

Návrh a optimalizace průchodového plánu pro lisy kategorie XL

Bc. Radek Machů

Diplomová práce
2018

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Radek Machů**
Osobní číslo: **T16795**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Řízení jakosti**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Návrh a optimalizace průchodového plánu pro lisy kategorie XL**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši se zaměřením na problematiku lisování plechů v automobilovém průmyslu:
2. Úvod do technologie lisování plechů a využití
3. 2D napjatost
4. Popis mechanizace pro linku
5. Popis XL linky GRS po retrofitu a PXL
6. Experimentální část
7. Seznámení s postupem procesu návrhu a optimalizace průchodového plánu
8. Seznámení se software používaným při simulacích
9. Úprava a tvorba macra software Motion Designer
10. Vypracování simulací a návrh průchodového plánu s následným ověřením
11. Porovnání simulátoru pro GRS a PXL a stanovení výsledného počtu zdvihů
12. 3. Vyhodnocení návrhu, přínos diplomové práce a závěry

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího diplomové práce

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Ladislav Fojtl, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

2. ledna 2018

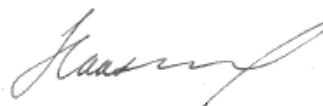
Termín odevzdání diplomové práce:

18. května 2018

Ve Zlíně dne 5. února 2018



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Machů Radek

Obor: Řízení jakost

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 21. 5. 2018

.....
Machů Radek

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydávlečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) *Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.*

(3) *Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.*

²⁾ *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:*

(3) *Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).*

³⁾ *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:*

(1) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.*

(2) *Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.*

(3) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.*

ABSTRAKT

Předmětem diplomové práce je optimalizace průchodového plánu pro XL lisů v lisovnách ŠKODA-AUTO a.s. Konkrétně se jedná o návrh bezpečné trajektorie, kterou vykoná mechanizace při přenášení lisovaného dílu mezi stanicemi. V teoretické části jsou popsány základy tváření kovů se zaměřením na lisování, stavbu nástroje, složení lisovací linky včetně mechanizace. Praktická část pak obsahuje samostatný postup při přípravě dat pro optimalizaci, samostatnou optimalizaci a porovnání výsledků pro dva vytipované lisů.

Klíčová slova: Lisování za studena, XL lisovací linka, mechanizace, optimalizace, průchodový plán

ABSTRACT

The subject of the diploma thesis is an optimization of the flow chart for XL presses in the ŠKODA-AUTO a.s. company. Specifically, safe trajectory design that performs mechanization during transfer of a pressed part between stations. The theoretical part describes the foundations of metal forming with focus on pressing, tool construction, assembly of the press line including mechanization. The practical part includes a separate procedure for preparing data for optimization, optimization itself and comparison of results for two selected press machines.

Keywords: Cold pressing, XL pressing line, mechanization, optimization, flow chart

Za odborné vedení diplomové práce bych rád poděkoval panu Ing. Ladislavovi Fojtlovi, Ph.D., za oporu a umožnění studia mým rodičům.

Taky chci poděkovat kolegům z plánování lisoven ŠKODY AUTO Ing. Jiřímu Karabcovi za umožnění tvorby této práce a zvláště pak Jiřímu Vlastovi za odbornou pomoc a konzultace.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| ÚVOD | 11 |
| I TEORETICKÁ ČÁST | 12 |
| 1 TVÁŘENÍ KOVŮ Z TECHNOLOGICKÉHO HLEDISKA | 13 |
| 1.1 DĚLENÍ TECHNOLOGIE PODLE TEPLoty | 13 |
| 1.1.1 Tváření za studena..... | 14 |
| 1.1.2 Tváření za tepla | 15 |
| 1.2 PORUCHY KRYSTALOVÉ MŘÍŽKY | 15 |
| 1.3 PLASTICKÁ DEFORMACE KOVŮ | 17 |
| 2 TEORIE LISOVÁNÍ PLECHU ZA STUDENA | 19 |
| 2.1 OHÝBÁNÍ..... | 19 |
| 2.2 STŘÍHÁNÍ..... | 20 |
| 2.3 TAŽENÍ..... | 22 |
| 3 LISOVACÍ LINKA | 25 |
| 3.1 LISOVACÍ LINKA PXL..... | 25 |
| 4 LISOVACÍ STROJ | 27 |
| 5 LISOVACÍ NÁSTROJ | 29 |
| 5.1 KONSTRUKCE LISOVACÍHO NÁSTROJE | 29 |
| 5.2 SLOŽENÍ LISOVACÍHO NÁSTROJE | 30 |
| 5.2.1 Bedna (Box) | 31 |
| 5.2.2 Tažník / přidržovač a nástavek..... | 33 |
| 5.2.3 Klíny a vedení klínů | 35 |
| 6 MEZIOPERAČNÍ MECHANIZACE LISOVACÍ LINKY | 37 |
| 6.1 DŮVODY PRO ZAVEDENÍ MECHANIZACE | 37 |
| 6.1.1 Vyšší produkce..... | 37 |
| 6.1.2 Kvalita | 38 |
| 6.2 MANIPULAČNÍ ZAŘÍZENÍ..... | 38 |
| 6.3 HLAVNÍ ČÁSTI MANIPULÁTORU A ROBOTU | 39 |
| 6.4 DĚLENÍ ZAŘÍZENÍ DLE ÚROVNĚ ŘÍZENÍ | 40 |
| 6.4.1 Teleoperátory | 40 |
| 6.4.2 Manipulátory s pevným programem | 40 |
| 6.4.3 Manipulátory s pružným programem..... | 40 |
| 6.5 DĚLENÍ DLE KINEMATICKÉ STRUKTURY | 40 |
| 6.5.1 Sériová kinematická struktura..... | 40 |
| 6.5.2 Paralelní kinematická struktura..... | 43 |
| 6.6 PRACOVNÍ HLAVICE PRO MANIPULÁTORY | 44 |
| 6.6.1 Rozdělení hlavic dle úchopových prvků | 44 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 6.7 | CHARAKTERISTICKÉ PARAMETRY ROBOTŮ A MANIPULÁTORŮ..... | 44 |
| 6.8 | MEZIOPERAČNÍ MECHANIZACE LINKY PXL..... | 45 |
| 6.9 | MEZIOPERAČNÍ MECHANIZACE LINKY GRS..... | 46 |
| 6.10 | PŘÍSAVKY A VÝPOČET POTŘEBNÉ SACÍ SÍLY | 47 |
| II | PRAKTICKÁ ČÁST | 50 |
| 7 | CÍLE DIPLOMOCÉ PRÁCE | 51 |
| 8 | POUŽITÝ SOFTWARE | 52 |
| 8.1 | CATIA V5-6 R16 | 52 |
| 8.2 | VISUAL BASIC FOR APPLICATION..... | 52 |
| 8.3 | DELMIA V5 | 52 |
| 8.4 | MOTION DESIGNER | 53 |
| 9 | METODICKÝ PLÁN..... | 54 |
| 10 | RESOURCE PRODUKT | 59 |
| 10.1 | IMPORT DAT DO RESOURCE PRODUKTU..... | 59 |
| 10.1.1 | Import metody | 59 |
| 10.1.2 | Import 3D modelů náradí | 59 |
| 10.2 | ZADÁVACÍ MASKA..... | 60 |
| 10.3 | 3D MODEL | 61 |
| 10.4 | NÁVRH TOOLINGU S PŘÍSAVKAMI..... | 62 |
| 10.5 | EXPORT DAT PRO SIMULACE | 65 |
| 10.5.1 | GRS linka | 65 |
| 10.5.2 | PXL linka | 65 |
| 11 | SIMULACE GUEDEL | 66 |
| 11.1 | PŘÍPRAVA SIMULACE | 66 |
| 11.2 | ZADÁVÁNÍ PARAMETRŮ | 66 |
| 11.3 | 3D VIZUALIZACE V CATIA..... | 70 |
| 11.4 | PŘÍPRAVA KONSTRUKČNÍCH OBÁLEK MOTION DESIGNER..... | 71 |
| 11.5 | ODSTRANĚNÍ MOŽNÝCH KOLIZÍ..... | 74 |
| 11.6 | VÝSTUP | 78 |
| 12 | SIMULACE DELMIE | 79 |
| 12.1 | PŘÍPRAVA SIMULACE | 80 |
| 12.2 | ZADÁVÁNÍ PARAMETRŮ | 81 |
| 12.3 | PŘÍPRAVA KONSTRUKČNÍCH OBÁLEK | 84 |
| 12.4 | ODSTRANĚNÍ MOŽNÝCH KOLIZÍ..... | 86 |
| 13 | POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ | 87 |
| | ZÁVĚR | 88 |

| | |
|--|-----------|
| SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY..... | 89 |
| SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK..... | 91 |
| SEZNAM OBRÁZKŮ | 93 |
| SEZNAM TABULEK..... | 96 |
| SEZNAM PŘÍLOH..... | 97 |

ÚVOD

Lisování za studena, automatizace ve výrobě a softwarový development již dnes patří k neodmyslitelným technologiím. Díky těmto pokrokovým technologiím lze vytvářet enormně vyšší objem produkce v porovnání s produkcí tvořenou pouze pomocí lidské síly, rovněž pak v nezanedbatelně vyšší kvalitě.

Předmětem diplomové práce je klíčové propojení těchto tří prvků výroby, díky nimž se z lisování za studena stal kontinuální proces.

Proces lisování nyní probíhá bez časových prodlev samotné funkce lisů, které pracují nepřetržitě a jedou specifikovanou, nastavenou rychlostí. Současně musí mechanizace dodávat a vyjímat díl. Jednotlivé operace jsou obvykle značně složité na samotnou synchronizaci těchto dvou pohybů, a proto je pro simulaci nezbytná softwarová podpora, stejně tak jako ladění trajektorií mechanizace a vačky lisu.

Softwarová podpora v tomto procesu umožňuje předcházet kolizním stavům. V samotném základu tak lze navrhnout a určit zástavbový prostor pro konstrukci nástroje a celý proces kontrolovat s rozpracovanými daty. Zároveň je možné určit náhradní linku, která používá stejné posazení koncové hlavy mechanizace a optimalizovat přísavky pro obě linky stejně. Tím vzniká velký benefit úspory nákladů na výrobu „toolingu“, kde stačí jedna série „toolingu“ pro obě lisovací linky.

Díky softwarovému developmentu lze usnadnit i řadu operací, které musí konstruktér provádět manuálně. V této práci se nachází příklad využití parametrického macra pro usnadnění práce a zkrácení času potřebného k samotnému procesu optimalizace a analýzy.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TVÁŘENÍ KOVŮ Z TECHNOLOGICKÉHO HLEDISKA

Tváření je děj, ve kterém dochází působením vnějších sil k přetvoření polotovaru do požadovaného tvaru. Při tomto ději se mění tvar a také některé vlastnosti materiálu (bez vzniku třísky).

K plastické deformaci dochází, pakliže napětí dosáhne meze kluzu tvářeného materiálu. Zároveň vznikají změny ve struktuře materiálu a fyzikální změny. To způsobuje změnu mechanických vlastností. [9]

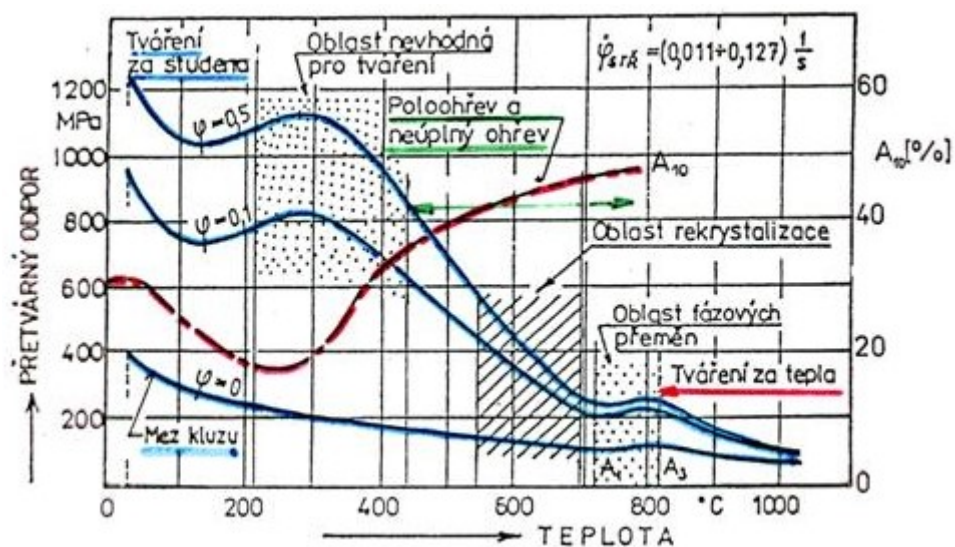
Tváření dělíme podle působení vnějších sil, stupně dosažené deformace, tepelného efektu a teploty. [9]

Díky tváření lze produkovat velké množství produktů s vysokou efektivitou využití materiálu a ve vysoké kvalitě. Mezi hlavní nevýhody patří vysoké pořizovací náklady strojů pro výrobu. [9]

1.1 Dělení technologie podle teploty

Rozdělení procesů tváření podle teploty je rozdělení podle vztahu teploty k rekrystalizační teplotě. To je teplota, při které dochází k zotavení deformovaných zrn vzniklých právě při tváření za studena bez změny krystalové mřížky. Dělit proces tedy můžeme podle teploty na tváření za studena a tváření za tepla. [12]

Při zvyšování teploty materiálu se mění jeho deformační odpor proti tváření a zlepšují se plastické vlastnosti (platí pro kovové materiály a jejich slitiny). [12]

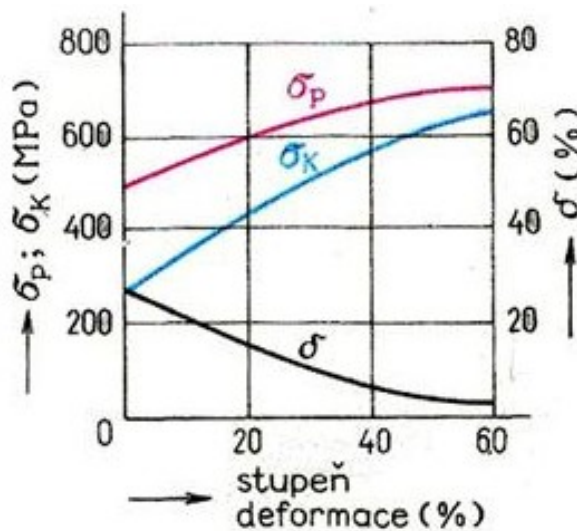


Obr. 1 Rozdělení tvářecích procesů podle teploty [12]

1.1.1 Tváření za studena

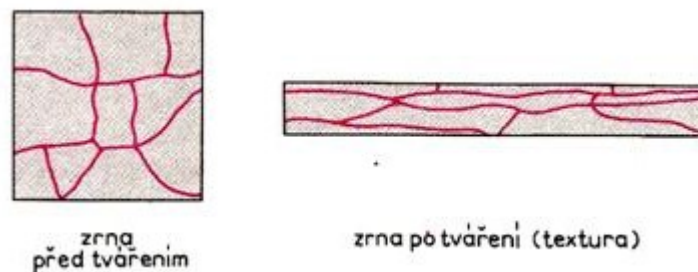
Při této modifikaci technologie se jedná o tváření pod rekrystalizační teplotou. Tato teplota je přibližně 30 % – 40 % teploty tání daného materiálu. [15]

Při procesu dochází ke zpevňování materiálu (dojde k vyčerpání plastičnosti materiálu a zvyšuje se odpor proti další deformaci). Zrna kovu se deformují ve směru tváření za vzniku textury a dochází k anizotropii mechanických vlastností. Díky tomuto faktu se zvyšuje mez pevnosti a kluzu, naopak klesá tažnost. [15]



Obr. 2 Změna mechanických vlastností v závislosti na stupni deformace [15]

Je-li potřeba materiál dále tvářet, je nutno jej vytemperovat na teplotu rekrystalizace, aby se zrna znovu zotavila. Díky tomu lze obnovit tvárnost materiálu. [9]



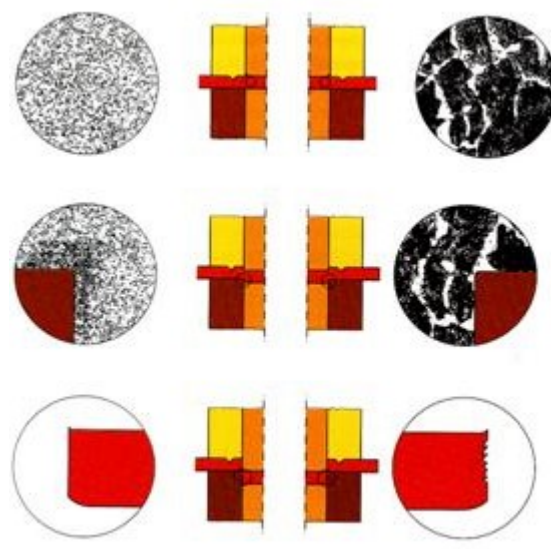
Obr. 3 Zrna kovu před a po tváření [9]

1.1.2 Tváření za tepla

Tváření, které probíhá při ohřátém materiálu nad rekrytalizační teplotou. Většinou nad teplotou tání pro daný materiál (přibližně 70 % teploty tání), proto při tváření nedochází ke zpevňování materiálu, neboť rekrytalizace probíhá již při tváření, nebo hned poté, dokud neklesne teplota pod teplotu rekrytalizace. Ocel s nízkým obsahem uhlíku lze ohřívat snadněji, než ocel legovanou. [11]

Při takovémto tváření vznikají okraje, může vznikat textura a hrubné zrno, což zhoršuje kvalitu při dalším opracování (například stříhání, obrábění atd.). [11]

Pro tváření za tepla je charakteristický vznik vláknitých struktur. Ta vzniká díky nečistotám obsažených v povrchových vrstvách krystalů materiálu. Vláknitá struktura mění mechanické vlastnosti a způsobuje anizotropii. [11]



Obr. 4 Vliv velikosti zrna na kvalitu stříhu [11]

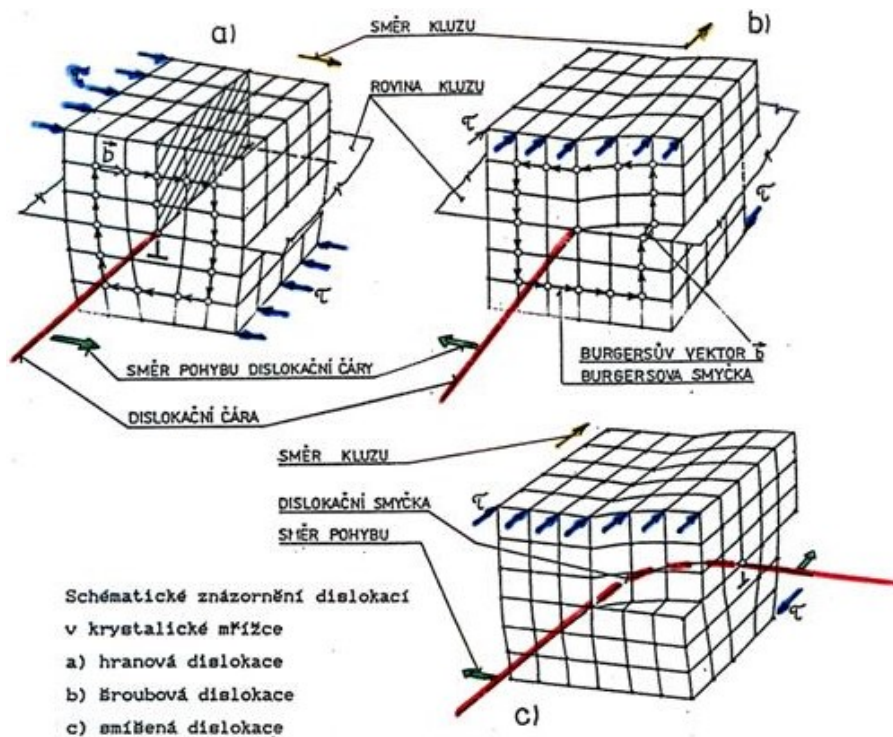
Celý proces tváření za tepla je energeticky náročný. Dochází však k odstranění trhlin v materiálu a vymizení bublin. [11]

1.2 Poruchy krystalové mřížky

Plastická deformace vzniká při posunu elementů kovu vůči sobě. Takové pohyby můžeme vidět na krystalové mřížce. Plastikou deformaci pak ukazuje právě vznik a pohyb mřížkových struktur. Podle velikosti a tvaru krystalografické neuspořádanosti můžeme určit mřížkové poruchy:

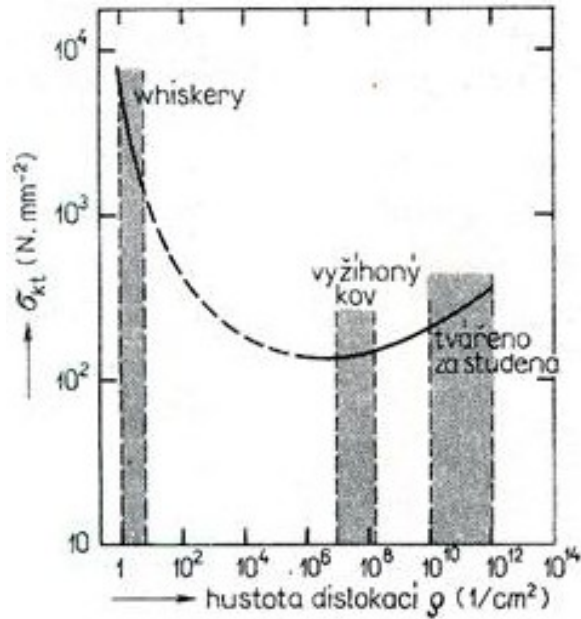
- **Bodové** – vakance, interstice, substituce
- **Čárové** – hranové, šroubové
- **Plošné** – hranice zrn, subzrn, dvojčatění, vrstvené vady
- **Prostorové** – hranice krystalu, amorfni částice, cizí částice [11]

Největší vliv na plastickou deformaci mají čárové poruchy tzv. dislokace. Projevují se posunutím atomů kovu z původních poloh krystalové mřížky. Tyto dislokace se mohou pohybovat, vznikat a zanikat. [11]



Obr. 5 Dislokace a Burgersův vektor [11]

Tvářením narůstá počet dislokací. Dochází ke zpevnění a zvýšení pevnosti, avšak na druhé straně roste i odpor proti deformaci. [11]



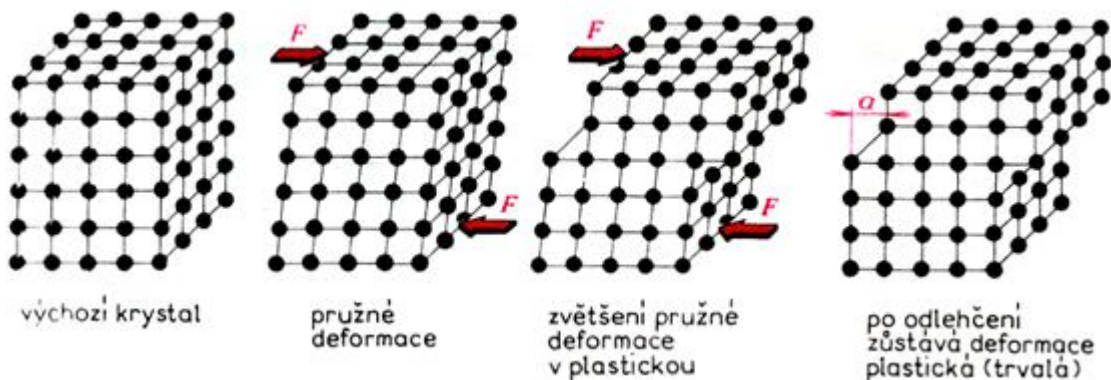
Obr. 6 Hustota dislokací a vliv na deformaci [11]

1.3 Plastická deformace kovů

Překročí-li napětí mez kluzu, dochází k trvalé deformaci a objekt se již do původního stavu nevrátí. [11]

Deformace je změna krystalové mřížky, kdy se mění tvar, avšak nedochází k tvorbě trhlin. Můžeme ji dělit na pružnou a trvalou. Pokud nepřekročí napětí mez kluzu, jedná se o deformaci pružnou - po odstranění působení síly se deformovaný objekt vrátí do původního stavu. [11]

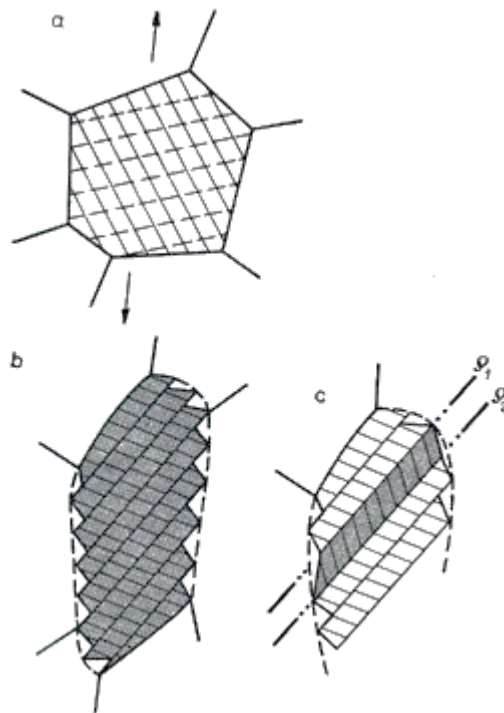
Velikost deformace určují faktory: teplota, rychlost zatížení, zpevnění, tření, chemické složení atd. Tyto faktory určují odpor proti deformaci (tzv. deformační odpor). [11]



Obr. 7 Pružná a trvalá deformace [11]

Plastickou deformaci dělíme podle mechanismu, a to na deformaci skluzem a dvojčatěním. Převažuje ten mechanismus, na který je potřeba nejmenšího napětí. Při deformaci skluzem se atomy posunují proti sobě postupně a posouvají se ve směru působení napětí. Jestliže se dislokace zastaví, je nutné zvýšit napětí, aby došlo k jejímu pokračování. Pro tváření za studena je typické zpevňování kovu. Proto při stálém zvyšování napětí může dojít až k porušení materiálu. [11]

Naopak dvojčatění se projevuje natočením krystalové mřížky tak, aby mohlo dojít ke skluzu. Poté se část krystalové mřížky deformuje skluzem. [11]



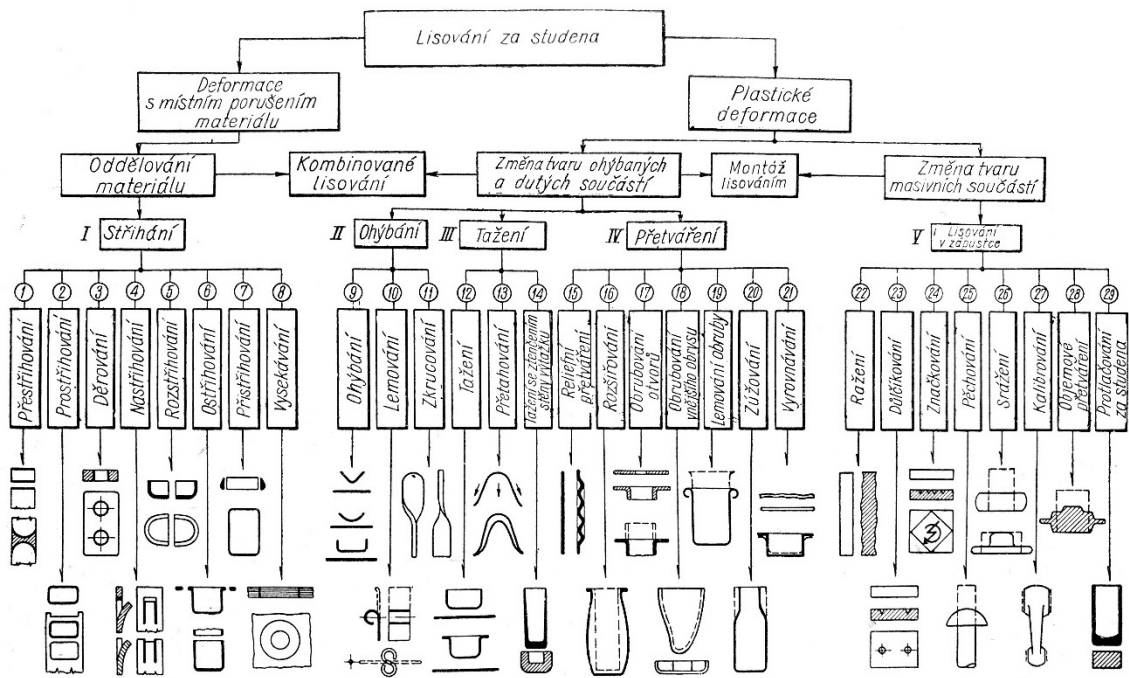
Obr. 8 a – zrno bez deformace;

b – deformace skluzem;

c – deformace dvojčatěním [11]

2 TEORIE LISOVÁNÍ PLECHU ZA STUDENA

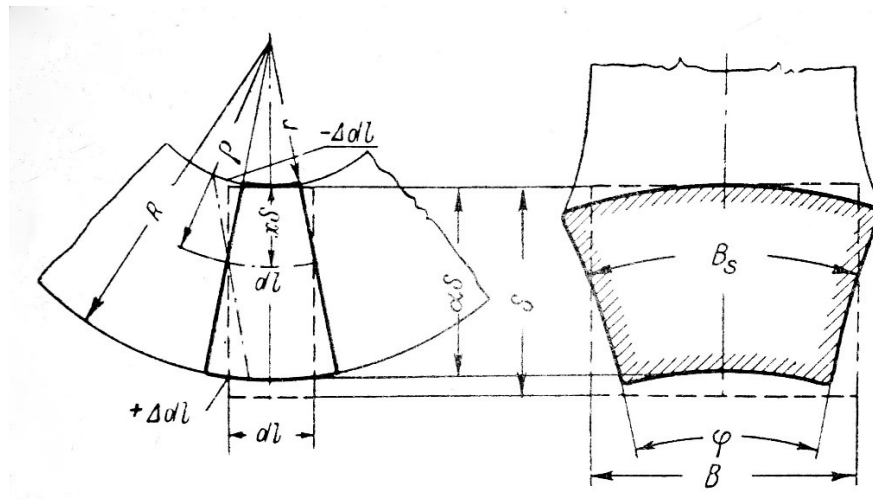
S ohledem na zaměření praktické části této diplomové práce, se budeme dále zabývat pouze plošným tvářením, tedy takovým, kdy při tváření nedochází k větší změně průřezu, nebo tloušťky materiálu. Mechanické vlastnosti materiálu se nemění, dochází totiž jen k ohýbání, stříhání, či tažení. [1]



Obr. 9 Třídění základních operací lisování za studena [1]

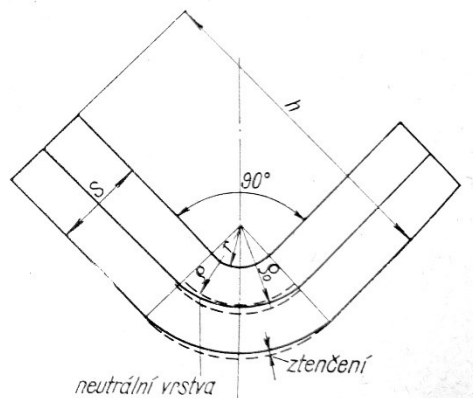
2.1 Ohýbání

Ohýbání je pružně-tvárná deformace plechu, jež probíhá různě po obou jeho stranách. Vrstvy kovu na vnitřní straně ohybu se stlačují a zkracují v podélném směru, zatímco se roztahují ve směru příčném. Na vnější straně děj probíhá naopak. Jelikož však probíhá ve většině případů ohyb na polotovaru, kde je tloušťka materiálu několika násobně menší než šířka, tak se příčné roztažení zanedbává. [1]



Obr. 10 Schéma elementu v prostoru při ohýbání (___ je vyznačen stav před ohybem; ___ je vyznačen stav po ohybu) [1]

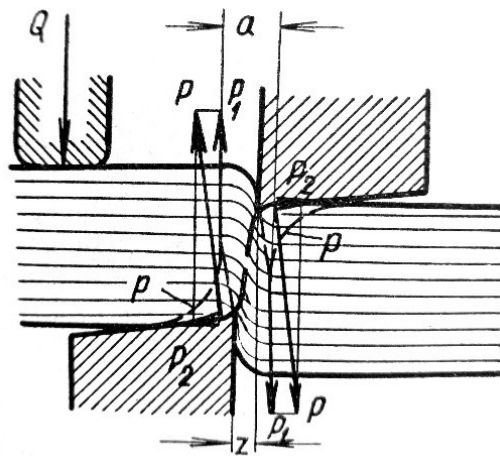
Mezi takto prodlouženými a zkrácenými vrstvami se nachází neutrální vrstva. Tato vrstva v průběhu deformace nemění svou délku, avšak její poloha se posouvá z prostředku směrem k malému poloměru ohybu. Tato skutečnost je způsobena tenčením materiálu v místě ohybu. [1]



Obr. 11 Pozice neutrální vrstvy při ohybu [1]

2.2 Stříhání

Stříhání je děj, při kterém dochází k dělení materiálu za pomoci mechanické síly. U lisování za studena je tato technologie využita hlavně k dělení materiálu ze svitků na polotovary, ostříhování těchto polotovarů po tažení a děrování, či vystříhování vnitřních otvorů. [1]



Obr. 12 Schéma průběhu stříhání stříhadly [1]

Celý proces stříhání probíhá ve třech fázích:

1. Pružná fáze, ve které nastává vratná deformace a není překročena mez pružnosti v napětí.
2. Tvárná fáze, kde se jedná o fázi deformační, která však už není vratná. V napětí dochází k překročení meze kluzu a dále roste až k mezi pevnosti ve smyku (stříhu). Během této fáze se nože vtlačují do kovu, dle jeho tvrdosti do 0,2 – 0,5 tloušťky plechu.
3. Porušení materiálu (tzv. usmyknutí). Vznik mikro a posléze makro trhlin po kluzných plochách. Tím vzniká oddělení materiálu. Na schématu Obr. 12 můžeme vidět P_1 , které tvoří střížné síly. S ramenem „a“ (přibližně 1,5-2 z, kde z je vůle mezi noži) tvoří moment $M = P_1 * a$. Tento moment se snaží otočit materiál a zaklínovat se mezi noži. Tím se vytváří boční rozpínací síla. Aby se zamezilo otáčení materiálu, je třeba použití přidržovače Q. [1]

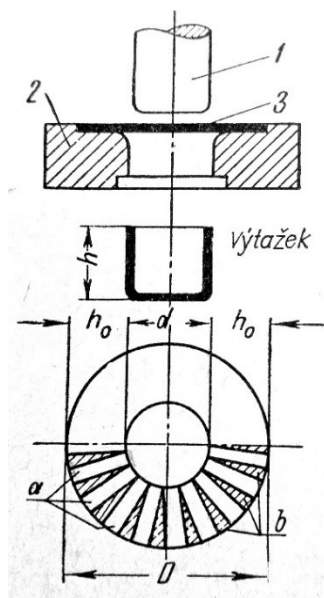
| Způsob stříhání | Schema | Střižná síla v kg |
|--------------------------------|--------|---|
| Stříhání rovnoběžnými noži | | $P = L \cdot S \cdot \sigma_s$ |
| Stříhání na tabulových nůžkách | | <ol style="list-style-type: none"> 1. $P = kF\sigma_s$ 2. $P = 0,5 \frac{S^2}{\text{tg } \varphi} \sigma_s$, kde $\varphi = 2$ až 5° |

Obr. 13 Vzorce pro výpočet střižné síly nůžek (L – délka stříhu, S – tloušťka materiálu, φ – úhel sklonu nožů ve stupních, σ_s – dnes značeno τ_s mez pevnosti ve smyku)

[1]

2.3 Tažení

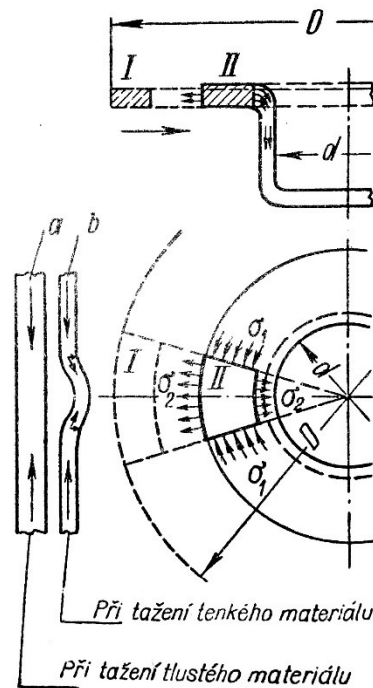
Jedná se o operaci, při které je z plochého polotovaru vytvořena součást dutého tvaru. Dělí se na tažení bez ztenčení stěn, tažení se ztenčením stěn a přetahování s roztahováním materiálu. Při tažení dochází k tvárné deformaci, při které se přesouvá značná část kovu. [1]



Obr. 14 Tažení válcového stavu [1]

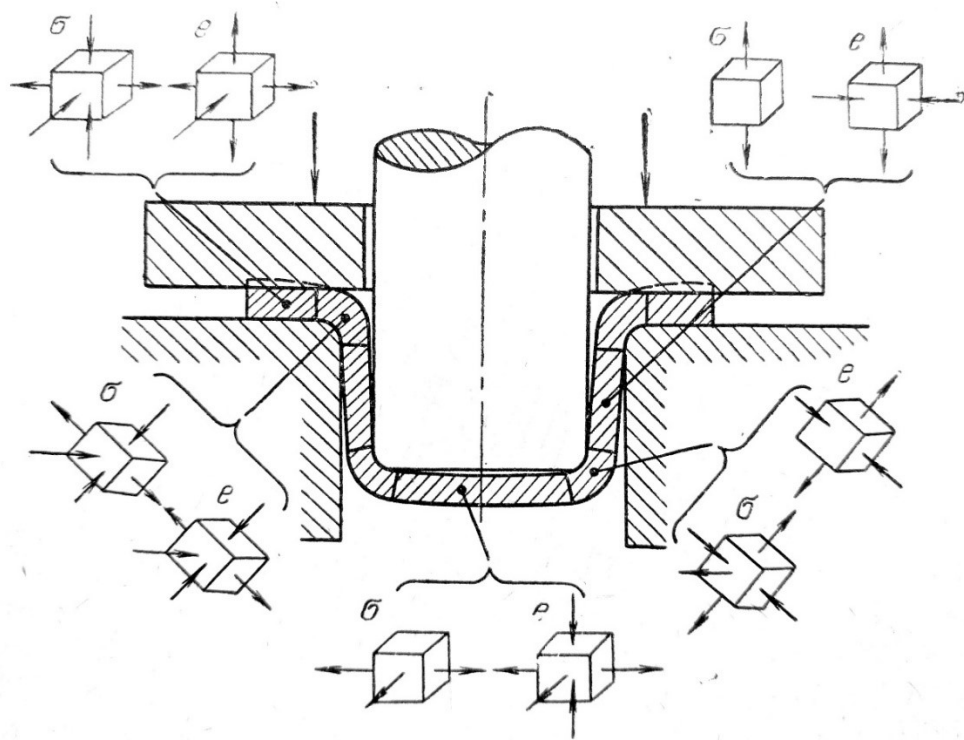
V případě, že se jedná o hluboké tažení, přesunutý přebývající objem je příčinou vzniku vlnění materiálu. Toto zvlnění vzniká převážně u tenkých materiálu. U polotovarů s větší tloušťkou materiálu vlnění nevzniká. Aby se vzniku vln zamezilo, používají se tzv. přidržovače. [1]

Na začátku první fáze tažení se u částice polotovaru I na Obr. 15, která je poblíž příruby, se nejvíce projevuje tangenciální deformace tlakem. V radiálním směru je deformace prodloužením středně veliká a deformace nejnižší, což se projevuje zvětšením tloušťky materiálu. Vlivem tangenciální deformace tlakem se při tažení tenkého materiálu tvoří již zmíněné vlnění po okrajích. [1]



Obr. 15 Rozdíl v tažení tenkostěnného a tlustostěnného materiálu [1]

Pakliže se polotovar přesune do polohy II ve směru k tažné hraně, bude největší deformací radiální prodloužení. Tangenciální stlačení se postupně zmenšuje. Jakmile přechází částice přes tažnou hranu, stává se deformace složitější, neboť nastává prostorový ohyb. Následně částice polotovaru klouže po stěně svíslé stěny. V těchto místech dochází k mírnému natažení částice a její ztenčení. Dochází k prodloužení zhruba o 1 až 2 %, zúžení materiálu o 2 až 3 %. Celý průběh napětí a deformace můžeme vidět na obr. 16. [1]



Obr. 16 Průběh napětí a deformace při tažení s přidržením [1]

Při tažení je vhodné dodržet několik zásad tak, aby byl průběh deformace kovu co nejlepší. Jedná se například o tyto zásady:

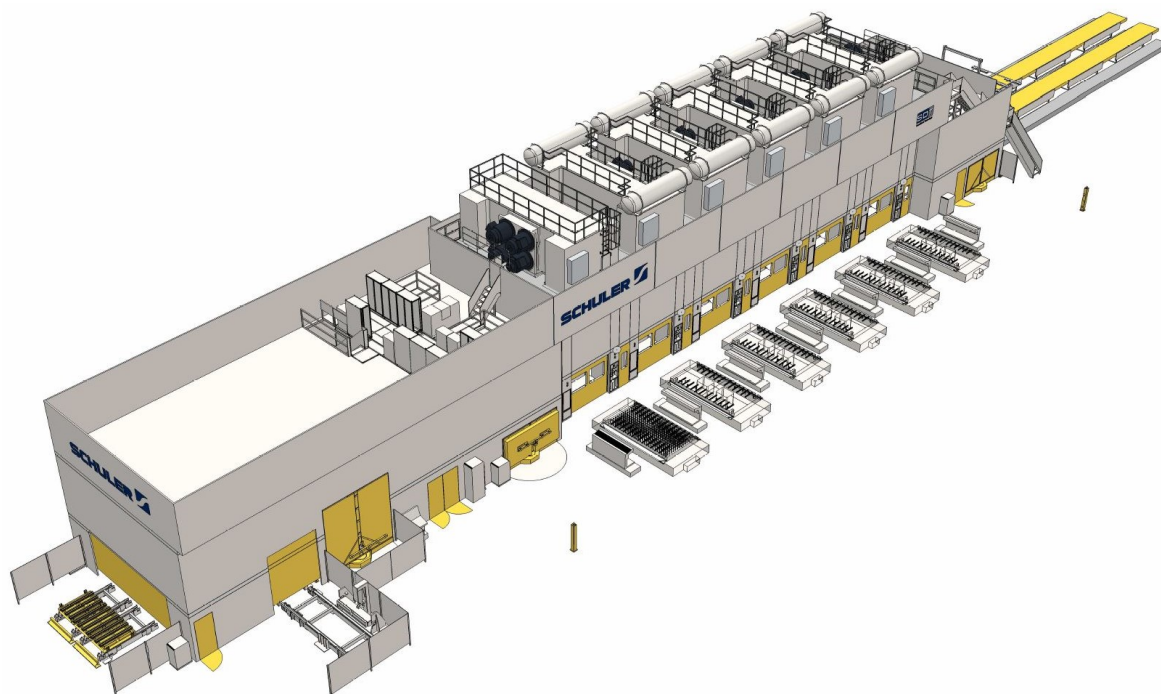
- Zmenšení odporu ploché příruby proti deformaci.
- Snížení tečného napětí tlakových v přetvářené přírubě, nebo zvětšení její stálosti, aby se zamezilo tvoření záhybů.
- Zmenšení napětí v tahu kritického průřezu, čímž se zabrání možnému přetržení, současně se zvětší pevnost tahu pro daný kov v daném místě. [1]

3 LISOVACÍ LINKA

Lisovací linka je soustava strojů fungujících ve vzájemné kooperaci. Všechny stroje jsou řízeny většinou jedním programem. V této lince funguje vše naprosto automaticky, bez nutnosti zásahu člověka (vyjma seřízení a krizových situací). [2]

Nejedná se však o lisování dílů ze svitku. To znamená, že na začátku vstupuje nástřih (plech z nástřihové operace specifického tvaru – taktéž nazýván jako platina) a na konci, po vykonání série operací, vystupuje hotový díl. [2]

3.1 Lisovací linka PXL



Obr. 17 Lisovací linka PXL [17]

Skládá se z následujících strojů a zařízení:

- **Rozstohovací zařízení** – slouží k rozstohování a kontinuální dodávce nástřihu, bez nutnosti zastavení lisu.
- **Podavač** – představuje dvě robotická ramena, které střídavě umisťují nástřih ze stohu na dopravník.
- **Pračka** – pomáhá ke zbavení platiny od nečistot a případné přimazání před lisováním.

- **FOL dopravník** – neboli „*front of line*“ dopravník je pás, který dopraví nástřih před první operaci (značenou jako operace 20).
- **Kalibrovací mechanizace** – Umístěná přímo nad FOL pásem. Zde se díky optickým sensorům kalibruje přesná poloha nástřihu na dopravníkovém pásu tak, aby následná mechanizace správně založila nástřih do první operace.
- **FOL mechanizace** – Mechanizace přenášející platinu z FOL pásu a následně zakládá do první operace.
- **Lisy** – Série lisů stojících za sebou, které provádí samotné lisovací operace.
- **Mezioperační mechanizace** – Robotické ruky s přísavkami, jež přenášejí díl z jedné operace do druhé.
- **EOL mechanizace** – „*End of line*“ mechanizace, která slouží na odložení dílů z poslední operace na EOL pás.
- **Ergonomická mechanizace** – Mechanizace sloužící k polohování dílů na EOL tak, aby bylo zajištěno ergonomické odebírání obsluhou z EOL pásu.
- **EOL pás** – Konec linky. [17]



Obr. 18 Lisovací linka PXL ve firmě Škoda-auto a.s. [17]

4 LISOVACÍ STROJ

Pro lisování za studena se používá řada odlišných druhů lisů. Tyto stroje mohou pracovat za různých podmínek. Lisy dělíme podle způsobu uvádění do chodu, a to na mechanické, elektromagnetické, pneumatické a hydraulické (Obr. 19). Nejčastěji se pro lisování používají lisy mechanické. Ty dělíme dále na klikové a vřetenové. [1]

Mechanické a hydraulické lisy dělíme dle toho, jak působí na lisovaný materiál, tzn. na jednočinné, dvojčinné a trojčinné. [1]

| Lisy pro práci za studena | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------|--------|-----------------|--------------|----------------------------|-----------------------|-----------|----------------------|----------------------|----------------------------|---------------------------|------------------|------------|-----------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------|----------------|---------------------|----------------------|-----------------|----------------|---------------|--------------|---------------|----------------|------------------|----------------|------------------|
| Mechanické | | | | | | | | | | | | | | | | | Elektromagnetické | | Pneumatické | | | Hydraulické | | | | | | | | | |
| Ruční a nožní | | | | | S pohonem strojním | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ruční | | Nožní | | | Jednočinné | | | | | | | | Dvoučinné | | | | Trojčinné | | Automaty | | | | Vřetenové třecí | | | | Jednočinné | | Dvoučinné | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
| Vřetenové | Hřebenové | Pákové | Kloubové pákové | Nožní pákové | Výstředníkové jednoramenné | Klikové dvoustožánové | Naklápěcí | Klikové dvouojnicové | Klikové čtyřojnicové | Klikové se spodním pohonem | Klikové kolenové (razící) | Klikové kloubové | Třířlíkové | Klikové vačkové | Klikové s kolenovými pákami | Kulisové (se spodním pohonem) | S jedním společným pohonem | Se dvěma samostatnými pohony | Se spodním pohonem | Postupové lisy | Univerzální ohybači | Pěchovací za studena | Speciální | Jednokotoučové | Dvoukotoučové | Tříkotoučové | Bezokotoučové | S akumulátorem | Bezakumulátorové | S akumulátorem | Bezakumulátorové |

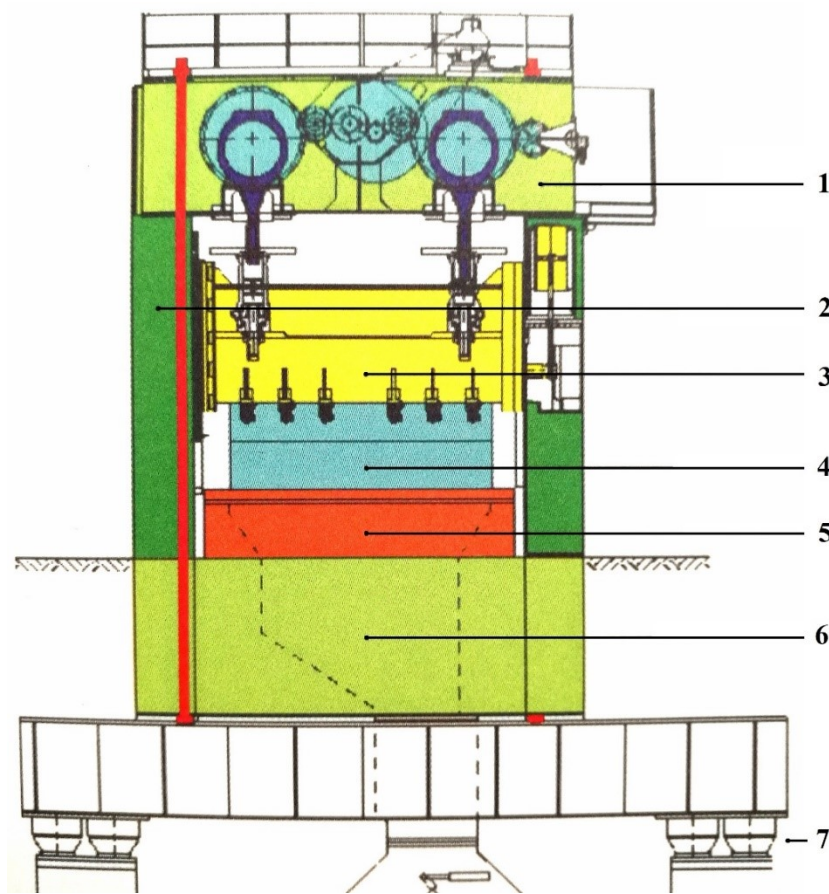
Obr. 19 Rozdělení lisů pro lisování za studena [1]

Jednočinné lisy používající jedno smykadlo slouží pro různé lisovací práce. Dvojčinné lisy disponují dvěma samostatnými smykadly. Používají se zejména pro tahové operace. Trojčinné lisy mají buď dvě horní a jedno spodní smykadlo. To vykonává tažné operace při pohybu v opačném smyslu. Nebo dvě smykadla a stůl, jež se pohybuje proti smyslu pohybu smykadel. První typ lisu je využíván pro složité a hluboké tažné operace (součásti karoserií pro automobilový průmysl), naopak druhého typu se využívá pro dvojité, nebo trojitě hluboké tažné operace. [1]

Klikové lisy dále rozdělujeme podle počtu ojníc na jednoojnicové, dvouojnicové a čtyřojnicové. Čtyřojnicové lisy byly vytvořeny pro lisování velkých součástí s cílem zabránit možnému naklopení smykadla, působí-li na něj tlak výstředně. [1]

Podle podmínek práce a dle tvaru lisovaných součástí mají výstředníkové a klikové lisy různé tvary stojanů: svislé, vodorovné, naklápěcí, jednoramenné a dvojité.

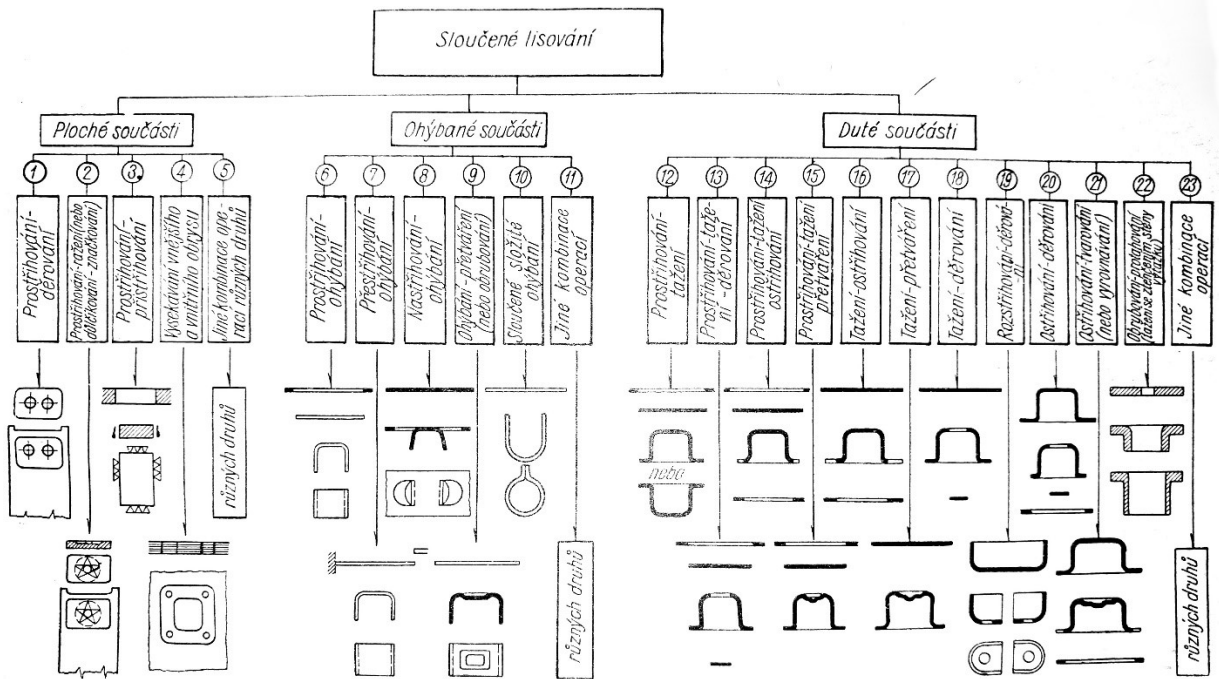
U jednoramenných lisů je klikový mechanismus upevněn na letmém konci pracovního hřídele. Lis je zepředu a ze stran otevřen, používá se jak pro práci s pásovým materiálem, stejně tak i pro lisování jednotlivých dílů. Výstředníkové, jednoramenné lisy jsou v provedení s nehybným, svisle přestavitelným, nebo otáčivým stolem. U dvoustojanových lisů je klikový mechanismus umístěn mezi dvěma hlavními ložisky nebo mezi dvěma opěrami. [1]



Obr. 20 Schéma lisu poháněného servomotorem (1 – vrchní část lisu s hlavním pohonem, vačkami a uzamykáním; 2 – vzpěry se spojovacími tyčemi; 3 – beran lisu s protizávažím; 4 – nástroj; 5 – výjezdný stůl lisu; 6 – uložení lisu se vzduchovými válci a odvodem odpadu; 7 – tlumiče vibrací) [2]

5 LISOVACÍ NÁSTROJ

V lisovacím stroji se používají nástroje pro sloučené lisování. To znamená, že v každé operaci je zkonstruován jeden nástroj, který může dělat více činností najednou. Z pravidla bývá první operace tahová. Tím se vytvoří základní tvar. Následné operace již bývají převážně sloučené, kdy se může kalibrovat a stříhat zároveň. [1]



Obr. 21 Rozdělení operací sloučeného lisování [1]

Fakt, co se bude v jednotlivých operacích dělat, se zanaší do metodického plánu. Je snaha o to, zařadit co nejvíce činností do jedné operace. Díky tomu je možné snížit počet operací, tím i potřebných nástrojů. Lze docílit úspor až několik set tisíc euro. [1]

5.1 Konstrukce lisovacího nástroje

Konstrukce lisovacího nástroje v automotive probíhá na základě dat z designu, po kontrole lisovatelnosti a vypracovaného metodického plánu. [1]

Nejdříve je třeba vymodelovat samotný díl, jež se má vyrábět. Ten musí splňovat nespočet podmínek (materiál, RPS body, pozitivní úhly, design atd.). Nejdůležitějším parametrem je však lisovatelnost. [1]

Dříve musely být díly účelné a většinou byl design závislý na jednoduchosti vyrobitelnosti. Lisovatelnost byla zkoušena na modelech, avšak jen těžce se ověřovala. V dnešní době jde

design ruku v ruce s vyrobiteľnosťou a je na ňej kladen veľký dôraz. Taktéž se velmi zdokonalila technológia, materiály a počítačová podpora. Preto je možné každý diel vyšetřit na lisovateľnosť ešte dříve, než fyzicky existuje samotný nástroj. Díky tomu se dají odladit jednotlivé operace s veľkou presnosťou a upravovat plochy, ořezové křivky, na základě kterých lze pak tvarové části, nebo tvarové střížníky vyrobit. [1]

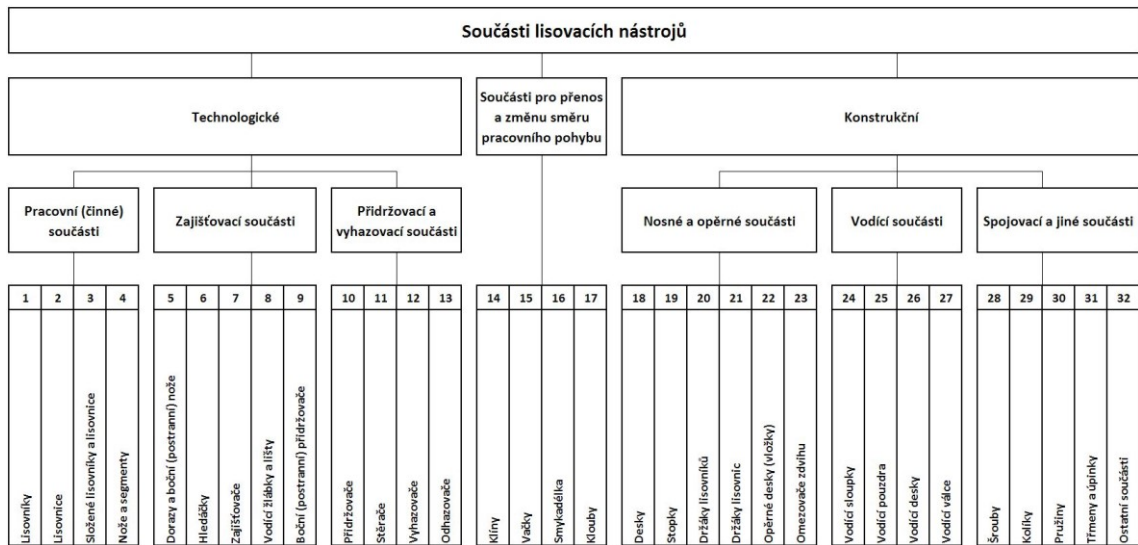
To všechno se děje na plánování lisoven. Díl dojde v podobě dat z designu a následně se vloží do programu Autoform. Tento software slouží jako simulátor lisovacího procesu. Dále se vytvoří tvar lisovníku a lisovnice, připraví se jednotlivé operace a prověří se lisovateľnosť. Výsledkem této simulace jsou rozměry nástřihu, směry klínů, směr lisování, míry ztenčení materiálu v jednotlivých místech, zvlnění materiálu, „unbending“ (narušení povrchové vrstvy plechu při tažení), případné porušení materiálu atd. [1]

Pakliže je díl schválen jako lisovateľný, data putují k „metodáři“. Jedná se o specialistu na tvorbu metodických plánů. Ten sestaví jednotlivé operace, vloží hlavní kříže určující směr lisování a kříže pro umístění klínů. Taktéž ořezové plochy pro tvárník a tvárnici, pro vyráběné klíny, tvarové střížníky aj. Tedy metodický plán je takové zadání pro konstruktéra nástroje. [1]

5.2 Složení lisovacího nástroje

Nástroje pro lisování obsahují několik prvků. Ať už jsou to prvky funkční, nosné, bezpečnostní a v poslední době i „chytré“ (sledování tlaku v plynových pružinách a kamerové systémy), atd. Níže uvedený text nebude zaměřen na všechny tyto prvky, především však na takové, které nějakým způsobem ovlivňují průchod nástrojem z hlediska mechanizace. [17]

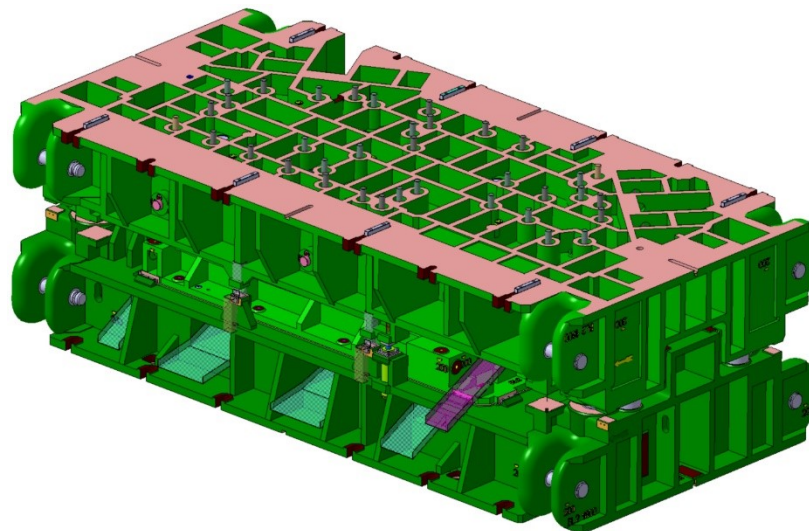
Přesné rozdělení všech částí lisovacího nástroje pro lisování za studena lze vidět na Obr. 22. [1]



Obr. 22 Třídění součástí pro lisovací nástroje [1]

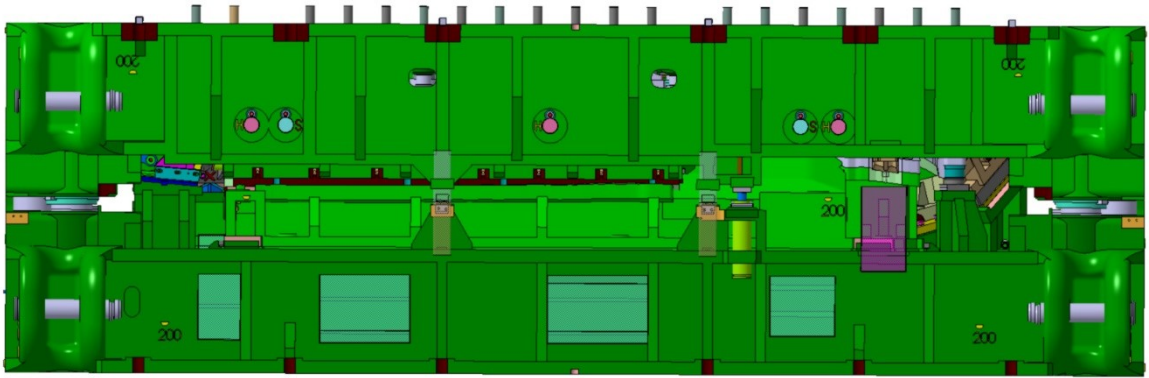
5.2.1 Bedna (Box)

Všechny části nástroje jsou uloženy v takzvaném boxu neboli bedně. Jedná se o horní a spodní díl vyrobený z litiny, který slouží jako nosná část pro všechny komponenty. Hlavní rozměry jsou dány normou VDI a VW, aby měly všechny nástroje stejnou sevřenou výšku. Tím odpadá nastavování výšky beranu lisu, což značně urychlí výměnu nástrojů. [1]



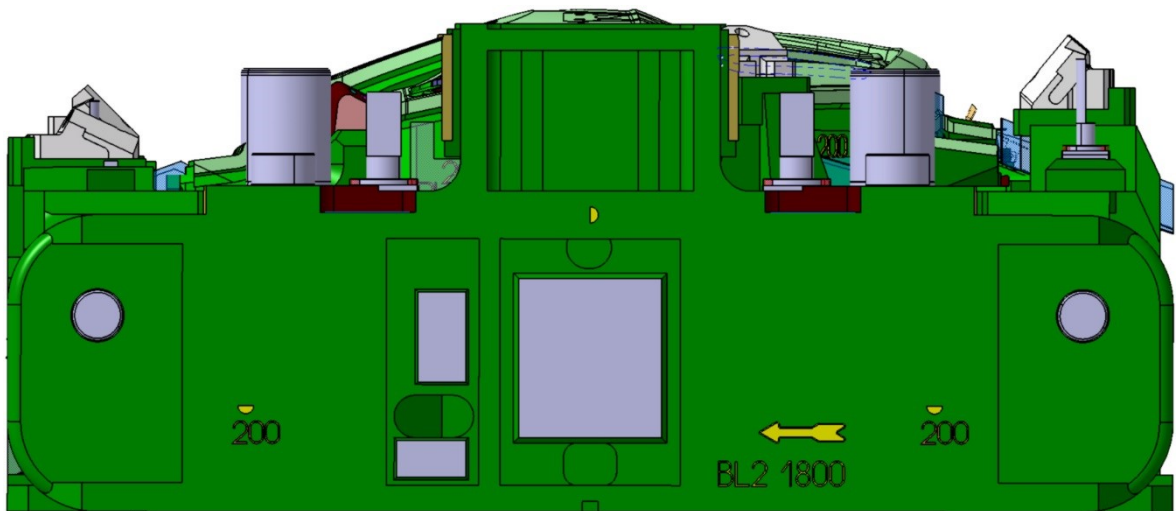
Obr. 23 Lisovací nástroj

Lisovací nástroj je rozdělen dělicí rovinou na dvě hlavní části. Jedna statická (dolní část) a druhá dynamická (horní část, upíná se na beran). Dělicí rovinu určuje převážně tvar výsledného polotovaru po tažení. [1]



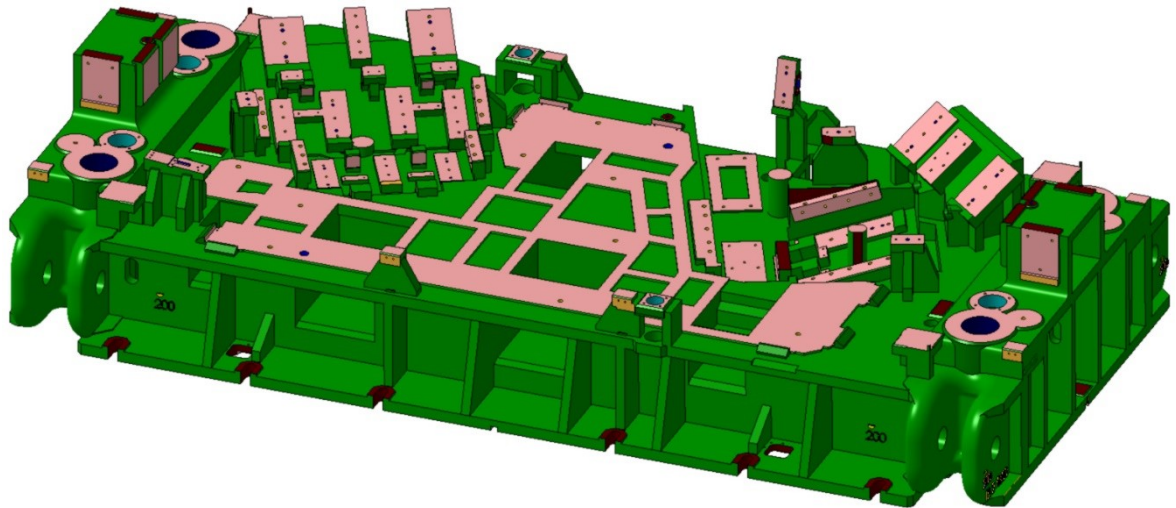
Obr. 24 Nástroj se skládá z dolní části a horní části

Litina (box) je jedna z prvních geometrií nutná na kontrolu vnější kolize. Nachází se zde hned několik výstupků. První a vůbec nejdůležitější je štolové vedení a vodící sloupky.



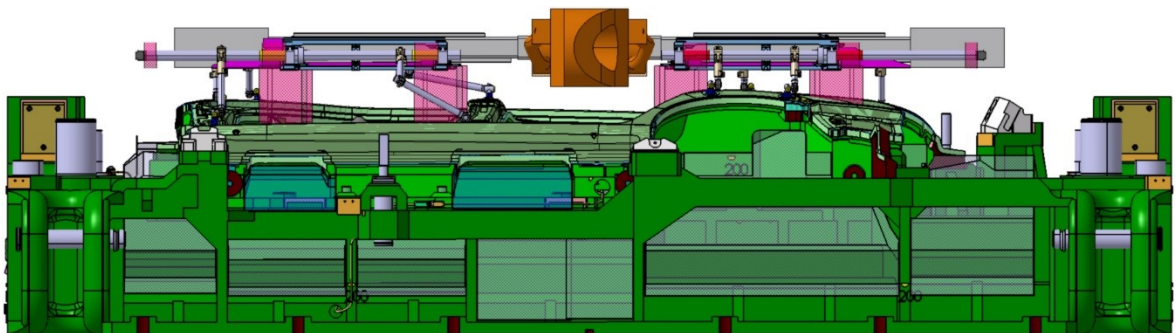
Obr. 25 Štolové vedení s přidáním sloupkovým vedením

Štolové vedení a vodící sloupky se umísťují po stranách litiny. Slouží ke vzájemnému uzamčení obou dílů boxu, pro přesné navedení při lisování a zabraňují kolizi zámek, neboť použité klíny mohou při nájezdu vychylovat beran lisu do strany. Na štolky se umísťují bronzové, nebo sintrované kluzné desky. Sloupky se vyrábí z tvrzené oceli 16MnCr5 (60–64 HRC). [1]



Obr. 26 Litina spodního dílu

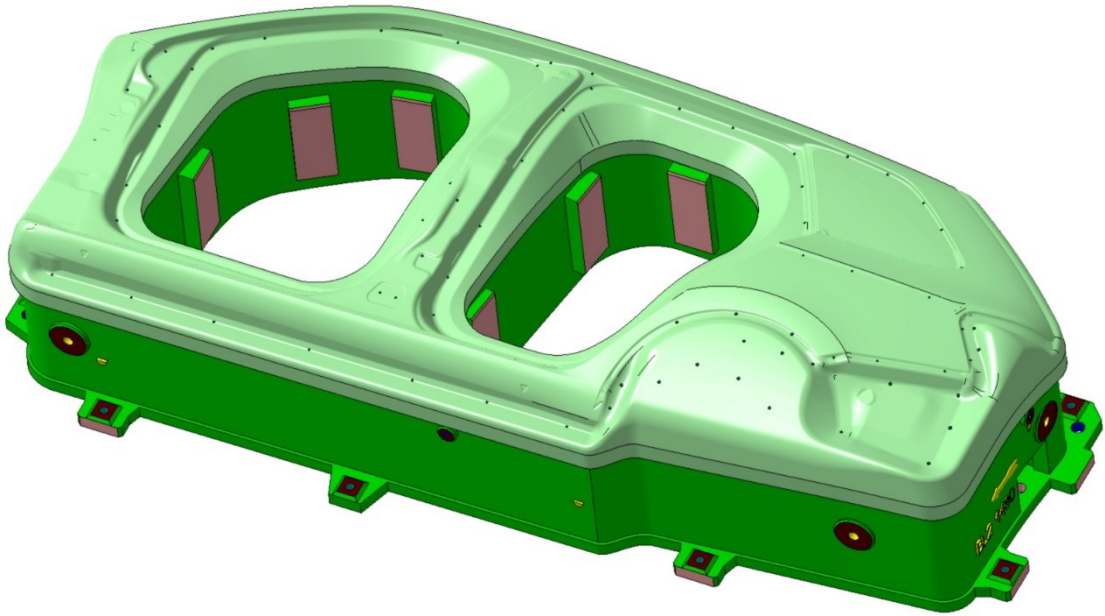
Štolové vedení se nejčastěji umísťuje do míst, kde je největší profil dílu a klínová zástavba. Tím dojde k menšímu úběru místa pro mechanizaci. Je třeba podotknout, že štolové vedení nevádí všem druhům mechanizace. Například traverza s upnutím v jednom bodě (uprostřed jako je tomu na PXL), není tak dlouhá, aby ji štolové a sloupkové vedení omezovalo. [1]



Obr. 27 Traverze manipulace PXL není omezena hlavním vedením nástroje

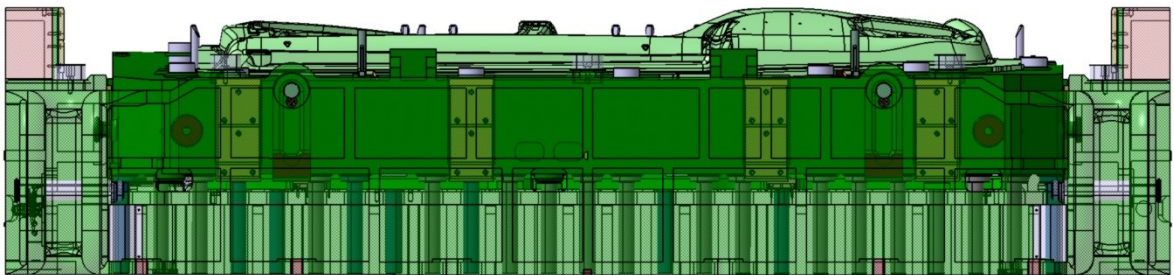
5.2.2 Tažník / přidržovač a nástavek

Mezi hlavní prvky lisovacího náradí patří tažník/přidržovač a nástavek (pro první tahovou operaci je to tažník a v následných operacích se jedná o přidržovač). [1]



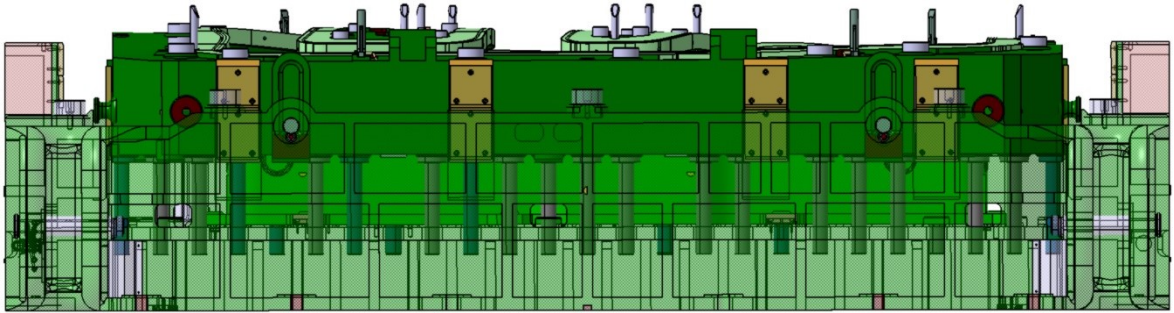
Obr. 28 Nástavek (tažník)

V první tahové operaci tažník a nástavek tvoří tvar dílu. Pohyblivý je spodní přídržovač, který je nastavitelný a řídí jej spodní válce lisu, které tlačí do vzpěrných kolíků umístěných na přídržovači. Tento přídržovač zaujímá tři pozice: zakládací, pracovní a pozici vyjmutí. [1]



Obr. 29 Přídržovač v sevřené poloze nástroje

Zakládací poloha (taková, aby byl přídržovač v jedné rovině s nejvyšším místem nástavku). Je to z důvodu, aby došlo k přidržení nástřihu ještě před tím, než dojde k samotnému tažení. V této pozici je z hlediska mechanizace nutné dávat pozor na střediče. Obzvláště při výjezdu mechanizace kolize střediče s přísavkami je možná. [1]



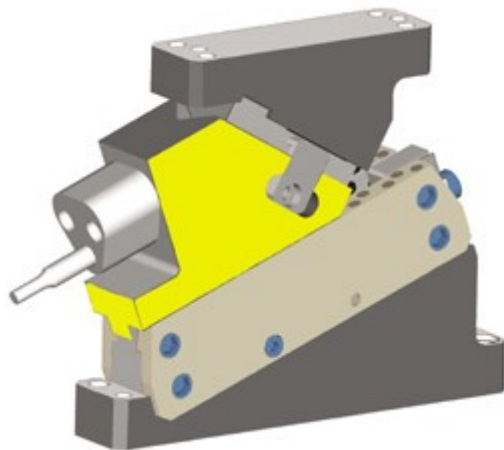
Obr. 30 Přidržovač v základací poloze vyzvednutý vzduchovými válci lisu

Pracovní poloha (při dolní úvratí beranu lisu) = maximální sevření nástřihu. Poloha vyjmutí (standardně 20 mm nad polohou pracovní). Dojde k pozdvižení dílu, neboť po tahové operaci se může díl přisát na nástavek (používá se zároveň s odvodušňovacími kanálky, aby nedošlo k deformaci dílu). [1]

Pro další operace se umísťuje přidržovač na horní stranu lisovacího nástroje. Jeho síla je řízena lisem a popřípadě přidanými plynovými pružinami. V takovém případě již plní úkol pouze přidržení při stříhání, či kalibrování. Tyto přidržovače můžou zmenšovat průchozí prostor pro mechanizaci, neboť ve vyjeté poloze jsou častokrát vyjety pod úroveň horní části boxu. [1]

5.2.3 Klíny a vedení klínů

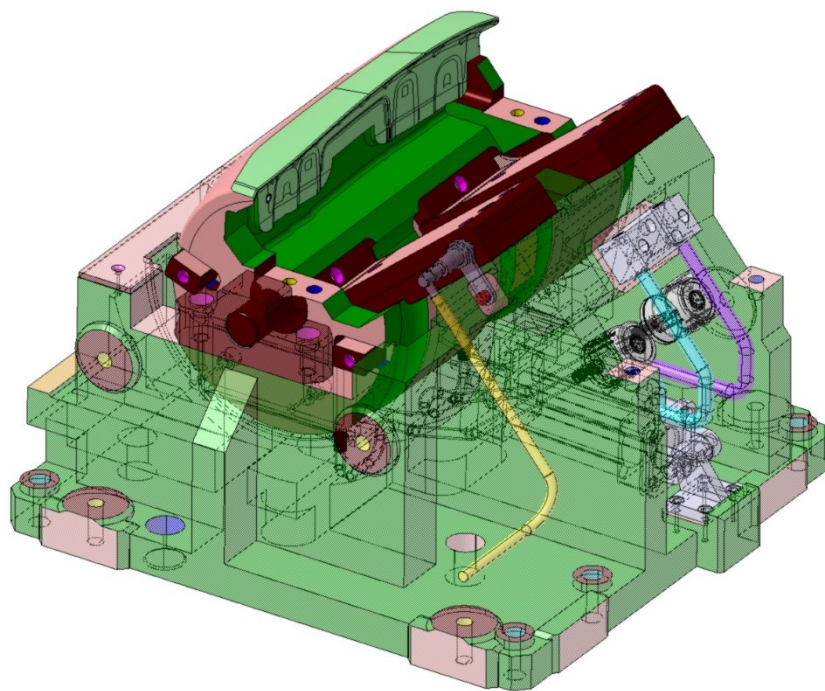
Klíny slouží ke změně směru působící energie beranu. Skládá se ze tří částí. Vedení klínu, klín a nahánění klínu. Umísťují se jak na horní, tak na dolní část bedny. Z hlediska ekonomiky je dělíme na kupované a vyráběné, přičemž vyráběné klíny jsou dražší. Nicméně, někdy právě kvůli samotnému nedostatku místa v zástavbě, mechanizaci aj., je nutné využít právě klínů vyráběných [1]



Obr. 31 Klín s lineárním vedením Dayton [18]

Z hlediska pohybu je dělíme na klíny s lineárním pohybem a rotačním pohybem. Klíny s lineárním pohybem zastávají funkci stříhací, děrovací, vyplňovací, tvarovací, kalibrovací a ohýbací. [1]

Rotační klíny bývají často nasazovány tam, kde je třeba vyplnění „za roh“. Ať už z důvodu zástavby, nebo tvaru, či nemožnosti použít lineární klín s pneumatickým naháněním. [1]



Obr. 32 Rotační klín (vyráběný)

6 MEZIOPERAČNÍ MECHANIZACE LISOVACÍ LINKY

Mechanizace spočívá v nahrazování práce ruční za práci vykonanou motorem. Tím lze docílit zvýšení výkonu daleko za hranice lidských možností a posunout tuto hranici na hranici technologickou. [5]

Mezioperační mechanizace slouží k transportu dílů mezi operacemi. Pro linky PXL a GRS je typické, že mechanizace jede bez zastavení a vyjímá a zakládá díly za neustálého pochodu lisu. [5]

Většinou se jedná o traverzu, která je umístěna kolmo na směr průchodu (horizontálně). Traverza obsahuje pár saní, které se mohou hýbat od sebe a k sobě po ose traverzy. Na tyto saně se staví pavouk s přísavkami. Traverzu pak nese samotná mechanizace, a to buď jedno rameno upevněno uprostřed traverze, nebo dvě ramena upevněna po stranách traverze. [5]

Automatizace spočívá v samočinném řízení a samočinné kontrole při vykonávání nějakého procesu. Jedná se řízení mechanizace za pomoci technologie namísto člověka.

V případě lisování stačí nastavit pouze program a mechanizace se bude tímto programem řídit opakovaně s velkou přesností. Na to navazují automaty. Zařízení, které dokážou samy řídit určitý proces, nebo jeho část, bez nutnosti zásahu člověka. Například, využití při pozicování nástřihu na podavač pro mechanizaci. Tento proces je řízen automaticky pomocí optické lokalizace dílu a následně vyhodnocení a přestavení pomocí manipulátoru do správné polohy. [5]

6.1 Důvody pro zavedení mechanizace

6.1.1 Vyšší produkce

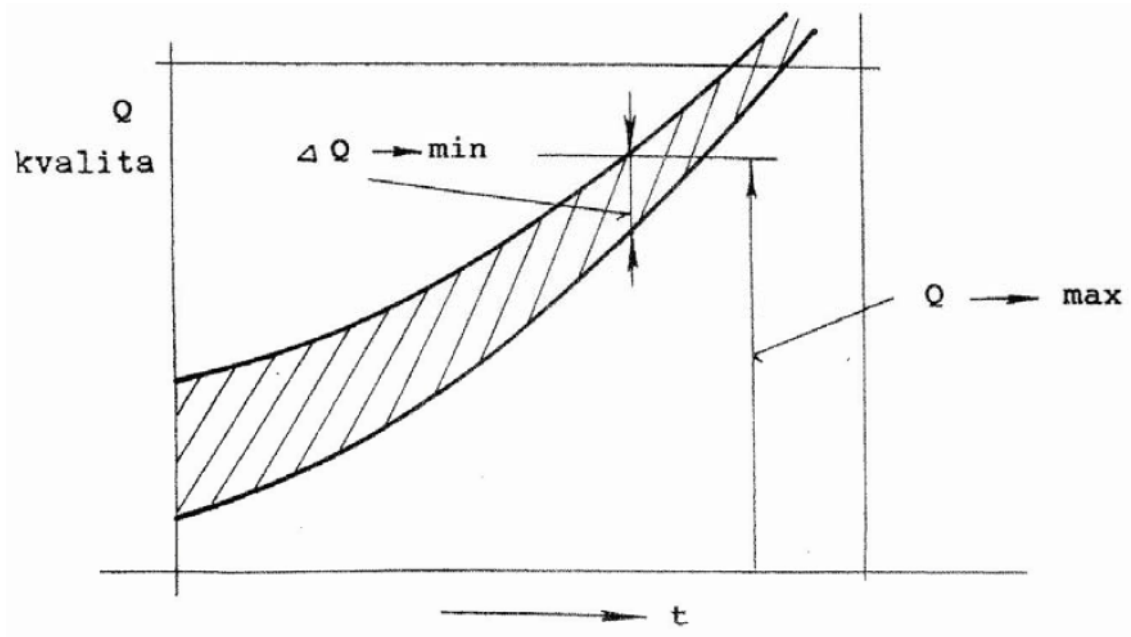
Můžeme jej popsat jako objem práce vztažený na jednoho pracovníka. Pro výpočet se uvádí stupeň automatizace - v_r . [3]

$$v_r = \frac{\text{počet robotů}}{10000 \text{ zaměstnanců}} \quad (1)$$

Pro příklad. V západní Evropě tento stupeň dosahuje čísla zhruba 125. Naproti tomu například Japonsko až 400. To znamená vyšší nasazení robotů vykonávající práci v Japonskou v porovnání s Evropou. [3]

6.1.2 Kvalita

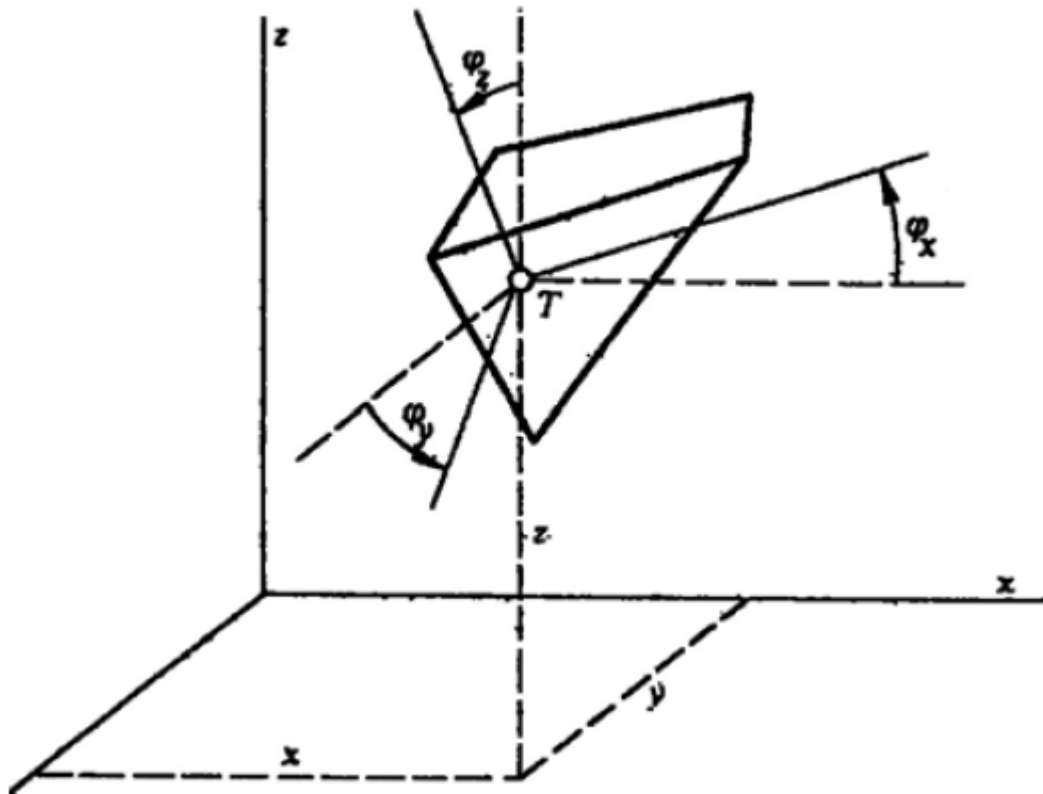
Díky mechanizaci lze provádět určité úkony s vyšší reprodukovatelností. Tedy jeden úkon vykonat vícekrát s menšími odchylkami (například dělník dokáže založit plech s tolerancí ± 3 cm, oproti tomu manipulátor s přesností ± 1 mm). Oproti dělníkovi je však mechanizace ještě značně rychlejší se stejnou přesností. [3]



Obr. 33 Vyšší kvalita výroby s větší stabilitou (menším rozptylem) [3]

6.2 Manipulační zařízení

Pro transport objektu v prostoru je důležité definovat jejich polohu (pokud se nejedná o speciální manipulátory vybaveny speciálním zařízením, tak jsou manipulátory převážně slepé, hluché, bez citů – tedy bez smyslů). Každá poloha takového dílu je dána pozicí (X; Y; Z) a natočením ($\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$). Díky určené poloze může manipulátor předmět najít a uchopit. Následuje manipulace s daným objektem, kdy měníme jeho polohu i orientaci. To je nezbytně nutné znát pro predikci kolizních trajektorií. [3]

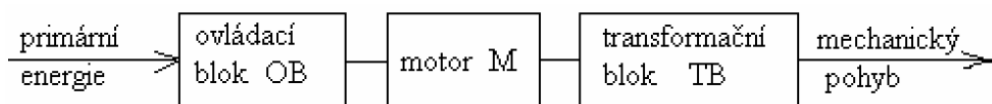


Obr. 34 Poloha dílu v prostoru a její souřadnice [5]

6.3 Hlavní části manipulátoru a robotu

Mezi hlavní části patří:

- **Motor** – hlavní pohon všech manipulátorů (elektrický, hydraulický, pneumatický)
- **Ovládací blok** – jednotka ovládající motor (elektrický, hydraulický, pneumatický, kombinovaný)
- **Transformační blok** – zařízení pro přizpůsobení charakteru pohybu a parametrů pohybu mezi výstupem motoru a výstupem pohybové jednotky



Obr. 35 Blokové schéma hlavních částí manipulátoru [5]

6.4 Dělení zařízení dle úrovně řízení

6.4.1 Teleoperátory

Tato zařízení patří do skupiny manipulátorů s ručním řízením. Nemají automatický, řídicí systém. Jejich úkolem je pouze prodloužit ruku manipulátora, případně násobit jeho sílu, či krouticí moment. Používají se jak pro manipulaci předmětů (horké výkovky, pinzety pro lepší úchop, laparoskopie v medicíně atd.). [5]

6.4.2 Manipulátory s pevným programem

Jedná se o zařízení již s automatickým řídicím systémem. Řídí se programem, který je pevně dán a pro jeho změnu je nutný zásah člověka. Tyto manipulátory se používají tam, kde je jasná trajektorie. Musejí být v kleci, neboť při kontaktu s překážkou nezastaví, dokud nedojde k jejich přetížení. Hrozí tedy velké nebezpečí zranění. Zároveň je nutné doplnit tyto manipulátory o podavače, aby bylo možné udržet stabilní polohu dílu v prostoru. [5]

6.4.3 Manipulátory s pružným programem

Daná zařízení jsou manipulátory s automatickým řídicím systémem a zároveň změnou programu v reálném čase. Do této skupiny patří:

- **Průmyslové roboty (PR)** – provádí spektrum činností, které lze měnit na základě změny programu.
- **Adaptivní průmyslové roboty (APR)** – nahraný program se dokáže samostatně upravovat na základě příchozích informací ze senzorů a čidel. (např. bezpečnostní zóny, které zastaví robota v případě náhlého vniknutí cizího předmětu, či člověka).
- **Kognitivní roboty (KR)** – založené na umělé inteligenci v řídicím systému. Takovýto program je řízen algoritmy nachystanými člověkem. [5]

6.5 Dělení dle kinematické struktury

6.5.1 Sériová kinematická struktura

Rotační a translační kinematické dvojice jsou řazeny za sebe v sérii. To znamená nasčítání chyb až ke koncovému členu robota. Proto mají tyto roboty menší přesnost a tuhost (řádo-

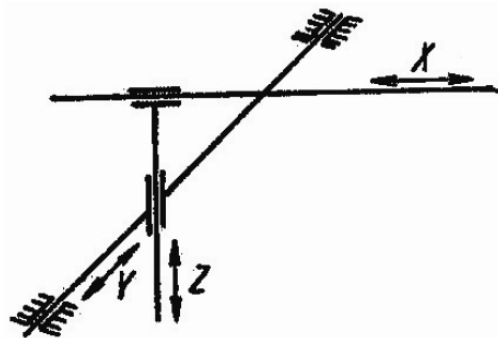
vě desetiny milimetrů) a jsou pomalejší. Takové to roboty v dnešní době tvoří až 90 % používaných manipulátorů ve výrobě. [5]



Obr. 36 Robot od firmy Fanuc (sériová kinematická struktura) [19]

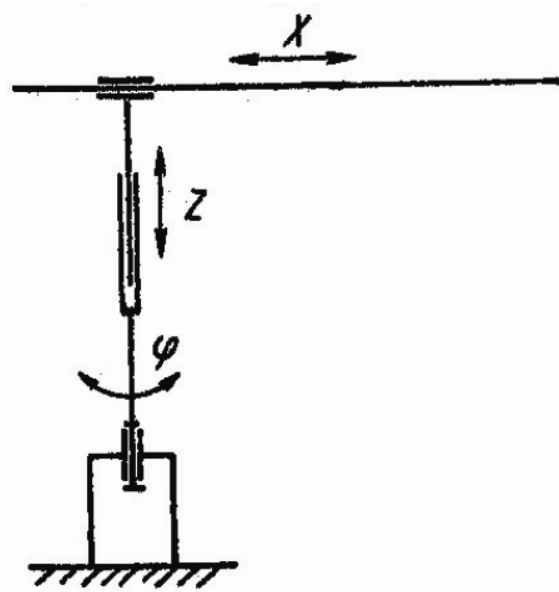
Dále je dělíme podle kinematické struktury:

- **Kartézská struktura pohybu** – můžeme si představit jako CNC tří osou frézu, nebo jako 3D tiskárnu. Hlava jezdí jen ve třech lineárních směrech.



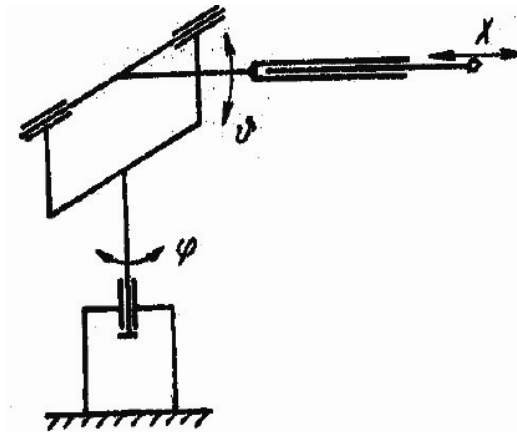
Obr. 37 Kartézská struktura (3 lineární osy) [5]

- **Cylindrická pohybová struktura** – roboty SCARA. Jejich pracovní prostor je válec (cylindr). Potřebují více prostoru k manévrování, avšak jsou dostatečně rychlé a přesné pro práce s malými předměty.



Obr. 38 Cylindrická struktura (2 lineární osy; 1 rotační osa) [5]

- **Sférická pohybová struktura** – roboty pracující v kulovém vrchlíku. Jejich polohu řídí sférické souřadnice. Nachází velké využití u svařovacích robotů.



Obr. 39 Sférická struktura (1 lineární osa; 2 rotační osy) [5]

- **Angulární pohybová struktura** – velmi univerzální roboty. Velmi rychle nahrazují ostatní roboty. Mají velkou rozmanitost pracovních hlav a jdou nasadit pro velké množství operací. Stejně jako u sférických je pro angulární strukturu pracovní prostor kulový vrchlík. [5]

6.6 Pracovní hlavice pro manipulátory

Nasazení hlavic a jejich vývoj je řízen aplikací, pro které jsou určeny. V dnešní době je široká škála těchto hlavic (svařovací, uchopovací, obráběcí, kombinované atp.). Jedná se prakticky o jednoúčelová zařízení, která jsou navržena pro daný úkon. Zároveň je však snaha o jejich zmenšení a zjednodušení tak, aby byly co nejlehčí a nejúčinnější. Toho lze dnes dosahovat díky kompozitním materiálům. Mají velkou pevnost a nízkou hmotnost, díky čemuž je možné ušetřit hodně „užitečné“ hmotnosti (hmotnost, kterou je schopen manipulátor utáhnout). [6]

6.6.1 Rozdělení hlavic dle úchopových prvků

Úchopové prvky můžeme dělit podle typu funkce. Pakliže je hlava vybavena senzory a řídicím systémem, lze tyto hlavy nazvat aktivními úchopnými prvky. Jestliže však tyto prvky nemůžeme přímo ovládat a nemůžeme řídit sílu úchopu přímo, lze tyto dělit podle principu uchopení:

- Podtlakové** - pasivní (přísavky, které přisají objekt pomocí své deformace),
- aktivní (řízený podtlak, kdy při dotyku přísavky dojde k odsátí vzduchu z ní)
- Mechanické** - pasivní (většinou pružné čelisti, samosvorné, nebo pevné),
- aktivní (čelisti s vlastním pohonem).
- Magnetické** - pasivní (permamagnety),
- aktivní (elektromagnety). [6]

6.7 Charakteristické parametry robotů a manipulátorů

Mezi hlavní parametry patří maximální zatížení v koncové části manipulátoru a samostatná hmotnost manipulátoru, nebo robota. [6]

Vnější rozměry a uspořádání jsou velmi důležité z hlediska zástavby linky. S tím pak souvisí i manipulační možnosti (počet stupňů volnosti, dílčí pohyby, souřadnicový systém, dráhy a úhly natočení, přesnost polohování, rychlost pohybů). [6]

Další důležité prvky jsou bezpečnostní (detekce kolizí, aktivní brzdy, elektronická stabilizace, integrovaná diagnostika, atd.). Neméně důležitý je vhodný druh pohonu. [6]

Celá konstrukce je namáhána několika druhy sil. Síly způsobené samotnou vahou konstrukce manipulátoru a hmotností břemene. Dynamické síly způsobeny zrychlením manipulátoru. V neposlední řadě také vnější síly, které vznikají při interakci s jiným zařízením, předmětem. [6]

Tyto údaje o působící síle jsou velmi důležité pro dimenzování pohonů a konstrukci kinematických struktur. Vztah sil, které působí vzhledem ke konstrukci kinematické struktury, se posuzuje odolností konstrukce proti deformaci. Kontrolují se tak dva druhy tuhosti – tuhost v natočení a v posunutí. [6]

Tuhost v posunutí:

$$c_p = \frac{F}{y} \left[\frac{N}{m} \right] \quad (2)$$

Tuhost v natočení:

$$c_n = \frac{M}{\varphi} \left[\frac{Nm}{rad} \right] \quad (3)$$

Kde:

F – síla [N]

y – posunutí dané deformací vyvolané silou F [m]

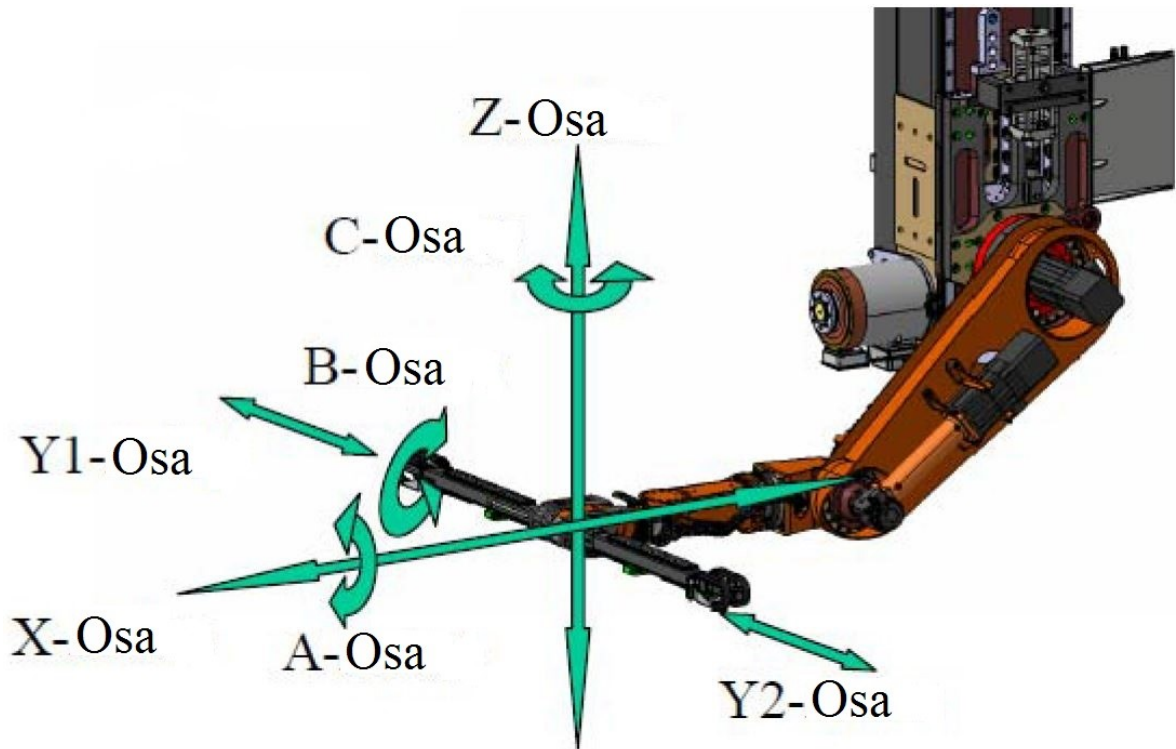
M – moment [Nm]

φ – úhel natočení z příslušných deformací [rad]

6.8 Mezioperační mechanizace linky PXL

Linka PXL používá mechanizaci v podobě jednoho ramene připevněného na saních mezi lisou. Je postavena na principu tzv. ruky obr. 42, což je manipulátor svými možnostmi pohybu podobnými lidské paži. [17]

Skládá se ze čtyřech částí. Základna, dvě ramena a traverze. Jednotlivé části jsou spojeny přes rotační uložení, kde mechanizace vykonává pohyb pouze v jedné rovině ve směru průchodu. O pohyb se stará několik servomotorů. Umožňují pohyb v jedné lineární ose a v pěti osách cylindrických. Lineární pohyb zajišťuje pohyb ve vertikální ose. Ostatní zajišťují právě chod po trajektorii. Jedná se tedy o synchronní pohyb několika servomotorů a je nutné jej řídit programem. [17]

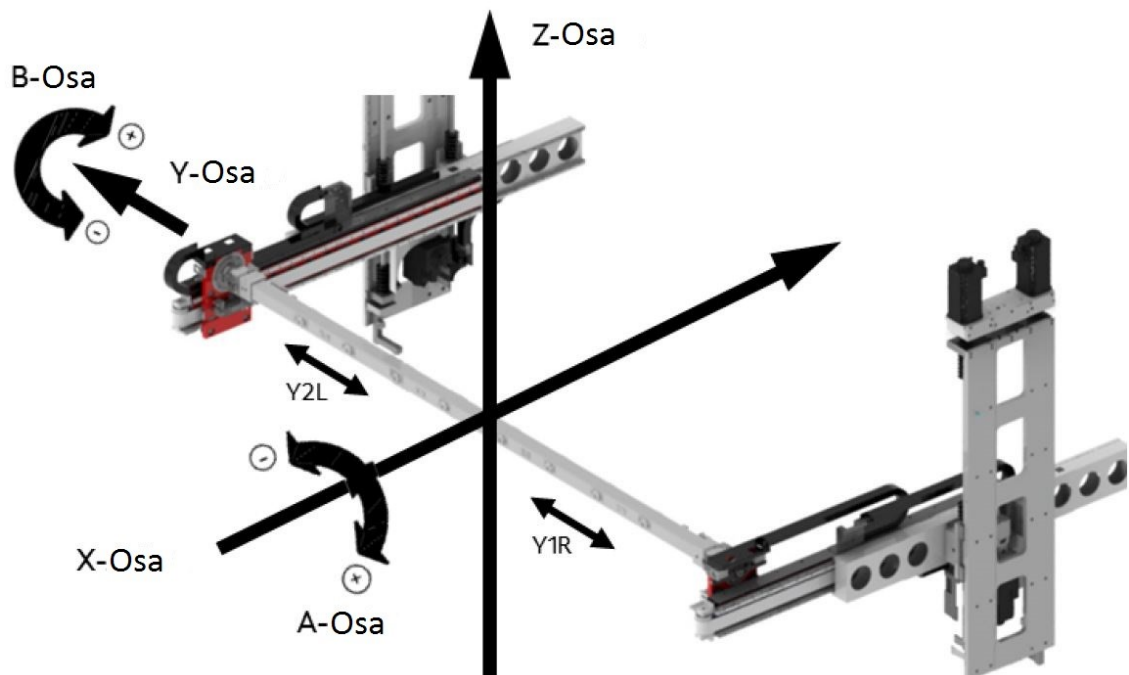


Obr. 42 Pohybové osy mezioperační mechanizace linky PXL [17]

6.9 Mezioperační mechanizace linky GRS

Pro linku GRS je používá mechanizace na dvou podporách (obr. 43). Jedná se o dva stojany, jež nesou každý jedno rameno. Tyto stojany zajišťují pouze pohyb vertikální. Ramena jsou teleskopická a mají možnost se na stojanu natáčet, dále vysouvat svoji část ve směru natočení. Na konci těchto ramen jsou servomotory, které zajišťují rotaci traverze. [17]

Tento typ mechanizace je přesnější a disponuje vyšší tuhostí než mechanizace na PXL. Nicméně se jedná o mostní řešení. Vyžaduje tedy více prostoru na průchod nástrojem a je náročnější na řídicí systém. [17]



Obr. 43 Osy mezioperační mechanizace linky GRS [17]

6.10 Přísavky a výpočet potřebné sací síly

Pro přenos plechu, při lisování za studena je výhodné použít přísavek. Jedná se o aktivní metodu úchopu. Výhodná je tato metoda hned z několika důvodů. Díly mají dostatečně velké plochy pro přisátí a jsou poměrně lehké, přičemž uchopení může proběhnout seshora. Přísavky při správném použití nezanechají mechanické škody. [6]

Přísavky a jejich sací sílu většinou již uvádí výrobce. Proto stačí znát hmotnost dílu a lze tak zvolit správný počet přísavek a jejich velikost. Nutno však ještě počítat se zrychlením mechanizace. To je pro každou mechanizaci jiné, avšak toto zrychlení přidá na váze samostatného dílu plus nějakou bezpečnost. [6]

V praxi pak rozhoduje i geometrie přísavek. Nejčastěji se používají přísavky kulaté. Ty zajistí rovnoměrné přisátí i přes větší rádius a tolik nedeformují díl. K nerovnoměrnému přisátí může dojít pouze za použití odlišných velikostí, kdy se jedna přísavka (větší) přisaje dříve, než přísavka menší. Oválné přísavky mají výhodu, že je lze umístit tam, kde kulaté přísavky již ne. Mohou však působit na díl momentem, který jej bude deformovat. [6]

Výpočet vhodného počtu přísavek:

Statická únosnost:

$$F_{max} = m * a_1 \dots [N] \quad (4)$$

Dynamická únosnost:

$$F_{max} = m * (a_1 + a_{max}) * n \dots [N] \quad (5)$$

Počet přísavek:

$$F_{max} < \sum_{i=1}^8 F_{S_i} \quad (6)$$

Kde:

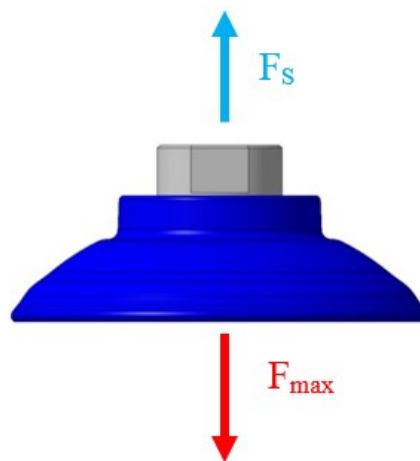
F_S ... *Sací síla*

m ... *Hmotnost dílu*

a_1 ... *Gravitační zrychlení (10 m.s^{-2})*

a_{max} ... *Maximální zrychlení mechanizace*

n ... *Bezpečnost (1,2)*



Obr. 44 Nosnost přísavky

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 CÍLE DIPLOMOCÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce je návrh a optimalizace průchodového plánu pro linky kategorie XL GRS a PXL za pomoci simulačních softwarů. Návrh v rámci této práce bude probíhat následujících krocích:

1. Příprava dat pro simulaci
2. Import dat do zdrojové struktury – „resource“ produktu
3. Jednotný návrh koncové hlavy – „toolingu“ pro obě linky
4. Simulace a ladění pro linku GRS v Motion designer
5. Simulace a ladění pro linku PXL v DELMIA
6. Porovnání výsledků pro obě linky

8 POUŽITÝ SOFTWARE

K vypracování praktické části diplomové práce byly použity následující softwary:

1. CATIA V5
2. Visual Basic for Application
3. DELMIA V5
4. „Motion Designer“

8.1 CATIA V5-6 R16

Tento software slouží pro návrh a tvorbu 3D objektů při podpoře konstrukce. Obsahuje platformy pro CAD, CAM, CAE a PLM data. Jedná se o modulární software. To znamená, že klient si může zakoupit licence na moduly, jež bude využívat a tím si sestavit software na míru. Tento program je francouzského původu od firmy Dassault Systèmes, vyvíjen od roku 1977.

Pro účely diplomové práce byly v CATIA využity základní moduly plus nadstavba „*Motion Designer*“ pro úpravu nářadí, přípravu toolingu, exportování modelů do příslušných formátů, vizualizaci simulace, generování konstrukčních obálek.

8.2 Visual Basic for Application

Jedná se o vývojové prostředí (IDE) vyvinuté společností Microsoft. Lze jej použít pro vývoj konzolových aplikací, aplikací s grafickým rozhraním atp. Podporuje jazyky prostřednictvím jazykových služeb. Díky tomu je možno programovat v jakémkoliv programovacím jazyku, včetně jeho „debugování“.

Pro účely diplomové práce byl použit Visual Basic pro vývoj macra, jako doplněk pro CATIA V5 s využitím programovacího jazyku VB.NET.

8.3 DELMIA V5

Delmia V5 je speciální modul pro simulaci mechanizace lisovací linky PXL. Na míru postavený simulátor, ve kterém je možné provádět vizualizaci, kontrolu a optimalizaci průchodu dílů pro transferovou linku PXL.

Pro účely diplomové práce byl využit software DELMIA k navrhnutí bezkolizní trajektorie mezioperační mechanizace a k zjištění maximálního počtu zdvihů. Následně i optimalizaci výkonu mechanizace a její spotřebě energie.

Stejně tak jako CATIA je simulátor vyvinut francouzskou firmou Dassault Systèmes přímo na míru pro účely firmy Škoda-auto a.s.

8.4 Motion Designer

Slouží jako dočasné řešení simulačního softwaru pro linku GRS. Jedná se o program, který je navázán na CATIA V5 a pomocí změny parametrů dokáže graficky simulovat průchod lisem. Zároveň slouží k nastavení parametrů a tvaru jak absolutní, tak relativní trajektorie mezioperační mechanizace.

V diplomové práci figuruje software k nastavení a optimalizaci GRS linky po „retrofitu“ (přepracování původní linky GRS a její modernizace). Motion Designer byl vyvinut jako prozatímní řešení švýcarskou firmou GUDEL.

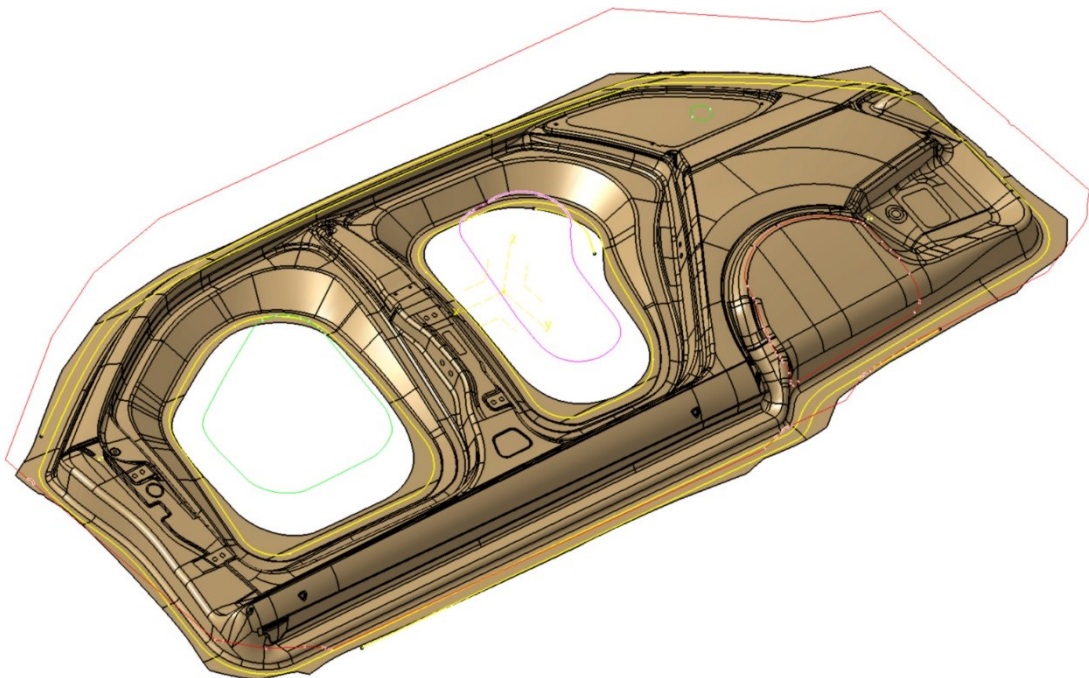
9 METODICKÝ PLÁN

Metodický plán se zkráceně nazývá také jako metoda. Jedná se o produkt v software CATIA V5. Tento produkt je většinou složen z devíti partů (v závislosti na počtu operací), které díle obsahují několik geometrických setů (obsahem jsou konstrukční a technologická data).

Metoda obsahuje osově kříže. Hlavní osový kříž určuje pozici dílů a směr lisování. Vedlejší kříže pak určují většinou směr klínů, osy rotačních klínů, směry stříhání atp.

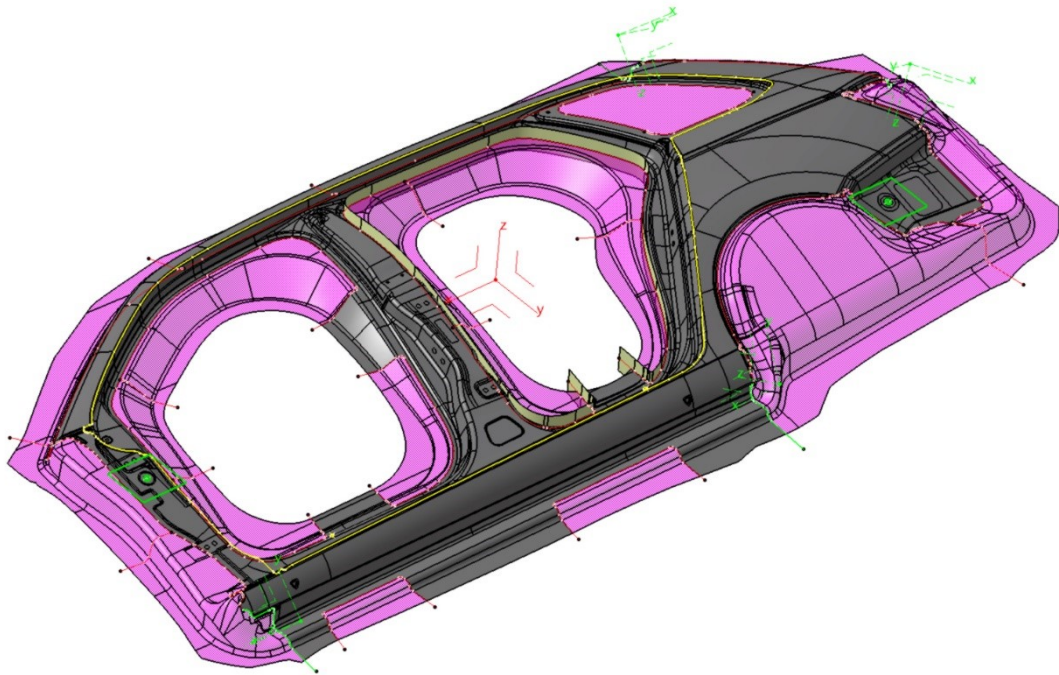
Obrysové křivky. Obrys nástřihu (platiny), obrys řezné hrany, dělení přidržovače, obrysy otvorů, kalibrační zóny atp. Dále obsahuje výstupní plochy z každé operace, odpadové plochy, řezné plochy, plochy pro konstrukci (plochy na ořez tvaru přidržovače, tažníku, tažnice, vyplňovacích klínů aj.).

Operace 20 – První operace, kdy je z platiny vytažen základní tvar (Obr. 45). V této operaci je obsažen nástřih, teoretická plocha po tažení (výlisek), obrys brzdových drážek.



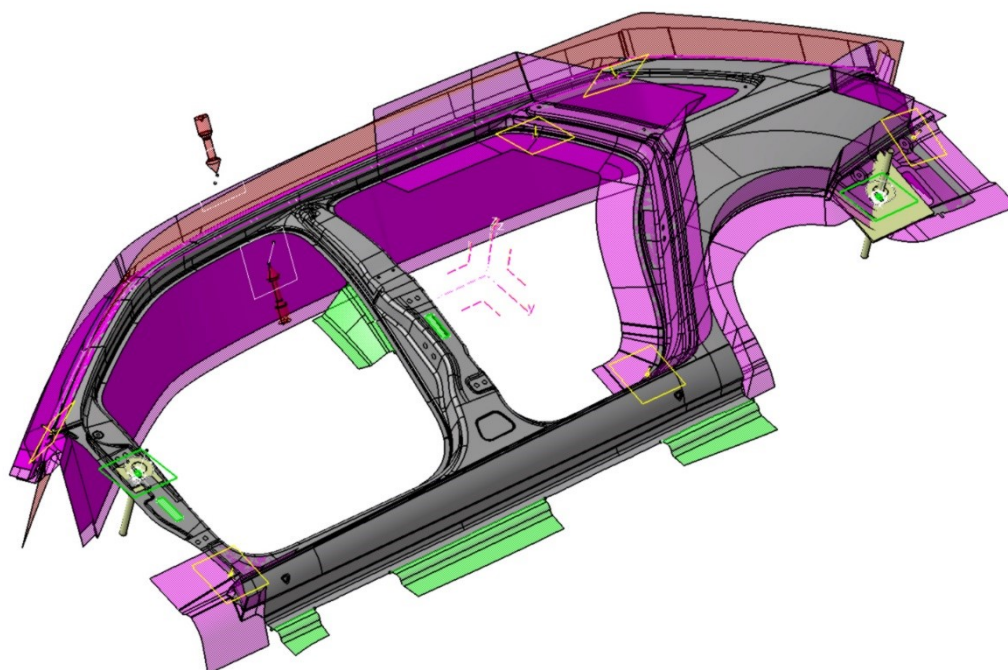
Obr. 45 První lis – operace 20 – tažení

Operace 30 – Druhá operace, kde dochází k ořezu ploch. Tím vzniká značné odlehčení výlisku a přiblížení se k finálnímu tvaru. Na Obr. 46 můžeme vidět fialové plochy, jež značí odpadní materiál. Velikost odpadního materiálu a způsob jeho stříhání se odvíjí od parametrů lisu, velikosti odpadních šachet aj.



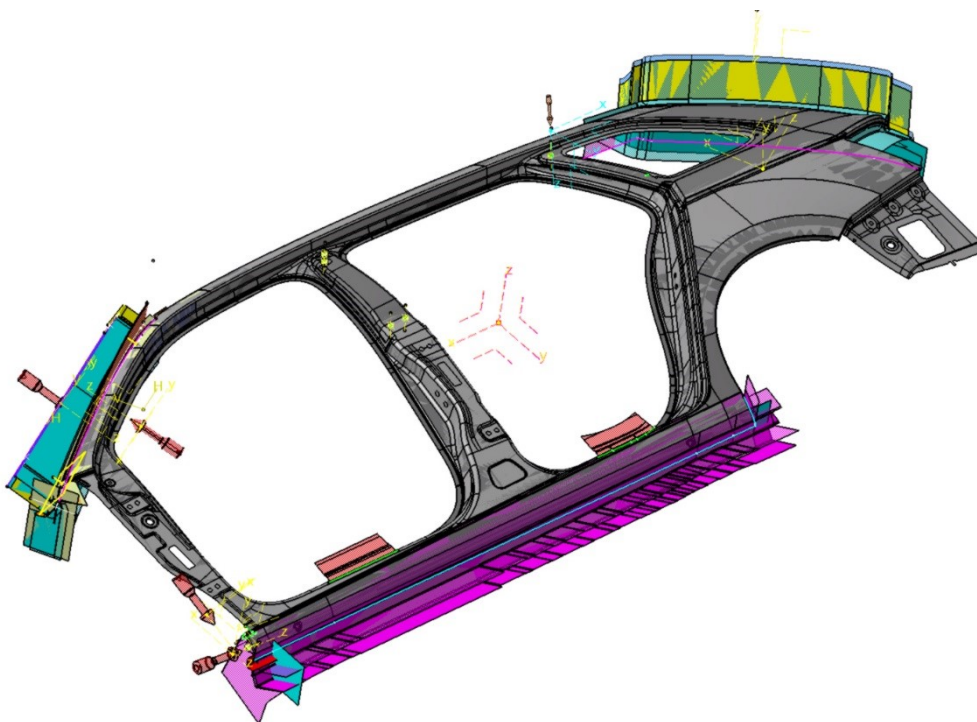
Obr. 46 Druhý lis – operace 30 – ořez

Operace 40 – Třetí operace, kdy dochází k ořezu do finálního tvaru (Obr. 47). Zároveň se ohýbají okraje a kalibruje C-sloupek. Plochy k ohýbání a kalibrování se později používají jako ořezové plochy pro klíny v nástroji. V průřadovém plánu díky nim zase lze předpokládat pozice klínů.



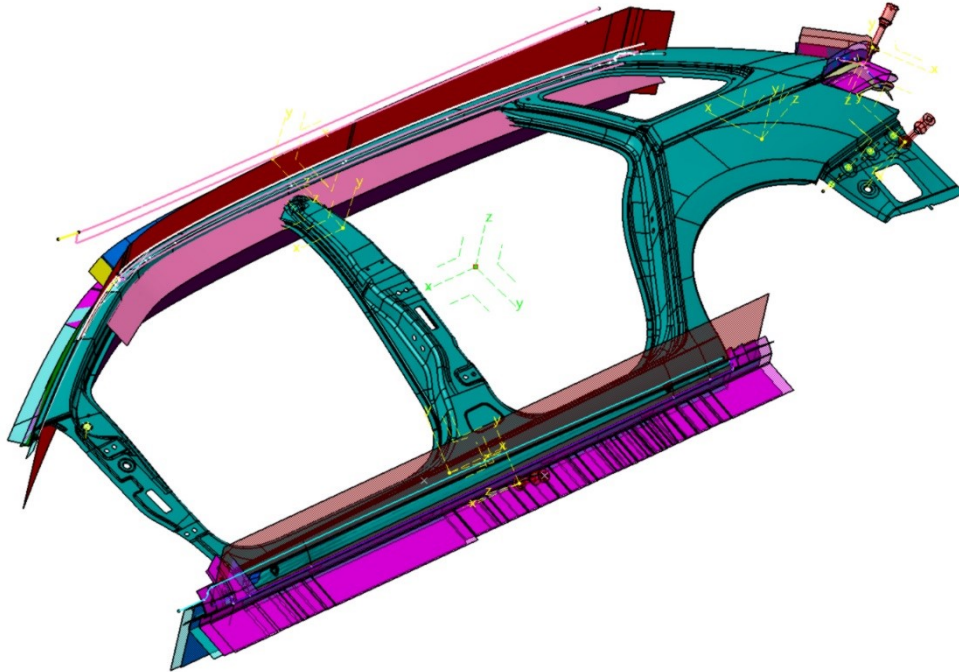
Obr. 47 Třetí lis – operace 40 – ořez a kalibrování

Operace 50 – Čtvrtá operace, jejíž úkolem je kalibrace a formování spodního lemu (Obr. 48). Zároveň v této operaci dochází k děrování.



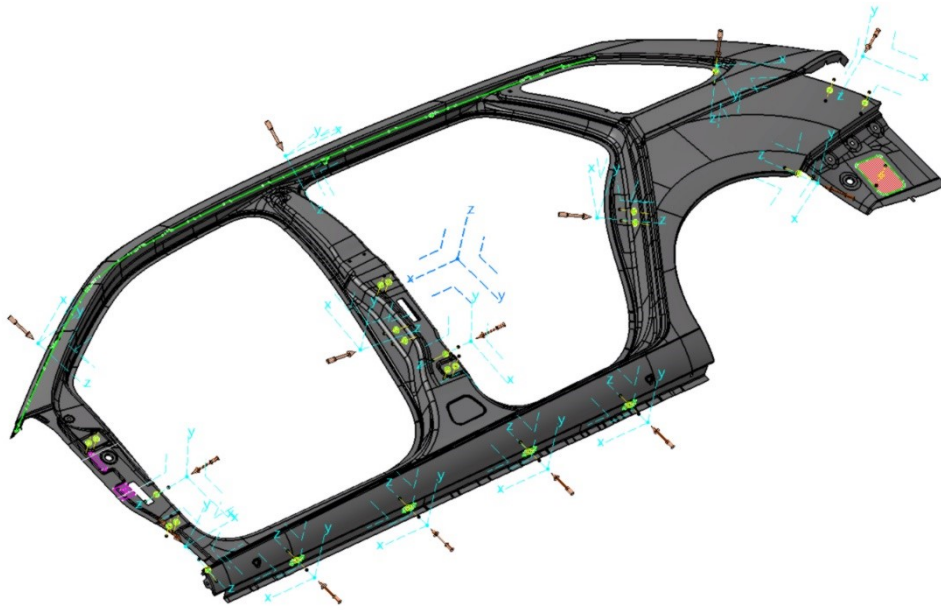
Obr. 48 Čtvrtý lis – operace 50 – děrování a formování

Operace 60 – Pátá operace, zde dochází k doformování a kalibrování do finální podoby (Obr. 49). Zároveň probíhá také děrování.



Obr. 49 Pátý lis – operace 60 – děrování a kalibrování

Operace 70 – Šestá operace, kde dojde k poslednímu děrování a vyražení data, loga a sériového čísla (Obr. 50).



Obr. 50 Šestý lis – operace 70 – děrování

Z hlediska mechanizace je nejdůležitější hlavní osový kříž. Ten bude určovat pozici v nástroji, na stole a pro mechanizaci. Současně taky naklopení při zakládání. Dále samotný tvar výstupního dílu (včetně tvaru nástřihu) z jednotlivých operací, neboť tento tvar vymezuje pohyb proti nástroji a slouží k ořezu objemů (konstrukčních obálek) ve výpočtu.

10 RESOURCE PRODUKT

Jde o parametricky nastavený CATIA V5 produkt. Tato sestava slouží jako prvotní vstup pro obě simulace.

Hlavním cílem toho produktu je:

- Shromáždění dat celé série nářadí pro jednotlivé projekty (díl, tooling, nástroj)
- Navržení polohy dílu v nástroji
- Navržení pozice přísavek
- Sestavení toolingu a výběr dodavatele
- Navržení pozice traverze
- Generování potřebných dat pro simulace pro GRS

10.1 Import dat do resource produktu

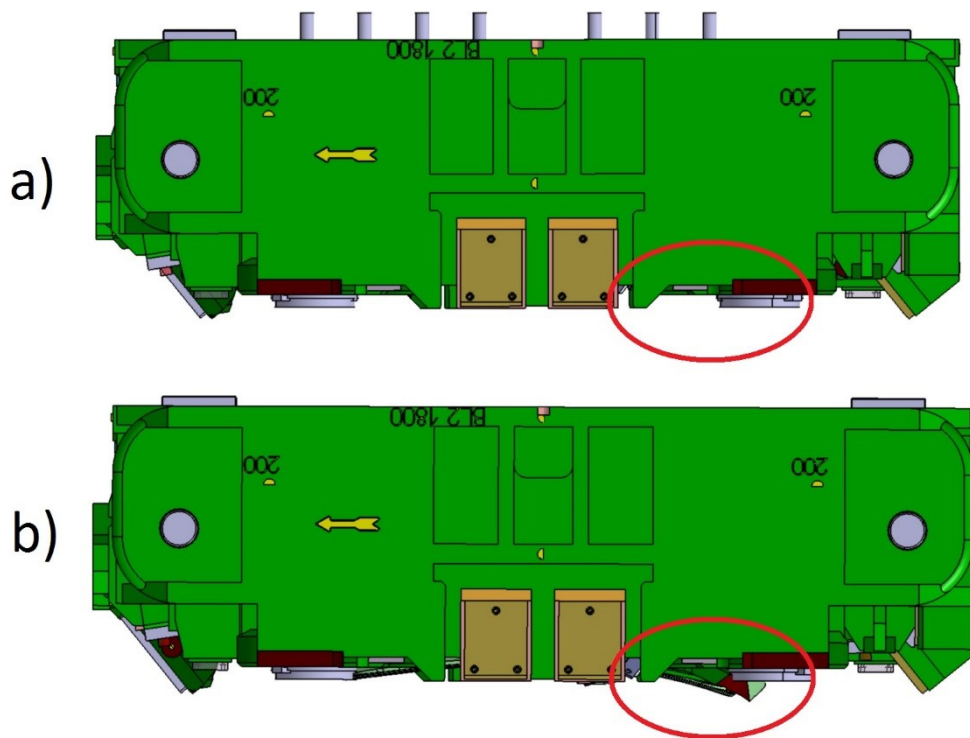
Import dat do resource zahrnuje dvě potřebné fáze. A to import AP (hlavní osový kříž dílu) jednotlivých operací plus 2D ploch z metody a dále na import 3D modelů nářadí pro jednotlivé operace.

10.1.1 Import metody

Import metody probíhá do připravené struktury adaptéru. Import začíná vykopírováním „mrtvé“ plochy (tyto plochy dále nelze upravovat změnou parametrů jednotlivých operací při jejich vzniku) výstupních dílů z každé operace a vloží se do připravených geometrických setů. Totéž platí o AP osových křížů. Následně se musí nahradit vzorové kříže a plochy za nové importované plochy (pomocí funkce „replace“), aby došlo k umístění dílů do správné pozice vůči středu stolu lisu a nástroje.

10.1.2 Import 3D modelů nářadí

Import 3D modelů nářadí probíhá odlišně. CAD data, která dodá většinou dodavatel. Taková data je nutné většinou dle dodatečně upravit, jelikož model nářadí obsahuje všechny pohyblivé prvky (klíny, přidržovače, vzduchové kolíky aj.) v pracovní poloze, tyto prvky je nutné přesunout do poloh při odformování, tedy při horní úvrati lisu (Obr. 51).



Obr. 51 Rozdíl v profilu náradí při pracovní a otevřené poloze a) pracovní pozice přidržovače b) vyjetá pozice přidržovače

Tak vzniká menší manipulační prostor pro mechanizaci a je třeba s touto skutečností počítat. Vynechání tohoto kroku může mít za následek kolizi traverze s vyjetým klínem.

Po provedení úprav na náradí se jednotlivé části náradí (horní část, spodní část, přidržovač pro operaci 20) generují ve formátu CGR a vkládají se na příslušné místo ve struktuře resource produktu. Ke správnému ustavení náradí se musí vykopírovat UT_AP (tedy kříž umístěn uprostřed dna nástroje a uložit jako „mrtví“ do resource produktu.

10.2 Zadávací maska

Tato maska slouží k zadání pozic dílů v nástroji. Byla vyvinuta firmou Škoda právě pro tyto účely. Jedná se o tabulku naprogramovanou v software Microsoft Office Excel 2016, která je upravena pomocí Visual Basic pro uživatelsky příjemnější a přehlednější prostředí (Obr. 52).

Z metody se změří pozice AP vůči středu stolu lisu, popř. natočení ve třech osách. Poté se nastavuje pozice traverze vůči dílu. Ta se nastavuje individuálně podle navrhnutého toolingu a tabuprostorů.

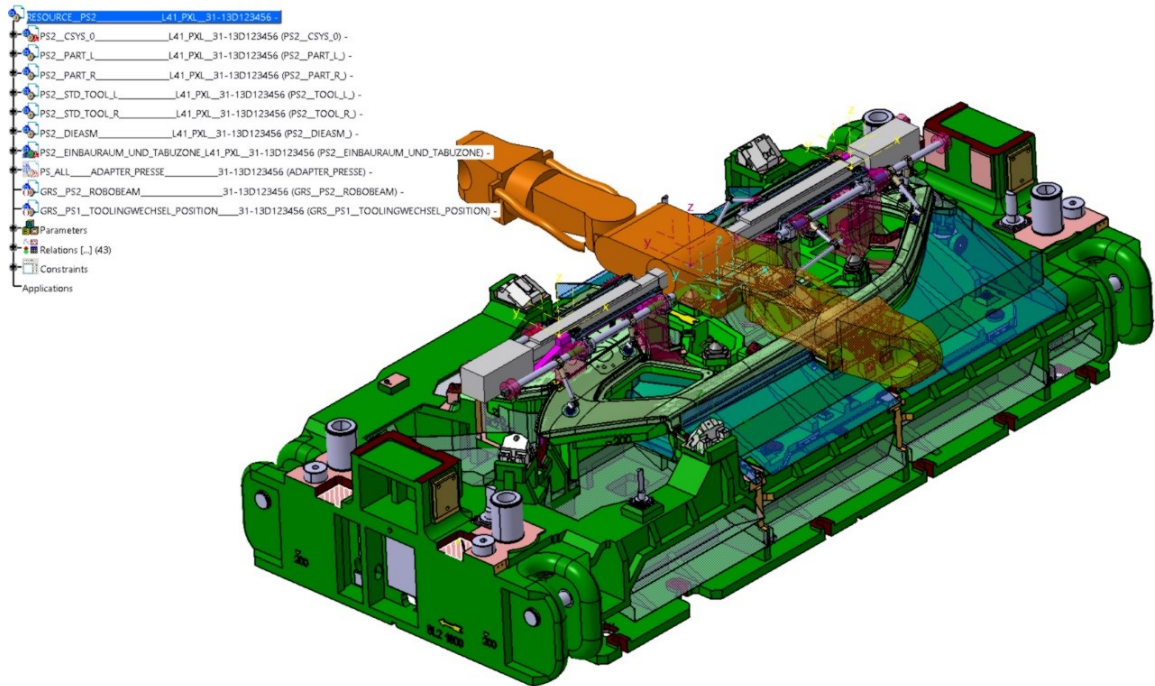


Obr. 52 Zadávací maska pro resource produkt

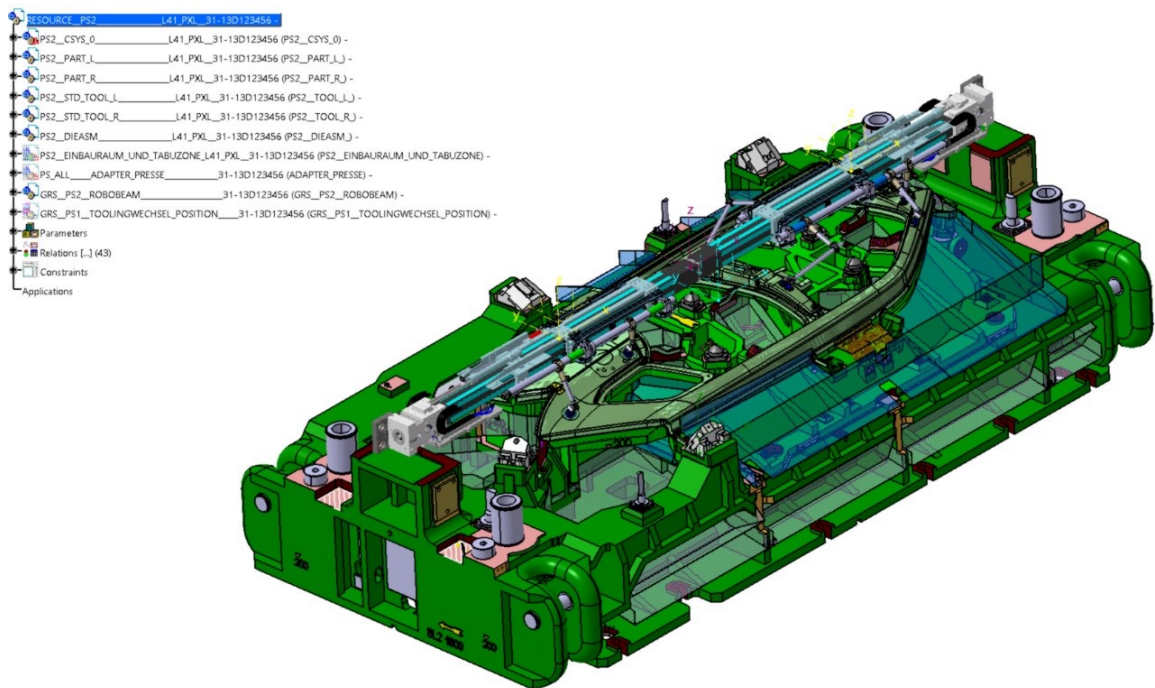
10.3 3D model

Resource model s nastavenou maskou lze načíst do programu CATIA V5. Tím se může kontrolovat pozice jak dílu, tak traverze vůči nástroji. Nastavit lze pozice přísavek a ramen toolingu a následně i předběžná kontrola možné kolize se středícími kolíky, klíny, dosedy nebo jinými překážkami.

Jelikož probíhá sjednocování nástrojů pro dva typy lisů a to GRS a PXL, disponuje tento model oběma variantami traverzí. Je to z důvodu, že každý lis je a bude postaven s jinou mechanizací (traverze upevněná uprostřed na rameno – PXL, traverze upevněná ze stran na ramena – GRS) a je třeba kontrolovat každou variantu zvlášť kvůli zástavbě (Obr. 53,54).



Obr. 53 Resource model ve variantě traverze pro mechanizaci PXL

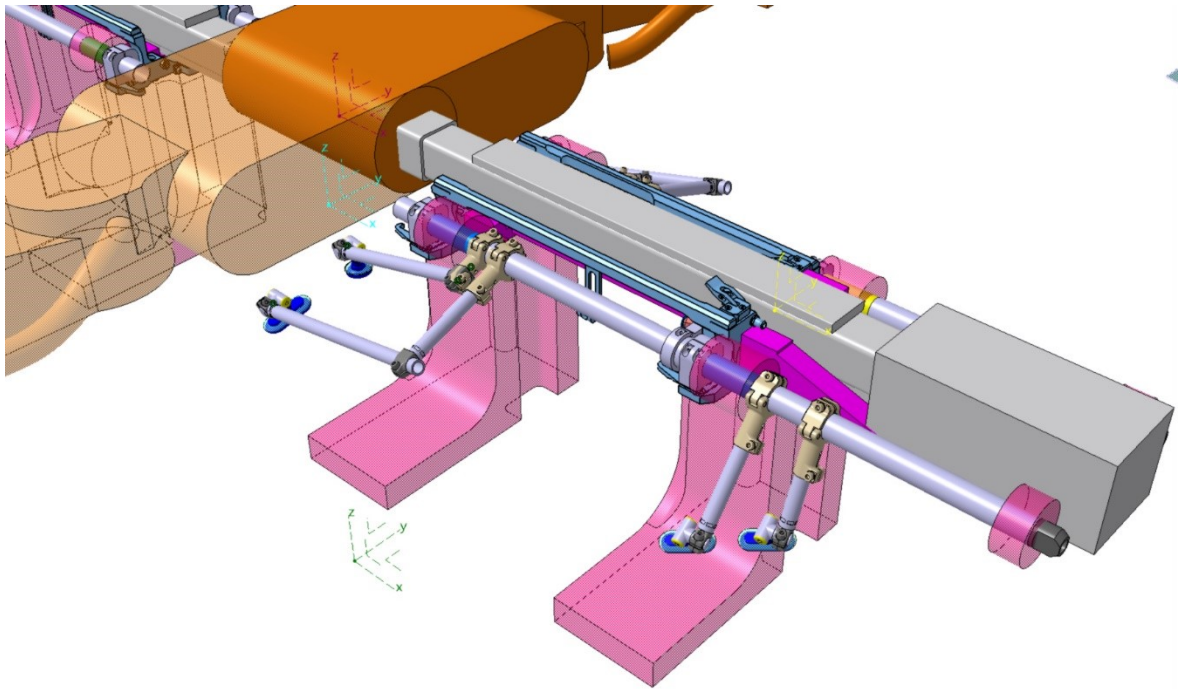


Obr. 54 Resource model ve variantě traverze pro mechanizaci GRS

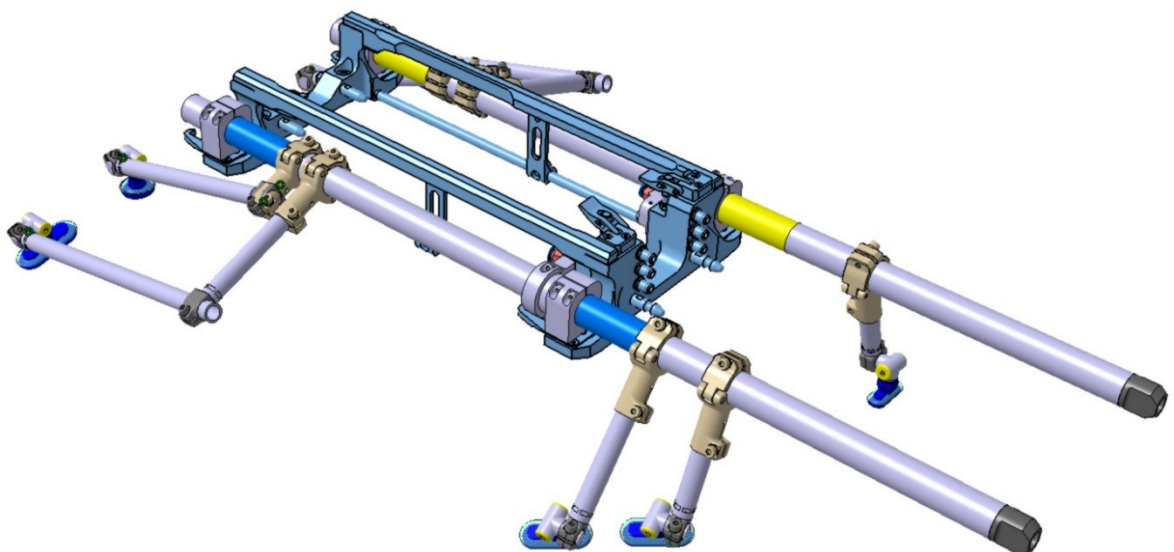
10.4 Návrh toolingu s přísavkami

Jako další po importování je potřeba navrhnout pozice přísavek. Návrh probíhá po dohodě s konstrukčním oddělením nářadí a s technologií. Platí, že přísavka musí být podlo-

žena tak, aby nedošlo k deformaci plechu (při do sedu přísavky), neměla by být v trajektorii se středícími kolíky a klíny (zvětšuje se tím prostor na projetí toolingu). Přísavky musí být umístěny pokud možno na co nejrovnějším místě, aby došlo k bezpečnému vytvoření vakuua. Přísavky ani ramena nesmí zasahovat do „tabu“ prostorů pro odkládání, ani nesmí přesahovat „tabu“ prostor pro zástavbu toolingu. Velikost přísavek a jejich počet se volí podle hmotnosti přenášeného dílu a maximálního zrychlení mechanizace.



Obr. 55 Červeně tabu prostor pro odkládání toolingu



Obr. 56 Tooling

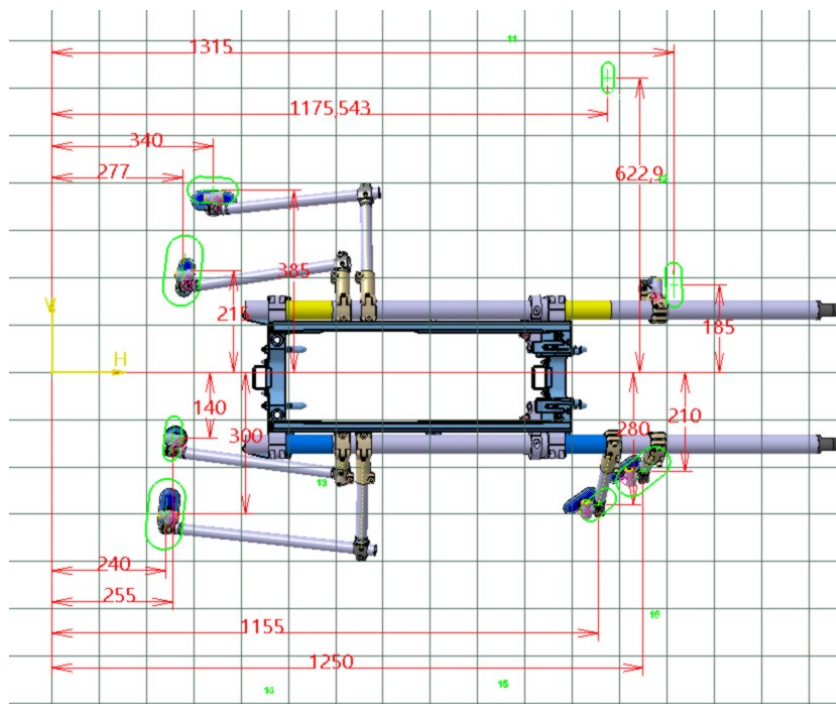
Používané standardizované přísavky jsou uvedeny v tabulkách níže (Tab. 1,2).

Tab. 1 Kulaté přísavky standardizované

| Označení | Rozměry D [mm] | Sací síla F_s [N] |
|----------|----------------|---------------------|
| SAG 45 | 45 | 68 |
| SAG 60 | 60 | 122 |
| SAG 80 | 80 | 217 |

Tab. 2 Oválné přísavky standardizované

| Označení | Rozměry [mm] | Sací síla F_s [N] |
|--------------|--------------|---------------------|
| SAOG-S 60x20 | 60 x 20 | 56 |
| SAOG-S 80x30 | 80 x 30 | 105 |
| SAOG-S 95x40 | 95 x 40 | 165 |



Obr. 57 Souřadnice umístění přísavek vůči středu lisu

10.5 Export dat pro simulace

Z důvodu nedokonalého sjednocení software je třeba generovat pro každý typ linky data zvlášť.

10.5.1 GRS linka

Pro GRS linku je proces exportování dat díky dočasnému řešení podstatně delší. Z resource modelu je nutné postupně zobrazovat jednotlivé části a ty generovat jako CGR. Musí se generovat spodní část nástroje, horní část, přidržovač (hlavně operace 20), tooling a díl. Takto připravená data mají přesně dané pojmenování (při nedodržení pojmenování by bylo nutno nastavit pozice dílů zvlášť pomocí funkce kompas v CATIA), z důvodu vlastní úpravy simulátoru od GUDELU. Díky tomu se nástroje a party ustaví do správné polohy.

10.5.2 PXL linka

Pro linku PXL je proces exportu značně jednodušší. Pro tuto linku je třeba vzít danou složku s resource produktem a vložit ji do připraveného projektu, který se vytvoří v simulátoru DELMIA. V této fázi stačí data v simulátoru otevřít a nástroje i tooling se ustaví do správné polohy.

11 SIMULACE GUEDEL

Simulátor Motion Designer je dočasné řešení pro nastavení a simulování linky GRS po retrofitu. Dočasné řešení vzniklo na základě možnosti návrhu konstrukce nástrojů, aby se mohl průchod linkou simulovat v dostatečném předstihu.

Jak již bylo zmíněno, jedná se o nadstavbu pro software CATIA V5. Do Motion Designeru jsou zadány parametry (výšky „pick-up“, „drop-off“, výchozí pozice, rotace traverze, „side-shift“ atd.). Na základě těchto parametrů probíhá výpočet absolutní křivky (trajektorie traverze vůči stolu lisu) pohybu traverze a relativní křivky (trajektorie traverze vůči beranu lisu). Simulátor je sestaven tak, aby nedošlo k přetěžování mechanizace, a také určuje limitní možnosti nastavení.

Velkým problémem Motion Designeru je právě jeho nedopracovanost. Bylo nutné pro simulátor vyvinout a aplikovat řadu vylepšení pro urychlení přípravy simulace a následně i vyvinout způsob generování obálek pro konstrukci, jež původně tento software neobsahoval.

11.1 Příprava simulace

3D model simulace pro CATIA musel být upraven tak, aby se co nejvíce zjednodušilo a zrychlilo vkládání modelů. Jednalo se o úpravy „fix“ vazeb a absolutních křížů. Ošetření tohoto problému bylo přímo nutné pro provádění správných a pokud možno nejpresnějších simulací. V opačném případě by muselo dojít k ustavení nářadí za pomoci kompasu. To by vedlo k větší pravděpodobnosti chyby a možným nepřesnostem při samotné simulaci.

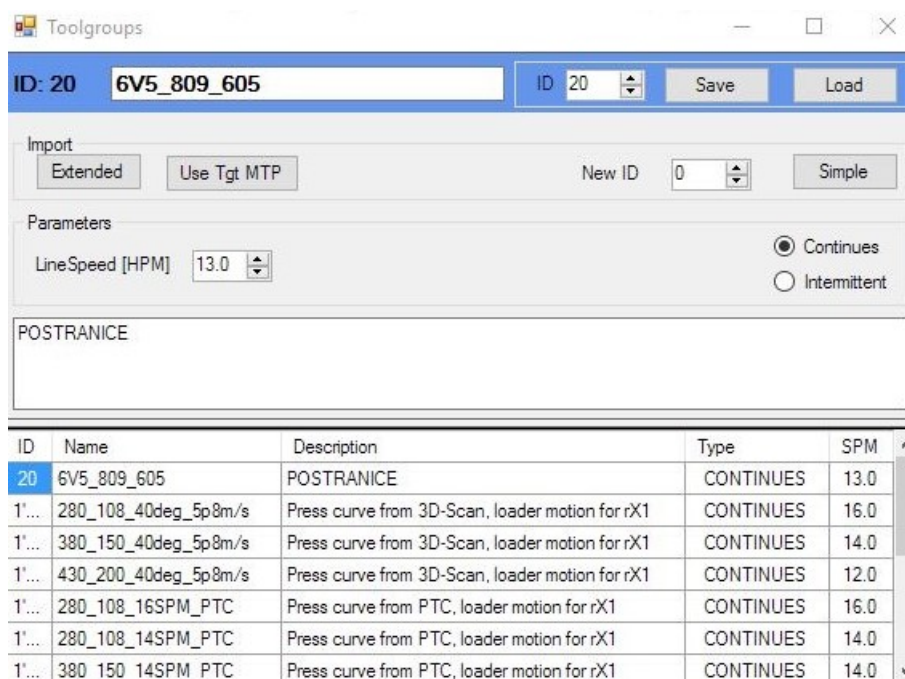
Po vygenerování nářadí ve formátu CGR se tyto soubory nahrály do složky, kde dojde k přepsání již nachystané struktury. Tato struktura byla upravena tak, aby se nářadí usadilo přímo na správné pozice. Taktéž tooling se přímo usadí do správné polohy na mechanizaci.

11.2 Zadávání parametrů

Motion Designer pracuje na ne příliš vhodném algoritmu, kdy je nutné nejprve zvolit počet zdvihů za minutu a následně na tento počet ověřit průchod. To sebou nese časové úskalí, kdy je nutno při neprůchodnosti počet zdvihů snížit a následně znovu nastavovat a upravovat křivku pro nižší počet zdvihů.

První hodnota zdvihů za minutu byla zvolena 16 SPM. Jedná se o maximální počet zdvihů možný pro mechanizaci. Při zkoušce průchodu na „pařez“ (zjednodušená varianta náradí, která obsahuje pouze díl a maximálně středící kolíky), byla tato hodnota možná, avšak nepočítá se zástavou náradí. Jedná se jen o průchod tvarem. Nicméně je lepší při prvním návrhu užít vyšší počet zdvihů a na tento počet generovat konstrukční obálky pro prvotní konstrukci náradí. Tím jsou sice konstruktéři značně omezeni, avšak tlačeni k tomu, aby vzniklo co nejvíce prostoru pro průchod.

Po prvotní konstrukci náradí byl počet zdvihů upraven snížením na 13 SPM. Tato hodnota je převzata ze zkušenosti průchodů předchozích postranic, nebo podobných dílů (rozměry, hloubka tažení atd.)



Obr. 58 Prostředí Motion Designer pro nastavení křivek a počtu zdvihů

K celkovému nastavení mechanizace je třeba zadat parametry sedmi bodů.

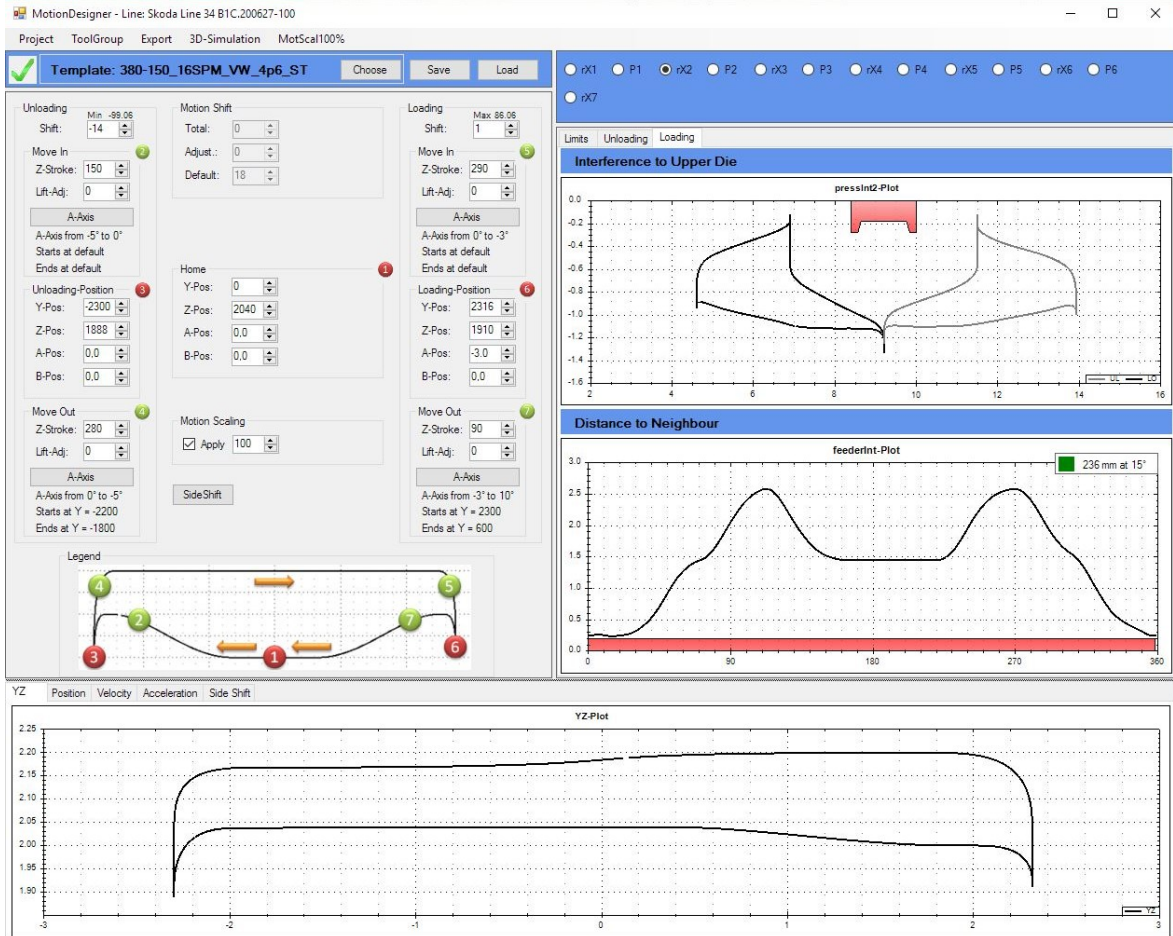
1. **Výchozí pozice** – jedná se o bod, kde začíná a končí cyklus mechanizace. Ve většině případů v pozici přesně mezi dvěma lisy. Jeho výška se určuje podle toho, zda je nutno, nebo není „podjet“ beran při pohybu nahoru a taktéž „unikat“ před beranem při pohybu dolů.
2. **Před vyjímací (pick-up) pozicí** – je to bod, kterým křivka prochází před „pick-up“ pozicí. Jeho výška je právě výška nad „pick-up“ bodem. Tímto bodem je možné korigovat nadjetí nad možnými překážkami (středící kolíky, klíny, nálitky atp.).

Dále je možné nastavit rotování traverze. Rotování je používáno taktéž pro možnost nadjetí překážek bez nutnosti zvedání bodu.

3. **Vyjímací pozice** – bod, kde dochází k nabrání plechu a jeho vynášení z náradí. Nastavuje pozice plechu v náradí a jeho naklopení kvůli možným úhlům lisování.
4. **Za vyjímací pozicí** – tento bod řídí vynášení dílu z náradí. Velmi důležitý při míjení překážek již s vyjmutým dílem. Nastavení má shodné jako bod 2.
5. **Před zakládací (drop-off) pozicí** – slouží k navedení dílu na „*drop-off*“ pozici, aby nedošlo ke kolizi s překážkami. Nastavuje se stejně jako bod 4.
6. **Zakládací pozice** – bod, kde dojde k uvolnění dílu a jeho ustavení pro další operaci. Jeho nastavení probíhá stejně jako u bodu 3, avšak „*drop-off*“ bod se umísťuje tak, aby díl při odkládání byl 20 mm nad povrchem nástroje. Děje se tak z důvodu rozpínání přísavky. Při menší vzdálenosti se nemusí přísavky odlepit.
7. **Za zakládací pozicí** – obdobná charakteristika jako bod 2, avšak při vyjíždění mechanizace z náradí.

Vyjímací a zakládací pozice má určené parametry polohou dílu v nástroji a slouží jako výchozí pozice pro nastavení celé absolutní křivky. Podstatné je nastavení polohy bodů před a za každou z těchto pozic a zajištění bezkolizního stavu. Body před vyjímací pozicí byly nastaveny tak, aby traverze s přísavkami najížděla co nejniž nad spodním dílem (v minimální vzdálenosti 30 mm). Stanovený úsek je důležitý z hlediska možné kolize i s horním dílem. Ten je v daném úseku nejbliže při najíždění traverze do nástroje. Body za vyjímací polohou byly vyladěny tak, aby traverza i s dílem nadjížděla, pokud tomu bylo možno co nejniž. Zde byl nastaven větší zdvih vertikálně, než došlo k horizontálnímu vyjíždění z nástroje. Tak došlo k vyjetí dílu nad nádstavek a střediče bez kolize. V nezbytném případě bylo použito natočení traverze, aby došlo k minimalizování jejího zdvihu.

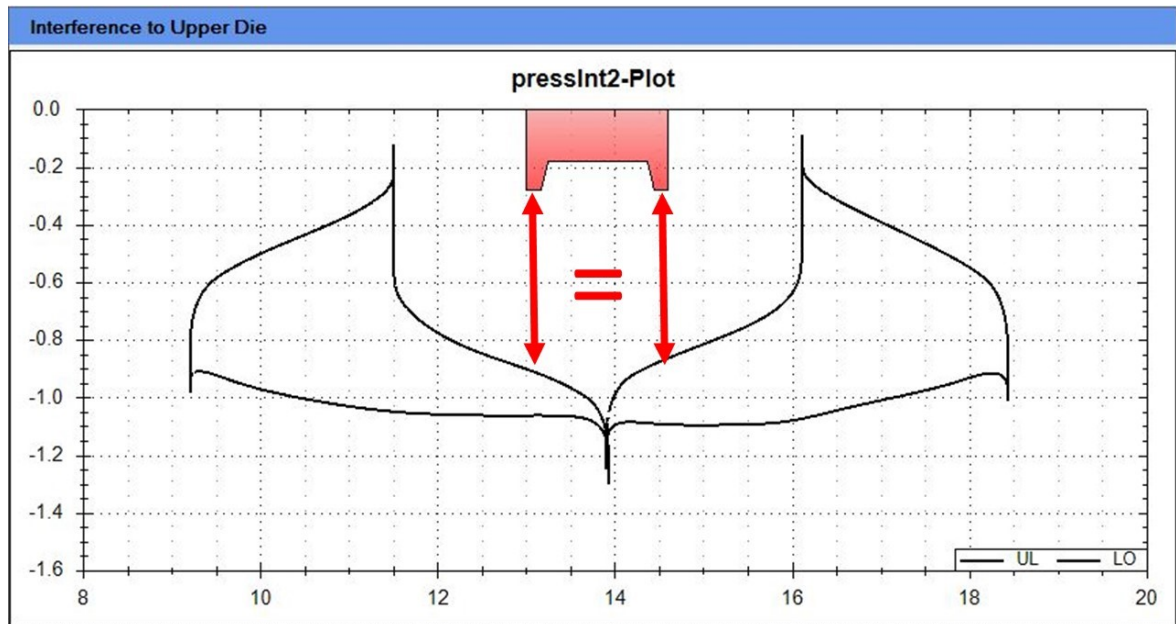
Při zakládání dílu byla křivka laděna obdobně. Změna nastává před zakládací pozicí, kde je dostatek prostoru, jelikož při zakládání je beran lisu v horní úvratí. Zde bylo možno s dílem najíždět o něco výše (bylo nutno brát zřetel k negativnímu prodloužení absolutní křivky). Při vyjíždění traverze po založení je třeba s traverzou jet co opět co nejniž (unikání před beranem lisu).



Obr. 59 Rozhraní pro nastavení křivek v Motion Designer

Po celé úpravě absolutní křivky, kdy traverza nekoliduje se spodním dílem je zapotřebí upravit časování mechanizace a tím upravit relativní křivku, která je vztažená vůči beranu lisu.

Dále je velmi důležité upravit načasování s lisem (Obr. 60). Tedy tak, aby traverza s toolingem z jedné strany vyjela a z druhé strany zajela přibližně symetricky vůči beranu lisu. Nicméně při speciální nesymetrické zástavbě nástroje může docházet i k asymetričnosti relativních křivek na vstupu do nástroje.

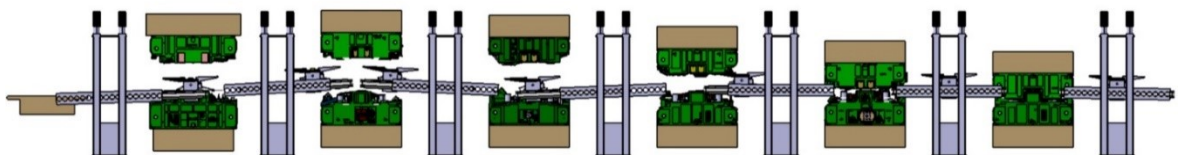


Obr. 60 Synchronizace a časování mechanizace vůči beranu lisu

Jak bylo vysvětleno v teoretické části, je též nutné dodržet omezení mechanizace manipulatoru pro GRS vzdálenost ramen minimálně 200 mm. Zároveň je vhodné blížit se této hodnotě zprava co nejvíce, z důvodu využití maximálního potenciálu mechanizace.

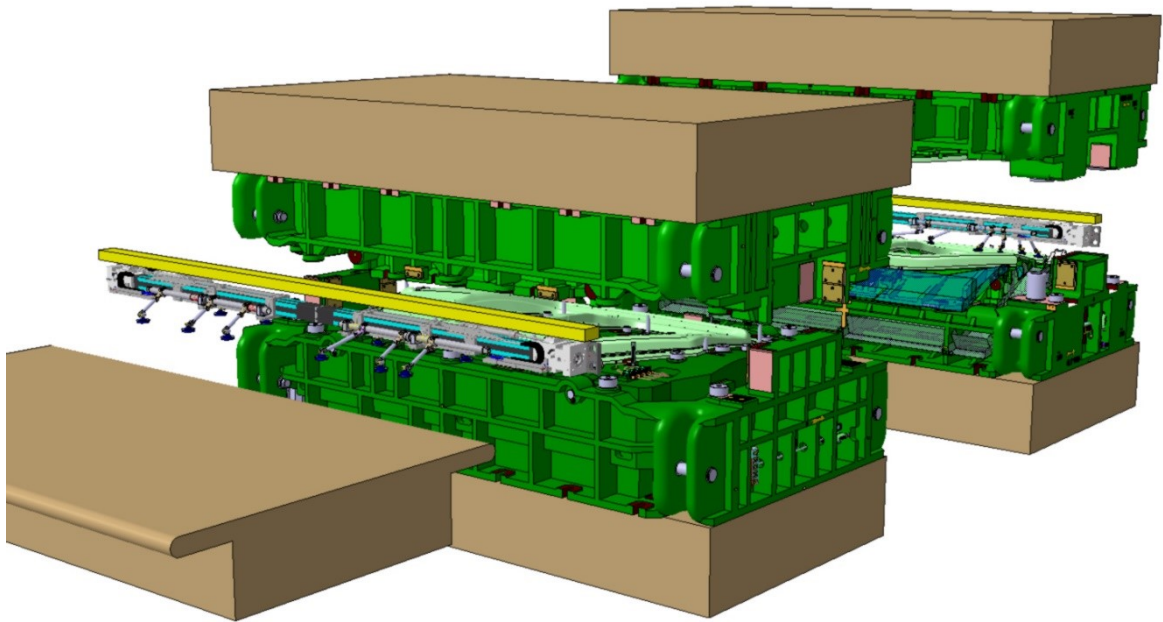
11.3 3D vizualizace v CATIA

K provedení vizualizace a seřízení křivky slouží 3D model pro CATIA V5. Motion Designer se inicializuje do CATIA a následně pomocí vkládání parametrů a automatického update dokáže pohybovat mechanizací a beranem lisu. Takto je možné kontrolovat vizuálně průchod a ladit křivku při kolizích.



Obr. 61 Linka GRS

Z velké části se využívá měření při zkoumání jednotlivých kroků, kde se jeví možnost nedodržení embargo prostorů (od spodního dílu 30 mm a od beranu lisu $40 + 7 \cdot n$ SPM).



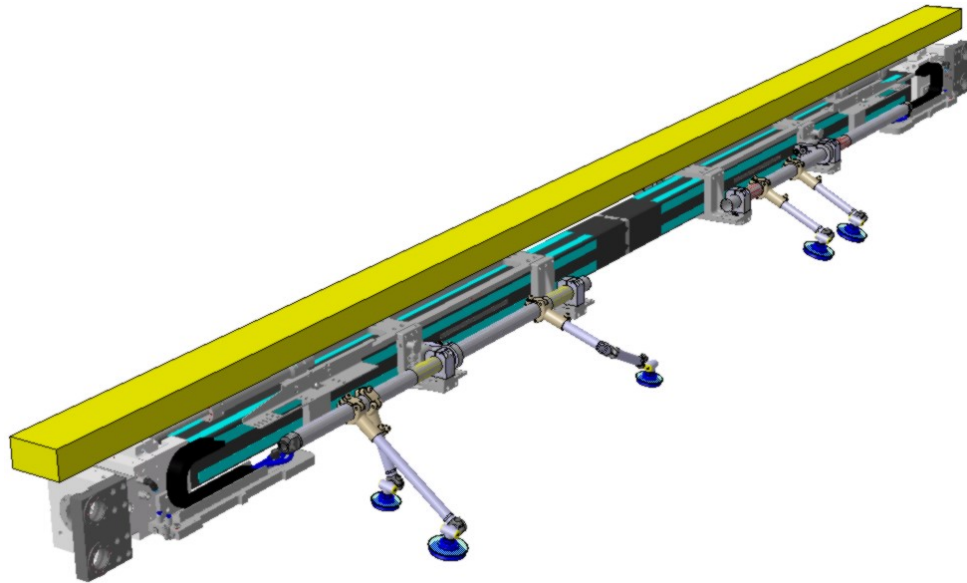
Obr. 62 Vizualizace linky GRS v CATIA V5

11.4 Příprava konstrukčních obálek Motion Designer

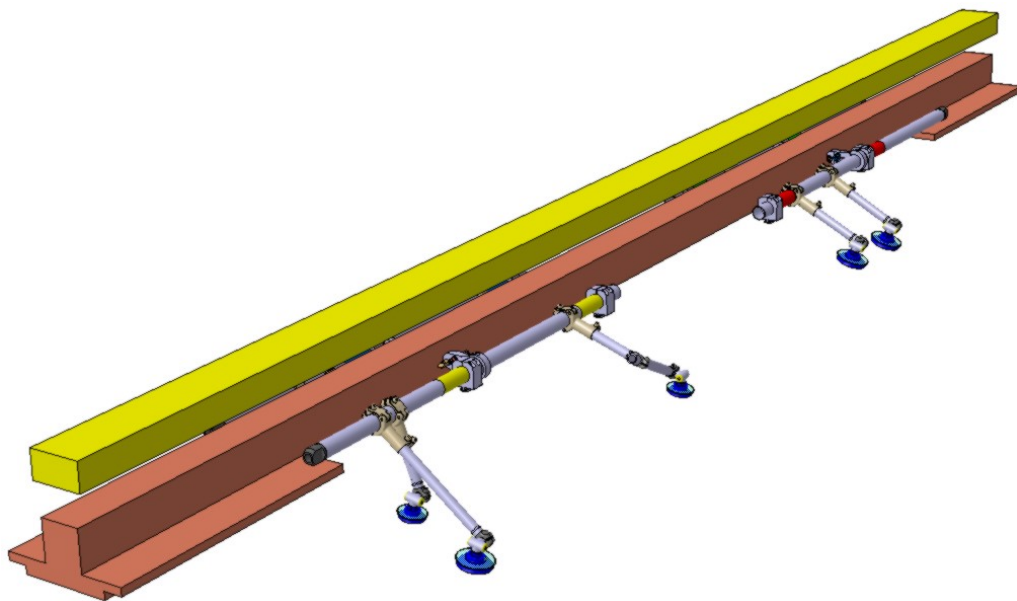
Jedná se o výstup pro oddělení konstrukce nástrojů. Na základě vygenerované křivky průchodu na „pařez“ (tedy průchod tvarem) vznikne 3D model prostoru, kudy prochází traverza s toolingem a dílem. Takto generovaný prostor určí hranice spodní a vrchní části nástroje pro konstrukci. Tím se získá přibližný odhad prostoru, ve kterém je možné nástroj konstruovat.

Motion Designer však funkci pro generování obálek nepodporuje a bylo nutné vyvinout způsob, jak podobného výstupu dosáhnout. Jelikož Motion Designer simuluje krokovým způsobem, jako jediná možnost v případě tohoto software je ukládání modelu traverzy a toolingu v jednotlivých polohách do formátu CGR a následně všechny tyto modely vložit do jednoho produktu. To sebou však nese další problém, a tím je vysoká náročnost na data a čas, neboť je třeba udělat velký počet snímků (900Mb dat, 30 min snímání, 5 min úprava dat pro jednu stanicí). Navíc takto upravená data vložená při konstrukci do modelu se stávají nepoužitelnými z důvodu vysokých nároků na výpočetní techniku.

Řešení bylo nutno dále upravit. Velikost CGR souborů je závislá na kvalitě zobrazení a složitosti geometrie v software CATIA. Proto byl přidán zjednodušený model traverzy a schovány některé části, jež neovlivní výsledek a sníží podstatně velikost dat (až 10krát). Tím je řešen problém s velikostí dat (Obr. 63,64).



Obr. 63 Detailní model traverzy pro GRS po retrofitu s tabu prostorem (12,5Mb)



Obr. 64 Zjednodušený model traverzy GRS linky po retrofitu (1,5Mb)

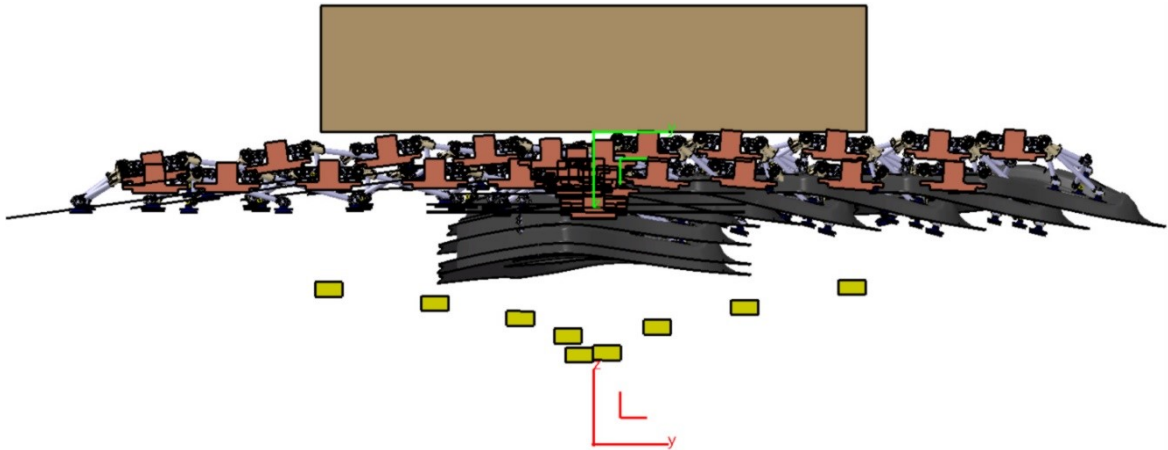
K optimalizaci a zkrácení času bylo vytvořeno macro, které zkrátí délku generování „snímků“ (uložení traverzi ve formátu CGR s danou polohou vůči absolutnímu souřadnému systému). Toto macro bylo napsáno ve Visual Basic a stalo se doplňkem pro CATIA s Motion Designerem (Obr. 65). Díky tomuto macru stačí jedno kliknutí k uložení snímku (místo 20 s stačí 3 s), čímž byla zkrácena doba snímkování z 30 min na pouhých 8 min na jednu stanicí.


```
Sub Save_1()  
  
    cislo = cislo + 1  
    tager = "RX5-PS5-"  
  
    Language = "VBSCRIPT"  
  
    rx5ps51.Caption = tager & cislo  
    rx5ps51save.Caption = tager & cislo  
  
    Set productDocument1 = CATIA.ActiveDocument  
  
    productDocument1.ExportData cesta & tager & cislo & ".cgr", "cgr"  
  
    If cislo = snimek Then rx5ps51save.Hide  
    If cislo = snimek Then Main.Show vbModal  
End Sub
```

Obr. 65 Hlavní kód macra pro ukládání snímků

Pro macro bylo použito několika základních příkazů a podmínek. Macro se skládá ze dvou modulů. Jeden z modulů slouží pouze k zadání parametru pro počet „snímků“ a vložení cesty k uložení „snímků“. Druhý modul obsahuje ukládací cyklus (Obr. 65). Tento cyklus se skládá z počítadla „cislo“ a značícího objektu „tager“. Objekt „cislo“ při každém opakování cyklu zajistí, že se zvětší číslo o jeden. Objekt „tager“ obsahuje řadu písmen tzv. string, to umožňuje místo přepisování textu použít v programu objekt. Tyto objekty pak mění nápis v grafice macra ve formátu „RX5-PS5-1“ pomocí funkce „Caption“ a zároveň určí název souboru. Pak pomocí funkce „ExportData“ můžeme z aktivního okna v catii uložit právě pozici traverzi ve formátu cgr a pomocí objektů těmto souborům určit přesný název. Objekt „cislo“ zajišťuje číslování souborů, takže nedojde k jejich přepsání. Podmínkou „If cislo“ omezíme cyklus jen na určitý počet snímků. Po tomto počtu se macro ukončí.

Díky macru je tak stanovený název pro soubory. Tím pádem taky možnost vytvoření struktury, do níž se CGR jenom vloží a v 3D modelu se tak hned aktualizují. Výjimku tvoří relativní křivky, kde je nutné manuálně ustavit CGR pomocí kompasu do sevřené polohy lisu.



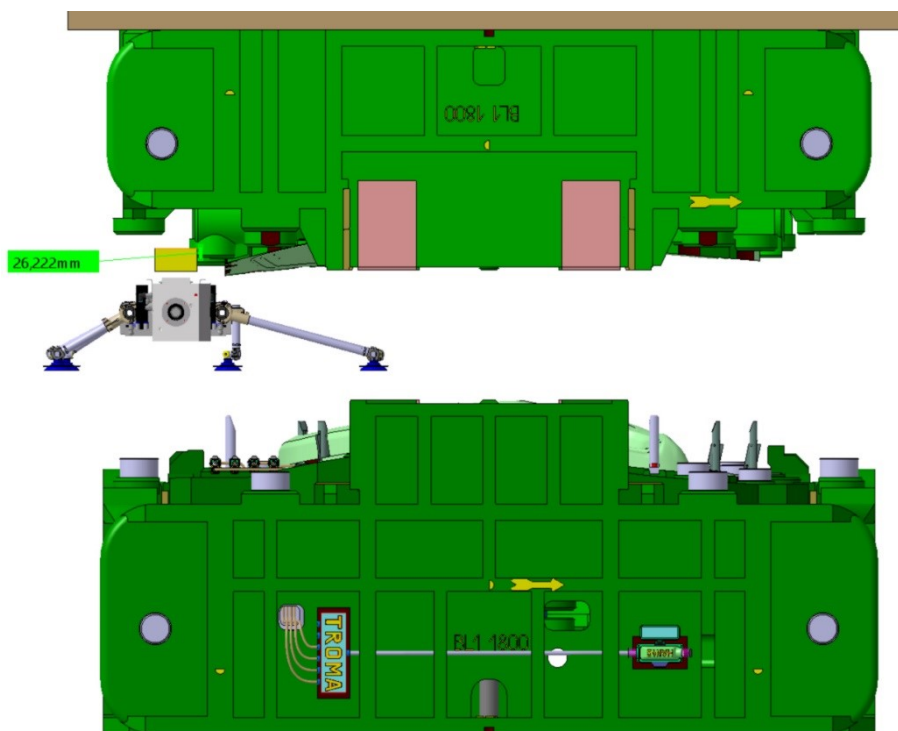
Obr. 66 Konstrukční „obálka“ pro konstrukci nástroje a ověření průchodu GRS

Jak je z Obr. 66 patrné, výsledné rozlišení trajektorie traverzy s toolingem není velké (v závislosti na stupních) a může způsobit nepřesnosti při návrhu konstrukce. Pakliže dojde k nejasnosti, je nutné kontrolovat stav přímo v programu Motion Designer.

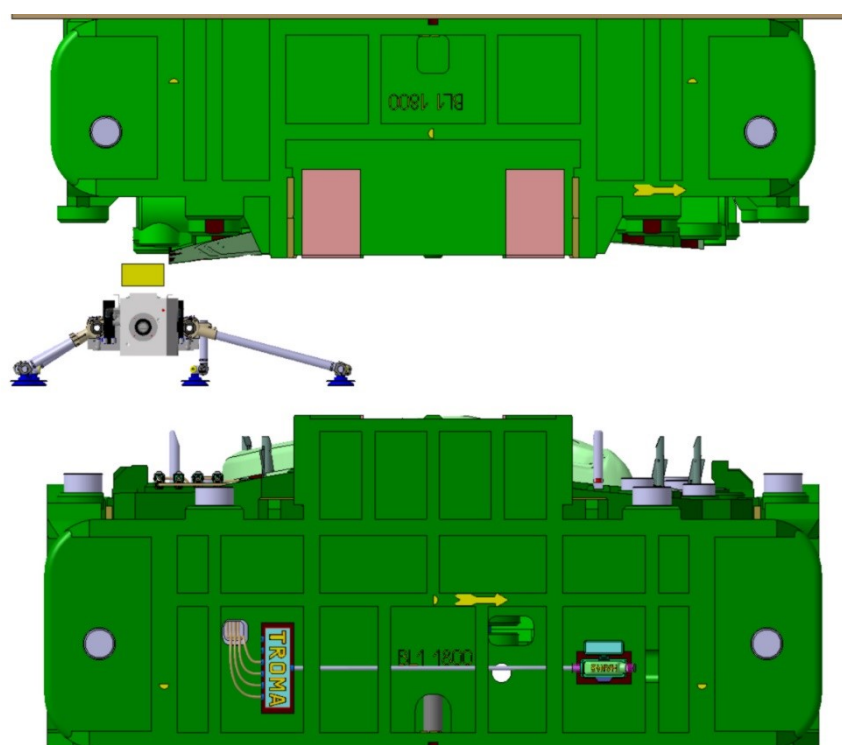
11.5 Odstranění možných kolizí

Kolize s beranem lisu – tato kolize se dá odstranit časováním vjezdu a výjezdu traverzy, nebo úpravou konstrukce nástroje. Jestliže nepomůže časování, ani úprava konstrukce, je nutné snížit počet zdvihů. To je však nežádoucí z ekonomického hlediska.

V případě diplomové práce jako příklad uvádím problém v operaci 20, kdy traverza manipulátoru ROB 1 vyjžděla z nástroje příliš pozdě a kolidovala do nástroje o 27 mm (Obr. 67). Tato chyba byla napravena časováním traverzy tak, aby vyjžděla dříve (Obr. 68).



Obr. 67 Kolize s horním dílem nástroje

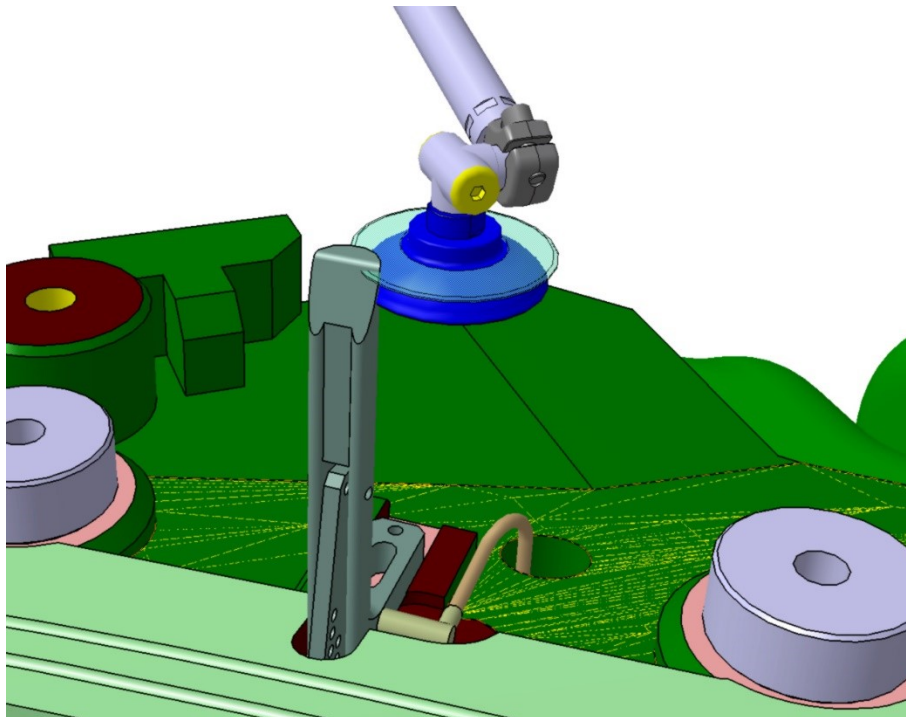


Obr. 68 Správný průchod traverze

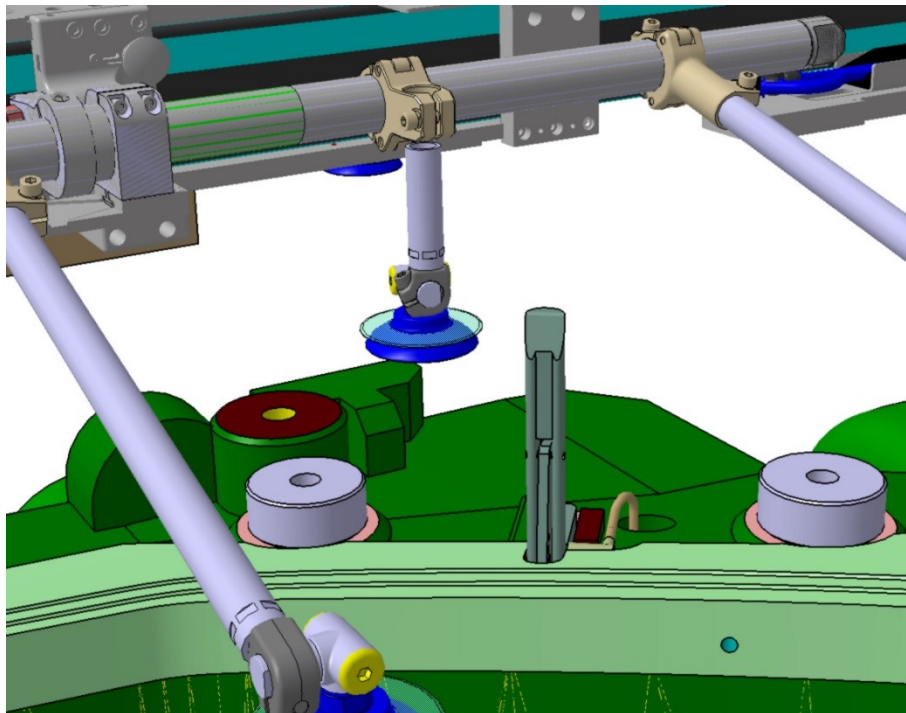
Kolize toolingu se zástavbou nástroje – je nejpravděpodobnější kolize. Pro příklad uvedena taktéž operace 20. V operaci se nachází větší počet středících kolíků, jež vystupují

nad profil tažníku k ustavení platiny. Nadjíždět by bylo nevýhodné, je tedy nutno mezi středícími kolíky projet.

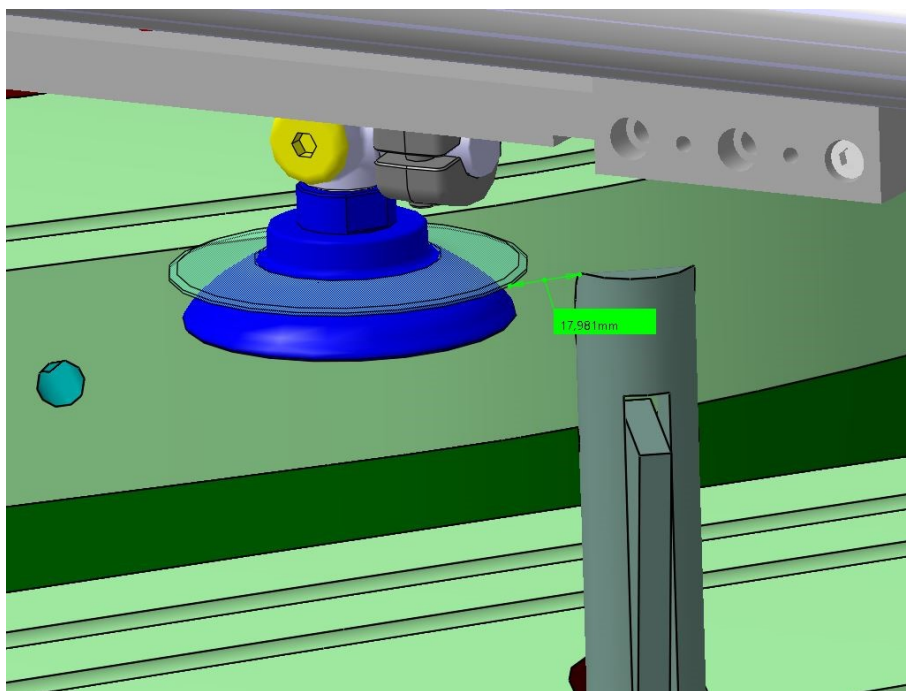
V případě práce došlo ke kolizi s jedním středícím kolíkem a možné kolize s druhým. V obou případech stačilo pozměnit pozici přísavek (v některých případech je však nutno pozměnit zástavbu nástroje). Tuto úpravu je nutné konzultovat s konstrukcí nástrojů kvůli nálitkům pod přísavky při „pick-up“ (při špatném podložení by mohlo dojít k deformaci plechu při kontaktu s přísavkou).



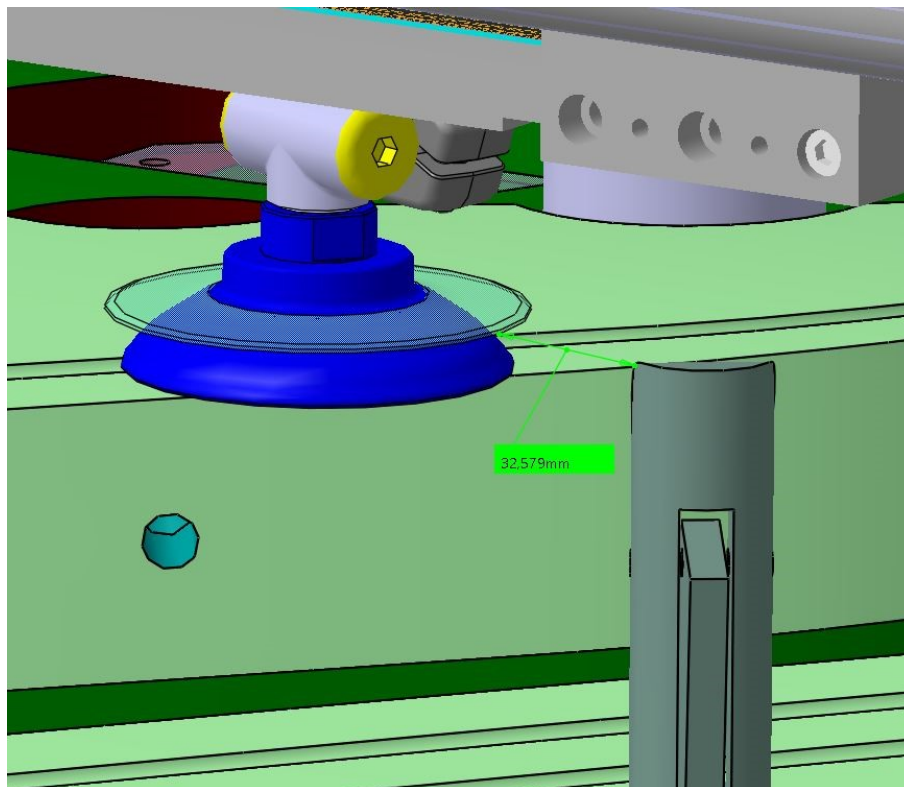
Obr. 69 Kolize se senzorem založení nástřihu



Obr. 70 Uvolnění průjezdu změnou polohy přísavky



Obr. 71 Blízký průjezd přísavky kolem senzoru (potencionální kolize)



Obr. 72 Dostatečná vzdálenost od senzoru založení nástřihu

Obdobným způsobem se řeší kolize i v ostatních operacích, kde může docházet ke kolizím s klíny a vedením klínů, přidržovači, vzduchovými kolíky atp.

11.6 Výstup

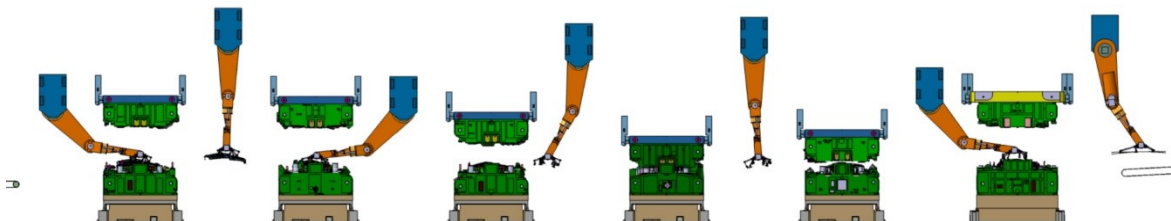
Prvním výstupem tohoto software je právě obálka, která určí limity pro konstrukci. Díky ní tak může vzniknout první zástavba náradí, která se bude dále jen minimálně upravovat. K tomu patří i pozice přísavek.

Druhým výstupem je samotná křivka. Absolutní křivka, kterou lze vygenerovat ze software a vložit přímo do lisu GRS. Lis se dále nastaví podle těchto parametrů včetně mechanizace.

Posledním výstupem je prezentace, která vznikne na základě posledního projetí a jemných úprav. Jelikož se v Motion Designeru navrhuje křivka na daný počet zdvihů lze jen říci, zdali pak na stanový počet zdvihů díl projde, či nikoli.

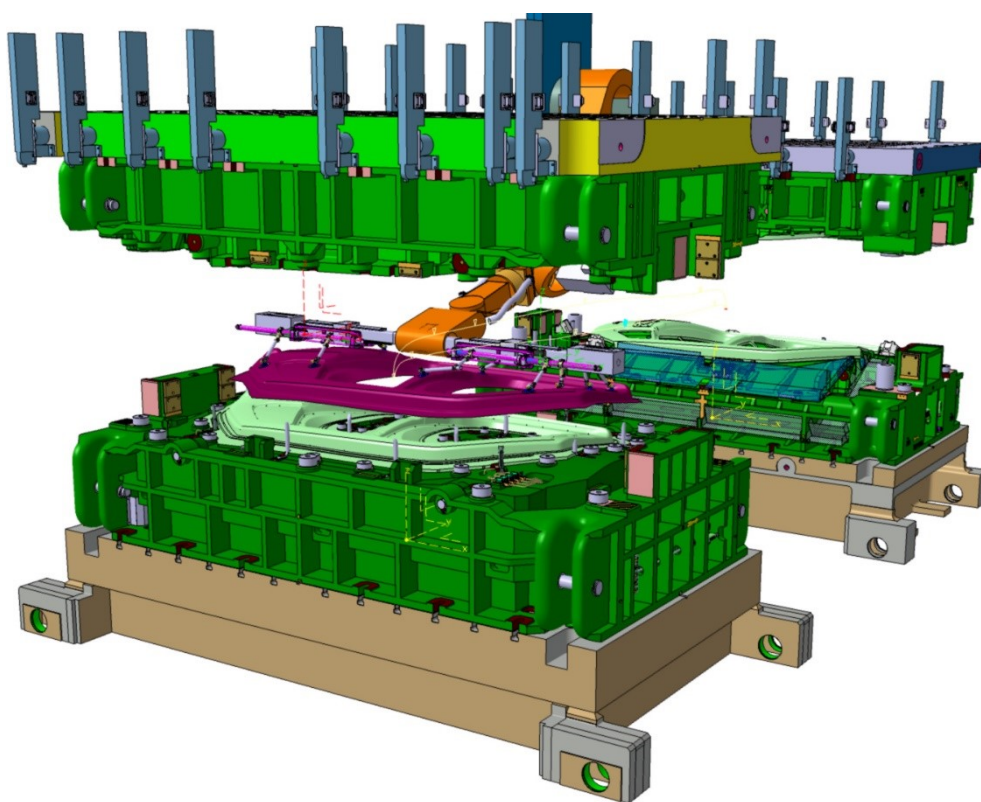
12 SIMULACE DELMIE

Na rozdíl od Motion Designer, simulace probíhá plně v prostředí CATIA DELMIA. Software je upraven přímo na linku PXL a je kompatibilní s resource produktem, takže veškerá manipulace je značně komfortnější a vkládání nástrojů i toolingu probíhá poloautomaticky.



Obr. 73 Linka PXL

3D vizualizace je optimalizovanější a probíhá po jemnějších krocích, jak v předchozím software, ale simuluje plynulý pohyb. Tím vzniká přesnější a přehlednější kontrola kolizí toolingu a traverzy s nástrojem.

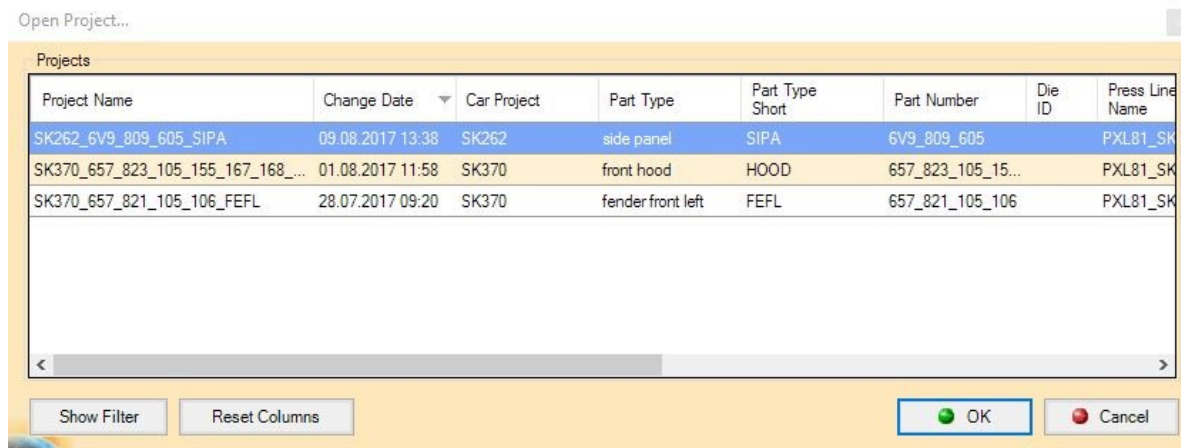


Obr. 74 DELMIA

Taky oproti Motion Designeru odpadá potřeba generování nástrojů, toolingu a dílů ve formátu CGR. To značně zrychluje práci.

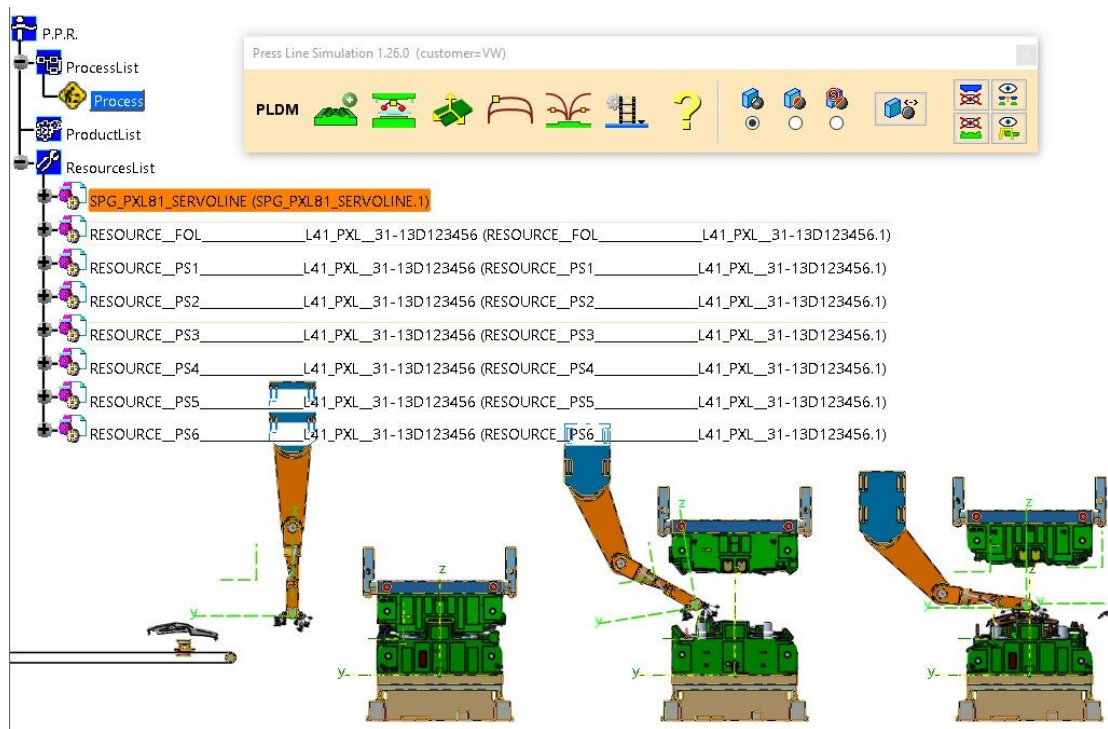
12.1 Příprava simulace

V první řadě se založí nový projekt. Zde je pro lepší orientaci nutné vyplnit základní údaje, aby bylo možno v budoucnu dohledat data a pro přehlednost při ukládání k určitým stavům dílů a náradí. Klíčovou částí je výběr linky, pro kterou bude průchodový plán určen.



Obr. 75 Rozhraní vedení projektů v programu DELMIA

Dojde k vygenerování složky s projektem, linky a struktury. Do složky s projektem je dostačující nakopírovat resource produkt. Ten obsahuje jak parametry, tak modely. Ty se dále vloží pomocí daných příkazů do programu. Načtou se jak modely, tak i parametry. I přes fakt, že se parametry samy nakopírují, je nezbytné provést jejich kontrolu a případné korekce.



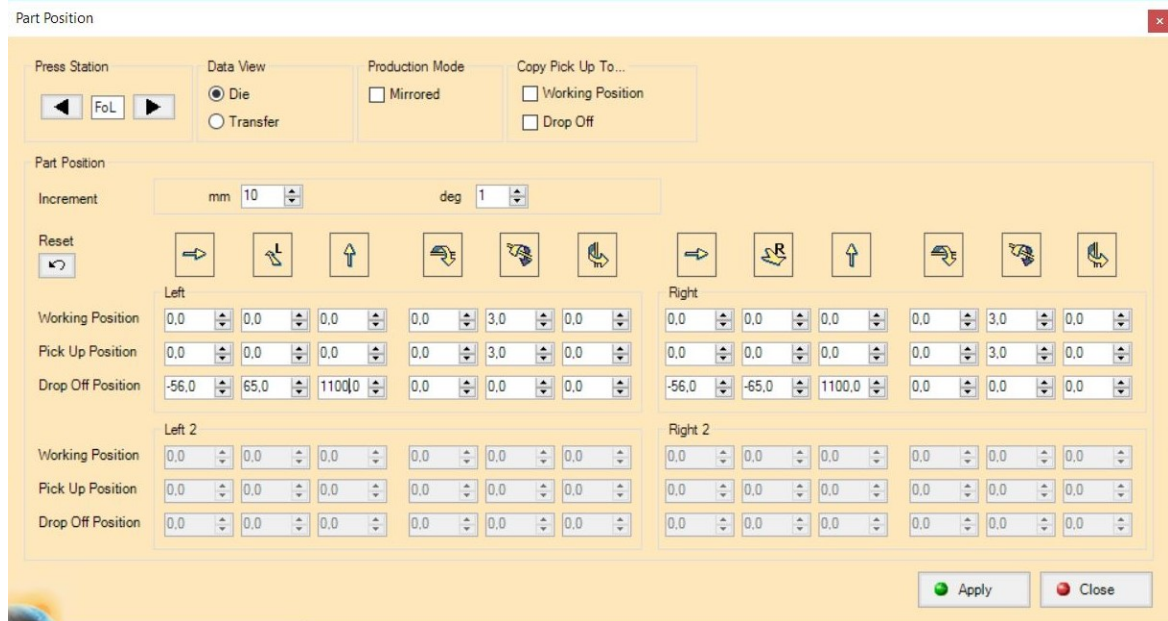
Obr. 76 Struktura programu DELMIA a rozhraní

12.2 Zadávání parametrů

Parametry jsou v DELMIA rozděleny do tří kategorií. První kategorií zastupuje zadávání pozic, resp. jejich úprava a korekce, neboť pozice byly načteny z resource produktu.

Je vhodné po každé provedené úpravě v DELMIA, provést danou úpravu také v resource produktu, aby se tak uložily poslední platné pozice a úhly uložení dílu kvůli záloze v databázi.

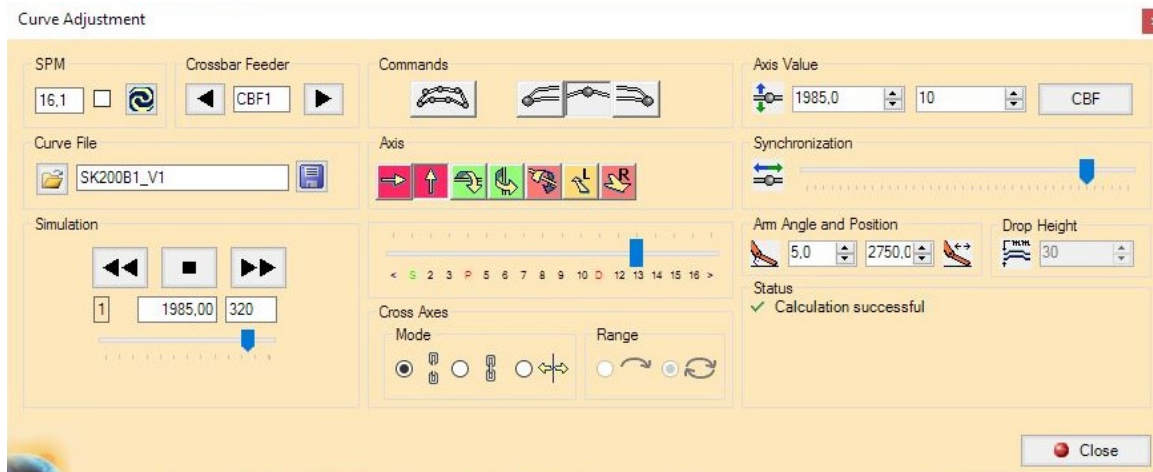
1. **Pracovní pozice** – pracovní pozice je AP kříž z metody. Jde o osu operace.
2. **Vyjímací pozice** – pozice vyzvednutí. Tato pozice se liší od working position jen v operaci 20, kde je o 20 mm výš směrem nahoru (v ose Z). Je to z důvodu přizvednutí přídržovače po tažení.
3. **Zakládací pozice** – pozice shoení. Tato pozice je stejná jako AP následující operace. Drop off se nastavuje až v samotné simulaci a je pro všechny operace stejný 15-30 mm nad AP křížem v závislosti na druhu zvolených přísavek (při odhození dojde k roztažení přísavky do původní polohy, mohlo by dojít ke kolizi).



Obr. 77 Rozhraní pro korekce pozic dílů v lisu

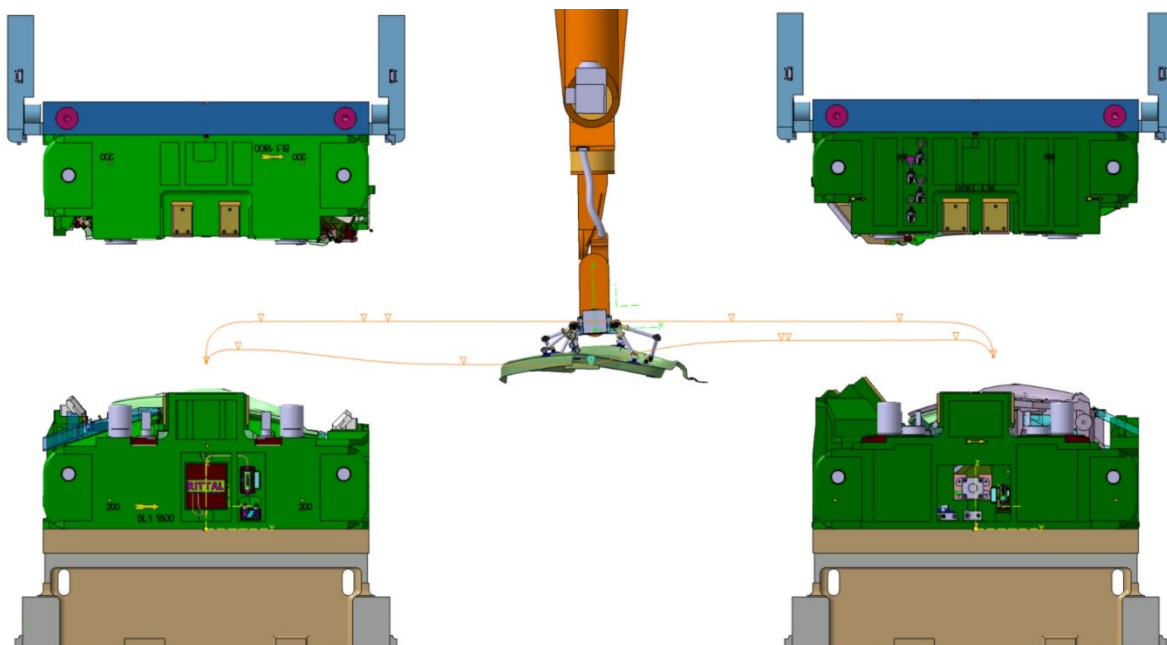
Druhou kategorií je úprava absolutní křivky. Oproti Motion Designer je zde větší variabilita možností úpravy. Namísto 7 bodů je zde 14 programovatelných bodů a navíc ještě pro každou operaci zvlášť. Tedy pro natáčení, zvedání a rozjíždění. To dělá více jak 80 programovatelných bodů. Mimo to lze i některé body ještě posouvat po křivce. Tudíž je možné se překážkám vyhnout více způsoby bez nutnosti prodlužování křivky a tím i přibývání počtu zdvihů.

Dalším rozdílem je právě výpočet zdvihů. V tomto software není nutno zadávat počet zdvihů a na tento počet provádět kontrolu. Kalkulace zdvihů probíhá automaticky podle tvaru a délky křivky pro každý manipulátor zvlášť. Tudíž, cílem je křivku upravit tak, aby chom dosáhli u každého manipulátoru pokud možno co největší možný počet zdvihů.



Obr. 78 Rozhraní pro nastavení křivky

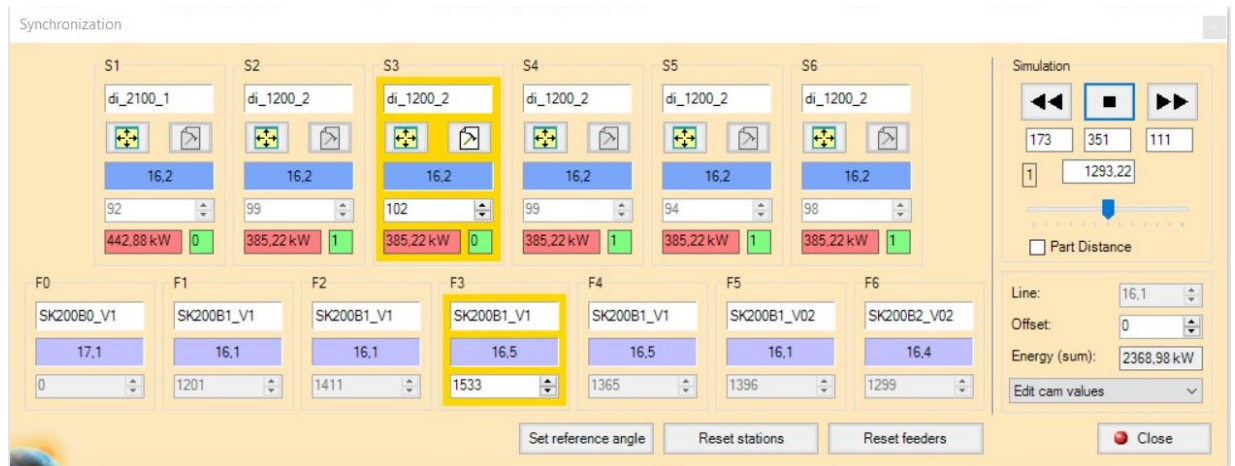
K samotné úpravě křivky pomáhá software odhalit místa, kde by bylo možno získat zdvihy navíc. V kolonce „Axis“ na Obr. 78 jsou čtverečky jednotlivých operací a ty mění barvu dle toho, která operace nejvíce limituje počet zdvihů. Tedy červená je nejvíce limitující, naopak zelená nejméně. Červené se nelze zbavit nikdy, avšak provedením změny v červené operaci nám zaručí navýšení počtu zdvihů, je-li to v rámci bezpečného průchodu možné.



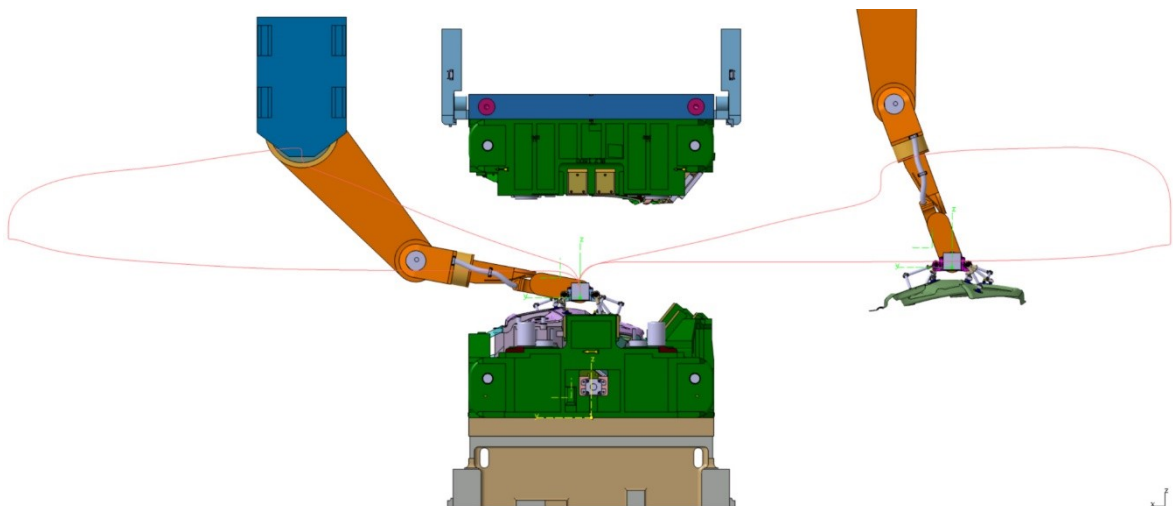
Obr. 79 Absolutní křivka

Taktéž je zde možnost nastavení úhlu ramene. Tento úhel se doporučuje udržet v rozmezí 5-10°. Dochází pák k menšímu zatěžování servo-motorů mechanizace.

Třetí kategorií je nastavení lisů a časování mechanizace (Obr. 80). Díky technologii servo-motorů pro pohon PXL, umožňuje lis nastavení rychlosti a průběhu beranu lisu.



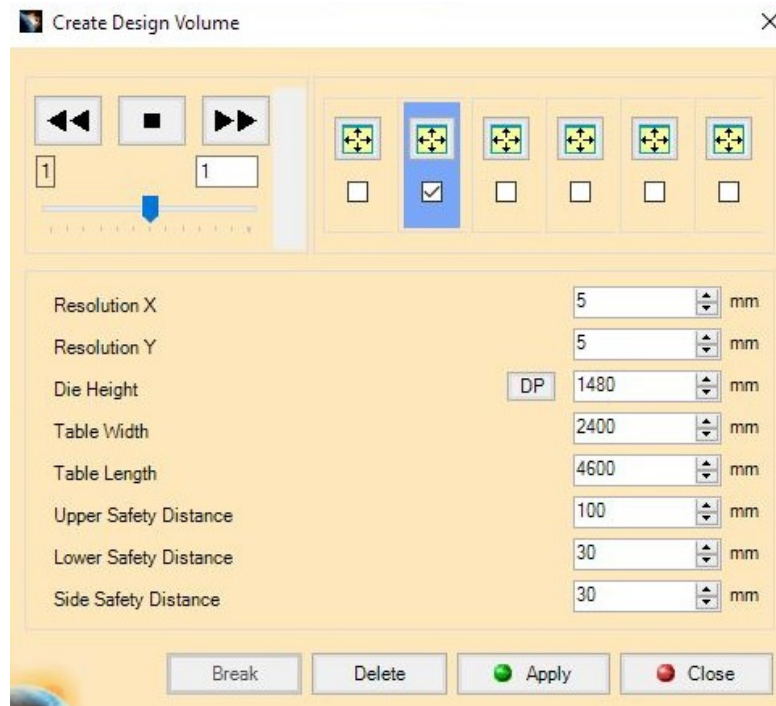
Obr. 80 Rozhraní pro nastavení časování mechanizace a lisu



Obr. 81 Relativní křivka

12.3 Příprava konstrukčních obálek

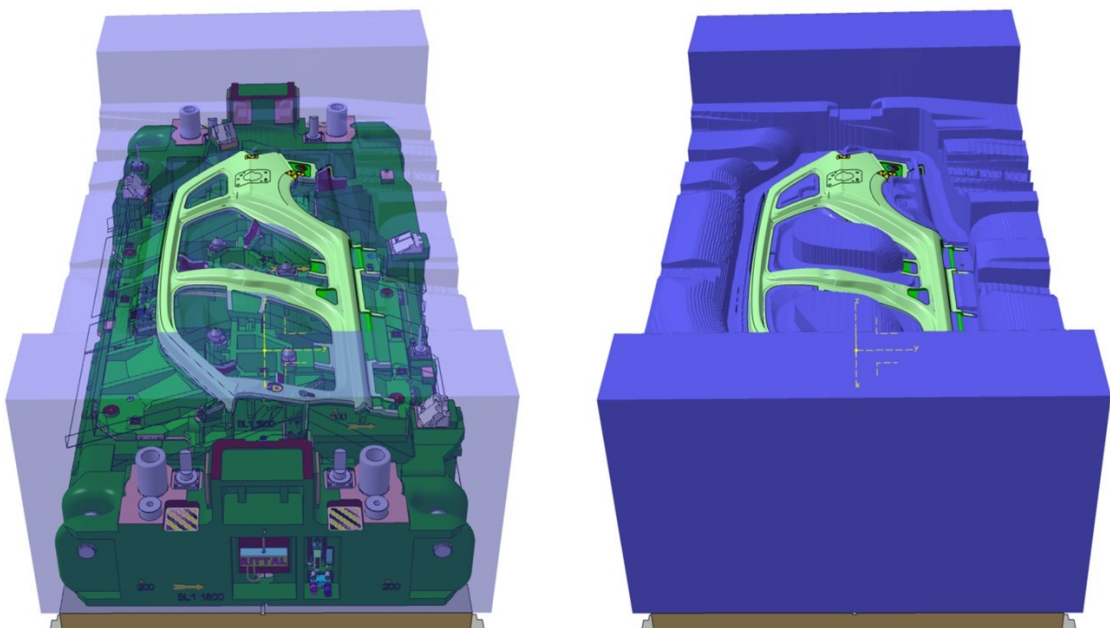
DELMIA obsahuje přímo příkaz na tvorbu konstrukčních obálek. Musí se pouze nastavit parametry obálek. Parametry spočívají pouze ve velikosti stolů, rozlišení a bezpečnostních prostorů. Vše ostatní už je nascriptováno a po dokončení se vytvoří pro danou stanici model konstrukční obálky ve formátu CGR.



Obr. 82 Rozhraní pro generování obálek

Proces tvorby obálek pro celou linku trvá cca 45-60 min. V závislosti na výpočetním výkonu hardwaru. Tedy značně rychle a bez nutnosti zásahu člověka.

Vygenerované obálky se vloží přímo do struktury, takže obálky netřeba dále ustavovat a je možné do nich buď konstruovat nástroje, nebo poté kontrolovat, zda zástavba nepřesahuje tabu prostor.

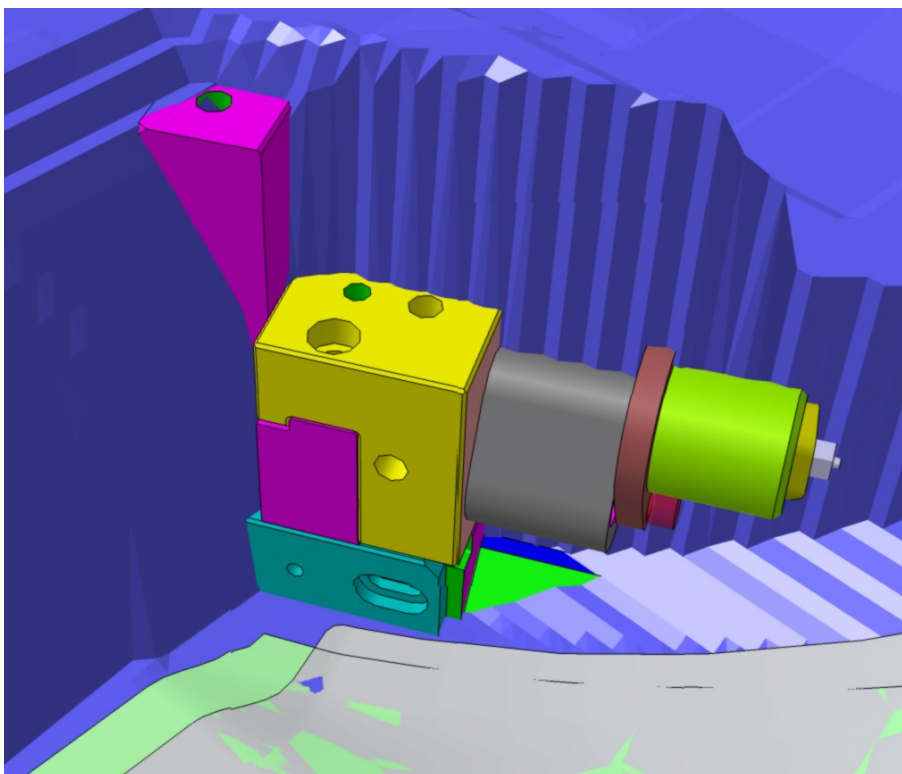


Obr. 83 Výsledná konstrukční obálka pro spodní díl

12.4 Odstranění možných kolizí

Možné kolize lze v případě DELMIA pohodlně zjistit právě za pomoci obálek. Neboť veškerá zástavba, jež v možné kolizi vyčnívá nad objem konstrukční obálky. Neznamená to však automaticky kolizi, ale je třeba takový případ vyšetřit v simulaci a uvážit, zda ke kolizi dojit může, či nikoliv.

Například v případě klínu na Obr. 84 je klín takřka celý mimo obálku. Avšak simulace nám ukazuje, že se plech pohybuje od klínu cca 10 mm daleko. Uvažuje se, že při zvedání plechu bude pokračovat vzhůru a nebude se vlnit do stran, takže plech by měl bezpečně klín obejít. Pro zajištění ještě větší bezpečnosti byl však přidán posun do strany, aby se plech od klínu ještě vzdálil.



Obr. 84 Potencionální kolize dílu s klínem

13 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ

Tab. 3 Srovnání obou linek a výsledku optimalizace

| | PXL | GRS |
|---|---------------------------|---|
| Maximální počet zdvihů | 16 SPM | 13 SPM |
| Pohon lisu | Servomotory | Konveční |
| Kinematika beranu | Nastavitelná | Není nastavitelná |
| Lisovací síla | 81 000kN | 59 000kN |
| Poduška (OP20) | Hydraulická (8-bodová) | Pneumaticko- hydraulická (4-bodová) |
| | | |
| Přibližný čas na přípravu dat | 6 hodin | 6 hodin |
| Přibližný čas na přípravu toolingu | 5 hodin | 5 hodin |
| Čas na generování série obálek (6 stanic) | 48 min | 195 min (70 min) |
| Objem dat pro simulaci | 2000Mb | 4400Mb (900Mb) |

PXL:

Linka má značné výhody. Větší lisovací sílu a větší síly na přidržení. Současně pak lepší rozložení hydraulické podušky v první operaci. Díky servomotorům lze nastavovat kinematiku beranu lisu. Díky traverzi na jedné podpoře potřebuje méně prostoru pro průchod. Software DELMIA je uživatelsky přívětivý a nabízí velkou variabilitu v nastavení mechanizace.

GRS:

Linka není tak výkonná jako linka PXL. Jedná se o starší linku po retrofinu s přidanou mechanizací. Nelze nastavovat kinematiku lisu. Potřebuje více prostoru pro průchod mechanizace. Je nutné ladit tooling podle GRS. Software je značně nedoladěný a nenabízí takovou možnost správy projektů a ladění mechanizace.

ZÁVĚR

Předmětem diplomové práce byla optimalizace a ověření průchodu skrze linku PXL a linku GRS s následným určením zdvihů. Obě linky byly optimalizovány a byl u nich stanoven maximální počet zdvihů pro danou sérii nástrojů.

Tooling a pozice přísavek byly zvoleny podle GRS resource, neboť GRS manipulátor vyžaduje více prostoru pro průchod. Tím, že byl navrhnut pouze jedna konstrukce toolingu pro obě varianty, stačí pouze jedna sada toolingu pro obě linky. Tím se ušetří až 50% v nákladech na tooling.

Pro linku GRS byl stanoven jako výsledný počet zdvihů až 13 SPM. Pro dosažení tohoto počtu bylo nutno optimalizovat křivku na profil pro manipulátory 380 – 150 mm, aby bylo možno nadjet všechny překážky. Posléze došlo časováním k výslednému počtu zdvihů.

V případech, kde nebylo možno vyhnout se kolizi z důvodu optimální pozice přísavky, byl předložen návrh na změnu zástavby nástroje dodavateli.

Zároveň při tvorbě průchodového plánu bylo vyvinuto macro pro snímkování obálek. Bylo tak možno rychleji reagovat na aktualizovaná data při schvalování projektů v software Motion Designer. Tvorba tak byla ve výsledku až 4x rychlejší oproti původnímu stavu.

Pro lis PXL pak byla provedena kontrola toolingu z GRS. Kladen byl důraz především na kontrolu možné kolize mechanizace s nástrojem. Zde nebyl nalezen problém při procházení a po optimalizaci trajektorií byla výsledná hodnota zdvihů stanovena na až 16 SPM. Pro PXL byly dodány taktéž obálky pro budoucí kontrolu případných úprav v nástroji.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ROMANOSVKIJ V. P.: Příručka pro lisování za studena z 2. vydání Spravočnik po chodnoj šampovke, Moskva 1954, nakladatelství Mašgiz
- [2] HUMMEL L., I. Schnaitmann, Moments that move and inspire, Schuler AG Corporate
- [3] TALÁCKO, J.: Automatizace výrobních strojů a zařízení, Praha, ČVUT, 2000
- [4] TALÁCKO J.: Projektování automatizovaných systémů, Praha, ČVUT, 1996
- [5] MATIČKA R., TALÁCKO J.: Manipulátory, průmyslové roboty, Praha, ČVUT, 1978
- [6] MATIČKA R., TALÁCKO J.: Konstrukce manipulátorů a průmyslových robotů, Praha, ČVUT, 1984
- [7] FOREJT M.: Teorie tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1991, ISBN 80-214-0294-6
- [8] HLUCHÝ M., KOLOUCH J., PAŇÁK R.: Strojírenská technologie 2. vyd. Praha: Scientia, 2001, ISBN 80-718-3244-8
- [9] ŽÍDEK, M., DĚDEK, V., SOMMER, B.: Tváření oceli. SNTL Praha, 1988
- [10] MARCINIAK, Z.: Teorie tváření plechů. SNTL Praha, 1964
- [11] TMĚJ J., MIKEŠ V.: Teorie tváření, VŠST Liberec, 1990 (skripta)
- [12] POČTA B.: Základy teorie tváření kovů. SNTL Praha, 1966
- [13] BLAŠTÍK F. A KOL.: Technológia tvárnenia, zlievarenstva a zvarania, SNTL Praha, 1988
- [14] NOVÁ I., LENFELD P., GABRIEL V.: Základy strojírenské výroby. ŠkodaAuto, Mladá Boleslav, 2001
- [15] MACHEK, V.: Tenké ocelové pásy a plechy válcované za studena. SNTL Praha, 1987
- [16] CHARKOV, V. A.: Theory and Practice of Deep Drawing. MEP London, 1995
- [17] Konstrukční směrnice 31-1D 304830 – Lisovací linky kategorie XL, Škoda-Auto a.s., 9. vydání

[18] DAYTON, Lamina, <http://www.daytonlamina.com/node/1074>, MISUMI Group Company 2018

[19] FANUC, <https://www.fanucamerica.com/products/robots/>, 2018

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| | |
|----------------|------------------------------------|
| PXL | Schuler-ServoLine XL |
| GRS | Großraumsaugerpresse |
| FOL | Front of line |
| EOL | End of line |
| RPS | Reference point systém |
| PR | Průmyslové roboty |
| APR | Adaptivní průmyslové roboty |
| KR | Kognitivní roboty |
| SPM | Stroke per minute |
| CGR | Catia graphical representation |
| AP | Axis point |
| CAD | Computer aided design |
| CAM | Computer aided manufacturing |
| CAE | Computer aided analysis |
| PLM | Product lifecycle management |
| IDE | Integrated development environment |
| F | Síla |
| M | Moment |
| y | Posunutí |
| φ | Úhel |
| 2D | Two dimension |
| 3D | Three dimension |
| UT_AP | Unterteil axis point |
| F _s | Sací síla |

| | |
|------------|---------------------------------|
| m | Hmotnost dílu |
| a_1 | Gravitační zrychlení |
| a_{\max} | Maximální zrychlení mechanizace |
| n | Bezpečnost |
| ROB | Robobeam |
| string | Řetězec znaků |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| <i>Obr. 1 Rozdělení tvářecích procesů podle teploty [12]</i> | 13 |
| <i>Obr. 2 Změna mechanických vlastností</i> | 14 |
| <i>Obr. 3 Zrna kovu před a po tvářeni [9]</i> | 14 |
| <i>Obr. 4 Vliv velikosti zrna na kvalitu stříhu [11]</i> | 15 |
| <i>Obr. 5 Dislokace a Burgersův vektor [11]</i> | 16 |
| <i>Obr. 6 Hustota dislokací a vliv na deformaci [11]</i> | 17 |
| <i>Obr. 7 Pružná a trvalá deformace [11]</i> | 17 |
| <i>Obr. 8 a – zrno bez deformace;</i> | 18 |
| <i>Obr. 9 Třídění základních operací lisování za studena [1]</i> | 19 |
| <i>Obr. 10 Schéma elementu v prostoru při ohýbání (_ _ _ je vyznačen stav před ohybem; ____ je vyznačen stav po ohybu) [1]</i> | 20 |
| <i>Obr. 11 Pozice neutrální vrstvy při ohybu [1]</i> | 20 |
| <i>Obr. 12 Schéma průběhu stříhání stříhadly [1]</i> | 21 |
| <i>Obr. 13 Vzorce pro výpočet střížné síly nůžek (L – délka stříhu, S – tloušťka materiálu, φ – úhel sklonu nožů ve stupních, σ_s – dnes značeno τ_s mez pevnosti ve smyku) [1]</i> | 22 |
| <i>Obr. 14 Tažení válcového stavu [1]</i> | 22 |
| <i>Obr. 15 Rozdíl v tažení tenkostěnného a tlustostěnného materiálu [1]</i> | 23 |
| <i>Obr. 16 Průběh napětí a deformace při tažení s přidržením [1]</i> | 24 |
| <i>Obr. 17 Lisovací linka PXL [17]</i> | 25 |
| <i>Obr. 18 Lisovací linka PXL ve firmě Škoda-auto a.s. [17]</i> | 26 |
| <i>Obr. 19 Rozdělení lisů pro lisování za studena [1]</i> | 27 |
| <i>Obr. 20 Schéma lisu poháněného servomotorem (1 – vrchní část lisu s hlavním pohonem, vačkami a uzamykáním; 2 – vzpěry se spojovacími tyčemi; 3 – beran lisu s protizávažím; 4 – nástroj; 5 – výjezdový stůl lisu; 6 – uložení lisu se vzduchovými válci a odvodem odpadu; 7 – tlumiče vibrací) [2]</i> | 28 |
| <i>Obr. 21 Rozdělení operací sloučeného lisování [1]</i> | 29 |
| <i>Obr. 22 Třídění součástí pro lisovací nástroje [1]</i> | 31 |
| <i>Obr. 23 Lisovací nástroj</i> | 31 |
| <i>Obr. 24 Nástroj se skládá z dolní části a horní části</i> | 32 |
| <i>Obr. 25 Štolové vedení s přidaným sloupkovým vedením</i> | 32 |
| <i>Obr. 26 Litina spodního dílu</i> | 33 |

| | |
|---|----|
| <i>Obr. 27 Traverze manipulace PXL není omezena hlavním vedením nástroje</i> | 33 |
| <i>Obr. 28 Nástavek (tažník)</i> | 34 |
| <i>Obr. 29 Přidržovač v sevřené poloze nástroje</i> | 34 |
| <i>Obr. 30 Přidržovač v zakládací poloze vyzvednutý vzduchovými válci lisu</i> | 35 |
| <i>Obr. 31 Klín s lineárním vedením Dayton [18]</i> | 36 |
| <i>Obr. 32 Rotační klín (vyráběný)</i> | 36 |
| <i>Obr. 33 Vyšší kvalita výroby s větší stabilitou (menším rozptylem) [3]</i> | 38 |
| <i>Obr. 34 Poloha dílu v prostoru a její souřadnice [5]</i> | 39 |
| <i>Obr. 35 Blokové schéma hlavních částí manipulátoru [5]</i> | 39 |
| <i>Obr. 36 Robot od firmy Fanuc (sériová kinematická struktura) [19]</i> | 41 |
| <i>Obr. 37 Kartézská struktura (3 lineární osy) [5]</i> | 41 |
| <i>Obr. 38 Cylindrická struktura (2 lineární osy; 1 rotační osa) [5]</i> | 42 |
| <i>Obr. 39 Sférická struktura (1 lineární osa; 2 rotační osy) [5]</i> | 42 |
| <i>Obr. 40 Angulární struktura (3 rotační osy) [5]</i> | 43 |
| <i>Obr. 41 Příklad paralelního řazení (tripod) [19]</i> | 43 |
| <i>Obr. 42 Pohybové osy mezioperační mechanizace linky PXL [17]</i> | 46 |
| <i>Obr. 43 Osy mezioperační mechanizace linky GRS [17]</i> | 47 |
| <i>Obr. 44 Nosnost přísavky</i> | 48 |
| <i>Obr. 45 První lis – operace 20 – tažení</i> | 54 |
| <i>Obr. 46 Druhý lis – operace 30 – ořez</i> | 55 |
| <i>Obr. 47 Třetí lis – operace 40 – ořez a kalibrování</i> | 56 |
| <i>Obr. 48 Čtvrtý lis – operace 50 – děrování a formování</i> | 56 |
| <i>Obr. 49 Pátý lis – operace 60 – děrování a kalibrování</i> | 57 |
| <i>Obr. 50 Šestý lis – operace 70 – děrování</i> | 58 |
| <i>Obr. 51 Rozdíl v profilu nářadí při pracovní a otevřené poloze a) pracovní pozice přidržovače b) vyjetá pozice přidržovače</i> | 60 |
| <i>Obr. 52 Zadávací maska pro resource produkt</i> | 61 |
| <i>Obr. 53 Resource model ve variantě traverze pro mechanizaci PXL</i> | 62 |
| <i>Obr. 54 Resource model ve variantě traverze pro mechanizaci GRS</i> | 62 |
| <i>Obr. 55 Červeně tabu prostor pro odkládání toolingu</i> | 63 |
| <i>Obr. 56 Tooling</i> | 63 |
| <i>Obr. 57 Souřadnice umístění přísavek vůči středu lisu</i> | 64 |
| <i>Obr. 58 Prostředí Motion Designer pro nastavení křivek a počtu zdvihů</i> | 67 |

| | |
|---|----|
| <i>Obr. 59 Rozhraní pro nastavení křivek v Motion Designer</i> | 69 |
| <i>Obr. 60 Synchronizace a časování mechanizace vůči beranu lisu</i> | 70 |
| <i>Obr. 61 Linka GRS</i> | 70 |
| <i>Obr. 62 Vizualizace linky GRS v CATIA V5</i> | 71 |
| <i>Obr. 63 Detailní model traverzy pro GRS po retrofitu s tabu prostorem (12,5Mb)</i> | 72 |
| <i>Obr. 64 Zjednodušený model traverzy GRS linky po retrofitu (1,5Mb)</i> | 72 |
| <i>Obr. 65 Hlavní kód macra pro ukládání snímků</i> | 73 |
| <i>Obr. 66 Konstrukční „obálka“ pro konstrukci nástroje a ověření průchodu GRS</i> | 74 |
| <i>Obr. 67 Kolize s horním dílem nástroje</i> | 75 |
| <i>Obr. 68 Správný průchod traverze</i> | 75 |
| <i>Obr. 69 Kolize se senzorem založení nástřihu</i> | 76 |
| <i>Obr. 70 Uvolnění průjezdu změnou polohy přísavky</i> | 77 |
| <i>Obr. 71 Blízký průjezd přísavky kolem senzoru (potencionální kolize)</i> | 77 |
| <i>Obr. 72 Dostatečná vzdálenost od senzoru založení nástřihu</i> | 78 |
| <i>Obr. 73 Linka PXL</i> | 79 |
| <i>Obr. 74 DELMIA</i> | 79 |
| <i>Obr. 75 Rozhraní vedení projektů v programu DELMIA</i> | 80 |
| <i>Obr. 76 Struktura programu DELMIA a rozhraní</i> | 81 |
| <i>Obr. 77 Rozhraní pro korekce pozic dílů v lisu</i> | 82 |
| <i>Obr. 78 Rozhraní pro nastavení křivky</i> | 83 |
| <i>Obr. 79 Absolutní křivka</i> | 83 |
| <i>Obr. 80 Rozhraní pro nastavení časování mechanizace a lisu</i> | 84 |
| <i>Obr. 81 Relativní křivka</i> | 84 |
| <i>Obr. 82 Rozhraní pro generování obálek</i> | 85 |
| <i>Obr. 83 Výsledná konstrukční obálka pro spodní díl</i> | 85 |
| <i>Obr. 84 Potencionální kolize dílu s klínem</i> | 86 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|--|----|
| <i>Tab. 1 Kulaté přísavky standardizované.....</i> | 64 |
| <i>Tab. 2 Oválné přísavky standardizované.....</i> | 64 |
| <i>Tab. 3 Srovnání obou linek a výsledku optimalizace.....</i> | 87 |

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: NÁZEV PŘÍLOHY