



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

# STAVEBNICOVÉ FRÉZOVACÍ OBRÁBĚCÍ CENTRUM STŘEDNÍ VELIKOSTI S VODOROVNOU OSOU VŘETENA A MOŽNOSTÍ MOBILITY

MODULAR MILLING MACHINING CENTER WITH A HORIZONTAL SPINDLE AXIS AND THE POSSIBILITY OF MOBILITY

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Dalibor Příbyla

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Dr. Ing. Jiří Marek, Ph.D., DBA

BRNO 2024





## Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	<b>Bc. Dalibor Příbyla</b>
Studijní program:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	<b>prof. Dr. Ing. Jiří Marek, Ph.D., DBA</b>
Akademický rok:	2023/24

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

### **Stavebnicové frézovací obráběcí centrum střední velikosti s vodorovnou osou vřetena a možností mobility**

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Frézovací obráběcí centra s vodorovnou osou vřetena jsou velmi používanou variantou při obrábění. Existuje velké množství jejich výrobců. Avšak všichni používají stacionární konstrukce, které jsou položeny, nebo připevněny na pevný základ. Vzhledem k požadavkům dnešní doby se však jeví jako přínosné, pokud by tyto stroje byly důsledně stavebnicové, přivezeny na místo určení, a po skončení potřeby odvezeny k jinému uživateli. Důsledná stavebnicovost by umožnila efektivní přepravu.

#### **Cíle diplomové práce:**

Současný stav řešené problematiky a její rozbor.  
Systémový rozbor řešené problematiky.  
Návrh konstrukčních variant a výběr optimální varianty řešení.  
Technické výpočty optimální varianty a další potřebné výpočty.  
Komentář přiložené technické dokumentace.  
Technicko – ekonomické zhodnocení.  
Doporučení pro další rozvoj.

#### **Seznam doporučené literatury:**

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, s.r.o., 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.

JANÍČEK, Přemysl a Jiří MAREK. Expertní inženýrství v systémovém pojetí. Praha: Grada, 2013. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-4127-7.

MAREK, J. et al. Stavba a provoz CNC obráběcích strojů [online]. 1. vyd. Brno: Ústav výrobních strojů systému a robotiky, FSI, VUT v Brně, 23. 3. 2023, updated, průběžně aktualizováno [cit. 07.09.2023]. Učebnice Ústavu výrobních strojů, systému a robotiky, FSI, VUT v Brně, 1 svazek. Dostupné z: <http://147.229.45.89:8090/>. ISBN 978-80-07452- 4-7.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem frézovacího obráběcího centra střední velikosti, jež splňuje požadavky stavebnicové konstrukce a mobility. Právě tyto vlastnosti jsou podstatné z hlediska moderních trendů v oblasti cirkulární ekonomiky a sdílení. Současná realizace mobilních strojů je zaměřena převážně na zařízení o malých velikostech a nízkých hmotnostech. Koncepce stroje střední velikosti, který by bylo možné efektivně přepravovat a zároveň provozovat v jednom transportním celku, bez nutnosti zástavby stroje na pevný základ, by přinesla možnosti výkonného obrábění přímo v oblasti potřeby. V rámci práce je návrh takového zařízení postupně rozpracován. Multikriteriální analýzou je vybráno vhodné provedení obráběcího stroje, konkrétně s pohyblivým stojanem, dále je zvolen jako optimální přepravně-provozní obal normalizovaný transportní kontejner. Navrženo je také dílčí řešení jednotlivých konstrukčních prvků. Většina z nich je vybrána z běžně dostupných produktů. Samotný obráběcí stroj je však navržen speciálně pro umístění do přepravního prostředku. Základ tvoří vlastní návrh stojanu s pohybovou soustavou. Stavebnicovitost je realizována pomocí několika řad modulů různých konstrukčních jednotek řešeného zařízení. Samotný přepravní prostředek je navržen tak, aby splňoval kritéria nosnosti a tuhosti s co nejmenším průhybem při zatížení obráběcím strojem, čehož je dosaženo vyztužením. Nakonec je celá sestava zhodnocena z hlediska technického a ekonomického provedení.

## ABSTRACT

The thesis deals with the design of a medium-sized milling machining center that meets the requirements of modular construction and mobility. These features are essential concerning modern trends in the circular economy and sharing. The current implementation of mobile machines is mainly focused on devices of small sizes and low weights. The concept of a medium-sized machine that could be efficiently transported and operated in a single transport unit, without the need for installing the machine on a fixed base, would offer the possibility of high-performance machining directly in the area of need. The thesis gradually develops the design of such a device. A multicriteria analysis selects the suitable design of the machining center, specifically with a movable stand, and a standardized transport container is chosen as the optimal transport-operational packaging. Solutions for individual construction elements are also proposed. Most of them are selected from commonly available products. However, the machining center itself is specially designed to fit into the transport unit. The foundation consists of the custom design of the stand with the motion system. Modularity is implemented through several series of different construction units of the proposed device. The transport package is designed to meet the criteria of load capacity and rigidity with minimal deflection when loaded with the machining center, which is achieved through reinforcement. Finally, the entire assembly is evaluated in terms of technical and economic evaluation.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Horizontální frézovací obráběcí centrum, mobilní stroje, stavebnicové konstrukce, pohyblivý stojan, přepravně-provozní celek

## KEY WORDS

Horizontal milling machine center, mobile machines, modular construction, movable stand, transport-operational unit



## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PŘIBYLA, Dalibor. *Stavebnicové frézovací obráběcí centrum střední velikosti s vodorovnou osou vřetena a možností mobility* [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-01-13]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/158097>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Jiří Marek.



## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto panu prof. Dr. Ing. Jiřímu Markovi, Ph.D., DBA, FEng. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování diplomové práce.





## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením prof. Dr. Ing. Jiřího Marka, Ph.D., DBA, FEng. a s použitím odborné literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 20.5.2024

.....

Dalibor Příbyla



## OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>MOTIVACE.....</b>	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....</b>	<b>21</b>
3.1	Frézovací obráběcí centra .....	22
3.1.1	Frézovací obráběcí centra s vodorovnou osou vřetene.....	24
3.2	Stavebnicové systémy obráběcích strojů.....	26
3.2.1	Hlavní znaky stavebnicových obráběcích strojů .....	27
3.2.2	Výhody stavebnicových obráběcích strojů.....	27
3.2.3	Požadavky na stavebnicové jednotky .....	28
3.2.4	Modulární obráběcí stroje.....	28
3.2.5	Stavebnicové frézovací obráběcí centra s vodorovnou osou vřetena .....	28
3.3	Mobilní obráběcí stroje.....	30
3.3.1	Mobilní frézovací stroje.....	30
3.3.2	Využití nekonvenčních materiálů .....	32
3.4	Transport obráběcích strojů .....	33
3.4.1	Dopravní prostředky .....	34
3.4.2	International Commercial Terms .....	34
3.4.3	Přepravní prostředky a obaly .....	35
3.5	Shrnutí současného stavu poznání .....	39
<b>4</b>	<b>SYSTÉMOVÝ ROZBOR ZADANÉ PROBLEMATIKY .....</b>	<b>41</b>
4.1	Definice problému .....	41
4.2	Stanovení cílů .....	41
4.2.1	Postup řešení.....	41
4.3	Požadavky a podstatné veličiny .....	42
4.3.1	Rozbor vzájemných interakcí .....	43
4.3.2	Hlavní rámec řešení .....	44
<b>5</b>	<b>VOLBA VARIANT ŘEŠENÍ .....</b>	<b>45</b>
5.1	Definice obráběcího centra střední velikosti .....	45
5.1.1	Příklady a běžně užívané rozměry a hmotnosti .....	45
5.2	Volba výchozího stroje.....	46
5.2.1	Hodnotící kritéria.....	46
5.2.2	Stupnice pro hodnocení možných provedení.....	47
5.2.3	Multikriteriální analýza .....	48
5.3	Volba přepravního obalu .....	49
5.3.1	Hodnotící kritéria.....	49
5.3.2	Multikriteriální analýza .....	51

<b>6</b>	<b>NÁVRH KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ DÍLČÍCH PRVKŮ .....</b>	<b>53</b>
6.1	Obráběcí centrum .....	53
6.1.1	Stojan .....	53
6.1.2	Vřeteník.....	54
6.1.3	Pracovní stůl.....	55
6.1.4	Automatická výměna nástrojů .....	56
6.1.5	Odvod třísek.....	57
6.2	Přívod energie a médií .....	57
6.2.1	Propojení výkonové elektrické energie.....	58
6.2.2	Propojení datových vodičů.....	58
6.2.3	Propojení tlakového vzduchu .....	59
6.2.4	Propojení rozvodu mazání .....	59
6.2.5	Propojení vedení řezné kapaliny .....	60
6.3	Ustavení a seřízení .....	60
6.3.1	Ustavení přepravně-provozního obalu .....	60
6.3.2	Ustavení obráběcího centra .....	61
6.3.3	Teplotní kompenzace .....	61
<b>7</b>	<b>ROZLOŽENÍ PRACoviŠTĚ .....</b>	<b>63</b>
7.1	Návrh rozložení.....	63
7.2	Vedení stojanu.....	64
<b>8</b>	<b>STAVEBNICOVITOST .....</b>	<b>65</b>
8.1	Stojan .....	65
8.2	Vřeteník.....	66
8.3	Upínací stůl .....	67
8.4	Funkčně obslužné agregáty a přívody energií.....	67
<b>9</b>	<b>TECHNICKÉ VÝPOČTY A SIMULACE .....</b>	<b>69</b>
9.1	Vstupní podmínky .....	69
9.2	Základní koncepce nosné struktury.....	70
9.2.1	První iterace .....	71
9.2.2	Druhá iterace .....	72
9.2.3	Třetí iterace .....	73
9.3	Úprava nosné struktury dle reálného rozložení zatížení .....	74
9.3.1	Stavitelné podpěry FOC.....	74
9.3.2	Zatížení podlahy kontejneru.....	74
9.3.3	První iterace .....	75
9.3.4	Druhá iterace .....	76
9.3.5	Třetí iterace .....	78
9.4	Zhodnocení výsledků .....	79

<b>10</b>	<b>TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....</b>	<b>81</b>
10.1	Technické zhodnocení .....	81
10.2	Ekonomické zhodnocení.....	83
<b>11</b>	<b>DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ ROZVOJ .....</b>	<b>85</b>
<b>12</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>87</b>
<b>13</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>89</b>
<b>14</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK .....</b>	<b>93</b>
14.1	Seznam zkratk a symbolů .....	93
14.2	Seznam tabulek.....	93
14.3	Seznam obrázků.....	94
<b>15</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>97</b>



# 1 ÚVOD

Diplomová práce má za úkol rozebrat a řešit koncept stavebnicového frézovacího obráběcího centra střední velikosti s vodorovnou osou vřetena a možností mobility. Jedná se o nové pojetí CNC stroje, který není vázán na stacionární nehybnou zástavbu a lze jej tudíž přepravovat i na místa, která nejsou vybavena připravenou pevnou základnou. K umístění a fixaci stroje je tedy použito konstrukce, která je určena zároveň k jeho přepravě. Velkou roli zde hraje stavebnicové provedení stroje, zajišťující snadné rozložení pro možnost přepravy a následné bezproblémové složení. Díky tomuto systému je umožněna i jistá modularita zařízení, tedy schopnost měnit jednotlivé konstrukční uzly dle potřeb použití. Důraz je kladen na správnou fixaci jednotlivých dílů a následnou možnost seřízení. Je totiž nutné zachovat tuhost a přesnost stroje.

Takto konstruovaná zařízení mají své využití v aplikacích, kde není ekonomicky, logisticky či technicky výhodné přepravovat obrobky ke stroji anebo není výhodné, případně proveditelné, aby byl v místě provozu obrobku instalován stacionární stroj. Často se jedná o obrobky velkých rozměrů nebo o ty, které jsou pevně zabudované do konstrukce. Může se jednat například o rozměrná ložiska turbín či rypadel, nebo o díly motorů velkých plavidel.

První část práce má za úkol přinést rešeršní přehled současného stavu poznání v řešené oblasti, představení používaných typů frézovacích center s vodorovnou osou vřetene, jejich konstrukčních uzlů, vlastností a současných možností stavebnicového provedení a mobility. Dále je proveden systémový rozbor zadané problematiky, skýtající analýzu postupu řešení a jeho návrh.

Poté proběhne představení variant typů stroje a způsobu jeho přepravy a zvolení optimální varianty multikriteriální analýzou, s ohledem na jednoduchost přepravy a instalace, velikost stroje a snahu o co nejkompaktnější uspořádání. Další část práce se věnuje konstrukčnímu návrhu konceptu stroje a prvkům modularity výsledného frézovacího obráběcího centra (FOC). Následuje představení přepravního kontejneru a uzpůsobení jeho nosné struktury ve více iteracích, jež bude vycházet z posouzení koncepcí struktury pomocí simulace metodou konečných prvků. Na závěr přichází technicko-ekonomické zhodnocení a doporučení pro další rozvoj.





## 2 MOTIVACE

Věda a technika musí v každé době čelit mnoha výzvam. Stále se zpřísňující požadavky na produktivitu, přesnost, ale rovněž i na ekonomickou, a především ekologickou stránku výroby je potřeba neustále zohledňovat nejen při konstrukci výrobních strojů a systémů. Trendem posledních let se stále více stává udržitelnost a cirkulární ekonomika. Tyto aspekty mohou být realizovány díky sdílení. Již nyní se lze v běžné praxi setkat se sdílenými kancelářskými prostory, osobní dopravou či ubytováním, ale také s prostory výrobními, nebo přímo se sdílenými stroji. [1]; [4]

Jedním z prostředků sdílené ekonomiky v oblasti strojírenství je právě koncept mobilního výrobního stroje stavebnicového provedení, tedy s možností modularity. Společnosti, zaměřené na opravárenské služby či kusovou výrobu, mohou díky těmto strojům provádět příslušné činnosti přímo u zákazníka, pokud je to pro danou situaci výhodnější. Stroj lze kompaktně přepravit, rozložit na místě výkonu práce a díky stavebnicovému systému vhodně upravit pro aktuální použití. Zároveň se nabízí možnost pronájmu daného zařízení subjektům, které by jej potřebovaly využít na jednorázovou činnost, a tudíž by pro ně bylo neekonomické si zařízení kupovat. [1]; [18]

Mnoho odborníků na socioekonomický vývoj se dnes pokouší nalézt nové způsoby fungování společnosti, které by zohlednily právě principy cirkulární ekonomiky a udržitelnosti. Jednou z vizí je tzv. deurbanizace a decentralizované komunitní žití. Lidé by místo ve velkých městech žili v malých společenstvích, která by byla schopna soběstačně obstarávat většinu lidských potřeb. [5]

Koncept stavebnicového frézovacího obráběcího centra střední velikosti s vodorovnou osou vřetena a možností mobility, který je řešen v této diplomové práci, by mohl mít v tomto novém společenském systému, široké uplatnění. Práce se proto zabývá nejen konstrukcí samotného stroje, ale především na možnosti provedení mobility, snadného složení a modularity jednotlivých konstrukčních uzlů.

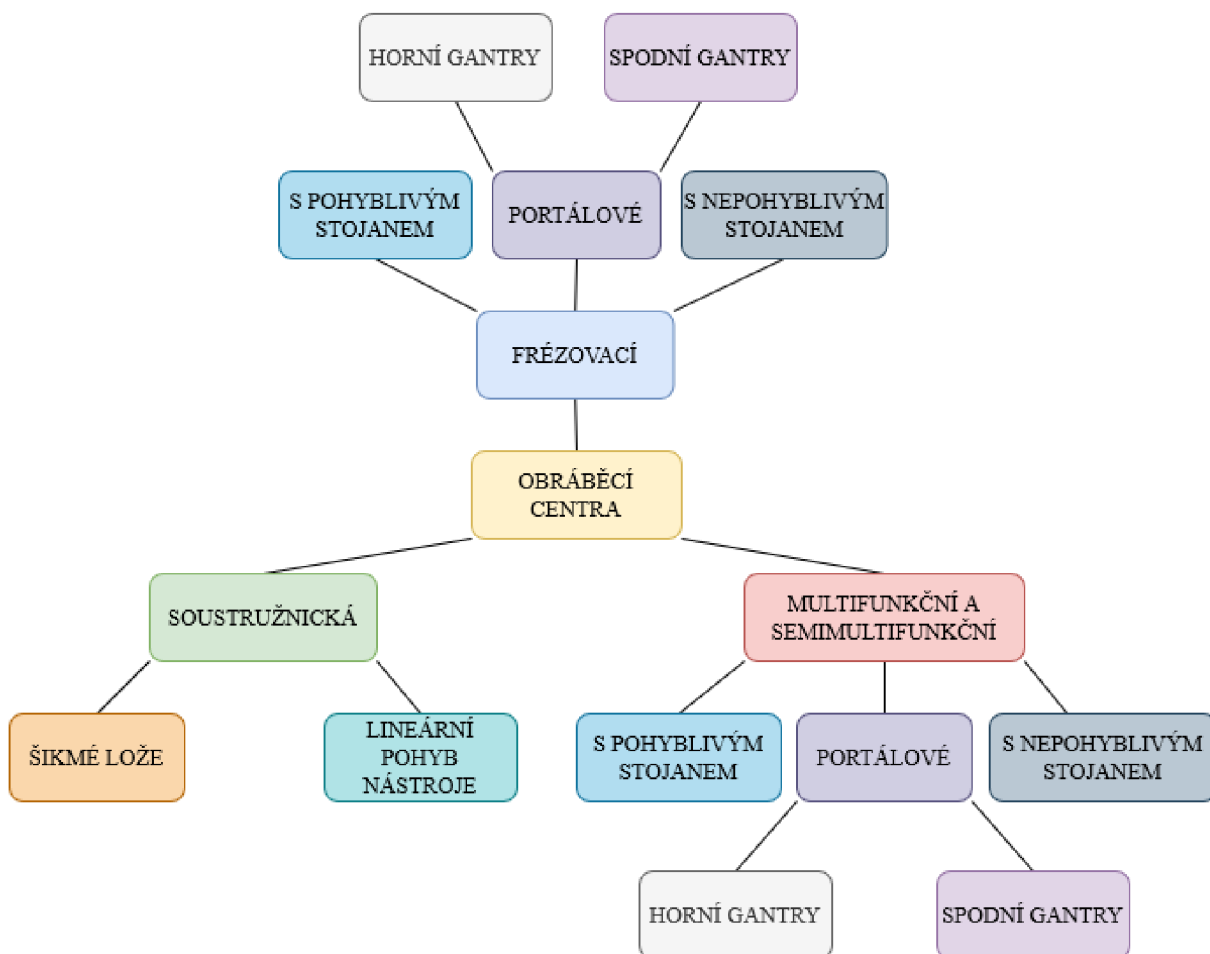


### 3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

Obráběcí centra se řadí mezi výrobní stroje, které mají široké zastoupení v oblasti obrábění kovových i nekovových materiálů. Předností je možnost provádění různých druhů technologických operací ve více osách a vysokých rychlostech obrábění. Stroje pracují v automatických cyklech za možnosti bezobslužného provozu. Rovněž disponují automatickou výměnou nástrojů a obrobků a celou řadou automatizačních, měřicích a regulačních prvků pro dosažení vysokých přesností jednotlivých operací, díky propracovaným systémům řízení a polohování. [1]; [3]; [6]

V případě obráběcích center lze rozlišit základní obráběcí operace na třískové a netřískové. Obecně lze říci, že výrobní stroje pro třískové obrábění stále tvoří většinu v průmyslových aplikacích. Lze takto dosáhnout vysokých přesností a objemů výroby při zpracování různých druhů materiálů. Taktéž náklady na nástroje jsou nižší než při ostatních způsobech obrábění. Nevýhodou je však vysoký podíl odpadního materiálu a procesy spojené s jeho odvodem z místa obrábění a následným zpracováním. [1]; [3]; [6]

S vývojem technologií se lze v průmyslu stále více setkávat s obráběcími centry pro tzv. netřískové obrábění. Existují rovněž hybridní centra, která kombinují prvky jak obrábění třískového a netřískového, tak technologie aditivní výroby. Obráběcí centra pro třískové obrábění se dále dělí dle řízeného pohybu nástroje a obrobku na soustružnická, frézovací a multifunkční (viz obrázek 1). [1]



Obrázek 1 Základní rozdělení obráběcích center [1]; [69]

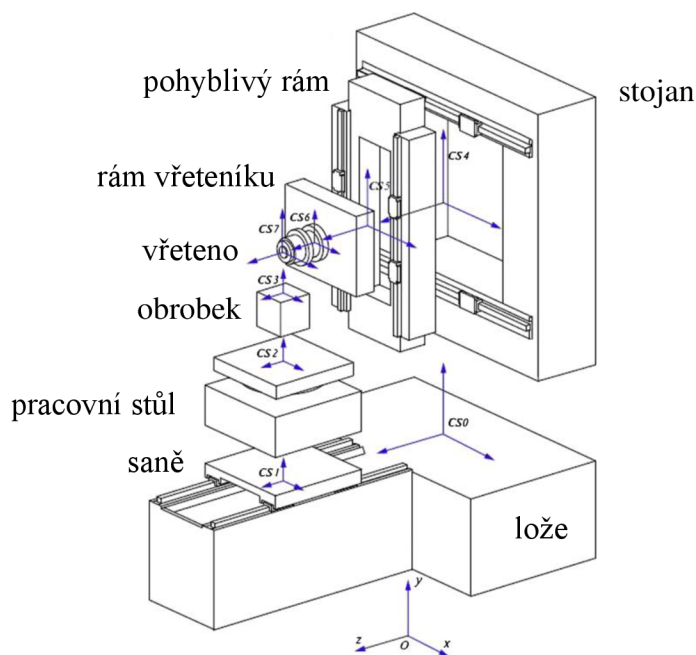
### 3.1 Frézovací obráběcí centra

Jedná se o obráběcí centra, která jsou určena primárně pro frézovací operace třískového obrábění. Mezi další operace, které jsou tato centra schopna vykonávat, lze dále zařadit například vrtání a vyvrtávání. Stroje jsou charakteristické svým frézovacím vřetenem, které bývá uloženo svisle či vodorovně. Pro náročnější aplikace mohou být stroje vybaveny tzv. univerzální frézovací hlavou, která je pohyblivá ve dvou a více osách (viz obrázek 2). Kromě center s jedním vřetenem existují také dvouvřetenová a vícevřetenová provedení. Obrobkem je zpravidla nerotační součást, která se ustavuje na upínací stůl stroje. Frézování může probíhat ve třech a více řízených osách a v kombinaci s dalšími druhy technologických operací je poté možno obrábět i rotační součásti. [1]; [3]; [6]



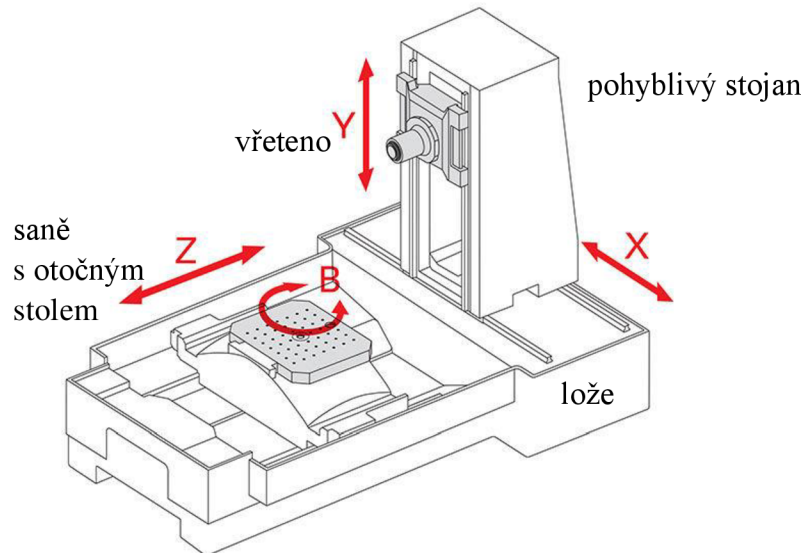
Obrázek 2 Univerzální frézovací hlava HOIL 50 TOS Varnsdorf [7]

Důležitým prvkem frézovacích obráběcích center je jejich nosná soustava. Ta určuje základní tuhost celé sestavy, dále počet stupňů volnosti jednotlivých konstrukčních uzlů a v neposlední řadě také prostorovou náročnost stroje. Prvním z možných typů je provedení s pevným stojanem. Tato konstrukce si zakládá na tuhém rámu, často z šedé litiny, který je zároveň odolný vůči vibracím. U strojů s vodorovnou osou vřetene se lze setkat s tzv. Box-in-Box provedením (viz obrázek 3), sestaveným z jednotlivých vnitřních pohyblivých rámu uložených do rámu vnějšího. [1]; [6]



Obrázek 3 Provedení s pevným stojanem, Box-in-Box [8]

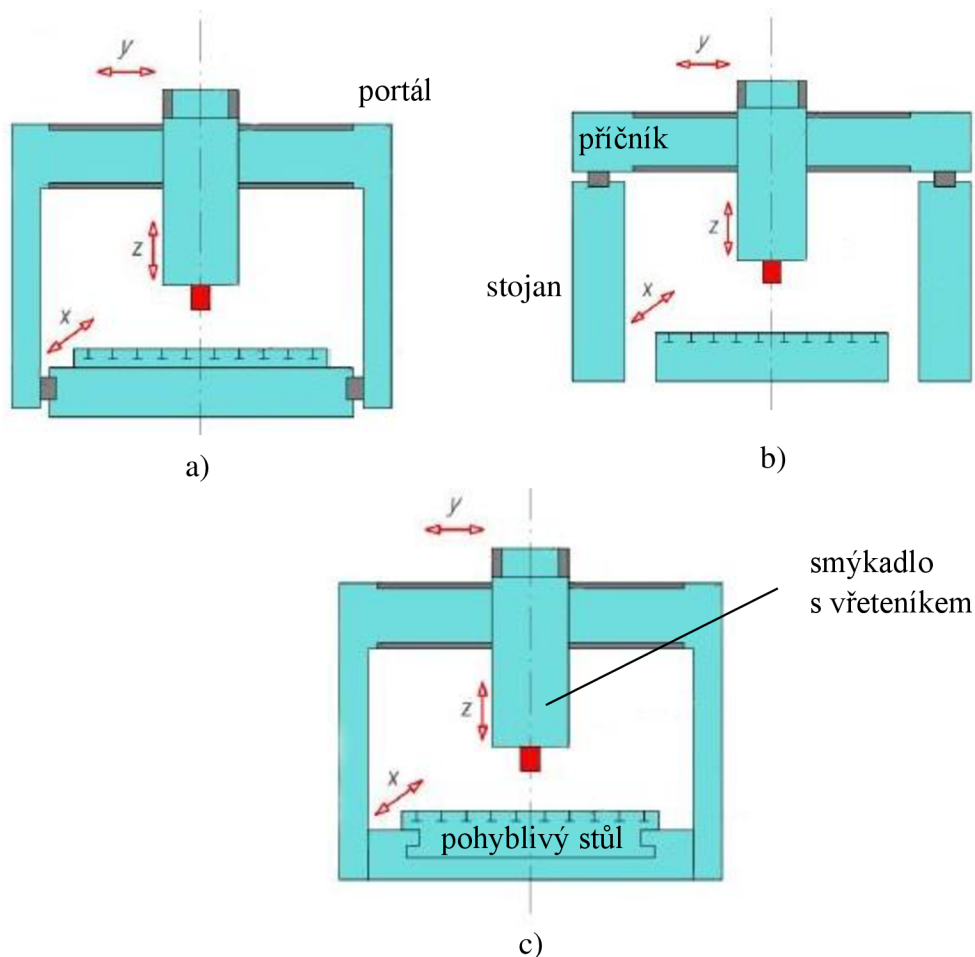
Druhý typ provedení, s pohyblivým stojanem (viz obrázek 4), může mít větší náchylnost k přenosu vibrací a nižší tuhost vlivem vodících ploch a pohonu stojanu umístěných mimo jeho těžiště. Vše však záleží na správném dimenzování a použití vhodných konstrukčních prvků. Stroj je v tomto případě kompaktnější než v provedení s pevným stojanem. Má tuhé lože, na kterém mohou být připevněny různé přídavné jednotky, včetně pomocných a obslužných agregátů. Rovněž transport je u těchto zařízení jednodušší, lze je přemisťovat jako celek například pomocí jeřábu nebo jiného manipulátoru. U strojů s vodorovnou osou vřeten se lze setkat s provedením výsuvného vřeteníku, pohyblivého ve více osách. [1]; [6]



Obrázek 4 Provedení s pohyblivým stojanem [9]

Dalším z provedení jsou portálové frézovací obráběcí stroje (viz obrázek 5). Nejčastěji nesou svisle uložené vřeteno, které může být nahrazeno i vřetenem univerzálním, tedy naklápěcím v jedné či více osách. Hlavním konstrukčním prvkem je portál a příčník, který nese vřeteník na smýkadle. Jedním z typů je stroj s pohyblivým portálem (spodní gantry). Stůl je pevný, vřeteník se pohybuje v ose Y a Z, pohyb v ose X koná portál, který je přes stojan uložen na hydrostatickém vedení. Dalším typem je stroj s pohyblivým příčníkem (horní gantry). Stůl i stojany jsou nepohyblivé, příčník je veden v ose X hydrostaticky po horní ploše stojanů. Existuje také pevné provedení, sestávající z nepohyblivého portálu, mezi jehož stojany se pohybuje stůl. Takto provedený portálový stroj dosahuje vysokých přesností, je však rozměrově náročný kvůli dlouhému stolu, jež se musí posouvat v ose X. Portálové stroje nachází uplatnění při výrobě rozměrných a složitých dílů v oblasti dopravního průmyslu nebo v ocelářství. Taktéž se hodí k opracování svařovaných ocelových konstrukcí. [1]; [6]

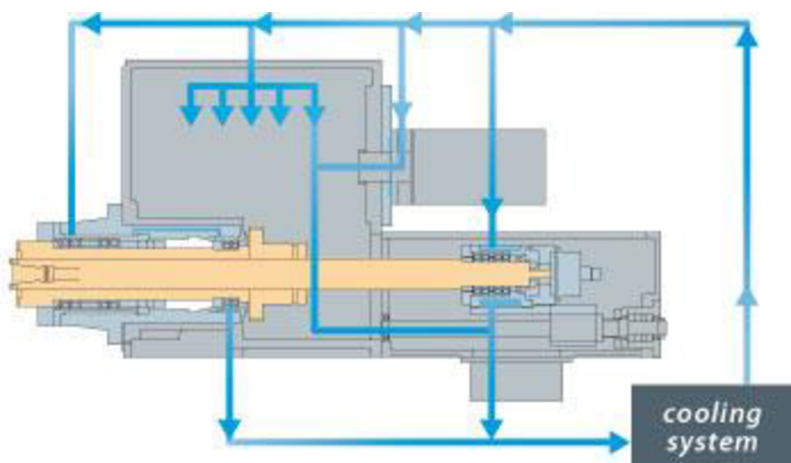
Speciální frézovací centra různě kombinují výše uvedené koncepce a prvky, doplněné o další konstrukční uzly, které mohou například přinést možnost realizace více obráběcích operací nebo více pracovních stanovišť. Obrábění je možné ve více osách, ať už navýšením počtu vřeten a jejich stupňů volnosti, tak umožnění víceosého pohybu upínacího stolu s obrobkem. Vznikají tak vysoce produktivní multifunkční stroje, které jsou schopné výkonu různých technologických procesů na rozličných obrobcích v automatickém pracovním cyklu a bezobslužném provozu. [1]; [6]



Obrázek 5 a) spodní gantry b) horní gantry c) pevný portál [1]

### 3.1.1 Frézovací obráběcí centra s vodorovnou osou vřetene

Charakteristickou vlastností těchto strojů je vřeteno, uložené horizontálně ve vřeteníku. Ten je, pevně či pohyblivě, zasazen do stojanu, případně do samostatného rámu. Uložení řešené pomocí rámu se používá například v případě Box-in-Box provedení. Předností takto konstruovaného stroje je vysoká tuhost, vřeteno má menší vyložení. Z hlediska mazání a chlazení ložisek vřetena se používá buď mazacích tuků, nebo oleje, ať už ve formě mlhy nebo tryskajícího proudu, případně směsi se vzduchem. Olej koluje v uzavřeném okruhu, který je doplněn chladicím zařízením (viz obrázek 6). [1]; [3]; [6]

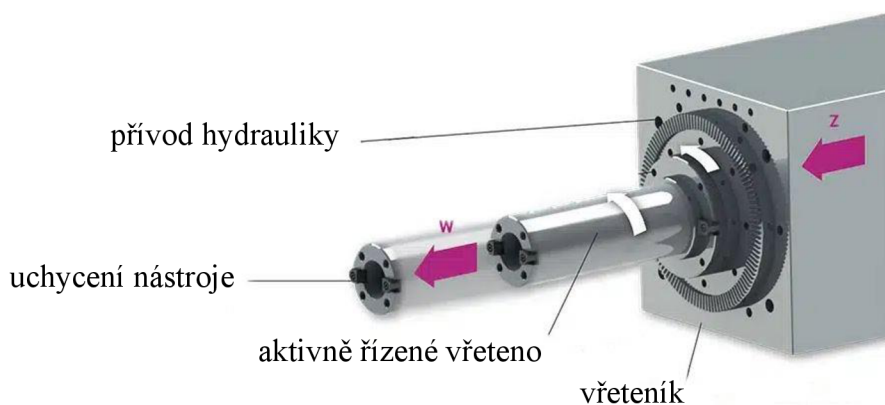


Obrázek 6 Schéma chlazení vřetene [10]



Konstrukční principy náhonů vřetene lze členit následovně [1]:

- Náhon řemenem
- Náhon řemenem s vloženou neřadící převodovkou
- Přímé spojení motoru s vřetenem přes spojku
- Přímé spojení motoru s vloženou převodovkou přes spojku
- Motor s vloženou řadící převodovkou
- Vestavěný elektromotor, elektrovřeteno
- Speciální výsuvné uložení vřetena (viz obrázek 7)



Obrázek 7 Výsuvné vřeteno Cogsdill [11]

Provedení těchto strojů bývá nejčastěji pojato jako konstrukce s pevným nebo pohyblivým stojanem. Tyto sestavy jsou rozměrově méně náročnější než portálová provedení. Lze s nimi tedy snadněji manipulovat a jejich použití je možné i v menších prostorách s nízkými stropy. Jednodušší je také montáž přídatných zařízení a obslužných agregátů. Dobře lze řešit například odvod třísek. Ty mohou být shromažďovány ve sběrné vaně, umístěné pod obráběcím prostorem společně s pásovým dopravníkem, který dále vede za stojan či rám s vřeteníkem a tvoří tak kompaktní sestavu. Vedle stojanu lze také snadno umístit zařízení pro automatickou výměnu nástrojů (dále AVO), sestávající z řetězového dopravníku a manipulátoru nástrojů. Díky vodorovnému vřetenu a otevřenému pracovnímu prostoru je možné efektivní řešení automatické výměny obrobků (dále AVO) pomocí speciálně konstruovaných stolů a pomocí manipulátorů. Pro tyto účely jsou jednotlivými výrobci často poskytovány stoly s automatickou výměnou palet (viz obrázek 8). [1]; [3]; [6]



Obrázek 8 Stoly uzpůsobené pro AVO [12]

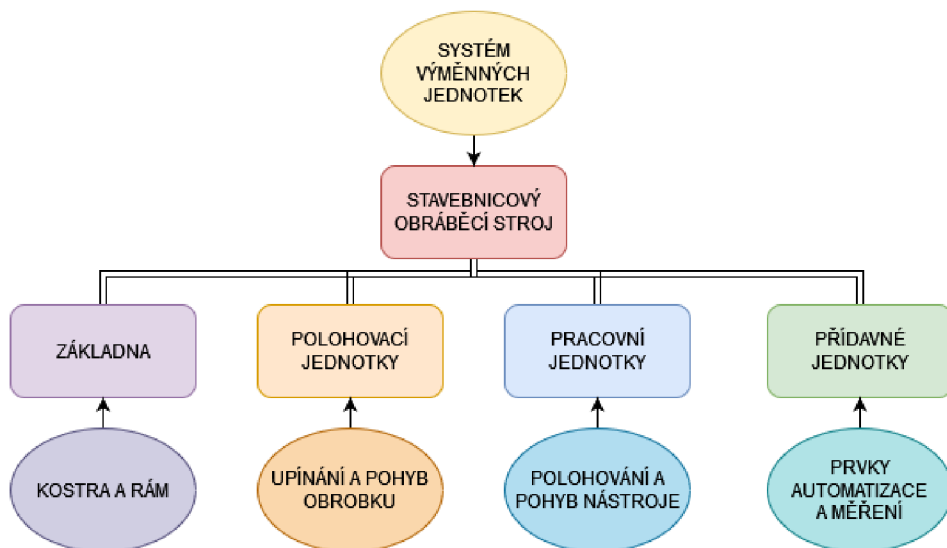
Pro své provedení jsou horizontální frézovací centra s vodorovnou osou vřetene vhodné pro obrábění komplikovaných součástí z více stran. Z hlediska kinematiky lze za použití různých koncepcí uspořádání přiřadit nástroji a obrobku několik kombinací pohybů (viz Tabulka 1). [1]

Tabulka 1 Varianty kinematického spojení [3]

Typ nosné soustavy	Nástroj	Obrodek
Pevný stojan	TTR	T
	TT	TR
	TTR	TR
Pohyblivý stojan	TTT	-
	TTTR	-
	TTRR	T
	TT	TR
	TTT	TR
	TTR	TR
	TTRR	TR
	TR	TRR
	TT	TRR
	TTT	TRR

### 3.2 Stavebnicové systémy obráběcích strojů

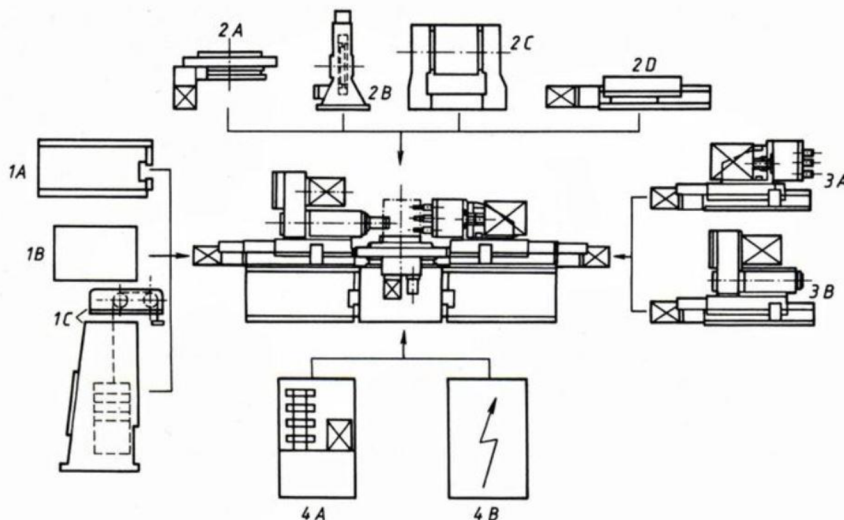
Stavebnicových systémů se dá využít k modifikaci výrobního stroje pro specifické účely použití. Potřeba stroj takto upravit může být vyvolána například nestandardním rozměrem obrobku, požadavkem na speciální technologický postup, nutností použití různých obslužných agregátů, měřících zařízení a prvků automatizace. Rovněž se stavebnicové uspořádání hodí k rozložení jednotlivých částí stroje při přepravě (viz obrázek 9). [1]; [13]; [14]



Obrázek 9 Blokové schéma stavebnicového stroje [13]; [14]; [69]



Takto konstruované stroje sestávají z hlavní kostry či rámu, na kterou lze variabilně umisťovat požadované konstrukční skupiny, tzv. jednotky, ať už typizované a normalizované, nebo speciálně vyrobené pro daný účel použití. Běžnou praxí je, že výrobci obráběcích strojů nabízí ve svých katalozích k daným modelům různé varianty těchto výměnných jednotek, které využívají buď standardizované nebo vlastní systémy uchycení. Jedná se například o vřetena, upínací stoly, systémy pro AVN a AVO. (viz obrázek 10). [13]; [14]



Obrázek 10 Stavebnicový stroj s výměnnými jednotkami [15]

### 3.2.1 Hlavní znaky stavebnicových obráběcích strojů

Stavebnicové obráběcí stroje jsou díky své konstrukci charakteristické [13]:

- zvláštním tvarem a vzhledem,
- základnou s montážními prvky,
- větším počtem pracovních vřeten a možností jejich obměny,
- větším počtem pracovních míst,
- speciálním upínacím zařízením,
- pokročilou automatizací,
- možností využití speciálních nástrojů a měřidel,
- sestavením z pracovních a pomocných jednotek,
- vysokým počtem podporovaných konstrukčních uzlů,
- širokým spektrem použitelných funkčně obslužných agregátů.

### 3.2.2 Výhody stavebnicových obráběcích strojů

Stavebnicová skladba přináší oproti klasické koncepci strojů významné výhody [13]:

- jejich rekonfigurace je levnější než pořízení nového stroje,
- při změně výrobního programu nedochází k vysokým prostojům,
- více pracovních míst snižuje hodinovou sazbu stroje a zvyšuje produkci,
- opakované využívání různých stavebnicových jednotek přináší prodloužení doby amortizace stroje,
- na stroji lze kombinovat prvky pro různé technologické operace,
- k řízení lze použít více systémů a ovladačů.

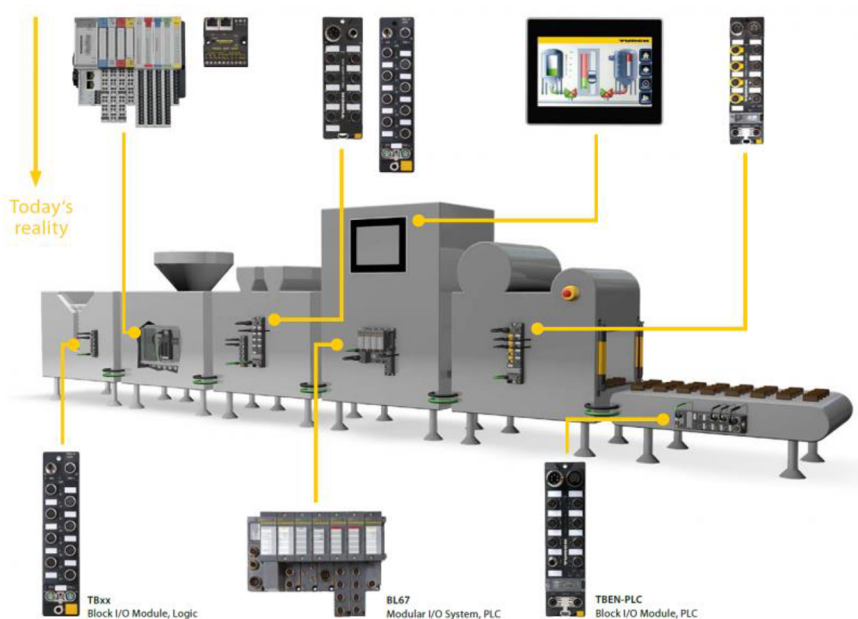
### 3.2.3 Požadavky na stavebnicové jednotky

Výměnné konstrukční uzly, tvořící hlavní podstatu stavebnicového systému, musí splňovat příslušné náležitosti [13]:

- umožňují použití pro různé aplikace
- snáze se uvádějí do provozu a demontují
- mají vysokou statickou a dynamickou tuhost
- jejich uchycení je standardizováno a schváleno pro použití na daném stroji
- jejich funkce je spolehlivá
- mají dlouhou životnost, je možno jejich opakované použití
- jsou ekonomicky výhodné pro pořízení

### 3.2.4 Modulární obráběcí stroje

Pro rychlejší a jednodušší výměnu stavebnicových jednotek se využívají tzv. moduly. Jedná se o kompaktní prvky, které se na stroji snáze obměňují díky uživatelsky přívětivé konstrukci jejich ustavovacích prvků. Obráběcí centra lze takto modifikovat a rozšiřovat o jednotlivé konstrukční uzly, v krátkém časovém horizontu tak měnit jejich vlastnosti a adaptivně je přizpůsobovat či dokonce provazovat jednotlivé stroje dohromady. Jedná se tak o důležitý prvek pro automatizaci a zefektivnění výrobních procesů. V modulárním provedení už dnes fungují celé výrobní linky, které lze snadno nakonfigurovat pro různé aplikace (viz obrázek 11). [16]



Obrázek 11 Modulární výrobní linka [16]

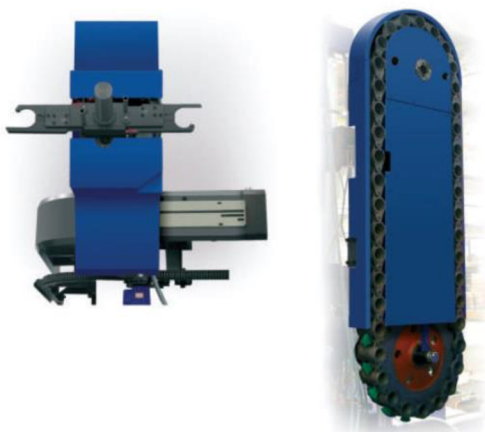
### 3.2.5 Stavebnicové frézovací obráběcí centra s vodorovnou osou vřetená

V oblasti horizontálních frézovacích obráběcích center se využívá stavebnicového uspořádání v mnoha případech. Typickým příkladem může být frézovací centrum WHN 110 (Q, MC) od společnosti TOS Varnsdorf (viz obrázek 12). Jedná se o stroj střední velikosti s pohyblivým stojanem v ose Z a výsuvným vřetenem v ose W. [17]



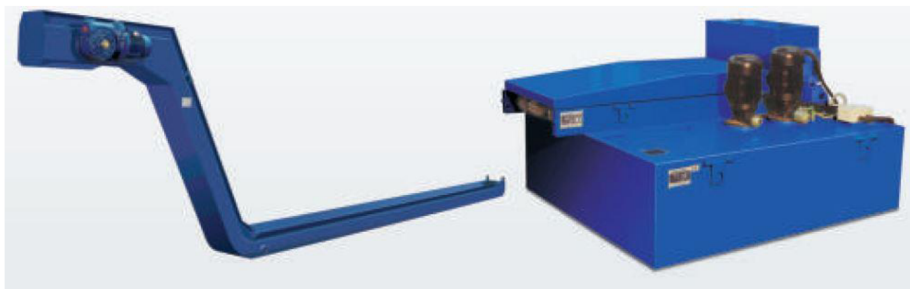
Obrázek 12 Obráběcí centrum WHN 110 (Q, MC) [17]

Stroj má v nabídce dva typy vřeteníků, vřeteník N pro výkonové silové obrábění a vřeteník N/R v rychloběžném provedení pro přesné a dokončovací operace. Zároveň je možná montáž kolmých a univerzálních frézovacích hlav. Stroj je dále možno osadit manipulátorem nástrojů a řetězovým zásobníkem, zajišťujícím AVN (viz obrázek 13). Standardní křížový stůl je vyměnitelný za stůl uzpůsobený pro automatickou výměnu palet. Stavebnicově lze upravit i pracovní prostor, díky různým variantám upínacích kostek a úhelníků. [17]



Obrázek 13 Zařízení pro AVN [17]

Výrobce stroje dále v rámci výměnného příslušenství nabízí ovládací panely pro řídicí systémy Sinumerik, Heidenhain a Fanuc. Možné je také využití plošiny pro obsluhu, která je jak horizontálně, tak vertikálně přestavitelná. Stroj lze vybavit několika různými typy měřících sond a zařízení. V případě potřeby lze obráběcí centrum doplnit o obslužné agregáty, jako je chladicí zařízení, nabízené ve dvou variantách či dopravník třísek (viz obrázek 14). Dle potřeb uživatele lze osadit různé typy krytování a ochranných klecí. [17]



Obrázek 14 Dopravník třísek a chladicí zařízení [17]

### 3.3 Mobilní obráběcí stroje

Existují případy, kdy není možné nebo ekonomicky výhodné přepravovat obrobky ke stroji. Tato skutečnost může být způsobena například nadměrnou velikostí, hmotností či fixním umístěním daného dílce. Proto je vhodné v takovýchto případech využít stroje s možností mobility. Takové stroje jsou konstrukčně uzpůsobeny tak, že se dají vcelku, případně rozložené na části ve vhodné konfiguraci, přemístit určitým přepravním prostředkem na místo určení. Pro danou aplikaci se často jedná o snazší a levnější způsob vyhotovení požadované zakázky. Využití nachází mobilní stroje v mnoha oblastech, kde se využívá těžká a rozměrově nákladná technika. [1]; [3]; [18]; [19]

Mezi příklady použití patří například [18]:

- lodní doprava,
- těžební průmysl,
- letecký průmysl,
- energetika,
- potravinářství,
- ocelářství,
- chemický průmysl,
- plynárenství,
- cementářský a vápenářský průmysl,
- petrochemický průmysl.

#### 3.3.1 Mobilní frézovací stroje

Mobilní frézovací stroje se často používají pro opravárenství a renovaci v široké škále odvětví. Jedná se kupříkladu o rovnání dosedacích či funkčních ploch, vyvrtávací operace, nebo o zafrézování přírubových ploch potrubí. Stroje mohou být usazeny buď na vlastní samonosné lože nebo upnuty přímo na obrobek. Zde mají výhodu zařízení stavebnicového provedení, jelikož disponují možností variabilní konfigurace za užití rozličných výměnných jednotek. Stroje tak lze jednoduše přestavit na požadovaný způsob užití a usazení, je však potřeba, aby zůstala zachována dostatečná tuhost pro přesné obrábění v různých podmínkách a polohách. Stavebnicové provedení rovněž umožňuje jednoduché rozložení stroje pro účely přepravy. [1]; [3]; [6]

Běžně se lze setkat se dvěma základními typy konstrukcí. Prvním typem je konstrukce orbitální, vřeteno obíhá na rotačním rameni a lze tak obrábět převážně kruhové profily. Dalším typem je konstrukce lineární, kde je vřeteník unášen buď na jenom vedení nebo na portálové konstrukci s gantry. [19]; [21]

Existuje několik výrobců, kteří tyto mobilní frézovací stroje nabízejí a jejich počty se postupem času rozšiřují. Jedním z nich je například italská společnost Sir Meccanica S.p.A, která má v nabídce několik typů přenosných strojů, povětšinou s možností číslicového řízení, pro různé technologické úkony. Vnitřní a vnější závitování a broušení obstarávají produktové řady W CNC, TMax a Top. Pro vyvrtávání je vyvinuta řada RSX9, což jsou vyvrtávačky s možností přístupu do míst, kam se konvenční stroje nedostanou. Dále společnost nabízí i zařízení s možností navařování materiálu, jedná se o řady W a RW. V neposlední řadě se v nabídce nachází i semiautomatický lineární řezací stroj SM 500 s až šesti stupni volnosti. [19]

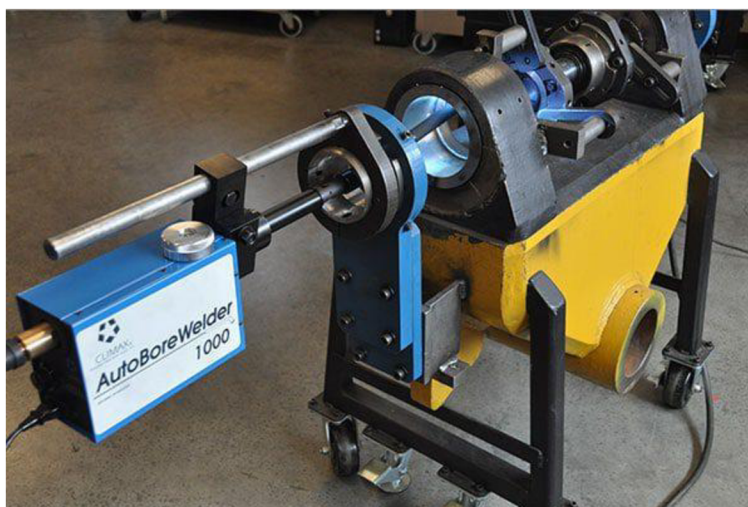


Na frézovací operace se zaměřuje řada FMAX (viz obrázek 15). Jedná se o zařízení orbitálního provedení se svislou osou vřetena, které je uloženo na rotačním rameni. Víceraenné tuhé ložem se upíná přímo na obráběnou součást. Díky stavebnicové konstrukci je možné užití různých koncových hlav a místo frézování tak provádět například vrtání, vyvrtávání, závitování, svařování nebo řezání kyslíkem. Strojů je v nabídce 5 (Fmax 800, 1500, 3000, 4000 a 6000), liší se dle maximálního průměru dosahu vřetena a všechno příslušenství je mezi nimi záměnné. [20]



Obrázek 15 Frézovací stroj FMAX 4000 při vyvrtávání [20]

Mezi další výrobce zaměřující se na výrobu přenosných strojů se řadí společnost Climax se sídlem v Oregonu, USA. Nabízí také širokou paletu nabízených zařízení, od vyvrtávaček přes soustruhy, orbitální frézky a orovnávací zařízení až po zařízení na opravu ventilů či hran potrubí. Stroje mohou být ručně nebo číslicově řízené. Většina je provedena stavebnicově, některé stroje se mohou navzájem provázat a vytvořit tak multifunkční zařízení. Jedním z příkladů může být montáž svařovacího zařízení na těleso vyvrtávačky (viz obrázek 16). Společnost je také známa poskytováním služeb v oblasti výpůjček těchto strojů. [21]



Obrázek 16 Vyvrtávací a svařovací stroj BW 1000 [21]

Jedním z produktů společnosti Climax jsou právě mobilní tříosé frézovací stroje s lineárním vedením. Příkladem je model PM4200, jehož vřeteno je možno pohánět jak elektricky, tak hydraulicky a pneumaticky. Modely LM 5200 a LM 6200 jsou přestavitelné na portálové provedení (viz obrázek 17), zajišťující vyšší tuhost soustavy. Vodící lišty disponují systémy pro snížení tření a pohybovým ústrojím tvořeným kuličkovými šrouby a maticemi. Vedení je možno také spojovat dohromady. Výrobce zaručuje tuhost takto prodlouženého systému až do trojnásobku původní délky. Zařízení lze umístit v různých polohách, a tudíž jsou schopná provádět horizontální, vertikální i invertované frézovací operace, včetně vyvrtávání a závitování. [21]



Obrázek 17 Rekonfigurace z lineárního na portálové provedení [21]

### 3.3.2 Využití nekonvenčních materiálů

Při konstrukci mobilního obráběcího centra je potřeba zvážit několik důležitých hledisek. Pro snadnou a ekonomickou přepravu je potřeba co nejnižší hmotnosti stroje. Přesnost obrábění zase vyžaduje vysokou tuhost celku i jednotlivých konstrukčních uzlů, jejichž přesnost polohování a bezvúlové uložení musí být zajištěno i po mnohonásobném složení a rozložení stroje či výměně jednotek. [22]

V úvahu tedy přichází užití nekonvenčních materiálů. Ty mohou vykazovat lepší mechanické vlastnosti, jako je například tuhost, hustota či tlumení vibrací, než běžně používané materiály na bázi Fe-C. Nevýhodou je však jejich vysoká cena, která je důležitým parametrem při konstrukci strojů z hlediska ekonomického zhodnocení nákladů a návratnosti investic. Proto se přistupuje k materiálům hybridním, které jsou realizovány vhodnou kombinací konvenčních a nekonvenčních prvků. Díky stále se rozvíjejícím technologiím výroby a zpracování se dá předpokládat, že se nekonvenční materiály budou využívat stále častěji. [22]

Mezi příklady jednotek, které je možno vyrábět za užití nekonvenčních či hybridních materiálů patří například [22]; [23]

- vřetena – (viz obrázek 18) uhlíková vlákna, menší průhyb, snížení hmotnosti až o 50 %, momentu setrvačnosti až o 66 % a teplotníhonutí až o 80 %
- vřeteníky – kompozitní uhlíkové lamináty, vyšší řezné rychlosti a vyšší přesnosti, zvyšuje se dynamické tlumení a tuhost, hmotnost se snižuje až o 60 %
- hnací hřídele – uhlíkový laminát, snižuje se hmotnost a zvyšuje tuhost, což má za následek možnost provozu ve vyšších otáčkách s menší zátěží ložisek

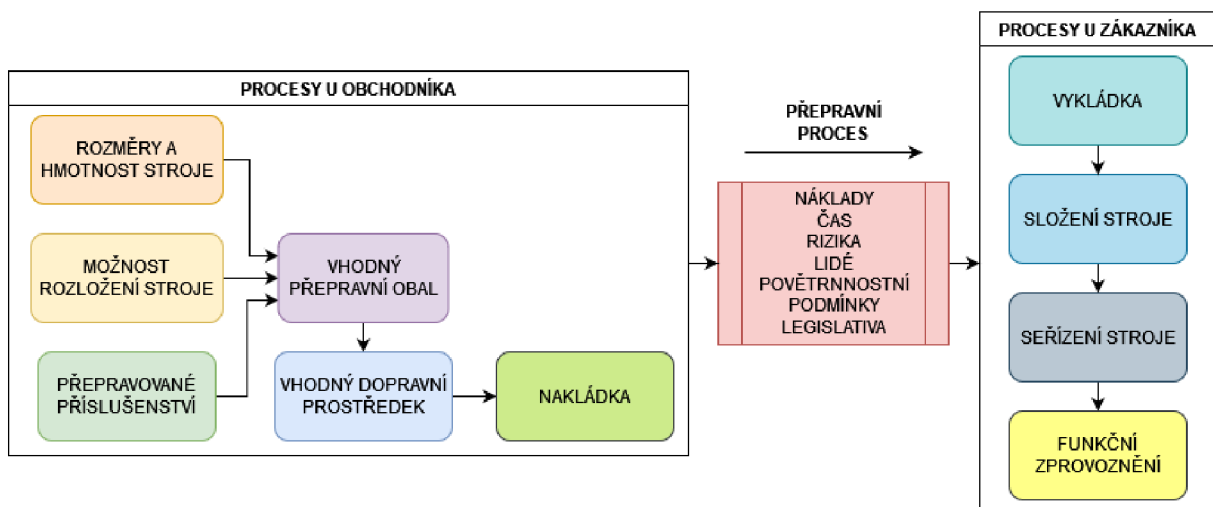
- pomocné hřídele – karbid křemíku, zlepšení schopnosti přenosu kroutících momentů, lepší je také tuhost ve smyku a v tahu/tlaku, úspora hmotnosti dosahuje až 60 %
- pracovní stoly – keramika, lepší elektrická izolace, tuhost, odolnost proti ořezu, stárnutí, korozi a tepelným změnám
- stojany – kompozitní materiály, snížení hmotnosti nosníku i saní, nižší nároky na uložení, vyšší zrychlení
- nosné konstrukce – granit, polymerbetony, kombinace ocelových svařenců a polymerbetonové výplně, vyšší tuhost a tlumení



Obrázek 18 Frézovací vřeteno IPT Aachen vyrobené z hybridního materiálu [23]

### 3.4 Transport obráběcích strojů

Obráběcí stroje je nutno přepravovat. Stroje stacionární projdou procesem přepravy alespoň dvakrát, jednou na začátku životnosti při dopravě nového zařízení k zákazníkovi, podruhé po ukončení životnosti od zákazníka k likvidaci. U mobilních strojů se očekává naopak vysoká frekvence přepravy, proto je potřeba jednotlivé způsoby a možnosti důkladně zhodnotit (viz obrázek 19). Nejedná se o jednoduchý úkon, obráběcí stroje a centra mohou nabývat vysokých hmotností a velkých rozměrů, taktéž je spolu s nimi potřeba přepravovat jednotlivé pomocné a obslužné agregáty a v případě potřeby výměnné jednotky. [1]; [3]



Obrázek 19 Procesní diagram transportu obráběcích strojů [1]; [3]; [69]

### 3.4.1 Dopravní prostředky

Pro pohyb nákladu, určeného k přepravě, se využívá dopravních prostředků. Těch existuje několik druhů v závislosti na přepravní vzdálenosti, počáteční a destinaci, přepravním obalu, typu přepravovaného nákladu (stroje), jeho velikosti, hmotnosti a specifických požadavcích pro manipulaci s ním. Jednotlivé malé mobilní stroje jdou pohodlně přepravovat bez vyšších nároků například osobními automobily či menšími dodávkami, pro střední a velké stroje a obráběcí centra je už nutné volit vhodně dimenzovaný přepravní obal a s tím také příslušný dopravní prostředek nákladního charakteru či jejich kombinaci pro rychlý a ekonomický transport. [1]; [3]

Druhy nákladních dopravních prostředků se z hlediska druhu přepravy člení na [1]; [24]:

- leteckou přepravu – pro lehké stroje, rychlá a nákladná,
- vodní přepravu – velké a těžké stroje, dlouhé vzdálenosti, mezinárodní přeprava,
- železniční přepravu – velké a těžké stroje, do míst, která jsou poblíž železnice,
- silniční přepravu – pomocí nákladních automobilů, dovoz na téměř kterékoli místo určení, často užití speciálních návěsů a manipulátorů.

Statistický úřad EU udává k roku 2021 podíly na přepravním výkonu [24]; [25]

- letecká přeprava: 0,2 %,
- vodní přeprava: 67,8 % (z toho 17,2 % kontejnery) pro mezinárodní přepravu, 1,6 % (z toho 7,8 % kontejnery) pro vnitrostátní přepravu,
- železniční přeprava: 5,5 % (z toho 22 % kontejnery),
- silniční přeprava: 24,9 % (z toho 5,8 % kontejnery).

Logistika a přeprava zboží podléhá moderním trendům, které mají za cíl zefektivnění, zlevnění, ekologii a udržitelnost. Pro spalovací motory jednotlivých dopravních prostředků se vyvíjejí alternativní syntetická paliva, na vzestupu je rovněž elektrifikace. Využití postupně nachází i internet věcí a umělá inteligence, zatím ve stadiu zpracování a přenosu důležitých dat, například při kontrole a výpočtu optimální trasy přepravy pro maximální rychlost, bezpečnost a minimalizování emisí CO<sub>2</sub> a při predikci poptávky. Pozdější vize je založena na autonomii samotných dopravních prostředků. Cílem je zefektivnění hlavně posledního úseku přepravy přímo ke spotřebiteli, tzv. doručení do poslední míle. [28]; [29]; [30]; [31]

### 3.4.2 International Commercial Terms

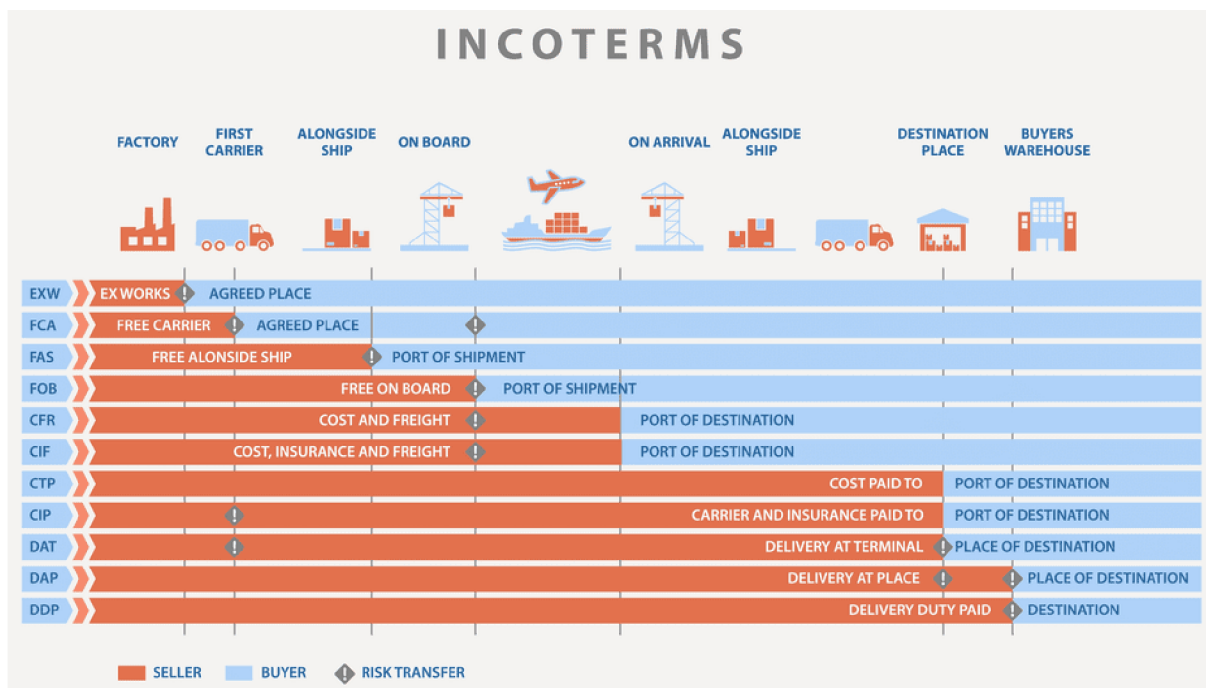
Při mezinárodním obchodu a transportu mezi sebou interaguje několik různých zemí a ekonomických subjektů, z nichž každý může mít rozdílné vnitřní obchodní zákony. Se stále rozrůstajícím zahraničním obchodem byly pro určitou standardizaci a přehlednost roku 1936 stanoveny mezinárodní obchodní podmínky, nazývané zkráceně Incoterms. [26]; [27]

Mezi klíčové aspekty Incoterms patří [26]; [27]:

- smluvní povinnosti a závazky prodávajícího a kupujícího,
- odpovědnost smluvních stran za různé logistické operace,
- odpovědnost smluvních stran za bezpečnostní rizika, náklady na pojištění zboží,
- odpovědnost smluvních stran za provedení celního odbavení zboží,
- okamžik přechodu odpovědností z prodávajícího na kupujícího, místo dodání.



Pravidla nejsou závazná, ale pro svou efektivitu bývají začleněna do mnoha mezinárodních kupních smluv. Jednotlivé skupiny podmínek jsou rozděleny na jedenáct druhů, reprezentovaných třípísmennými zkratkami. Zvolení optimální varianty je často předmětem vyjednávání mezi jednotlivými smluvními stranami se snahou o kompromis v oblasti odpovědnosti za zásilku a s tím spojenými náklady. Incoterms se v průběhu let upravují a obměňují, aktuální verze vyšla v roce 2020 (viz obrázek 20). [26]; [27]



Obrázek 20 Incoterms 2020 [27]

### 3.4.3 Přepravní prostředky a obaly

Přeprava obráběcích strojů a center je náročná záležitost. Zařízení je při transportu nutno chránit proti různým druhům poškození a namáhání, která mohou po dobu cesty vzniknout. Proto musí být přepravní obal dostatečně tuhý a odolný proti vibracím, aby se předešlo mechanickému namáhání stroje. Zároveň je potřeba, aby zvolený obal dostatečně chránil proti povětrnostním vlivům, tepelnému namáhání a vniknutí nežádoucích látek. [1]; [3]

Volba vhodného prostředku se odvíjí od několika hledisek. V první řadě je potřeba zohlednit přepravní trasu a všechny rozměrové a hmotnostní nároky, kladené přepravovaným strojem. Dále možnosti jeho naložení do přepravního obalu a následnou fixaci. Poté přichází rozhodování, zdali použít obal vyrobený na míru nebo využít standardizovaných a normalizovaných prostředků a případnou potřebu jejich úprav. Následně se volí dopravní prostředek či jejich kombinace, optimální pro účely transportu. [1]; [3]

#### Volná přeprava

Pro krátkou, povětšinou vnitrostátní přepravu lze využít transportu stroje, který je volně uložen na pevném podkladu a bez speciálního obalu. Tohoto systému lze využít pro malé, nebo naopak příliš velké stroje, které by se do standardizovaných prostředků umísťovaly obtížně a výroba individuálního obalu by byla neekonomická. [34]; [35]

Přepravované zařízení se transportuje nejčastěji po silnici, pro rozměrné a hmotné stroje lze využít například vícenápravové podvalníky (viz obrázek 21). Ty mají vysokou nosnost, která se pohybuje okolo 40 tun, avšak může dosáhnout až přes 100 tun. V České republice omezuje aktuálně platná legislativa maximální hmotnost jízdních souprav na 48 tun. Otevřená ložná plocha podvalníku umožňuje umístění požadovaného nákladu pomocí jeřábu či jiného zdvihacího zařízení. Krytí je realizováno povětšinou pomocí plachty. Nevýhodou tohoto řešení je nízká ochrana stroje proti namáhání a povětrnostním vlivům. Některé podvalníky mohou být vybaveny vlastní konstrukcí krytování. [33]; [34]

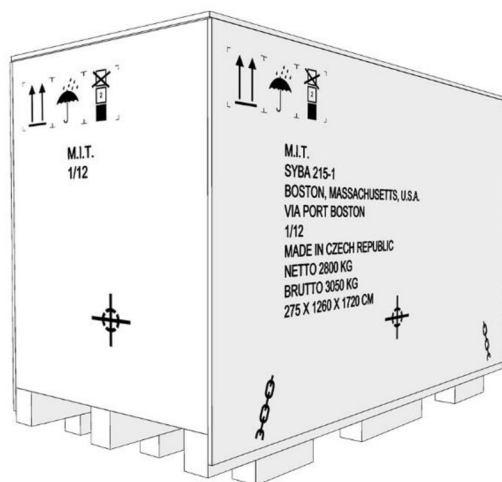


Obrázek 21 Nadrozměrný náklad na podvalníku [32]

### Přepravní palety a bedny

Vyšší stupeň ochrany, lepší manipulační a logistické operace při transportu umožňují přepravní palety. Lze s nimi snáze zacházet za užití vysokozdvizných vozíků. Jedná se o transportní plošiny vyrobené povětšinou ze dřeva, s normalizovaným tvarem a rozměry. V případě potřeby lze jednotlivé palety vyrábět či upravovat na míru přepravovanému stroji dle Směrnice pro exportní balení. [1]; [3]; [35]

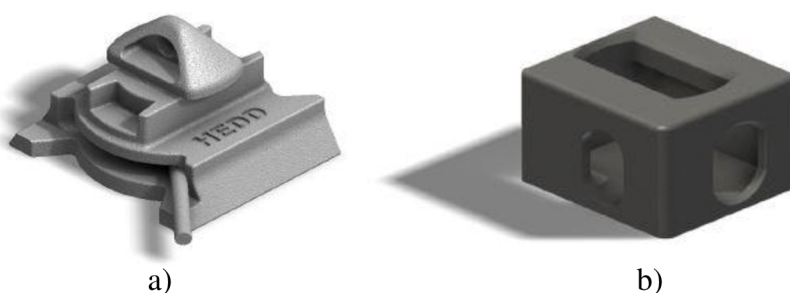
Přepravované zařízení nemusí být chráněno jen plachtou. Samotné palety mohou být vybaveny doplňující konstrukcí v podobě nosných sloupků, na které je možno upevnit boční stěny a v případě potřeby i víko. Vzniká tak přepravní bedna (viz obrázek 22), která lépe odolává možným působícím silám, vzniklým při nakládání a transportu, možné je také zatížení nákladem shora. Takto řešené přepravní bedny lze transportovat různými druhy dopravních prostředků, například silniční, ale také vodní a leteckou přepravou. [1]; [24]; [35]



Obrázek 22 Přepravní bedna [35]

## Kontejnery

Pro unifikovaný, hromadný a koncepčně jednoduchý transport se používají přepravní kontejnery. Tato přepravní zařízení se vyznačují značnou tuhostí a odolností vůči zatížení, povětrnostním vlivům či teplotním změnám. Jedná se o ocelové konstrukce, jejichž rozměry, hmotnost, nosnost a další náležitosti jsou normalizovány. Proto jsou na jejich užití přizpůsobeny i dopravní prostředky, což umožňuje jednoduchou nakládku, vykládku a fixaci. Zároveň je usnadněno překládání kontejnerů mezi jednotlivými prostředky. Normované kontejnery jde také úsporněji skladovat a díky standardizovaným úchopovým bodům se s nimi snadno manipuluje, možné je i využití automatizace. Úchopové body jsou realizovány podle normy ISO 1611:2016 pomocí rohových prvků a otočných zámků (viz obrázek 23), které slouží i jako kotvící prvek při skládání kontejnerů na sebe. [36]; [37]; [39]



Obrázek 23 a) otočný zámek b) rohový prvek [41]

Podle normy ISO 668:2020 se přepravní kontejnery člení na řady 1 až 3, dle hmotnosti. Řada 1 může nabývat celkové hmotnosti 10 až 30 tun, celková hmotnost řady 2 je 5 až 7 tun a v řadě 3 se nachází kontejnery do 5 tun. Řada 2 a 3 se dnes používá jen ojediněle, většinu tvoří ISO kontejnery řady 1, které se rozlišují na několik typů (viz tabulka 2). Díky svému uložení, tuhosti a nosnosti je možné při většího množství těchto kontejnerů jich na sebe umístit 5 až 8 najednou. Navrženy byly primárně pro lodní přepravu, dnes jsou však na jejich uchycení přizpůsobené i další dopravní prostředky, včetně silničních přívěsů. [38]; [40]

Tabulka 2 ISO kontejnery řady 1 [38]

Označení	Délka	Výška	Šířka	Maximální hmotnost brutto
	[mm]	[mm]	[mm]	[kg]
1A	12192	2438	2438	30480
1AA	12192	2591	2438	30480
1B	9125	2438	2438	25400
1BB	9125	2591	2438	25400
1C	6058	2438	2438	20320
1CC	6058	2591	2438	20320
1D	2991	2438	2438	10160
1E	1968	2438	2438	7110
1F	1460	2438	2438	5080

Existují však i jiné druhy kontejnerů, než jaké jsou definovány ISO normou. Pro přepravu nákladu na EURO paletách se využívají tzv. vnitrozemské kontejnery, které mají podobné úchopové prvky, jako ty, které jsou dané normou ISO 1611, avšak nejsou kompatibilní pro lodní přepravu. Dalším druhem jsou kontejnery uzpůsobené letecké přepravě a také kontejnery odvalovací, disponující kluznou či valivou plochou na jedné a tažným okem na straně druhé. Využívají se na transport sypkých materiálů nákladními automobily nebo vlaky s navijecím hákem. [36]; [40]

Samotné provedení ISO kontejnerů se dle provedení dělí na (viz obrázek 24) [36]:

- kontejnery pro všeobecné použití – plně uzavřené
- kontejnery s otevřenou horní částí – tzv. open top
- kontejnerové plošiny
- kontejnerové plošiny se sklopnými čely – tzv. flatracks
- kontejnery s otevřenými boky
- tunelové kontejnery – dveře na obou koncích
- chladicí kontejnery – izolované stěny a regulovatelná teplota
- tankové kontejnery – přeprava kapalných, plyných či sypkých materiálů



a)



b)



c)



d)

Obrázek 24 a) open top b) otevřené boky c) flatrack d) chladicí kontejner [36]



### 3.5 Shrnutí současného stavu poznání

Obráběcí centra jsou stroje s uplatněním pro širokou oblast použití. Kombinují více technologických operací, dokážou pracovat v automatických cyklech a v bezobslužném provozu. Umožňují vysokou rychlost a přesnost obrábění, díky implementaci automatizačních, měřících a regulačních prvků. Existují centra pro třískové i netřískové obrábění, případně pro hybridní provoz s kombinací aditivních technologií. Aplikace třískového obrábění je stále nejpoužívanějším způsobem, díky nízkým nákladům na nástroj a vysoké rychlosti produkce.

Frézovací obráběcí centra jsou charakterizována pohybem vřetena s nástrojem, umožňující obrábění nerotačních součástí. Provedení s univerzální frézovací hlavou nebo s více vřeteny výrazně rozšiřuje možnosti stroje pro obrábění komplikovaných dílců různého charakteru. Základním prvkem těchto strojů je jejich nosná soustava, která se dělí na provedení s pevným nebo pohyblivým stojanem a na provedení portálové. Další členění určuje orientace hlavního vřetena. Ta může být buď svislá nebo vodorovná. Centra s vodorovnou osou vřetena, tzv. horizontální, disponují vyšší tuhostí soustavy a menší prostorovou náročností, díky které lze přímo k základně stroje umístit obslužné agregáty. Vzniká tak poměrně kompaktní obráběcí centrum vhodné pro velkou škálu operací.

Stavebnicová konstrukce těchto zařízení má za následek vysokou variabilitu použitelných konstrukčních uzlů a optimální přizpůsobení stroje požadované aplikaci. Výměnné jednotky jsou často normalizované a poskytované přímo výrobcem. Jedná se hlavně o nástrojové hlavy a vřetena, upínací, měřící a polohovací prvky. U některých strojů lze takto přestavět i samotné prvky nosné konstrukce. Trendem je pojetí jednotlivých jednotek formou modulů, které jsou jednoduše vyměnitelné. Modulem může být i samotný stroj v rámci celé výrobní linky.

Mobilní obráběcí stroje a centra jsou zařízení, která lze přemísťovat přímo k zákazníkovi v případech, kdy není možný nebo ekonomicky výhodný transport obrobku. Jejich aplikace je nejčastější v opravárenských činnostech na velkých zařízeních, například v těžebním a energetickém průmyslu, lodní dopravě, plynárenství a další. V současnosti se mezi mobilní stroje řadí spíše malá zařízení. Velké stroje jsou na přepravu náročné, často se musí komplikovaně rozkládat a po opětovném sestavení musí být zachována jejich tuhost a přesnost. Z konstrukčního hlediska přichází v úvahu užití nekonvenčních materiálů, které vykazují lepší mechanické vlastnosti a nižší hmotnost než konvenčně používané materiály.

Samotná přeprava obráběcích strojů je komplikovaný proces, který vyžaduje několik operací. V prvé řadě je potřeba zhodnotit rozměrové a hmotnostní vlastnosti přepravovaného zařízení, dále trasu a ekonomickou náročnost transportu, také všechny legislativní požadavky. Následně probíhá volba přepravního obalu a dopravního prostředku. Poté se řeší procesy, které je nutné udělat po dodání k zákazníkovi a které vedou k funkčnímu zprovoznění stroje.

Přeprava je možná různými druhy dopravních prostředků, v závislosti na vzdálenosti a lokaci cílové destinace. Pro dlouhé mezistátní transporty lze využít lodní, letecké či vodní dopravy. Kratší, vnitrostátní přeprava se uskutečňuje převážně po silnici. Stroje musí být při transportu vhodně zabaleny, aby odolávaly možným vzniklým namáháním a povětrnostním podmínkám. V některých případech postačí jejich volné uložení a prosté krytí plachtou, častěji se však přeprava uskutečňuje na paletách, které mohou být uzpůsobeny v přepravní bedny. Pro koncepčně jednoduchý transport se využívají normalizované kontejnery, které lze přepravovat širokou škálou dopravních prostředků. Kontejnery disponují rohovými úchopovými prvky, jež jsou určeny pro manipulaci a fixaci.



## 4 SYSTÉMOVÝ ROZBOR ZADANÉ PROBLEMATIKY

Systémový přístup je jedním ze tří dílčích prvků Brněnské konstrukční školy. Jedná se o podpůrný prostředek využívaný při procesu hledání řešení zadaného úkolu. Spočívá v bližší definici zadaného problému a jeho vymezení v podobě podstatných veličin, požadavků a očekávaných výstupů. Dále probíhá stanovením pevných cílů, které tvoří rámec následného řešení. Jedná se o uvědomělou cestu k získání kritérií, podle kterých lze následně vyhodnotit optimální postup pro další činnosti. [2]; [42]

### 4.1 Definice problému

Některé speciální aplikace vyžadují, aby byly frézovací obráběcí stroje a centra schopna mobility do různých míst nasazení. S rozvojem cirkulární ekonomiky rovněž přicházejí tendence ke sdílení výrobních prostředků mezi jednotlivými subjekty. Požadavky na stroj se tak zároveň rozšiřují o možnosti stavebnicového uspořádání, které zajišťuje vyšší univerzálnost použití.

V současné době se takto provozují některé malé stroje, nasazené spíše jednoúčelově v oblasti opravárenství. Upínají se často přímo na obrobek a nepotřebují tak pevnou základnu. Pro tento fakt a nízkou hmotnost těchto strojů není jejich transport příliš náročný a nákladný.

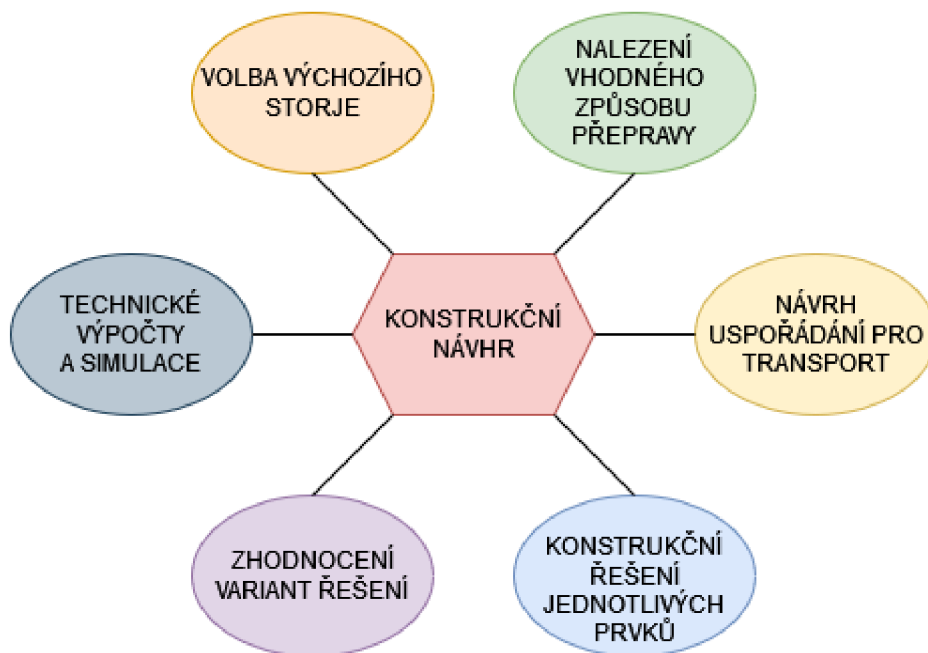
U středních a velkých strojů je přeprava podstatně komplikovanější a probíhá převážně jen za účelem převozu zařízení určeného k následné pevné zástavbě. Také možnosti jejich stavebnicové variability jsou omezeny ne příliš uživatelsky jednoduchým systémem upevnění a výměny konstrukčních uzlů.

### 4.2 Stanovení cílů

Diplomová práce má za cíl řešit problém tvorby konstrukčního návrhu stavebnicového frézovacího obráběcího centra střední velikosti s vodorovnou osou vřetena, které by bylo schopné mobility a jednoduché modularity za současného zachování přesnosti a možnosti konvenčního použití v místě nasazení. Pro účely transportu i následného provozu bude stroj umístěn do jednoho zvoleného transportního obalu. Zde bude zařízení pevně uloženo, včetně jeho příslušenství, výměnných jednotek a obslužných agregátů. Tomuto účelu musí být uzpůsoben jak přepravní obal, tak samotný stroj z hlediska nosné soustavy a stavebnicové konstrukce. Vhodné varianty řešení budou posouzeny multikriteriální analýzou.

#### 4.2.1 Postup řešení

Výchozím bodem práce je *rešerše současného stavu* poznání. Z ní vychází podstatné náležitosti pro získání povědomí o zadaném stroji. Tyto poznatky vedou k následnému vypracování praktické části práce. Ta v první řadě spočívá v *definici stroje*, který bude vhodný pro danou aplikaci. Následně proběhne s ohledem na jeho parametry volba optimálního provozního a transportního obalu včetně *přepravního uspořádání* stroje a *způsobu přepravy*. Další bod práce spočívá v nalezení *konstrukčního řešení* stavebnicového uspořádání, přepravně-provozního celku a zajištění stroje. Poté budou jednotlivé návrhy *zhodnoceny* za podpory *simulace a technických výpočtů*. Vznikne tak **konstrukční návrh** (viz obrázek 25), u kterého je nutné ověřit **proveditelnost** a vyhodnocení z **ekonomického hlediska**. Posledním bodem je **rozhodnutí** nad výsledným řešením a **doporučení** pro další rozvoj.



Obrázek 25 Dílčí cíle práce [1]; [2]; [3]; [42]; [69]

### 4.3 Požadavky a podstatné veličiny

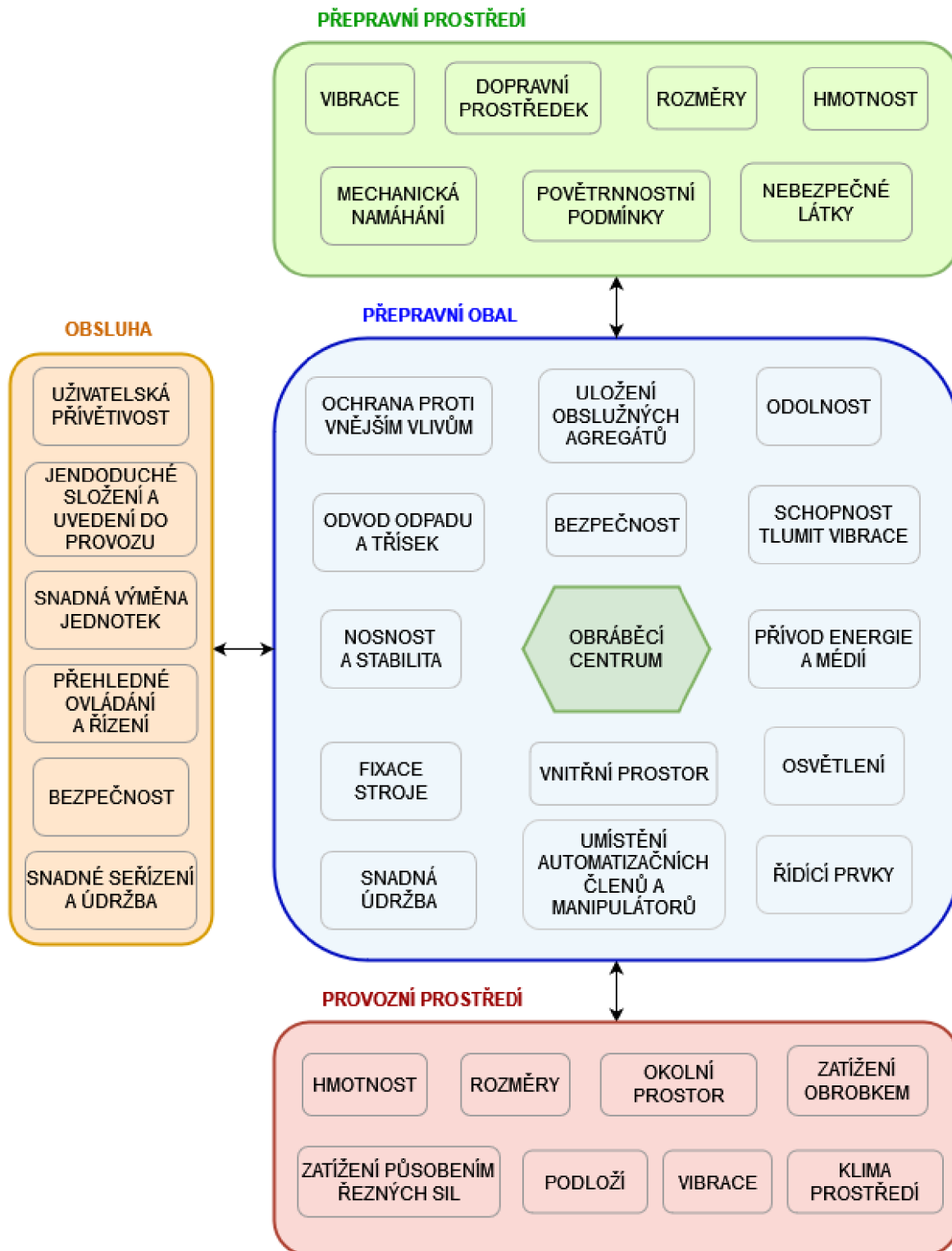
Obráběcí centrum, které je předmětem práce, by mělo splňovat několik klíčových vlastností:

- mobilita – snadné umístění do přepravního obalu, bezpečný transport a manipulace
- modularita – užití menších, samostatně fungujících jednotek s možností jejich uspořádání dle potřeby
- stavebnicovitost – variabilita sestavy formou výměnných uzlů a jednotek
- univerzálnost – pro více druhů obrobků a obráběcích operací
- standardizace – sjednocování opakujících se řešení
- typizace – sjednocení procesů a předmětů do jednotného souboru typů
- mechanická odolnost – statická a dynamická stabilita, zachování výrobních vlastností i po mnoha přepravách
- přesnost – s tím spojené možnosti seřízení jednotlivých konstrukčních uzlů
- produktivita – schopnost výroby daného počtu obrobků v zadaném čase a kvalitě
- hospodárnost – nízká ekonomická náročnost na pořízení, provoz i transport
- spolehlivost – provoz v různých podmínkách bez četných závad
- bezpečnost – nízké riziko nebezpečí pro obsluhu stroje a okolní prostor
- snadná obsluha – nízká náročnost všech operací interakce obsluhy se strojem
- kvalitní zpracování
- automatizace – práce v bezobslužném provozu a automatických cyklech
- flexibilita – přizpůsobení různým prostředím provozu, dostupným přívodům energie
- odolnost vůči vnějším vlivům vzniklým v provozu i při přepravě
- konkurenceschopnost – vlastnosti a výhody předčí ostatní segmenty na trhu
- servisní zázemí – dostupnost náhradních dílů, servisní podpora výrobcem
- ekologie – malé ovlivňování okolního prostředí z hlediska emisí škodlivých látek



### 4.3.1 Rozbor vzájemných interakcí

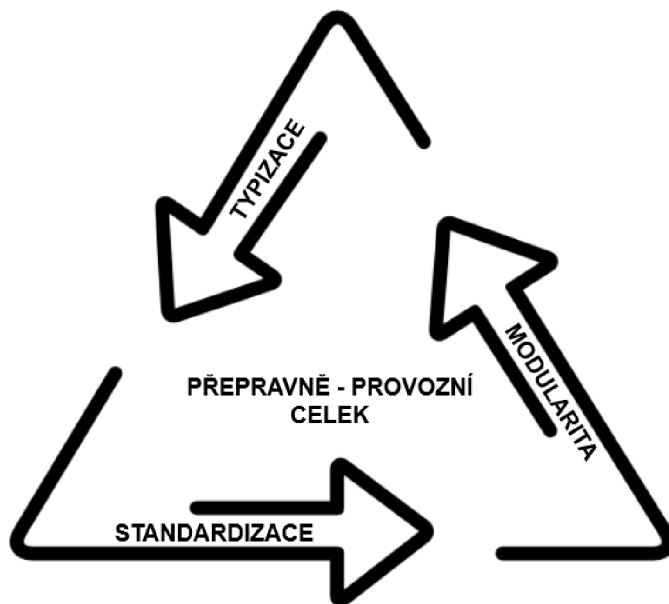
V rámci konstrukce obráběcího centra je nutno uvažovat i jeho přepravní obal, ve kterém bude stroj umístěn trvale, což z něj dělá zároveň obal provozní. Tyto hlavní části interagují jak mezi sebou, tak jako celek s okolním prostředím. Musí být proto zohledněny určité vlastnosti, které zajistí bezproblémovou součinnost všech prvků (viz obrázek 26)



Obrázek 26 Interakce s prostředím [1]; [2]; [3]; [42]; [69]

### 4.3.2 Hlavní rámec řešení

Výsledkem porovnání požadavků na přepravně-provozní celek s jeho interakcemi s okolním prostředím je hlavní charakter směřování řešení práce. Ten je, nad stanovená kritéria v kapitole 4.2.1, nutno uvažovat v širším, komplexním rámci. Tvořen je ze třech hlavních pilířů, které vymezují klíčové vlastnosti, jež musí splňovat výsledné navržené zařízení (viz obrázek 27).



Obrázek 27 Hlavní prvky řešení [69]

Díky takto stanovenému rámci, který musí být zohledněn při postupu řešení, bude výstupem práce zařízení s vysokou variabilitou uspořádání a dostatečnou flexibilitou pro různé druhy výrobních operací, za současné možnosti využití standardizovaných dílů a typizovaných prvků uložení a upínání. Takto konstruovaný celek nachází hlavní přednosti v redukci nákladů spojených s případnou výrobou modulárních prvků a v jednoduchosti, přesnosti a rychlosti jejich výměny.

## 5 VOLBA VARIANT ŘEŠENÍ

Hlavním úkolem práce je nalézt a rozpracovat optimální variantu, která odpovídá zadaným požadavkům a vymezeným kritériím. Pro tyto účely je nutné definovat výchozí stroj, jeho obslužné agregáty a další příslušenství. Na tomto základě je posléze potřeba zvolit vhodný přepravní a dopravní prostředek. Následuje určení několika variant přepravního uspořádání a jejich hodnocení pomocí multikriteriální analýzy.

### 5.1 Definice obráběcího centra střední velikosti

Obráběcí centra střední velikosti jsou vyváženou kombinací nákladové efektivity, výrobní kapacity a flexibility v transportu a rozmanitosti výrobních operací. Lze je jednoduše umisťovat ve standardních výrobních halách bez nutnosti speciálních stavebních úprav. Jejich doprava do místa určení je nejčastěji realizována na paletách nebo v kontejnerech. Přepravní rozložení je snadno proveditelné v celku i po částech.

Navrženy jsou pro středně velkou produkční kapacitu, což znamená, že oproti malým strojům zvládají větší objemy výroby a rychlosti produkce. Jsou zároveň snadno modifikovatelné pro různé výrobní potřeby pomocí prvků modularity. Nedosahují však extrémních výrobních výkonů a objemů velkých obráběcích center, které pojmu i násobně větší obrobky.

Rozměry obráběcích center středních velikostí nejsou pevně stanoveny. Obecně platí, že se jedná o stroje větší, než malá a kompaktní zařízení. Jejich hmotnost a robustnost je dostatečná pro výkonové obrábění, ale zároveň je zachována možnost relativně snadné manipulace a přesunu stroje v celku. Jejich prostorová náročnost tedy nedosahuje hodnot velkých obráběcích center, která jsou často pevně ukotvena jako celek ve více bodech a jejich manipulace je možná jen po částech.

#### 5.1.1 Příklady a běžně užívané rozměry a hmotnosti

Tabulka 3 Příklady horizontálních FOC střední velikosti [17]; [66]; [67]; [68]

	<b>DMG MORI NH 5500</b>	<b>TOS VARNSDORF WHN 110 (MC)</b>	<b>Mazak HCN - 6000</b>	<b>TAJMAC ZPS MCH 630i</b>
<b>Provedení</b>	Box-in-box	Pohyblivý stojan	Pevný stojan	Pohyblivý stojan
<b>Rozměry (V x Š x H)</b>	3414 x 3365 x 5367 mm	4650 x 4550 x 6600 mm	3350 x 2820 x 5455 mm	3260 x 3140 x 5800 mm
<b>Hmotnost</b>	14,5 t	24,7 t	14,7 t	17 t
<b>Rozměry pracovního stolu</b>	500 x 500 mm	1250 x 1400 mm	900 x 900 mm	800 x 800 mm
<b>Pojezdy os (X, Y, Z)</b>	800 x 800 x 800 mm	1600 x 1250 x 1800 mm	800 x 800 x 800 mm	750 x 700 x 770 mm
<b>Maximální hmotnost obrobku</b>	500 kg	5000 kg	1000 kg	800 kg

Na základě těchto údajů lze určit orientační rozměry a hmotnosti, které je potřeba uvažovat při dalším postupu řešení. Z Tabulky 3 a kapitoly 3.4.3 rešeršní části práce je zřejmé, že horizontální frézovací centra střední velikosti se do běžných přepravních prostředků nevejdou v celku, tudíž je potřeba navrhnout stroj, jež splňuje rozměrová kritéria přepravy v kontejneru a zároveň je složen ze standardizovaných, normalizovaných a typizovaných součástí.

Zvolené **referenční rozměry** pro navrhované OC:

- pojezdy os (X, Y, Z): 800 mm
- rozměry pracovního stolu: 800 x 800 mm

## 5.2 Volba výchozího stroje

Frézovací OC střední velikosti s vodorovnou osou vřetena jsou dostupné ve více konstrukčních variantách. Pro nalezení vhodného řešení práce bude multikriteriální analýzou zvolen jeden typ stroje, vycházející z obráběcích center se stacionární konstrukcí a jeho provedení bude následně upraveno pro účely modularity a mobility.

Varianty provedení:

- **V1** – pevný stojan, kapotovaný.
- **V2** – pohyblivý stojan, kapotovaný.
- **V3** – box-in-box, kapotovaný.
- **V4** – pevný stojan, bez kapotáže.
- **V5** – pohyblivý stojan, bez kapotáže.
- **V6** – box-in-box, bez kapotáže.

### 5.2.1 Hodnotící kritéria

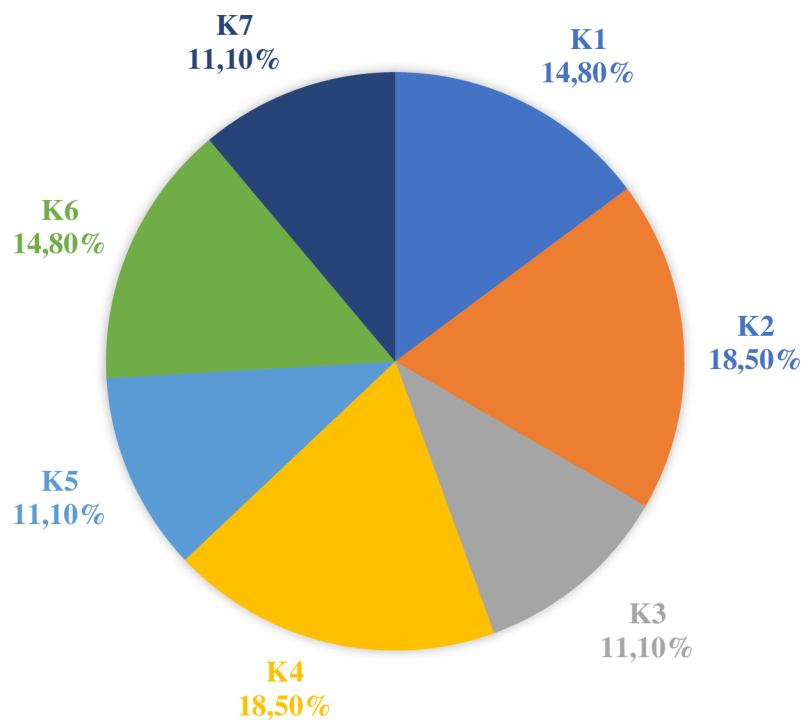
Soubor hodnotících kritérií určuje podstatné aspekty včetně odůvodnění (viz Tabulka 4), kterými se řídí následný multikriteriální výběr optimální varianty. Ke každému kritériu je potřeba přiřadit počet bodů ze škály 1-5 dle důležitosti a určit normovanou váhu těchto kritérií (viz Tabulka 5). Jedná se o metodu pořadí.

Tabulka 4 Hodnotící kritéria pro výběr obráběcího centra

Kritérium	Popis	Zdůvodnění
<b>K1</b>	Rozměry	Na velikosti stroje závisí přepravní a dopravní prostředek.
<b>K2</b>	Snadnost rozložení	Rozložení na dílčí části je klíčové pro přepravu.
<b>K3</b>	Komplexní uspořádání	Komplexní uspořádání má vliv na náležitosti složení celku.
<b>K4</b>	Možnosti modularity a úprav	Jednotlivé části stroje je nutno modifikovat pro účely mobility.
<b>K5</b>	Odvod třísek	Řešení odvodu třísek je jedním z důležitých aspektů práce stroje v uzavřeném prostoru.
<b>K6</b>	Jednoduchost konstrukce	Jednoduchost konstrukce má vliv na možnosti stavebnicového provedení a rychlost sestavení stroje.
<b>K7</b>	Tuhost vřetena	Tuhost vřetena ovlivňuje výsledné obráběcí operace.

Tabulka 5 Normovaná váha kritérií pro výběr obráběcího centra

Kritérium	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	Celkem
Počet bodů	4	5	3	5	3	4	3	27
Normovaná váha	0,148	0,185	0,111	0,185	0,111	0,148	0,111	1



Obrázek 28 Normovaná váha kritérií pro volbu obráběcího centra vyjádřená v procentech pomocí výšečového grafu

### 5.2.2 Stupnice pro hodnocení možných provedení

Stupnice pro hodnocení možných provedení je realizována slovním hodnocením. Každé hodnocení je zastoupeno známkou z intervalu 1-5. (viz Tabulka 6).

Tabulka 6 Stupnice pro hodnocení kritérií

Známka	Slovní hodnocení
1	Nízká / špatná
2	Spíše nízká / špatná
3	Střední / průměrná
4	Spíše vysoká / dobrá
5	Vysoká / dobrá

### 5.2.3 Multikriteriální analýza

Tabulka 7 Multikriteriální výběr obráběcího centra metodou Pattern

Možnosti provedení		V1		V2		V3		V4		V5		V6	
Kritérium	Váha	Z K	B	Z K	B	Z K	B	Z K	B	Z K	B	Z K	B
K1	0,148	3	0,148	4	0,198	4	0,198	4	0,198	5	0,247	5	0,247
	14,8 %	1		1,3		1,3		1,3		1,67		1,67	
K2	0,185	2	0,185	3	0,278	3	0,278	3	0,278	5	0,463	4	0,37
	18,5 %	1		1,5		1,5		1,5		2,5		2	
K3	0,111	4	0,148	4	0,148	5	0,185	3	0,111	4	0,148	4	0,148
	11,1 %	1,3		1,3		1,67		1		1,3		1,3	
K4	0,185	3	0,185	3	0,185	3	0,185	4	0,247	5	0,309	5	0,309
	18,5 %	1		1		1		1,3		1,67		1,67	
K5	0,111	5	0,139	5	0,139	5	0,139	4	0,111	4	0,111	4	0,111
	11,1 %	1,25		1,25		1,25		1		1		1	
K6	0,148	4	0,198	3	0,148	3	0,148	4	0,198	5	0,247	3	0,148
	14,8 %	1,3		1		1		1,3		1,67		1	
K7	0,111	5	0,185	3	0,111	4	0,148	5	0,185	3	0,111	4	0,148
	11,1 %	1,67		1		1,3		1,67		1		1,3	
<b>Celkem</b>	1		1,188		1,207		1,281		1,327		1,636		1,481
<b>Relativní úroveň</b>			<b>100 %</b>		<b>102 %</b>		<b>108 %</b>		<b>108 %</b>		<b>138 %</b>		<b>125 %</b>
<b>Pořadí</b>			<b>6.</b>		<b>5.</b>		<b>3.-4.</b>		<b>3.-4.</b>		<b>1.</b>		<b>2.</b>

**Z = známka; K = koeficient; B = body**

Multikriteriálním hodnocením metodou Pattern získala nejvyšší hodnocení varianta 5, tj. **frézovací OC s pohyblivým stojanem a bez kaptáže**. Tohle konstrukční uspořádání nejvíce splňuje požadavky na stavebnicové zpracování a modularitu stroje. Stojan je demontovatelný, a proto se tak značně sníží výška stroje pro účely transportu.

## 5.3 Volba přepravního obalu

Transport obráběcích strojů je klíčovou náležitostí pro mobilní zařízení. Je potřeba počítat s mnoha rizikovými faktory, které mohou při přepravě nastat. Nebezpečné jsou například povětrnostní vlivy, vibrace a nárazy. Proto je nutné přepravované OC vhodně uložit a zajistit, čímž roste cena přepravy.

Přepravní náklady jsou ovlivněny také dalšími vlivy, jako je hmotnost a rozměry stroje, typ přepravního obalu, druh transportu, délka a rychlost trasy, nutnost překládání, případné pojištění zásilky a další. V rámci logistického plánování je vhodné, aby byl transport co nejlevnější a nejefektivnější za zachování bezpečnosti nákladu.

Z rešeršní části práce vyplývá, že největší objem transportu v EU je realizován lodní přepravou. V rámci lokálního uvažování a snaze doručit OC přímo k zákazníkovi, je nutné se zaměřit převážně na přepravu silniční, realizovanou nákladními automobily, případně najít přepravní obal, který bude možno v případě potřeby transportovat více přepravními prostředky.

Samotné přepravní balení musí splňovat následující požadavky:

- univerzálnost pro různé přepravní prostředky,
- odolnost vůči povětrnostním podmínkám,
- možnost vhodného utlumení vibrací a rázů,
- statická a dynamická tuhost,
- vybavení kotvícími prvky pro OC a jeho části,
- uzpůsobení pro samotný provoz stroje,
- umožnění přívodu médií a odvodu odpadních látek,
- bezpečnost pro přepravu i provoz,
- snadná manipulace,
- integrovaný pevný základ stroje nebo schopnost jeho transportu.

Pevný základ stroje je potřebný pro jeho optimální provoz. Pro co nejmenší úpravy prostor u zákazníka je vhodné, aby byl tento základ součástí přepravního celku. Může být tvořen buď samostatným dílem, který je mezičlánkem mezi povrchem u zákazníka (podlaha dílny apod.) a samotným strojem, a který nabízí možnosti přesného ustavení. Druhá varianta provedení uvažuje tento základ jako integrovaný do přepravního obalu, který se takto stává plnohodnotným přepravně – provozním celkem.

Při transportu obráběcích strojů se rozlišují tři základní druhy přepravních obalů:

- **V1 – volné ložení na podvalníku** – možnost naložení nadrozměrných nákladů.
- **V2 – přepravní paleta** – nízká cena a rozměrovou variabilita.
- **V3 – normovaný přepravní kontejner** – univerzální pro spoustu druhů dopravních prostředků.

### 5.3.1 Hodnotící kritéria

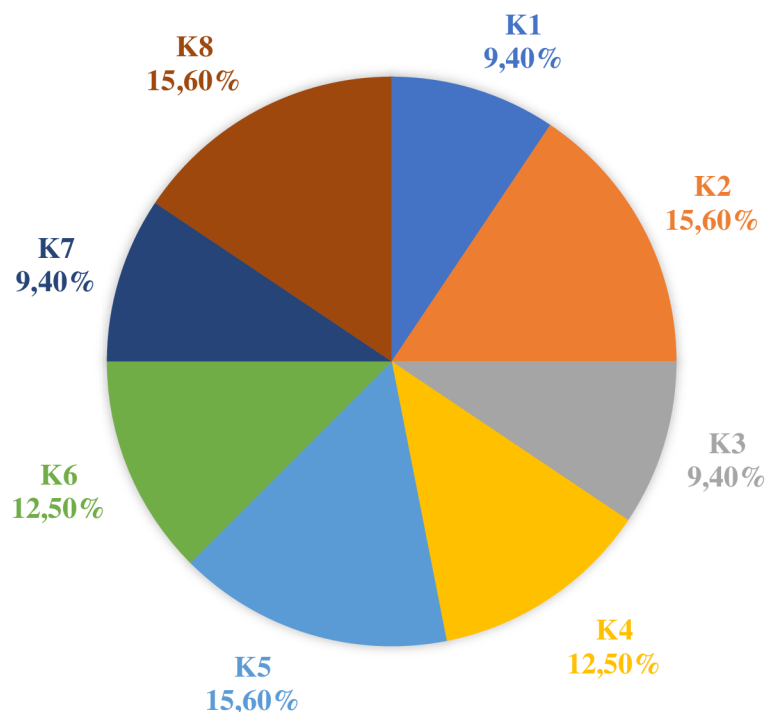
Soubor hodnotících kritérií určuje podstatné aspekty včetně odůvodnění (viz Tabulka 8), kterými se řídí následný multikriteriální výběr optimální varianty. Ke každému kritériu je potřeba přiřadit počet bodů ze škály 1-5 dle důležitosti a určit normovanou váhu těchto kritérií (viz Tabulka 9). Jedná se o metodu pořadí.

Tabulka 8 Hodnotící kritéria pro výběr přepravního obalu

Kritérium	Popis	Zdůvodnění
<b>K1</b>	Nosnost	Maximální možné zatížení nákladem.
<b>K2</b>	Odolnost vůči vnějším vlivům	Ochrana proti povětrnostním podmínkám i mechanickým poškozením.
<b>K3</b>	Kompaktnost balení	Soudržnost balení, možnost uskladnění.
<b>K4</b>	Snadná manipulace	Míra uzpůsobení pro snadnou manipulaci.
<b>K5</b>	Statická a dynamická tuhost	Řešení odvodu třisek je jedním z důležitých aspektů práce stroje v uzavřeném prostoru.
<b>K6</b>	Kotvící prvky pro OC	Bezpečnost při přepravě a tuhost složené sestavy při provozu.
<b>K7</b>	Univerzálnost	Přeprava různými dopravními prostředky.
<b>K8</b>	Integrace základu stroje	Možnost uzpůsobení obalu pro provoz stroje.

Tabulka 9 Normovaná váha kritérií pro výběr přepravního obalu

Kritérium	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	Celkem
Počet bodů	3	5	3	4	5	4	3	5	32
Normovaná váha	0,094	0,156	0,094	0,125	0,156	0,125	0,094	0,156	1



Obrázek 29 Normovaná váha kritérií pro volbu přepravního obalu vyjádřená v procentech pomocí výsečového grafu



## Stupnice pro hodnocení možných provedení

Tabulka 10 Stupnice pro hodnocení kritérií

Známka	Slovní hodnocení
1	Nízká / špatná
2	Spíše nízká / špatná
3	Střední / průměrná
4	Spíše vysoká / dobrá
5	Vysoká / dobrá

### 5.3.2 Multikriteriální analýza

Tabulka 11 Multikriteriální výběr přepravního obalu metodou Pattern

Možnosti provedení		V1		V2		V3	
Kritérium	Váha	Známka Koeficient	Body	Známka Koeficient	Body	Známka Koeficient	Body
K1	0,094	3	0,094	4	0,125	5	0,156
	9,4 %	1		1,33		1,67	
K2	0,156	2	0,156	3	0,234	4	0,313
	15,6 %	1		1,5		2	
K3	0,094	2	0,094	3	0,141	4	0,188
	9,4 %	1		1,5		2	
K4	0,125	4	0,167	3	0,125	3	0,125
	12,5 %	1,33		1		1	
K5	0,156	2	0,156	3	0,234	3	0,234
	15,6 %	1		1,5		1,5	
K6	0,125	2	0,125	2	0,125	3	0,188
	12,5 %	1		1		1,5	
K7	0,094	3	0,094	5	0,156	3	0,094
	9,4 %	1		1,67		1	
K8	0,156	1	0,156	2	0,313	3	0,469
	15,6 %	1		2		3	
<b>Celkem</b>	1		1,042		1,453		1,766
<b>Relativní úroveň</b>			<b>100 %</b>		<b>140 %</b>		<b>170 %</b>
<b>Pořadí</b>			<b>3.</b>		<b>2.</b>		<b>1.</b>

Multikriteriálním hodnocením metodou Pattern získala nejvyšší hodnocení varianta 3, tj. **přepavní obal ve formě normovaného kontejneru**. Jedná se o variantu s nejvyšší nosností a dostatečnou tuhostí. Konstrukce kontejneru rovněž umožňuje užití kotvicích prvků pro OC a jeho části. Výhodou je také možnost případné integrace pevného základu stroje do podlahy kontejneru. Tohle řešení bude v práci dále rozebráno. Nevýhodou kontejneru jsou pevné, normalizované rozměry.

## 6 NÁVRH KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ DÍLČÍCH PRVKŮ

Konstrukce přepravně-provozního celku, jež se skládá z frézovacího obráběcího centra střední velikosti s vodorovnou osou vřetene a transportního obalu ve formě kontejneru, musí být souborem netradičních řešení, která vyhoví celé škále omezení a požadavků. Je potřeba zohlednit maximální rozměry a nosnost přepravních kontejnerů, přívody médií, ustavení stroje i celku, funkčně obslužné agregáty, tuhost sestavy, řešení samotného stroje a mnohá další úskalí. V následujících podkapitolách budou tyto náležitosti rozebrány s cílem přinést optimální řešení s ohledem na definované požadavky, jako jsou v první řadě standardizace, typizace a modularita.

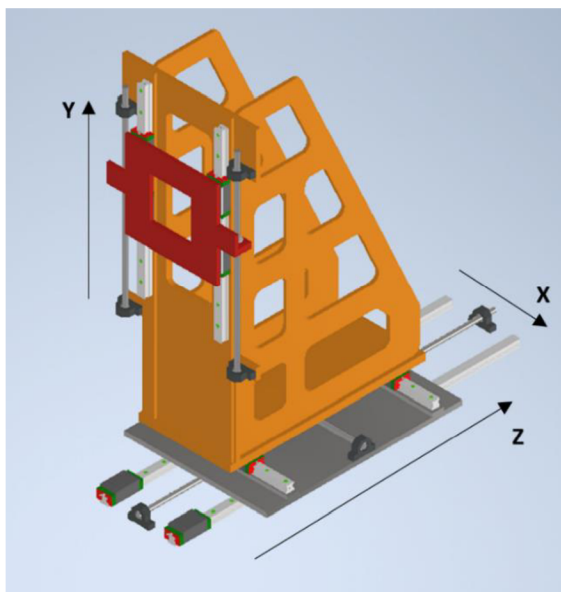
### 6.1 Obráběcí centrum

Z údajů o velikostech a hmotnostech běžně používaných stacionárních FOC střední velikosti s vodorovnou osou vřetene (viz Tabulka 3) je zřejmé, že je nelze standardně umístit do přepravních kontejnerů, vyráběných dle normy ISO 668:2020 (viz Tabulka 2). Pro účely transportu je tedy potřeba stroje rozložit, tj. přepravovat jednotlivé konstrukční uzly a jednotky mimo základnu stroje.

V úvahu tedy přichází vlastní návrh stroje a jeho uspořádání, které vyhovuje požadavkům na pracovní prostor zařízení střední velikosti, avšak díky svým rozměrům jej bude možné umístit do standardizovaných kontejnerů. Takto navržené zařízení bude mít vlastní konstrukci základny a stojanu, většinu ostatních jednotek budou tvořit typizované a normalizované díly.

#### 6.1.1 Stojan

Speciální konstrukce stojanu je nutná pro redukci výšky stroje. Multikriteriálním hodnocením byla vybrána varianta pohyblivého stojanu, který nejlépe odpovídá požadavkům modularity. Jako konstrukční návrh byla zvolena varianta, která byla rozpracována v úkolu do předmětu G2S v rámci návrhu jednoúčelového stroje (viz obrázek 30 a přílohy). [43]



Obrázek 30 Návrh stojanu [43]

Stojan je lehké, žebrované konstrukce, která dává prostor k možnostem výplně nekonvenčními materiály, jako je například **polymerbeton**, a dává tak za vznik hybridnímu materiálu. Těleso stojanu je usazeno na vlastní základně, která umožňuje pohyb v osách X a Z. Disponuje rámem vřeteníku, pohyblivým v ose Y. Pohyb v jednotlivých osách je řešen zdvojeným lineárním vedením a kuličkovým šroubem s maticí. Do rámu je možno naložit více druhů vřeteníků, včetně automatických frézovacích hlav. Přívod energie a médií je veden zezadu, středem rámu a vnitřní částí stojanu. Z tohoto důvodu jsou KŠM pro pohyb rámu vřeteníku zdvojené. [43]

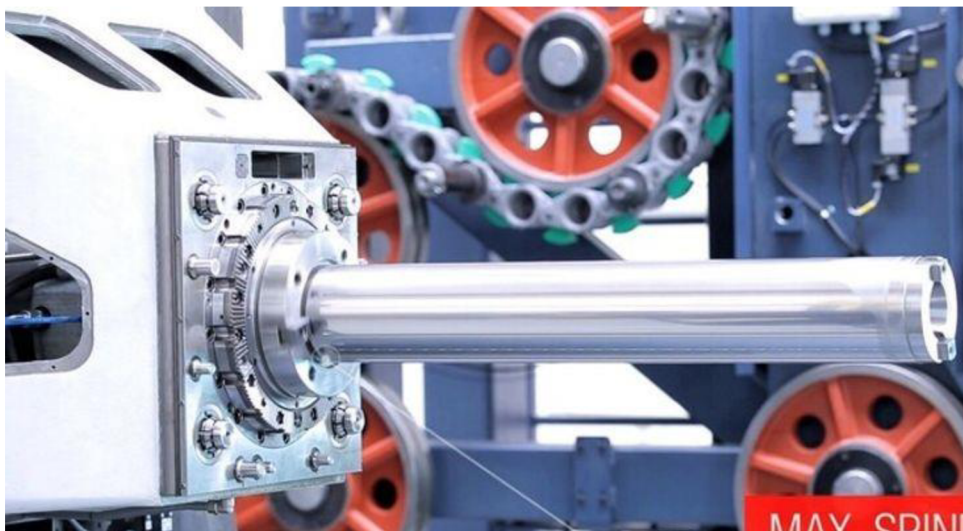
Hlavními parametry stojanu jsou:

- Šířka stojanu: 400 mm
- Délka stojanu: závislá na řadě modularity
- Výška stojanu: 1340 mm
- Celková výška: 1785 mm
- Zástavbová plocha: 2000 x 1300 mm
- Plocha rámu vřeteníku: 400 x 380 mm
- Max. posuv v ose X: 800 mm
- Max. posuv v ose Y: 1150 mm
- Max. posuv v ose Z: 800 mm
- Výplň: polymerbeton

### 6.1.2 Vřeteník

Pro splnění požadavků modularity, standardizace a typizace umožňuje konstrukce stojanu použití různých typů vodorovných vřeteníků a univerzálních frézovacích hlav. Ty mohou být stavebnicově vyměňovány dle potřeby vůči zadané obráběcí operaci. Uložení vřeteníku v rámu zajišťuje rovnoměrné silové a tepelné namáhání stojanu.

Optimální variantou pro instalaci v navrhovaném obráběcím centru mohou být centrálně vedené vřeteníky společnosti TOS VARNSDORF ve výsuvném i nevýsuvném provedení, určené původně pro stroje WHT 110/130 (viz obrázek 31). Tyto vřeteníky jsou vybaveny univerzálním modulárním rozhraním pro automatické nasazení různých frézovacích hlav, lícnicích desek, speciálních nástrojů a dalších příslušenství. [44]; [45]



Obrázek 31 Modulární vřeteník s výsuvným vřetenem TOS Varnsdorf [44]

### 6.1.3 Pracovní stůl

Jelikož hlavní pohyby v osách X, Y, Z (a případně W) koná stojan a vřeteno, může být pracovní stůl z hlediska translačních pohybů pevně fixovaný. Proto lze v konstrukčním návrhu uvažovat s pevným, nepohyblivým stolem, případně s otočným stolem, jehož rotace v ose B umožňuje čtyřosé obrábění.

Možností je i zástavba zařízení pro **automatickou výměnu palet**, například některý z modelů řady APC od výrobce Parkson (viz obrázek 32). Model APC-630S nabízí maximální rozměr palety 630 x 630 mm a maximální zatížení 1200 kg/paleta, model APC-800S disponuje paletami a rozměru 800 x 800 mm a maximálním zatížení 2000 kg/paleta. [46]



Obrázek 32 Automatická výměna palet řady APC [46]

Co však může významně přispět k obráběcím možnostem frézovacího centra, je **otočný kolébkový stůl**. Rotace kolébky v ose A a upínacího stolu v ose B přináší možnost pětiosého obrábění. Vhodným produktem pro použití v konstrukčním návrhu mobilního FOC je například stůl RAB-800 od společnosti HIWIN (viz obrázek 33) Jedná se o stůl s přímým pohonem a vodou chlazenými torzními motory. [47]

Hlavní parametry stolu RAB-800 jsou: [47]

- průměr upínacího stolu: 800 mm
- max. hmotnost obrobku: 1200 kg
- trvalý moment: 2200 Nm
- max. rychlost: 90 ot·min<sup>-1</sup>
- šířka: 1980 mm



Obrázek 33 Otočný kolébkový stůl HIWIN RAB-800 [47]

Díky svým rozměrům mohou být jak zařízení pro AVP, tak otočný kolébkový stůl umístěny v přepravním kontejneru jak pro účely transportu, tak pro následný provoz. Upínací prostor stolů odpovídá běžným rozměrům, které lze nalézt u strojů střední velikosti. Taktéž maximální zatížení obrobkem je podobné hodnotám pro středně velké stroje (viz Tabulka 3).

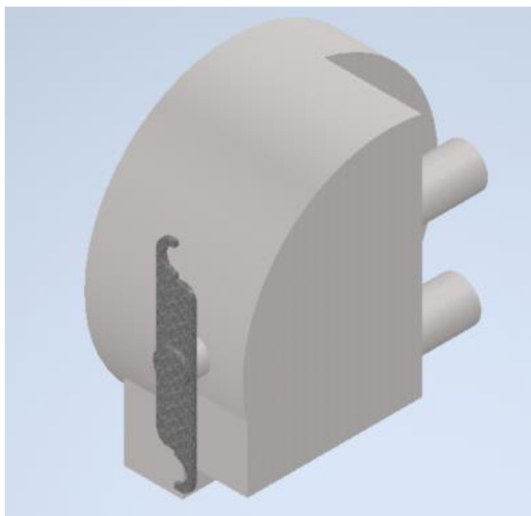
#### 6.1.4 Automatická výměna nástrojů

Pro bezobslužný provoz, jež je podmínkou funkce obráběcích center, musí být navrhované zařízení vybaveno AVN. Kompaktnost a zároveň dostatečnou kapacitu nabízejí řetězové zásobníky s otočným ramenem. V koncepci navrhovaného FOC bude uvažováno zařízení, obdobné diskovému zásobníku #50 – 30T společnosti DEX (viz obrázek 34). Jedná se o vertikální typ zásobníku, který může být umístěn samostatně na vlastní základně. [48]



Obrázek 34 Diskový řetězový zásobník DEX #50 – 30T [48]

Takto koncipovaný diskový zásobník má dostatečně malé rozměry na to, aby jej bylo možné kompaktně umístit vedle pohyblivého stojanu OC a neomezit tak příliš jeho pohyb v ose X. Kapacita tohoto zařízení činí až 30 nástrojů o maximálním průměru 112 mm. Rameno zásobníku je 800 mm dlouhé a jeho osa je 650 mm vzdálená od základny. Pohon je obstaráván servomotory. Pro účely práce bude použit zjednodušený model (viz obrázek 35), který rozměrově odpovídá zvolenému zařízení. [48]



Obrázek 35 Model AVN



### 6.1.5 Odvod třísek

Spolehlivý odvod třísek z pracovního prostoru budou zajišťovat kryty, po nichž budou vzniklé třísky gravitačně dopadat na dopravník. Dopravníky třísek lze nalézt ve více provedeních, pro účely koncepčního návrhu byl zvolen přímý článkový dopravník. Jedná se o účinné a jednoduché řešení, jelikož se nízký profil dopravníku bez obtíží vejde například pod otočný kolébkový stůl. Možné je taktéž doplnění o obslužné agregáty pro recyklaci chladicího média. V úvahu přichází například použití dopravníku modelu MunchMan společnosti Jorgensen (viz obrázek 36), který je už z výroby vybaven nádrží a chladicím zařízením pro procesní kapalinu. Význačné je pro něj zdvojení dopravníkového pásu, které napomáhá drcení třísek. Dopravník také jednoduše mobilní, k jeho přesnému ustavení slouží seřizovací prvky. [49]



Obrázek 36 Dopravník třísek MunchMan [49]

## 6.2 Přívod energie a médií

Mobilní obráběcí stroje se ze své podstaty provozují v různých lokalitách, tudíž je přívod elektrické energie a dalších médií řešen externě. Stejně tak modularita těchto zařízení má za následek nutnost opětovného rozpojování a spojování výměnných jednotek. Proto je vhodné, aby byly různé rozvodné sítě vybaveny konektory a spojkami, které zajistí bezproblémové připojení jednotlivých vedení ke stroji a jeho konstrukčním uzlům. Tyto propojovací součásti musí být vhodně dimenzovány na objem průtoku daného média, dále také na vysokou opakovatelnost spojení a rozpojení. Výchozí podmínky vymezují použití převážně standardizovaných a typizovaných součástí.

Mezi vedení s nutností použití konektorů a spojek patří:

- přívod elektrické energie,
- datové vedení,
- rozvod tlakového vzduchu,
- rozvod mazání,
- vedení řezné kapaliny.

## 6.2.1 Propojení výkonové elektrické energie

Elektrická energie, kterou je napájen hlavní rozváděč stroje, bývá nejčastěji ve formě střídavého třífázového napětí o hodnotě 3x400 V. Příkon zařízení o střední velikosti se pohybuje v hodnotách od 20 do 100 kVA. Takto vysoké příkony nelze vést běžnými sduženými konektory. Uplatnění zde nachází oddělené zásuvky a zástrčky, například od výrobce ITT Cannon (viz obrázek 37) s maximálním proudem až 250 A. [50]



Obrázek 37 Propojení vodičů ITT Cannon a) zástrčka, b) zásuvka [50]

## 6.2.2 Propojení datových vodičů

Datové vedení bývá obvykle nízkonapětové, v hodnotách 5–24 V. Přenos je velmi náchylný na rušení a vnější vlivy, jako je vlhkost a prašnost. Proto musí mít konektory vysoký stupeň krytí, ideálně IP 67 (proti prachu úplně a proti ponoření do vody na 30 minut do hloubky 1 metr) nebo IP 69 (proti prachu úplně a proti tryskající vysokotlaké teplé vodě). Pro stavebnicové provedení navrhovaného stroje mohou být využity modulární konektory (viz obrázek 38), které lze konfigurovat dle potřeby propojení různých druhů a množství vodičů. Jedním z výrobců modulárních konektorů je společnost Phoenix Contact. [51]



Obrázek 38 Modulární konektory Phoenix Contact [51]



### 6.2.3 Propojení tlakového vzduchu

Pneumatické vedení tlakového vzduchu je realizováno pomocí trubek a hadic. Hadice se používají tam, kde je potřeba vést médium flexibilně, tj. do pohyblivých částí sestavy. Stlačeného vzduchu se používá například při upínání nástrojů, pro čištění upínacích prvků a pracovního prostoru. Tlakový vzduch nabývá obvykle hodnoty 0,45 MPa. Často se jeho rozvody nachází přímo v průmyslových objektech, stačí tedy nalézt vhodné propojení těchto rozvodů s přivezeným mobilním strojem. Běžně používanou variantou, která se vyznačuje rychlostí a efektivitou, jsou pneumatické rychlospojky, například řady PRO Rectus (viz obrázek 39). Nevyskytuje-li se pneumatický rozvod v místě provozu mobilního stroje, je vhodné využít vlastního generátoru stlačeného vzduchu, tzv. kompresoru. [52]



Obrázek 39 Pneumatická rychlospojka PRO Rectus 20 a) samec, b) samice [52]

### 6.2.4 Propojení rozvodu mazání

Mazací okruhy jsou řešeny rovněž pomocí systému trubek a hadic, které však musí odolávat vyšším tlakům, než jaké se vyskytují v rozvodech pneumatických. Při spojování jednotlivých konstrukčních uzlů postačí, když bude jeden z modulů opatřen trubkou, druhý hadicí. Tento princip zajistí dostatečnou flexibilitu spojení při manuálním propojování. Také v případě mazacích okruhů lze využít rychlospojek, vhodné je využití hydraulických, bezodkapových variant, v tomto případě od výrobce Haberkorn (viz obrázek 40). [53]



Obrázek 40 Bezodkapové hydraulické rychlospojky Haberkorn [53]

## 6.2.5 Propojení vedení řezné kapaliny

Vedení řezné kapaliny sestává ze dvou okruhů: vysokotlakého a nízkotlakého. Vysokotlaký okruh vede procesní kapalinu do místa řezu. Nízkotlaký okruh odvádí kapalinu z místa řezu zpět do zásobníku, vedení se odehrává převážně volně, gravitačním působením. Pro spojování rozvodů řezné kapaliny lze využít podobných prvků, jako v mazacím okruhu, jelikož se také jedná o hydraulický obvod.

## 6.3 Ustavení a seřízení

Při uvádění mobilního stroje do provozu je pro jeho přesnost a správnou funkci nutné provést přesné ustavení a seřízení. Základem je ustavení přepravně-provozního obalu, tj. kontejneru, na podklad, který nemusí být dokonale rovný. Následuje ustavení samotné základny stroje na podlaze kontejneru a sestavení jednotlivých konstrukčních uzlů, včetně propojení přívodu energie a médií. Dále je potřeba stroj v dané konfiguraci seřídít, včetně zohlednění použitých výměnných jednotek a nástrojů. V úvahu je nutno vzít také jednotlivé teplotní a rozměrové kompenzace, včetně rovinnosti funkčních ploch.

### 6.3.1 Ustavení přepravně-provozního obalu

K účelům vyrovnání kontejneru na nedokonale rovném podkladu slouží nastavovací podpory, které nabízí například společnost Sedna. Ty jsou vyhotoveny ve formě patky, jejíž jedna část zapadá do rohového prvku kontejneru a druhá se opírá o zem. Tyto dvě části jsou spojeny pouzdrem a tyčí se závitem, jejichž otáčením se nastavuje výška patky. Tohle řešení ale není odolné měnícímu se dynamickému zatížení a vibracím. Proto je vhodné mezi patku a kontejner umístit tlumící prvek, obdobný 90401SA-CPA od společnosti TANDEMLOCK. Vznikne tak sestava s možností přesného ustavení přepravně-provozního obalu a zároveň eliminace nežádoucích vibrací vzniklých při provozu stroje (viz obrázek 41). [54], [55]



Obrázek 41 a) nastavovací patka b) tlumící prvek [54], [55]

Ustavovací prvky bývají umístěny v rohových prvcích kontejneru, avšak největší zatížení, vyvolané obráběcím strojem, se bude vyskytovat spíše ve středu podlahy. V těchto místech tedy bude i největší průhyb sestavy, vyvolaný ohybovým momentem od zatížení. Proto přichází v úvahu umístění podpor blíže středu podlahy kontejneru, pro eliminaci průhybu. Takové umístění může být ale komplikované z hlediska manipulace a instalace.

### 6.3.2 Ustavení obráběcího centra

V rámci ustavení FOC bude potřeba výškově seřadit základní části vůči podlaze kontejneru, která je považována za základnu stroje. Seřízení se bude týkat lože stojanu a pracovního stolu. Korekce musí proběhnout v podélném i příčném směru. Využito bude výškově stavitelných prvků, které lze na trhu nalézt v mnoha provedeních, jako je schopnost tlumit vibrace nebo možnost kotvení k základně.

Možným zařízením, použitelným jak k tlumení vibrací, tak ke kotvení stroje k základně, může být klínový prvek ze série DTO (viz obrázek 42) společnosti Dynemech, která nabízí celou škálu produktů v oblasti tlumení vibrací. Nosnost tohoto prvku jsou až desítky tun, v závislosti na konkrétním provedení. V případě potřeby se dá doplnit o další tlumicí disky. Vhodný je pro mnoho druhů obráběcích strojů, včetně lisů a bucharů. Klínové ustavování je jednoduché a přesné, dobře odolává vertikálnímu i horizontálnímu zatížení. [56]



Obrázek 42 Ustavovací prvek DTO společnosti Dynemech [56]

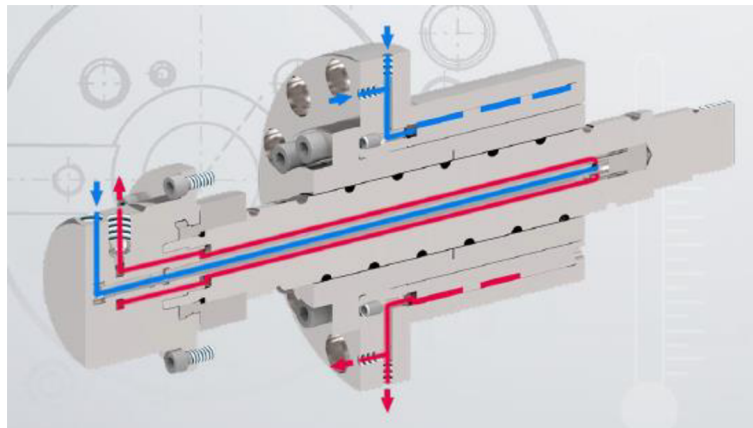
### 6.3.3 Teplotní kompenzace

Každá část obráběcího stroje podléhá tepelnému namáhání, a tudíž i deformacím a dilatacím. To může negativně ovlivnit přesnost a další podstatné vlastnosti stroje, které se projeví na výsledku obrábění. Cílem při konstrukci OC je co nejvíce teplotní vlivy zredukovat, potlačit je však úplně nelze.

Existuje několik přístupů, jak redukovat tepelné chyby stroje. Prvním z nich je samotná konstrukce rámu, tzv. tepelně symetrická konstrukce. Zde vlivem tepla sice dochází ke změně rozměrů, nemění se však přesnost obrábění. Minimalizace chyb je zpravidla řešená jen v jedné ose. V některých případech je rám také vnitřně chlazený.

Další možností je izolace teplených zdrojů od dalších částí stroje. Řešením může být například použití materiálů s nízkou tepelnou vodivostí, jako jsou polymerbetony, žula, Invar, keramika či případně kompozitní a hybridní materiály. Problémem při použití některých těchto materiálů může být jejich velká hustota, tj. zvyšování hmotnosti OS, které je pro účely mobility a modularity nežádoucí.

Teplotní kompenzace může být řešena také chlazením těch součástí, které mají velkou náchylnost na tepelné deformace a hrají klíčovou roli v přesnosti obrábění. Jednou z variant je chlazení vřetena stroje a příruby motoru olejem. Chladit je možné také kuličkové šrouby, skrz kanálky vytvořené podélně skrz těleso šroubu, případně také matice. Techniky v oblasti chlazení KŠM vyvíjí například společnost Mannesmann (viz obrázek43). [57]



Obrázek 43 Chlazený KŠM Mannesmann [57]

Redukce tepelné chyby může být řešena také tzv. aktivně. Jedná se o nastavování polohy nástroje a obrobku v závislosti na aktuální teplotní deformaci stroje. Přímá aktivní kompenzace spočívá na periodických měřeních teploty sondou a následných korekcích při krátkém odstavení stroje. Nepřímá kompenzace je řízená matematickým modelem, závislým na měřených hodnotách z teplotních čidel na více místech. Korekce se odehrávají za chodu stroje v reálném čase.

Mezi matematické modely pro nepřímou kompenzaci se řadí:

- metoda konečných prvků
- metoda konečných diferencních prvků
- vícenásobná lineární regrese
- přenosová funkce
- fuzzy logika
- neuronové sítě

Právě podobný výpočtový model, například na bázi neuronové sítě, by mohl být použit pro řešení teplotních kompenzací řešeného přepravně-provozního celku. Teplotní senzory by v tomto případě bylo potřeba umístit na větší počet lokalit, včetně několika bodů na samotném tělese kontejneru, jehož tepelná roztažnost bude vysoká.



## 7 ROZLOŽENÍ PRACOVISTĚ

Výstupem předchozích kapitol, které se zabývají volbou rozebírané varianty obráběcího centra, definicí referenčních rozměrů a řešením jednotlivých konstrukčních uzlů je návrh rozložení pracoviště frézovacího OC. Hlavní části stroje, jejichž rozměry a vlastnosti bylo potřeba zohlednit při návrhu, jsou pohyblivý stojan, zařízení pro automatickou výměnu nástrojů a otočný kolébkový stůl. Zohlednit je potřeba také dopravník třísek.

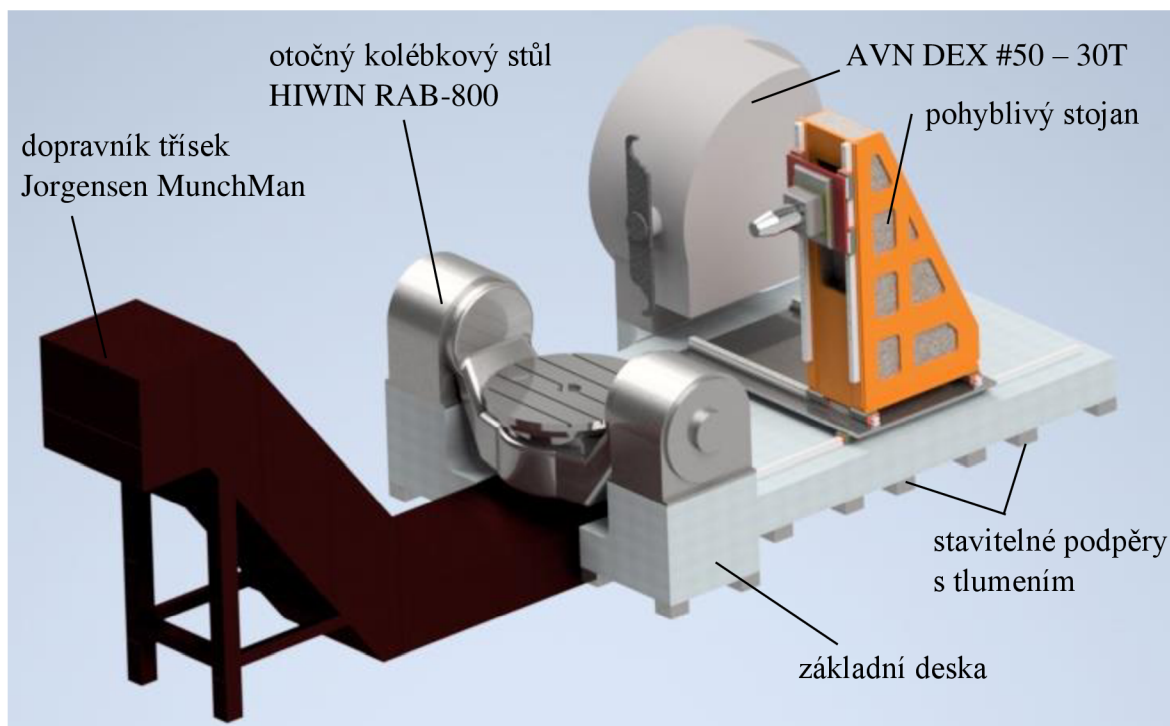
### 7.1 Návrh rozložení

Jelikož bude FOC umístěn do přepravně-provozního celku ve formě kontejneru, bylo nutné stanovit limitní rozměry pracoviště a základní desky stroje. Tyto hodnoty byly stanoveny z rozměrů ISO kontejneru třídy ICC open top (viz Tabulka 2), jehož bude pravděpodobně užito pro účely transportu.

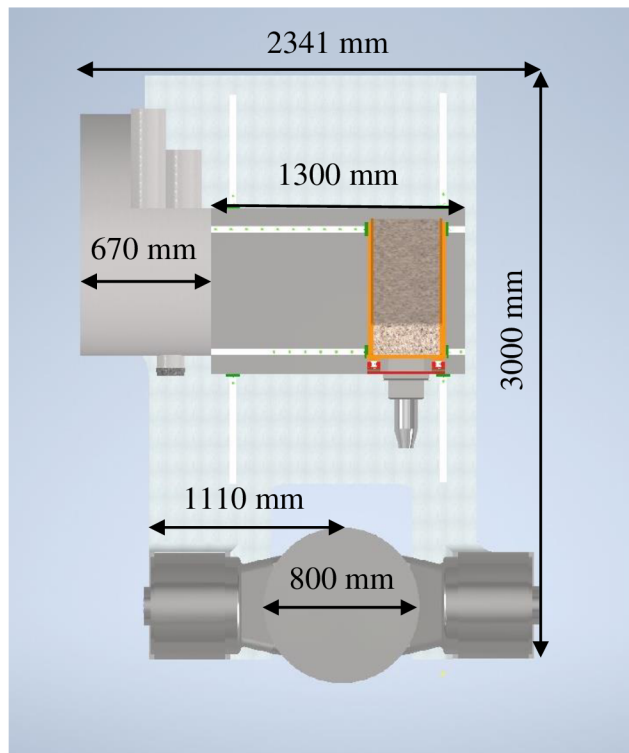
Limitní rozměry jsou:

- délka: 6058 mm
- výška: 2591 mm
- šířka: 2438 mm

Pracoviště (viz obrázek 44) bylo navrženo s ohledem jak na limitní rozměry, tak na požadované referenční rozměry pracovního prostoru a délky posuvů, stanovených z údajů o běžně používaných FOC střední velikosti. Největší obtíž byla s umístěním zařízení pro AVN, jelikož musí být v dosažitelné vzdálenosti od vřetena pohyblivého stojanu, kterému však tímto významně ubírá prostor pro pohyb. Pohyblivý stojan i kolébkový stůl jsou proto umístěny mimo osu základní desky (viz obrázek 45), aby zůstal zachován pracovní prostor o šířce 800 mm v ose X. Základní deska stroje je z 60 % vyplněna polymerbetonem a její hmotnost je 5 tun. Sestava samotná nabývá přibližné hmotnosti okolo **10 tun**.



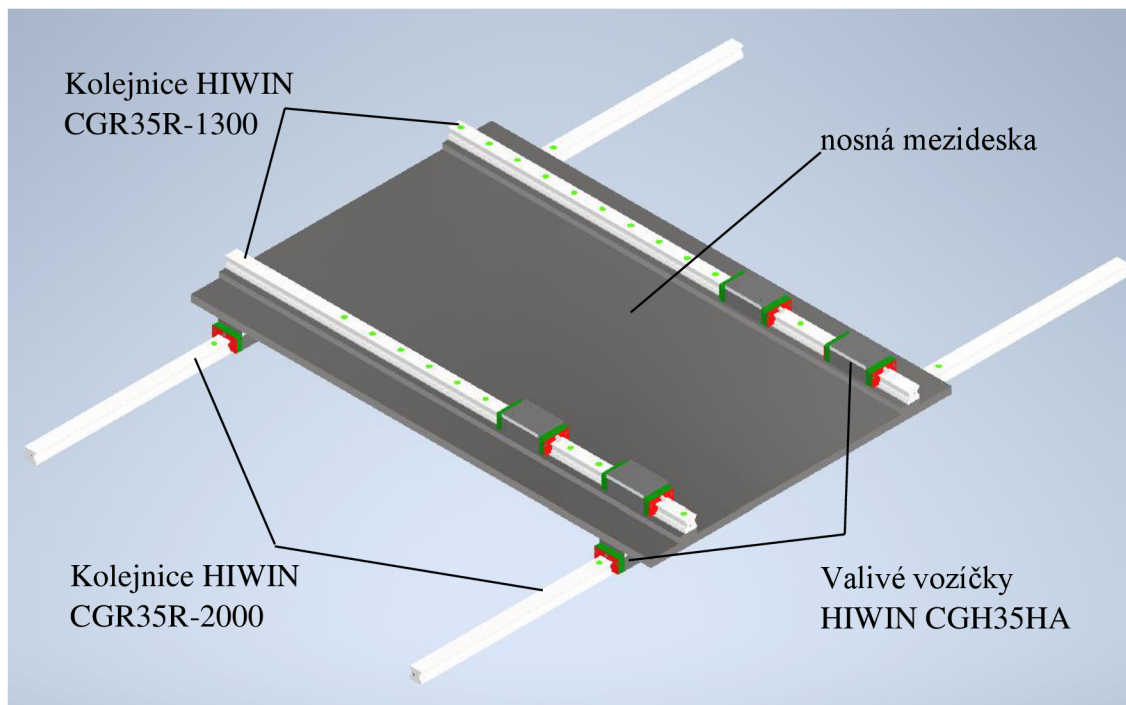
Obrázek 44 Rozložení pracoviště FOC



Obrázek 45 Rozložení pracoviště shora

## 7.2 Vedení stojanu

Stojan je uložen na lineárním valivém vedení (viz obrázek 46). Jelikož je jeho pohyb zamýšlen ve dvou osách, X a Z, je na vedení pro osu Z umístěna nosná deska, na níž je pak uloženo vedení pro osu X, se kterým je svázán stojan. Valivé vedení v podobě kolejničky se zdvojenými valivými vozíčky má výhodu v možnosti předeprnutí, což má za následek snížení vůlí v uložení, tudíž dochází k přesnějšímu polohování a hladšímu chodu.



Obrázek 46 Vedení stojanu

## 8 STAVEBNICOVITOST

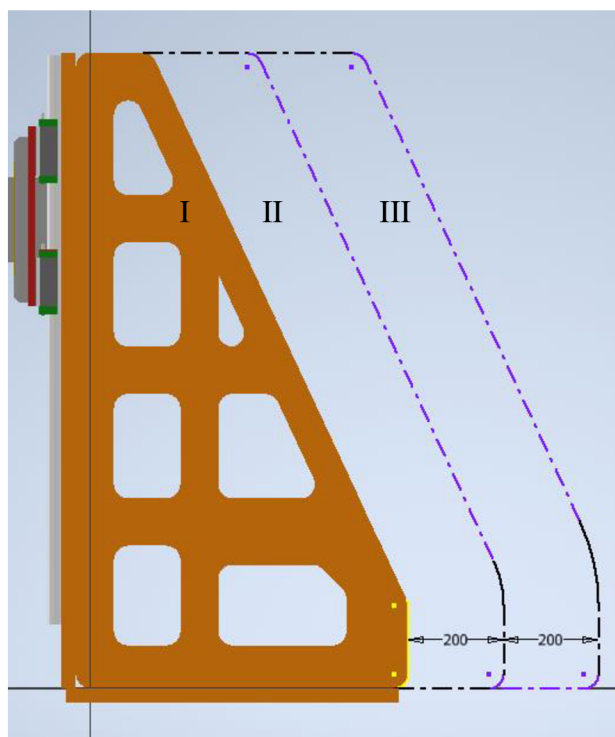
Pro zvýšení možnosti adaptability navrhovaného FOC široké škále obráběcích operací, které mohou být od stoje požadovány, musí být konstrukce navrhovaného zařízení řešena tak, aby splňovala požadavky na stavebnicové uspořádání a modularitu jednotlivých prvků a konstrukčních uzlů. K těmto účelům využívá navrhované OC systému výměnných jednotek. Jedná se především o součásti stojanu, zahrnující jeho rám či vedení, dále lze tímto způsobem používat na stroji různé typy vřeteníků. V následujících podkapitolách bude rozebrána modularita jednotlivých prvků.

### 8.1 Stojan

Stojan řešeného FOC je proveden v několika variantách, které se liší svou velikostí, převážně rozměrem v ose Z (délka). Jednotlivá provedení tak nabývají rozdílné tuhosti, přímo úměrně s velikostí stojanu, se kterou se však zároveň zvyšuje jeho hmotnost, a tudíž i akcelerace posuvů. Se změnou rozměrů rámu stojanu je také potřeba upravit rozměry a dimenzování valivého vedení. Jedná se o princip **modularity v řadách**. V tabulce 12 jsou uvedeny jednotlivé řady modulů rámu stojanu, jež vizuálně zachycuje obrázek 47 a jejich specifikace.

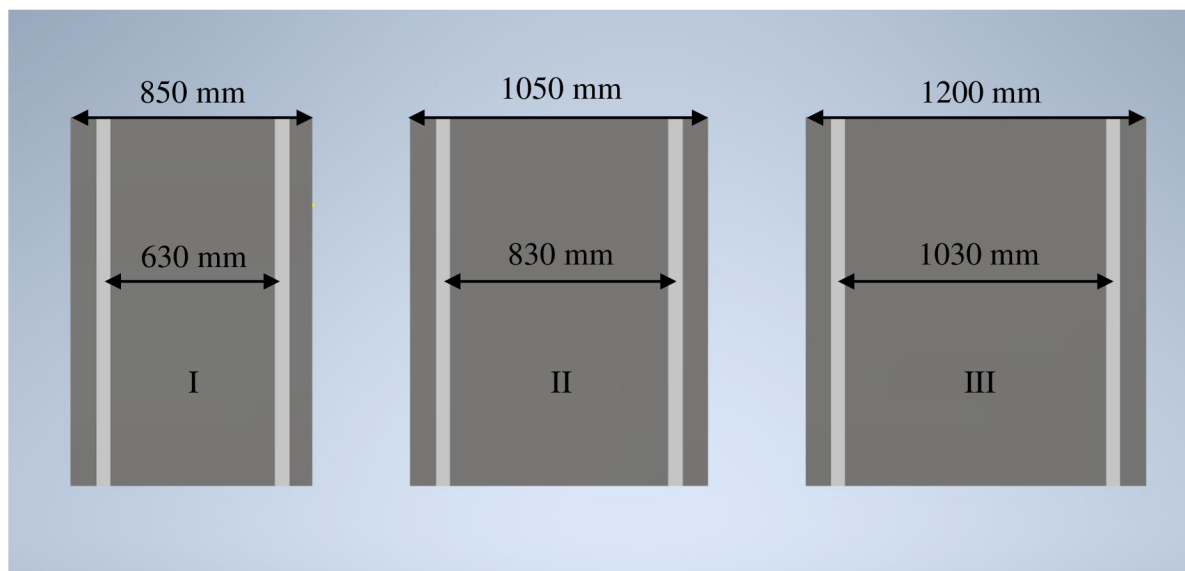
Tabulka 12 Modulové řady stojanu

Řady	Rozměr stojanu osa Z	Rozměry mezidesky	Rozteč kolejnic vedení osy X	Max. posuv v ose Z
I	720 mm	1300 x 850 mm	630 mm	1150 mm
II	920 mm	1300 x 1050 mm	830 mm	950 mm
III	1120 mm	1300 x 1200 mm	1030 mm	800 mm



Obrázek 47 Modulové řady stojanu

K jednotlivým modulovým řadám stojanu jsou potřeba také rozdílné velikosti mezidesek s rozdílnou roztečí mezi kolejnicemi vedení osy X (viz obrázek 47). Samotná délka kolejnic v ose X zůstane **pro každou řadu zachována**, stejně jako v ose Z. Délka kolejnic osy Z byla stanovena tak, aby při modulové řadě č. III byl zachován referenční rozměr posuvu v této ose, vycházející z běžně používaných strojů střední velikosti (viz kapitola 5.5.1), tj. 2000 mm.



Obrázek 48 Řady nosných mezidesek

## 8.2 Vřeteník

Stojan je osazen rozhraním pro montáž vřeteníku, tj. vřeteníkový rám se čtvercovým průřezem. Do něj lze upínat více druhů vřeteníků, vyhovujících pro rozměry a dimenzaci rámu. Stavebnicové pojetí vřeteníků a jejich příslušenství je rozpracováno v tabulce 13.

Tabulka 13 Modularita vřeteníku [1]

Řady	Vřeteník	Příslušenství	Upínání nástroje	Výhoda
I	nevýsuvný	žádné	ISO 50	vysokorychlostní obrábění
II	nevýsuvný	Redukce ISO/Capto	Coromant Capto	modularita Capto systému, tvarový styk upnutí
III	nevýsuvný	univerzální frézovací hlava	ISO 50	přidání 2 obráběcích os
IV	výsuvný	žádné	ISO 50	větší vyvrtávací rozsah v ose Z
V	výsuvný	Redukce ISO/Capto	Coromant Capto	modularita Capto systému, tvarový styk upnutí
VI	výsuvný	lícni deska s vyvrtávacím nástrojem	ISO 50	vyvrtávání velkých průměrů, průchozí otvor pro prac. vřetení



### 8.3 Upínací stůl

Zvolený otočný kolébkový stůl HIWIN RAB-800 přidává navrženému obráběcímu centru dvě pohybové rotační osy. Stůl disponuje kruhovou upínací deskou s průměrem 800 mm, která odpovídá požadavkům na požadovaný pracovní prostor (viz kapitola 5.5.1). Samotná upínací deska může být v rámci požadavků modularity ve více provedeních, odlišných dle způsobu upínání obrobku (viz tabulka 14).

Tabulka 14 Provedení upínacích desek [1]

Řada	Provedení upínání	Použití
I	T-drážky	univerzální upínky
II	otvory pro technologickou paletu	obrobky na technologické paletě
III	upínání pomocí nulových bodů	přesné a opakovatelné upínání
IV	vakuové upínání	tenké díly náchylné k deformacím
V	magnetické upínání	feromagnetické obrobky

### 8.4 Funkčně obslužné agregáty a přívody energií

Pro optimální funkci musí být FOC vybaveno agregáty, které zajišťují provozní náležitosti, dále obslužné činnosti v oblasti nakládání s odpadními látkami vznikajícími při obrábění a jiné. Jejich využití závisí na konkrétním úkonu, který je od stroje požadován. Proto není vždy potřeba, aby byly dostupné a funkční všechny agregáty, kterými lze OC vybavit.

Jelikož je však navrhované zařízení uvažováno jako mobilní, je zároveň potřeba počítat s různými provozními prostředími stroje. Rozmanitost oblasti provozu může přinášet různé nestandardní podmínky a požadavky na agregáty FOC. Jedním z příkladů jsou třeba nestabilní zdroje elektrické energie či rozdílné parametry elektrických sítí.

Tabulka 15 Varianty užitých obslužných agregátů [1]

Řada					
I	fluidní agregáty				
II	fluidní agregáty	dopravník třísek			
III	fluidní agregáty	dopravník třísek	filtrace a separace procesních kapalin		
IV	fluidní agregáty	dopravník třísek	filtrace a separace procesních kapalin	odsávání plynů a filtrace	
V	fluidní agregáty	dopravník třísek	filtrace a separace procesních kapalin	odsávání plynů a filtrace	vyrovnávací transformátor



## 9 TECHNICKÉ VÝPOČTY A SIMULACE

Dle výsledků multikriteriální analýzy (viz kapitola 5.3) bude jakožto přepravně provozní obal navrhovaného FOC zvolen přepravní kontejner. Vzhledem k parametrům koncepčního návrhu stroje bude využit ISO kontejner třídy 1CC. Jedná se o kontejner vhodný jak pro přepravu silniční, tak pro další druhy transportu, například lodní.

Pro účely transportu řešeného FOC bude potřeba upravit nosnou strukturu kontejneru, převážně za účelem zvýšení jeho tuhosti. Cílem je minimalizace průhybu konstrukce a co nejnižší působící napětí. Zároveň je nutné snaha o nízkou hmotnost soustavy a kontejneru samotného, zvláště pomocí prvků odlehčení.

### 9.1 Vstupní podmínky

Aby bylo možné provést odpovídající technické výpočty a simulace, bude nutné stanovit vstupní podmínky, které vymezují parametry, jimiž se budou řídit další potřebné kroky k nalezení optimální nosné struktury kontejneru.

Parametry kontejneru 1CC [38]:

- délka: 6058 mm
- výška: 2591 mm
- šířka: 2438 mm
- max. hmotnost brutto: 20320
- materiál: S355J0WP (COR-TEN)

V České republice se pohybuje maximální běžná nosnost nákladních vozidel (nejedná-li se o dopravní prostředky přepravující nadrozměrný náklad) **24 tun**. Proto jednoduchost transportu a snížení nákladů bude tato hmotnost brána jako limitující při návrhu přepravně-provozního celku. V tabulce 15 jsou uvedeny hmotnosti jednotlivých prvků, které je potřeba při návrhu zohlednit.

Tabulka 16 Hmotnost jednotlivých částí sestavy

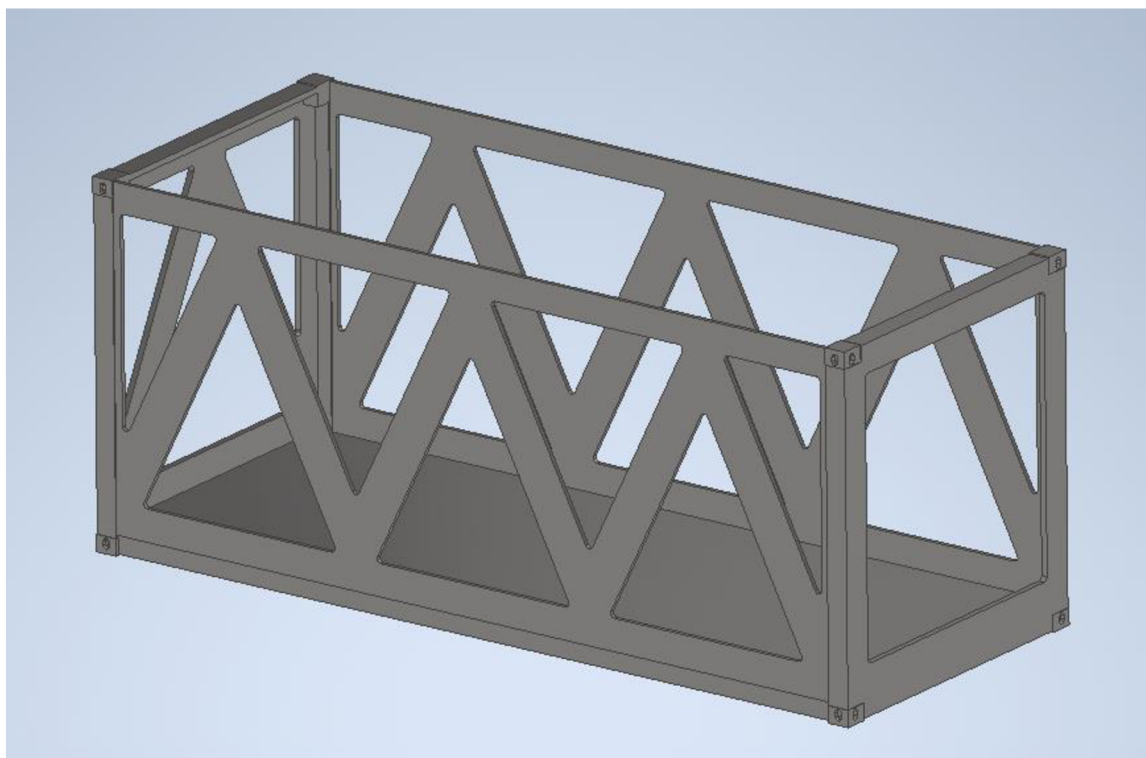
Součást	Hmotnost	Tíhová síla
	m [kg]	$F_g$ [N]
Základní deska	5 000	50 000
Otočný kolébkový stůl	2 200	22 000
Zásobník nástrojů	700	7 000
Stojan s vedením	1 050 – 1 400 (dle konfigurace)	10 500 -14 000
Dopravník třísek	1 000	10 000
Agregáty + příslušenství	2 000	20 000
Obrobek	1 200	12 000
<b>Celkové zatížení</b>	<b>13 150 – 13 500</b>	<b>131 500 – 135 000</b>

Ve výpočtu je zanedbáno zatížení způsobené reznými silami, dále také působení nelineárních efektů. Převážně proto, že tyto údaje nelze dobře predikovat, jelikož je navrhovaný stroj uvažován pro univerzální provoz a zpracování různých druhů obrobků.

## 9.2 Základní koncepce nosné struktury

Prvotním aspektem je model kontejneru ICC (viz obrázek 49). Jedná se o samonosnou rámovou konstrukci v provedení open-top, tj. s otevřeným stropem. Přes něj je možné uskutečnit manipulaci s jednotlivými konstrukčními uzly stroje a zároveň také s obrobky, například při jejich zakládání.

Přepavně-provozním obalům se věnovalo již více diplomových prací, zadaným pro obor Výrobní stroje, systémy a roboty na ÚVSSR FSI VUT v Brně. Proto byl pro návrh kontejneru zvolen po jejich vzoru koncept odlehčení stěn pomocí trojúhelníkových vybrání. Zároveň je otevřeno i jedno čelo kontejneru, pro snadnou manipulaci s dopravníkem třísek a následně taktéž s obrobkem. Tloušťka obvodových stěn je stanovena na 30 mm. [58]



Obrázek 49 Kontejner ICC s odlehčenými stěnami

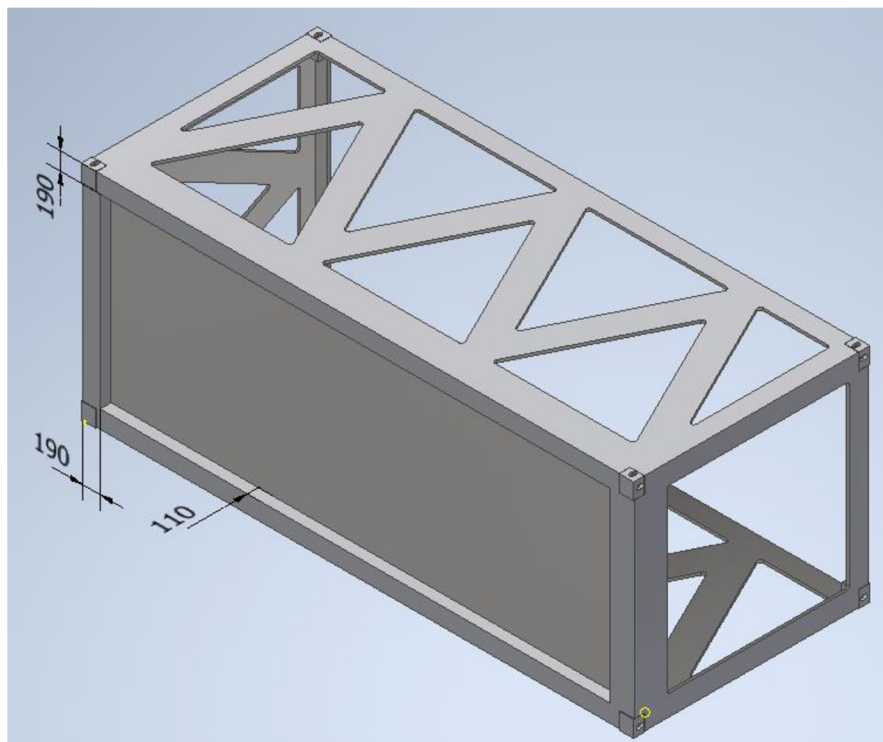
Konstrukce je vybavena běžně používanými rohovými prvky, které budou sloužit jako opěrné body sestavy. Mezi rohovými prvky a podložkou budou proto tvořit tlumící a ustavovací prvky (viz kapitola 6.3.1), které zajistí provozuschopnost FOC uloženého v kontejneru na široké škále možných podkladů. Pro účely simulace budou rohové prvky sloužit jako pevné vazby vůči podložce.

První řada návrhových iterací bude uskutečněna pro získání základní představy o provedení nosné struktury kontejneru, jež bude vhodná pro vysoké zatížení. Jako referenční hmotnost bude brána hodnota **15 tun**, jež odpovídá zjištěnému zatížení z tabulky 16, ke kterému je připočtena určitá rezerva. Zatížení bude pro první řadu simulací provedeno rovnoměrně na celou plochu podlahy. Cílem bude nalezení vhodného typu vyztužení kontejneru, které s dále rozebere v interakci se skutečným rozložením zatížení.

Simulace bude probíhat v programu Solidworks 2023, pomocí nástroje Statická analýza, využívající MKP, jehož výsledky jsou interpretovány pomocí von Mises napětí, výsledného posunutí (průhybu) a poměrné deformace. Pro účely posouzení vhodnosti koncepce vyztužení je stanovena maximální hodnota posunutí (průhybu) **0,3 mm**.

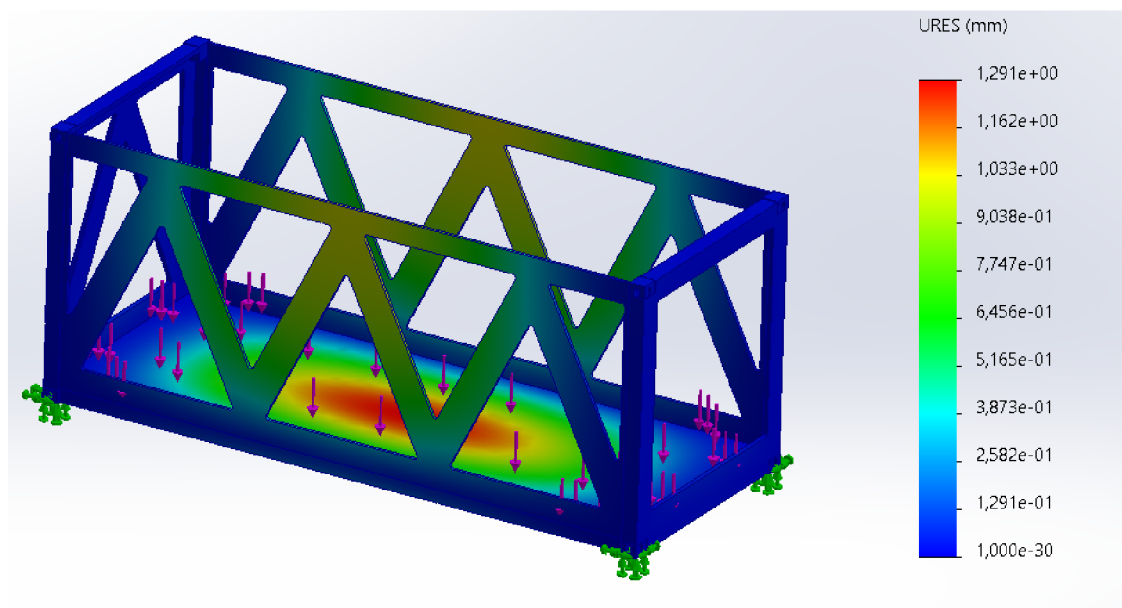
## 9.2.1 První iterace

Jako první proběhla tuhostní analýza na základním modelu kontejneru. Ten byl koncipován bez větších výztuh podlahy, pouze se zesíleným obvodem spodní základny (viz obrázek 50). Tloušťka stěny výztuh činí 190 mm a jejich výška 110 mm. Tloušťka podlahy kontejneru je 40 mm.



Obrázek 50 Kontejner se zesíleným obvodem základny

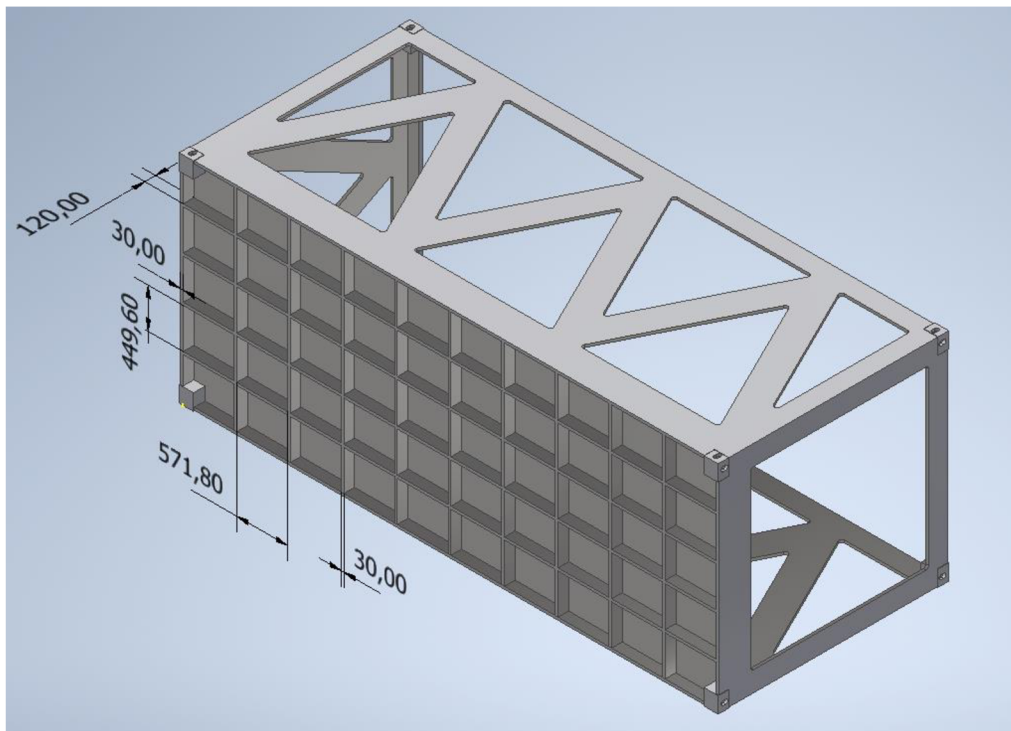
Takto provedený kontejner jevil nedostatky ve vyztužení střední oblasti podlahy. Posunutí v těchto místech dosahovalo při simulaci až 1,291 mm (viz obrázek 51). Neefektivní se ukázala jak silná stěna podlahy, tak hrubé zesílení obvodu základny. Pokud by se další iterace odvíjela pouze směrem dalšího zvětšování jejich tloušťky a dalších rozměrů, vedlo by to ke zbytečnému zvyšování hmotnosti kontejneru, která v tomto případě činila 11,3 t.



Obrázek 51 Posunutí při první iteraci vyztužení

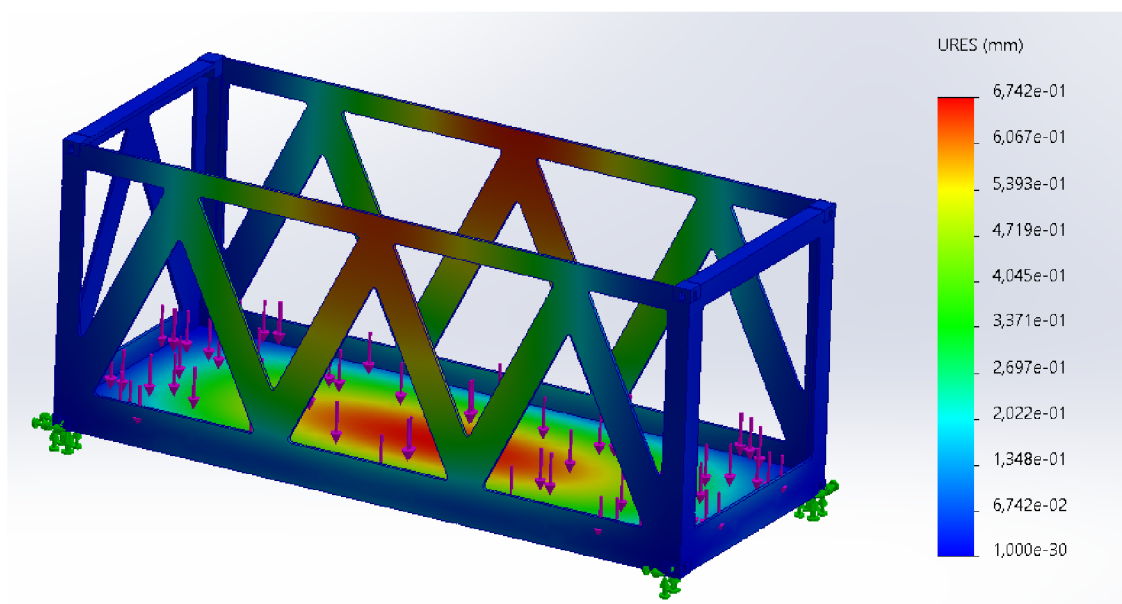
## 9.2.2 Druhá iterace

Další postup vyztužování kontejneru spočíval v přepracování základny (viz obrázek 53). Změněna byla tloušťka podlahy a obvodu základny na hodnotu tloušťky obvodových stěn, tj. 30 mm. Pro vyplnění prázdného prostoru základny bylo, opět po vzoru předchozích prací, zvoleno žebrování. Určena byla jejich prvků, taktéž 30 mm a četnost, skýtající devět příčných a čtyři podélná žebra. Jejich výška 120 mm se shodovala s výškou prostoru, který vznikl v základně kontejneru snížením tloušťky podlahy. [58]



Obrázek 52 Kontejner s žebrovou základnou

Úprava základny žebrováním přinesla výrazné snížení hmotnosti kontejneru. Konkrétně z 11,3 t na 10 t. Takto koncipovaná struktura vykazovala při zatížení rovnoměrnější rozložení napětí. Posunutí dosahovalo maximálních hodnot 0,67 mm (viz obrázek 53).



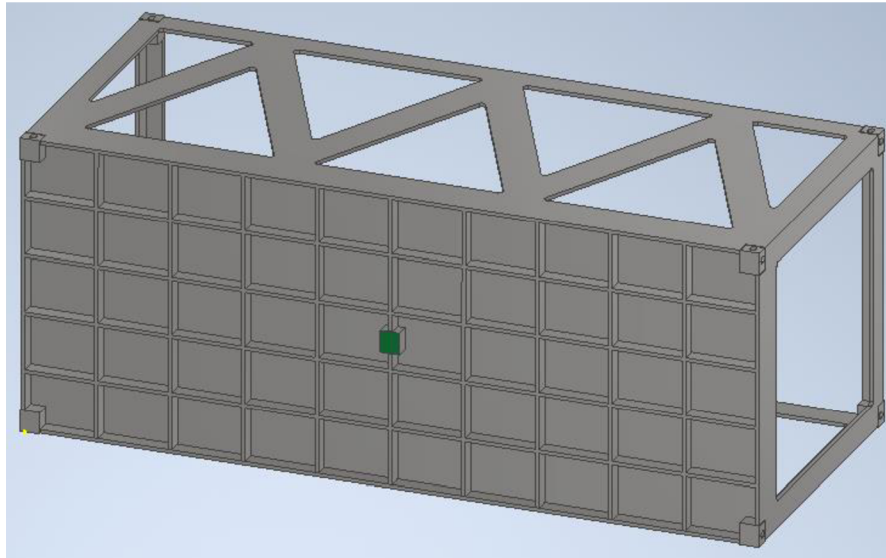
Obrázek 53 Posunutí při druhé iteraci vyztužení



### 9.2.3 Třetí iterace

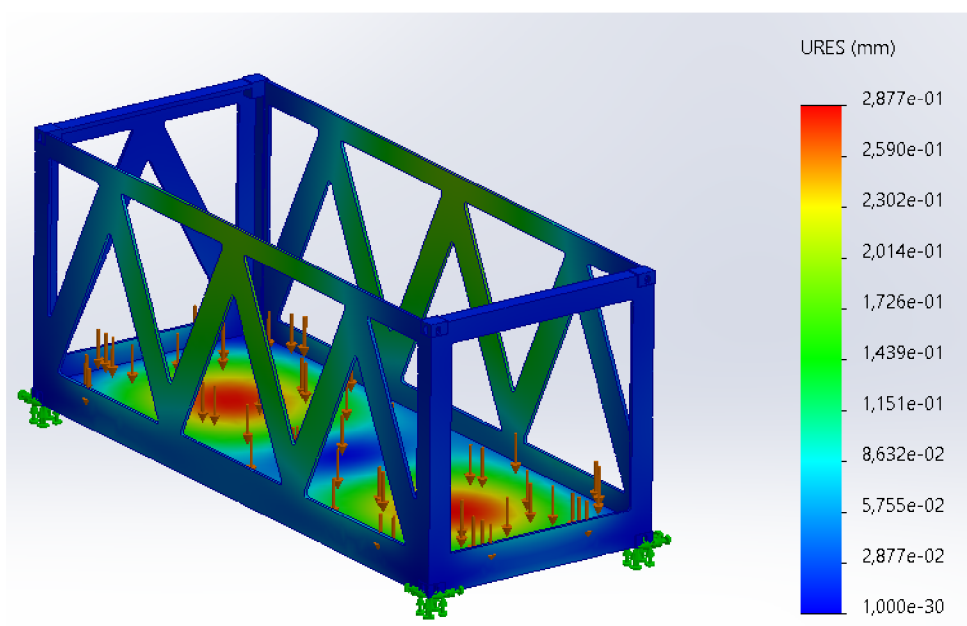
Hmotnost kontejneru 10 t, která byla dosažena po druhé iteraci vyztužení, je nejvyšší přípustná hmotnost, kterou může řešená koncepce mít, aby výsledná sestava spolu s obráběcím centrem a dalším příslušenstvím nepřesáhla stanovenou hodnotu 24 tun.

Proto již při dalším postupu vyztužování základny nemělo smysl zvětšovat rozměry výztuh, kvůli rostoucí hmotnosti. Jejich odlehčení by naopak vedlo ke snížení tuhosti. Účinným řešením se ukázalo zvýšení počtu podpěr kontejneru, jež dosud tvořily pouze rohové prvky. Navržena byla základna v konfiguraci žebrové z iterace 2, avšak do středu základny byla přidána podpěra (viz obrázek 54).



Obrázek 54 Kontejner s žebrovou základnou a středovou podpěrou

Tato úprava základny se jevila jako nejefektivnější. Posunutí, ke kterému docházelo nejvíce právě ve středu podlahy, se díky nově použité podpěře snížilo až na hodnotu 0,29 mm (viz obrázek 55), která splňuje zadanou podmínku. **Koncepce s žebry a dodatečnými podpěrami bude užita při vyšetřování tuhosti kontejneru s reálným rozložením zatížení.**



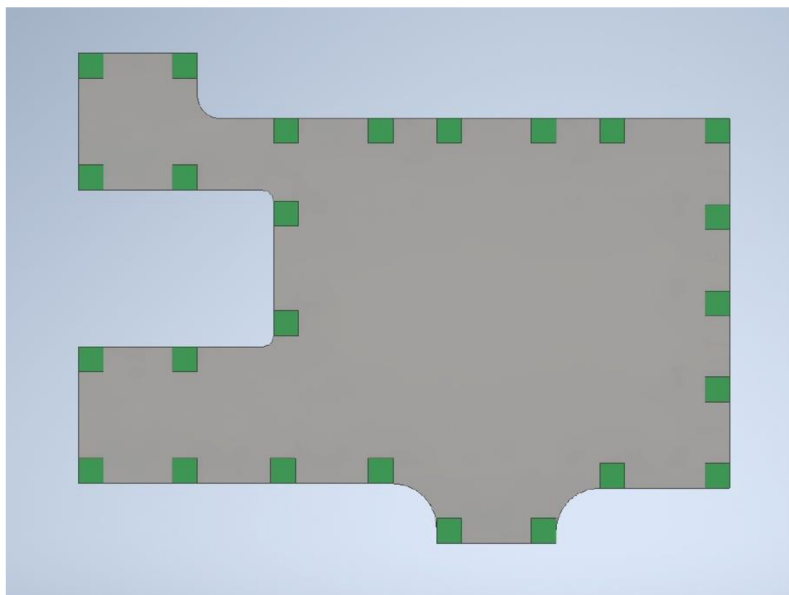
Obrázek 55 Posunutí při třetí iteraci vyztužení

### 9.3 Úprava nosné struktury dle reálného rozložení zatížení

V předchozí kapitole byla zvolena koncepce konstrukce vyztužení základny kontejneru. Nyní je potřeba navrhnout vyztužení tak, aby byla splněna podmínka maximálního posunutí 0,3 mm i při rozložení zatěžujících sil na podlahu kontejneru, které by více odpovídalo reálnému stavu. Následuje tedy stanovení rozložení sil od jednotlivých součástí FOC a jeho příslušenství.

#### 9.3.1 Stavitelné podpěry FOC

Jak uvádí kapitola 6.3.2, mezičlánkem mezi základní deskou FOC a podlahou kontejneru jsou ustavovací prvky s funkcí tlumení vibrací. Zvolena byla varianta se čtvercovým průřezem o velikosti 115 x 115 mm a výškou 100mm. Tyto ustavovací prvky byly rozmístěny na spodní plochu základní desky FOC se zohledněním snadné seřiditelnosti tak, aby se na ně co nejvíce rovnoměrně rozkládalo zatížení od jednotlivých jednotek, které jsou na základní desce umístěny. Ustavovací prvků bylo použito 25 (viz obrázek 56).



Obrázek 56 Rozložení ustavovacích prvků základní desky FOC

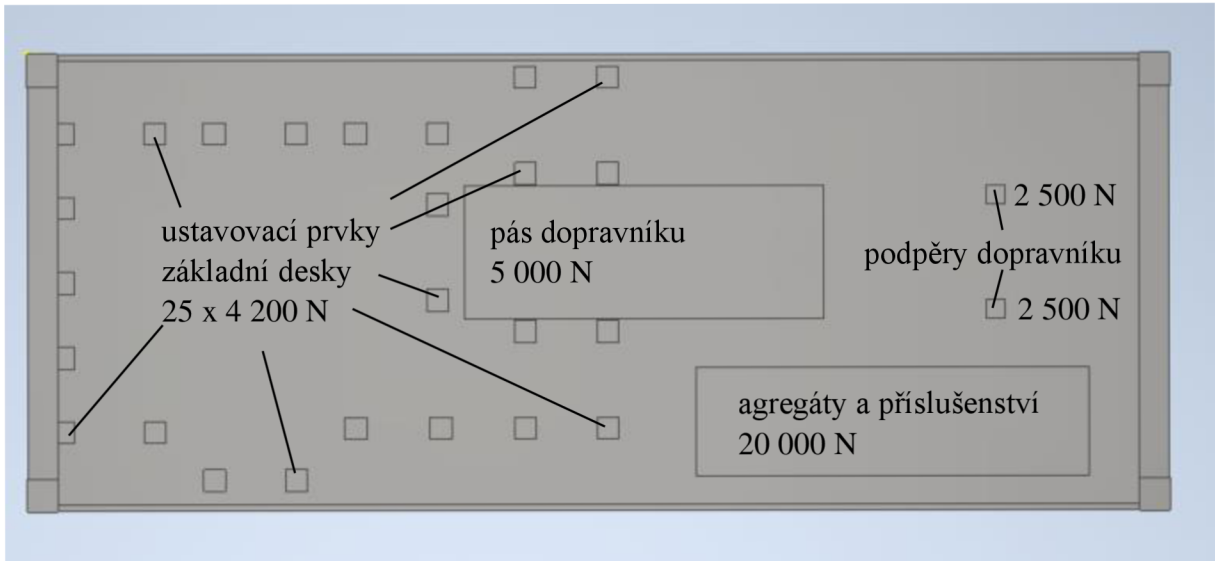
Zatížení každého z prvků lze určit z následujícího vztahu:

$$F_{prvek} = \frac{F_{deska} + F_{stul} + F_{zasobnik} + F_{max.stojan} + F_{obrobek}}{25} \quad (1)$$
$$F_{prvek} = \frac{50000 + 22000 + 7000 + 14000 + 12000}{25} = 4\,200 \text{ N}$$

#### 9.3.2 Zatížení podlahy kontejneru

Následně bylo potřeba stanovit rozložení zatížení na podlahu kontejneru (viz obrázek 57). Zatížení je vyvozeno od třech hlavních prvků. Prvním z nich je základní deska FOC, která je umístěna při uzavřeném čele kontejneru s odsazením 100 mm. Další zatížení je vyvozeno dopravníkem třísek, jehož pás je usazen ve vybrání základní desky. Jeho silové působení je rozděleno mezi těleso pásu a dvě podpěry, nacházející se v úrovni schránky na třísky. Poslední zatížení, se kterým je potřeba počítat, je vyvoláno obslužnými agregáty a příslušenstvím, jejichž umístění bylo zvoleno na levé straně dopravníku.





Obrázek 57 Rozložení zatížení na podlahu kontejneru

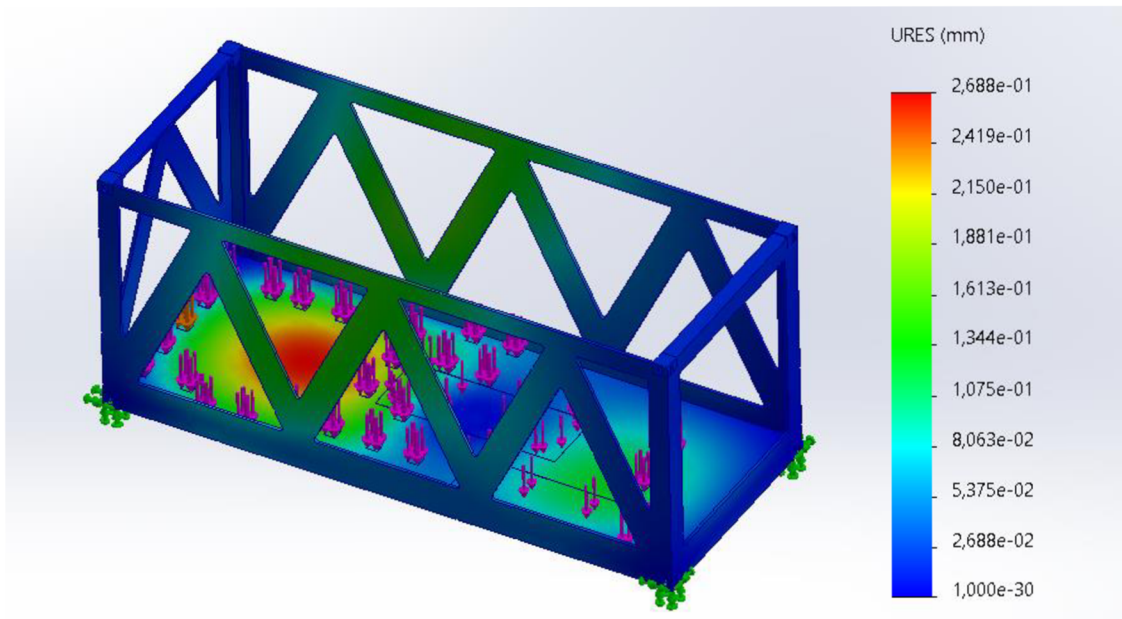
Rozložení sil dopravníku třisek bylo určeno dle rovnic:

$$F_{pás} = \frac{F_{dopravník}}{2} = \frac{10\,000}{2} = 5\,000\text{ N} \quad (2)$$

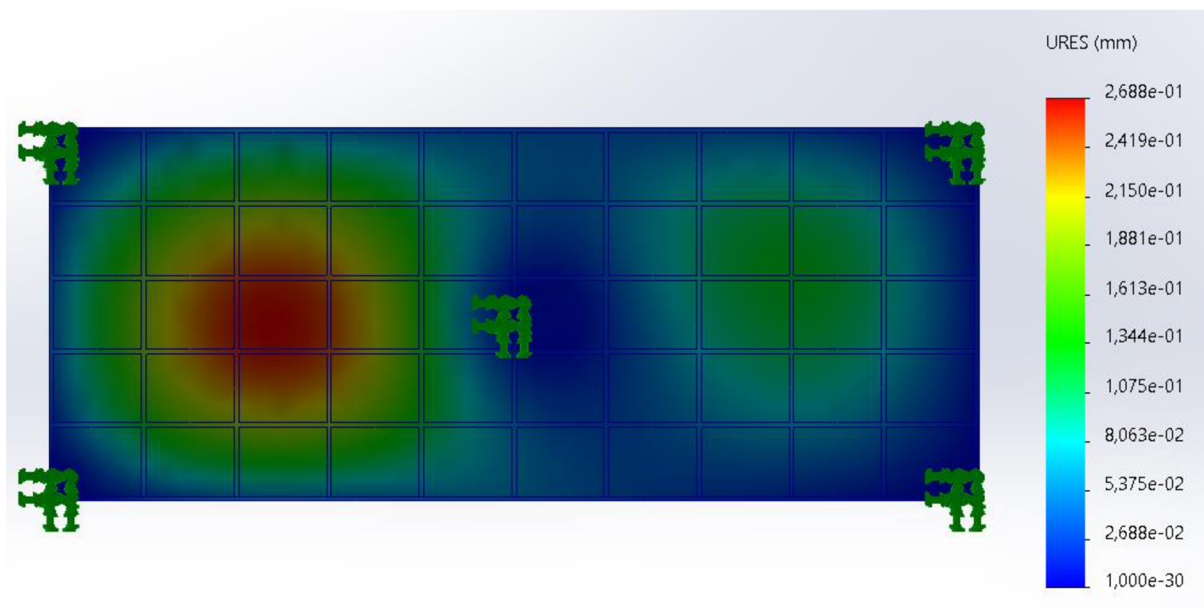
$$F_{podpěra} = \frac{F_{dopravník}}{4} = \frac{10\,000}{4} = 2\,500\text{ N} \quad (3)$$

### 9.3.3 První iterace

Při první iteraci simulace byl použit kontejner s vyztužením, jež vychází z kapitoly 9.2.3. (obrázek 54) Tento kontejner s žebrováním a jednou podpěrou uprostřed byl zatížen silami dle obrázku 57. Výsledná simulace přinesla pozitivní výsledky – maximální posunutí nabývalo maximální hodnoty 0,27 mm (viz obrázek 58), která vyhovuje vstupním požadavkům. Posunutí se nejvíce lokalizovalo pod základní deskou stroje (viz obrázek 59), což byl důvod k pokračování v úpravách nosné konstrukce.



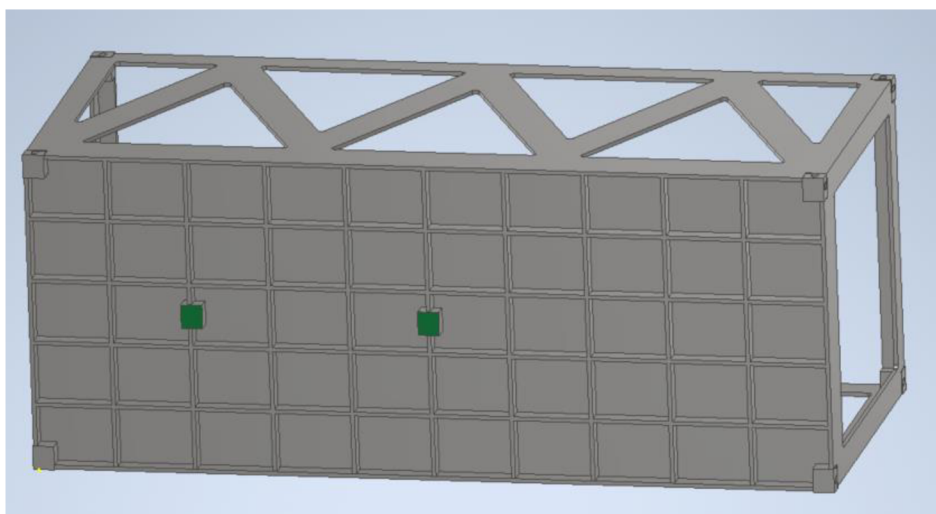
Obrázek 58 Posunutí při první iteraci za reálného rozložení zatížení



Obrázek 59 Posunutí podlahy kontejneru při první iteraci za reálného rozložení zatížení

### 9.3.4 Druhá iterace

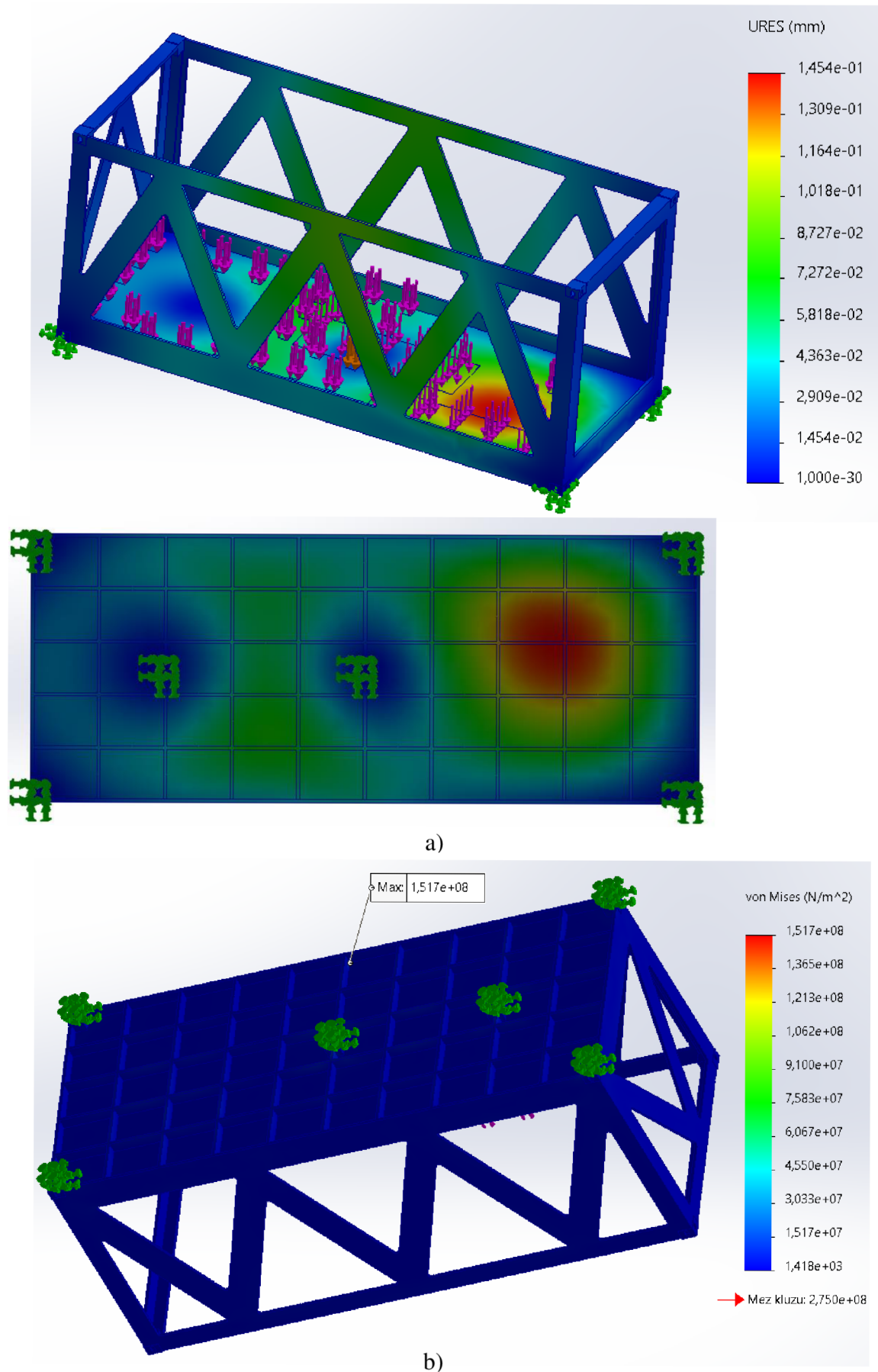
Nespokojenost s koncentrací posunutí v oblasti pod základní deskou stroje vedlo ke druhé iteraci úprav výztuhy základny kontejneru. Zesílení žeber není přípustnou variantou z hlediska možného navyšování hmotnosti kontejneru, proto se jako účinné řešení jeví přidání podpory do míst největšího posunutí (viz obrázek 60).



Obrázek 60 Základna kontejneru se 2 podpěrami

Tento způsob vyztužení se ukázal jako efektivní. Simulace s takto konstruovanou nosnou strukturou vykazovala ještě nižší hodnotu posunutí, konkrétně 0,15 mm (viz obrázek 61). Hmotnost kontejneru nebyla touto úpravou nijak výrazně zvýšena.

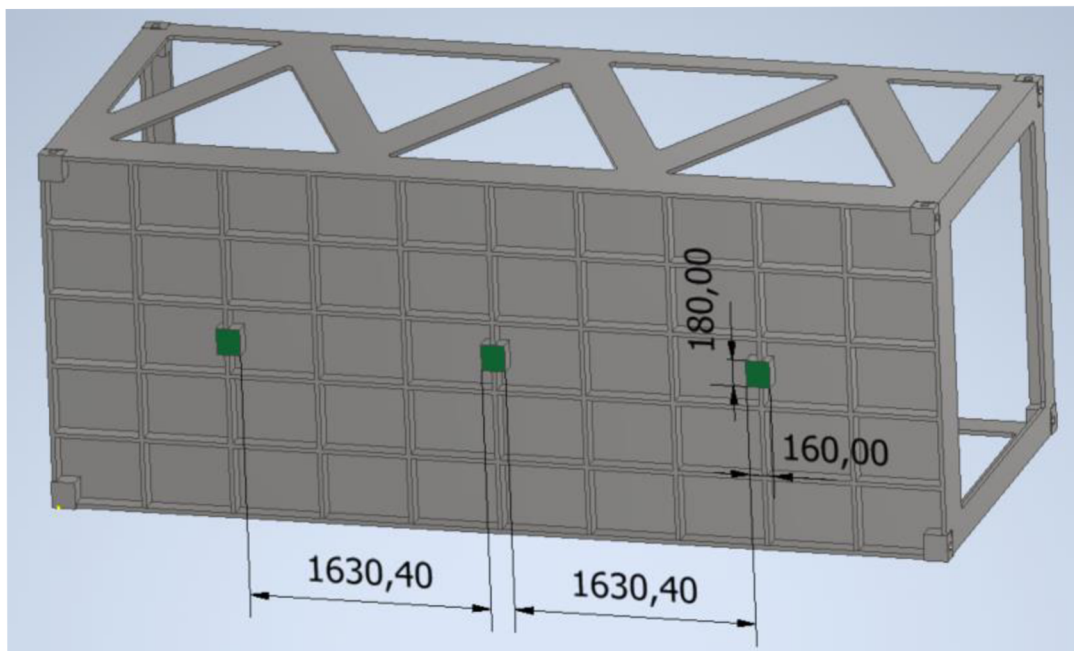
Oblast nejvyššího posunutí se díky umístění podpěře přesunula z původní pozice základní desky FOC do prostoru pro dopravník třísek. Jedná se o poměrně velkou a soustředěnou oblast, proto přicházela v úvahu další iterace úpravy vyztužení. Další veličina, jejíž velikost byla důvodem k pokračování v iteracích úprav, bylo napětí von Mises, jež dosahovalo maximálních hodnot až 151,7 MPa a jeho koncentrace se nacházela ve spojení podlahy kontejneru a výztuh.



Obrázek 61 Druhá iterace za reálného rozložení zatížení, a) posunutí b) napětí

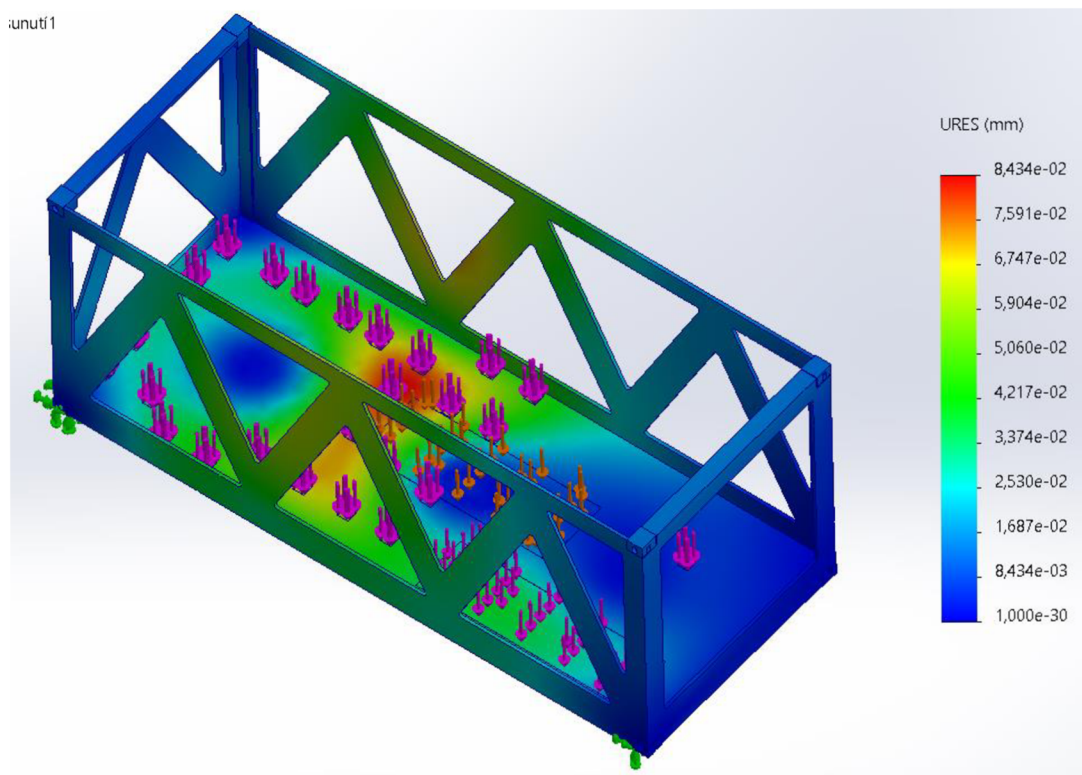
### 9.3.5 Třetí iterace

Pro omezení prohnutí v oblasti dopravníku třísek a pro snížení působícího napětí byla provedena třetí (závěrečná) iterace úprav vyztužení základny přepravního kontejneru. Přidána byla třetí podpěra do míst s největším průhybem (viz obrázek 62).



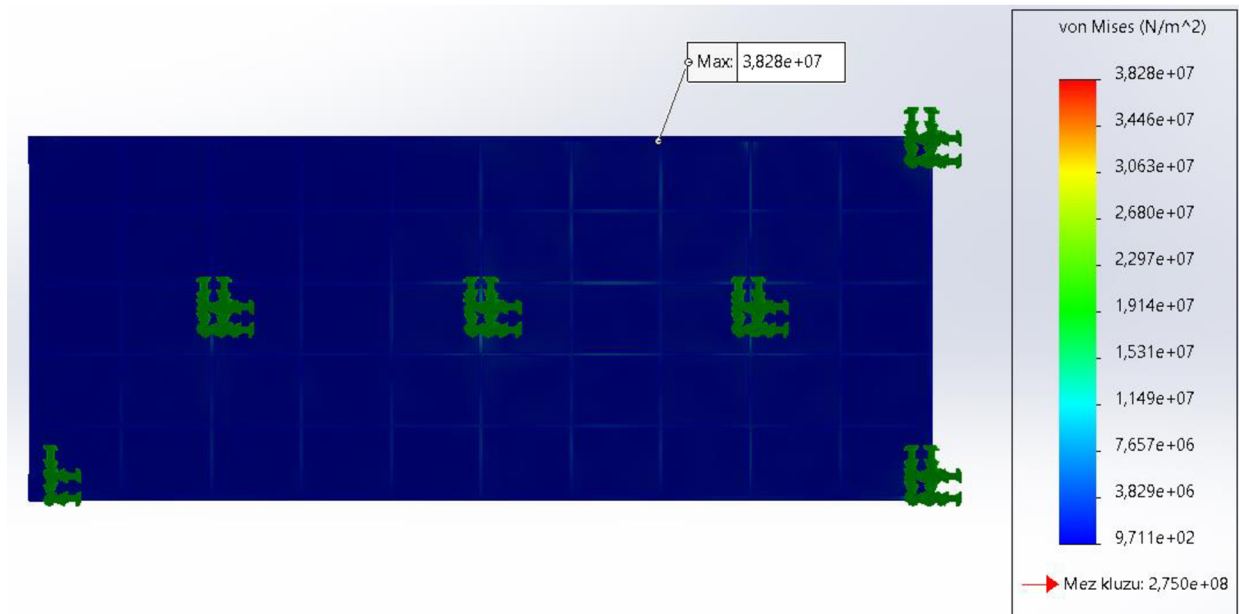
Obrázek 62 Základna kontejneru se 3 podpěrami

Takto provedená úprava nosné struktury kontejneru výrazně omezila hodnotu posunutí (viz obrázek 63). Jeho maximální hodnota se pohybovala okolo 0,084 mm. Zároveň se výrazně snížilo působící napětí, a to na hodnotu 38 MPa (viz obrázek 64).



Obrázek 63 Posunutí při třetí iteraci za reálného rozložení zatížení





Obrázek 64 Napětí von Mises při třetí iteraci za reálného rozložení zatížení

## 9.4 Zhodnocení výsledků

V kapitole 9 byl podrobněji přiblížen přepravně provozní obal pro navržené zařízení. Představeny byly parametry kontejneru ICC, jež bude pro danou aplikaci užít a zároveň byly vytyčeny vstupní podmínky pro následné úpravy nosné struktury tohoto kontejneru. Úpravy byly konány v několika iteracích (viz přílohy), kdy první řada úprav spočívala v hledání optimální koncepce konstrukce výztuh, se zkušebním zatížením 15 t, rozloženým rovnoměrně na podlahu kontejneru. Takto byla zvolena varianta s vyztužením základny kontejneru devíti příčnými a čtyřmi podélnými žebry o výšce 150 mm a doplněním základny o přidavnou podpěru. Hodnota posunutí při této variantě splňovala maximální podmínku 0,3 mm.

Dále bylo představeno reálné rozložení zatížení na podlahu stroje, s nímž bylo počítáno ve druhé řadě iterací. Bez úprav vyztužení vykazoval simulovaný model posunutí 0,27 mm, avšak s poměrně nerovnoměrným rozmístěním, dále také s vysokým působícím napětím. Proto se následné úpravy vykonávaly cestou přidávání podpěr. Při třetí iteraci, která skýtala žebrovanou základnu se třemi podpěrami, vykazoval simulovaný model posunutí 0,084 mm, rapidně kleslo také působící napětí von Mises, na hodnotu 38 Mpa. Hmotnost výsledného provedení kontejneru činí **10 t**.

Tyto získané výsledky lze považovat za úspěšné, jelikož splňují vstupní podmínky a ukazují tak, že je podobná koncepce pro provedení reálného přepravně-provozního celku stavebnicového frézovacího obráběcího centra střední velikosti s vodorovnou osou vřetena a možností mobility teoreticky proveditelná.



## 10 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Jednotlivé kapitoly diplomové práce se zabírají koncepčním návrhem stavebnicového frézovacího obráběcího centra střední velikosti s vodorovnou osou vřetena a možností mobility, které je předmětem zadání této diplomové práce. Je potřeba říci, že práce je spíše koncepčního charakteru, s cílem představit vhodný přepravně-provozní celek, vyhovující stanoveným požadavkům a následně teoreticky ověřit možnosti mobility. Detailní konstrukční návrh by byl projektem skýtajícím objemný vývoj a výzkum.

### 10.1 Technické zhodnocení

První kroky k vytvoření návrhu představoval výběr nejvhodnější koncepce stroje a způsobu transportu. Multikriteriální analýzou byla vybrána varianta FOC s pohyblivým stojanem a jako přepravní prostředek byl vybrán kontejner. Původním záměrem bylo použít některé z běžně dostupných FOC a uzpůsobit je potřebám stavebnicovitosti a modularity. Kvůli poměrně limitujícím rozměrům přepravních kontejnerů, které jsou značně omezeny ve výšce a šířce napříč většinou jejich druhů, se nakonec ukázalo jako vhodnější navrhnout vlastní koncepci zařízení.

Vstupními podmínkami pro navrhovanou koncepci FOC se staly rozměry pracovních prostorů a posuvových os běžně používaných strojů střední velikosti. Základem konceptu byl zvolen pohyblivý stojan, který byl dříve rozpracován v technicko-ekonomickém projektu z předmětu Stavba výrobních strojů III, vyučovaném v programu Výrobní stroje, systémy a roboty na ÚVSSR VUT v Brně.

Ke stojanu, skýtajícímu tři pohybové osy, realizované valivým vedením značky HIWIN a kuličkovými šrouby s maticemi, byly dodány další dvě osy osazením pracoviště otočně kolébkovým stolem HIWIN RAB-800. Zvláště pečlivý výběr byl věnován zařízení pro automatickou výměnu nástrojů, jehož rozměry dokáží znatelně ovlivnit již tak omezený pracovní a pohybový prostor stojanu. Volba padla na diskový zásobník #50 – 30T společnosti DEK, jehož rozměry byly vyhovující.

I tak je rozložení jednotlivých komponent zařízení velkým kompromisem, splňujícím požadované podmínky bez větších rezerv. Výše popsané konstrukční uzly se nacházejí na základní desce. Ta je tvořena ocelovou konstrukcí, z 60 % vyplněnou polymerbetonem. Výplň byla zvolena nejen za účelem zvýšení tuhosti a tlumení vibrací, avšak také pro snížení hmotnosti základní desky. Jako mezičlánek pro styk s podlahou přepravního kontejneru byly vybrány ustavovací prvky s tlumením vibrací Dynemech DTO

Mezi příslušenství FOC lze řadit dopravník třísek Jorgensen MunchMan, který lze pro účely zpřístupnění pracovního prostoru odsunout. Dalším z příslušenství jsou funkčně obslužné agregáty, jež lze provozovat ve stavebnicovém provedení, tj. konfigurovat použití jednotlivých agregátů dle požadované činnosti stroje.

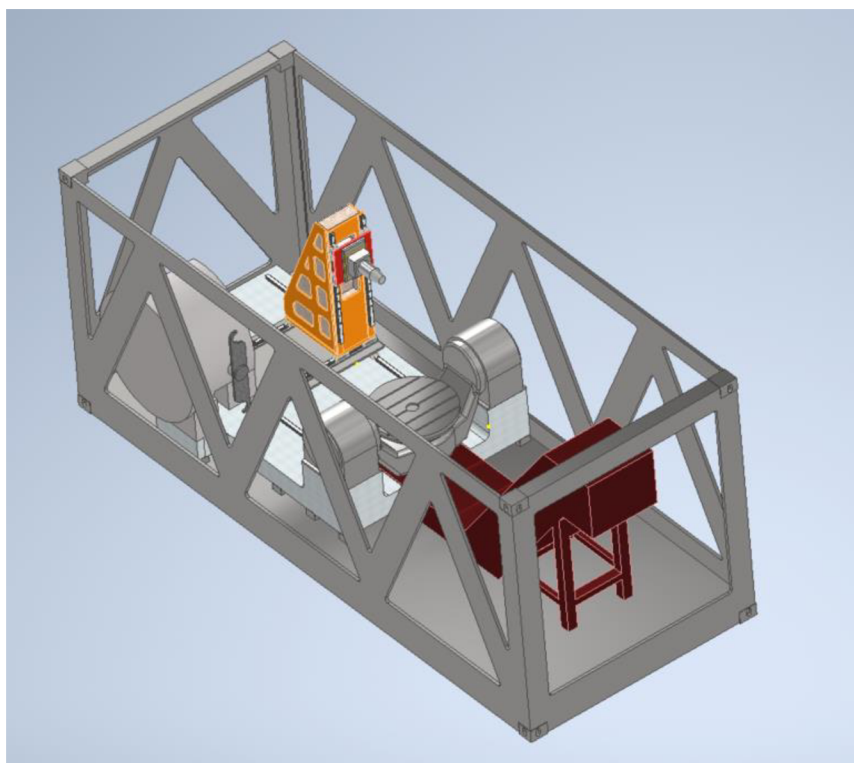
Modularita, která je podstatným prvkem stavebnicové konstrukce, je u navrhovaného FOC rozvedena pomocí modulových řad stojanu a vřeteníku. Pro účely jednoduché výměny spojování konstrukčních uzlů byly vybrány potřebné prvky nejen z řad hydraulických, pneumatických a elektrických soustav.

Dále se práce ubírala nalezením vhodného přepravního kontejneru a jeho uzpůsobením pro zástavbu navrženého FOC. Volba padla na kontejner třídy ICC open top, zvláště pro jeho vhodné rozměry, které nebyly vůči frézovacímu zařízení příliš velké, avšak poskytovaly dostatečný prostor pro umístění příslušenství a dalších prvků. Otevřený strop je zase vhodný k manipulaci s obrobky a dalšími jednotkami stroje.

Řešeným předmětem byla nosná struktura kontejneru. Ta musela podstoupit odlehčení v méně zatížených částech a následné vyztužení tam, kde bylo zatížení nejvyšší, což je základna kontejneru. V průběhu šesti iterací byl postupně vytvořen takový model, který odpovídal vstupním parametrům a který se jevil jako nejvhodnější pro zástavbu FOC z hlediska tuhosti a stability nosné konstrukce.

Vyztužení je realizováno žebrováním a podpěrami základny, které tvoří čtyři rohové prvky a tři středové, které svou stavbou z rohových prvků kontejneru vycházejí. Vzhledem k tomu, že tyto prvky budou postaveny na podpory s možností tlumení vibrací a seřízení výšky, bude se muset provádět jejich nastavení i u středových prvků základny. To bude možné nejlépe za pomoci nástroje, jež bude svou délkou uzpůsoben k dosažení těchto středových podpor.

Výsledná sestava je zobrazena na obrázku 65. Tvoří kompaktní, přepravně-provozní celek, který je vhodně uzpůsobený k účelům transportu a následnému provozu stroje přímo v přepravně-provozním obalu. Takto řešená soustava bude provozuschopná v různorodých podmínkách a využitelná k celé škále účelů.



Obrázek 65 Sestava FOC v kontejneru



## 10.2 Ekonomické zhodnocení

Jak bylo již dříve uvedeno, tato diplomová práce je převážně koncepčního charakteru. Proto není možné vytvořit přesný cenový odhad, jelikož navrhované FOC není propracováno do všech detailů. V rámci ekonomického zhodnocení bude tedy proveden pouze přibližný odhad ceny zařízení, závislý převážně na aktuální cenové hodnotě materiálu a použitých komponent. Dále bude zjištěna orientační cena kontejneru a také cena přepravních služeb.

Tabulka 17 Cenová rozvaha [47]; [48]; [49]; [50]; [51]; [52]; [53]; [54]; [55]; [56]; [59]; [60]; [61]; [62]; [63]; [64]; [65]

Součást	Odhadovaná cena
Otočný kolébkový stůl	500 000,- Kč
Vřeteníky a nástroje	500 000,- Kč
Kuličkové šrouby s maticemi	20 000,- Kč
Valivé vedení HIWIN	10 000,- Kč
Valivé vozičky HIWIN	30 000,- Kč
Pohony os	50 000,- Kč
Mezideska	8 000,- Kč
Kostrá stojanu	20 000,- Kč
Základní deska - ocel	150 000,- Kč (40,- Kč/kg)
Polymerbetonová výplň stojanu a zákl. desky	142 000 (70 Kč/kg)
Ustavovací prvky Dynemech	25 000,-Kč
Dopravník třísek Jorgensen	120 000,- Kč
Zařízení pro AVN DEX	120 000,- Kč
Obslužné agregáty	500 000,- Kč
Spojovací materiál a prvky propojení	55 000,- Kč
Přepravní kontejner ICC + úpravy	200 000,- Kč
Ustavovací a tlumící prvky kontejneru	50 000,- Kč
Prvky ovládání a řízení	200 000,- Kč
<b>Celkem za komponenty a materiál</b>	<b>2 700 000,- Kč</b>
Výroba stroje (práce)	1 000 000,- Kč
Cena za přepravu kontejneru	od 100,- Kč/km + 5 000,- Kč manipulace

Z uvedené orientační tabulky cenové rozvahy tedy vyplývá, že finanční nákladnost na výrobu navrhovaného přepravně-provozního celku je nemalá, avšak nepřevyšuje tolik náklady na pořízení konvenčního obráběcího centra. Reálná hodnota bude ještě o něco vyšší, v závislosti na rostoucích cenách. Dále není v cenové rozvaze započítána hodnota samotného vývoje zařízení.

Účel takto navrženého stroje je zakázková výroba přímo v místě určení, nebo jeho pronajímání zákazníkům. V takovém případě je možná rychlá návratnost investice, která musela být vynaložena do stavby tohoto FOC.

## 11 DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ ROZVOJ

Koncepční návrh stavebnicového frézovacího centra střední velikosti s vodorovnou osou vřetena a možností mobility, představený v této diplomové práci, tvoří základní pohled na provedení takto konstruovaného zařízení. Nejsou rozebrány bližší návrhové aspekty, konstrukční úskalí jednotlivých jednotek ani konkrétní volba všech komponent.

Další rozvoj návrhu by mohl, například v rámci příštích diplomových prací, obsahovat:

- podrobnou konstrukci základní desky stroje
- analýzu provedení pohyblivého stojanu
- výběr pohonů pro posuvové osy
- návrh řídicího systému
- návrh automatizačních prvků
- analýzu rizik a bezpečnostní posouzení zařízení
- virtuální zprovoznění
- systém teplotní kompenzace
- řízení pomocí virtuální a rozšířené reality

Současně s doporučením pro další rozvoj se lze zamyslet, jaké se nabízí budoucí využití pro navržený stroj. Jelikož lze zařízení přepravovat na různá místa výkonu činnosti, lze počítat také s tím, že přijde požadavek na provoz v podmínkách bez stabilního připojení elektrické energie. Není tedy od věci uvažovat o vlastním zdroji elektrické energie. V současnosti dochází k vývoji různých typů zdrojů, od obnovitelných až po ty fosilní, jejichž cílem je minimalizace rozměrů a maximalizace výstupního výkonu. Jedním z diskutovaných zdrojů dnešní doby je tzv. malý modulární reaktor, založený na principu jaderného štěpení.

Jelikož politická situace ve světě napjatá stále více, přichází v úvahu taktéž užití zařízení ve válečném prostředí. Doprava stroje až „na frontu“ by výrazně urychlila opravy vojenského vybavení, převážně těžké techniky. Na změny pozice frontové linie a s tím spojeného přesunu armád lze tedy rychle reagovat jednoduchým přemístěním stroje. Ustavovací prvky zaručí možnost seřízení i za obtížných podmínek.

Naopak při zachování optimistického mínění o lidském pokolení lze počítat s budoucím osidlováním vzdálených planet. Takový proces zahrnuje z velké části transformaci krajiny a také vybudování kompletně nové infrastruktury vhodné pro život. I v této oblasti nachází navržený stroj své uplatnění. Standardizovaný kontejner jistě nalezne své místo ve vesmírném plavidle a mobilní stroj se tak bude moci na vybrané planetě plnou měrou podílet na tvorbě úplně nového prostředí, jež se jednou může stát přirozenou domovinou člověka.



## 12 ZÁVĚR

Diplomová práce přináší návrh stavebnicového frézovacího obráběcího centra střední velikosti s vodorovnou osou vřetena a možností mobility. Téma mobilních strojů je často probíraným subjektem v rámci současných požadavků na cirkulární a udržitelnou ekonomiku, jejíž součástí je z velké části systém sdílení prostředků, včetně těch výrobních. Své zastoupení tato myšlenka nachází také v nově studovaných formách společenských systémů, jako je kupříkladu deurbanizace a komunitní žití.

Návrh, jež je v této práci představen, nabývá koncepčního charakteru. Nezachází do oblastí detailních konstrukčních řešení všech jednotlivých prvků, s ohledem na obsahovou náročnost a omezený rozsah. Důležitým aspektem byla proto definice podstatných cílů a výstupů, kterých bylo potřeba dosáhnout, do jaké míry tvořit nová řešení, a naopak kdy využívat již známé principy a dostupné prvky.

První část práce se zabývá shrnutím současného stavu poznání, jehož podstatou je přiblížení dosud dostupných poznatků a běžně uplatňovaných řešení. Výstupem takto zpracované rešerše je primárně ta skutečnost, že nyní používané mobilní obráběcí stroje jsou převážně malých velikostí a nízkých hmotností, proto má smysl se tématem práce zabývat. Dále jsou v této kapitole rozebrány jednotlivé horizontální FOC, možnosti jejich stavebnicovité konstrukce a také jednotlivé druhy přepravních obalů a prostředků.

Následuje systémový rozbor, který definuje hlavní rámec práce, jímž je standardizace, typizace a modularita. Také se zde blíže rozebírají požadavky na navrhované zařízení a vytyčené cíle, včetně postupu řešení. Stanoveny jsou rovněž hodnotící kritéria pro výběr optimální varianty řešení pomocí multikriteriální analýzy, která je dále realizována a jejímž výsledkem se stalo OC s pohyblivým stojanem, transportované v přepravním kontejneru.

Dále je uvedeno jednotlivé konstrukční řešení dílčích prvků, jako je otočný kolébkový stůl, AVN, dopravník třisek, propojení médií a další. Většina z nich je vybrána z na trhu dostupných produktů s ohledem na příslušné požadavky. Samotný obráběcí stroj bylo však nutné navrhnout jako vlastní koncept, kvůli poměrně limitujícím rozměrům přepravních kontejnerů. Stěžejním prvkem je stojan pohyblivý ve dvou osách, třetí osu tvoří pohyblivá vřeteníková deska. Všechny důležité části FOC jsou umístěny na speciální základní desku, jež zastává funkci lože. Principy stavebnicovitosti jsou představeny tzv. modularitou v řadách, aplikovanou například na konstrukci stojanu, vřeteníku, nosné mezidesky, a případně na upínání obrobků či systému funkčně-obslužných agregátů.

V neposlední řadě je určen vhodný přepravní kontejner, konkrétně ISO 1CC. Hlavním požadavkem na kontejner je jeho tuhost a co nejmenší průhyb při zatížení od obráběcího stroje. Vytvořený 3D model byl proto podroben několika iteracím vyztužení nosné struktury kontejneru, doplněné o ověření průhybu pomocí MKP analýzy v programu Solidworks. Takto bylo šestou iterací dosaženo vhodného provedení, skýtající žebrování a tři středové podpěry.

Závěrečnou část tvoří technicko-ekonomické zhodnocení a doporučení pro další rozvoj. Z těchto kapitol vyplývá, že výstup diplomové práce splňuje zadání. Návrh stavebnicového frézovacího obráběcího centra střední velikosti s vodorovnou osou vřetena a možností mobility odpovídá vymezeným rámcům a jeho dílčí aspekty, vyplývající z konstrukce, mohou sloužit jako náměty pro další zpracování, rozšiřující tuto problematiku.



## 13 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, s.r.o., 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [2] JANÍČEK, Přemysl a Jiří MAREK. Expertní inženýrství v systémovém pojetí. Praha: Grada, 2013. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-4127-7.
- [3] MAREK, J. et al. Stavba a provoz CNC obráběcích strojů [online]. 1. vyd. Brno: Ústav výrobních strojů systému a robotiky, FSI, VUT v Brně, 23. 3. 2023, updated, průběžně aktualizováno [cit. 07.09.2023]. Učebnice Ústavu výrobních strojů, systému a robotiky, FSI, VUT v Brně, 1 svazek. Dostupné z: <http://147.229.45.89:8090/>. ISBN 978-80-07452-4-7.
- [4] *Základní principy cirkulární ekonomiky*. [Online]. Institut cirkulární ekonomiky. 2016. Dostupné z: <https://incien.org/zakladni-principy-cirkularni-ekonomiky/>. [cit. 2024-01-25].
- [5] FRAŇKOVÁ, Eva. *Lokální ekonomiky v souvislostech aneb produkce a spotřeba z blízka*. 1. vyd. Brno: Munipress, 2015. ISBN 978-80-210-7741-6.
- [6] MAREK, Jiří. Obráběcí centra a stroje soustružnického typu. [Online]. *MM Průmyslové spektrum*. 2010, roč. 2010, č. 5. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/obrabeci-centra-a-stroje-soustruznickeho-typu>. [cit. 2024-01-15].
- [7] *Frézovací hlavy*. [Online]. TOS VARNSDORF a. s. Dostupné z: <https://www.tosvarnsdorf.cz/cs/frezovaci-hlavy>. [cit. 2024-01-19].
- [8] ZHANG, Li; MA, Lianjie; WU, Dongxu a ZHOU, Yunguang. A novel integrated process-machine approach for designing customized milling machines. [Online]. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2019, roč. 104, č. 1, s. 245-260. ISSN 1433-3015. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03742-x>. [cit. 2024-01-25].
- [9] *IMG Directindustry*. [Online]. Dostupné z: [http://img.directindustry.com/images\\_di/photo-g/122219-6194733.jpg](http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/122219-6194733.jpg). [cit. 2024-01-25].
- [10] *BL-S Series Quill Type Spindle - Parts Processing*. [Online]. AWEA. Dostupné z: [https://www.awea.com/awea\\_en/milling/horizontal-boring/bl/spindle.htm](https://www.awea.com/awea_en/milling/horizontal-boring/bl/spindle.htm). [cit. 2024-01-16].
- [11] *HBM Spindle Machine Tool Requirements WZ for Cogsdill ZX Tooling*. [Online]. Cogsdill. 2022. Dostupné z: [https://cogsdill.co.uk/products/zx-systems/machine\\_tool\\_requirements\\_wz\\_r-2-2/](https://cogsdill.co.uk/products/zx-systems/machine_tool_requirements_wz_r-2-2/). [cit. 2024-01-25].
- [12] *Automatická výměna palet*. [Online]. TOS VARNSDORF a. s. Dostupné z: <https://www.tosvarnsdorf.cz/cs/automaticka-vymena-palet>. [cit. 2024-01-16].
- [13] BEDNÁŘOVÁ, Nela. *Stavebnicové obráběcí stroje, výrobní linky, CNC obráběcí stroje*. PDF. Dostupné také z: <https://adoc.pub/stavebnicove-obrabci-stroje-vyrobnilinky-cnc-obrabci-stroje.html>.
- [14] ŘASA, Jaroslav, Přemysl POKORNÝ a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3 – 2. díl*. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005, 221 s. ISBN 80-718-3336-3
- [15] *Stavebnicové stroje VY\_32\_INOVACE\_39\_793*. [Online]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/11993742/>. [cit. 2024-01-19].
- [16] *Modulární a decentralizovaná automatizace v praxi*. [Online]. Automatizace.HW.cz. 2023. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/modularni-a-decentralizovana-automatizace-v-praxi.html>. [cit. 2024-01-19].
- [17] *WHN 110/130 (Q,MC)*. PDF. 2014. TOS Kuřim.
- [18] *Reference*. [Online]. Mobilní obrábění. Dostupné z: <https://mobilniobrabeni.cz/>. [cit. 2024-01-19].

- [19] *Products*. [Online]. Sir Meccanica. 2016. Dostupné z: <https://sirmeccanica.com/products>. [cit. 2024-01-20].
- [20] *FMAX 4000*. [Online]. Sir Meccanica. 2016. Dostupné z: <https://sirmeccanica.com/product/fmax-4000>. [cit. 2024-01-20].
- [21] *Products*. [Online]. Climax Portable. 2023. Dostupné z: <https://www.climaxportable.com/products/>. [cit. 2024-01-20].
- [22] SMOLÍK, J. *Přehled nekonvenčních materiálů a struktur pro stavbu obráběcích strojů*.: Společnost pro obráběcí stroje a ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Výzkumné centrum pro strojírenskou a výrobní technologii a techniku, 2007.
- [23] MRAZ P. *Využití vláknových kompozitu při vývoji nových struktur výrobních strojů a robotů*.: Společnost pro obráběcí stroje a ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Výzkumné centru pro strojírenskou a výrobní technologii a techniku, 2007.
- [24] *Freight transport statistics - modal split*. [Online]. Statistics Explained. 2023. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Freight\\_transport\\_statistics\\_-\\_modal\\_split](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Freight_transport_statistics_-_modal_split). [cit. 2024-01-20].
- [25] *Freight transported in containers - statistics on unitisation*. [Online]. Statistics Explained. 2023. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Freight\\_transported\\_in\\_containers\\_-\\_statistics\\_on\\_unitisation&oldid=533691](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Freight_transported_in_containers_-_statistics_on_unitisation&oldid=533691). [cit. 2024-01-20].
- [26] *Incoterms 2024: Meaning, Chart*. [Online]. Freightos. 2024. Dostupné z: <https://www.freightos.com/freight-resources/incoterms-plain-english-freight-shipping-guide/>. [cit. 2024-01-20].
- [27] *Průvodce Incoterms® 2020 v roce 2023*. [Online]. MoverDB.com. 2023. Dostupné z: <https://moverdb.com/cs/incoterms-2020-guide/>. [cit. 2024-01-20].
- [28] *Trendy v logistice*. [Online]. Airway.cz. 2023. Dostupné z: <https://airway.cz/blog/trendy-v-logistice-kam-se-budou-vyvijet>. [cit. 2024-01-20].
- [29] *Elektromobilita a doručování zásilek*. [Online]. Airway.cz. Dostupné z: <https://airway.cz/blog/elektromobilita-doruceni-zasilek>. [cit. 2024-01-20].
- [30] *Umělá inteligence v logistice*. [Online]. Airway.cz. 2023. Dostupné z: <https://airway.cz/blog/umela-inteligence-v-logistice>. [cit. 2024-01-20].
- [31] *Trendy v logistice 2023*. [Online]. Objevte DHL. 2023. Dostupné z: <https://www.dhl.com/discover/cs-cz/logistics-advice/logistics-insights/logistics-and-delivery-trends-2023>. [cit. 2024-01-20].
- [32] *Fotogalerie*. [Online]. GOIS logistics. 2024. Dostupné z: <https://gois.cz/fotogalerie/>. [cit. 2024-01-23].
- [33] *VYHLÁŠKA ze dne 20. září 2018 o hmotnostech, rozměrech a spojitelnosti vozidel*. [Online]. EPRAVO.CZ. 2018. Dostupné z: <https://www.epravo.cz/top/zakony/sbirka-zakonu/vyhlaska-ze-dne-20-zari-2018-o-hmotnostech-rozmerech-a-spojitelosti-vozidel-22266.html>. [cit. 2024-01-23].
- [34] *Podvalníky*. [Online]. Autodoprava Vlk. 2024. Dostupné z: <https://www.vlkdoprava.cz/podvalniky>. [cit. 2024-01-23].
- [35] *Směrnice pro exportní balení*. [Online]. OBALOVÁ AKADEMIE. 2020. Dostupné z: <https://obalovaakademie.cz/smernice-pro-exportni-baleni>. [cit. 2024-01-23].
- [36] *Druhy přepravních kontejnerů (a jaký si vybrat)*. [Online]. EasyCargo. 2020. Dostupné z: <https://www.easycargo3d.com/cs/blog/druhy-prepravnich-kontejneru-a-jaky-si-vybrat/>. [cit. 2024-01-23].
- [37] *Kontejnery ISO*. [Online]. Multitec Český Brod s.r.o. 2015. Dostupné z: <https://www.multitec.eu/vyroba-kontejneru/iso-kontejnery>. [cit. 2024-01-25].
- [38] ISO 668:2020, *Series 1 freight containers: Classification, dimensions and ratings*. 7. vyd.
- [39] ISO 1611:2016, *Series 1 freight containers: Corner and intermediate fittings*. 5. vyd.



- [40] *Container Lashing Equipment*. [Online]. Navacqs. 2024. Dostupné z: <https://www.navacqs.com/category/container-lashing-equipment/>. [cit. 2024-01-23].
- [41] *Shipping Container Connections: Parts Catalog*. PDF. Container Hoardings, 2021. Dostupné také z: <https://www.containerhoardings.com.au/container-accessories/>.
- [42] MAREK, Jiří. *Systémový přístup a rozhodování v konstrukčním procesu: Metodika brněnské konstrukční školy*. [Online]. 1. vyd. Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky, 2021.
- [43] PLOC, Jakub; PAZOUR, Jiří; ROMANOV, Dmitry a PŘIBYLA, Dalibor. *Technicko-ekonomický projekt G2S: Jednoúčelový stroj na obrábění nápravy*. Brno: FSI VUT v Brně, 2024.
- [44] *Vysokorychlostní výsuvné vřeteno*. Online. TOS VARNSDORF a. s. 2024. Dostupné z: <https://www.tosvarnsdorf.cz/cs/vysokorychlostni-vysuvne-vreteno>. [cit. 2024-03-27].
- [45] *Modulární rozhraní vřeteníku*. Online. TOS VARNSDORF a. s. 2024. Dostupné z: <https://www.tosvarnsdorf.cz/cs/modularni-rozhrani-vreteniku>. [cit. 2024-03-27].
- [46] *Horizontal APC Series/ Automatic Pallet Changer*. Online. CNC rotary table (The 4th and 5th axis) Manufacturer. 2018. Dostupné z: <https://www.parkson-wu.com/product/horizontal.html>. [cit. 2024-03-27].
- [47] *HIWIN – lineární technika*. Online. Hiwin.cz. 2024. Dostupné z: [https://www.hiwin.cz/cz/produkty/otocne-stoly/463\\_rab](https://www.hiwin.cz/cz/produkty/otocne-stoly/463_rab). [cit. 2024-03-27].
- [48] *Disc / Chain Type Tool Magazine*. Online. TE-SHIN Precision Technology CO., LTD. Dostupné z: <https://www.dexcams.com/en/products/atc-tool-magazine/50-left-mag-tool-changer-30t/50-24t-30t-horizontal>. [cit. 2024-03-29].
- [49] *MunchMan®*. Online. Jorgensen Conveyors and Filtration Solutions. 2024. Dostupné z: <https://www.jorgensenconveyors.com/product/munchman-twin-belt-conveyors/>. [cit. 2024-03-29].
- [50] *Průmyslové napájecí konektory*. Online. RS. 2024. Dostupné z: <https://cz.rs-online.com/web/c/konektory/sitove-a-dc-napajeci-konektory/prumyslove-napajeci-konektory/>. [cit. 2024-03-29].
- [51] *Modulární obdélníkové konektory*. Online. Phoenix Contact. 2024. Dostupné z: <https://www.phoenixcontact.com/cs-cz/produkty/konektory/modularni-obdelnikove-konektory>. [cit. 2024-03-29].
- [52] *Pneumatické rychlospojky*. Online. Online prodej| RS. 2024. Dostupné z: <https://cz.rs-online.com/web/c/pneumatika-a-hydraulika/pneumaticke-konektory-armatury-a-hadice/pneumaticke-rychlospojky/>. [cit. 2024-03-29].
- [53] *Hydraulické rychlospojky bezodkapové Série A*. Online. Haberkorn. 2024. Dostupné z: <https://eshop.haberkorn.cz/hydraulicke-rychlospojky-bezodkapove-serie-a-hydraulicke-rychlospojky-bezodkapove-serie-a-1-4.html>. [cit. 2024-03-29].
- [54] *Levelling Twistlock Leg*. Online. Sedna Containers. 2024. Dostupné z: <https://sednacontainers.com/en/winkel/accessories/container-parts/levelling-twistlock-leg/>. [cit. 2024-03-29].
- [55] *90401SA-CPA Height Extender*. Online. Tandemloc, Inc. 2024. Dostupné z: <https://www.tandemloc.com/90401sa-cpa>. [cit. 2024-03-29].
- [56] *Wedge Mounts - Series DTO*. Online. Dynemech. 2022. Dostupné z: <https://www.vibrationmountsindia.com/wedge-mounts-series-dto/>. [cit. 2024-03-30].
- [57] *Cooling Systems for Ball Screws*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.amannesmann.de/en/products/ball-screws/cooling-systems/>. [cit. 2024-03-30].
- [58] KEDAJOVÁ, Kristýna. *Mobilní frézovací CNC obráběcí centrum* [online]. Brno, 2022 [cit. 2024-05-12]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139987>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Jiří Marek.

- [59] *Automatic Atc CNC Tool Magazine Bt30 Tool Holder Magazine*. Online. Made-in-China.com. 2024. Dostupné z: <https://fagor-cnc.en.made-in-china.com/product/lnuRJOXvZPkW/China-Automatic-Atc-CNC-Tool-Magazine-Bt30-Tool-Holder-Magazine.html>. [cit. 2024-05-12].
- [60] *Hiwin Rab 500 Rotary Table*. Online. Indiamart.com. 2024. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/hiwin-rab-500-rotary-table-27142452630.html>. [cit. 2024-05-12].
- [61] *Lineární technika*. Online. CNCShop.cz. 2024. Dostupné z: <https://www.cncshop.cz/linearni-technika/kat7.html>. [cit. 2024-05-12].
- [62] *Wedge Mounts Series Dto (centred Hole Bolt Through)*. Online. Indiamart.com. 2024. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/wedge-mounts-series-dto-centred-hole-bolt-through-22771900748.html>. [cit. 2024-05-12].
- [63] *Lineární technika*. Online. Mateza.cz. 2024. Dostupné z: <https://www.mateza.cz/e-shop/loziska/linearni-technika>. [cit. 2024-05-12].
- [64] *How Much Does a 20ft Shipping Container Cost?* Online. Cargostore Worldwide. 2021. Dostupné z: <https://cargostore.com/how-much-does-a-20ft-container-cost/>. [cit. 2024-05-12].
- [65] *Cena za přepravu*. Online. Kontejnery Ostrava. 2018. Dostupné z: <https://www.kontejnery-autodoprava.cz/kalkulace.php>. [cit. 2024-05-12].
- [66] *NHX 5500*. Online. DMG MORI Czech. 2024. Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/produkty/stroje/frezovani/horizontalni-frezovani/nhx/nhx-5500>. [cit. 2024-05-21].
- [67] *HCN-6000*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.mazakeu.cz/cs/machines/hcn-6000/>. [cit. 2024-05-21].
- [68] *ZPS MCH630i*. Online. 2024 Dostupné z: <https://www.tajmac-zps.cz/h630>. [cit. 2024-05-21].
- [69] Draw.io [online]. [cit. 2024-01-25]. <https://app.diagrams.net/>
- [70] CitacePRO [online]. [cit. 2024-01-25]. Dostupné z: <https://www.citacepro.com>

# 14 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

## 14.1 Seznam zkratk a symbolů

Zkratka, symbol	Jednotka	Význam
$F_{\text{deska}}$	N	Zatěžující síla od základní desky stroje
$F_{\text{dopravník}}$	N	Zatěžující síla od dopravníku
$F_g$	N	Tíhová síla
$F_{\text{max.stojan}}$	N	Zatěžující síla od stojanu o maximální velikosti
$F_{\text{obrobek}}$	N	Zatěžující síla od obrobku
$F_{\text{pas}}$	N	Zatěžující síla na pás dopravníku
$F_{\text{podpera}}$	N	Zatěžující síla na podpěru dopravníku
$F_{\text{prvek}}$	N	Zatěžující síla na ustavovací prvek
$F_{\text{stul}}$	N	Zatěžující síla od otočně kolébkového stolu
$F_{\text{zasobik}}$	N	Zatěžující síla od automatické výměny nástrojů
$g$	$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	Tíhové zrychlení
$m$	kg	Hmotnost
AVN	-	Automatická výměna nástrojů
AVO	-	Automatická výměna obrobků
CO <sub>2</sub>	-	Oxid uhličitý
EU	-	Evropská unie
FOC	-	Frézovací obráběcí centrum
MKP	-	Metoda konečných prvků
OC	-	Obráběcí centrum
OS	-	Obráběcí stroj
$\sigma$	MPa	Napětí

## 14.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 Varianty kinematického spojení [3] .....	26
Tabulka 2 ISO kontejnery řady 1 [38].....	37
Tabulka 3 Příklady horizontálních FOC střední velikosti [17]; [66]; [67]; [68].....	45
Tabulka 4 Hodnotící kritéria pro výběr obráběcího centra .....	46
Tabulka 5 Normovaná váha kritérií pro výběr obráběcího centra.....	47
Tabulka 6 Stupnice pro hodnocení kritérií .....	47
Tabulka 7 Multikriteriální výběr obráběcího centra metodou Pattern .....	48
Tabulka 8 Hodnotící kritéria pro výběr přepravního obalu.....	50
Tabulka 9 Normovaná váha kritérií pro výběr přepravního obalu .....	50
Tabulka 10 Stupnice pro hodnocení kritérií .....	51

Tabulka 11 Multikriteriální výběr přepravního obalu metodou Pattern .....	51
Tabulka 12 Modulové řady stojanu .....	65
Tabulka 13 Modularita vřeteníku [1] .....	66
Tabulka 14 Provedení upínacích desek [1] .....	67
Tabulka 15 Varianty užitých obslužných agregátů [1] .....	67
Tabulka 16 Hmotnost jednotlivých částí sestavy .....	69
Tabulka 17 Cenová rozvaha [47]; [48]; [49]; [50]; [51]; [52]; [53]; [54]; [55]; [56]; [59]; [60]; [61]; [62]; [63]; [64]; [65] .....	83

### 14.3 Seznam obrázků

Obrázek 1 Základní rozdělení obráběcích center [1]; [69] .....	21
Obrázek 2 Univerzální frézovací hlava HOIL 50 TOS Varnsdorf [7] .....	22
Obrázek 3 Provedení s pevným stojanem, Box-in-Box [8] .....	22
Obrázek 4 Provedení s pohyblivým stojanem [9] .....	23
Obrázek 5 a) spodní gantry b) horní gantry c) pevný portál [1] .....	24
Obrázek 6 Schéma chlazení vřetene [10] .....	24
Obrázek 7 Výsuvné vřeteno Cogsdill [11] .....	25
Obrázek 8 Stoly uzpůsobené pro AVO [12] .....	25
Obrázek 9 Blokované schéma stavebnicového stroje [13]; [14]; [69] .....	26
Obrázek 10 Stavebnicový stroj s výměnnými jednotkami [15] .....	27
Obrázek 11 Modulární výrobní linka [16] .....	28
Obrázek 12 Obráběcí centrum WHN 110 (Q, MC) [17] .....	29
Obrázek 13 Zařízení pro AVN [17] .....	29
Obrázek 14 Dopravník třísek a chladicí zařízení [17] .....	29
Obrázek 15 Frézovací stroj FMAX 4000 při vyvrtávání [20] .....	31
Obrázek 16 Vyvrtávací a svařovací stroj BW 1000 [21] .....	31
Obrázek 17 Rekonfigurace z lineárního na portálové provedení [21] .....	32
Obrázek 18 Frézovací vřeteno IPT Aachen vyrobené z hybridního materiálu [23] .....	33
Obrázek 19 Procesní diagram transportu obráběcích strojů [1]; [3]; [69] .....	33
Obrázek 20 Incoterms 2020 [27] .....	35
Obrázek 21 Nadrozměrný náklad na podvalníku [32] .....	36
Obrázek 22 Přepravní bedna [35] .....	36
Obrázek 23 a) otočný zámek b) rohový prvek [41] .....	37
Obrázek 24 a) open top b) otevřené boky c) flatrack d) chladicí kontejner [36] .....	38
Obrázek 25 Dílčí cíle práce [1]; [2]; [3]; [42]; [69] .....	42
Obrázek 26 Interakce s prostředím [1]; [2]; [3]; [42]; [69] .....	43
Obrázek 27 Hlavní prvky řešení [69] .....	44
Obrázek 28 Normovaná váha kritérií pro volbu obráběcího centra vyjádřená v procentech pomocí výsečového grafu .....	47

Obrázek 29 Normovaná váha kritérií pro volbu přepravního obalu vyjádřená v procentech pomocí výsečového grafu.....	50
Obrázek 30 Návrh stojanu [43] .....	53
Obrázek 31 Modulární vřeteník s výsuvným vřetenem TOS Varnsdorf [44] .....	54
Obrázek 32 Automatická výměna palet řady APC [46] .....	55
Obrázek 33 Otočný kolébkový stůl HIWIN RAB-800 [47].....	55
Obrázek 34 Diskový řetězový zásobník DEX #50 – 30T [48].....	56
Obrázek 35 Model AVN .....	56
Obrázek 36 Dopravník třísek MunchMan [49] .....	57
Obrázek 37 Propojení vodičů ITT Cannon a) zástrčka, b) zásuvka [50] .....	58
Obrázek 38 Modulární konektory Phoenix Contact [51] .....	58
Obrázek 39 Pneumatická rychlospojka PRO Rectus 20 a) samec, b) samice [52] .....	59
Obrázek 40 Bezodkapové hydraulické rychlospojky Haberkorn [53] .....	59
Obrázek 41 a) ustavovací patka b) tlumící prvek [54], [55].....	60
Obrázek 42 Ustavovací prvek DTO společnosti Dynemech [56] .....	61
Obrázek 43 Chlazený KŠM Mannesmann [57].....	62
Obrázek 44 Rozložení pracoviště FOC .....	63
Obrázek 45 Rozložení pracoviště shora .....	64
Obrázek 46 Vedení stojanu .....	64
Obrázek 47 Modulové řady stojanu .....	65
Obrázek 48 Řady nosných mezidesek .....	66
Obrázek 49 Kontejner ICC s odlehčenými stěnami.....	70
Obrázek 50 Kontejner se zesíleným obvodem základny.....	71
Obrázek 51 Posunutí při první iteraci vyztužení .....	71
Obrázek 52 Kontejner s žebrovou základnou.....	72
Obrázek 53 Posunutí při druhé iteraci vyztužení .....	72
Obrázek 54 Kontejner s žebrovou základnou a středovou podpěrou .....	73
Obrázek 55 Posunutí při třetí iteraci vyztužení .....	73
Obrázek 56 Rozložení ustavovacích prvků základní desky FOC .....	74
Obrázek 57 Rozložení zatížení na podlahu kontejneru .....	75
Obrázek 58 Posunutí při první iteraci za reálného rozložení zatížení .....	75
Obrázek 59 Posunutí podlahy kontejneru při první iteraci za reálného rozložení zatížení.....	76
Obrázek 60 Základna kontejneru se 2 podpěrami .....	76
Obrázek 61 Druhá iterace za reálného rozložení zatížení, a) posunutí b) napětí .....	77
Obrázek 62 Základna kontejneru se 3 podpěrami .....	78
Obrázek 63 Posunutí při třetí iteraci za reálného rozložení zatížení .....	78
Obrázek 64 Napětí von Mises při třetí iteraci za reálného rozložení zatížení.....	79
Obrázek 65 Sestava FOC v kontejneru .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>



# 15 SEZNAM PŘÍLOH

## 1. Výkresová dokumentace

- Mobilní frézovací obráběcí centrum DP\_FOC\_001
- Převážný kontejner DP\_FOC\_002
- Základna kontejneru DP\_FOC\_003
- Středová podpěra DP\_FOC\_004
- Nosná mezideska I DP\_FOC\_005
- Rám pohyblivého stojanu DP\_FOC\_006

## 2. 3D Model sestavy

- Mobilní frézovací obráběcí centrum

## 3. Výpočty v excelu

- Multikriteriální analýza

## 4. Zprávy ze simulací

- Zpráva\_simulace\_1.iterace
- Zpráva\_simulace\_2.iterace
- Zpráva\_simulace\_3.iterace
- Zpráva\_simulace\_4.iterace
- Zpráva\_simulace\_5.iterace
- Zpráva\_simulace\_6.iterace