rámu	35
4.3.2	Použití MKP při výběru rámu	39
4.3.3	Volba konstrukce rámu	45
4.4	KONTROLNÍ VÝPOČET ŠROUBOVÉHO SPOJE	46
4.5	NÁVRH OSTATNÍCH ČÁSTÍ STROJE	52
4.5.1	Návrh sekundárního elektrického obvodu a chlazení	52
4.5.2	Návrh pneumatického obvodu stroje	53
4.5.3	Návrh krytování a ovládání	54
5	Optimalizace konstrukce rámu	56
6	Odhad nákladů	59
7	Konečná vizualizace	60
8	Závěr	61
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	62
	SEZNAM OBRÁZKŮ	64
	SEZNAM TABULEK	66
	SEZNAM PŘÍLOH	67

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

η	[-]	-mechanická účinnost
$F_{vys/zas}$	[N]	-teoretická síla pneumatického válce při vysouvání/zasouvání
F_E	[N]	-efektivní statickou sílu pneumatického válce
F_S	[N]	-svařovací síla
I_S	[A]	-svařovací proud
M_u	[Nm]	-utahovací moment
R_c	[Ω]	-celkový činný odpor
R_n	[Ω]	-vlastní a přechodové odpory
W_{k3}	[mm ³]	-průřezový modul v krutu
σ_e	[Mpa]	-ekvivalentní napětí
σ_t	[Mpa]	-napětí v tahu
τ_k	[Mpa]	-napětí v krutu
$\varnothing D$	[mm]	-průměr pístu pneumatického válce
$\varnothing d$	[mm]	-průměr pístnice pneumatického válce
CLO	[%]	-celní poplatek
ČSN		-označení české národní normy
ČSN EN		-označení převzaté Evropské normy
D_0	[mm]	-průměr otvoru pro šroub
$d_{2,3}$	[mm]	-střední průměr závitu, malý průměr závitu
D_k	[mm]	-průměr montážního klíče
DPH	[%]	-daň z přidané hodnoty
f	[Hz]	-frekvence napájecího napětí
f	[-]	-součinitel tření
$F_{1,2,3}$	[N]	-zavedené axiální síly v šroubech
F_b	[N]	-zatěžující síla od pneumatického válce
F_Q	[N]	-předpětí v šroubu
H	[mm]	-max. zdvih pneumatického válce
ISO		-označení mezinárodní normy
$k_{s,p}$	[Nm ⁻¹]	-tuhost materiálu šroubu a spojovaného dílu
MKP		-metoda konečných prvků
M_o	[Nm]	-ohybový moment působící na šroubový spoj
M_{zu}	[Nm]	-odporový moment závitu
$N_{k,t}$	[kVA]	-krátkodobý výkon stroje, trvalý výkon stroje
PC		-osobní počítač
per	[-]	-svařovací perioda (jednotka času)
P_h	[mm]	-stoupání závitu
R_a	[μ m]	-drsnost povrchu materiálu
R_e	[Mpa]	-mez kluzu materiálu
R_m	[Mpa]	-mez pevnosti
$t_{s,p}$	[s]	-čas průchodu proudu/svařování, čas přerušení/přestávky svařování
$Z_{1,2}$	[mm]	-hodnota prvního a druhého zdvihu pneumatického válce
σ_{Dt}	[Mpa]	-dovolené napětí v tahu
ψ	[-]	-součinitel přetížitelnosti
DZ	[%]	-zatěžovatel svařovacího stroje
Q	[J]	-tepelná energie, práce

ÚVOD

Zvyšování produktivity práce a snižování nákladů se stalo každodenním spojením ve většině firem. Řešení často souvisí se zaváděním nových technologií. I přes to, že technologie odporového svařování patří mezi nejstarší, dosahuje se při ní mnohonásobně vyšší produktivity v porovnání s ostatními metodami svařování. Samotný proces svařování probíhá ve velmi krátkých časech a generovaná tepelná energie je velmi efektivně využita k ohřátí spojovaného materiálu. Ztráty odvodem tepla do okolí jsou při této technologii minimální a spotřeba energie stroje při chodu naprázdno je zanedbatelná. Mimo to je odporové svařování výhodné i z hlediska hygieny, obsluha nemusí pracovat v masce, není totiž vystavena škodlivému světlu a kouři. Všechny tyto vlastnosti opodstatňují využití odporových svářeček i v dnešní době, a to jak ve velkosériové, tak malosériové výrobě.

Cílem práce je vyhotovení konstrukčního návrhu stolní odporové svářečky dle požadavků společnosti *DESCON Engineering s.r.o.* Součástí zadání je také provedení rozboru stávajícího stavu trhu v oblasti stolních odporových svářeček a utřídění požadavků zadavatele. Na základě těchto poznatků a zvolených komponentů vypracování vhodného počtu konstrukčních návrhů. Dále pak pomocí výpočtů metody konečných prvků zhodnocení jednotlivých variant a společně se zadanými parametry volba nejvhodnější. Na závěr optimalizace zvolené konstrukce podle výsledků metody konečných prvků a zhodnocení.

Důvodem mé volby vypracování konstrukčního návrhu stolní odporové svářečky byla jedinečná možnost podílet se na vývoji nového stroje ve společnosti s bohatými zkušenostmi v oboru. Také možnost přispět tímto návrhem k rozšíření stávajícího sortimentu společnosti a vytvořit nabídku produktu, který nemá na českém trhu velké zastoupení.

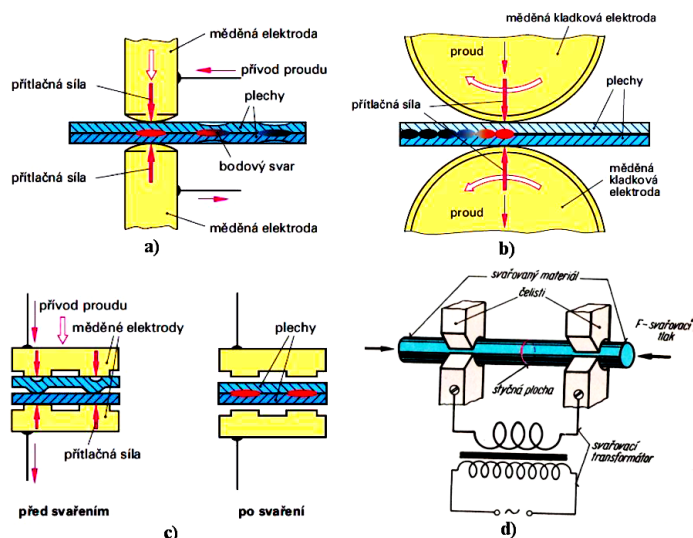
1 Odporové svařování

1.1 Základní princip technologie odporového svařování

Dle principu samotné technologie, řadíme odporové svařování do kategorie tlakového odporového svařování při kterém se teplo, potřebné pro vznik svarového spoje, nedodává z venku, nýbrž vzniká přímo ve svařovaném předmětu. Toto odporové teplo je vyvinuto průchodem elektrického proudu svařovaným materiálem, který je zároveň sevřen mezi dvěma dobře vodivými elektrodami. Jedná se tedy o druh svařování, bez přítomnosti přídavného materiálu.[2]

Přítlačný tlak je vyvozen v místě svaru, buď již zmíněnými elektrodami, nebo samotnými částmi. Elektrody, kterými se přivádí elektrický proud, jsou většinou z mědi nebo ze slitin mědi. Podle konstrukčního uspořádání elektrod a pracovního postupu tohoto elektromechanického procesu se odporové svařování rozděluje na bodové, švové, výstupkové a stykové.[2]

Bodové svařování je takové, při kterém se spoje vytvářejí v podobě svarových čoček mezi přeplátovanými dílci. U švového svařování je spoj vytvořen za pomoci kotoučových elektrod, kde mezi dvěma přeplátovanými dílci je vytvořen souvislý svar. Při výstupkovém svařování se spoje vytvářejí v místech styku přirozených, nebo záměrně vytvořených výstupků a u stykového svařování jsou svařované dílce přitlačovány k sobě ve styčných plochách a svařují se tak po celé styčné ploše.[2]



obr. č. 1 - druhy tlakového odporového svařování: a) bodové odporové svařování, b) švové odporové svařování, c) odporové svařování na lisech (výstupkové), d) stykové odporové svařování [3]

Výhody odporového svařování:

- vysoká rychlost svařování;
- vznik svaru bez přidaného materiálu;
- velká rozmanitost svařovaných materiálů;
- vysoká produktivita v porovnání s ostatními metodami svařování;
- uplatnění ve velkosériové výrobě, malosériové i kusové výrobě.

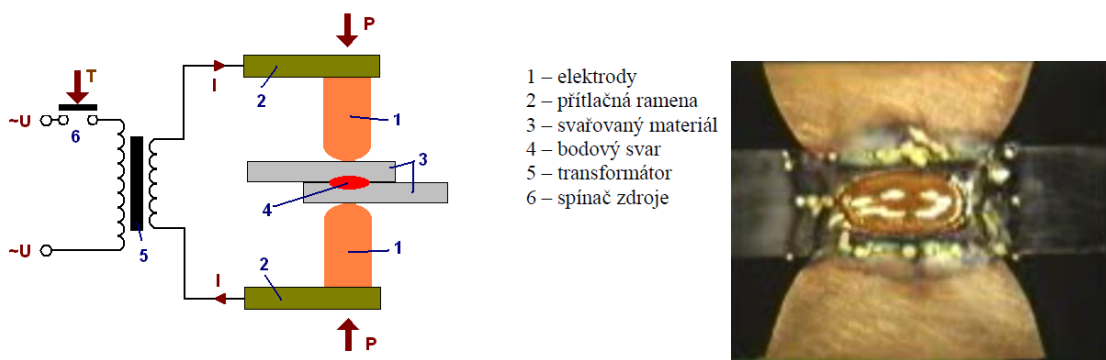
1.2 Základní konstrukce a druhy odporových svářeček

Všechny odporové svářečky mají dvě hlavní části, elektrickou a mechanickou. Elektrickou částí se ohřívá materiál ve svařovaném místě elektrickým proudem. Tato část se skládá ze svařovacího transformátoru, konstrukcí určeného pro svařovací stroje, dále ze součástí, které vedou elektrický proud a ze zařízení pro zapínání a vypínání elektrického proudu. Mechanická část odporových svářeček se skládá ze zařízení na stlačení svařovaných materiálů v místě svaru. Vyvinutí přitlačné síly může být u různých typů svářeček ruční/nožní, pneumatické, motorické nebo hydraulické.[1]

Dle jednotlivých použitých technologií odporového svařování a konstrukcí svařovacích strojů, se svářečky rozdělují na stabilní bodové svářečky, závěsné bodové svářečky a svařovací kleště, švové svářečky, svařovací lisy, svářečky pro stykové svařování a speciální odporové svářečky.[2]

1.3 Základní princip technologie odporového bodového svařování

Bodové svařování je odporové svařování, při kterém se svařované plechy (většinou dva, výjimečně tři) vkládají mezi dvě dobře vodivé elektrody, upevněné v horním a dolním rameni bodové svářečky a vzniká bodový svar. Horní rameno je většinou spojeno se sekundárním vinutím svařovacího transformátoru pomocí ohebného pásu z důvodu pohyblivosti tohoto ramena. Dolní rameno je možné připojit k transformátoru pomocí pevného pásu, je-li toto rameno nepohyblivé. Transformátor je napájen ze sítě a jeho sekundární vinutí je tvořeno z pouze několika závitů (většinou jediný závit) silného měděného vodiče. U výkonnějších bodových svářeček je sekundární závit chlazen vodou, stejně jako ramena a elektrody.[2]



obr. č. 2 - princip bodového odporového svařování a řez svarovou čočkou [7]

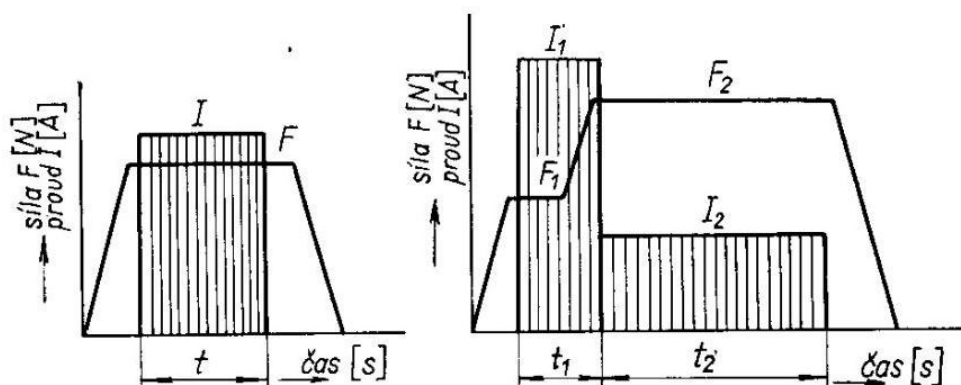
Průchodem elektrického proudu stlačených ploch se na rozhraní materiálu roztaví určitý objem materiálu, který po vypnutí elektrického proudu tuhne a vytvoří svarový spoj. Svar má tvar čočky a vytváří se bez přídavného materiálu. Bodový svar má přibližně stejnou plochu jako čelo svařovací elektrody. Pro vytvoření správného svaru je nutný přiměřený svařovací tlak a dodržení správného postupu. Normální průběh bodového svařování je následující: [2]

- Svařované předměty se vloží mezi elektrody, které jsou bez napětí, proud neprochází, stroj je v klidu;
- Elektrody dosednou, jsou stále bez napětí, proud neprochází;

- Po dostatečném vyvinutí síly se zapne proud, elektrody jsou pod napětím, dochází ke svařování;
- Po uplynutí nastavené hodnoty svařovacího času se vypne proud, elektrody jsou stále stlačeny bez napětí;
- Elektrody se rozevrou do výchozí polohy, svařené předměty jsou vyjmuty ze stroje.

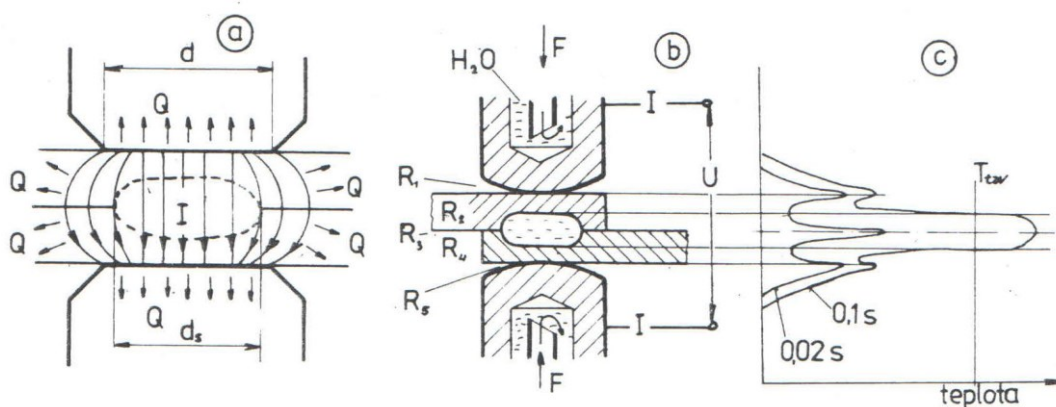
Při nezachování uvedeného postupu vzniká svar, buď neprovařený, nebo se materiál propaluje. Zejména při přibližování nebo oddalování elektrody od svařovaného materiálu pod napětím. [2]

Svařování ušlechtilých ocelí, lehkých nebo barevných kovů vyžaduje, aby svařovací tlak a popřípadě i proud byly v průběhu bodového svařování proměnlivé z technologických důvodů. To obnáší použití speciálně upravených pneumatických nebo hydraulických strojů. Znázornění normálního průběhu bodového svařování a příklad programovatelného průběhu bodového svařování je na obr. č. 3.[2]



obr. č. 3 - normální průběh bodového svařování a příklad programovatelného svařování [2]

Svarová čočka má z důvodu dosažení požadované kvality předepsané rozměry, které jsou závislé na průměru dotkových ploch elektrod a efektivitě využití vzniklého tepla pro roztavení kovu. Ve zlomku sekundy probíhají složité děje provázené jednak vývinem, tak současným odvodem tepla.[4]



obr. č. 4 - a) průběh proudu I a směr odvodu tepla Q ; b) svarová čočka a rozložení odporů; c) rozložení teplot v bodovém svaru během svařování [2]

1.4 Základní parametry odporového svařování

Mezi základní svařovací parametry patří svařovací síla, svařovací proud a svařovací čas. Při odporovém švovém svařování to mohou být ještě například parametry rychlost svařování nebo přerušování proudu.

- **Svařovací síla**, někdy nazývána také elektrodová, může být v průběhu svařovacího procesu konstantní, nebo se může v závislosti na čase měnit, viz. obr. č. 3. Svařovací síla má dvě základní funkce, elektrickou a metalurgickou. Elektrická funkce svařovací síly má za úkol vznik dostatečného kontaktu mezi svařovanými dílci. Metalurgická funkce svařovací síly je zapotřebí při tuhnutí nataveného materiálu v místě svaru. Působí na velikost zrna výsledného materiálu a tím ovlivňuje mechanické vlastnosti. Také při tavení zabraňuje expanzi roztaveného jádra. Při volbě svařovací síly se vychází ze základní síly pro daný režim (měkký/tvrký – viz. Tab.č. 1) a styčné plochy elektrody. Čím bude tloušťka materiálů větší, tím by měl být větší průměr svařovací elektrody, čímž bude větší styčná plocha a tím bude větší potřebná svařovací síla. Pro výpočet potřebné svařovací síly je možno použít empirický vzorec:[3]

$$F_S = (1000 \text{ až } 2500) \cdot s; \quad [\text{N}] \quad (1)$$

kde: s ... tloušťka materiálu (jednoho plechu) [mm]

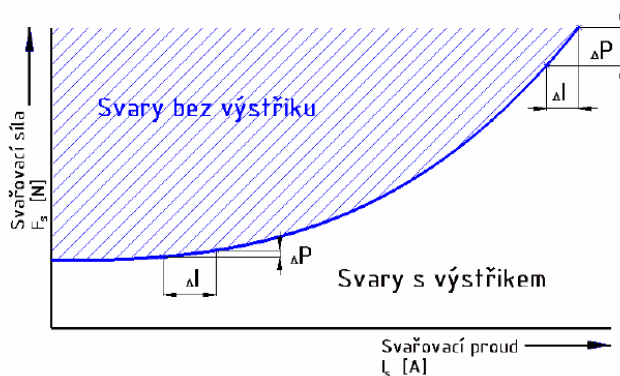
- **Svařovací proud** a čas mají rozhodující vliv na vznik potřebného tepla v místě svaru. Svařovací proud je navíc v Joule-Lenzově rovnici v kvadratickém tvaru. Mění-li se odpor, například svařováním materiálů větší tloušťky, musí být úměrně změněn i proud. Pro orientační výpočet svařovacího proudu je možné použít vztah:[3]

$$I_S = 6500 \cdot s \quad [\text{A}] \quad (2)$$

kde: s ... tloušťka materiálu (jednoho plechu) [mm]

Při nastavení nedostatečného svařovacího proudu, tedy kdy je do svaru dodáváno malé množství energie, může nastat situace, kdy se tato energie rovná tepelným ztrátám. Tím vznikne svar difusní s nedostačující pevností, místo tavného. Vyšší svařovací čas znamená vyšší ztráty a to způsobuje nižší účinnost procesu a poměrně velkou tepelně ovlivněnou oblast - měkký svařovací režim.

Vysoká hodnota proudu je používána v případech svařování materiálů s velmi dobrou tepelnou a elektrickou vodivostí (např. hliník, slitiny mědi). Zvyšování proudu však má své hranice, obr. č. 6 mohlo by dojít k vystříknutí svarového kovu, viz. obr. č. 5.[4]



obr. č. 5 - hranice výstřiku svařového kovu v závislosti na změně tlaku a proudu[4]

- **Svařovací čas** může být stejně jako svařovací síla konstantní během svařovacího procesu, proměnlivá nebo přerušovaná. Svařovací čas je časový interval, při kterém materiálem během svařovacího procesu protéká proud, udává se většinou v jednotkách period ($1_{per} = 0,02 \text{ sec}$ – při frekvenci sítě 50 Hz). Mezičas je doba, mezi ukončení jednoho svařovacího cyklu do začátku druhého.[3]

V praxi se při volbě těchto parametrů používají tabulky zpracované na základě zkoušek. V přílohách této práce jsou uvedeny doporučené hodnoty svařovací síly, proudu a času, pro různé tloušťky plechy z nízkouhlíkové oceli a hliníkové slitiny, od výrobce svařovací techniky Wahlenmeier Schweissttechnik.

1.5 Vzniklé elektrické odporové teplo

Jeden z požadavků odporového svařování je velmi rychlá generace tepla v místě svaru tak, aby minimální množství tepla bylo odvedeno do objemu okolního materiálu. Rychlá generace tepla je docílena vysokou hodnotou proudu ve velmi krátkém časovém intervalu. Další požadavek je generování mnohem většího tepla v místě svaru, než v jakékoliv jiné části sekundárního obvodu.[4]

Tepelná energie je generována vždy, když prochází elektrický proud. Ohřívání musí mít co největší odpor. Odpor a proud se během svařování mění. Celkové množství vzniklého tepla ve svaru lze vypočítat podle Joule-Lenzova zákona:[4]

$$Q = \int_0^t R_c(t) I^2 dt \quad [J] \quad (3)$$

kde: Q ... celkové množství tepla [J]
 I ... protékající proud [A]
 R_c ... celkový činný odpor [Ω]
 dt ... diferenciál času

1.6 Celkový činný odpor

Celkový činný odpor je součtem dílčích odporů mezi elektrodami. Je složen z přechodového odporu na styku elektrod a materiálu, z vlastního odporu svařovaného materiálu a přechodového odporu svařovaných materiálů. Tyto odpory jsou znázorněny na obr. č. 4 a celkový odpor lze vypočítat následovně:[4]

$$R_c = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 \quad [\Omega] \quad (4)$$

kde: R_1, R_5, \dots přechodový odpor na styku elektrod a materiálu $[\Omega]$

R_2, R_4, \dots vlastní odpor svařovaného materiálu $[\Omega]$

$R_3 \dots$ přechodový odpor svařovaných materiálů $[\Omega]$

1.7 Svařovací režimy

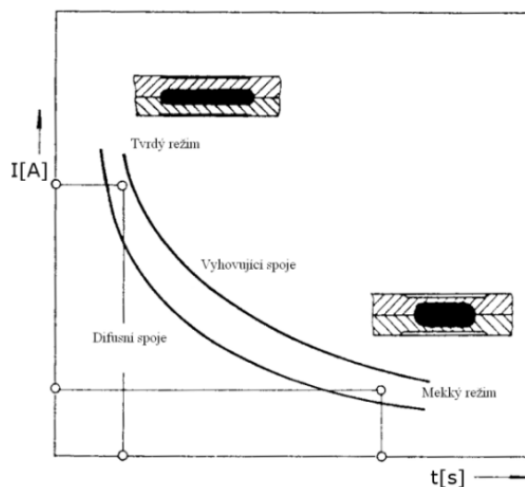
Pro vytvoření svarového spoje je nutné určité množství tepla, toho lze docílit různými kombinacemi velikostí proudu a času. Pro tyto kombinace se používají termíny tvrdý a měkký svařovací režim. Na obr. č. 6 je znázorněna oblast použití tvrdého a měkkého svařovacího režimu.[1]

- Tvrdý svařovací režim

Pracovní hodnoty svařování, u nichž se používají velkého proudu a krátké doby na ohřev, se nazývají „tvrdé“. Volí se při svařování legovaných ocelí, barevných kovů, hliníku a jeho slitin. Výhodou tohoto režimu je, že vznikají minimální napětí a deformace ve svařované součásti a snižuje spotřebu elektrické energie a opotřebení elektrod opalováním.[1]

- Měkký svařovací režim

Pracovní hodnoty s delší dobou průtoků proudu a pomalejším postupným ohřevem se nazývají „měkké“. Výhodou tohoto režimu je, že se nevyžaduje použití strojů velkých příkonů a umožňuje použití menších průřezů elektrických vodičů. Nevýhodou je, že vznikají velké deformace a napětí ve svarových spojích, vzniká tak hrubozrnná struktura svařovaného materiálu.[1]



obr. č. 6 – oblast využití měkkého a tvrdého svařovacího režimu [1]

Tab.č. 1 – parametry bodového svařování – měkký a tvrdý režim [4]

Druh odporového svařování	Měkký režim		Tvrdý režim	
	[Mpa]	[A/mm ²]	[Mpa]	[A/mm ²]
Bodové	2 až 6	140 až 200	>5	>200

1.8 Hodnoty výkonů a zatěživatele odporové svářečky

U odporového svařovacího stroje se v pravidelných intervalech střídají periody zapnutého stroje při svařování t_s a perioda přestávky t_p . Během jednoho pracovního cyklu můžeme tak vyjádřit poměrnou dobu zatížení výrazem:[1]

$$\frac{t_s}{t_s + t_p} \cdot 100\% = DZ \quad [\%] \quad (5)$$

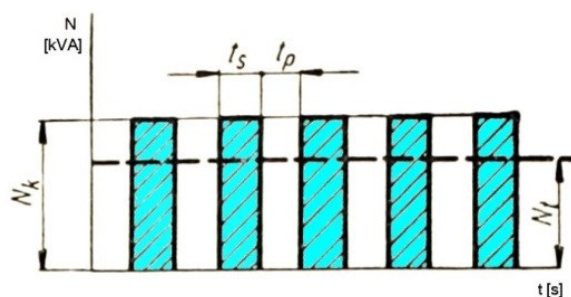
kde: t_s ... doba průchodu proudem/svařování [s, per]

t_p ... doba přerušení/přestávky [s, per]

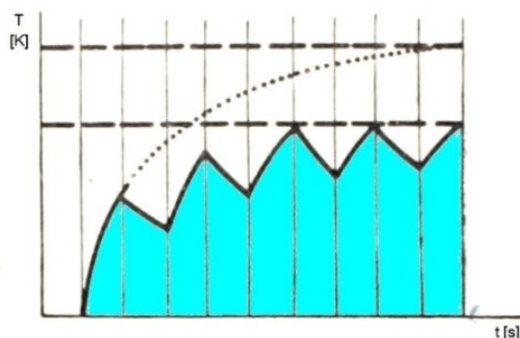
Tento poměr nazýváme *dobou zatížení*, nebo také jako *zatěživatel svařovacího stroje*. Jedná se o jeden ze základních parametrů svařovacího zdroje, dle kterého lze porovnávat výkonnost svařovacích strojů.[1]

Výkon N_k je nazýván *krátkodobým výkonem stroje* a střední čára na obr. č. 7 naznačuje tzv. *trvalý výkon* N_t . Tento trvalý výkon by za čas $t_s + t_p$, vyrobil stejné množství tepla, jako vyšší krátkodobý výkon za čas t_s . Znamená to tedy, že čím delší budou přestávky na ochlazení stroje (tzn. menší hodnota DZ), tím větší může být krátkodobý výkon stroje. [2]

Z obr. č. 8 je patrné, že stroj se při svařovací periodě působením vnitřních odporů zahřívá *Jouleovým teplem* a v přestávkách se opět ochlazuje. Oteplení stroje stoupá až do určité meze, kdy nastává vyrovnaní mezi teplem vzniklým ztrátami ve stroji a teplem vyzářeným a odvedeným do okolí, mezi svařovacími periodami.[2]



obr. č. 7 – graf časové závislosti stavu zapnutí a vypnutí odporové svářečky na výkonu stroje [2]



obr. č. 8 – graf časové závislosti při zapnutém a vypnutém stavu odporové svářečky na teplotě stroje [2]

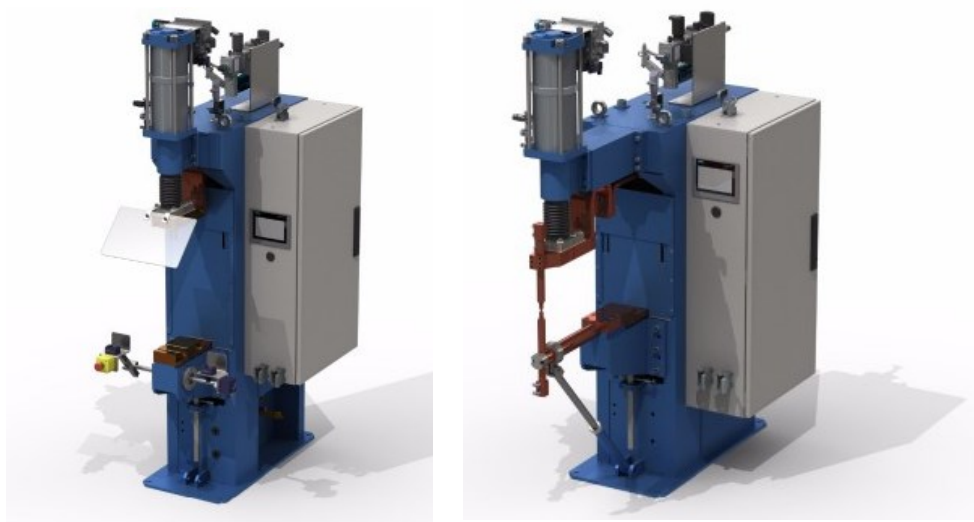
2 Analýza stávajícího stavu

2.1 Představení společnosti DESCON Engineering s.r.o.

Společnost DESCON Engineering se zabývá převážně komplexními dodávkami standartních strojů, pracovišť a nástrojů. Dále se zabývá vývojem výrobků, simulací procesů a nákladovými analýzami. V oblasti svařování se společnost soustředí na konstrukční návrhy a řešení jednoúčelových svařovacích přípravků a pracovišť, svařovacích lisů, lisů pro bodové svařování a svařovacích kleští s možností individuálních úprav dle požadavků zákazníka.[8]

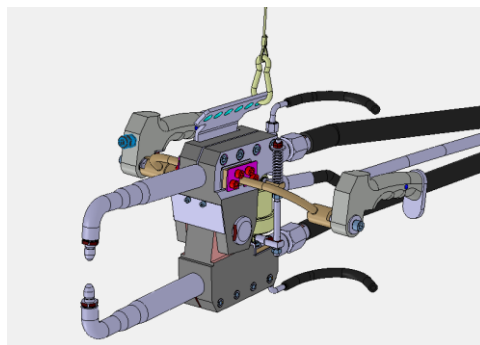
V nabídce společnosti v oblasti svařování jsou tyto svařecí lisy, bodové svařovací lisy a bodové svařovací kleště:

- Svařovací odporové lisy a bodové lisy



obr. č. 9 - svařovací lis řady DWP a bodový lis řady DWS společnosti DESCON Engineering [8]

- Svařovací kleště



obr. č. 10 - závěsné bodové svařovací kleště DESCON Engineering řady DWG[8]

2.2 Studie trhu v oblasti stolních bodových svářeček

Stolní odporové svářečky jsou používány v nejrůznějších výrobních podnicích, a to v kusové i sériové výrobě. Dle konstrukce mohou být umístěny primárně na pracovním stole či stojanu, mohou být zabudovány i do nejrůznějších svařovacích linek či automatů.

Výrobců stolních bodových svářeček je ve světě několik, stroje jsou různých konstrukcí a kvality. Avšak je možno tvrdit, že jednoznačný prim na tomto trhu hraje italská společnost *Tecna S.p.A.* Ta má ve svém portfoliu rozmanitou nabídku odporových svářecích strojů, kterými se zabývá již přes 50 let. Z českých firem se výrobou odporových bodových svářeček a svařovacích lisů, mimo výše zmíněnou společnost *DESCON Engineering s.r.o.*, zabývají např. společnosti *AWECO spol. s r.o.* a *Weld Project, s.r.o.*. Tyto společnosti však ve své nabídce uvádějí pouze stojanové svařovací stroje výkonových řad od 40 kVA do 250 kVA (při 50% DZ) a nenabízejí stolní stroje menších výkonů, i přes to, že konstrukce takovýchto strojů je velmi podobná.

2.2.1 Přehled konkurenčních produktů

Do přehledu konkurenčních produktů bylo vybráno několik stolních odporových bodových svářeček výrobců, které jsou dostupné v zemích Evropské unie. U každého výrobce byla vybrána jedna stolní bodová svářečka výkonové řady 25 kVA (při 50% DZ). U každého produktu jsou vypsány jeho hlavní parametry, hlavní výhody, nevýhody a prodejní cena. Prodejní cena je přepočtena na české koruny, dle kurzů měn ke dni 30.3.2017. (cena je uvedena bez DPH a CLA)

- Tecna S.p.A.

Společnost *Tecna S.p.A.*, je italská společnost zabývající technologií odporového svařování a výrobou odporových svářeček již od sedmdesátých let minulého století. Jde o akciovou společnost situovanou v městě Castel San Pietro Terme poblíž významného kulturního i průmyslového města Bologna. Během své doby působení na trhu se *Tecna S.p.A.* stala známou výrobní společností specializovanou na produkci rozsáhlé řady bodovek a projekčních svářecích strojů. Stroje jsou dodávány do celého průmyslově vyspělého světa a svoje pobočky má v Evropě, Americe i Asii.[9]

- **Stolní odporová svářečka Tecna 2103N**

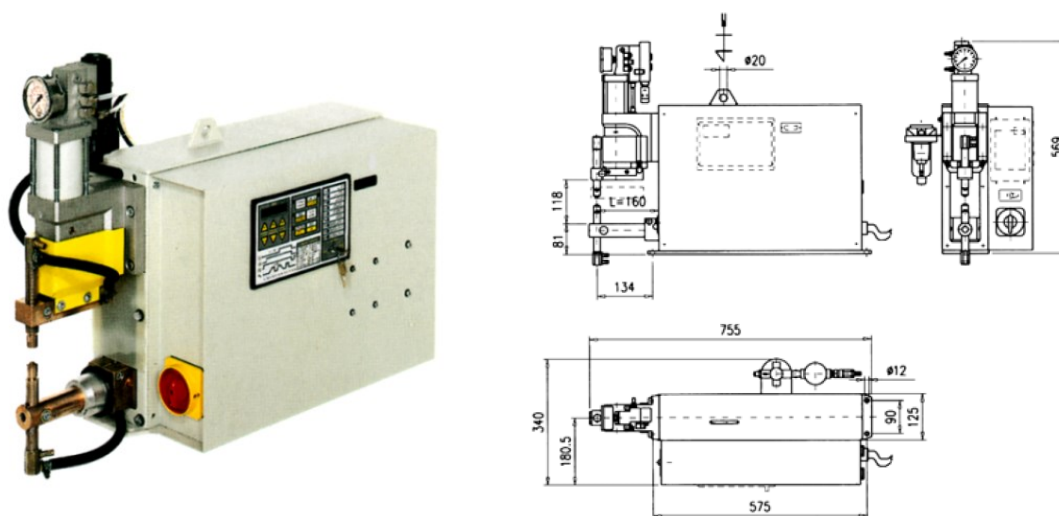
Odporové bodové svářečky řady 21 jsou vhodné pro použití v nejrůznějších výrobních podnicích. Jsou vybaveny mikroprocesorovou řídicí jednotkou, která může být připojena k běžnému počítači typu PC, pomocí něhož lze svářečku pohodlně a rychle nastavovat a monitorovat její provoz.[9]

Hlavní výhody:

- mikroprocesorová řídicí jednotka s přímým měřením svářecího proudu;
- chromovaný píst pneumatického válce s delší životností a zajištěným proti otáčení;
- ventil ovládající rychlost pohybu elektrod, nárazník na konci zdvihu;
- vodou chlazený transformátor, desky, držáky elektrod a elektrody, transformátor s izolací epoxidovou pryskyřicí;
- možnost dvouručního bezpečnostního ovládání a voliče s odnímatelným klíčem.

Hlavní nevýhody:

- absence třípolohového pneumatického válce;
- nižší maximální přitlačná síla v porovnání s požadavky pro tento návrh;
- vyšší pořizovací cena v porovnání s konkurencí.



obr. č. 11 - stolní odporová svářečka Tecna 2103 a její základní rozměry [9]

Tab.č. 2 - základní technické parametry a prodejní cena Tecna 2101N-2103N [9]

Svářecí výkon (při 50% DZ)	[kVA]	25
Maximální svářecí výkon	[kVA]	84
Zkratový proud	[kA]	22
Sekundární napětí naprázdno	[V]	4,6
Napájecí napětí, 50Hz	[V]	400
Max. přítlak elektrod při tlaku 6bar	[daN]	187
Maximální zdvih	[mm]	50
Čistá hmotnost zařízení	[mm]	86
Cena stroje bez DPH a CLA [prodejce]	[Kč]	160 160,00 [31] 179 668,47 [32]

- **CEA S.p.A.**

CEA S.p.A. je italská společnost založena Enziem Annettonim v roce 1950. Jde o celosvětovou společnost zabývající se návrhem a výrobou obloukových a odporových svářeček. Stroje jsou distribuovány do více jak 70 zemí světa.

- **Stolní odporová svářečka CEA BSW 25**

Stroje značky *CEA* řady *BSW* jsou stolní kompaktní odporové svářečky pro použití v nejrůznějších výrobních podnicích. Díky kompaktním rozměrům mohou být použity jako svářecí členy vícebodového svařovacího zařízení, ale také samostatně.

Stolní bodová svářečka *CEA BSW25* je vhodná pro svařování menších částí a svými kompaktními rozměry je vhodná pro umístění na pracovním stole. [10]

Hlavní výhody:

- možnost výběru z tří mikroprocesorových řídicích jednotek dle požadavků na stroj;
- pohybový systém s nízkým třecím odporem;
- nízká impedance sekundárního obvodu zajišťující nižší výkonové ztráty;
- ventil ovládající rychlost pohybu elektrod;
- vodou chlazený transformátor, desky, držáky elektrod a elektrody, transformátor;
- možnost dvouručního bezpečnostního ovládání a voliče s odnímatelným klíčem.

Hlavní nevýhody:

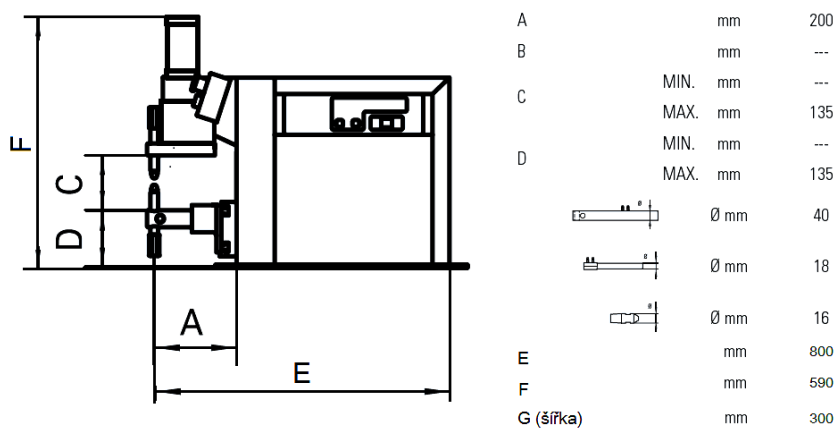
- absence třípolohového pneumatického válce;
- nižší maximální přítlačná síla v porovnání s požadavky pro tento návrh.



obr. č. 12 - stolní odporová svářečka CEA BSW 25[10]

Tab.č. 3 - základní technické parametry a prodejní cena svářečky CEA BSW 25[10]

Svářecí výkon (při 50% DZ)	[kVA]	25
Maximální svářecí výkon	[kVA]	52
Zkratový proud	[kA]	18
Sekundární napětí naprázdno	[V]	3,7
Napájecí napětí , 50Hz	[V]	400
Max. přítlak elektrod při tlaku 6bar	[daN]	187
Maximální zdvih	[mm]	50
Čistá hmotnost zařízení	[mm]	96
Cena stroje bez DPH a CLA [prodejce]	[Kč]	193 994,15 [33] 193 617,84 [34]



obr. č. 13 - základní rozměry stroje CEA BSW 25[10]

- **P.E.I. –POINT S.r.l.**

P.E.I. - POINT S.r.l. je mezinárodní společnost zabývající se návrhem a výrobou odporové svařovací techniky. Produktové portfolio obsahuje od konvenčních odporových strojů a opravárenských svařovacích odporových kleští, až po speciální svařovací automaty vhodných pro hromadnou výrobu. Společnost byla založena roku 1993 a sídlí ve městě Limena v Itálii.[11]

- **Stolní odporová svářečka PFB 126**

Stolní odporová svářečka řady *PFB* Svářečky jsou svoji konstrukcí primárně určeny k umístění na pracovním stole či stojanu mohou však být i zabudovány do nejrůznějších svařovacích linek či automatů. Svářečka je vybavena pneumatickým pohonem horní elektrody. Je určena pro svařování plechů z nízkouhlíkatých ocelí síly od 0,5+0,5 mm do 3,5+3,5 mm.[11]

Hlavní výhody:

- možnost výběru z dvou mikroprocesorových řídicích jednotek dle požadavků na stroj;
- ventil ovládající rychlost pohybu elektrod;
- vodou chlazený transformátor, desky, držáky elektrod a elektrody, transformátor;
- možnost dvouručního bezpečnostního ovládání nebo nožního ovládání;
- bezpečnostní tepelná pojistka proti přehřátí.

Hlavní nevýhody:

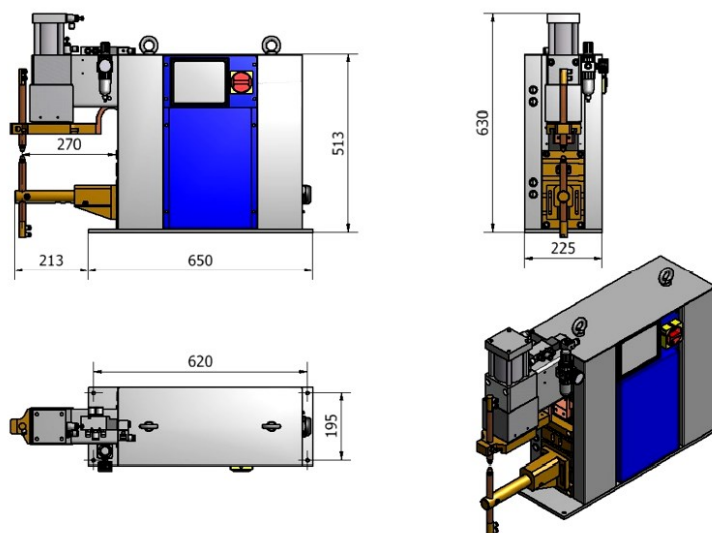
- absence třípolohového pneumatického válce;
- nižší maximální přítlačná síla v porovnání s požadavky pro tento návrh.



obr. č. 14 - stolní odporová svářečka P.E.I. POINT PFB 126[11]

Tab.č. 4 - základní technické parametry a prodejní cena svářečky P.E.I.–POINT SRL PFB 126[11]

Svářecí výkon (při 50% DZ)	[kVA]	25
Maximální svářecí výkon	[kVA]	neuváděno
Zkratový proud	[kA]	17
Sekundární napětí naprázdno	[V]	3,7
Napájecí napětí , 50Hz	[V]	400
Max. přítlak elektrod při tlaku 6bar	[daN]	185
Maximální zdvih	[mm]	60
Čistá hmotnost zařízení	[mm]	97
Cena stroje bez DPH a CLA [prodejce]	[Kč]	140 859,25 [35] 146 641,41 [36]



obr. č. 15 - základní rozměry stroje P.E.I.–POINT SRL PFB 126[11]

2.3 Možná patentová omezení

Z obavy o možné patentové omezení v oblasti konstrukce odporových bodových svářeček, byly prohledány databáze European Patent Office [12] a Google Patents [13]. V těchto databázích nebyl nalezen žádný patent, který by omezoval v konstrukci stolní odporové svářečky a v náplni této práce. Byl nalezen americký patent č. US6515251 (B1), zabývající se způsobem odporového bodového svařování, systémem svařovacího odporového stroje, technologickým postupem při svařování a přímým měřením přítlačné síly. Patent nemá své působení na evropském kontinentě a není tak překážkou při konstrukčním návrhu v této práci.[14]

3 Definice požadovaných parametrů

Před zahájením tvorby konstrukčního návrhu byly definovány parametry a požadavky, které má svařovací zařízení plnit. Požadavky byly definovány společností DESCON Engineering s.r.o.

- **Obecný požadavek**
 - Zpracovat konstrukční návrh stolní bodové odporové svářečky s pneumatickým ovládním horního ramene (bezpečnost a řízení není předmětem řešení).
- **Požadované parametry pro konstrukci nosného rámu**
 - Ocelovou svařovanou konstrukci navrhnout dle rozměrů zvoleného transformátoru, typu zvoleného pneumatického pohonu a vedení;
 - Stykové plochy musí být obrobené na vhodnou drsnost povrchu;
 - Svařenec nosného rámu musí být navržen s ohledem na zaručenou vyrobiteľnosť;
 - Konstrukce stroje přizpůsobená primárně pro umístění na pracovním stole případně pracovním stojanu;
 - Navrhnout konstrukční prvky pro manipulaci celého stroje (závěsná oko apod.);
 - Konstrukce musí být dostatečně staticky pevná i při maximální zatížení od pneumatického pohonu;
 - Při volbě vhodné varianty konstrukce je nutné přihlídnout k finanční nákladnosti výroby a nákupu materiálu.
- **Požadované parametry pro volbu pneumatického pohonu a vedení**
 - Navrhnout pneumatický pohon s možností vyvinutí maximální přitlačné síly až 400 daN;
 - Použít dvojitý pneumatický válec a porovnat možnost použití dvupolohového či třípolohového pneumatického válce;
 - Nutnost zajistit dostatečně pevné vedení horního ramene;
 - Výběr pneumatického válce a vedení provést s přihlídnutím k cenám a dostupností dodavatele.
- **Požadované parametry pro volbu elektrického zdroje svařovacího stroje**
 - Jmenovitý výkon transformátoru: 25 kVA (při 50%DZ);
 - Napájecí napětí o jmenovité frekvenci 50 Hz: 400V;
 - Schopnost transformátoru pracovat v hodnotě svařovacího času 10per (0,2sec) při zadaném jmenovitém výkonu.

4 Konstrukční návrh

Před samotným zahájením tvorby návrhů konstrukce nosného rámu stolní odporové svářečky je proveden výběr nejvhodnějšího pneumatického pohonu a vedení horního pohyblivého ramene. Stejně tak je před tvorbou návrhů vybrán elektrický zdroj, transformátor stroje a to z důvodu přizpůsobení celkových rozměrů konstrukce nosného rámu stroje vůči zvoleným elementům.

4.1 Výběr pneumatického pohonu a lineárního vedení

Jednou z nejdůležitějších částí stolní odporové svářečky je pohon vyvozující přítlačnou sílu na svařovací elektrody a zajišťující tak schopnost realizovat svarový spoj. Pro tento návrh je požadováno vyvodit svařovací sílu až 400 daN pomocí pneumatického válce s použitím lineárního vedení. Jak již bylo zmíněno výše, velikost přítlačné síly má vliv na protékající proud – čím lepší je styk mezi materiály, tím menší jsou přechodové odpory. Vliv přítlačné síly je také metalurgický a to v místě svaru při tuhnutí nataveného materiálu. Ovlivňuje výslednou velikost zrna materiálu, má tak vliv na mechanické vlastnosti a při tavení zabraňuje expanzi roztaveného jádra.

Při bodovém svařování, je také potřeba zajistit dostatečně dimenzované lineární vedení horního ramene odporové svářečky. Samotný pneumatický válec zajišťuje vedení v přímočarém pohybu, ale jejich dovolené příčné zatížení v závislosti na vyložení pístní tyče klesá. Nedosahuje tak požadovaných hodnot, jakých lze dosáhnout s dodatečným vedením. Správné vedení má za následek zvýšení tuhosti celé pohybové soustavy a tím snížení zmetkovitosti vyhotovených svarů. Dovoluje také použití vyšší svařovací síly např. při tvrdém svařovacím režimu, kde je potřeba vyvinout větších svařovacích sil v krátkém časovém úseku.

V následující kapitole jsou popsány návrhy pneumatických pohonů horního ramena a vedení stolní odporové svářečky. Výběr je rozdělen do čtyř částí, kde v první jsou vypsány návrhy jednoduchých dvoupolohových pneumatických válců dle norem ISO 21287 a ISO 15552. V druhé části jsou návrhy dvoupolohových pneumatických pohonů s integrovaným vedením. V třetí části jsou návrhy třípolohových pneumatických válců a ve čtvrté návrhy přídavného nebo samotného lineárního vedení. Z těchto čtyř kapitol je následně zvoleno nejvhodnější varianta, případně jejich kombinace.

Uvedená prodejní cena je přepočtena na české koruny, dle kurzů měn ke dni 30.3.2017.(cena uvedena bez DPH a CLA)

4.1.1 Stanovení potřebného průměrů pístu pneumatického válce

Sílu, kterou vyvine pneumatický válec, určuje plocha pístu, daná jeho průměrem, tlak vzduchu a odpory způsobené třením vedení a těsnění pístu a pístnice.

Průměr pístu lze určit z výpočtu pro efektivní statickou sílu pneumatického vzorce:

$$F_E = \eta \cdot F_{vys/zas}; \quad [\text{N}] \quad (6)$$

kde: η ... mechanická účinnost pneumatického válce [-]

$F_{vys/zas}$... teoretická síla pneumatického válce při vysouvání/zasouvání [N]

Výpočet teoretické síly pro dvojčinné pneumatické válce pro zasouvání (7) a vysouvání (8) pístnice:

$$F_{vys} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p; \quad [\text{N}] \quad (7)$$

$$F_{zas} = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot p; \quad [\text{N}] \quad (8)$$

kde: D ... průměr pístu [mm]

d ... průměr pístnice [mm]

p ... tlak vzduchu ve válci [Pa]

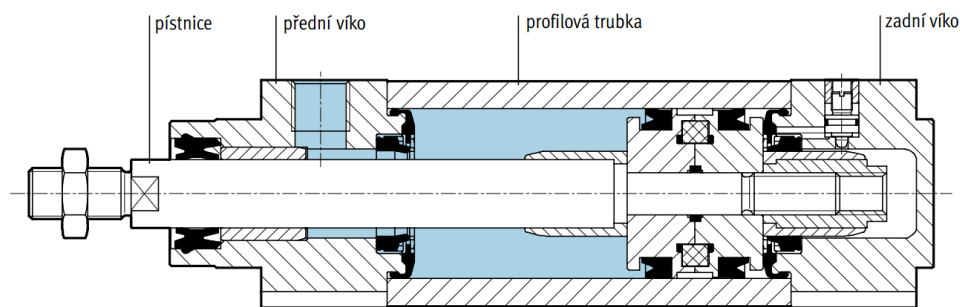
Jelikož pneumatický válec bude přítlačnou sílu horního ramene vyvozovat při vysouvání pístnice, je průměr pneumatického válce počítán ze vzorce pro výpočet teoretické síly, při vysouvání pístnice dosaženého do výpočtu pro statickou efektivní sílu pneumatického válce. Mechanická účinnost η pneumatického válce se obecně uvažuje 85-95% (zde je η zvolena 90%), při tlaku 6 bar a při požadované přítlačné síle 4000 N vypočítáme průměr D následovně [17]:

$$F_E = \eta \cdot F_{vys} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot F_E}{\pi \cdot p \cdot \eta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4000}{\pi \cdot 6 \cdot 10^5 \cdot 0,90}} = 97,12 \text{ mm}$$

Dle odstupňování průměrů pneumatických válců je zvolena nejbližší vyšší hodnota průměru pístu 100mm.

4.1.2 Návrhy dvoupolohového pneumatického pohonu

Jednou nejjednodušší přístupnou variantou, splňující zadané požadavky na pohon, je přímočarý dvojčinný dvoupolohový pneumatický válec. Tato skupina pneumatických pohonů je napříč všemi výrobcí nejrozsáhlejší. Je to hlavně z důvodu jednoduché konstrukce, funkce a ovládání pneumatického válce, nízké ceně, velkým rozsahem průměrů a zdvihů a v neposlední řadě rozsáhlým produktovým portfoliem příslušenství. Základní konstrukční prvky dvojčinného dvoupolohového pneumatického válce jsou popsány na obr. č. 16.



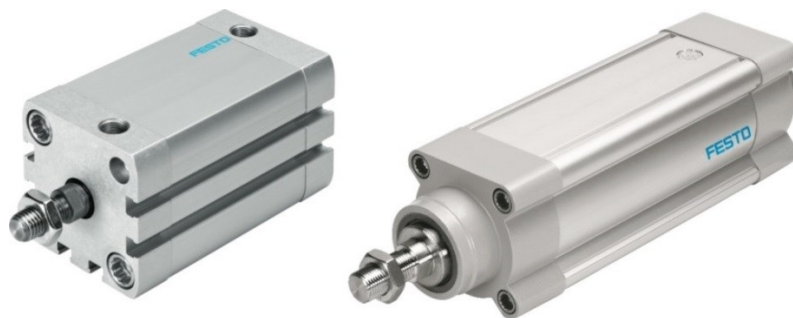
obr. č. 16 - funkční řez přímočarého dvojitě dvojpohového pneumatického válce [17]

- **Kompaktní válce dle normy ISO 21287 a válce dle ISO 15552**

Velmi používané pneumatické pohony v oblasti automatizace jsou dvojitě dvojpohové pneumatické válce dle norem ISO 21287 a ISO 15552. Výhodou těchto válců, jsou přesně definované rozměry odpovídající těmto mezinárodním normám, a proto lze těmito válci nahradit pneumatický válec stejného průměru a zdvihu, vyrobený dle těchto norem od jakéhokoliv výrobce. Výrobci se na produkci těchto pneumatických válců často zaměřují, a je proto velký výběr nabízených rozměrů a dodávaného příslušenství.

Dle normy ISO 21287 z roku 2004 se jedná o metrické válce s jednou pístnicí kompaktních definovaných rozměrů s průměrem pístů 20 až 100 mm. Jejich maximální povolený pracovní tlak je 1000 kPa (10 bar) s možností použití magnetického snímání polohy pístu [15].

Norma ISO 15552 z roku 2004 definuje rozměry metrických pneumatických přímočarých válců s odmontovatelnými úchyty s jednou nebo dvojitou pístnicí s možností použití magnetického snímání polohy pístu. Průměr pístů je v rozmezí od 32 mm do 320 mm a maximálním povoleným pracovním tlakem 1000 kPa (10 bar) [16].



obr. č. 17 - Pneumatické válce FESTO ADN dle normy ISO 21287 a FESTO DSBC dle ISO 15552 [17]

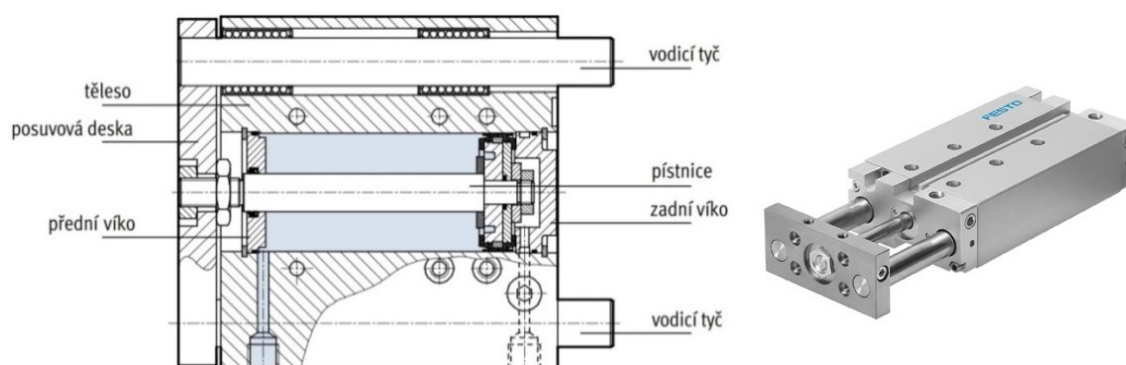
V následující tabulce jsou vypsány návrhy těchto pneumatických válců. Od jednotlivých výrobců jsou vybrány válce jednotných rozměrů a to průměru pístu $D=100$ mm a maximálního zdvihu $H=50$ mm. Dále jsou vybrány válce s největším závitem pístnice. U každého válce je také uvedeno jeho označení a prodejní cena.

Tab.č. 5 - návrhy pneumatických válců dle dle normy ISO 21287 a ISO 15552 [17][18][19][20][21]

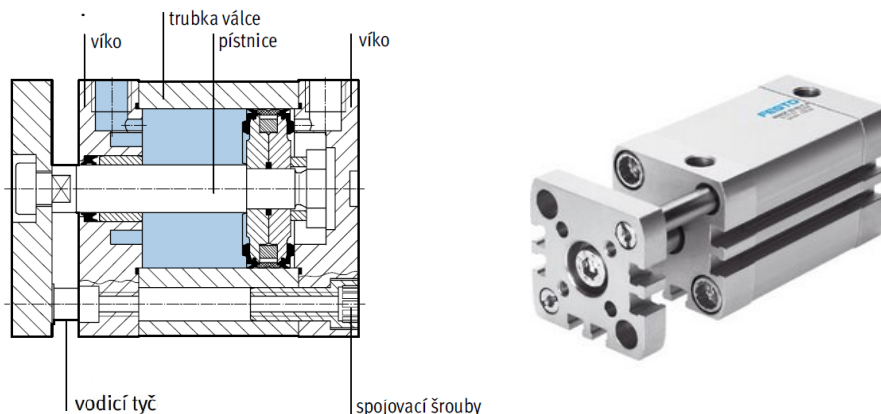
Výrobce/dodavatel:	Označení	Dle normy:	Základní cena: [CZK] (bez DPH)
FESTO, s.r.o.	ADN 100 50 APA	ISO 21287	2 102,97
FESTO, s.r.o.	DSBC-100-50-PA-N3	ISO 15552	4 754,44
SMC Corporation	CD55B100-50M	ISO 21287	3 477,54
SMC Corporation	CP96KDB100-50C	ISO 15552	5 562,81
Stránský a Petržík, spol. s r.o.	10201 60 00 100 0050	ISO 15552	3 478,00
Artec pneumatic S.r.l.	PDM 100.050.GS.M	ISO 21287	3 377,50
Fabco Air, Inc.	GND-SA100-050D-M	ISO 21287	5 769,07

- **Dvoupolohové pneumatické válce s integrovaným vedením**

Jednou z možností při použití dvoupolohových pneumatických válců jsou pohony s integrovanými vodícími tyčemi. Tyto pneumatické válce mají vyšší odolnost proti klopným momentům a bočním silám. Vodící tyče mohou být jak s kluznými, tak s valivými pouzdry (většinou vedení s kuličkovými oběžnými pouzdry). Tyto válce tak zastávají funkci pohonu i vedení v kompaktním těle. Základní konstrukční prvky dvoupolohového pneumatického válce a integrovaným vedením je popsán na obr. č. 18.



obr. č. 18 - funkční řez a zobrazení dvoupolohového pneumatického válce a integrovaným vedením FESTO DFM [17]



obr. č. 19 - funkční řez a zobrazení dvoupolohového pneumatického válce a integrovaným vedením FESTO ADNGF [17]

V Tab.č. 6 jsou vypsány návrhy pneumatických válců s integrovaným vedením od různých výrobců. Jsou vybrány válce jednotných rozměrů o průměru pístu $D=100\text{ mm}$ a velikosti maximálního zdvihu $H=50\text{ mm}$.

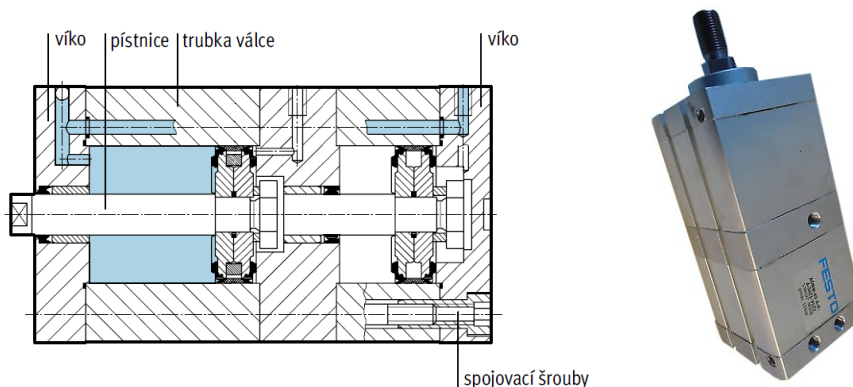
Tab.č. 6 - návrhy pneumatických válců s integrovaným vedením [17][18][19]

Výrobce/dodavatel:	Označení	Typ vedení:	Základní cena: [CZK] (bez DPH)
FESTO, s.r.o.	ADNGF-100-50-P-A	Kluzné vedení	4 411,28
FESTO, s.r.o.	DFM-100-50-P-A-GF	Kluzné vedení	9 037,35
FESTO, s.r.o.	DFM-100-50-P-A-KF	Valivé vedení	10 475,36
SMC Corporation	MGPM100-50	Kluzné vedení	14 749,12
SMC Corporation	MGPL100TF-50	Valivé vedení	19 530,05
Stránský a Petržík, spol. s r.o.	12517 11 00 100 0050	Kluzné vedení	4 829,00

4.1.3 Návrhy třípolohových pneumatických válců

Třípolohové pneumatické válce tvoří dva sériově spojené dvojčinné válce, s rozdílnými zdvihy a nespojenou pístnicí. Přívodem vzduchu za píst prvního válce dosáhneme druhé polohy a přívodem vzduchu za píst druhého válce, který je již posunut o hodnotu prvního zdvihu, dosáhneme třetí polohy.

Z tohoto plyne, že zdvih prvního válce musí být menší než zdvih druhého válce. Konstrukční uspořádání a základní konstrukční prvky třípolohového válce jsou popsány na obrázku obr. č. 20.



obr. č. 20 - funkční řez a zobrazení třípolohového pneumatického válce FESTO ADNM [17]

Aplikováním třípolohového válce umožní použít dva zdvihy horní elektrody, pracovní a pomocný. Pomocný zdvih je zpravidla navržen delší, či stejně dlouhý a slouží k najetí do počátku pracovního zdvihu vyšší rychlostí. Pracovní zdvih je zpravidla navržen kratší z důvodu zkrácení výrobních časů, konkrétně zkrácení času přestávky t_p mezi svařovacím časem t_s . Toto řešení také díky delšímu pomocnému zdvihu dovoluje založení tvarově složitějších svařovaných dílů.

V tabulce č.8 jsou vypsány návrhy třípolohových pneumatických válců od výrobců FESTO a Artec pneumatic. Jsou navrženy válce jednotných rozměrů a to průměru pístu $D=100\text{ mm}$, hodnoty první polohy $Z1=80\text{ mm}$ a druhé polohy $Z2=100\text{ mm}$ (hodnota celkového zdvihu).

Tab.č. 7 - návrhy třípolohových pneumatických válců [17][20]

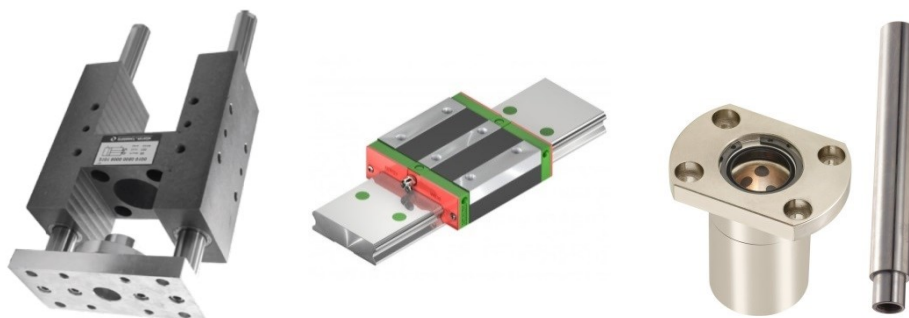
Výrobce/dodavatel:	Označení	Popis:	Základní cena: [CZK] (bez DPH)
FESTO, s.r.o.	ADNM-100-A-P-A-80Z1-100Z2	připojovací obrazec dle ISO 21287	12 181,15
Artec pneumatic S.r.l.	PPM 100.080.100 GS M	připojovací obrazec dle ISO 21287	13 653,59

4.1.4 Návrhy lineárního vedení

V případě volby dvupolohového či třípolohového pohonu bez integrovaného vedení, je nutné k tomuto pohonu navolit vhodné přímočaré vedení horního ramene a elektrody. V následující tabulce jsou vypsány návrhy vodících jednotek značek FESTO, Stránský a Petržík, SMC, které jsou příslušenstvím k výše navrhovaným pneumatickým válcům a to jak dvou, tak třípolohových válců. Tyto vodící jednotky jsou vybaveny vodícími tyčemi, které mohou být uloženy v kluzných či valivých pouzdrech. Výhodou těchto vodících jednotek je kompatibilita s válci dle norem a kompaktnost. Nevýhodou je vyšší pořizova-

cí cena. Ve výběru vodící jednotky pro průměry válců $\varnothing D=100$ mm a pro maximální délku zdvihu $Z=100$ mm.

Další návrhy v Tab.č. 8 je lineární vedení od výrobce HIWIN a dodavatele MISUMI. U vedení zn. HIWIN se jedná o profilovanou kolejnici a vozík s oběžnými kuličky. Vedení dodavatele MISUMI se skládá z kluzného pouzdra a vodící tyče. U tohoto typu vedení je výhoda nižších pořizovacích nákladů a dostatečně vysoká tuhosti vedení. Nevýhodou v obou variantách je nutnost vytvořit uchycení a spojení s pneumatickým válcem a rámem stroje.



obr. č. 21 –vodící jednotka Stránský a Petržík typ 210, lineární vedení HIWIN WEH a kluzné pouzdro MISUMI MDCA a vodící tyč PSFAG [19][23]

Tab.č. 8 - návrhy lineárních vedení [17][19][22][23]

Výrobce/dodavatel:	Označení	Popis:	Základní cena: [CZK] (bez DPH)
FESTO, s.r.o.	FENG-100-100-GF	Kluzné vedení	14 383,02
FESTO, s.r.o.	FENG-100-100-KF	Valivé vedení	15 617,83
Stránský a Petržík, spol. s r.o	2101 510 00 100 0100	Kluzné vedení	2859,40
Stránský a Petržík, spol. s r.o	2101 510 00 100 0100	Valivé vedení	6253,45
HIWIN GmbH	HIWIN WEH50CA WER50R	Široká řada vedení Valivé vedení	3805,47
MISUMI Group Inc.	PSFAG30-270-F10- P12-MD8 + MDCA30	Vodící tyč + kluzné pouzdro	1404,77

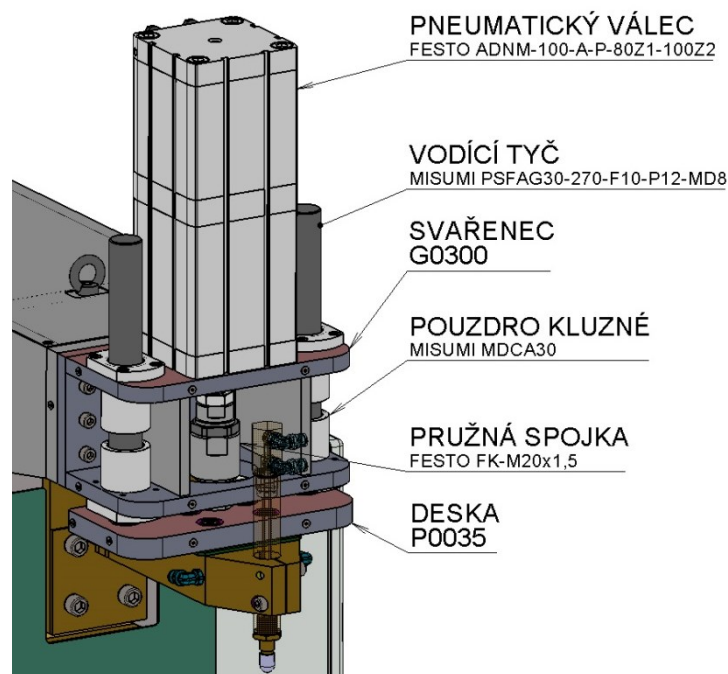
4.1.5 Volba pneumatického válce a vedení společně s návrhem horního ramene

Po konzultaci s vedením společnosti DESCON Engineering byly zvoleny dvě varianty pneumatického pohonu a vedení. Tyto dvě varianty byly vypracovány do podoby hrubého modelu společně s provedením horního ramene stroje a následně porovnány.

- **Varianta č.1**

Svařenec *G0300* je přišroubován k rámu stroje, nese pneumatický válec a kluzná pouzdra vodících tyčí. Vodící tyče jsou přiroubovány k pohyblivé desce *P0035*, která je přes pružnou spojku spojena s pístní tyčí pneumatického válce. Deska *P0035* je přišroubovaná k pohyblivému ramenu horní elektrody.

Nevýhodou této varianty je širší zástavbový prostor kvůli vodícím tyčím. Výhodou je umístění vodících tyčí v jedné rovině s pístní tyčí pneumatického válce a také nízká pořizovací cena.

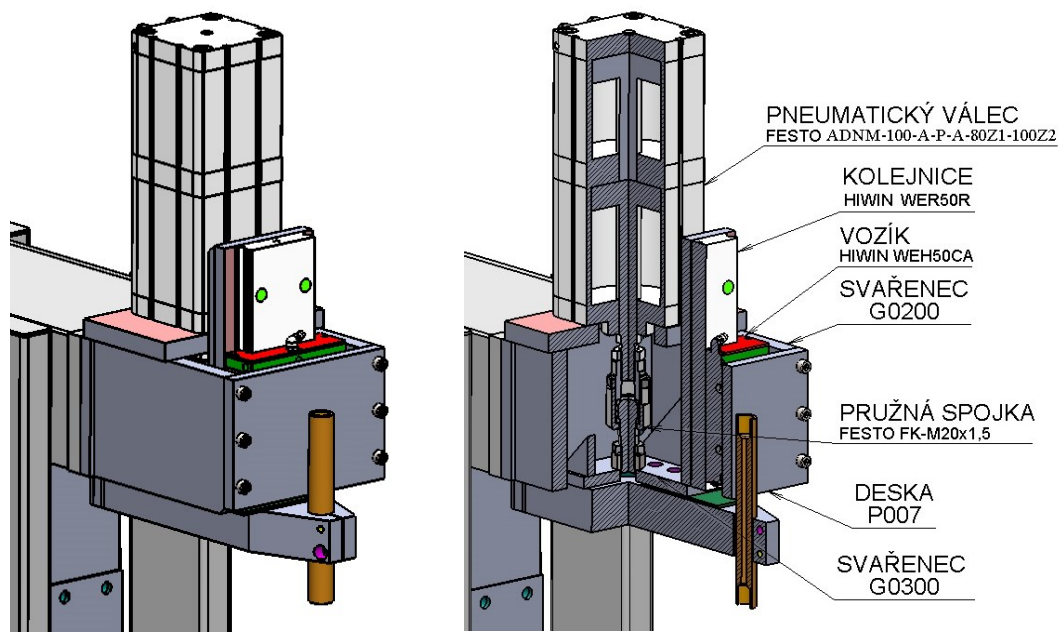


obr. č. 22 – znázornění a popis sestavy horního ramene varianty č.1

- **Varianta č.2**

Svařenec *G0200* je pevně přišroubován k rámu stroje a nese pneumatický válec. Přes pružnou spojku je k válci pístnice připevněn svařenec *G0300*, který nese kolejnici lineárního vedení a horní rameno elektrody. Vozík je tedy připevněn k desce *P007*, která je přišroubována k svařenci *G0200*. Jde tedy netypické použití tohoto lineárního vedení, kdy vozík je stacionární a kolejnice posuvná.

Nejzásadnější nevýhodou této varianty je ohybový moment působící na vozík lineárního vedení kolem osy *Z*. Vozík HIWIN WEH50CA přenáší velké hodnoty momentu kolem osy *X*, ale zatěžující moment v ose *Z*, je při těchto rozměrech sestavy na krajní hodnotě únosnosti. Výhodou této varianty je nízká pořizovací cena lineárního vedení.



obr. č. 23 - znázornění a popis řezu sestavy horního ramene varianty č.2

Z důvodů konstrukčních nevýhod varianty č. 2 byla zvolena první varianta s tvrdo-chromovanými vodičnými tyčemi $\varnothing d=30$ mm, délky $l=270$ mm, s osazením na konci a vnitřním závitem M8. Dále se samomasnými kluznými pouzdry stejného průměru a délky 64 mm od dodavatele MISUMI [23].

- Parametry zvoleného pneumatického válce a lineárního vedení

Tab.č. 9 - hlavní parametry zvoleného pneumatického válce[17]

Výrobce/dodavatel:		FESTO, s.r.o.
Označení		ADNM-100-A-P-A-80Z1-100Z2
Popis		Vícepolohový válec, přípojovací obrazec dle norem
Průměr pístu [mm]		100
Závit pro připojení šroubení		G1/8
Závit na pístnici		vnější M20x1,5
Tlumení		Pružné dorazy na obou stranách
Dovolený provozní tlak [bar]		0,8-10
Teoretická síla při tlaku 6bar	pohyb vpřed [N]	4712
	pohyb vzad [N]	4417
Poloha vysunutí	Z1 [mm]	80
	Z2 [mm]	100

K tomuto pneumatickému válci byla zvolena druhá varianta stejného výrobce i typu, jen s rozdílnými polohami vysunutí $Z1=50$ mm a $Z2=100$ mm (ADNM-100-A-P-A-50Z1-100Z2). Tyto dva válce jsou zaměnitelné a v případě potřeby lze tak změnit velikosti těchto zdvihů. V konstrukčním návrhu je zahrnut válec z Tab.č. 9.

Tab.č. 10 - hlavní parametry zvolené vodících tyčí [23]

	Vodící tyč	Kluzné pouzdro
Výrobce/dodavatel:	MISUMI Group Inc.	MISUMI Group Inc.
Označení	PSFAG30-270-F10-P12-MD8	MDCA30
Popis	Jednostranně osazená tyč s vnitřním závitem M8	Kluzné pouzdro s kompaktní přírubou
Průměr D [mm]	$D=30\text{mm}$	$d=30\text{mm}$
Ostatní parametry:	Tolerance průměru: g6 Délka tyče: $L=270\text{mm}$ Materiál: ČSN 14 109 Povrchová úprava: chrom	Vnější průměr: $D=45\text{mm}$ Délka pouzdra: $L=64\text{mm}$ Materiál pouzdra: slitina hliníku

4.2 Volba transformátoru

V závislosti na požadovaných parametrech a doporučení od společnosti DESCON Engineering byl zvolen transformátor německého výrobce EXPERT Transformatorenbau GmbH. Základní parametry tohoto transformátoru jsou popsány v Tab.č. 11 a v přílohách této práce je produktový výkres.

Tab.č. 11 - technické parametry transformátoru EXPERT 9/4-0-3,6-25-400-TM [24]

Výrobce:			Typ/označení:		
EXPERT Transformatorenbau GmbH			9/4-0-3,6-25-400-TM		
Technické parametry:					
Jmenovitý výkon (při 50% DZ) [kVA]	Sekundární permanentní proud [kA]	Jmenovité sekundární napětí [V]	Hmotnost [kg]	Základní rozměry (šířka x výška x délka) [mm]	Napájecí napětí ($f=50\text{Hz}$) [V]
25	4,9	3,6	55	184 x 235 x 340	400

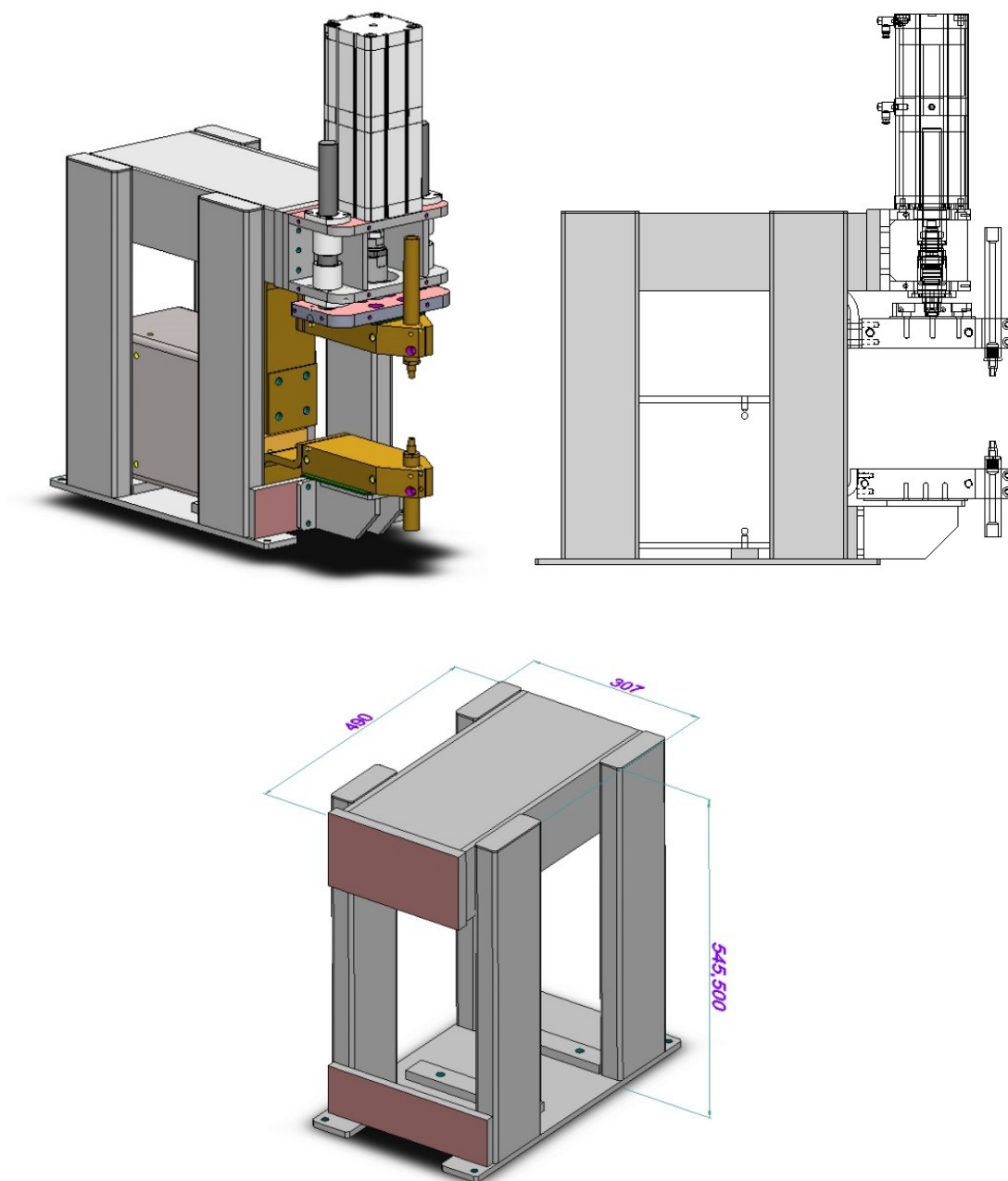
4.3 Konstrukční návrh rámu stroje

4.3.1 Vypracování variant rámu

Pro nejvhodnější volbu rámu stroje byly vypracovány tři varianty provedení. Při konstrukci byly rozměry rámu přizpůsobeny rozměrům zvoleného provedení horního ramene a transformátoru stroje z předchozích kapitol. Označení jednotlivých variant je odvozeno od pojmenování složek souborů, v kterých byly rámy v průběhu času tvořeny.

- Varianta rámu B (DW003B)

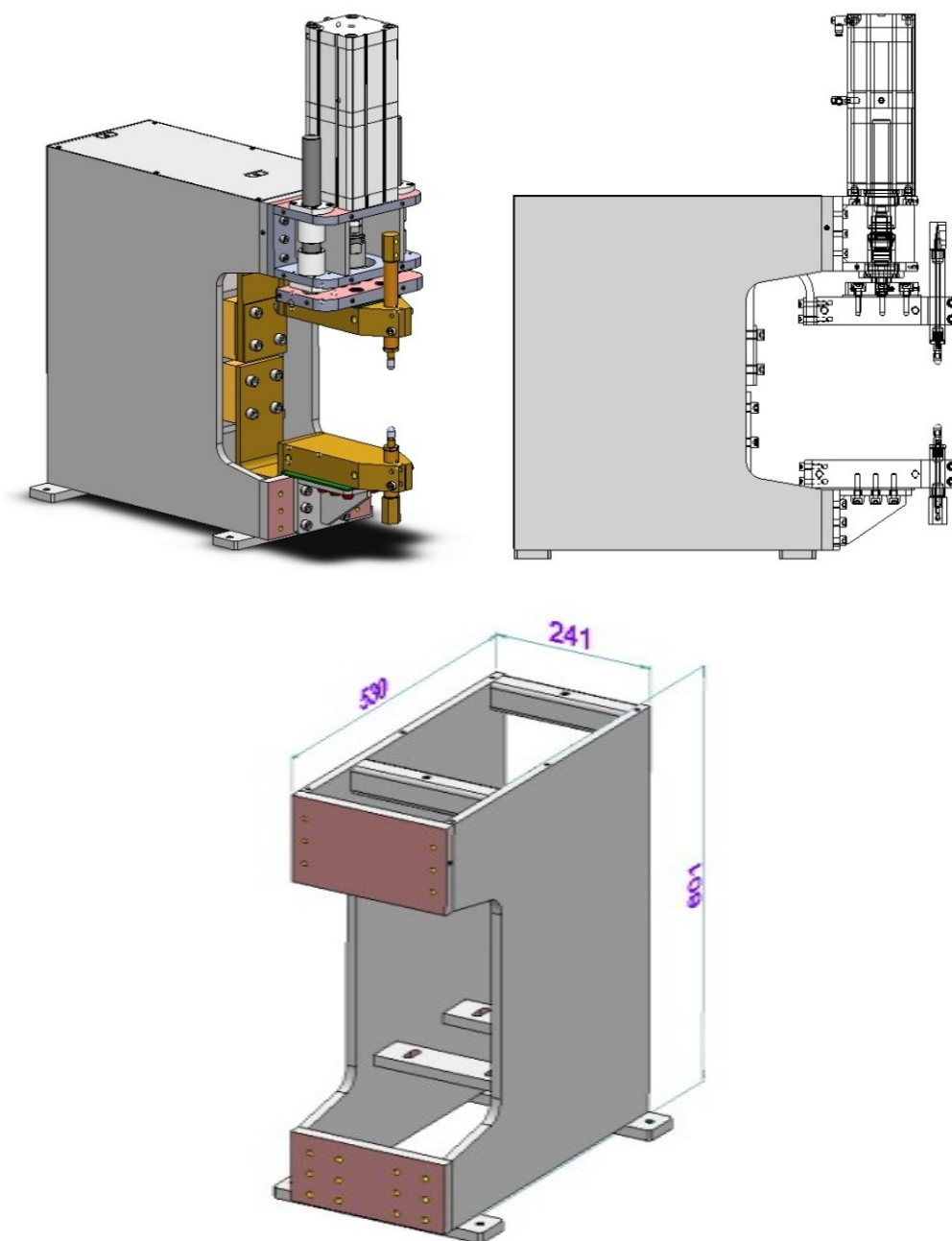
Hlavními nosnými částmi tohoto svařence jsou čtyři trubky obdélníkového průřezu (jäckly) o rozměrech 120x40x3, délky $l=532,5$ mm podle ČSN EN 10219-2 [25]. Tyto profily nesou tři ocelové pláty tloušťky 10mm svařené do tvaru *U*. Na konci *U* profilu je přivařena čelní deska tloušťky 25mm, která je po svaření obrobena na tloušťku 20 mm s povrchovou drsností $Ra=3,2$ μm . Stejně tak je obrobena spodní čelní deska, která je přivařena k spodní části jácklů. Spodní deska stroje je tl. 10 mm a díky níž je celá konstrukce uchycena na pevnou podložku. Na této spodní desce jsou navařeny dvě tyče obdélníkového průřezu sloužící pro uchycení transformátoru. Všechny části jsou navrhnuty z oceli ČSN 11 375.



obr. č. 24 - znázornění provedení a hlavní rozměry rámu DW003B

- Varianta rámu D (DW003D)

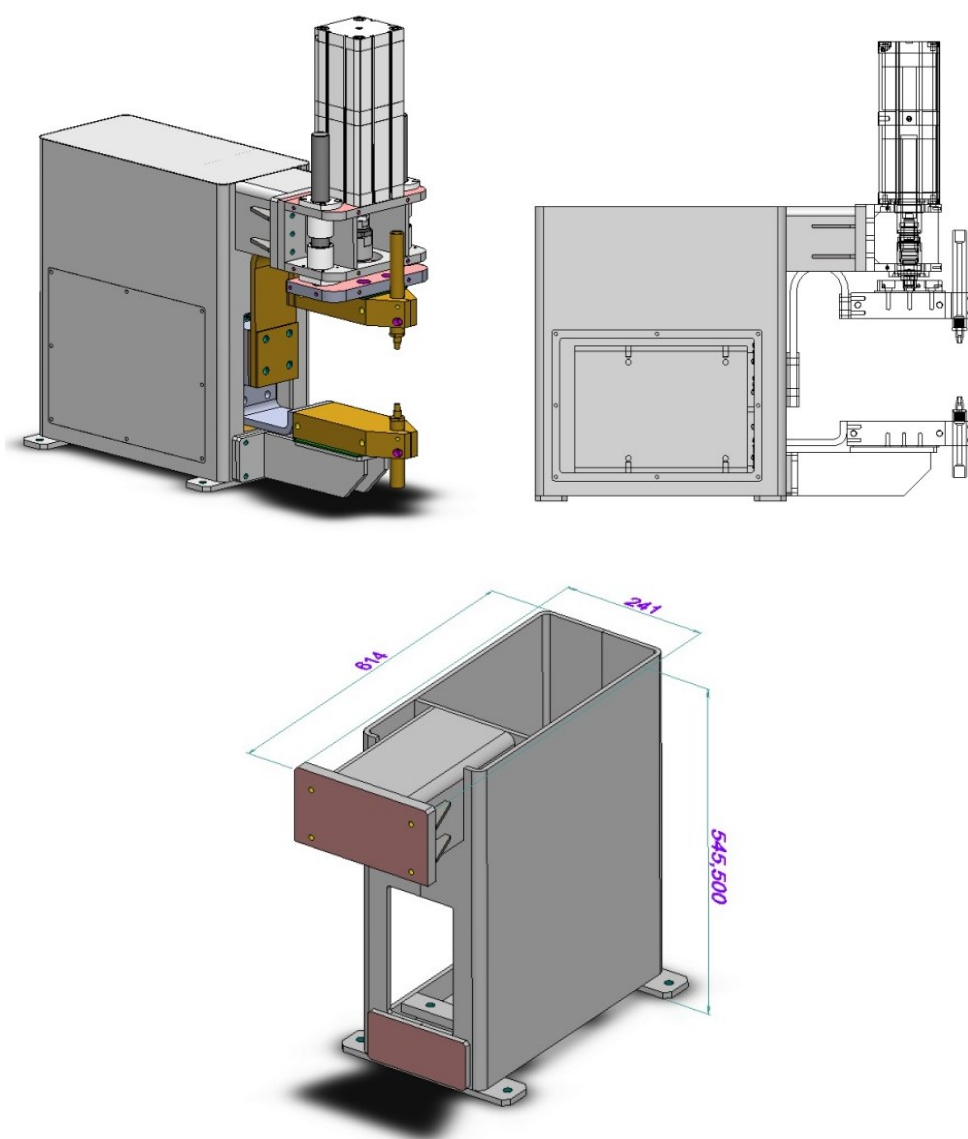
Svařenec varianty *D* tvoří dva ocelové pláty tloušťky 15 mm vyříznuté do tvaru dle obrázku *obr. č. 25*. Tyto pláty plní hlavní nosnou funkci konstrukce a čelně jsou k nim přivařeny desky obrobene na tloušťku 20 mm s povrchovou drsností $Ra=3,2 \mu\text{m}$. Mezi dva nosné pláty jsou přivařeny dva zpevňující profily čtvercového průřezu o rozměrech 40x3, délky 211mm dle ČSN EN 10219-1 [25]. Dále jsou mezi nosné pláty navařeny dvě obdélníkové tyče pro uchycení transformátoru. Dva další pláty tloušťky 15 mm jsou přivařeny ke spodní ploše konstrukce a slouží pro uchycení stroje k pevné podložce. Všechny části jsou navrhnuty z oceli ČSN 11 375.



obr. č. 25 - znázornění provedení a hlavní rozměry rámu DW003D

- Varianta rámu E (DW003E)

Nosné části svařence tvoří dva vyříznuté tlusté plechy tloušťky 8 mm, ohnuté po obvodu konstrukce. Dělicí rovina těchto dvou plechů je tedy uprostřed v podélném směru. V tomto místě se plechy čelně dotýkají a zde jsou k sobě spojeny tupým svarem. Do jednoho z plechů je vyříznut otvor pro možnost zamontování transformátoru. Ten je upevněn na dvou tyčích tloušťky 10 mm, které jsou přivařeny ve vnitřním prostoru ohnutých plechů. Horní rameno konstrukce je tvořeno z ohnutého plechu do tvaru *U* tloušťky 8 mm a čelně je k němu přivařena deska obrobená na tloušťku 20 mm s drsností $Ra=3,2 \mu\text{m}$. Profil *U* je dále přivařen pomocí plátu stejné tlusté desky k nosným plechům. Ve spodní části konstrukce je čelně přivařena deska obrobená na tloušťku 20 mm s drsností $Ra=3,2 \mu\text{m}$, sloužící k uchycení spodního ramene. K uchycení stroje k pevné podložce složí dva pláty tloušťky 10mm. Všechny části jsou navrhnuty z oceli ČSN 11 375.



obr. č. 26 - znázornění provedení a hlavní rozměry rámu DW003E

- Porovnání parametrů rámu

Tab.č. 12 - porovnání parametrů rámu

Parametry		Označení varianty rámu		
		B (DW003B)	D (DW003D)	E (DW003E)
Hl. rozměry	Šířka [mm]	307	241	241
	Výška [mm]	545.5	601	545.5
	Hloubka [mm]	490	530	614
Hmotnost [kg]		53,11	77,22	53,92
Použitý materiál dle ČSN		11 375	11 375	11 375

4.3.2 Použití MKP při výběru rámu

Výsledky numerických výpočtů metodou konečných prvků byly zohledněny při výběru nejvhodnější varianty rámu stroje. Dalšími faktory ovlivňující výběr byly odhadované náklady na výrobu a vzhled.

U každé varianty je uvažováno se statickým zatížením reakční silou a ohybovým momentem od zvoleného pneumatického válce. Velikost této síly je $F_b=4712$ N, což je hodnota teoretické síly při vysouvání pístnice určená výrobcem. Ohybový moment je závislý na rameni mezi stykovými plochami rámu a odhadovaným místem vzniku svarového spoje. U jednotlivých konstrukcí se liší a je uveden vždy u znázornění zatížení daného rámu.

Numerické výpočty byly provedeny v softwaru *Solidworks 2016* v modulu *Simulace*. Spojení mezi jednotlivými částmi sestavy bylo provedeno pomocí příkazu *Globální kontakt*, což způsobí spojení částí po celé jejich kontaktní ploše či hraně. Pro co nejobektivnější výsledky byly při tvorbě objemové sítě nastaveny stejné parametry u všech konstrukcí. Byla nastavena *globální velikost prvku* 8mm s tolerancí 0,4 mm s *automatickým zjemněním* sítě v přechodových místech modelu. Při vytváření sítě je softwarem kontrolována kvalita elementů pomocí *kontrol poměru stran* a *Jakobiho metodou*. Na doporučení softwaru je nastaveno *Jakobiho kontrola* v uzlech, která je vhodná pro řešení statických problémů *p-metodou*.

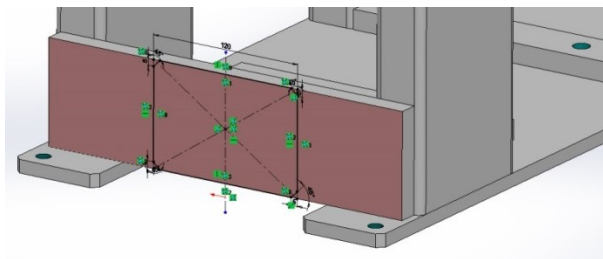
Na následujících obrázcích jsou zatížení stykové plochy od horního ramene značeno barvou červenou a od spodního ramene barvou modrou. Zeleně je značeno pevné uchycení konstrukce k podložce a u varianty *D* a *E* je tyrkysově znázorněno zatížení od hmotnosti transformátoru. Místo zatížení je popsáno vzhledem ke globálnímu souřadnému systému modelu, což na výpočet pevnostní analýzy nemá vliv. Důležité jsou hodnoty velikosti zatížení.

Tab.č. 13 - parametry materiálu použitého při výpočtu [26]

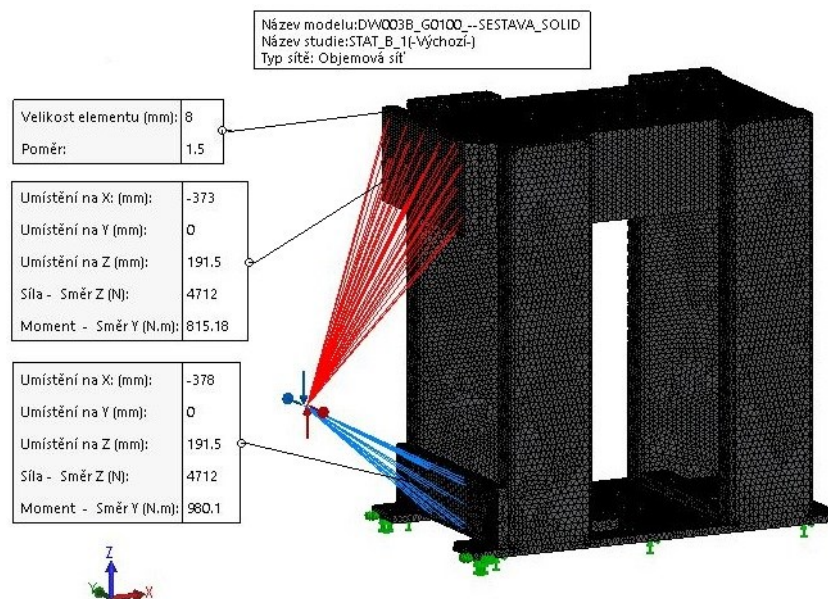
Označení materiálu dle ČSN:	11 375
Mez kluzu [MPa]	235
Pevnost v tahu [Mpa]	360
Modul pružnosti [Mpa]	$2,1 \cdot 10^5$
Poissonova konstanta [-]	0,28
Hustota [kg/m^3]	7800
Modul pružnosti ve smyku [Mpa]	79000
Součinitel tepelné roztažnosti [K^{-1}]	$1,1 \cdot 10^{-5}$

- Varianta rámu B (DW003B)

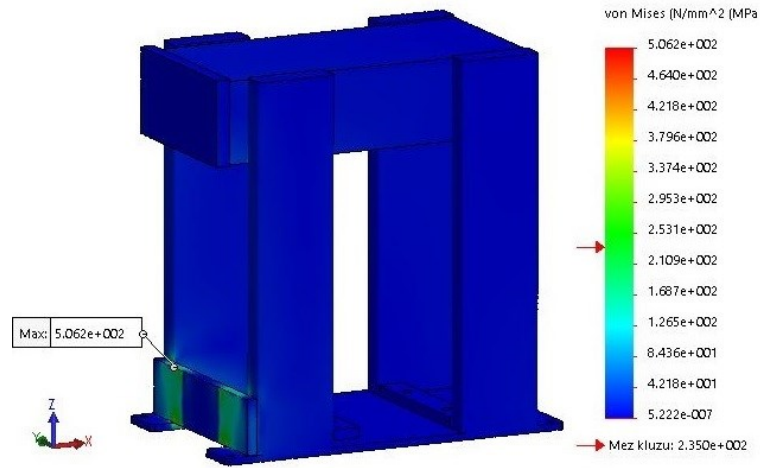
Plocha zatížení spodní desky rámu je omezena plochou stykové plochy spodního ramene, který je k této desce přišroubován. Proto byla tato zatěžovaná plocha v modelu rozdělena příkazem *rozdělovací křivka*, dle velikosti stykové desky spodního ramene (obr. č. 27.).



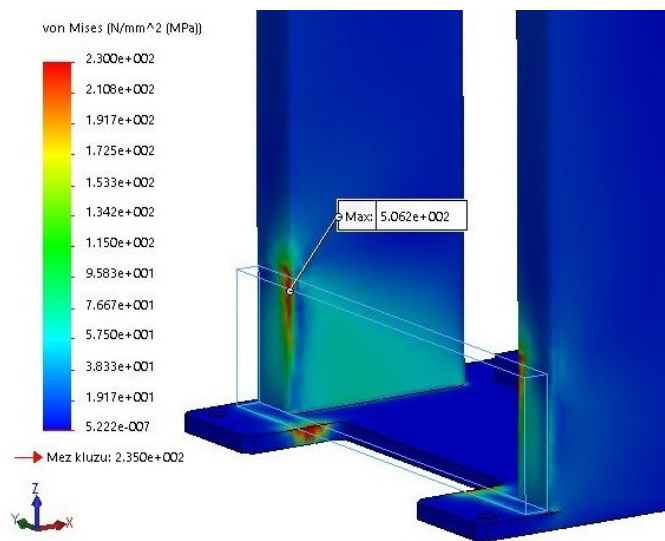
obr. č. 27 – definování zatěžované plochy rámu B



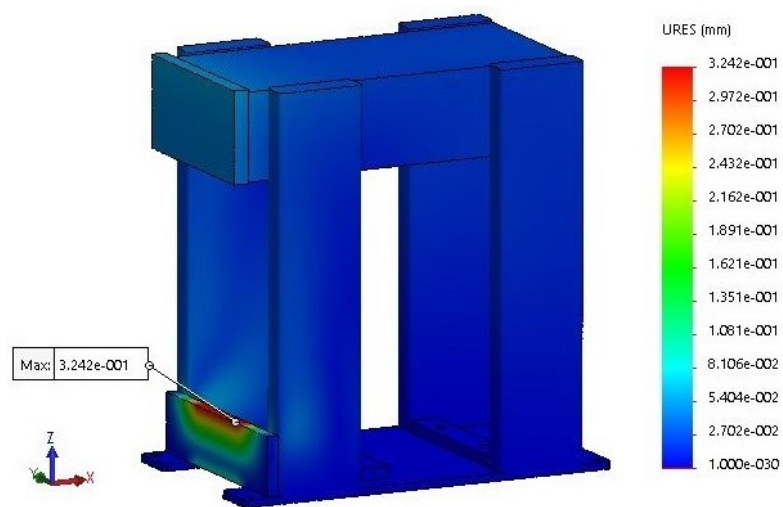
obr. č. 28 – znázornění objemové sítě a zatížení varianty rámu B



obr. č. 29 – výsledky napěťové analýzy dle kritéria von Mises varianty rámu B



obr. č. 30 – detail kritického místa napěťové analýzy varianty rámu B

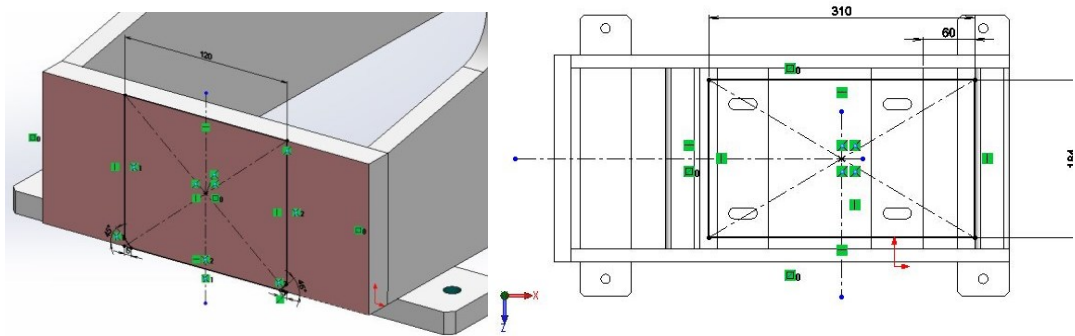


obr. č. 31 – výsledky analýzy celkového posunutí varianty rámu B

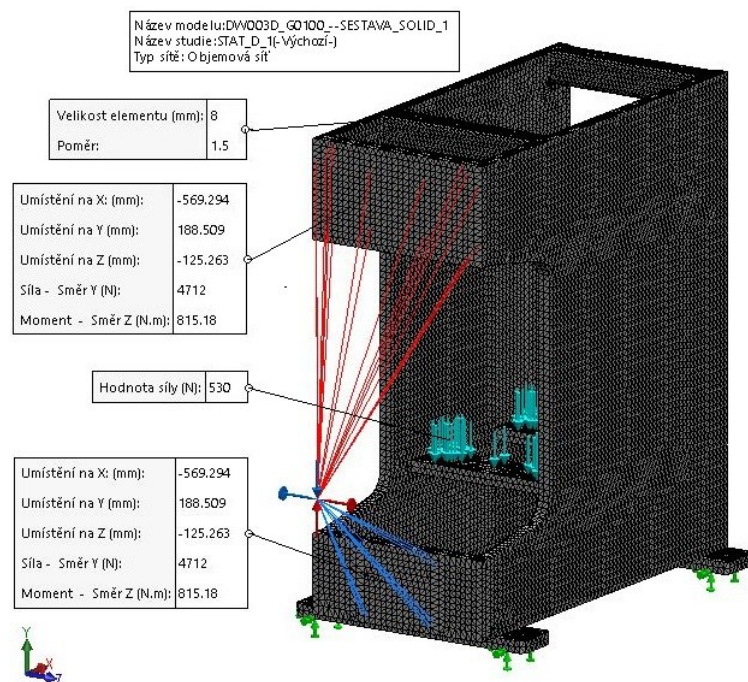
Výsledky napěťové analýzy ukazují velké napětí přesahující mez kluzu v místě kontaktu spodní desky s nosným profilem rámu. V tomto místě je předpokládán koutový svar, v případě volby této varianty by bylo toto místo vyztužit nebo zvětšit zatěžovanou plochu.

- Varianta rámu D (DW003D)

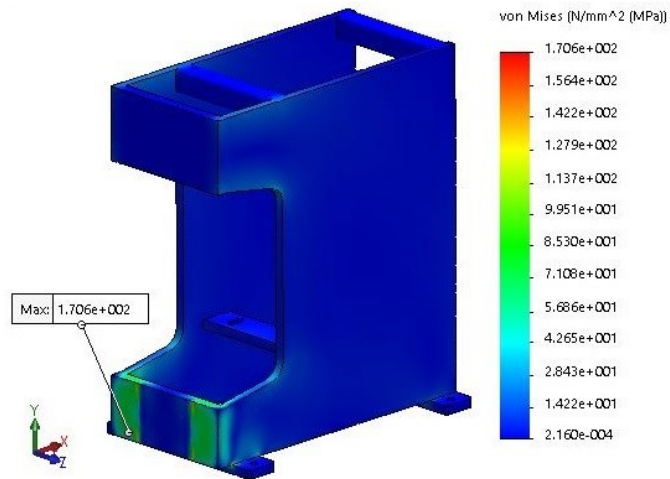
Stejně jako u varianty rámu B, je i zde plocha zatížení spodní desky rámu, omezena plochou stykové plochy spodního ramene. Také je tedy rozdělena dle velikosti stykové desky spodního ramene. Stejným způsobem jsou rozděleny nosné příčnický transformátoru (obr. č. 32)



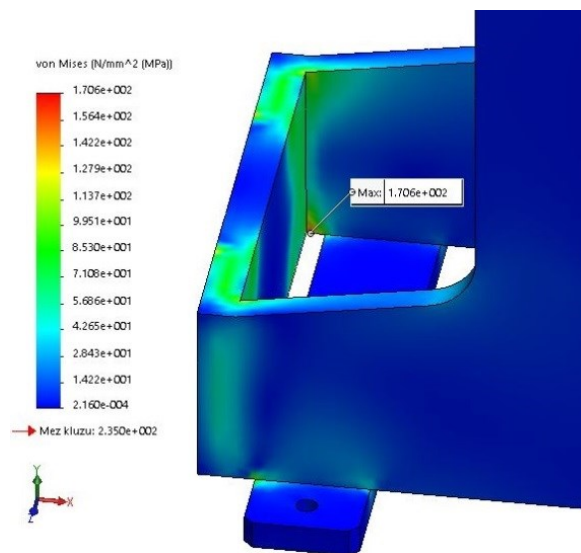
obr. č. 32 – definování zatěžovaných ploch rámu D



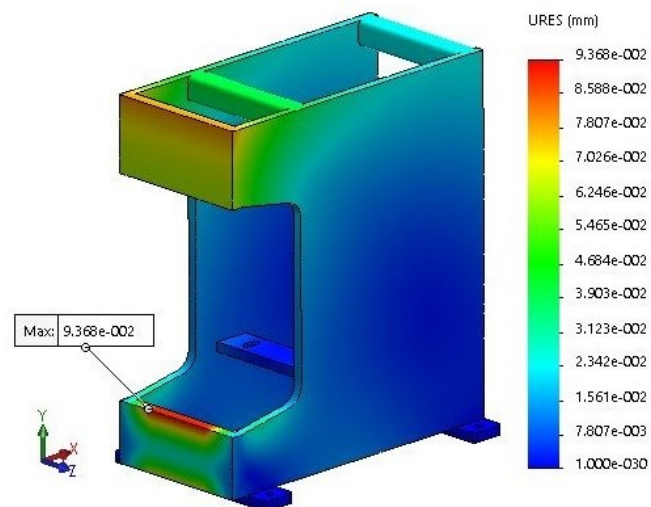
obr. č. 33 – znázornění objemové sítě a zatížení varianty rámu D



obr. č. 34 – výsledky napěťové analýzy dle kritéria von Mises varianty rámu D

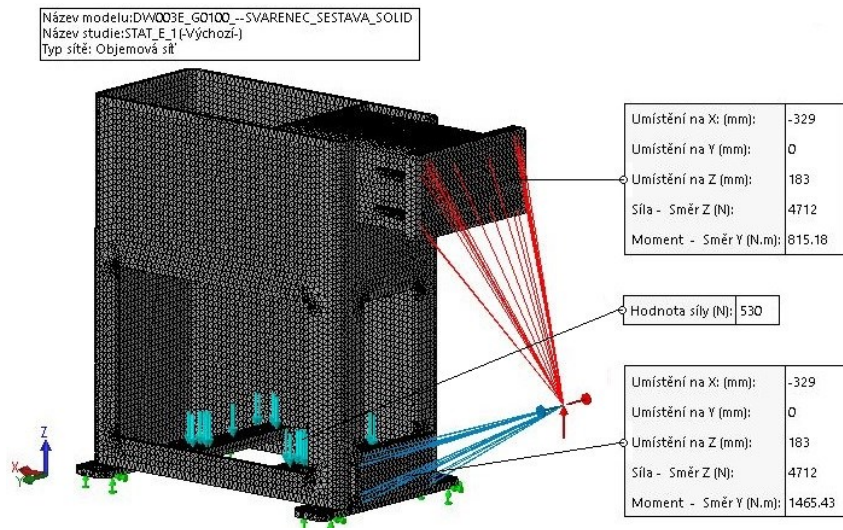


obr. č. 35 – detail kritického místa napěťové analýzy varianty rámu D

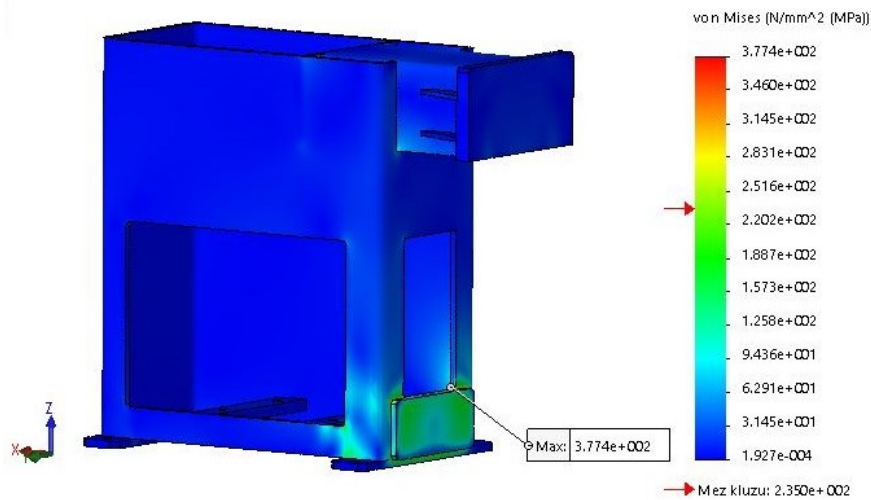


obr. č. 36 – výsledky analýzy celkového posunutí varianty rámu D

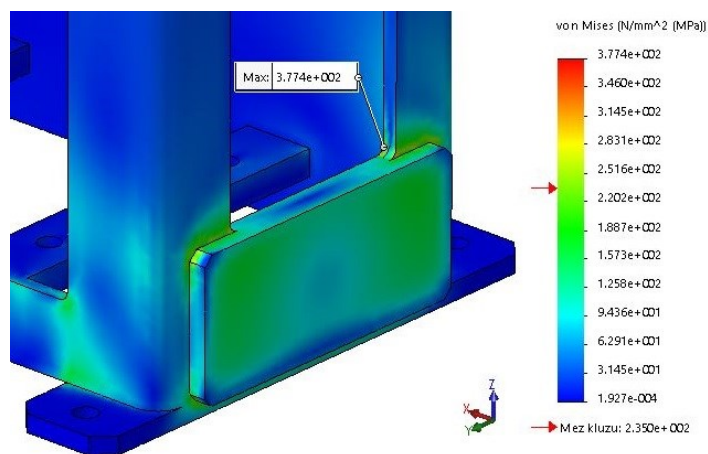
- Varianta rámu E (DW003E)



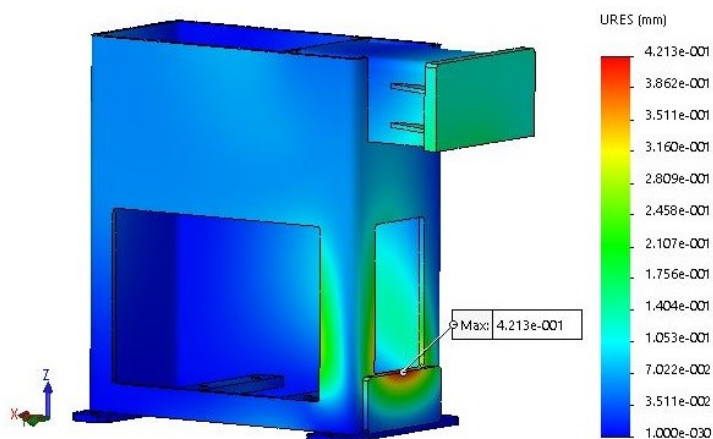
obr. č. 37 – znázornění objemové sítě a zatížení varianty rámu E



obr. č. 38 – výsledky napěťové analýzy dle kritéria von Mises varianty rámu E



obr. č. 39 - detail kritického místa napěťové analýzy varianty rámu E



obr. č. 40 - výsledky analýzy celkového posunutí varianty rámu E

- Zhodnocení výsledků

Tab.č. 14 - porovnání výsledků výpočtů MKP rámu

	Označení varianty rámu		
	B (DW003B)	D (DW003D)	E (DW003E)
Globální velikost elementu sítě [mm]	8	8	8
Celkový počet elementů [-]	191 959	270 214	250 506
Silové zatížení od horního ramene [N]	4712	4712	4712
Ohybové zatížení od horního ramene [Nm]	815,18	815,18	815,18
Silové zatížení od spodního ramene [N]	4712	4712	4712
Ohybové zatížení od spodního ramene [Nm]	980,1	815,18	1465,43
Napětí max. [MPa]	506,2	170,6	377,4
Napětí min. [MPa]	$5,2 \cdot 10^{-7}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$
Posunutí max. [mm]	0,324	0,094	0,421
Posunutí min. [mm]	0,001	0,001	0,001

4.3.3 Volba konstrukce rámu

Mez kluzu materiálu ČSN 11 375, ze kterého jsou rámy navrženy, je $R_e=235$ MPa [27]. Tato hodnota napětí je u rámu B a E překročena. Maximální vypočtené hodnoty napětí jsou způsobené náhlou změnou tvarů (koncentrator napětí), které by se daly vhodnými konstrukčními postupy zredukovat. I přesto lze z barevných map napětí a posunutí vyčíst, že nejpříznivějších rozložení napětí a nejmenších hodnot posunutí dosahuje rám D.

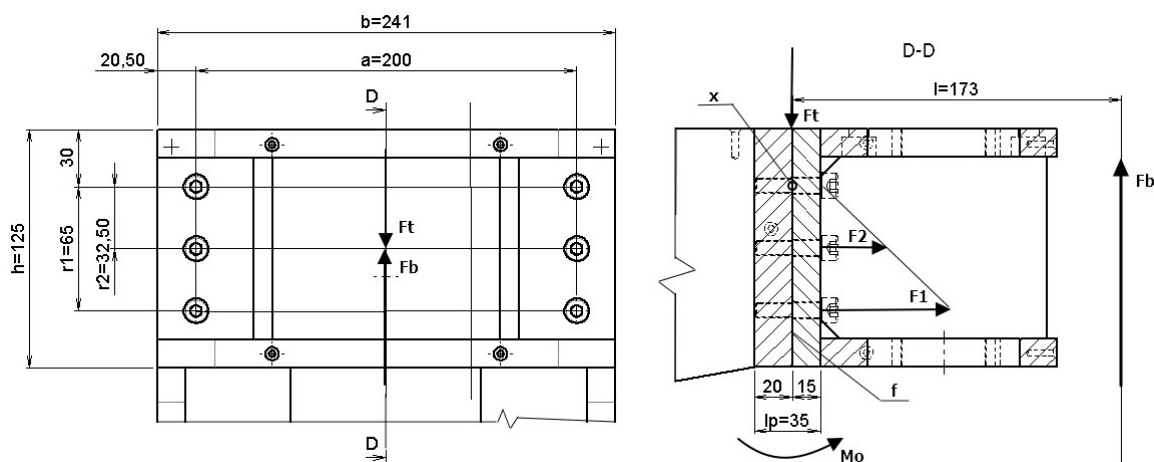
Lze předpokládat, že z hlediska náročnosti výroby je na tom nejlépe rám B, a to i z hlediska dostupnosti a ceny materiálu. Nevýhodou této varianty je nutnost zakrytování stroje, což neplatí pro rámy D a E, které svými nosnými prvky již větší část krytování zastávají. Díky tomu jsou na tom lépe i v oblasti vzhledu,

působí čistým, uhlazeným dojemem. Pro další postup práce je tedy vybrán rám D , i přesto že bylo nutné zajistit externí výrobu nosných bočních plátů.

4.4 Kontrolní výpočet šroubového spoje

Svařenec horního ramene je čelně uchycen šroubovým spojem k desce rámu stroje. Spoj je navržen šesti šrouby M8 pevnostní třídy 10.9 s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem dle normy DIN 912. Délka šroubů je 35 mm a závit je proveden po celé délce šroubu. Vnitřní závit je vyříznut v připojovací desce rámu stroje, který je stejně jako svařenec horního ramene z materiálu ČSN 11 375, pevnostní třídy S 235 dle ČSN ISO 10025. Průchozí díry pro šrouby jsou vrtány o $\varnothing 9$ mm a úprava styčných ploch je provedena obráběním, součinitel tření je $f=0,2$. Součinitel tření mezi stykovými plochami závitů šroubu a desky, stejně jako stykovou plochu hlavy šroubu a desky, je zvolen $f_z=f_p=0,18$.

Šroubový spoj je zatěžován reakční silou F_b vyvozenou přitlakem pneumatického válce v ose předpokládaného místa styku svařovacích elektrod ve vzdálenosti $l=173$ mm. Síla je přenášena přes ostatní komponenty jako např. horní pohyblivé rameno a vodící tyče, které nejsou v *obr. č. 41* zobrazeny. Je uvažována maximální síla pneumatického válce při tlaku 6 bar $F_b=4712$ N. Tato síla vyvozuje ohybový moment M_o působící na šroubový spoj. Způsobuje pootočení horního svařence vůči rámu kolem relativní osy x . Tato osa je dle odborných literatur vzdálená přibližně 20% výšky h připojovací desky od její horní hrany [6]. Pro zjednodušení je však možné, tuto osu rotace uvažovat v místě horní řady šroubového spoje. Vyvozená síla v ose šroubu od krouticího momentu je v tomto místě zanedbatelná.



obr. č. 41 - náčrt působení sil šroubového spoje svařence horního ramene a rámu stroje

Tab.č. 15 - výpočetní parametry šroubu M8x35-10.9 pro předpětí a pevnostní výpočet šroubového spoje [6][28]

Parametr	Označení	Hodnota	Jednotky
Střední průměr závitu	d_2	7,188	[mm]
Malý průměr závitu	d_3	6,466	[mm]
Stoupání závitu	P_h	1,25	[mm]
Průměr otvoru pro šroub	D_0	9	[mm]
Průměr montážního klíče	$D_k (s,v)$	6	[mm]
Mez kluzu	$Rp_{0,2}$	900	[MPa]
Mez pevnosti	Rm	1000	[MPa]
Dovolené napětí v tahu	σ_{Dt}	270	[MPa]
Poměr tuhosti šroubu a spojovaných součástí	$k_s : k_p$	1 : 7	[-]
Součinitel přetížitelnosti	ψ	1	[-]

Výpočet ohybového momentu působící na šroubový spoj:

$$M_o = F_o \cdot l = 4712 \cdot 0,173 = 815,2 \text{ Nm} \quad (9)$$

Do míst jednotlivých šroubů jsou zavedeny síly F_1, F_2, F_3 . Jejich velikost závisí na vzdálenosti od relativní osy x . Síla F_3 je zanedbána a lze tak napsat poměr sil:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{r_1}{r_2}; \quad (10)$$

Z tohoto vzorce lze vypočítat největší provozní síly F_1 a síly F_2 podle:

$$F_1 = \frac{M_o \cdot r_1}{2 \cdot r_1^2 + 2 \cdot r_2^2} = \frac{815,2 \cdot 0,065}{2 \cdot 0,065^2 + 2 \cdot 0,0325^2} = 5016,47 \text{ N} \quad (11)$$

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot r_2}{r_1} = \frac{5016,47 \cdot 0,0325}{0,065} = 2508,23 \text{ N} \quad (12)$$

Z nejvyšší provozní síly F_1 je stanoveno předpětí F_Q :

$$F_Q = \psi \cdot F_1 + \Delta F_{pl} = F_1 \left(\psi + \frac{k_p}{k_s + k_p} \right) = 5016,47 \left(1 + \frac{7}{1+7} \right) = 9405,88 \text{ N} \quad (13)$$

Následně je zkontrolován přenos smykové síly třecími silami mezi spojovanými součástmi. Musí platit podmínka:

$$F_b < 2F_{p1} \cdot f + 2F_{p2} \cdot f + 2F_{p3} \cdot f \quad (14)$$

kde:

$$F_{p1} = F_Q - \Delta F_{p1} = F_Q - F_1 \cdot \frac{k_p}{k_s + k_p} = 9406,13 - 5016,6 \cdot \frac{7}{1 + 7} = 5016,47 \text{ N} \quad (15)$$

$$F_{p2} = F_Q - \Delta F_{p2} = F_Q - F_2 \cdot \frac{k_p}{k_s + k_p} = 9406,13 - 2508,23 \cdot \frac{7}{1 + 7} = 7211,17 \text{ N} \quad (16)$$

$$F_{p2} = F_Q = 9406,13 \text{ N}$$

Po dosazení do podmínky pro přenos smykové síly F_b třecími silami v místě jednotlivých šroubových spojů:

$$4712 \text{ N} < 8923,77 \text{ N} \quad \dots \text{ podmínka je splněna.}$$

Následně je vypočten utahovací moment podle vzorce:

$$M_u = \frac{F_Q}{2} \cdot [d_2 \cdot \tan(\gamma + \varphi'_z) + f_p \cdot D_p] \quad (17)$$

kde:

$$\gamma = \arctg \frac{P_h}{\pi \cdot d_2} = \arctg \frac{1,25}{\pi \cdot 7,188} = 3,17^\circ \quad (18)$$

$$\varphi'_z = \arctg \frac{f_z}{\cos \frac{60^\circ}{2}} = \arctg \frac{0,18}{\cos \frac{60^\circ}{2}} = 11,74^\circ \quad (19)$$

$$D_p = \frac{D_k + D_o}{2} = \frac{6 + 9}{2} = 7,5 \text{ mm} \quad (20)$$

Utahovací moment pak po dosazení vyjde:

$$M_u = 15,35 \text{ Nm}$$

Pevnostní kontrola šroubu je provedena pro dva napěťové stavy, při montáži a za provozu stroje. Při montáži je šroub zatěžován tahem silou předpětí F_Q a krutem vzniklým od odporového momentu v závitě. Ten je vypočítán následovně:

$$M_{zu} = \frac{F_Q}{2} \cdot d_2 \cdot \tan(\gamma + \varphi'_z) = \frac{9405,88}{2} \cdot 7,188 \cdot 10^{-3} \cdot \tan(3,17^\circ + 11,74^\circ) = 9 \text{ Nm} \quad (21)$$

V nosném průřezu bude tedy tahové napětí a napětí v krutu:

$$\sigma_t = \frac{F_Q}{S_3} = \frac{4 \cdot F_Q}{\pi \cdot d_3^2} = \frac{4 \cdot 9405,88}{\pi \cdot 6,466^2} = 286,44 \text{ Mpa} \quad (22)$$

$$\tau_k = \frac{M_{zu}}{W_{k3}} = \frac{16 \cdot M_{zu}}{\pi \cdot d_3^3} = \frac{16 \cdot 9 \cdot 10^3}{\pi \cdot 6,466^3} = 169,57 \text{ Mpa} \quad (23)$$

Ekvivalentní napětí v nosném průřezu je pak vypočítáno podle:

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_t^2 + 3\tau_k^2} = \sqrt{(286,44)^2 + 3 \cdot (169,57)^2} = 410,26 \text{ Mpa} \quad (24)$$

Při provozu bude pak šroub namáhán pouze tahem silou F_{s1} , pro kterou platí:

$$F_{s1} = F_Q + \Delta F_{sl} = F_Q + F_1 \frac{k_s}{k_s + k_p} = 9405,88 + 5016,47 \cdot \frac{1}{1 + 7} = 10032,94 \text{ N} \quad (25)$$

Tahové napětí od zatížení silou F_{s1} :

$$\sigma_{tl} = \frac{F_{s1}}{S_3} = \frac{4 \cdot F_{s1}}{\pi \cdot d_3^2} = \frac{4 \cdot 10032,94}{\pi \cdot 6,466^2} = 305,54 \text{ Mpa} \quad (26)$$

Obě napětí σ_e a σ_{tl} jsou vyšší než dovolené napětí šroubu σ_{Dt} , je proto zvolen o řád větší průměr a pevnostní třída šroubu při zachování rozmístění šroubů. Výpočty jsou následně podle vzorců (17) až (26) přepočítány a následující tabulky udávají vstupní a výstupní hodnoty výpočtů.

Tab.č. 16 - výpočetní parametry šroubu M10x35-12.9 pro utahovací moment a pevnostní výpočet šroubového spoje [6][28]

Parametr	Označení	Hodnota	Jednotky
Střední průměr závitu	d_2	9,026	[mm]
Malý průměr závitu	d_3	8,160	[mm]
Stoupání závitu	P_h	1,5	[mm]
Průměr otvoru pro šroub	D_0	11	[mm]
Průměr montážního klíče	$D_k(s,v)$	8	[mm]
Mez kluzu	$Rp_{0,2}$	1080	[MPa]
Mez pevnosti	Rm	1200	[MPa]
Dovolené napětí v tahu	σ_{Dt}	324	[MPa]
Poměr tuhostí šroubu a spojovaných součástí	$k_s : k_p$	1 : 7	[-]
Součinitel přetížitelnosti	ψ	1	[-]

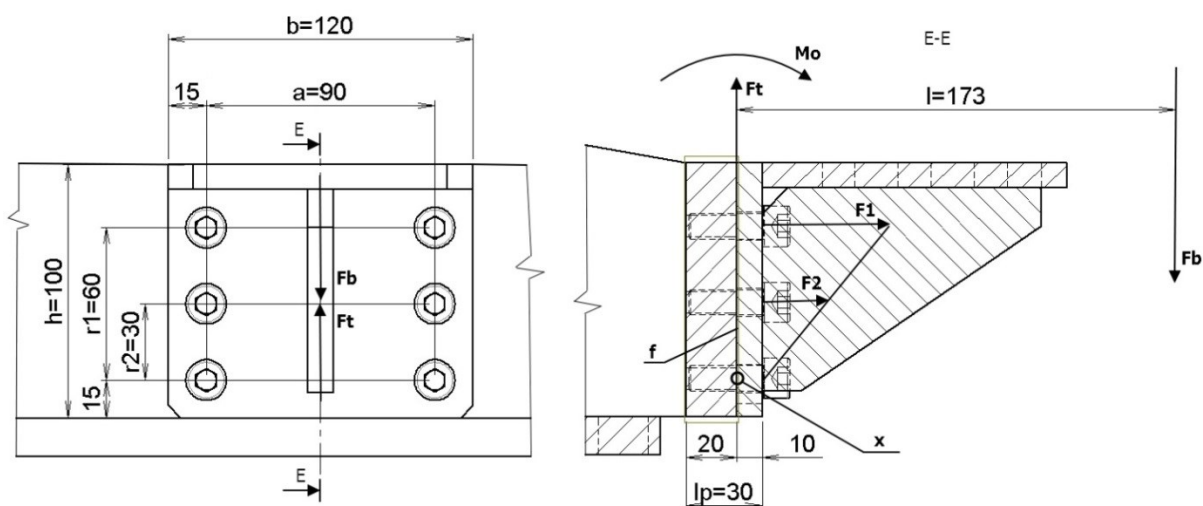
Tab.č. 17 - vypočtený utahovací moment a parametry pevnostní kontroly pro šroub M10x35-12.9

Parametr	Označení	Hodnota	Jednotky
Utahovací moment	M_u	19,23	[Nm]
Oporový moment závitů	M_{zu}	11,19	[Nm]
Tahové napětí v nosném průřezu šroubu	σ_t	179,86	[MPa]
Napětí v krutu v nosném průřezu šroubu	τ_k	104,90	[MPa]
Ekvivalentní napětí v nosném průřezu šroubu	σ_e	255,66	[MPa]
Provozní tahová síla	F_{sl}	10032,94	[N]
Tahové napětí při provozu	σ_{tl}	191,85	[MPa]

Pro volbu šroubu M10x35 pevnostní třídy 12.9, dle normy DIN 912, jsou obě napětí σ_e a σ_{tl} nižší než dovolené napětí šroubu σ_{Dt} , jsou proto vhodné pro použití v tomto šroubovém spoji.

Stejným postupem výpočtu je provedena i pevnostní kontrola a výpočet utahovacího momentu pro skupinu šroubových spojů mezi svařencem dolního ramene a rámu stroje. Tento spoj také přenáší sílu a ohybový moment vyvozený od síly pneumatického válce. Po předchozích výpočtech byly rovnou navrhnuty pro spoj šrouby s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem M10x30-12.9 DIN 912.

Obrázek č. 55 znázorňuje provedení skupiny šroubových spojů a jeho zatížení. V tabulkách Tab.č. 18 a Tab.č. 19, jsou vypsány vstupní a výstupní hodnoty výpočtů.



obr. č. 42 - náčrt šroubového spoje svařence spodního ramene a rámu stroje

Tab.č. 18 - vstupní výpočetní parametry, parametry šroubu M10x35-12.9 pro výpočet předpětí a pevnostní výpočet šroubového spoje [6][28]

Parametr	Označení	Hodnota	Jednotky
Zatěžující síla	F_b	4712	[N]
Střední průměr závitu	d_2	9,026	[mm]
Malý průměr závitu	d_3	8,160	[mm]
Stoupání závitu	P_h	1,5	[mm]
Průměr otvoru pro šroub	D_0	11	[mm]
Průměr montážního klíče	$D_k(s,v)$	8	[mm]
Mez kluzu	$Rp_{0,2}$	1080	[MPa]
Mez pevnosti	Rm	1200	[MPa]
Dovolené napětí v tahu	σ_{Dt}	324	[MPa]
Poměr tuhosti šroubu a spojovaných součástí	$k_s : k_p$	1 : 7	[-]
Součinitel přetížitelnosti	ψ	1	[-]

Ostatní nezadané hodnoty, jsou stejné jako u předchozího výpočtu.

Tab.č. 19 – vypočtené předpětí, utahovací moment a parametry pevnostní kontroly pro šroub M10x30-12.9

Parametr	Označení	Hodnota	Jednotky
Předpětí ve šroubu	F_Q	10189,70	[N]
Utahovací moment	M_u	20,84	[Nm]
Oporový moment závitu	M_{zu}	12,12	[Nm]
Tahové napětí v nosném průřezu šroubu	σ_t	194,85	[MPa]
Napětí v krutu v nosném průřezu šroubu	τ_k	113,64	[MPa]
Ekvivalentní napětí v nosném průřezu šroubu	σ_e	276,96	[MPa]
Provozní tahová síla	F_{sl}	10869,01	[N]
Tahové napětí při provozu	σ_{tl}	207,84	[MPa]

Napětí σ_e a σ_{tl} jsou nižší než dovolené napětí šroubu σ_{Dt} , navržený šroubový spoj proto vyhovuje.

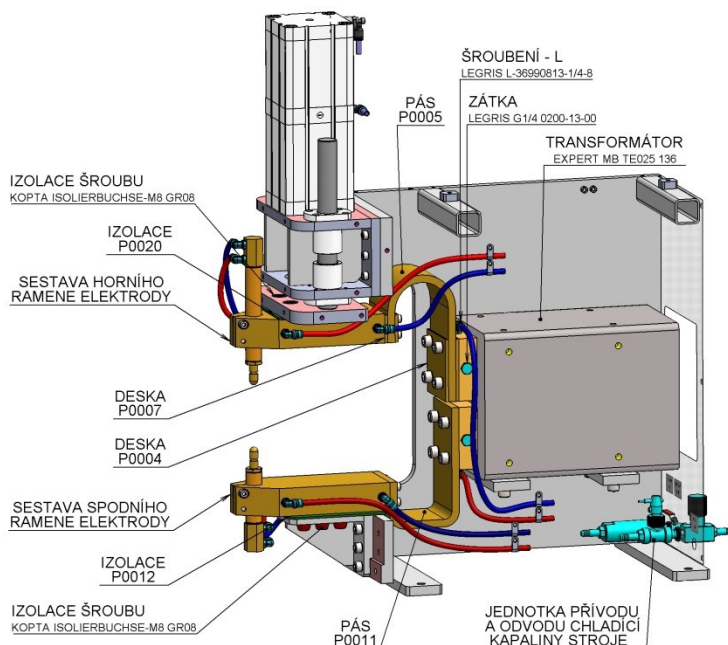
4.5 Návrh ostatních částí stroje

4.5.1 Návrh sekundárního elektrického obvodu a chlazení

Sekundární elektrický obvod je tvořen z dvou vodivých pásů, z nichž horní je pohyblivý. Ten je tvořen z tenkých měděných lamel snýtovaných k sobě na obou koncích. Tyto lamelové pásy jsou přišroubovány k hornímu a dolnímu rameni elektrod a z druhé strany k přípojovacím plochám transformátoru. Elektrody jsou v rameni upevněny svěrným šroubovým spojením a svařovací čepičky jsou k nim připojeny přes adaptéry v nalisovaném kuželovém spoji.

Všechny části obvodu jsou navrženy z materiálů EN CuCr1Zr (2.1293), EN CuZn39Pb3, EN Cu HCP a Cu 99,9E.

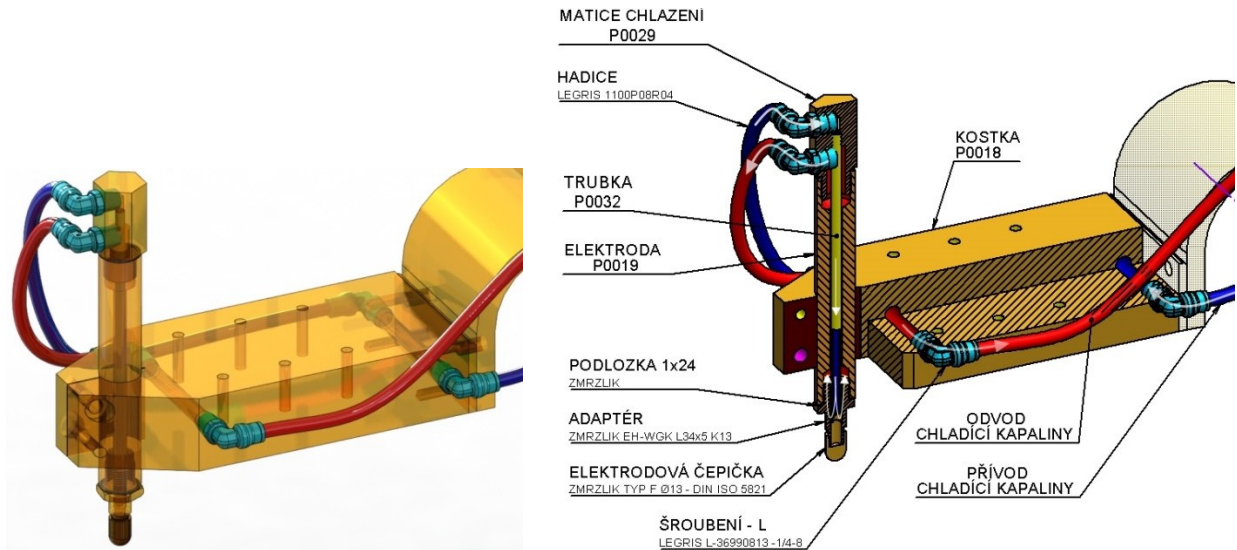
Prvky sekundárního obvodu musí být odizolovány od ocelového rámu stroje a jeho částí. Mezi rameny elektrod a rámem je tak použita izolace tloušťky 3 mm z materiálu s obchodním označením *Textit-E* a pro šroubové spoje jsou použity izolační pouzdra.



obr. č. 43 - elektrický sekundární obvod a obvod chlazení

Vlivem přechodových odporů procházejícího proudu se na rozmezí dvou dílů generuje teplo. Je proto nutné, aby tato místa byla chlazena. V konstrukci stroje je navržen chladicí okruh, který je zobrazen na obr. č. 43. Chladicí kapalina (voda) je přiváděna také do transformátoru a do svařovacích elektrod, kde vzniká od místa svaru značné tepelné zatížení. Z toho důvodu jsou elektrody chlazeny vnitřně a kapalina je trubičkou P0032 přiváděna až nad svařovací čepičku, jak je znázorněno na obr. č. 44.

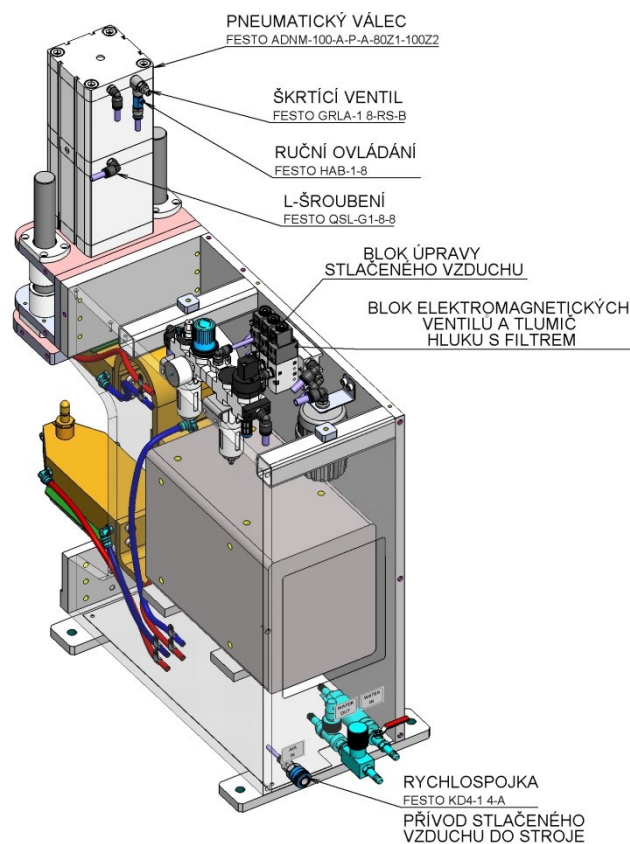
Zdroj chladicí kapaliny je uvažován v podobě připojení k externí chladicí jednotce nebo k centrálnímu rozvodu kapaliny. Připojení u stroje je vyřešeno na zadní straně, kde se kromě nástrčného trnu nachází filtr nečistot, proudový spínač, škrtící a kulový ventil.



obr. č. 44 - chlazení elektrody a naznačení směru proudění kapaliny

4.5.2 Návrh pneumatického obvodu stroje

K zvolenému pneumatickému válci byly navoleny potřebné prvky pro rozvod stlačeného vzduchu a ovládání stroje. V přílohách této práce je zhotoven návrh pneumatického obvodu stroje s kusovníkem všech použitých komponentů. Na *obr. č. 45* je zobrazeno umístění hlavních pneumatických prvků na stroji.



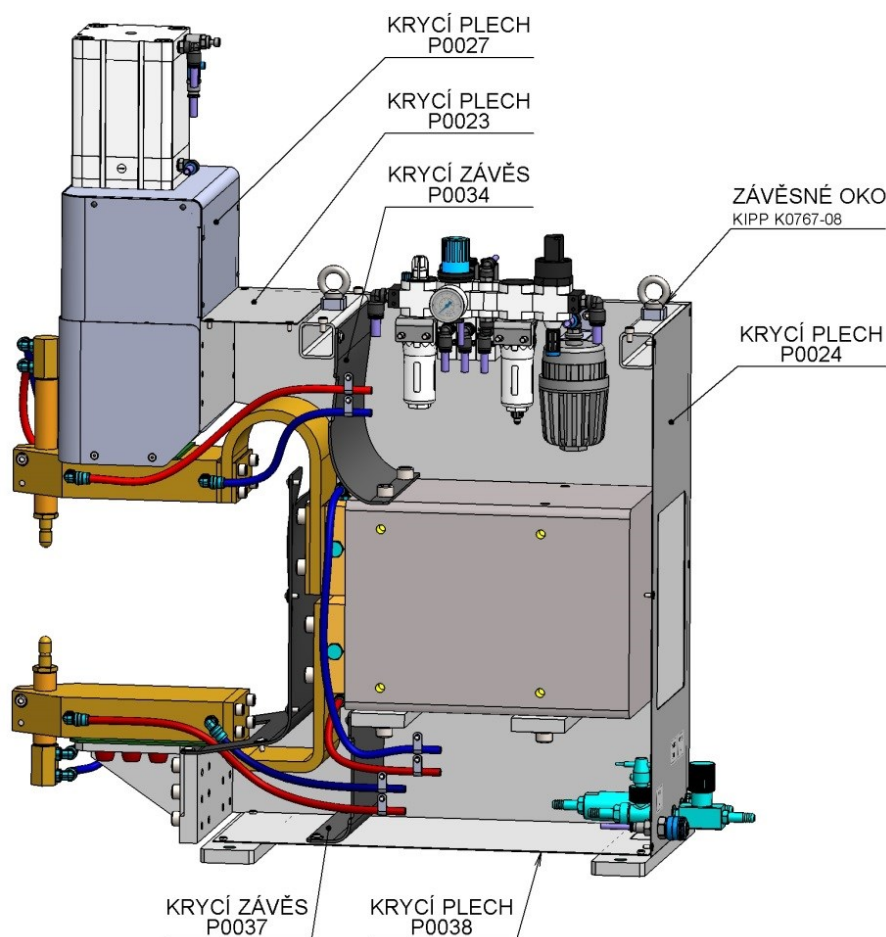
obr. č. 45 - umístění hlavních pneumatických prvků na stroji

4.5.3 Návrh krytování a ovládání

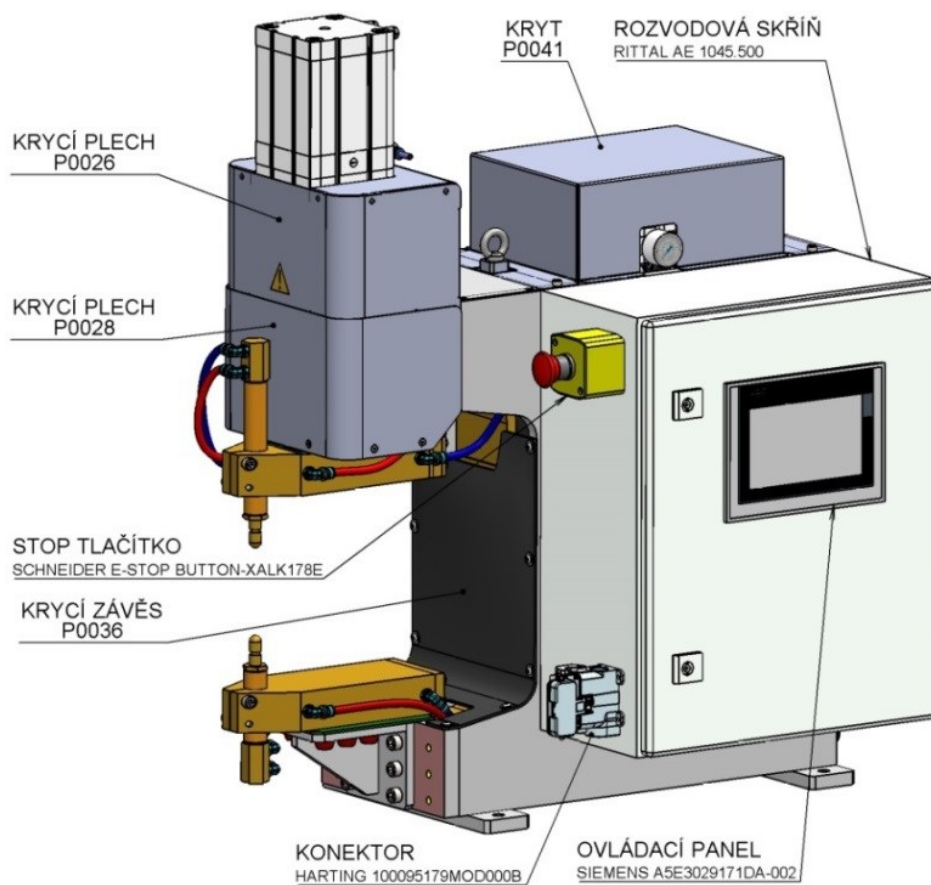
Pohyblivé části pneumatického válce a vedení jsou z důvodu bezpečnosti obsluhy a ochrany proti nečistotám zakrytovány plechovými díly. Krytování je také navrženo na horní a zadní straně stroje, kde jsou navíc vyříznuty otvory pro připojení kabelů k transformátoru a hadic k přívodu vzduchu a vody. Plechové díly jsou navrženy z materiálu ČSN 11 320, tloušťek 0,5 a 1 mm.

Pro ochranu připojení vodivých pásů k transformátoru je zvolena 3 mm pryžová deska s označením *SBR 65 ShA* (Butadien-Styrenový kaučuk) [30]. Tento materiál zastává také izolační funkci, jelikož se opírá o hlavy šroubů u připojení vodivých pasů. Stejný materiál je použit pro oddělení vnitřního prostoru stoje od sekundárního elektrického obvodu.

Pro ovládání stroje je možný dvouruční bezpečnostní spínač, případně nožní ovládání. K nouzovému zastavení stroje slouží *Stop* tlačítko umístěné na čele rozvodové skříně, které slouží pro uložení řídicích elektrických komponentů stroje. K připojení periférií je na čele skříně připevněn potřebný konektor. Ovládací panel stroje je navrhnut předběžně, bližší specifikování je později dle potřeb programátora.



obr. č. 46 - krytování stroje



obr. č. 47 - krytování a ovládání stroje

5 Optimalizace konstrukce rámu

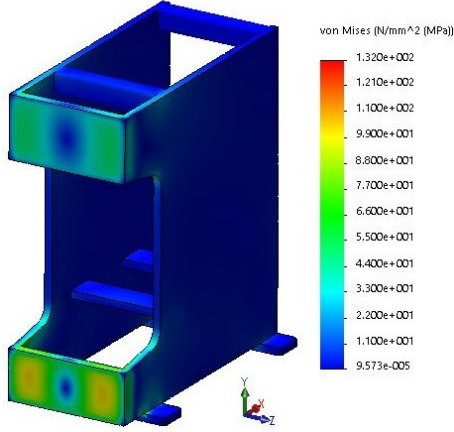
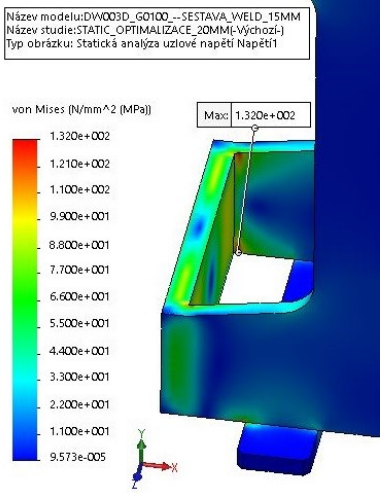
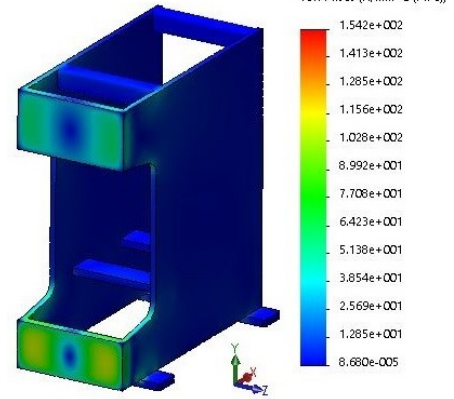
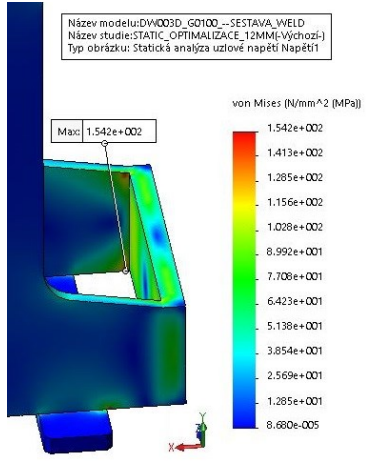
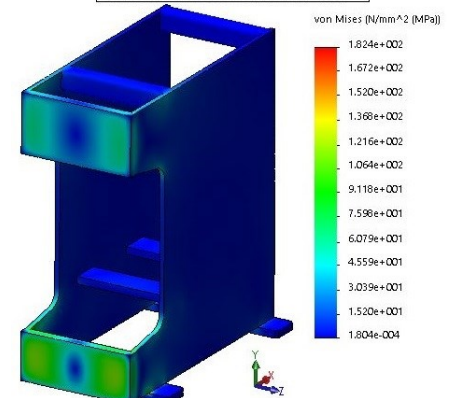
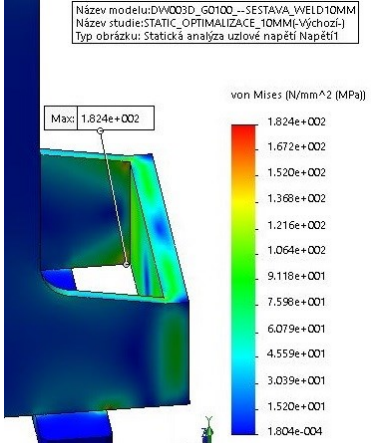
Výsledky pevnostní analýzy pro vybraný rám *D*, v kapitole 4.3.2, ukazují maximální napětí ve spodní části spojení čelní desky s nosnou bočnicí. Z prvotního odhadu je toto napětí způsobeno přítomností spoje se spodní upevňovací deskou, který představuje ostrou tvarovou změnu v místě vyššího napětí. Byla tak navrhována úprava rámu, která spočívá ve změně pozice spodní upevňovací desky a zmenšením vyložení spodního a horního ramene. Úprava rámu je zobrazena na *obr. č. 48* (modré kóty značí původní rozměr, černé kóty nový). Další navrhovanou úpravou bylo zmenšení tloušťek nosných bočnic z důvodu snížení celkové hmotnosti rámu a úspory materiálu.

Pro tyto úpravy byly provedeny pevnostní výpočty pomocí metody konečných prvků se stejnými zadávanými parametry zatížení i parametry pro vytvoření výpočetní sítě modelu jako v kapitole 4.3.2. Následující tabulky tak obsahují grafické znázornění a výsledné hodnoty pevnostních analýz. První výpočet byl zadán s upravenými rozměry rámu a původní tloušťkou bočnic 15 mm. Další pak s tloušťkami 12 mm a 10 mm.



obr. č. 48 - úprava rozměrů rámu

Tab.č. 20 - grafické znázornění výsledků napěťové analýzy pro různé tloušťky bočnic

Tl. bočnic[mm]	Výsledky napěťové analýzy dle von Mises	Detail kritického místa
15	<p>Název modelu:DW003D_G0100--SESTAVA_WELD_15MM Název studie:STATIC_OPTIMALIZACE_2(-Výchozí-) Typ obrázku: Statická analýza uzlové napětí Napětí1</p>  <p>von Mises (N/mm² (MPa))</p> <p>1.320e+002 1.210e+002 1.100e+002 9.900e+001 8.800e+001 7.700e+001 6.600e+001 5.500e+001 4.400e+001 3.300e+001 2.200e+001 1.100e+001 9.573e-005</p>	<p>Název modelu:DW003D_G0100--SESTAVA_WELD_15MM Název studie:STATIC_OPTIMALIZACE_20MM(-Výchozí-) Typ obrázku: Statická analýza uzlové napětí Napětí1</p>  <p>von Mises (N/mm² (MPa))</p> <p>Max: 1.320e+002</p> <p>1.320e+002 1.210e+002 1.100e+002 9.900e+001 8.800e+001 7.700e+001 6.600e+001 5.500e+001 4.400e+001 3.300e+001 2.200e+001 1.100e+001 9.573e-005</p>
12	<p>Název modelu:DW003D_G0100--SESTAVA_WELD_12MM(-Výchozí-) Typ obrázku: Statická analýza uzlové napětí Napětí1</p>  <p>von Mises (N/mm² (MPa))</p> <p>1.542e+002 1.413e+002 1.285e+002 1.156e+002 1.028e+002 8.992e+001 7.708e+001 6.423e+001 5.138e+001 3.854e+001 2.569e+001 1.285e+001 8.680e-005</p>	<p>Název modelu:DW003D_G0100--SESTAVA_WELD_12MM(-Výchozí-) Typ obrázku: Statická analýza uzlové napětí Napětí1</p>  <p>von Mises (N/mm² (MPa))</p> <p>Max: 1.542e+002</p> <p>1.542e+002 1.413e+002 1.285e+002 1.156e+002 1.028e+002 8.992e+001 7.708e+001 6.423e+001 5.138e+001 3.854e+001 2.569e+001 1.285e+001 8.680e-005</p>
10	<p>Název modelu:DW003D_G0100--SESTAVA_WELD10MM Název studie:STATIC_OPTIMALIZACE_10MM(-Výchozí-) Typ obrázku: Statická analýza uzlové napětí Napětí1</p>  <p>von Mises (N/mm² (MPa))</p> <p>1.824e+002 1.672e+002 1.520e+002 1.368e+002 1.216e+002 1.064e+002 9.118e+001 7.598e+001 6.079e+001 4.559e+001 3.039e+001 1.520e+001 1.804e-004</p>	<p>Název modelu:DW003D_G0100--SESTAVA_WELD10MM Název studie:STATIC_OPTIMALIZACE_10MM(-Výchozí-) Typ obrázku: Statická analýza uzlové napětí Napětí1</p>  <p>von Mises (N/mm² (MPa))</p> <p>Max: 1.824e+002</p> <p>1.824e+002 1.672e+002 1.520e+002 1.368e+002 1.216e+002 1.064e+002 9.118e+001 7.598e+001 6.079e+001 4.559e+001 3.039e+001 1.520e+001 1.804e-004</p>

Tab.č. 21 - porovnání výsledků napětí a posunutí pro různé tloušťky bočnic

	Tloušťka plátů nosných bočnic [mm]		
	15	12	10
Globální velikost elementu sítě [mm]	8	8	8
Celkový počet elementů [-]	149 608	148 933	145 065
Napětí max. [MPa]	132,0	154,2	182,4
Napětí min. [MPa]	$9,5 \cdot 10^{-5}$	$8,7 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$
Posunutí max. [mm]	0,179	0,199	0,214
Posunutí min. [mm]	0,001	0,001	0,001

Z výsledků je patrné, že i změnou rozměrů rámu při zachování tloušťky nosných bočnic, došlo k značnému snížení maximálního napětí v kritickém místě. Stejně tak došlo ke snížení maximálního posunutí. Je to způsobené především tím, že napětí v kritickém místě rámu je rovnoměrněji rozloženo v bočnicích rámu a nekonztruje se v blízkém spoji. To je patrné z obrázků detailů kritického místa. Díky tomu u všech třech variant nedošlo k překročení meze kluzu použitého materiálu.

Tab.č. 22 - porovnání celkové hmotnosti rámu pro různé tloušťky bočnic

Tloušťka bočnic: [mm]	15	12	10
Celková hmotnost rámu: [kg]	77,22	66,77	58,64

Tab.č. 22 ukazuje značnou úsporu hmotnosti při použití menší tloušťky bočnic při zachování únosnosti rámu. Pro další postup práce zvolena tloušťka bočnic 12 mm, která dosahuje hodnoty bezpečnosti vůči mezi kluzu materiálu a to 1,52. Tato hodnota bezpečnosti byla shledána jako dostatečná společně s výraznou úsporou hmotnosti rámu 10,45 kg.

6 Odhad nákladů

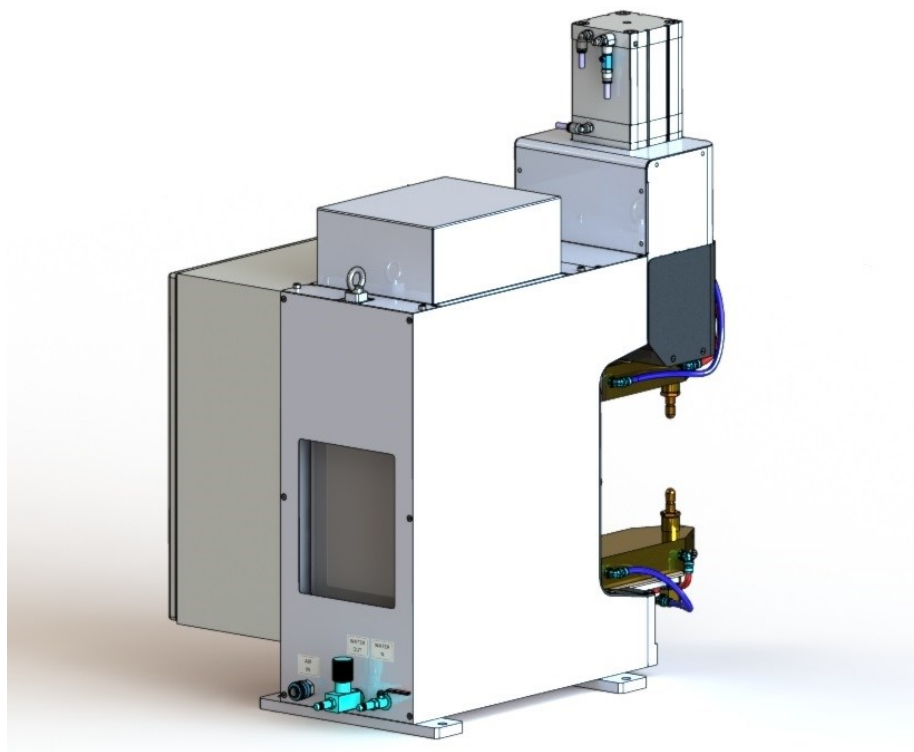
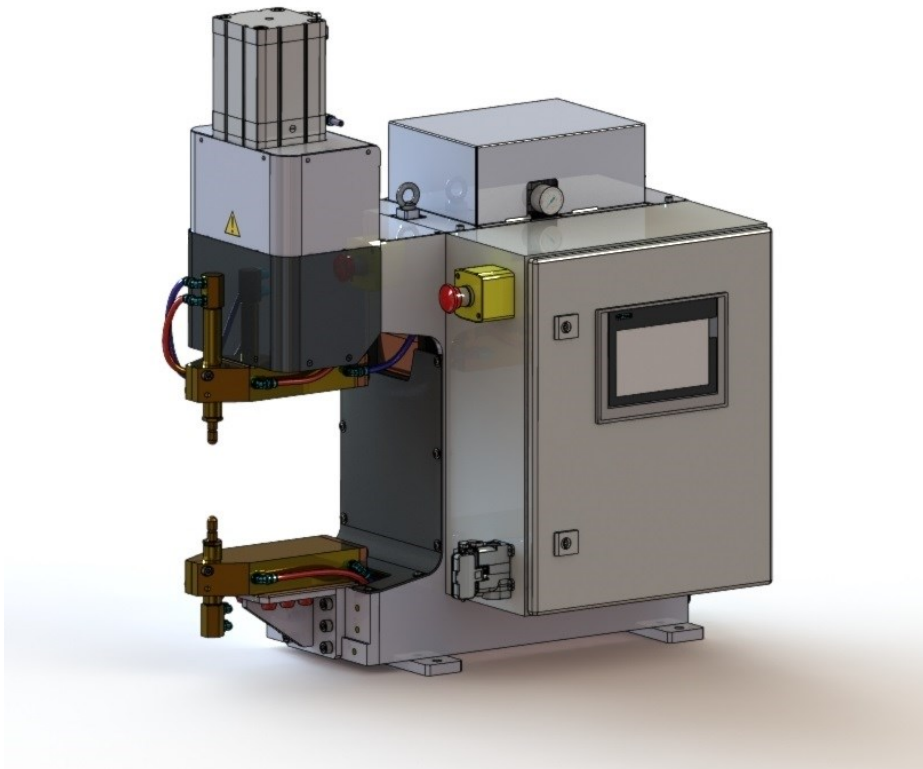
Po konzultaci s vedení společnosti, byl vypočítán hrubý odhad nákladů pro výrobu stroje. Do tohoto odhadu jsou započteny paušální náklady za obrábění 600 Kč/hod, paušální náklady za svařování 500 Kč/hod. Cena materiálu a to včetně ceny vypálení tvaru dílu. Materiál: ČSN 11 375 – 40 Kč/kg, CuZn39Pb3 – 280 Kč/kg, Cu HCP – 280 Kč/kg. Cena lakování stroje 1800,-Kč. Náklady na krytování byly odhadnuty na 1500,-Kč. Do nákladů jsou započteny také prodejní ceny všech komponentů.

Tab.č. 23 - odhad nákladů

Položka	Popis	Cena za měrnou jednotku	Počet měrných jednotek	Náklady [Kč]
Svařované a obráběné díly	Materiál 11 375	40 Kč/Kg	83,65 Kg	3 346,00
	Obrábění	600 Kč/hod	10 hod	6 000,00
	Svařování	500 Kč/hod	10 hod	5 000,00
	Lakování	-	-	1 800,00
Krytování stroje	-	-	-	1 500,00
Obráběné díly sekundárního elektrického obvodu	Materiál CuZn39Pb3 a Cu HCP	280 Kč/kg	13,97 Kg	6 574,40
	Obrábění	600 Kč/hod	13,5 hod	11 400,00
Nakupované díly sekundárního elektrického obvodu (pohyblivý pas, čepičky, adaptéry)	-	-	-	9 000,00
Elektrické nakupované díly (řízení, transformátor, rozvaděč, zapalovací jednotka, skříň a ostatní el. prvky)	-	-	-	114 792,87
Prvky chladicího obvodu	-	-	-	3 900,00
Prvky pneumatického obvodu	-	-	-	23 349,33
Celkové náklady:	-	-	-	186 662,61

7 Konečná vizualizace

obr. č. 49 - konečná vizualizace stroje



8 Závěr

Cílem diplomové práce bylo vypracování konstrukčního návrhu stolní odporové svařičky dle požadavků společnosti *DESCON Engineering s.r.o.* Před zahájením konstrukční tvorby provést rešerši stávajícího stavu trhu v oblasti stolních odporových svařiček a definovat základní požadavky. V závislosti na zvolených komponentech stroje a zadaných požadavků vypracovat konstrukční návrhy stroje. Dále provést kontrolní výpočty a využít numerické metody konečných prvků pro jednotlivé návrhy. Dle výsledků a zadaných požadavků zvolit nejvhodnější variantu. Pro tuto variantu následně provést optimalizaci konstrukce a zhodnotit výsledky.

V teoretické části se práce zabývá definicí technologie odporového svařování a odporového bodového svařování. Tato část dále popisuje konstrukci svařovacích strojů, svařovací režimy a základní parametry a hodnoty výkonů strojů. Ty jsou využity při porovnávání konkurenčních produktů a výběru vhodných komponentů. V této studii trhu jsou pak porovnávány stolní odporové svařičky jednotné výkonové řady 25 kVA (při 50% DZ) s uvedenými základními parametry, rozměry a prodejní cenou. V závěru teoretické části je vyhledání možného patentového omezení v konstrukční činnosti.

Praktická část práce začíná uvedením požadavků od zadavatele a následnou volbou pneumatického pohonu a vedení společně s návrhem horního ramene. Dále je definován transformátor stroje. V závislosti na vybraném pohonu a transformátoru jsou vypracovány konstrukční varianty rámu. S použitím numerické metody konečných prvků a požadovaných parametrů je zvolena nejvhodnější varianta. Následně je proveden kontrolní výpočet šroubového spoje horního a spodního ramene s rámem. Rám stroje je dále doplněn o sekundární elektrický obvod, pneumatický obvod pohonu a obvod chlazení. V neposlední řadě je vytvořeno krytování a sestava je doplněna o ovládací prvky. Závěrem je provedena optimalizace nosného rámu stroje.

Při výběru pneumatického válce a vedení bylo obtížné se orientovat v široké nabídce výrobců a vybrat nejvhodnější variantu s přihlédnutím na požadované parametry a cenu. Především pro hodnotu svařovací síly $F_s=400$ daN. Byly proto vypracovány dvě možnosti, z nichž se nakonec vybral třípolohový pneumatický válec FESTO ADN100-A-P-A-80Z1-100Z2 spolu s lineárními tyčemi a kluznými pouzdry dodavatele MISUMI. Poté byly navrženy tři svařence rámu, z kterých byl dle výsledků MPK zvolen rám *D*, tvořený nosnými bočnicemi tloušťky 15 mm. Tento rám dosahuje nejnižších hodnot maximálního napětí a posuvů v porovnání s ostatními. Je zaručena vyrobitelnost tohoto rámu a také vyhovuje z hlediska vzhledu. Pro optimalizaci byla změněna pozice spodní desky a zmenšeno vyložení, čímž se docílilo nižšího a lepšího rozložení napětí v kritickém místě. To umožnilo použít tloušťku 12 mm nosných bočnic, a tím snížení celkové hmotnosti o 10,5 kg.

Zpracováním diplomové práce se autor seznámil s problematikou v oblasti odporového svařování a prototypového konstrukčního návrhu. Práce je přínosem jak pro autora, tak pro firmu *DESCON Engineering* při rozšiřování sortimentu. Navržená stolní bodová svařička výkonové řady 25 kVA disponuje teoretickou svařovací silou až 471 daN, která tak vyplňuje díru na trhu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PLÍVA, Ladislav. *Odporové svařování: Knižnice svařování*. Pardubice: Ústřední výbor ČVTS pro svařování, Dům techniky ČVTS Pardubice, 1971.
- [2] PLÍVA, Ladislav. *Odporové svařování v praxi: 14. svazek knihnice strojírenské výroby*. 2. doplněné vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963.
- [3] DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu a praxi*. Praha: Europa Sobotáles CZ, 2007. ISBN 987-80-86706-19-1.
- [4] LÍPA, Milan. *Odporové zvaranie*. Bratislava: Výzkumný ústav zváračský Bratislava, 1995. ISBN 80-88734-13-4.
- [5] GIROUX, Danise a James F DEFFENBAUGH. *Resistance welding manual*. 4th ed. Philadelphia: Pa. : Resistance Welder Manufacturers' Association, 2003. ISBN 09-624-3820-0.
- [6] PEŠÍK, Lubomír. *Části strojů: stručný přehled*. Vyd. 4., dopl. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2010. ISBN 978-80-7372-573-0.
- [7] *Bodovky a bodování: Svařování elektrickým odporem* [online]. 2008 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://www.svarinfo.cz/phprs/view.php?cislocianku=2008033102>
- [8] *DESCON Engineering, s.r.o.* [online]. Mladá Boleslav, 2017 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.descon-engineering.cz>
- [9] Katalog produktů *TECNA S.p.A.: BENCH WELDERS Catalog* [online]. 2017 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://www.tecna.net/index.php?lang=en>
- [10] Katalog produktů *CEA S.p.A.: SPOT WELDERS* [online]. 2017 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.ceaweld.com>
- [11] Katalog produktů *P.E.I.-POINT SRL: LINEAR HEAD BENCH SPOT WELDERS* [online]. Padova (Italy), 2014 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.pei-point.com/en/product/industry-range/puntatrici-su-colonna/puntatrici-a-discesa-rettilinea/>
- [12] European patent office. *European patent office* [online]. 2017 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://www.epo.org/index.html>
- [13] Google Patents office. *Google Patents* [online]. 2017 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://patents.google.com>
- [14] WIND, MICHAEL W. *Welding system and method*. US6515251 (B1). Uděleno 4.2.2003.
- [15] Standards catalogue - ISO 21287:2004. *International Organization for Standardization* [online]. [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <https://www.iso.org/standard/34465.html>
- [16] Standards catalogue - ISO 15552:2004. *International Organization for Standardization* [online]. [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <https://www.iso.org/standard/26284.html>
- [17] Katalog produktů *FESTO s.r.o. FESTO Produkty* [online]. 2017 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products
- [18] Katalog produktů *SMC Corporation - SMC PRODUCTS. SMC Corporation* [online]. [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: http://www.smcpneumatics.com/SMC-PRODUCTS_c_278.html
- [19] Pneumatické válce. *Stránský A Petržík, pneumatické válce, spol. s r.o.* [online]. 2017

- [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://www.stranskyapetrzik.cz/pneu/pneumaticke-valce/>
- [20] Artec pneumatic catalogo prodotti. *ARTEC SRL* [online]. Cento (Italy), 2017 [cit. 2017-05-20].
Dostupné z: <http://www.artec-pneumatic.com/en/artec-pneumatic-catalogo-prodotti/>
- [21] Fabco products. *Fabco-Air, Inc.* [online]. Gainesville (Florida), 2014 [cit. 2017-05-20].
Dostupné z: <http://www.fabco-air.com/products/products.html>
- [22] Linear Guideways. *HIWIN GmbH* [online]. Offenburg (Německo), 2017 [cit. 2017-05-20].
Dostupné z: https://www.hiwin.de/en/Products/Linear_Guideways/4263
- [23] Linear Motion. *MISUMI Europa GmbH* [online]. 2017 [cit. 2017-05-20].
Dostupné z: <http://www.misumi-europe.com/cs/catalog/vona2/mech/M010000000/>
- [24] Machine transformers. *EXPERT Transformatorenbau GmbH* [online]. 2017 [cit. 2017-05-20].
Dostupné z: <http://www.expert-trafo.de/en/produkte/index.php>
- [25] Sortiment Ferony. *Ferona, a.s.* [online]. 2017 [cit. 2017-05-20].
Dostupné z: <http://www.ferona.cz/cze/sortiment/sortiment.php>
- [26] Nápořveda pro SOLIDWORKS. *Dassault Systemes* [online]. c1995-2017 [cit. 2017-05-20].
Dostupné z: http://help.solidworks.com/2016/czech/SolidWorks/pdmworks/r_Help_WPDM.htm
- [27] Vlastností oceli S235J2G3. *KONSTRUKČNÍ A SPECIÁLNÍ OCELI* [online]. [cit. 2017-05-20].
Dostupné z: www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP..ocel/..MOP_prehled_vlastnosti_S235JR.pdf
- [28] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technické-ho zaměření. 2., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2005. ISBN 80-736-1011-6.*
- [29] Nástrojové oceli, Al + Cu - slitiny. *Ing. Jiří Zmrzlik* [online]. [cit. 2017-05-20].
Dostupné z: <http://zmrzlik.cz>
- [30] Pryžové desky. *JOLANA CHLÁPKOVÁ - TESA* [online]. [cit. 2017-05-20].
Dostupné z: <http://www.tesatesneni.cz/pryzove-desky.php>
- [31] Odporové svařování. *Schinkmann s.r.o., svářecí technika* [online]. Kosmonosy, c1991-2017 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/odporove-svarovani>
- [32] TECNA Typ 2103N. *Zerrle, Punkschweißmaschinen* [online]. [cit. 2017-05-20].
Dostupné z: <http://zerrle.de/epages/>
- [33] CEA BSW 25. *Trade-Equip* [online]. [cit. 2017-05-20].
Dostupné z: <http://www.trade-equip.co.uk5>
- [34] Punkschweissen CEA BSW 25. *SILA Schweissmaschinen Ges.m.b.H.* [online]. Österreich [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://sila.at/produkte/widerstandschweissmaschinen/>
- [35] PEI-POINT PFB 126. *Mossklad* [online]. c2006-2017 [cit. 2017-05-20].
Dostupné z: http://mossklad.ru/_PRODUCTPAGE/716489?_cl=1664217
- [36] Produkte PEI-POINT PFB 126. *REHM Schweißtechnik GmbH* [online]. [cit. 2017-05-20].
Dostupné z: <https://www.rehmshop.de/widerstand/stationaere-geraete.html>
- [37] CATALOGUE - No. D. WAHLENMEIER SCHWEISSTECHNIK GMBH [online]. 2017 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.wahlenmeier.de/katalog.html?&L=2>

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>obr. č. 1 - druhy tlakového odporového svařování: a) bodové odporové svařování, b) švové odporové svařování, c) odporové svařování na lisech (výstupkové), d) stykové odporové svařování [3]</i>	11
<i>obr. č. 2 - princip bodového odporového svařování a řez svarovou čoučkou [7]</i>	12
<i>obr. č. 3 - normální průběh bodového svařování a příklad programovatelného svařování [2]</i>	13
<i>obr. č. 4 - a) průběh proudu I a směr odvodu tepla Q; b) svarová čoučka a rozložení odporů; c) rozložení teplot v bodovém svaru během svařování [2]</i>	13
<i>obr. č. 5 - hranice výstřiku svarového kovu v závislosti na změně tlaku a proudu [4]</i>	15
<i>obr. č. 6 – oblast využití měkkého a tvrdého svařovacího režimu [1]</i>	16
<i>obr. č. 7 – graf časové závislosti stavu zapnutí a vypnutí odporové svářečky na výkonu stroje [2]</i>	17
<i>obr. č. 8 – graf časové závislosti při zapnutém a vypnutém stavu odporové svářečky na teplotě stroje [2]</i>	18
<i>obr. č. 9 - svařovací lis řady DWP a bodový lis řady DWS společnosti DESCON Engineering [8]</i>	18
<i>obr. č. 10 - závěsné bodové svařovací kleště DESCON Engineering řady DWG [8]</i>	19
<i>obr. č. 11 - stolní odporová svářečka Tecna 2103 a její základní rozměry [9]</i>	20
<i>obr. č. 12 - stolní odporová svářečka CEA BSW 25 [10]</i>	22
<i>obr. č. 13 - základní rozměry stroje CEA BSW 25 [10]</i>	22
<i>obr. č. 14 - stolní odporová svářečka P.E.I. POINT PFB 126 [11]</i>	23
<i>obr. č. 15 - základní rozměry stroje P.E.I.–POINT SRL PFB 126 [11]</i>	24
<i>obr. č. 16 - funkční řez přímočarého dvojčinného dvupolohového pneumatického válce [17]</i>	28
<i>obr. č. 17 - Pneumatické válce FESTO ADN dle normy ISO 21287 a FESTO DSBC dle ISO 15552 [17]</i>	28
<i>obr. č. 18 - funkční řez a zobrazení dvupolohového pneumatického válce a integrovaným vedením FESTO DFM [17]</i>	29
<i>obr. č. 19 - funkční řez a zobrazení dvupolohového pneumatického válce a integrovaným vedením FESTO ADNGF [17]</i>	30
<i>obr. č. 20 - funkční řez a zobrazení třípolohového pneumatického válce FESTO ADNM [17]</i>	31
<i>obr. č. 21 –vodící jednotka Stránský a Petržík typ 210, lineární vedení HIWIN WEH a kluzné pouzdro MISUMI MDCA a vodící tyč PSFAG [19][23]</i>	32
<i>obr. č. 22 – znázornění a popis sestavy horního ramene varianty č.1</i>	33
<i>obr. č. 23 - znázornění a popis řezu sestavy horního ramene varianty č.2</i>	34

<i>obr. č. 24 - znázornění provedení a hlavní rozměry rámu DW003B.....</i>	<i>36</i>
<i>obr. č. 25 - znázornění provedení a hlavní rozměry rámu DW003D</i>	<i>37</i>
<i>obr. č. 26 - znázornění provedení a hlavní rozměry rámu DW003E.....</i>	<i>38</i>
<i>obr. č. 27 – definování zatěžované plochy rámu B</i>	<i>40</i>
<i>obr. č. 28 – znázornění objemové sítě a zatížení varianty rámu B.....</i>	<i>40</i>
<i>obr. č. 29 – výsledky napěťové analýzy dle kritéria von Mises varianty rámu B</i>	<i>41</i>
<i>obr. č. 30 – detail kritického místa napěťové analýzy varianty rámu B.....</i>	<i>41</i>
<i>obr. č. 31 – výsledky analýzy celkového posunutí varianty rámu B.....</i>	<i>41</i>
<i>obr. č. 32 – definování zatěžovaných ploch rámu D</i>	<i>42</i>
<i>obr. č. 33 – znázornění objemové sítě a zatížení varianty rámu D</i>	<i>42</i>
<i>obr. č. 34 – výsledky napěťové analýzy dle kritéria von Mises varianty rámu D.....</i>	<i>43</i>
<i>obr. č. 35 – detail kritického místa napěťové analýzy varianty rámu D</i>	<i>43</i>
<i>obr. č. 36 – výsledky analýzy celkového posunutí varianty rámu D</i>	<i>43</i>
<i>obr. č. 37 – znázornění objemové sítě a zatížení varianty rámu E.....</i>	<i>44</i>
<i>obr. č. 38 – výsledky napěťové analýzy dle kritéria von Mises varianty rámu E</i>	<i>44</i>
<i>obr. č. 39 - detail kritického místa napěťové analýzy varianty rámu E</i>	<i>44</i>
<i>obr. č. 40 - výsledky analýzy celkového posunutí varianty rámu E.....</i>	<i>45</i>
<i>obr. č. 41 - náčrt působení sil šroubového spoje svařence horního ramene a rámu stroje</i>	<i>46</i>
<i>obr. č. 42 - náčrt šroubového spoje svařence spodního ramene a rámu stroje</i>	<i>50</i>
<i>obr. č. 43 - elektrický sekundární obvod a obvod chlazení</i>	<i>52</i>
<i>obr. č. 44 - chlazení elektrody a označení směru proudění kapaliny.....</i>	<i>53</i>
<i>obr. č. 45 - umístění hlavních pneumatických prvků na stroji</i>	<i>53</i>
<i>obr. č. 46 - krytování stroje.....</i>	<i>54</i>
<i>obr. č. 47 - krytování a ovládání stroje.....</i>	<i>55</i>
<i>obr. č. 48 - úprava rozměrů rámu.....</i>	<i>56</i>
<i>obr. č. 49 - konečná vizualizace stroje.....</i>	<i>60</i>

SEZNAM TABULEK

Tab.č. 1 – parametry bodového svařování – měkký a tvrdý režim [4]	17
Tab.č. 2 - základní technické parametry a prodejní cena Tecna 2101N-2103N [9]	21
Tab.č. 3 - základní technické parametry a prodejní cena svářečky CEA BSW 25[10]	22
Tab.č. 4 - základní technické parametry a prodejní cena svářečky P.E.I.–POINT SRL PFB 126[11]	24
Tab.č. 5 - návrhy pneumatických válců dle dle normy ISO 21287 a ISO 15552 [17][18][19][20][21] ..	29
Tab.č. 6 - návrhy pneumatických válců s integrovaným vedením [17][18][19]	30
Tab.č. 7 - návrhy třípolohových pneumatických válců [17][20]	31
Tab.č. 8 - návrhy lineárních vedení [17][19][22][23]	32
Tab.č. 9 - hlavní parametry zvoleného pneumatického válce[17]	34
Tab.č. 10 - hlavní parametry zvolené vodících tyčí [23]	35
Tab.č. 11 - technické parametry transformátoru EXPERT 9/4-0-3,6-25-400-TM [24]	35
Tab.č. 12 - porovnání parametrů rámu.....	39
Tab.č. 13 - parametry materiálu použitého při výpočtu [26].....	40
Tab.č. 14 - porovnání výsledků výpočtů MKP rámu.....	45
Tab.č. 15 - výpočetní parametry šroubu M8x35-10.9 pro předpětí a pevnostní výpočet šroubového spoje [6][28]	47
Tab.č. 16 - výpočetní parametry šroubu M10x35-12.9 pro utahovací moment a pevnostní výpočet šroubového spoje [6][28]	49
Tab.č. 17 - vypočtený utahovací moment a parametry pevnostní kontroly pro šroub M10x35-12.9	50
Tab.č. 18 - vstupní výpočetní parametry, parametry šroubu M10x35-12.9 pro výpočet předpětí a pevnostní výpočet šroubového spoje [6][28]	51
Tab.č. 19 – vypočtené předpětí, utahovací moment a parametry pevnostní kontroly pro šroub M10x30-12.9	51
Tab.č. 20 - grafické znázornění výsledků napětíové analýzy pro různé tloušťky bočnic.....	57
Tab.č. 21 - porovnání výsledků napětí a posunutí pro různé tloušťky bočnic	58
Tab.č. 22 - porovnání celkové hmotnosti rámu pro různé tloušťky bočnic	58
Tab.č. 23 - odhad nákladů	59

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1: Doporučené hodnoty svařovacích sil, proudu a času [37]
- Příloha 2: Katalogový výkres transformátoru, EXPERT TE 25/0136-0
- Příloha 3: Výkresová dokumentace - výkres sestavení stroje
- Příloha 4: Schéma pneumatického obvodu stroje
- Příloha 5: 3D model (obsah CD)

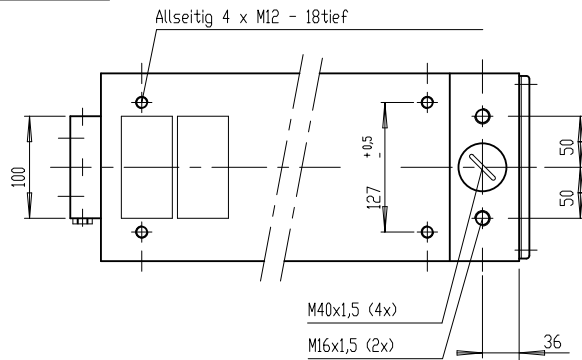
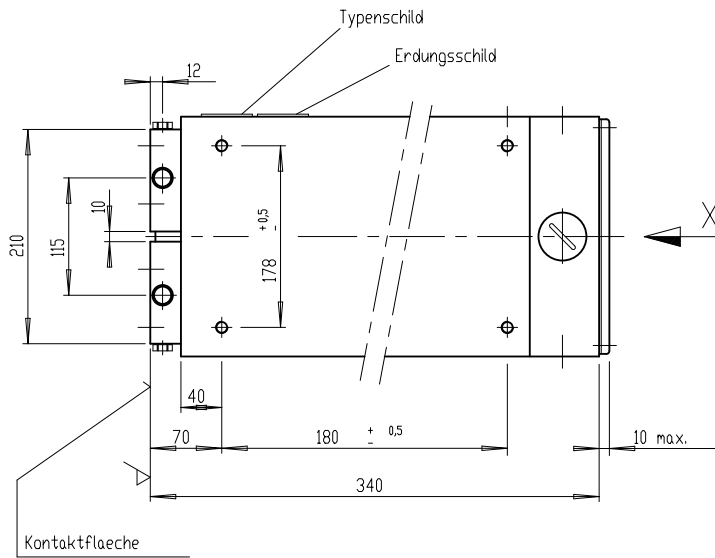
2. Doporučené parametry odporové bodové svařování

Referenční hodnoty pro bodové svařování ocelových plechů do 0,3%C

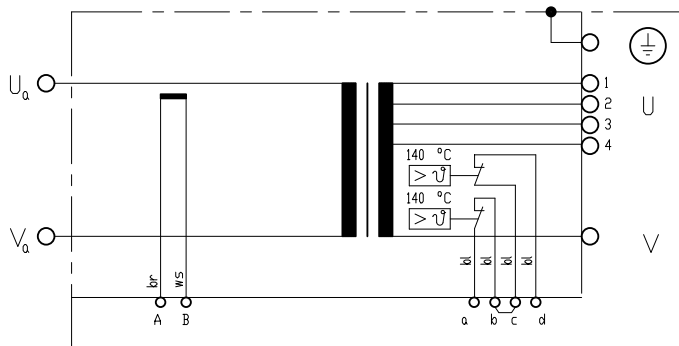
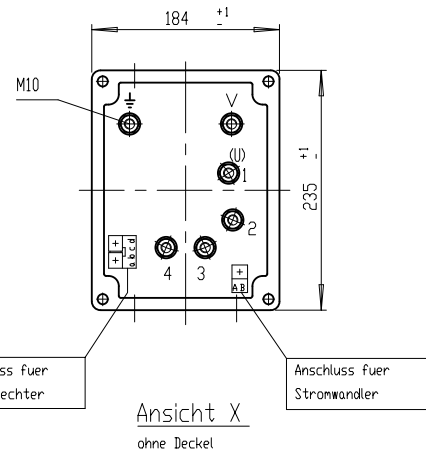
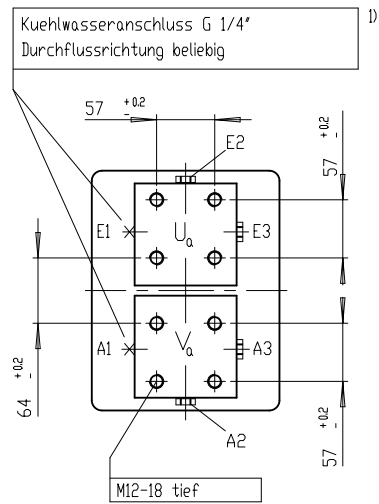
Tloušťka plechu (tenčí plech)	Rozměry elektrody			Elektrodová síla	Svařovací čas 1 Periode = 20ms	Svařovací proud	Min. průměr svaru	Min. rozestupy svarů
	mm	(d ₁)mm	(d ₂)mm				(r)mm	daN
							(d)mm	(a ₁)mm
0,5	12,5	5	50	150	5	6	3,5	10
0,8	12,5	6	75	220	7	10	4,5	16
1,0	12,5	6	75	300	9	12	4,7	20
1,25	12,5	6	75	370	10	13	5,2	25
1,5	12,5	6	75	440	12	14	5,4	30
1,75	12,5	6	75	510	14	15	6,2	32
2,0	19	6	75	580	16	16	6,4	35
2,25	19	8	75	650	20	17	6,6	38
2,5	19	8	75	720	24	18	6,8	42
2,75	19	8	75	790	26	19	7,0	46
3,0	19	8	75	850	30	20	7,2	50
3,5	19	8	75	900	50	21	7,4	54
4,0	25	12	90	950	60	22	8,2	58
4,5	25	12	90	1.000	65	23	8,6	62
5,0	25	12	90	1.300	75	24	9,0	66
5,5	25	12	90	1.700	85	25	9,4	70
6,0	25	12	90	2.000	95	26	9,8	74

Referenční hodnoty pro bodové odporové svařování hliníkových plechů

Tloušťka plechu (tenčí plech)	Rozměry elektrody			Elektrodová síla	Svařovací čas 1 Periode = 20ms	Svařovací proud	Min. průměr svaru	Min. rozestupy svarů
	mm	(d ₁)mm	(d ₂)mm				(r)mm	daN
							(d)mm	(a ₁)mm
0,5	12,5	5	75	170	3	18	3,5	10
0,8	12,5	6	75	180	3	24	4,5	16
1,0	12,5	6	75	190	3	30	4,7	20
1,25	12,5	6	75	200	3	32	5,2	25
1,5	12,5	6	75	210	3	35	5,4	30
1,75	12,5	6	75	240	5	38	6,2	32
2,0	19	6	90	260	5	40	6,4	35
2,25	19	8	90	300	6	45	6,6	38
2,5	19	8	90	320	6	49	6,8	42
2,75	19	8	90	340	7	54	7,0	46
3,0	19	8	90	360	7	58	7,2	50
3,5	19	8	90	400	8	65	7,4	54
4,0	25	12	90	450	10	70	8,2	58
4,5	25	12	90	500	10	76	8,6	62
5,0	25	12	90	550	11	85	9,0	66
5,5	25	12	90	600	11	98	9,4	70
6,0	25	12	90	650	12	110	9,8	74



$$\sqrt{\quad} = \sqrt{R_a \ 3,2}$$



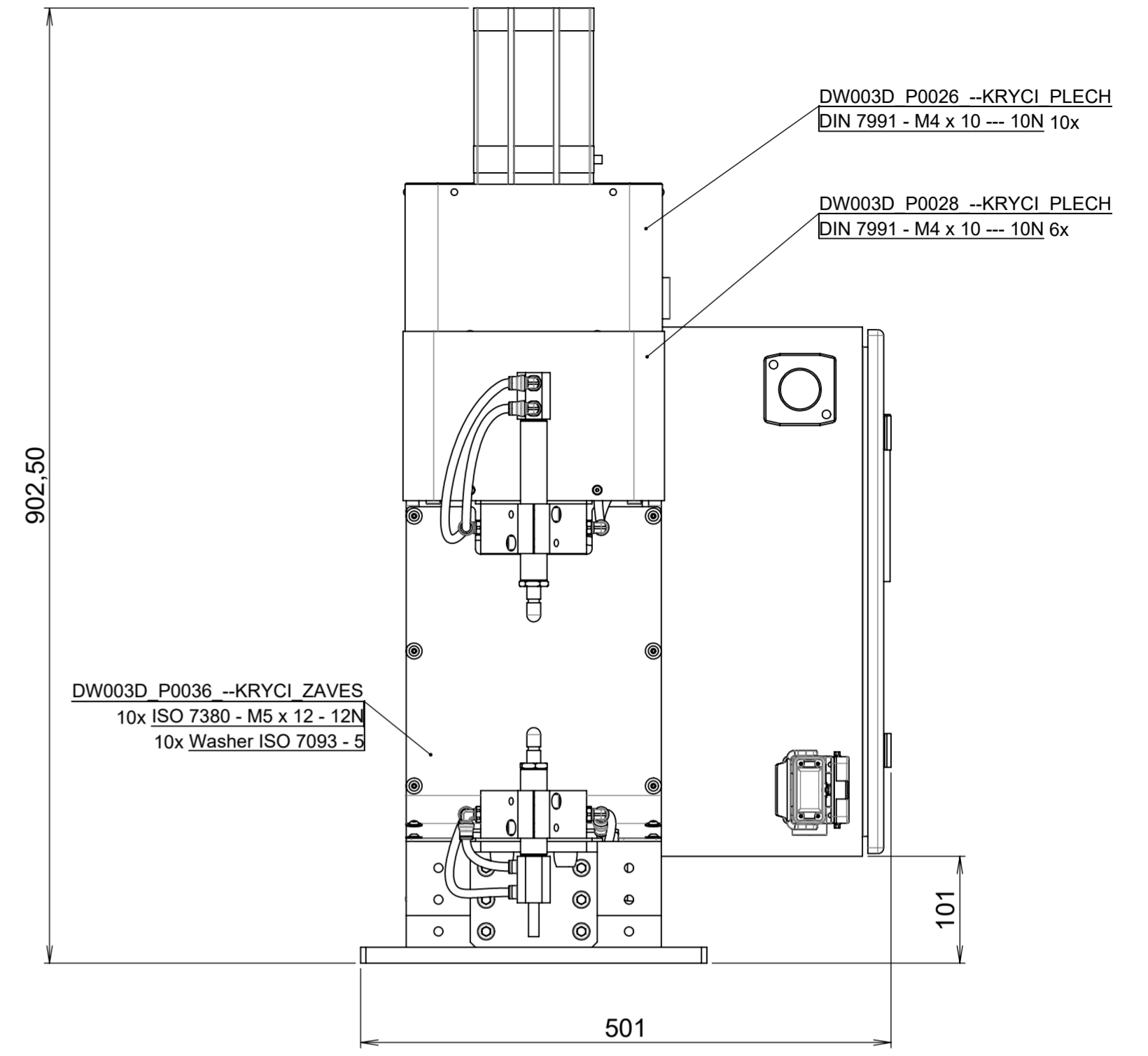
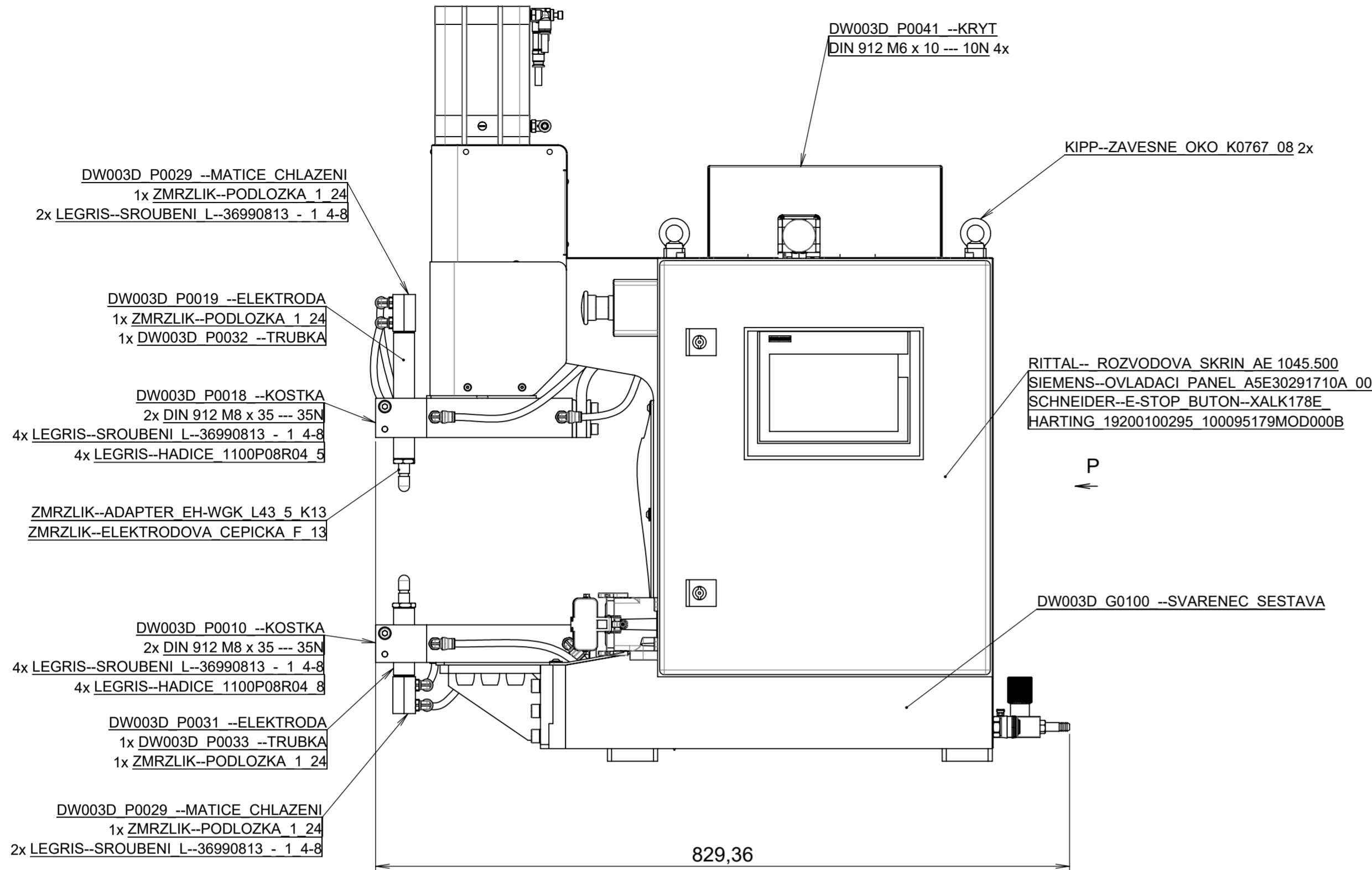
Klemme A-B : Stromwandler sekundae
Messspannung $U_{AB} = 150\text{mV/kA} \pm 3,0\%$ an 1kOHM Buerde

Klemme a-b : 1 Temperaturwaechter p rimaer 140°C
Klemme c-d : 1 Temperaturwaechter p rimaer 140°C
Temperaturwaechter ausserhalb der Vergussmasse, in den Kl emmen, (b-c) in Reihe geschaltet.

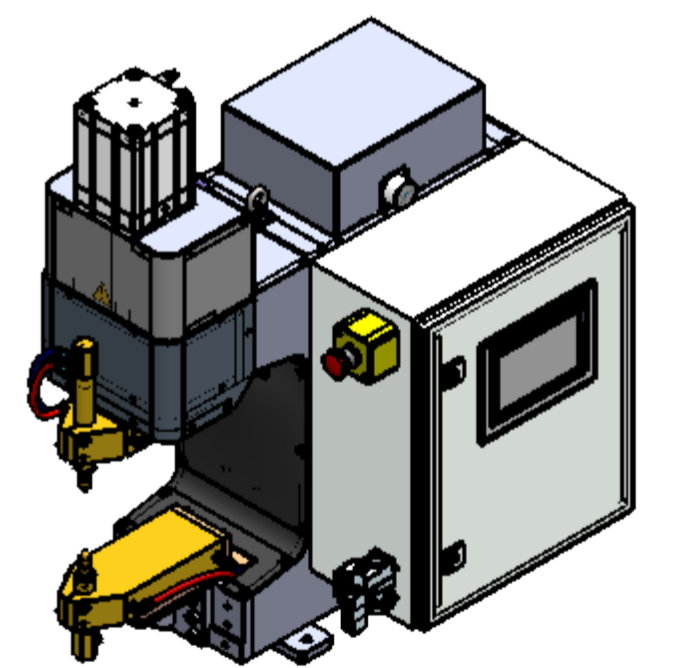
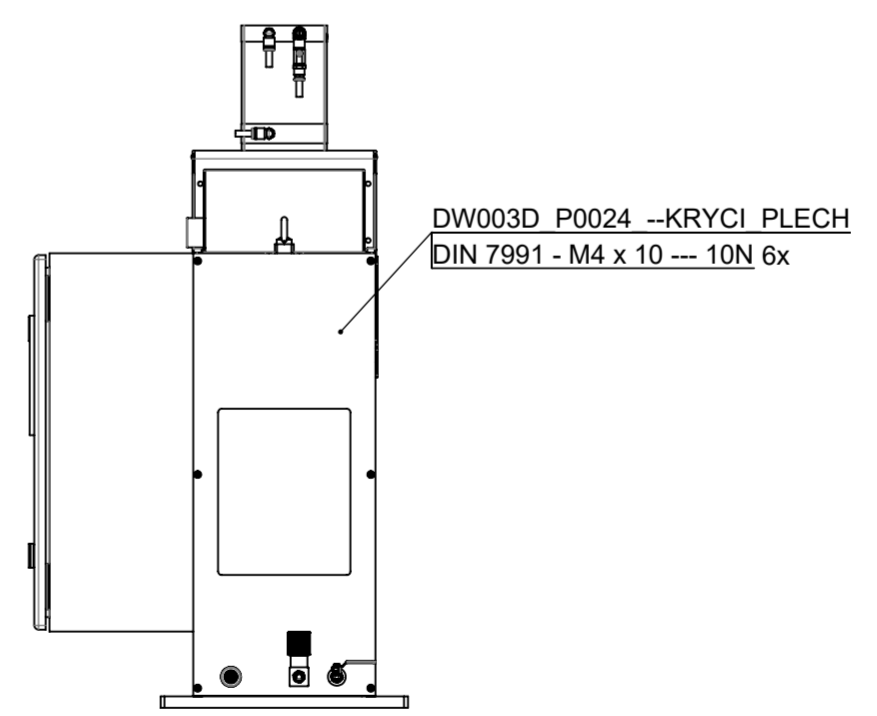
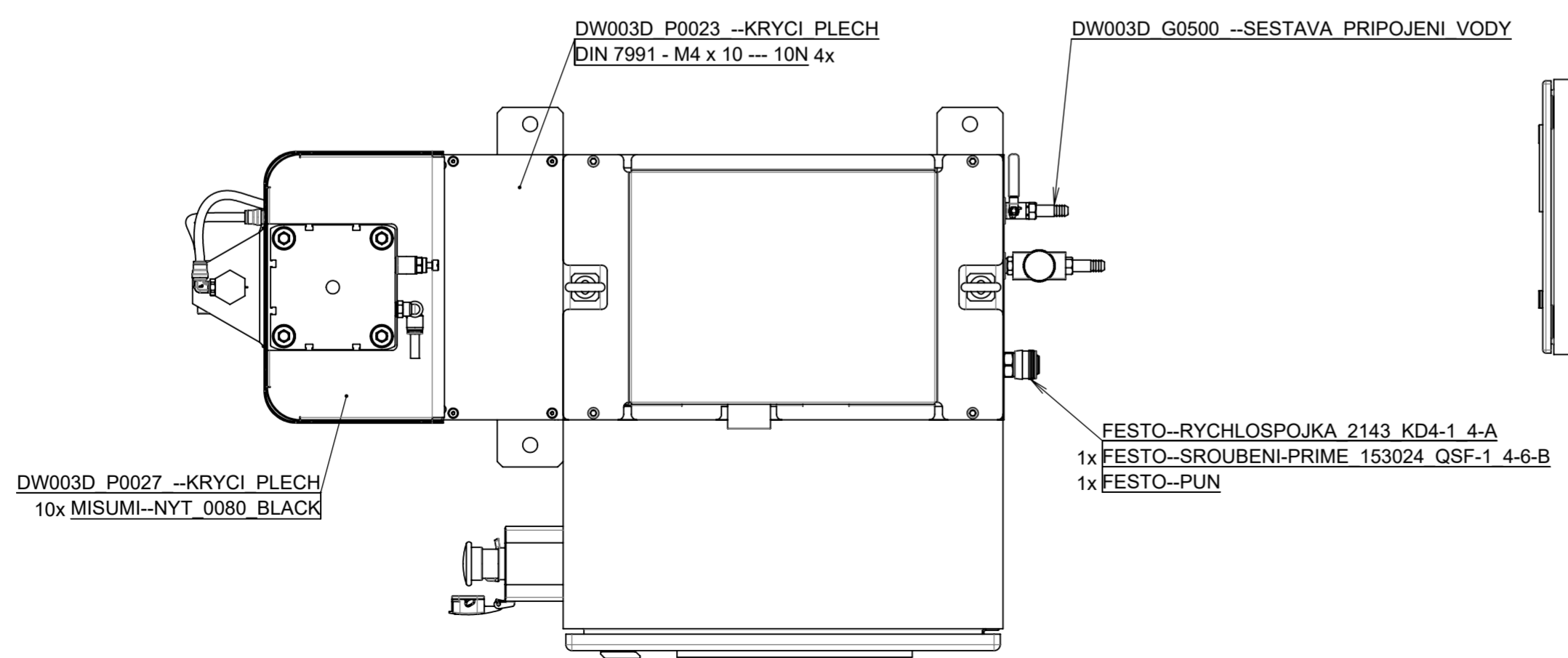
1) Der Kuehlwasseranschluss kann auf Kundenwunsch modifiziert gestaltet werden. Die gewuenschte Kombination E../A.. ist bei der Be stellung anzugeben. (siehe Beiblatt t SKT 0034)

Technische Aenderungen vorbehalten

Norm: EXPERT-Standard Typ:	Primaer- spannung U_{IN} / V	Frequenz f / Hz	Primaerdauer- strom max I_{1P} / A	Kurzschluss-Werte			Teile-Nummer.:			
				Spannung $U_{cc} \%$	Leistungsf. $\cos \varphi_{cc}$	Strom I_{2cc} / kA				
9/4-0-3,6-25-220-TM	220	50	80							
9/4-0-3,6-25-380-TM	380	50	47							
9/4-0-3,6-25-400-TM	400	50	44	7,1	0,65	69	TE 25/0136-0			
9/4-0-3,6-25-415-TM	415	50	43							
9/4-0-3,6-25-500-TM	500	50	35							
Sek-Spannung U_{20} / V	Stufe 1		Stufe 2		Stufe 3		Stufe 4		Stufe 5	
	2,5		2,8		3,2		3,6			
Sek-Nennstrom $I_{50} / kA; X= 50\%$	6,9	Kuehlwassermenge min: 4 l/min Druckabfall max: 0,6 bar			Transformator Widerstandsschweissen $S_{50} / kVA = 25; \text{ bei } X = 50\%$					
Sek-Dauerstrom $I_{2P} / kA; X= 100\%$	4,9	Fuer Masse ohne Toleranzangaben gelt en Abmasse nach DIN 2768-mittel								
Dauerleistung $S_p / kVA; X= 100\%$	18	Schutzmassnahmen: DIN: VDE 0113/86; VDE 0545/EN50063 Normen: DIN 44766; 40050; ISO 5826; VDE								
Schutzart		Isolations- klasse	Masse m / kg	Farbe RAL8001	Ersatz fuer:	2006	Datum	Name	EXPERT Transformatorrenbau GMBH D-64653 LDRSCH	
Primaerseite	Sekundaerseite					Gez.	24.11.	PK		
IP 54	IP 00	F	53	braun						



POHLED P
MÉRITKO 1 : 10



Přesnost ISO 2768-mk Tolerování ISO 9015 Promítání √ = Ra Datum: 13.04.2017 Konstruoval: Kreslil: Havlík P. Tech. kontrola: Schválil:	Hmotnost (kg): 138,288 Měřítko: 1:5 Formát: A2	Model: Projekt: Název: STOLNÍ BODOVÁ SVÁŘEČKA Číslo výkresu: DW003D_E0000 -- STOLNÍ_BODOVA_SVARECKA CAD System SolidWorks
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI Fakulta strojní		Listy: 3 / 1

FESTO VALEC 539698 ADN-100-A-P-A-80Z1-100Z2
 1x FESTO--SKRTICI VENTIL 151169 GRLA-1 8-RS-B
 1x FESTO--RUCNI OVLADANI 184585 HAB-1 8
 1x FESTO--SROUBENI PRIME 186098 QS-G1 8-8
 2x FESTO--L SROUBENI 186119 QSL-G1 8-8
 3x FESTO--PUN

POHLED BEZ KRYTOVÁNÍ A BOČNICE

DW003D P0005 --PAS
 DIN 912 M8 x 40 --- 28N 4x
 PODLOZKA M8 TYP S SCHNORR DIN 53070 4x
 DIN 912 M12 x 35 --- 35N 4x
 PODLOZKA M12 TYP S SCHNORR DIN 53070 4x

DW003D P0039 --KRYCI ZAVES
 DIN 912 M12 x 20 --- 20N 2x
 Tapping Screw ISO 14585 - ST4.2 x 9.5-C-N 2x
 ISO 10669-5.4-N 2x

DW003D G0300 --SVARENEC SESTAVA
 DIN 912 M10 x 30 --- 30N
 PODLOZKA M10 TYP S SCHNORR DIN 53070

DW003D P0035 --DESKA
 1x DW003D P0020 --IZOLACE
 6x DIN 912 M8 x 40 --- 28N
 6x KOPTA--ISOLIERBUCHSE--M8 Gr08

DW003D P0007 --DESKA

DW003D P0004 --DESKA

EXPERT--TRANSFORMATOR--MB TE025 136
 4x DIN 912 M12 x 35 --- 35N
 4x DW003D G0100 --SVARENEC SESTAVA

DW003D G0200 --SVARENEC SESTAVA
 6x DIN 912 M8 x 40 --- 28N
 6x KOPTA--ISOLIERBUCHSE--M8 Gr08
 12x DIN 912 M10 x 30 --- 30N
 16x PODLOZKA M10 TYP S SCHNORR DIN 53070

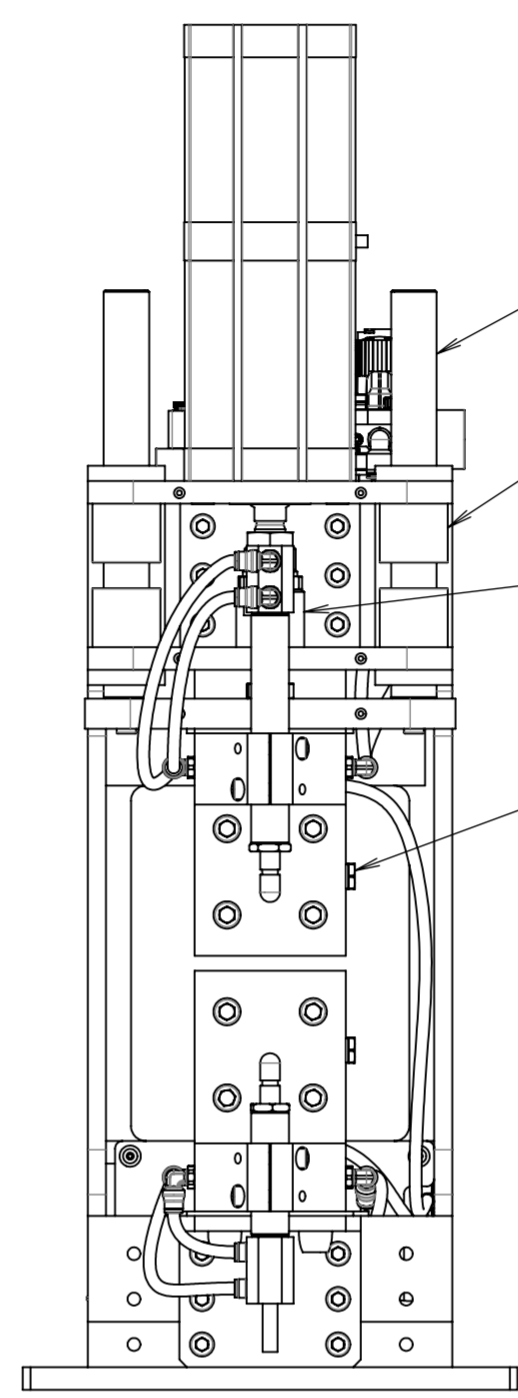
DW003D P0011 --PAS
 4x DIN 912 M8 x 30 --- 30N
 4x PODLOZKA M8 TYP S SCHNORR DIN 53070
 4x DIN 912 M12 x 25 --- 25N
 4x PODLOZKA M12 TYP S SCHNORR DIN 53070

DW003D P0037 --KRYCI ZAVES
 ISO 7380 - M5 x 12 - 12N 2x
 ISO 10669-5.4-N 2x
 Tapping Screw ISO 14585 - ST4.2 x 9.5-C-N 2x
 ISO 10669-5.4-N 2x

DW003D P0038 --KRYCI PLECH
 Tapping Screw ISO 14585 - ST4.2 x 9.5-C-N 4x

FESTO--SESTAVA VENTILOVY BLOK TLUMIC FILTR

FESTO--SESTAVA UPRAVA VZDUCHU



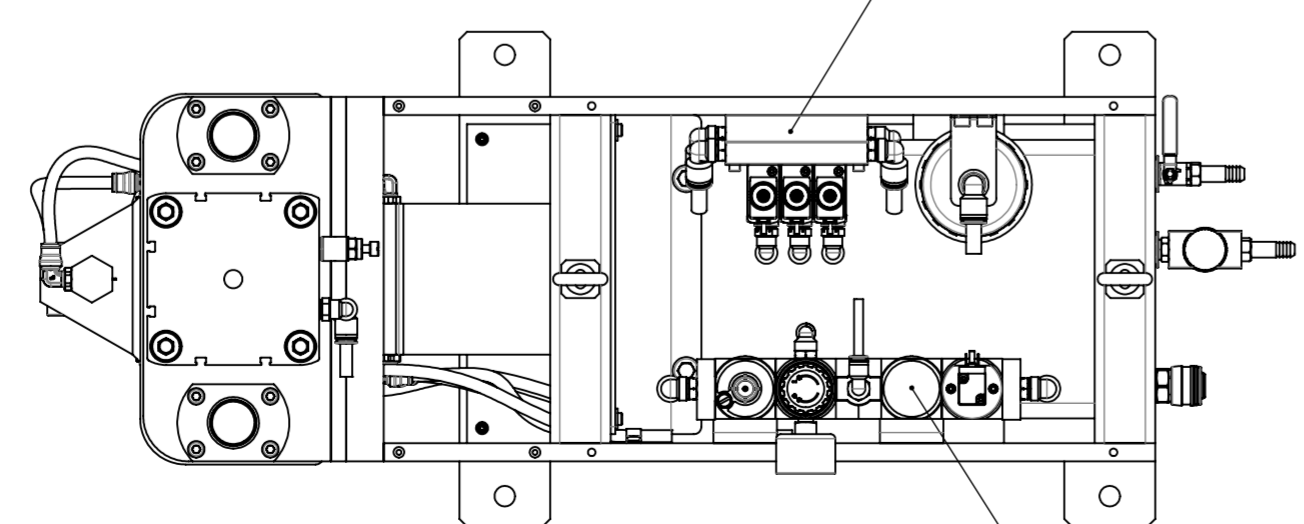
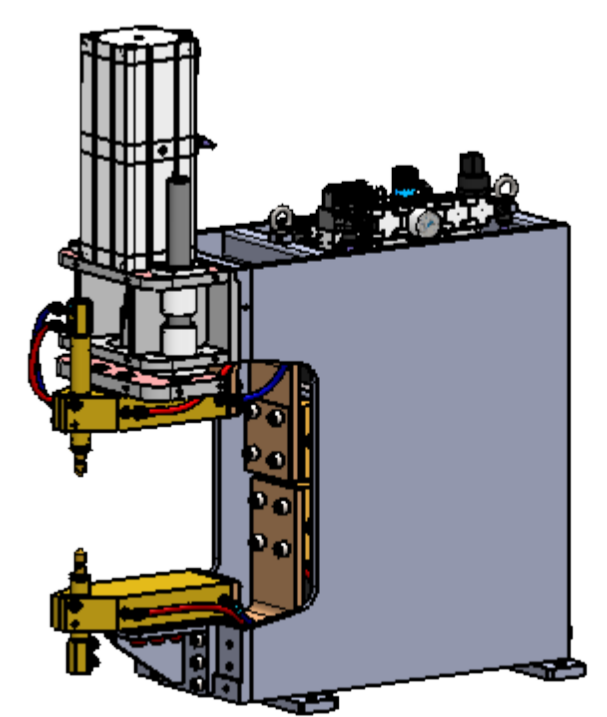
MISUMI--VODICI TYC PSFAG30-270-F10-P12-MD8
 PODLOZKA M8 TYP S SCHNORR DIN 53070 1x
 DIN 912 M8 x 30 --- 30N 1x

MISUMI--POUZDRO-KLUZNE MDCA30
 DIN 912 M6 x 16 --- 16N 4x

FESTO PRUZNA SPOJKA FK-M20X15

LEGRIS--ZATKA G14 0200 13 00

M 1:10



Přesnost ISO 2768-mK Tolerování ISO 9015 Promítání √ = Ra Kreslí: Havlík P. Tech. kontrola: Schválil:	Hmotnost (kg): 138.288 Datum: 13.04.2017	Měřítko: 1:5 Formát: A2	Model: Projekt: Název: STOLNÍ BODOVÁ SVÁŘEČKA Číslo výkresu: DW003D E0000 -- STOLNÍ BODOVÁ SVÁŘEČKA CAD System SolidWorks
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI Fakulta strojní			Listy: 3/2

77	ISO 10669-5.4-N				ISO 10669	6
76	Washer ISO 7093 - 5				ISO 7093	10
75	DIN 6340-13				DIN 6340	4
74	PODLOZKA_M12_TYP_S_SCHNORR_DIN_53070					8
73	PODLOZKA_M10_TYP_S_SCHNORR_DIN_53070					16
72	PODLOZKA_M8_TYP_S_SCHNORR_DIN_53070					14
71	DIN 912 M12 x 35 --- 35N				DIN 912	8
70	DIN 912 M12 x 25 --- 25N				DIN 912	4
69	DIN 912 M12 x 20 --- 20N				DIN 912	2
68	DIN 912 M10 x 30 --- 30N				DIN 912	12
67	DIN 912 M8 x 40 --- 28N				DIN 912	16
66	DIN 912 M8 x 35 --- 35N				DIN 912	4
65	DIN 912 M8 x 30 --- 30N				DIN 912	6
64	DIN 912 M10 x 20 --- 20N				DIN 912	4
63	DIN 912 M6 x 16 --- 16N				DIN 912	16
62	DIN 912 M6 x 10 --- 10N				DIN 912	10
61	ISO 7380 - M5 x 12 - 12N				ISO 7380	12
77	DIN 912 M4 x 40 --- 20N				DIN 912	4
59	DIN 7991 - M4 x 10 --- 10N				DIN 7991	26
76	Tapping Screw ISO 14585 - ST4.2 x 9.5-C-N				ISO 14585	13
57	MISUMI--NYT_0080_BLACK					10
56	LEGRIS--ZATKA_G14_0200_13_00					2
55	LEGRIS--HADICE_1100P08R04					1
54	LEGRIS--SROUBENI_L--36990813_-_1_4-8					14
53	FESTO--HADICE--PUN-8X1,25-BL					3
52	FESTO--HADICE--PUN-6X1,0-BL					1
51	FESTO--L_SROUBENI_186119_QSL-G1_8-8					2
50	FESTO--SROUBENI_PRIME_186098_QS-G1_8-8					1
49	FESTO--SROUBENI-PRIME_153024_QSF-1_4-6-B					1
48	FESTO--SKRTICI_VENTIL_151169_GRLA-1_8-RS-B					1
47	FESTO--RUCNI_OVLADANI_184585_HAB-1_8					1
46	FESTO--RYCHLOSPOJKA_2143_KD4-1_4-A					1
45	FESTO_VALEC_539698_ADNM-100-A-P-A-80Z1-100Z2					1
44	FESTO_PRUZNA_SPOJKA_FK-M20X15					1
43	FESTO--SESTAVA_UPRAVA_VZDUCHU					1
42	FESTO--SESTAVA_VENTILOVY_BLOK_TLUMIC_FILTR					1
41	SCHNEIDER--E-STOP_BUTON--XALK178E_					1
40	HARTING_19200100295_100095179MOD000B					1
39	SIEMENS--OVLADACI_PANEL_A5E30291710A_002					1
38	RITTAL--ROZVODOVA_SKRIN_AE_1045.500					1
37	KIPP--ZAVESNE_OKO_K0767_08					2
36	MISUMI--KABELOVA_SPONA_COPS5					6
35	MISUMI--POUZDRO-KLUZNE_MDCA30					4
34	MISUMI--VODICI_TYC_PSFAG30-270-F10-P12-MD8					2
33	EXPERT--TRANSFORMATOR--MB_TE025_136					1
32	KOPTA--ISOLIERBUCHSE--M8_Gr08					12
Poz	Název	xxx	Polotovar	Materiál	Norma	Č. výkresu KS

31	ZMRZLIK--ELEKTRODOVA_CEPICKA_F_13					2
30	ZMRZLIK--PODLOZKA_1_24			CuCr1Zn	-	4
29	ZMRZLIK--ADAPTER_EH-WGK_L43_5_K13			CuCr1Zn	-	2
28	DW003D_P0041_--KRYT	PL	1-463x620	11 320	-	1
27	DW003D_P0039_--KRYCI_ZAVES			Silikon. pryž	-	1
26	DW003D_P0038_--KRYCI_PLECH	PL	1-211x419	11 320	-	1
25	DW003D_P0037_--KRYCI_ZAVES			Silikon. pryž	-	1
24	DW003D_P0036_--KRYCI_ZAVES			Silikon. pryž	-	1
23	DW003D_P0035_--DESKA		25-121x245	11 375	-	1
22	DW003D_P0033_--TRUBKA		TR KR 6x2-130	CuZn39Pb3	-	1
21	DW003D_P0032_--TRUBKA		TR KR 6x2-200	CuZn39Pb3	-	1
20	DW003D_P0031_--ELEKTRODA		Ø25-80	CuZn39Pb3	-	1
19	DW003D_P0029_--MATICE_CHLAZENI		6 HR 27 - 61	CuZn39Pb3	-	2
18	DW003D_P0028_--KRYCI_PLECH	PL	1-168x547	11 320	-	1
17	DW003D_P0027_--KRYCI_PLECH	PL	0,5-268x303	11 320	-	1
16	DW003D_P0026_--KRYCI_PLECH	PL	1-260x576	11 320	-	1
15	DW003D_P0024_--KRYCI_PLECH	PL	1-241x585	11 320	-	1
14	DW003D_P0023_--KRYCI_PLECH	PL	1-110x241	11 320	-	1
13	DW003D_P0020_--IZOLACE		3-130x160	Textit E	-	1
12	DW003D_P0019_--ELEKTRODA		Ø25-150	CuZn39Pb3	-	1
11	DW003D_P0018_--KOSTKA		100x45-245	CuZn39Pb3	-	1
10	DW003D_P0012_--IZOLACE		3-130x160	Textit E	-	1
9	DW003D_P0011_--PAS	PL	12-100x398	Cu-HCP	-	1
8	DW003D_P0010_--KOSTKA	-	100x45-245	CuZn39Pb3	-	1
7	DW003D_P0007_--DESKA	PL	5-100x50	Cu-HCP	-	2
6	DW003D_P0005_--PAS			Cu 99,9E	-	1
5	DW003D_P0004_--DESKA	PL	5-100x100	Cu-HCP	-	2
4	DW003D_G0500_--SESTAVA_PRIPOJENI_VODY					1
3	DW003D_G0300_--SVARENEC_SESTAVA				-	1
2	DW003D_G0200_--SVARENEC_SESTAVA				-	1
1	DW003D_G0100_--SVARENEC_SESTAVA				-	1
Poz	Název	xxx	Polotovar	Materiál	Norma	Č. výkresu KS

Přesnost ISO 2768-mK
Tolerování ISO 8015
Promítání

✓ = Ra

Hmotnost (kg):

Měřítko: 1:5

Datum: 13.04.2017

Formát: A3

Konstruoval:

Kreslil: Havlík P.

Tech. kontrola:

Schválil:

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

Model

Projekt

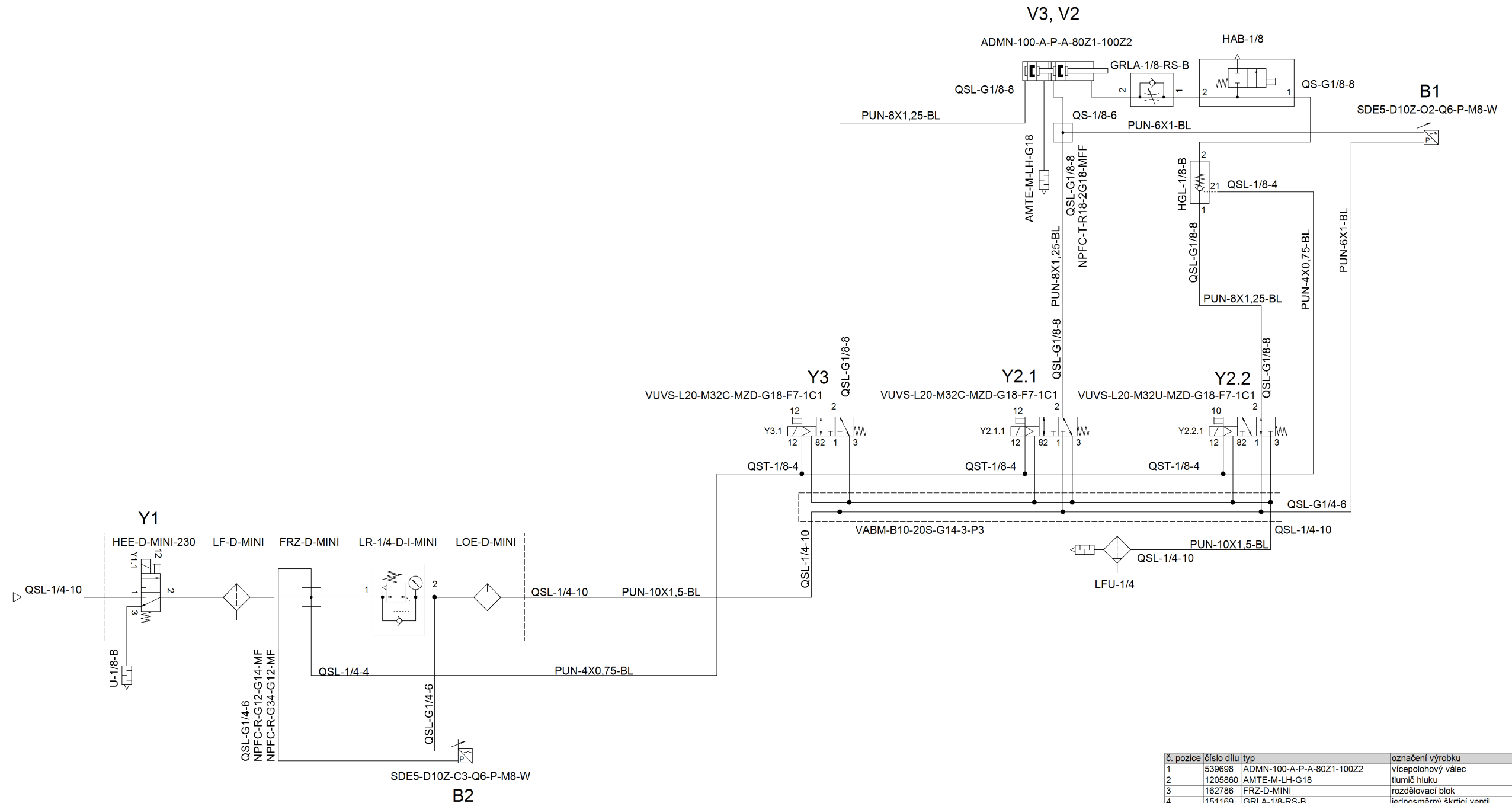
Název:

STOLNÍ BODOVÁ SVÁŘEČKA

Číslo výkresu: DW003D_E0000_STOLNI_--BODOVA_SVARECKA

CAD System SolidWorks

Listy: 3 / 3



č. pozice	číslo dílu	typ	označení výrobku	dodavatel	ks
1	539698	ADMN-100-A-P-A-80Z1-100Z2	vícepolohový válec	Festo	1
2	1205860	AMTE-M-LH-G18	tlumič hluku	Festo	1
3	162786	FRZ-D-MINI	rozdělovací blok	Festo	1
4	151169	GRLA-1/8-RS-B	jednosměrný škrticí ventil	Festo	1
5	184585	HAB-1/8	ruční ovládání	Festo	1
6	172958	HEE-D-MINI-230	spínací ventil	Festo	1
7	530030	HGL-1/8-B	Piloted check valve	Festo	1
8	192551	LF-D-MINI	filtr	Festo	1
9	539132	LFU-1/4	tlumič hluku s filtrem	Festo	1
10	192575	LOE-D-MINI	maznice	Festo	1
11	192300	LR-1/4-D-I-MINI	redukční ventil	Festo	1
12	8030311	NPFC-R-G12-G14-MF	redukce	Festo	1
13	8030313	NPFC-R-G34-G12-MF	redukce	Festo	1
14	8030241	NPFC-T-R18-2G18-MFF	T-šroubení	Festo	1
15	159668	PUN-10X1,5-BL	hadice z plastu	Festo	2
16	159662	PUN-4X0,75-BL	hadice z plastu	Festo	2
17	159664	PUN-6X1-BL	hadice z plastu	Festo	1
18	153002	QS-1/8-6	nástrčné šroubení	Festo	1
19	186098	QS-G1/8-8	nástrčné šroubení	Festo	1
20	153051	QSL-1/4-10	L-šroubení s nástrčnou koncovkou	Festo	5
21	190659	QSL-1/4-4	L-šroubení s nástrčnou koncovkou	Festo	1
22	153045	QSL-1/8-4	L-šroubení s nástrčnou koncovkou	Festo	1
23	186118	QSL-G1/4-6	L-šroubení s nástrčnou koncovkou	Festo	3
24	186119	QSL-G1/8-8	L-šroubení s nástrčnou koncovkou	Festo	6
25	153106	QST-1/8-4	T-šroubení s nástrčnými koncovkami	Festo	3
26	529027	SDE5-D10Z-C3-Q6-P-M8-W	čidlo tlaku	Festo	1
27	529027	SDE5-D10Z-O2-Q6-P-M8-W	čidlo tlaku	Festo	1
28	6841	U-1/8-B	tlumič hluku	Festo	1
29	576466	VABM-B10-20S-G14-3-P3	připojovací blok	Festo	1
30	575273	VUVS-L20-M32C-MZD-G18-F7-1C1	elektromagnetický ventil	Festo	2
31	575275	VUVS-L20-M32U-MZD-G18-F7-1C1	elektromagnetický ventil	Festo	1

č.	změny	datum	jméno	uvolnění

datum 21.4.2017
 jméno HAVLÍK
 TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Fakulta strojní

projekt	DW003D	zařízení	ODP. SVĚŘEČKA
titulek	DW003D_PNEUMATICKÉ SCHEMA	místo	
		měřítka	list 1
			of 1