VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING

VÝROBA TRAFOSTANICE Z ALUZINKOVÉHO PLECHU

THE MANUFACTURING OF THE ALUMINIUM-ZINC COATED STEEL SHEET TRANSFORMER

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — BC. JIŘÍ SYKÁČEK
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — ING. MICHAELA CÍSAŘOVÁ
SUPERVISOR

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2010/11

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jiří Sykáček

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Výroba trafostanice z aluzinkového plechu

v anglickém jazyce:

The manufacturing of the aluminium-zinc coated steel sheet transformer

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Téma diplomové práce se zabývá výrobou trafostanice z povlakovaného plechu technologií plošným tvářením. V práci by měl být navržen postup výroby trafostanice z aluzinkového plechu včetně návrhu nástroje a lisovacího stroje.

Cíle diplomové práce:

Vypracování literární studie se zaměřením na technologii stříhání a ohýbání povlakovaného plechu. Vypracování postupu výroby jednotlivých dílů plošným tvářením, následné svaření do skeletu, provedení technologických a kontrolních výpočtů, návrh sestavy nástroje, technicko-ekonomické zhodnocení, porovnání výroby trafostanice z aluzinkového plechu s celobetonovou trafostanicí a závěr.

Seznam odborné literatury:

1. KREJČÍK, V. Povrchová úprava kovů II. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1988. 312 s. DT 621.793(075.3).
2. KRAUS, V. Povrchy a jejich úpravy. 1. vyd. Plzeň : Západočeská univerzita, 2000. 216 s. Dostupný z WWW: <http://tzs.kmm.zcu.cz/POUcelk.pdf>. ISBN 80-7082-668-1.
3. BOLJANOVIC, V. Sheet metal forming processes and die design. 1. vyd. New York: Industrial Press, 2004. 220 s. ISBN 0-8311-3182-9.
4. FOREJT, M. a PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 226 s. ISBN 80-214-2374-9.

Vedoucí diplomové práce:Ing. Michaela Císařová

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

V Brně, dne 19.11.2010

L.S.

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ DĚKANÁT 12

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

SYKÁČEK Jiří: Výroba trafostanice z aluzinkového plechu

Projekt vypracovaný v rámci magisterského studia oboru M-STM je zpracován na základě požadavku zákazníka na zhotovení trafostanice, která je určena k použití ve fotovoltaické elektrárně. Konstrukční a výkresová dokumentace byla vyhotovena v 3D CAD systému Solid Edge. Samonosný skelet trafostanice svařený z jednotlivých dílců vyrobených z aluzinkového plechu je ve formě jednoho technologického celku, ve kterém je osazena elektrotechnologie potřebná k bezpečnému a bezporuchovému provozu elektrárny. Zabývá se technologií výroby součástí, včetně následného procesu tvrdého pájení a povrchových úprav. Jako nejvhodnější řešení bylo zvoleno zpracování tvářením na vysekávacím a ohraňovacím lise. Zvolené způsoby výroby jsou posouzeny nejen z hlediska technologičnosti, včetně technických úskalí spojených se zpracováním aluzinkových plechů, ale i z hlediska ekonomických nákladů vynaložených na výrobu celé trafostanice. Tvářecí procesy jsou realizovány na vysekávacím lise TRUMPF TC200R, s nominální střižnou silou 165 kN a na ohraňovacím lise URSVIKEN Optiflex s nominální tlačnou silou 1 300 kN. Tvářecí nástroje jsou optimálně voleny dle parametrů jednotlivých typů dílců. Závěrem je porovnána technicko-ekonomická stránka výroby trafostanice z aluzinkového plechu, oproti výrobě celobetonové trafostanice zhotovené způsobem zvonového lití.

Klíčová slova: Plech, plošné tváření, trafostanice

ABSTRACT

SYKÁČEK Jiří: Manufacture of transformer made from aluminium /zinc plate.

The project developed in within the framework of Magister ´s studies of field M-STM is elaborated to meet customer requirements for manufacture of transformer station, which is intended for use in photovoltaic power station. Design and drawing documentation were prepared using 3D CAD System Solid Edge. Self-supporting frame of the transformer station welded from separate parts made from alu/zinc plates is in the form of a technological unit, which is equiped with electrical technology needed for safe and failure-free operation of the power station. It deals with technology of components production, including subsequent process of hard soldering and surface finishing. As the best solution was chosen processing of forming punching and using brake press. Chosen production methods are assessed not only form point of view of used technology, including the technical pitfalls associated with processing of alu/zinc plates, but also in terms of economic costs of manufacture throughout the transformer station. The forming processes are made using punching press TRUMPF TC200R, with rated shear force of 165 kN and brake press URSVIKEN Optiflex with rated compressive force 1 300 kN. Forming tools are optimally selected according to parameters of different types of parts. Finally, it compares the technical-economic aspects of production transformer station made of alu/zinc plates compared with whole-concrete construction of the station using bell-casting method.

Keywords: Plate, flat forming, transformer

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SYKÁČEK, Jiří. *Výroba trafostanice z aluzinkového plechu.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 65 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Michaela Císařová.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V …… dne 23.5.2011

……
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto srdečně děkuji paní Ing. Michaele Císařové za cenné připomínky a rady týkající se zpracování mé diplomové práce.

OBSAH

Zadání
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování
Obsah
1. ÚVOD ……11
2. CHARAKTERISTIKA VYRÁBĚNÉ TRAFOSTANICE……... 12
2.1. Použití trafostanice ……..…….……...…… 12
2.2. Tvarové a rozměrové parametry trafostanice …… 13
2.2.1. Základová vana…….…… 14
2.2.2. Plášť trafostanice…… ……. 16
2.2.3. Nosný rám…….…… 20
2.2.4. Střecha trafostanice……...…… 21
2.3. Materiálová charakteristika ……...…… 22
2.3.1. Plechy povrchově povlakované…….……22
2.3.2. Způsoby nanášení zinkových vrstev……...…… ……. 23
2.3.3. Volba materiálu a katodická ochrana…… 23
3. VOLBA TECHNOLOGIE VÝROBY ……26
3.1. Úvod do technologií výroby ……26
3.2. MAG svařování a MIG pájení…… 27
3.3. Stříhání, děrování na CNC lise……29
3.3.1. Technologie stříhání…….…… 29
3.3.2. Střižná síla..…….…… 32
3.3.3. Střižná práce…….……32
3.3.4. Stírací a protlačovací síla…….…… 33
3.3.5. Střižná vůle a střižná mezera…….……... 33
3.3.6. Rozvinutý tvar a volba nástřihového plánu …….……34
3.3.7. Technologie stříhání na děrovacím lise…….……... 34
3.4. Ohýbání, ohraňování na CNC lise ……36
3.4.1. Technologie ohýbání…….…… 36
3.4.2. Ohýbací síla…….…… 36
3.4.3. Ohýbací práce…….……. 37
3.4.4. Odpružení při ohybu…….……37
3.4.5. Rozvinutá délka polotovaru……...38
4. TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY……39
4.1. Stříhání ……39
4.1.1. Výpočet střižné síly…….…… 39
4.1.2. Výpočet střižné práce…….…… 40
4.1.3. Výpočet stírací a protlačovací síly…….……. 40
4.1.4. Určení střižné vůle a střižné mezery…… 40

4.2. Ohýbání…… 40
4.2.1. Výpočet ohýbací síly…….. 40
4.2.2. Výpočet ohýbací práce…….. 41
4.2.3. Výpočet odpružení při ohybu…….41
4.2.4. Určení rozvinuté délky polotovaru……41
5. NÁVRH STROJNÍHO ZAŘÍZENÍ.....42
5.1. Návrh děrovacího lisu…….. 42
5.2. Návrh ohraňovacího lisu……..44
6. NÁSTROJE A PŘÍSLUŠENSTVÍ……...46
6.1. Nástroje pro vysekávání ……...…… 46
6.2. Nástroje pro ohraňování ……50
7. TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ…..…….. 51
8. ZÁVĚR …….. 55
Seznam použitých zdrojů
Seznam použitých symbolů a zkratek
Seznam příloh

1. ÚVOD

V současné době rozmachu moderních technologií a vzhledem k rostoucí průmyslové výrobě, jež se pomalu vzpamatovává z celosvětové krize, vzrůstá poptávka po elektrické energii. Vzhledem k postupnému přehodnocování energetické koncepce vyspělých států, kdy postupně dochází k odklonům od energie získané z atomového jádra, jsou neustále hledány alternativní ekologické zdroje. Na základě masivní státní podpory obnovitelných zdrojů v ČR a zároveň výrazného snížení cen solárních technologií, došlo v letech 2009 a 2010 ke strmému vzrůstu poptávky po fotovoltaických elektrárnách a jejich zařízení.

Na základě poptávky a požadavků od zákazníků po trafostanicích využitelných pro solární farmy, bylo nově navrženo několik typů trafostanic vyráběných z aluzinkového plechu, které mají oproti standardně vyráběným trafostanicím z betonu několik výhod. Jedná se zejména o nízkou hmotnost a úsporu výrobního času.

Cílem této práce je popis výroby trafostanice s využitím nejmodernějších výrobních trendů a CAD systému Solid Edge, výběr co nejefektivnějších technologií s využitím CAM systému Tops 300, návrh vhodných nástrojů a strojů pro zhotovení konečného výrobku, včetně popisu spojování jednotlivých dílů a povrchových úprav. Součástí studie bude finanční rozbor celkových nákladů výroby oceloplechové trafostanice, v porovnání k nákladům potřebným ke zhotovení trafostanice z betonu. Trafostanice bude osazena na solárním poli, s požadavkem na minimálně 20-ti letou trvanlivost výrobku a jednoduchou instalaci. Předpokládaný počet vyráběných trafostanic je v desítkách kusů ročně.

Popisovanými technologiemi výroby bude stříhání na CNC děrovacím lise, ohýbání pomocí ohraňovacího lisu, pájení v ochranné atmosféře způsobem MAG, použití svařovacího poloautomatu a svařovacího robota. Závěrem budou uvedena opatření, jež vedou ke snížení nákladů, zkvalitnění procesů a urychlení výroby.

2. CHARAKTERISTIKA VYRÁBĚNÉ TRAFOSTANICE

2.1. Použití trafostanice

Trafostanice, jejíž výrobou se zabývá tato práce, je určena k použití ve fotovoltaické elektrárně pro přeměnu stejnosměrného proudu na střídavý, a k následné transformaci napětí z nízkého do hladiny vysokého *(obr. 2.1)*. Trafostanice je dodávána, jak pro významné celosvětové firmy pohybující se v energetickém průmyslu, tak i pro jednotlivé menší investory do fotovoltaických elektráren. Standardně je osazena ve venkovním prostředí, a je tudíž vystavena přímému působení povětrnostním vlivům. Základ je tvořen nepropustně svařovanou záchytnou vanou a je zčásti umístěn pod úrovní okolního terénu. Z tohoto hlediska není nutno pod trafostanici budovat betonový základ, ale je využíváno zapuštěného štěrkopískového lože (*výkres viz. příloha 1*), na kterém je vana celou svou plochou osazena. Lože zároveň slouží pro odvod povrchové vody a při přítomnosti podzemní vody může být opatřeno vsakovací jímkou. Vzhledem k působení okolní zeminy a k přítomné vlhkosti ve štěrkopískovém loži, je potřebné použití zvýšené ochrany pláště trafostanice a zejména základové vany před korozí. Tohoto požadavku je docíleno využitím výborných korozivzdorných vlastností galvanicky povrchově upraveného plechu, v porovnání s plechem povrchově neupraveným. Jako vhodný materiál pro výrobu trafostanice byl zvolen plech aluzink, s jehož využitím má výrobce mnohaleté zkušenosti, a na neprorezivění poskytuje zákazníkům 20 let záruku. Jelikož je výrobek osazován ve spojení s nejmodernějšími technologiemi přitahujícími pozornost nejen odborníků, ale i široké veřejnosti, je důraz kladen také na bezvadný estetický vzhled. Nejdůležitějším požadavkem na celý výrobek je však bezúdržbový a především bezpečný provoz.

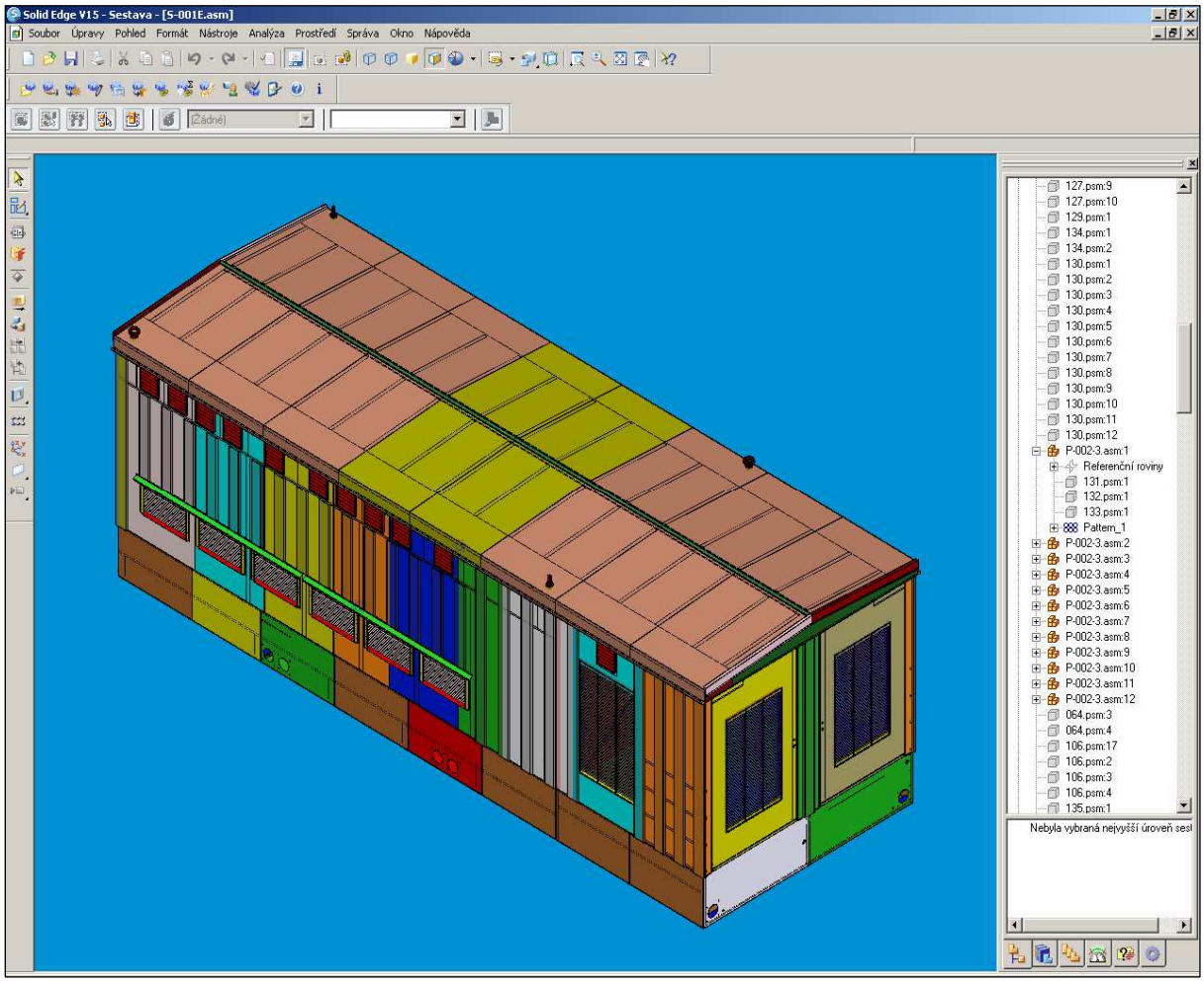
Obr. 2.1 Trafostanice ETS 2 x 1000/střídače Sinvert

2.2. Tvarové a rozměrové parametry trafostanice

Celková sestava (*obr. 2.2*) trafostanice se skládá ze čtyř základních podsestav *(výkres viz. příloha 2).* Jedná se o základovou vanu, sloužící jako nepropustná záchytná jímka pro případný únik oleje z transformátorů, plášť trafostanice včetně vstupních dveří, rám a střechu. Základ, plášť a rám jsou vzájemně svařeny, střecha je následně upevněna na rám pomocí háků, čepů a matic tak, aby byla kdykoliv možnost sejmutí střechy, a tím získání pohodlného přístupu k instalaci vnitřních technologií. Kompletní dokumentace jednotlivých dílů, podsestav a sestavy je vytvořena v 3D CAD systému Solid Edge.

Jelikož je použití trafostanic velice různorodé a škála elektrotechnologií je velice široká, je převážná část produkce řešena jako zakázková „přímo na míru“ dle přání zákazníka. Výška trafostanice je omezena na 3 400 mm vzhledem k výšce stropu v lakovně, šířka trafostanice se pohybuje do 3 500 mm a jejím omezujícím faktorem je zejména ztížená možnost dopravy takto nadměrného nákladu. Délka trafostanice nezřídka přesahuje 10 000 mm. U takto rozměrných trafostanic je jejich nepřekonatelnou výhodou velice nízká hmotnost pohybující se bez osazených technologií okolo 8 000 kg. Konstrukčním materiálem je pouze naohýbaný aluzinkový plech, vhodně vyztužený pomocí přivařených podélných a příčných žeber.

Součástí dodávky každé transformovny je kompletní průvodní dokumentace s návodem na usazení do terénu, manipulaci, doklady o provedených zkouškách, atesty a prohlášení dle platných zákonů a vyhlášek.

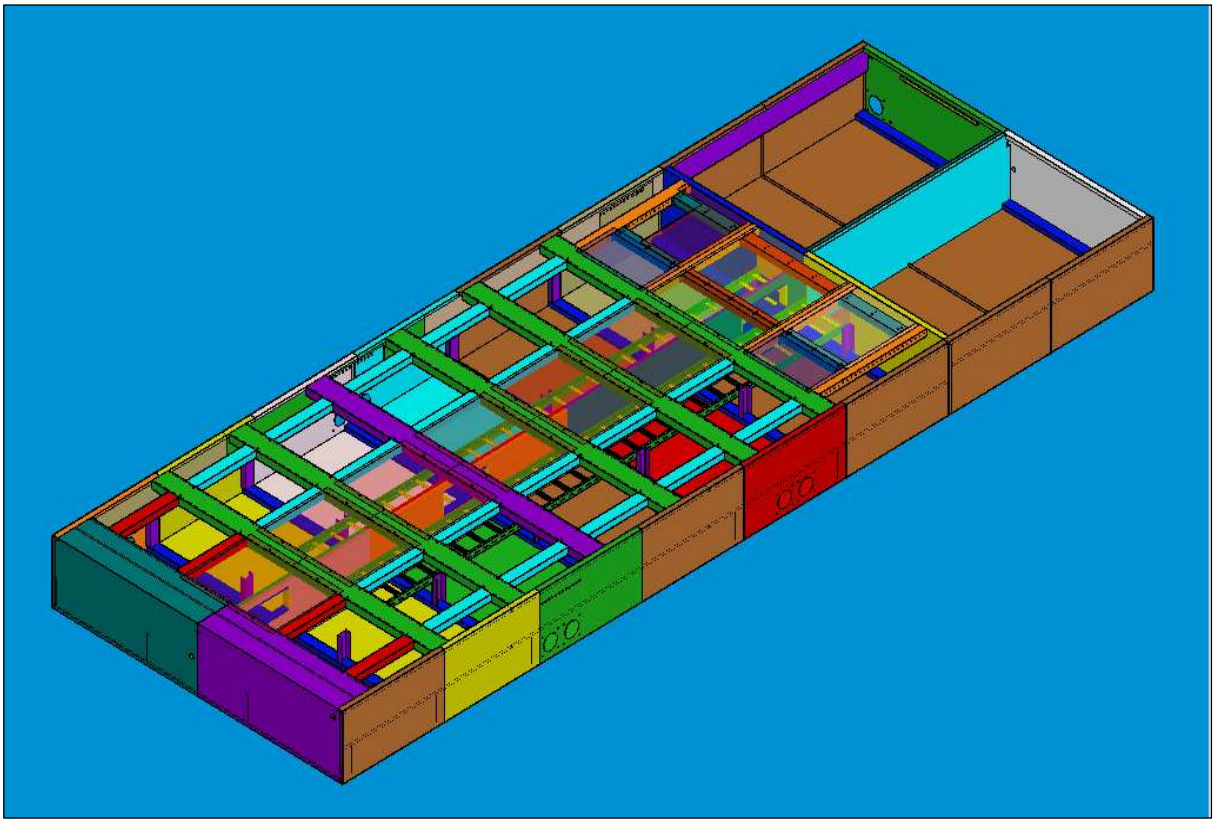


Obr. 2.2 Model celkové sestavy v 3D CAD Solid Edge

Vnější část transformoven je opatřena nástřikem vodou ředitelné omítkoviny Terranova (polyvinylacetátové pojivo, vápencová drť, přísady). Vana trafostanice je z venkovní strany ošetřena nátěrem barvou StoCorr Finish určenou pro povrchově povlakované plechy a nerezi. Vnitřní plášť trafostanice je opatřen nástřikem základní barvou Fagus. Vnitřní část střechy je opatřena antikondenzační hmotou Grafotherm, která při změnách teploty pohlcuje atmosférickou vlhkost.

2.2.1. Základová vana

Základová vana (*obr. 2.3*), je sestavena z jednotlivých segmentů, které jsou vzájemně k sobě svařeny. Díly základu jsou zhotoveny z aluzinkového plechu o síle 2,0 mm. Základními požadovanými vlastnostmi základu je jeho tuhá konstrukce a nepropustnost. Tuhosti je dosaženo použitím podélné výztuže „tunelu“ a příčných nosných vyztužených profilů ve tvaru písmene „C“. Tyto profily zároveň slouží k uchycení střídačů na předem nalisované matice. Vana je zavařena z vnější strany, z vnitřní strany je zatmelena silikonovým tmelem.



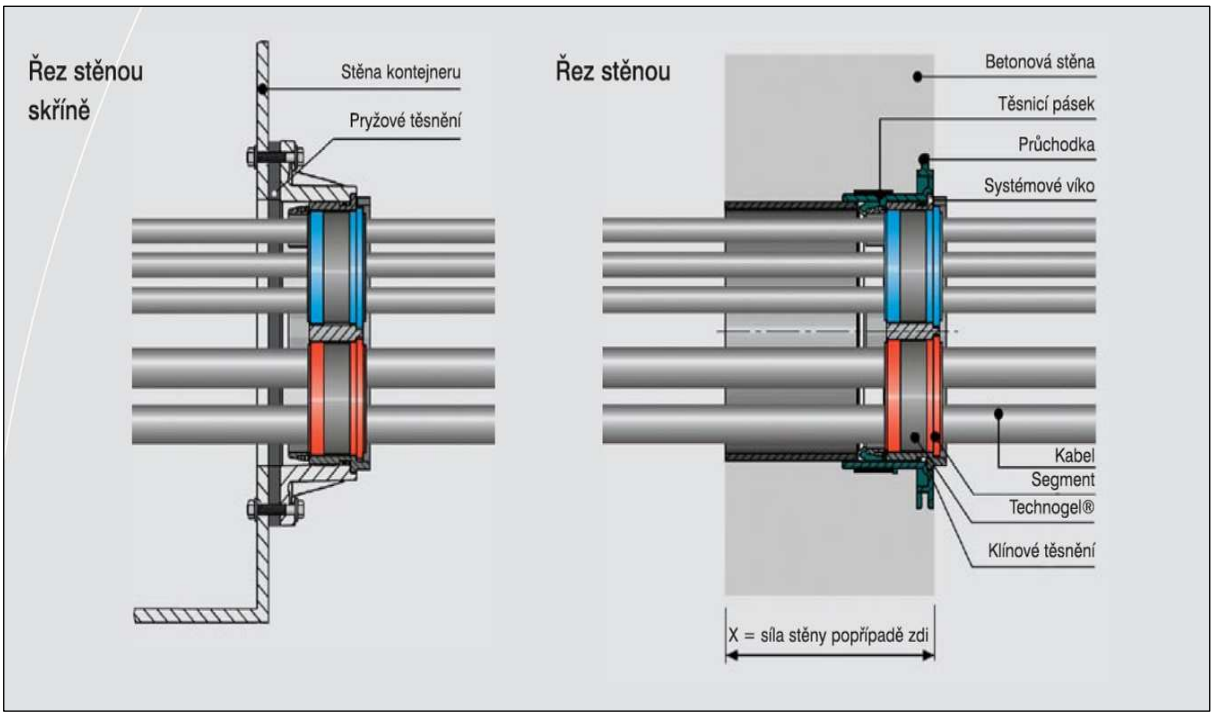
Obr. 2.3 Základová vana

Součástí základu jsou kabelové vstupy utěsněné pomocí kabelových průchodek Hauff HSI 90 a Hauff HSI 150, které jsou speciálně uzpůsobeny pro použití na plechové stěny. Průchodky zajišťují bezpečné a nepropustné zavedení kabelů do trafostanice. Specifickým jevem u trafostanic k fotovoltaickým elektrárnám je velký počet přívodních vodičů o malém průměru. Toto úskalí se podařilo vyřešit použitím systému Hauff segmento, speciálně uzpůsobenému pro tento případ (*obr. 2.4*, *obr. 2.5 a obr. 2.6*). Nevýhodou tohoto systému je však požadavek na bezvadnou čistotu okolí průchodů, což není vždy jednoduché dosáhnout, zvláště při zhoršených klimatických podmínkách často panujících na stavbách solárních elektráren.

Velmi důležitá je tudíž při montáži přítomnost zkušené a zručné osoby. Správnou instalací se však získá velmi flexibilní, spolehlivé a zejména velice rychlé utěsnění vodičů. Značnou výhodou průchodek je volitelné osazení jednotlivých segmentů dle požadovaného průměru kabelů. Vodiče lze osadit již od Ø5 mm až do Ø51 mm, což je odlišeno barevným provedením jednotlivých segmentů. Vlastní zatěsnění je způsobeno stažením jádra průchodky zhotoveného ze speciálního materiálu technogel. Stažení je provedeno pomocí dvou plastových půlměsíců a momentovým klíčem. Nesprávné utěsnění je v 99 % případů příčinou zatékání do prostoru trafostanice, kdy k zaplavení kabelového prostoru postačuje pronikání tlakové vody otvorem o průměru menším než 1 mm.

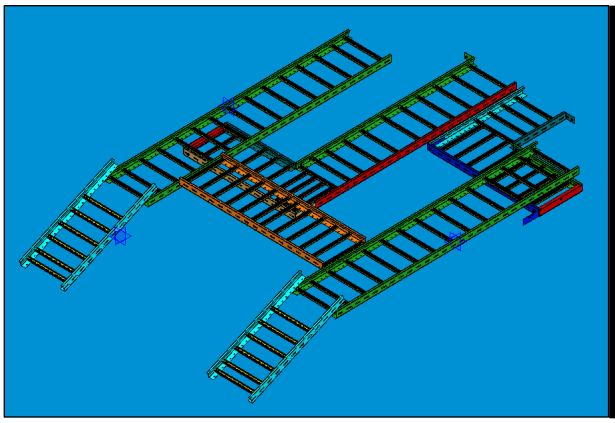
Obr. 2.4 Průchodky Hauff segmento

Obr. 2.5 Osazené kabely v průchodce



Obr. 2.6 Systém osazení průchodek Hauff segmento [6]

Součástí základové vany trafostanice je kabelový prostor, který je osazen kabelovými lávkami (*obr. 2.7*) pro pevné uchycení kabelů tak, aby se zabránilo jejich pohybu a zároveň se vymezila vzdálenost mezi jednotlivými vodiči a zajistilo se tím jejich přirozené chlazení okolním vzduchem. Uchycení kabelů je provedeno pomocí příchytek (*obr. 2.8*) do příčných profilů lávky. Kabelové lávky jsou vyrobeny na vysekávacím lise a následně naohýbány na ohraňovacím lise. Příchytky jsou nakoupeny od externího dodavatele.

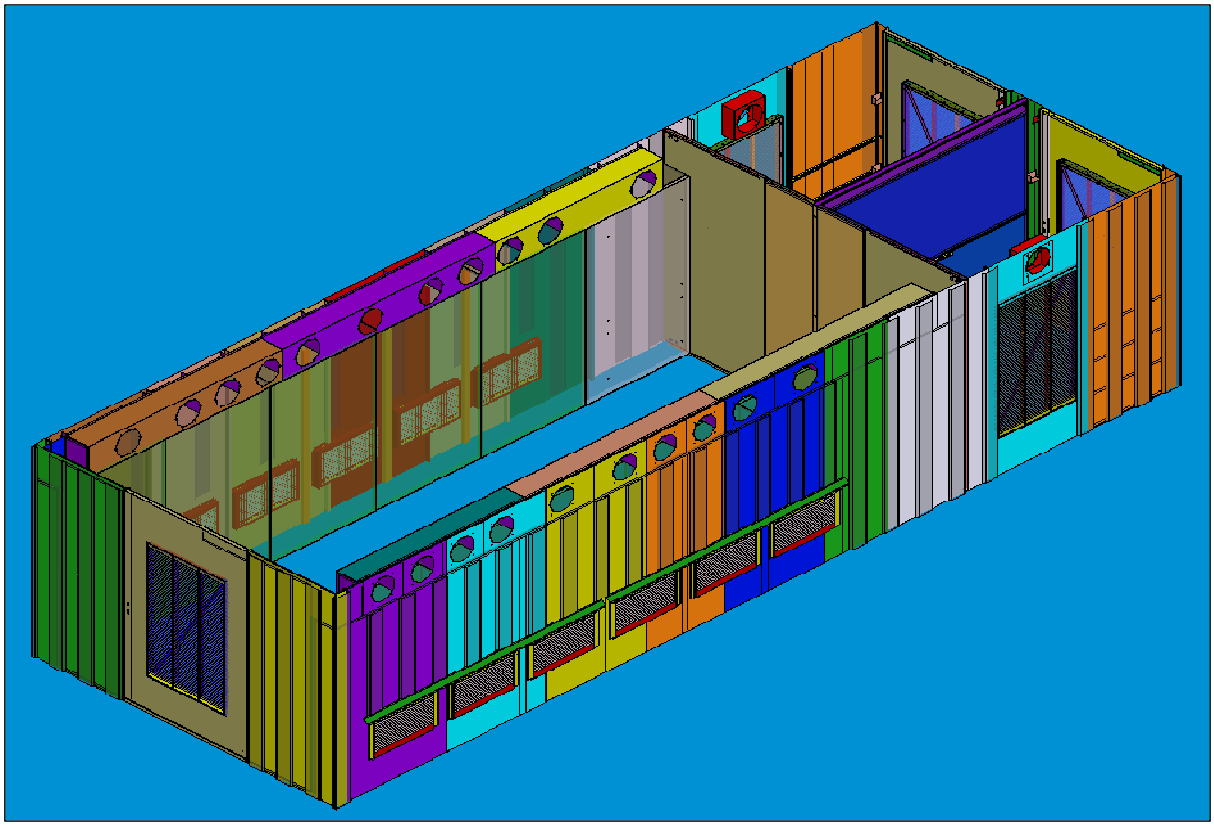


Obr. 2.7 Sestava kabelových lávek

Obr. 2.8 Kabelové příchytky [17]

2.2.2. Plášť trafostanice

Plášť trafostanice (*obr. 2.9*) je tvořen stěnami z plechu o síle 1,5 mm. Jeho součástí jsou dveře a ventilační žaluzie.



Obr. 2.9 Plášť trafostanice

V posledních letech dochází velmi často k násilnému vniknutí do objektů a zařízení provozovaných rozvodnými firmami, solární elektrárny nevyjímaje. Následným zcizením vnitřního vybavení a elektrozařízení vznikají dlouhodobé odstávky jednotlivých zařízení a dochází tak k vysokým finančním škodám nejen na majetku ale i na neprovozuschopnosti zařízení, což je v případě solární elektrárny téměř nepřípustné. Pachatelé si jen zřídka uvědomují vysoké nebezpečí, které jim hrozí a bezmyšlenkovitě riskují vlastní životy. Z tohoto důvodu byla oslovena firma Southco, která ve spolupráci s naší firmou vyvinula zcela nový druh tříbodového zavírání (*obr. 2.10 a obr. 2.11*), splňující i ty nejvyšší požadavky na zabezpečení objektu. V součinnosti s kamerovým systémem, vnitřním pohybovým čidlem a dalším bezpečnostním zařízením se podařilo násilné průniky téměř eliminovat na minimum.

Obr. 2.10 Neúspěšný pokus o vniknutí do objektu

Obr. 2.11 Zavírání Southco

Vzhledem k nutnosti vysokého zabezpečení trafostanice zejména z hlediska možnosti úrazu elektrickým proudem a to jak pro obsluhu, tak i pro neznalé osoby pohybující se v okolí trafostanice, je pro celou trafostanici vyžadována třída krytí IP 43.

Největší riziko porušení tohoto požadavku nese zejména plášť trafostanice, ve kterém je nutné umístění ventilačních otvorů, vstupních dveří a elektroměrných skříní pro odečet el. energie přístupných z venkovního prostoru. Zajištění bezpečnosti je prvořadým úkolem při konstrukci celé trafostanice.

Krytí (*tabulka viz. příloha 3*) je konstrukční opatření, které udává parametry ochrany objektu. Dodržení předepsaných hodnot zajišťuje ochranu před dotykem s živými a pohybujícími se částmi a dosahuje se zároveň i ochrany zařízení před poškozením vniknutím cizích předmětů, prachu, vody, plynů a pod. Předpisem, který v současnosti specifikuje stupně krytí el. zařízení je ČSN EN 60 529. Stupně ochrany krytem, vydaná v listopadu 1993 a nahrazující v celém rozsahu dříve platné normy ČSN 330330 Krytí el. zařízení z 4/79 a ČSN 345612 Základní zkoušky krytí el. předmětů z 6/66. Nová norma zachovává způsob označování stupně krytí písmeny IP spolu se dvěma čísly a navíc zavádí další přídavná písmena A, B, C, D a doplňková písmena H, M, S, W, obojí jako nepovinná.

V případě trafostanice nesmí do vnitřního prostoru proniknout drát o průměru 1 mm a více, a zároveň musí být vnitřní prostor chráněn před kropením a deštěm. Typové zkoušky na krytí provádí např. společnost IVEP, a.s. Brno.

Stupně ochrany před dotykem nebezpečných částí a před vniknutím cizích pevných těles udávané první číslicí:

IP 0x - Nechráněno
IP 1x - Zařízení je chráněno před vniknutím pevných cizích těles o průměru 50 mm a větších a před dotykem hřbetem ruky.
IP 2x - Zařízení je chráněno před vniknutím pevných cizích těles o průměru 12,5 mm a větších a před dotykem prstem.
IP 3x - Zařízení je chráněno před vniknutím pevných cizích těles o průměru 2,5 mm a větších a před dotykem nástrojem.
IP 4x - Zařízení je chráněno před vniknutím pevných cizích těles o průměru 1 mm a větších a před dotykem drátem.
IP 5x - Zařízení je chráněno před prachem a před dotykem drátem.
IP 6x - Zařízení je prachotěsné a je chráněno před dotykem drátem.

Stupně ochrany proti vniknutí vody udávané druhou číslicí:

IP x0 - Nechráněno.
IP x1 - Svisle kapající.
IP x2 - Kapající ve sklonu 15°.
IP x3 - Kropení, déšť.
IP x4 - Stříkající.
IP x5 - Tryskající.
IP x6 - Intenzivně tryskající.
IP x7 - Dočasné ponoření.
IP x8 - Trvalé ponoření.

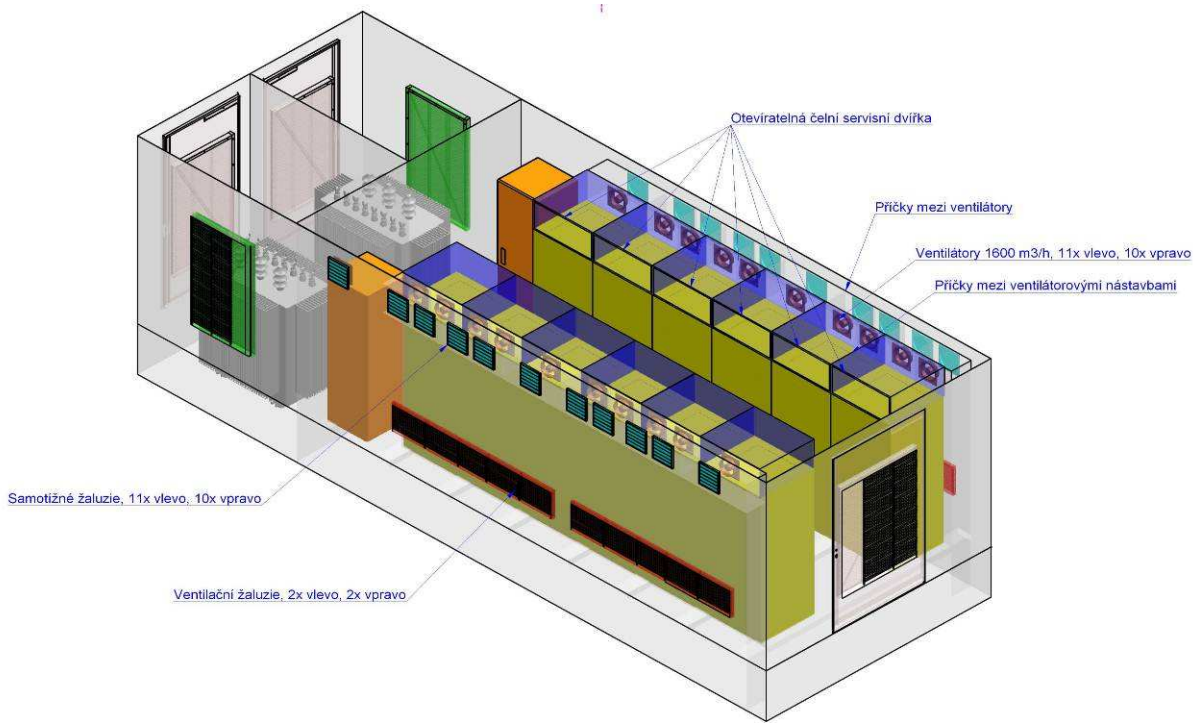
Zásadní vliv na konstrukci celého pláště mají provozní teploty elektrozařízení osazeného v trafostanici. Zejména při osazení střídači je velice důležité bezchybné chlazení vnitřního prostoru, jelikož překročením teploty nad povolenou mez řídící systém střídače automaticky sníží výkon celého zařízení a může dojít i celkovému odstavení střídače. V zimních měsících je zároveň velmi vhodné zabezpečit vzhledem k přítomnosti citlivé elektroniky vnitřní teplotu nad 5° C a zamezit srážení vlhkosti v prostoru trafostanice.

Požadovaných teplotních parametrů se dosahuje několika způsoby:

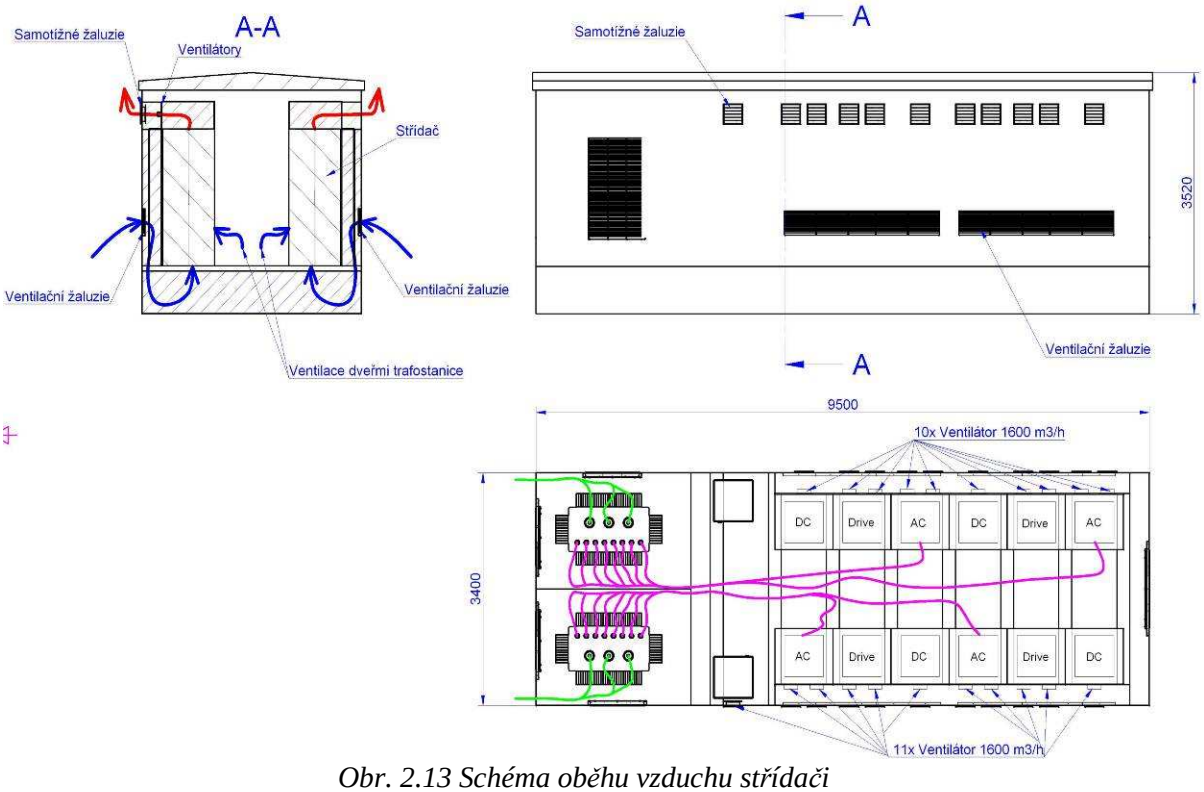
a) Pomocí přirozené cirkulace vzduchu – tento způsob je nejčastěji využíván k chlazení olejových transformátorů. Cirkulaci vzduchu zajišťují lamelové žaluzie, ve výjimečných případech s přídavným ventilátorem.

b) Nucenou ventilací pomocí ventilátorů a topného tělesa (*obr. 2.12 a obr. 2.13*) – ventilátory jsou v převážné většině případů použity radiální, a jsou osazeny jako sací ve spojení se samotížnými žaluziemi. V případě požadavku na zajištění minimální teploty je využíváno topné těleso s termostatem a ventilátorem. Při použití topného tělesa je vhodné trafostanici konstruovat jako zateplenou sandwichovým způsobem. Venkovní plášť je zhotoven z aluzinkového plechu o síle 1,5 mm, vnitřní plášť tvoří plech aluzink o síle 0,8 mm či 1 mm. Mezi plášti je osazena nejčastěji minerální vata o síle 50 mm, zajišťující tepelnou izolaci.

c) Osazením klimatizační jednotky (*obr. 14 a obr. 15*) – při tomto způsobu je nezbytně nutné trafostanici zateplit stejným způsobem jako u varianty b). Tento způsob je nejefektivnější, avšak zároveň nejnákladnější.



Obr. 2.12 Trafostanice se střídači chlazená nuceným oběhem vzduchu



Obr. 2.13 Schéma oběhu vzduchu střídači

Obr. 2.14 Trafostanice s klimatizací

Obr.2.15 Trafostanice s klimatizací a dieselagregátem

Návrh vhodného chlazení a topení je velmi složitá a náročná záležitost, vyžadující zkušenosti a provedení výpočtů pomocí specializovaného programu. Důležité je zejména přesné a správné určení vstupních parametrů, kterými jsou:

Pro výpočet potřebného topného výkonu

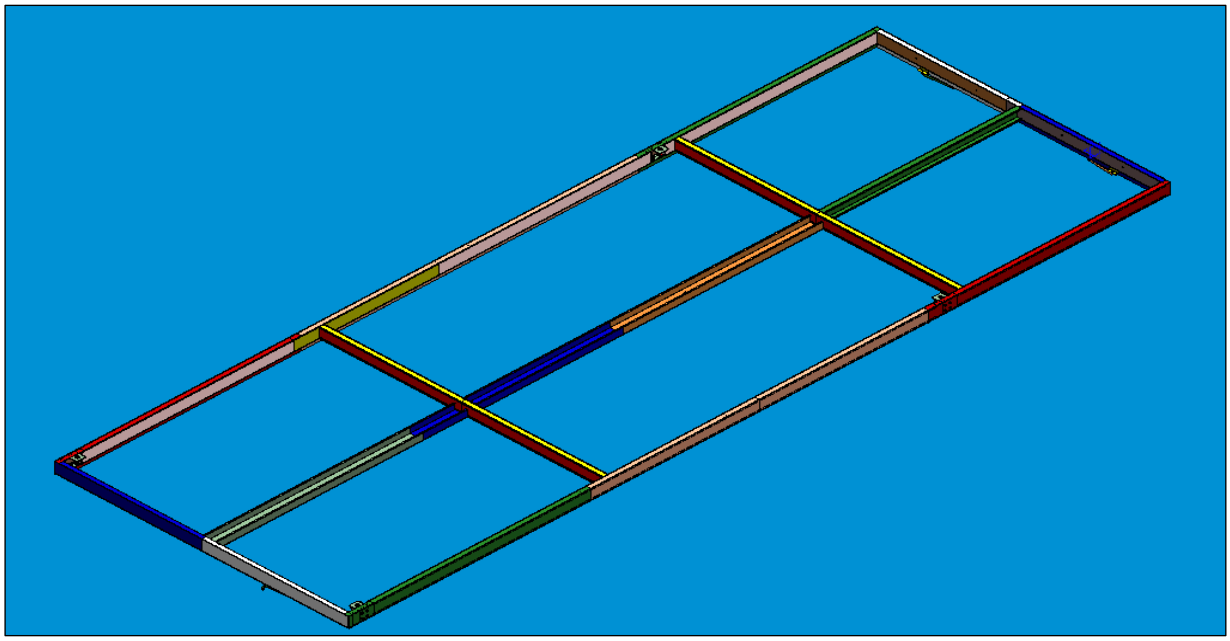
- Rozměry trafostanice – šířka x délka x výška
- Typ instalace – samostatně volně stojící, přisazená ke stěně, přisazená ke dvěma stěnám, atd.
- Umístění – venkovní či vnitřní
- Konstrukční materiál – koeficient prostupu tepla
- Teplotní rozdíl – rozdíl nejnižší teploty venkovního okolí oproti požadované teplotě uvnitř kiosku
- Stálý ztrátový topný výkon vnitřního elektrozařízení

Pro výpočet potřebného chladícího výkonu

- Teplotní rozdíl – rozdíl nejvyšší teploty venkovního okolí oproti požadované teplotě uvnitř kiosku
- Instalovaný ztrátový výkon vnitřního elektrozařízení
- Koeficient vlivu nadmořské výšky

2.2.3. Nosný rám

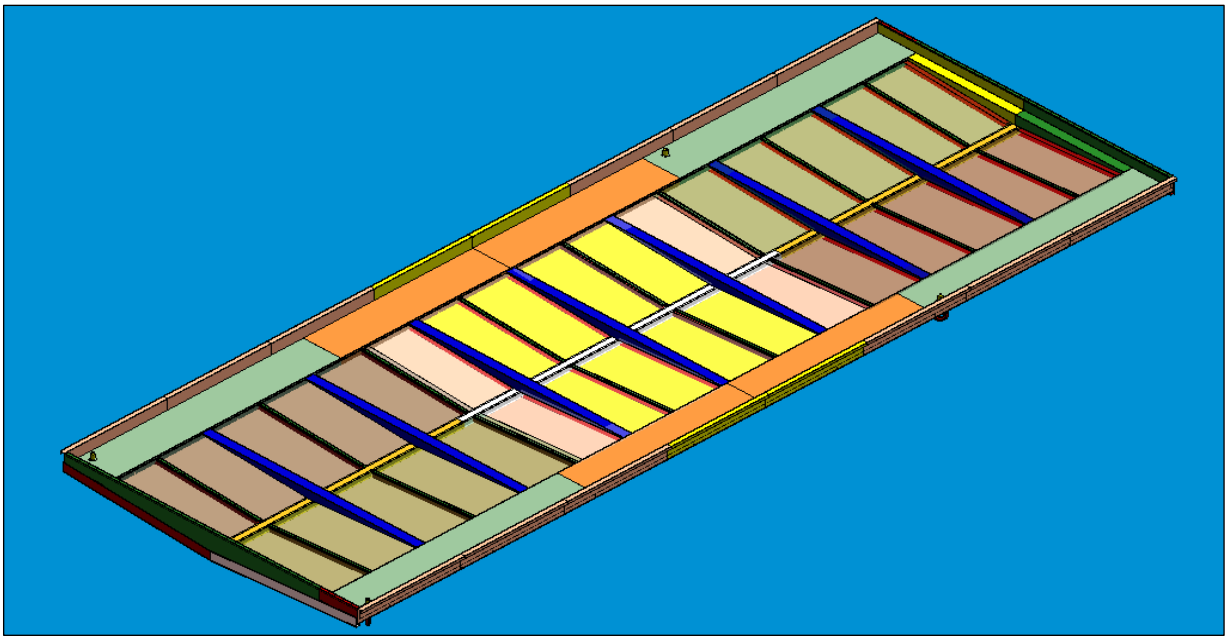
Základními díly nosného rámu (*obr. 2.16*) jsou čela, bočnice a příčné výztuhy. Všechny díly jsou vyrobeny z aluzinkového plechu síly 2,0 mm a jsou vyztuženy pomocí ohybů a vsazených výztuh. Celková tuhost rámu je velmi důležitá, jelikož přenáší veškerou hmotnost při manipulaci s trafostanicí pomocí jeřábu.



Obr. 2.16 Nosný rám trafostanice

2.2.4. Střecha trafostanice

Střecha (*obr. 2.17*) je tvořena svařením ze segmentů a žeber. Segmenty jsou z aluzinku o síle 1,5 mm, žebra z plechu o síle 2,0 mm. Sklon střechy je standardně 4°, 20° či 35°. Na přání zákazníka je možno osazení střechy krytinou z pálené tašky, kanadského šindele či bobrovkami. Střecha je upevněna k rámu pomocí čepů, podložek a matic. Do čepů jsou zašroubována zdvihací oka (*obr. 2.18*) s nosností dimenzovanou na hmotnost plně osazené trafostanice. Při manipulaci je nutné dbát správného úhlu zdvihacích popruhů, kdy při zkrácení šikmého úvazku značně klesá nosnost (*viz. tabulka 1 a obr. 2.19*). Střecha je dle zvolené technologie chlazení bez zateplení, a nebo dvouplášťová se zateplením pomocí minerální vaty.

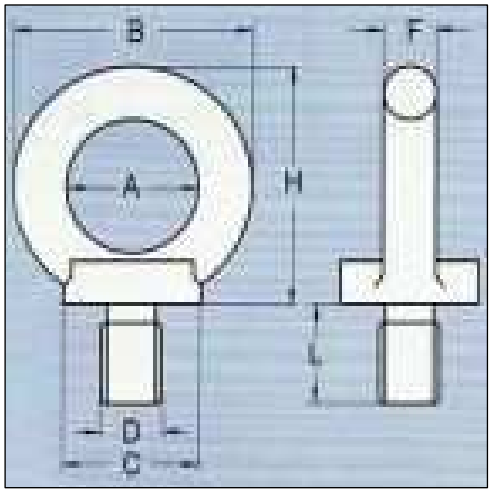


Obr. 2.17 Pohled na střechu trafostanice ze spodní strany

Tab. 1 Parametry a rozměry vysokopevnostních šroubů s okem 8.8 [13]

Nosnost pro 0° (kg)	Nosnost pro 90° (kg)	Šroub D x L	Hmotnost (kg)	A	B	C	F	H
400	100	M6 x 13	0,09	25	45	25	10	45
800	200	M8 x 13	0,09	25	45	25	10	45
1000	250	M10 x 17	0,11	25	45	25	10	45
1600	400	M12 x 21	0,27	35	63	35	14	62
3000	750	M14 x 21	0,29	35	63	35	14	62
4000	1000	M16 x 27	0,31	35	63	35	14	62
5000	1250	M18 x 27	0,84	50	90	50	20	90
6000	1500	M20 x 30	0,86	50	90	50	20	90
8000	2000	M24 x 36	0,90	50	90	50	20	90
10000	2500	M27 x 45	1,66	60	108	65	24	109
12000	3000	M30 x 45	1,70	60	108	65	24	109

Obr. 2.18 Vysokopevnostní šrouby s okem 8.8



Obr. 2.19 Rozměry šroubů s okem [13]

2.3. Materiálová charakteristika

2.3.1. Plechy povrchově povlakované

Žárově povlakované oceli rozhodně nelze řadit mezi nové materiály, nicméně výrazný rozvoj jejich použití v různých průmyslových oblastech výroby je v současnosti řadí mezi velmi progresivní komodity. K odvětvím, která zpracovávají nejvýznamnější množství povlakovaných materiálů se řadí především automobilový průmysl, dále pak stavebnictví, výroba vzduchotechnických a klimatizačních zařízení, výroba zařízení a přístrojů pro domácnost. Nejpoužívanějším materiálem je plech žárově zinkovaný. Například u moderního automobilu je požadována velmi nízká spotřeba pohonných hmot, bohatá doplňková výbava a dlouhá životnost karoserie. To přináší tlak na snižování hmotnosti vozidla. Tohoto požadavku výrobci automobilů dosahují za použití tenkých hlubokotažných plechů žárově pozinkovaných, v současné době také čím dál častěji pomocí slitin hliníku nebo kompozitních materiálů. Povrchová úprava pozinkováním zaručí dostatečnou protikorozní odolnost a tudíž i požadovanou životnost, malá tloušťka plechu sníží hmotnost. Tento vývoj je pozitivní pro konečného zákazníka a uživatele výrobku, z hlediska výrobce však vede ke komplikacím, například v technologii svařování. [10], [11]

2.3.2. Způsoby nanášení zinkových vrstev

Pro nanášení tenkých zinkových vrstev na povrch ocelového plechu se využívá několik metod. K nejpoužívanějším patří zejména:

- Žárové zinkování ponorem v roztavené lázni
- Galvanické zinkování pomocí galvanického článku a vhodného elektrolytu
- Žárový nástřik – metalizace – stříkání polotekutého zinku na povrch dílce speciální pistolí pomocí tavení zinkového drátu
- Nátěrem či nástřikem pomocí materiálu s vysokým obsahem zinku

Nejefektivnějším způsobem pozinkování konstrukční nelegované oceli je metoda žárového pozinkování ponorem v lázni tekutého Zn. Žárově pozinkovaná ocel se vyrábí kontinuálním způsobem. Ocelový plech válcovaný za studena je jako základní materiál průběžně čištěn, žíhán a v roztavené zinkové lázni pozinkován. Oboustranný nános zinku má nastavenou tloušťku pomocí tryskového stírání. Gramáž zinkové vrstvy u žárově pozinkovaných plechů se pohybuje v rozsahu 60 - 450 $g \cdot m^{-2}$ vždy oboustranně. Hodnota gramáže je uvedena v názvu materiálu - např. DX51D + Z275 je plech s ocelí DX51D a zinkovou vrstvou gramáže 275 $g \cdot m^{-2}$. Tloušťka zinkové vrstvy je v rozsahu 10 - 25 µm. Tento způsob pokovení využívá vzájemné rozpustnosti železa a zinku, kdy se za technologické teploty okolo 450° C vytváří intermetalické fáze na rozhraní styku povrchu upravovaného dílu s roztaveným zinkem. Povlak má pak v závislosti na vzdálenosti od jeho povrchu rozdílné chemické složení, přičemž s narůstající vzdáleností od povrchu povlaku stoupá procento Fe. Výsledná vrstva vykazuje relativně rovnoměrnou tloušťku, dobrou přilnavost i estetický vzhled. V průběhu tuhnutí zinku se vytváří typická struktura povrchu - tzv. zinkové květy. Velikost zinkových květů lze řídit cíleným ovlivňováním tuhnoucí vrstvy zinku, případně chemického složení zinkové lázně. Tímto způsobem lze dosáhnout povrchu bez zinkových květů, stejně jako povrchů s různými zinkovými květy. Záměrným ovlivňováním zinkové vrstvy během tuhnutí se vytvoří velké množství malých zinkových květů. Tím se dosáhne stejnoměrného vzhledu povrchové vrstvy. Dodatečnou úpravou válcováním jsou zinkové květy v jejich nejvyšší vrstvě zarovnány. Tímto způsobem se dosáhne stejnoměrného šedého, matného povrchu. Další povrchovou úpravou mohou být plastové vrstvy. [10], [11]

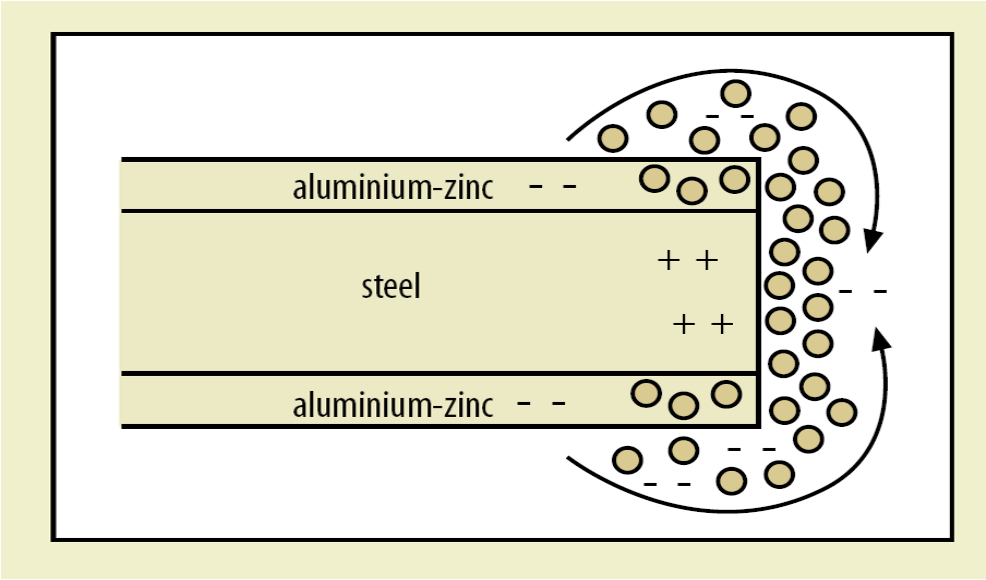
Nevýhodou technologie žárového pozinkování zůstává snad jen potřeba dodržení technologičnosti výrobku který je třeba pokovit, omezení velikosti dílů rozměrem vany zinkovny a nutnost provádění povrchové úpravy v zinkovně nikoliv u výrobce konstrukce či na montáži. Pro následné zpracování je významná dosažená tloušťka vrstvy.

2.3.3. Volba materiálu a katodická ochrana

Na vhodnou volbu materiálu mají vliv nejenom vlastnosti povlaku, ale také vlastnosti základního materiálu. Hlavním sledovaným parametrem plechu je jeho lisovatelnost. Tento pojem lze vysvětlit jako vlastnost, která nám umožňuje změnu na požadovaný tvar, za zachování užitných vlastností tvářeného materiálu. Znamená to stanovit mezní stavy povlaku a mezní stavy základního materiálu. Posuzuje se zejména maximální dosažený stupeň deformace (stupeň tažení) a dovolenou deformaci povlaku, při zachování jeho ochranné funkce proti korozi.

Vzhledem k potřebě zvýšené korozní odolnosti byl jako vhodný konstrukční materiál zvolen plech aluzink, který vykazuje mnohem větší korozní odolnost než běžný ocelový plech. Mechanické vlastnosti běžného ocelového plechu také nejsou vždy dostačující a vhodné. Tyto specifické zvýšené požadavky na materiál lze splnit použitím ocelového plechu potaženého ochranným AlZn povlakem. Při zpracování povrchově povlakovaných plechů však hrozí nebezpečí vzniku povrchových trhlinek, zejména v místech nejvyšších zatížení, kde dochází k plastické deformaci a tím i k odkrytí základového materiálu z ocelového plechu.

Aluzink jako první vyrobila firma SSAB již v roce 1979. O dva roky později byla do provozu uvedena linka na výrobu tohoto materiálu. Jedná se o ocelový plech s kovovým povlakem, který je nanesen tak, že se spojuje optimální odolnost proti korozi s katodickou ochranou na střižných hranách a vrypech. Povlak dodává materiálu také lepší fyzikální a mechanické vlastnosti. Na obrázku *(obr. 2.20)* je znázorněno jak zinek na řezných hranách a prasklinách na povrchu povlaku poskytuje ochranu. Na stejném principu korozní ochrany funguje i pozinkovaný plech. Zinková vrstva zajišťuje ocelovému základnímu materiálu ochranu bariérou, která zabraňuje styku oceli s korozním prostředím. V případě narušení zinkové vrstvy např. vrypem či prasklinkami vzniklými při tváření pak poskytuje tzv. katodickou ochranu. V místě poškození povlakové vrstvy za přítomnosti korozního prostředí - elektrolytu (např. dešťová voda) vznikne díky rozdílným elektrochemickým potenciálům obou kovů ve styčné oblasti miniaturní galvanický článek Fe–Zn. Zinek je v tomto případě katodou a tudíž dochází přednostně k jeho korozním úbytku, zatímco ocel je v daném místě chráněna proti degradaci. Produktem oxidace zinku je pak Zn_2O_3, který zaujímá větší objem než zinek před oxidací a má tudíž tendenci zaplnit vzniklou mezeru. Tento jev dokáže ochránit přerušení Zn vrstvy až 1 ÷ 2 mm široké. [10]

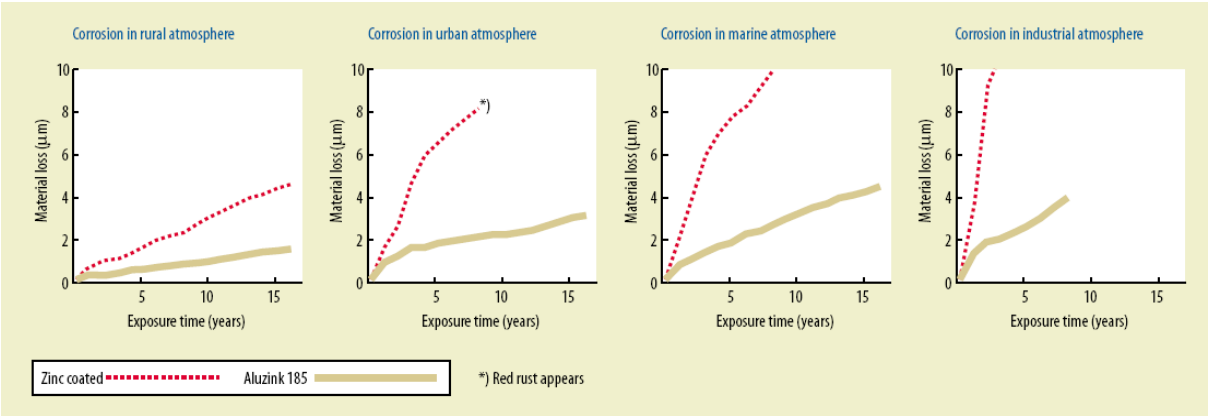


Obr. 2.20 Princip katodické ochrany [10]

Specifickou vlastností aluzinkového plechu je schopnost nezbarvit se při ohřátí a to až do teploty 315° C. Aluzink spojuje nejlepší vlastnosti ocele, hliníku a zinku. Povlakovaný povrch představuje legování z 55 % hliníku, 43,4 % zinku a 1,6 % křemíku. Aluzink je vyráběn kontinuálním ponorovým procesem. Základním materiálem je pásová ocel válcovaná za studena, která je před potažením pečlivě vyčištěna a upravena. Síla potažení je neustále automaticky řízena tak, že může být po obou stranách plechu udržována v úzké toleranci. Pomocí pokrokového procesu dalšího válcování za studena je jakost horní plochy v posledních letech podstatně zlepšována. [10]

Na diagramech *(obr. 2.21)* je znázorněna lepší korozní odolnost aluzinkového povlaku oproti ponorově zinkovanému povlaku. Diagramy jsou sestaveny na základě výsledků Švédského výzkumného ústavu pro korozi, který došel k poznatkům že koroze aluzinku je oproti pozinkovanému plechu až 7-krát slabší. Materiál byl zkoumán v různých klimatických prostředích. Jednalo se o zemědělskou oblast, městskou atmosféru (Stockholm), průmyslovou atmosféru silně znečištěnou SO_2 a o mořskou atmosféru. Jako nevhodné se ukázalo být použití aluzinku ve spojení s olovem a mědí. [10]

Venkovská atmosféra *Městská atmosféra* *Mořská atmosféra* *Průmyslová atmosféra*



Obr. 2.21 Vývoj korozního procesu v různých prostředích [10]

Aluzinkové plechy mohou být řezány, lisovány, taženy, ohýbány a profilově válcovány. Klasické způsoby spojování, jako je nýtování, spojování šrouby, vroubkování, obrubování apod. lze bez problémů používat, protože těmito způsoby není ohrožen ochranný účinek zinku proti korozi. Při spojování s jinými kovy je nutno přihlížet k tomu, že při vzniku elektrochemického článku vzniká nebezpečí kontaktní koroze. Životnost materiálu může být dále zvyšována použitím vhodného nátěru barvou. Před nánosem barvy je nutné součást očistit a odmastit jelikož je plech dodáván naolejovaný. Ke zhoršení adheze barvy může dojít pouhým otlačením prstu, proto je vhodné materiál vyčistit až těsně před vlastním nanesením barvy.

U povlakovaných plechů můžeme používat běžných způsobů tavného svařování. Nevýhodou je zde však porušení zinkové vrstvy v místě svaru. Proto je doporučeno provést dodatečnou ochranu např. zinkovým nátěrem. Pro spojení dílců trafostanice však byl zvolen jako nejvhodnější způsob tzv. MIG pájení.

Bílým, nežádoucím, objemným a špatně ulpívajícím produktem koroze zinku je bílá rez. Může vznikat v důsledku nepříznivých podmínek při dopravě a skladování, například při větších rozdílech teploty. Kapilárním účinkem u těsně na sobě ležících plechů proniká kondenzovaná voda hluboko do stohu plechů nebo svitků. Přitom vzniká zinková patina, ale v důsledku nedostatečného přivádění vzduchu se nemůže odpařovat voda. Tímto dochází velmi rychle k odbourávání této patinové vrstvy a vzniku bílé rzi. Menší množství bílé rzi má pro ochranu proti korozi malý vliv. Pro svůj nápadný vzhled je však nežádoucí. [10]

Tab. 2 Mechanické vlastnosti aluzinkových plechů

Značka oceli	**Mechanické vlastnosti**		
dle EN 10327	**Mez kluzu - R_e min. / max.**	**Mez pevnosti - R_m min. / max.**	**Tažnost - A_{80} min. %**
DX51D+AZ		270 - 500	22
DX52D+AZ	140 - 300	270 - 420	26
DX53D+AZ	140 - 260	270 - 380	30
DX54D+AZ	140 - 220	270 - 350	34

3. VOLBA TECHNOLOGIE VÝROBY

3.1. Úvod do technologií výroby

Tvar vyráběných dílců potřebných k sestavení trafostanice je navržen s ohledem na co nejjednodušší, nejrychlejší a co nejméně tvarově náročnou výrobu, při zachování všech pevnostních a antikorozních vlastností zpracovávaného materiálu. Ke zhotovení rozvinutých polotovarů lze využít několik moderních a progresívních způsobů výroby. Jedná se v současné době o expandující a rozvíjející se technologie, které se stávají nepostradatelnými téměř ve všech firmách zabývajících se strojírenskou výrobou. Směr, kterým se vývoj ubírá je zejména pokus o zvýšení výkonnosti strojů, snížení času potřebného na technologické přestávky, zjednodušení obsluhy použitím CAM systémů s dálkovým přenosem dat, využívání nových nástrojových materiálů a v neposlední řadě též zlepšování plánování výroby a materiálového toku s využitím informačních systémů. Základními technologiemi při zpracování tenkých plechů je děrování na CNC děrovacích strojích, řezání laserem, řezání plazmou, řezání vodním paprskem či kombinace těchto technologií. V kusové a malosériové výrobě při výrobě složitých tvarů součástí jsou tyto metody téměř nezastupitelné. Pro výrobu dílů trafostanice byla zvolena jako nejvhodnější metoda děrování na CNC děrovacím lisu.

V nedávné době bylo zapotřebí zakoupený materiál nejprve nastříhat na CNC nůžkách. V současnosti je výhodnější objednat u dodavatele materiál již předem nastříhaný na požadované rozměry. Stříhání probíhá na vysoce produktivních linkách (*obr. 3.1*) s vynikající přesností. Zároveň se tím eliminuje množství odpadu, jenž vzniká při zpracovávání standardně dodávaných rozměrů tabulí plechů. Srdcem linky jsou nůžky, jejichž nože se při střihu pohybují zároveň s pásem plechu odvinutým ze svitku. Neméně důležitou částí linky je rovnací modul, výrazně ovlivňující kvalitu následného tváření na CNC děrovacím stroji.

Obr. 3.1 Linka pro příčné dělení plechů ze svitků [11]

Důležitým faktorem ovlivňujícím celkovou korozní odolnost představuje technologie spojování aluzinkových polotovarů. Na spoj je kladeno několik požadavků. Jedná se zejména o dostatečnou pevnost spoje, nízké tepelné zatížení konstrukčních částí z důvodu deformací a zachování AlZn vrstvy. Svarová housenka musí být dodatečně chráněna proti korozi a povlakovaná vrstva nesmí být porušena vzhledem ke schopnostem katodické ochrany. Dalším požadavkem zejména na robotizovaných pracovištích je vysoká stabilita procesu. Tyto požadavky lze dosáhnout použitím metod s nízkým energetickým vstupem a vysokou hustotou výkonu. Velmi často se proto aplikují metody MAG svařování nebo MIG pájení.

3.2. MAG svářování a MIG pájení

Donedávna se ocelové pozinkované materiály svařovaly zejména metodou MAG, s použitím klasického drátu typu SG-1,2 nebo 3. Při spojování pozinkovaných plechů způsobem MAG často dochází k nežádoucím průvodním jevům, vyznačujícím se zejména:

- nestabilním hořením oblouku
- provařením zinkové vrstvy
- vytvářením pórů
- velkým rozstřikem způsobeným parami zinku
- vysokým obsahem zplodin a nebezpečím vzniku zinkové horečky

Při svařování metodou MAG musí dojít k roztavení základního a přídavného materiálu, přičemž teplota svarové lázně se pohybuje okolo 2 000° C. Za těchto podmínek již ve fázi zapálení oblouku začíná proces tavení a odpařování zinku, kdy nízká teplota tavení, resp. teplota varu zinku negativně ovlivňuje proces svařování. To má za následek velký opal zinkové vrstvy. Prudké odpařování zinku a vznikající oxidy dále vedou k nestabilnímu oblouku a ke vzniku pórů, vad spojení a tvorbě trhlin. Následně dochází ke kondenzaci výparů zinku a velký rozstřik pak způsobuje zanášení svařovacího hořáku. Spojování klasickým MAG svařováním je tedy velmi problematické pokud je brána do úvahy pevnost svarového spoje a neporušenost protikorozní ochrany. Zinkové výpary jsou také velmi nebezpečné pro lidské zdraví. Častým, avšak nevhodným způsobem zmírnění těchto nežádoucích účinků zinkové vrstvy, je její odstranění např. obroušením. [12]

Mnohem vhodnějším způsobem spojování povlakovaných plechů je MIG pájení. Tato alternativní technologie je jako metoda tvrdého pájení známá v automobilovém průmyslu již od 70. let minulého století. V průběhu několika posledních let však prožívá skutečnou renezanci. Základní rozdíl oproti MAG svařování spočívá v použití tvrdých, resp. vysokoteplotních pájek, např. bronzových drátů, jako přídavného materiálu, kdy zdrojem tepla potřebného pro tavení pájky je elektrický oblouk generovaný standardním MIG/MAG svařovacím zdrojem. V optimálním případě dochází pouze k natavení pájecího drátu, nikoli základního materiálu. To znamená, že spojení odpovídá typickému pájenému spoji. Díky nízké teplotě tavení použité pájky se zinková vrstva sice nataví, nicméně odpařuje se pouze nepatrně a zůstává tak do značné míry nepoškozená (*obr. 3.2*). Bez zinkové ochrany tak zůstává jen tenká mezera mezi bronzovou housenkou a neporušeným okolním základním materiálem (*obr. 3.3*), která je však do značné míry chráněna díky schopnosti katodické ochrany Zn. [12]

Obr. 3.2 Spodní strana spoje

Obr. 3.3 Spoj přeplátovaných plechů

I v případě použití technologie MIG pájení je využíváno ochranných plynů, zajišťujících několik požadovaných kritérií a to zejména:

- optimalizace smáčivosti pájky
- stabilizace elektrického oblouku
- řízení příkonu tepelné energie do procesu
- vlastnosti přenosu přídavného materiálu.

Jako ochranný plyn je nejčastěji využíván čistý argon. Použití čistého argonu nabízí relativní stabilitu oblouku a dobré charakteristiky smáčení. Výhodou je také nízký propal legur a v určitých případech lze argon doporučit. Stejně jako v případě svařování mají aktivní příměsi v argonu, jako je kyslík nebo oxid uhličitý, pozitivní vliv na stabilitu oblouku a výkon odtavení. Oblouk díky nim hoří klidněji a stabilněji, odtavovací výkon, teplota a tekutost lázně rostou, rozstřik je ve srovnání s čistým argonem mírnější. Výhody aktivních příměsí argonu lze shrnout následovně:

Ar + malý podíl O_2 nebo CO_2 ⇒ stabilnější oblouk

Ar + malý podíl O_2 ⇒ nižší viskozita tavné lázně

Ar + malý podíl CO_2 ⇒ menší tvorba pórů

Pro technologii MIG pájení byla speciálně vyvinuta tříkomponentní směs ARCAL 10CU určená výhradně pro pájení pozinkovaných plechů. Tento ochranný plyn obsahuje vedle argonu, jakožto základního prvku, navíc přídavek vodíku a oxidu uhličitého. Obsah vodíku ve výši 1 % minimalizuje tvorbu pórů ve spoji a díky redukčnímu účinku zbavuje tavnou lázeň oxidů. Obsah oxidu uhličitého je rovněž nízký a to pouze ve výši 0,5 %. Tato úroveň již postačuje ke stabilizaci oblouku (a tedy i ke snížení rozstřiku), výhodnější energetické bilanci procesu a zároveň zajišťuje omezení pórovitosti a tvorby oxidických nehomogenit. Z tohoto pohledu je přídavek CO_2 oproti kyslíku výhodnější. [12]

Vliv složení ochranné atmosféry na mechanické vlastnosti spoje není v případě běžně používaných směsných plynů zásadní. Mnohem podstatnější z tohoto pohledu je vliv přídavného materiálu a úroveň jeho promísení se základním materiálem.

Přídavné materiály - pájky jsou tvořeny slitinami na bázi mědi s různými legujícími přísadami, např. křemíkem (Si), hliníkem (Al), cínem (Sn), zinkem (Zn) a manganem (Mn). Bronzové přídavné materiály mají díky vysokému obsahu mědi relativně nízkou teplotu tavení (v závislosti na legujících složkách v rozsahu 890 až 1 080° C). Teplota tavení těchto pájek je tedy nižší než u základního materiálu (nelegovaná ocel). Nejčastěji jsou používány tažené dráty na bázi mědi s obsahem křemíku (CuSi3) nebo hliníku (CuAl8). Použití přídavných materiálů na bázi mědi s sebou přináší několik výhod. Jedná se zejména o protikorozní ochranu svarové housenky, nízký rozstřik, malý opal zinkové vrstvy a minimální množství vneseného tepla, čímž se dosáhne jen velmi malých deformací. Pájka CuSi3 má tekutější tavnou lázeň. Zabíhavost je lepší a housenka je obvykle širší. Vzhledem k nižšímu rozsahu teplot tavení a elektrické vodivosti jsou spojované díly méně tepelně zatíženy. Na druhé straně se v případě CuSi3 projevuje silnější tendence k vytváření pórů. [12]

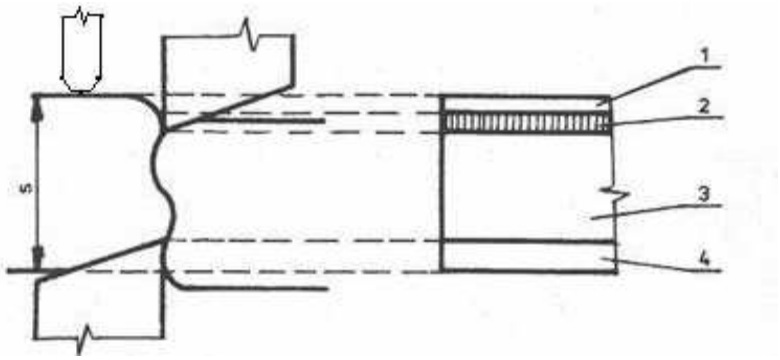
3.3. Stříhání, děrování na CNC lise

3.3.1. Technologie stříhání

Nejběžnější a nejpoužívanější bezodpadové dělení materiálu a technologie tváření je stříhání. Při tomto procesu dochází pomocí nástroje k postupnému oddělování částic zpracovávaného materiálu podél křivky střihu. Stříhání není omezeno použitím pouze ve strojírenství, ale je důležitou technologií i ve spoustě dalších lidských činností.

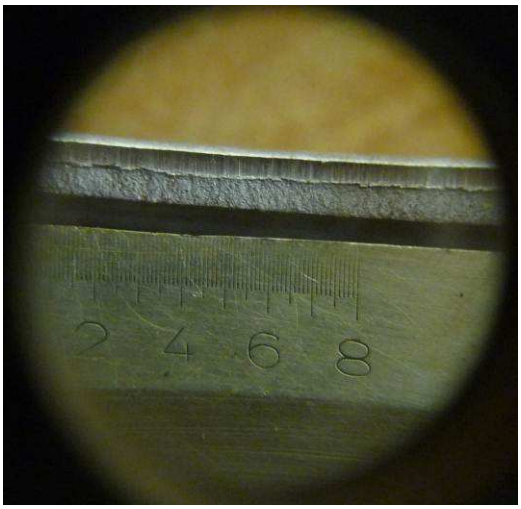
Stříhat materiál je možno jak za tepla, tak i za studena. Zhotovovat lze výstřižky různorodých tvarů či polotovary určené k dalšímu zpracování pomocí tváření (ohýbání, tažení, děrování). Střižných způsobů a operací je několik a člení se na děrování, prosté stříhání, prostřihování, vystřihování, vysekávání, přistřihování, prostřihování a několik druhů přesného stříhání. Jako střižný nástroj jsou nejčastěji používány rovnoběžné, skloněné či kotoučové nože, případně nože na tyčové profily. Nástroje jsou dle zvolené technologie a konstrukce výrobku různých tvarů a velikostí. Ke stříhání rovnoběžnými noži se používá střižný nástroj, který se skládá ze střižníku a střižnice, mezi kterými je střižná vůle.

Podstatou stříhání je oddělování materiálu působením protilehlých řezných hran (břitů), způsobujících v řezné rovině smykové napětí, přičemž k oddělení materiálu nedochází přesně v požadované rovině. Výsledný lom (střižná plocha) je ve tvaru křivky S a je tvořen čtyřmi částmi *(obr. 3.4, obr. 3,5 a obr. 3.6).* [1], [2], [9]

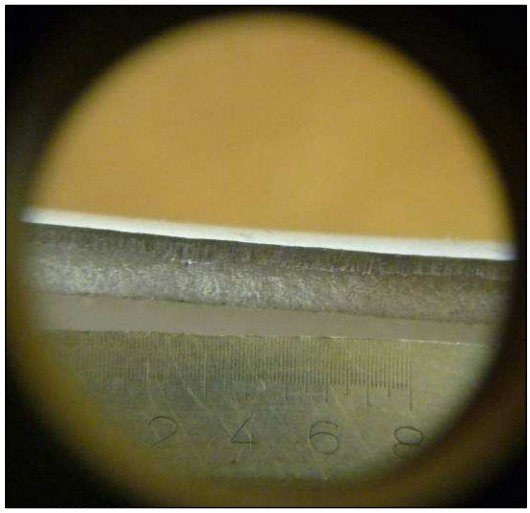


Obr. 3.4 Deformační pásma při stříhání [9]

1 – pásmo zaoblení, 2 – pásmo vlastního střihu, 3 – pásmo utržení, 4 – pásmo odtlačení



Obr. 3.5 Střižná plocha - plech aluzink



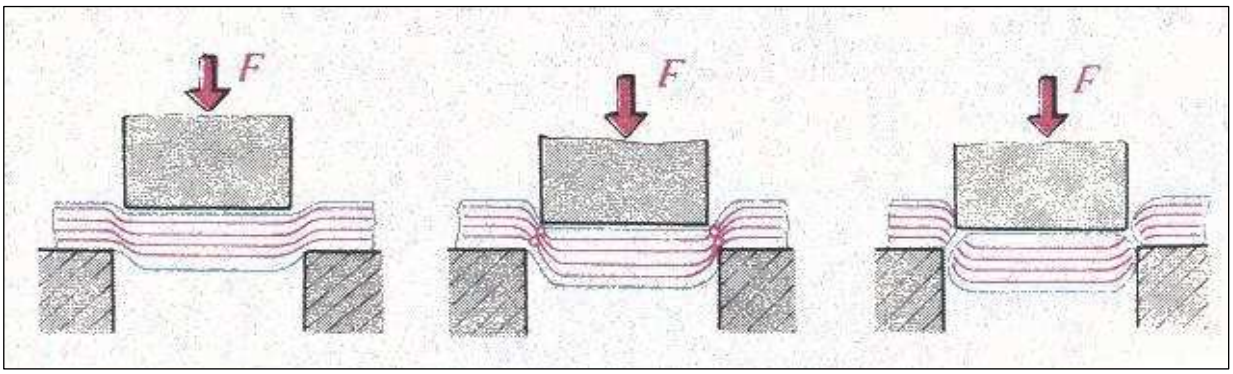
Obr. 3.6 Střižná plocha - plech hliník

Průběh stříhání materiálu lze rozdělit na tři fáze dle (*obr. 3.7).*

1. fáze procesu – začíná dosednutím střižného nože na povrch stříhaného materiálu, postupně dochází k pružné deformaci materiálu. Vzniká oblast pružných deformací, kdy se materiál stlačuje, ohýbá a vtlačuje se do otvoru střižnice. Tato oblast (hloubka vniku střižníku) bývá nejčastěji 5 ÷ 8 % tloušťky stříhaného materiálu a závisí na jeho mechanických vlastnostech. V rovinách kolmých ke střižným plochám dochází ke vzniku silových dvojic, které stříhaný materiál deformují ohybem. Stříhaný materiál je zaoblován na straně střižníku i střižnice. [9]

2. fáze procesu – vzniká oblast plastických deformací. Střižník se vtlačuje do plechu a ten do otvoru střižnice, dochází k napětí jež překračuje mez kluzu, a na hranách střižníku a střižnice se blíží mezi pevnosti. V materiálu dochází k trvalé deformaci. Tato oblast bývá ovlivněna mechanickými vlastnostmi materiálu a pohybuje se mezi 10 ÷ 25 % zpracovávaného materiálu. [9]

3. fáze procesu – materiál je namáhán nad mez pevnosti ve střihu. U hran střižníku a střižnice začínají vznikat mikrotrhlinky, ty se postupně rozšiřují do makrotrhlin, až dojde k utržení (usmýknutí) materiálu. Tvorba trhlin je podporována napjatostí stříhaných vláken v materiálu. Tato oblast bývá nejširší oblastí na střižné ploše. U tvrdých a křehkých materiálů dochází k oddělení velice rychle, u houževnatých materiálů dochází ke vzniku nástřihu a trhlin pomaleji. [9]



Obr. 3.7 Tři fáze stříhání [9]

Při použití technologie stříhání je nutné brát v potaz několik průvodních jevů a nedokonalostí procesu, výrazně se lišících při stříhání odlišných druhů materiálu. Zpracovávat lze širokou škálu kovů i nekovů.

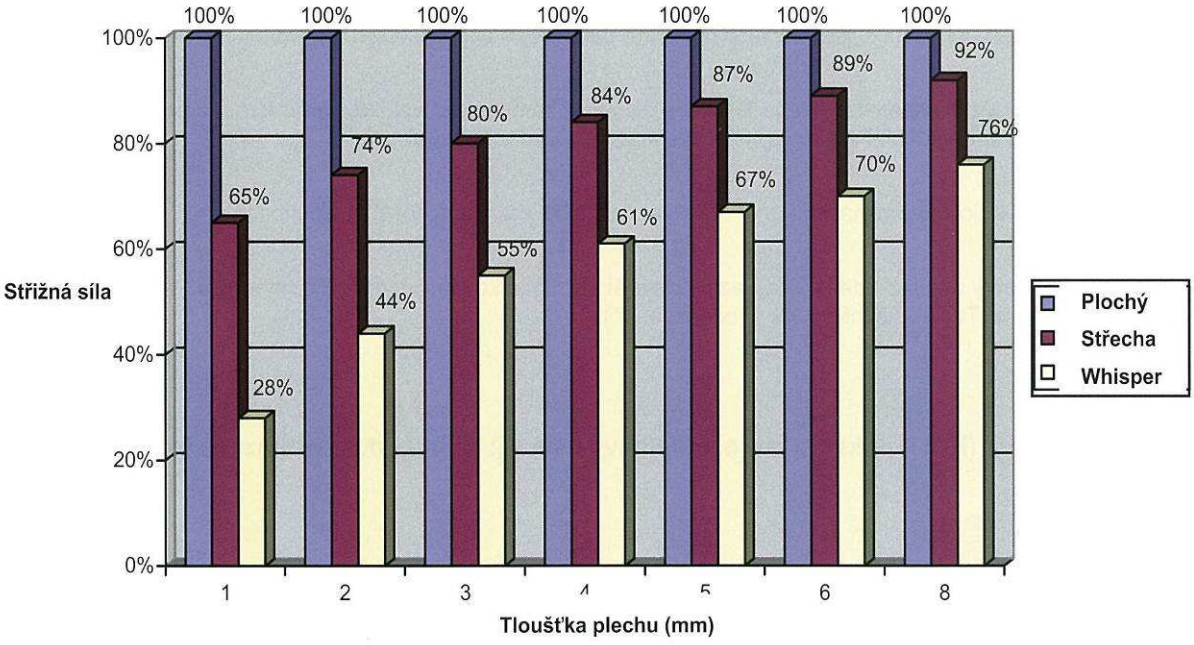
- působení ohybového momentu obou složek síly vzniká nežádoucí průhyb výstřižků
- postupné opotřebení střihadla má vliv na změnu střižné vůle s následným vznikem zešikmené střižné plochy
- okolí střižné plochy je zaobleno a zároveň dochází v tomto místě ke ztenčení materiálu
- do určité hloubky dochází ke zpevnění střižné plochy tvářeného materiálu
- průběh deformace a mechanické vlastnosti stříhaného materiálu ovlivňují drsnost střižné plochy.

Nežádoucích důsledků těchto technologických vlivů je možno se částečně vyvarovat volbou speciálních druhů stříhání (přistřihováním, přesným stříháním, aj).

Pro vhodnou volbu stroje, střižných nástrojů a návrh technologického procesu je nezbytně nutné znát střižnou sílu. Vzhledem k působení dalších přídavných namáhání je pro stanovení reálné střižné síly nutno uvažovat sílu o 20 ÷ 50 % větší. K výpočtu je nutno znát velikost střižného odporu τ_s. Tento odpor je mnoha aspekty ovlivněn, např. rozměrem a tloušťkou zpracovávaného materiálu, křivkou střihu, velikostí střižné vůle, konstrukcí nástroje atd.

Jednotlivé vlivy velikost střižného odporu:

- materiál – s rostoucí pevností střižný odpor τ_s roste
- tloušťka materiálu – se zvyšující se tloušťkou se τ_s zmenšuje
- délka křivky střihu – s rostoucí délkou se τ_s zmenšuje
- střižná mezera – při příliš malé se τ_s rychle zvětšuje, nejmenší τ_s je při optimální velikosti mezery
- podmínky stříhání – rychlost stříhání, mazání, stav střižných hran nástroje mění τ_s
- způsob broušení nástroje – plochý, střecha, whisper.



Obr. 3.8 Vliv způsobu broušení nástroje na střižnou sílu [4]

Šikmo broušený střižník (whisper) snižuje střižnou sílu v závislosti na tloušťce plechu v porovnání se střižníkem broušeným na plocho až o 70 %. Zároveň se výrazně snižuje i napětí a hlučnost. Střih šikmo broušeným střižníkem je tišší až o 14 dB (A) než střih stejně velkým plochým razníkem. Tím zredukujeme hlučnost až o polovinu. [4]

3.3.2. Střižná síla [N]

Střižná síla se určí podle vzorce:

$$F_s = k \cdot S \cdot \tau_{ps} \text{ [N]} \quad (1)$$

F_s – střižná síla pro vystřižení tvaru součásti [N]
k – součinitel otupení nástroje (1,1 ÷ 1,3) [-]
S – střižná plocha [mm^2]
τ_{ps} – střižný odpor [MPa]

Střižný odpor se vypočítá pomocí vzorce:

$$\tau_{ps} = 0{,}8 \cdot R_m \text{ [MPa]} \quad (2)$$

R_m – mez pevnosti v tahu [MPa] - pro materiál aluzink DX51D+AZ je 270 ÷ 500 MPa

Pro výpočet střižné síly je nutné vypočítat velikost střižné plochy dle vzorce:

$$S = l \cdot t \text{ [mm}^2\text{]} \quad (3)$$

l – délka střihu [mm]
t – tloušťka plechu [mm]

Střižníky s velkými střižnými plochami je výhodné šikmo brousit, a tím výrazně snížit potřebnou střižnou sílu. Výslednou střižnou sílu v těchto případech přepočítáme pomocí faktoru zkosení, který je stanoven např. pro tloušťku plechu 2,0 mm na hodnotu x = 2,25. Zredukovaná střižná síla se následně použije pro výběr děrovacího stroje.

Tab. 3 [9] *Hodnoty faktoru zkosení* [-]

Tloušťka plechu t [mm]	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0
Faktor zkosení x [-]	3,5	2,66	2,25	2	1,83	1,71	1,62	1,5	1,41	1,31	1,25

Vzorec pro výpočet redukované střižné síly je:

$$F_{S1r} = \frac{F_{S1}}{x} \text{ [N]} \quad (4)$$

3.3.3. Střižná práce [J]

Pro výpočet redukované střižné práce se použije vztah:

$$A = \frac{k_t \cdot F_s \cdot t}{1000} \text{ [kJ]} \quad (5)$$

Koeficient k_t se určí dle *tab. 5*.

Tab. 4 [14] Koeficient k_t

Materiál	Tloušťka materiálu			
	do 1	1 až 2	2 až 4	nad 4
Ocel měkká k_s= 250 ÷ 350 N.mm^{-2}	0,70 – 0,65	0,65 – 0,60	0,60 – 0,50	0,45 – 0,35
Ocel středně tvrdá k_s= 350 ÷ 500 N.mm^{-2}	0,60 – 0,55	0,55 – 0,50	0,50 – 0,42	0,40 – 0,30
Ocel tvrdá k_s= 500 ÷ 700 N.mm^{-2}	0,45 – 0,42	0,42 – 0,38	0,38 – 0,33	0,30 – 0,20
Hliník, měď (žíhané)	0,75 – 0,70	0,70 – 0,65	0,65 – 0,55	0,50 – 0,40

3.3.4. Stírací a protlačovací síla [N]

$$F_u = k_{eu} \cdot F_S \quad [N] \tag{6}$$

$$F_v = k_{ev} \cdot F_S \quad [N] \tag{7}$$

Koeficienty k_{eu} a k_{ev} jsou určeny dle *tab. 6*.

Tab. 5 [14] Koeficienty stírání a protlačování k_{eu} a k_{ev}

Materiál	Koeficient [-]	
	k_{eu}	k_{ev}
Ocel	0,10 až 0,13	0,05
Mosaz	0,06 až 0,07	0,04
Slitiny Al	0,09	0,02 až 0,04

3.3.5. Střižná vůle a střižná mezera

Tab. 6 [4] *Doporučené střižné vůle*

Tloušťka plechu v mm	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
Hliník								
Min.	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
Opt.	**0,10**	**0,20**	**0,30**	**0,40**	**0,50**	**0,60**	**0,70**	**0,80**
Max.	0,15	0,30	0,45	0,60	0,75	0,90	1,05	1,20
Ocel (400 N/mm²)								
Min.	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,40	0,80
Opt.	**0,15**	**0,30**	**0,45**	**0,60**	**0,75**	**0,90**	**1,05**	**1,20**
Max.	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60
Ocel (500 N/mm²)								
Min.	0,12	0,24	0,36	0,48	0,60	0,72	0,84	0,96
Opt.	**0,18**	**0,36**	**0,54**	**0,72**	**0,90**	**1,08**	**1,26**	**1,44**
Max.	0,24	0,48	0,72	0,96	1,20	1,44	1,68	1,92
Nerez								
Min.	0,12	0,24	0,36	0,48	0,60	0,72	0,84	0,96
Opt.	**0,18**	**0,36**	**0,54**	**0,72**	**0,90**	**1,08**	**1,26**	**1,44**
Max.	0,24	0,48	0,72	0,96	1,20	1,44	1,68	1,92

Výrazným faktorem ovlivňujícím průběh střihu, životnost nástroje, a konečnou kvalitu střižné plochy je správné vymezení střižné vůle *(viz. tab.3).* Jedná se o rozdíl rozměrů obou pracovních částí nástroje – střižníku a střižnice. Polovinou střižné vůle je střižná mezera. Při nestejném (nesouosém) rozložení vůle, dochází na obvodě střihu ke vzniku povrchových vad a ostřin. Při zpracování silných materiálů se špatně zvolenou střižnou vůlí dochází k silnému zatěžování střižné hrany střižníku a i k jejímu možnému odlamování. Důsledkem je výrazné nežádoucí snížení životnosti střižníku. Dalším nepříznivým průvodním jevem je způsobení ohybu stříhané součásti. [1], [2], [9]

Střižná vůle [mm] – je závislá zejména na tloušťce zpracovávaného plechu a jeho mezi pevnosti ve střihu.

Pro výpočet redukované střižné vůle se použije vztah:

$$v = 2 \cdot m = 2 \cdot c \cdot t \cdot 0{,}32 \cdot \sqrt{\tau_{ps}} \quad [mm] \qquad (8)$$

m – střižná mezera [mm]
c – součinitel závislý na druhu stříhání [-]

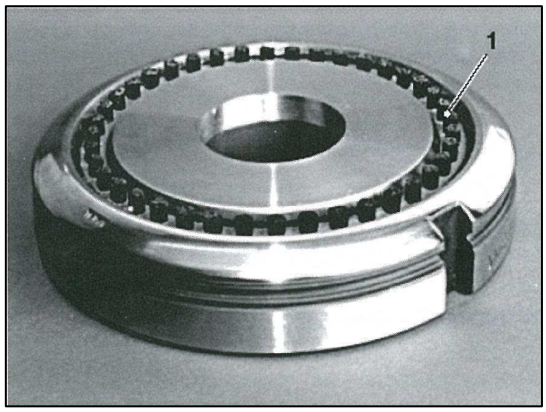
3.3.6. Rozvinutý tvar polotovaru a volba nástřihového plánu

Pro tvorbu nástřihových plánů *(viz. příloha 4)* je plně využíván CAM systém TOPs 300. Jednotlivé rozvinuté tvary jsou automaticky tvořeny v CAD systému Solid Edge. Rozvinutý tvar součástí je přenášen ve formátu DXF přímo do programu TOPS 300, kde dochází automaticky k osazování jednotlivých dílů na tabule plechu, jež máme k dispozici. Dochází tak k maximálnímu využívání materiálu, k úspoře času a tím i ke značným finančním úsporám. Vygenerovaný NC program je následně odesílán přímo do uložiště programů, odkud ho je kdykoliv možné načíst do paměti děrovacího lisu. Pro nastavení parametrů stroje slouží seřizovací list *(viz. příloha 5),* který udává zejména podrobné informace o použitých nástrojích a jejich provedení, polohu upínek, název a číslo nc programu, materiál, rozměr a hmotnost plechového polotovaru, a také potřebný strojní čas pro zpracování jedné tabule plechu.

3.3.7. Technologie stříhání na děrovacím lise

V současné době je neodmyslitelnou součástí střižných nástrojů pro děrovací lisy jejich povlakovaný povrch, který přispívá ke snížení opotřebení a k minimalizaci koeficientu tření. Nástroj má zvýšený odpor proti abrazivnímu opotřebení střižné hrany. Zároveň zlepšená odolnost proti otěru zabraňuje tomu, aby se částečky zpracovávaného materiálu za studena spojovaly s povrchem nástroje. Takto vzniklé adhezivní opotřebení významně ovlivňuje zvyšování potřebné síly při zpětném vytažení střižníku z materiálu a vede až k odlamování částeček z povrchu nástroje a k jeho rychlému opotřebení. Nejčastějšími povlaky jsou titan-nitridové (TiN) a titancarbonitridové (TiCN) povlaky. I při použití nástroje s povlakem, je však nutné střižník mazat např. minerálním olejem Castrol Emulgan D, který je ředitelný vodou a slouží k mazání při niblování, vysekávání a stříhání. Olej vytváří mezi nástrojem a tvářeným materiálem film, který výrazně snižuje střižné tření a zároveň i účinně ochlazuje střižný nástroj. [4]

Při výrobě dílů z povlakovaného plechu, je zejména důležité zachovat jeho ochrannou povlakovanou vrstvu bez škrábanců a vrypů, které by měly za následek vznik koroze. K poškození povrchu plechu může dojít z několika častých příčin, např. pohybem zpracovávaného materiálu po pracovním stole stroje, pojezdem po střižném nástroji, či při použití plechového stěrače dotykem s vrchní plochou materiálu. Povrch materiálu lze chránit několika vhodnými způsoby. Jedná se zejména o použití kartáčků, které zamezí kontaktu mezi spodní stranou plechu a částmi stroje. Nebezpečí hrozí zejména u střižnice, jelikož na jejích horních hranách vznikají mikrootřepy. Kartáčky mohou být osazeny přímo na střižnici *(obr. 3.9)*, nebo mohou být rozesety po pracovním stole lisu. Jednotlivé kartáčky o 1 mm přesahují pracovní plochu střižnice. Kartáčky mohou být nahrazeny stolem s kuličkami, které však mohou způsobit pohledově nepěkné čáry.



Obr. 3.9 Střižnice s kartáčky [4]

Dalším velmi jednoduchým způsobem je osazení předtvarované samolepící nálepky na střižnici či stěrač. Často používaným řešením je také použití střižnice zachytávající odpad. Cílem je zamezit vytahování odpadu při zpětném pohybu střižníku nad úroveň horní plochy střižnice. Principem je zachytávání materiálu pomocí drážek *(obr. 3.10).* [4]

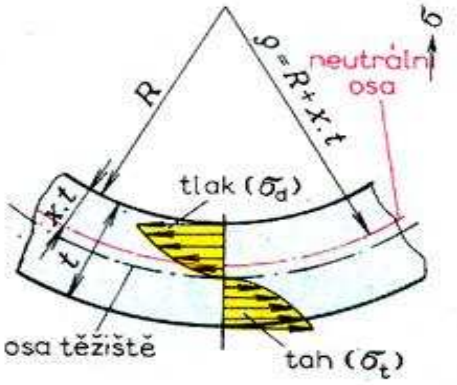
Obr. 3.10 Střižnice zachytávající odpad [4]

Velmi oblíbenou ochranou před poškrábáním je objednání tabulí plechů s nalepenou ochrannou folií. Celý plech je chráněn, a to i při běžné manipulaci. Nevýhodou je její nutnost odstranění po zpracování. Zároveň je ztížena likvidace kovového odpadu, ze kterého se folie jen velmi těžko odstraňuje. Často opomíjené je důkladné čištění pracovních ploch stroje, údržba nástrojů a včasné ostření střižných hran nástrojů, mající na kvalitu plochy zpracovaného materiálu zásadní vliv.

3.4. Ohýbání, ohraňování na CNC lise

3.4.1. Technologie ohýbání

Ohýbání plechu je proces tváření, při němž dochází k trvalému deformování materiálu s malým odpružením a s menším nebo větším zaoblením hran. Při ohybu dochází k překročení meze kluzu, dosáhneme oblasti plastické deformace. Plastická deformace je doprovázena deformací elastickou. Po průřezu je to pružně plastická deformace, která má různý průběh od povrchu materiálu k neutrální ose *(obr. 3.11)*. [1], [2], [9]



Obr. 3.11 Rozložení napětí v materiálu [9]

Do technologie ohýbání řadíme následující operace – ohýbání prosté, ohraňování, rovnání, zakružování, lemování, obrubování, osazování, drápkování a zkružování. Ohýbání prosté je tváření rovinné plochy v plochy různě orientované vytvářením ostrých nebo oblých hran. Ohýbat plech tak, aby vnitřní hrana ohybu byla ostrá, je možné jen za tepla. Přitom je však vnější plocha ohybu zaoblená. Při ohýbání za studena musíme dodržovat určitý nejmenší poloměr ohybu *r*, aby se materiál na vnější ploše ohybu netrhal. Plech při válcování získává vláknitou strukturu a má lepší vlastnosti ve směru válcování, než ve směru kolmém. Osa ohybu součástí by tudíž měla být pokud možno kolmá na směr válcování plechu. Jinak je nutno volit větší poloměry ohybu, aby tahová napětí na vnější straně ohýbaného plechu nepřekročila dovolené namáhání plechu pro ohyb podél vláken. [1], [2], [9]

3.4.2. Ohýbací síla [N]

Ohýbací síla se určí podle vzorce:

$$F_o = \frac{2 \cdot (1{,}3 + 0{,}8 \cdot \varepsilon) \cdot b \cdot t^2 \cdot R_e}{3 \cdot lz} \qquad [N] \qquad (9)$$

F_o – ohýbací síla [N]
b – délka ohybu [mm]
t – tloušťka materiálu [mm]
R_e – mez kluzu [MPa]
l_z – šířka žlábku [mm]

Vztah pro výpočet ε:

$$\varepsilon = \frac{t}{2R + t} \qquad [-] \qquad (10)$$

Ohýbací síla se zvětší třením polotovaru o funkční části ohýbadla až o 1/3 F_o

$$F_{omax} = 1{,}3 \cdot F_o \qquad [N] \qquad (11)$$

F_{omax} – ohýbací síla se započtením tření [N]

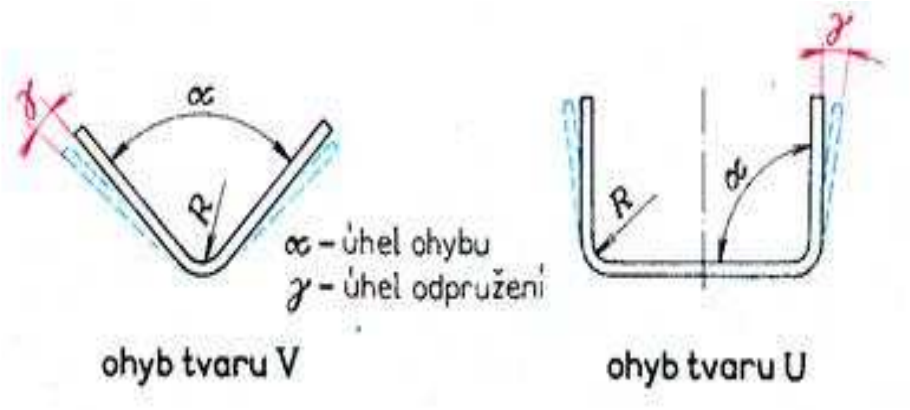
3.4.3. Ohýbací práce [J]

Pro výpočet ohýbací práce se použije vztah:

$$A_o = m \cdot F_{omax} \cdot h \qquad [J] \qquad (12)$$

A_o – ohýbací práce [J]
m – střižná mezera [mm]
h – pracovní dráha beranu [mm]

Při ohybu dochází k odpružení materiálu *(obr. 3.12)*, které závisí na poloměru ohybu, tloušťce materiálu, vlastnostech materiálu a způsobu ohýbání. Zpětné odpružení ohýbaných součástí je způsobeno vlivem pružné deformace materiálu kolem neutrální osy. Malé poloměry ohybu zajišťují menší odpružení, ale způsobují větší namáhání materiálu a vznik trhlinek. Při velkých poloměrech ohybu je odpružení větší, ale namáhání materiálu menší. S rostoucí tloušťkou materiálu odpružení klesá. [1], [2], [9]



Obr.3.12 Odpružení materiálu pro ohyb tvaru V a U [9]

3.4.4. Odpružení při ohybu

Ohýbací síla se určí podle vzorce:

$$tg\beta = 0{,}375 \cdot \frac{lz}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} \qquad \rightarrow \beta \quad [°] \qquad (13)$$

Součinitel k se vypočítá dle vztahu:

$$k = 1 - x \qquad [-] \qquad (14)$$

3.4.5. Rozvinutá délka polotovaru

Jelikož je při ohýbání materiál v ploše svého průřezu nestejně deformován, je nutné pro výpočet rozvinuté délky znát délku neutrálního vlákna. Ta se získává výpočtem.

Poloměr ohybu neutrální osy se vypočítá dle vztahu:

$$\rho = R + x \cdot t \quad [mm] \tag{15}$$

ρ – poloměr ohybu neutrální osy [mm]
R – vnitřní poloměr ohybu [mm]

Tab. 7 [9] *Hodnoty součinitele x*

R/t	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,2	1,5	2	3	4	Nad 5
x [-]	0,23	0,29	0,32	0,35	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47	0,50

Pro výpočet zkrácené délky oblouku se použije vzorec:

$$l_0 = \frac{\rho \cdot \pi \cdot \alpha}{180} \quad [mm] \tag{16}$$

l_0 – zkrácená délka oblouku [mm]
α – úhel ohybu [°]

4. TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY

4.1. Stříhání

4.1.1. Výpočet střižné síly

Pro výpočet jsem použil nejvyšší možnou hodnotu pro plech aluzink – 500 MPa a zároveň jsem zvolil i střižník s největší možnou střižnou plochou, jenž máme k dispozici, čímž získám hodnotu potřebnou pro návrh vhodného stroje. Tloušťku plechu volím jako maximální tloušťku zpracovávaného materiálu.

Pro výpočet střižného odporu jsem použil vzorec 2, uvedený v kap. 3.3.2.

τ_{ps} = 0,8 · Rm = 0,8 · 500 = <u>400 MPa</u>

Pro výpočet střižné plochy jsem použil vzorec 3, uvedený v kap. 3.3.2.

Střižná plocha (razník Ø71mm) $S_1 = l_1 \cdot t = \pi \cdot 71 \cdot 2{,}0 =$ <u>446 mm^2</u>

Střižná plocha (razník □49mm) $S_2 = l_2 \cdot t = 4 \cdot 49 \cdot 2{,}0 =$ <u>392 mm^2</u>

Střižná plocha (razník □5x76,2mm) $S_3 = l_3 \cdot t = 2 \cdot (5 + 76{,}2) \cdot 2{,}0 =$ <u>325 mm^2</u>

Pro výpočet střižné síly jsem použil vzorec 1, uvedený v kap. 3.3.2. a zvolil jsem koeficient otupení nástroje k = 1,3

Střižná síla $F_{S1} = k \cdot S_1 \cdot \tau_{ps} = 1{,}3 \cdot 446 \cdot 400 = 231920 =$ <u>232 kN</u>

Střižná síla $F_{S2} = k \cdot S_2 \cdot \tau_{ps} = 1{,}3 \cdot 392 \cdot 400 = 203840 =$ <u>204 kN</u>

Střižná síla $F_{S3} = k \cdot S_3 \cdot \tau_{ps} = 1{,}3 \cdot 325 \cdot 400 = 169000 =$ <u>169 kN</u>

Pro výpočet redukované střižné síly se započtením faktoru zkosení jsem použil vzorec 4, uvedený v kap. 3.3.2. Faktor zkosení jsem stanovil dle tab. 3 obsažené v kapitole 3.3.2. pro tloušťku plechu 2,0 mm na hodnotu x = 2,25.

$$F_{S1r} = \frac{F_{S1}}{x} = \frac{232}{2{,}25} = \underline{103kN}$$

$$F_{S2r} = \frac{F_{S2}}{x} = \frac{204}{2{,}25} = \underline{91kN}$$

$$F_{S3r} = \frac{F_{S3}}{x} = \frac{169}{2{,}25} = \underline{75kN}$$

4.1.2. Výpočet střižné práce

Pro výpočet střižné práce jsem použil vzorec 5, uvedený v kap. 3.3.3. Koeficient *kt* jsem určil dle *tab. 4*. obsažené v kapitole 3.3.3.

$$A = \frac{k_t \cdot F_s \cdot t}{1000} = \frac{0{,}50 \cdot 103000 \cdot 2{,}0}{1000} = \underline{103\ J}$$

4.1.3. Výpočet stírací a protlačovací síly

Pro výpočet sstírací síly jsem použil vzorec 6, uvedený v kap. 3.3.4. Koeficient stírání k_{eu} jsem určil dle *tab. 6*. obsažené v kapitole 3.3.4.

$$Fu = k_{eu} \cdot F_S = 0{,}13 \cdot 103 = \underline{13{,}39\ kN}$$

Pro výpočet sstírací síly jsem použil vzorec 7, uvedený v kap. 3.3.4. Koeficient protlačování k_{ev} jsem určil dle *tab. 6*. obsažené v kapitole 3.3.4.

$$Fv = k_{ev} \cdot F_S = 0{,}05 \cdot 103 = \underline{5{,}15\ kN}$$

4.1.4. Určení střižné vůle a střižné mezery

Pro výpočet střižné vůle jsem použil vzorec 8, uvedený v kap. 3.3.5. Výpočet jsem provedl pro plech aluzink DX51D+AZ, tloušťka 2,0 mm.

$$v = 2 \cdot m = 2 \cdot c \cdot t \cdot 0{,}32 \cdot \sqrt{\tau_{ps}} = 2 \cdot 0{,}015 \cdot 2{,}0 \cdot 0{,}32 \cdot \sqrt{400} = \underline{0{,}38\ mm}$$

4.2. Ohýbání

4.2.1. Výpočet ohýbací síly

Pro výpočet potřebné ohýbací síly jsem použil vztah 9, uvedený v kap. 3.4.2. a zvolil jsem maximální možnou délku ohybu 3100 mm a tloušťku plechu 2,0 mm

$$F_o = \frac{2 \cdot (1{,}3 + 0{,}8 \cdot \varepsilon) \cdot b \cdot t^2 \cdot R_e}{3 \cdot lz} = \frac{2 \cdot (1{,}3 + 0{,}8 \cdot 0{,}4) \cdot 3100 \cdot 3 \cdot 300}{3 \cdot 12{,}5} = 241056 = \underline{241{,}1\ kN}$$

Pro výpočet ε jsem použil vzorec 10, uvedený v kap. 3.4.2.

$$\varepsilon = \frac{t}{2R + t} = \frac{2{,}0}{5{,}0} = \underline{0{,}4}$$

Ohýbací síla se zvětší třením polotovaru o funkční části ohýbadla až o 1/3 F_o, výpočet jsem provedl dle vztahu 11, uvedeného v kap. 3.4.2.

$$F_{omax} = 1{,}3 \cdot F_o = \underline{313{,}4\ kN}$$

4.2.2. Výpočet ohýbací práce

Pro výpočet ε jsem použil vzorec 12, uvedený v kap. 3.4.3.

$A_o = m \cdot F_{omax} \cdot h = 0,33 \cdot 313,4 \cdot 6,25 = \underline{646,4\ J}$

4.2.3. Výpočet odpružení při ohybu

Výpočet odpružení při ohybu materiálu aluzink o zvolené tloušťce 2,0 mm, jsem provedl dle vzorce 13, uvedeného v kap. 3.4.4.

$$tg\beta = 0,375 \cdot \frac{lz}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} = 0,375 \cdot \frac{12,5}{0,6 \cdot 2,0} \cdot \frac{280}{2,1 \cdot 10^5} = 0,005208$$

$$\beta = \underline{0,30°}$$

Součinitel k jsem zvolil dle *tab. 7.* obsažené v kap. 3.4.5. a následně jsem ho dosadil do vztahu 14, uvedeného v kap. 3.4.3.

$k = 1 - x = 1 - 0,4 = \underline{0,6}$

4.2.4. Určení rozvinuté délky polotovaru

Pro výpočet poloměru ohybu neutrální osy jsem použil vzorec 15, uvedeného v kap. 3.4.5., hodnotu součinitele x jsem zvolil dle *tab. 7.* obsažené v kap. 3.4.5.

Aluzink t = 1,0 mm $\rho = R + x \cdot t = 1,5 + 0,44 \cdot 1,0 = \underline{1,94\ mm}$

Aluzink t = 1,5 mm $\rho = R + x \cdot t = 1,5 + 0,41 \cdot 1,5 = \underline{2,12\ mm}$

Aluzink t = 2,0 mm $\rho = R + x \cdot t = 1,5 + 0,40 \cdot 2,0 = \underline{2,30\ mm}$

Zkrácenou délku oblouku jsem vypočítal dle vzorce 16, uvedeného v kap. 3.4.5

Aluzink t = 1,0 mm $l_0 = \frac{\rho \cdot \pi \cdot \alpha}{180} = \frac{1,94 \cdot \pi \cdot 90}{180} = \underline{3,05\ mm}$

Aluzink t = 1,5 mm $l_0 = \frac{\rho \cdot \pi \cdot \alpha}{180} = \frac{2,12 \cdot \pi \cdot 90}{180} = \underline{3,33\ mm}$

Aluzink t = 2,0 mm $l_0 = \frac{\rho \cdot \pi \cdot \alpha}{180} = \frac{2,30 \cdot \pi \cdot 90}{180} = \underline{3,61\ mm}$

Rozvinutá délka polotovaru o síle plechu 1,5 mm, ve tvaru písmene „U“:

$l_p = 2 \cdot 3,33 + 2 \cdot l_{\text{ramene}} + l_{\text{prostředního ohybu}}$

Zmenšení rozměrů polotovaru o zkrácené délky oblouku generované systémem Solid Edge bylo ověřeno výpočtem a přesně odpovídá skutečnosti.

5. NÁVRH STROJNÍHO ZAŘÍZENÍ

5.1. Návrh děrovacího lisu

Pro zpracování aluzinkových polotovarů byl na základě výpočtu maximální možné střižné síly, jež je 103 kN, zvolen vysekávací lis Trumatic TC200 Rotation *(obr.5.1)* od firmy Trumpf, která je jedním z předních celosvětových výrobců strojů pro stříhání, děrování, vysekávání a tváření plechů. Výrobce čerpá z mnohaletých zkušeností s konstrukcí děrovacích a tvářecích strojů, přičemž neustále vyvíjí nové inovační technologie pro zkvalitnění a urychlení procesů vedoucích ke zpracování požadovaných polotovarů. Využití stroje není omezeno jen na vysekávání. Lze s ním také zhotovovat prolisy, větrací kapsy a lemy. Při použití speciálního nářadí je stroj schopen řezání závitů, popisování a také ohýbaní malých ohybů, využitelných například jako dveřní závěsy. Velikost zpracovávaného materiálu je omezena v ose Y na 1 280 mm a v ose X na 2 070 mm. V ose X lze však využít přesazení upínek pomocí lisovací hlavy. Tímto způsobem lze prakticky zpracovávat nekonečně dlouhý polotovar.

Technické údaje stroje Trumpf Trumatic 200 Rotation

Pracovní rozsah (X a Y)	**2070 x 1280**	**mm**
Max. lisovací síla	**165**	**kN**
Max. tloušťka zpracovávaného plechu	**6,4**	**mm**
Max. hmotnost zpracovávaného plechu	**150**	**kg**
Max. průměr prostřihování	**76,2**	**mm**
Max. rychlost polohování - osa X	**80**	**$m \cdot min^{-1}$**
Max. rychlost polohování - osa Y	**55**	**$m \cdot min^{-1}$**
Max. rychlost polohování – souběžně	**97**	**$m \cdot min^{-1}$**
Rozsah rotace – plné protočení	**360°**	**°**
Max. frekvence zdvihů	**500**	**$1 \cdot min^{-1}$**
Odchylka polohy	**± 0,1**	**mm**
Střední šířka rozptylu polohy	**± 0,03**	**mm**
Počet poloh nástrojů	**14 - 15**	**ks**
Doba výměny nástroje	**1,5 - 6,5**	**s**

Obr. 5.1 Vysekávací lis Trumpf TC200R

Základním pilířem celého stroje je robusní otevřený C rám, který umožňuje výborný přístup ke zpracovávanému materiálu. Zároveň je díky této konstrukci stroje neustále k dispozici přímá vizuální kontrola místa upínání nástroje *(obr. 5.1)*. Na horní části rámu je umístěna rotační elektrohydraulická lisovací hlava (obr. *5.3)*. Lineární zásobník nástrojů *(obr. 5.4)*, tvoří 17 osazovacích míst pro nástroje a pro upínky. Výměna jednotlivých nástrojů je jednoduchá, přesná a je realizována v několika sekundách. Plech je upnut pomocí tří hydraulických upínek, kterými je unášen po pracovním stole osazeném kuličkami proti poškrábání plechu. Pojezd je řešen pomocí elektromotorů. Díly velkých rozměrů jsou odebírány ručně, u malých dílů lze s výhodou využít dvou skluzů. Dochází tím k časové úspoře a zároveň i ke zvýšení bezpečnosti provozu, jelikož obsluha není nucena vstupovat do pracovního prostoru stroje. Prostor je zabezpečen pomocí světelné závory.

Obr. 5.2 Pracovní prostor stroje

Obr. 5.3 Rotační hlava

Obr. 5.4 Zásobník s nástroji

5.2. Návrh ohraňovacího lisu

Volba ohraňovacího lisu je ovlivněna potřebnou délkou pracovního stolu, a hodnotou vypočítané maximální ohýbací síly 313,4 kN. Vzhledem k délkám ohybů zpracovávaných dílů dosahujících 3 000 mm, byl jako optimální varianta vybrán hydraulický ohraňovací lis Ursviken OptiFlex 130 tun 3,1 *(obr. 5.5)*.

Firma Ursviken Technology se řadí se svými hydraulickými CNC ohraňovacími lisy k předním výrobcům v oboru. Stroje se vyznačují vysokou mírou spolehlivosti, životnosti a technického zpracování. Konstrukce stroje umožňuje uživateli mnoho variant vybavení, které lze přesně ušít na míru technologickým potřebám. Souhrn společně pracujících mechanicky pokročilých řešení, měření ohybu, úhlu a řízení, zajišťuje vysokou úhlovou přesnost. OptiFlex se stal nejflexibilnějším strojem na trhu díky kombinaci velkého nástrojového prostoru a velkému zdvihu beranu, které usnadňují výběr nejefektivnější metody výroby.

Technické údaje stroje Ursviken OptiFlex 130tun 3,1

Max. lisovací síla	**1300**	**kN**
Max. délka ohybu	**3 100**	**mm**
Průchod mezi stojany	**3 100**	**mm**
Výška zdvihu	**400**	**mm**
Max. vzdálenost mezi lisovacím beranem a stolem	**550**	**mm**
Výška stolu	**900**	**mm**
Šířka stolu	**100**	**mm**
Rychlost volného sjíždění beranu	**170**	**$mm \cdot s^{-1}$**
Rychlost pracovního pohybu	**15**	**$mm \cdot s^{-1}$**
Nejmenší rychlost pro přesné nastavení beranu	**1**	**$mm \cdot s^{-1}$**
Rychlost zpětného chodu	**150**	**$mm \cdot s^{-1}$**
Obsah hydraulického agregátu	**200**	**l**
Instalovaný příkon	**11**	**kW**
Rozměry D x Š x V	**4310 x 2320 x 3530**	**mm**
Hmotnost stroje	**14 500**	**kg**

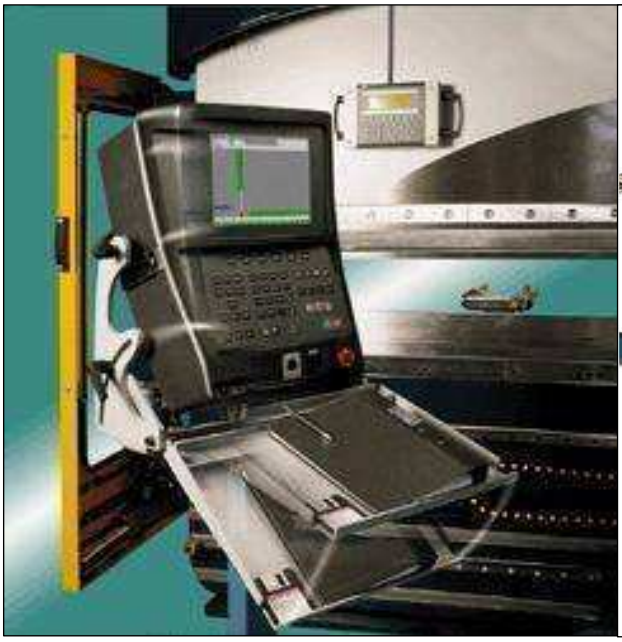
Obr. 5.5 Ohraňovací lis Ursviken

Beran stroje je výkyvně upevněn na pístnicích hydraulických válců tak, aby nedocházelo k opotřebení vedení ve válcích. Prodloužený stůl stroje umožňuje využití úplné délky pojezdu dorazu, i když je ohýbán plech s délkou stejnou jako je maximální šířka stroje. Nástroje jsou upínány do drážek pomocí hydrauliky *(obr. 5.6)*, což výrazně urychluje výměnu nástrojů. Stroj je opatřen CNC bombírovacím zařízením, vymezující prohnutí beranu. Tím je plně korigována deformace beranu a požadovaný ohýbaný úhel je stálý v celé délce ohybu. Systém bombírování je integrován ve spodním stole. Stroj je dále vybaven dvěma šestiosými CNC dorazy *(obr. 5.7)* a laserovou zábranou zaručující bezpečný provoz. Řídící systém stroje je typu CYBELEC DNC 1200 2D *(obr. 5.8)*. Programování stroje je prováděno obsluhou přímo na pracovišti.

Obr. 5.6 Hydraulické upínání nástrojů

Obr. 5.7 CNC šestiosé dorazy

Pro ohýbání rozměrných polotovarů o velkých hmotnostech, je možno stroj operativně osadit předními klopnými podpěrami. Automaticky programovatelná konzole *(obr. 5.9)*. zajišťuje přesné pozicování plechu a podpírá plech během ohýbání.



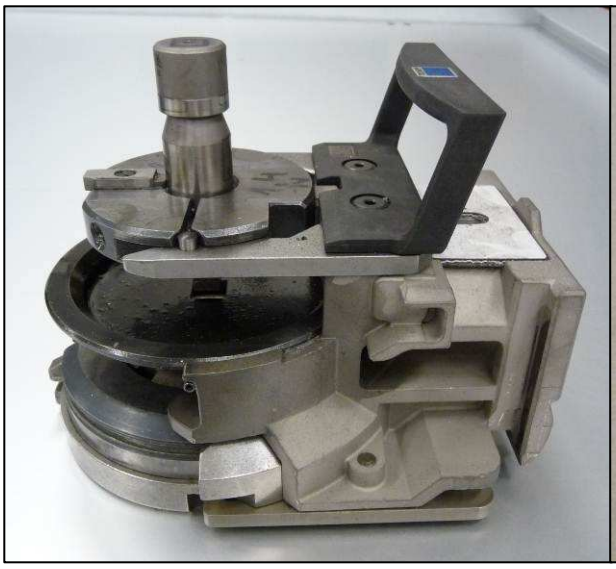
Obr. 5.8 Řídící panel [15]

Obr. 5.9 Opěrné konzole [15]

6. NÁSTROJE A PŘÍSLUŠENSTVÍ

6.1. Nástroje pro vysekávání

Na volbu střižných nástrojů mají vliv zejména konstrukční parametry jednotlivých součástí, druh zpracovávaného materiálu a jeho vlastnosti, střižná síla a parametry stroje. Již při návrhu konstrukční dokumentace, je vhodné uvažovat o možnosti maximálního využití střižných nástrojů, jež máme k dispozici. Příkladem může být zpracování otvoru o velkém průměru, u kterého není požadována velká přesnost a jakost tvářených ploch. Zde s výhodou můžeme použít nástroj o malém průměru a otvor vyrobit postupným vystřihováním (niblováním). Nástroje jsou osazeny do nástrojových kazet (*obr. 6.1),* které mohou být kovové či plastové. Plastové kazety mají oproti kovovým nízkou hmotnost, jsou však náchylnější k poškození a opotřebování. Důležitým krokem při přípravě střižníku před upnutím do nástrojové kazety, je přesné vymezení jeho polohy v ustavovacím kroužku pomocí ustavovacího přípravku *(obr. 6.2).* Důsledkem nepřesného vymezení by byl kontakt střižné hrany střižníku se střižnou hranou střižnice. Výsledkem by bylo velmi rychlé otupení nástroji či případně jeho úplné zničení.



Obr. 6.1 Nástrojová kazeta se střižným nástrojem

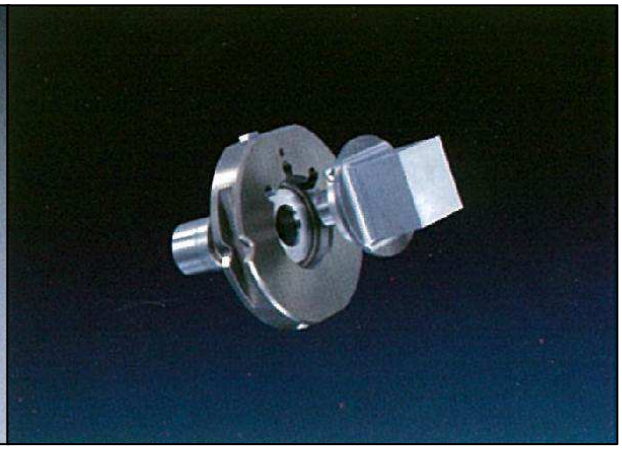
Obr. 6.2 Ustavovací přípravek

Střižné nástroje jsou vyráběny v různých provedeních, lišících se dle použitého systému upínání nástrojů, které mají patentovány jednotliví výrobci vysekávacích lisů. K výrobě dílů trafostanice byl vybrán vysekávací lis s nástrojovým systém TRUMPF.

S výhodou může být využit systém Multitool *(obr. 6.3)* skládající se z nástrojového držáku, který je možno osadit až deseti vložkami. Tím se značně zvýší produktivita stroje, jelikož odpadá výměna nástrojů v rotační upínací hlavě stroje. Výhodné je použití systému Multitool zejména při zpracovávání velkého počtu malých rozměrově různých otvorů, a při velkých výrobních sériích. Nevýhodou je nutnost zakoupení speciálního přídavného systému k rotační hlavě stroje.

Dalším speciálním systémem je systém MultiUse *(obr. 6.4),* u kterého je vložka střižníku zasunuta v držáku s integrovaným nastavovacím kroužkem. Upnutí střižníku je realizováno pomocí jednoho šroubu. U tohoto systému je jasně určena úhlová aretace, čímž se značně předchází chybám při sestavování nástrojů.

Obr. 6.3 Nástrojový sytém Multitool [4]



Obr. 6.4 Nástrojový systém MultiUse [4]

Standardní sestava střižného nástroje je sestavena ze střižnice, stěrače, střižníku a ustavovacího kroužku. Nástroje mohou být různorodého tvaru.

Střižnice *(obr 6.5)* jsou vyráběny ve dvou rozměrových provedeních I a II. Při použití velikosti I, je třeba střižnici osadit pomocí redukčního mezikroužku *(obr 6.6)*. Velikost II, se osazuje přímo do držáku nástrojové kazety. Pro vymezení vůle ve svislé ose, jež nám vzniká postupným obrušováním střižnice, je nutné použití vymezovacích podložek *(obr.6.7)*. U nejčastěji používaného dělícího nástroje (obdélník 5x75 mm) lze s výhodou využít výměnných nožů střižnice (obr. 6.8).

Obr. 6.5 Střižnice

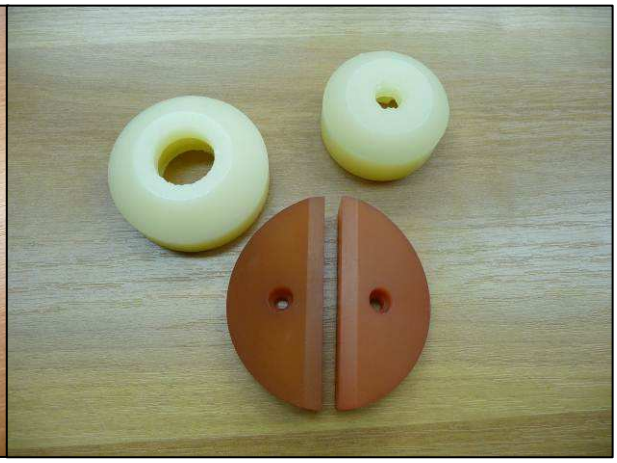
Obr. 6.6 Redukční mezikroužek

Obr. 6.7 Vymezovací podložky

Obr. 6.8 Výměnné nože střižnice

Stěrače slouží jako pojistka proti nadzdvihnutí zpracovávaného plechu vlivem třecí síly, jež působí mezi nástrojem a obrobenou plochou materiálu při návratu střižníku do horní pracovní úvratě. Jsou standardně v kovovém provedení *(obr. 6.9)*. Pro tvářecí nástroje či nerovné plechy lze s výhodou využít stěračů polyamidových *(obr. 6.10)*. Nehrozí tak kolize např. s již vyrobenými prolisy či závitovými krčky. Použitím polyamidového stěrače zároveň chráníme i zpracovávaný materiál před poškrábáním. Nevýhodou stěračů z pryže je však nemožnost využití nástroje osazeného tímto stěračem k přesazení upínek.

Obr. 6.9 Kovový stěrač



Obr. 6.10 Pryžový stěrač

Střižníky jsou ve třech provedeních, lišících se velikostí. Velikost I značí střižník jehlový *(obr. 6.11)*, upínaný do speciálního jehlového pouzdra *(obr. 6.12)*. Výhodou je mnohem levnější střižník, než v klasickém provedení o velikostech II a III *(obr. 6.13)*. Jehlové provedení je využíváno běžně u kulatých střižníků do Ø 10,5 mm, u střižníků ve tvaru čtverce do 7,4 mm. Střižníky mohou být různých tvarů vyrobených na přání zákazníka. U dělících nástrojů je voleno standardně provedení střižníku s výměnným nožem. Střižníky větších rozměrů jsou téměř vždy šikmo broušeny.

Obr. 6.11 Střižníky velikost I

Obr. 6.12 Jehlové pouzdro

Ustavovací kroužek *(obr. 6.14)* slouží k přesnému vymezení polohy střižníku vůči střižnici.

Obr. 6.13 Střižníky velikost II a III

Obr. 6.14 Ustavovací kroužky

Na vysekávacích lisech lze nejen vystřihovat otvory, ale i tvářet. K tomu nám slouží speciální tvářecí nástroje, které mohou být různých funkcí a tvarů. Velmi často využívaným je důlčíkovací nástroj *(obr. 6.15),* s jehož pomocí se zhotovují v plechu důlčíky, které slouží jako vymezovací bod pro navařovací šrouby. Znamená to značnou časovou úsporu, jelikož odpadá zdlouhavé a nepřesné rozměřování značek pro důlčíky pomocí délkových měřidel. Téměř nepostradatelným tvářecím nástrojem při výrobě trafostanic je nástroj pro zhotovení ventilačních kapes *(obr. 6.16).*

Obr. 6.15 Důlčíkovací nástoj

Obr. 6.16 Nástroj na ventilační kapsy

Vybrané tvářecí nástroje TRUMPF:

Nástroj na prosazení
Zahlubovací nástroj
Nástroj pro šrouby do plechu
Lemovací nástroj
Nástroj na můstky
Závitovací nástroj
Značící nástroj
Nástroj na jazýčky
Nástroj na miskové prolisy
Nástroj na panty
Nástroj na hrbolky pro svařování
Drážkovací nástroj
Válečkové nástroje
Popisovací nástroj

6.2. Nástroje pro ohraňování

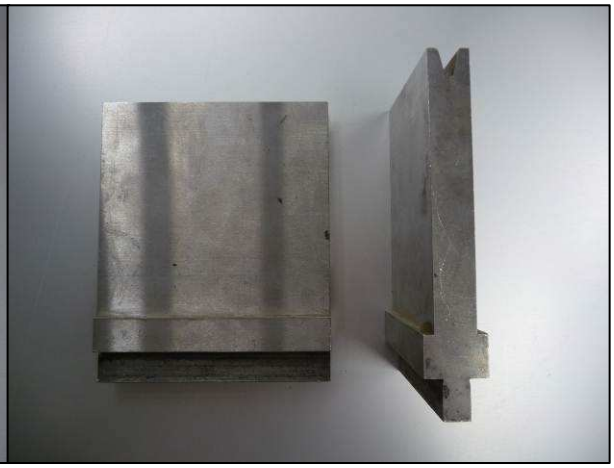
Nástroj pro ohraňovací lis je tvořen dolní matricí *(obr. 6.17 a obr. 6.18)* a horní matricí, které jsou dělené. Pořizování nových nástrojů je nákladné, proto je třeba dobře zvážit využitelnost nově pořizovaného nástroje a návratnost této investice. Nástroje se dělí na několik různě dlouhých segmentů tak, aby bylo možno sestavit různé výsledné délky, což je nezbytné pro ohýbání dílů např. ve tvaru krabice.

Segmenty dolního nástroje *(rozměry viz příloha 6)* se nejčastěji dělí na délky:
100 mm, 110 mm, 120 mm, 130 mm, 140 mm, 200mm, 300mm, 500 mm, 1000 mm

Segmenty horního nástroje *(rozměry viz příloha 7)* se nejčastěji dělí na délky:
20 mm, 30 mm, 50 mm, 60 mm, 80 mm, 100 mm, 110 mm, 120 mm, 130 mm, 140 mm, 160 mm, 200 mm, 300 mm, 500 mm, 1000 mm

Horní nástroj může být vyhnutý *(obr. 6.19)* a nebo přímý *(obr. 6.20)*. Vyhnutý nástroj je používán zejména na ohyby tvaru „U“.

Obr. 6.17 Dolní nástroj 52378



Obr. 6.18 Dolní nástroj 56548

Obr. 6.19 Horní nástroj OV 31-49252

Obr. 6.20 Horní nástroj OV 31/33-52339

7. TECHNICKO - EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Na základě poptávky od zákazníka na výrobu trafostanic k fotovoltaickým elektrárnám, byl vypracován konstrukční návrh trafostanic, který splňuje všechny kladené požadavky. Jedná se zejména o dostatečné odvětrání vnitřních elektrotechnologií, bezpečnost provozu, ekologičnost, co nejjednodušší manipulaci a co nejsnazší obslužnost. Oproti běžně vyráběným trafostanicím z betonu, byl zvolen základním materiálem pro výrobu trafostanice povlakovaný plech aluzink, s jehož zpracováváním má firma mnohaleté zkušenosti. Použitím tohoto materiálu se docílilo výrazně nižší hmotnosti, než v případě standardní trafostanice vyrobené z betonu s ocelovou výztuží. Dalším významným přínosem aluzinkové trafostanice je její rozměrová variabilita. Sestavení skeletu z plechu je mnohem méně prostorově náročné *(obr. 7.1)*, v porovnání s výrobou betonového odlitku *(obr. 7.2)*. Formy pro odlévání betonových skeletů jsou stabilně umístěny ve výrobní hale betonárny. Výrazně se tím snižuje variabilita využití celé haly. Odlévání skeletu probíhá v otočené poloze, dnem vzhůru, což se nazývá zvonové lití. Nutností je proto jeřáb s vysokou nosností, pomocí kterého je realizováno otočení skeletu po odlévání. Nevýhodná je také vibrace formy pomocí vibrátorů, přenášející chvění do podlahy haly. Od této technologie se s postupem času ustupuje, a čím dál více se využívá technologie samovibračního betonu.

Obr. 7.1 Sestavování základu aluzinkové trafostanice

Obr. 7.2 Výroba betonových skeletů

Jako problematická se u spojování jednotlivých aluzinkových polotovarů projevila pracnost výroby žaluzií *(obr. 7.3).* Jednotlivé žaluziové lamely musí být zasunuty do výseků v rámečku, a postupně přibodovány. Výrazné časové úspory se podařilo dosáhnout použitím svařovacího robota *(obr. 7.4).* Nevýhodou robota je jeho časově náročné přenastavení na jiný výrobek. Z tohoto důvodu je jeho využití omezeno jen na výrobky ve větších sériích.

Obr. 7.3 Žaluzie

Obr. 7.4 Svařovací robot

Neméně významnou časovou úsporu a zkvalitnění pájených spojů, přineslo použití svářecího poloautomatu na dlouhé spoje *(obr. 7.5 a obr. 7.6).* Nutností je však zamezení proudění vzduchu ve výrobní hale, neboť docházelo k „odfuku“ přídavného plynu od hubice hořáku, čímž došlo ke vzniku pórů na spoji. Odsávání zplodin hoření je realizováno pomocí odsávání, které je umístěné přímo v hubici hořáku.

Obr. 7.5 Svařovací poloautomat

Obr. 7.6 Svařování ocelové vany poloautomatem

Příprava aluzinkových polotovarů pomocí technologie stříhání na vysekávacím lise a technologií ohýbání na ohraňovacím lise probíhalo bez problémů. Podařilo se veškeré dílce konstrukčně a technologicky navrhnout tak, aby se plně využily stávající nástroje a nemuselo dojít k pořizování nových. K tomu výrazně přispěl 3D CAD systém Solid Edge, CAM systém TOPS 300 a v neposlední řadě také zkušenost konstruktérského týmu.

Vzhledem k výraznému nárůstu ve výstavbě solárních elektráren a prudkému několikanásobnému vzestupu poptávky po trafostanicích, bylo nutno ve velmi krátkém časovém úseku přejít z jednosměnného provozu, na třísměnný nepřetržitý provoz.

Vznikl tak počáteční nedostatek kvalifikovaných pracovníků, což se podařilo vyřešit využitím a zapůjčením zaměstnanců z mateřské firmy. Nábor nových dílenských pracovníků se projevil jako neefektivní, jelikož zhotovení trafostanice je náročnou činností, s požadavkem na samostatnou práci každého dělníka.

Jako velmi závažný problém se projevila oblast zásobování materiálem. Pozdní dodávky materiálu od dodavatelů ztížily celkové plánování výroby a dodržování termínů. Zároveň se projevila omezená funkčnost stávajícího informačního systému, ve kterém nebyla možnost přehledného a intuitivního řízení materiálových toků a neobsahoval modul řízení výroby. Z tohoto důvodu byl pořízen nový informační systém Helios green, jenž přinesl výrazné zkvalitnění přehledu nad pořizováním nového materiálu. Zároveň se projevil jako neocenitelný pomocník při plánování výroby.

Helios kromě standardního jádra, jehož součástí je např. také CRM, workflow či Business Intelligence, obsahuje i specializované moduly tvořící tzv. oborová řešení *(obr. 7.7)*. Stačí si tak zvolit některou z připravených oborových verzí bez nutnosti vývoje nákladného softwaru na zakázku. Komplexní informační systém Helios pomohl zorientovat se ve světě firemních informací. Systém je maximálně přizpůsobivý všem potřebám firmy, nejen při plánování výroby.

Obr. 7.7 Systém modulů Helios [18]

Výrobní modul systému je blíže ekonomice a skladu. Díky univerzálnosti je systém jednodušeji a rychleji instalovatelný. Výrobní moduly významně podporují komplexní řízení všech typů výroby. Na technickou přípravu výroby navazuje produktivní řízení a plánování efektivní výrobní činnosti. Systém je plně přizpůsobený potřebám a požadavkům strojírenské výroby po stránce zabezpečení veškerých probíhajících procesů.

Procesy a možnosti využití modulu výroba:

- Technická příprava výroby
- Propojení se systémy CAD
- Tvorba a archivace kalkulací
- Nářadí ve výrobě
- Podpora nabídkové činnosti
- Varianty a alternativy
- Optimalizace zásob
- Kontrola disponibility materiálu pro výrobu
- Grafické plánování výrobních zdrojů
- Plánování a řízení výroby
- Podpora změn a odchylek TPV
- Evidence mzdových listů
- Evidence operací a vyrobených celků
- Evidence zmetků
- Sledovatelnost ve výrobě
- Podpora řízení jakosti
- Optimalizace kapacitních zdrojů
- MRP plánování zdrojů
- Kooperace
- Sběr dat pomocí čteček EAN
- Účtování nedokončené výroby
- Evidence plánovaných a skutečných nákladů
- Sledování výrobních nákladů v reálných cenách
- Vyhodnocování zakázek

Pomocí nového systému dochází po realizaci k přesnému finančnímu rozboru a vyhodnocení zisku či ztráty. Zároveň se velmi zjednodušila tvorba nabídkových cen jednotlivých výrobků s využitím skladových položek a časových norem zanesených v systému.

Cenová kalkulace:

	Trafostanice z aluzinkového plechu:	**Trafostanice betonová:**
Materiál	323 329,- Kč	458 723,- Kč
Práce	105 100,- Kč	187 452,- Kč
Režie	165 505,- Kč	182 000,- Kč
Doprava, osazení	42 000,- Kč	98 500,- Kč
Celkem	635 934,- Kč	926 675,- Kč

Zhodnocení výroby trafostanic:

Trafostanice z aluzinkového plechu vyniká svou nízkou hmotností, což vede k výrazným úsporám při dopravě a manipulaci. Výroba je variabilní, vhodná pro zakázkovou výrobu, zákazníkovi přímo „na míru“.

Trafostanice z betonu má vysokou hmotnost, vysoké nároky na výrobní prostředky a prostory, nutnost pořízení odlévací formy. Výroba musí být vzhledem k pořizovací ceně formy sériová. Trafostanice není tolik variabilní.

Cenově vychází mnohem výhodněji trafostanice z aluzinkového plechu.

8. ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce „Výroba trafostanice z aluzinkového plechu“ je zvolit a popsat nejvhodnější procesy výroby trafostanice určené k použití ve fotovoltaické elektrárně. Součástí studie je návrh vhodného materiálu na základě požadavků zákazníka, při současném splnění veškerých norem a předpisů pro bezpečný a bezporuchový provoz daného elektrozařízení.

Úvodní část studie je zaměřena na charakteristiku vyráběné trafostanice včetně požadavků ovlivňujících její konstrukci. Následuje popis vlastností použitých materiálů k výrobě trafostanice. Na základě tvaru jednotlivých dílů a vzhledem k použití materiálu aluzink, byly zvoleny pro výrobu polotovarů podsestav technologie stříhání a ohraňování. Tyto technologie jsou podrobněji popsány, zejména s ohledem na zachování korozní odolnosti použitých materiálů. Pro spojení dílců ve finální celek byla navržena technologie tvrdého pájení pomocí drátu CuSi3.

V další části jsou zpracovány technologické výpočty potřebné pro návrh vhodných strojů a nástrojů. Na základě vypočítané střižné síly byl navržen vysekávací stroj Trumf trumatic TC 200R. Pro ohnutí vysekaných polotovarů do konečného tvaru je navržen na základě výpočtu ohýbací síly ohraňovací lis Ursviken OptiFlex 130tun 3,1 včetně lisovacích nástrojů.

Závěrečná část je věnovaná technicko-ekonomickému zhodnocení výroby trafostanice z aluzinkového plechu, v porovnání s výrobou betonové trafostanice. Vyhodnocena je finanční náročnost nejen výroby, ale i manipulace a dopravy k zákazníkovi.

Na základě technicko-ekonomického zhodnocení jsem zjistil a zavedl tato opatření:

- Ve firmě byl zaveden informační systém Helios Green, což vedlo ke snížení stavu zásob materiálu na skladě
- Na základě dat získaných z IS Helios bylo zavedeno podrobné plánování fází výroby pomocí MRP
- Byly přehodnoceny časové normy práce na jednotlivých výrobcích
- Pro urychlení výroby standardních podsestav (žaluzií do dveří) byl pořízen svařovací robot
- Pro zkvalitnění svarů na základové vaně byl zakoupen svařovací poloautomat
- Vzhledem k vhodné konstrukci polotovarů nebylo nutno pořizovat nové nástroje
- Konstrukce polotovarů je co nejvíce uzpůsobena na standartní rozměry tabulí plechů používaných ve firmě
- S ohledem na získání dalších zakázek byla aktualizována internetová prezentace firmy a vypracován nový katalog aktuálních výrobků

Seznam použitých zdrojů

1. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 226 s. ISBN 80-214-2374-9.

2. DVOŘÁK, Milan, et al. *Technologie II*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, Červenec 2004. 238 s. ISBN 80-214-2683-7.

3. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. 1. vyd. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1980. 216 s.

4. TRUMPF. *Děrovací nástroje.* Firemní materiál,

5. MACHEK, Václav, Ladislav VESELÝ, Milan VESELÝ a Jaroslav VIŠŇÁK. *Zpracování tenkých plechů*. 1. vyd. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1982. 272 s.

6. BETTRA [online]. 2007. [cit. 2011-05-12]. Dostupný z WWW: <http://www.bettra.cz/>.

7. DRASTÍK, František, et al. *Strojnické tabulky pro konstrukci i dílnu*. 2. dopl. vyd. Ostrava: Montanex, 1999. 722 s. ISBN 80-85780-95-X.

8. BAREŠ, Karel, et al. *Lisování*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1971. 544 s.

9. LENFELD, Petr. *Technologie II : tváření kovů* [online]. [2006] [cit. 2008-11-26]. Dostupný z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka.htm>.

10. SSAB TUNNPLAT. *Aluzink.* Firemní materiál, 12 s.

11. ALFUN [online]. 2011. [cit. 2011-05-10]. Dostupný z WWW: <http://www.alfun.cz/>

12. ROUBÍČEK, Martin. *Příspěvek do problematiky spojování pozinkovaných plechů.* Firemní materiál, 7 s.

13. PAVLINEK [online]. [cit. 2011-05-10]. Dostupný z WWW: <http://www.pavlinek.cz/>

14. ČSN EN: Technické normy ČSN. ÚNM, Praha

15. INTECH [online]. 2007. [cit. 2009-04-19]. Dostupný z WWW: <http://www.intech.cz/>.

16. SP-TECH [online]. 2004. [cit. 2009-04-15]. Dostupný z WWW: <http://www.sp-tech.cz/>.

17. KOPOS [online]. 2011 [cit. 2011-05-15]. Dostupný z WWW: <http://www.kopos.cz/>.

18. INFONOVA [online]. 2011 [cit. 2011-05-15]. Dostupný z WWW: <http://www.infonova.cz/>.

Seznam použitých symbolů a zkratek

A	[J]	střižná práce
A_o	[J]	ohýbací práce
A%	[%]	tažnost
E	[MPa]	modul pružnosti v tahu
F_s	[N]	střižná síla
F_o	[N]	ohýbací síla
F_u	[N]	stírací síla
F_v	[N]	protlačovací síla
R	[mm]	vnitřní poloměr ohybu
R_e	[mm]	mez kluzu
R_m	[MPa]	mez pevnosti v tahu
$R_p0,2$	[MPa]	zaručená mez kluzu
S	[mm^2]	plocha střihu
b	[mm]	délka ohybu
c	[-]	součinitel závislý na druhu stříhání
h	[mm]	pracovní dráha beranu
k	[-]	součinitel otupení nástroje
k_{eu}	[-]	součinitel stírání
k_{ev}	[-]	součinitel protlačení
k_t	[mm]	součinitel hloubky vtlačení střižníku
l	[mm]	délka střihu
l_o	[mm]	zkrácená délka oblouku
l_p	[mm]	rozvinutá délka polotovaru
l_z	[mm]	šířka žlábku
m	[mm]	střižná mezera
t	[mm]	tloušťka materiálu
v	[mm]	střižná vůle
x	[-]	součinitel posunutí neutrální osy
τ_{ps}	[$N \cdot mm^{-2}$]	střižný odpor
ρ	[mm]	poloměr ohybu neutrální osy
η	[%]	plocha všech součástí – celkové využití tabule

Seznam příloh

Příloha 1 Výkres osazení trafostanice do terénu
Příloha 2 Výkres trafostanice
Příloha 3 Stupně ochrany
Příloha 4 Nástřihový plán v programu TOPs 300
Příloha 5 Seřizovací list pro CNC děrovací lis
Příloha 6 Katalogový list dolních ohraňovacích nástrojů ursviken
Příloha 7 Katalogový list ohraňovacích nástrojů ursviken