

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Strojírenská technologie - technologie obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Racionalizace výroby zapouzdřených vodičů

Autor: **Bc. Ondřej LUKUCZ**

Vedoucí práce: **Ing. Jiří VYŠATA, Ph.D.**

Akademický rok 2013/2014

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ondřej LUKUCZ**
Osobní číslo: **S12N0062K**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie - technologie obrábění**
Název tématu: **Racionalizace výroby zapouzdřených vodičů**
Zadávací katedra: **Katedra technologie obrábění**

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

1. Úvod
2. Charakteristika problému
3. Popis stávající situace
4. Návrh řešení problému
5. Technicko-ekonomické zhodnocení

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

LHOTSKÝ Oldřich. Organizace a normování práce v podniku. Praha: ASPI, 2005. ISBN 80-7357-095-5.

HŮTTLOVÁ Eva. Organizace práce v podniku. Praha: Vysoká škola ekonomická, 1999. ISBN 80-7079-778-9.

KADLČÁKOVÁ Anna. Pracovní inženýrství. Praha: ČVUT, 1993. ISBN 80-01-00968-8

ZELENKA Antonín, PRECLÍK Vratislav. Racionalizace výroby. Praha: ČVUT, 2004. ISBN 80-01-02870-4


LÍBAL V., A KOLEKTIV, Organizace a řízení výroby. PRAHA: SNTL 1989

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jiří Vyšata, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění
Konzultant diplomové práce: **Ing. Jiří Vyšata, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění

Datum zadání diplomové práce: **7. října 2013**
Termín odevzdání diplomové práce: **23. května 2014**


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan




Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 7. listopadu 2013

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat především vedoucímu mé diplomové práce, Ing. Jiřímu Vyšatovi, Ph.D., za ochotu, trpělivost a cenné rady při zpracování tématu.

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....
podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	Příjmení Lukucz	Jméno Ondřej	
STUDIJNÍ OBOR	„Strojírenská technologie – technologie obrábění“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Vyšata, Ph.D.	Jméno Jiří	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Racionalizace výroby zapouzdřených vodičů		

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

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	64	TEXTOVÁ ČÁST	59	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Tématem diplomové práce je problematika racionalizačních opatření na pracovišti. Cílem je posouzení stávajícího výrobního postupu a navržení možných opatření vedoucích k časovým a finančním úsporám při výrobě zapouzdřených vodičů.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Racionalizace, zapouzdřené vodiče, přípravek

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Lukucz	Name Ondřej	
FIELD OF STUDY	„Manufacturing Processes – Technology of Metal Cutting“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Vyšata, Ph.D.	Name Jiří	
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Racionalization of Isolated Phase Bus Ducts production		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machining Technology	SUBMITTED IN	2014
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	64	TEXT PART	59	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The theme of this diploma thesis is issue of rationalization measures at workplace. The goal of the thesis is review of current production procedure and proposing of possible measures to reach savings of time and money during production of the Isolated Phase Busducts.
KEY WORDS	Racionalization, isolated phase busducts, jig

Obsah

PŘEHLED OBRÁZKŮ, TABULEK, POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	2
ÚVOD	4
1 CHARAKTERISTIKA PROBLÉMU	5
2 POPIS STÁVAJÍCÍ SITUACE	9
2.1 POPIS VÝROBKU	9
2.2 POPIS STÁVAJÍCÍHO POSTUPU VÝROBY POUZDRA	15
2.3 SHRNUÍ NEVÝHOD SOUČASNÉHO STAVU	22
3 NÁVRH ŘEŠENÍ PROBLÉMU	24
3.1 NÁVRHY NA ZLEPŠENÍ	24
3.2 NÁVRH VARIANT VÝROBY JEDNOTLIVÝCH DÍLŮ POUZDRA	25
3.2.1 <i>Využitím horizontální vyvrtávačky</i>	25
3.2.2 <i>Využitím zakružovačky</i>	36
3.3 NÁVRH NA MOŽNOST VYUŽITÍ SVAŘOVACÍHO AUTOMATU	43
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	45
4.1 NORMOVÁNÍ	45
4.1.1 <i>Stávající metoda</i>	45
4.1.2 <i>Metoda A</i>	47
4.1.3 <i>Metoda B</i>	48
4.1.4 <i>Shrnutí</i>	48
4.2 ZPRACOVACÍ NÁKLADY NA VÝROBU POUZDRA U VYBRANÉ ZAKÁZKY	50
4.3 ROČNÍ ÚSPORY	51
4.3.1 <i>Analýza zakázek</i>	51
4.3.2 <i>Celkové úspory ve zpracovacích nákladech na výrobu pouzdra za rok</i>	53
4.4 VÝBĚR NEJLEPŠÍ VARIANTY	57
4.5 NÁVRATNOST INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ	57
4.6 ZÁVĚR	57
5 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	59

Přehled obrázků, tabulek, použitých zkratek a symbolů

Přehled obrázků

OBR. 1: ZAPOUZDŘENÝ VODIČ - ŘEZ.....	5
OBR. 2: PŘEPRAVNÍ JEDNOTKA	6
OBR. 3: PŘEPRAVNÍ JEDNOTKY V DŘEVĚNÉM RÁMU	6
OBR. 4: MONTÁŽNÍ SPOJ	7
OBR. 5: SCHÉMA PROPOJENÍ GENERÁTORU S BLOKOVÝM TRANSFORMÁTOREM [11]	9
OBR. 6: TRASA TŘÍFÁZOVÉ SESTAVY ZAPOUZDŘENÝCH VODIČŮ	10
OBR. 7: ŘADA IZOLÁTORŮ SE SPODNÍM PODPĚRNÝM IZOLÁTOREM	11
OBR. 8: SADA IZOLÁTORŮ S VÝZTUŽNÝM KRUHEM	11
OBR. 9: PŘÍKLADY JEDNOTLIVÝCH VÝROBKŮ.....	12
OBR. 10: VÝZTUŽNÉ KRUHY	13
OBR. 11: DRUHY MONTÁŽNÍCH SPOJŮ	14
OBR. 12: KOMPENZÁTOR POUZDRA	14
OBR. 13: ÚLOŽNÁ SEDLA.....	15
OBR. 14: ZAKRUŽOVÁNÍ PLECHU.....	16
OBR. 15: PODÉLNÉ SVAŘENÍ POUZDRA	16
OBR. 16: KALIBRACE POUZDRA	17
OBR. 17: ZAROVNÁNÍ ČELNÍCH PLOCH	17
OBR. 18: UPÍNACÍ PŘÍPRAVEK NOŽŮ.....	18
OBR. 19: UPÍNACÍ OBJÍMKY	18
OBR. 20: DÍLY POUZDRA PŘED ZÁVĚREČNÝM SVAŘOVÁNÍM	19
OBR. 21: SVAŘOVÁNÍ JEDNOTLIVÝCH DÍLŮ POUZDRA	20
OBR. 22: ROZŠÍŘENÍ KONCE PLECHU	20
OBR. 23: MOŽNOST DÉLKOVÉ KOMPENZACE	21
OBR. 24: PŮVODNÍ PŘÍPRAVEK NA TVORBU PERTLU	21
OBR. 25: SVAŘOVÁNÍ VODIČŮ SVAŘOVACÍM AUTOMATEM.....	25
OBR. 26: SKLÍČIDLO NA UPÍNÁNÍ POUZDER.....	26
OBR. 27: FIXNÍ PŘÍPRAVEK PRO TVORBU PERTLU	26
OBR. 28: PRINCIP TVORBY PERTLU FIXNÍM PŘÍPRAVKEM.....	27
OBR. 29: TVAR VÁLEČKU PRO TVORBU PERTLU.....	28
OBR. 30: POSTUP TVORBY PERTLU POMOCÍ VÁLEČKU S KUŽELOVÝM KONCEM	28
OBR. 31: PŘÍPRAVEK SE DVĚMA PROTILEHLÝMI VÁLEČKY	29
OBR. 32: PRINCIP TVORBY PERTLU POMOCÍ VNĚJŠÍHO VÁLEČKU	29
OBR. 33: PRUŽINOVÝ SYSTÉM ODKLÁPĚNÍ VÁLEČKŮ	30
OBR. 34: SESTAVA PŘÍPRAVKU + ROZPAD SESTAVY	30
OBR. 35: STROJ OSAZENÝ PŘÍPRAVKEM VČETNĚ UPNUTÉHO POUZDRA.....	31
OBR. 36: PÁKOVÝ MECHANISMUS NA ODKLÁPĚNÍ VNĚJŠÍCH VÁLEČKŮ	32
OBR. 37: PŘÍPRAVEK SE SAMOVOLNÝM ODJIŠŤOVÁNÍM VNĚJŠÍCH VÁLEČKŮ.....	32
OBR. 38: PRINCIP SAMOVOLNÉHO PŘITLAČOVÁNÍ A ODKLÁPĚNÍ VNĚJŠÍCH VÁLEČKŮ	33
OBR. 39: KOMBINOVANÝ PŘÍPRAVEK SE SAMOVOLNĚ ODKLÁPĚCÍM MECHANISMEM	33
OBR. 40: UPNUTÍ POUZDRA PŘI TVORBĚ PERTLU	34
OBR. 41: KOMBINOVANÝ PŘÍPRAVEK BEZ VNĚJŠÍCH VÁLEČKŮ.....	34
OBR. 42: APLIKACE KOMBINOVANÉHO PŘÍPRAVKU	35
OBR. 43: KOMBINOVANÝ KRUHOVÝ PŘÍPRAVEK	36
OBR. 44: ROZMÍSTĚNÍ VÁLCŮ A JEJICH POHYB.....	37
OBR. 45: POSTUP ZAKROUŽENÍ POUZDRA	38
OBR. 46: ÚPRAVA PROSTŘEDNÍCH VÁLCŮ PRO TVORBU PERTLU.....	39
OBR. 47: MOŽNÉ PŘÍPADY NAJETÍ VYTVOŘENÉHO PERTLU PŘI DRUHÉ OTÁČCE	39

OBR. 48: NÁSUVNÝ PŘÍPRAVEK PRO TVORBU PERTLU + DETAIL UCHYCENÍ.....	40
OBR. 49: ÚPRAVA SPODNÍHO VÁLCE A VSAZENÝ NÁKRUŽEK.....	41
OBR. 50: NÁKRUŽEK ROZDĚLENÝ NA SEGMENTY	41
OBR. 51: ÚPRAVA SPODNÍHO VÁLCE PRO KLASICKÉ ZAKRUŽOVÁNÍ BEZ TVORBY PERTLU.....	42
OBR. 52: TVORBA PERTLU MEZI UPRAVENÝMI VÁLCI BĚHEM ZAKRUŽOVÁNÍ	42
OBR. 53: ZAKRUŽOVAČKA S PŘÍDAVNÝMI VODÍCÍMI PŘÍPRAVKY PRO VEDENÍ PLECHU	43
OBR. 54: UPÍNACÍ OBJÍMKA PRO SVAŘOVÁNÍ POUZDER	44
OBR. 55: SVAŘOVÁNÍ POUZDER POMOCÍ UPÍNACÍCH OBJÍMEK	44

Přehled tabulek

TAB. 1: ČASOVÉ NORMY PRO VÝROBU POUZDRA.....	22
TAB. 2: VSTUPNÍ PARAMETRY VYBRANÉ ZAKÁZKY	45
TAB. 3: NORMY ČASŮ – STÁVAJÍCÍ METODA.....	46
TAB. 4: NORMY ČASŮ – METODA A	47
TAB. 5: NORMY ČASŮ – METODA B	48
TAB. 6: ČASOVÉ ÚSPORY S PRŮMĚREM POUZDRA NA HLAVNÍ TRASE 960 MM.....	49
TAB. 7: ČASOVÉ ÚSPORY S PRŮMĚREM POUZDRA NA HLAVNÍ TRASE 1120MM	49
TAB. 8: ZPRACOVACÍ NÁKLADY PRO STÁVAJÍCÍ METODU	50
TAB. 9: ZPRACOVACÍ NÁKLADY PRO METODU A	51
TAB. 10: ZPRACOVACÍ NÁKLADY PRO METODU B.....	51
TAB. 11: PŘEHLED ZAKÁZEK ZA ROK 2013	52
TAB. 12: PŘEHLED ZAKÁZEK ZA 1. ČTVRTLETÍ ROKU 2014.....	53
TAB. 13: CELKOVÉ DÉLKY VYROBENÝCH PRŮMĚRŮ POUZDER	53
TAB. 14: CELKOVÉ VÝROBNÍ ČASY PRO PRŮMĚRY POUZDER 800, 960, 1120 A 1280 MM.....	54
TAB. 15: CELKOVÉ VÝROBNÍ ČASY PRO PRŮMĚRY POUZDER 540, 640 A 860 MM	55
TAB. 16: PŘEHLED ČASOVÝCH A FINANČNÍCH ÚSPOR PRO RŮZNÉ PRŮMĚRY.....	56
TAB. 17: VÝŠE MOŽNÝCH ÚSPOR U ZAKÁZEK V ROCE 2013	56

Použité zkratky a symboly

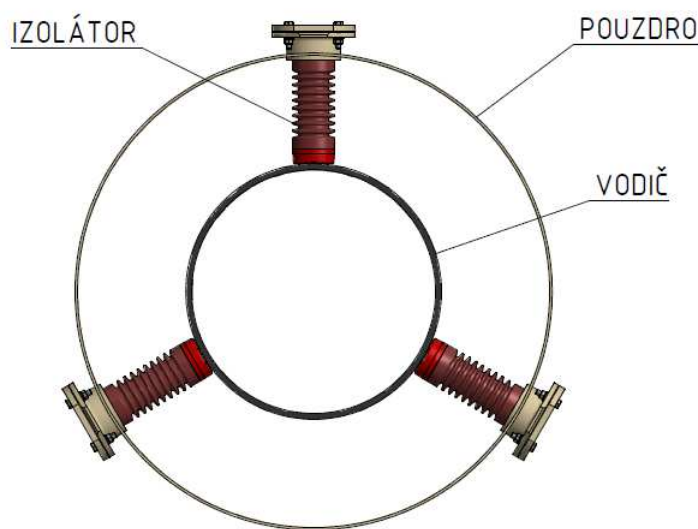
cca	cirka, přibližně
tzv.	takzvaně
m	metr
mm	milimetr
kg	kilogram
Nh	normohodina
ks	kus, kusy, kusů
kA	kiloampér
kV	kilovolt
%	procento
hod	hodina
Kč	korun českých

Úvod

V dnešní době je k dosažení životní spokojenosti lidí zapotřebí jistota stálého zaměstnání, nejlépe v blízkém okolí vlastního bydliště. Tuto jistotu může lidem dát pouze stabilní a prosperující firma, která bude schopna dlouhodobě zaměstnávat velké množství lidí. A tak proto, aby firma mohla dlouhodobě prosperovat, musí být schopna získávat co nejvíce zakázek. K získání a především k plnění velkého počtu zakázek firma musí zkrátit dodací termíny, což však zvyšuje nároky na výrobu a samotné zaměstnance. To má bohužel mnohdy negativní vliv jednak na pohodu na pracovišti, a jednak na samotnou kvalitu výrobků. Z tohoto důvodu je nutné nalézt taková opatření ke zvýšení produktivity, aby nedocházelo ke zhoršení kvality výrobků a pracovní pohody. V důsledku toho je tedy nutné provést analýzu stávajícího výrobního systému, odhalit úzká místa a následně navrhnout možná racionalizační opatření vedoucí k časovým a finančním úsporám, avšak při zachování kvality a spokojenosti zaměstnanců.

1 Charakteristika problému

Ve firmě EGE, spol. s r.o. se vyrábí zapouzdřené vodiče. Jejich dosavadní způsob výroby se vzhledem k narůstající poptávce rámcově potýká s problémy. Výrobní postup je v určitých částech zdlouhavý, a proto je cílem práce provést změny ve způsobu výroby zapouzdřených vodičů tak, aby se dosáhlo úspory nákladů a času. Konkrétně se jedná o jednofázově izolované zapouzdřené vodiče, což jsou hliníkové výrobky, které jsou tvořeny vnější rourou (tzv. pouzdrem), vnitřní rourou (tzv. vodičem) a podpěrnými izolátory. Jednofázově izolovaný znamená, že každá ze tří fází (L1, L2, L3) vodiče je zapouzdřena zvlášť a fáze jsou navzájem izolovány. Na Obr. 1 je vidět řez jednou fází zapouzdřených vodičů.

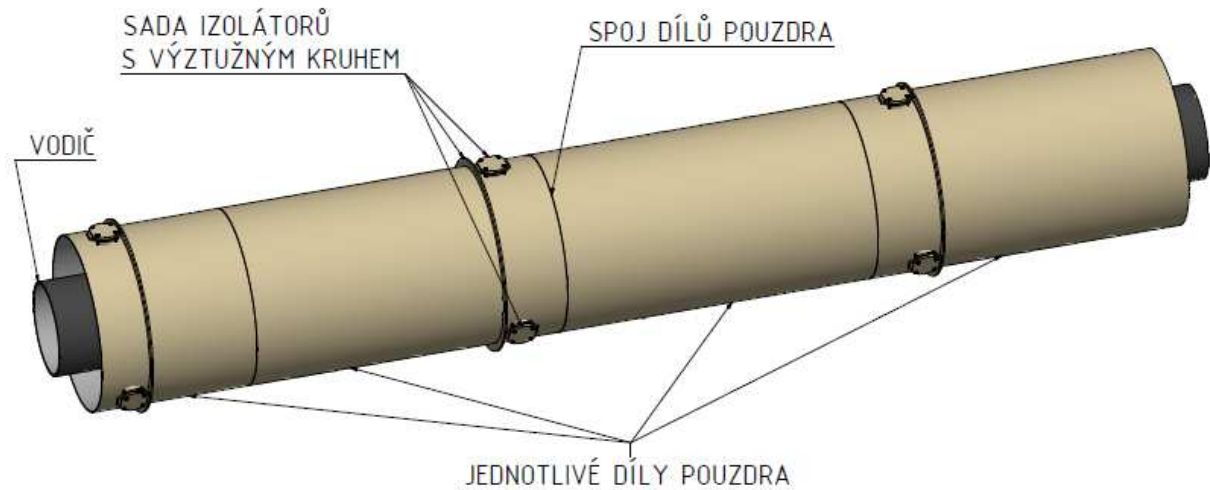


Obr. 1: Zapouzdřený vodič - řez

Pouzdra i vodiče jsou vyráběné z hliníkového plechu, který se skrouží do roury. V případě vodiče s průměrem pod 270 mm se používá jako polotovar trubka. Průměr pouzdra je od 400 mm až do velikosti 1820 mm. Vodiče mají průměr od 120 mm do 1080 mm. Tloušťka pouzdra se pohybuje od 3 mm do 11 mm. U vodiče je tloušťka až 20 mm. Plechy, ze kterých je pouzdro tvořeno, mají délku 2 metry. Plechy na vodiče bývají 3 metrové, v případě použití trubek je to 6 metrů.

Zapouzdřené vodiče jsou vyráběny po přepravních jednotkách, které jsou dlouhé 1 až 12 metrů. To znamená, že na jednu přepravní jednotku je tedy potřeba použít až 6 plechů k výrobě pouzdra a 4 plechy na vodič. Jednotlivé plechy se pak vzájemně svařují. V případě větších tlouštěk se používá svar typu “V” a v případě malých tlouštěk je to “pí” svar. Konce plechů se tedy musí zarovnávat, případně úkosovat.

Na Obr. 2 je příklad jedné přepravní jednotky se třemi sadami podpěrných izolátorů, a pouzdrem vyrobeným ze čtyř plechů. Nutno podotknout, že každá přepravní jednotka má svůj samostatný výrobní výkres, takže každý díl je originál. Nicméně mají společné rysy, které jsou v takové míře, že činí z jednotlivých výrobků typovou řadu.



Obr. 2: Převravní jednotka

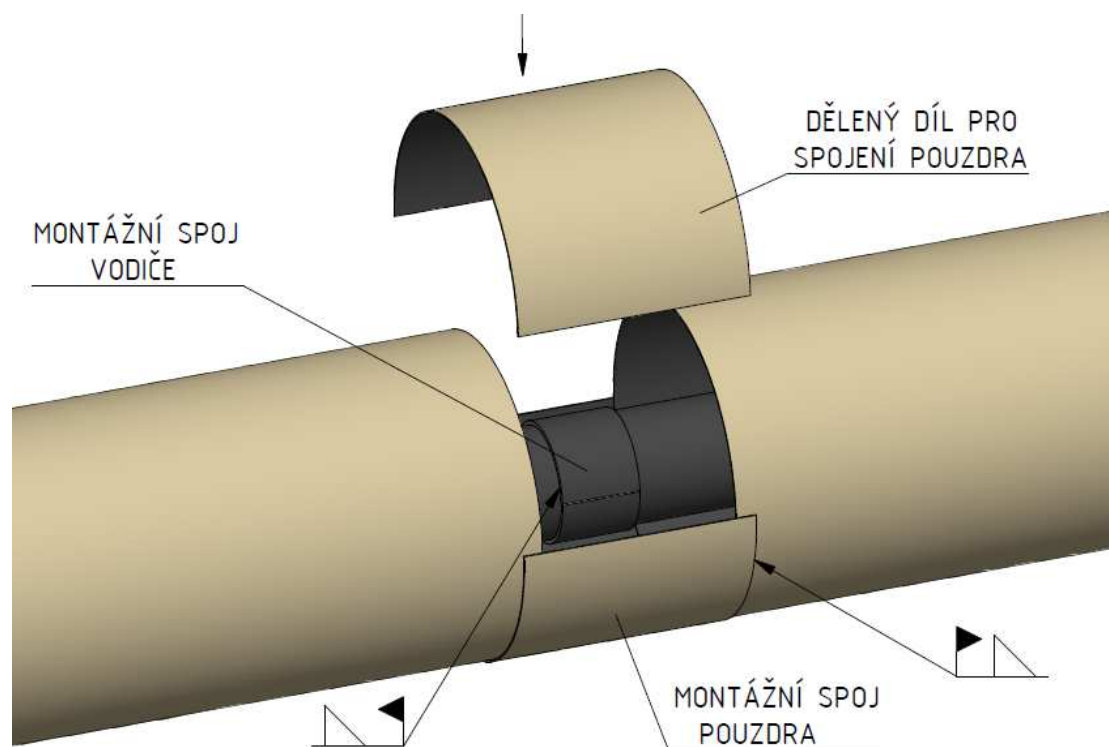
Vyrobené převravní jednotky jsou umístovány do dřevěných rámmů, které jsou následně v kontejnerech nebo dřevěných bednách převravnovány na místo montáže, tedy do elektrárny. Na Obr. 3 je vidět umístění třech převravních jednotek ve společném dřevěném rámu. Jedna dlouhá je dole a dvě kratší nahoře.



Obr. 3: Převravní jednotky v dřevěném rámu

Skládat jednotlivé převravní jednotky na sebe je možné pouze do průměrů 960 mm. Pro větší průměry zapouzdrěných vodičů musí být kvůli výšce kontejnerů pro každou pře-

pravní jednotku samostatný dřevěný rám. Poté, co jsou přepravní jednotky v kontejnerech či dřevěných bednách dovezeny na stavbu do elektrárny, následuje jejich montáž, kdy jsou jednotlivé přepravní jednotky svařovány dohromady. Jelikož se jedná o jednofázově izolované zapouzdřené vodiče, tedy trasa je tvořena třemi samostatnými fázemi (L1, L2, L3), jsou vzájemně spojovány přepravní jednotky vždy jen ze stejné fáze. Spojení dvou přepravních jednotek se provádí pomocí dělených dílů, které se jsou také hliníkové a na vodiče nebo pouzdra se přivaří. Tomuto spojení se říká montážní spoj. Nejprve jsou svařeny vodiče, poté pouzdra. Princip montážního spoje je vidět na Obr. 4.



Obr. 4: Montážní spoj

Jedna trasa jednofázově izolovaných zapouzdřených vodičů bývá dlouhá nejčastěji od 100 do 300 metrů. Na jednu fázi tak připadá třetina této délky.

Stávající postup výroby pouzdra je následující. Každý plech se nejprve zakrouží, podélně svaří, oba konce se kalibrují, zarovnají se čela, případně se vypálí otvory pro izolátory, odbočky či jiné zařízení a nakonec se vzájemně svaří. Je tedy potřeba vykonat operace na 6 pracovištích. Výroba vodiče je obdobná, jen se nevypalují otvory pro izolátory.

V této práci se racionalizace bude týkat pouzdra jednofázově izolovaného zapouzdřeného vodiče, konkrétně jeho postupu výroby. Od racionalizace se očekává úspora času na jeho výrobu a s tím spojené ekonomické úspory.

Co se týká výroby pouzdra, již bylo zmíněno, že po zakroužení plechu a jeho podélném svaření následuje operace zarovnání čela a případné úkosování. Oba tyto úkony, tedy zarovnání čela a úkosování probíhají současně na horizontální vyvrtávačce. Pouzdro je upnuto do speciálních objímek na posuvném stole stroje a do vřetena je ve speciálním přípravku upnutý jak úkosovací, tak i zarovnávací nůž. Všechny plechy, s výjimkou těch krajních, se musí zarovnávat z čela na obou stranách. Pouzdro se tedy musí dvakrát upínat do objímek.

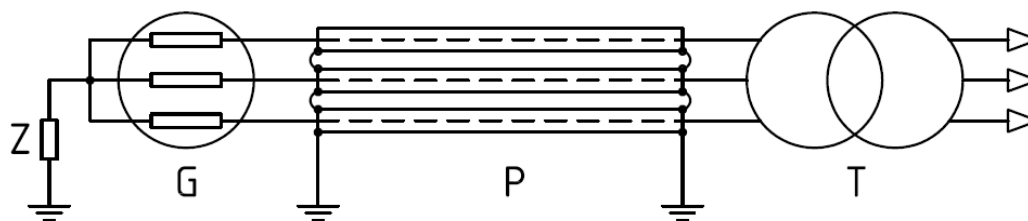
Obráběním obou konců plechu a dvojnásobným upínáním je operace na horizontální vyvrtávače příliš zdoluhavá. I následnou operaci, svařování jednotlivých částí pouzdra, by bylo vhodné racionalizovat, respektive změnit typ svaru, nebo využít ke svařování svařovacího automatu. Vhodnějším typem svaru je například svar koutový, který je časově i ekonomicky méně náročný.

V současné době firmě rapidně narůstá poptávka zakázek na jednofázově izolované zapouzdřené vodiče a s dosti krátkými termíny na jejich realizaci. Chce-li firma uspokojit poptávku co nejvíce zákazníků, nezbyvá nic jiného, než na tento zvýšený počet zakázek zareagovat zjednodušením, zrychlením a zlevněním výroby při zachování kvality.

2 Popis stávající situace

2.1 Popis výrobku

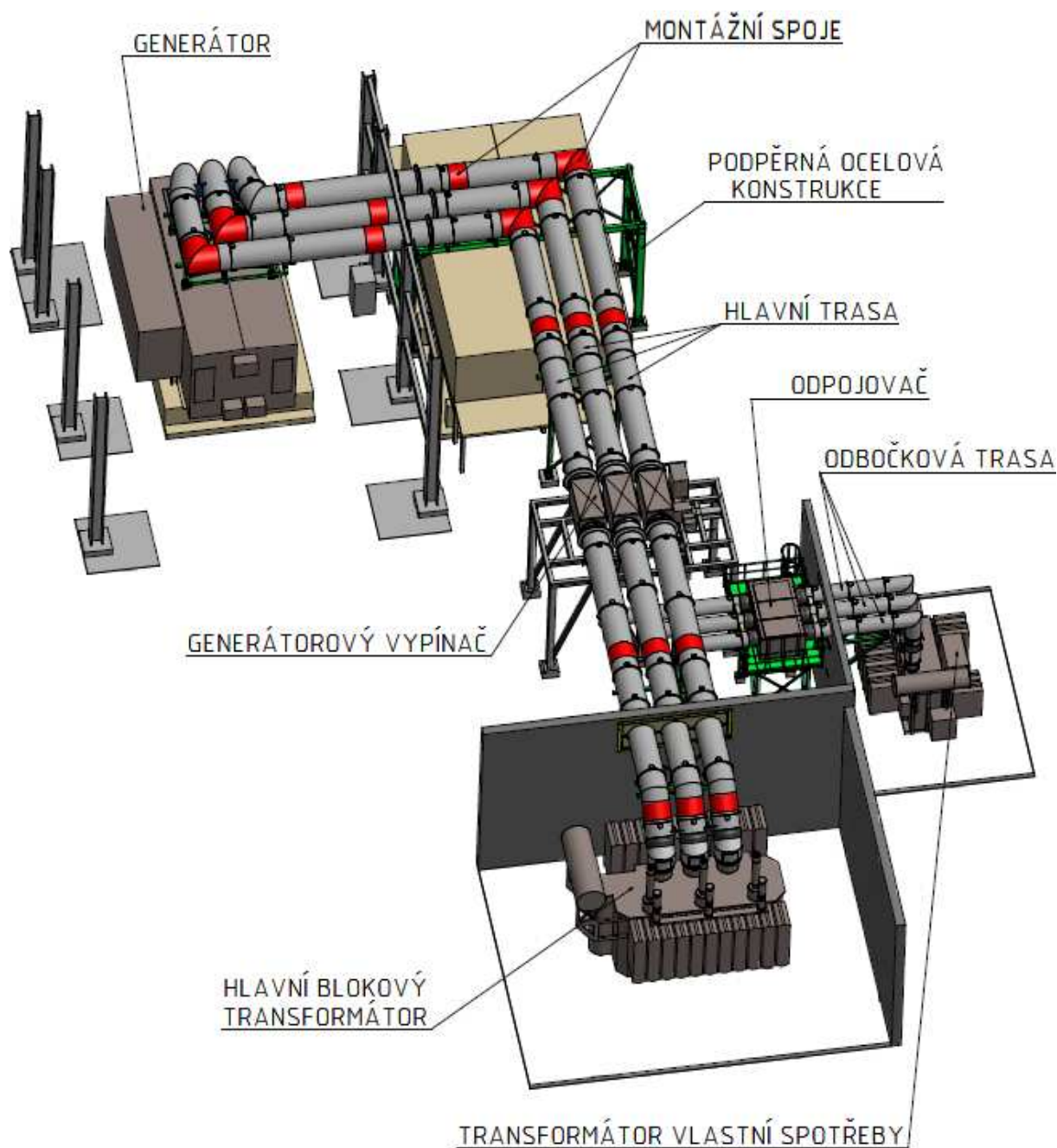
V první řadě je třeba si blíže představit samotný výrobek, způsob jeho výroby a požadavky na něj kladené. Zapouzdřené vodiče jsou hliníkové výrobky, které slouží k vyvedení výkonu generátoru v elektrárnách. Přenášený proud je až 40 kA při napětí do 36 kV. Propojují generátor s hlavním blokovým transformátorem. Na Obr. 5 je znázorněno schéma propojení generátoru s blokovým transformátorem pomocí zapouzdřených vodičů, jejichž pouzdra jsou na obou koncích propojena a uzemněna.



Z - zem P - pouzdro
G - generátor T - blokový transformátor

Obr. 5: Schéma propojení generátoru s blokovým transformátorem [11]

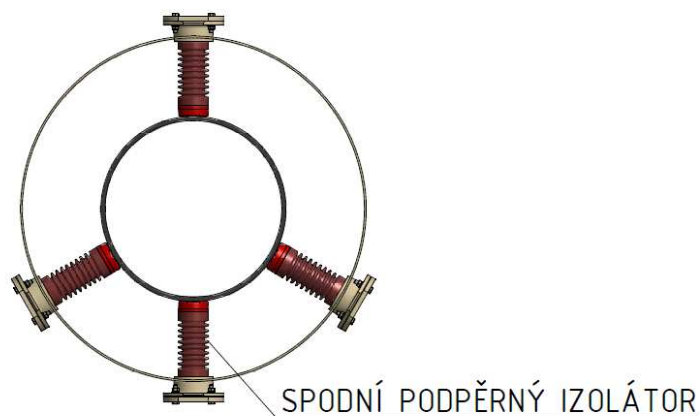
Pomocí odbočkových vedení mohou být zapouzdřené vodiče připojené také k transformátorům vlastní spotřeby nebo k budícím transformátorům. Pro lepší představu je na dalším obrázku (Obr. 6) ukázka celé trasy třífázové soustavy jednofázově izolovaných zapouzdřených vodičů propojující generátor, generátorový vypínač a hlavní blokový transformátor. Pomocí odbočkové trasy je připojen také transformátor vlastní spotřeby. Na obrázku je dále vidět, jak jsou jednotlivé přepravní jednotky na sebe napojené pomocí montážních spojů. Pro přehlednost jsou montážní spoje vyznačené červeně.



Obr. 6: Trasa třífázové sestavy zapouzdřených vodičů

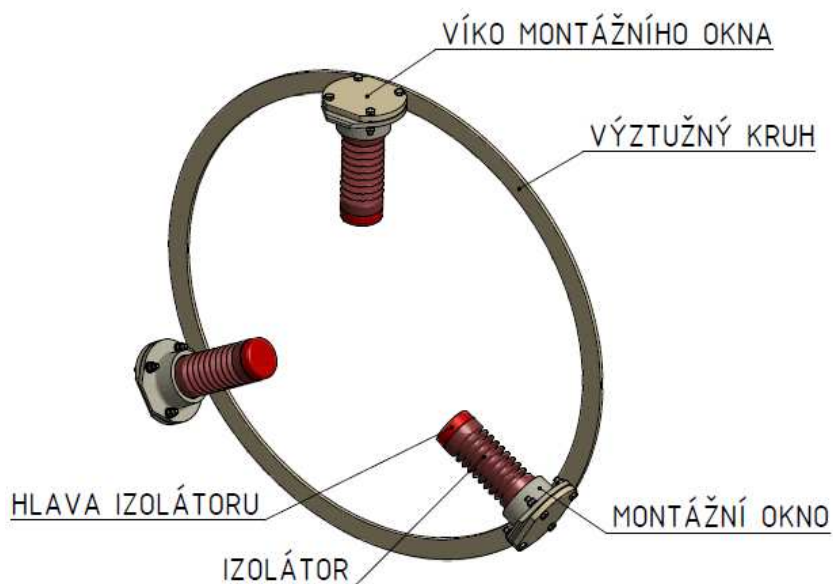
Jelikož je každá přepravní jednotka originál, musí být označená transportním číslem, aby při montáži nedošlo k záměně. Pro značení se používá čtyřmístný kód. Prvním znakem je písmeno T a další tři znaky jsou čísla, kde první číslo označuje fázi, a další dvě čísla znamenají pořadí směrem od generátoru. Například první přepravní jednotka u generátoru připojovaná k prostřední fázi L2 má označení T201. Stejnými čísly jsou přepravní jednotky značeny i ve výrobních výkresech. Výrobními výkresy přepravních jednotek jsou vlastně výkresy sestav, do kterých vstupují jednak polotovary plechů v rozvinutém tvaru, a jednak další podsestavy. Plechy se používají na výrobu vodiče a pouzdra. Jednofázově izolovaný zapouzdřený vodič je však tvořen třemi základními druhy prvků. Kromě pouzdra a vodiče jsou to ještě podpěrné izolátory. Izolátory jsou standardně umístěny ve trojici po 120°, jak je vidět na

Obr. 1 v samém úvodu této práce. Jeden z izolátorů je vrcholový a směřuje svisle vzhůru. V místech s vyššími pevnostními požadavky se někdy zesponu přidává ještě čtvrtý podpěrný izolátor (viz Obr. 7).



Obr. 7: Řada izolátorů se spodním podpěrným izolátorem

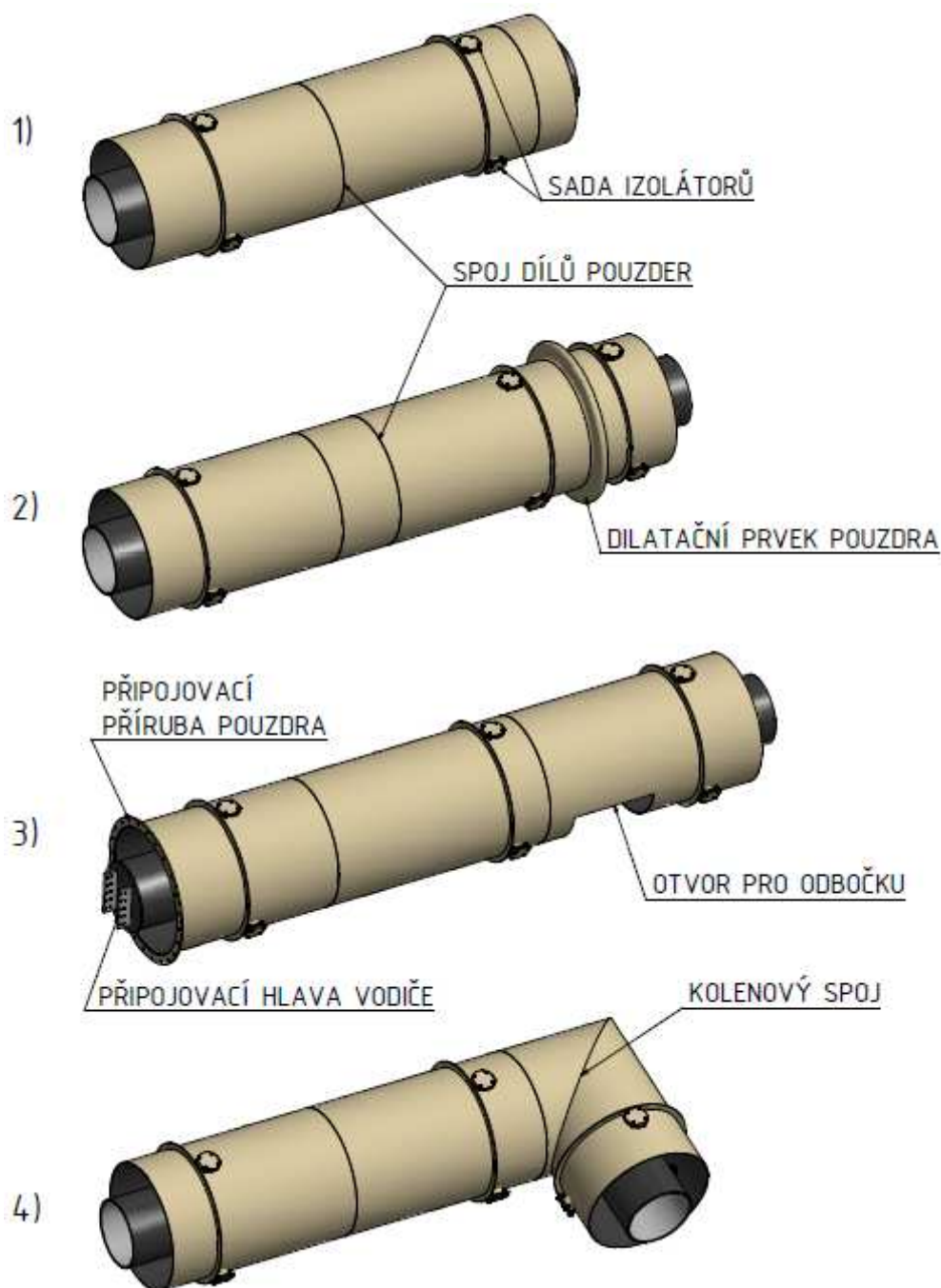
Trojice, respektive čtveřice izolátorů se označuje jako sada izolátorů. Součástí sady jsou mimo samotných izolátorů také hlavy izolátorů, montážní okna, víka montážních oken, výztužný kruh a spojovací materiál (viz Obr. 8).



Obr. 8: Sada izolátorů s výztužným kruhem

Právě tyto sady vstupují do výrobních výkresů přepravních jednotek jako podsestavy pod jednou pozicí v kusovníku. Další vstupující pozice, respektive podsestavy mohou být připojovací hlavy vodiče, dilatační prvky nebo inspekční kryty. Výslednými výrobky jsou tedy jednotlivé přepravní jednotky. Příklady jednotlivých výrobků jsou vidět na následujícím obrázku (Obr. 9). Pod číslem 1 je přímý díl se dvěma sadami izolátorů, pod číslem 2 je rovný díl s dilatačním prvkem na pouzdře a třemi sadami izolátorů. Pod číslem 3 je rovný díl se tře-

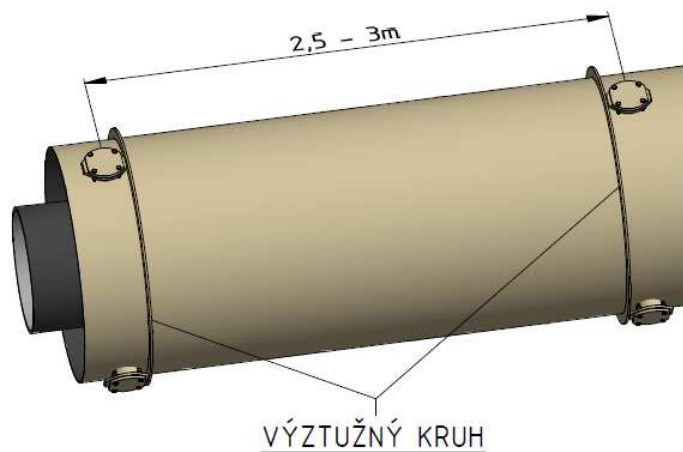
mi sadami izolátorů, připojovací hlavou vodiče, připojovací přírubou pouzdra a otvorem pro připojení odbočky. Pod číslem 4 je kolenový díl se třemi sadami izolátorů.



Obr. 9: Příklady jednotlivých výrobků

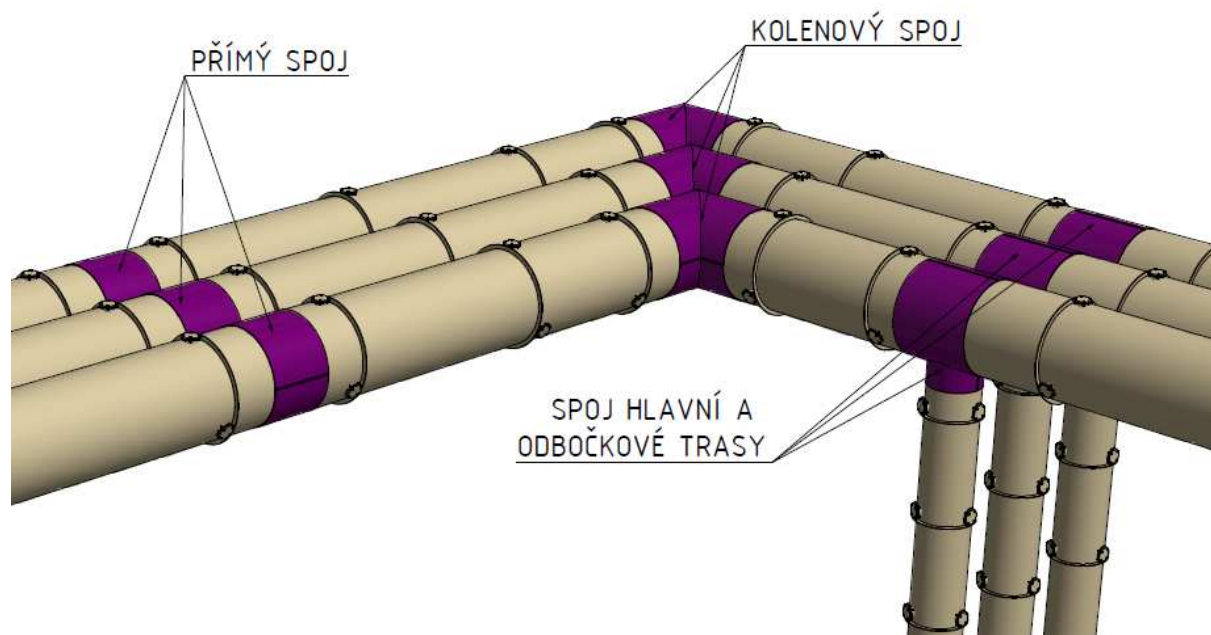
Pouzdra i vodiče se vyrábějí z hliníkového plechu různých tloušťek. Tloušťka vodičů bývá větší než tloušťka pouzder. Tloušťky vodičů i pouzder mají vždy své opodstatnění. Tloušťka vodiče vychází z tepelně-elektrického výpočtu, kdy vodič musí být schopen přenášet proud od generátorové turbíny s minimálními ztrátami. Vyšší tloušťky vodičů tedy nejsou voleny primárně z pevnostních důvodů, ale především z těch tepelně-elektrických. Pouzdro má však odlišnou funkci. V první řadě vymezuje bezpečnou vzdálenost od povrchu vodiče,

kde by došlo k přeskočení elektrického proudu na kostru. Kostra je v tomto případě pouzdro, které je uzemněno. Další funkcí je snížení intenzity magnetického pole, které vodiče vyzařují. Poslední neméně důležitou funkcí pouzdra je funkce pevnostní, neboť konstrukce zapouzdřený vodičů má být samonosná. Vzhledem k samonosné konstrukci musí pouzdro jednak zachycovat síly od tíhy vodiče, a zároveň musí zachycovat reakce v úložných sedlech od tíhy celé trasy zapouzdřených vodičů. Jelikož zapouzdřené vodiče jsou dodávány do elektráren po celém světě, musí se také počítat s možným zemětřesením a silnými větry. Musí také držet svůj kruhový tvar, a to i při nastalém zkratu, kde mezi jednotlivými fázemi zapouzdřených vodičů vznikají značné zkratové síly. Jak ale již bylo řečeno dříve, pouzdro je tvořeno plechy od 3 mm tloušťky, což vzhledem k pevnostním nárokům kladených na pouzdro, je poměrně málo. Ke zvýšení pevnosti pouzdra se proto používají výztužné prvky zajišťující tvarovou stálost pouzdra. Jsou to již dříve zmíněné výztužné kruhy (viz Obr. 10), které jsou přivařené k pouzdru a zároveň také k montážním oknům izolátorů.



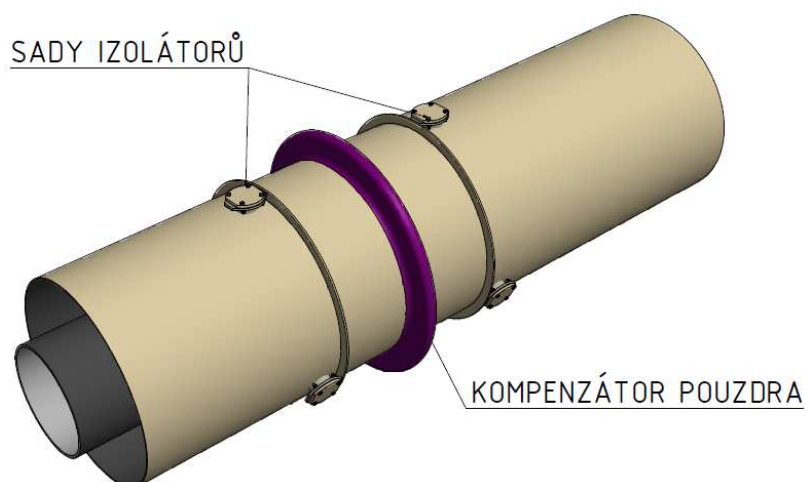
Obr. 10: Výztužné kruhy

Pro průměry pouzder do 960mm se používá zakroužená plochá tyč z hliníkové slitiny o rozměrech 50x10 mm. Pro větší průměry se používá plochá tyč 60x15 mm. Tyto výztužné kruhy se přidávají ke každé sadě izolátorů kvůli tomu, že právě v těchto místech je pouzdro nejvíce namáháno od montážních oken, respektive držáků izolátorů, na které jsou přes izolátory přenášené síly od tíhy vodiče. Dva spodní izolátory by tak mohly deformovat pouzdro, respektive jeho kruhovitost, a pouzdro by tak mělo tendenci měnit svůj tvar na trojúhelníkový. Vzdálenosti mezi jednotlivými sadami izolátorů jsou cca 2,5 až 3 metry. Tato vzdálenost není volena z toho důvodu, že by průhyby byly na straně vodiče, nýbrž na straně pouzdra. Rozmístění sad izolátorů s pravidelnou roztečí 2,5 metru v celé trase zapouzdřených vodičů od začátku až do konce však není možné. Volba umístění sad izolátorů má svá specifika. Hlavním omezujícím kritériem při rozmístování sad izolátorů je rozdělení trasy na jednotlivé přepravní jednotky, které se jednak vejdou do přepravních kontejnerů a také umožní co nejsnadnější montáž přímo na elektrárně. Sady izolátorů proto nemohou být v místě montážních spojů, které jsou přivařeny až přímo na stavbě. Na následujícím obrázku (Obr. 11) je část trasy zapouzdřených vodičů, kde jsou fialovou barvou vyznačené různé typy montážních spojů. Je to přímý spoj, kolenový spoj a spoj k připojení odbočky k hlavní trase. Mimo jiné jsou zde vidět také jednotlivé přepravní jednotky se sadami izolátorů.



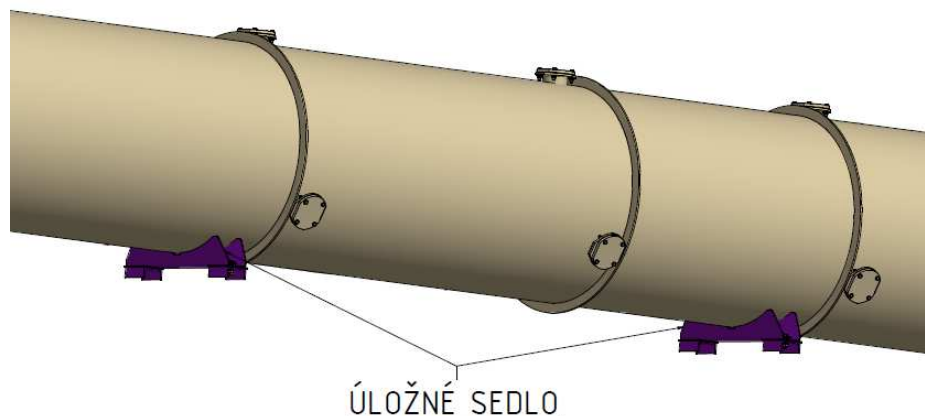
Obr. 11: Druhy montážních spojů

Další omezení pro umístění sad izolátorů přináší dilatační spoje, které se volí jak na pouzdru, tak na vodiči. Dilatace na vodiči se řeší pružnými elementy, které umožní dilataci ve směru osy. Tyto pružné elementy jsou hliníkové, kvůli zajištění vodivosti. Dilatační spoj však z pevnostního hlediska tvoří přerušení, a proto se musí poblíž tohoto spoje z obou stran umístit sady izolátorů, aby přerušovaný vodič podepřely. V případě dilatace pouzdra je to obdobné. Jen se jako dilatační prvky používají hliníkové kompenzátory, které jsou vyráběné tažením z plechu. Umožní tak pouzdru dilatovat ve směru jeho osy. Stejně jako je tomu u vodičů, tak i u pouzdra dilatační prvek představuje z pevnostního hlediska zeslabení. Proto i z obou stran kompenzátoru se musí umístit sady izolátorů, které podepřou pouzdro (Obr. 12).



Obr. 12: Kompenzátor pouzdra

Dalším omezujícím parametrem pro umístění sad izolátorů jsou úložná sedla, na kterých leží celá trasa zapouzdřených vodičů. Tyto sedla jsou vidět na Obr. 13.



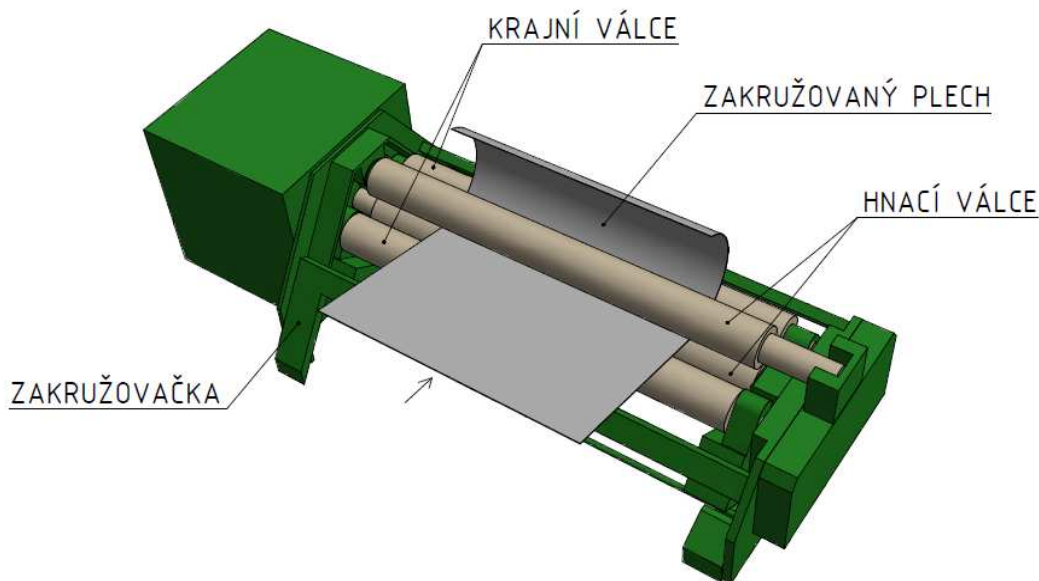
Obr. 13: Úložná sedla

Úložná sedla jsou opět hliníková a na stavbě v elektrárně jsou k pouzdru přivařená. Jelikož veškerá hmotnost zapouzdrěných vodičů je přes pouzdro přenášena na tato sedla, může právě v těchto místech vznikat deformace pouzdra. Z tohoto důvodu se opět v těsné blízkosti úložných sedel umísťuje sada izolátorů s výztužným kruhem. Vše je o to komplikovanější, že ne vždy je možné volit umístění sedel dle potřeby. V mnoha případech se totiž při návrhu okolí generátoru předem příliš nepočítá s podepřením zapouzdrěných vodičů, a proto se pak vodiče podepírají v místech již existujících konstrukcí nebo se podpěrná ocelová konstrukce musí umístit tam, kde zrovna zbylo ještě nějaké místo k jejímu kotvení. Další z omezujících kritérií je tvar samotné trasy, protože je opět nutné volit řadu izolátorů v těsné blízkosti kolen či odboček. Posledním kritériem pro volbu vzdálenosti mezi řadami izolátorů je velikost zkratových sil, které při zkratu působí na jednotlivé fáze zapouzdrěných vodičů a mají snahu je přiblížit k sobě. Kombinací všech těchto omezujících faktorů je tedy patrné, že je takřka nemožné na celé trase rozmístit řady izolátorů v pravidelné 2,5 metrové vzdálenosti od sebe.

2.2 Popis stávajícího postupu výroby pouzdra

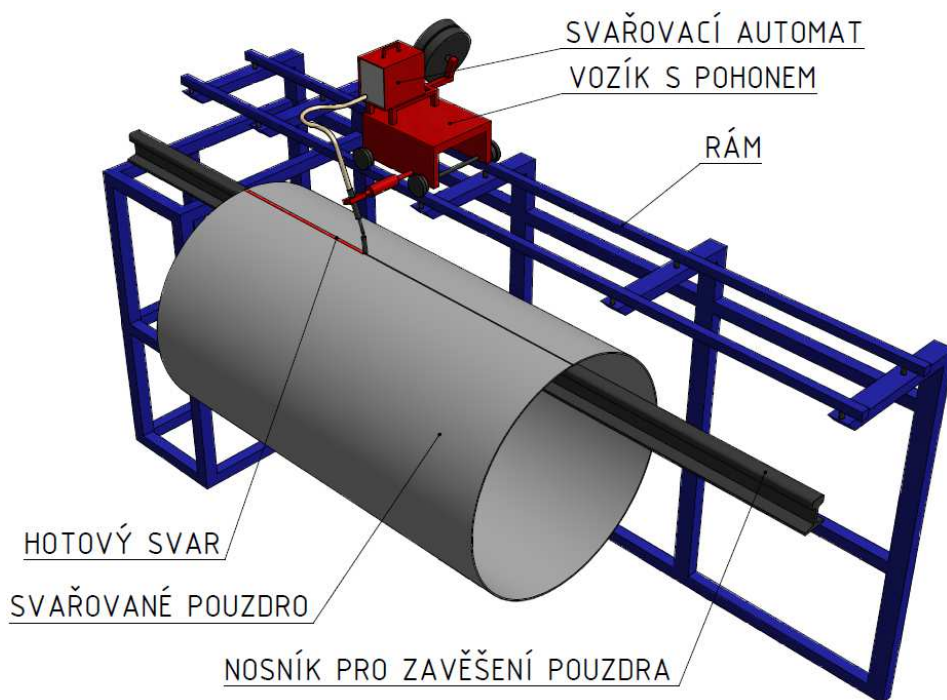
Pouzdro jednofázově izolovaných zapouzdrěných vodičů je tvořeno zakrouženými hliníkovými plechy. Jelikož výrobky jsou jednotlivé přepravní jednotky dlouhé až 12 metrů, a polotovary plechů jsou 2 metrové, musí být tyto plechy vzájemně svařovány. Nyní se podrobněji podíváme na postup jeho výroby.

V první fázi výroby se musí nastříhat tabule plechu na požadovaný rozměr. Pokud je tabule jako polotovar dodána již v požadovaném rozměru, musí se pouze překontrolovat rozměr a rovnoběžnost stran, které se k sobě svaří v podélném směru pouzdra. Následně se plechy zakrouží na zakružovačce na požadovaný průměr (Obr. 14). Zakroužení probíhá tak, že plech v rozvinutém tvaru je vtahován dvěma prostředními hnacími válci a pomocí dvou krajních válců je tvarován do požadovaného průměru. Následně je zakroužený plech, který je však stále umístěn mezi válci zakružovačky, pracovníkem na obou koncích spojen bodovým svarem, kvůli usnadnění další manipulace.



Obr. 14: Zakružování plechu

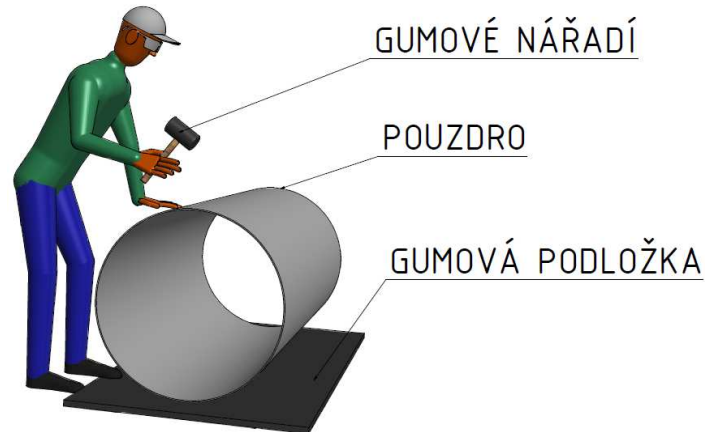
Zakroužený plech poté směřuje na svařovací automat. Pomocí jeřábu se pouzdro zavěsí na nosník, nastaví se poloha svařovací hubice a následně se spustí svařovací automat včetně pojízdného vozíku, až vznikne podélný svar (viz Obr. 15). Nebude-li pro finální výrobek potřeba použít celý dvoumetrový kus, směřuje díl na pálicí stroj Tubosec, kde se zkrátí na požadovaný rozměr. Někdy se plech zkrátí na požadovaný rozměr ještě v rozvinutém tvaru. Záleží na tom, jestli se odříznutý zbytek roury použije na jiné přepravní jednotce nebo ne. Pokud ano, je výhodnější zakroužit jeden dvoumetrový kus plechu a ten pak rozdělit, než kdyby se plech nejdříve rozdělil a pak se každá část zakružovala zvlášť.



Obr. 15: Podélné svaření pouzdra

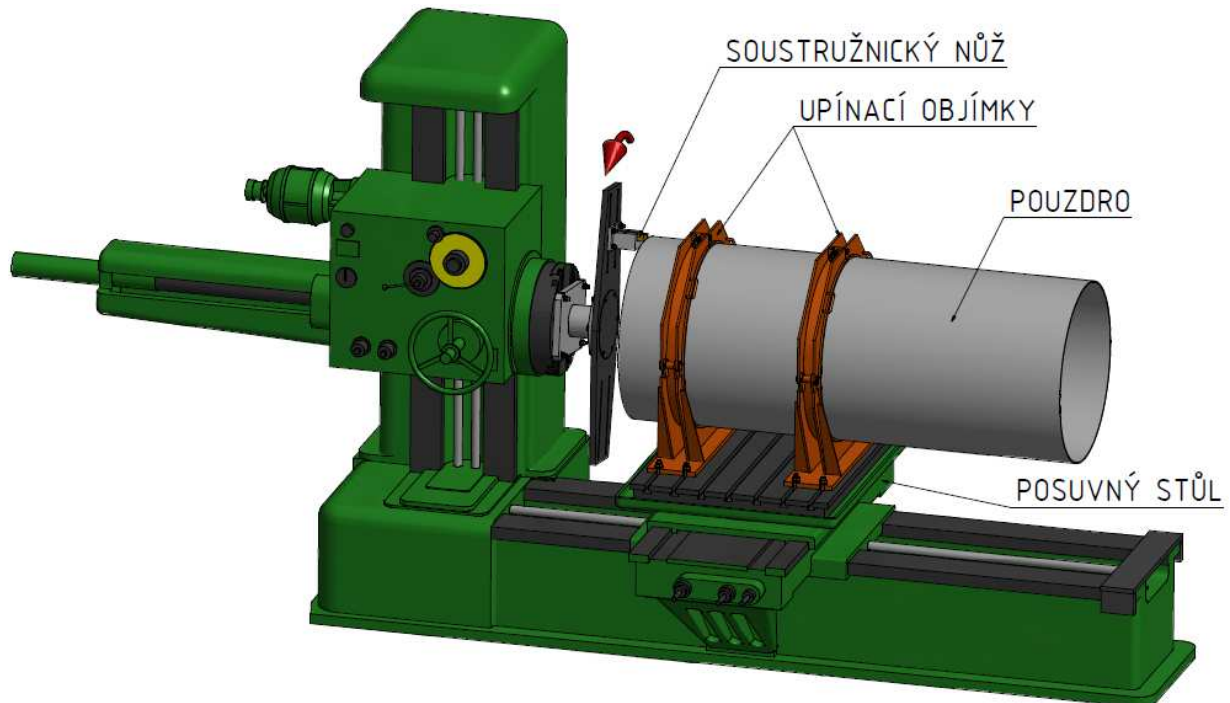
Otázku maximálního využití materiálu řeší především technolog, nicméně už samotný konstruktér může využití materiálu dosti ovlivnit svým vhodným rozdělením trasy na přepravní jednotky.

Je-li tedy plech zakroužený, podélně svařený a v požadované délce, následuje další operace, kterou je kalibrace (Obr. 16). Tato operace je výhradně ruční práce, kdy pracovník pomocí gumového nářadí a šablon kalibruje pouzdro, respektive jeho kruhový tvar.



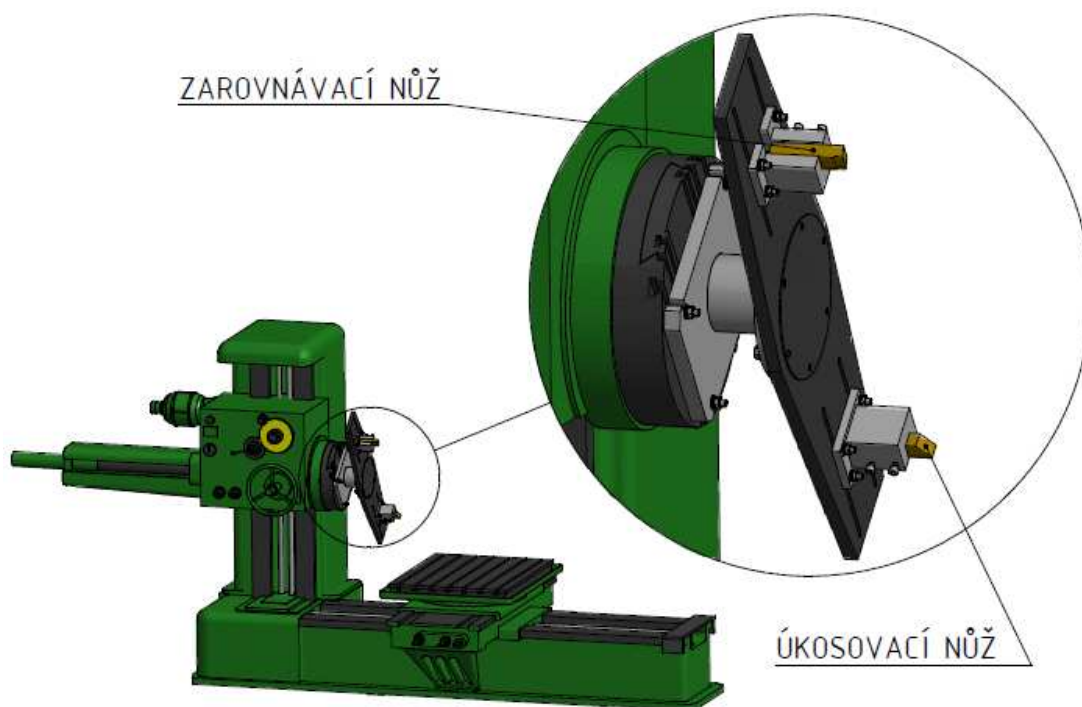
Obr. 16: Kalibrace pouzdra

Následující operace probíhá na horizontální vyvrtávačce, kde se na pouzdře zarovnávají čela (Obr. 17) a v případě velkých tlouštěk se konce ještě úkosují.



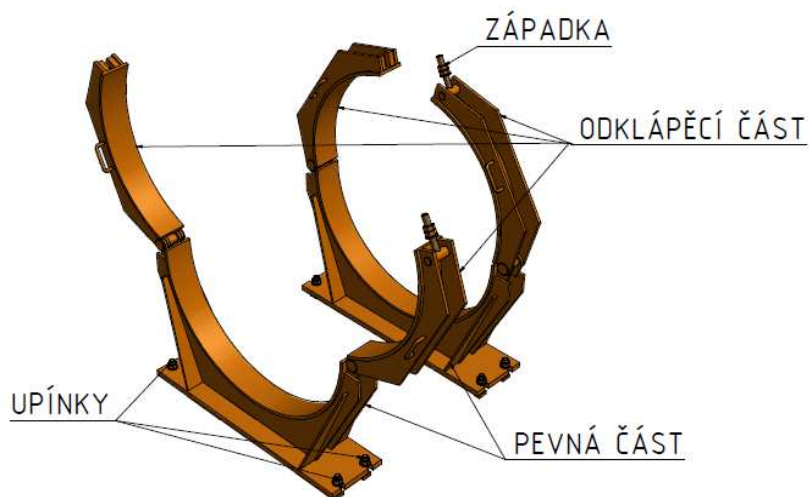
Obr. 17: Zarovnání čelních ploch

Oba tyto operační úseky obrábění probíhají současně, protože jak úkosovací, tak zarovnávací nůž je upnutý ve speciálním upínacím přípravku (viz Obr. 18).



Obr. 18: Upínací přípravek nožů

Pouzdro se upíná do dvou speciálních upínacích objímek (viz Obr. 19) na posuvném stole stroje. Objímky jsou dělené a horní část tvoří dva odklápěcí segmenty, které se po upnutí pouzdra vzájemně spojí pomocí západky a případně se dotáhnou šroubem.

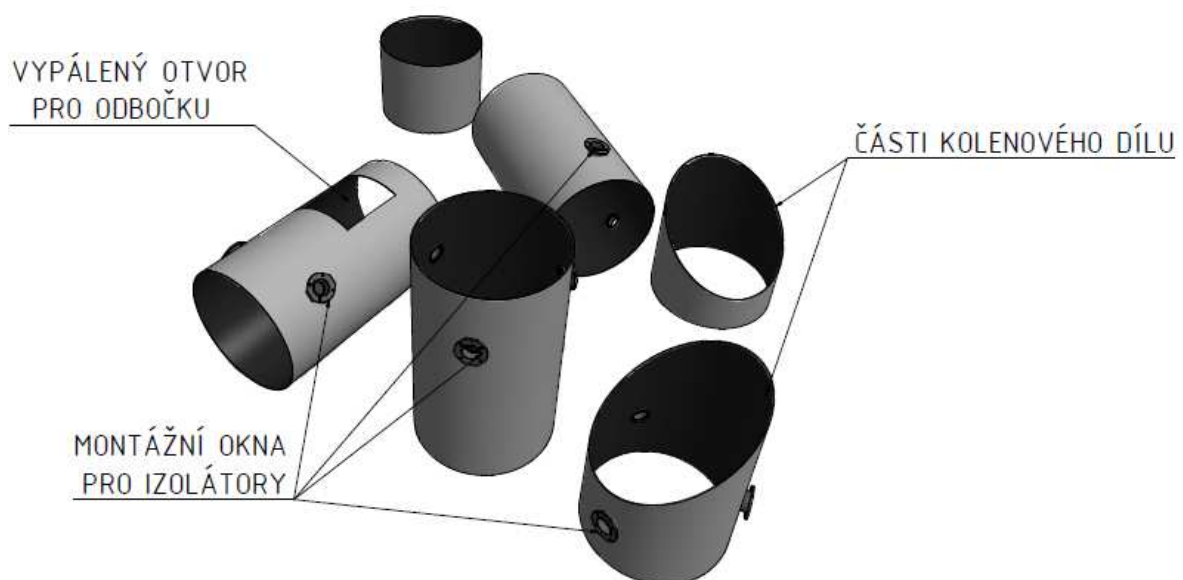


Obr. 19: Upínací objímky

Pokud se jedná o díl pouzdra z prostřední části přepravní jednotky, musí se zarovnávat nebo úkosovat obě strany pouzdra. Je tedy potřeba pouzdro odepnout, otočit a znovu upnout do objímek. Stejně jako k manipulaci s pouzdem mezi jednotlivými pracovišti, tak i pro otá-

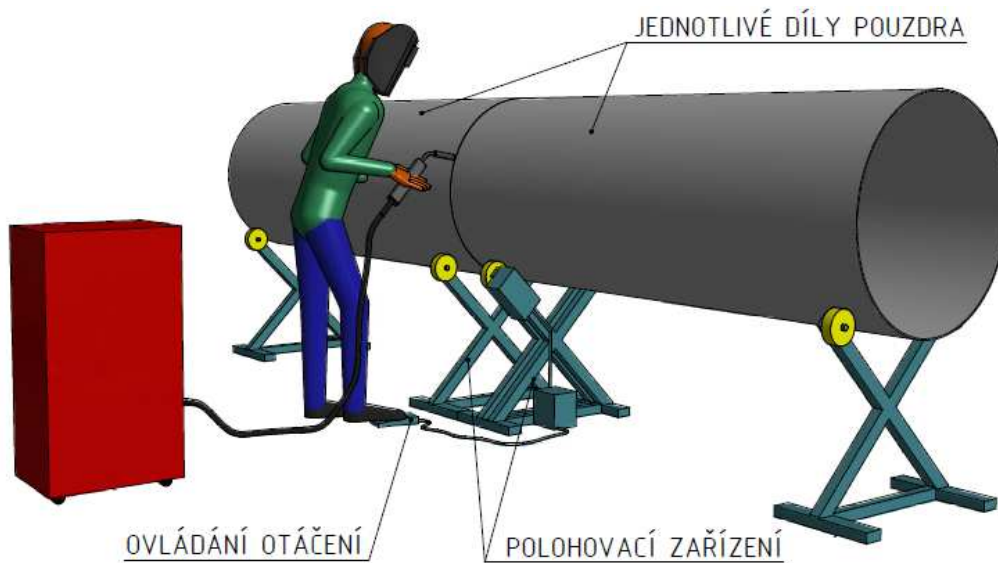
čení pouzdra v objímkách se používá jeřáb. Po zarovnání je díl připraven na další operaci. Budou-li na daném dílu pouzdra umístěné například řady izolátorů, musí se pro ně na pálicím stroji ještě vypálit otvory. Stejně tak to mu je, budou-li na daném dílu pouzdra odbočky, nebo bude-li zde umístěna skříň pro různá zařízení. Poté se do vypálených otvorů vsadí montážní okna a přivaří se k pouzdru. Dále se na pouzdro přivaří krátké odbočky či příruby pro odbočky a různé skříně. Pokud by navaření odbočky nebo příruby ztížilo následnou montáž vodiče při kompletaci, provede se toto přivaření až v konečné fázi po vložení vodiče. Další fází ve výrobním postupu je nástřik vnitřní části pouzdra černou barvou, protože po svaření jednotlivých dílů dohromady a po namontování vodiče by pro nástřik již nebyl prostor. Vnitřní nástřik černou barvou není prováděn z důvodu protikorozní ochrany, ale z důvodu zvýšení emisivity. Protikorozní ochranu není nutné řešit z toho důvodu, protože pouzdra jsou vzduchotěsná a vnitřní prostor pouzder je tlakován suchým čistým vzduchem.

Na následujícím obrázku (Obr. 20) jsou vidět různé díly pouzdra, které jsou připravené na poslední fázi výroby pouzdra, tedy již zmíněné svaření jednotlivých dílů dohromady. Díly jsou tedy zakroužené, podélně svařené, mají případně vypálené otvory pro připojení odboček, přivařené montážní okna izolátorů a jsou zkrácené na požadovaný rozměr.



Obr. 20: Díly pouzdra před závěrečným svařováním

Jednotlivé části kolenového dílu nejsou před finální kompletací svařené dohromady, protože by se buďto s obtížemi nebo vůbec nedalo nasunout na koleno vodiče, které na rozdíl od pouzdra je před kompletací již svařeno. U kratších rovných zapouzdrěných vodičů se nejprve svaří celé pouzdro i celý vodič, a ty se do sebe pak zasunou a postupně se nainstalují izolátory. Při kompletaci odbočkových či kolenových dílů se musí díly pouzdra i vodiče svařovat a nasouvat postupně. V těchto případech, kdy se musí pouzdro svařovat s již vsunutým vodičem, se nemůže využít polohovacího zařízení. Svařování jednotlivých dílů pouzdra na polohovacím zařízení je vidět na Obr. 21. Jednotlivé díly jsou nejprve jeřábem vloženy do polohovacího zařízení, jejich konce jsou vzájemně slícovány a bodově svařeny. Poté následuje kompletní svaření po celém obvodu pouzdra. Polohovacího zařízení, respektive rychlost otáčení si svářeč sám ovládá nohou.

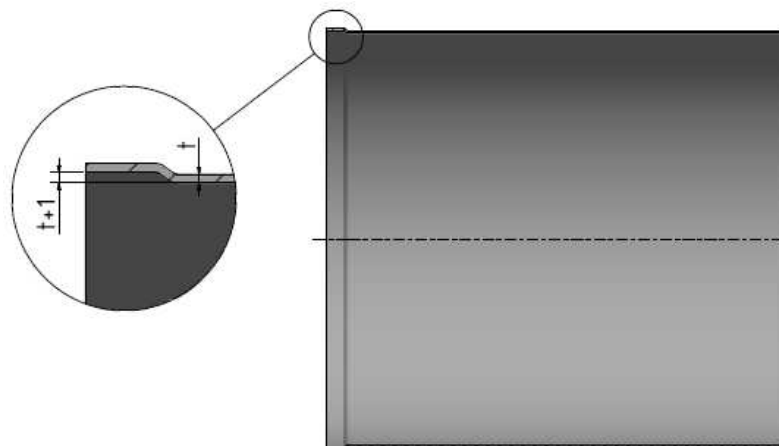


Obr. 21: Svařování jednotlivých dílů pouzdra

Toto polohovací zařízení rovněž není možné použít pro svaření rovného dílu s kolenným. Svářeči tak musí svařovat v různých polohách, což není ideální jak z hlediska produktivity, tak i z hlediska ergonomie práce. Tím následně může být i ovlivněna kvalita vzniklého svaru. Tvorba “V” nebo “pí” svaru v poloze nad hlavou je obzvláště náročná.

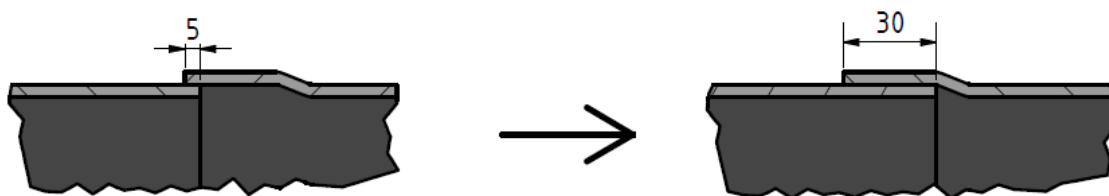
Poté následuje přivaření výztužných kruhů. Jak již bylo řečeno, tyto výztužné kruhy jsou důležitým prvkem pro pevnost pouzdra a jeho tvarovou stálost při působení zkratových, statických ale i dynamických sil, které mohou vznikat například při zemětřesení nebo působením silného větru. Po svaření všech prvků pouzdra i vodiče a po montáži všech izolátorů je přepravní jednotka připravena k finálnímu nástřiku vrchní barvy pouzdra.

Již dříve byl ve firmě pokus o racionalizační opatření, které spočívalo v úpravě výrobního postupu. Typ svaru při spojování jednotlivých plechů byl nahrazen koutovým svarem. Změny druhu svaru bylo docíleno konstrukční úpravou konce plechů, kdy se rozšířil jeden konec zakrouženého plechu, a bylo tak možné dva sousedící plechy do sebe nasunout. Rozšířením konce plechu tedy vznikl tzv. pertl (Obr. 22). Velikost rozšíření byla na poloměru rovna tloušťce plechu zvětšená o 1 mm.



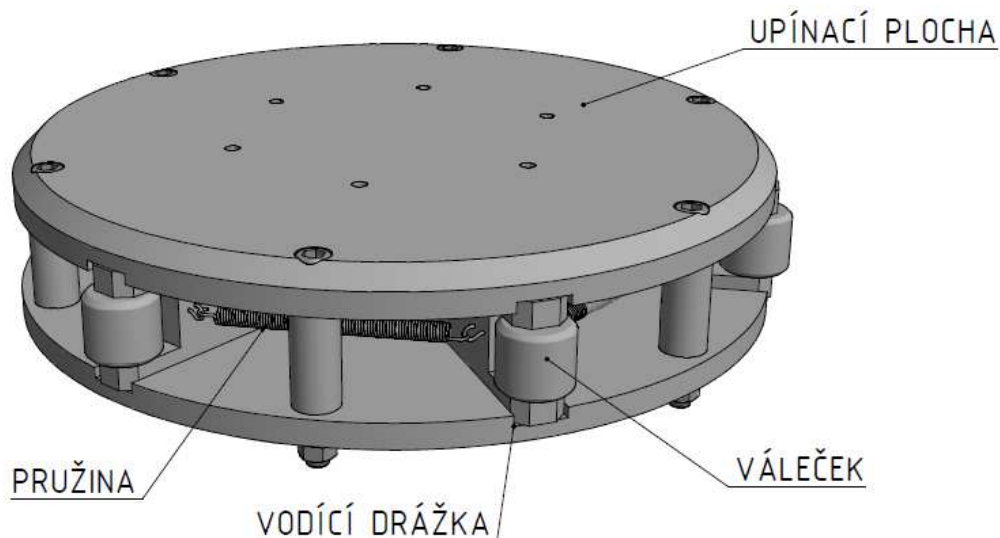
Obr. 22: Rozšíření konce plechu

Touto úpravou se zvýšila technologičnost konstrukce. Odpadla operace zarovnání čelních ploch pouzdra, jelikož plechy se už nesvařovaly tzv. na tupo. Konce plechů byly vzájemně přesazené, a nebylo tak nutné mít rovnoběžné čelní plochy. Tento způsob spojení tak umožňoval kompenzovat délku celkovou délkou pouzdra přepravní jednotky, jak je vidět na Obr. 23.



Obr. 23: Možnost délkové kompenzace

Pertl na konci plechu byl vytvářen na horizontální vyvrtávače pomocí speciálního přípravku. Přípravek pracoval na principu odstředivé síly, kde při dosažení určitých otáček měly válečky vlivem odstředivé síly působit z vnitřní strany na konec pouzdra a roztáhnout ho. Válečky měly nastavený doraz, kterým se vymezila vzdálenost, o který se mělo pouzdro rozšířit. Jak tento přípravek vypadal je vidět na Obr. 24.



Obr. 24: Původní přípravek na tvorbu pertlu

Přípravek byl upnutý ve vřetenu stroje a s pouzdem upnutým v objímkách se najelo na tento přípravek. Vřeteno se začalo otáčet a postupně se zvyšovaly otáčky, čímž válečky začaly působit na vnitřní stranu pouzdra a roztahovat ho. Tento přípravek byl vyroben pouze pro průměr pouzder 640 a 800 mm. Pomocí tohoto přípravku se vyrobilo pouze několik zakázek a poté se od něj upustilo. Ačkoliv způsob spojování plechů a svařování koutovým svarem byl výhodnější, tak tvorba pertlu pomocí zmíněného přípravku nebyla optimální. Vzniklý pertl byl nepravidelný, u každého kusu jiný, a musel se vždy ještě ručně kalibrovat. Nepravidelnost vzniklého pertlu spočívala v proměnlivé tuhosti pouzdra. Protože například v místě podélného svaru se pouzdro chová trochu jinak než na ostatních místech. Navíc plechy mají zaručenou

pouze minimální tloušťku, takže někde může mít 4 mm plech tloušťku 4,5 až 5 mm. Vlivem proměnlivé tuhosti pouzdra nebylo možné stanovit pro daný průměr a tloušťku pouzdra konkrétní otáčky. Otáčky se tak různě zvyšovaly, dokud pertl nedosáhl požadovaného tvaru. Někdy se však otáčky zvýšily natolik, že se pouzdro příliš rozvibrovalo a pertl se poškodil. Pertl se pak musel ručně opravovat, což nebylo vůbec efektivní.

2.3 Shrnutí nevýhod současného stavu

Z popsaného postupu výroby pouzdra se jako úzké místo jeví hned několik operací. Jsou to kalibrace, zarovnání čelních ploch a svařování jednotlivých dílů pouzdra dohromady. Nutnost kalibrování a zarovnání čelních ploch vlastně vycházejí z požadavků kladených na typ svaru při vzájemném spojování. Kvůli “pí” svaru musí být čelní plochy pouzder rovnoběžné a mít stejnou kruhovitost. Rovnoběžné z toho důvodu, aby po svaření výsledné pouzdro přepravní jednotky bylo rovné. Stejná kruhovitost je důležitá z důvodu lícování hran při svařování. U menších tlouštěk plechů je sice pouzdro poddajnější, a lze případné nepřesnosti korigovat stlačením plechu působením ruky pracovníka, může tím ale dojít k ještě větší deformaci pouzdra a následná kalibrace již dvou svařených dílů pouzdra je už dosti obtížná. Proto je důležitá kalibrace jednotlivých dílů ještě před jejich vzájemným svařováním.

Zarovnávání čelních ploch nebo případné úkosování zakroužených plechů probíhající na horizontální vyvrtávače patří k další operaci, která je potřeba racionalizovat. Zarovnávání probíhá na obou stranách plechu, s výjimkou krajních plechů přepravních jednotek. Plech se tak musí dvakrát upínat. Například 2 metrový díl pouzdra o průměru 960 mm a tloušťce 5 mm váží kolem 81 kg. Manipulace se tak musí provádět pomocí jeřábu. Otočení obrobku zabere poměrně dost času, protože se nejprve musí uvolnit objímky, poté uvázat lano pro jeřáb, pomocí jeřábu zvednout, otočit a znovu spustit, odepnout lana a opět upnout do objímek.

Co se týká vzájemného spojování jednotlivých dílů, zde neefektivita spočívá v typu svaru. Při svařování tzv. na tupo je použit svaru typu “pí”, jehož výroba při svařování hliníku menších tlouštěk je obzvláště náročná a vyžaduje velké zkušenosti svářeče. U větších tlouštěk plechů, kdy jsou konce úkosovány se někdy musí svar podkládat, aby došlo k správnému provaření. Časová náročnost výroby takových svarů tak narůstá.

V následující tabulce (Tab. 1) jsou vidět časové normy pro jednotlivé operace při výrobě pouzdra. U každého druhu operace je stanoven čas práce, případně čas přípravný.

Tab. 1: Časové normy pro výrobu pouzdra

Pouzdro Ø800mm, délka 2 m				
Č.	Druh operace	Přípravný čas	Čas práce	Stroj
1	Zakroužení plechu	0,5 Nh/zakázka	0,26 Nh/ks	Zakružovačka
2	Podélný svar	0,5 Nh/zakázka	0,27 Nh/m	Svářecí automat
3	Kalibrace 1. konce plechu		0,22 Nh	Ruční práce
4	Kalibrace 2. konce plechu		0,22 Nh	
5	Pálení otvorů pro izolátory	1 Nh/zakázka	0,2 Nh/ks	Tubosec (plasma)
6	Řezání pouzdra		0,23 Nh/m	

7	Nasazení přípravku		4,7 Nh	
8	Zarovnání 1. čelní plochy	0,45 Nh/zakázka	0,18 Nh	Horizontální vyvrtávačka
9	Zarovnání 2. čelní plochy		0,13 Nh	
10	Přivaření montážních oken pro izolátory + výztužného kruhu		4,6 Nh/zakázka	
11	Vnitřní nástřik pouzdra		0,21 Nh/ks	Ruční práce (lakovna)
12	Svaření dílů dohromady	0,37 Nh/ks	0,45 Nh/m	Ruční práce (svářecí poloautomat)

Uvedené hodnoty časových norem platí pro průměr pouzdra 800 mm. Pro větší průměry pouzder se všechny hodnoty zvyšují v závislosti na větší ploše, obvodu a hmotnosti, která dosti ovlivňuje manipulaci s pouzdrům a tím tedy přípravu pro jednotlivé operace.

3 Návrh řešení problému

3.1 Návrhy na zlepšení

Vzhledem k úzkým místům stávajícího výrobního postupu by racionalizačním opatřením měla být změna v postupu a zároveň i ve způsobu výroby. Je potřeba změnit operace kalibrování, zarovnávání čelních ploch a svařování jednotlivých dílů pouzdra. Směr, kterým by se racionalizace měla ubírat, by měl následovat předchozí pokus, kdy díky rozšíření konce pouzdra bylo možné ke spojení plechů aplikovat koutový svar. Tím se kromě výhodnějšího svaru docílilo i snadnější a přesnější montáže. Zároveň odpadla operace obrábění čelních ploch pouzder, která také představuje úzké místo výrobního postupu. Vznikem pertlu na konci pouzdra se docílilo také toho, že dva svařované plechy se do sebe nasunuly a nebylo tak potřeba kalibrovat jejich kruhovitost kvůli vzájemnému lícování při svařování tzv. na tupo. Nicméně navržený přípravek nebyl vhodným řešením. Jeho nespolehlivost a malá efektivita sebou přinášela jiné nevýhody, které byly do jisté míry větší než ty současné. Obrábění čelních ploch je sice časově náročnější než byla tvorba pertlu, nicméně při dodržení předepsaného postupu a podmínek se obráběním vždy dosáhne stejného výsledku v rámci tolerance. To se u výroby pertlu zmíněným přípravkem říct nedalo. S tím bylo spojeno také to, že ačkoliv díky pertlu již nebylo nutné kalibrovat kruhovitost pouzder, musel se kalibrovat a ručně do tvarovat samotný pertl, který byl nerovnoměrný.

Je tedy potřeba nalézt nové řešení, které bude eliminovat nevýhody současného stavu, ale zároveň sebou nepřinese žádné jiné závažné nevýhody. Pokud by výroba pertlu dosáhla takové spolehlivosti, že dodržáním předepsaného postupu a podmínek by byly výsledky v rámci tolerance vždy stejné, dosáhlo by se značné časové úspory. Úplně by odpadla operace ručního kalibrování a tvarování pertlu. Zároveň by výroba pertlu probíhala pouze na jednom konci plechu, tedy pouze na jedno upnutí oproti stávajícímu obrábění obou čelních ploch a nutnosti dvojího upínání.

Dalším možným přínosem by bylo využití svařovacího automatu, který je v současné době využíván pouze ke svařování vodičů. Vodiče mají totiž větší tuhost, a tím přesnější kruhovitost, protože mají menší průměr a větší tloušťku a ani působením větší síly se nedeformují a kruhovitost se tak nemění. Proto je možné udržet konstantní velikost oblouku při otáčení svařovaných dílů. Svařovací automat je vidět na Obr. 25.



Obr. 25: Svařování vodičů svařovacím automatem

U pouzder větších průměrů a malých tloušťek je to problém, protože ruční kalibrací pouzder není možné docílit takové kruhovitosti, aby svářecí automat udržel konstantní velikost oblouku. Svářecí automat by tak musel být dovybaven senzory, které by zajistily konstantní velikost oblouku i při svařování pouzder s oválnějším tvarem. Dovybavení těmito senzory by ale představovalo značnou investici.

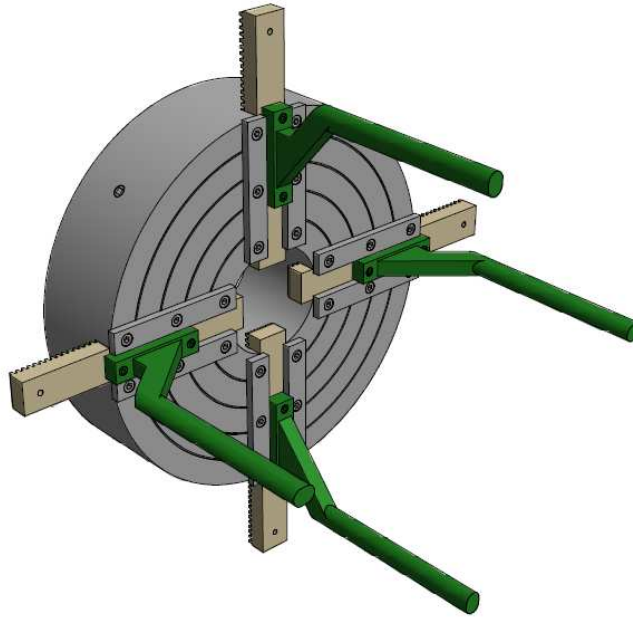
3.2 Návrh variant výroby jednotlivých dílů pouzdra

Zmíněnou racionalizaci lze provést několika způsoby. Jako první možnost se nabízí využití horizontální vyvrtávačky, stejně jako tomu bylo u dřívějšího pokusu racionalizace. Jen je potřeba navrhnout jiný, spolehlivější přípravek. Druhou možností by bylo úplně vynechání jednoho pracoviště, konkrétně horizontální vyvrtávačky, a výrobu pertlu se pokusit zakomponovat do operace zakružování. Další možností je pak investice do nového strojního vybavení již uzpůsobeného na požadované úpravy plechů. O této variantě by se dalo uvažovat v případě, že by se neosvědčila žádná z prvních dvou možností.

3.2.1 Využitím horizontální vyvrtávačky

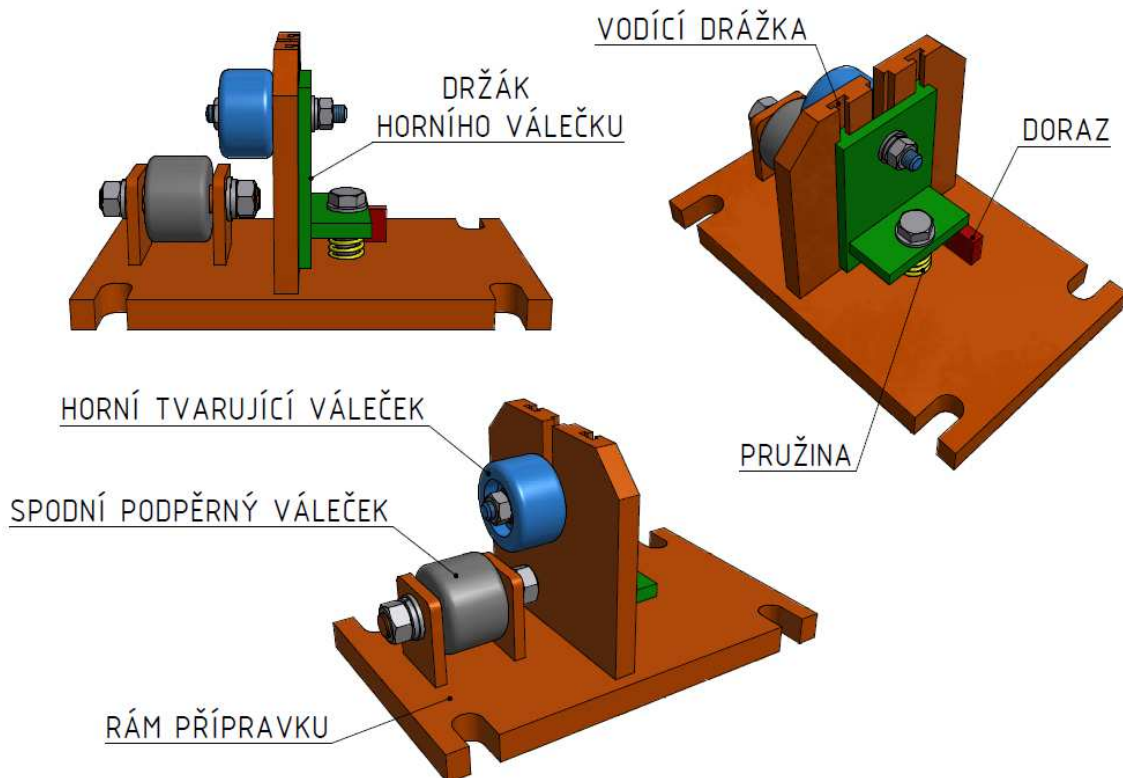
Pokud jde o možnost využití horizontální vyvrtávačky, v podstatě se zde nabízejí dvě varianty, jak tento stroj využít. První možností je, že by se otáčelo pouzdro a přípravek byl fixní a druhou možností je, že ve vřetenu by byl upnutý přípravek, který by se otáčel, a zafixované by bylo pouzdro. V případě první možnosti, by se pouzdro upnulo do vřetena, a na posuvném stole stroje bude upnutý přípravek pro tvorbu pertlu. Upnutí pouzdra je možné

provést buď pomocí sklíčidla s možností velkého rozsahu upnutých průměrů (Obr. 26), anebo výrobou speciálního upínacího přípravku.



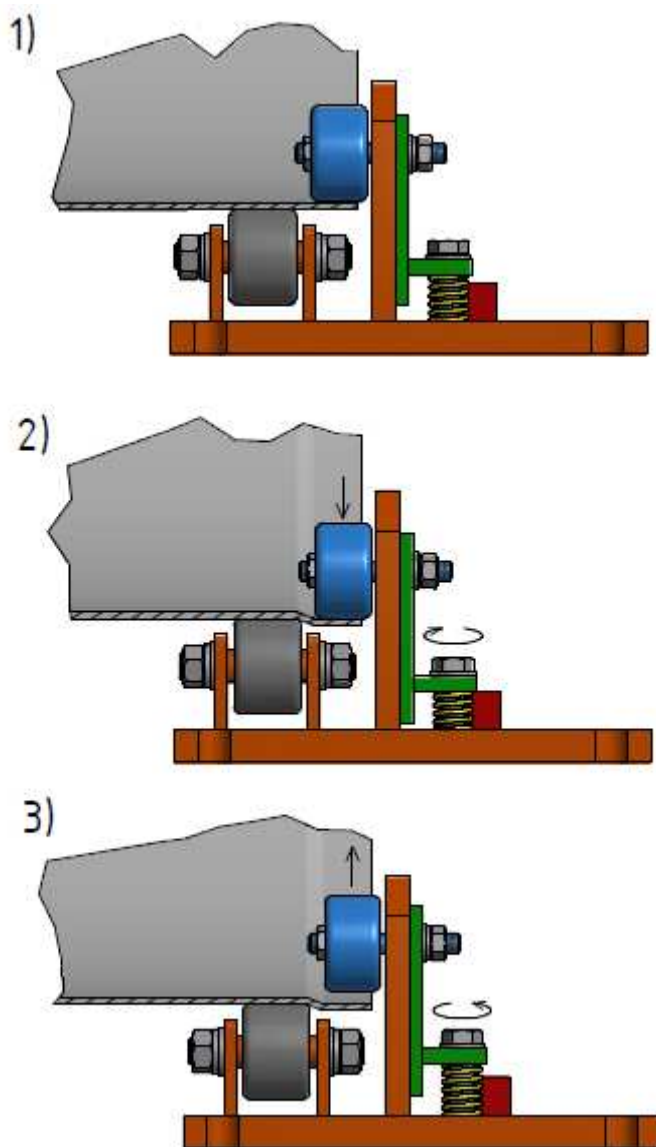
Obr. 26: Sklíčidlo na upínání pouzder

Přípravek pro výrobu pertlu se pak upne na posuvný stůl stroje. Jak může takový přípravek vypadat, je i s popisem jednotlivých částí vidět na Obr. 27.



Obr. 27: Fixní přípravek pro tvorbu pertlu

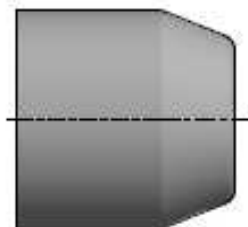
Na Obr. 28 je znázorněn princip tvorby pertlu tímto fixním přípravkem. V první fázi se najede přípravkem ke konci pouzdra tak, že se plech opře o spodní váleček. Ve druhé fázi se pouzdro začne otáčet a současně se dotahováním šroubu horní váleček přitlačuje na vnitřní stranu konce pouzdra, až vznikne požadovaný pertl. K tomu, aby pertl nebyl příliš malý nebo velký, slouží doraz umístěný na rámu přípravku. V poslední fázi se šroub povolí a díky pružině se horní váleček oddálí. Následně je možné s pouzdem opět vyjet mimo přípravek. Princip přitlačování a oddalování horního válečku by také šlo řešit pákou namísto dotahování šroubu.



Obr. 28: Princip tvorby pertlu fixním přípravkem

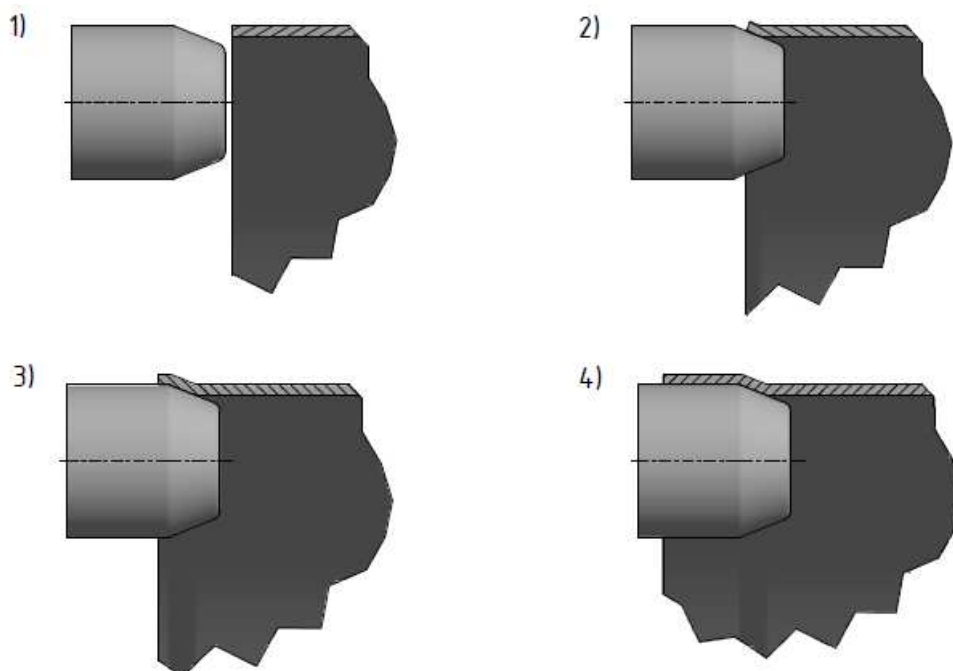
Druhou možností je upnutí přípravku do otáčejícího se vřetena a pouzdra na posuvný stůl stroje. Tato varianta by byla výhodnější z toho hlediska, že by bylo možné využít stávajících upínacích objímek, do kterých se upínají pouzdra při zarovnávání čelních ploch. Tím by se ušetřily náklady oproti předchozí variantě, kde by se muselo investovat do sklíčidla nebo do výroby nového přípravku pro upínání pouzder.

Aby nedocházelo ke stejnému problému, jako u dříve navrženého přípravku, kde působící síla závisela na rychlosti otáčení, je potřeba, aby nový přípravek působil maximální silou už od nejnižších otáček. Proto by bylo vhodné, aby poloha válečků byla fixní a nezávisela na otáčkách. Průměr na vnějším obvodu přípravku by tak byl stejný, jako vnitřní průměr pertlu. Tvar válečků tak oproti původnímu přípravku musí mít z části kuželový tvar (viz Obr. 29).



Obr. 29: Tvar válečku pro tvorbu pertlu

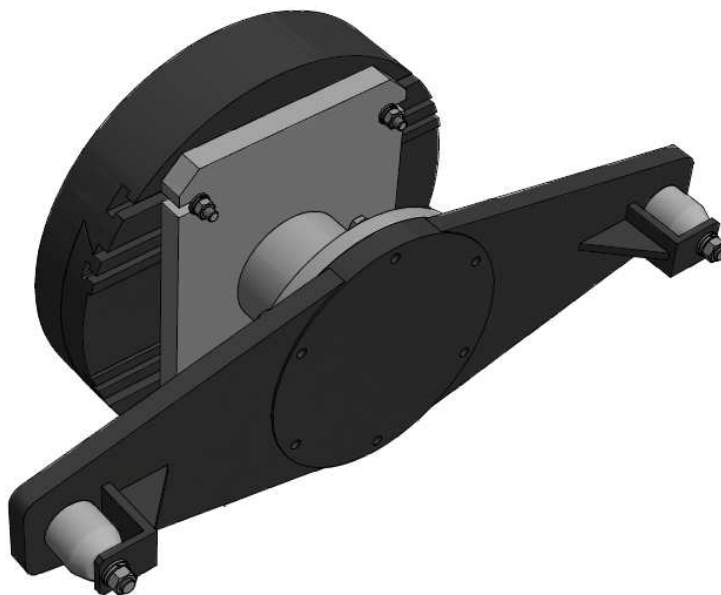
Díky kuželu tak může přípravek plynule najíždět do pouzdra i za současného otáčení celého přípravku, jak je vidět na Obr. 30. Nemusí se tak nejprve s přípravkem najíždět do vnitřku pouzdra a až teprve pak začít přípravkem otáčet. Pevně nastavené válečky se při proměnlivé tuhosti pouzdra neodtlačí a vnitřní průměr pertlu tak bude mít konstantní hodnotu.



Obr. 30: Postup tvorby pertlu pomocí válečku s kuželovým koncem

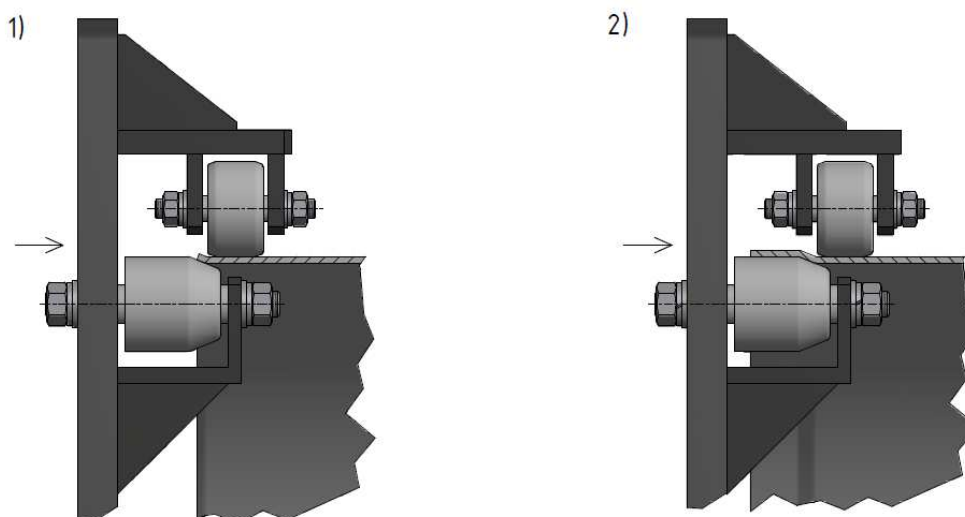
Je patrné, že vzdálenost mezi osou válečku a osou vřetena bude záviset na průměru pouzdra. S rostoucí vzdáleností mezi osami tak bude narůstat síla působící na váleček, respektive na jeho uložení a přípravek samotný. Konstrukce přípravku tak musí být dostatečně tuhá, aby nedocházelo k jeho deformaci a zároveň, aby jeho údržba byla minimální. S ohledem na

možnost využití stávajícího upínacího přípravku by nový přípravek mohl být uchycen následovně (viz Obr. 31).



Obr. 31: Přípravek se dvěma protilehlými válečky

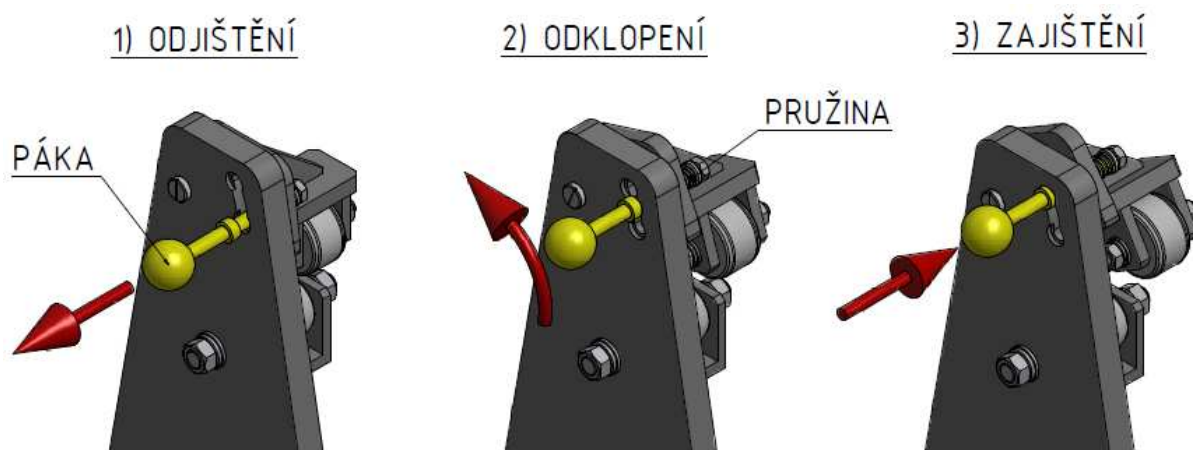
Aby nedocházelo působením dvou válečků pouze k pružné deformaci, musel by na přípravek být přidán ještě vnější váleček, který bude působit na vnější stranu pouzdra a tím bude pomáhat lépe tvarovat pertlu. Na Obr. 32 je znázorněn postup tvorby pertlu s použitím zmíněného vnějšího válečku. Je ovšem patrné, že z technického hlediska by se muselo vyřešit vyjetí přípravku zpět z pouzdra. Po vytvoření pertlu totiž plech zůstane v přípravku zaklíněný a vnější válečky tak při vyjíždění pertlu poškodí.



Obr. 32: Princip tvorby pertlu pomocí vnějšího válečku

Vnější válečky se tak musí po dokončení pertlu nějakým způsobem odsunout nebo odklopit, aby bylo možné s přípravkem vyjet zpět. Nabízí se zajištění pomocí šroubového spoje

či zajištění na principu čepu a závlačky. Odklápění válečků však musí být prováděno s co nejmenšími časovými ztrátami. Zajištění šroubovým spojem či závlačkou se tak nejeví jako nejvhodnější, protože povolování šroubů nebo neustálé zasouvání a vytahování závlačky po každém zakrouženém plechu je časově náročné. Daleko rychlejší variantou k uvolnění válečků by byl systém na principu čepu nebo kolíku zajištěného pružinou. Tento systém je znázorněn na Obr. 33. V první fázi se musí vytáhnout páka, aby došlo k jejímu odjištění, ve druhé fázi se páka odklopí nahoru a s ní i vnější váleček a ve třetí fázi se páka pustí a díky pružině opět zapadne do drážky, čímž se zajistí poloha válečku mimo pertl. Po dokončení pertlu se tak společně s uvolňováním objímek ručně odklopí vnější válečky a posuvným stolem se odjede mimo přípravek, aniž se poškodí pertl.

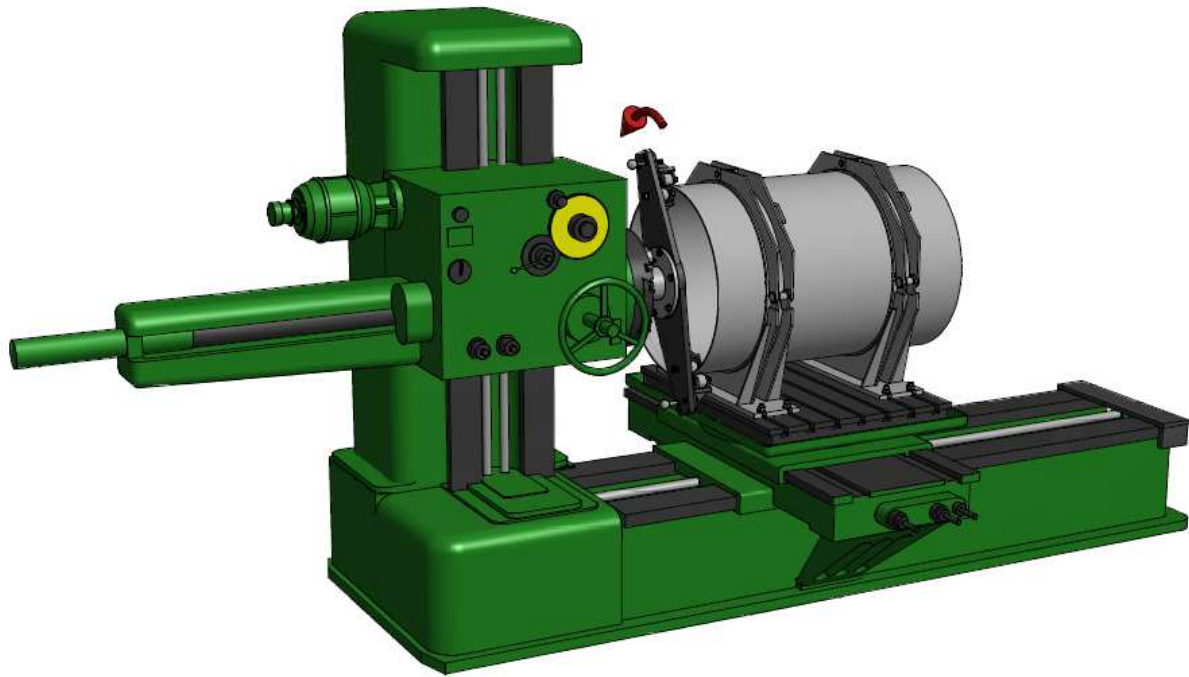


Obr. 33: Pružinový systém odklápění válečků

Na dalších obrázcích již můžeme vidět náhled na sestavu přípravku s rozpadem sestavy (Obr. 34) a také stroj osazený přípravkem společně s pouzdrem (Obr. 35).



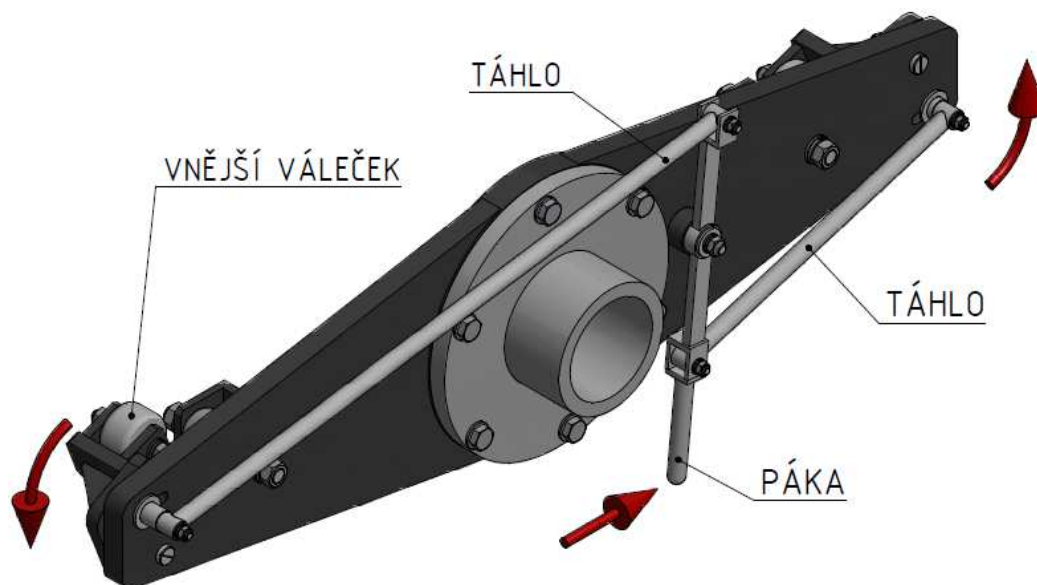
Obr. 34: Sestava přípravku + rozpad sestavy



Obr. 35: Stroj osazený přípravkem včetně upnutého pouzdra

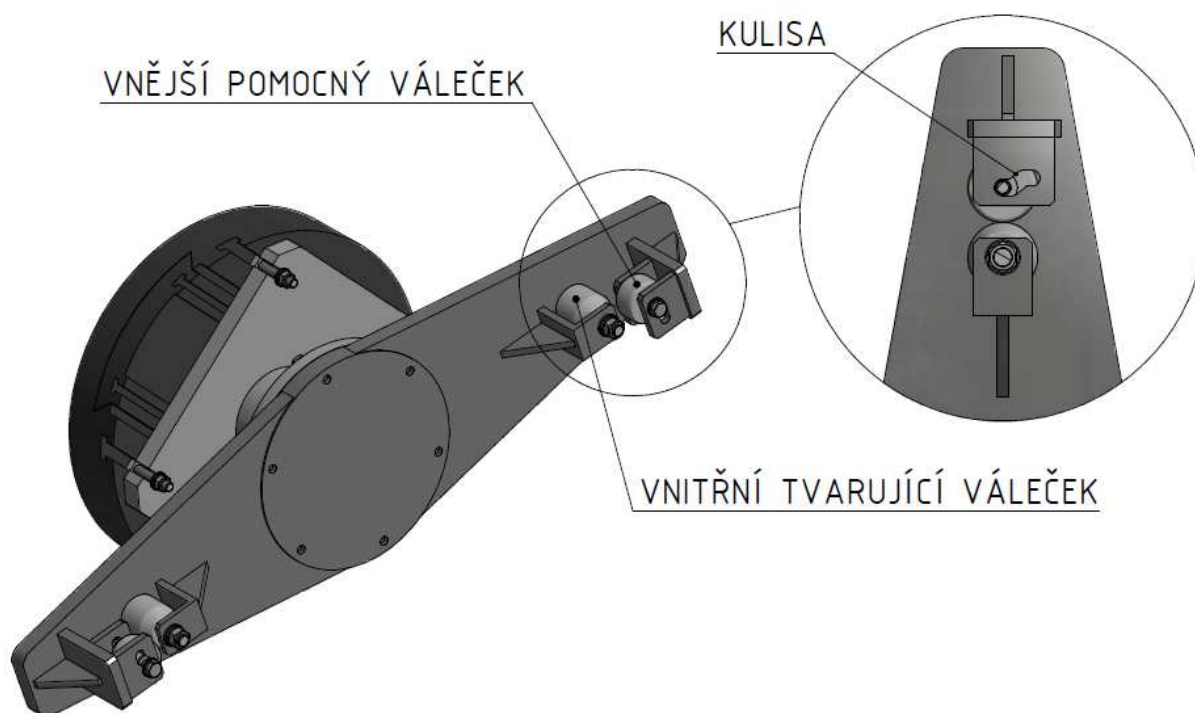
System zajištění pomocí pružiny však bude náročnější na výrobu. I odjištění válečků po vytvoření pertlu, obzvláště u větších průměrů pouzder, znamená zvýšené nároky na obsluhu, protože zastaví-li se přípravek s válečkem v horní poloze, odjišťovací páka bude pro obsluhu daleko. Pro pohodlné odjištění by pracovník musel pootáčet vřetenem tak, aby měl lepší přístup k válečkům.

Vyhnout se tomuto problému lze zautomatizováním zajišťování a odklápění. V úvahu připadá například využití elektrických, hydraulických či pneumatických prvků. Použitím těchto prvků se však značně zvyšují náklady na výrobu přípravku. Navíc instalace těchto prvků na rotující součást by byla problematická, vzhledem k možnosti přívodu elektřiny, vzduchového či hydraulického média pouze středem vřeten. V úvahu tak připadá pákový mechanismus, který lze na rotující přípravek umístit i bez úprav stroje (Obr. 36). Mechanismus je umístěn mimo osu rotace, má poměrně kompaktní rozměry a jednoduchý způsob ovládání na principu táhel. Zajištění či odklopení válečků je navrženo pomocí páky. Ke snížení fyzických nároků na obsluhu, lze na krátkou ovládací páku vždy nasadit ještě jednu delší páku k vyvození větší ovládací síly. Rychlost odklopení by v takovém případě závisela na poloze, ve které se přípravek zastaví. Obsluha by se tak musela snažit stroj zastavovat tak, aby ovládací páka byla vždy na straně, ze které stojí obsluha stroje. V opačném případě by obsluha musela stroj obcházet nebo si opět vřetenem pootáčet.



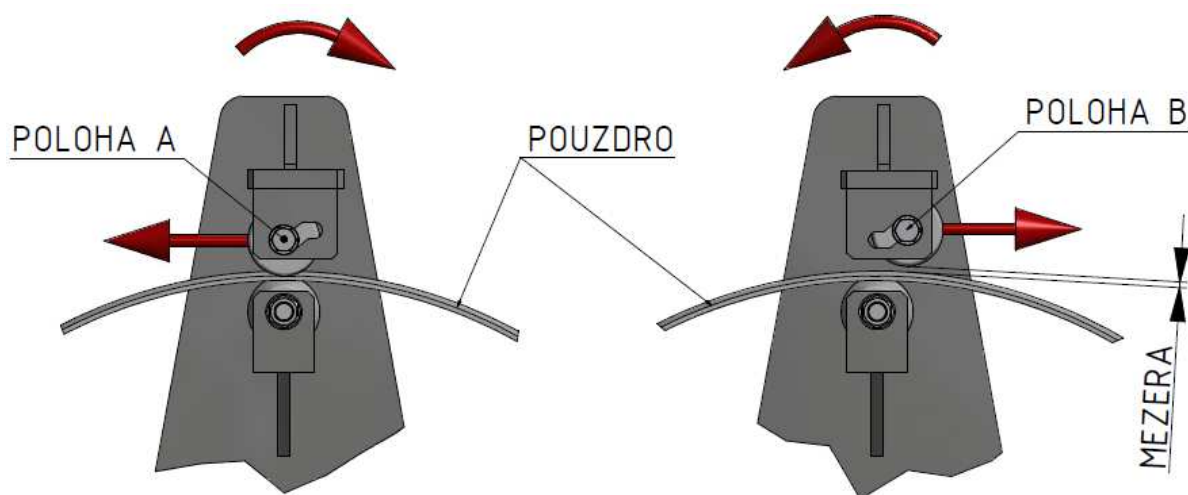
Obr. 36: Pákový mechanismus na odklápění vnějších válečků

Aby se obsluha vyhnula tomuto problému s odjišťováním válečků, ať už pomocí pákového mechanismu nebo přímo rukou (viz Obr. 33), vnější válečky by se musely odjistit samovolně. Tím by se vyřešil problém se zastavováním přípravku ve vhodné poloze a zároveň by se tím celkově celá tato operace značně urychlila. Samovolné odklopení by mohlo nastat například při změně směru otáčení. Konstrukce takového přípravku je vidět níže na Obr. 37. Princip je založený na kulisovém mechanismu, kdy vnější váleček se nachází vždy v jedné ze dvou krajních poloh. V jedné poloze tak pomáhá tvarovat pertl a ve druhé naopak umožní vyjetí přípravku, aniž se dostane s pertlem do kontaktu.



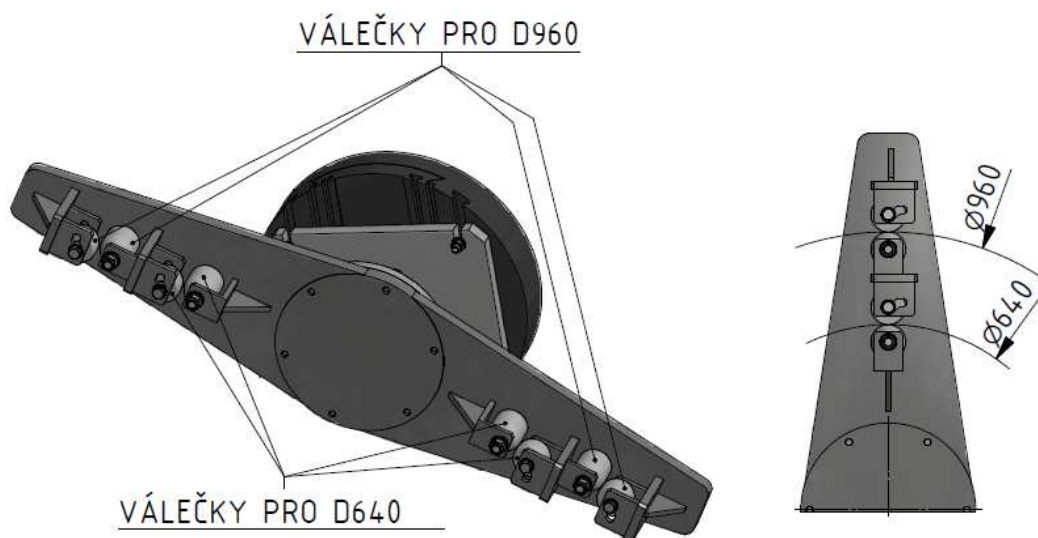
Obr. 37: Přípravek se samovolným odjišťováním vnějších válečků

Na Obr. 38 je detailněji znázorněn princip přitlačování a odklápění vnějšího válečku. Vnější váleček se do polohy A dostane díky součiniteli tření mezi válečkem a vnějším povrchem pouzdra. Ke zvýšení tohoto součinitele je možné povrch vnějšího válečku opatřit například pryží. Pro odklopení válečku se musí změnit směr otáčení přípravku. Vnější váleček se tak díky součiniteli tření posune do oblasti mezi polohou A a B a vlivem setrvačné síly se pak dostane až do polohy B, čímž dojde ke vzniku mezery mezi válečkem a pouzdrem a umožní tak vyjetí přípravku, aniž by se poškodil již vzniklý pertl.



Obr. 38: Princip samovolného přitlačování a odklápění vnějších válečků

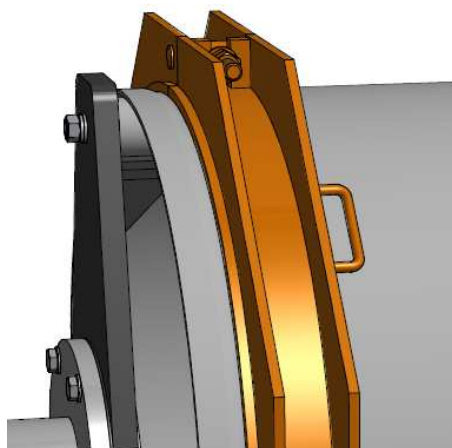
Snížení výrobních nákladů lze dosáhnout návrhem přípravku, který bude použitelný pro více průměrů pouzder, aniž by se musel ze stroje demontovat. Jednofázově izolované zapouzdřené vodiče jsou vyráběné v typových řadách s průměrem 400 mm, 480 mm, 540 mm, 640 mm, 800 mm, 960 mm, 1120 mm, 1280 mm, 1600 mm a 1820 mm. Na Obr. 39 je vidět kombinovaný přípravek použitelný jak pro průměr 640 mm, tak i pro 960 mm.



Obr. 39: Kombinovaný přípravek se samovolně odklápěcím mechanismem

Podobně by se daly kombinovat i další dvojice, případně trojice či čtveřice. Nelze však kombinovat dvojice sousedících průměrů pouzder, jako například 640 + 800 mm nebo 800 + 960 mm. Na Obr. 39 vpravo je vidět, že pro tvarující válečky pro průměr pouzdra 800 mm už na přípravku není místo.

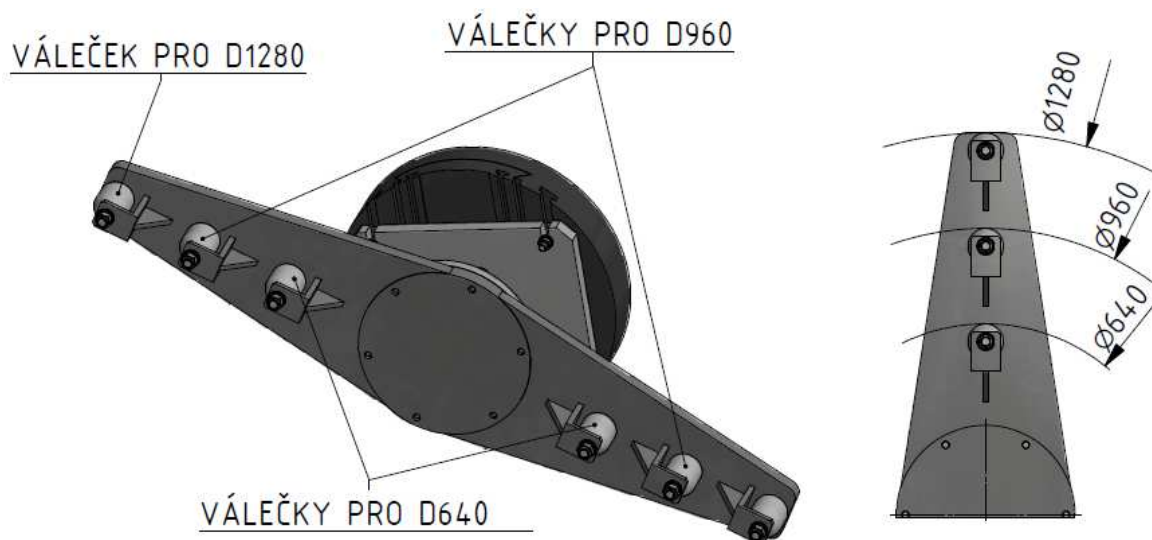
Dalším možným řešením, jak správně vyrobit pertlu, je využití přímo upínacích objímek, které by zastaly funkci vnějších válečků. Způsob upnutí pouzdra pro toto řešení je vidět na Obr. 40. Pouzdro je upnuté do objímky tak, že plech přesahuje pouze o nezbytně nutnou vzdálenost, která postačí k vytvoření pertlu. Hrana upínací objímky by se musela zaoblit, aby v oblasti, kde se opírá o pouzdro, nedocházelo k jeho otlačení.



Obr. 40: Upnutí pouzdra při tvorbě pertlu

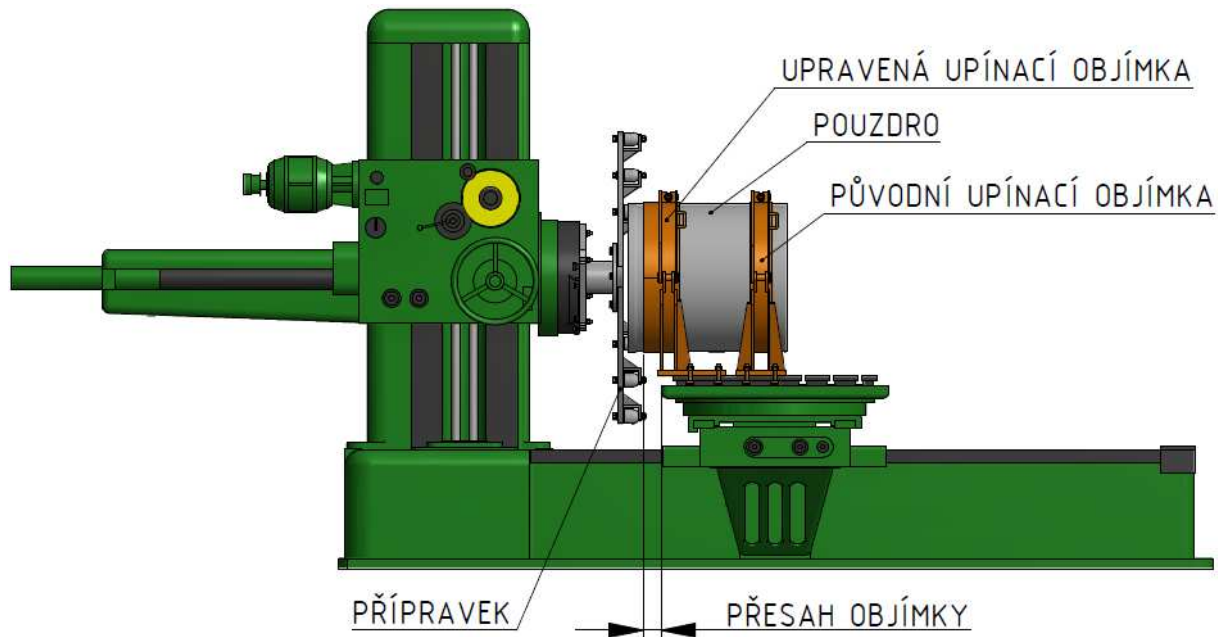
Pokud tedy z přípravku odpadnou vnější válečky, a nebude nutné řešit způsob jejich přitlačování a odklápění, sníží se tím jednak náklady na výroby přípravku, ale také nároky na údržbu. Eliminací odklápěcího mechanismu se také zvýší spolehlivost přípravku.

Stejně jako předchozí přípravek (Obr. 39), tak i tento by mohl být využíván pro více průměrů pouzder současně. Na Obr. 41 je konkrétně přípravek pro kombinaci průměrů 640 mm, 960 mm a 1280 mm.



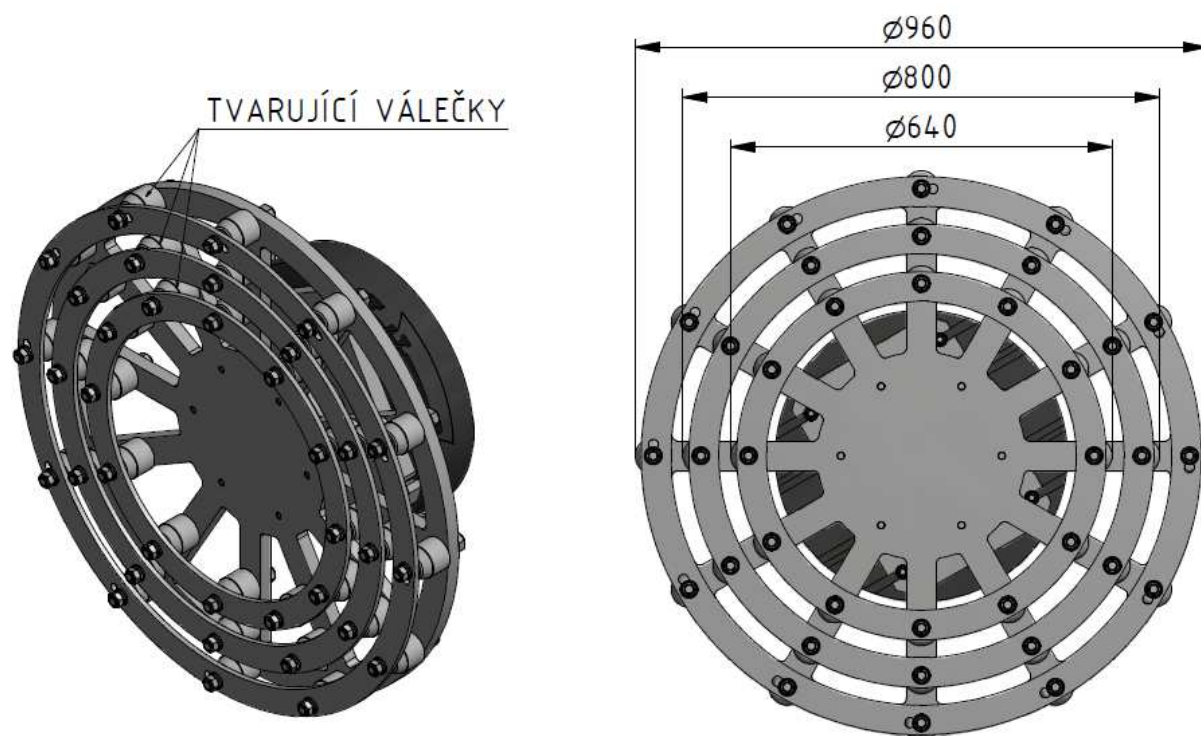
Obr. 41: Kombinovaný přípravek bez vnějších válečků

Oproti předchozímu přípravku s vnějšími pomocnými válečky by aplikace tohoto přípravku vyžadovala také úpravu upínacích objímek. Při tomto způsobu tvorby pertlu pouzdro totiž přesahuje hranu objímky jen o několik centimetrů a při aplikaci přípravku na pouzdro s průměrem 640 mm by došlo ke kolizi přípravku s posuvným stolem stroje. Úprava upínací objímky je patrná na Obr. 42. Je vidět, jak se úpravou dosáhlo požadovaného přesahu hrany objímky přes hranu posuvného stolu a tím se zabránilo kolizi s otáčejícím se přípravkem.



Obr. 42: Aplikace kombinovaného přípravku

Odzkoušení v praxi by ukázalo, zda takovýto tvar přípravku bude vyhovovat z hlediska tuhosti. Za zvážení by pak stál návrh přípravku kruhového tvaru, což jednak zvýší tuhost, a také umožní umístění většího počtu válečků po celém obvodě. Z důvodu snížení výrobních nákladů i časů na výměnu by opět bylo možné jeden přípravek použít pro více průměrů pouzder. Příklad konstrukce kombinovaného kruhového přípravku je vidět na Obr. 43. V tomto případě se jedná o kombinaci průměrů 640 mm, 800 mm a 960 mm. Ovšem i zde by v případě kombinovaného přípravku byla nevyhnutelná úprava upínací objímky. K zamezení konstrukčních úprav upínacích objímek by i zde bylo možné použít variantu, kdy pro každý průměr pouzdra bude vyroben jeden samostatný přípravek.



Obr. 43 Kombinovaný kruhový přípravek

S ohledem na časové úspory během výroby pouzder v dané zakázce lze kombinaci průměrů provést ještě jiným způsobem. V naprosté většině zakázek jednofázově izolovaných zapouzdřených vodičů se trasa skládá z hlavní a odbočkové trasy. Odbočková trasa má téměř v 90ti% zakázek průměr pouzdra 640 mm. Z tohoto důvodu by bylo vhodné v případě výroby více přípravků umístit na každý z nich válečky také pro výrobu pertlu na průměr pouzdra 640 mm. Docílilo by se tím toho, že kvůli pouzdrům pro výrobky s průměrem 640 mm by se pokaždé nemusel měnit přípravek. Norma času stanovená na výměnu stávajícího upínacího přípravku pro soustružnický nůž se pohybuje mezi 4 až 5 Nh. Dá se tedy předpokládat, že výměna přípravku pro tvorbu pertlu by trvala podobně dlouho.

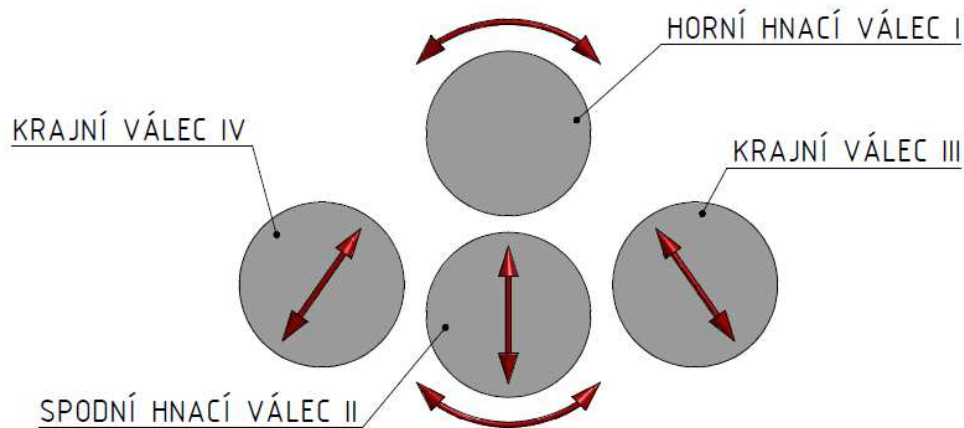
3.2.2 Využitím zakružovačky

Zatím tedy byly navrženy varianty buď s nově vzniklým pracovištěm, nebo možností využití horizontální vyvrtávačky, kde by se operace obrábění čelních ploch zaměnila za operaci tvorby pertlu. Aplikací varianty s využitím stávajícího pracoviště odpadly z výrobního postupu dvě operace, které byly nahrazeny jednou novou operací. Kromě zmíněného zarovnávání čelních ploch a případného úkosování odpadla také operace kalibrování pouzdra. U operace svařování jednotlivých dílů pouzdra dohromady se změnil typ svaru z tupého na koutový.

Jako poslední bude detailněji popsána varianta, kde by výroba pertlu probíhala sloučením dvou operačních úseků do jednoho pracoviště. Konkrétně to je operace zakružování plechu a výroba pertlu. Společným pracovištěm je zakružovačka. Při zakružování pouzdra prochází plech mezi dvěma hnacími válci, čehož by se dalo využít právě k vytvoření pertlu. Vzhledem k charakteru materiálu pouzdra, které je tvořeno hliníkem o čistotě 99,5%, což je

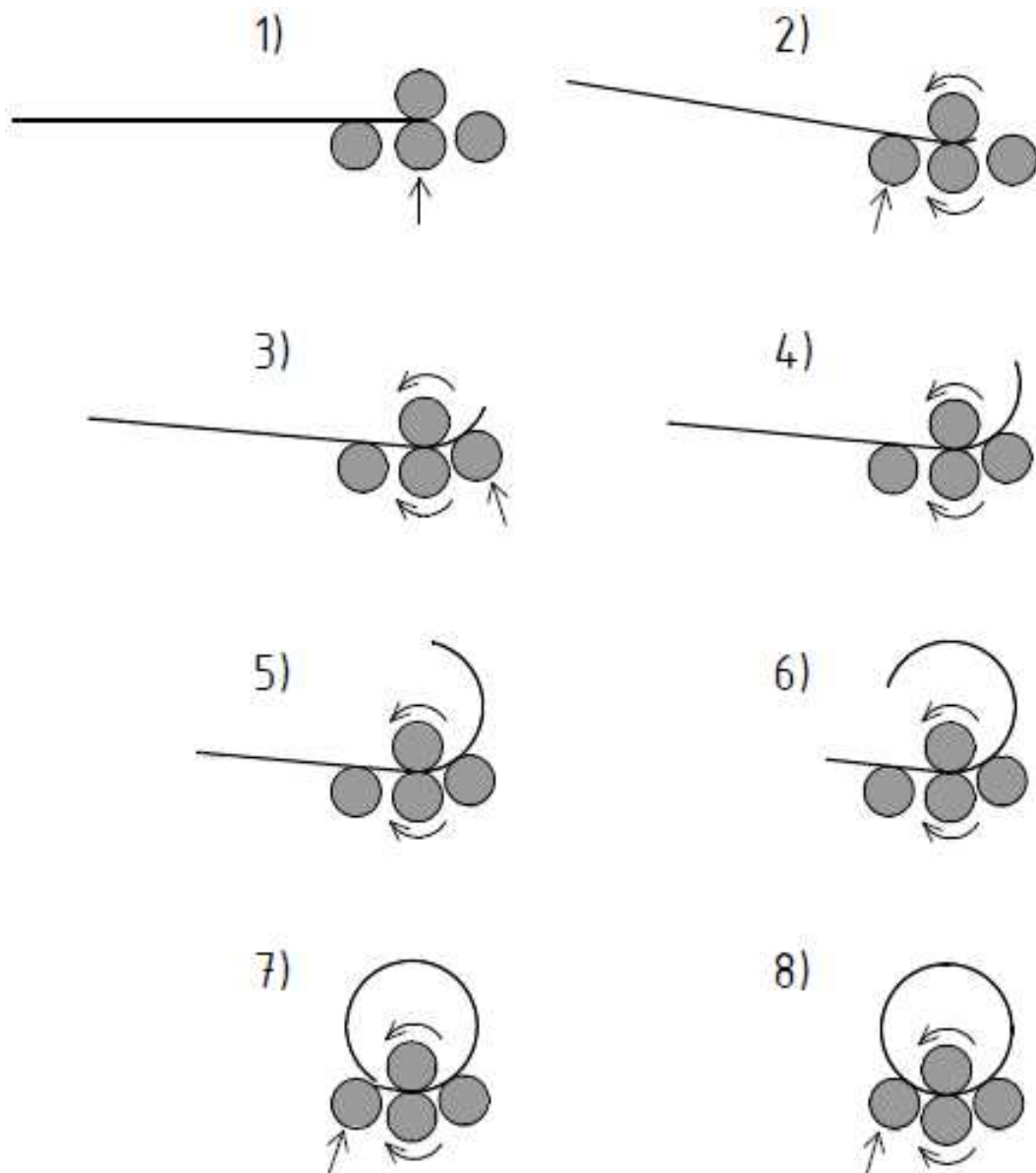
velmi tvárný materiál, by vytvoření pertlu nebyl žádný problém, a to ať už z hlediska samotného materiálu, tak z hlediska namáhání válců stroje.

Je tedy potřeba vyřešit pouze, jakým způsobem výrobu pertlu zakomponovat do operace zakružování. Pro lepší orientaci v této problematice je nejprve detailněji popsána samotná operace zakružování, respektive její princip, postup a různá specifika. Na Obr. 44 je znázorněno rozmístění válců a možnost jejich pohybu. Pouze dva prostřední válce jsou hnací. Z těchto dvou hnacích válců je pouze spodní válec výškově nastavitelný.



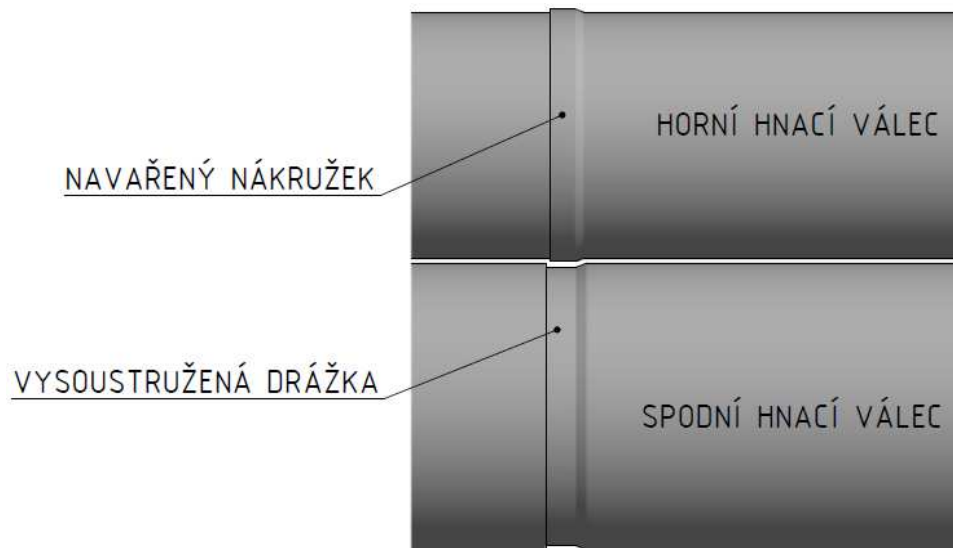
Obr. 44: Rozmístění válců a jejich pohyb

Otáčením prostředních válců I a II se docílí posun plechu vpřed a vzad. Krajiní válce III a IV slouží k tvarování plechu do požadovaného tvaru, respektive požadovaného průměru. Na dalším obrázku je znázorněn postup při zakroužení pouzdra (Obr. 45). Plechy jsou připravené na paletě vedle zakružovačky a mezi válce jsou dány za pomoci jeřábu. Plech se mezi prostředními válci I a II zaklíní (viz krok 1 na Obr. 45) a obsluha tak může přejít k ovládacímu panelu, kde plech stlačí mezi prostřední válce a následuje samotné zakružování. V dalším kroku se začne zvedat krajiní válec IV, čímž se docílí ohybu plechu už od jeho úplného kraje, který je sevřený mezi válci I a II. V kroku 3 se začne zvedat také krajiní válec III, o který se plech tlačný hnacími válci začne tvarovat do požadovaného tvaru. V krocích 4, 5 a 6 už oba krajiní válce zůstávají ve stejné poloze. Až v kroku 7 se začne zvedat také krajiní válec IV, aby plech dostal finální tvar (viz krok 8). Po zakroužení se odklopí horní prostřední válec a zakroužený plech se pomocí jeřábu vyjme ze zakružovačky.



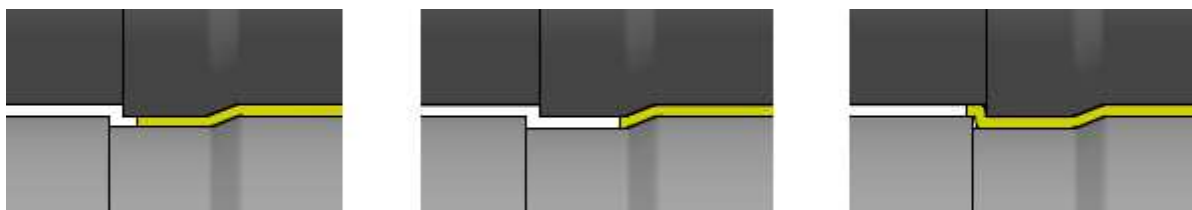
Obr. 45: Postup zakroužení pouzdra

K začlenění výroby pertlu do operace zakružování budou nutné určité úpravy stroje. Úprava se bude týkat především dvou prostředních hnacích válců. Na Obr. 46 je vidět, že u spodního válce musí být materiál ubraný a u horního naopak přidáný.



Obr. 46: Úprava prostředních válců pro tvorbu pertlu

Spodní válec by se tak musel soustružit a nákrůžek na horním válci přivařit a poté obrobít do požadovaného tvaru. Výsledkem této úpravy bude to, že po přimáčknutí obou válců k plechu vznikne pertl, který bude kopírovat mezeru mezi válci. Při následném zakružování tak bude pertl vznikat po celém obvodu plechu. Výhodou u zakružování plechů na pouzdra oproti plechům na vodiče je to, že díky menším tloušťkám pouzder se plech zakrouží na jednu otáčku, kdežto u vodičů se nejprve dělají náběhy na obou stranách a finální tvar se docílí až po několika otáčkách. V každé otáčce se krajní válce postupně zvedají, až se docílí požadovaného výsledku. Pokud by byl stejný postup i u pouzder, použití zmíněné úpravy válců by pravděpodobně komplikovalo tvorbu pertlu, protože není jisté, že při další otáčce již vzniklý pertl znovu najede přesně do drážky ve spodním válci. Již vytvořený pertl se tak bude tvářet podruhé a pokud přesně nenajede ve stejné dráze, jako při první otáčce, dojde k jeho poškození. Na Obr. 47 uprostřed a vpravo je vidět, k jakému poškození pertlu může dojít. Naopak případ vlevo, kdy již vytvořený pertl přesně najede do původní dráhy, by byl výhodný v tom, že dojde ke zpevnění pertlu. Zakružovaný plech by se tak musel ručně přitlačit, aby pertl najel ve stejné dráze.

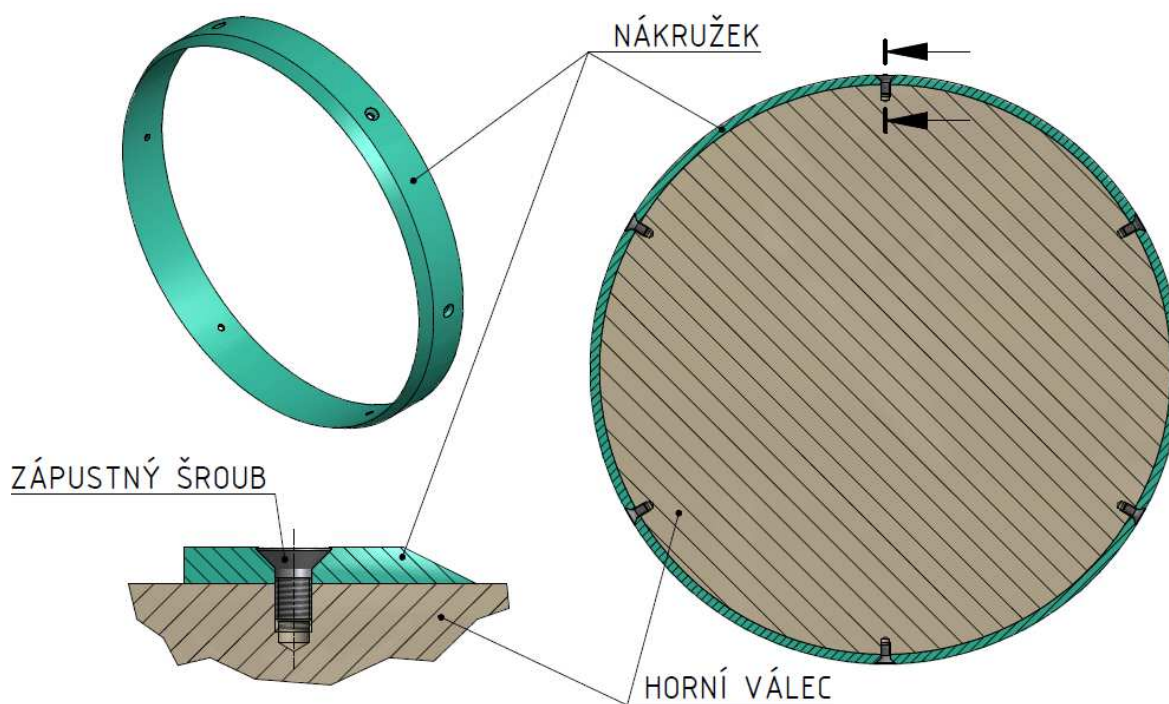


Obr. 47: Možné případy najetí vytvořeného pertlu při druhé otáčce

Aplikací této varianty, by se musela vybrat pouze jedna tloušťka plechu, pro kterou válce zakružovačky upravit, protože upravenými válci například pro tloušťku plechu 3 mm, nebude možné vytvořit pertl na 5 mm silném plechu, neboť tak vznikne s ohledem na 1 mm přídavek na poloměru pouze 4 mm vysoký pertl. Plech s takovýmto pertlem pak nebude možné nasadit na sousední plech bez pertlu. Výběr jedné tloušťky plechu by se provedl na zá-

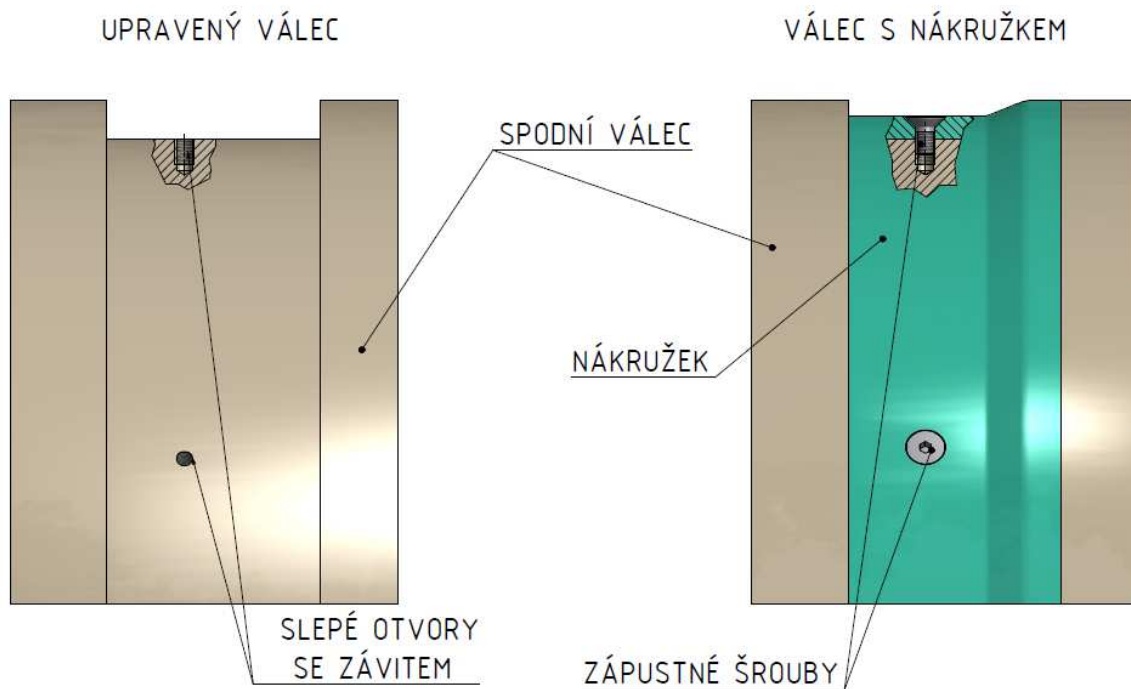
kladě analýzy nejpoužívanějších tloušťek pouzder za předchozí roky. Další komplikací této varianty je omezení možnosti zakružovat 3 metrové plechy na vodič, protože délka válce zakružovačky je cca 3040 mm. Aby nedošlo k poškození plechu, navařený prstenec na horním válci by musel být téměř na úplném kraji válce, což není ideální. Jednou možností, jak se tomuto problému vyhnout je dohoda s dodavatelem na menší rozměr formátu plechu pro vodiče. Pokud by se však tyto formáty plechů chtěly zachovat, nabízí se varianta s výměnnými horními válci. Tato varianta je rovněž možná, protože ve firmě je jeden horní válec jako náhradní. Pokud bude horní válec hladký bez nákrůžku, nic nebude mít tendenci vtlačovat plech do drážky ve spodním válci, která by zůstala natrvalo a spodní válec se tak nemusel vyměňovat. Nicméně neustálá výměna horního válce při přechodu z pouzder na vodiče není efektivní.

Jako výhodnější možnost se nabízí pouze dočasná úprava válců, vždy jen pro tvorbu pertlu. Prstenec na horním válci nebude navařený, ale nahradí ho nasouvací nákrůžek, který lze kdykoliv sundat. V případě horního válce toto řešení není problém vzhledem k tomu, že je výklopný, jak již bylo řečeno dříve. Tloušťka tohoto výměnného nákrůžku bude různá podle tloušťky zakružovaného plechu. Například pro 4 mm plech bude tento nákrůžek 5 mm silný. To přináší velkou výhodu oproti navařenému nákrůžku, který lze aplikovat pouze na jednu tloušťku plechu. Nasunutý nákrůžek bude zajištěn proti posunutí a pootočení pomocí zápusťných šroubů. Na Obr. 48 je náhled na nákrůžek včetně detailu uchycení.



Obr. 48: Násuvný přípravek pro tvorbu pertlu + detail uchycení

Oproti předchozí variantě tak jedinou úpravou horního válce je navrtání 4 až 6 slepých otvorů a do nich se vyřežou závit. Při zakružování plechů na vodič, nebo pouzder bez pertlu válec přípravkem osazený nebude. Obdobným způsobem je možné upravit i spodní válec. Zde bude ale soustružení válce nevyhnutelné. Nutnost rozsáhlejšího soustružení však sebou přinese výhodu v podobě možnosti následné aplikace na všechny tloušťky plechů. Na dalším obrázku je vidět úprava samotného válce a válec již osazený nákrůžkem (Obr. 49).



Obr. 49: Úprava spodního válce a vsazený nákrůžek

Tento nákrůžek už není možné vyrobit z jednoho kusu, jako v případě horního válce, protože jednak spodní válec není odklápěcí, a jednak vnitřní průměr nákrůžku je menší než vnější průměr válce.

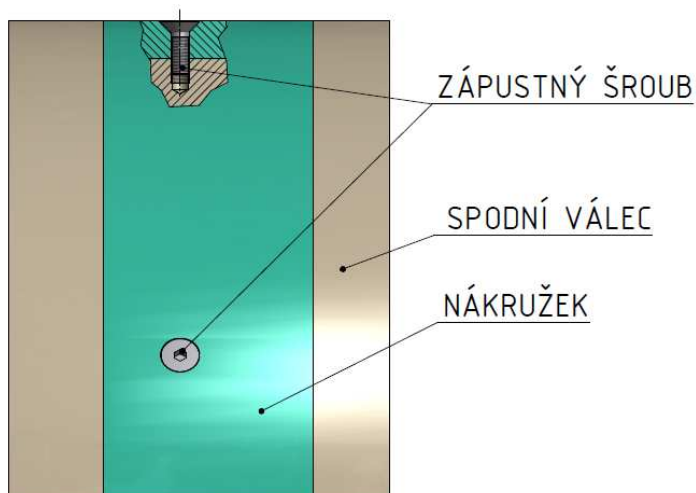
Nákrůžek tak musí tvořit dva či více segmentů, které se do válce zašroubují každý zvlášť (viz Obr. 50).



Obr. 50: Nákrůžek rozdělený na segmenty

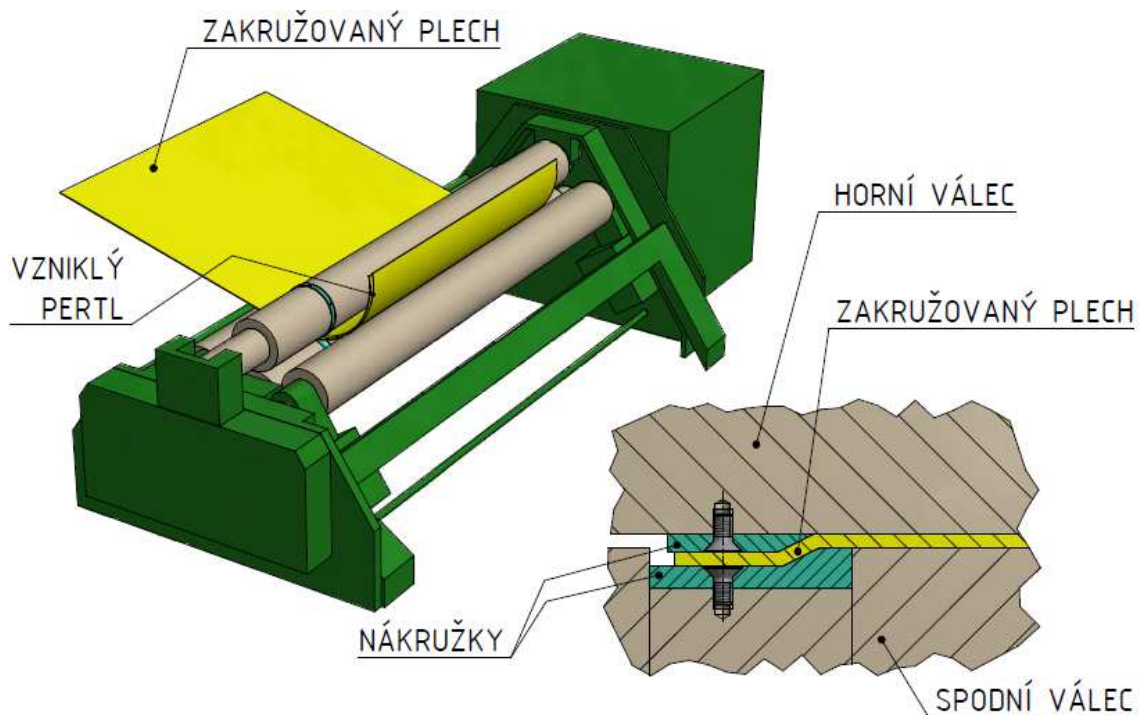
Úprava válce tak mimo soustružení spočívá ještě ve vrtání několika slepých otvorů se závity jako u horního válce. Také možnost použití několika modulů pro různé tloušťky plechů

a možnost vrácení válce do původního stavu, je shodná s horním válcem. Toho lze dosáhnout pomocí segmentů s rovným povrchem a se shodným vnějším průměrem (Obr. 51).



Obr. 51: Úprava spodního válce pro klasické zakružování bez tvorby pertlu

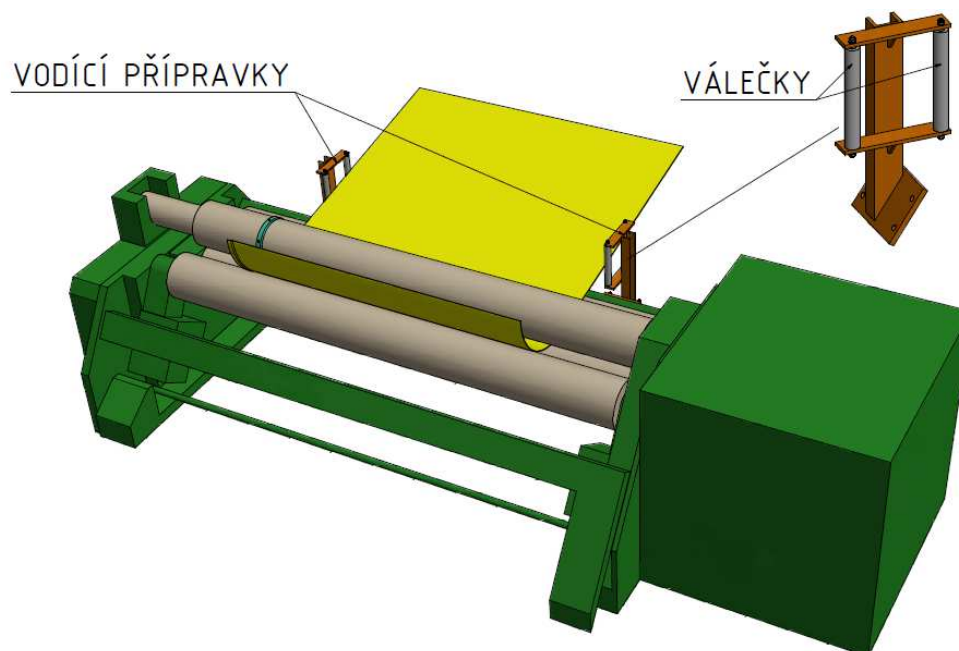
Odkoušení v praxi by ukázalo, zda hloubka drážky ve spodním válci rovná tloušťce plechu bude vyhovující. Vzhledem k tomu, že plechy mohou mít tloušťku nepatrně větší, než je uvedeno výrobcem, bude vhodnější mít drážku ve spodním válci alespoň o 1 mm hlubší. Vznikne tak prostor pro kompenzaci této nestálé tloušťky plechu. Celkový náhled na upravený stroj i s právě zakružovaným plechem a detail tvorby pertlu je vidět na následujícím obrázku (Obr. 52).



Obr. 52: Tvorba pertlu mezi upravenými válci během zakružování

Výše popsaná úprava zakružovacích válců však bude k realizaci vyžadovat dočasné vyřazení zakružovačky z provozu, což by mohlo způsobit problém. Musel by se dopředu zakroužit dostatečný počet plechů na nejbližší zakázku, aby nedošlo k zastavení výroby.

Během tvorby pertlu by mohl nastat stejný problém, ke kterému někdy dochází u samotného zakružování větších rozměrů plechů. Zakružovaný plech má během náběhu tendenci mírně se natáčet. Obsluha tak musí plech ručně přidržovat, než se plech zapře o další válec. Toto natáčení může působit komplikace při tvorbě pertlu, protože jeho šířka bude nepravidelná. Stroj by tak musel být dovybaven příslušenstvím, které zajistí vedení plechu při náběhu v přímém směru. Toto zařízení musí být opět odnímatelné, aby stroj mohl být využíván také na všechny stávající operace. Vedení plechu v přímém směru lze snadno docílit umístěním válečků po obou jeho stranách. Zabrání se tím natáčení plechu či jeho posunutí mimo nákrůžky pro tvorbu pertlu. Vodící přípravek s válečky na straně plechu, kde bude vznikat pertl musí být pevné a na druhé straně stavitelné v závislosti na šířce zakružovaného plechu. Konstrukce a umístění tohoto příslušenství pro vedení plechu je vidět na Obr. 53.



Obr. 53: Zakružovačka s přidavnými vodícími přípravky pro vedení plechu

3.3 Návrh na možnost využití svařovacího automatu

Pokud jde o možnost další časové úspory, svařování jednotlivých dílů pouzdra by výhledově mohlo být prováděno na svařovacím automatu, kde se v současné době svařují pouze vodiče. Důvodem, proč zde nyní není možné svařovat také pouzdra je to, že pro svařování na tupo pomocí "pí" svaru je vyžadována poměrně přesná kruhovitost obou spojovaných konců pouzdra. Toho však lze ruční kalibrací jen těžko docílit. Jak lze vidět na Obr. 25 svařované díly jsou položeny na podpěrných válečkách, a jeden z dílů je upnutý ve sklíčidle, čímž je zajištěno otáčení a v horní části jsou díly svařovány. Jestliže však pouzdro nemá přesnou kruhovitost, při jeho otáčení tak kolísá vzdálenost jeho povrchu od svařovací hubice a tím dochází ke vzniku nepravidelného svaru, nebo dokonce k přerušení oblouku. Jak již bylo zmíněno dříve, svařovací automat totiž není vybaven potřebnými senzory, pomocí kterých bude udržo-

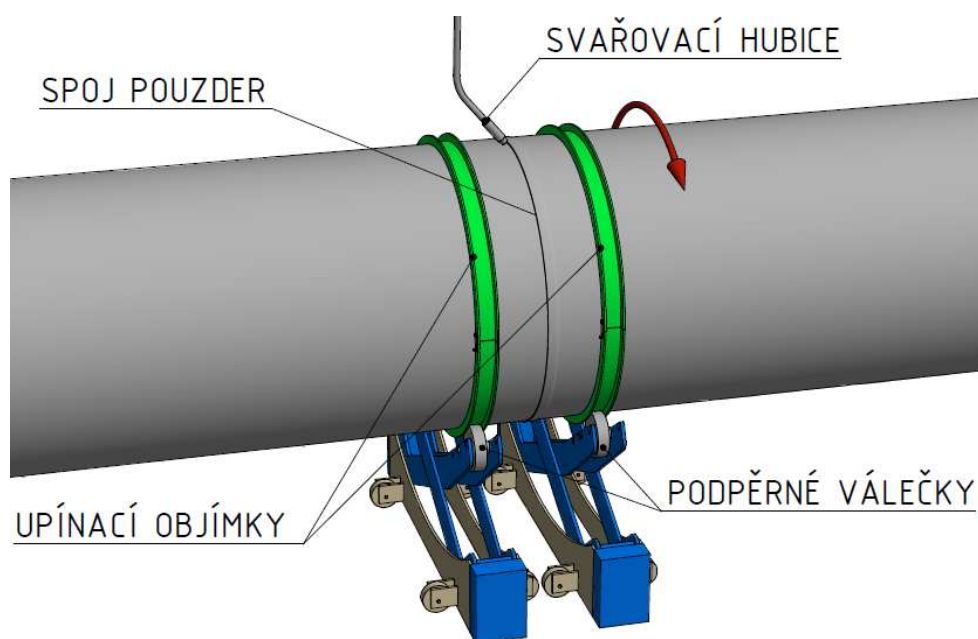
vána konstantní vzdálenost mezi svařovací hubicí a povrchem pouzdra i v případě, že pouzdro bude mít mírně oválný tvar. Dřívější návrh na dovybavení automatu těmito senzory byl však ze strany vedení společnosti zamítnut z finančních důvodů.

Řešením jak svařovací automat využít i pro spojování pouzder by mohlo být použití speciálních upínacích objímek, které jsou vidět na Obr. 54. Objímku tvoří dva zakroužené U profily, které jsou na jedné straně spojeny pomocí pantu a na druhé straně se po vložení pouzdra vzájemně zafixují pomocí západky.



Obr. 54: Upínací objímka pro svařování pouzder

Oba U profily musí být vyrobené s dostatečnou kruhovitostí, aby pouzdro po jejich sevržení přesně kopírovalo vnitřní tvar objímek. Jelikož je pouzdro tvořeno hliníkem malých tlouštěk, případný oválný tvar se objímce snadno přizpůsobí. Na podpěrných válečkách se tak budou otáčet objímky a s nimi i upnuté pouzdro. Budou-li mít objímky a tím pádem i v nich upnuté konce pouzder dostatečnou kruhovitost, nebude docházet ke kolísání vzdálenosti mezi povrchem pouzdra a svařovací hubicí. Systém upnutí pouzder do objímek je vidět na Obr. 55.



Obr. 55: Svařování pouzder pomocí upínacích objímek

4 Technicko-ekonomické zhodnocení

V současné době zatím nebyla zavedena žádná z navrhovaných variant, a tak úspory demonstrováné na vybrané zakázce zapouzdřených vodičů budou vycházet z časových norem. Časy pro operaci tvorby samotného pertlu budou odhadnuté normovačem z oddělení technologie na základě jeho dlouholetých zkušeností. Pro normování prací je potřeba znát jednotlivé parametry zakázky. Jelikož se práce týká racionalizace pouzdra, vstupní parametry i výpočty se budou týkat pouze pouzdra, protože výroba ostatních komponent jednofázově izolovaných zapouzdřených vodičů zůstane stejná jak pro stávající způsob výroby, tak i u nově navržených variant. Vstupními parametry (viz Tab. 2) tedy jsou celkové délky hlavní i odbočkové trasy, průměry pouzder těchto tras, počty plechů potřebných pro výrobu pouzder všech přepravních jednotek, počty spojů, sad izolátorů a počty řezů pouzder pro kolenové díly nebo díly kratší než je 2 metrový polotovar plechů.

Tab. 2: Vstupní parametry vybrané zakázky

Vstupní parametry zakázky		
	Hlavní trasa	Odbočková trasa
Délka trasy	252 m	48 m
Průměr pouzdra	800 mm	640 mm
Počet plechů pro zakroužení	128 ks	25 ks
Počet přímých spojů jednotlivých dílů pouzder	110	12
Počet kolenových spojů jednotlivých dílů pouzder	36	8
Počet sad izolátorů	116	36
Počet řezů pouzder (na kolenové díly a díly kratší než 2 m)	60	20

Se současným způsobem výroby se budou porovnávat nově navržené metody výroby pouzdra popsané v kapitole 3.2.

4.1 Normování

4.1.1 Stávající metoda

Jako první je vyčíslená spotřeba času pro výrobu pouzder stávající metodou (Tab. 3). Tedy, že se pouzdro nejprve zakrouží, poté podélně svaří, zkalibrují konce, zarovnají čelní plochy, případně se pouzdro zkrátí, vypálí otvory pro izolátory, přivaří se montážní okna

pro izolátory a nakonec se jednotlivé díly pouzdra svaří "pří" svarem dohromady. Celkový čas na výrobu pouzder všech přepravních jednotek v dané zakázce je 805,65 Nh.

Tab. 3: Normy časů – stávající metoda

Č.	Druh operace	Pouzdro	Přípravný čas	Čas práce	Celkový čas na zakázce
1	Zakroužení plechů	Ø800	0,5 Nh/zak	0,26 Nh/ks	33,78 Nh
2	Podélný svar	Ø800	0,5 Nh/zak	0,27 Nh/m	69,62 Nh
3	Kalibrace 1. konce plechu	Ø800	-	0,22 Nh	28,16 Nh
4	Kalibrace 2. konce plechu	Ø800	-	0,22 Nh	
5	Nasazení upínací desky, přípravku pro nůž, upínací objímky	Ø800	-	4,7 Nh	4,7 Nh
6	Zarovnání 1. čelní plochy	Ø800	0,45 Nh/zak	0,18 Nh	35,45 Nh
7	Zarovnání 2. čelní plochy			0,13 Nh	
8	Pálení otvorů pro izolátory	Ø800	0,5 Nh/zak	0,2 Nh/otvor	70,1 Nh
9	Řezání pouzdra	Ø800	0,5 Nh/zak	0,23 Nh/m	11,54 Nh
10	Navaření montážních oken pro izolátory + výztužného kruhu	Ø800	4,6 Nh/zak	1,7 Nh/řada	197,2 Nh
11	Vnitřní nástřik pouzdra	Ø800	-	0,21 Nh/ks	26,88 Nh
12	Svaření dílů dohromady	Ø800	0,34 Nh/ks	0,45 Nh/m	151,75 Nh
13	Zakroužení plechů	Ø640	0,5 Nh/zak	0,25 Nh/ks	6,5 Nh
14	Podélný svar	Ø640	0,5 Nh/zak	0,27 Nh/m	12,5 Nh
15	Kalibrace 1. konce plechu	Ø640	-	0,22 Nh	5,5 Nh
16	Kalibrace 2. konce plechu	Ø640	-	0,22 Nh	5,5 Nh
17	Přestavení přípravku pro nůž, upínací objímky	Ø640	-	3,5 Nh	3,5 Nh
18	Zarovnání 1. čelní plochy	Ø640	0,45 Nh/zak	0,18 Nh	5,08 Nh
19	Zarovnání 2. čelní plochy	Ø640		0,13 Nh	
20	Pálení otvorů pro izolátory	Ø640	0,5 Nh/zak	0,2 Nh/otvor	22,1 Nh
21	Řezání pouzdra	Ø640	0,5 Nh/zak	0,23 Nh/m	3,44 Nh
22	Navaření montážních oken pro izolátory + výztužného kruhu	Ø640	4,3 Nh/zak	1,5 Nh/řada	54 Nh
23	Vnitřní nástřik pouzdra	Ø640	-	0,16 Nh/ks	4 Nh
24	Svaření dílů dohromady	Ø640	0,3	0,45 Nh/m	26,19 Nh
CELKOVÝ ČAS					805,65 Nh

Pozn.: zak = zakázka

4.1.2 Metoda A

Pro metodu A byl zvolen postup s využitím horizontální vyvrtávačky k tvorbě pertlu. Konkrétně se jedná o metodu na principu Obr. 40, tedy tvorby pertlu pomocí přípravku bez vnějších pomocných válečků, jejichž funkce bude nahrazena upínací objímkou v těsné blízkosti pertlu. Postup výroby pouzdra je tedy následující. Pouzdro se nejprve zakrouží, podélně svaří, na horizontální vyvrtávačce se vytvoří pertl pomocí přípravku, případně se pouzdro zkrátí, vypálí otvory pro izolátory, přivaří se montážní okna pro izolátory a nakonec se jednotlivé díly pouzdra svaří koutovým svarem. Z následující tabulky (Tab. 4) je vidět, že výsledný čas výroby pouzder pro tuto metodu je 683,25 Nh.

Tab. 4: Normy časů – metoda A

Č.	Druh operace	Pouzdro	Přípravný čas	Čas práce	Celkový čas na zakázce
1	Zakroužení plechů	Ø800	0,5 Nh/zak	0,26 Nh/ks	33,78 Nh
2	Podélný svar	Ø800	0,5 Nh/zak	0,27 Nh/m	69,62 Nh
3	Nasazení přípravku a upínacích objímek	Ø800	-	5 Nh	5 Nh
4	Tvorba pertlu	Ø800	0,5 Nh/zak	0,2 Nh/ks	22 Nh
5	Pálení otvorů pro izolátory	Ø800	0,5 Nh/zak	0,2 Nh/otvor	70,1 Nh
6	Řezání pouzdra	Ø800	0,5 Nh/zak	0,23 Nh/m	11,54 Nh
7	Navaření montážních oken pro izolátory + výztužného kruhu	Ø800	4,6 Nh/zak	1,7 Nh/řada	197,2 Nh
8	Vnitřní nástřik pouzdra	Ø800	-	0,21 Nh/ks	26,88 Nh
9	Svaření dílů dohromady	Ø800	0,25 Nh/ks	0,3 Nh/m	118,15 Nh
10	Zakroužení plechů	Ø640	0,5 Nh/zak	0,24 Nh/ks	6,5 Nh
11	Podélný svar	Ø640	0,5 Nh/zak	0,24 Nh/m	12,5 Nh
12	Výměna upínacích objímek	Ø640	-	2,8 Nh	2,8 Nh
13	Tvorba pertlu	Ø640	0,5 Nh/zak	0,15 Nh/ks	1,8 Nh
14	Pálení otvorů pro izolátory	Ø640	0,5 Nh/zak	0,2 Nh/otvor	22,1 Nh
15	Řezání pouzdra	Ø640	0,5 Nh/zak	0,23 Nh/m	3,44 Nh
16	Navaření montážních oken pro izolátory + výztužného kruhu	Ø640	4,3 Nh/zak	1,5 Nh/řada	54 Nh
17	Vnitřní nástřik pouzdra	Ø640	-	0,16 Nh/ks	4 Nh
18	Svaření dílů dohromady	Ø640	0,2 Nh/ks	0,3 Nh/m	21,84 Nh
CELKOVÝ ČAS					683,25 Nh

Pozn.: zak = zakázka

4.1.3 Metoda B

Postup výroby pouzdra metodou B (Tab. 5) obnáší tvorbu pertlu již během operace zakružování. Pouzdro se tedy nejprve zakrouží a současně vznikne na jeho konci pertl, dále se podélně svaří, případně se zkrátí, vypálí otvory pro izolátory, přivaří se montážní okna pro izolátory a nakonec se jednotlivé díly pouzdra svaří koutovým svarem stejně, jako u metody A. Celkový čas výroby pouzdra pro všechny přepravní jednotky tak vychází 670,67 Nh.

Tab. 5: Normy časů – metoda B

Č.	Druh operace	Pouzdro	Přípravný čas	Čas práce	Celkový čas na zakázce
1	Nasazení + nastavení přípravku	Ø800	-	3 Nh	3Nh
2	Zakroužení plechů včetně pertlu	Ø800	0,5 Nh/zak	0,35 Nh/ks	45,3 Nh
3	Podélný svar	Ø800	0,5 Nh/zak	0,27 Nh/m	69,62 Nh
4	Pálení otvorů pro izolátory	Ø800	0,5 Nh/zak	0,2 Nh/otvor	70,1 Nh
5	Řezání pouzdra	Ø800	0,5 Nh/zak	0,23 Nh/m	11,54 Nh
6	Naváření montážních oken pro izolátory + výztužného kruhu	Ø800	4,6 Nh/zak	1,7 Nh/řada	197,2 Nh
7	Vnitřní nástřik pouzdra	Ø800	-	0,21 Nh/ks	26,88 Nh
8	Svaření dílů dohromady	Ø800	0,25 Nh/ks	0,3 Nh/m	118,15 Nh
9	Přestavení přípravku	Ø640	-	2 Nh	2 Nh
10	Zakroužení plechů včetně pertlu	Ø640	0,5 Nh/zak	0,34 Nh/ks	9 Nh
11	Podélný svar	Ø640	0,5 Nh/zak	0,24 Nh/m	12,5 Nh
12	Pálení otvorů pro izolátory	Ø640	0,5 Nh/zak	0,2 Nh/otvor	22,1 Nh
13	Řezání pouzdra	Ø640	0,5 Nh/zak	0,23 Nh/m	3,44 Nh
14	Naváření montážních oken pro izolátory + výztužného kruhu	Ø640	4,3 Nh/zak	1,5 Nh/řada	54 Nh
15	Vnitřní nástřik pouzdra	Ø640	-	0,16 Nh/ks	4 Nh
16	Svaření dílů dohromady	Ø640	0,2 Nh/ks	0,3 Nh/m	21,84 Nh
CELKOVÝ ČAS					670,67 Nh

Pozn.: zak = zakázka

4.1.4 Shrnutí

Z celkových časů pro výrobu pouzder je patrné, že aplikací obou nových metod lze dosáhnout poměrně velkých časových úspor. Snížil se i celkový počet operací. Při aplikaci metody A dosahuje časová úspora 122,4 Nh, tedy 15,2 %, u metody B je to pak 134,98 Nh, což odpovídá 16,8 %. Pro srovnání, pokud by výše zmíněná zakázka měla průměr pouzdra na hlavní trase 960 mm a průměr odbočkové trasy by zůstal 640 mm, výsledná časová úspora

oproti stávajícímu postupu by u metody A byla 125 Nh a u metody B pak 136,3 Nh (viz Tab. 6).

Tab. 6: Časové úspory s průměrem pouzdra na hlavní trase 960 mm

	Celkový čas	Časová úspora
Stávající metoda	833,3 Nh	-
Metoda A	708,3 Nh	125 Nh
Metoda B	697 Nh	136,3 Nh

Pokud by hlavní průměr pouzdra byl 1120 mm, hodnota časové úspory by opět nepatrně vzrostla. Metodou A časová úspora vychází 131,1 Nh a metodou B by se ve srovnání se současným způsobem výroby dosáhlo časové úspory 142 Nh (viz Tab. 7).

Tab. 7: Časové úspory s průměrem pouzdra na hlavní trase 1120mm

	Celkový čas	Časová úspora
Stávající metoda	905,7 Nh	-
Metoda A	774,6 Nh	131,1 Nh
Metoda B	763,7 Nh	142 Nh

Je však potřeba říct, že zmíněné časové úspory vycházejí pouze z časových norem, nikoliv z reálně naměřených časů. Výkonnost jednotlivých pracovníků může být různá, což výsledné časy může ve skutečnosti pozměnit.

Nicméně bez ohledu na časové úspory je přínosem každá změna, která práci zjednoduší a sníží tak nároky na pracovníky. Tím se má na mysli například změna tupého svaru na svar koutový. Jak již bylo zmíněno dříve, firma se potýká s velkým nárůstem zakázek, konkrétně od druhé poloviny roku 2013. V této souvislosti byla firma nucena ve velmi krátké době navýšit počet výrobních dělníků včetně svářečů o necelé dvě desítky, aby byla schopna plnit nasmlouvané dodací termíny. V takové krátké době je ale logicky problém sehnat tolik lidí s dostatečnou kvalifikací a navíc ještě s dlouholetými zkušenostmi. Bylo proto přijato spousta lidí s prakticky nulovými zkušenostmi. Díky tomu se firma poslední dobou potýkala s několika reklamacemi výrobků, kde byl problém s nekvalitně provedenými svary u pouzder. Přepravní jednotky zapouzdřených vodičů pak musely být demontovány a svary pouzder opraveny, čímž vznikly velké ztráty. Ruční svařování hliníku tzv. na tupo totiž vyžaduje vysoké zkušenosti a praxi, což se zde projevilo v plné výši. Aplikací koutového svaru se lze tímto problému vyhnout, protože jeho tvorba je daleko jednodušší a nečiní problémy ani méně zkušeným svářečům. Při vyšší fluktuaci pracovníků by tak firmě hrozilo menší nebezpečí dalších reklamací z důvodu nekvalitních výrobků.

4.2 Zpracovací náklady na výrobu pouzdra u vybrané zakázky

Pro peněžní vyjádření výše zmíněných časových úspor se musí spočítat zpracovací náklady na výrobu pouzdra. Vstupní materiál bude ve všech variantách stejný, proto cena materiálu nebude do výpočtů zahrnuta. Hodnoty celkových výrobních časů jsou použity z tabulek Tab. 3, Tab. 4 a Tab. 5. Pomocí dalších vstupních parametrů se postupným výpočtem získají celkové zpracovací náklady. Všechny vstupní a hledané parametry jsou uvedeny níže.

Vstupní parametry:

- Přímé mzdy (PMz') v Kč/hod
- Výrobní režie (VR') v % z přímé mzdy
- Počet hodin na jednotlivých pracovištích (t_N) v Nh

Vypočtené parametry:

- Přímé mzdy (PMz) v Kč $PMz = PMz' \cdot t_N$
- Výrobní režie (VR) v Kč $VR = PMz \cdot VR'$
- Zpracovací náklady (ZN) v Kč $ZN = PMz + VR$

V následujících třech tabulkách (Tab. 8, Tab. 9, Tab. 10) jsou pro jednotlivé metody k jednotlivým pracovištím rozepsané výše uvedené parametry. Vstupní parametry PMz' , VR' a t_N jsou ve druhém, třetím a čtvrtém sloupci. V posledních třech sloupcích jsou pro jednotlivé pracoviště vypočtené přímé mzdy, výrobní režie a zpracovací náklady v Kč. Celkové zpracovací náklady na výrobu pouzdra pro všechny přepravní jednotky v dané zakázce stávající metodou tak činí 457 154,-Kč.

Tab. 8: Zpracovací náklady pro stávající metodu

Pracoviště	PMz' (Kč/hod)	VR' (% z PMz')	t_N (Nh)	PMz (Kč)	VR (Kč)	ZN (Kč)
Zakružovačka	150	273	40,28	6 042	16 495	22 537
Svařovna Al	150	273	511,26	76 689	209 360	286 048
Kalibrace	150	273	67,32	10 098	27 568	37 666
Horizontální vyvrtávačka	150	273	48,73	7 310	19 955	27 264
Tubosec	150	273	107,18	16 078	43 892	59 969
Lakovna	150	411	30,88	4 632	19 038	23 670
CELKEM			805,65	120 848	336 306	457 154

Z hodnot uvedených ve druhém a třetím sloupci je patrné, že hodinové tarify na většinu pracovišť jsou stejné, což v běžné praxi není vůbec obvyklé. Nicméně ve firmě se už na žádné stroje použité pro výrobu pouzdra neuplatňují odpisy, jelikož stroje jsou stále spolehlivé a není potřeba je měnit za nové, a proto je hodinová sazba pro všechny stejná. Rozdílná sazba je pouze pro lakovnu, kde výše výrobní režie činí 411% přímých mezd.

V tabulce (Tab. 9) jsou stejným způsobem vypočtené zpracovací náklady na výrobu pouzdra pro metodu A. Celková výše zpracovacích nákladů je tak 388 670,- Kč.

Tab. 9: Zpracovací náklady pro metodu A

Pracoviště	PMz' (Kč/hod)	VR' (% z PMz')	t _N (Nh)	PMz (Kč)	VR (Kč)	ZN (Kč)
Zakružovačka	150	273	40,28	6 042	16 495	22 537
Svařovna Al	150	273	473,30	70 996	193 818	264 814
Horizontální vyvrtávačka	150	273	31,60	4 740	12 940	17 680
Tubosec	150	273	107,18	16 078	43 892	59 969
Lakovna	150	411	30,88	4 632	19 038	23 670
CELKEM			683,25	102 487	286 183	388 670

Nakonec ještě tabulka (Tab. 10) s hodnotami pro metodu B. Zde celkové zpracovací náklady na výrobu pouzdra vycházejí 381 631,-Kč.

Tab. 10: Zpracovací náklady pro metodu B

Pracoviště	PMz' (Kč/hod)	VR' (% z PMz')	t _N (Nh)	PMz (Kč)	VR (Kč)	ZN (Kč)
Zakružovačka	150	273	59,30	8 895	24 283	33 178
Svařovna Al	150	273	473,30	70 996	193 818	264 814
Tubosec	150	273	107,18	16 078	43 892	59 969
Lakovna	150	411	30,88	4 632	19 038	23 670
CELKEM			670,67	100 600	281 031	381 631

Úspora ve zpracovacích nákladech tak pro metodu A vychází 68 484,-Kč a pro metodu B dokonce 75 523,-Kč.

4.3 Roční úspory

4.3.1 Analýza zakázek

Výše vypočítané úspory ve zpracovacích nákladech se týkaly pouze jedné vybrané zakázky. Pro výpočet celkových ročních úspor je potřeba znát množství vyrobených zakázek za celý rok. V následující tabulce (Tab. 11) je seznam zakázek za předchozí rok 2013 i s uvedením vnějších průměrů pouzder a celkových délek hlavních a odbočkových tras. Hlavní trasa je u dané zakázky vždy uvedená na prvním místě a odbočková je na druhém, případně třetím místě.

Tab. 11: Přehled zakázek za rok 2013

Zakázky jednofázově izolovaných zapouzdřených vodičů – rok 2013					
Číslo zak.	Průměr pouzdra [mm]	Délka trasy [m]	Číslo zak.	Průměr pouzdra [mm]	Délka trasy [m]
1	800	150	15	1280	702
	640	24		640	126
2	800	252	16	800	120
	640	48		540	15
3	1120	346	17	960	580
4	960	117		640	580
	5	800	369	18	800
6		540	30		19
	7	1120	318	20	860
640		84	1120		117
8	800	115	21	640	20
	640	12		1120	308
9	800	57	22	640	72
	540	15		1120	663
10	960	54	23	640	63
	640	15		800	126
11	960	468	24	960	284
	640	51		640	24
12	1120	648	25	1280	465
	640	60		960	80
13	800	167	26	640	20
	640	70		960	306
14	960	283		640	162
	640	70		540	36

Pro zajímavost jsou v následující tabulce (Tab. 12) zobrazeny také zakázky za první čtvrtletí roku 2014. Ze všech 26 zakázek jednofázově izolovaných zapouzdřených vodičů z roku 2013 jich 11 spadá do posledního čtvrtletí roku. Z toho je patrný již zmíněný vysoký nárůst zakázek za poslední období.

Tab. 12: Přehled zakázek za 1. čtvrtletí roku 2014

Zakázky jednofázově izolovaných zapouzdřených vodičů - 1. čtvrtletí roku 2014					
Číslo zak.	Průměr pouzdra [mm]	Délka trasy [m]	Číslo zak.	Průměr pouzdra [mm]	Délka trasy [m]
1	800	77	7	1280	350
	640	15	8	960	180
2	1120	540	9	800	64
3	1120	1050	10	960	350
4	800	120		640	30
5	800	300	11	960	350
6	800	270		640	30
		640	120		

4.3.2 Celkové úspory ve zpracovacích nákladech na výrobu pouzdra za rok

Pro přesné vyčíslení možných úspor ve zpracovacích nákladech za celý rok by se musela provést detailní analýza všech zakázek pro dané období. Taková analýza by byla časově velmi náročná, proto bude provedena zjednodušená analýza. K této analýze bude použita vybraná zakázka, jejíž parametry jsou uvedeny v tabulce (Tab. 2) v úvodu kapitoly 4. Všechny parametry, kterými jsou například počty plechů, spojů nebo izolátorových sad, se budou uvažovat konstantní. Jediné, co se bude měnit, bude vnější průměr pouzder. Důvodem ponechání ostatních parametrů konstantními je to, že s výjimkou velkých průměrů (nad 1500 mm) není počet izolátorových sad závislý na průměru pouzdra, a mohou se tedy vstupní data z Tab. 2 použít i pro další průměry pouzder. Také délky plechů, tudíž i počet spojů a řezů bude přibližně stejný u všech průměrů pouzder, protože se vždy používá polotovar plechu s délkou 2 metry. Pro přehlednost i pro další výpočty se z přehledu zakázek za rok 2013 a část roku 2014 vytvoří tabulka (Tab. 13) dle četnosti vyráběných průměrů pouzder pro jednofázově izolované zapouzdřené vodiče.

Tab. 13: Celkové délky vyrobených průměrů pouzder

Průměr pouzdra [mm]	Rok 2013	Rok 2014 (1. čtvrtletí)
	Celková délka [m]	
540	96	0
640	1515	195
800	1464	831
860	444	0
960	2172	880

1120	2400	1590
1280	1167	350
1820	1080	0

Z tabulek Tab. 11 a Tab. 12 je patrné, že zakázka s průměrem pouzdra nad 1280 mm byla za dané období pouze jedna, což mimochodem odpovídá dlouhodobému ročnímu průměru. S ohledem na tento fakt bude tedy vhodnější pokusit se racionalizovat výrobu pouzder s průměry pouze do 1280 mm. Jednak tedy z důvodu malého počtu zakázek na tyto velké průměry pouzder, a jednak proto, že tyto zakázky mají většinou tloušťky pouzder nad 8 mm, což by určitě způsobilo problémy s tvorbou pertlu. Navíc u pouzder s takto velkými průměry a tloušťkami se musí konce pouzder úkosovat a svařovat na tupo s podložením kořene svaru, aby došlo k řádnému provaření obou spojovaných plechů. Děje se tak z důvodu vysokých hodnot přenášeného elektrického proudu.

Z tabulky Tab. 13 se tak pro další výpočty použijí pouze hodnoty pro průměry pouzder do 1280 mm. Ještě bude potřeba si průměry rozdělit do dvou skupin. První skupina bude pro pouzdra hlavních tras a druhá skupina pro odbočkové trasy. Do první skupiny tedy budou spadat průměry 800, 960, 1120 a 1280 mm. Do druhé skupiny pak průměry 540, 640 a 860 mm. Hodnoty časů pro první skupinu lze shrnout do následující tabulky (Tab. 14), kde jsou kromě hodnot celkových výrobních časů také hodnoty časových úspor ve srovnání se stávající metodou výroby pouzder.

Tab. 14: Celkové výrobní časy pro průměry pouzder 800, 960, 1120 a 1280 mm

Průměr pouzdra 800 mm		
	Celkový čas	Časová úspora
Stávající metoda	657,3 Nh	-
Metoda A	554,3 Nh	103 Nh
Metoda B	541,8 Nh	115,5 Nh
Průměr pouzdra 960 mm		
	Celkový čas	Časová úspora
Stávající metoda	685 Nh	-
Metoda A	579,3 Nh	105,7 Nh
Metoda B	568,1 Nh	116,9 Nh
Průměr pouzdra 1120 mm		
	Celkový čas	Časová úspora
Stávající metoda	757,4 Nh	-
Metoda A	645,7 Nh	111,7 Nh
Metoda B	634,9 Nh	122,5 Nh

Průměr pouzdra 1280 mm		
	Celkový čas	Časová úspora
Stávající metoda	800,4 Nh	-
Metoda A	680,9 Nh	119,5 Nh
Metoda B	668,8 Nh	131,6 Nh

Pokud jde o druhou skupinu, tedy odbočkové vedení, hodnoty výrobních časů a časových úspor z výše vybrané zakázky pro různé průměry jsou shrnuty v tabulce Tab. 15.

Tab. 15: Celkové výrobní časy pro průměry pouzder 540, 640 a 860 mm

Průměr pouzdra 540 mm		
	Celkový čas	Časová úspora
Stávající metoda	142 Nh	-
Metoda A	125,4 Nh	16,6 Nh
Metoda B	125,3 Nh	16,7 Nh
Průměr pouzdra 640 mm		
	Celkový čas	Časová úspora
Stávající metoda	148,3 Nh	-
Metoda A	129 Nh	19,3 Nh
Metoda B	128,9 Nh	19,4 Nh
Průměr pouzdra 860 mm		
	Celkový čas	Časová úspora
Stávající metoda	165,7 Nh	-
Metoda A	148,4 Nh	17,3 Nh
Metoda B	147 Nh	18,7 Nh

Ačkoliv počty plechů, izolátorových sad či spojů nejsou závislé na průměru pouzder, v případě závislosti zmíněných parametrů na celkové délce trasy je tomu však naopak. Pro zjednodušení propočtů se tak dá říct, že počet plechů, izolátorů a spojů je přímo úměrný délce trasy jednofázově izolovaných zapouzdrěných vodičů. Zohledněním tohoto faktu a shrnutím všech dosud získaných výpočtů pak dostaneme tabulku (Tab. 16), kde jsou vyjádřené možné časové úspory a úspory ve zpracovacích nákladech u vybrané zakázky (s délkou hlavní trasy 252 metrů a délkou odbočkové trasy 48 metrů) vztažené na jeden metr délky pouzder pro různé průměry.

Tab. 16: Přehled časových a finančních úspor pro různé průměry

Průměr pouzdra	Metoda	Časová úspora na vybrané zakázce	Ekonomická úspora na vybranou zakázku	Ekonomická úspora na 1 metr délky pouzdra
800 mm	A	103 Nh	57 629,-Kč	229,-Kč/m
	B	115,5 Nh	64 622,-Kč	256,-Kč/m
960 mm	A	105,7 Nh	59 139,-Kč	235,-Kč/m
	B	116,9 Nh	65 406,-Kč	260,-Kč/m
1120 mm	A	111,7 Nh	62 496,-Kč	248,-Kč/m
	B	122,5 Nh	68 539,-Kč	272,-Kč/m
1280 mm	A	119,5 Nh	66 860,-Kč	265,-Kč/m
	B	131,6 Nh	73 630,-Kč	292,-Kč/m
540 mm	A	16,6 Nh	9 288,-Kč	193,-Kč/m
	B	16,7 Nh	9 344,-Kč	195,-Kč/m
640 mm	A	19,3 Nh	10 798,-Kč	225,-Kč/m
	B	19,4 Nh	10 854,-Kč	226,-Kč/m
860 mm	A	17,3 Nh	9 679,-Kč	202,-Kč/m
	B	18,7 Nh	10 463,-Kč	218,-Kč/m

Jakých úspor by mohlo být dosaženo u zakázek realizovaných v roce 2013, je možné získat vynásobením celkových délek pouzder vyrobených za rok 2013 z Tab. 13 úsporami na jeden metr délky z Tab. 16. Výše těchto úspor je v následující tabulce (Tab. 17)

Tab. 17: Výše možných úspor u zakázek v roce 2013

Průměr pouzdra [mm]	Metoda	Roční úspora [Kč]
800	A	334 794,-Kč
	B	375 425,-Kč
960	A	509 723,-Kč
	B	563 734,-Kč
1120	A	595 201,-Kč
	B	652 750,-Kč
1280	A	309 627,-Kč
	B	340 978,-Kč
540	A	18 575,-Kč
	B	18 687,-Kč

640	A	340 823,-Kč
	B	342 589,-Kč
860	A	89 534,-Kč
	B	96 780,-Kč
CELKOVÁ ÚSPORA	A	2 198 278,-Kč
	B	2 390 942,-Kč

4.4 Výběr nejlepší varianty

Z údajů v tabulce Tab. 17 je patrné, že úspory u obou nově navržených variant vychází podobně. Přesto o něco vyšších úspor by se dosáhlo aplikací metody B. Při volbě nejvýhodnější varianty bych se přikláněl právě k metodě B, a to nejen z důvodu vyšších úspor, ale také z důvodu snížení celkového počtu pracovišť pro výrobu pouzdra. Ve stávajícím způsobu výroby je celkový počet pracovišť šest (viz Tab. 8), v případě metody A je počet pracovišť pět (viz Tab. 9) a u metody B jsou to dokonce pouze čtyři pracoviště (viz Tab. 10). Snížením počtu pracovišť se také značně omezí přeprava mezi pracovišti. Zakroužené pouzdro s vytvořeným pertlem tak již nebude muset směřovat na ruční kalibraci a odtud na horizontální vyvrtávačku k zarovnání čelních ploch, ale bude rovnou připravené na finální svaření jednotlivých dílů pouzdra, případně se před svařením v pouzdře vypálí otvory pro izolátory nebo se pouzdro zkrátí na požadovaný rozměr.

4.5 Návratnost investičních nákladů

K zavedení metody B bude jednak potřeba upravit oba hnací válce zakružovačky a jednak se budou muset vyrobit nákrůžky pro všechny tloušťky zakružovaných plechů. Dále v případě potřeby bude nutné vyrobit přípravek pro vedení plechů během náběhu mezi válce zakružovačky. Úprava spodního válce bude spočívat v soustružení a vrtání slepých otvorů se závitěm pro upevnění segmentů nákrůžek. V horním válci bude potřeba pouze vrtat slepé otvory se závitěm. Pokud jde o počet potřebných nákrůžek pro tvorbu pertlu, budou potřeba 4 sady. Sadou se má na mysli jeden nákrůžek pro horní válec a jeden pro spodní. Čtyři sady z důvodu aplikovatelnosti na plechy s tloušťkou 3 mm, 4 mm, 5 mm a 6 mm. Celkové náklady na úpravu válců a výrobu nákrůžek tak byla technologem vyčíslena na 35 000,-Kč. Vzhledem k ekonomickým úsporám na jeden metr délky pouzdra, které se pro hlavní trasu pohybuje v rozpětí 256 až 292,-Kč/m (viz Tab. 16), tak k úhradě investičních nákladů dojde už po vyrobení 137 metrů pouzder s průměrem 800 mm. U průměru pouzdra 1280 mm tak k úhradě dojde už po vyrobení 120 metrů.

4.6 Závěr

Cílem diplomové práce bylo racionalizovat výrobu zapouzdřených vodičů a tím dosáhnout možných finančních a časových úspor. Pracoviště pro výrobu pouzder jednofázově izolovaných zapouzdřených vodičů tak bylo nejprve podrobeno analýze k odhalení úzkých míst ve výrobním postupu. Bylo zjištěno, že z důvodu svařování jednotlivých dílů pouzder

dohromady pomocí “pí“ svaru je zapotřebí vykonat před tímto úkonem další operace, které jsou časově náročné. Oba konce pouzder se totiž po zakroužení ještě kalibrují a následně na horizontální vyvrtávačce zarovnávají z čela. K dosažení úspor bylo tedy v rámci této práce navrženo racionalizační opatření v podobě úpravy výrobního postupu. Aplikací nově navržených změn ve výrobním postupu tak lze dosáhnout snížení počtu operací potřebných k výrobě pouzdra a tím dosáhnout značných časových úspor. K zavedení nově navrženého výrobního postupu je však zapotřebí drobné konstrukční úpravy jednotlivých dílů pouzdra, konkrétně vytvoření pertlu na jednom konci zakrouženého plechu. Díky tomu lze dva sousední díly pouzdra do sebe vzájemně nasunout a svařit pomocí koutového svaru. Dosáhne se tím jednak snížení počtu operací před vzájemným svařováním, ale také dojde k celkovému zjednodušení práce. Pouzdra po jejich zakroužení již nebude nutné kalibrovat ani obrábět jejich čelní plochy, ale bude je možné rovnou vzájemně svařit. Bez ohledu na časové úspory, aplikace koutového svaru také přinese výhodu v tom smyslu, že jeho výroba je oproti “pí“ svaru méně náročná a zvládne ji i pracovník s menšími zkušenostmi. To přinese výhodu v případě vyšší fluktuace pracovníků, neboť pro i nově příchozího zaměstnance bez zkušeností bude snadnější tvorba koutového svaru. Značně se tím zároveň omezí možnost reklamací od zákazníků na nekvalitně svařená pouzdra. Pokud jde o finanční vyčíslení možných úspor ve zpracovacích nákladech, ty mohou za předpokladu správné aplikace nové metody a plnění předepsaných norem dosáhnout přes dva milióny korun ročně.

5 Seznam použité literatury

Knižní publikace:

- [1] LHOTSKÝ, O.: *Organizace a normování práce v podniku*, ASPI, Praha, 2005, 104 s., ISBN 80-7357-095-5
- [2] HÜTTLOVÁ, E.: *Organizace práce v podniku*, VŠE, Praha, 1999, 128 s., ISBN 80-7079-778-9
- [3] KADLČÁKOVÁ, A.: *Pracovní inženýrství*, ČVUT, Praha, 1993, ISBN 80-01-00968-8
- [4] PRECLÍK, V., ZELENKA, A.: *Racionalizace výroby*, ČVUT, Praha, 2004, ISBN 80-01-02870-4

Interní firemní dokumenty:

- [5] HOŠEK, J.: *Projektová příručka pro jednofázově izolované zapouzdřené vodiče*, EGE, spol. s r.o., České Budějovice, 2002
- [6] RŮŽICKA, J.: *Pracovní pokyn, Fakturace ceny práce a materiál*, EGE, spol. s r.o., České Budějovice, 2014

Elektronické zdroje:

- [7] NOVÁK, J., ŠLAMPOVÁ, P.: *Racionalizace výroby*, [online], VŠB, Ostrava, 2007, 75 s., [cit. 15.4.2014]. Dostupné z <<http://projekty.fs.vsb.cz/414/racionalizace-vyroby.pdf>>
- [8] www.ege.cz; [cit. 15.4.2014]
- [9] <http://home.zcu.cz/~nohac/E2/Elektrarny2-cast08-v1.pdf>; [cit. 15.4.2014]
- [10] http://en.wikipedia.org/wiki/Isolated-phase_bus; [cit. 15.4.2014]
- [11] <http://home.zcu.cz/~nohac/E2/Elektrarny2-cast08-v1.pdf>; [cit. 15.4.2014]