

# Manipulační stůl pro kalení forem

## Diplomová práce

*Studijní program:*

N2301 Strojní inženýrství

*Studijní obor:*

Inovační inženýrství

*Autor práce:*

**Bc. Andrei Pchalavodau**

*Vedoucí práce:*

prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.  
Katedra částí a mechanismů strojů





## Zadání diplomové práce

# Manipulační stůl pro kalení forem

*Jméno a příjmení:* **Bc. Andrei Pchalavodau**  
*Osobní číslo:* S18000266  
*Studijní program:* N2301 Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* Inovační inženýrství  
*Zadávací katedra:* Katedra částí a mechanismů strojů  
*Akademický rok:* **2019/2020**

### Zásady pro vypracování:

Provedte návrh manipulačního stolu pro kalení forem. Manipulační stůl se bude používat k upínání a manipulaci s různými strojírenskými formami. Zařízení bude součástí robotického pracoviště ve společnosti VÚTS a.s. Zařízení musí splňovat následující parametry:

- hmotnost převážených forem: maximálně 700 kg
  - maximální velikost převážených forem: 700x600x400 mm
  - výška stolu: 450 mm
1. Seznamte se s dosavadním stavem řešení upínání a převážení forem na laserovém pracovišti ve firmě VÚTS a.s. ve vztahu k tématu práce a tento stav popište.
  2. Provedte průzkum potenciálních řešení, včetně patentové rešerše.
  3. Navrhněte min. tři koncepty možných řešení odstraňující zjištěné nedostatky, při zachování daných prostorových dispozic. Navržené varianty objektivně zhodnoťte a proveďte výběr nejlepší varianty.
  4. Vybraný koncept optimalizujte z hlediska metod DFX, FMEA a dalších metod v oblasti předvýrobních etap.
  5. Provedte detailní konstrukci vybrané varianty a pevnostní výpočty (3D sestava, výkresová dokumentace počítaných dílů)
  6. Ekonomické zhodnocení
  7. Závěrečné zhodnocení

*Rozsah grafických prací:*  
*Rozsah pracovní zprávy:*  
*Forma zpracování práce:*  
*Jazyk práce:*

přílohy dle potřeby  
50  
tištěná/elektronická  
Čeština



### **Seznam odborné literatury:**

- [1] PEŠÍK, L. Části strojů. 1. díl. Liberec: Technická univerzita 2005. ISBN 978-80-7372-573-0
- [2] PEŠÍK, L. Části strojů. 2. díl. Liberec: Technická univerzita 2005. ISBN 978-80-7372-574-7
- [3] MAŠÍN I. a P. JIRMAN. Metody systematické kreativity. Liberec: Technická univerzita v Liberci 2012. ISBN 978-80-7372-853-3
- [4] LEINVEBER, J. a P. VÁVRA. Strojnické tabulky. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4
- [5] MAŠÍN I. a L. ŠEVČÍK. Metody inovačního inženýrství: Inovace, plánování a navrhování výrobku. Vyd. 1. Liberec: Institut technologií a managementu, 2006. ISBN 80-903533-0-4
- [6] MAŠÍN, I. Inovační inženýrství – Plánování a návrh inovovaného výrobku. 1. vydání. Liberec: TUL, 2012. 168s. ISBN 978-80-7372-852-6.
- [7] MIČKAL, Karel. Strojnictví, Části strojů. Praha: Sobotáles, 1995, ISBN 80-85920-01-8
- [8] <https://www.hennlich.cz>
- [9] <https://levanta.com.au/service-pits/safety-systems/>
- [10] <https://www.couverture-de-fosse.fr/en/>
- [11] Databáze knihovny TUL

*Vedoucí práce:*

prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.  
Katedra částí a mechanismů strojů

*Datum zadání práce:*

12. února 2020

*Předpokládaný termín odevzdání:*

12. srpna 2021

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan

L.S.

prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 12. února 2020

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

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

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

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

8. června 2020

Bc. Andrei Pchalavodau

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu své práce prof. Ing. Ladislavu Ševčíkovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady, srozumitelné a ochotné jednání. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu a trpělivost v době studia a při psaní této diplomové práce.

## **Anotace**

Tato diplomová práce se zabývá návrhem manipulačního stolu pro kalení strojírenských forem. Manipulační stůl je navržen dle požadavků zákazníka - firmy VÚTS a.s. V teoretické části této práce je popsána analýza současného postupu při převážení a kalení forem. Dále na základě analýzy potřeb zákazníka pomocí metody QFD byly stanoveny charakteristiky výrobku, a bylo navrženo pět konceptů. Vítězný koncept byl vybrán pomocí metody AHP a optimalizován metodami DFX a FMEA-K. Detailní konstrukce vybraného konceptu a stručný popis voleb jednotlivých součástí je popsán ve výpočtové části. Součástí této diplomové práce je i 3d model sestavy manipulačního stolu a výkresová dokumentace zvolených součástí.

## **Klíčová slova**

Manipulační stůl, kalení, inovační inženýrství, koncept, všesměrová kola

## **Abstract**

This master's thesis deals with the design of a handling table for hardening engineering molds. The handling table is designed according to the customer's requirements - the company VÚTS, a.s. The theoretical part of this work describes the analysis of the current procedure for transporting and hardening molds. Furthermore, based on the analysis of the voice of the customer using the QFD method, product characteristics were determined, and five concepts were proposed. The winning concept was selected using the AHP method and optimized using the DFX and FMEA-K methods. The detailed structure of the selected concept and a brief description of the choices of individual components is defined in the calculation part. Part of this master's thesis is also a 3D model of the handling table assembly and drawing documentation of the selected components.

## **Keywords**

Handling table, hardening, innovation engineering, concept, omnidirectional wheels

# Obsah

Přehled použitých zkratk a symbolů.....	9
1. Úvod.....	10
2. Cíl práce .....	10
3. Manipulační vozíky .....	12
4. Povrchové kalení forem laserem ve firmě VÚTS a.s. ....	13
5. Nedostatky stávajícího systému kalení.....	16
6. Inovační prohlášení .....	18
7. QFD.....	18
7.1. Identifikace zákaznických potřeb .....	18
7.2. Stanovení výrobních specifikací.....	19
8. Patentový průzkum.....	21
8.1. Patent 1 .....	21
9. Průzkum trhu .....	23
9.1. Mobilní plošiny KUKA.....	23
10. Generování konceptů.....	24
10.1. Koncept I.....	24
10.2. Koncept II.....	26
10.3. Koncept III .....	28
10.4. Koncept IV .....	30
10.5. Koncept V.....	32
11. Výběr konceptu .....	34
11.1. Kritéria.....	34
11.2. Koncepty .....	35
11.3. Výběr finálního konceptu .....	37
12. Optimalizace vítězného konceptu.....	40
12.1. DFX.....	40
12.2. FMEA-K.....	43
13. Rozpracování vítězné varianty .....	44
13.1. Kolo Macanum .....	44
13.2. Návrh rámu.....	47
13.3. Návrh hnací hřídele .....	47
13.4. Návrh ložisek.....	49
13.5. Výpočet pera.....	49
13.6. Návrh pohonu .....	51
13.7. Výsledná konstrukce .....	52

14.	Pracovní postup .....	55
15.	Ekonomické zhodnocení .....	58
16.	Závěr.....	60
17.	Použité zdroje .....	61
	Seznam obrázků .....	62
	Seznam tabulek.....	63
	Seznam příloh.....	63



## Přehled použitých zkratk a symbolů

Značka	Název	Jednotka
$absolut_1$	Absolutní významnost prvního kritéria	[-]
$absolut_2$	Absolutní významnost druhého kritéria	[-]
$F$	Síla na jedno kolo	[N]
$e$	Rameno valivého odporu	[mm]
$r$	Poloměr kola	[mm]
$v$	Rychlost pohybu manipulačního stolu	[m/s]
$F_T$	Valivý odpor jednoho kola	[N]
$M_k$	Hnací moment	[Nm]
$\omega$	Úhlová rychlost	[rad/s]
$P_1$	Potřebný výkon pro jedno kolo	[W]
$P_2$	Potřebný výkon pro dvě kola	[W]
$\tau_{dk}$	Dovolené napětí v krutu	[MPa]
$k_\sigma$	Koeficient bezpečnosti v ohybu	[-]
$k_\tau$	Koeficient bezpečnosti v krutu	[-]
$l_1$	Vzdálenost mezi ložisky	[mm]
$l_2$	Vzdálenost mezi ložiskem a přiloženou silou	[mm]
$\vartheta$	Součinitel vlivu velikosti napětí	[-]
$\eta$	Součinitel jakosti povrchu	[-]
$R_m$	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
$R_{Ay}$	Svislá reakce v místě A	[N]
$R_{Bx}$	Vodorovná reakce v místě B	[N]
$R_{By}$	Svislá reakce v místě B	[N]
$M_k$	Hnací moment	[Nm]
$M_{maxB}$	Maximální ohybový moment v místě B	[Nm]
$\sigma_{co}^*$	Mez únavy materiálu	[MPa]
$M_{oh}$	Maximální ohybový moment	[Nm]
$d$	Průměr hřídele	[mm]
$\sigma_{oh}$	Maximální napětí v ohybu	[MPa]
$k_u$	Součinitel bezpečnosti symetrického cyklického napětí	[-]
$C$	Dynamická únosnost	[N]
$C_0$	Statická únosnost	[N]
$P_A$	Zatížení ložiska v místě A	[N]
$P_B$	Zatížení ložiska v místě B	[N]
$L_{hA}$	Životnost v hodinách pro ložisko A	[h]
$L_{hB}$	Životnost v hodinách pro ložisko B	[h]
$n$	Provozní otáčky	[ot/min]
$b$	Šířka pera	[mm]
$h$	Výška pera	[mm]
$t_1$	Hloubka drážky v hřídeli	[mm]
$t$	Hloubka drážky v náboji	[mm]
$l$	Délka pera	[mm]
$p_d$	Dovolený tlak	[MPa]
$\tau_d$	Dovolené napětí ve střihu	[MPa]
$F_n$	Síla působící na pero od náboje	[N]
$F_h$	Síla působící na pero od hřídele	[N]
$p_n$	Tlak působící na kontaktní plochu od náboje	[MPa]
$p_h$	Tlak působící na kontaktní plochu od hřídele	[MPa]
$\tau_s$	Napětí ve střihu	[MPa]

## 1. Úvod

V dnešní době pro zajištění konkurenceschopnosti výrobních podniků je nutno zavádět inovační metody zajišťující požadované množství výrobků v předepsané kvalitě a za konkurenceschopné výrobní náklady navržených dle požadavků jednotlivých zákazníků.

Předmětem této diplomové práce je návrh manipulačního stolu pro dopravu a manipulaci ocelových forem při kalení těchto forem laserovou technologií ve firmě VÚTS a.s. Návrh vznikl dle požadavku oddělení laserových aplikací.

Poptávka po laserovém kalení, navařování a svařování ve všech odvětvích průmyslu rapidně stoupá a tak i tlak na zrychlení a zkvalitnění transportu při zajištění bezpečnosti práce při manipulaci s rozměrnými výrobky stoupá.

## 2. Cíl práce

Cílem této diplomové práce je návrh manipulačního stolu s vlastním pohonem pro laserové kalení strojírenských výrobků. Konstruktivní řešení jednotlivých konceptů vychází z požadavků a potřeb laserového pracoviště VÚTS a.s. Specifikace požadavků:

1. Předepsaný rozměr vrchní pracovní plochy: 1200x952x20 mm. Pracovní deska se skládá z 5 profilů velikosti 8 a 4 spojovacích profilů velikosti 8 od firmy *Item*. Opěrné desky trvale pevně konstruovány ve vodorovné poloze. Použitý materiál desek: slitina hliníku. Opatřeny drážkou „T“ pro upnutí obrobků s použitím upínacích úhelníků (obrázek 2-1). Pro jednotlivé velikosti forem konstruovány vlastní upínací úhelníky s ohledem na rozměry forem.



Obrázek 2-1 Deska s T - drážkami [vlastní]

2. Poloměr otáčení navržen na nejmenší možnou hodnotu s ohledem na malé rozměry robotické buňky.
3. Pohon a řízení manipulačního stolu elektronický.
4. Řízení manipulačního stolu musí být provedeno pomocí joysticku.
5. Manipulační stůl z místa naložení forem do místa kalení musí být schopen projet i přes malé překážky (malé schody – obrázek 2-2, nerovná silnice).



Obrázek 2-2 Malé schody, výška 2 cm [vlastní]

6. Rychlost pohybu manipulačního stolu musí být regulovatelná obsluhou a nepřesahovat 1 m/s.
7. Tlak na podlahu od manipulačního stolu spolu s kalenou formou nesmí být větší než 1500 kg/m<sup>2</sup>.

8. Opěrná deska a kola musí být pevně spojena s rámem, součástí budou též veškeré prvky pohonu, řízení a bezpečnosti provozu.
9. Výška manipulačního stolu s opěrnou deskou od podlahy musí být 450 mm.
10. Přesnost pohybů manipulačního stolu s kalenou formou i bez  $\pm 10$  mm.
11. Nosnost manipulačního stolu - 700 kg.
12. Životnost manipulačního stolu minimálně 8 let.

### 3. Manipulační vozíky

Manipulační vozíky slouží k přepravě různých výrobků a zboží, jsou nepostradatelným pomocníkem v nejrůznějších provozech. Vyrábějí se v nejrůznějším provedení, velikostí a nosností. Lze je potkat téměř v každé dílně, obchodu, skladu a hotelu. Existuje celá řada manipulačních vozíků: stavebnicové, plošinové, vozíky na přepravní boxy, policové, skříňové, zvedací, sklápěcí atd. Obvykle jsou vozíky vybaveny čtyřmi koly, ze kterých jsou dvě kola otočná s nášlapnou brzdou a dvě jsou pevná. Existuje i řada velkých přepravních vozíků s nosností až 1500 kg. [5]



Obrázek 3-1 Přepravní vozík B2B [6]



Obrázek 3-2 Přepravní vozík s hydraulickým zdvihem [7]

Ovšem tyto vozíky mají několik nedostatků: malé rozměry opěrné desky, nemožnost upnutí na opěrnou desku přepravovaných součástí, manuální řízení a brždění, vůle mezi rámem a koly, opěrná deska není otěruvzdorná. Výhody přepravních vozíků spočívají hlavně v tom, že jsou poměrně levné, jednoduché, lehké, pevné a mají poměrně vysokou nosnost.

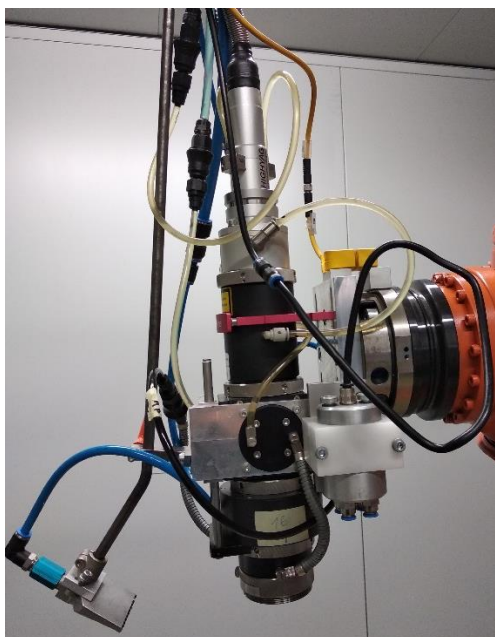
Kvůli problematice spojené s upnutím a převážením kalených forem popsané v této práci je potřeba výše popsané nedostatky odstranit při zachování výhod.

#### 4. Povrchové kalení forem laserem ve firmě VÚTS a.s.

Povrchové kalení forem laserovým paprskem se provádí za účelem dosažení vyšší lokální tvrdosti a vysoké otěruvzdornosti v nejvíce namáhaných částech forem. Formy se kalí zejména pro automobilový průmysl. Kalením se zvýší tvrdost na dosedací ploše formy. Toto se používá u forem na lemování plechů-např. přední kapoty vozidla nebo u forem na lisování koberečků do aut.

Formy se obrábějí na CNC obráběcích centrech, obvykle s přídavkem 0,1 mm na pracovní ploše, určené ke kalení. Po procesu kalení je následně povrch dokončen načisto opět na CNC strojích.

Pro povrchové kalení laserem se používají nejčastěji diodové zdroje laserového paprsku. Laserový paprsek je veden laserovým optickým kabelem do homogenizeru a přes kolimační optiku je nasměrován na povrch kalené součásti (Obrázek 4-1).



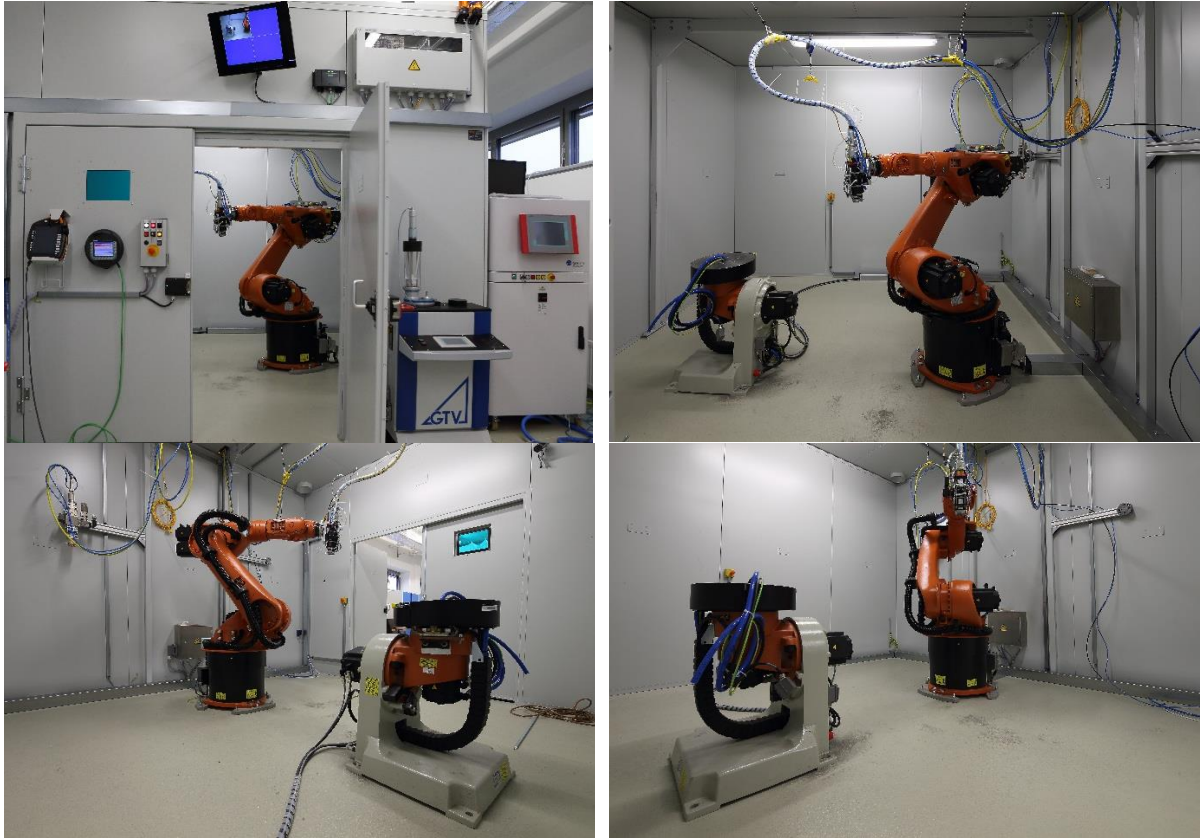
Laserová hlava s optickým kabelem, homogenizerem, kolimační optikou a ochrannou čočkou



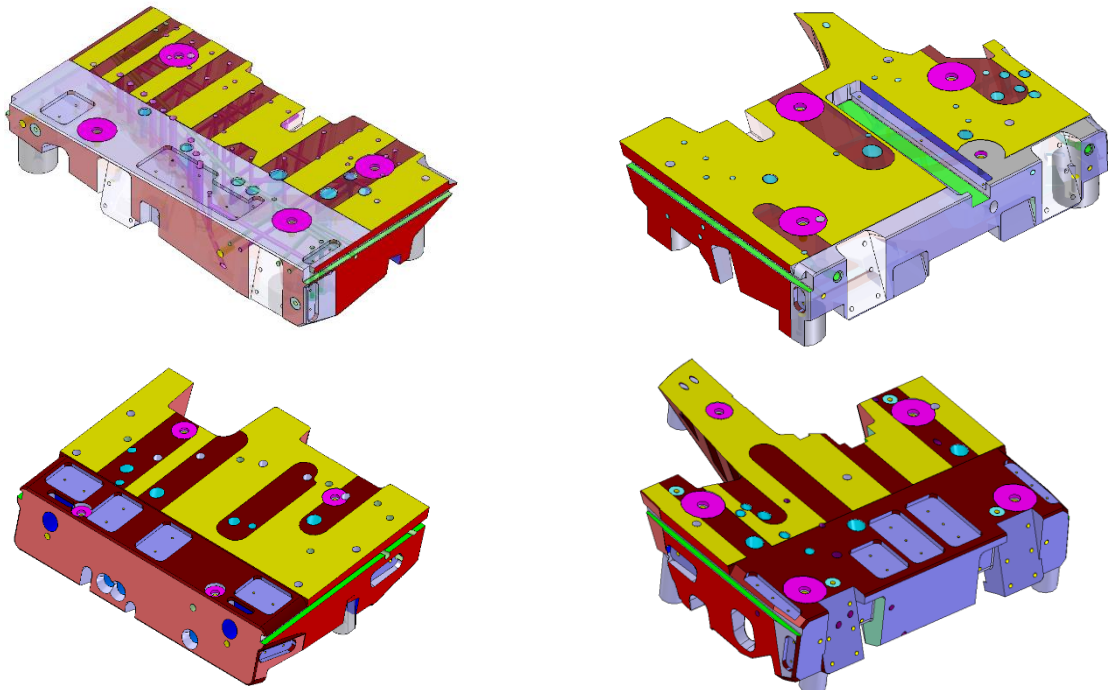
Diodový zdroj laserového paprsku *Laserline LDF 4.000-100*

*Obrázek 4-1 Laserová hlava a zdroj laserového paprsku [vlastní]*

Kalení laserovým paprskem je povoleno provádět v zakrytovaných místnostech (obrázek 4-2) anebo ve speciálních stanicích označených třídou 1 (LASER CLASS 1). Zakrytované místnosti tzv. „buňky“ mají ohraničený manipulační prostor uvnitř, obvykle se dělají na zakázku dle potřeb konkrétního zákazníka, z tohoto důvodu je používáno mnoho různých provedení a rozměrů. Na obrázku 4-2 je ukázka univerzálního robotického pracoviště určeného pro kalení různých pravidelných i nepravidelných součástí.



Obrázek 4-2 Robotické pracoviště VÚTS a.s. [vlastní]

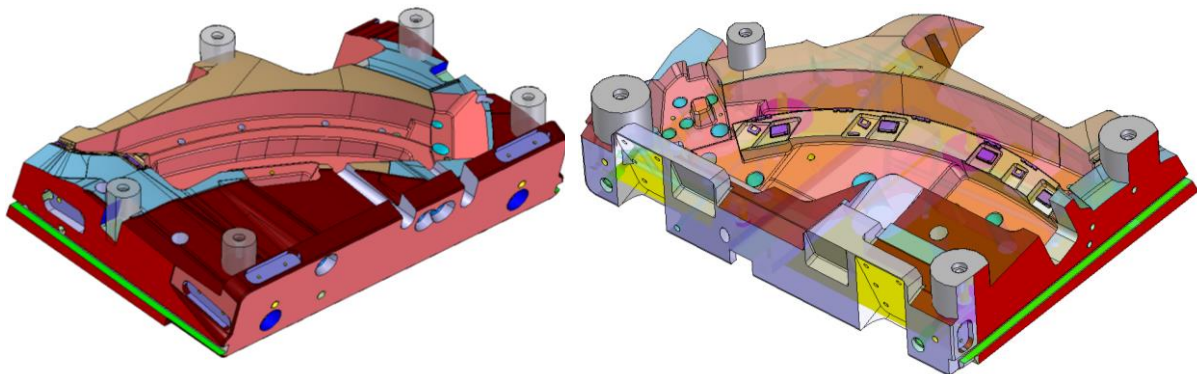


Obrázek 4-3 Formy pro vstřikování plastů [vlastní]

Nejčastější typy forem pro kalení jsou uvedeny na obrázku 4-3, pracovní plochy, které je potřeba zakalit jsou zvýrazněny žlutou barvou. Rozměry forem nepřesahují hodnotu 700x600x400 mm, hmotnost 700 kg. Manipulační prostor pro přesun forem uvnitř robotické buňky je omezen prostorem 2x2x1,5 m.

K zajištění zakalení forem jenom v určitých místech, je potřeba laserový paprsek vést určitou trajektorií a rychlostí. Pro kalení laserem na robotickém rameni je možnost výběru šířky kaleného prostoru volbou spotu, a to o rozměru 4x4 mm, 4x8 mm nebo 4x16 mm, přičemž například spot 4x16 mm kalí pruh široký 16 mm. V případě velké plochy jsou dráhy vedle sebe vedeny v odstupu 12 mm s překrytím drah.

Formy, které se budou následně kalit, mají na sobě technologické opěrné nohy, pomocí kterých se forma vyrábí na CNC stroji. Nejdřív pomocí upínek na frézce se upne ocelová kostka o rozměrech frézované formy s přídatkem na obrábění, vyvrtají se technologické a chladicí kanály, pak se obrobí část formy s opěrnými nohama. Po obrobení spodní části vstřikovací formy, forma se otočí o 180° a postaví se na již obrobené opěrné nohy. Obrobená forma s přídatkem na kluzných plochách se posílá na povrchové kalení. Po kalení kluzných ploch je potřeba tyto plochy obrobit a odstranit již zbytečné technologické opěrné nohy. Operátor obráběcího centra pomocí již vyfrézovaných přesných děr, do kterých se zašroubovávají přesně vysoustružené koule, sondou změří pozice referenčních děr a tím i pozice celé formy v prostoru a pokračuje v obrábění vršku. Pak operátor otáčí formu o 180° a pomocí opěrek ve kterých jsou závitové díry s přesným zahloubením, změří pozici celé formy zašroubováním do těchto děr přesně vysoustružené koule a změřením pozici těchto koulí. Po naměření referenčních bodů lze odfrézovat již nepotřebné technologické nohy. Tyto formy mají na sobě vždycky minimálně na jedné straně přesně boční vedení, které je kolmé na rovinu technologických opěrných noh, pomocí kterého je forma vedena ve vstřikovací lise.



Obrázek 4-4 Spodní část forem pro vstřikování plastů [vlastní]

## 5. Nedostatky stávajícího systému kalení

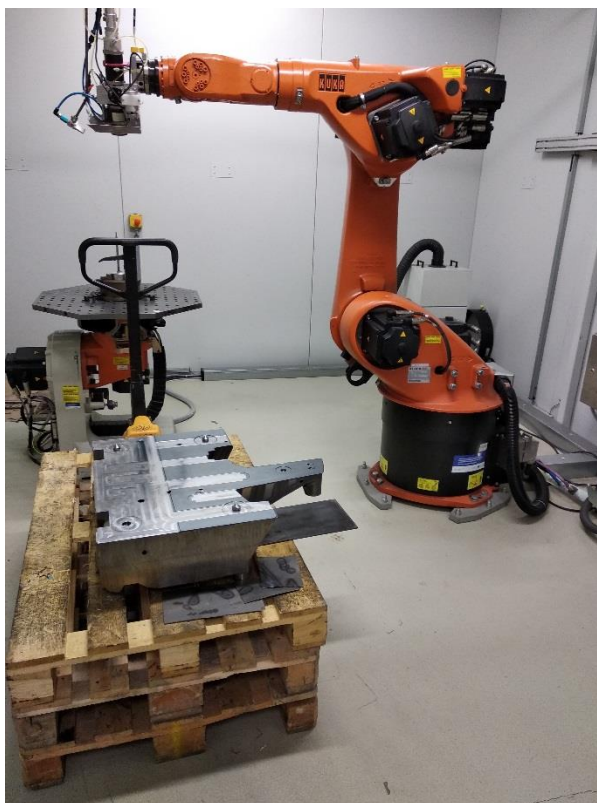
1. Při dopadu laserového paprsku na dřevěnou paletu, na které leží forma pro kalení, paleta začne hořet, což je nepřijatelné z hlediska bezpečnosti práce, proto obsluha musí prostor pod formou případně i okolo formy vypodložit kovovým materiálem nenáchylným k hoření od laserového paprsku (nejvíce se používají ocelové plechy) jak je uvedeno na obrázku 5-1.



Obrázek 5-1 Zakalená forma na paletách uvnitř robotické buňky [vlastní]

2. Pro lepší přístup robotického ramene k formě je potřeba mít základnu formy zvednutou o výšku 3 palet (cca 450 mm od podlahy) z důvodu dostupnosti robotického ramene. Palety pod formami nejsou vždy nové a občas jsou částečně shnilé a polámané, což je nebezpečné vzhledem k stabilitě jak při převážení formy, tak i při samotném kalení.
3. Pro odvoz formy z místa naložení do robotické buňky se používají paletové vozíky. Po ustavení formy do nejvýhodnější polohy pro robotické rameno v robotické buňce je občas obtížné, případně nemožné vyndat paletový vozík z robotické buňky. Paletový vozík při procesu kalení laserem odrazem laserového paprsku může začít hořet (barva, nálepky, plastové díly).





*Obrázek 5-2 Otočný stůl DKP400 překáží vyjetí paletového vozíku z robotické buňky [vlastní]*

4. Pro ustavení formy do polohy nejlépe vyhovující robotickému rameni kvůli zvednutí formy paletovým vozíkem ze „špatné“ strany je potřeba formu otočit o  $180^\circ$  v ohraničeném prostoru ( $2 \text{ m}^2$ ), klasický paletový vozík má rozvor předních a zadních kol 1,2 metru a pro otočení o  $180^\circ$  vůči vertikální ose potřebuje minimálně půlkruh o průměru 2,4 metru. Vzhledem k nemožnému otočení uvnitř robotické buňky obsluha musí s paletovým vozíkem vyjet z robotické buňky, otočit formu ve vedlejší místnosti a ustavit formu zpět do robotické buňky.
5. Pro kalení laserem robotickou rukou je potřeba, aby kalený povrch byl co nejvíce kolmo vůči laserovému paprsku. Každá forma pro vstřikování plastu má jinou rozteč opěrných noh a jinou délku a proto tyto formy je potřeba občas vypodložit opěrným prvkem pro stabilitu formy při kalení. Pro manipulace s formou se používají manipulační šrouby s okem, do kterých se dávají textilní popruhy.

## 6. Inovační prohlášení

Tabulka 1 Inovační prohlášení

Popis inovovaného výrobku	Cílem je návrh manipulačního stolu pro kalení forem pro vstřikování plastů
Klíčové obchodní cíle	Nabídka inovovaného manipulačního stolu pro snadnou manipulaci s kalenými formami
Primární trh	Laserové kalírny
Předpoklady	Znalost metod inovačního inženýrství
Omezení	Bezpečnost práce

## 7. QFD

### 7.1. Identifikace zákaznických potřeb

Zákaznické potřeby byly zjištěny od pracovníků firmy VÚTS a.s. pracujících bezprostředně s kalením forem každodenně. Následně požadavky zákazníka byly transformovány do technických pojmů. Zákazník stanovil 21 nejdůležitějších požadavků, které tvoří řádky QFD matice.

Tabulka 2 Zákaznické potřeby

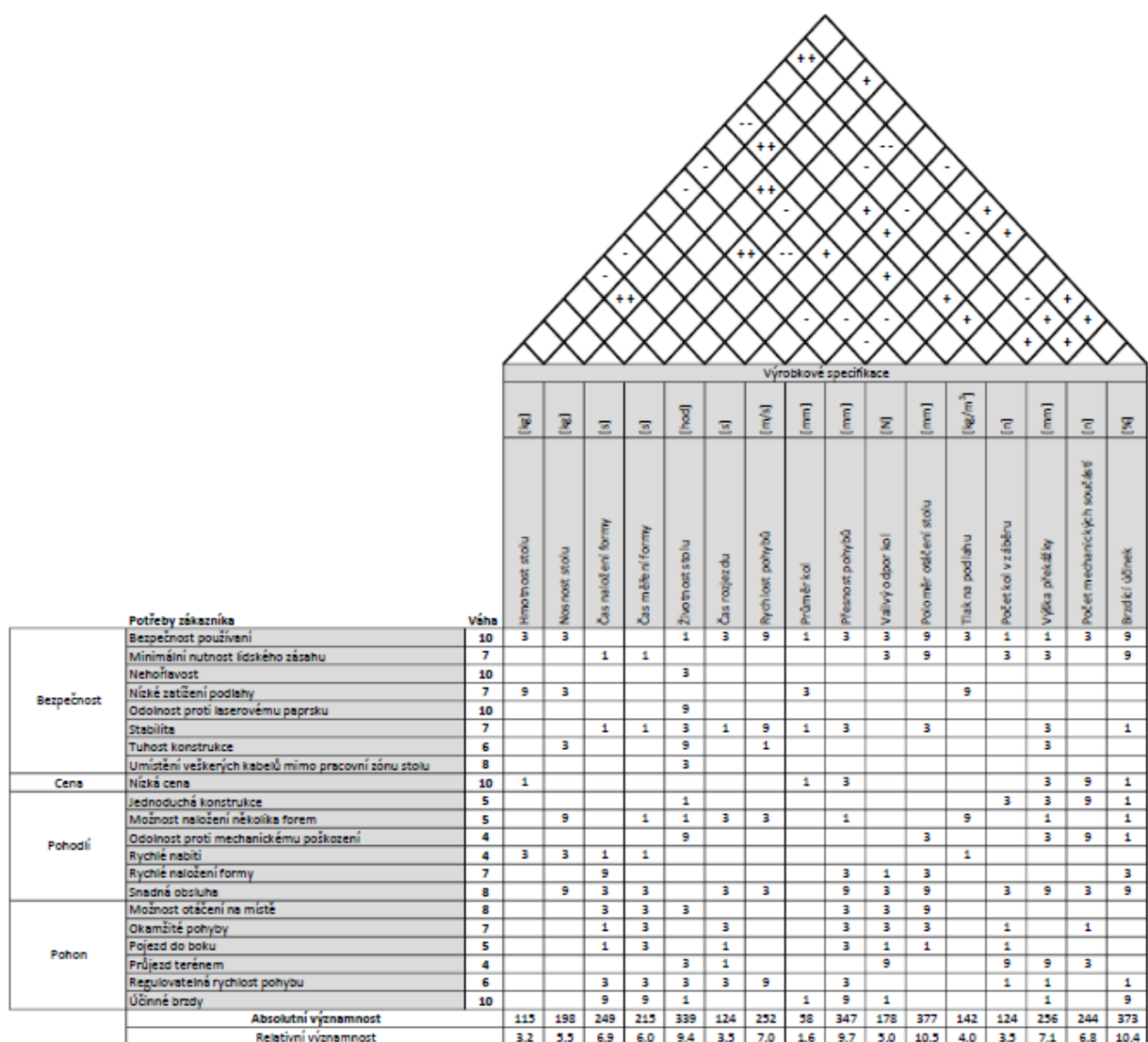
č.	Potřeby zákazníka
1	Bezpečnost používání
2	Minimální nutnost lidského zásahu
3	Nehořlavost
4	Nízké zatížení podlahy
5	Odolnost proti laserovému paprsku
6	Stabilita
7	Tuhost konstrukce
8	Umístění veškerých kabelů mimo pracovní zónu
9	Nízká cena
10	Jednoduchá konstrukce
11	Možnost naložení několika forem
12	Odolnost proti mechanickému poškození
13	Rychlé nabití
14	Rychlé naložení formy
15	Snadná obsluha
16	Možnost otáčení na místě
17	Okamžité pohyby
18	Pojezd do boku
19	Průjezd terénem
20	Regulovatelná rychlost pohybu
21	Účinné brzdy

## 7.2. Stanovení výrobních specifikací

Související s potřebami zákazníka měřitelné veličiny.

Tabulka 3 Výrobní specifikace

č.	Výrobní specifikace	Jednotka
1	Hmotnost manipulačního stolu	[kg]
2	Nosnost manipulačního stolu	[kg]
3	Čas naložení formy	[s]
4	Čas měření formy	[s]
5	Životnost manipulačního stolu	[hod]
6	Čas rozjezdu	[s]
7	Rychlost pohybů	[m/s]
8	Průměr kol	[mm]
9	Přesnost pohybu	[mm]
10	Valivý odpor kol	[N]
11	Poloměr otáčení manipulačního stolu	[mm]
12	Tlak na podlahu	[kg/m <sup>2</sup> ]
13	Počet kol v záběru	[n]
14	Výška překážky	[mm]
15	Počet mechanických součástí	[n]
16	Brzdící účinek	[%]



Obrázek 7-1 QFD (House of quality) [vlastní]

Pomocí první matice metody QFD byly odhaleny 5 nejvýznamnějších kritérií pro zlepšení. Prvním nejvýznamnějším kritériem je poloměr otáčení manipulačního stolu. Druhým nejvýznamnějším kritériem je brzdící účinek celého manipulačního stolu. Poté je nutné zajistit, aby přesnost pohybů spolu s celkovou životností byla co největší. Projetí přes překážky je nejméně významné kritérium.

Tabulka 4 Výrozkové specifikace

č.	Výrozková specifikace
1	Poloměr otáčení
2	Brzdící účinek
3	Přesnost pohybů
4	Životnost manipulačního stolu
5	Výška překážky

## 8. Patentový průzkum

Před tvorbou konceptů je potřeba nejprve prohledat již známá řešení problémů v patentech. Pro vyhledávání v databázi patentů je potřeba správně definovat klíčová slova, najít a zhodnotit patenty které přenášejí alespoň částečné řešení jednoho z dříve definovaných problémů. Pro vyhledávání byla použita metoda *FOS (Function Oriented Search)*.

Klíčová slova:

- všesměrově pohybovat (Omni-directional move)

Databáze vyhledávání:

- <https://patents.google.com/>
- <https://worldwide.espacenet.com/>

### 8.1. Patent 1

FIG.1

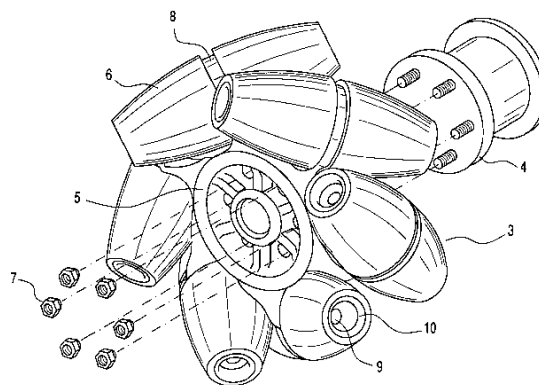
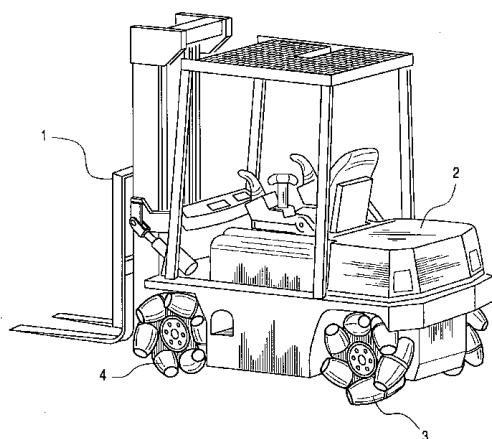
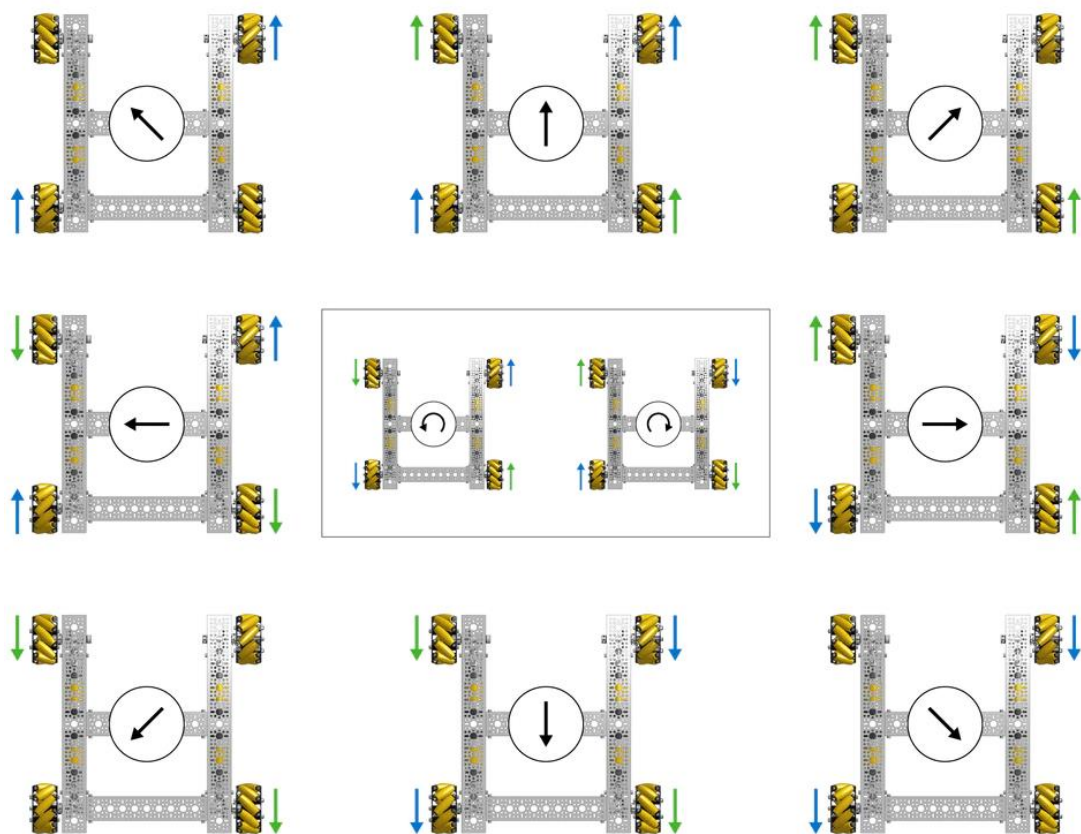


FIG.2

Obrázek 8-1 Patent číslo 1 [8]

Každé kolo má na sobě tvarové válečky, které zabezpečují pohyb v jakémkoliv směru rámu, na kterém jsou tyto kola namontována. Na rozdíl od klasických kol opatřených pneumatikami jsou u všesměrového kola vlastní kola opatřeny přírubou, na které jsou souosé umístěny dva disky. Mezi tyto disky jsou umístěny valivá tělesa po celém obvodu kola. Kola se točí pouze kolem své vodorovné osy, vůbec se nenatáčejí. Každé kolo musí být poháněno jedním elektromotorem, a to z důvodu, aby se mohlo otáčet nezávisle na ostatních kolech. To umožní všesměrový pohyb rámu. Tato kola mají výhodu v tom, že mají vysokou dynamičnost jízdy a výbornou manévrovací schopnost, ale nízkou schopnost překonávání nerovností povrchu. [8]

Na obrázku 8-2 jsou zobrazeny výsledné pohyby rámu se všesměrovými koly v závislosti na směru pohybu jednotlivých kol.



Obrázek 8-2 Výsledný pohyb rámu v závislosti na pohybu kol [9]

## 9. Průzkum trhu

### 9.1. Mobilní plošiny KUKA

Německá firma KUKA vyrábí mobilní plošiny, které jsou určeny pro samostatný transport různých součástí v rámci jednoho podniku bez zapojení do tohoto procesu člověka. Tyto mobilní plošiny mají v sobě zakomponované baterie, rám, všesměrová kola typu Macanum, laserové snímače, oplechování a opěrnou desku, na kterou se bezprostředně nakládají transportované prvky.

Přesnost plošin dosahuje hodnot +/- 5 mm a maximální zatížení do 1,5 tuny (u mobilní plošiny KMP 1500).



Obrázek 9-1 Mobilní plošiny KUKA [10]

Tyto mobilní plošiny nelze použít pro přepravu kalených forem z důvodu:

1. Při samotném procesu kalení by došlo k požáru (nejsou zakrytované).
2. Tyto plošiny jsou určeny pro pohyb pouze po betonované rovné podlaze.
3. Toto jsou plošiny určené pro předem naprogramovaný pohyb, ne pro online řízení.

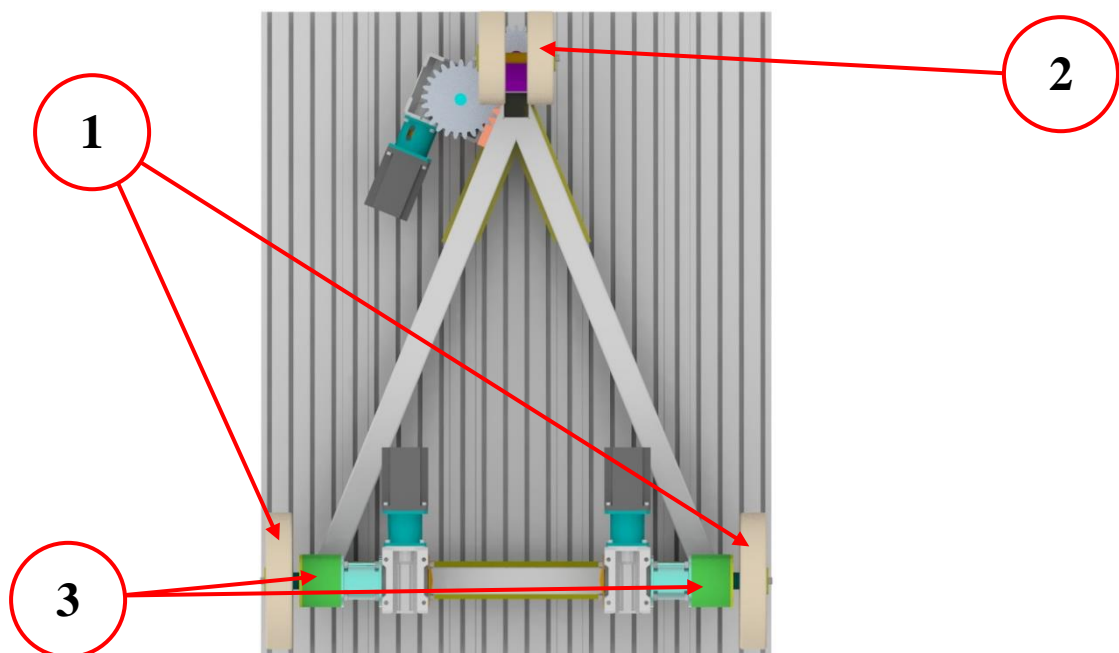
## 10. Generování konceptů

### 10.1. Koncept I

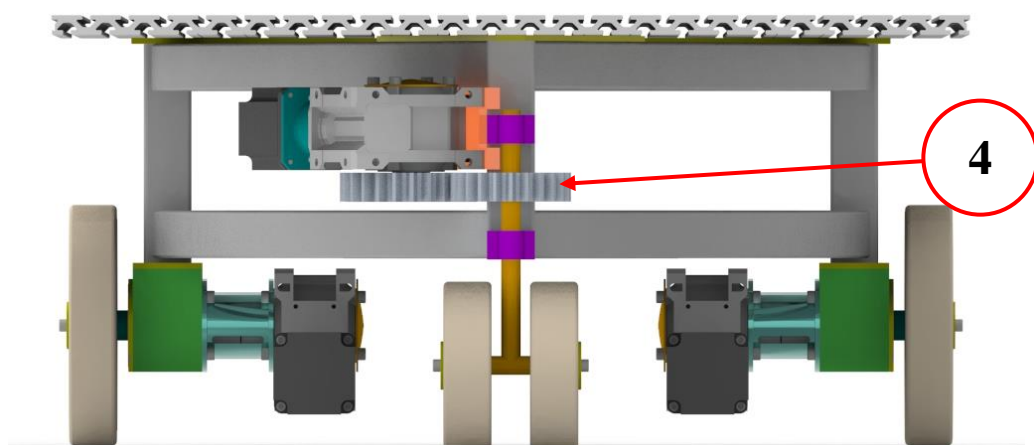
Prvním konceptem je stůl se zadním pohonem kol. Zadní kola (obrázek 10-1 **1**) jsou poháněna elektromotorem přes převodovku, přední kola (obrázek 10-1 **2**) jsou řízena. Řízení předních kol je realizováno pomocí elektromotoru s převodovkou, které jsou upevněné k rámu manipulačního stolu, a přes ozubená kola (obrázek 10-2 **4**) otáčejí předními koly. Dvě kola vpředu jsou z důvodu odstranění možného momentového zatížení elektromotoru při otáčení kol ve statické poloze manipulačního stolu.

U tohoto konceptu je použit stejný typ kol, které se běžně používají u paletových vozíků – gumová pojezdová kola. Všechna kola jsou bržděná pomocí snižování otáček elektromotoru při pohybu manipulačního stolu, ve statické poloze šnekové převodovky jednotlivá kola brzdí. Zadní kola jsou upevněná k rámu pomocí ložiskových domků (obrázek 10-1 **3**) a k převodovkám přírubami.

Elektromotory jsou napájeny pomocí baterií umístěné na rámu manipulačního stolu.



Obrázek 10-1 Pohon manipulačního stolu - pohled seshora [vlastní]

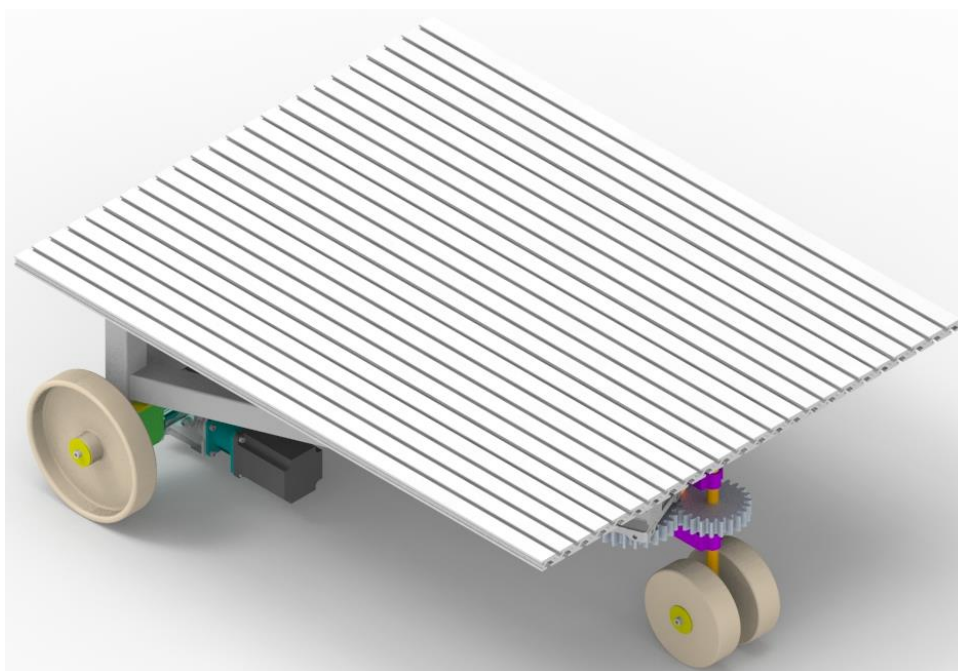


Obrázek 10-2 Řízení předních kol - pohled zepředu [vlastní]





*Obrázek 10-3 Upnutí opěrné desky k rámu manipulačního stolu při pohledu z boku [vlastní]*



*Obrázek 10-4 Izometrický pohled na manipulační stůl [vlastní]*

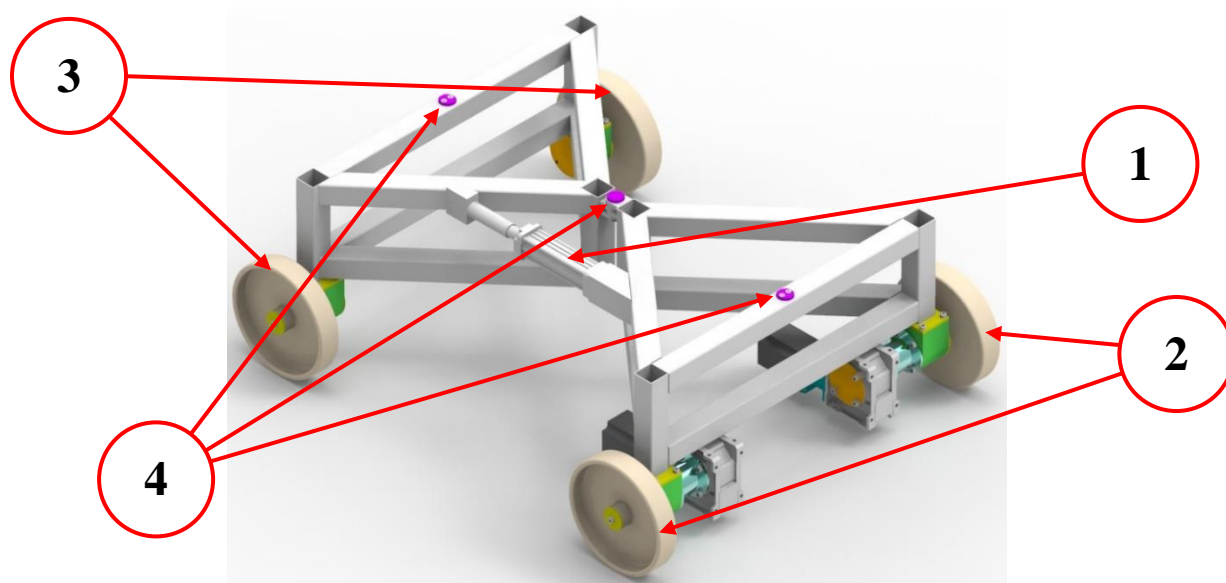
Opěrná deska a pohon jsou spojeny svařeným rámem ve tvaru trojúhelníku, na kterém jsou umístěny všechny nezbytně nutné prvky pro správné fungování manipulačního stolu (kabely, baterie, elektromotory, převodovka atd.).

## 10.2. Koncept II

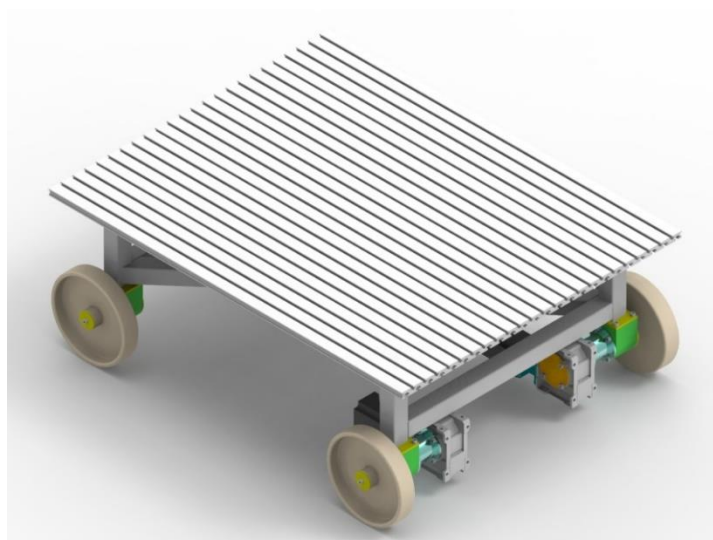
Druhým konceptem je stůl s pohonem předních dvou kol. Řízení manipulačního stolu je realizováno pomocí natačení děleného rámu ve tvaru písmena X. Vzájemné natačení obou částí rámu se provádí pomocí aktuátoru (obrázek 10-5 1), upevněného k oběma částem rámu. Při vysunutí/zasunutí hřídele aktuátoru dochází k vzájemnému natočení obou částí rámu. Taková konstrukce rámu se běžně používá v malých i velkých kloubových traktorech.

Přední kola (obrázek 10-5 2) jsou upevněna k rámu pomocí ložiskových domků a k převodovkám přírubami. Zadní kola (obrázek 10-5 3) nejsou poháněna ani řízena a jsou upevněna k rámu manipulačního stolu pomocí ložiskových domků. Všechna kola u tohoto konceptu jsou stejného typu, jaká jsou použita v konceptu číslo 1.

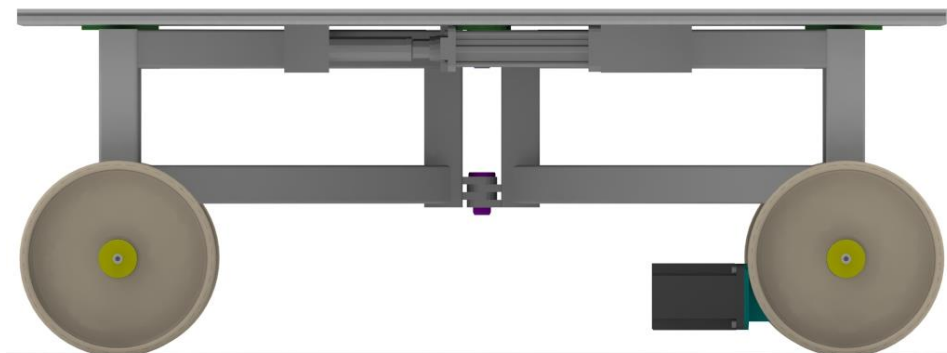
Brždění předních kol při pohybu manipulačního stolu se provádí pomocí snižování otáček elektromotoru, ve statické poloze šnekové převodovky brzdí kola.



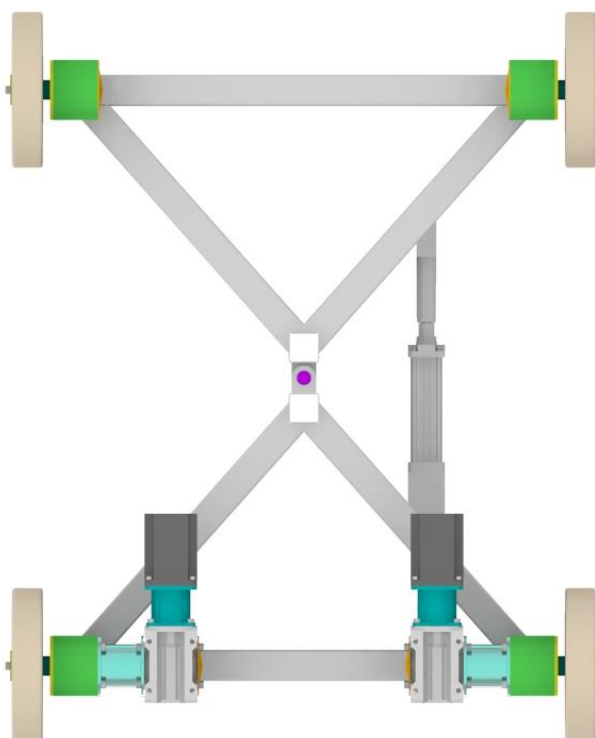
Obrázek 10-5 Rám manipulačního stolu s řízením a hnacími jednotkami - izometrický pohled [vlastní]



Obrázek 10-6 Izometrický pohled na manipulační stůl [vlastní]



*Obrázek 10-7 Rám manipulačního stolu s opěrnou deskou - pohled z boku [vlastní]*



*Obrázek 10-8 Rám manipulačního stolu - pohled zespoda [vlastní]*

Opěrná deska se upíná na rám pomocí čepů (obrázek 10-5 4), umístěných na rámu manipulačního stolu. Čepy na koncích polovin rámu nad koly musí klouzat po bočních lištách v upínací desce kvůli zmenšování/zvětšování vzdálenosti mezi nimi při otáčení manipulačního stolu (vysunutí/zasunutí hřídele aktuátoru).

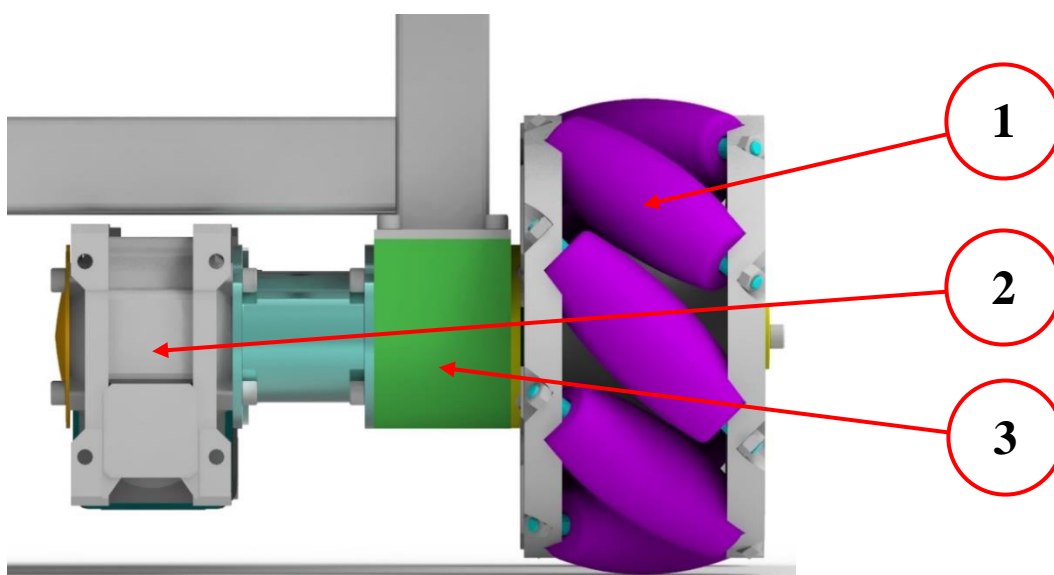
Hnací jednotky a opěrná deska manipulačního stolu jsou spojeny svařeným rámem ve tvaru písmena X, na kterém jsou umístěny: baterie, kabely, náprava a další potřebné prvky.

### 10.3. Koncept III

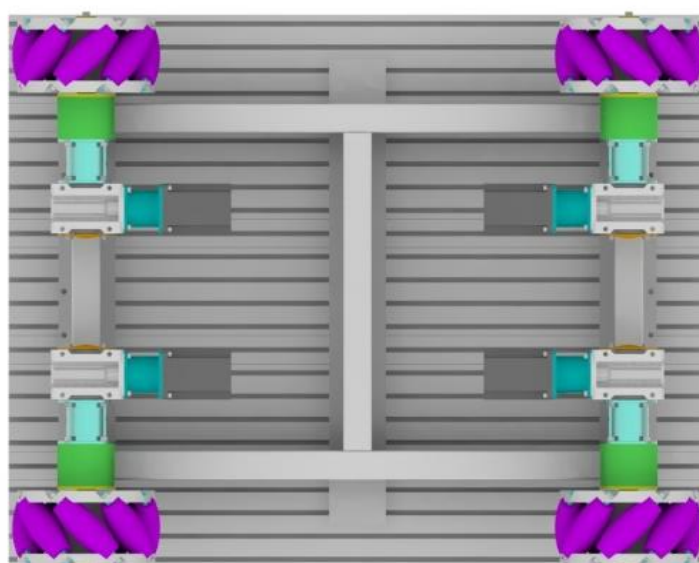
Třetím konceptem je stůl s pohonem čtyř kol (je založen na patentu číslo 1 – všesměrové kolo) typu Macanum (obrázek 10-9 1) a jednotlivé kolo se nezávislé na ostatních kolech otáčí kolem své vodorovné osy. Kola jsou poháněna elektromotory přes šnekové převodovky (obrázek 10-9 2). Ložiskové domky (obrázek 10-9 3) jsou upevněny na rámu manipulačního stolu pomocí obdélníkových desek na nohách. Napájení elektromotoru je zajištěno pomocí baterie, která je uložena v rámu manipulačního stolu. Řízení elektromotorů je realizováno pomocí rozvodné skříně.

System nepotřebuje žádné přídavné brzdy, kola za jízdy budou bržděna snížením otáček elektromotorů, ve statické poloze zajistí kola proti pohybu šneková převodovka.

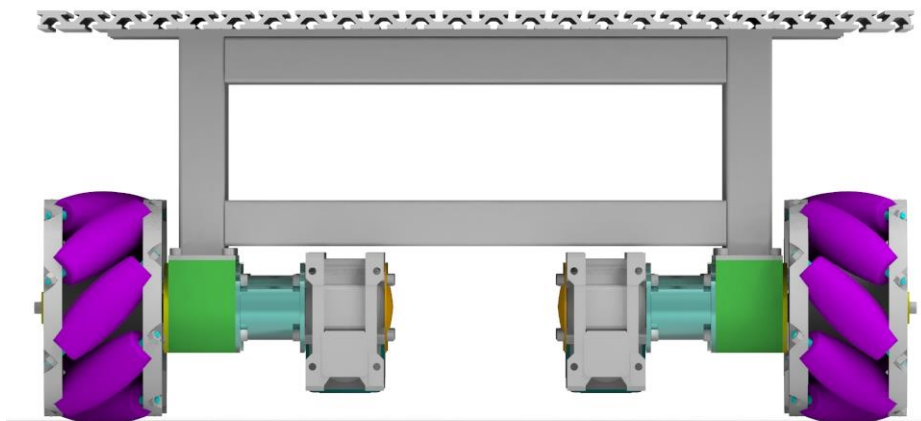
Řízení rychlostí a směru pohybu je realizováno pomocí ovládacího pultu, který je spojen s rozvodnou skříní manipulačního stolu. Upínací deska a hnací kola jsou spojena pomocí svařeného rámu ve tvaru obdélníku.



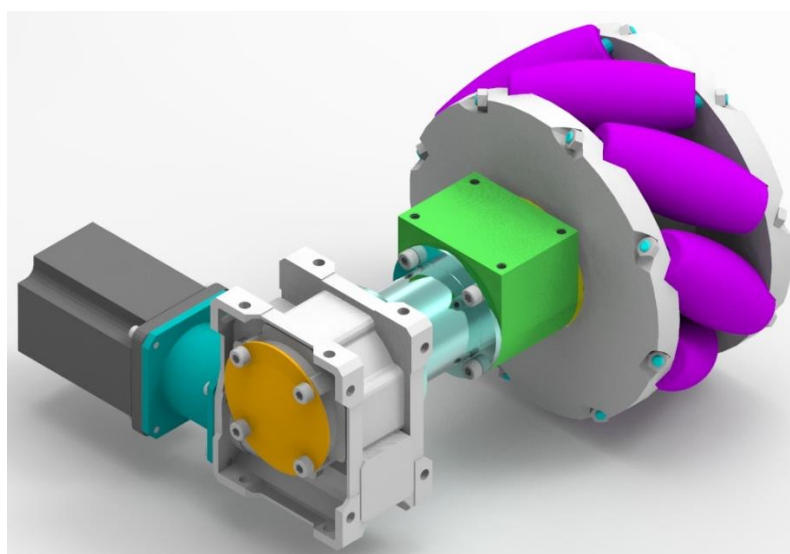
Obrázek 10-9 Pohon manipulačního stolu - pohled z boku [vlastní]



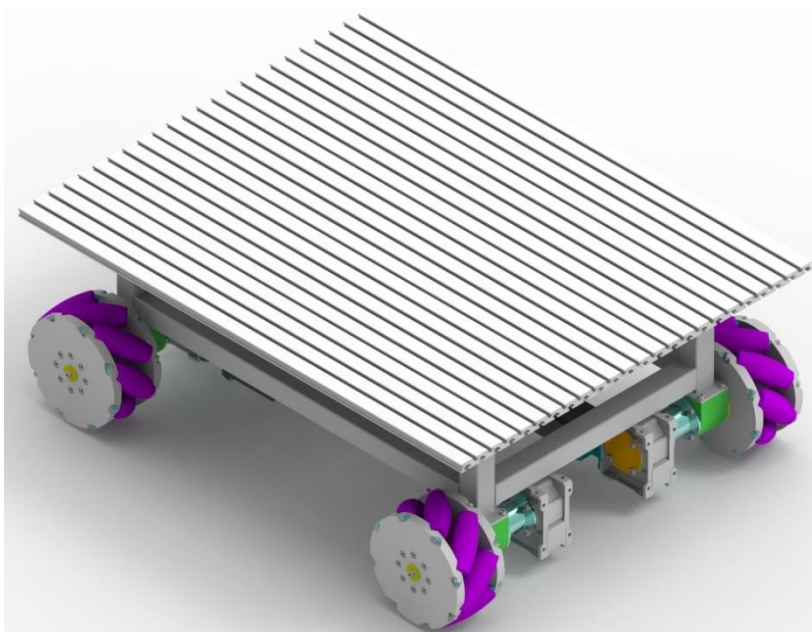
Obrázek 10-10 Rám manipulačního stolu s hlavní opěrnou deskou - pohled zespoda [vlastní]



Obrázek 10-11 Rám manipulačního stolu s hnacími členy - pohled zezadu [vlastní]



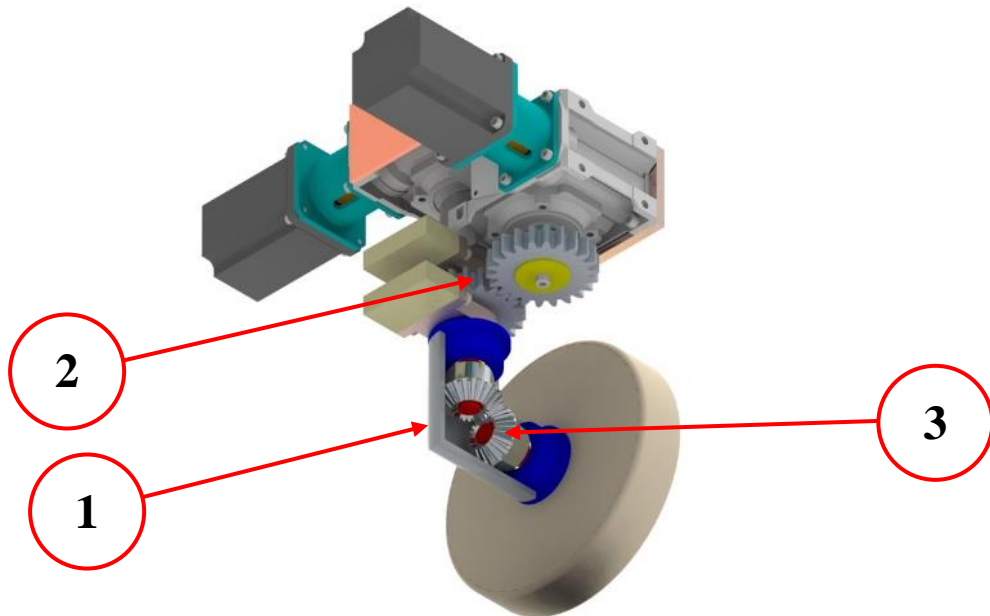
Obrázek 10-12 Hnací jednotka [vlastní]



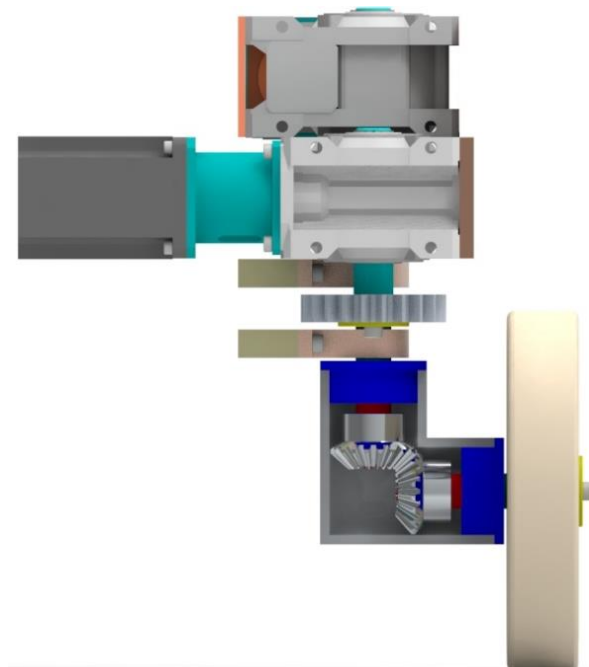
Obrázek 10-13 Manipulační stůl - izometrický pohled [vlastní]

#### 10.4. Koncept IV

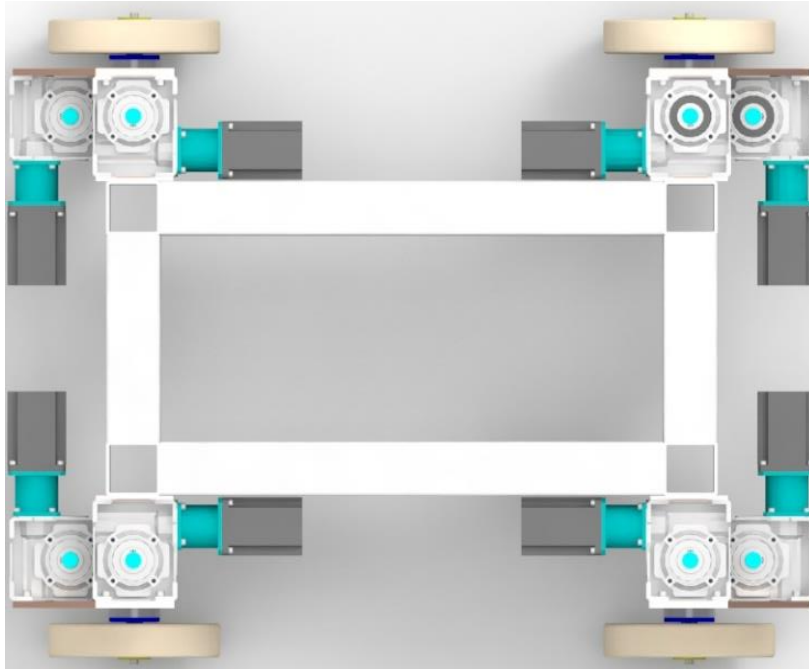
U tohoto konceptu každé kolo má svůj pohon a řízení. Každé kolo je připojeno k unášeci (obrázek 10-14 1), na kterém je upevněno čelní ozubené kolo (obrázek 10-14 2), pomocí kterého se kolo natáčí kolem svislé osy. Čelní ozubené kolo na unášeci a ozubené kolo na převodovce jsou v záběru, při natočení elektromotoru se vzájemně natočí ozubená kola a dojde k pootočení pojezdového kola. V unášeci jsou vedeny hřídele a kuželová ozubená kola (obrázek 10-14 3), pomocí kterých se kolo točí kolem své vodorovné osy.



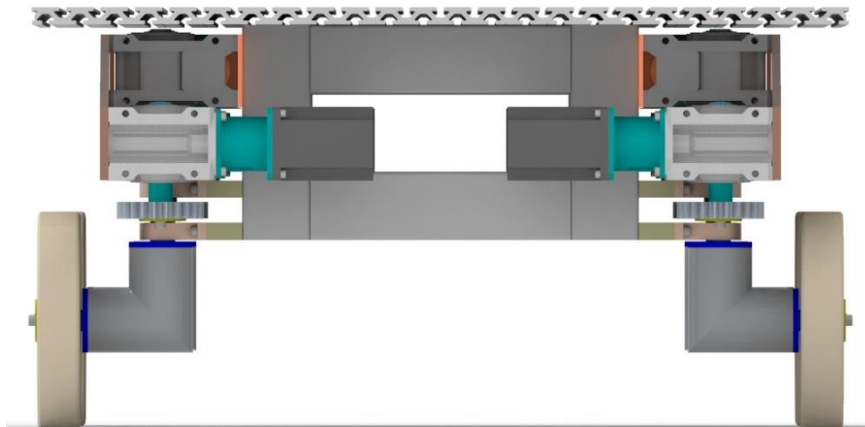
Obrázek 10-14 Pojezdové kolo s unášečem - izometrický pohled [vlastní]



Obrázek 10-15 Pojezdové kolo - realizace pohonu [vlastní]



Obrázek 10-16 Rám manipulačního stolu s hnacími jednotkami, pohled shora [vlastní]

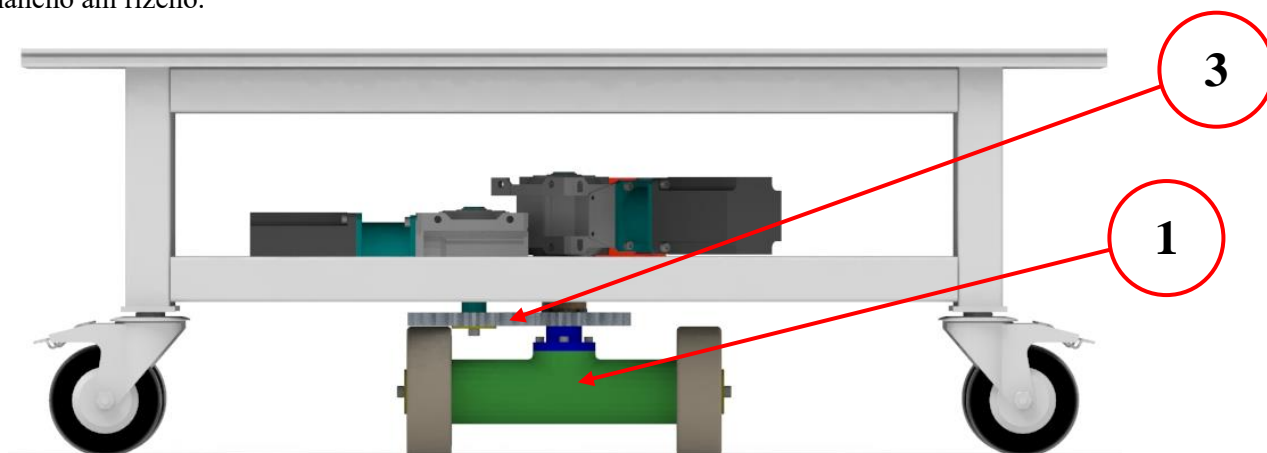


Obrázek 10-17 Upevnění kola k rámu manipulačního stolu, pohled z boku [vlastní]

Brzdění manipulačního stolu je zajištěno šnekovými převodovkami ve statické poloze stolu a snižováním otáček jednotlivých elektromotorů za jízdy.

### 10.5. Koncept V

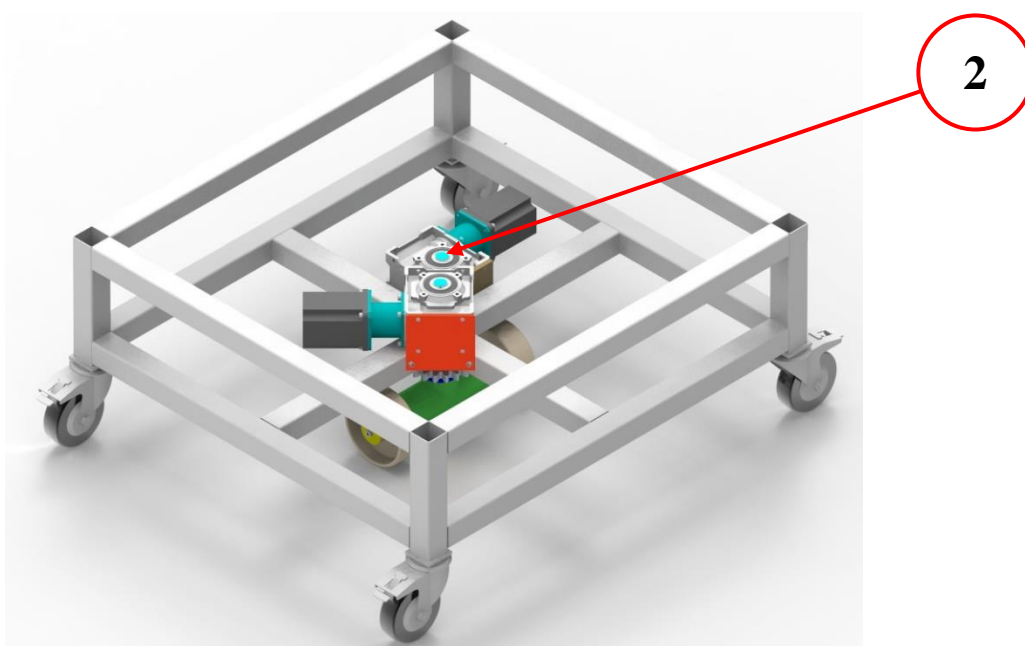
Uprostřed rámu manipulačního stolu pátého konceptu je umístěn hnací prvek (obrázek 10-18 1), který se může natáčet kolem své svislé osy a zároveň může pohánět kola. Pro pohon této jednotky je použit elektromotor s převodovkou (obrázek 10-19 2), které jsou umístěny ve středu rámu manipulačního stolu. Převodovka je spojena s diferenciálem pomocí kuželového ozubeného kola. Diferenciál je upevněn k rámu pomocí domku s ložisky. Natočení hnací jednotky kolem své svislé osy je realizováno pomocí čelního ozubeného kola (obrázek 10-18 3), upevněného na rámu manipulačního stolu. Čelní ozubené kolo je poháněno elektromotorem přes šnekovou převodovku a je spojeno s čelním ozubeným kolem na ložiskovém domku nad diferenciálem. V rozích manipulačního stolu jsou umístěna pojezdová kola. Každé pojezdové kolo se může volně otáčet kolem vodorovné a svislé osy, není ani poháněno ani řízeno.



Obrázek 10-18 Hnací jednotka manipulačního stolu - pohled z boku [vlastní]

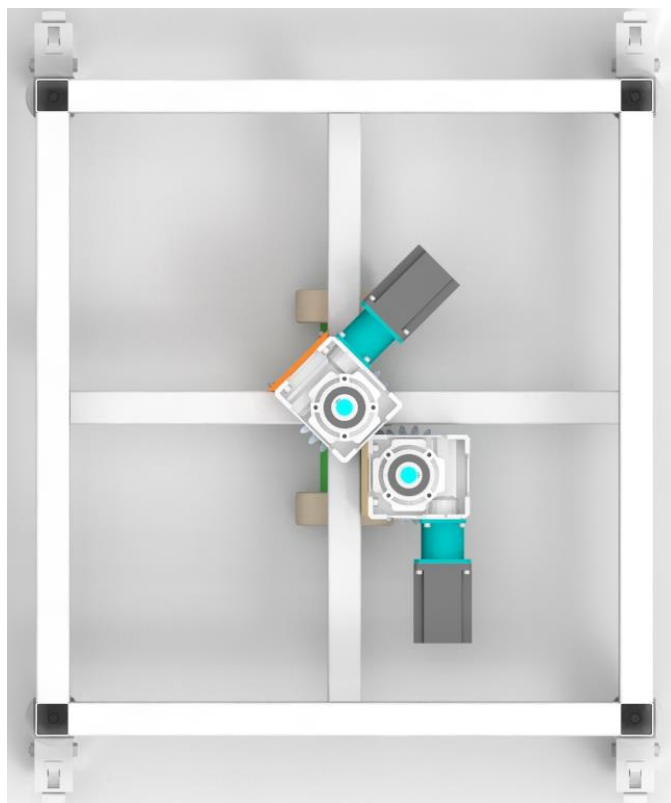
Spodní část rámu je vyztužena svařenými obdélníkovými profily, uprostřed kterých je vyvrtán otvor pro hnací hřídel (obrázek 10-20).

Stůl je brzděný pomocí dvou šnekových převodovek ve statické poloze manipulačního stolu a plynulým snižováním otáček rotoru elektromotoru při pohybu.

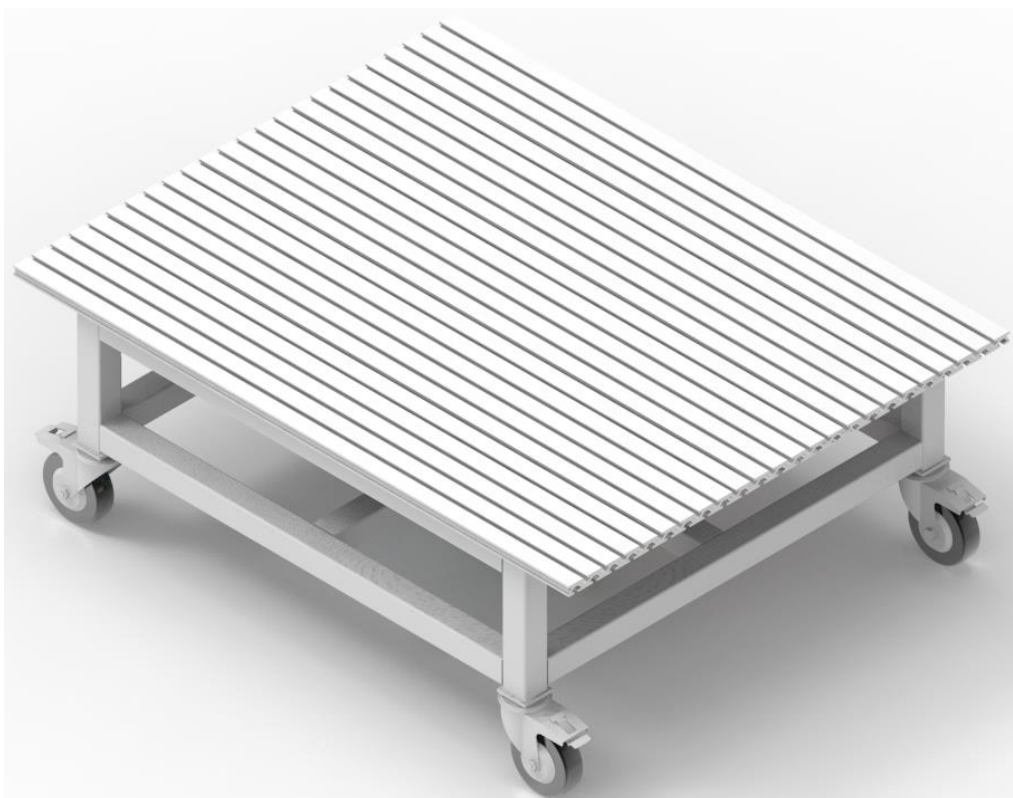


Obrázek 10-19 Rám manipulačního stolu s hnací jednotkou - izometrický pohled [vlastní]





*Obrázek 10-20 Rám manipulačního stolu - pohled shora [vlastní]*



*Obrázek 10-21 Manipulační stůl - izometrický pohled [vlastní]*

## 11. Výběr konceptu

Pro výběr konceptu je použita metoda AHP. Je to matematický nástroj, který neříká tvůrci které rozhodnutí je „správné“, ale umožňuje mu interaktivně najít tu variantu, která je v souladu s jeho chápáním podstaty problému a požadavků na jeho řešení. [11]

Analýza začíná tvorbou hierarchické struktury, která zahrnuje cíl, kritéria, alternativy a další faktory považované za ovlivňující výběr. Tato struktura odráží pochopení problému tvůrcem rozhodnutí. Každý prvek hierarchie může představovat různé aspekty řešeného problému a lze brát v úvahu jak materiální, tak i nemateriální faktory, kvalitativní charakteristiky, objektivní údaje a subjektivní expertní hodnocení. [11]

Dalším krokem v analýze je stanovení koeficientů významnosti, představujících relativní význam konstruované hierarchické struktury pomocí párového porovnání. Nejlepší varianta je ta, která má nejvyšší koeficient významnosti.

### 11.1. Kritéria

V této podkapitole se hodnotí absolutní významnost individuálních kritérií.

#### 1. Cena manipulačního stolu

Stůl musí mít co nejmenší počet jak elektrických tak i mechanických součástí, rám manipulačního stolu také musí být vyroben z co nejmenšího počtu součástí a z co nejjednodušších prvků. Cena je vždycky nejpodstatnější pro zákazníka.

Nejvýznamnější kritérium – **9 bodů**.

#### 2. Poloměr otáčení manipulačního stolu

Čím bude poloměr otáčení manipulačního stolu kolem svislé osy menší, tím bude snadnější manipulace s ním a tím pádem i s kalenou formou.

Významné kritérium – **7 bodů**.

#### 3. Brždění manipulačního stolu

Stůl ve statické poloze, musí být co nejlépe zajištěn, aby při samotném procesu laserového kalení byla pevná poloha manipulačního stolu.

Významné kritérium – **7 bodů**.

#### 4. Přesnost pohybů manipulačního stolu

Při použití nesmí docházet k posunutí rámu manipulačního stolu při otáčení kol. Je preferován co nejmenší počet operací pro pohyb do strany (nejlépe, když se nebudou muset kola otáčet kolem své svislé osy a stůl se rovnou začne pohybovat obsluhou požadovaným směrem).

Méně významné kritérium – **5 bodů**.

#### 5. Životnost manipulačního stolu

Stůl se počítá za bezporuchový, když na něm je minimální počet prvků, které mohou způsobit poruchu pohonu manipulačního stolu, například hřídele namáhané na únavu, složité konstrukční elementy a tak dále.

Méně významné kritérium – **5 bodů**.

#### 6. Schopnost projet přes překážky

Rám manipulačního stolu musí umožňovat projet přes malé překážky, z důvodu transportu za ztížených klimatických podmínek (sníh, mokrá vozovka).

Nejméně významné kritérium – **3 body**.

## 11.2. Koncepty

Pro to, aby bylo možné objektivně ohodnotit každý koncept, byly vytvořeny hodnoticí tabulky pro všechna výše popsaná hlediska.

Tabulka 5 Hodnoticí tabulka konceptu z hlediska ceny

Body	Popis
9	Jednoduchý rám, malý počet komponentů, dva elektromotory
7	Jednoduchý rám, malý počet komponentů, tři elektromotory
5	Složitý rám, velký počet komponentů, tři elektromotory
3	Složitý rám, velký počet komponentů, čtyři elektromotory

Tabulka 6 Hodnoticí tabulka konceptu z hlediska poloměru otáčení

Body	Popis
9	Osa otáčení leží uprostřed manipulačního stolu
7	Osa otáčení je trochu posunuta
5	Osa otáčení je posunuta na kraj manipulačního stolu
3	Osa otáčení leží mimo stůl

Tabulka 7 Hodnoticí tabulka konceptu z hlediska brzdění

Body	Popis
9	Všechna kola jsou zabrzděna
7	Všechna kola jsou zabrzděná, slabý brzdící účinek
5	Nezabrzděno jedno kolo
3	Nezabrzděno více kol, vůle

Tabulka 8 Hodnoticí tabulka konceptu z hlediska přesnosti pohybu

Body	Popis
9	Kola se nenatáčí, přesné pohyby rámu
7	Kola se natáčí, rám se nehne
5	Kola se natáčí, rám se nepatrně posouvá
3	Natočení rámu, ztracení původní pozice rámu

Tabulka 9 Hodnoticí tabulka konceptu z hlediska životnosti

Body	Popis
9	Malý počet jednoduchých konstrukčních součástí
7	Velký počet jednoduchých konstrukčních součástí
5	V konstrukci jsou složité součásti, ale je jich málo
3	Velký počet složitých součástí

Tabulka 10 Hodnoticí tabulka konceptu z hlediska projetí přes překážky

Body	Popis
9	Poháněný jsou všechna kola, pohyblivý rám
7	Poháněný jsou všechna kola, pevný rám
5	Poháněný jsou dvě kola, pohyblivý rám
3	Poháněny jsou dvě kola, pevný rám

Dále se bude hodnotit absolutní významnost individuálních kritérií u jednotlivých konceptů.

### 1. Koncept I

- Cena manipulačního stolu – 7 bodů
- Poloměr otáčení manipulačního stolu – 7 bodů
- Brždění manipulačního stolu – 5 bodů
- Přesnost pohybu manipulačního stolu – 5 bodů
- Životnost manipulačního stolu – 5 bodů
- Schopnost projet přes překážky – 3 bodů

### 2. Koncept II

- Cena manipulačního stolu – 5 bodů
- Poloměr otáčení manipulačního stolu – 3 bodů
- Brždění manipulačního stolu – 3 body
- Přesnost pohybu manipulačního stolu – 3 body
- Životnost manipulačního stolu – 7 body
- Schopnost projet přes překážky – 5 bodů

### 3. Koncept III

- Cena manipulačního stolu – 5 bodů
- Poloměr otáčení manipulačního stolu – 9 bodů
- Brždění manipulačního stolu – 9 bodů
- Přesnost pohybu manipulačního stolu – 9 bodů
- Životnost manipulačního stolu – 7 bodů
- Schopnost projet přes překážky – 7 bodů

### 4. Koncept IV

- Cena manipulačního stolu – 3 body
- Poloměr otáčení manipulačního stolu – 9 bodů
- Brždění manipulačního stolu – 9 bodů
- Přesnost pohybu manipulačního stolu – 5 bodů
- Životnost manipulačního stolu – 3 body
- Schopnost projet přes překážky – 7 bodů

### 5. Koncept V

- Cena manipulačního stolu – 9 bodů
- Poloměr otáčení manipulačního stolu – 9 bodů
- Brždění manipulačního stolu – 3 body
- Přesnost pohybu manipulačního stolu – 3 body
- Životnost manipulačního stolu – 5 bodů
- Schopnost projet přes překážky – 3 body

### 11.3. Výběr finálního konceptu

Relativní významnost jednotlivých kritérií je dána rozdílem aktuální absolutní významnosti prvního kritéria a k ní vztažené absolutní významnosti druhého kritéria. V případě, že relativní významnost vyjde záporná, pak se počítá relativní významnost podle následujícího vzorce:

$$\text{Relativní významnost}_{12} = \frac{1}{|\text{absolut}_1 - \text{absolut}_2|}$$

Například, pro relativní významnost přesnosti pohybu manipulačního stolu vůči brždění po dosazení do vzorce vyjde:

$$\text{Relativní významnost}_{43} = \frac{1}{|5 - 7|} = \frac{1}{2}$$

V případě, že rozdíl absolutních významností se rovná nule, považuje se, že je toto kritérium totožné pro obě relativní významnosti a rovná se 1.

Tabulka 11 Porovnání kritérií vůči sobě

Kritérium	1	2	3	4	5	6
1	1	2	2	4	4	6
2	1/2	1	1	2	2	4
3	1/2	1	1	2	2	4
4	1/4	1/2	1/2	1	1	2
5	1/4	1/2	1/2	1	1	2
6	1/6	1/4	1/4	1/2	1/2	1

Tabulka 12 Normalizovaná matice s relativními prioritami

Kritérium	1	2	3	4	5	6	Relativní priority
1	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,32	0,37
2	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,21	0,19
3	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,21	0,19
4	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,10
5	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,10
6	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

Nejdůležitějšími kritérii jsou cena, poloměr otáčení a brždění manipulačního stolu.

Tabulka 13 Porovnání konceptů z hlediska ceny manipulačního stolu

Koncept	1	2	3	4	5
1	1	2	2	4	1/2
2	1/2	1	1	2	1/4
3	1/2	1	1	2	1/4
4	1/4	1/2	1/2	1	1/6
5	2	4	4	6	1

Tabulka 14 Porovnání konceptů z hlediska poloměru otáčení manipulačního stolu

Koncept	1	2	3	4	5
1	1	4	1/2	1/2	1/2
2	1/4	1	1/6	1/6	1/6
3	2	6	1	1	1
4	2	6	1	1	1
5	2	6	1	1	1

Tabulka 15 Porovnání konceptů z hlediska brzdění manipulačního stolu

Koncept	1	2	3	4	5
1	1	2	1/4	1/4	2
2	1/2	1	1/6	1/6	1
3	4	6	1	1	6
4	4	6	1	1	6
5	1/2	1	1/6	1/6	1

Tabulka 16 Porovnání konceptů z hlediska přesnosti pohybu manipulačního stolu

Koncept	1	2	3	4	5
1	1	2	1/4	1	2
2	1/2	1	1/6	1/2	1
3	4	6	1	4	6
4	1	2	1/4	1	2
5	1/2	1	1/6	1/2	1

Tabulka 17 Porovnání konceptů z hlediska životnosti manipulačního stolu

Koncept	1	2	3	4	5
1	1	1/2	1/2	2	1
2	2	1	1	4	2
3	2	1	1	4	2
4	1/2	1/4	1/4	1	1/2
5	1	1/2	1/2	2	1

Tabulka 18 Porovnání konceptů z hlediska schopnosti projet přes překážky

Koncept	1	2	3	4	5
1	1	1/2	1/4	1/4	1
2	2	1	1/2	1/2	2
3	4	2	1	1	4
4	4	2	1	1	4
5	1	1/2	1/4	1/4	1

Tabulka 19 Relativní prioritizace konceptů dle kritérií

	Kritérium 1	Kritérium 2	Kritérium 3	Kritérium 4	Kritérium 5	Kritérium 6
Koncept 1	0,24	0,14	0,11	0,15	0,15	0,08
Koncept 2	0,12	0,04	0,06	0,08	0,31	0,17
Koncept 3	0,12	0,27	0,38	0,54	0,31	0,33
Koncept 4	0,06	0,27	0,38	0,15	0,08	0,33
Koncept 5	0,45	0,27	0,06	0,08	0,15	0,08

Tabulka 20 Výběr finálního konceptu

Koncept 1	0,17
Koncept 2	0,11
Koncept 3	<b>0,27</b>
Koncept 4	0,19
Koncept 5	0,26

Provedením analýzy pomocí metody AHP byl vybrán koncept číslo 3 – *manipulační stůl s všesměrovými koly* jako vítěz.

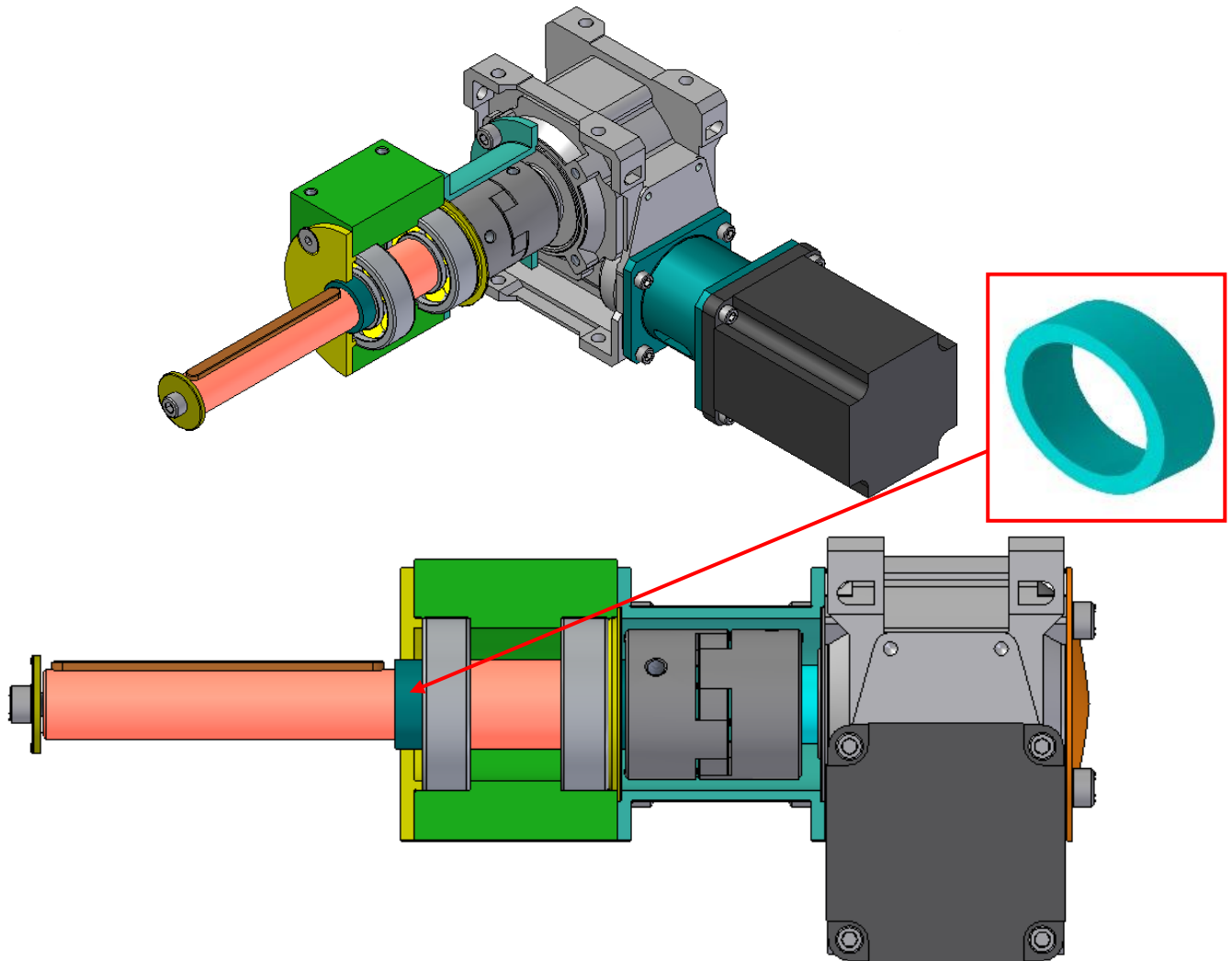
## 12. Optimalizace vítězného konceptu

Vítězný koncept je potřeba optimalizovat metodami DFX a FMEA-K.

### 12.1. DFX

#### Metoda Design For Trouble Free And Reliability

Charakterizovat tuto metodu lze dvěma slovy – bezporuchovost a spolehlivost. U této metody jsou konstrukční požadavky kladeny hlavně na dlouhodobou bezporuchovost zařízení. Tento stůl bude provozován dlouhodobě ve firmě VÚTS a.s. a je potřeba zajistit spolehlivý a bezporuchový provoz i po několikaletém provozování.



Obrázek 12-1 Řez hnacího členu [vlastní]

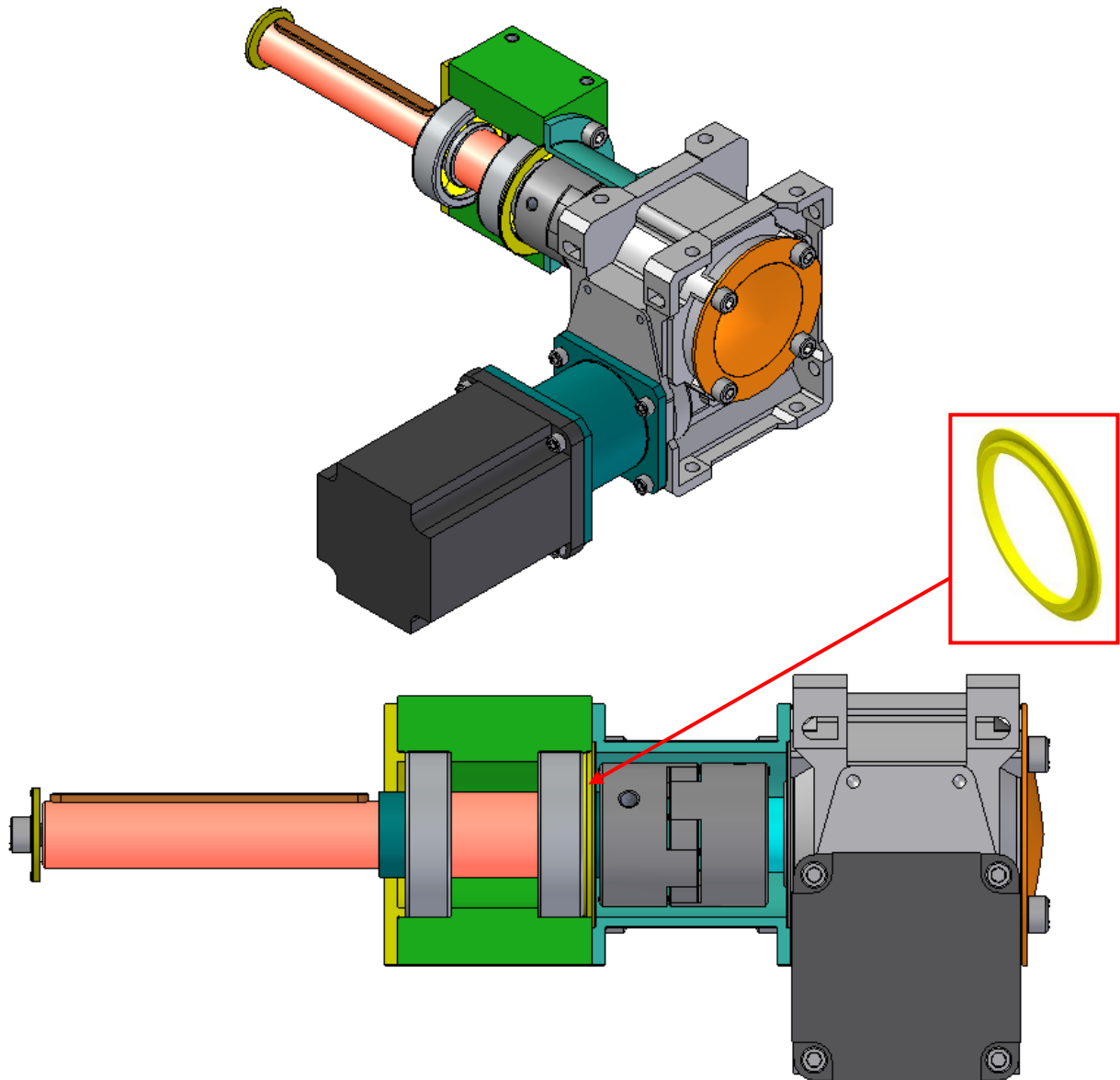
Na obrázku 12-1 je znázorněn ložiskový domek v řezu. Místo toho, aby za ložiskem byl na hřídeli namontován pojistný kroužek (klasické řešení), pro fixaci vnitřního kroužku je použita hliníková trubka (na obrázku 12-1 je zobrazena tmavě zelenou barvou). Pojistný kroužek konkrétně v tomto případě by se mohl poškodit při bočních rázech a na hřídeli v místě zápichu by vznikl možný nebezpečný bod s vlivem na životnost hřídele. Po aplikaci výše popsané metody řetězec prvků vypadá následně: vnitřní kroužek ložiska z pravé strany se opírá o hnací hřídel, z levé strany o trubku, trubka se opírá o nosný válec všesměrového kola a z levé strany všesměrové kolo je přitaženo k hřídeli pomocí podložky a šroubu.



## Metoda Design For Assembly

U této metody je kladen důraz hlavně na jednoduchost a malý počet dílů u konstruovaného výrobku.

Příruba se k ložiskovému domku namontuje tak, že se nejdřív vloží mezi ně opěrný kroužek (obrázek 12-2), který za prvé vystředí přírubu vůči ložiskovému domku a za druhé bude u ložiska vnější kroužek opřen o výstupek opěrného kroužku.



Obrázek 12-2 Ložiskový domek s přírubou [vlastní]

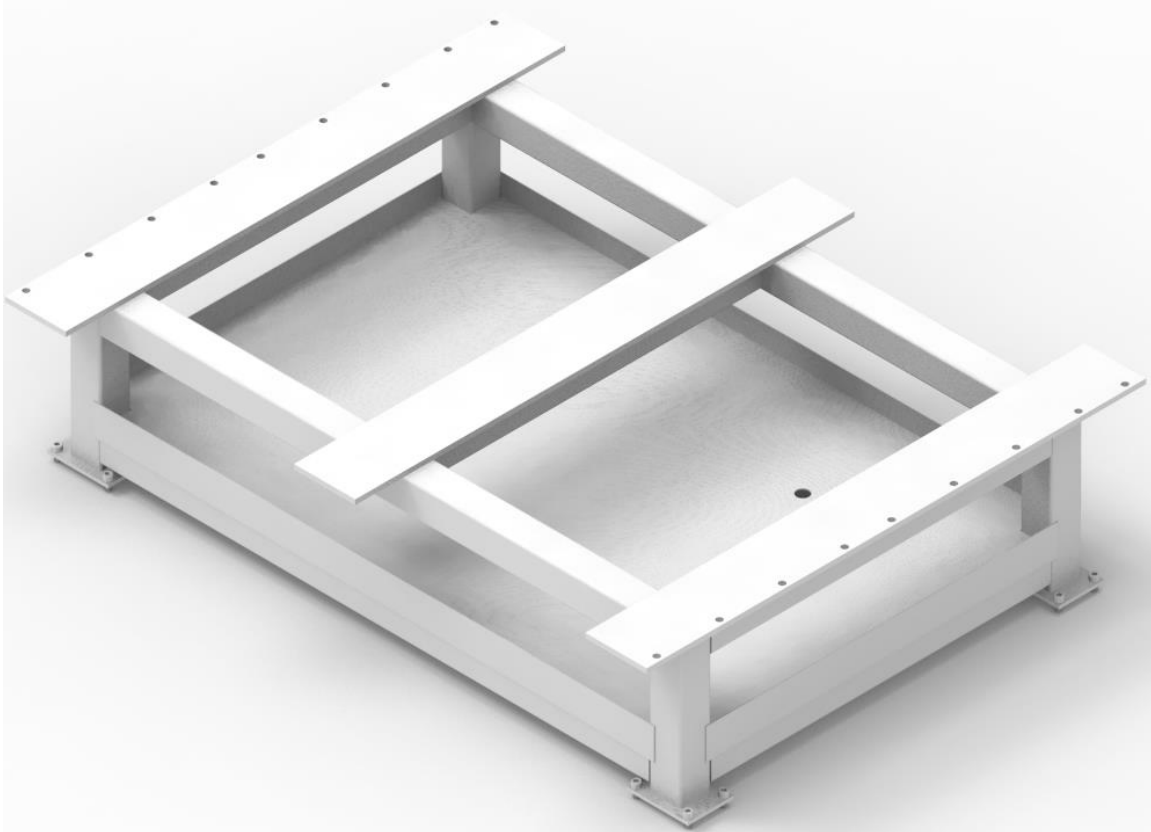
Spojka mezi ložiskovým domkem a převodovkou se namontuje pomocí drážky v přírubě, pomocí které při montáži obsluha bude moci utáhnout šrouby ve spojce (obrázek 12-2).

Ložiskový domek (obrázek 12-2 zeleně) je zkonstruován tak, aby byl symetrický vůči svislé rovině pro snadnou montáž ložisek.

## Metoda Design For Environment

Většina součástí se skládá z nakupovaných komponentů, které lze snadno demontovat a použít na jiné konstrukční součásti. Rám manipulačního stolu, opěrná deska a většina prvků u hnacích jednotek jsou vyrobeny ze slitiny hliníku, které lze snadno a bez zničení od sebe oddělit a dále recyklovat. Většina spojů je rozebíratelná.

Po vyhodnocení metodou DFE vychází praktické další využití rámu manipulačního stolu jako nemožné vzhledem k pevně daným rozměrům (svařenec) a nulové variabilitě (žádné rozebíratelné spoje).



*Obrázek 12-3 Rám manipulačního stolu*

## 12.2. FMEA-K

Je to velmi užitečná metoda pro analýzu spolehlivosti systému, přičemž vychází z jeho funkcí. Tato metoda vyžaduje průřezovou znalost funkcí jednotlivých součástí a umožňuje kvantifikovat jak projevy poruch tak i jejich následky pomocí rizikového čísla. [1]

Ve formuláři pro metodu FMEA-K se vyplňují místa poruch u jednotlivých součástí dále možný způsob poruchy, možný důsledek a možné příčiny poruchy. Následně se vyplní sloupec běžných kontrol, ve kterých se jedná o přehled činnosti, které jsou doporučeny k zabránění vzniku poruchy. [1]

Poté se poruchy hodnotí podle těchto tří hledisek:

Výskyt (**V**) – 10 bodů - vada nastává neustále, 1 bod - vada je nepravděpodobná.

Závažnost (**Z**) – 10 bodů - kritický důsledek poruchy bez varování, 1 bod - žádný důsledek.

Detekce (**D**) – 10 bodů - detekce je nemožná, 1 bod - detekce je možná.

Výsledný součin všech tří hledisek udává tzv. rizikové číslo (RPN), v případě, že rizikové číslo bude větší, než 100 bude potřeba navrhnout doporučené opatření pro tuto součást.

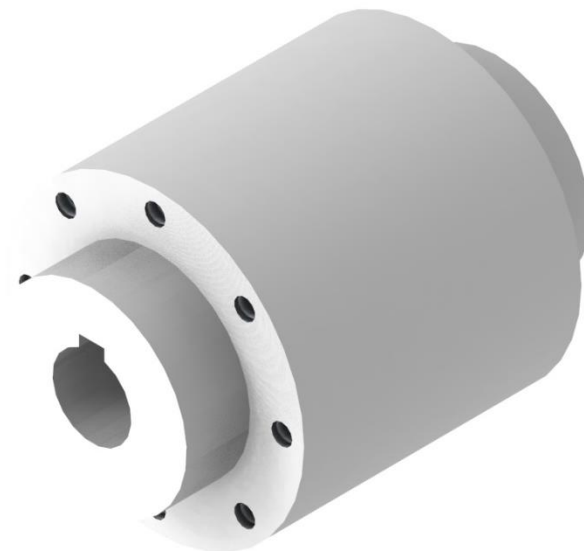
Tabulka FMEA-K je uvedena v příloze této práce.

## 13. Rozpracování vítězné varianty

### 13.1. Kolo Macanum

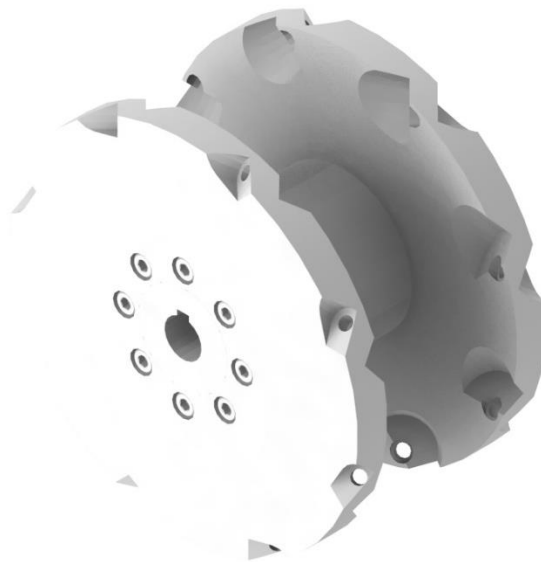
Pro výslednou konstrukci manipulačního stolu byly zvoleny všesměrová kola typu Macanum o průměru 254 mm a šířce 128 mm s nosností 400 kg. [12]

Pro názornost, z jakých součástí se skládá všesměrové kolo typu Macanum, je na obrázcích 13-1 až 13-4 zobrazen postup montáže všesměrového kola.



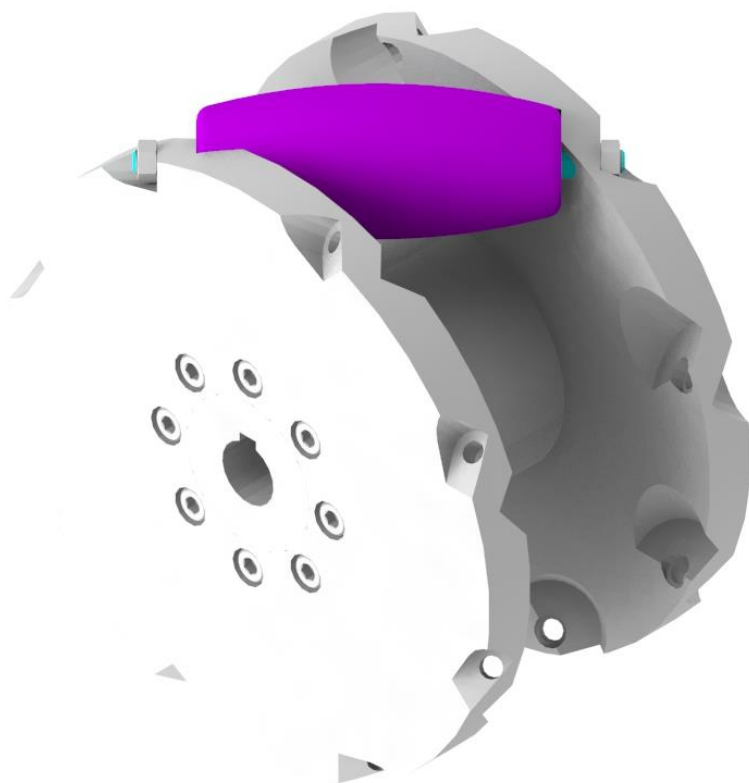
Obrázek 13-1 Nosný válec [vlastní]

Nejprve se na nosný válec (obrázek 13-1) namontují boční desky (obrázek 13-2).



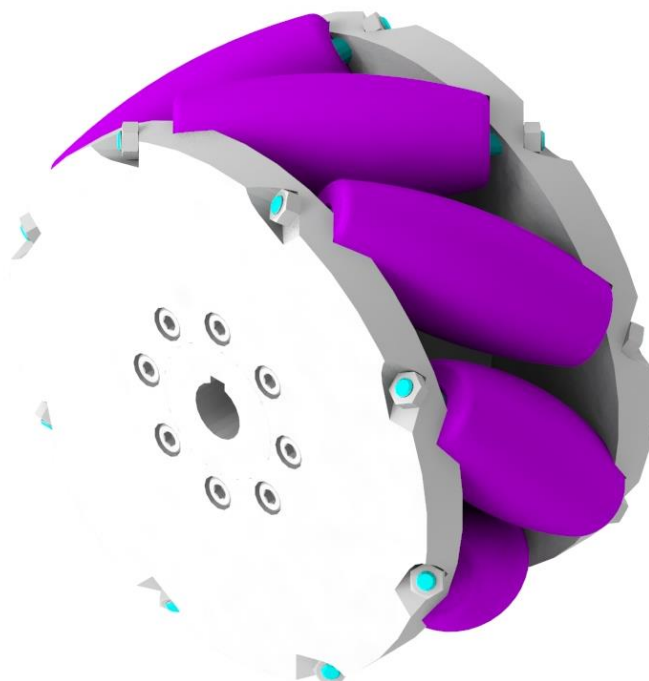
Obrázek 13-2 Nosný válec s bočními deskami [vlastní]

Poté se mezi boční desky vloží jeden opěrný váleček, uvnitř kterého je otvor, skrze který se prostrčí hřídel. Hřídel je na obou koncích opatřen závitem, pomocí kterého se i s namontovaným opěrným válečkem upne k bočním deskám (obrázek 13-3).



*Obrázek 13-3 Montáž opěrného válečku [vlastní]*

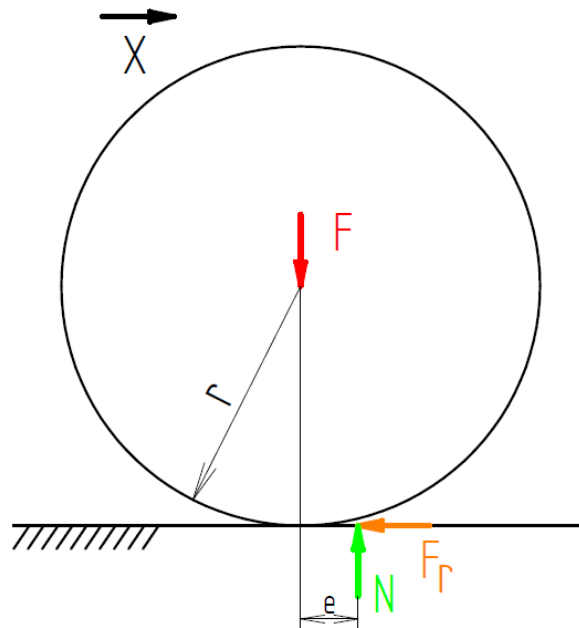
Proces se zopakuje, pokud nebudou namontovány všechny opěrné válečky na unášeč (obrázek 13-4).



*Obrázek 13-4 Smontované kolo Macanum [vlastní]*

Dále bude proveden výpočet potřebného hnacího momentu pro výběr převodovky a elektromotoru.

Pro výpočet minimálního kroučícího momentu potřebného pro překonání statického momentu byly použity následující vzorce:



Obrázek 13-5 Valivý odpor kol [vlastní]

**Zadané hodnoty:**

$$F = 2207,25 \text{ [N]}$$

$$e = 2 \text{ [mm]} - \text{plast a beton (zvoleno)}$$

$$r = 127 \text{ [mm]}$$

$$v = 1 \text{ [m/s]}$$

**Výpočet valivého odporu:**

$$F_r = \frac{F \cdot e}{\sqrt{r^2 - e^2}} = \frac{2207,25 \cdot 0.002}{\sqrt{0.127^2 - 0.002^2}} = 34.76 \text{ [N]}$$

**Výpočet potřebného hnacího momentu pro jedno kolo:**

$$M_k = F_r \cdot r = 34.76 \cdot 0.127 = 4,4 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

**Výpočet úhlové rychlosti:**

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{1}{0.127} = 7,87 \text{ [rad/s]}$$

**Výpočet minimálního potřebného výkonu pro jedno kolo:**

$$P_1 = M_k \cdot \omega = 4,4 \cdot 7,87 = 34,65 \text{ [W]}$$

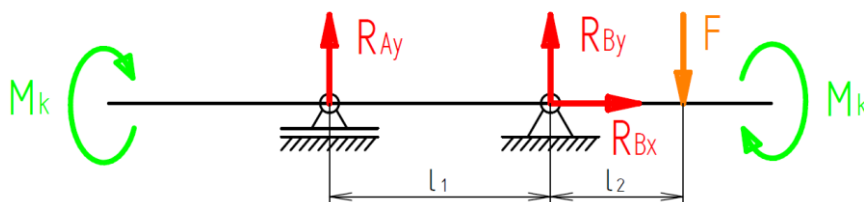
Protože při pohybu do boku bude nutno zajistit, aby pouze dvě kola poháněla manipulační stůl je zapotřebí počítat s dvojnásobným hnacím momentem.

$$P_2 = 2 \cdot M_k \cdot \omega = 8,8 \cdot 7,87 = 69,3 \text{ [W]}$$

### 13.2. Návrh rámu

Z důvodu pevnosti manipulačního stolu, který musí odolávat rázům a musí mít zároveň dlouhou životnost, byl zvolen dutý čtvercový profil 50x50x2 ze slitiny hliníku EN AW-6060 T66. Tato slitina je dobře svařitelná, snadno odolává laserovému paprsku, z důvodu rychlého odvodu tepla a je mnohem lehčí než klasická konstrukční ocel. Další výhodou této slitiny je to, že není potřeba rám manipulačního stolu po svaření žíhat k odstranění pnutí a ani následně povrchově upravovat (na povrchu vzniká oxid hlinitý, který zabraňuje pokračování koroze).

### 13.3. Návrh hnací hřídele



Obrázek 13-6 Schéma nosníku hnacího hřídele [vlastní]

#### Zadané hodnoty:

Materiál ČSN 41 1600,  $\tau_{dk} = 120$  [MPa],  $k_{\sigma} = k_{\tau} = 1,4$ ,  $l_1 = 50$  [mm],  $l_2 = 99$  [mm],

$F = 2207,25$  [N],  $\vartheta = 0,85$ ,  $\eta = 0,95$ ,  $R_m = 600$  [MPa].

#### Sílový rozbor:

$$\rightarrow x: R_{Bx} = 0$$

$$\uparrow y: R_{Ay} + R_{By} - F = 0$$

$$\overline{M}_A: -R_{By} \cdot l_1 + F \cdot (l_1 + l_2) = 0$$

$$R_{By} = \frac{F \cdot (l_1 + l_2)}{l_1} = \frac{2207,25 \cdot (0,05 + 0,099)}{0,05} = 6577,6$$
 [N]

$$R_{Ay} = F - R_{By} = 2207,25 - 6577,6 = -4370,4$$
 [N]

#### Maximální ohybový moment:

$$M_{maxB} = R_{Ay} \cdot l_1 = -4370,4 \cdot 0,05 = -218,5$$
 [N · m]

#### Výpočet meze únavy materiálu pro střídavý ohyb:

$$\sigma_{co}^* = 0,43 \cdot R_m \cdot \vartheta \cdot \eta = 0,43 \cdot 600 \cdot 0,85 \cdot 0,95 = 208,3$$
 [MPa]

#### Výpočet minimálního průměru hřídele z ohybového momentu:

$$k_{\sigma} = \frac{\sigma_{co}^* \cdot \pi \cdot d^3}{32 \cdot M_{oh}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{oh} \cdot k_{\sigma}}{\sigma_{co}^* \cdot \pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 218500 \cdot 1,4}{208,3 \cdot \pi}} = 24,6$$
 [mm]

**Výpočet minimálního průměru hřídele z kroutícího momentu:**

$$k_{\tau} = \frac{\tau_{dk} \cdot \pi \cdot d^3}{16 \cdot M_k}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_k \cdot k_{\tau}}{\tau_{dk} \cdot \pi}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 8800 \cdot 1,4}{120 \cdot \pi}} = 8 \text{ [mm]}$$

Dle spočítaného minimálního průměru hřídele z ohybového momentu volím průměr hřídele 25.

*Kontrola bezpečnosti pro hřídel:*

**Maximální napětí v ohybu:**

$$\sigma_{oh} = \frac{M_{ohmax}}{W_o} = \frac{32 \cdot M_{ohmax}}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 218500}{\pi \cdot 25^3} = 142,4 \text{ [MPa]}$$

**Součinitel bezpečnosti symetrického cyklického napětí:**

$$k_u = \frac{\sigma_{co}^*}{\sigma_{oh}} = \frac{208,3}{142,4} = 1,46$$

$$k_u > k$$

Hřídel vyhovuje po bezpečnostní stránce.



### 13.4. Návrh ložisek

Je potřeba, aby ložiska zachytávala jenom radiální zatížení. V tomto případě se běžně používá dvojice jednořadých kuličkových ložisek. Byl zvolen dle průměru hřídele 6305 typ ložisek od firmy SKF.

**Zadané hodnoty:**

$$C = 23,4 \text{ [kN]}$$

$$C_0 = 11,6 \text{ [kN]}$$

$$P_A = R_{Ay} = 4370 \text{ [N]}$$

$$P_B = R_{By} = 6577 \text{ [N]}$$

**Výpočet životnosti ložisek:**

$$L_{hA} = \left(\frac{C}{P_A}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} = \left(\frac{23400}{4370}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 76} = 33669 \text{ [h]}$$

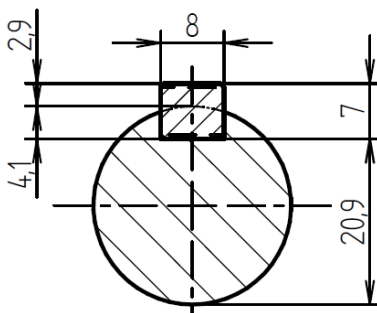
$$L_{hB} = \left(\frac{C}{P_B}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} = \left(\frac{23400}{6577}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 76} = 9876 \text{ [h]}$$

Za předpokladu, že manipulační stůl bude provozován 3 hodiny denně, minimální životnost ložisek vychází na 9 let.

Protože jde o zařízení, které nebude pořád v pohybu, ale ve statické poloze, trvanlivost ložisek vyhovuje.

### 13.5. Výpočet pera

Ze strojnických tabulek dle průměru hřídele bylo zvoleno pero 8x7x50 pro spoj všesměrového kola a hnané hřídele a 8x7x20 pro spoj hřídele převodovky a spojky.



Obrázek 13-7 Hřídel s perem 8x7x50 [vlastní]

*Pero 8x7x50 (spoj všesměrového kola a hnané hřídele):*

Ze strojnických tabulek:

$$b = 8 \text{ mm}, h = 7 \text{ mm}, t_1 = 2,9 \text{ mm}, t = 4,1 \text{ mm}, l = 50 \text{ mm}, p_d = 120 \text{ MPa}, \tau_d = 60 \text{ MPa}$$

**Síla působící na pero od náboje:**

$$F_n = \frac{M_k}{\frac{d}{2} + \frac{t_1}{2}} = \frac{8800}{\frac{25}{2} + \frac{2,9}{2}} = 630,8 \text{ [N]}$$

**Síla působící na pero od hřídele:**

$$F_h = \frac{M_k}{\frac{d}{2} - \frac{t}{2}} = \frac{8800}{\frac{25}{2} - \frac{4,1}{2}} = 842,1 [N]$$

**Tlak působící na kontaktní plochu od náboje:**

$$p_n = \frac{F_n}{(l - b) \cdot t_1} = \frac{630,8}{42 \cdot 2,9} = 5,18 [MPa] < 120 [MPa]$$

**Tlak působící na kontaktní plochu od hřídele:**

$$p_h = \frac{F_h}{l \cdot t} = \frac{842,1}{50 \cdot 4,1} = 4,1 [MPa] < 120 [MPa]$$

**Kontrola na střih:**

$$\tau_s = \frac{2 \cdot M_k}{d \cdot l \cdot h} = \frac{2 \cdot 8800}{25 \cdot 50 \cdot 7} = 2 [MPa] < 50 [MPa]$$

Zvolené pero vyhovuje.

*Pero 8x7x20 (spoj hřídele převodovky a spojky):*

Ze strojnických tabulek:

$$b = 8 \text{ mm}, h = 7 \text{ mm}, t_1 = 2,9 \text{ mm}, t = 4,1 \text{ mm}, l = 20 \text{ mm}, p_d = 120 \text{ MPa}, \tau_d = 60 \text{ MPa}$$

**Síla působící na pero od náboje:**

$$F_n = \frac{M_k}{\frac{d}{2} + \frac{t_1}{2}} = \frac{8800}{\frac{25}{2} + \frac{2,9}{2}} = 630,8 [N]$$

**Síla působící na pero od hřídele:**

$$F_h = \frac{M_k}{\frac{d}{2} - \frac{t}{2}} = \frac{8800}{\frac{25}{2} - \frac{4,1}{2}} = 842,1 [N]$$

**Tlak působící na kontaktní plochu od náboje:**

$$p_n = \frac{F_n}{(l - b) \cdot t_1} = \frac{630,8}{12 \cdot 2,9} = 18,13 [MPa] < 120 [MPa]$$

**Tlak působící na kontaktní plochu od hřídele:**

$$p_h = \frac{F_h}{l \cdot t} = \frac{842,1}{12 \cdot 4,1} = 17,12 [MPa] < 120 [MPa]$$

**Kontrola na střih:**

$$\tau_s = \frac{2 \cdot M_k}{d \cdot l \cdot h} = \frac{2 \cdot 8800}{25 \cdot 12 \cdot 7} = 8,38 [MPa] < 50 [MPa]$$

Zvolené pero vyhovuje.

### 13.6. Návrh pohonu



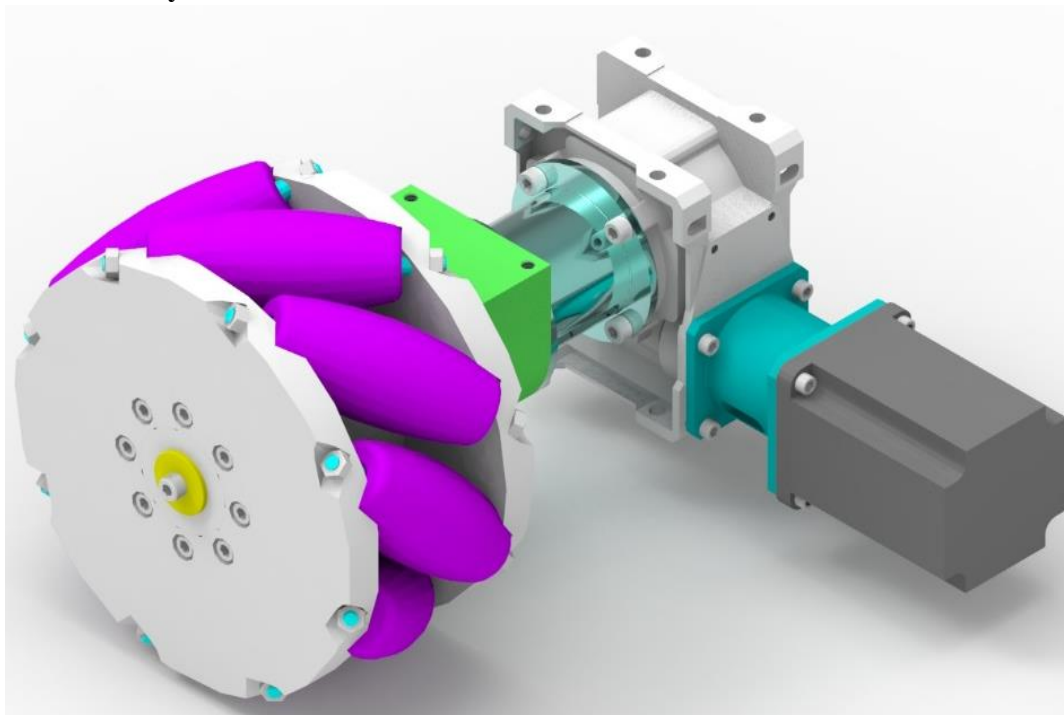
Obrázek 13-8 Krokový motor Nema 34 3 Nm [13]

Protože potřebný maximální hnací moment je 8,8 Nm, byl zvolen krokový motor Nema 34 s maximálním hnacím momentem 3 Nm (obrázek 13-8) z toho důvodu, že krokové motory rychle ztrácejí krouticí moment při zvyšování otáček rotoru.

Tento motor má krok rotoru  $1,8^\circ$  za jeden pulz, což znamená, že pro celou otáčku bude potřeba udělat 200 kroků, maximální rychlost tohoto krokového elektromotoru je 10000 pulzu za sekundu.

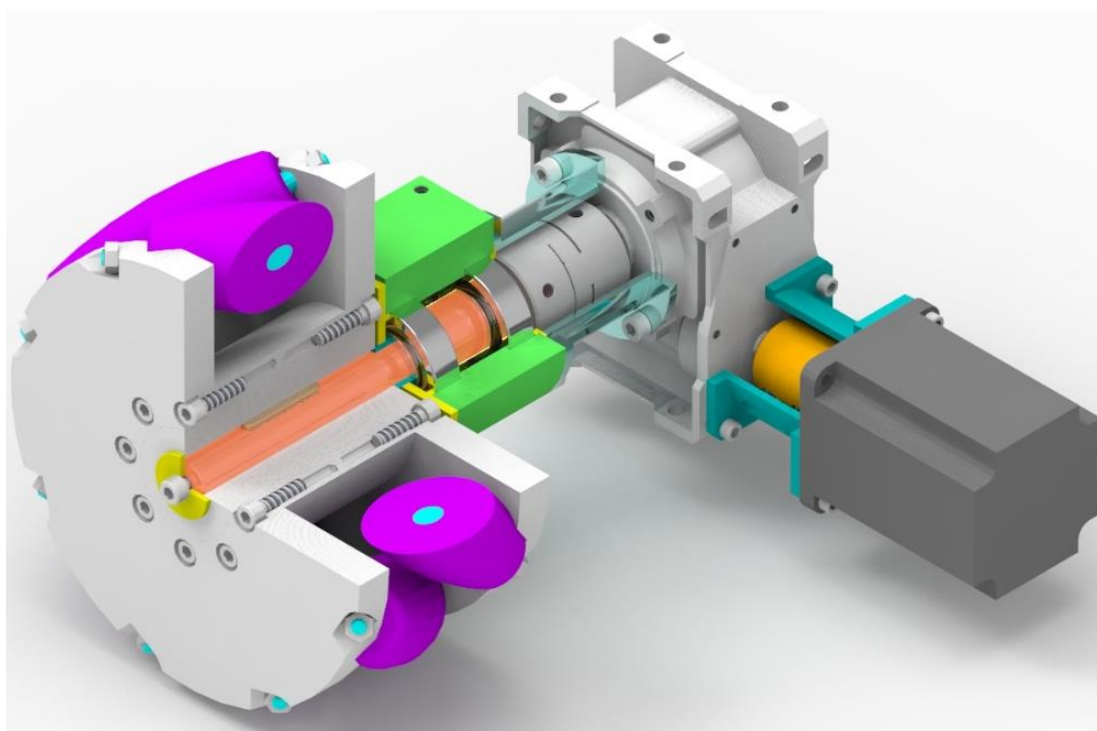
Dále byla zvolena šneková převodovka od firmy *Tramec* s převodovým poměrem 1:40. Tak velký převodový poměr byl zvolen na základě toho, že šnekové převodovky vykazují samosvornost od převodového poměru 1:35. Šneková převodovka má obrovskou výhodu v tom, že není potřeba ve statické poloze manipulačního stolu brzdít kola krokovými motory, které by zbytečně vybíjely baterii. Pohon byl navržen s dostatečnou rezervou, protože nebyl započítán do potřebného hnacího momentu odpor v ložiscích, odpor vzduchu, tření válečků u všesměrových kol atd.

### 13.7. Výsledná konstrukce

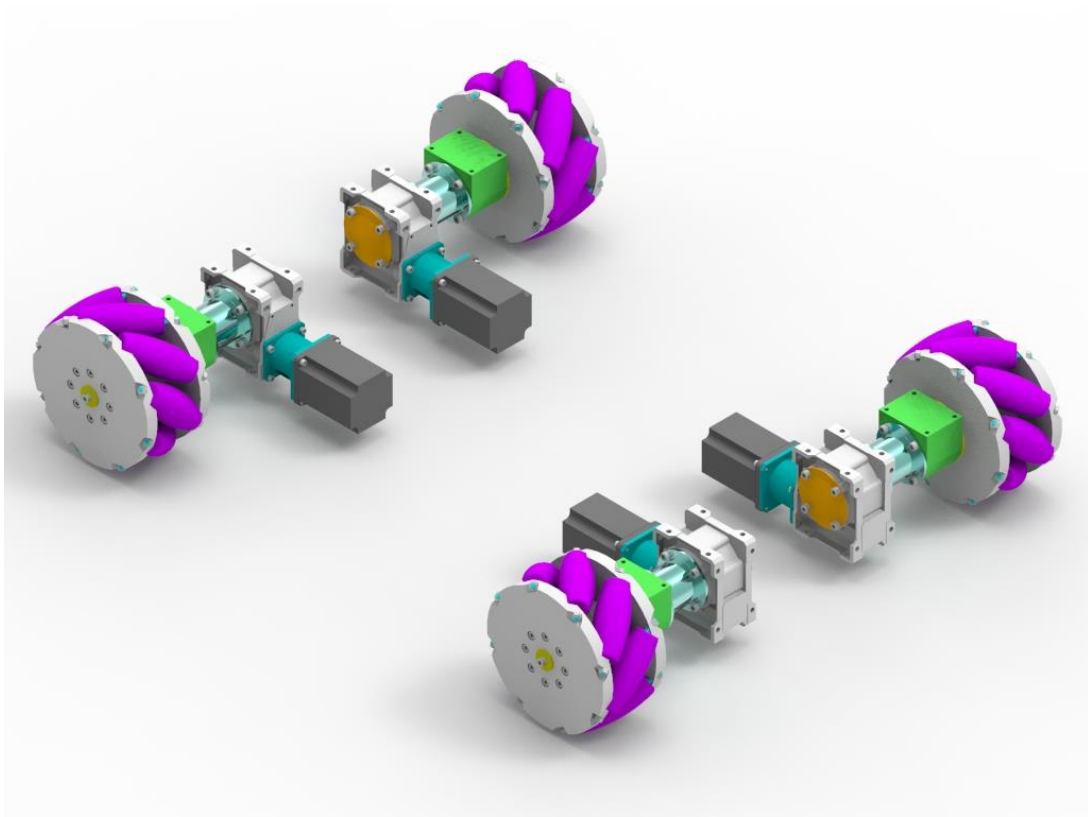


Obrázek 13-9 Hnací jednotka manipulačního stolu [vlastní]

Hnací jednotka manipulačního stolu (obrázek 13-9) se upevňuje k rámu manipulačního stolu přes ložiskový domek, ve kterém jsou spojeny všechny součásti hnací jednotky mezi sebou.

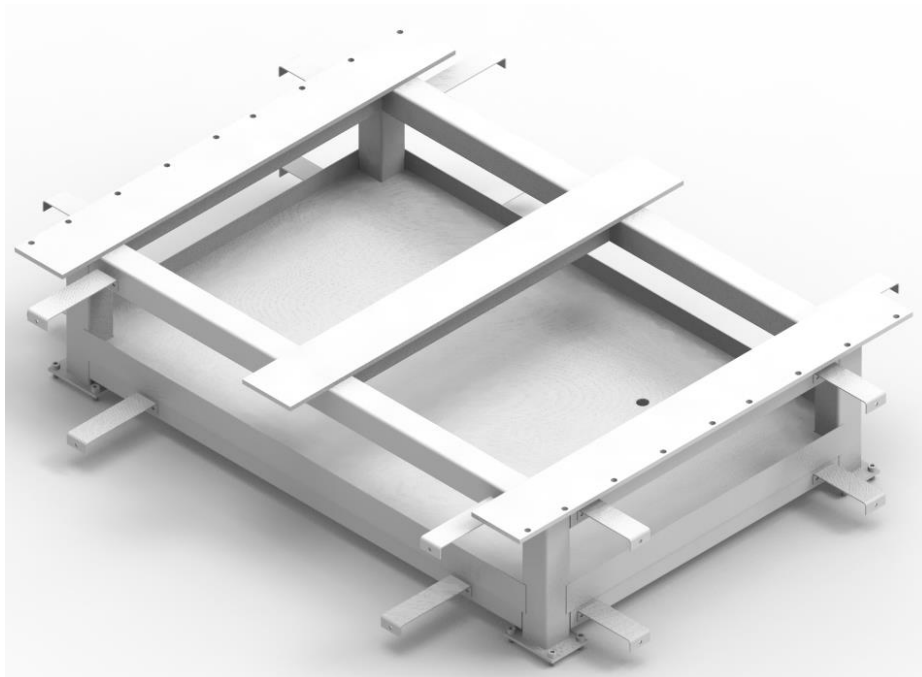


Obrázek 13-10 Hnací jednotka v řezu [vlastní]

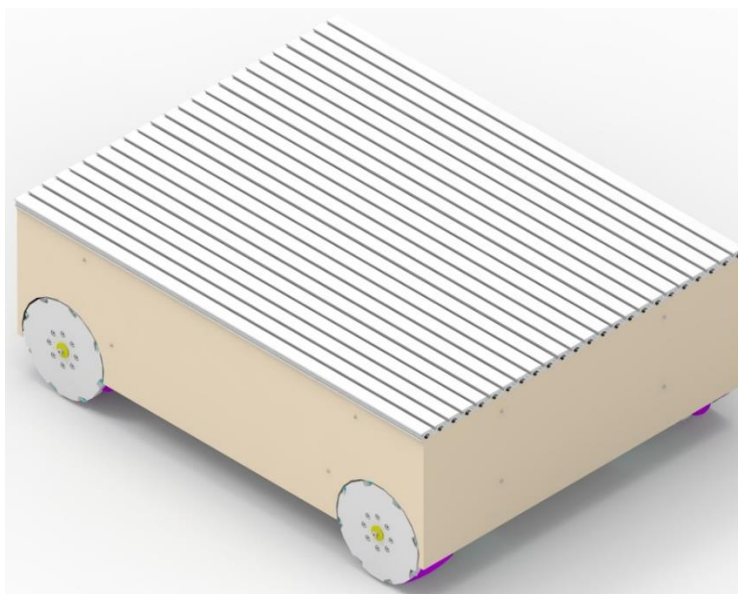


*Obrázek 13-11 Pohon manipulačního stolu [vlastní]*

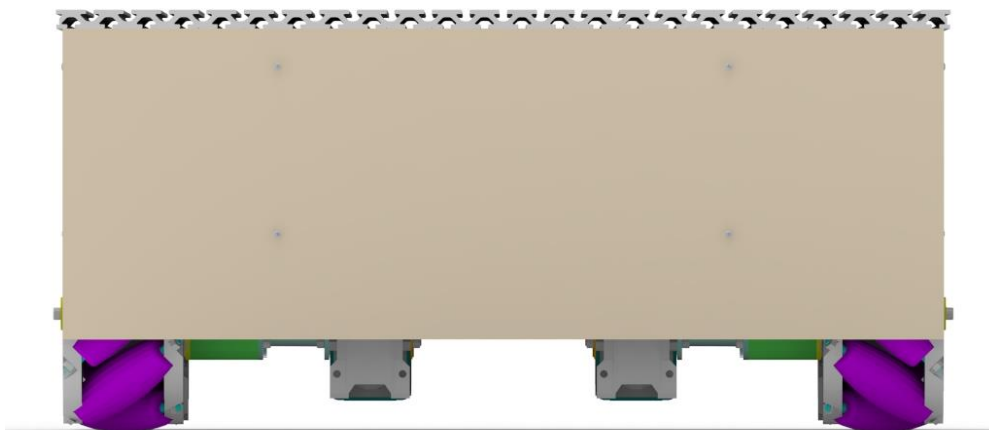
Rám manipulačního stolu spojuje hnací jednotku s opěrnou deskou. V rámu manipulačního stolu je schována plechová konstrukce, ve které se nacházejí potřebné elektrické prvky. Stůl je dálkově ovládán přes pult.



*Obrázek 13-12 Rám manipulačního stolu [vlastní]*

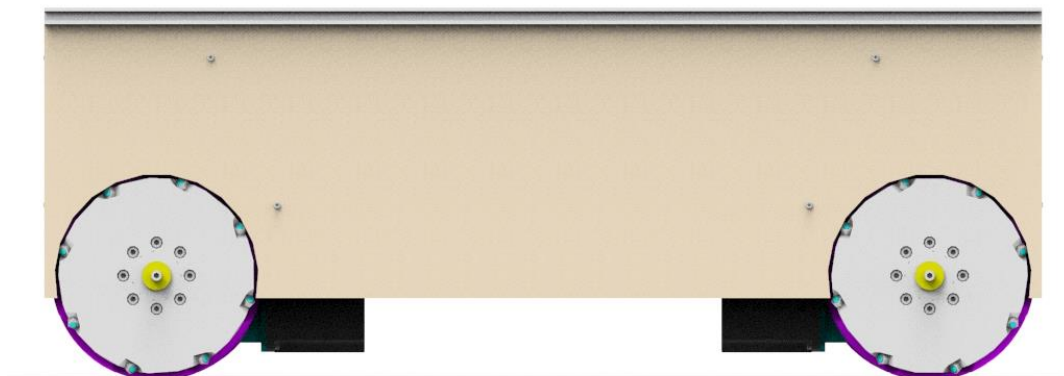


Obrázek 13-13 Model manipulačního stolu izometrický pohled [vlastní]



Obrázek 13-14 Model manipulačního stolu pohled zezadu [vlastní]

Manipulační stůl je ze všech stran zakrytován hliníkovými plechy o tloušťce 1,5 mm pro pohlcení laserového paprsku.

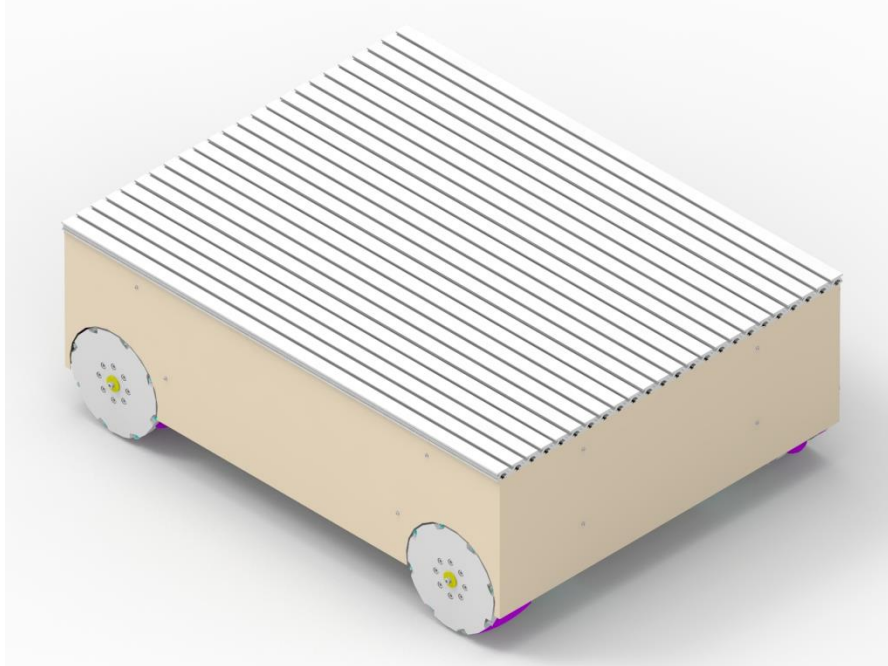


Obrázek 13-15 Model manipulačního stolu pohled z boku [vlastní]

Světlá výška manipulačního stolu činí 34 mm.

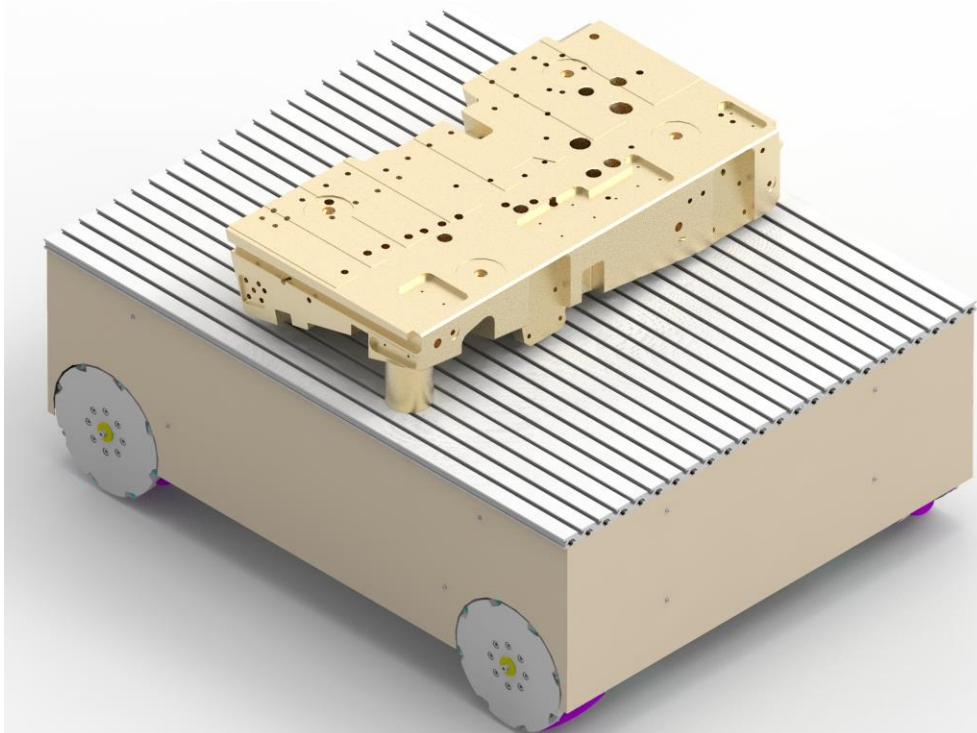
## 14. Pracovní postup

1. Manipulační stůl přijede k místu naložení formy.



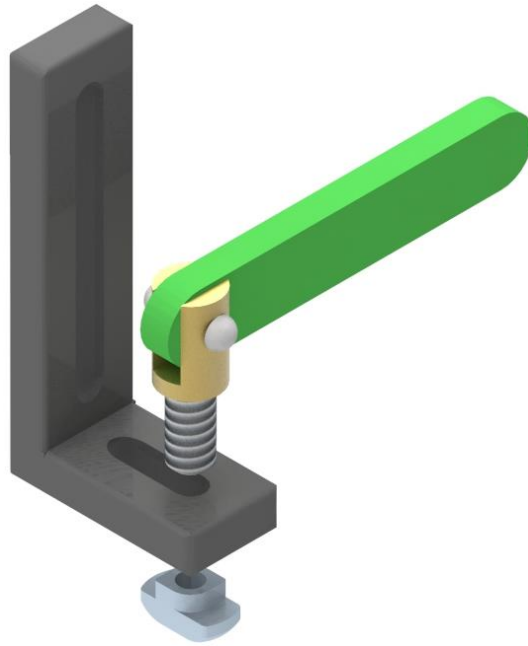
Obrázek 14-1 Prázdný manipulační stůl [vlastní]

2. Obsluha naloží formu (případně sundá již zakalenou formu a naloží novou) na manipulační stůl pomocí vysokozdvizného vozíku nebo jeřábu. V případě, že bude potřeba zakalit více forem najednou je možné na stůl tyto formy naložit (celková hmotnost nesmí být větší než 700 kg).

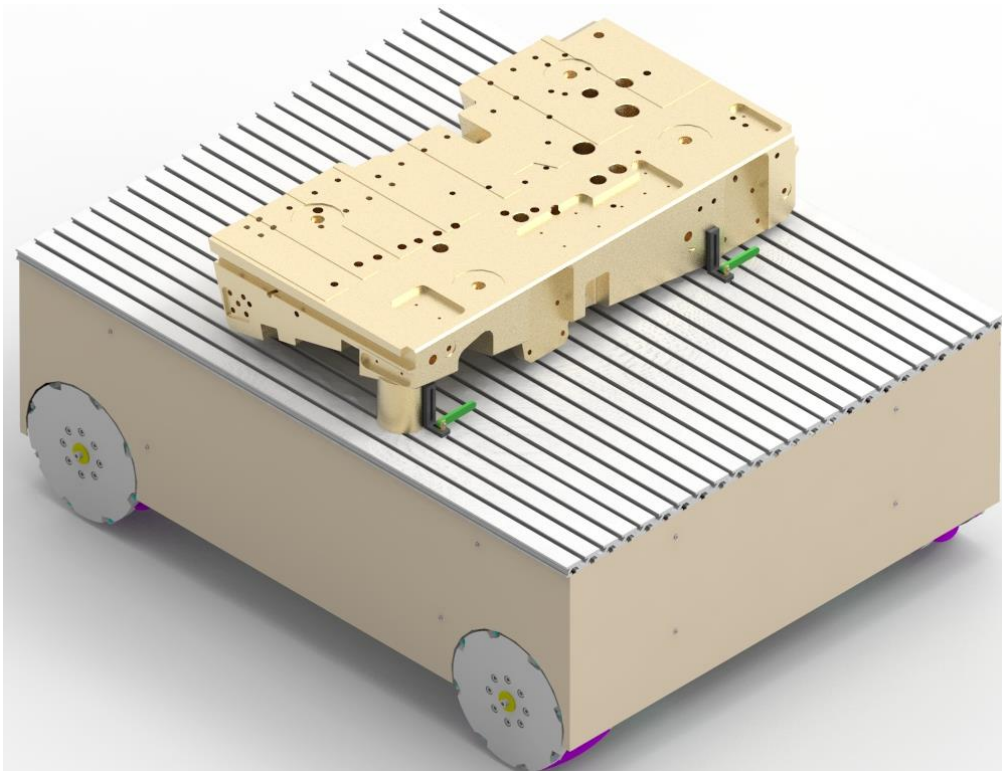


Obrázek 14-2 Manipulační stůl s kalenou formou [vlastní]

3. Forma se upevní na stůl pomocí L úhelníků a upínek, aby při transportu nebo při procesu kalení nedošlo k posunutí formy na opěrné desce.



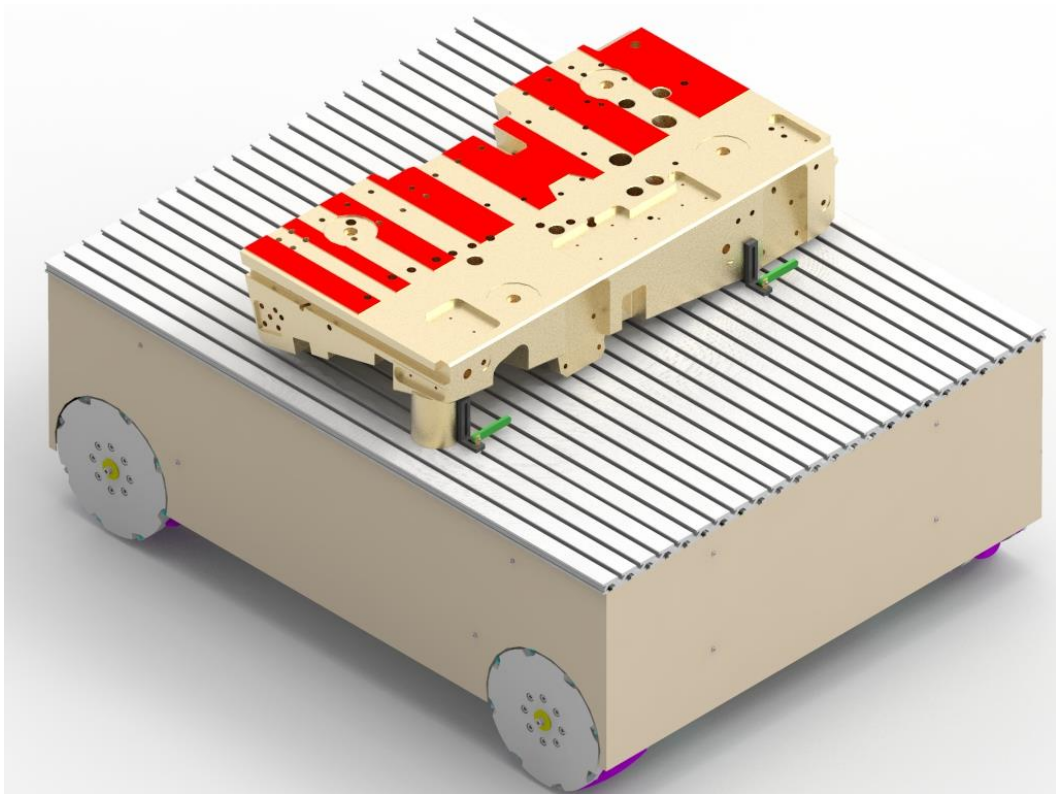
Obrázek 14-3 L úhelník pro upnutí forem [vlastní]



Obrázek 14-4 Manipulační stůl s upevněnou formou [vlastní]

4. Manipulační stůl přejede k místu kalení a obsluha zakalí potřebné plochy. V případě že na stůl dopadne laserový paprsek, nepoškodí ho (hliníkové plechy a profily rychle odvedou teplo).





*Obrázek 14-5 Manipulační stůl se zakalenou formou [vlastní]*

5. Po zakalení formy proces může být zopakován.

## 15. Ekonomické zhodnocení

Tabulka 21 Ekonomické zhodnocení konceptu

Pozice	Název položky	Podsestava	Počet	Cena za kus	Celková cena
<b>1</b>	<b>Šroub ISO 7049 ST 4.2x16</b>	-	<b>16</b>	<b>0,4 Kč</b>	<b>6,0 Kč</b>
<b>2</b>	<b>Hnací jednotka levá</b>		<b>2</b>	<b>15 304,7 Kč</b>	<b>30 609,5 Kč</b>
	Hnací hřídel		1	2 500,0 Kč	2 500,0 Kč
	Hřídel převodovky		1	2 000,0 Kč	2 000,0 Kč
	Krokový motor Nema 34 3Nm		1	621,0 Kč	621,0 Kč
	Ložisko SKF 6305		2	179,0 Kč	358,0 Kč
	Ložiskový domek		1	2 000,0 Kč	2 000,0 Kč
	Pero ČSN 02 2562 8 e7x7x20		2	3,7 Kč	7,4 Kč
	Pero ČSN 02 2562 8 e7x7x50		1	6,0 Kč	6,0 Kč
	Pero ČSN 02 2562 8 e7x7x80		1	9,1 Kč	9,1 Kč
	Podložka 10x35x3		1	10,0 Kč	10,0 Kč
	Pojistný kroužek DIN 471 25x1.2		1	0,8 Kč	0,8 Kč
	Převodovka Tramec XA 50		1	2 300,0 Kč	2 300,0 Kč
	Příruba motoru		1	1 050,0 Kč	1 050,0 Kč
	Příruba převodovky		1	1 200,0 Kč	1 200,0 Kč
	Spojka 14		1	600,0 Kč	600,0 Kč
	Spojka CPJLW95-25-25		1	312,0 Kč	312,0 Kč
	Šroub ISO 10642 M8x20		4	1,8 Kč	7,3 Kč
	Šroub ISO 4762 M6x12		4	0,9 Kč	3,5 Kč
	Šroub ISO 4762 M6x16		4	0,9 Kč	3,7 Kč
	Šroub ISO 4762 M6x20		2	1,0 Kč	2,0 Kč
	Šroub ISO 4762 M8x12		4	2,2 Kč	8,8 Kč
	Šroub ISO 4762 M8x20		13	1,9 Kč	25,2 Kč
	Trubka 25x32x10		1	200,0 Kč	200,0 Kč
	Trubka 25x32x6		1	180,0 Kč	180,0 Kč
	Viko převodovky		1	100,0 Kč	100,0 Kč
	Vymezovací kroužek malý		1	800,0 Kč	800,0 Kč
	Vymezovací kroužek velký		1	1 000,0 Kč	1 000,0 Kč
<b>3</b>	<b>Hnací jednotka pravá</b>		<b>2</b>	<b>15 304,7 Kč</b>	<b>30 609,5 Kč</b>
	Hnací hřídel		1	2 500,0 Kč	2 500,0 Kč
	Hřídel převodovky		1	2 000,0 Kč	2 000,0 Kč
	Krokový motor Nema 34 3Nm		1	621,0 Kč	621,0 Kč
	Ložisko SKF 6305		2	179,0 Kč	358,0 Kč
	Ložiskový domek		1	2 000,0 Kč	2 000,0 Kč
	Pero ČSN 02 2562 8 e7x7x20		2	3,7 Kč	7,4 Kč
	Pero ČSN 02 2562 8 e7x7x50		1	6,0 Kč	6,0 Kč
	Pero ČSN 02 2562 8 e7x7x80		1	9,1 Kč	9,1 Kč
	Podložka 10x35x3		1	10,0 Kč	10,0 Kč
	Pojistný kroužek DIN 471 25x1.2		1	0,8 Kč	0,8 Kč

	Převodovka Tramec XA 50		1	2 300,0 Kč	2 300,0 Kč
	Příruba motoru		1	1 050,0 Kč	1 050,0 Kč
	Příruba převodovky		1	1 200,0 Kč	1 200,0 Kč
	Spojka 14		1	600,0 Kč	600,0 Kč
	Spojka CPJLW95-25-25		1	312,0 Kč	312,0 Kč
	Šroub ISO 10642 M8x20		4	1,8 Kč	7,3 Kč
	Šroub ISO 4762 M6x12		4	0,9 Kč	3,5 Kč
	Šroub ISO 4762 M6x16		4	0,9 Kč	3,7 Kč
	Šroub ISO 4762 M6x20		2	1,0 Kč	2,0 Kč
	Šroub ISO 4762 M8x12		4	2,2 Kč	8,8 Kč
	Šroub ISO 4762 M8x20		13	1,9 Kč	25,2 Kč
	Trubka 25x32x10		1	200,0 Kč	200,0 Kč
	Trubka 25x32x6		1	180,0 Kč	180,0 Kč
	Viko převodovky		1	100,0 Kč	100,0 Kč
	Vymezovací kroužek malý		1	800,0 Kč	800,0 Kč
	Vymezovací kroužek velký		1	1 000,0 Kč	1 000,0 Kč
<b>4</b>	<b>Macanum levé</b>	-	<b>2</b>	<b>7 383,0 Kč</b>	<b>14 766,0 Kč</b>
<b>5</b>	<b>Macanum pravé</b>	-	<b>2</b>	<b>7 383,0 Kč</b>	<b>14 766,0 Kč</b>
<b>6</b>	<b>Opěrná deska</b>		<b>1</b>	<b>13 340,4 Kč</b>	<b>13 340,4 Kč</b>
	Deskový profil 8 152x20		5	2 053,2 Kč	10 266,0 Kč
	Deskový spojovací profil 8 55x20		4	684,4 Kč	2 737,6 Kč
	Šroub ISO 4762 M8x16		18	1,7 Kč	30,8 Kč
	T-matice 8 M8		18	17,0 Kč	306,0 Kč
<b>7</b>	<b>Rám stolu</b>		<b>1</b>	<b>2 724,2 Kč</b>	<b>2 724,2 Kč</b>
	Boční plech malý		2	14,9 Kč	29,7 Kč
	Boční plech velký		2	23,7 Kč	47,3 Kč
	Opěrná kostka		4	16,6 Kč	66,5 Kč
	Opěrný plech		3	182,1 Kč	546,3 Kč
	Profil rámu 1		4	48,1 Kč	192,3 Kč
	Profil rámu 2		4	177,8 Kč	711,0 Kč
	Profil rámu 3		6	110,1 Kč	660,5 Kč
	Spodní plech		2	221,6 Kč	443,2 Kč
	Šroub ISO 4762 M8x16		16	1,7 Kč	27,4 Kč
<b>8</b>	<b>Plech malý</b>	-	<b>2</b>	<b>162,2 Kč</b>	<b>324,5 Kč</b>
<b>9</b>	<b>Plech velký</b>	-	<b>2</b>	<b>208,2 Kč</b>	<b>416,4 Kč</b>
				<b>Celkem</b>	<b>107 562 Kč</b>

Tato cena by měla být navýšena o dalších 50 000 [Kč], z důvodu, že do výsledné ceny nebyla zahrnuta montáž, doprava, sváření rámu a oživení stroje. Výsledná cena zařízení činí 157 562 [Kč].

## 16. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout manipulační stůl pro laserové kalení forem, který by splňoval požadavky a zadání pracovníků firmy VÚTS a.s. Hlavním požadavkem byla dobrá manévrovací schopnost a účinné brzdy manipulačního stolu.

V první části této práce byl proveden popis současného stavu používané techniky při transportu, upevnění a kalení forem. S pracovníky firmy VÚTS a.s. pracujícími bezprostředně na pracovišti kalení forem byla uskutečněna diskuze ohledně zjištění nedostatků stávajícího stavu. Dále byl proveden průzkum patentů pro zjištění již známých řešení v problematice spojené s pohybem rozměrných těles v omezeném prostoru. V další kapitole bylo nalezeno již existující řešení pro automatizovaný transport v omezeném prostoru. Následně bylo navrženo a stručně popsáno pět konceptů, které splňovaly zjištěné charakteristiky a zadání výrobku dle požadavků a specifikace VÚTS a.s. Výběr finálního konceptu byl proveden pomocí AHP metody. Vítězným konceptem se stal stůl se čtyřmi všesměrovými koly. Tento koncept byl optimalizován pomocí metod DFX a FMEA-K a následně detailně rozpracován. Po rozpracování vítězné varianty byl nastíněn postup pro nakládání a skládání forem na stůl. Zařízení bylo ekonomicky zhodnoceno. Výsledná cena zařízení vyšla na 157 562 [Kč]. Z kalkulovaných součástí byla vytvořena výrobní výkresová dokumentace.

Byly splněny všechny požadavky zákazníka:

1. Opěrné hliníkové desky se upínají na rám pomocí šroubů a T-matic, celková velikost opěrné desky se rovná 1200x952x20 mm, což i bylo požadováno zákazníkem.
2. Minimální poloměr zatáčení manipulačního stolu se rovná uhlopříčce opěrné desky, tedy 1531,8 mm - nejmenší možný poloměr zatáčení i v tomto ohledu byl splněn požadavek minimálního zatáčení v omezeném prostoru.
3. Pohon a řízení manipulačního stolu je zajištěno zcela elektronicky.
4. Manipulační stůl je řízen pomocí joysticku.
5. Manipulační stůl je schopen projet „plynule“ přes překážky o výšce 2 cm, ale pro přejetí větších překážek by bylo zapotřebí minimálně manipulační stůl dovybavit tlumícími prvky (tlumiče, pružiny), ale to by již přineslo do systému další nevýhody (ztráta stability a přesnosti při procesu kalení).
6. Rychlost pohybu manipulačního stolu je omezena elektronicky pro bezpečné ovládní a nepřesahuje hodnoty celkové rychlosti manipulačního stolu 1 m/s.
7. Tlak na podlahu od manipulačního stolu (o hmotnosti 148 kg) s kalenou formou (o hmotnosti 700 kg) s rozvor všesměrových kol 930x910 mm nepřesahuje hodnoty 1002 kg/m<sup>2</sup>.
8. Opěrná deska a kola jsou spojena s rámem. Na rámu je upevněna hliníková odolná krabice s elektrickými prvky.
9. Výška manipulačního stolu s opěrnou deskou od podlahy činí přesně 450 mm dle zadání.
10. Dle technických údajů výrobce všesměrových kol je přesnost pohybu kol činí  $\pm 5$  mm, z toho důvodu odvozují, že výsledná požadovaná přípustná hodnota  $\pm 10$  mm bude splněná s ohledem na tuhost celé navržené konstrukce.
11. Nosnost manipulačního stolu dle provedených výpočtů dosahuje hodnoty 700 kg, požadovaná nosnost stolu je tímto splněna.
12. Pro výpočet životnosti manipulačního stolu byl kalkulován provoz 3 hodiny denně dle potřeb zákazníka. Výpočtem byla ověřena minimální životnost ložisek (nejvíce ovlivňujících životnost manipulačního stolu) na 9876 hodin, což odpovídá 9 letům provozu. Při správné montáži ložisek je i předpokládaný požadavek životnosti splněn a doložen výpočtem.

Všechna kola jsou brzděna šnekovými převodovkami ve statické poloze, toto neumožní pohyb manipulačního stolu. Byly splněny všechny stanovené cíle práce. Z návrhu je možné vyrobit manipulační stůl dle zadání a požadavků VÚTS a.s. pro kalení forem.

## 17. Použité zdroje

- [1] MAŠÍN, I. *Inovační inženýrství - Plánování a návrh inovovaného výrobku. 1. vydání. Liberec: TUL, 2012. 168s. ISBN 978-80-7372-852-6.*
- [2] Mašín, I.; Jirman, P. *Metody systematické kreativity. Technická univerzita v Liberci. Liberec 2012.*
- [3] Mašín, I.; Ševčík, L. *Metody inovačního inženýrství. Inovace, plánování a navrhování výrobku. Institut technologií a managementu s. r. o. Liberec 2006*
- [4] ŘASA, J.; ŠVERCL, J. *Strojnické tabulky. Praha 5: Scientia spol s.r.o., 2004, ISBN 80-7183-312-6.*
- [5] *Manipulační vozíky. Dostupné z:*  
<https://www.arbex.cz/manipulacni-technika/manipulacni-a-plosinove-voziky/>
- [6] *Přepravní vozíky B2B. Dostupné z:*  
<https://prepravni-voziky.heureka.cz/prepravni-vozik-b2b-partner-s-plosinou-970x660/>
- [7] *Mobilní zdvihací stoly. Dostupné z:*  
<http://www.zdvihservis.cz/nase-reseni/mobilni-zdvihaci-stoly/>
- [8] *Patent US20050183896A1. Dostupné z:*  
<https://patents.google.com/patent/US20050183896A1>
- [9] *Pohyb rámu zařízení v závislosti na směru otáčení všesměrových kol. Dostupné z:*  
<https://gm0.copperforge.cc/en/stable/docs/software/mecanum-drive.html>
- [10] *Mobilní plošiny KUKA. Dostupné z:*  
<https://www.kuka.com/>
- [11] *Metoda párového porovnání. Dostupné z:*  
[https://cs.wikipedia.org/wiki/Saatyho\\_metoda](https://cs.wikipedia.org/wiki/Saatyho_metoda)
- [12] *Všesměrová kola Macanum NM254A. Dostupné z:*  
<https://www.aliexpress.com/item/32360021124.html>
- [13] *Krokový motor Nema 34 3 Nm. Dostupné z:*  
<https://aliexpress.ru/item/1892159519.html>

## Seznam obrázků

Obrázek 2-1 Deska s T - drážkami [vlastní].....	10
Obrázek 2-2 Malé schody, výška 2 cm [vlastní] .....	10
Obrázek 3-1 Převravní vozík B2B [6].....	12
Obrázek 3-2 Převravní vozík s hydraulickým zdvihem [7].....	12
Obrázek 4-1 Laserová hlava a zdroj laserového paprsku [vlastní].....	13
Obrázek 4-2 Robotické pracoviště VÚTS a.s. [vlastní] .....	14
Obrázek 4-3 Formy pro vstřikování plastů [vlastní] .....	14
Obrázek 4-4 Spodní část forem pro vstřikování plastů [vlastní] .....	15
Obrázek 5-1 Zakalená forma na paletách uvnitř robotické buňky [vlastní] .....	16
Obrázek 5-2 Otočný stůl DKP400 překáží vyjetí paletového vozíku z robotické buňky [vlastní] .....	17
Obrázek 7-1 QFD (House of quality) [vlastní].....	20
Obrázek 8-1 Patent číslo 1 [8].....	21
Obrázek 8-2 Výsledný pohyb rámu v závislosti na pohybu kol [9] .....	22
Obrázek 9-1 Mobilní plošiny KUKA [10] .....	23
Obrázek 10-1 Pohon manipulačního stolu - pohled seshora [vlastní] .....	24
Obrázek 10-2 Řízení předních kol - pohled zepředu [vlastní].....	24
Obrázek 10-3 Upnutí opěrné desky k rámu manipulačního stolu při pohledu z boku [vlastní] .....	25
Obrázek 10-4 Izometrický pohled na manipulační stůl [vlastní] .....	25
Obrázek 10-5 Rám manipulačního stolu s řízením a hnacími jednotkami - izometrický pohled [vlastní] .....	26
Obrázek 10-6 Izometrický pohled na manipulační stůl [vlastní] .....	26
Obrázek 10-7 Rám manipulačního stolu s opěrnou deskou - pohled z boku [vlastní] .....	27
Obrázek 10-8 Rám manipulačního stolu - pohled zespoda [vlastní].....	27
Obrázek 10-9 Pohon manipulačního stolu - pohled z boku [vlastní] .....	28
Obrázek 10-10 Rám manipulačního stolu s hlavní opěrnou deskou - pohled zespoda [vlastní] .....	28
Obrázek 10-11 Rám manipulačního stolu s hnacími členy - pohled zezadu [vlastní].....	29
Obrázek 10-12 Hnací jednotka [vlastní].....	29
Obrázek 10-13 Manipulační stůl - izometrický pohled [vlastní].....	29
Obrázek 10-14 Pojezdové kolo s unášečem - izometrický pohled [vlastní].....	30
Obrázek 10-15 Pojezdové kolo - realizace pohonu [vlastní].....	30
Obrázek 10-16 Rám manipulačního stolu s hnacími jednotkami, pohled shora [vlastní] .....	31
Obrázek 10-17 Upevnění kola k rámu manipulačního stolu, pohled z boku [vlastní] .....	31
Obrázek 10-18 Hnací jednotka manipulačního stolu - pohled z boku [vlastní] .....	32
Obrázek 10-19 Rám manipulačního stolu s hnací jednotkou - izometrický pohled [vlastní].....	32
Obrázek 10-20 Rám manipulačního stolu - pohled shora [vlastní] .....	33
Obrázek 10-21 Manipulační stůl - izometrický pohled [vlastní].....	33
Obrázek 12-1 Řez hnacího členu [vlastní] .....	40
Obrázek 12-2 Ložiskový domek s přírubou [vlastní].....	41
Obrázek 12-3 Rám manipulačního stolu .....	42
Obrázek 13-1 Nosný válec [vlastní] .....	44
Obrázek 13-2 Nosný válec s bočními deskami [vlastní] .....	44
Obrázek 13-3 Montáž opěrného válečku [vlastní] .....	45
Obrázek 13-4 Smontované kolo Macanum [vlastní].....	45
Obrázek 13-5 Valivý odpor kol [vlastní].....	46
Obrázek 13-6 Schéma nosníku hnacího hřídele [vlastní].....	47
Obrázek 13-7 Hřídel s perem 8x7x50 [vlastní] .....	49
Obrázek 13-8 Krokový motor Nema 34 3 Nm [13] .....	51
Obrázek 13-9 Hnací jednotka manipulačního stolu [vlastní] .....	52

Obrázek 13-10 Hnací jednotka v řezu [vlastní].....	52
Obrázek 13-11 Pohon manipulačního stolu [vlastní] .....	53
Obrázek 13-12 Rám manipulačního stolu [vlastní].....	53
Obrázek 13-13 Model manipulačního stolu izometrický pohled [vlastní] .....	54
Obrázek 13-14 Model manipulačního stolu pohled zezadu [vlastní] .....	54
Obrázek 13-15 Model manipulačního stolu pohled z boku [vlastní] .....	54
Obrázek 14-1 Prázdný manipulační stůl [vlastní] .....	55
Obrázek 14-2 Manipulační stůl s kalenou formou [vlastní].....	55
Obrázek 14-3 L úhelník pro upnutí forem [vlastní] .....	56
Obrázek 14-4 Manipulační stůl s upevněnou formou [vlastní] .....	56
Obrázek 14-5 Manipulační stůl se zakalenou formou [vlastní].....	57

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Inovační prohlášení .....	18
Tabulka 2 Zákaznické potřeby .....	18
Tabulka 3 Výrobní specifikace .....	19
Tabulka 4 Výrobní specifikace .....	20
Tabulka 5 Hodnoticí tabulka konceptu z hlediska ceny .....	35
Tabulka 6 Hodnoticí tabulka konceptu z hlediska poloměru otáčení.....	35
Tabulka 7 Hodnoticí tabulka konceptu z hlediska brzdění.....	35
Tabulka 8 Hodnoticí tabulka konceptu z hlediska přesnosti pohybu .....	35
Tabulka 9 Hodnoticí tabulka konceptu z hlediska životnosti.....	35
Tabulka 10 Hodnoticí tabulka konceptu z hlediska projetí přes překážky .....	35
Tabulka 11 Porovnání kritérií vůči sobě .....	37
Tabulka 12 Normalizovaná matice s relativními prioritami.....	37
Tabulka 13 Porovnání konceptů z hlediska ceny manipulačního stolu.....	37
Tabulka 14 Porovnání konceptů z hlediska poloměru otáčení manipulačního stolu.....	38
Tabulka 15 Porovnání konceptů z hlediska brzdění manipulačního stolu .....	38
Tabulka 16 Porovnání konceptů z hlediska přesnosti pohybu manipulačního stolu .....	38
Tabulka 17 Porovnání konceptů z hlediska životnosti manipulačního stolu.....	38
Tabulka 18 Porovnání konceptů z hlediska schopností projet přes překážky .....	38
Tabulka 19 Relativní priorita konceptů dle kritérií .....	39
Tabulka 20 Výběr finálního konceptu.....	39
Tabulka 21 Ekonomické zhodnocení konceptu.....	58

## Seznam příloh

Příloha 1: FMEA-K

Příloha 2: Výkres DPAP01 – Hřídel hnací

Příloha 3: Výkres DPAPSEST01 – Všesměrový stůl