



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH EFEKTIVNĚJŠÍ TECHNOLOGIE VÝROBY DVEŘÍ PRO ROZVÁDĚČ UNIGEAR

STUDY OF MORE EFFICIENT MANUFACTURING TECHNOLOGY FOR UNIGEAR DOORS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ivo Drobilič

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Ivo Drobilič**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.**
Akademický rok: 2017/18

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:

Návrh efektivnější technologie výroby dveří pro rozváděč UniGear

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se bude zabývat rozborem vhodných technologií výroby dveří pro rozváděč UniGear pro firmu ABB s.r.o. Cílem práce bude navrhnout technologicky a ekonomicky efektivnější způsob výroby dveří pro rozváděč UniGear. Při zachování pevnostních podmínek bude možná změna konstrukčního řešení. Práce bude ukončena technicko-ekonomickým zhodnocením, jehož součástí bude porovnání stávající a inovované technologie výroby.

Cíle diplomové práce:

1. Teoretický rozbor problému
2. Rozbor stávající technologie výroby
3. Návrh inovované technologie výroby
4. Technicko – ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2009. 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

FOREJT, M. a PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

Příručka obrábění-kniha pro praktiky. Přel. KUDELA, M. AB Sandvik Coromant. Praha: Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.

BOLJANOVIC, V. Sheet metal forming processes and die design. New York: Industrial Press, 2004. 219 pp. ISBN 0831131829.

ZEMČÍK, O. Technologická příprava výroby. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002. 158 s. ISBN 80-214-2219-X.

AMBROŽ O., KANDUS B. a KUBÍČEK J. Technologie svařování a zařízení. Ostrava: Zeross, 2001. 395 s. ISBN 80-85771-81-0.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18.

V Brně, dne 27. 10. 2017





prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá rozbohem vhodných technologií pro výrobu dveří rozváděče UniGear s návrhem efektivnější technologie výroby. Vlastní práce je rozdělena do čtyř hlavních kapitol, v nichž jsou v první části popsány dveře jednotlivých prostorů rozváděče, návrhy materiálů dveří, technologie pro docílení požadovaného tvaru základního plechu, možnosti tváření plechu a další technologie nevycházející z plechového polotovaru. Druhá část práce se zabývá studii současného stavu výroby dveří ve firmě ABB s.r.o. s popisem celé výroby od zpracování plechu až po povrchovou úpravu výrobku. Práce dále obsahuje návrh inovovaných technologií výroby s výběrem a hodnocením finální varianty. Součástí práce je také technicko – ekonomické srovnání současného stavu výroby dveří UniGear s navrženým inovovaným řešením.

Klíčová slova

Dveře, rozváděč, UniGear, ABB, technologie, koroze, Magnelis®, epoxid.

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the analysis of suitable technologies to produce the switchgear door of product UniGear with a design of more efficient production technology. Thesis is divided into four main chapters, in which the first part describes the doors of individual switchgear compartments, design of door materials, technology for achieving desired shape of a base plate, possibilities of sheet metal forming and other technologies not linked with sheet metal processing. The second part of the thesis deals with study of the whole current production process of doors in ABB s.r.o. from sheet metal processing till powder coating. The thesis also contains proposal of innovated production technologies with a selection and evaluation of the final variant with technical and economic evaluation of current and proposed solutions.

Key words

Door, switchgear, UniGear, ABB, technology, corrosion, Magnelis®, epoxid.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DROBILIČ, I. *Návrh efektivnější technologie výroby dveří pro rozváděč UniGear*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 79 s., 16 příloh. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma *Návrh efektivnější technologie výroby dveří pro rozváděč UniGear* vypracoval samostatně, pod vedením odborného konzultanta pana Ing. Josefa Černohouse a vedoucího práce pana doc. Ing. Josefa Sedláka, Ph.D., s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce. Prohlašuji také, že jsem v práci uvedl pouze veřejně dostupné, schválené informace a fotografie.

Datum

Bc. Ivo Drobilič

PODĚKOVÁNÍ

Velké poděkování bych rád věnoval panu Ing. Josefu Černohousevi, projektovému manažerovi vývoje vzduchem izolovaných rozváděčů ve firmě ABB s.r.o., za celkové vedení, odborné konzultace, vstřícnost a informace, které mi poskytl během zpracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval ostatním pracovníkům firmy ABB s.r.o., kteří se jakkoli podíleli na výrobě prototypů. V poslední řadě chci poděkovat panu doc. Ing. Josefu Sedlákovi, Ph.D., za vědecký dohled, konstruktivní připomínky a rady při zpracování teoretické části práce.

OBSAH

ABSTRAKT	3
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ.....	7
OBSAH.....	9
ÚVOD	11
1 TEORETICKÝ ROZBOR PROBLÉMU	13
1.1 Dveře pro rozváděč UniGear.....	13
1.2 Návrhy základních materiálů	16
1.2.1 Černý plech	17
1.2.2 Pozinkované plechy	17
1.2.3 Aluzinek.....	18
1.2.4 Pokovené plechy Galfan®	19
1.2.5 Magnelis®	20
1.2.6 Korozivzdorné oceli	21
1.2.7 Slitiny hliníku.....	23
1.2.8 Srovnání materiálů	23
1.3 Příprava rozvinutého tvaru.....	24
1.3.1 Technologie řezání laserem	25
1.3.2 CNC vysekávací lis.....	28
1.3.3 Technologie řezání vodním paprskem.....	30
1.3.4 Technologie řezání plazmou	31
1.4 Tváření základního plechu.....	32
1.4.1 Ohraňovací lis.....	32
1.4.2 Tváření kapalinou Hydroform	34
1.4.3 Tváření kapalinou Wheelon	34
1.4.4 Tváření výbuchem	35
1.4.5 Elektrohydraulické tváření	36
1.4.6 Elektromagnetické tváření	37
1.5 Lití pod tlakem	38
1.5.1 Stroje s teplou tlakovou komorou	38
1.5.2 Stroje se studenou tlakovou komorou	39
2 ROZBOR STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE VÝROBY.....	40
2.1 Pálení plechu laserem	40
2.2 Ohýbání plechu	41
2.3 Svařování dveří UniGear	43
2.4 Broušení svarů.....	44

2.5 Práškové lakování	46
2.5.1 Příprava povrchu - odmaštění.....	46
2.5.2 Příprava povrchu - moření	47
2.5.3 Zinko-fosfátování	47
2.5.4 Epoxidové lakování a vytvrzení.....	48
3 NÁVRH INOVOVANÉ TECHNOLOGIE VÝROBY	50
3.1 Tlakového lití slitiny hliníku.....	50
3.2 Nekonvenční tváření dveří	51
3.3 Ochrana nedostupných ploch dveří	52
3.3.1 Technologické otvory	52
3.3.2 Katodové lakování	58
3.3.3 Žárové zinkování.....	58
3.4 Návrh alternativního materiálu nebo polotovaru	60
4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	63
4.1 Srovnání výrobních časů.....	63
4.2 Srovnání finančních nákladů	66
ZÁVĚR.....	70
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	73
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	77
SEZNAM PŘÍLOH	79

ÚVOD

Vlastní struktura práce je rozdělena do čtyř hlavních částí. V teoretickém rozboru jsou nejprve popsány hlavní prostory rozváděče UniGear, včetně dveří. Dále jsou zde rozebrány materiály možné pro výrobu dveří, který musí splňovat dané pevnostní podmínky a následná příprava rozvinutého tvaru za pomoci laseru, CNC vysekávacího lisu a dalších technologií. Pro tváření základního plechu je navrženo základní ohýbání na ohraňovacím lisu, ale také zvláštní způsoby tváření, jako je např. tváření kapalinou nebo výbuchem. Poslední část první kapitoly je zaměřena na tlakové lití hliníku a jeho slitin. V Druhé kapitole je popsána detailní studie současného stavu výrobního procesu dveří ve firmě ABB s.r.o. Tato kapitola je podložena informacemi, které byly čerpány v průběhu pravidelné návštěvy výrobních prostor. Ve třetí části práce jsou vybrány technologie, které povedou k zefektivnění stávajícího výrobního procesu. Návrh prvních dvou technologií vede k progresivní změně celého výrobního postupu. Další dvě technologie budou zaměřeny především na zkvalitnění výsledného produktu, a to zejména na odolnost vůči korozi. U těchto návrhů budou vyrobeny zkušební vzorky pro srovnání se stávající výrobou. Poslední kapitolou práce je technicko – ekonomické srovnání stávajícího stavu výroby dveří s finální variantou návrhu inovované technologie.

Dveře rozváděče UniGear firmy ABB s.r.o. jsou vyráběny z kovového materiálu, aby byly splněny příslušné limity stanovené normou IEC 62271-1 a IEC 62271-200, jako je např. odolnost vůči vnitřním obloukovým zkratům se jmenovitým zkratovým proudem 31,5 kA a jmenovitým napětím 24 kV. Rozváděč je vzduchem izolován a musí být odolný vůči korozi. Při inovované technologii výroby musí být designově zachován vnější tvar dveří stejně jako vnější povrch, jelikož jde o typické znaky firmy ABB s.r.o. Typická barva pro povrch dveří je světle šedá, ale mohou být vyráběny i v jiných barvách. Změna tvaru může být provedena na vnitřní straně dveří, např. u výztuh, musí být však zachovány pevnostní podmínky. Dveře jsou vyráběny v různých rozměrech, např. z hlediska jiných šířek a výšek rozváděčů nebo použitého zařízení uvnitř.

Rozváděč UniGear je hlavním globálním výrobkem firmy ABB s.r.o. pro segment výrobků vysokého napětí, je určen pro napětí do 24 kV, jmenovité proudy až 4000 A, zkratové proudy až 50 kA. UniGear je kovově krytý rozváděč vysokého napětí vhodný pro vnitřní instalace. Výroba rozváděče se provádí na všech šesti kontinentech. Bylo vyrobeno více než 150 000 skříní, které jsou instalovány ve více než 100 zemích světa. Jednotlivé panely rozváděče UniGear obsahují prostor vybavitelný vypínačem, stykačem nebo odpínačem, případně dalším příslušenstvím dostupným pro standardní rozváděčové jednotky. Rozváděč je schválený pro použití ve speciálních aplikacích, jako jsou námořní a lodní aplikace, seismicky náročné a jaderné aplikace. Je typově zkoušen podle standardů IEC, GB/DL, GOST a CSA. Každá jednotka rozváděče obsahuje tři silové prostory: prostor vypínače, prostor přípojníc a prostor kabelů. Dále je každá jednotka vybavena nízkonapěťovým prostorem (NN částí), kde jsou umístěny měřicí, ovládací a pomocné přístroje a zařízení. Rozváděč odolný proti vnitřním obloukovým zkratům je obvykle vybaven odfukovým kanálem určeným pro odvod horkých plynů a částic, které se vytváří při hoření elektrického oblouku. Pro odvod těchto nebezpečných látek mimo rozvodnu jsou použity různé typy kanálů. Prostory jsou navzájem odděleny kovovými přepážkami. Dveřmi pro UniGear je krytý prostor vypínače, prostor kabelů a NN prostor [1].

Práce je zpracována ve výrobním závodě divize EPMV (elektrotechnické výrobky pro VN) firmy ABB s.r.o. na ulici Vídeňská 117 v Brně. Na toto pracoviště je soustředěna výroba v oblasti přístrojových transformátorů, senzorů a vzduchem izolovaných rozváděčů VN (vysoké napětí). Součástí závodu je servisní jednotka pro výrobky vysokého napětí, výzkumné a vývojové centrum včetně akreditované zkušebny nízkého, vysokého a velmi vysokého napětí. Areál se rozkládá na ploše 144 000 m² a v současné době zaměstnává více jak 1500 lidí. Začátkem letošního roku došlo ke spojení divizí nízkého a vysokého napětí, a tím se sloučili dva areály ABB v Brně na ulici Vídeňská 117 na ulici Heršpická 758, kde byla soustředěna výroba přístrojů a systémů pro nízké napětí. Sloučením těchto dvou areálů vznikla nová divize pod názvem EPDS (Electrification Product Distribution Solutions) [3].

ABB (Asea Brown Boveri) s.r.o., je přední švédsko – švýcarskou firmou zabývající se energetikou a automatizací s ústředním sídlem ve švýcarském Curychu. Firma je rozdělena do čtyř divizí: Elektrotechnické výrobky, Automatizace výroby a pohony, Procesní automatizace a Energetika. Historie ABB se začala psát již před 120 lety v roce 1883, kdy ve Stockholmu vznikla společnost Elektriska Aktiebolaget. O sedm let později získala jméno ASEA. V roce 1988 sloučením s firmou BBC Brown Boveri svět poprvé spatřil logo firmy ABB. Nová společnost, která zahájila činnost 5. ledna 1988, zaměstnávala v té době 160 000 lidí po celém světě. V ČR je provoz první společnosti datován od roku 1992. V současnosti se ABB nachází v osmi lokalitách, kde jsou zastoupeny nejvýznamnější inženýrská výzkumná centra a šest výrobních závodů. ABB nalezneme ve velkých městech jako je Brno, Praha, Ostrava, Jablonec nebo Trutnov. Brněnský závod na ulici Vídeňská 117 (obr. 1) je se svojí výrobní kapacitou největší závod tohoto druhu ve světě [2].



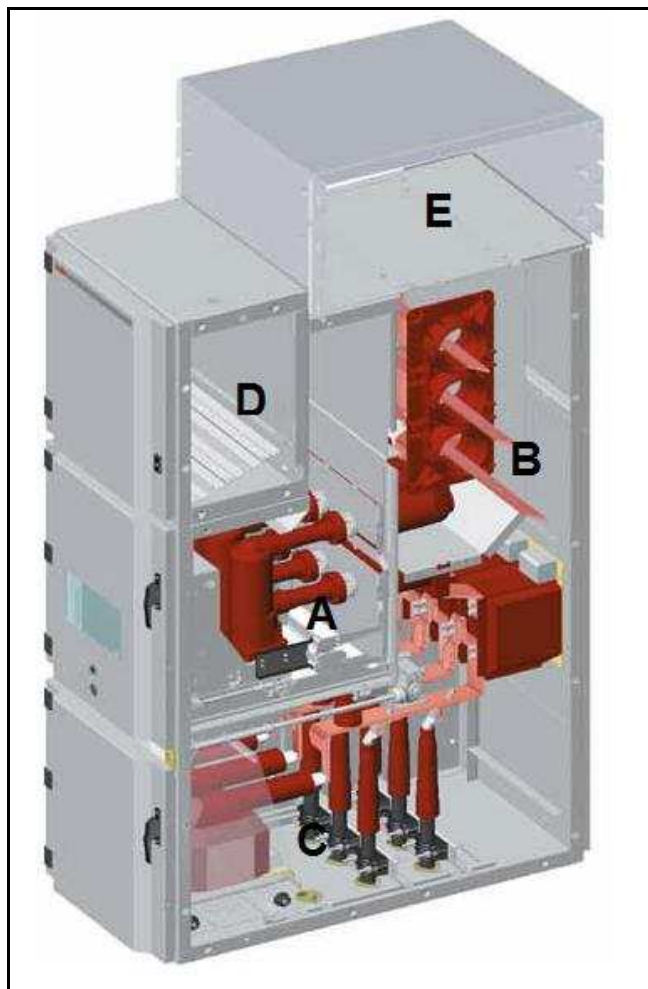
Obr. 1 Výrobní prostory ABB EPMV Brno – Vídeňská [4].

1 TEORETICKÝ ROZBOR PROBLÉMU

V teoretickém rozboru problému jsou popsány možné technologie pro výrobu dveří rozváděče UniGear. Ještě před samotnými technologiemi dojde k seznámení s produktem včetně stručného popisu jednotlivých částí rozváděče (obr. 2). Teoretický rozbor zahrnuje návrh materiálů, možnosti dělení plechového polotovaru, tváření plechu konvenčními i nekonvenčními metodami. V poslední řadě je popsána technologie tlakového lití, která jako jediná nevychází z plechového polotovaru.

1.1 Dveře pro rozváděč UniGear

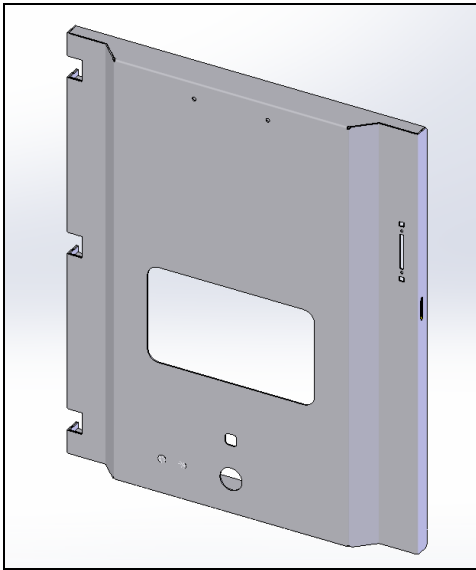
Dveře rozváděče UniGear slouží ke krytí prostorů vypínače (A), kabelů (C) a NN prostoru (D). Pro každou oblast mají odlišný tvar, a to zejména v důsledku jiných podmínek v daných prostorech. Vypínačový, kabelový a přípojnicový (B) oddíl jsou tzv. silové, prochází jimi vysoké napětí i nominální proud. V prostoru vypínače jsou umístěné izolační komory, obsahující pevné kontakty pro propojení vypínače s přípojnicovým nebo kabelovým prostorem. Jedná se o jedнопólové průchodky, vyrobené z epoxidové pryskyřice. Clony před komorami jsou kovové a aktivují se automaticky během pojezdu vypínače z testovací do pracovní polohy a obráceně. Prostor kabelů obsahuje systém odboček pro připojení silových kabelů na pevné spodní odpojovací kontakty vypínače. Odbočky jsou vyrobeny z elektrolytické mědi a jsou kryty izolačním materiálem. K dispozici jsou dvě provedení pro uzavírání dveří oddílů vypínače a kabelů: se šrouby a s centrální rukojetí. Dveře prostoru vypínače a prostoru kabelů mají podobný tvar, ale liší se např. odlišným vyztužením nebo otvorem, který je vyplněný tvrzeným sklem. Nízkonapěťový (NN) nebo také pomocný prostor slouží k uložení veškerých přístrojů a kabeláže. Je uzavřen dveřmi, které nejsou tolik vyztužené, protože zde nedochází k obloukovým zkratům. Rozváděč odolný proti vnitřním obloukovým zkratům je obvykle vybaven kanálem pro odvedení horkých plynů (E) vytvářených obloukem. Všechny jednotky jsou přístupné z přední strany. Proto veškerá údržba a provozní manipulace mohou být prováděny při montáži rozváděče ke stěně. Oddíly jsou odděleny kovovými přepážkami [1].



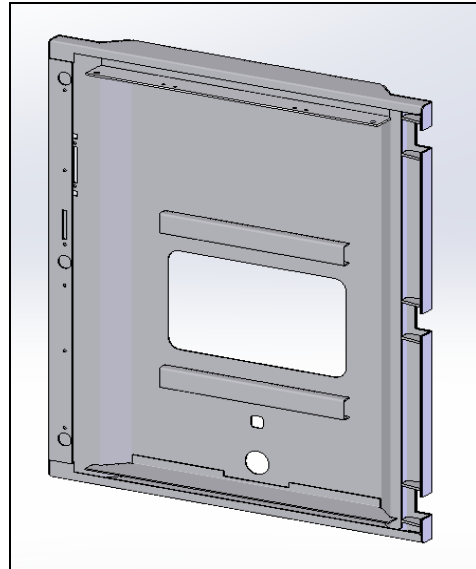
Obr. 2 Prostory rozváděče UniGear [1].

Dveře rozváděče UniGear firmy ABB s.r.o. jsou vyráběny z uhlíkové oceli. Polotovár je plech za studena válcovaný o tloušťce 2 mm. Pro splnění podmínek jako je korozivzdornost, je povrch dveří opatřen ochrannou epoxidovou vrstvou. Vzhled a struktura povrchu jsou striktně definovány, barva se může lišit. Standardní barva je světle šedá, jiné barvy jsou dle požadavků zákazníků. Dveře mají svůj specifický profil, který je znakem výrobku UniGear firmy ABB s.r.o., a proto je tento tvar jednou z okrajových podmínek. Ke změnám tvaru může dojít jen na vnitřní straně dveří např. u vyztužení. Dveře jsou vyráběny v různých rozměrech podle šířky a výšky rozváděče. Šířky rozváděčů jsou 400 mm, 500 mm, 550 mm, 650 mm, 800 mm a 1 000 mm. Rozměrové a typové varianty dveří čítají stovky druhů a liší se šířkou a výškou, všechny varianty jsou stejně hluboké. Po celém okraji jsou dveře opatřeny ohyby, které zvyšují tuhost a pomáhají uzavřít horké plyny uvnitř prostoru. Větší tuhost je také zajištěna navařenými výztuhami na vnitřní straně dveří. Na levé straně je vybrání pro panty, na pravé se nachází klika nebo šroub na otvírání dveří. Dveře jsou osazeny mechanismy umožňující ovládání přístrojů v daných prostorech např. ovládání tlačítek vypínače nebo ovládání posuvu kazety vypínače.

Dveře prostoru vypínače (obr. 3-4):

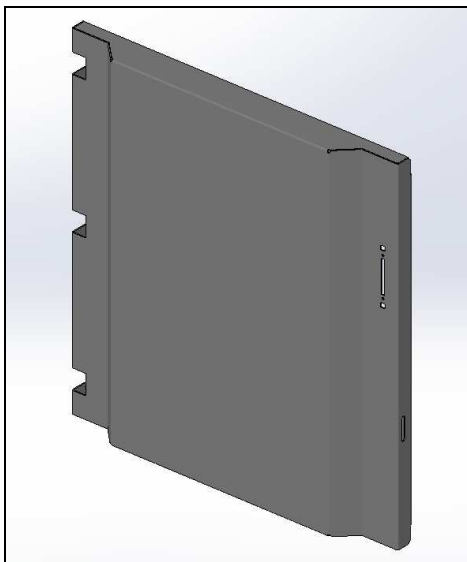


Obr. 3 Dveře prostoru vypínače
650 x 750 mm (přední pohled).

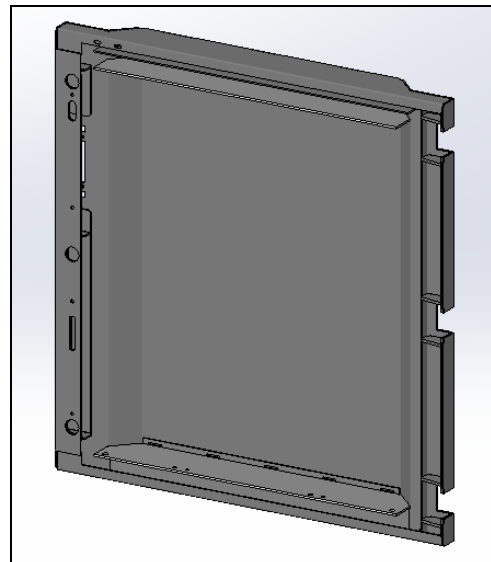


Obr. 4 Dveře prostoru vypínače
650 x 750 mm (zadní pohled).

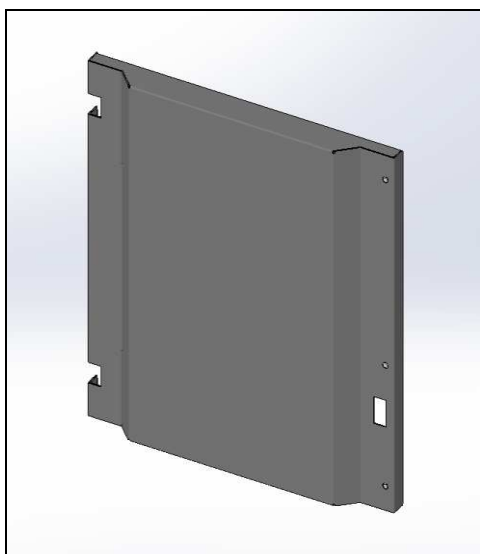
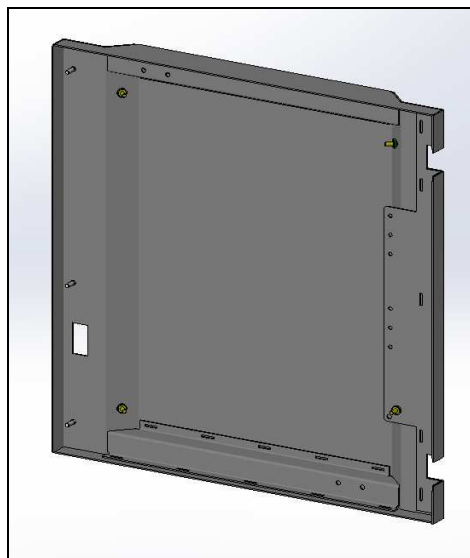
Dveře prostoru kabelů (obr. 5-6):



Obr. 5 Dveře prostoru kabelů
650 x 660 mm (přední pohled).



Obr. 6 Dveře prostoru kabelů
650 x 660 mm (zadní pohled).

Dveře nízkonapětového prostoru (obr. 7-8):Obr. 7 Dveře NN prostoru
650 x 660 mm (přední pohled).Obr. 8 Dveře NN prostoru
650 x 660 mm (zadní pohled).**1.2 Návrhy základních materiálů**

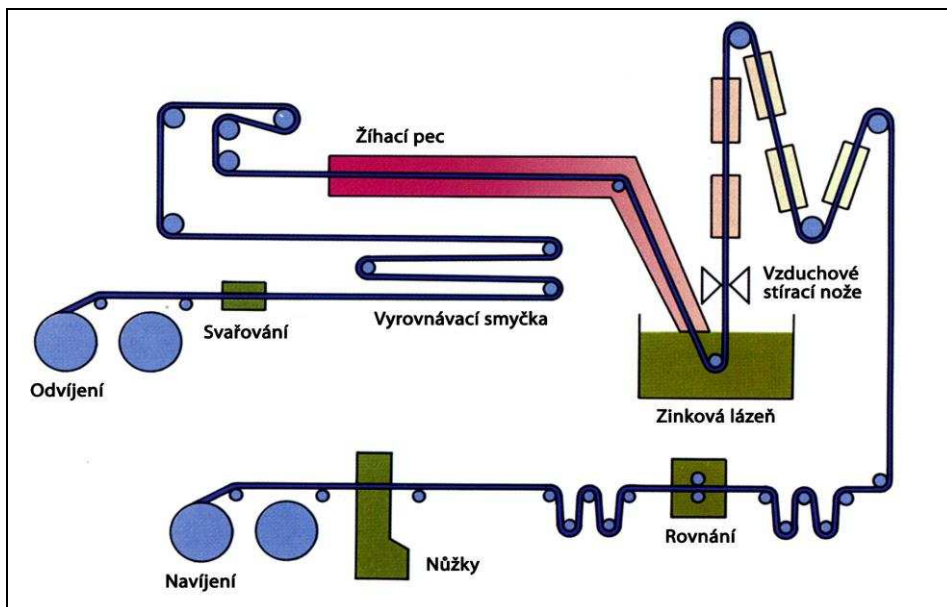
V této kapitole je navrženo několik druhů materiálů pro výrobu dveří UniGear. Nejprve je popsána stávající varianta s "černým" plechem, která svým konstrukčním návrhem tvaru splňuje pevnostní podmínky. Nevýhodou této varianty je nedostatečná ochrana proti korozi. Korozivzdornost je zaručena dodatečnou povrchovou úpravou – epoxidovým povlakem. Konstrukce dveří neumožňuje pokrýt všechna místa např. prostory za výztuhami, kde epoxidový prášek není možné aplikovat. Rozváděče jsou dodávány po celém světě i do zemí s vyšší klimatickou vlhkostí nebo vyšším znečištěním ovzduší, proto se časem na nechráněných místech začne vytvářet koroze. Na trhu jsou dostupné i plechy opatřené povrchovou úpravou z výroby, jako např. Aluzinek, pozinkované a další pokovené plechy, které lze použít pro výrobu dveří. Další alternativou je materiál s povrchovou úpravou odolnou vůči korozi zvaný Magnelis[®], který je používán v současné době i na konstrukci rozváděče UniGear. Jednou z možností je také korozivzdorná ocel, u které je však hlavní nevýhodou cena. Nevýhodou je také ztráta korozivzdornosti po následném svaření v tepelně ovlivněné oblasti, ale tento problém by mohl být odstraněn speciálním chemickým mořením. V poslední podkapitole jsou popsány slitiny hliníku, které jsou vhodné pro technologii tlakového lití.

1.2.1 Černý plech

Černé plechy jsou dvojího druhu, buď válcovány za studena, nebo za tepla. Základní válcované plechy za studena např. z oceli 11 321 dle ČSN 42 0908 nebo DC01 dle EN 10 130 najdou uplatnění při výrobě plochých konstrukčních dílů různých výrobků, ke středně hlubokému tažení a k tváření za studena. Jsou vhodné na výrobky, u kterých je dále chráněný povrch (lakování, pokovování). Plechy jsou vyráběny od tloušťek 0,5 mm až 3 mm. Výhody za studena válcovaného plechu v porovnání s tepelně zpracovaným jsou lepší kvalita povrchu, dobrá tvárnost, užší tolerance a menší tloušťky. Hlavními výhodami plechů válcovaných za studena, co se týká výroby dveří UniGear, je dobrá tvářitelnost za studena, dobrá přilnavost ochranných povrchů a tloušťka polotovarů. Základní válcované plechy za tepla jsou např. z oceli 11 375 dle ČSN 42 1096 nebo DD11 dle EN 10 111 se zaručenou svařitelností. Plechy jsou vhodné pro svařované konstrukce, výrobu ohýbaných profilů, součásti tepelných a energetických zařízení. Oceli s označením DD11 jsou používány nejvíc na dynamicky namáhané části vozidel. Plechy jsou vyráběny v tloušťce většinou od 3 mm a více, což není tolik vhodné pro dveře UniGear, které mají tloušťku 2 mm. Oba tyto černé plechy mají nevýhodu, že podléhají atmosférické korozi [5, 6].

1.2.3 Pozinkované plechy

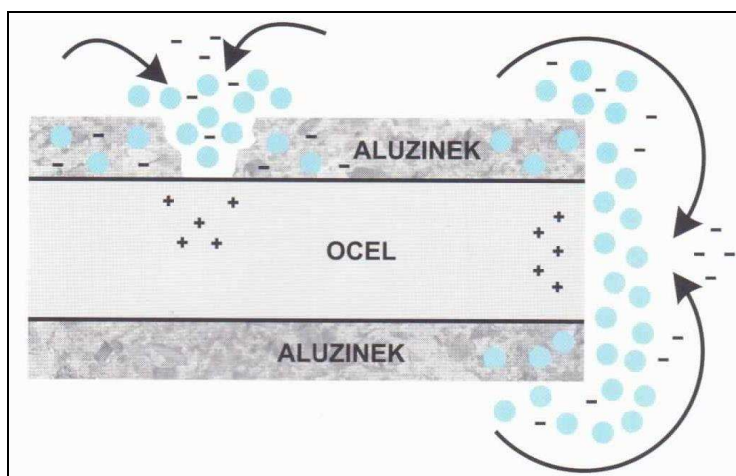
Zinek je prvek, který má velmi dobrou odolnost proti korozi. Žárově pozinkovaný plech kombinuje výjimečné vlastnosti zinku, což je odolnost vůči oxidaci a vysoce kvalitní vzhled s pevností oceli. Žárově pozinkovaný plech se vyrábí kontinuálním způsobem (obr. 9), kdy je ocelový plech válcovaný za studena, průběžně čištěn, mořen a žíhán a následně pozinkován v roztavené zinkové lázni. Zinková lázeň se skládá z 99 % zinku a zbytek jsou legury, jako je nikl, olovo, bismut, cín atd. Dalším prvkem, který je důležitý v oceli je křemík, který ovlivňuje tloušťku povlaku. Čím větší obsah křemíku, tím větší tloušťka povlaku. Pomocí tryskového stírání se pak nastavuje tloušťka pozinkované vrstvy. Množství zinkové vrstvy u žárově pozinkovaných plechů se pohybuje v rozsahu 60 až 450 g.m⁻². Hodnota množství je také uvedena v názvu materiálu: např. DX51D+Z100, dle normy EN 10 346 pro povrchově povlakované plechy, je plech se zinkovou vrstvou 100 g.m⁻². Tloušťka vrstvy pro plech s tloušťkou 2 mm se pohybuje okolo 55 μm. S rostoucí tloušťkou roste také vnitřní pnutí v materiálu. Výhodou je, že u oceli není žárovým pozinkováním ovlivněna její pevnost a zvyšuje se její životnost. Může mít však ocel větší křehkost a docházet k praskání u tváření za studena [5, 6, 7].



Obr. 9 Kontinuální žárové pozinkování plechu [7].

1.2.2 Aluzinek

Aluzinek je ocelový plech s kovovým povlakem, který spojuje optimální odolnost proti korozi s katodickou ochranou na řezných hranách a vrypech. Tento povlak také vede ke zlepšení fyzikálních a mechanických vlastností materiálu. Katodická ochrana spočívá ve schopnosti přesunu iontů zinku na poškozenou část ocelového plechu (obr. 10). Zinek a ocel mají vzájemně dobrý elektrický kontakt. Jestliže je zinkový povlak poškozen, dojde za přítomnosti elektrolytu ke vzniku galvanického článku. Zinek (anoda) se rozpouští a volný povrch oceli (katoda) je chráněn [8].

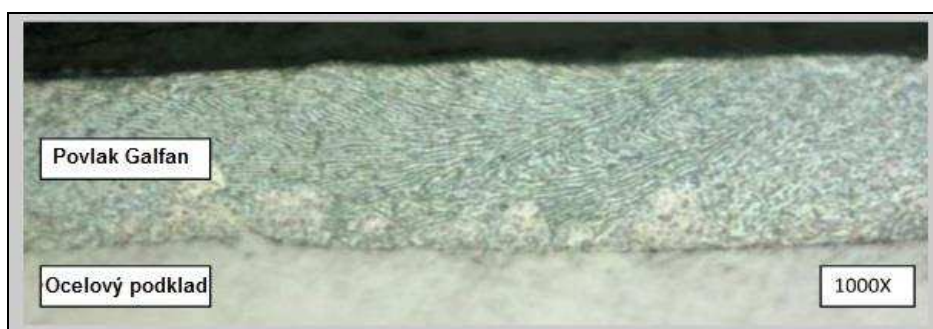


Obr. 10 Princip katodické metody [8].

Aluzinek je ocelový plech válcovaný za studena pokrytý na obou stranách slitinou hliníku a zinku. Před potažením musí být ocel pečlivě vyčištěna a upravena. Jednou ze specifických vlastností Aluzinku je schopnost nezbarvit se při ohřátí až do teploty 315 °C. Aluzinek kombinuje nejlepší vlastnosti ocele, hliníku a zinku. Chemické složení povlaku se skládá z 55 % hliníku, 43,4 % zinku a 1,6 % křemíku a aplikuje se kontinuálním žárovým procesem. Tloušťka potažení je neustále automaticky udržována v úzké toleranci. V dnešní době za pomoci pokrokového válcování za studena je jakost povlaku podstatně zlepšována. Aluzinek má dobrou tepelnou odolnost a může být použit ve všech tvářecích procesech bez ztráty přilnavosti nátěru. Aluzinek se používá všude tam, kde jsou třeba dobré zpracovatelské vlastnosti plechu válcovaného za studena a vysoká odolnost proti korozi nebo u tepelně namáhaného ocelového plechu. Díky dobré tvářitelnosti, bez odlupování ochranné vrstvy a odolnosti vůči korozi, je Aluzinek vhodným materiálem pro dveře UniGear. Z praktického hlediska má Aluzinek široké využití, jako je zastřešení v podobě lichoběžníkových profilů, v technické izolaci, chemickém a energetickém průmyslu, v rafineriích nebo pro pomocné díly ve stavebnictví a strojírenství [5, 6].

1.2.4 Pokovené plechy Galfan®

Galfan® je žárově pokovený plech slitinou zinku a hliníku s označením ZA, která se aplikuje pomocí nepřetržitého žárového procesu galvanizace. Odolnost proti korozi je dvakrát až třikrát větší než v pozinkované variantě. Dosahuje delší životnosti ocelových částí jak u tradičního zinkového potahu. Galfan® se vyznačuje velmi tenkým nátěrem, čímž se současně nabízí lepší svařitelnost a tvarovatelnost. Vrstva se skládá z 95 % zinku a 5 % hliníku, díky které má povlak svůj specifický vzhled (obr. 11). Plechy mohou být svařeny stejnými metodami svařování jako u pozinku, jako je odporové svařování, svařování laserem nebo obloukové svařování. Při dodržování určitých pravidel pro svařování mají plechy Galfan® po svaření stejné mechanické vlastnosti jako nepokovené oceli. Vzhledem k malé tloušťce ochranné vrstvy nemusí být u svařování tak velký proud, který vede k prodloužení životnosti elektrod. Čím silnější je vrstva povlaku, tím je svařování náročnější. Galfan® jsou vhodné k tváření za studena s hlubokým tažením, jako konstrukčních ocelí s vysokou pevností a u nízkolegovaných ocelí. Tyto vlastnosti ve spojitosti s korozivzdorností jsou vhodné pro výrobu dveří rozváděče UniGear. Využívají se zejména v oblastech, kde je vyžadována vysoká úroveň tváření, v automobilovém průmyslu, v rostlinném stavebnictví a strojírenství [5, 9].



Obr. 11 Povrchová úprava Galfan® [10].

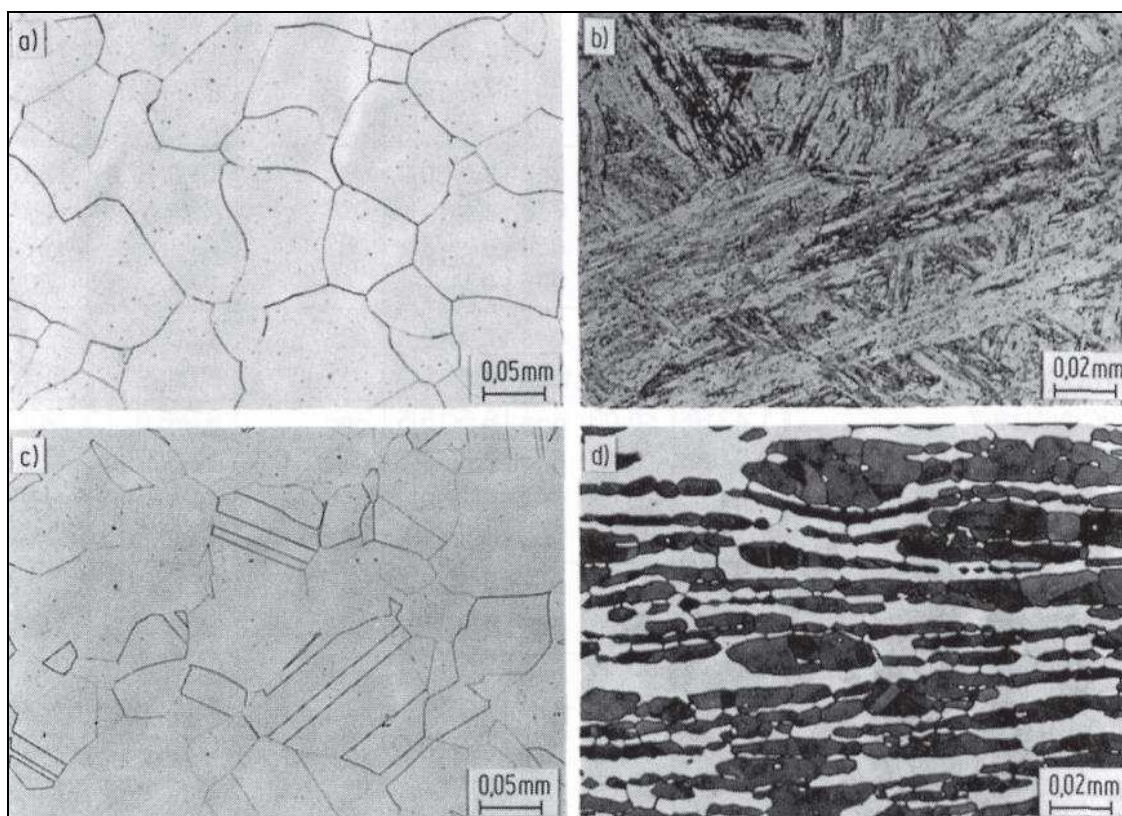
1.2.5 Magnelis®

Magnelis®, s označením ZM, je jeden z novějších povlaků na trhu s různými možnostmi aplikace, který poskytuje povrchovou ochranu proti opotřebením. Především dosahuje vysoké odolnosti vůči korozi, i v těch nejnejpříznivějších prostředích, která je až desetkrát větší než u galvanického zinkování. Vysoká odolnost proti korozi je dána především chemickým složením povlaku. Magnelis® je nanášen stejně jako je tomu u žárového zinkování, s rozdílem že zinková lázeň má jiné chemické složení. Lázeň mimo zinek obsahuje 3,5 % hliníku a 3 % hořčíku. Obsah hořčíku je důležitý, neboť na celém povrchu podkladového kovu vytváří stabilní a odolnou vrstvu, která poskytuje mnohem lepší ochranu proti korozi než povlaky s nižším obsahem hořčíku. Magnelis® má estetický hladký vzhled tmavě šedé barvy bez zinkového květu. Hlavně v prostředích s vysokým obsahem chloridu či čpavku je vysoce odolný, a to až sedmkrát než u pozinkovaných plechů. Zajišťuje také dlouhodobější ochranu základního podkladového kovu [11].

Magnelis® poskytuje řezným hranám ochranu v podobě tenkého filmu na bázi zinku s hořčíkem, čímž zabraňuje vzniku koroze. Vlastnosti tohoto filmu se mění v závislosti na prostředí a podle obsahu hliníku a hořčíku. Magnelis® může mít dvakrát až čtyřikrát nižší hmotnost než povlak žárového pozinku, a to při výrazně vyšší odolnosti vůči korozi a efektivitě nákladů. Tloušťka povlaku se pohybuje v rozmezí 7 až 25 μm . Ocel s povlakem Magnelis® je díky vysoké odolnosti a přilnavosti povlaku dobře tvářitelný a je vhodný k operacím, jako je ohýbání, tažení, profilování atd. Snížením hmotnosti kovového povlaku při zachování vysoké odolnosti vůči korozi navíc dochází ke zvýšení odolnosti bodových svarů. Svar pokryje ochranná vrstva oxidů, která brání vzniku červené koroze. Pevnost svarů u Magnelisu® je vyšší jako například u černého plechu. Díky tenké vrstvě povlaku je usnadněno další zpracování, a tím se eliminují náklady. Ocel s povlakem Magnelis® má třikrát lepší funkční charakteristiky než běžná pozinkovaná ocel a při nástrojovém opracování vykazuje menší úbytek hmotnosti povlaku. Vzhledem ke všem zmíněným vlastnostem je Magnelis® nejefektivnější volba mezi povlakovanými materiály pro výrobu dveří, a to i z důvodu, že rozváděče UniGear jsou dodávány po celém světě i do exotických zemí, kde jsou daleko horší klimatické podmínky, jako je např. zvýšená vlhkost [11].

1.2.6 Korozivzdorné oceli

Vysokolegovaná ocel se zvýšenou odolností vůči chemické i elektroch. korozi. Tyto oceli obsahují minimálně 10,5 % chromu a v porovnání s nelegovanými oceli mají výrazně lepší odolnost proti korozi. Při větším obsahu chromu a přísadou dalších legujících prvků, jako např. nikl nebo molybden je korozní odolnost dále zvyšována. Další legující prvky, které mají pozitivní vliv, jsou např. niob nebo titan, které zabraňují náchylnost k mezikrystalové korozi. U korozivzdorných ocelí přidáváním Mo, Cu, Nb, Al a V spolu se speciálním tepelným zpracováním je výrazně zvyšována pevnost a mez kluzu. Oceli mají velice široké uplatnění, od chemického a potravinářského průmyslu, přes automobilový průmysl, ve stavebnictví i jako architektonický materiál atd. Zkrátka jsou použity tam, kde jsou kladeny ty nejvyšší nároky na korozní odolnost. Korozivzdorné oceli jsou podle jejich chemického složení rozděleny do skupin čtyř skupin: feritické, martenzitické, austenitické a austeniticko – feritické. Na obr. 12 jsou znázorněny všechny čtyři struktury [12].

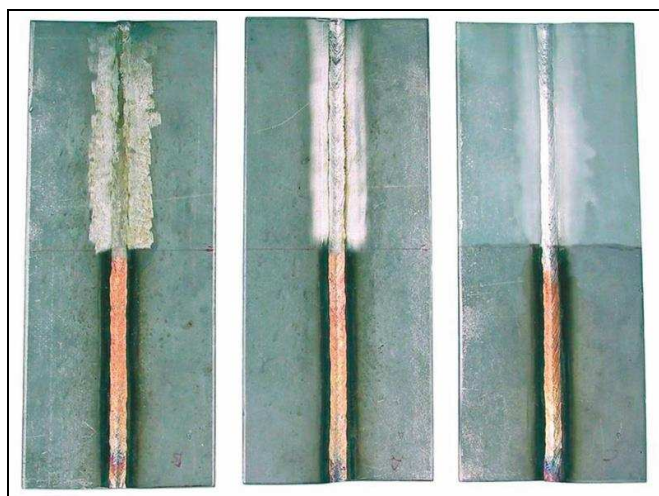


Obr. 12 Struktura [12]: a) feritická, b) martenzitická, c) austenitická, d) austeniticko-feritická.

Feritické oceli se vyznačují jemnozrnnou strukturou, které se dosahuje příslušným tepelným zpracováním. Zvláštní předností feritických korozivzdorných ocelí je to, že na rozdíl od austenitickým CrNi ocelí mají vysokou odolnost proti tzv. transkrystalové korozi při mechanickém napětí. Feritické oceli jsou používány do slabších korozních prostředí s požadavkem na svařování. Zejména v potravinářském průmyslu zejména na suché potraviny, jako je ovoce a zelenina.

Martenzitické oceli vzniknou rychlým ochlazením, tzv. zakalením z austenitické oblasti. Vytvrzování může probíhat mnohem pomaleji, než u srovnatelných nelegovaných ocelí. Tvrdost ocelí je o to větší, čím vyšší je obsah uhlíku. U martenzitických ocelí je největší předností tvrdost, proto jsou tyto oceli využívány zejména na výrobu kuchyňských nožů. Austenitické CrNi oceli s 8 % Ni se vyznačují obzvláště dobrou kombinací zpracovatelnosti, mechanických vlastností a odolnosti proti korozi. Jsou proto nejvýznamnější skupinou korozivzdorných ocelí s širokým uplatněním. Nejdůležitější vlastností této skupiny ocelí je vysoká korozní odolnost, která je zvyšována obsahem legur, a to zejména chromu a molybdenu. Jak u feritických, tak i u austenitických ocelí je pro dobré vlastnosti důležitá jemnozrnná struktura. Hodnoty tažnosti austenitických ocelí jsou téměř dvojnásobné než u feritických ocelí. Austenitické oceli disponují velmi dobrou svařitelností za studena. Další zajímavou vlastností je, že za studena tažené oceli mohou být používány na zařízení, jež pracují při teplotách až - 270 °C. Austeniticko – feritické oceli, také často označovány jako duplexní oceli, získávají stále na významu. Mez průtažnosti je výrazně vyšší než u austenitických ocelí. Přitom se dosahuje dobrých hodnot houževnatosti. Dále je třeba zdůraznit dobrou únavovou pevnost oceli, a to i v korozivních médiích [12].

Jedinou nevýhodou korozivzdorných ocelí je sklon k mezikrystalové korozi při svařování nad 450 °C. V tomto případě je do celkové technologie výroby zahrnuto ještě speciální chemické moření. Moření je chemické odstraňování oxidů. Kromě odstraňování povrchové vrstvy řízenou korozi, moření také odstraňuje nejméně korozivzdorné oblasti. Moření obvykle využívá kyselou směs obsahující kyselinu dusičnou (HNO_3), kyselinu fluorovodíkovou (HF) a někdy také kyselinu sírovou (H_2SO_4). Z důvodu rizika důlkové koroze je nutné se vyvarovat látkám s obsahem chlóru, např. kyseliny chlorovodíkové (HCl). Pro moření omezených oblastí, např. zón omezených svařováním (obr. 13) je nevhodnější mořicí pasta. Nejlépe se aplikuje pomocí štětce odolného vůči působení kyselin. Opláchnutí vodou musí být provedeno před zaschnutím pasty. Dokonce, i když je z ekologických a praktických důvodů prováděna na povrchu kovu neutralizace mořicí pasty, je důkladné propláchnutí vodou nezbytně nutné [13].



Obr. 13 Tři metody čištění [13]: a) broušení b) leštění c) moření.

1.2.7 Slitiny hliníku

Jelikož nelze použít žádnou slitinu železa pro tlakové lití, je jedinou možností na výrobu dveří pro rozváděč UniGear slitina hliníku. Slitiny hliníku se z hlediska mechanických vlastností vyrovnávají slitinám železa. Vzhledem k rozměrům dveří by měl být odlitek ze slitiny hliníku opatřen žebrováním, protože u tak velkých odlitků může docházet k propadlinám a dalším poruchám. Nejpoužívanější slitina hliníku pro tlakové lití je $AlSi_9Cu_3$ (A1226), která mimo křemík a měď obsahuje další prvky, jako je železo, mangan, hořčík, chrom, nikl a zinek. Další hodně používané slitiny jsou $AlSi_{12}$, $AlSi_{11}Cu_2$, $AlSi_8Cu_3$. Ze slitiny $AlSi_9Cu_3$ jsou nejvíce vyráběné odlitky o malých tloušťkách, různě tvarově složité, na které jsou kladeny vysoké požadavky z hlediska mechanických vlastností. Největší uplatnění mají tyto slitiny v automobilovém průmyslu, např. pro skříň spojky a převodovky, bloky motoru, víka bloku válců. Slitiny s křemíkem mají dobrou odolnost proti korozi [14].

1.2.8 Srovnání materiálů

V tabulkách 1 až 3 jsou srovnání mechanických vlastností, ceny za kilogram materiálu a chemického složení vybraných materiálů:

DC01 – černý plech válcovaný za studena,
 DD11 – černý plech válcovaný za tepla,
 DX51D+Z – pozinkovaný plech,
 DX51D+AZ – Aluzinek,
 DX51D+ZA – Galfan[®],
 DX51D+ZM – Magnelis[®],
 X5CrNi18-10 – korozivzdorná ocel,
 $AlSi_9Cu_3$ – slitina hliníku.

Tab. 1 Mechanické vlastnosti a ceny materiálů [5, 6].

Materiál	R_m [MPa]	R_e [MPa]	A80 [%]	ρ [kg.m ⁻³]	Cena/kg [Kč]
DC01	410	280	28	7 800	~ 31,-
DD11	440	360	23	7 800	~ 27,-
DX51D+Z	420	300	26	7 800	~ 35,-
DX51D+AZ	420	300	26	7 800	~ 38,-
DX51D+ZA	420	300	26	7 800	~ 37,-
DX51D+ZM	420	300	26	7 800	~ 36,-
X5CrNi18-10	720	210	19	7 800	~ 62,-
$AlSi_9Cu_3$	240	140	2	2 700	~ 113,-

Tab. 2 Chemické složení materiálů 1/2 [5, 6].

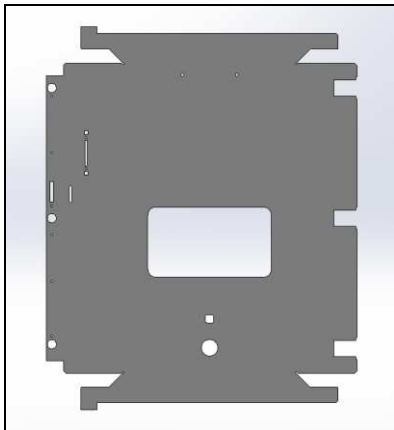
Chemické složení [hm %]	Fe	C	Si	S	Mg	Mn	Cr	P
DC01		0,120		0,045		0,600		0,045
DD11		0,120		0,045		0,600		0,045
DX51D+Z		0,120	0,500	0,045		0,600		0,100
DX51D+AZ		0,120	0,500	0,045		0,600		0,100
DX51D+ZA		0,120	0,500	0,045		0,600		0,100
DX51D+ZM		0,120	0,500	0,045		0,600		0,100
X5CrNi18-10		0,070	1,000	0,015		2,000	18,000	0,045
AlSi ₉ Cu ₃	1,300		9,000		0,550	0,550	0,150	

Tab. 3 Chemické složení materiálů 2/2 [5, 6].

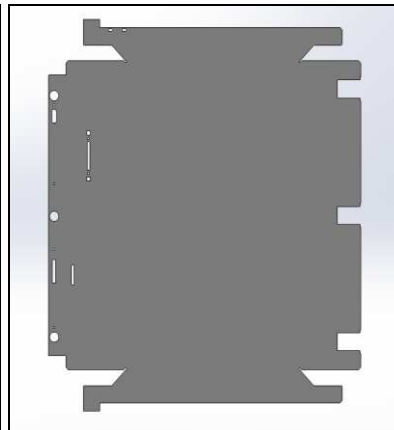
Chemické složení [hm %]	Ti	Zn	Ni	N	Cu	Pb	Sn
DC01							
DD11							
DX51D+Z	0,300						
DX51D+AZ	0,300						
DX51D+ZA	0,300						
DX51D+ZM	0,300						
X5CrNi18-10			10,000	0,110			
AlSi ₉ Cu ₃	0,250	1,200			3,000	0,350	0,150

1.3 Příprava rozvinutého tvaru

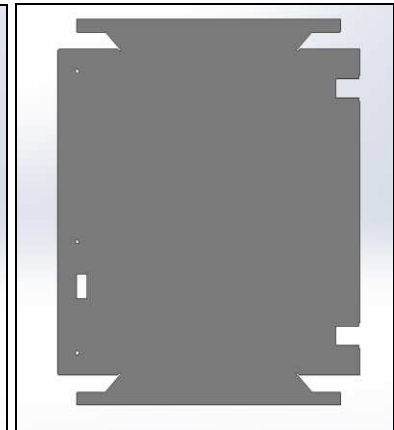
Pro získání požadovaného tvaru plechu před ohýbáním může být využit laser, vysekávací lis nebo další metody dělení materiálu, jako je plazma nebo vodní paprsek, které nejsou tolik rozšířené. Na laseru může být pálen černý plech, korozivzdorná ocel, slitiny hliníku a další. Naopak není vhodné pálit na laseru některé povrchově upravené oceli, jako je Aluzinek nebo pozinkovaná ocel, jelikož po pálení tyto plechy ztrácí své korozivzdorné vlastnosti na řezných hranách a v bezprostředním okolí. Dochází taky k vypalování povlaku, který je zdraví nebezpečný. Některé povlakované oceli mají lesklý povrch, který odráží paprsek laseru. Proto kdyby byl zvolen za základní materiál některý z povlakovaných ocelí, u kterého by byla příliš velká odrazivost, musel by být laser nahrazen vysekávacím lisem nebo jinou technologií. Na obr. 14 až 16 jsou zobrazeny rozviny dveří jednotlivých sektorů.



Obr. 14 Dveře VP.



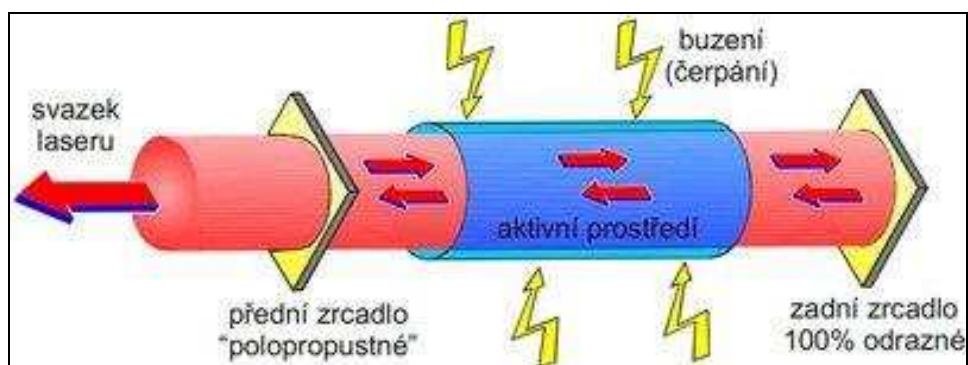
Obr. 15 Dveře KP.



Obr. 16 Dveře NN.

1.3.1 Technologie laserového řezání

Laser je tzv. optický zesilovač, který generuje elektromagnetické záření pomocí procesu stimulované emise fotonů. Tělo laseru vytváří rezonátor, zdroj energie a aktivní prostředí. Zdroj vytváří energii a dodává ji do aktivního prostředí, kde dojde k vybuzení elektronů. Ty pak reagují s dalšími elektrony inverzní populace. Aktivní prostředí je umístěno v rezonátoru a je tvořeno optickou dutinou, vymezenou dielektrickými zrcadly (obr. 17). Jedno částečně propustné a druhé zcela odrazivé. Při odrazu paprsků fotonů a dalším průchodu prostředím se tok fotonů exponenciálně zesiluje. Paprsek vychází z těla laseru přes polopropustné zrcadlo [15].



Obr. 17 Rezonátor [15]

Při dopadu laserového paprsku na materiál dochází k vzájemné interakci, kdy část paprsku se odrazí, část pohltí materiál a část materiálem projde. Průchodem paprsku se materiál zahřívá, natavuje a poté odpařuje. Proto nejdůležitějšími vlastnostmi daného materiálu pro použití laserového řezání jsou odrazivost (reflektivita) povrchu, absorpce (pohlcení) záření a tepelná vodivost. Každý materiál a povrch je jinak lesklý a tím má jinou odrazivost (tab. 4) [16].

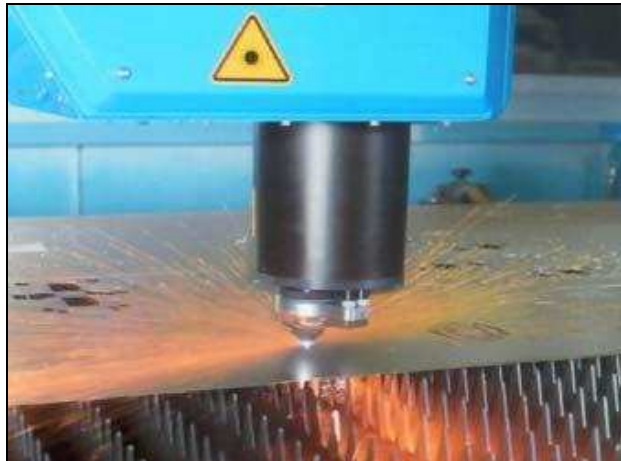
Tab. 4 Odrazivost kovů [16].

Reflektivita [%]		
Kov	Vlnová délka [μm]	
	0,9 až 1,1	9,0 až 11,0
Zlato	94,7	97,7
Stříbro	96,4	99,0
Hliník	73,3	96,9
Měď	90,1	98,9
Zinek	49,0	98,1
Ocel (1 % C)	63,1	93,0 až 96,0

Při dělení materiálu laserem vznikají pouze minimální deformace materiálu, protože nedochází k mechanickému dělení materiálu. Dělení materiálu laserem je mnohem snazší než mechanickým způsobem, proto lze dělit i materiály křehké nebo deformovatelné i malou silou. Lze řezat materiály hodně složitých tvarů. Jediným omezením jsou rozměry tvarů, které musí odpovídat přibližně tloušťce řezaného materiálu [16].

Pro kovové materiály je nejvýhodnější použití plynových CO_2 laserů (obr. 18), co se týče hospodárnosti. Jednotlivé řezné podmínky jsou odlišné pro daný typ oceli (nizkolegovaná, legovaná, korozivzdorná, měkká). Výhodou řezání nizkolegovaných ocelí je tvorba lehce odstranitelných oxidů kovů. Důležitý je také stav povrchu, který ovlivňuje řezný proces (zbytky maziv na povrchu nebo naoxidovaná vrstva). Další omezující podmínky při řezání jsou u povrchově upravených plechů. Dochází zde totiž k poškození ochranné vrstvy buď odpařením povlaku u pokovených plechů, nebo poškozením vazeb mezi materiálem a povlakem. Toto poškození nastává z důvodu odvodu tepla z řezu. U plechů, které mají tryskaný povrch se kvalita řezu také zhoršuje. Řezání korozivzdorných ocelí má také svá úskalí. Rychlost řezání se na rozdíl od řezání uhlíkové ocele snižuje. Závisí hlavně na obsahu chromu v materiálu, který vytváří oxidovanou vrstvu, bránící řezání. Maximální řezaná tloušťka korozivzdorného materiálu se tak snižuje až na polovinu tloušťky materiálu z měkké oceli [16, 17].

Pro neželezné kovy, jako jsou titan, měď, hliník nebo nikl je řezání CO_2 laserem obtížnější. Řezání není tak výkonné jako řezání uhlíkové oceli, protože tyto materiály jsou silně oxidativní a při řezu vznikají otřepy. Jejich povrch má vyšší reflektivitu a vysoká je i tepelná vodivost těchto kovů. Řezná rychlost neželezných kovů se tak oproti řezání oceli redukuje. Jedinou výjimku, co se týče výkonnosti řezání, tvoří titan. Chová se obdobně jako ocel, kromě toho, že vytváří silnou oxidativní vrstvu a musí se řezat v ochranné atmosféře [16, 17].



Obr. 18 Pohled do pracovního prostoru laseru [17].

Základní charakteristiky řezání laserem:

- 1) Rychlost řezání – závisí na způsobu řezání, výstupním výkonu paprsku laseru, požadované kvalitě řezu, tloušťce a druhu řezaného materiálu.
- 2) Kvalita řezu – hodnotí se podle jakosti řezané plochy (dosahuje se Ra 3,6 až 12 μm) a tloušťky tepelně ovlivněné oblasti (bývá 0,05 až 0,2 mm).
- 3) Šířka řezné spáry – je dána druhem laseru, druhem a tloušťkou řezaného materiálu (bývá 0,02 až 0,2 mm).

Výhody a nevýhody řezání laserem:

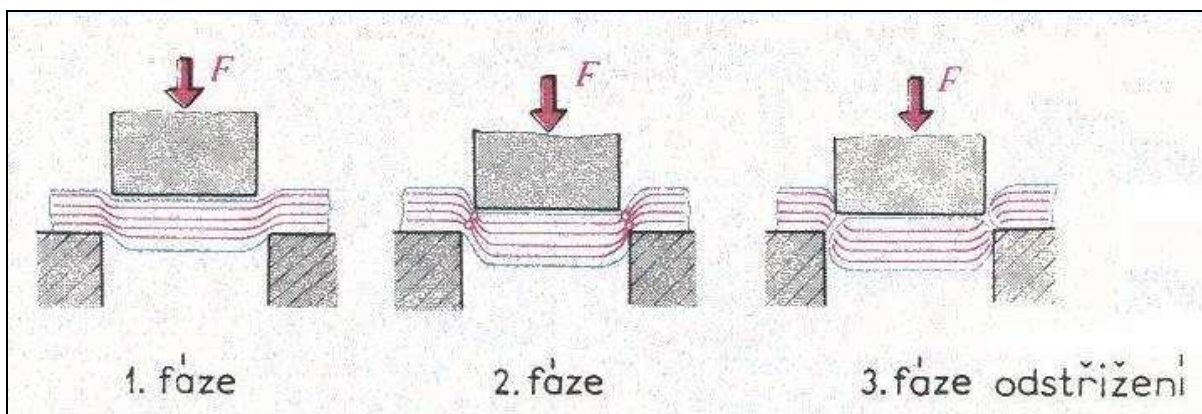
- + význam laserového paprsku stoupá se zvětšující se silou materiálu. U silnějších materiálu již lze použít technologii vystřihování jen velmi omezeně,
- + hrany v místě řezu jsou spáleny, takže většinou není třeba další dokončovací operace k srážení hran,
- + jednodušší a rychlejší nastavení stroje na další druh práce,
- + řezání složitých tvarů.

- vyšší pořizovací náklady na laserový stroj,
- vyšší provozní náklady,
- vyšší nároky na kvalitu materiálu,
- obtížnější zpracovávání některých materiálů (měď, polymery).

1.3.2 CNC vysekávací lis

CNC vystřihovací (vysekávací) stroj lze použít pro velkou škálu plošných stříhacích operací (především plechů) označených dle normy, jako je děrování, prostřihování, nastřihování, protrhávání, vystřihování a vysekávání. Moderní CNC vystřihovací lisy lze poměrně rychle seřadit a využívat je i pro malé výrobní série. CNC řízení umožňuje snadno využívat technologických operací jako je niblování, což je postupné ostřihování vnitřních a vnějších složitějších tvarů pouze jediným nástrojem. Významnou výhodou je děrování otvorů různých tvarů, ať už v pravidelných či nepravidelných rastroch. Zvýšit ekonomickou efektivitu děrování lze použitím vícenásobných nástrojů [18].

Průběh stříhání se dá rozdělit do tří částí (obr. 19). V první dosedá střížný nástroj na povrch stříhaného materiálu, kde jeho působením vznikají plastické deformace. Střížník v této fázi se nachází v hloubce 5 až 8 % tloušťky materiálu. Po překročení meze kluzu stříhaného materiálu dochází k jeho trvalé deformaci. V této fázi je střížník v 10 až 25 % jeho tloušťky. Třetí fáze se začne projevovat vznikem mikrotrhlin u hran střížníku, které se vzápětí změň v makroskopické trhliny. Prodlužování trhlin je pak výsledkem oddělování materiálu. Její rychlost je závislá na mechanických vlastnostech materiálu, průběh na velikosti střížné vůle [18, 19].



Obr. 19 Tři fáze stříhání [19].

Důležitými faktory u vystřihování jsou střížná síla, která je potřebná k vystřížení výrobku z tabule plechu. V každém okamžiku je dána součinem dvou proměnných veličin, střížného odporu a stříhané plochy. Dalším faktorem je střížná vůle, u které se jedná o rozdíl rozměrů pracovních částí střížníku a střížnice. Na správné velikosti střížné mezery závisí kvalita a jakost stříhu, životnost nástroje, spotřeba energie apod. Velikost střížné vůle je závislá především na druhu a tloušťce stříhaného materiálu (tab. 5).

Tab. 5 Střížné vůle vybraných materiálů [18].

Materiál	Střížná vůle [%] do 2,5 mm	Střížná vůle [%] od 2,5 do 6,0 mm
Ocel měkká	5	7 až 8
Ocel středně tvrdá	6	6 až 8
Ocel tvrdá	7 až 9	7 až 10
Hliník	4 až 7	5 až 9
Dural	7 až 8	7 až 10
Měď měkká	4 až 5	5 až 6
Měď tvrdá	6 až 7	6 až 7
Mosaz měkká	4 až 5	4 až 6
Mosaz tvrdá	5 až 6	5 až 7
Papír, lepenka	2 až 3	3
Fibr, textil	2 až 4	-

CNC vysekávací lisy se dělí podle výměny nástrojů na lisy s ruční výměnou nástrojů (dnes už ne příliš rozšířené) a na lisy s automatickou výměnou nástrojů. Podle druhu zásobníku známe CNC vysekávací lisy s revolverovou hlavou (obr. 20) a lisy s řadovým zásobníkem. Počet umístěných nástrojů v zásobníku se liší podle konstrukce stroje. U lisů střední třídy s lisovací silou 20 tun jsou nejčastější zásobníky na 20 až 40 nástrojů. U vyšší třídy se silou okolo 30 tun jsou zásobníky na 50 nástrojů, umístěných v nástrojových stanicích. Některé tyto stanice jsou otočné a natáčejí se v rozsahu 0° až 360° dle NC programu. Nástroj umístěný v revolverovém zásobníku má odhalenou horní část pružinového kanystru, kam je veden úder beranem a ten se přenáší na razník.



(1 - vedení osy x, 2 - uchycení plechu, 3 - pracovní stůl, 4 - elektrický rozváděč, 5 - motor a čerpadlo, 6 - beran, revolverová hlava)

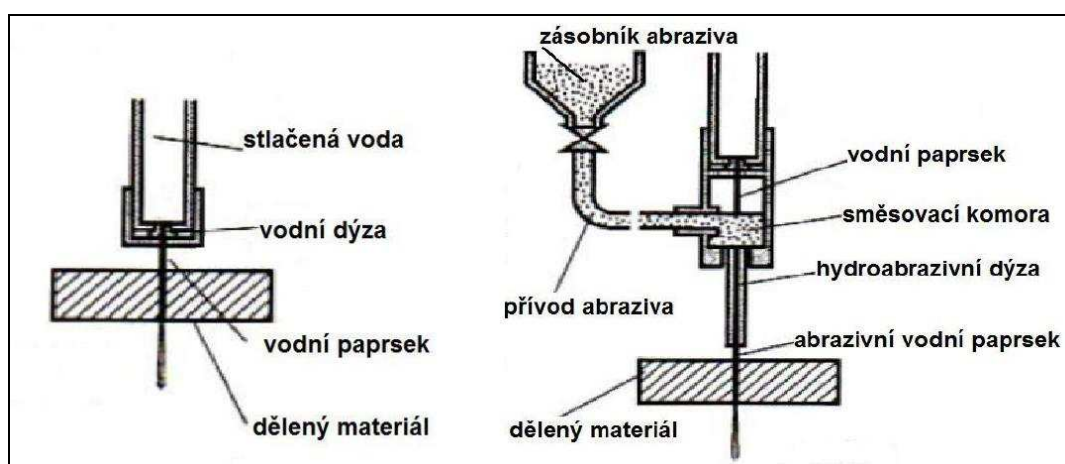
Obr. 20 CNC děrovací stroj [20].

Výhody a nevýhody CNC vysekávacího lisu:

- + nižší pořizovací náklady na CNC vysekávací stroj,
 - + nižší provozní náklady,
 - + zaoblená hrana v místě výstřihu na lícové straně zpracovávaného materiálu,
 - + možnost využívání tvářecích operací,
 - + lze zefektivňovat výrobu použitím násobných nástrojů,
 - + menší nároky na kvalitu materiálu.
- ostřina na rubové straně zpracovávané plochy,
 - nutnost broušení nástrojů,
 - obtížné zpracovávání tvrdých a křehkých materiálů,
 - delší příprava na výrobu dalšího výrobku v případě použití nástrojů mimo zásobník.

1.3.3 Technologie řezání vodním paprskem

Podstatou metody dělení materiálu je obrušování materiálu vysokým tlakem vodního paprsku, který se pohybuje v rozmezí 800 až 4 100 Bar. Zdrojem jsou vysokotlaká čerpadla s příkonem 9 až 75 kW a průtokem vody 1,2 až 7,6 l.min⁻¹. Paprsek vzniká v řezací hlavě zakončené tryskou (obr. 21). Pro měkčí materiály, jako je plast, dřevo nebo guma má paprsek průměr 0,15 až 0,3 mm. Druhou možností je hydroabrazivní paprsek o průměru 0,8 až 1,5 mm s příměsí hydroabrazivního prášku (obr. 21). Nejčastěji je jako přídavné brusivo používá tzv. granátový písek. Díky své vysoké energii dokáže hydroabrazivní paprsek řezat kovy, keramiku, kámen, sklo a jiné materiály o tloušťce až 200 mm. Vodní paprsek dokáže řezat i tvarově složité řezy během jedné operace, přičemž dělený materiál není silově namáhám. Jedná se o studený řez, kde řezná hrana není nijak tepelně ovlivněna. V tomto směru se vodní paprsek odlišuje od jiných paprskových technologií, např. laseru nebo plazmy. Pod řezaným materiálem se nachází vana nebo taky lapač, do kterého se zachycuje směs vody a abraziva po provedení řezu [16].



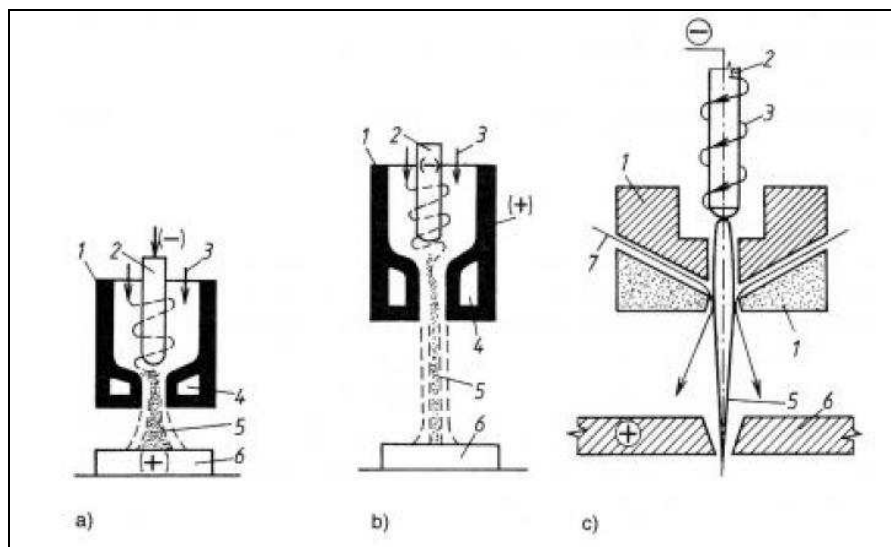
Obr. 21 Schéma řezání bez abraziva a s abrazivem [16].

Výhody a nevýhody vodního paprsku:

- + řezání bez tepelného ovlivnění (teplota max. 50 °C),
 - + možnost řezat jakýkoliv materiál,
 - + nedochází k porušení ani případné povrchové vrstvy,
 - + ekologické,
 - + možnost řezat tvarově složité řezy,
 - + dobrá kvalita řezu s drsností pod Ra 3,2 μm .
- vysoké náklady na stroj,
 - vysoké náklady na energii (vysokotlaká čerpadla),
 - styk s vodou, rychlý nástup koroze,
 - omezená možnost výroby malých dílců (pod 50 mm).

1.3.3 Technologie řezání plazmou

Princip obrábění plazmou spočívá v ohřevu nebo natavení materiálu za extrémně vysokých teplot, které vznikají rozkladem molekul plynu při jeho průchodu elektrickým obloukem. Oblouk hoří mezi netavící se katodou z wolframu a tavící se anodou, která je tvořena řezaným materiálem nebo tělesem hořáku. Plazma je vysoce žhavý, elektricky vodivý plyn tvořený z pozitivních a negativních iontů, elektronů a také vybuzených, neutrálních atomů a molekul. Jako plazmový plyn může být používán argon nebo plyny vodíku, dusíku, kyslíku a vzduchu. Plazmový plyn se ionizuje a disocijuje energií plazmového oblouku. Rekombinací atomů a molekul mimo plazmovou trysku systému plazma prudce uvolní přijatou energii a umocňuje tepelný účinek plazmatu na obráběnou součást. V plazmovém hořáku dochází k přeměně elektrické energie na tepelnou. U plazmy je velice důležité použití stabilizačního média, která mohou být dvojího druhu. Dle obr. 22 se plazmové hořáky dělí na hořáky s plynovou stabilizací a vodní stabilizací [21].



(1 - těleso hořáku, 2 - katoda, 3 - přívod plynu, 4 - chlazení hořáku, 5 - paprsek plazmatu, 6 - obrobek, 7 - přívod vody)

Obr. 22 Plazmové hořáky: a), b) s plynovou stabilizací, c) s vodní stabilizací [21].

Výhody a nevýhody plazmy:

- + velký výkon při řezání do tloušťky 30 mm,
 - + vysoká řezná rychlost,
 - + řezání vysoce pevných ocelí s menším tepelným příkonem,
 - + řezání pod vodou: malé tepelné ovlivnění materiálu s malou hladinou hluku.
-
- širší řezná spára,
 - úkos na řezané hraně,
 - použití pouze pro elektricky vodivé materiály,
 - hlučnost 80 až 100 dB,
 - intenzivní UV záření,
 - obtížné propalování otvorů tlouštěk nad 15 mm.

1.4 Tváření základního plechu

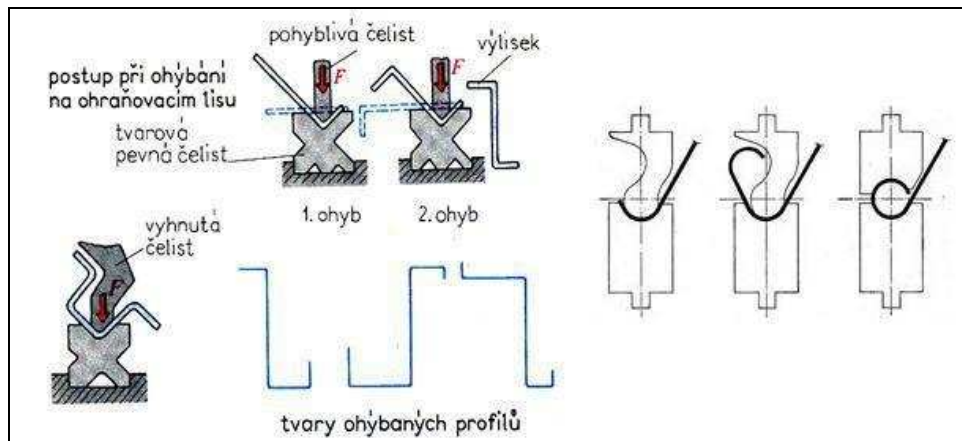
Základní technologií tváření pro tenké plechy je ohýbání na ohraňovacím lisu. Ohýbání není náročná metoda, např. co se týče výdajů. Nedochází zde k velkému opotřebení nástrojů a samotný stroj není tolik nákladný ve srovnání s některými nekonvenčními stroji. Nevýhodou je, že tvarově složitě dílce musejí být ohýbány v několika operacích (krocích), což vede k delšímu výrobnímu času. Samotné dveře rozváděče UniGear jsou tvarově náročnější a mají více jak deset ohybů. U ohraňovacích lisů je také většinou potřebná obsluha pracovníka, u plechů s většími rozměry i více pracovníků.

Nekonvenční metody tváření jsou technologie, kde část klasického nástroje je nahrazena elastomerem (pryž, polyuretan) nebo kapalným médiem (voda, olej). Metody jsou používány zejména v kusové malosériové výrobě. Lze tvářet i materiály s povrchovou úpravou, jelikož zde nedochází ke kontaktu kov na kov. Hlavní výhodou je univerzálnost pro použití různých tvarů a velikostí dílce. U technologií, kde k přetvoření plechu slouží kapalné médium je zapotřebí i dobré těsnění. Další nekonvenční metody tváření deformují materiál vysokými rychlostmi nebo také vysokými energiemi (výkony). Zdroje energie u těchto technologií jsou chemické látky (trhaviny, výbušné směsi) nebo elektrická zařízení (magnetické pole, jiskrový výboj). Plech je při tváření vysokými rychlostmi zatěžován dynamicky, proto deformačním mechanismem pro plastickou deformaci není skluz, ale dvojčatění. U konvenčních metod jako je kování rychloběžným bucharem je rychlost tváření 15 až 60 m.s⁻¹. Při tváření výbuchem se podle výbušné směsi pohybuje rychlost mezi 10 až 250 m.s⁻¹ [22, 23].

1.4.1 Ohraňovací lis

Ohraňování je ohýbání plechu s minimálními poloměry ohybu s cílem dosažení ostrého ohybu. K tomuto slouží ohraňovací lisy, které jsou rozděleny na ruční, mechanické a hydraulické. Ruční lisy jsou využívány pro kusovou výrobu např. v malých karosářských dílnách. Pro rozměrnější, složitější součásti jsou užívány především mechanické lisy. Nejmodernější a také nejvíce využívané v praxi jsou hydraulické ohraňovací lisy. Výhodou u ohraňovacích lisů jsou velice jednoduché a univerzální nástroje, sloužící k vytvoření základních ohybů.

Pro tvorbu složitějších ohybů jsou využívány nástroje kopírující přesně daný tvar ohybu. Při výrobě, zejména součástí s více ohyby, je nejdůležitější sled operací. Součást je obvykle vytvářena z několika různých ohybů (obr. 23), kdy mezi operacemi dochází k výměně nástrojů [24].



Obr. 23 Příklady ohraňovacích operací [25].

Ohraňovací lisy umožňují výrobu profilů z plechů v délce až 9 metrů a tvarově složitých součástek s více ohyby. Tyto složitější ohyby nelze na klasických ohýbačkách realizovat. Ohraňovací lisy jsou ekonomicky výhodné, protože mohou být na něm realizovány speciálními ohyby, různě tvarově složité a rozměrově velmi přesné. Díky univerzálním a cenově nenáročným nástrojům roste produktivita práce na ohraňovacím lisu, a proto jsou v dnešní době hojně využívány. Moderní lisy jsou už dnes vybaveny mnohým příslušenstvím, které zvyšuje kvalitu či produktivitu práce, jako je CNC řízení [26, 27].

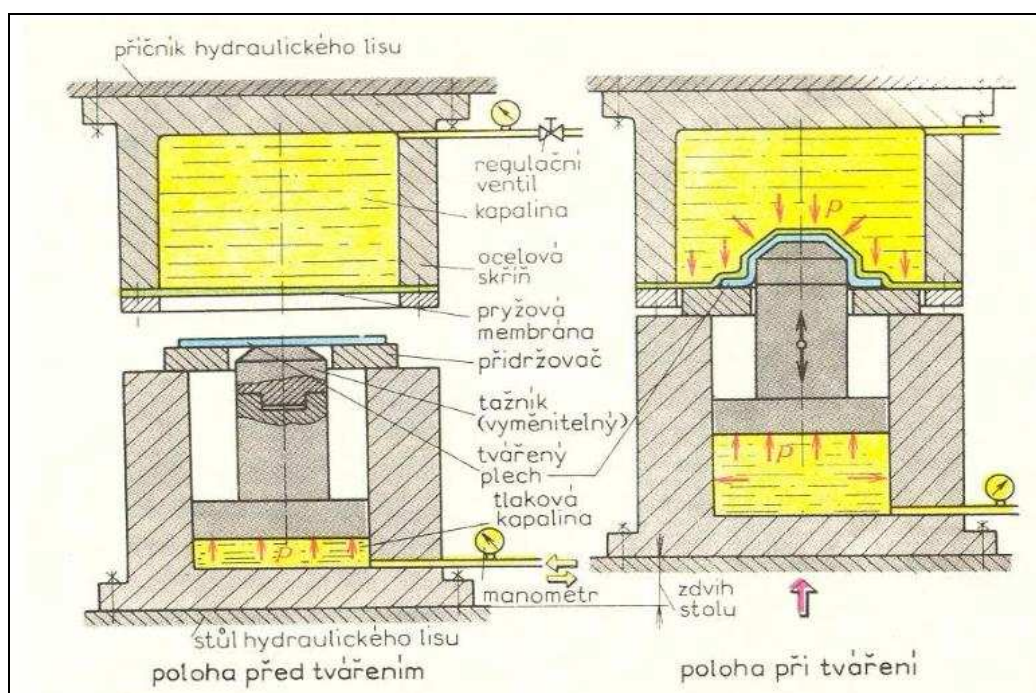
Zařízení CNC jsou většinou umístěny do automatizovaných linek s manipulátory a podavači. Jmenovitá tvářecí síla u hydraulických ohraňovacích lisů dosahuje až 40 000 kN. Ovládání stroje probíhá přes dotykovou obrazovku (obr. 24), na jejíž obsluhu nejsou kladeny nějak velké nároky. K zabránění nějakému úrazu pracovníka se obvykle používá před pracovním prostorem světelná závora. Ohraňovací lisy se dělí dle způsobu pohonu na ruční, mechanické, hydraulické a dle konstrukce na segmentové, kombinované a modulové [25].



Obr. 24 Hydraulický CNC ohraňovací lis [27].

1.4.2 Tváření kapalinou Hydroform

Ocelová skříň je přepažena pryžovou membránou a naplněna kapalinou. Tvarový nástroj zatlačuje tvářený plech přes membránu do prostoru skříně, kde hydrostatickým tlakem kapaliny jsou membrána i plech deformovány do požadovaného tvaru (obr. 25). Tváření mohou být výlisky hlubokých tvarů přes 100 mm na jeden tah. Proto je u této metody výrazně zkrácen výrobní čas. Výlisky mohou mít různý tvar dna. Životnost membrány je kolem 5 000 výtažků. U této metody je značná úspora při fázích výroby a ceně nástroje. Při samotném tažení nejprve horní rám s kontejnerem naplněný médiem sjede na přídržovač a začne působit přídržovací síla na pryžovou desku. Poté zajede do kontejneru a tím získáme počáteční tvar výtažku. Pomocí čerpadla je zvyšován tlak v kapalině, který se přenesou na tvářený plech a tím je docíleno konečného dotvarování. Výhody metody jsou také nízký součinitel tváření, nevlněný a nepotrhaný povrch součásti. Lze tvarovat i těžce tvářitelné materiály. Materiály mají po tváření metodou Hydroform obvykle o 20 % větší tuhost než materiály tvářené konvenční metodou. Hlavní nevýhodou je nutnost výbavy speciálního zařízení a velmi vysoká pořizovací cena tohoto zařízení [22, 27].

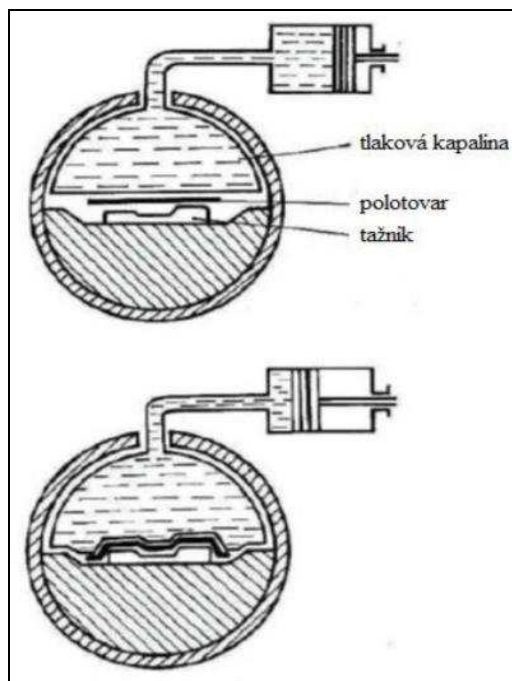


Obr. 25 Metoda Hydroform [28].

1.4.3 Tváření kapalinou Wheelon

Verson-Wheelon (obr. 26), jak je taky tato metoda nazývána, je používána zejména pro mělké výlisky. Metoda užívá vysokých tlaků za pomoci elastomerového bloku jako zápusťky nebo tažníku. Pružné články s hydraulickou tekutinou působí silou na elastomerový blok, který vytvaruje plech do tvaru kontury zápusťky. Elastomer vytváří ve všech bodech stejný tlak.

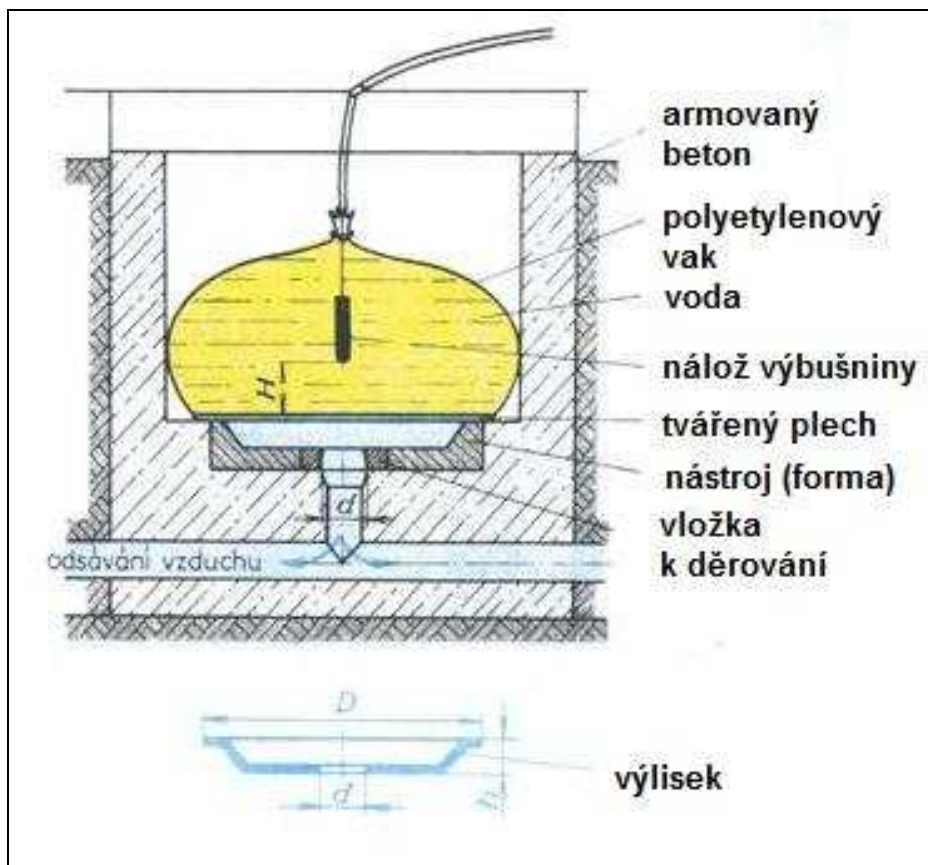
Metoda umožňuje tváření větších tloušťek a složitější součásti s ostrými detaily z materiálů jako jsou hliník, nízko uhlíkové oceli, nerezové oceli, tepelně odolné slitiny a titan. Výtažky mohou být formovány v jediné operaci [22, 29].



Obr. 26 Metoda Wheelon [29].

1.4.4 Tváření výbuchem

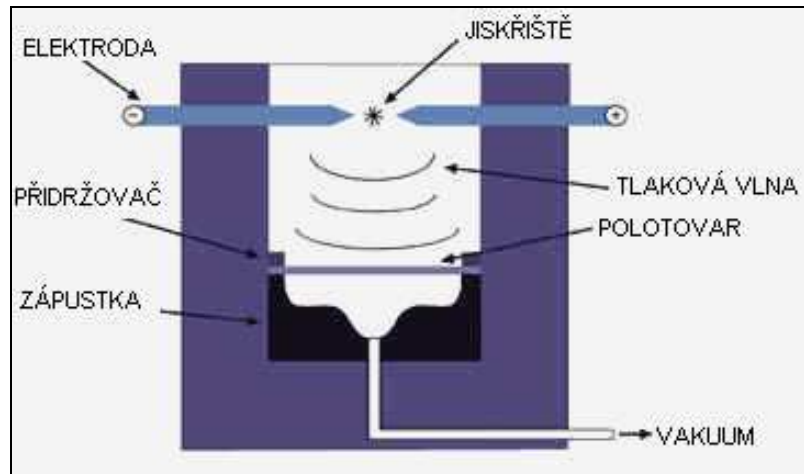
Patří do skupiny tváření vysokými rychlostmi nad $8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Účinek síly lisu je nahrazen účinkem tlakové vlny při výbuchu. Materiál je položen na formu, nálož je umístěna do polyetylenového vaku naplněného nejčastěji vodou a vložena do betonové jámy (obr. 27). K explozi se nejvíce využívá semtex, který je vodě – odolný. K odpálení nálože je nutná rozbuška. Tlaková vlna může působit přímo na tvářený materiál, nebo je přenášena pomocí média. Nejčastější médium je voda, ale používají se také písek, vzduch nebo oleje. Po výbuchu je materiál vtlačován vysokou rychlostí do formy. Explosivní tváření je užíváno k výrobě dílů obtížně zhotovitelných konvenčními technologiemi. Výlisky jsou velmi kvalitní bez odpružení, mohou být vyráběny i otvory. Velikost výlisku není teoreticky omezena. Lze tvářet i materiály, které nelze běžnými metodami tvářet nebo se tvářejí obtížně např. legované oceli nebo slitiny titanu. V dnešní době se tváření výbuchem využívá k tvorbě prototypů a malých sérií v leteckém a vesmírném průmyslu (trupy, motory, výzkum a vývoj) nebo ve vojenském průmyslu. Tváření výbuchem není rozšířené z hlediska bezpečnosti, protože zde musí být kvalifikovaní pracovníci [27].



Obr. 27 Tváření výbuchem [27].

1.4.5 Elektrohydraulické tváření

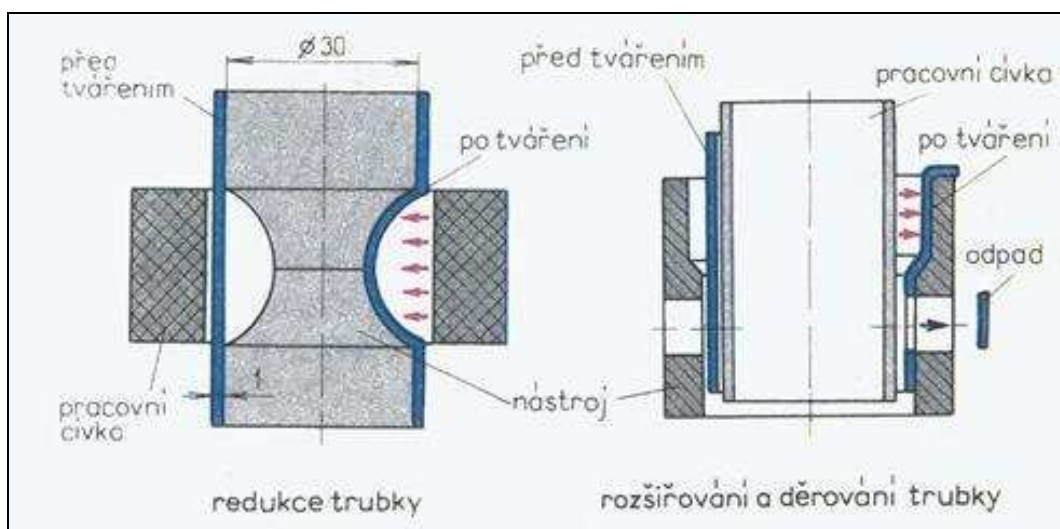
Elektrohydraulické tváření (obr. 28) je vysokorychlostní metoda plošného tváření, které je nejvíc zastoupeno v leteckém a vesmírném průmyslu. Několika výrobci byly vyvinuty stroje pro vlastní potřeby, ale dnes je tato metoda užita v průmyslu jen zřídka. Technologie spočívá ve vybití kondenzátoru (výboje) v kapalině, který uvolní elektrickou energii a dojde k tlakové vlně. Tlaková vlna deformuje přes pracovní médium (voda nebo olej) polotovar do tvaru zápustky. Tímto způsobem lze provádět tváření plechu a trubek, lemování, tažení a děrování. Polotovar je formován rychlostí až $200 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Základní rozdíl mezi tvářením výbuchem a elektrohydraulickým tvářením je ve zdroji energie. K vytvoření takové energie jsou zapotřebí velké kondenzační zásobníky, oproti menšímu množství výkonné trhaviny. Díky tomu je elektrohydraulické tváření vhodné pro velké výtažky. Kvůli podmínkám, jako je objemné nádrže na kapalinu a potřeba výměny elektrod, je tato metoda spíše problematickou a ve světě se nikdy nějak široce nerozšířila [30].



Obr. 28 Elektrohydraulické tváření [30].

1.4.6 Elektromagnetické tváření

Princip metody je založen na využití účinku odpudivých sil dvou nesouhlasných magnetických polí (obr. 29). Rychlým vybitím proudu (10 až 100 ms) v pracovní cívkce se indukuje v tvářeném materiálu proud opačného smyslu, a tím i opačného směru magnetického pole. Polotovár je formován do tvaru zápusky při tlacích v řádech 1 000 MPa. Mohou být tvářeny i materiály nemagnetické, ale elektricky vodivé. Výlisky se vyznačují kvalitními povrchy bez porušení. Tímto způsobem se tváří např. hliníkové kryty kondenzátorů nebo v automobilovém průmyslu nádrže olejových filtrů [27].



Obr. 29 Elektromagnetické tváření [27].

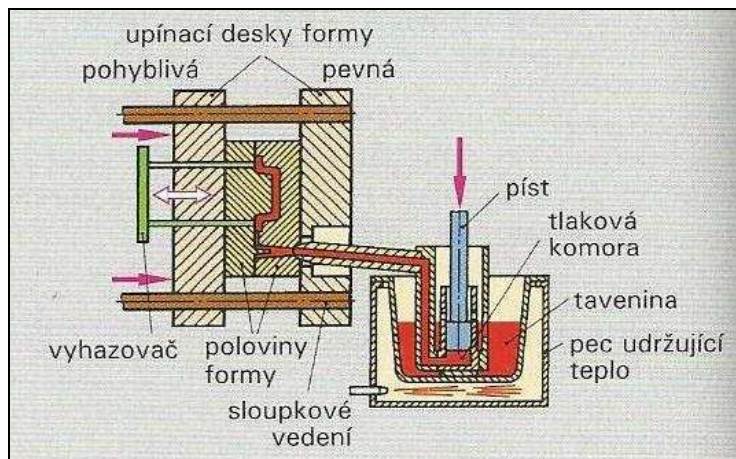
1.5 Lití pod tlakem

Hlavní snahou tlakového lití je přeměnit základní materiál ve formě tekutého kovu přímo na hotový výrobek bez dalšího opracování. Odlitky dosahují přesnosti $\pm 0,05$ až $\pm 0,2$ mm a většinou není potřeba žádného dalšího obrábění, mimo některé funkční plochy. Tato metoda umožňuje předlít velmi malé otvory o $\varnothing 2,5$ mm, závitů od $\varnothing 10$ mm, přesné detaily jako písmo nebo znaky. Můžou být odlévány i tenkostěnné odlitky od 0,6 do 7 mm nebo otvory s přesností H8. Použity jsou trvalé kovové ocelové formy tř. 19 s kovovými jádry. Forma i jádro jsou chlazeny vodou, tekutý kov je vtlačován do formy vysokým tlakem 10 až 20 MPa. Tlakové licí stroje umožňují upevnění nepohyblivé části formy, pohyb pohyblivé poloviny kovové formy, dokonalé sevření obou částí a plnění dutiny formy taveninou při vysokém tlaku. Metoda je rychlá, produktivní a vyznačuje se snadnou mechanizací. Největší nevýhodou je drahá forma [31].

Tlakové lití se při výrobní sérii nad 1 000 ks stává hospodárnější než jiné technologie, jako je např. obrábění. Cena odlitku je závislá na jeho váze, složitosti tvaru a na požadavcích na přesnost. U tlakového lití mají výsledné odlitky hladký povrch a dochází k velmi malým materiálovým ztrátám díky ocelové formě, která je ovšem nákladná. Rozměry odlitku jsou eliminovány rozměry stroje a obsluhovat tyto stroje může jen kvalifikovaná osoba. Lití pod tlakem je však používáno jen pro neželezné kovy. Lze odlévat slitiny s maximální tavicí teplotou 1 000 °C, ale větší uplatnění mají především slitiny s nižší teplotou tavení. Nejčastěji jsou to neželezné kovy jako např. zinek, hliník, hořčík, měď, olovo a cín. V posledních letech je také snaha o vyřešení problémů při odlévání slitin železa pod tlakem, které nejdou odlévat z důvodu vyšší teploty tavení. Slitina železa by se při snížení teploty správně nezatekla do všech míst formy. Jediná slitina, která splňuje podmínky pro náš výrobek je slitina hliníku. Lití pod tlakem lze provádět dvěma způsoby. Podle ústrojí vstřikovacího prostředí se dělí na lití s teplou a studenou tlakovou komorou.

1.5.1 Stroje s teplou tlakovou komorou

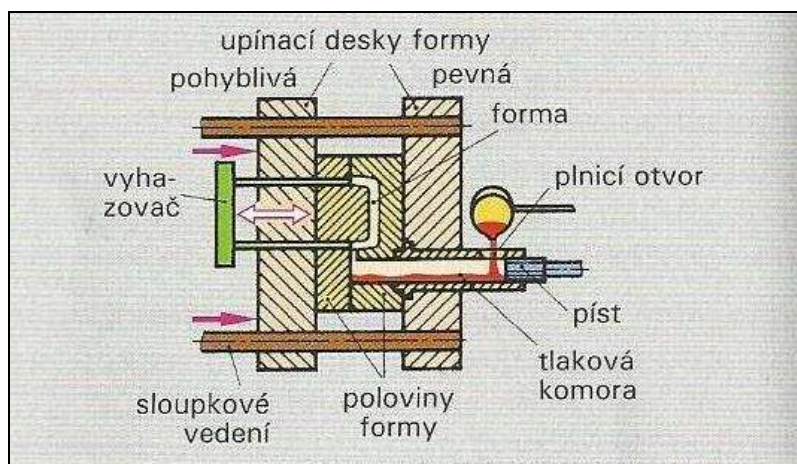
Kov je taven přímo ve stroji a vhání se do formy pístem nebo stlačeným vzduchem (obr. 30). Tavicí pec je součástí stroje, ze které je roztavený kov tlačěn přímo do formy. Používá se k odlévání nízko tavitelných slitin. Pohon taveniny pístem je používán u starších konstrukcí, u novějších je upřednostňován tlak vzduchu. Píst, který je ponořený do roztaveného kovu snižuje čas cyklu. Snížení času cyklu je způsobeno hlavně automatickým plněním komory. Výhodou je také dobrá kontrola teploty roztaveného kovu, která dovoluje nižší lisovací tlaky. Lepší tekutost umožňuje plynulé plnění formy a díky tomu se mohou odlévat odlitky s tenčími stěnami. Nedochází zde k ochlazení kovu, jako u strojů se studenou licí komorou. Hlavní výhodou je téměř nemožné znečištění taveniny oxidací nebo atmosférou v komoře pístu. Struktura je méně zhutněná u nižších plnicích tlaků. Stroje s teplou tlakovou komorou jsou však více nákladné [32, 33].



Obr. 30 Tlakové lítí s teplou tlakovou komorou [34].

1.5.2 Stroje se studenou tlakovou komorou

Kov je taven mimo stroj a potřebné množství kovu se nalévá do tlakové komory a pístem vtlačuje do formy (obr. 31). Roztavený kov je dopravován do tlakové komory ručně slévačskou lžící. U moderních strojů je toto plnění zajištěno automatickými dávkovacími přístroji bez zásahu obsluhy. Dávkovače zajistí velmi přesné množství tekutého kovu dopravovaného do studené komory a dále je hlídána teplota nalévaného kovu. Při nedodržení nastavené teploty, dávkovací zařízení začne signalizovat nedodržení pracovních podmínek a proces vstřikování tekutého kovu není realizován. Stroje mohou být uspořádány buď horizontálně, nebo vertikálně. Roztavený kov je pevně spojený s hydraulicky ovládaným pístem a vtlačěn do dutiny formy. Vstřikovací tlaky jsou od 20 do 70 MPa. Metodou studené tlakové komory jdou odlévat slitiny hliníku, zinku i hořčíku. U vyšších vstřikovacích tlaků a vyšší rychlosti pístu může být dosaženo lepší vnitřní struktury odlitku. Výhodou studené tlakové komory jsou nižší udržovací náklady. Tento cyklus je pomalejší a má horší kontrolu nad teplotou kovu. Kov je ochlazován v komoře před plněním. Tavenina může také oxidovat a být znečištěna atmosférou v komoře nebo při nalévání do komory [32, 33].



Obr. 31 Tlakové lítí se studenou tlakovou komorou [34].

2 ROZBOR STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE VÝROBY

Díky exkurzi ve výrobních prostorách AB komponenty je popsána současná výroba dveří pro rozváděč UniGear od řezání plechu na laseru, ohýbání, svařování, broušení až po práškové lakování. Rozebrány jsou zde typy strojů, robotů a dalších pomocných zařízení pro výrobu dveří.

2.1 Pálení plechu laserem

Dveře rozváděče UniGear jsou vyráběny z černého plechu válcovaného za studena s označením DC01-B-m dle EN 10 130. Ocel je vhodná pro tváření za studena a je dobře svařitelná. Tabule plechu jsou dodávány v rozměrech 1 000 x 2 000 mm nebo 1 250 x 2 500 mm s tloušťkou 2 mm, nebo také 3 mm pro některé výztuhy. Podle velikosti dveří lze vypálit z jedné tabule i několik výpalků. Pálení na laseru je vysoce produktivní metoda dělení materiálu, která může řezat všechny oceli včetně korozivzdorných ocelí, slitiny hliníku a další materiály. Konstrukční oceli do tloušťky 25 mm, korozivzdorné oceli do 12 mm a slitiny hliníku do 5 mm. Nemohou však být páleny lesklé materiály s vysokou odrazivostí povrchu nebo povlakované materiály, u kterých dochází vlivem tepelného ovlivnění laseru ke ztrátě ochrany povlaku. U povlakovaných materiálů také dochází k spalování povlaku a tím vzniku škodlivých látek. Lze použít speciálních laserů, které pálí i některé materiály s vyšší odrazivostí. Laser dosahuje při řezání vysokých rychlostí, u tvrdších materiálů se však rychlost zmenšuje. Výhodou laseru je, že dokáže pálit hodně složité tvary s přesností $\pm 0,05$ mm a dochází pouze k malému tepelnému ovlivnění. Šířka řezné mezery je dána druhem a tloušťkou materiálu a bývá 0,02 až 0,2 mm. Laser dosahuje vysoké kvality řezu s drsností Ra 3,6 až 12 μm . Pro výrobu dveří je použit laser značky balliu.be (obr. 32). Tabule plechu jsou přemísťovány na laser pomocí manipulátoru s vakuovými přísavkami, zavěšeném na mostovém jeřábu. Výkon tohoto CO₂ laseru je až 5,5 kW a dosahuje pojzdových rychlostí 150 m/min. Nejvyšší hmotnost páleného polotovaru je 1 250 kg s rozměry maximálně 1 500 x 3 000 mm [35].



Obr. 32 Laser balliu.be [35].

2.2 Ohýbání plechu

Po předchozím pálení na laseru a docílení požadovaného tvaru plechu pro tváření je plech s tloušťkou 2 mm ohýbán na ohraňovacím lisu. Dveře kabelového prostoru a prostoru vypínače jsou tvořeny 12 ohyby, dveře NN prostoru 9 ohyby. Nejprve jsou ohnuty 2 ohyby pod úhlem 45° a poté jsou dodělány ostatní ohyby pod úhlem 90° na obou stranách. Nakonec jsou dohnuty horní a spodní strany dveří, taktéž o 90° . Všechny ohyby mají rádius 1 mm. Ohýbání plechu dveří je prováděno na CNC hydraulickém ohraňovacím lisu holandské výroby DARLEY EHP 175 (obr. 33). Lis působí silou 175 t a může vytvářet ohyby délky až 3 000 mm. Jedná se o robustní a výkonný ohraňovací lis hydraulické koncepce pohonu. Ohraňovací lisy DARLEY se vyznačují dobrou spolehlivostí, dlouhou životností, vysokou přesností a jsou vhodné pro výrobu středně dlouhých dílců [36].



Obr. 33 CNC ohraňovací lis DARLEY EHP 175 [36].

U ohýbání je ruční podávání plechu pracovníkem do ohýbačky zastoupeno robotickým manipulátorem typu ANTIL 50L APR (obr. 34). Jedná se o robotické rameno, které má na konci vakuové přísavky pro manipulaci s plechem (obr. 35, obr. 36). Automatické ohýbání plechu pomocí robotického ramena zvyšuje produktivitu práce a návratnost investic. Tento robot pro automatické ohýbání přišel na trh v roce 1995, kdy byl nejprve navržen pro kusy jen do hmotnosti 50 kg, dnes je však schopen manipulovat s díly vážící i několik set kilogramů. Na tomto robotickém ramenu lze provádět veškeré ohýbací operace a je jím plně nahrazena ruční obsluha včetně otáčení a naklánění plechu. Při použití robotického manipulátoru se zvyšuje přesnost ohybů. Celková manipulace jako např. otáčení, naklápění je výrazně urychleno oproti ruční manipulaci. Zařízení se skládá z pěti os, z nichž tři jsou lineární a dvě rotační. První lineární osa je vodorovná, rovnoběžná s pracovním stolem, druhá je svislá a třetí kolmá k lisu [36].

Na konci ramena, kde se nachází vakuové přísavky, jsou pak dvě rotační osy, které se chovají jako zápěstí a jejich pomocí lze přichytávat plech v jakékoliv úhlové poloze. Zápěstím s povoleným hřídelem je přiváděn stlačený vzduch k upínacímu zařízení. Pro snadné programování jsou k robotu připojeny snímače, které umožňují definovat přesnost polohy a okraje záhybu, aby obsluha nemusela provádět žádnou úpravu. Umožňují také neustále sledovat činnost procesu ohýbání, oznamovat jakékoliv anomálie, a tím zabránit výrobě zmetků. Při nečinnosti manipulátoru je svislé rameno uvedeno do nejvyšší svislé polohy, aby u ohraňovacího lisu mohl např. operovat vysokozdvizný vozík [37, 38].



Obr. 34 Manipulační robotické rameno ANTIL 50L APR [37].



Obr. 35 Odebírání plechu [37].



Obr. 36 Ohýbání plechu [37].

2.3 Svařování dveří UniGear

Na dveřích UniGear jsou klasické švové a koutové svary, které jsou vytvářeny obloukovou metodou MAG pomocí robotického ramena. Svařování dveří je děleno do tří etap. Nejprve jsou k sobě svařeny dosedající ohyby v rozích dveří, poté se svařují výztuhy a další komponenty (obr. 37). Celkový čas svařování dveří je cca. 45 min. Výztuhy s většími rozměry se nesvařují po celé délce dosedající plochy mezi výztuhou a dveřmi, protože by mohlo docházet ke zkroucení plechu vlivem velkého tepelného zatížení. Proto jsou tyto výztuhy svařovány na více místech, s délkou housenek cca. 30 mm. Pro lepší pevnost svarového spoje jsou ve výztuze vytvořeny, pro návar mezi dveřmi a výztuhou, otvory ve tvaru obdélníka. Kroucení plechu může být také minimalizováno podložním plechem mědí, která dobře odvádí teplo z místa svařování. U svařování robotem je velmi důležité dobré upnutí svařovaných dílců, aby veškeré svařované dílce na sebe dobře dosedaly. Lidská obsluha nesmí kvůli bezpečnosti jakkoli zasahovat do automatizovaného procesu svařování nebo jakkoli asistovat robotickému manipulátoru, např. dotlačením konkrétního místa plechu. Některé spoje mohou být následně dovařeny ručně.



Obr. 37 Ukázka svarů u dveří rozváděče.

Dveře rozváděče UniGear jsou svařovány obloukovou metodou MAG za pomoci robotického ramena ALMEGA AX-V6L (obr. 38). AX-V6 je vysokorychlostní manipulátor s plynulým pohybem, který výrazně zkracuje výrobní čas. Rychlejší a plynulý pohyb je docílen pomocí servo systému. Je určen pro svařování MIG/MAG/TIG, svařování TANDEM MAG, svařování hliníku metodou MIG a řezání plazmovým obloukem. Díky takovým vlastnostem, jako je vestavěný snímač otřesů ve svařovacím hořáku a vylepšená konfigurace systému, je AX-V6 ideální pro vysokorychlostní obloukové svařování. Pracuje s přesností $\pm 0,08$ mm. Obloukový svařovací robot s označením AX-V6L se vyznačuje delším ramenem pro větší dosah a je ideální pro práci s velkými svařenci. Horizontální dosah ramene je až 2 000 mm, vertikální 3 570 mm. Stejně jako ostatní roboti řady AX je i AX-V6L vybaven jednotlivými senzory na každé ose, aby nedošlo ke kolizi [39].

Pohyb v plném rozsahu je umožněn pomocí nezávislého kloubového ramena na konci robota. Robot se skládá z šesti rotačních os, z nichž každá má své meze otočení o nějaký úhel. Například první rotační osa u základny robota má rozsah $\pm 170^\circ$ a osa na konci robota $\pm 360^\circ$. Užitečné zatížení robota je 6 kg. Pro svařování robotem je používán nepoměděný svařovací drát Speed Road KOWAX[®] vyrobený za použití nanotechnologie, určený pro vysokorychlostní svařování (vysoké podávací rychlosti a vysoké svařovací proudy). Svařovací drát je vhodný pro svařování jemnozrnných konstrukčních ocelí s minimální mezí kluzu do 460 MPa ve směsném plynu Ar/CO₂ nebo v čistém CO₂. Drát o průměru 1,2 mm je dodáván v papírových sudech s průměrem 510 mm, vážících 250 kg [39].

Robot je programován pomocí dotykového zařízení, které je zobrazeno na obr. 38 vpravo. Naprogramování svařování na 5,7 palcovém displeji, pro standardní dveře rozváděče UniGear, trvá přibližně 8 hodin. Všechny vytvořené programy lze do zařízení uložit a také zálohovat za pomoci USB. Na základě předem zvolených parametrů, jako je tloušťka plechu, typy svarů a rychlost pojezdu je automaticky vypočítán optimální svařovací proud a napětí [40].



Obr. 38 Svařovací zařízení ALMEGA AX [41].

2.4 Broušení svarů

Po svaření musí být na vnější straně dveří z estetického důvodu zabroušeny všechny housenky. Na vnitřní straně se svary brousí jen na požadavek zákazníka. Vzhledem k broušení pouze vnějších dobře přístupných ploch a ke zvýšení produktivity, je ruční broušení nahrazeno robotickou bruskou OTC All-V133 (obr. 39). Pomocí ruční brusky se poté dobrousí některé místa, kam robot nemá přístup. Jedním z hlavních výhod tohoto robota je, že dokáže regulovat tlak při broušení a tím zvýšit kvalitu obrobenej plochy. Tento tlak je v průběhu broušení měřen za pomoci adaptivního kompenzačního členu mezi bruskou a ramenem robota.

Robot dokáže brousit ve všech směrech s konstantní přítlačnou silou. Zabudovaný gyroskop, který je řízen počítačem, umožňuje nastavení různé hmotnosti nástroje. Na základě polohy nástroje a obrobku vůči zemské ose taky přesně stanovuje okamžik tlaku, a to vše při probíhajícím broušení [42].



Obr. 39 Broušení robotem OTC AII-V166 [42].

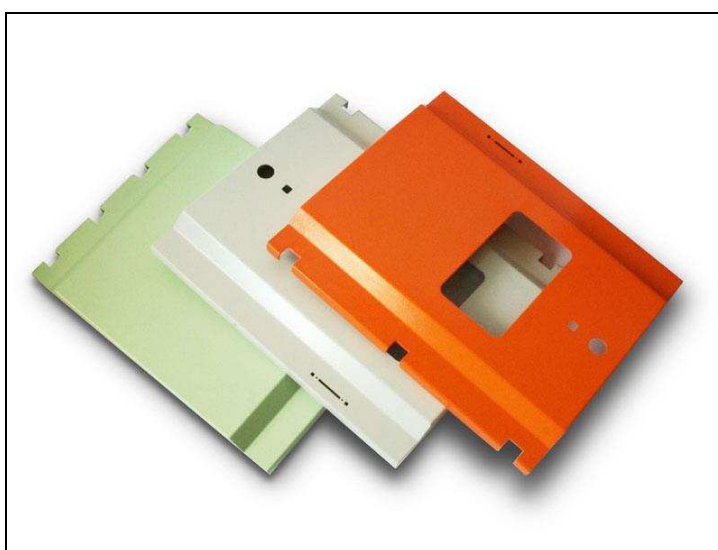
Ke zvýšení efektivity procesu přispívá také automatická výměna nástrojů s různými typy brusných kotoučů (obr. 40). V zásobníku mohou být umístěny kotouče s odlišnou zrnitostí, nebo i náhradní stejné zrnitosti, pokud by docházelo k velkému opotřebení kotouče. Díky systému zásobníku nástrojů je možné provádět několik broušení nebo dokončovacích operací na jedné pracovní stanici a zvýšit časovou využitelnost stroje [42].



Obr. 40 Zásobník brusných nástrojů [42].

2.5 Práškové lakování

Po výrobě dveří a povrchové úpravě všech kosmetických vad je celý povrch práškově lakován epoxidovým práškem. Tento povlak je nanášen na dveře hlavně z důvodu odolnosti proti korozi, dobré otěruvzdornosti, ale také dobrému estetickému vzhledu. Dílce lakované epoxidem mají dobrou chemickou odolnost a jsou využívány pro korozní prostředí, proto se vyskytují u elektro rozváděčů a malých elektrických rozvoden např. u domů. Povlak může mít matný i hladký povrch s různými odstíny barev (obr. 41). Standardní barvou pro dveře UniGear je světle šedá. Hlavní výhody povrchových úprav práškovými barvami jsou kvalitativní a ekonomické, spojené s výhodami nanášení práškových barev. Další výhody jsou estetický a vzorový vzhled nalakovaných výrobků s barvami. Epoxidové barvy však nejsou recyklovatelné [43, 44].



Obr. 41 Varianty lakování dveří pro rozváděč UniGear [45].

2.5.1 Příprava povrchu – odmaštění

Před samotným práškovým lakováním musí být provedena příprava povrchu, která se skládá z odmaštění a dalších předúprav. Cílem odmaštění je zbavit se všech mastnot, tuků, olejů, solí a dalších nečistot přichycených na výrobku. Existuje více způsobů odmašťování, jako je alkalické odmašťování, organickými rozpouštědly (hořlavé, nehořlavé), emulzní odmašťování, elektrolytické odmašťování, pomocí ultrazvuku, horkou párou nebo opalování. Nejvíce rozšířeným je odmašťování alkalickými roztoky. Hlavní výhodou alkalických roztoků je, že jsou ekologičtější než organická rozpouštědla. Pro alkalické odmašťování se nejvíce používají hydroxid sodný, uhličitan sodný nebo křemičitany spojené se smáčedly. Koncentrace účinných látek v roztoku je 10 %. Odmaštění je prováděno při teplotě roztoku 40 až 70 °C, po dobu 1 až 20 min. Vše závisí na míře znečištění výrobku. Odmašťování alkalickými roztoky může být prováděno dvěma způsoby. Buď ponořením v lázni, kde proudí roztok nebo v komoře pomocí tlakového oplachu.

U odmašťování v lázni musí být v průběhu odebírána mastnota z hladiny, aby dále neuplývala na výrobek. Při postřiku zase hlídat, aby se netvořila pěna. Po každém odmaštění alkalickým roztokem musí následovat oplach teplou vodou. Pro kvalitní oplach by měla být používána demineralizovaná voda (tzv. demi voda). Pro dveře UniGear je používáno několik odmašťovacích komor od výrobce Ideal Line. Komory jsou umístěny v lince za sebou, v nichž je prováděno odmaštění, oplach a sušení. Rozměry komor jsou 2 000 x 1 500 x 400 mm, což umožňuje odmastit i víc výrobků v komoře. V komorách je na součást vyvíjen tlak 4 až 5 barů. Pro speciální účely je možno užít i čerpadlo s podstatně vyšším tlakem. Při samotném stříkání je výrobek zavěšen na věšáku, který pomalu prochází linkou a kolem něj se v komoře pohybují postřikové rámy. Celková délka linky může být i několik set metrů. Tímto systémem je zajištěno, že se čištěné díly při mytí vzájemně nepoškodí. Celý stroj je vyroben z korozivzdorné oceli, což umožňuje použití široké škály chemikálií [43, 46].

2.5.2 Příprava povrchu – moření

Po odmaštění se dveře UniGear moří, aby se otevřely póry na povrchu kovů a prášek lépe ulpěl na povrchu. Mořením se rozpouští kov, vzniká vodík a rozpustné soli. Soli se odstraní oplachem, ale atomární vodík vniká do krystalické mřížky mořeného materiálu, koncentruje se a následně uvolňuje při vypalování barev. Mořením jsou také odstraněny z povrchu okuje, oxidy vzniklé předchozím chemickým, mechanickým zpracováním nebo pouze vlivem atmosféry. Moření probíhá za pomoci kyselin nebo hydroxidů podle druhu kovu. Kyseliny jako je např. dusičná a fluorovodíková jsou žíraviny a při práci s nimi musí být bráno zvýšené bezpečnosti. Důležitá je doba moření, která závisí na mořeném kovu. Zpravidla se čas moření pohybuje v řádech několika sekund nebo minut. Stejně jako u odmaštění jsou dveře UniGear mořeny postřikem. Moření postřikem je používáno pro velké výrobky. Do mořícího gelu lze přimíchat barvicí indikátor, podle kterého se snadno rozlišuje nastříkaný a nenastříkaný povrch [43].

2.5.3 Zinko-fosfátování

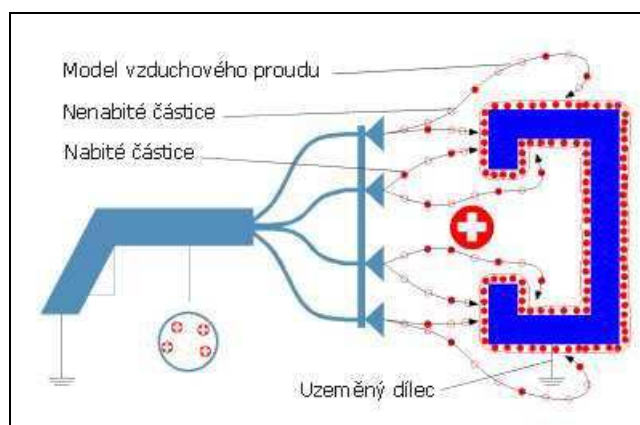
Fosfátování ocelových dílů je prováděno v lázni nebo nástřikem rozpustných fosforečnanů zinku. Na dílu se vytváří pevný povlak fosforečnanu zinku, který je základem pro nanášení nátěrových hmot a zabraňuje vzniku koroze pod jejich vrstvou. Vrstva je tvořena z roztoku kyseliny fosforečné a jejích solí. Fosfátový povlak může být základem pro práškové lakování a zároveň vytváří krátkodobou antikorozi ochranu, než dojde k práškovému nástřiku. Fosfátovat jde kromě oceli také železo, zinek, hliník a jeho slitiny. Vrstva je velmi tenká a kompaktní, její plošná hmotnost se pohybuje od 0,2 do 0,5 g.m⁻². S větší tloušťkou vrstvy roste křehkost povlaku a klesá přilnavost laku v namáhaných místech. Při fosfátování v lázni se dle použitého kovu určuje chemické složení lázně, u které je dodržována teplota (± 5 až 8 °C), správné pH (5 až 7) a koncentrace. Nejeefektivnější vylučování fosfátu je při dodržení zmíněných podmínek [44].

Proces fosfátování oceli trvá asi 20 až 30 min při teplotě 90 °C. Může být urychlen pomocí oxidačních činidel (chlorečnany, dusičnany), poté fosfátování v lázni trvá přibližně 5 až 10 min při teplotě 60 °C a u nástřiku 1 až 5 min. Zinečnaté fosfátování je na rozdíl od železitého fosfátování náročnější a zatěžuje víc životní prostředí, avšak má větší antikorozi ochranu. Díly se zinečnatým fosfátováním jsou používány pro exteriérové výrobky, a proto jsou použity k výrobě dveří pro rozvaděče Unigear a dalších, které jsou vystaveny internímu i venkovnímu prostředí [46].

2.5.4 Epoxidové lakování a vytvrzení

Dveře UniGear jsou lakovány epoxidovým práškem, který se skládá z epoxidové pryskyřice, vhodných tvrdidel, aditiv, plniv a barevných pigmentů. Epoxidové barvy se vyznačují vysokou přilnavostí k jakémukoliv povrchu, jsou odolné vůči rozpouštědlům, louhům, kyselinám. Jedná se o tvrdé otěruvzdorné povlaky odolné proti korozi a chemickým látkám. Povlaky jsou dobře vytvrditelné při nízkých teplotách do 200 °C. Nevýhodou je však drobení při UV záření, žloutnutí při vyšších teplotách a cena. Prášky jsou vyráběny v různých barevných odstínech, jak v lesklém, tak v matném provedení. Před nanášením barvy musí být povrch dobře odmaštěn, zbaven všech okujů a rzi. Pro lepší korozní odolnost epoxidových povlaků se doporučuje před nástřikáním prášku podklad upravit zinečnatým nebo železitým fosfátem. Epoxidové povlaky se používají nejvíce v chemickém a medicínském průmyslu, pro kancelářské nábytky, hračky a elektrické rozvaděče [47, 48].

Epoxidový prášek je nanášen na povrch za pomoci aplikační pistole, která pracuje na principu elektrokinetického nabíjení zvané TRIBO (obr. 42). Ještě před stříkáním je prášek smíchán v aplikačním zařízení se stlačeným vzduchem a hnán tlakovou hadicí do aplikační pistole. Třením prášku o stěny aplikační pistole, tlakové hadice a dalších zařízení, kterými prochází, jsou částičky prášku elektrokineticky nabíjeny. Všechny části pistole, o které tře, jsou vyráběny z teflonu. Teflon je materiál, který dobře přijímá elektrony. Proto při tření směsi prášku a stlačeného vzduchu o trubici pistole získává prášek kladný náboj a nabíjí trubici záporným nábojem. Pistole je uzemněna a záporný náboj přechází do země. Stříkaný dílec je také uzemněn a přichytává nabitý prášek. Toto nabíjení slouží k tomu, aby prášek ulpěl na povrchu, než dojde k jeho roztavení a vypálení v peci [49].



Obr. 42 Elektrokinetické nabíjení TRIBO [50].

Dnes již jsou pro práškové lakování dílců speciální stříkací komory (obr. 43), které zvyšují produktivitu výroby. Stříkací komory jsou dostupné v různých velikostech, dle rozměrů dílce. Dveře UniGear se stříkají na lince Ideal Line s kabinou o maximálních rozměrech dílce 2 000 x 1 500 x 400 mm. Komory se vyrábějí buď z korozivzdorné oceli, nebo z plastu. Na vnitřních stranách komor je rozmístěno několik automatických stříkacích pistolí, které stříkají dílec procházející komorou, zavěšený na manipulátoru. Po nastříkání dílce v komoře, je kontrolován a popřípadě dostříkán ruční pistolí. Ruční pistolí se dostříkají místa, kam se epoxidový prášek nedostal [48, 51].



Obr. 43 Stříkací komora [51].

Pevný povrch je vytvořen teprve po vypálení v peci. Vrstva je vytvrzována (slangově vypalována) v komorových horkovzdušných pecích. Dojde k roztavení, spojení a následnému vytvrzení práškového povlaku. Teplota v peci nesmí přesáhnout 200 °C, docházelo by pak ke ztrátě přilnavosti a odlupování práškové vrstvy. K ohřevu horkovzdušné pece se používá zemní plyn nebo elektrické vytápění. Proudění tepla v peci je zajištěno pomocí větráků. Doba vytvrzování závisí na tvaru a velikosti výrobku a druhu práškového povlaku. Většinou se pohybuje od 10 do 30 min. Po vytvrzení se může s výrobkem ihned manipulovat. Komorové pece mohou být vratné s jedněmi dveřmi nebo průchozí s dvěma dveřmi proti sobě, u kterých je lepší manipulace s dílci [43].

3 NÁVRH INOVOVANÉ TECHNOLOGIE VÝROBY

V úvodu kapitoly jsou popsány vybrané technologie a jejich pozitiva i negativa při výrobě dveří rozváděče UniGear. Navrženy jsou pak čtyři technologie vedoucí k zefektivnění výroby dveří rozváděče UniGear. První dva návrhy inovované technologie vedou k rapidní změně celkové technologie výroby. Další návrhy jsou zaměřeny na vylepšení výrobku z hlediska odolnosti proti korozi. Pro tyto návrhy budou vyrobeny na ukázkou i vzorky.

V první řadě je asi nejméně vhodnou technologií pro výrobu dveří obrábění, při obrábění by vzniklo velké množství odpadu a to až 80 % z celkového polotovaru. Další technologií, která také nepřichází v úvahu je aditivní metoda Rapid Prototyping (3D tisk). V dnešní době jsou už sice vyráběny i součásti z kovových materiálů, ale pořád jde jen o výrobu malých zkušebních dílců (prototypů). Kovové prášky jsou poměrně finančně náročná záležitost a vzhledem k rozměrům dveří by bylo potřeba velké množství. Také 3D tiskárna by musela být nebývalých rozměrů z důvodu velikosti dveří.

3.1 Tlakového lití slitiny hliníku

Návrh inovované technologie výroby vede k progresivní změně celého výrobního procesu. U tlakového lití dochází k rapidní změně technologie výroby. Nebude se vycházet z tabule plechu, jako tomu bylo u stávající výroby, ale dveře se budou tlakově odlévat. Výběrem technologie tlakového lití se z procesu výroby dveří odstraní technologie děrování, řezání, ohýbání, svařování a broušení, čímž by výrobní cena měla klesnout při větším množství roční výroby. Aby byla dodržena alespoň přibližně stejná hmotnost dveří, je třeba volit tlakové lití, které je vhodné pro výrobu tenkostěnných odlitků. Bohužel nelze tlakově odlévat tenkostěnné slitiny železa, protože v ocelové formě dochází k rychlému tuhnutí slitiny a k nedostatečnému dotečení do celé formy. Slitinu nelze přehřát na vyšší teplotu, jelikož to ocelová forma nedovolí.

Možnou náhradou za ocel je slitina hliníku $AlSi_9Cu_3$, která je nejpoužívanější pro tlakové odlévání. Vzhledem k nižší hustotě a hmotnosti by se dalo uvažovat o větší tloušťce dveří (nárůst tuhosti dveří), než je u současného stavu. Velké rozměry dveří budou pravděpodobně vyžadovat dodatečné vyztužení žebry k udržení tvarové stálosti, kvůli vnitřnímu pnutí vznikajícímu po nerovnoměrném chladnutí. Také bude zapotřebí zkonstruovat více náliček rozmístěných na několika místech. Technologie tlakového lití používá ocelové formy třídy 19 s nízkou drsností povrchu odlitku. Výhodou je kvalitní povrch odlitku bez nutnosti dodatečné úpravy. Drsnost povrchu odlitku z ocelové formy je dostatečná i pro některé funkční plochy dveří. Výhodou tlakového odlévání je, že dveře jsou zhotoveny v jedné operaci, což výrazně zkrátí čas výroby. Ocelové formy jsou nákladné na výrobu, při více rozměrových variantách dveří je nutné zvážit finanční dopad všech forem na celkovou výrobní cenu dveří. Vzhledem k tomu, že rozměry dveří jsou až 1 x 1 m, musely by se vyrobít větší formy a použít i větší stroj, což vede k dalšímu nárůstu nákladů, proto je tento návrh inovované technologie z technicko – ekonomických důvodů zavrhnutý.

3.2 Nekonenční tváření dveří

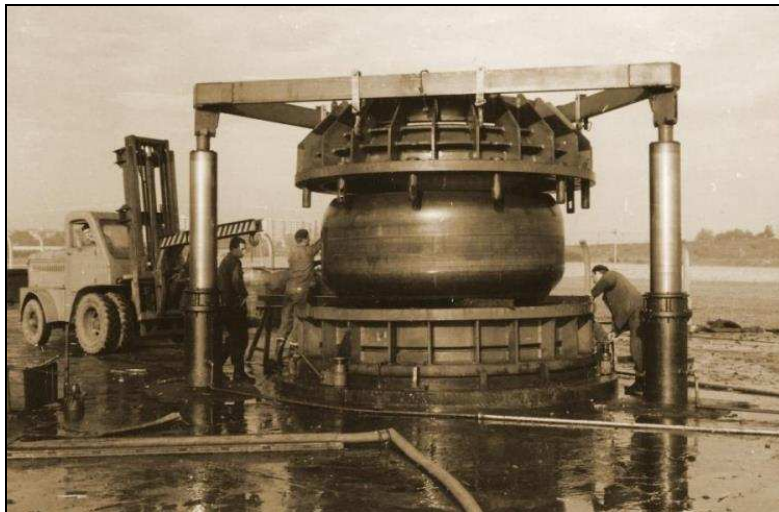
Nekonenční technologie tváření, jako je tváření kapalinou (Hydroform) a tváření výbuchem, jsou schopné nahradit dosavadní konvenční technologii tváření pomocí ohranovacího lisu. Díky nekonvenčním metodám by došlo k výraznému zkrácení času výroby, kdy většina ohybů u dveří by byla zhotovena v jedné operaci. Výhodou je také, že nekonvenční technologie jsou šetrné k pokoveným plechům nebo jiným materiálům, díky tvářecím médiím. Při tváření metodou Hydroform je jako tvářecí médium kapalina s pryžovou membránou, u tváření výbuchem výbušnina v kapalině v polyetylenovém vaku. Největší nevýhodou těchto technologií je pořizovací cena, hlavně z hlediska robustní konstrukce strojů. Velké stroje jsou zapotřebí kvůli rozměrům dveří pro UniGear. Plech největších dveří má v rozvinu 1 200 x 1 000 mm. Pořizovací cena stroje Hydroform s rozměry odpovídající dveřím je zhruba dva miliony euro. Návrh ceny stroje by byla dosažena, pokud by stroj byl v provozu permanentně 24 hodin denně. Další nevýhodou je cena za formy, které musí přesně kopírovat tvar dveří. Dveře pro UniGear jsou navíc vyráběny ve více jak čtyřiceti rozměrových a tvarových variantách.

Na světě je také málo výrobců těchto strojů a jedním z nich je německá firma Schuler Hydroforming. Pro použití menších tlaků je touto firmou vyvíjena nová technologie Thermal-supported Hydroforming. Za využití teploty je snaha dosáhnout lepší tvárnosti a tím získat i lepší potenciál přetvořitelnosti u lehkých materiálů jako jsou hořčík a hliník. Nejvyšší teploty, jaké je zatím možné použít jsou do 300 °C, a to kvůli limitovaným možnostem termálních olejů. Na obr. 44 je zobrazen jeden z největších vyráběných hydrolisů [52].



Obr. 44 Hydrolis 50 MN od firmy Schuler [52].

Tváření výbuchem, stejně jako Hydroforming, se vyplatí při vyšších sériích. U výbuchu je navíc potřebné vybudovat prostor v podobě betonové jámy, kde je uloženo zařízení na tváření výbuchem (obr. 45). Jsou zde vysoké nároky na bezpečnost a obsluhovat zařízení mohou jen vysoce kvalifikovaní pracovníci. V české republice využívají této technologie jen málo firem, např. Syntesia, Vítkovice, Poldi nebo Chepos.



Obr. 45 Vyjímání nádoby u tváření výbuchem [53].

3.3 Ochrana nedostupných ploch dveří

Návrh je zaměřen na zabránění vytváření koroze v místech výztuh dveří, kam se automatickým procesem nanášení práškový nátěr nedostane. Rozváděče UniGear jsou provozovány po celém světě, kde mohou být vystaveny zhoršeným klimatickým podmínkám, např. Malajsie, Indonésie, kde se vyskytuje vysoká relativní vlhkost ovzduší po celý rok, nebo provozování rozváděče v industriálních oblastech se zvýšeným obsahem oxidů dusíku a síry. Základní materiál z černého plechu snadno podléhá korozi na nechráněných místech, proto časem může z uzavřené výztuhy vytékat rez.

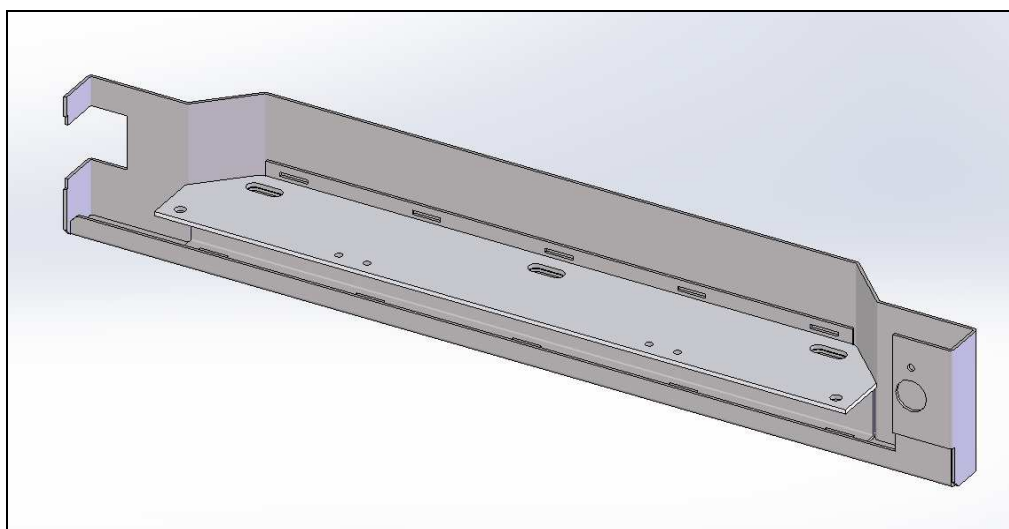
3.3.1 Technologické otvory

Inovovaný návrh spočívá ve vytvoření technologických drážek u jedné z výztuh, aby práškový nátěr mohl pokrýt celý prostor pod výztuhou. Je to neekonomičtější a nejsnazší změna vzhledem k náročnosti výroby i zvýšení nákladů. Dojde pouze ke změně rozvinutého tvaru výztuh, přidáním několika otvorů ve tvaru drážky. Nevýhodou je ovlivnění tuhosti výztuh, přidáním těchto drážek. Drážky je možné vytvořit pouze na jedné ze dvou pravouhlých stran, protože na jedné straně doléhá pryžové těsnění mezi dveřmi a kostrou rozváděče UniGear. Nakonec lze technologické otvory zaslepit např. plastovými krytkami, aby se pod výztuhu nedostávaly nečistoty a další částice. Byly navrženy čtyři varianty (obr. 46) s různou velikostí, počtem a polohou drážek, které se vyrobily a zhodnotily.



Obr. 46 Návrhy technologických otvorů.

Varianta 1 (obr. 47) obsahuje tři menší oválné drážky 10 x 25 mm a nejméně ovlivňuje výslednou tuhost dveřní výztuhy. Nátěr však nebyl schopen dostatečně pokrýt vnitřní plochy dutiny a prošel reálným testem nejhůře. Na obr. 48 je znázorněn horizontální řez části dveří skrze prostor pod výztuhou. Z testu vychází, že drážky nejsou dostatečně velké, aby jimi mohl být proveden správný nástřik plochy pod výztuhou. Je také zřejmé, že již po třech týdnech od výroby vzorků se u nelegované oceli DC01 začne vytvářet koroze, na neochráněných místech epoxidem.

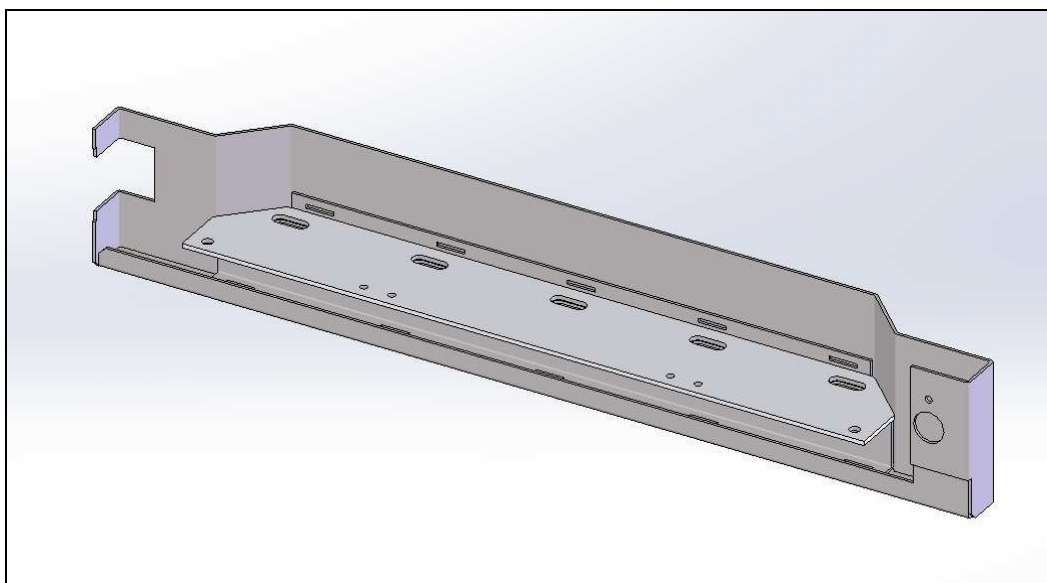


Obr. 47 Varianta 1: 3 x drážka 10 x 25 mm.



Obr. 48 Varianta 1: řez po nástřiku.

Varianta 2 (obr. 49) obsahuje pět drážek taktéž o rozměrech 10 x 25 mm. V důsledku zastoupení více drážek je jen nepatrně více ovlivněna tuhost dveřní výztuhy než u varianty 1. Nátěr se dostal do prostoru pod výztuhou o trochu více než u varianty 1, ale stále nástřik pokrýl jen velmi malou část prostoru, a to opět z důvodu malých rozměrů drážek (obr. 50).

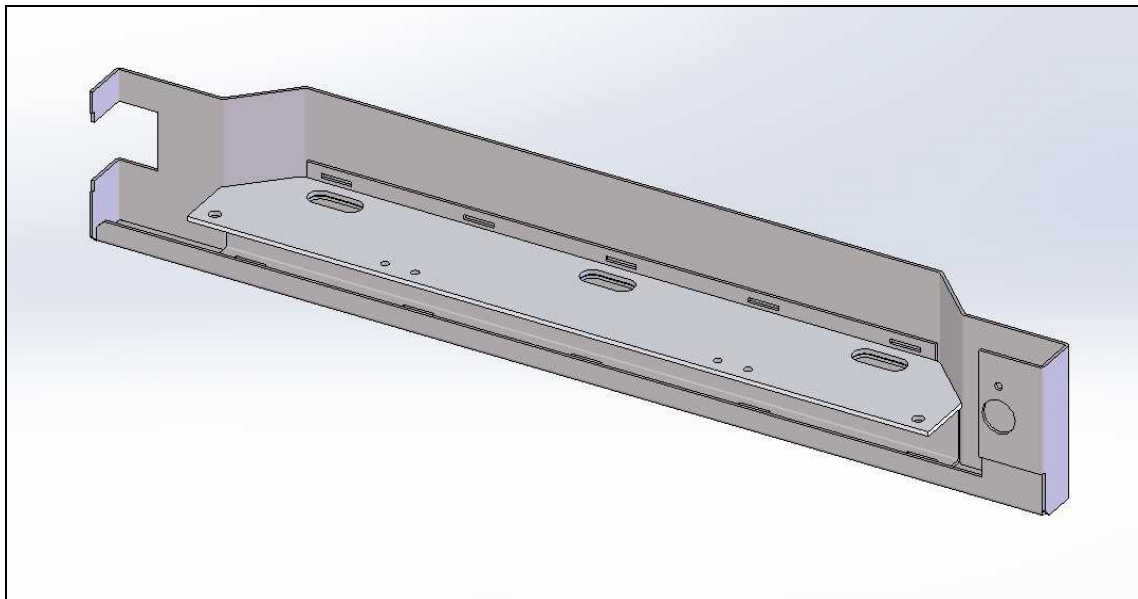


Obr. 49 Varianta 2: 5 x drážka 10 x 25 mm.



Obr. 50 Varianta 2: řez po nástřiku.

Varianta 3 (obr. 51) obsahuje tři drážky tentokrát o velikosti 15 x 35 mm. S rostoucí velikostí otvorů roste výsledná tuhost u výztuhy. U třetí varianty pokryl nástřik daleko větší prostor než u prvních dvou variant, stále však dostatečně nezaplnil celo dutinu. Na obr. 52 jsou zřetelně vidět neochráněná místa, na kterých se vyskytuje koroze.

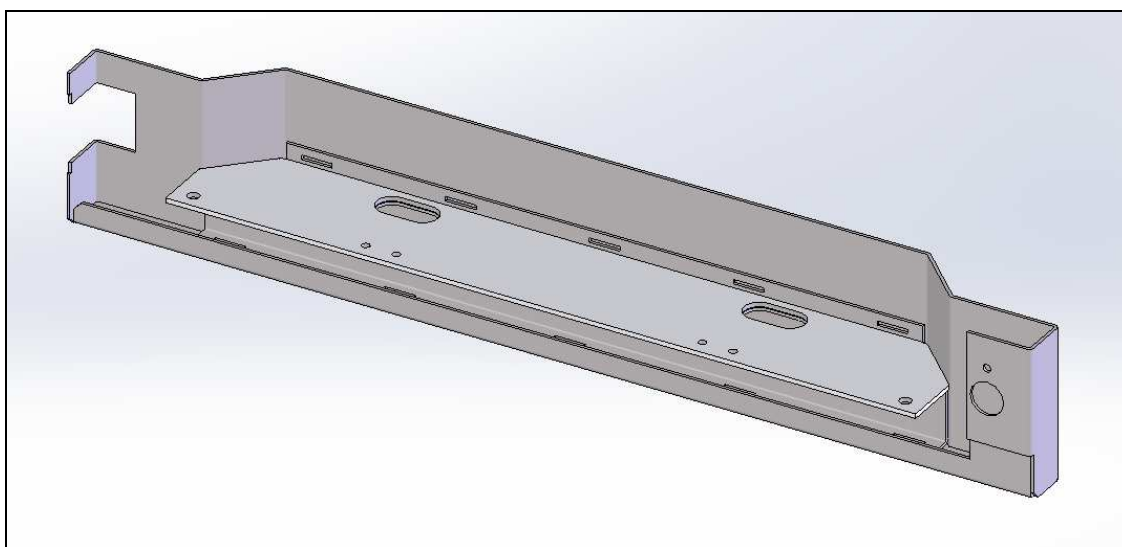


Obr. 51 Varianta 3: 3 x drážka 15 x 35 mm.



Obr. 52 Varianta 3: řez po nástřiku.

Ve vzorku č. 4 jsou vytvořeny dvě drážky s rozměry 20 x 40 mm (obr. 53), které jsou ze všech variant největší a nejvíce tak ovlivňují tuhost dveřní výztuhy. U varianty 4 došlo k nejlepšímu vyplnění prostoru epoxidovým nátěrem (obr. 54). Dokonce i horní část dutiny v blízkosti otvorů byla pokryta práškem, na rozdíl od předchozích variant. Výsledek testu u vzorku 4 není finálním řešením, rozprostření nástřiku uvnitř nebylo ideální. Změnou velikosti, počtu a polohy by mělo dojít ke zlepšení.



Obr. 53 Varianta 4: 2 x drážka 20 x 40 mm.



Obr. 54 Varianta 4: řez po nástřiku.

Při navýšení počtu nebo změny polohy drážek s těmito rozměry by už pokrytí nátěrem mohlo být vyhovující, ale byla by tím zase nejvíce ovlivněna tuhost výztuhy. Na obr. 54 lze také vidět, že v prostoru jedné drážky je více nátěru než u druhé, proto je také u nástřiku důležitá zručnost a pečlivost pracovníka, provádějící práškový nástřik pomocí elektrokinetické pistole.

K ruční stříkací pistoli lze obstarat příslušenství v podobě delšího nástavce (duté trubičky), jehož vnitřní stěny jsou z teflonu, aby částice prachu neztratily náboj. Nástavec slouží k lepšímu přístupu do míst, kam se samotnou pistolí nelze dostat. Jsou dostupné v délkách 10 až 100 cm. Prodloužené trysky (obr. 55) jsou vhodné k práškovému lakování velmi hlubokých a těžko dosažitelných míst. Nevýhodou je, že prodloužené trysky mají jen omezený průměr kvůli dostatečnému rozstříku prášku. Nemohou být tedy aplikovány pro některé malé otvory. Další možností je injekční vstříkovací prut, který je ohnutý a mohl by lépe nastříkat nedostupné prostory pod výztuhou. Má však stejně jako prodlužující nástavce omezující minimální průměr, s kterým se do některých otvorů nedostane [54].



Obr. 55 Nástavce [54].

3.3.2 Katodové lakování

Špatná dostupnost kvůli malým drážkám, by se dala vyřešit tzv. katodovým lakováním (KTM), které patří mezi jednu z nejmodernějších technologií povrchových nátěrů. Většinou je užívána jako podkladová vrstva pro různé nátěry, ale v poslední době slouží i k finální povrchové úpravě. Katodová lakování je prováděna za pomoci elektrolýzy v lázni, kde je kationický epoxidový nebo jiný nátěr smíchan s demineralizovanou vodou. Pro katodování jsou používány nátěrové hmoty na bázi epoxidů s velmi malým obsahem organických rozpouštědel obsahující částice laku ve formě polymerních kationtů. Vložením stejnosměrného napětí mezi výrobek (katodu) a protielektrodu (anodu) se vytvoří elektrické pole, díky němuž putují polykationty ke katodě a začnou se vylučovat na povrchu součástí. S rostoucí tloušťkou povlaku roste odpor vrstvy a klesá rychlost vylučování, které pak přednostně začne probíhat na místech s malou tloušťkou povlaku, na špatně dostupných místech. Při katodové lakování dochází k tvorbě velmi rovnoměrného povlaku na celém povrchu a po dosažení určité tloušťky povlaku se další vylučování zastaví [55].

Katodové lakování minimálně ovlivňuje životní prostředí díky malému množství rozpouštědel, emisí, pevných odpadů a odpadních vod. Povlaky vykazují dobrou korozní odolnost, vysokou přilnavost bez vytváření kapek a mechanickou odolnost. U katodové lakování dochází k minimálním ztrátám barvy, díky prakticky materiálově uzavřenému okruhu (100 % výtěžnost barvy). Proces je snadno automatizován a nevyžaduje kontrolou procesu kvůli nutným opatřením např. při požáru a výbuchu. Celkové zařízení pro katodové lakování je však velmi složité a nákladné. Při různých barevných variantách povrchu dveří Unigear je největší nevýhodou KTM lakování výměna barvy v soustavě. Katodové lakování by se dalo použít jen jako ochranný nátěr před následujícím práškovým lakováním. Po vyjmutí z lázně musí mít stínované prostory (dutiny pod výztuhami) otvory na ideálním místě pro výkot nátěru. U katodové lakování stačí opravdu jen velmi malé otvory, které by nějak neovlivnily konstrukci dveří rozváděče UniGear.

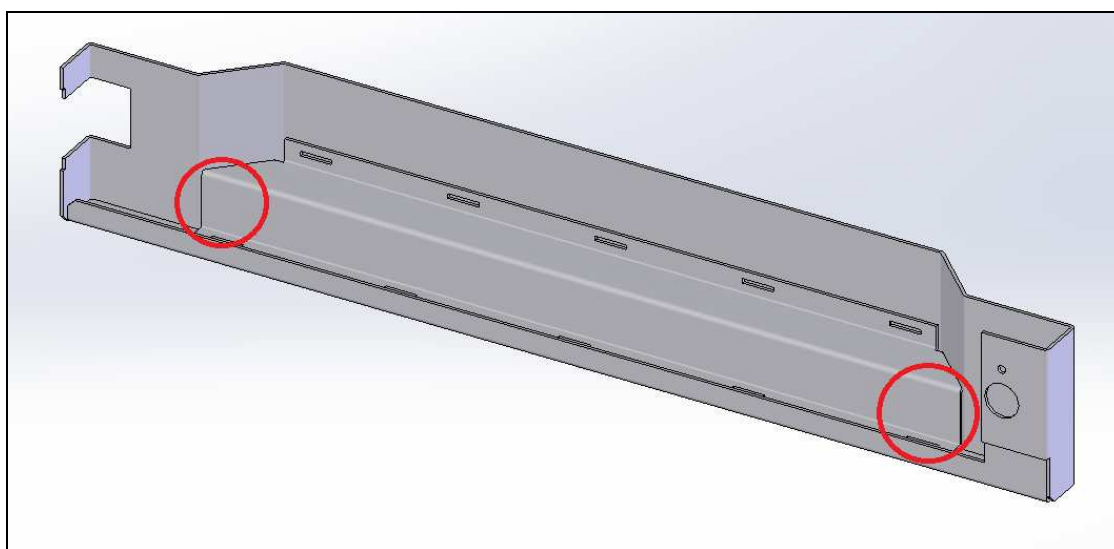
3.3.3 Žárové zinkování

Zabránění vytváření koroze u dveří lze docílit žárovým zinkováním, kdy je černý plech ještě před práškovým lakováním ochráněn zinkovým povlakem. Jedná se o metalurgický proces, při kterém se v lázni vytváří povlak, vzniklý reakcí mezi základním materiálem a taveninou zinku. Zinková lázeň (obr. 57) se skládá z 99,995 % zinku a dalších legujících prvků (cín, olovo, hliník, nikl, křemík). Legury zlepšují korozní odolnost, dodávají povlaku vyšší lesk a napomáhají lepšímu stékání při vyjmutí součásti z lázně. Žárové zinkování je prováděno většinou v ocelových vanách při teplotě 450 až 750 °C. U teplot nad 470 °C jsou zapotřebí keramické vany. Stejně jako u práškového lakování a katodové lakování musí být před žárovým zinkováním povrch důkladně očištěn. Speciální operací předúpravy, kterou se vyznačuje žárové zinkování od jiných technologií je nanášení tavidla [7].



Obr. 57 Žárové zinkování [56].

Výhodou žárového zinkování ponorem je, že tavenina zinku se dostane stejně jako u katoфорézy do veškerých vnitřních částí dutých prostor. Tyto dutiny však musí být opatřeny vhodnými otvory pro vtok a výtok taveniny. Navíc u žárového zinkování jsou zapotřebí větší otvory pro výtok než u katoфорézního lakování. Problémem u výztuh dveří pro UniGear je, že otvory pro výtok taveniny nemohou být umístěny na pohledové vnitřní straně stejně jako u návrhu technologických otvorů, protože zde doléhá pryžové těsnění mezi dveřmi a kostrou rozváděče. Na obr. 60 jsou znázorněny možná umístění otvorů na výztuze pro správný vtok a výtok taveniny, kde však doléhá těsnění.



Obr. 60 Umístění otvorů pro vtok a výtok taveniny.

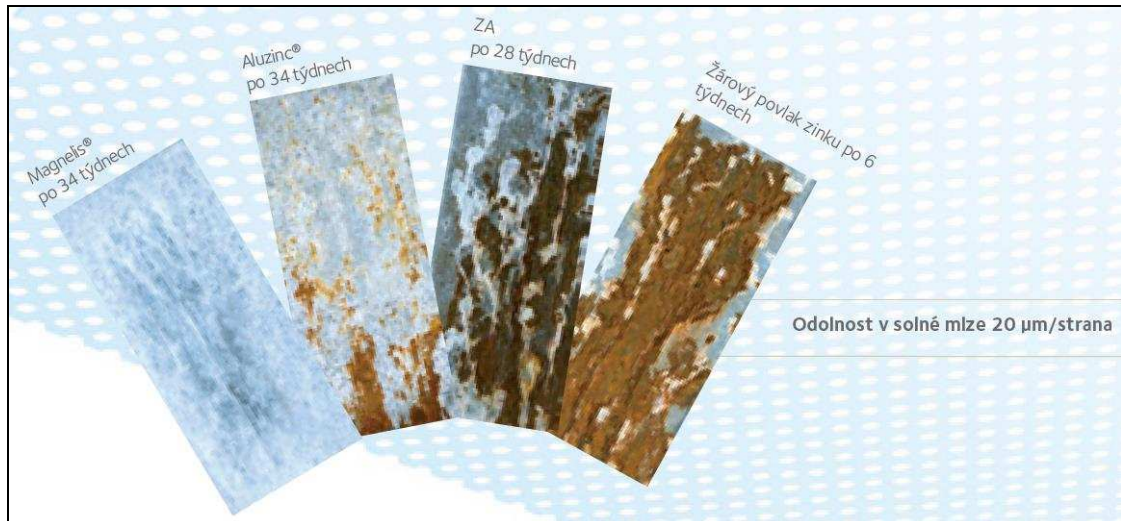
Samotný zinek je měkký kov, ale slitinová fáze železa a zinku, která vzniká při žárovém zinkování má tvrdost srovnatelnou s podkladovou ocelí a je odolná vůči nárazu a otěru. Výhodou žárového zinkování je vysoká životnost povlaku spojená s nízkými náklady a stálost při extrémních povětrnostních podmínkách. Ochranou oceli DC01, která podléhá korozi, by se případným pozinkováním přispělo k ochraně životního prostředí. S rostoucí tloušťkou povlaku roste vnitřní pnutí. Při hrubém mechanickém namáhání pak dochází k poškození povlaku. Svařování pozinkovaných ocelí je obtížnější. Nevýhodou je, že u běžných způsobů tavného svařování ztrácí svou korozivzdornost v místě svaru. Nejvhodnější způsob svařování je odporové, u kterého nedochází k úplné ztrátě korozivzdornosti [7].

Žárové zinkování je levná a dostupná metoda, která je však prováděna jen specializovanými firmami. Jen málo firem s výrobou určitého produktu má vlastní žárovou zinkovnu. Dveře UniGear by musely být převáženy do specializovaných firem a tím by vzrostly náklady na logistiku a na samotnou technologii zinkování od externí firmy. Záleželo by také hlavně na roční produkci dveří. Nevýhodou žárového zinkování stejně jako u katodové je, že nelze povlakovat jen určitou část dveří. Zapotřebí je pouze ochrana nedostupných prostor pod výztuhou. Po následné ochraně práškovým lakem by tedy bylo neefektivní pozinkovat celý povrch dílce. Technologie by vedla ke zbytečnému plýtvání prostředků (nátěrů).

3.4 Návrh alternativního materiálu nebo polotovaru

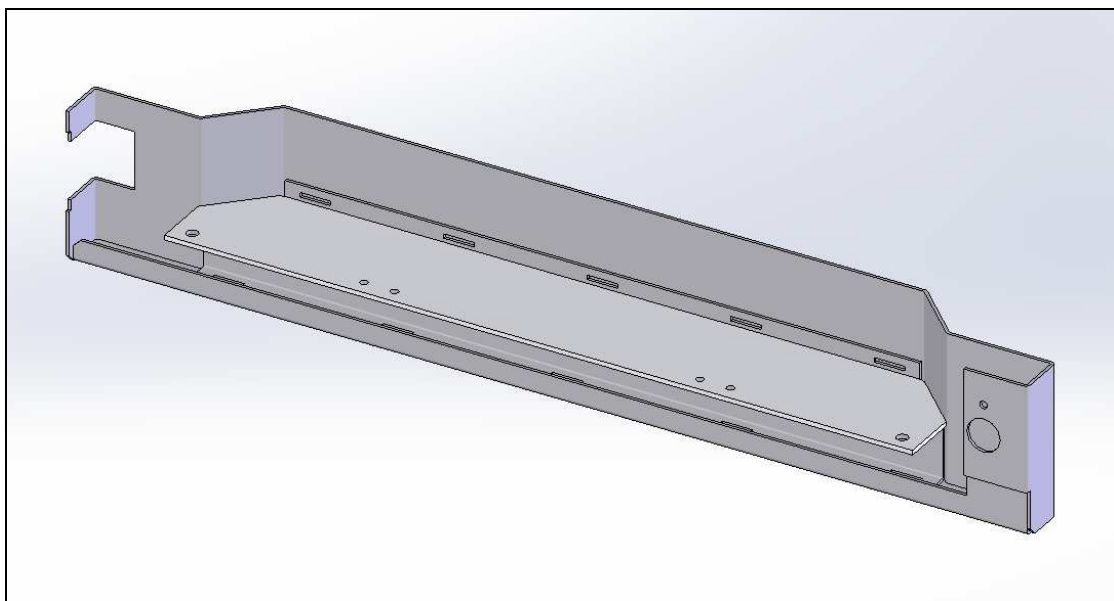
Další návrh zlepšující technologie spočívá taktéž v zabránění vytváření koroze, tentokrát však nedojde k vytvoření drážek do výztuhy, ale ke změně základního materiálu dveří. V první části diplomové práce byly popsány materiály vhodné pro dveře UniGear. Černý plech z oceli DC01, který je používán pro stávající výrobu, není odolný proti korozi. Nejpriznivější náhradou z hlediska korozivzdornosti je korozivzdorná ocel, u které je však dvakrát vyšší pořizovací cena než u černého plechu. Nejlepší volbou je tedy použít některou povrchově upravenou ocel. Je také odolná vůči korozi a její pořizovací cena není tak vysoká, jako je tomu u korozivzdorné oceli. Povrchově povlakované plechy není vhodné řezat na laseru kvůli několika faktorům: vysoké odrazivosti povrchu, narušení povlaku laserem a tím ztráty korozivzdornosti nebo také zvýšená toxicita při spalování povlakované vrstvy. Nejvhodnější náhradou za laser by mohl být CNC děrovací lis, u kterého je výhodou, že dochází k ochraně střížných hran nabalováním povlaku na hranu při procesu děrování.

V porovnání vlastností povrchově upravených plechů vyšel nejlépe Magnelis[®], který je z výčtu povlakovaných materiálů odstavce 1.2 nejodolnější proti korozi (v různém prostředí), je dobře tvářitelný (nedochází k odlupování povlaku), po svaření mají spoje vyšší pevnost (vyšší jakost materiálu DX51D než DC01) a cenově se přibližně rovná s ostatními povrchově upravenými plechy. Na obr. 62 je znázorněna zkouška odolnosti proti korozi v solné mlze po dobu osmi měsíců. Při svařování povlakovaných materiálů je porušen povlak. Materiál ztrácí korozivzdornost, avšak jen v místě ovlivněné oblasti svaru, na rozdíl od nepokoveného plechu, který není chráněn proti korozi vůbec.



Obr. 62 Odolnost proti korozi v solné mlze [11].

Jelikož je Magnelis® většinou dodáván v naolejovaném stavu, kvůli vyšší ochraně během exportu a lepším kluzným vlastnostem při zpracování stříháním a ohýbáním, musí se před práškovým lakováním důkladně očistit a odmastit. Výhodou volby tohoto materiálu není jen odolnost proti korozi, ale také již není třeba měnit tuhost výtuh přidáním technologických otvorů pro nanesení dodatečné povrchové úpravy. Stejně jako u prvního návrhu i zde je vyroben vzorek z výše popsaného Magnelisu® (obr. 63).



Obr. 63 Vzorek z Magnelisu®.

Na obr. 64 je znázorněn horizontální řez skrze výztuhu vyrobenou z Magnelisu[®], jako je tomu u návrhu nedostupných ploch dveří. Prostor pod výztuhou je 100 % chráněn proti korozi. Z vnitřní strany výztuhy nebyla po svařování známka koroze, jelikož byla ovlivněna jen malá část, a navíc svar je uzavřen mezi dvěma plechy. Na vnější straně, kde jsou svary viditelné, je povrch pokrytý epoxidovým práškem.



Obr. 64 Řez části dveří z Magnelisu[®].

4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V technicko – ekonomickém zhodnocení dojde k porovnání současného stavu výroby s navrženým inovovaným řešením. Nakonec byly vybrány dvě inovované technologie, zaměřené na zlepšení kvality dveří UniGear, z nichž jedna vede k vytvoření několika technologických otvorů do výztuh a druhá ke změně základního materiálu. Z technického hlediska dojde ke srovnání výrobních časů současné technologie výroby s inovovaným řešením a z ekonomického hlediska porovnání finančních nákladů taktéž stávající výroby s navrženým řešením.

4.1 Srovnání výrobních časů

Mezi současnou technologií výroby dveří UniGear a inovovanými technologiemi je rozdíl v přípravě rozvinutého tvaru plechu před ohýbáním. U prvního návrhu technologických otvorů došlo pouze k navýšení řezných úkonů pro laser, a to vypálením oválných drážek s rozměry 20 x 40 mm do dvou výztuh. Pro návrh se změnou materiálu polotovaru je pro přípravu rozvinu laser nahrazen CNC vysekávacím lisem. Časy dalších operací, jako je ohýbání za pomoci manipulátoru, svařování a broušení robotem, jsou u současné a inovovaných technologiích stejné. U návrhu technologických otvorů je nutné ještě zahrnout čas stříkání ruční pistolí do uzavřené dutiny pod výztuhu. Čas nástřiku jednoho kusu dveří v automatizované lakovací lince trvá přibližně 3 minuty. Ruční nástřik, v němž je započítána i příprava, trvá rovněž 3 minuty.

Pro materiál DC01 s tloušťkou 2 mm má laser s výkonem 1 500 W řeznou rychlost 6,5 m.min⁻¹, pro tloušťku plechu 3 mm je to 5 m.min⁻¹. Např. u korozivzdorné oceli je pro tloušťku plechu 3 mm rychlost řezání laserem kolem 3,5 m.min⁻¹. U CNC vysekávacího lisu se čas určí pomocí počtu zdvihů za minutu stroje, což je v našem případě 1 200 min⁻¹. V tab. 6 je srovnání časů přípravy rozvinutého tvaru jednoho typu dveří VP s rozměry 650 x 750 mm včetně výztuh a celkové časy práškového lakování dveří. U inovované výroby se změnou materiálu byl technologií ve firmě ABB s.r.o. vytvořen odhad celkového času přípravy rovinu dveří na CNC vysekávacím lisu.

1) Celkový čas přípravy rozvinutého tvaru u stávající výroby:

$$t_c = t_d + 2 \cdot t_{v1} + 2 \cdot t_{v2} \quad [min] \quad (1)$$

$$t_c = 0,875 + 2 \cdot 0,243 + 2 \cdot 0,238 = 1,837 \doteq 1,84 \text{ min}$$

Čas přípravy rozvinutého tvaru dveří:

$$t_d = \frac{O_d}{v_{c1}} \quad [min] \quad (2)$$

$$t_d = \frac{5,686}{6,5} = 0,875 \text{ min}$$

Čas přípravy rozvinutého tvaru výztuhy (2 mm):

$$t_{v1} = \frac{O_{v1}}{v_{c1}} \quad [min] \quad (3)$$

$$t_{v1} = \frac{1,580}{6,5} = 0,243 \text{ min}$$

Čas přípravy rozvinutého tvaru výztuhy (3 mm):

$$t_{v2} = \frac{O_{v2}}{v_{c2}} \quad [min] \quad (4)$$

$$t_{v2} = \frac{1,191}{5} = 0,238 \text{ min}$$

2) Celkový čas přípravy rozvinutého tvaru u inovované výroby (technologické otvory):

$$t_c = t_d + 2 \cdot t_{vd1} + 2 \cdot t_{vd2} \quad [min] \quad (5)$$

$$t_c = 0,875 + 2 \cdot 0,306 + 2 \cdot 0,320 = 2,127 \doteq 2,13 \text{ min}$$

Čas přípravy rozvinutého tvaru výztuhy (2 mm) s drážkami:

$$t_{vd1} = \frac{O_{vd1}}{v_{c1}} \quad [min] \quad (6)$$

$$t_{vd1} = \frac{1,991}{6,5} = 0,306 \text{ min}$$

Čas přípravy rozvinutého tvaru výztuhy (3 mm) s drážkami:

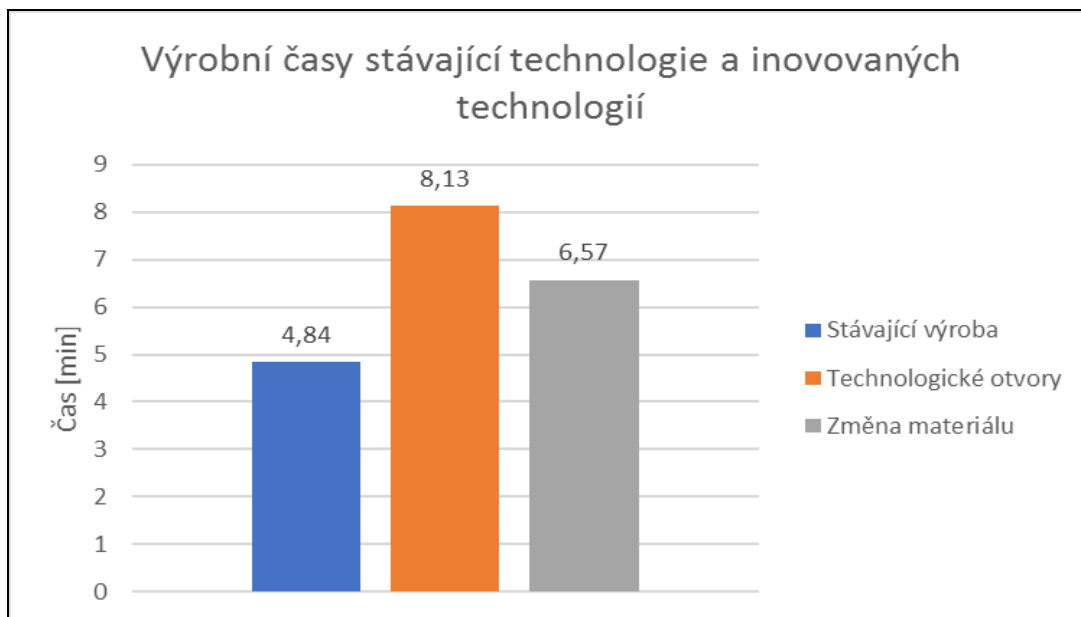
$$t_{vd2} = \frac{O_{vd2}}{v_{c2}} \quad [min] \quad (7)$$

$$t_{vd2} = \frac{1,602}{5} = 0,320 \text{ min}$$

Tab. 6 Časy přípravy rozvinutého tvaru a práškového lakování.

	Stávající výroba	Inovovaná výroba	
		Technologické otvory	Změna materiálu
Čas vytvoření rozvinu [min]	1,84	2,13	3,57
Čas nástřiku [min]	3,00	6,00	3,00
Suma časů [min]	4,84	8,13	6,57

Na obr. 65 je za pomoci sloupcového grafu vyjádřeno srovnání výrobních časů stávající výroby s navrženými inovovanými technologiemi. V celkovém času je zahrnut pouze čas přípravy rozvinutého tvaru a čas práškového lakování. U návrhu technologických otvorů vzrostl čas přípravy rozvinutého tvaru jen nepatrně. Nejvíce byl celkový čas ovlivněn ručním nástřikem do drážek, který trval stejnou dobu jako lakování celých dveří v automatických stříkacích komorách. Při změně materiálu došlo ke změně technologie pro přípravu rozvinutého tvaru a tím navýšení času přibližně o 1,7 min.



Obr. 65 Grafické znázornění výrobních časů.

4.2 Srovnání finančních nákladů

Náklady jsou počítány z hlediska materiálu, který ovlivňuje většinou 50 až 80 % celkových nákladů, a z hlediska množství epoxidového prášku, který je navíc nastříkán do dutiny pod výztuhou. Cena za 1 kg epoxidového prášku základní šedé barvy s označením RAL 7035 je 95 Kč. Na dveře VP pro UniGear s rozměry 650 x 750 mm se spotřebuje zhruba 0,387 kg prášku. Do dutiny pod výztuhy je zapotřebí zhruba 0,040 kg prášku. Návrh výroby dveří z Magnelisu® vede podle vyrobených vzorků ke zkvalitnění výsledného produktu, ale naopak k nárůstu nákladů, z hlediska ceny materiálu. Cena Magnelisu® DX51D+ZM je o 5 Kč/kg vyšší než u oceli DC01, ale o 2 Kč/kg levnější např. než Aluzinek, a to z důvodu až dvojnásobně tenčímu povlaku než u Aluzinku. V tab. 7 je srovnání ceny Magnelisu® a černého plechu k výrobě jednoho kusu dveří VP s rozměry 650 x 750 mm s tloušťkou 2 mm a srovnání nákladů na epoxidový prášek. Celková hmotnost dveří s těmito rozměry je 9 kg.

1) Celkové náklady stávající výroby:

$$N_c = N_{m1} + N_{p1} \quad [Kč] \quad (8)$$

$$N_c = 279 + 36,7 = 315,7 \text{ Kč}$$

Náklady na materiál bez odpadu:

$$N_{m1} = m \cdot N_{DCO1} \quad [Kč] \quad (9)$$

$$N_{m1} = 9.31 = 279 \text{ Kč}$$

Náklady na práškový lak:

$$N_{p1} = 0,387 \cdot N_{epox} \quad [Kč] \quad (10)$$

$$N_{p1} = 0,387 \cdot 95 = 36,7 \text{ Kč}$$

2) Celkové náklady inovované výroby (technologické otvory):

$$N_c = N_{m1} + N_{p2} \quad [Kč] \quad (11)$$

$$N_c = 279 + 40,6 = 319,6 \text{ Kč}$$

Náklady na práškový lak:

$$N_{p2} = (0,387 + 0,040) \cdot N_{epox} \quad [Kč] \quad (12)$$

$$N_{p2} = (0,387 + 0,040) \cdot 95 = 40,6 \text{ Kč}$$

3) Celkové náklady inovované výroby (změna materiálu):

$$N_c = N_{m2} + N_{p1} \quad [Kč] \quad (13)$$

$$N_c = 324 + 36,7 = 360,7 \text{ Kč}$$

Náklady na materiál bez odpadu:

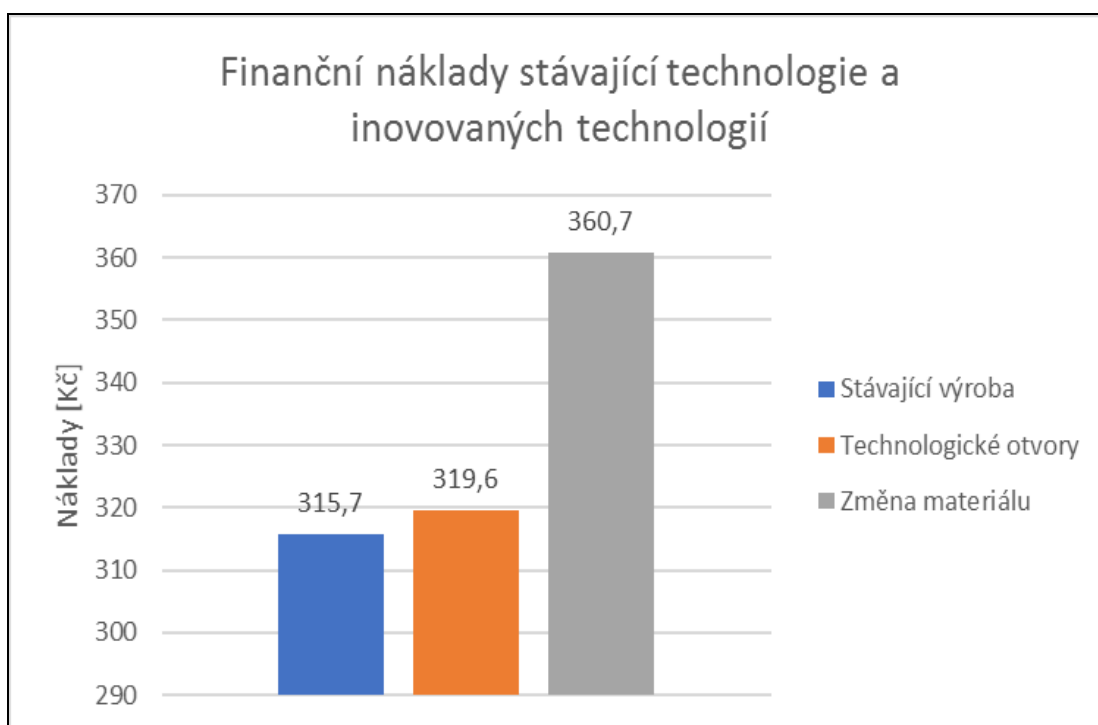
$$N_{m2} = m \cdot N_{ZM} \quad [Kč] \quad (14)$$

$$N_{m2} = 9.36 = 324 \text{ Kč}$$

Tab. 7 Náklady na materiál a práškový lak.

	Stávající výroba	Inovovaná výroba	
		Technologické otvory	Změna materiálu
Náklady na polotovar bez odpadu [Kč]	279,0	279,0	324,0
Náklady na práškový lak [Kč]	36,7	40,6	36,7
Suma [Kč]	315,7	319,6	360,7

Ve sloupcovém grafu na obr. 66 je srovnání nákladů stávající výroby s navrženými inovacemi. Z grafu lze vyčíst, že při návrhu technologických drážek dojde pouze k minimálním navýšení nákladů (přibližně o 1 %). U změny základního materiálu cena vzroste daleko více, přibližně o 14 %. Při výrobě jednoho kusu není nárůst ceny z důvodu návrhu kvalitnějšího materiálu tak rapidní, ale ve větší sérii by rozdíl byl daleko vyšší.



Obr. 65 Grafické znázornění finančních nákladů.

K dalším finančním změnám dojde při přípravě rozvinutého tvaru plechu. U Magnelisu® byl laser nahrazen CNC vysekávacím lisem z důvodu ztráty povrchové ochrany, vysoké odrazivosti povrchu, vypařování povlaku a tím vzniku nebezpečných látek. Vzhledem k následné ochraně dveří práškovým lakováním by mohl být Magnelis® i pálen na laseru. Existují i speciální lasery, které dokážou řezat i lesklé plechy s vysokou odrazivostí, navíc opatřené odsáváním škodlivých látek. Výhodou volby CNC lisu je, že stroje oproti laseru se nachází přímo v areálu ABB s.r.o. na Vídeňské, takže by nemusela příprava rozvinutého tvaru před ohýbáním být prováděna externě. CNC vysekávací stroj má nižší pořizovací cenu i nižší provozní náklady než laser. Ve výsledku při výrobě větší série je však laser produktivnější, jelikož pracuje rychleji, a zejména z důvodu jeho velmi malé řezné spáry do 0,2 mm. Díky malé řezné spáře zůstává z celkové tabule plechu málo odpadu, na rozdíl od CNC lisu, kde je potřeba pro nástroj více prostoru. Z jedné tabule plechu 1 200 x 2 500 mm lze vyřezat tři rozviny dveří VP 650 x 750 mm rozváděče UniGear s rozměry rozvinu 750 x 927 mm, včetně několika výztuh s tloušťkou 2 mm.

ZÁVĚR

V průběhu diplomové práce byly nejprve popsány základní charakteristiky dveří pro rozváděč UniGear včetně jednotlivých prostor rozváděče, které dveře pokrývají. Dále byly v teoretické části rozebrány technologie přicházející v úvahu pro výrobu dveří pro rozváděč UniGear. V práci byly řešeny materiály vhodné na výrobu dveří, příprava rozvinutého tvaru pomocí paprskových nebo stříhacích technologií, tváření plechového dílce konvenčními i nekonvenčními metodami a další technologie nevycházející z plechového polotovaru. Dále byla shrnuta současná výroba dveří od přípravy polotovaru, tváření, svařování, broušení až po práškové lakování, kterému byla věnována větší část kapitoly. Následně byl proveden návrh možných inovovaných technologií pro výrobu dveří.

První inovovaný návrh se zabýval výrobou dveří tlakovým litím. Tato inovovaná technologie vedla k progresivní změně výroby dveří, ale byla zavrhnuta z několika hledisek. Zejména z důvodu vysoké ceny forem z nástrojové oceli, které by musely mít velké rozměry a být vyráběny v mnoha rozměrových variantách z důvodu velkému počtu různých typů dveří. Z důvodů nákladnosti na variabilitu forem byl také zavrhnut návrh nekonvenčního tváření plechu. Důvodem byla rovněž vysoká pořizovací cena masivního stroje. Další dva návrhy vedly zejména ke zkvalitnění výrobku, zamezení vzniku koroze na neochráněných místech epoxidovým práškem. V prvním návrhu byly vytvořeny na jedné z výztuh technologické otvory v podobě zakulacených drážek, jimiž byl proveden nástřík epoxidového prášku do dutiny mezi výztuhou a dveřmi. Vyrobeny byly pouze části dveří, kde je navařena výztuha, na které byly vytvořeny čtyři varianty technologických otvorů, které se odlišují jejich velikostí, počtem a polohou (viz. přílohy 2 až 13). K posouzení kvalitního nástřiku byl dále proveden podélný řez výztuhou, z něhož bylo na první pohled zřejmé, že nejlépe dopadla čtvrtá varianta se dvěma největšími drážkami. Výsledný nástřík však nebyl stále dokonalý, proto závěrem bylo, že velikost drážek zaručuje dobrý nástřík, ale pro lepší nastříkání dutiny je potřeba větší počet těchto otvorů.

Dále byly ještě rozebrány speciální technologie povrchových úprav k ochraně nepřístupných prostor pro práškové lakování. Metoda katodového lakování byla zavrhnuta z důvodu náročné výměně barev v uzlu, která je důležitá při barevných variantách dveří. K ochraně stínovaných prostor proti korozi bylo navrženo i žárové zinkování, které by bylo prováděno ještě před samotným práškovým lakováním. Otvory pro vtok a výtok zinkového tavidla by však musely být umístěny na výztuze, kde jakékoliv díry nejsou z důvodu izolace možné. Navíc obě metody by nebyly efektivní, vzhledem k potřebě pokrytí jen nepřístupných prostor.

U druhého návrhu došlo ke změně materiálu plechového polotovaru. Pro výrobu dveří byl zvolen povrchově upravený plech válcovaný za studena zvaný Magnelis[®], který je vysoce odolný vůči korozi. Nejprve byla zavrhnuta varianta s korozivzdornou ocelí zejména z ekonomického hlediska, proto další alternativou byl některý z povrchově upravených plechů. Ve srovnání všech povlakovaných materiálů vyšel nejlépe právě Magnelis[®], nejen z hlediska nejlepší korozivzdornosti, ale také díky lepší tvářitelnosti a svařitelnosti (viz. příloha 1).

U Magnelisu® se lišila od stávající výroby jeho příprava rozvinutého tvaru. Magnelis® nemohl být pálen na laseru, jelikož by ztratil své antikorozní vlastnosti a také z důvodu vypalování povlaku a vzniku škodlivých látek. Proto byla příprava rozvinutí dveří provedena na CNC vysekávacím lisu. Tváření, svařování a práškové lakování bylo prováděno stejně jako u černého plechu. I u druhého návrhu se změnou materiálu byla vyrobena část dveří s navařenou výztuhou (viz. přílohy 14 až 16), kde byl rovněž pro ukázkou proveden podélný řez skrze dutinu pod výztuhou. Výsledek byl velice pozitivní, jelikož u Magnelisu® byla po svaření jen velice málo tepelně ovlivněna oblast a nebyly zřejmé žádné známky koroze.

V závěru práce bylo provedeno technicko – ekonomické srovnání mezi stávající výrobou a inovovanými vylepšeními pro zkvalitnění výrobku, návrhy technologických otvorů a změna materiálu polotovaru. U návrhu technologických otvorů byl čas přípravy rozvinutého tvaru zanedbatelný se stávající výrobou, k prodloužení času výroby došlo pouze u dodatečného ručního práškového lakování. Cena množství prášku, určeného pro vyplnění prostoru pod výztuhami vzrostla přibližně o 4 Kč. U změny materiálu byl čas přípravy rozvinutého tvaru na CNC děrovacím lisu přibližně delší o 1,7 minut než u laseru, vzniklo také více odpadu z tabule plechu než u laseru. Finanční navýšení došlo hlavně při změně základního materiálu. Inovací standartního černého plechu za pokovený plech Magnelis® vzrostla cena výroby jednoho kusu dveří pro UniGear z hlediska materiálu o 45 Kč, což v součtu činí 14 %. Výsledkem navržené těchto technologií je zkvalitnění výsledného produktu, které však vede k navýšení finančních nákladů na výrobu. Přínosem inovované technologie je prodloužení životnosti dveří o několik let oproti stávající výrobě.

Závěrem lze konstatovat, že všechny vytyčené cíle diplomové práce byly splněny. V celé diplomové práci, a zejména v závěrečném technicko – ekonomickém zhodnocení byly uvedeny jen nezbytně nutné údaje, které zaručují důvěrnost informací firmy ABB s.r.o.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. UniGear ZS1: *Kovově krytý, vzduchem izolovaný rozváděč vysokého napětí, odolný proti vnitřním obloukovým zkratům se jmenovitým napětím do 24 kV*. [online]. ABB, 2013, 92 s. [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: https://library.e.abb.com/public/0d7a8430a68945f4c1257de0004f8b19/Catalogue%20UG%20ZS1_RevF_2013_12_cz.pdf
2. Historie ABB Group. *ABB Česká republika* [online]. Praha, 2017 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://new.abb.com/cz/o-nas/historie/historie-abb-group>
3. Jednotka vzduchem izolovaných rozváděčů ABB EPMV v Brně vyrobila stý tisíc rozváděč typu UniGear. *ABB v České republice* [online]. 2016 [cit. 2017-11-24]. Dostupné z: <http://www.abb.cz/cawp/seitp202/b2393321f2dd5617c1257f7900301a2c.aspx>
4. ABB Medium Voltage factory in Brno, Czech Republic [online]. ABB, 2017 [cit. 2017-11-24]. Dostupné z: <http://new.abb.com/medium-voltage/Brno-factory>
5. DAVI STEEL CZ: *Nabídka plechů* [online]. Brno, 2013 [cit. 2017-12-7]. Dostupné z: <http://www.davisteel.cz/nabidka-plechu/>
6. ALFUN METAL SERVICE CENTER: *Ocel* [online]. [cit. 2017-12-7]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/ocel>
7. *Příručka žárového zinkování*. 2., aktualiz. vyd. Ostrava: Asociace českých zinkoven, Asociácia slovenských zinkovní, 2008. ISBN 978-80-254-7859-2.
8. *Aluzinek – unikátní ochrana ocelového jádra* [online]. Metrotile® [cit. 2017-12-8]. Dostupné z: <http://www.halcentrum.cz/userfiles/T2.pdf>
9. SSAB: *Galfan – Enhanced formability and corrosion resistance* [online]. Stockholm [cit. 2017-12-14]. Dostupné z: <https://www.ssab.com/products/steel-categories/metal-coated-steels/coatings/galfan-coating>
10. *The Case for Galfan®* [online]. [cit. 2017-12-14]. Dostupné z: http://www.coilworld.com/5-6_13/rlw2.htm
11. *Magnelis®: Nový kovový povlak, který nabízí ochranu i před těmi nejnepríznivějšími vlivy* [online]. ArcelorMittal, 2013, 8 s. [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: http://www.agropodnikas.cz/files/files/typ_produkty/magnelis_brochure_cz_1487321776.pdf
12. EURO INOX. *Vlastnosti korozivzdorných ocelí.*, vyd. Euro Inox, 2002. 28 s. ISBN 2-87997-082-2.
13. HRACHOVINA, P., PRAŽAN, L. *Moření a pasivace přípravky Avesta voestalpine Böhler Welding*. *Konstrukce – odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství* [online]. Ostrava, 9.12.2014 [cit. 2018-01-26]. ISSN 1803-8433. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/moreni-a-pasivace-pripravky-avesta-voestalpine-bohler-welding/>
14. PALÁN, K., ČECH, J., ZEMČÍK, L., BAŘINOVÁ, D. *Možnosti experimentu a simulace při stanovování jakostních charakteristik u litin a vad u tlakově litých odlitků*. In: *Progresivní technologie ve slévárenství*. Plzeň: Vědeckotechnická společnost západních Čech, 2002. 105 s.

15. NOVÁK, M. Seriál na téma lasery – základní princip laseru a jejich dělení. In: Lao – lasery a optika [online]. Praha, 15.3.2011 [cit. 2018-01-26]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---zakladni-princip-laseru-a-jejich-deleni-127>
16. MAŇKOVÁ, I. *Progresívne technologie*. Viena Košice, 2000. 270 s. ISBN 80-7099-430.3.
17. ŘASA, J., KEREČANINOVÁ, Z. Nekonenční metody obrábění – 5. díl. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 12.05.2008 [cit. 2018-01-26]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nekonenncni-metody-obrabeni-5-dil.html>
18. TATÍČEK, F. Akademie tváření: Stříhání. *MM Průmyslové Spektrum* [online]. 17.05.2010 [cit. 2018-01-30]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
19. Technologie II – tváření kovů. 6. *Technologie plošného tváření – stříhání* [online]. Technická univerzita Liberec – Fakulta strojní [cit. 2018-01-30]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
20. Asiamac Machinery [online]. [cit. 2018-01-30]. Dostupné z: https://www.asiamachinery.net/supplier/product_details.asp?ProID=765&SupID=3018
21. ŘASA, J., KEREČANINOVÁ, Z. Nekonenční metody obrábění – 8. díl. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 08.10.2008 [cit. 2018-02-05]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nekonenncni-metody-obrabeni-8-dil.html>
22. ŘASA, J., POKORNÝ, P., GABRIEL, V. *Strojírenská technologie* 3. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-718-3336-3.
23. PETRUŽELKA, J. *Tvařitelnost a nekonvenční metody ve tváření*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2000. ISBN 80-707-8635-3.
24. FOREJT, M., PÍŠKA, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
25. Technologie II – tváření kovů. 7. *Technologie plošného tváření – ohýbání* [online]. Technická univerzita Liberec – Fakulta strojní [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm
26. Ohraňovací lisy Trumpf [online]. 2018 [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: <http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/obrabeci-stroje/produkty/ohybani.html>
27. BŘEZINA, R., PETRUŽELKA, J. *Úvod do tváření II*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2002. ISBN 80-248-0068-3.
28. Technologie II – tváření kovů. 9. *Technologie plošného tváření – tažení* [online]. Technická univerzita Liberec – Fakulta strojní [cit. 2018-02-20]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm
29. Verson Wheelon Fluid Cell Přes 36 x 144. Fluid forming technologies. LLC. [online]. 2012 [cit. 2018-02-24]. Dostupné z: <http://www.fluidforming.com/ecommerce/hydraulic-presses/verson-wheelon-fluid-cell-press.cfm>

-
30. BJÖRKSTRÖM, D. FEM simulation of Electrohydraulic Forming. Stockholm, 2008. 88 s. Diplomová práce. Swerea KIMAB
 31. VALECKÝ, J. *Lití kovů pod tlakem: určeno pracovníkům sléváren, konstruktérům a technologům i studentům průmyslových a vysokých škol*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963. Řada strojírenské literatury.
 32. MICHNA, Š., LUKÁČ, I., OTČENÁŠEK, V., KOŘENÝ, R., DRÁPALA, J., SCHNEIDER, H., MIŠKUFOVÁ, A., A KOLEKTIV, 2005, Encyklopedie *hliníku*. Nakladatelství Adin, Prešov, 700 stran. ISBN 80-89041-88-4.
 33. ROUČKA, J., 2004, *Metalurgie neželezných slitin*. 1. vyd., Nakladatelství CERM, Brno, 148 stran. ISBN 80-214-2790-6.
 34. Lití do trvalých forem. Blog.CZ [online]. 09.04.2015 [cit. 2018-02-28]. Dostupné z: <http://mlgeardesigns.blog.cz/1504/liti-do-trvalych-forem>
 35. Laser cutting. BALLIU Machine Tool Corporation [online]. Lokeren, 2014 [cit.2018-03-08]. Dostupné z: <http://www.balliu.be/products/laser-cutting/sheet-tubes-combined/standard-machines/lm-rtx/#>
 36. EXA PRO [online]. [cit.2018-03-08]. Dostupné z: <https://www.exapro.com/darley-ehp-ls-175-31-25-cl-press-brake-cncnc-p80129191/>
 37. Antil Robotic APR 50L Robot Arm. Selmach Machinery [online]. [cit.2018-03-10]. Dostupné z: <https://selmach.com/product/antil-robotic-apr-50l-robot-arm/>
 38. Bending Robot. Antil Robotics and Automation [online]. [cit.2018-03-14] Dostupné z: <http://antilrobotics.co.uk/deformation-products/bending-robot/>
 39. Other Robots OTC-Daihen Almega AX-V6 ARC Welding Robots. Eurobots [online]. [cit.2018-03-14]. Dostupné z: <https://www.eurobots.net/Other-Robots-robots-OTC-Daihen-ALMEGA-AX-V6-arc-welding-robots--p91-en.html>
 40. OTC [online]. [cit.2018-03-14] Dostupné z: <http://www.daihen-usa.com/products/>
 41. OTC Daihen AX-V6L Welding Robot Screen Protector. Post.us [online]. [cit.2018-03-14]. Dostupné z: <http://www.posr.us/store/pc/viewPrd.asp?idproduct=1266>
 42. Robotec: Industrial Automation [online]. [cit.2018-03-16] Dostupné z: <http://gifa.robotec.sk/index.html>
 43. MOHYLA, M. *Technologie povrchových úprav kovů*. 3.vyd. Ostrava: Ediční středisko VŠB Ostrava. 2006. 156 s. ISBN 80-247-1217-7.
 44. TULKA, J. *Povrchové úpravy materiálu*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická. 2005. 136 s. ISBN 80-214-3062-1.
 45. Povrchové úpravy. AB Komponenty [online]. [cit.2018-03-18] Dostupné z: <http://www.abkomponenty.cz/povrchove-upravy/>
-

46. Odmašťovací a čistící komorové nebo tunelové pračky. IPP Praha [online]. [cit.2018-03-18] Dostupné z: <https://www.ipp-penc.cz/ipp-odmastovaci-zarizeni.php>
47. KLIMEŠ, L. *O historii a výrobě práškových plastů*. Povrchové úpravy. 2003, roč. 2003, č. 3, s. 18-19. ISSN 0551-7354.
48. SURFIN [online]. [cit.2018-03-18] Dostupné z: <http://www.surfin.cz/>
49. Stříkáčové pistole na práškové barvy PRSTEN 031. JEVAN [online]. [cit.2018-03-18] Dostupné z: <http://www.jevan.cz/cs/strikaci-pistole-na-praskove-barvy-prsten-031>
50. Technologie – princip práškového lakování. Technolak [online]. [cit.2018-03-18] Dostupné z: <http://www.technolak.cz/technologie/>
51. Stříkáčové kabiny. ITS [online]. [cit.2018-03-18] Dostupné z: <https://www.itsbrno.cz/lakovaci-linky/strikaci-kabiny>
52. SCHULER: Forming the future [online]. [cit. 2018-05-8]. Dostupné z: <https://www.schulergroup.com/>
53. Historické fotografie | ZVVZ a.s. - dodavatel zařízení pro ekologii [online]. 2011 [cit. 2018-05-10]. Historické fotografie. Dostupné z: <http://www.zvvz.cz/zvvz-as/historie/historicke-fotografie.html>
54. WATECH [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.praskovaci-pistole.cz/>
55. HOLOUBEK, V. Kataforetické lakování [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://www.povrchoveupravy.cz/2005-04-clanek01.html>
56. *DHOLLANDIA: POZINKOVÁ ÚPRAVA – nedejte korozi šanci* [online]. Lokeren [cit. 2017-12-8]. Dostupné z: <http://www.dhollandia.cz/CZ/cz/79/POZINKOV-RAVA-nedejte-korozi-anci>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka / Symbol	Jednotka	Popis
ABB	-	Asea Brown Boveri – ABB s.r.o.
Ar	-	Argon
AZ	-	Aluzinek
BBC	-	Brown Boveri – název firmy
CNC	-	Computer Numeric Control
CO ₂	-	Oxid uhličitý
CSA	-	Canadian Standards Association
ČSN	-	Česká technická norma
EN	-	Evropská norma
EPDS	-	Electrifical Product Distribution Solutions – název divize
EPMV	-	Electrifical Product Medium Voltage – název divize
GB/DL	-	Guobiao – Čínské národní normy
GOST	-	Státní systém standardizace
H ₂ SO ₄	-	Kyselina sírová
HCl	-	Kyselina chlorovodíková
HF	-	Kyselina fluorovodíková
HNO ₃	-	Kyselina dusičná
IEC	-	International Electrotechnical Commission
KP	-	Kabelový prostor
KTM	-	Katoforézní lakování
MAG	-	Obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře tvořené aktivním plynem
MIG	-	Obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře tvořené interním plynem
NC	-	Numeric Control
NN	-	Nízké napětí
TIG	-	Obloukové svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře tvořené interním plynem
USB	-	Univerzální sériová sběrnice
UV	-	Ultrafialové záření
VN	-	Vysoké napětí
VP	-	Prostor vypínače
Z	-	Pozink
ZA	-	Galfan [®]
ZM	-	Magnelis [®]

m	[kg]	Hmotnost dveří
N_c	[Kč]	Celkové náklady
N_{DC01}	[Kč]	Náklady na materiál DC01
N_{epox}	[Kč.kg ⁻¹]	Náklady na kilogram epoxidového prášku
N_m	[Kč]	Náklady na materiál
N_p	[Kč]	Náklady na práškový lak
N_{ZM}	[Kč]	Náklady na Magnelis®
O_d	[m]	Obvod rozvinu dveří
O_v	[m]	Obvod rozvinu výztuhy
O_{vd}	[m]	Obvod rozvinu výztuhy s drážkami
R_a	[μ m]	Drsnost povrchu
t_c	[min]	Celkový čas přípravy rozvinutého tvaru
t_d	[min]	Čas přípravy rozvinutého tvaru dveří
t_v	[min]	Čas přípravy rozvinutého tvaru výztuhy
t_{vd}	[min]	Čas přípravy rozvinutého tvaru výztuhy s drážkami
V_c	[m.min ⁻¹]	Řezná rychlost laseru

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Tabulka srovnání vlastností Magnelisu® s dalšími povrchově upravenými plechy
- Příloha 2 Výkres součásti VÝZTUHA, č. v. 1VL7638124P0101
- Příloha 3 Výkres součásti VÝZTUHA, č. v. 1VL7638125P0101
- Příloha 4 Výkres svařence DVEŘE VYPÍN. PROST. ŘEZ, č. v. 1VL7638127R0101
- Příloha 5 Výkres součásti VÝZTUHA, č. v. 1VL7638124P0102
- Příloha 6 Výkres součásti VÝZTUHA, č. v. 1VL7638125P0102
- Příloha 7 Výkres svařence DVEŘE VYPÍN. PROST. ŘEZ, č. v. 1VL7638127R0102
- Příloha 8 Výkres součásti VÝZTUHA, č. v. 1VL7638124P0103
- Příloha 9 Výkres součásti VÝZTUHA, č. v. 1VL7638125P0103
- Příloha 10 Výkres svařence DVEŘE VYPÍN. PROST. ŘEZ, č. v. 1VL7638127R0103
- Příloha 11 Výkres součásti VÝZTUHA, č. v. 1VL7638124P0104
- Příloha 12 Výkres součásti VÝZTUHA, č. v. 1VL7638125P0104
- Příloha 13 Výkres svařence DVEŘE VYPÍN. PROST. ŘEZ, č. v. 1VL7638127R0104
- Příloha 14 Výkres součásti VÝZTUHA, č. v. 1VL7638124P0105
- Příloha 15 Výkres součásti VÝZTUHA, č. v. 1VL7638125P0105
- Příloha 16 Výkres svařence DVEŘE VYPÍN. PROST. ŘEZ, č. v. 1VL7638127R0105