



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

OPTIMALIZACE TECHNICKO-TECHNOLOGICKÝCH PROCESŮ OBROBNY S NÁVRHEM DÍLČÍ ROBOTIZACE

OPTIMIZATION OF THE TECHNICAL-TECHNOLOGICAL PROCESS OF THE MECHANICAL WORKSHOP
WITH PARTIAL ROBOT DESIGN

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Vítek Dlask

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

BRNO 2023

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Vítek Dlask
Studijní program:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.
Akademický rok:	2022/23

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:

Optimalizace technicko–technologických procesů obrobny s návrhem dílčí robotizace

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Smyslem diplomové práce je zefektivnění a zlevnění výroby v rámci obrábění vybraného sortimentu součástek, dále zlepšení využití jednotlivých strojů v rámci produktového portfolia výroby tak, aby byla co nejvíce snížena půdorysná plocha s výrobními stroji, nutná k zajištění současné výroby bez snížení produktivity s tím, že budou co nejvíce redukovány časy procesů, které nepřinášejí přidanou hodnotu (vedlejší výrobní časy), tzn. především čas na přestavbu mezi jednotlivými výrobky, výměnu nástrojů, výměnu přípravků atd.

Cíle diplomové práce:

1. Popis současného stavu výroby.
2. Rešerše v oblasti technické optimalizace.
3. Systémový rozbor problematiky (definice problému, hlavní parametry očekávaného řešení).
4. Návrh optimalizace kategorizace produktů na jednotlivé stroje.
5. Návrh optimalizace přestavby, včetně systému přestavby.
6. Návrh redukce výrobních prostor (půdorysné plochy), nutné k výrobě současného portfolia výrobků.
7. Návrh řešení dílčí nebo komplexní robotické manipulace s vybranými typy obrobků.
8. Potřebná výkresová dokumentace a komentář k dokumentaci.
9. Kritické zhodnocení dosažených výsledků.
10. Závěr a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUM, 2016, 787 stran: ilustrace (převážně barevné), portréty. ISBN 978-80-214-4828-5.

MAREK, J. a kol. Konstrukce CNC obráběcích strojů VI. Čtvrté vydání. Praha: MM publishing, s. r. o., 2018. ISBN- 978-80-606310-8-3.

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.). Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Tématem této práce je optimalizace výrobního procesu obrobny pro firmu KNORR - BREMSE Systémy pro užitková vozidla ČR, s.r.o. Cílem je zkrácení vedlejších výrobních časů a redukce výrobních ploch pro jednotlivá pracoviště. Po analýze současného stavu obrobny byla optimalizována výroba výměnou za nové stroje doplněné o automatickou přestavbu technologických palet a dále o dílčí automatizaci výrobního procesu využitím robotických pracovišť. Nová řešení byla poté kriticky zhodnocena v závěrečné části práce. Součástí práce je výkresová dokumentace nového plánu obrobny a jednotlivých robotických pracovišť.

ABSTRACT

The aim of this diploma thesis is to optimize the production process of the mechanical workshop for the company KNORR - BREMSE Systémy pro užitková vozidla ČR, s.r.o. The objective is to shorten the secondary production time periods and reduce the production area for individual workplaces. After the analysis of the existing state of the mechanical workshop, production was optimized by replacing the machines with new ones supplemented by the automatic rebuilding of technological pallets and partial automation of the production process by using robotic workstations. The new solutions were then critically evaluated in the final part of the thesis. The thesis includes drawings of the new plan of the mechanical workshop and the individual robot workstations.

KLÍČOVÁ SLOVA

Optimalizace výrobního procesu, obrobna, výrobní buňka, robotické pracoviště

KEYWORDS

Optimization of the production process, mechanical workshop, manufacturing cell, robot workstation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DLASK, V. *Optimalizace technicko-technologických procesů obrobny s návrhem dílčí robotizace*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2023, 67 s., Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

PODĚKOVÁNÍ

V první řadě děkuji zaměstnancům firmy Knorr-Bremse, zvláště pak panu Ing. Josefu Pošmournému, za veškerou pomoc při seznámení se s výrobním prostředím firmy a za veškerá doporučení související s touto prací. Děkuji panu Ing. Jiřímu Kováři, Ph.D. za odbornou pomoc související s automatizací výroby. Dále děkuji zaměstnancům firmy DMG MORI, zvláště pak panu Ing. Zdeňku Čožíkovi, za cenné rady ohledně obráběcích strojů. Děkuji celé mé rodině, která mě všestranně podporovala po celou dobu vysokoškolského studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Radka Knoflíčka, Dr. s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26. května. 2023

.....

Bc. Dlask Vítek

OBSAH

ÚVOD	15
PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....	17
1 POPIS SOUČASNÉHO STAVU VÝROBY	19
1.1 Popis obrobny	19
1.2 Soupis obráběcích strojů v obrobně.....	20
1.3 Popis obráběcích strojů	20
1.3.1 DMC 80 H	20
1.3.2 DMC 80 H duoBLOCK.....	20
1.3.1 Pracovní prostor obsluhy obráběcího centra	21
1.4 Popis vyráběných dílů.....	21
1.5 Současný výrobní proces v obrobně	21
2 REŠERŠE V OBLASTI TECHNICKÉ OPTIMALIZACE	23
2.1 Matematická optimalizace	23
2.2 Technická optimalizace	24
2.3 Optimalizační metody průmyslového inženýrství	26
2.3.1 Kaizen	26
2.3.2 Total Quality Management (TQM)	27
2.3.3 Business Process Reengineering (BPR).....	28
2.3.4 Theory of Constraints (TOC)	28
2.4 Optimalizace výroby pomocí pružných výrobních systémů.....	29
3 SYSTÉMOVÝ ROZBOR PROBLEMATIKY (DEFINICE PROBLÉMU, HLAVNÍ PARAMETRY OČEKÁVANÉHO ŘEŠENÍ).....	31
3.1 Definice problému	31
3.2 Hlavní parametry řešení práce	31
3.3 Systémové pojetí problému	32
4 NÁVRH OPTIMALIZACE KATEGORIZACE PRODUKTŮ NA JEDNOTLIVÉ STROJE	33
4.1 Rozdělení výrobků dle tvarové podobnosti (typové technologie).....	33
4.2 Rozdělení výrobků dle technologického procesu (skupinová technologie)	33
5 NÁVRH OPTIMALIZACE PŘESTAVBY, VČETNĚ SYSTÉMU PŘESTAVBY	35
5.1 Optimalizace přestavby automatickou výměnou palet	37
5.1.1 Výběr obráběcího stroje s automatickou výměnou palet.....	38
6 NÁVRH REDUKCE VÝROBNÍCH PROSTOR (PŮDORYSNÉ PLOCHY), NUTNÉ K VÝROBĚ SOUČASNÉHO PORTFOLIA VÝROBKŮ.....	41
6.1 Současné rozměry výrobních pracovišť.....	41
6.2 Výběr vícevřetenového obráběcího centra	42
6.3 Přesun ručních výrobních operací mimo pracoviště stroje.....	44
7 NÁVRH ŘEŠENÍ DÍLČÍ NEBO KOMPLEXNÍ ROBOTICKÉ MANIPULACE S VYBRANÝMI TYPY OBROBKŮ	45
7.1 Návrh konceptu budoucí obrobny.....	45
7.1.1 Výpočet minimálního počtu strojů podle kapacitních propočtů.....	45

7.1.2	Popis pracovišť (výrobních buněk) každé skupiny včetně použitého stroje a návrhu automatizace	46
7.2	Výběr strojních zařízení pro výrobní buňky	49
7.2.1	Výběr průmyslového robota a jeho příslušenství	49
7.2.2	Výběr dopravníků	52
7.2.3	Automatická ofukovací stanice	52
8	POTŘEBNÁ VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE A KOMENTÁŘ K DOKUMENTACI	55
9	KRITICKÉ ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	57
10	ZÁVĚR A DOPORUČENÍ PRO PRAXI	59
	ZÁVĚR 61	
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	63
	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	65
	Seznam tabulek	65
	Seznam obrázků	65
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	66
	Značka Jednotky Popis veličiny	66
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	66
	Zkratka Význam.....	66
	SEZNAM PŘÍLOH	67

1 ÚVOD

Optimalizace výrobních postupů je věčně nekončícím procesem všech podniků už od dob nástupu průmyslové revoluce a neustále podněcuje výrobce k efektivnímu zvyšování konkurenceschopnosti svých výrobků na trhu. Přitom výrobcům, snažícím se navyšovat produkci v hromadné výrobě při dodržení předepsané kvality často nezbývá jiná možnost než použít výrobní pracoviště doplněné o příslušnou automatizaci. I přes problémy vyplývající z radikální jednorázové přeměny těchto systémů do provozu a zároveň i přes vyšší pořizovací náklady je realizace následného návrhu přijatelným řešením, jež snižuje výrobní náklady, urychluje ekonomickou návratnost a je předpokladem pro bezobslužný provoz.

K automatickým výrobním soustavám se vztahuje hlavní pozornost této práce, jejímž tématem je koncept optimalizace výrobního procesu obrobny pro firmu KNORR-BREMSE Systémy pro užitková vozidla ČR, s.r.o. (dále jen **Knorr-Bremse**), která vyrábí brzdové systémy pro nákladní vozidla. V příštích letech podnik počítá s navyšováním produkce a současná kapacita výroby neumožní naplnit požadavky zákazníků. Hlavním úkolem je dodržet předepsanou produkci automatizováním výrobních procesů a zároveň snížit manipulační a přestavovací časy a redukovat výrobní prostor firmy. Postup práce spočíval v analýze současného stavu obrobny a v hledání slabých míst výroby. Následně byl proveden přechod ze současné struktury výroby na pružné výrobní buňky. Tato koncepce spočívá v rozdělení produktového portfolia na jednotlivé skupiny podle tvarové a výrobní podobnosti a v následném přiřazení k dané výrobní buňce. Součástí práce je i výměna aktuálního strojového parku za nová obráběcí centra s možností automatických přestaveb technologických palet. Práce obsahuje výkresovou dokumentaci výrobních buněk a jejich rozložení v obrobně. Závěr práce je soustředěn na kritické zhodnocení nového návrhu.

PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

Aktuálním trendem v oblasti produkční výroby zaměřené především na třískové obrábění je stále častější používání automatických výrobních soustav (AVS) s podporou příslušného číslicového řízení. Do tohoto pojmu se zahrnuje jedno nebo více technologických pracovišť s automatizovanými materiálovými a informačními toky bez nutnosti lidské obsluhy. Úkolem přítomné obsluhy je pak pouze dohled na provoz a na manipulaci s obrobky a nástroji. Do soustav se zařazují různé typy pracovišť od pružné výrobní buňky až po pružné nebo tvrdé automatické linky. Realizací těchto výrobních systémů do příslušného podniku se i přes nemalé vstupní náklady dosáhne zvýšení produktivity výroby s možností bezobslužného provozu.

Automatizování výrobní soustavy už nelze pouze přiřadit do souvislosti s třískovým obráběním a s výrobními operacemi. Proto současný vývoj AVS probíhá v těchto směrech:

- Přejít od dílčích automatizací daných výrobních procesů k úplné automatizaci všech technologických operací.
- Automatizace montážních a kontrolních procesů včetně ověření smontovaného výrobku. Stále více se tak používá monitoring výrobních buněk a linek i s určitou mírou samorozhodovacích schopností.
- Pro výrobu rozměrově malých výrobků se používají transferové stroje mající charakter výrobní buňky. K danému stroji se navíc uplatňují nekonvenční technologie (např.: použití laseru apod.).
- Pro rozměrově větší obrobky (od cca 300 mm) se využívají více obráběcí centra než jednoúčelové stroje a linky. Centra se pak vybavují automatickými prvky a na základě těchto strojů se vytváří autonomní výrobní provozy.
- Hledají se nová technická řešení přestaveb mezi výrobky, umožňují rychlou změnu technologických zařízení. Jedná se především o rychlou výměnu upínačů nebo různých přípravků.
- Z finančního hlediska se zmenšují zástavbové plochy strojů.
- Zaměřování podniků i na malé zákazníky. Z tohoto důvodu se dané firmy orientují na pružnosti výroby se zaměřením na malosériové zpracování rozdílných součástek než na velkosériovou hromadnou výrobu.
- V případě hromadné výroby je i zohlednění reakce potřeb spotřebitelů na výrobu součástí na míru i při nasazení velkosériových zakázek.
- Snižuje se energetická náročnost jednotlivých strojů optimalizováním výrobních drah manipulátorů nebo robotů nebo vypínáním pohonů strojů.

V případě používání AVS se současně řeší i řízení pomocí výpočetní techniky, která má rozhodující vliv na procesy nejen CNC strojů, ale i na automatických linkách či na robotických pracovištích. Počítačová podpora se nesoustřeďuje pouze na výrobu, ale též i na tvůrčí činnost člověka, která se nutně projevuje ve během průběhu dané výroby. Počítačová podpora se tak používá v konstrukci a dále třeba ve sdílení dat nebo používání cloudových aplikací.

Součástí moderních prvků ve firmách je tzv. generativní design. Jeho účelem tvorba digitálního modelu jednotlivých pracovišť s reálnými parametry výroby (výrobní časy, rychlosti manipulátorů nebo robotů či časy fyzické práce obsluhy) a následné ověření souslednosti všech činností strojů, manipulátorů a obsluhy přes počítačovou simulaci a virtualizaci. Během kontroly se sleduje kapacitní ověření výroby z hlediska vedlejších výrobních časů a ověřuje celkové splnění požadované funkce. Cílem této metody je precizní odladění výroby ještě před samotnou realizací ve skutečném provozu.

V současnosti jsou tak jednotlivá výrobní pracoviště kompletní součástí podnikových struktur a jsou propojena do nadřazených struktur moderního podniku (tzv. Smart Factory). Moderní podniky, zvláště pak u velkých korporací, se mohou opírat o celou řadu nových nástrojů v oblasti průmyslu 4.0. Níže jsou uvedeny jednotlivé charakteristické znaky aktuálního dění v moderních podnicích:

- Vznik nekonvenčních organizačních struktur pro řízení podniků.
- Prvky digitální transformace- IT transformace, IoT komunikace, BigData nebo vzdálená správa, dohled a údržba.
- Zvyšující se význam různých softwarových nástrojů- IO, PLC, HMI/SCADA, MIS/MES, ERP apod.
- Používání agilních podnikových softwarů a dalších softwarových produktů z oblasti informačních technologií, rozšířené reality, nebo umělé inteligence.
- Využívání dalších softwarů, ať už se jedná o cyber management nebo o analytické nástroje s možnou podporou umělé inteligence.
- Nositelná elektronika ve firemním prostředí. [1]

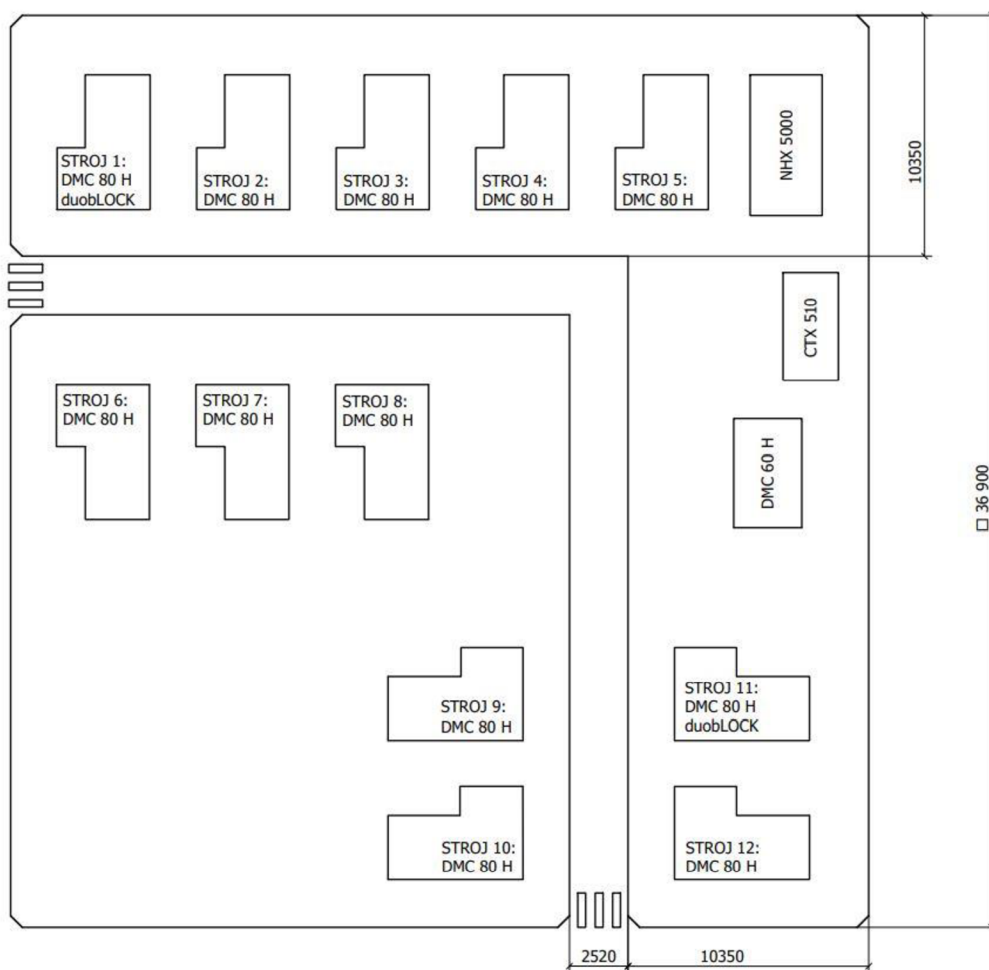
1 POPIS SOUČASNÉHO STAVU VÝROBY

Firma Knorr-Bremse se zaměřuje na výrobu brzdových systémů pro nákladní automobily. Podnik se skládá z administrativní a z výrobní části. V prvně zmíněném oddělení se řídí a plánuje výroba a taktéž se zajišťují veškeré služby zaměstnancům a koncovým zákazníkům. Výrobní část obsahuje jednotlivé výrobní úseky s daným technologickým postupem, ve kterých se opracovávají jednotlivé díly. Součástí těchto výrobních úseků je obrobna, lakovna a také sektory, ve kterých se provádí montážní operace výsledných brzdových systémů. Dále se ve výrobní části nachází místa pro provádění výstupní kontroly, měřicí oddělení a skladové prostory.

Mezi výrobky, které firma vyrábí jsou např.: posilovače spojky, kompresory, brzdové válce, kotoučové brzdy nebo elektronické brzdové systémy.

1.1 Popis obrobny

Náplní výše zmíněné obrobny o rozměrech 36900 x 36900 mm a celkové ploše 0,136 ha je zpracování kovových odlitků z litiny za pomoci třískové technologie. Díly, jehož polotovary dodává mezinárodní dodavatel, se po obrobení dále přesouvají k dalšímu zpracování nebo na montáž.



Obr. 1) Rozložení obráběcích center v obrobně- současný

1.2 Soupis obráběcích strojů v obrobně

V současné době tvoří strojový park 12 horizontálních obráběcích center, které tvoří hlavní podíl v produkci obráběných dílů. Další tři stroje- dvě obráběcí centra a soustružnické centrum-slouží k občasnému a vedlejšímu použití. V příštích letech se s trojicí těchto strojů počítá s jejich postupnou náhradou za nové stroje, a proto se v této práci nebudu zaměřovat na jejich popis. Všechny tyto výrobní stroje jsou vyrobeny firmou DMG MORI.

Rozdělení výrobních strojů v obrobně:

Hlavní výrobní stroje:

- 10 x DMC 80 H
- 2 x DMC 80 H duoBLOCK.

Ostatní výrobní stroje:

- DMC 60 H
- NHX 5000
- Soustružnické centrum CTX 510.

1.3 Popis obráběcích strojů

1.3.1 DMC 80 H

Jedná se o 4-osé horizontální obráběcí centrum s automatickou výměnou technologických palet za pomoci rotačního stolu. Použití stroje se orientuje na třískové obrábění nerotačních, tvarově složitých obrobků vyráběných na jedno upnutí. Nízkootáčkové vřeteno s kleštinovým upínačem ISO 50 se orientuje na obrábění součástí z litiny nebo z hliníku. Lineární osy, poháněné kuličkovými šrouby, zajišťují přejezd k danému místu v pracovním prostoru rychlostí až 100 m/s akcelerací 10 m/s². Stroj se vyznačuje přesností polohování 5 μm a opakovatelností až 3 μm. Centrum obsahuje automatickou výměnu nástrojů, k jehož funkci je vybaveno jedním kruhovým zásobníkem se 40 pozicemi a manipulátorem opatřeným otočnou dvouramennou rukou. DMC 80 H již firma DMG MORI nevyrábí a v jejich produktovém portfoliu se tak nenachází. Řídicím systémem stroje je Siemens 840D SL. [2]

Parametry obráběcího centra DMC 80 H:

- posuvy ve směru os x, y, z: 800, 900, 1050 mm,
- maximální otáčky vřetena: 6 000 ot/min,
- maximální moment vřetena: 818 Nm,
- rozměry stolu: 630 x 630 mm,
- maximální rozměry obrobku: 1000 x 1000 x 1330 mm,
- maximální nosnost stolu: 900 kg. [2]

1.3.2 DMC 80 H duoBLOCK

Jedná se o novější, vylepšenou verzi DMC 80 H, který se vyznačuje vysokou produktivitou výroby. 4-osé horizontální obráběcí centrum je vybavené intenzivním chladícím okruhem, jenž zvyšuje přesnost obrábění až o 30 %. Upínací systém vřetena je HSK100. Jak DMC 80 H, tak jeho verze duoBLOCK již nejsou v dnešní době ve firmě DMG MORI v portfoliu produktů a jejich výroba byla zrušena. [3]

1.3.1 Pracovní prostor obsluhy obráběcího centra

Stroje obsahují dvě technologické palety. První paleta se nachází v prostoru určeném pro obrábění a protilehlá paleta pak v prostoru pro manipulaci s materiálem. Automatická výměna palet tak zaručuje možnost manipulovat s hotovými výrobky během fáze obrábění. Na technologické paletě je připojen upínací přípravek, do kterého obsluha umísťuje jednotlivé polotovary. Díly se vkládají buď do jedné nebo do třech stran přípravku. Na protější straně od přípravku se nacházejí skládací gitterboxy s polotovary. Druhý box slouží k odkládání hotových výrobků. Pracoviště se dále skládá z pracovního stolu obsluhy, na kterém se provádí ruční dokončovací práce na obrocích. Za pracovním stolem obsluhy se nachází elektrický rozváděč a rozvody tlakové kapaliny. Okolí pracoviště je v rámci bezpečnosti vybaveno protiskluzovými kovovými rošty. Rozměry půdorysu pracoviště jsou na straně 26.

1.4 Popis vyráběných dílů

Vyráběné díly jsou součásti do brzdových systémů pro nákladní vozidla. Materiálem všech dílů jsou tvárné litiny EN-GJS-500-7 a EN-GJS-600-7.

Ačkoliv se výrobní portfolio firmy rychle a dynamicky mění v závislosti na poptávce koncových zákazníků, jsou známa množství vyráběných součástí v příštích dvou letech do roku 2024. V roce 2023 se plánuje výroba celkem 467 712 dílů, na konci roku 2024 je pak počet dílů až 599 800. Seznam všech součástí, včetně jejich základních charakteristik- počtu kusů v daném roce, času obrábění a počtu polotovarů v jednom gitterboxu se nachází v příloze 1.

1.5 Současný výrobní proces v obrobně

Výroba v obrobně probíhá v obráběcích centrech. Mimo výrobní stroj se obsluha stará o veškerou manipulaci a přepravu s materiálem. Dále pak obsluha na pracovním stole dokončuje proces výroby ručním opracováním součástí. Každý pracovník obsluhuje dva výrobní stroje najednou.



Obr. 2) Ukázky strojů DMC 80 H (vlevo) a DMC 80 H DuoBLOCK (vpravo) [2] [3]

Proces zpracování výrobku lze rozdělit na následující čtyři kroky:

- **Doprava polotovarů k pracovišti obsluhy**

Polotovary se přepravují ve skládacích gitterboxech, umístěných na transportní paletě o rozměrech 1200 x 800 mm. V každém takovém boxu se nachází od 36 do 135 výrobků. Transport materiálu ze skladu k pracovišti obráběcího centra provádí obsluha pomocí vysokozdvížných vozíků. Stejným způsobem pak pracovníci odvázejí palety s hotovými součástmi do dalších úseků výroby na další zpracování.

- **Manipulace s polotovarý před fází obrábění**

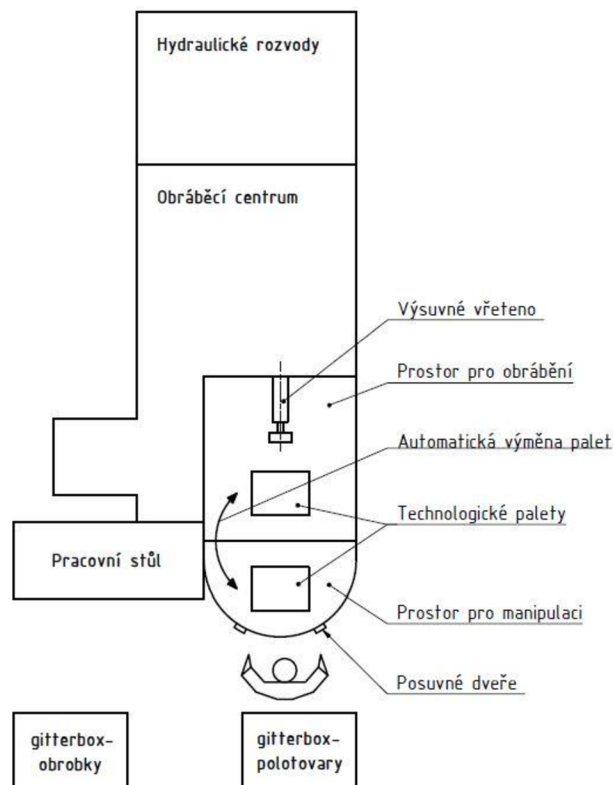
Operátor ručně umístí polotovary z gitterboxu do prostoru upínacího přípravku výrobního stroje. Přes ovládací panel stroje aktivuje hydraulické upínky na přípravku, které jednotlivé odlitky automaticky upevní. V jiných případech však obsluha upevňuje výrobky ručně. Pro manipulaci s odlitky s vysokou hmotností používá obsluha ruční jeřáb.

- **Obrábění**

Po zavření dveří obsluhou se automaticky otočí technologická paleta s odlitky o 180° do obráběcího prostoru, kde probíhá fáze obrábění. Díly se zpracovávají na jedno až dvě upnutí, a to vždy na jednom stroji, tj. bez posloupnosti výrobních operací na více strojích. Během procesu se automaticky vyměňují nástroje a automaticky se otáčí technologická paleta.

- **Manipulace s obrobky po fázi obrábění**

Obsluha po fázi obrábění otevře dveře od výrobního stroje a vyjme z upínacího přípravku součásti, které umístí na pracovní stůl obsluhy. Poté pracovník provádí srážení hran obrobku přes ruční brusku. Pracovník dále zajistí očištění přípravku, a hotových výrobků od třísek a od zbylé chladicí kapaliny pomocí ofukovací pistole. Nakonec obsluha ručně přemístí hotové výrobky do druhého gitterboxu.



Obr. 3) Pracoviště obsluhy obráběcího centra a popis stroje

2 REŠERŠE V OBLASTI TECHNICKÉ OPTIMALIZACE

Optimalizační úlohy se přirozeně vyskytují při hledání optimálních rozhodnutí nebo při řízení složitých systémů, kterými mohou být např.: dopravní problémy, tvorba optimálního výrobního programu, sestavování školních rozvrhů či investiční rozhodnutí. Termín optimalizace je tak komplexní termín, na který lze pohlížet různými pohledy koncového uživatele. Možnostmi, jak nahlížet na tento obecný pojem je například přes matematický nebo technický přístup.

2.1 Matematická optimalizace

Matematickým přístupem se řeší funkce, která obsahují dva typy extrémů - minimum a maximum, které mohou mít globální nebo lokální povahu. Dále pak platí definice:

Definice 1.: *necht' $f: X \rightarrow \mathbb{R}$, kde $0 \neq X \subset \mathbb{R}^n$. Řekneme, že funkce f má v bodě $x^* \in X$:*

- **Globální minimum**, jestliže

$$x \in X \Rightarrow f(x) \geq f(x^*); \quad (1)$$

- **Lokální minimum**, jestliže existuje $\delta > 0$ takové že:

$$x \in X, |x - x^*| < \delta \Rightarrow f(x) \geq f(x^*); \quad (2)$$

- **Globální maximum**, jestliže

$$x \in X \Rightarrow f(x) \leq f(x^*); \quad (3)$$

- **Lokální maximum**, jestliže existuje $\delta > 0$ takové že:

$$x \in X, |x - x^*| < \delta \Rightarrow f(x) \leq f(x^*); \quad (4)$$

V případě funkce jedné proměnné se extrém odvozuje na základě následující věty:

Věta 1. *necht' $f: D \rightarrow \mathbb{R}$, kde $D \subset \mathbb{R}$. Jestliže v bodě $x^* \in \text{int}(D)$ existuje derivace $f'(x^*)$ a je různá od nuly, pak funkce f nemá v bodě x^* ani lokální maximum ani lokální minimum. $\text{Int}(D)$ se označuje jako vnitřek množiny D .*

Z výše uvedené věty vyplývá, že platí-li podmínka $f'(x^*) = 0$, pak daný bod $x^* \in \text{int}(D)$ je lokálním extrémem funkce.

Pro funkci více proměnných platí následující definice a věta:

Definice 2.: *necht' $f: D \rightarrow \mathbb{R}$, kde $D \subset \mathbb{R}^n$. Pokud funkce f má v bodě $x = (x_1, \dots, x_n)^T \in \text{int}(D)$ všechny parciální derivace, pak v tomto bodě definujeme její gradient:*

$$\text{grad } f(x) = \nabla_x f(x) = \left(\frac{\partial f}{\partial x_1}(x), \frac{\partial f}{\partial x_2}(x), \dots, \frac{\partial f}{\partial x_n}(x) \right)^T. \quad (5)$$

Věta 2.: *Necht' $f: D \rightarrow \mathbb{R}$, kde $D \subset \mathbb{R}^n$. Jestliže má funkce f v bodě $x^* = (x_1, \dots, x_n)^T \in \text{int}(D)$ gradient a $\nabla_x f(x) \neq 0$, pak f v bodě x^* nenabývá ani lokálního maxima ani lokálního minima. [4]*

Pro globální extrémů pak platí následující Weierstrassova věta:

Věta 3.: *Spojité funkce jedné proměnné má na omezeném uzavřeném intervalu globální maximum a globální minimum.*

Věta 4.: *Spojité funkce $f: D \rightarrow \mathbb{R}$, kde $D \subset \mathbb{R}^n$ je omezená uzavřená množina, která nabývá na množině D svého globálního maxima i globálního minima.*

Specifikace cílů daného zadavatelem vede k sestavení matematického modelu. Obecná formulace optimalizačních úloh je v minimalizování nebo maximalizování funkce f na zadané množině M daného matematického modelu za pomoci matematického programování (MP).

V případě množiny zadanou systémem funkčních nerovností je úlohou nelineárního programování (NLP) minimalizovat nebo maximalizovat $f(x)$ na množině všech řešení soustavy rovností a nerovností:

$$g_k(x) \leq 0 \quad k = 1, 2, \dots, m, \quad (6)$$

$$h_j(x) = 0 \quad j = 1, 2, \dots, p, \quad (7)$$

kde $g_k(x)$ a $h_j(x)$ jsou reálné funkce.

Existuje několik základních typů úloh NLP:

- **Lineární programování**- v případě, že jsou všechny funkce f, g_k a h_j lineární.
- **Konvexní programování**- pokud se řeší minimalizace a f a g_k je konvexní a h_j je lineární nebo v případě maximalizace je f konkávní, g_k je konvexní a h_j lineární.
- **Kvadratické programování**- při výpočtu minimalizace je f kvadratická a g_k a h_j jsou lineární. [4]

2.2 Technická optimalizace

Optimalizace se v technické praxi představuje jako identifikace potřeby na určitou změnu výrobního procesu s následným provedením této změny. Výsledkem zaváděním těchto postupů je většinou nekončící cyklus identifikace problémů s následným prováděním nových řešení zaměřující se na zlepšení procesů. Výrobním procesem se značí proces strojírenského podniku se souhrnem pracovních a technologických postupů, jehož účelem je změnit tvar, složení, jakost a spojení pracovních předmětů, čímž předměty získávají užitnou hodnotu. [5] [6]

Obecný postup každé technické optimalizace se skládá ze dvou základních kroků. Prvně se provádí analýza systému a pak se syntézou analyzovaných dat vytvoří návrh řešení (viz Obr. 4). Vhodným způsobem, jak optimalizovat systémy je zapojit zaměstnance, kteří vykonávají dané procesy a stavit je tak do role aktivních optimalizátorů. Vhodnými nástroji, kterými může každý pracovník analyzovat plýtvání na pracovištích, je například chronometr, Išikawův diagram, VSM mapa nebo Paretova analýza. Mezi další mi často používanými metodami optimalizace jsou např.: PDCA, DMAIC nebo Six Sigma [5] [8]

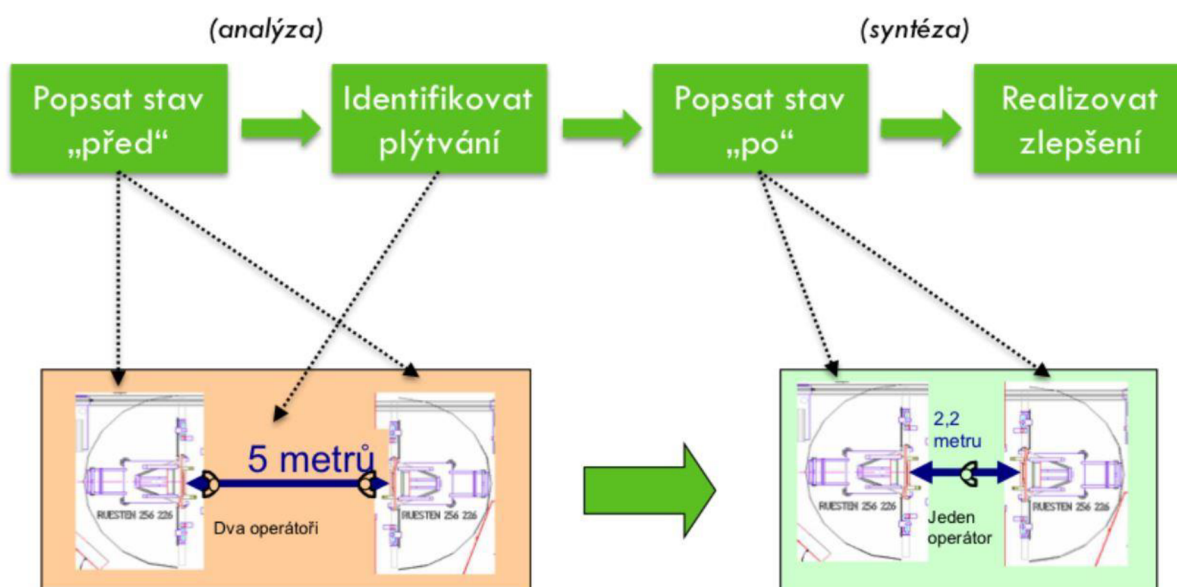
Při zavádění optimalizace do procesu výroby se hledají slabá místa, která mají negativní vliv na předem definovanou měřenou veličinu. Existuje osm typů omezení ve výrobě, které je vhodné sledovat a snažit se je vhodnou úpravou řídit či odstraňovat. [7]

Problém	Důsledky
Prostorový	Proces vzniká v různých lokalitách a vzniká ztrátový přenosový čas
Časový	Činnosti jsou vzájemně nedostatečně koordinovány a dochází k prodlužování doby trvání procesu
Organizační	K neproduktivním časům dochází v důsledku provádění činností jiným organizačním útvarem, mnohdy spojené s odlišnou motivací k vykonání činnosti
Informační	V průběhu zpracování dochází k datové nekompatibilitě, data mohou chybět, nejsou ve vhodném formátu či struktuře
Znalostní	V popisu procesu nejsou uvedeny potřebné znalosti pro kvalifikované provedení jednotlivých činností
Mediální	Data pro zpracování jsou na různých mediích a musí se přepisovat anebo jinak transformovat
Aplikační	Proces je podporován různými SW aplikacemi a data je nutné převádět
Průběh procesu	Proces probíhá sekvenčně a mohl by být prováděn paralelně, případně obsahuje příliš mnoho kontrol a vrací se do stejného útvaru

Tab 1) Základní procesní omezení ve výrobě [7]

Optimalizaci výrobních procesů lze v zásadě rozdělit na dva základní přístupy:

- **Radikální zlepšování procesů**- zajišťuje jednorázovou, radikální změnu v procesu výroby novým procesem, jenž způsobí dramatickou změnu výkonosti.
- **Kontinuální zlepšování procesů (Continue Process Improvement- CPI)** - nepředpokládá, že jednorázová změna procesu bude efektivní a dostatečnou změnou, a naopak ji pokládá za nedostatečnou. Proto je smyslem této metody postupná změna procesů, která je pro podnik lépe přijatelná a lépe implementovatelná. [7]



Obr. 4) Příklad postupu optimalizace výroby za použití analýzy a následné syntézy [5]

2.3 Optimalizační metody průmyslového inženýrství

V rámci průmyslového inženýrství lze vybrat několik základních metod optimalizací s možností aplikovatelnosti na všechny výrobní procesy:

- **Kaizen,**
- **Total Quality Management (TQM),**
- **Business Process Reengineering (BPR),**
- **Theory of Constraints (TOC).**

2.3.1 Kaizen

Jedná se o optimalizaci původem z Japonska, jejíž základním principem je neustálé zlepšování kvality výrobků, procesů a služeb. Změny probíhají kdykoliv a ve všech úsecích výroby. Změn se musí účastnit všichni pracovníci firmy, a to nejen členové vrchního managementu, ale též i dělníci ve výrobních úsecích podniku. Kaizen tak k optimalizaci zapojuje všechny pracovníky každý den.

Principem filozofie Kaizen jsou tyto základní postupy:

- neustálé zlepšování kvality ve všech oblastech a úrovních daného podniku,
- při současném snižování nákladů,
- podstatné zvyšování produktivity,
- vysoká motivace všech zaměstnanců,
- inovativní úloze pracovních týmů.

Tato metoda optimalizace je typickým představitelem přístupu kontinuálního zlepšování procesů (CPI) a naopak zcela odmítá radikální jednorázové změny. Velké změny přináší velký odpor pracovníků a též i vysoká rizika v případě neúspěchu realizace. Zaváděním malých změn umožňuje Kaizen vtáhnout více pracovníků, kteří jsou navíc finanční odměnou motivováni iniciovat nové změny. Výhodou této metody jsou též i nízké investice a časová nenáročnost při zavádění nových řešení do výroby.

Kaizen používá velké množství různých metod a postupů, jak zvýšit kvalitu výrobků a jak zlepšit procesy ve výrobě. Mezi tyto metody patří např.: JIT, kanban, poka-yoke, robotika, automatizace, jidoka apod.

Kaizen se rozděluje na čtyři typy:

- **Kaizen orientovaný na management-** řeší zavádění nových postupů ve firmě, reorganizaci nebo změnu firemní kultury.
- **Gemba Kaizen-** zabývá se obsahem pracovní oblasti, tj. kvalitou, zkracováním časů, snižováním nákladů, uspořádáním pracoviště atd.
- **Engineering Kaizen-** snižuje náklady a zásoby v logistickém řetězci, zavádí nové technologie do výroby nebo optimalizuje podnikový layout.
- **Kaizen založený na zlepšovacích návrzích-** jedná se o jakékoliv činnosti nebo procesy v daném podniku. [7]

2.3.2 Total Quality Management (TQM)

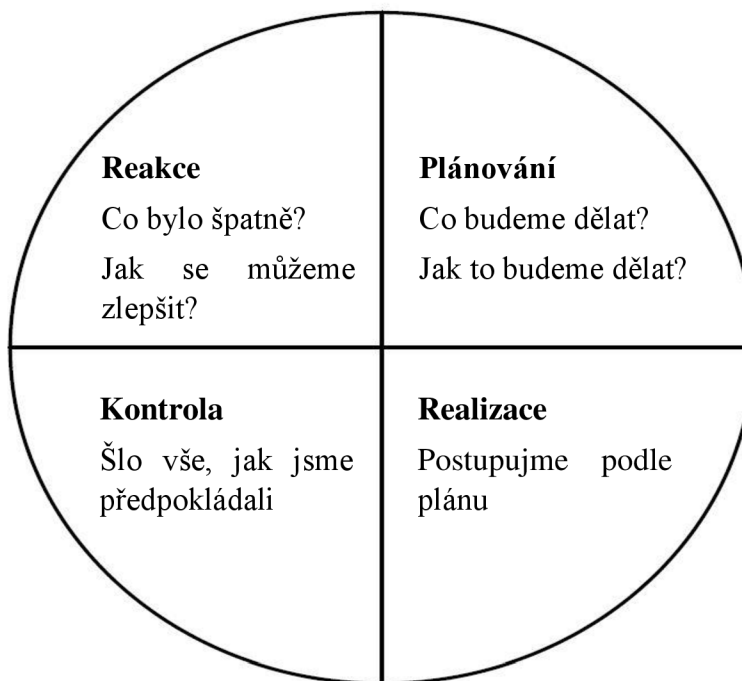
Hlavní strategií TQM je stavět veškerou svoji činnost v podniku na spokojenosti zákazníků. Hlavní podmínkou této spokojenosti je pak především kvalita ve všech procesech a činnostech, např. v administrativních nebo řídicích procesech. Zakladatelem quality managementu byl William Edwards Deming, který je též autorem tzv. PDCA cyklu, který je uvedený na této stránce a používá se jako metoda postupu optimalizace procesů.

Základní myšlenky TQM:

- Jestliže chce podnik vytvářet kvalitní výrobky, musí být kvalitní jako celek.
- Pro drastické snížení chyb je nutné ovládat všechny procesy, a to ve všech úrovních podniku.
- Ke zvyšování jakosti se musí zapojovat i dodavatelé.
- Podnik se rozdělí na odběratele a dodavatele, kteří se pak musí mezi sebou chovat jako hospodářské subjekty trhu. [7]

Demingův cyklus (též cyklus PDCA) se využívá v procesu každodenního kontinuálního zlepšování. Skládá se ze čtyř fází:

- 1) Plánování (Plan)- slouží k vytvoření postupů a plánů zlepšování a k nasazení ukazatelů měření výsledků.
- 2) Realizace (Do)- provádí se připravený plán a zároveň se sleduje průběh realizace pomocí měření hodnot daných ukazatelů.
- 3) Kontrola (Check)- po fázi realizace se ověřuje správnost použití daného postupu a plánu a zda správně reagovalo na klíčové příčiny problému. V případě nesprávného rozhodnutí se pak vrací cyklus zpět do fáze plánování.
- 4) Reakce (Act)- Dochází ke standartizaci a k trvalému osvojení nově provedených změn. [6]



Obr. 5) Demingův cyklus [7]

2.3.3 Business Process Reengineering (BPR)

Na rozdíl od předchozích metod se reengineering zabývá radikálním zlepšováním procesů. Cílem je radikální rekonstrukce procesů v podniku, která dramaticky zvýší různá kritická měřítka výkonnosti např.: náklady, kvalitu nebo rychlost. Hlavním předmětem BPR nejsou funkční oblasti, ale procesy. Výsledkem reengineeringu je pak procesně řízená organizace. [4]

Existují tři úrovně BPR:

- **Work Process Reengineering-** snahou této metody je změna pouze některých operací uvnitř firmy za pomoci automatizace a jehož cílem je snižování nákladů, nárůst kapacity a zkracování logistických časů dodávek.
- **Business Process Reengineering-** dochází ke změnám procesů napříč celým podnikem s cílem přidání hodnoty výsledného produktu a tím zlepšení konkurenceschopnosti a spokojenosti zákazníka.
- **Business Reengineering-** Změna procesů se netýká jenom celého podniku, ale včetně dodavatelů a odběratelů. Výsledkem těchto změn je zvýšení hodnoty pro všechny zainteresované strany. [9]

Proces BPR lze rozdělit na dvě části:

- 1) Procesní analýza- zaměřuje se na identifikaci procesů a jejich návrhem. Dále tato analýza slouží k podpoře měření výkonosti procesů a poté k optimalizaci těchto výrobních procesů.
- 2) Projekt změny- jednorázově implementuje proces v podniku [7]

2.3.4 Theory of Constraints (TOC)

TOC je metoda, která se snaží vyhledávat úzká místa ve výrobě a následně pak kontinuálním způsobem tato omezení nejčastěji řídí principem metody Five Steps Of Focusing (Pět kroků zaměření):

1. identifikace úzkého místa,
2. využití úzkého místa na 100 %,
3. podřízení firmy tomuto úzkému místu,
4. rozšíření tohoto úzkého místa,
5. přesun k bodu č. 1 a opakování cyklu.

Mezi základní typy omezení (úzká místa) patří.: zdrojová a kapacitní, časová, hodnocení a měření, prodejní, organizační nebo komunikační.

V současnosti skrývá TOC velké množství metod a nástrojů, které nabízejí mnoho doporučení do mnoha oblastí podniku:

- Drum- Buffer- Rope,
- Optimized Production Technology,
- Critical Chain,
- Buffer Management,
- Thinking Process. [7]

2.4 Optimalizace výroby pomocí pružných výrobních systémů

Současný trend výroby směřuje k uspokojení potřeb zákazníka, čímž dochází ke stále různějším a novým variantám výrobků. Důležitou roli pro přidanou hodnotu výrobku hraje i zkracování doby mezi vznikem poptávky až po dodání výrobcem. Podniky reagují na rychlé změny ve výrobě stále častěji pružnými výrobními systémy vybavenými výrobními buňkami.

Pružný výrobní systém představuje integrovaný, počítačem řízený komplex, který se skládá z CNC strojů a ze zařízení umožňující automatickou manipulaci. Tento systém je určený pro výrobu součástí v malých a středních sériích. Principem pružných výrobních systémů založených na výrobních buňkách je rozpoznání podobností vyráběného spektra součástek na základě jejich tvaru a výrobního procesu. Rozdělení součástek do podobnostních skupin snižuje různorodost přepravy součástek mezi stroji, a dosahuje se jednotného materiálového toku v rámci určité skupiny výrobních strojů. Při správném řízení výroby skupin součástí na strojích, které si mezi sebou opracování skupin dílu rozdělují, lze dosáhnout stejného ekonomického účinku jako při velkosériové výrobě.

Výroba na základě třídění součástí dle podobnosti jejich základního tvaru se označuje typová technologie. Skupinová technologie upřednostňuje podobnost technologického postupu.

Na základě přístupu typové a skupinové technologie lze proces výroby rozdělit na čtyři typy samostatných výrobních uskupení:

- Pružný výrobní stroj – SFM (Single Flexible Machine),
- multistrojový pružný výrobní systém – MMFMS (Multi-Machine Flexible Manufacturing System),
- pružná výrobní buňka – FMC (Flexible Manufacturing Cell),
- multibuňkový výrobní systém – MCFMS (Multi-Cell Flexible Manufacturing System).

Pružný výrobní stroj se skládá z produkční jednotky- CNC stroje- doplněného o manipulační zařízení určené k výměně objektů výroby.

Multistrojový pružný výrobní systém obsahuje více výrobních strojů ale bez jejich vzájemné závislosti na jejich činnosti. Stroje pracují autonomně a jedná se většinou o zařízení určená pro speciální operace (např.: výroba ozubení apod.). Typickým znakem těchto strojů jsou delší operační časy.

Pružná výrobní buňka je výrobní systém umožňující materiálovou a informační propojenost mezi větším počtem CNC strojů, který jsou určeny pro výrobu skupiny součástek se stejnou nebo podobnou posloupností operací. Materiálový tok součástek je obvykle mezi stroji zařízen pomocí mezioperačního manipulačního zařízení (např.: robotem atd.).

Multibuňkový výrobní systém tvoří seskupení výrobních buněk nebo buněk a pružných výrobních strojů. Pro tento typ systému je charakteristický mezibuňkový dopravní systém sloužící jako integrující prvek.

Nejjednodušším uskupením výrobního systému je pružný výrobní stroj, který společně s pružnou výrobní buňkou tvoří základní produkční jednotku. Zařízení jsou řízena autonomně. Skupina strojů a multibuňkový systém pak tvoří kombinaci základních typů. Charakteristikou vyšších seskupení je centralizované řízení. [9]

3 SYSTÉMOVÝ ROZBOR PROBLEMATIKY (DEFINICE PROBLÉMU, HLAVNÍ PARAMETRY OČEKÁVANÉHO ŘEŠENÍ)

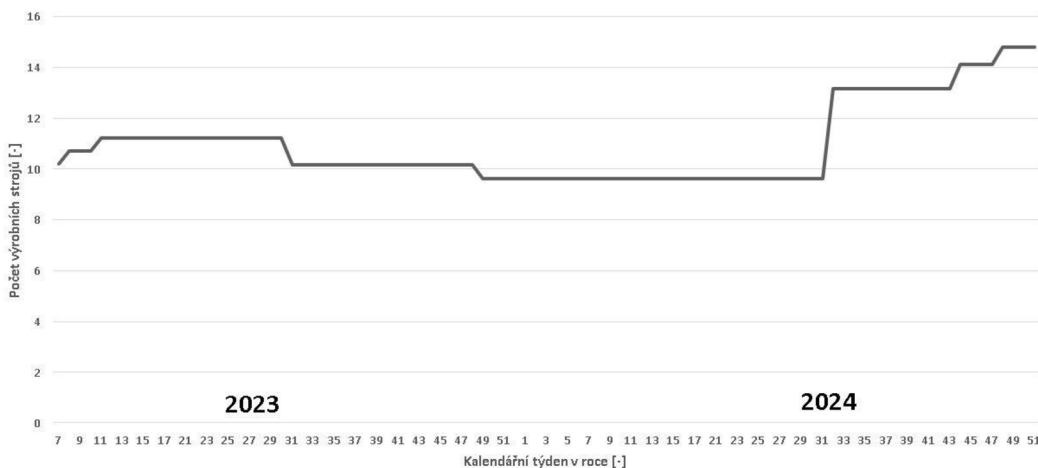
3.1 Definice problému

Uplatnění automatizace do každé výroby daného podniku motivuje výrobce ke zvýšení a ke zlevnění produkce bez přítomnosti člověka, který je vyloučen z obslužných činností výrobního procesu. Využitím automatizované výroby se navíc dosahuje stabilní a precizní jakosti vyráběných dílů [1].

Firma Knorr-Bremse předpokládá v příštích letech postupné navyšování výroby, která v budoucnu bude stále více dosahovat k maximálnímu naplnění kapacity obrobny jak v produkci výrobních strojů, tak v i její zástavbové ploše. V roce 2024 pak současný počet center neumožní plnit výrobu zvýšeného počtu vyráběných dílů (viz Obr. 5). Snahou firmy je tak za použití automatických výrobních systémů zvýšit kapacitu obráběcích strojů a zajistit bezobslužnost provozu. Dalším smyslem nového řešení je zvýšit pružnost výroby při změně produkce na jiný vyráběný díl. V poslední řadě je snahou firmy zredukovat výrobní plochu při zachování produkce vyráběných dílů. Ušetřená plocha pak bude firmě k dispozici pro různá budoucí uplatnění.

3.2 Hlavní parametry řešení práce

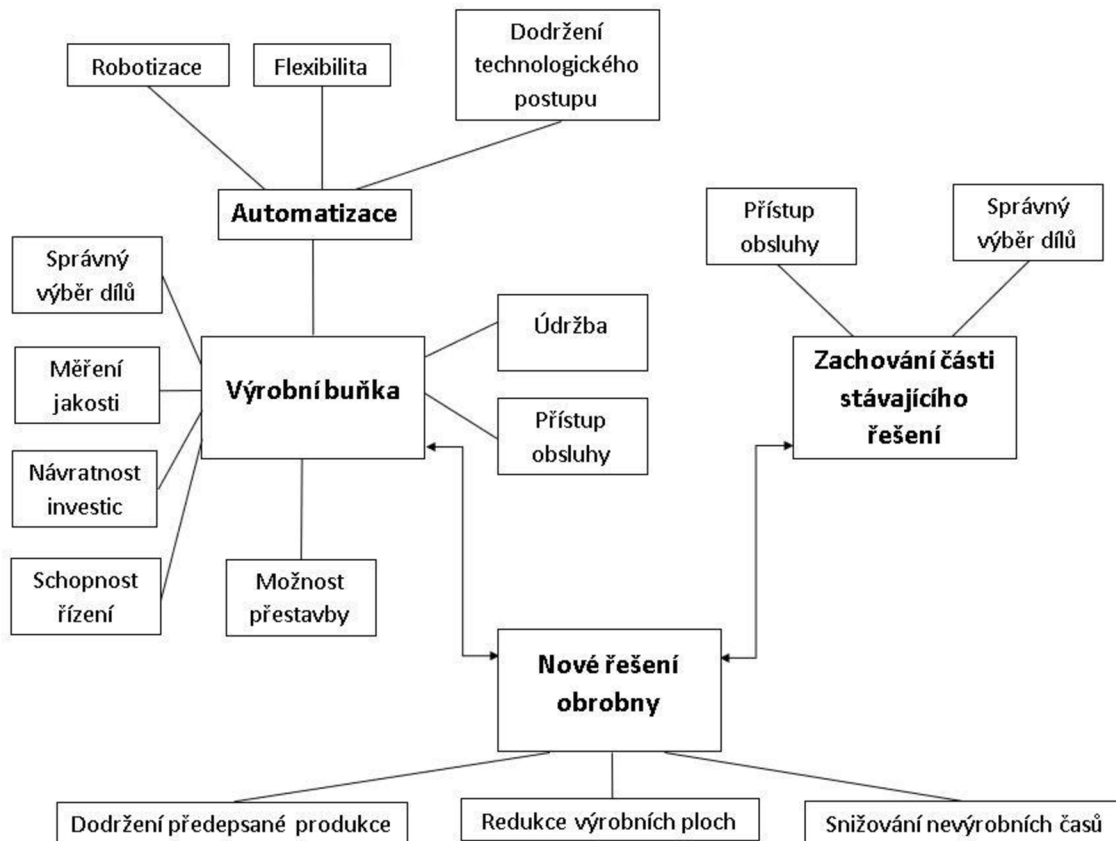
- Zajištění pružné produkce, která zajistí zefektivnění a zlevnění výrobních procesů za pomoci částečné nebo kompletní automatizace pomocí výrobních buněk s robotizovanými pracovišti.
- Optimalizace procesu bez snížení produktivity vyrobených součástek s podmínkami:
 - zkrácení vedlejších výrobních časů, která nepřinášejí přidanou hodnotu (např.: časy manipulace a přesunu vyrobených dílů, časy přestaveb vybraného pracoviště mezi jednotlivými výrobky atd.),
 - redukce výrobních ploch s výrobními stroji.
- Ekonomická návratnost investice do 5 let od realizace.



Obr. 6) Graf budoucího počtu strojů při zvyšujícím se počtu vyráběných dílů

3.3 Systémové pojetí problému

Předpokladem nového řešení bude spojení pružných výrobních buněk se zachováním části stávající produkce. K budoucí realizaci je třeba přistupovat systémově, k čemuž slouží myšlenková mapa uvedená níže. Hlavními částmi mapy jsou spojení Výrobní buňka-Nové řešení obrobny-Zachování části stávajícího řešení. Další pole značí jednotlivé atributy, které je třeba neustále zohledňovat během realizace problému, aby došlo k naplnění požadavků zadání.



Obr. 7) Myšlenková mapa s hodnotícími kritérii

4 NÁVRH OPTIMALIZACE KATEGORIZACE PRODUKTŮ NA JEDNOTLIVÉ STROJE

Velký počet druhů součástí lze s výhodou rozdělit a typizovat do skupin na základě jejich tvarové podobnosti (typová technologie) a dále vzhledem k podobnosti ve vybraných technologických procesech (skupinová technologie).

4.1 Rozdělení výrobků dle tvarové podobnosti (typové technologie)

Součásti se vyrábějí v základních třech kategoriích, jimiž jsou třmeny, nosiče a tělesa. Dále firma tyto kategorie rozděluje na dalších 10 podskupin:

- **třmeny:** SB7 Radial, SB7 Axial, SB6 Axial, SN7/SK7, Reman, SN5,
- **nosiče:** SB7, ST6, SN5,
- **tělesa.**

Každé díly z podskupiny SB7 Radial, SB7 Axial, SB6 Axial a SN7/SK7 mají navíc některé tvarové prvky zrcadlově obrácené (pro účely Diplomové práce nazvané jako pravé a levé). Dodavatel tyto výrobky dodává ve dvou boxech, zvlášť oddělené pravé a levé výrobky.

Ukázku každé kategorie dílů lze jako výkres nalézt v příloze č. 2,3 a 4

4.2 Rozdělení výrobků dle technologického procesu (skupinová technologie)

Druhá typizace zahrnuje nejen shody v obráběcích postupech, ale i v postupech manipulace s díly před a po obrábění. Postup rozdělování se prováděl sledováním výrobního procesu, včetně veškeré manipulace s díly, jedné vybrané dávky na technologické paletě. Zpracování jedné dávky bylo natáčeno na videokameru a poté bylo video zpracováno do formy Ganttových diagramů, který zobrazuje jednotlivé posloupnosti činností výroby v čase. Každý pruh v diagramu vyznačuje jednu činnost výroby. Soupis Ganttových diagramů hlavních vyráběných skupin výrobků lze nalézt v příloze č. 2. Podle této metody byly pak výrobky typizovány podle výrobních operací na dvě skupiny:

- **Typizovaný proces č. 1:** Součást se vyrábí na jedno upnutí. Na upínací přípravek se umísťují maximálně 4 díly. Vzhledem k vysoké hmotnosti je nutné některé díly přenášet za pomoci ručního jeřábu.

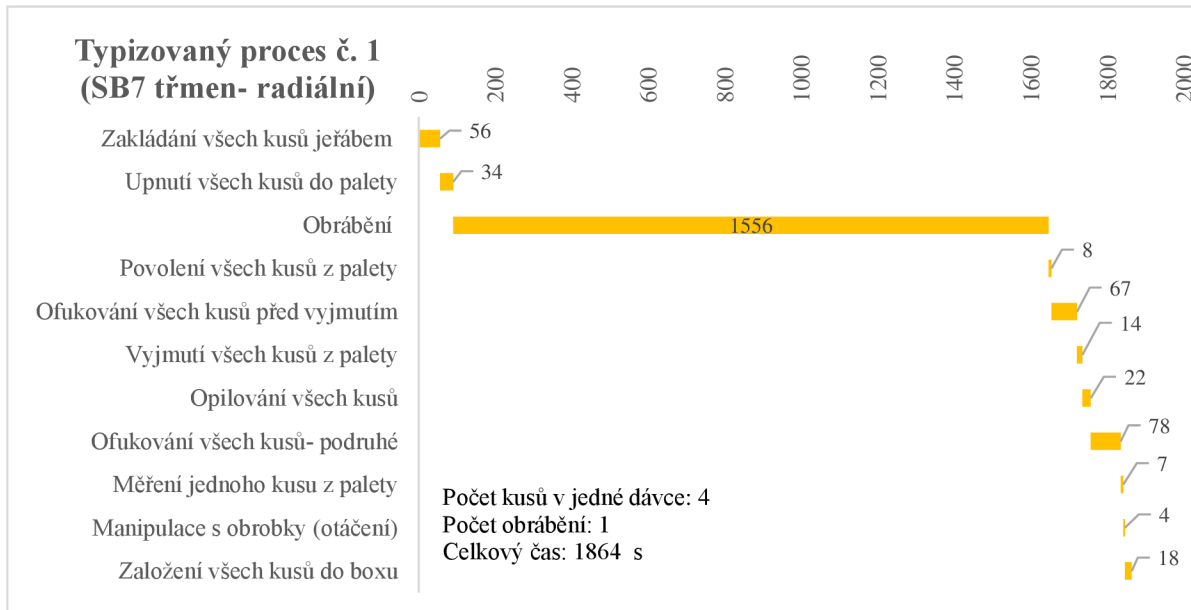
Do této skupiny technologického procesu lze zařadit všechny typy třmenů kromě SN5 a všechny nosiče. Pro zrcadlově obrácené třmeny SB7 Radial, SB7 Axial, SB6 Axial a SN7/SK7 se pravé a levé součásti umísťují po dvojicích do speciálně upraveného upínacího přípravku. Proces výroby je poté stejný a všechny čtyři díly se na konci procesu umísťují zvlášť do dvou gitterboxů, kdy první z nich je určen pro pravé třmeny a druhý pro levou variantu.

- **Typizovaný proces č. 2:** Součást se vyrábí na dvě upnutí. Po dokončení první části obrábění je nutné výrobek vyjmout ze stroje a položit na pracovní stůl. Pracovník pak jednotlivé díly a upínací přípravek očistí tlakovým vzduchem. Poté se součásti zakládají zpátky do přípravku. Po upnutí všech výrobků hydraulickými upínkami se obě palety otočí o 180 stupňů a provede se druhý proces obrábění. Na přípravek se umísťuje maximálně 9 dílů na jedné nebo na třech stranách přípravku.

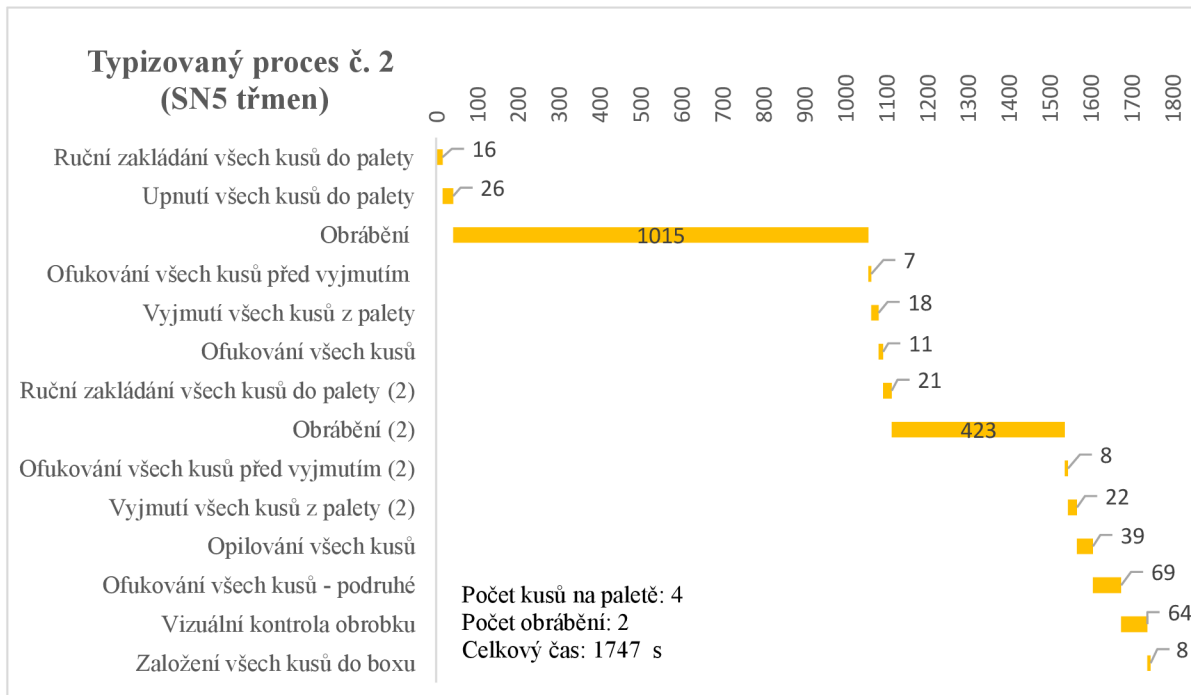
Do této skupiny technologického procesu lze zařadit: SN5 třmeny a radiální tělesa.

Specifickou skupinou jsou Reman třmeny, které se vyrábějí jen v omezeném, malém množství a které se budou v příštích letech vyrábět stejným technologickým postupem na daných obráběcích centrech bez nutnosti použití budoucí automatizace.

Ganttovy diagramy typizovaných procesů:



Obr. 8) Ganttův diagram pro typizovanou součást č. 1 (SB7 třmen)



Obr. 9) Ganttův diagram pro typizovanou součást č. 2 (SN5 třmen)

Analýzou výrobního procesu lze zhodnotit, že největší výrobní časy, které nevytvářejí přidanou hodnotu výrobku, jsou především časy technologických operací, kterými jsou ofukování a srážení hran výrobků a dále časy manipulace s výrobky - zakládání a vykládání součástí z upínacího přípravku. Při optimalizování procesů v obrobce je nutné tyto časy snížit na minimum.

5 NÁVRH OPTIMALIZACE PŘESTAVBY, VČETNĚ SYSTÉMU PŘESTAVBY

Při změně výroby mezi jednotlivými součástmi se provádí přestavby strojů. Polotovary se ukládají do upínacího přípravku po čtyřech nebo v případě těles po devíti kusech. Přípravek je upevněn na technologické paletě, která se pak umísťuje do obráběcího centra v prostoru manipulace obsluhy. Rozložení polotovarů je buď na jedné straně přípravku čelem k obsluze, nebo na třech stranách přípravku.

Firma momentálně provádí čtyři různé typy přestaveb:

- **Přestavba č. 1:** Mění se pouze NC program. Přípravek na stroji a polotovary zůstávají zachováni. Tento postup se používá například pro třmeny SB7 a SN5 a dále pro nosiče SB7.
- **Přestavba č. 2:** Nemění se přípravek, ale polotovary jiného dodavatele. Na přípravku se dělají pouze dílčí úpravy. Tato přestavba se používá pouze pro nosiče.
- **Přestavba č. 3:** Mění se kompletně výroba výměnou za nový přípravek. Přípravek je upevněn na paletě ještě před samotnou přestavbou.
- **Přestavba č. 4:** Mění se kompletně výroba výměnou za nový přípravek, který však není osazen na technologické paletě a je potřeba jej vyměnit za přípravek umístěný ve stroji.

Popis jednotlivých činností obsluhy pro jednotlivé přestavby stroje je na straně 39.



Obr. 10) Umístění přípravku na paletě ve stroji (vlevo) a mimo stroj (vpravo) ve firmě Knorr-Bremse

Výčet přestaveb s uvedenými činnostmi obsluhy:

Kroky výměny		čas [s]
1	Změna NC programu	5
2	Zkouška programu na paletách	60
3	Měření na měrovém středisku	0
Celkový čas		65

Tab 2) Postup činností obsluhy při přestavbě typu č. 1

Kroky výměny		čas [s]
1	Podložení spodními dorazy	15
2	Změna NC programu	5
3	Zkouška programu na paletách	60
4	Měření na měrovém středisku	150
5	Kontrola protokolu a zadání korekcí	15
Celkový čas		245

Tab 3) Postup činností obsluhy při přestavbě typu č. 2

Kroky výměny		čas [s]
1	Výměna přípravku	30
2	Výměna nástrojů	120
3	Zadání programů	5
4	Upnutí dvou dílů do přípravku	10
5	Zkouška programu	60
6	Vyjmutí a očištění dílu ofukováním	15
7	Měření dle kontrolní návodky	15
8	Měření na měrovém středisku	200
9	Kontrola protokolu a zadání korekcí	15
Celkový čas		470

Tab 4) Postup činností obsluhy při přestavbě typu č. 3

Kroky výměny		čas [s]
1	Vyjmutí přípravku ze stroje	10
2	Sundání přípravku z palety	480
3	Montáž přípravku na paletu	480
4	Výměna nástrojů	120
5	Zadání programů	5
6	Upnutí dvou dílů do přípravku	10
7	Zkouška programu	60
8	Vyjmutí a očištění dílu ofukováním	15
9	Měření dle kontrolní návodky	15
10	Měření na měrovém středisku	200
11	Kontrola protokolu a zadání korekcí	15
Celkový čas		1410

Tab 5) Postup činností obsluhy při přestavbě typu č. 4

Čas zkoušky programu se může lišit na součásti, která se bude na daném přípravku obrábět.

5.1 Optimalizace přestavby automatickou výměnou palet

Měřením výše uvedených činností byly zjištěny poměrně vysoké výrobní časy určené k přestavbě stroje mezi jednotlivými výrobky, které mohou vést k dlouhým prostojům nepřinášejícím přidanou hodnotu výrobku. Zvlášť postup při výměně přípravku je navíc pro obsluhu poměrně náročnou činností vyžadující zručnost potřebou k nutné přesnosti při ustanovování přípravku na paletu. Dlouhé nevýrobní prostoje, při kterých je stroj zastaven, jsou navíc způsobené přeměňováním rozměrů obrobků vyrobených během ustanovování přípravku v měřícím středisku.

Možností, jak zrychlit přestavbu strojního zařízení spočívá v automatické výměně technologických palet s již osazeným upínacím přípravkem. Na paletu se přípravek předem upne typizovanými upínacími prvky. Jednotlivé palety s přípravky se umísťují do zásobníku palet vedle výrobního stroje a za pomoci automatického výměníku se nahradí paleta ve výrobním prostoru stroje za novou paletu ze skladu. Palety se ke stroji umísťují pomocí zero-point upínačů, které specifickou konstrukcí umožňují výměnu jednotlivých palet v řádu několika sekund. Výhodou zero-point upínače je i vysoká přesnost a opakovatelnost v ustanovování palet a zároveň vysokou životnost systému. Firma RÖHM udává opakovatelnost upínacího systému 2 μm s životností až 750 000 upínacích procesů. [1] [10]

Zásobníky palet mohou být dvojího provedení:

- Lineární zásobník palet
- Kotoučový zásobník palet [11]

Autonomní zásobníky palet (AGV)

V souvislosti s přestavbami palet je nutné palety dopravovat ke stroji. V dnešní době klesajících cen a nových navigačních systémů lze použít autonomní vozíky palet (Automated Guided Vehicle- AGV). Zároveň pomocí vozíků lze přepravovat i gitterboxy s polotovary nebo s hotovými díly a tím kontinuálně obsluhovat stroj potřebným materiálem. Navigace systému se provádí optickým nebo indukčním zařízením či laserem. Pro zajištění bezpečnosti mezi lidmi a vozíky používá AGV laserové systémy pro monitorování prostředí do vzdálenosti až 7 metrů. Při zjištění překážky pak systém vozík vychýlí nebo zastaví. [12]



Obr. 11) AGV dopravník přepravující gitterbox od firmy Tünkers [12]

5.1.1 Výběr obráběcího stroje s automatickou výměnou palet

Pro zlepšení hospodaření s časem při přestavbách stroje je vhodné se zabývat možností automatické výměny palet s vestavěnými upínacími přípravky. Při řešení vybraných řešení od různých výrobců je důležité se zabývat mnoha parametry výměníku, kterými jsou např.: adekvátní počet palet v zásobníku, zástavbové rozměry atd. Jelikož jsou používána obráběcí centra z let 2001 až 2008 poměrně zastaralá a předpokládá se jejich postupná náhrada za stroje nové, je vhodné je vyměnit za stroje s přidanou hodnotou obsahující automatické přestavby upínacího přípravku. Oba stroje DuoBLOCK, které jsou novější verzí předešlých center, a které v roce 2011, v dohledné době nahrazeny nebudou.

Základní požadavky pro výběr budoucího stroje:

Z výše uvedených důvodů je proto vhodné vyměnit starší výrobní stroje za nová 4-osá nebo 5-osá obráběcí centra. Požadavkem budoucího centra je použití horizontální koncepce obráběcího vřetena, která je vhodná pro příznivý odvod třísek z pracovního prostoru. Jelikož se předpokládá zachování rozměrů budoucích upínacích přípravků, je nutné zajistit podobné posuvy jednotlivých pohybových os x, y, z (800, 900, 1050 mm). Dále je potřeba zachovat rozměry upínacího stolu (630 x 630 mm). Následně byla vybírána obráběcí centra, u kterých byly porovnávány vybrané parametry.

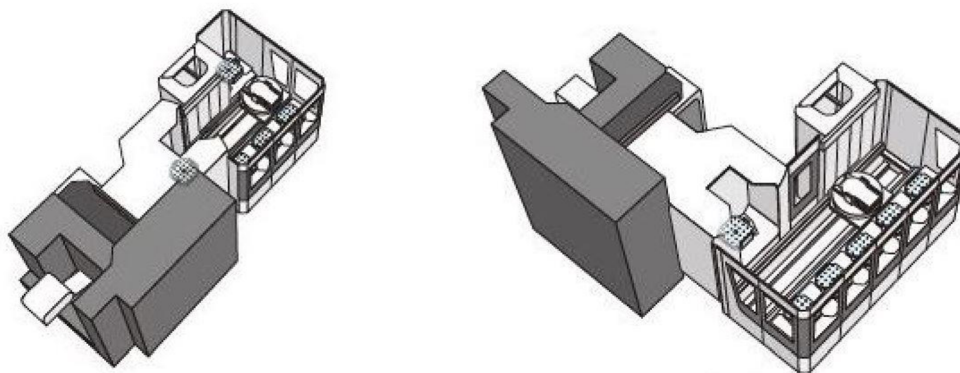
	DMG MORI DMC 80 H	Heller H 6000	GROB G640	ZPS MCH630i	DMG MORI NHX 6300
Posuvy ve směru os x, y, z [mm]	800, 900, 1050	1000, 1000, 1000	1050, 800, 1050	750, 700, 770	1050, 900, 1030
Otáčky vřetena [ot/min]	6000	8000	7200	8000	8000
Upínání vřetena	ISO 50	ISO 50	ISO 50	ISO 50	ISO 50
Rozměry stolu [mm]	630 x 630	630 x 630	630 x 630	630 x 630	630 x 630
Maximální nosnost stolu [kg]	900	1400	-	2500	1500

Tab 6) Porovnání hodnot vybraných horizontálních obráběcích center [2] [13] [14] [15] [16]

Stroj, který vyhovuje požadovaným parametrům, především pak rozměrům posuvů os x, y a z, je čtyř-osé horizontální obráběcí centrum NHX 6300 od firmy DMG MORI. Přidanou hodnotou tohoto stroje je možnost skladování technologických palet uložených v zásobníku a jejich výměny ve stroji pomocí systému CPP 63 (viz. Obr. 12). Vzhledem k počtu momentálně používaných upínacích přípravků bude použit zásobník palet s pravoúhlým nebo lineárním uspořádáním zásobníku se šesti, respektive pěti, a více místy pro skladování palet. [16]

Parametr stroje	DMC 80 H	NHX 6300
Posuvy ve směru os x, y, z [mm]	800, 900, 1050	1050, 900, 1030
Maximální otáčky vřetena [ot/min]	6000	8000
Maximální moment vřetena [Nm]	818	1414
Rozměry stolu [mm]	630 x 630	630 x 630
Maximální rozměry obrobku [mm]	1000 x 1000 x 1330	1050 x 1050 x 1300
Maximální nosnost stolu [kg]	900	1500

Tab 7) Porovnávací tabulka původního centra DMC 80 H a centra NHX 6300 [2] [16]



Obr. 12) Stroj NHX 6300 se systémem CPP 63 od firmy DMG MORI- lineární (vlevo) a pravoúhlé provedení (vpravo) [16]

Firma zároveň nabízí v dodávaném příslušenství měřicí sondu, umístěnou přímo ve stroji, díky které je možné automaticky kontrolovat po procesu obrobení rozměry výrobku a průběžně tak hlídat kvalitu zpracování.

V případě použití měřicí sondy a velkokapacitního zásobníku nástrojů, který by umožňoval skladovat dostatečný počet nástrojů a nepotřeboval je tak měnit pro nové díly, se sníží čas na přestavbu č. 4 o pětinašobek na 280 s.

Kroky výměny		čas [s]
1	Automatická výměna technologické palety	80
3	Zadání programů	5
4	Upnutí dvou dílů do přípravku	10
5	Zkouška programu	60
6	Měření rozměrů na stroji	80
7	Vyjmutí a očištění dílu ofukováním	15
8	Měření dle kontrolní návodky	15
9	Kontrola protokolu a zadání korekcí	15
	Celkový čas	280

Tab 8) Postup činností při přestavbě stroje s automatickou výměnou technologických palet ze zásobníku

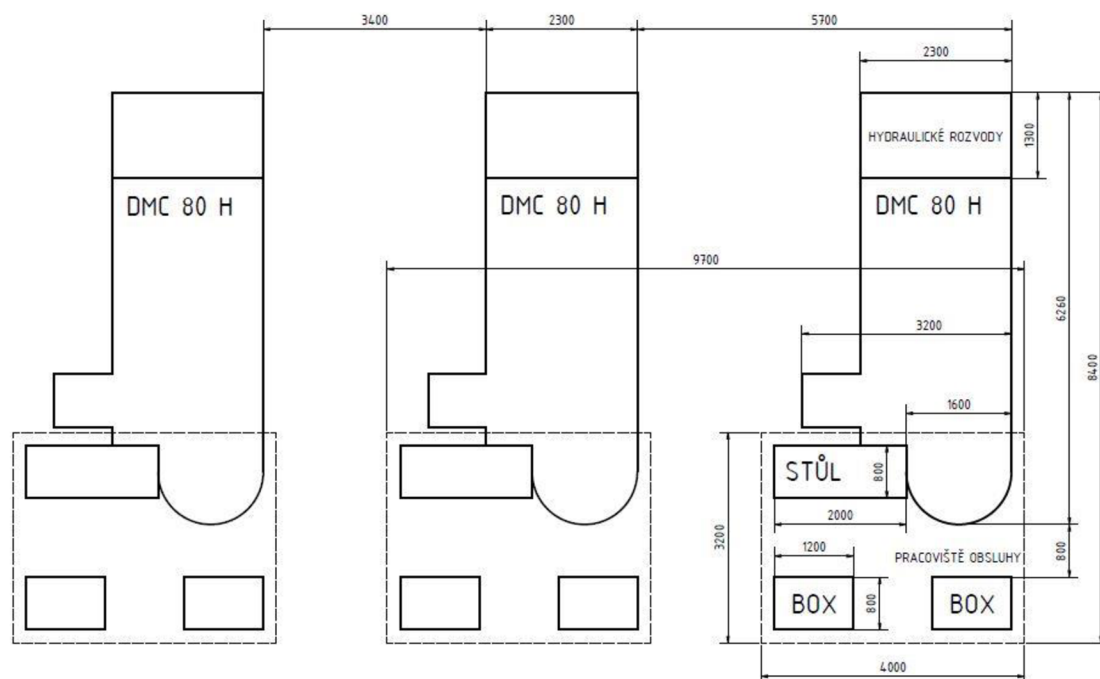
6 NÁVRH REDUKCE VÝROBNÍCH PROSTOR (PŮDORYSNÉ PLOCHY), NUTNÉ K VÝROBĚ SOUČASNÉHO PORTFOLIA VÝROBKŮ

Výrobci často přichází s problémem, jakým způsobem navýšit zaběhnutou výrobu na dané půdorysné ploše s daným strojovým parkem a s pevně daným výrobním časem o daných směnách. Snahou těchto uživatelů je navíc i stále častější nutnost reagovat úspornějším prostorovým řešením výrobních zařízení na postupně rostoucí cenu zastavěných ploch. [1] [17]

Možností, jak zachovat či zvýšit produkci vyráběných dílů při snížení výrobních ploch je v modernizaci strojového parku o stroje, které poskytují vyšší výkon v rámci výše zmíněných omezení. V takovém případě lze zvolit vícevřetenová obráběcí centra s vodorovnou nebo svislou osou vřeten. Počet vřeten je obvykle dva nebo čtyři. Vodorovná centra jsou výhodnější z hlediska možnosti manipulace se součástmi shora. Na rozdíl od center s jedním vřetenem umožňujícím znásobit počet vyráběných dílů v rámci dané doby výrobního cyklu při snížení půdorysné plochy. Přínos těchto strojů není pouze ve vyšší produktivitě, ale i v ceně, protože se skládají pouze z jednoho rámu, z jednoho dopravníku třísek nebo z jedné nádoby na chladicí kapalinu. Nevýhodou těchto strojů může být hrozba zastavení výroby na dvou či čtyřech vřetenech v případě výpadku jednoho stroje. Při stejné produkci na jednovřetenových centrech pak bude během výpadku stále k dispozici 50 a více procent kapacity výroby. [18] [19]

6.1 Současné rozměry výrobních pracovišť

Výrobní plocha jednoho stroje DMC 80 H s pracovištěm obsluhy je 33,6 m². Obsah 2 strojů umístěných vedle sebe a vzdálených mezi sebou 3,4 m je 81,5 m². Plocha tří strojů je pak 143,6 m². Rozměry jednoho stroje a pracoviště se nachází na obrázku č. 13. Rozměry DMC 80 H DuoBLOCK nejsou uvedeny, jelikož se nepředpokládá jejich výměna za nový stroj.



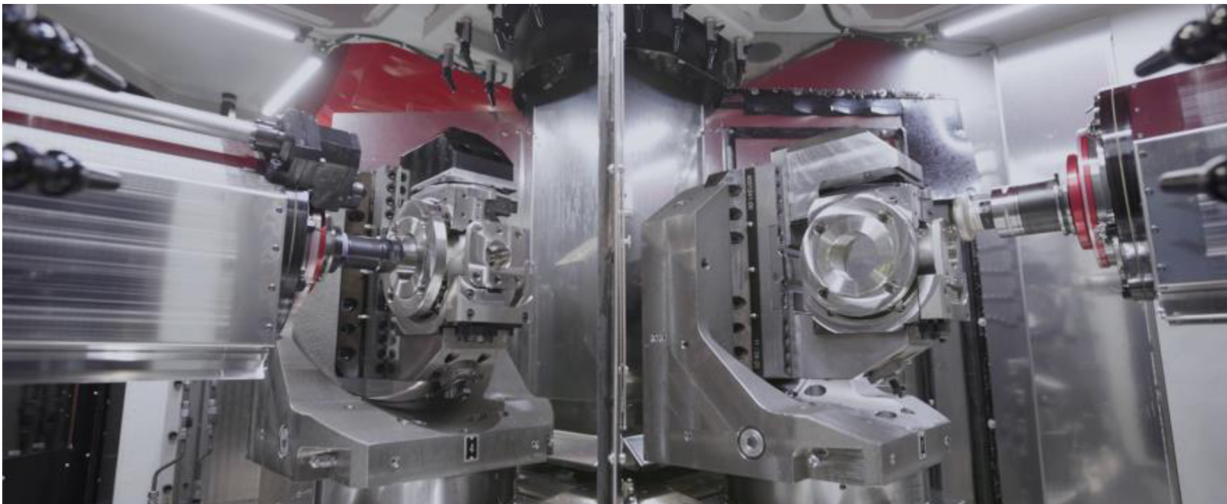
Obr. 13) Rozměry pracoviště obsluhy a obráběcích center

6.2 Výběr vícevřetenového obráběcího centra

Před samotným výběrem vhodného stroje byly porovnávány různé konstrukce vícevřetenových obráběcích center. Z nich pak byla vybírána ideální varianta, která nejvíce vyhovuje budoucímu technologickému postupu výroby. Existuje několik současných koncepcí strojů podle počtu a uspořádání vřeten a pracovních stolů a podle jejich vzájemnému pohybu.

Koncepce vícevřetenových center:

- První variantou je stroj obsahující minimálně tři vřetena a rotační stůl, na jehož obvodu jsou umístěny pracovní stoly, do kterých je upevněn obrobek. Obrobek se otočením rotačního stolu o určitý úhel přesouvá do nové pozice, kde je částečně obroben připraveným vřetenem. Stroj PORTACENTER 500 od společnosti PortaSolutions má celkem 4 pozice: 3 pozice pro obrábění a čtvrtá pak slouží na vykládání a zakládání obrobku do stroje. Centrum tak může zvýšit produktivitu stroje až trojnásobně. Nevýhodou takto stroje jsou malé rozměry maximálního obráběcího prostoru pro jeden obrobek (250x250 mm) a nelze tak více dílů na jednom stole najednou. [20]



Obr. 14) Vícevřetenové obráběcí centrum PORTACENTER 500 [20]

- Další koncepce je založena na jednom pracovním stole a s minimálně dvěma nezávislými vřeteny, přičemž každé vřeteno je umístěno na jedné stěně. Obrobek je zpracováván na více stranách najednou těmito vřeteny.



Obr. 15) Vícevřetenové obráběcí centrum SPX 5176 od firmy ELHA-MASCHINENBAU [21]

V případě použití těchto center v provozu firmy by bylo potřeba upravit upínací přípravek pro možnost umístění obrobků ze dvou nebo tří stran přípravku pro možnost obrábění na všech vřetenech.

- Poslední variantou je konstrukce dvou nezávislých, vedle sebe umístěných center. Pro každý stůl je vyhrazeno jedno vřeteno, avšak kinematika těchto vřeten je vzájemně propojena a jejich pohyby jsou synchronní.

Z výše uvedených konceptů byla vybrána třetí varianta z důvodu jednodušší úpravy budoucích upínacích přípravků.

Následně byly porovnávány vybrané hodnoty vícevřetenových strojů, které jsou vybavené nezávisle pohyblivými vřeteny a pracovními stoly:

	SPECHT® 500 DUO+	BA 721 space	GROB G520
Posuvy ve směru os x, y, z [mm]	630, 730, 900	650, 1175, 650	750, 1,000, 870
Otáčky vřetena [ot/min]	6000	6000	6000
Upínání vřetena	HSK-A100	HSK-A100	HSK-A100
Rozměry stolu [mm]	Ø450	Ø 1700	Ø 798
Maximální nosnost stolu [kg]	2 x 400	2000	2x525

Obr. 16) Srovnávací tabulka vícevřetenových obráběcích center [22] [23] [24]

Z výše uvedených charakteristik jednotlivých strojů bylo zvolen jako nejvhodnější stroj vícevřetenové 5-osé obráběcí centrum G520 od firmy GROB s automatickou výměnou palet za pomoci rotačního stolu. Hlavním důvodem výběru tohoto centra jsou především podobné posuvy os x, y, z a nízké zástavbové rozměry stroje. Jelikož je vřeteno stroje vybavené upínacím kuželem HSK-A100, je nutné vyměnit dosavadní nástroje za nové s potřebným upínacím systémem.



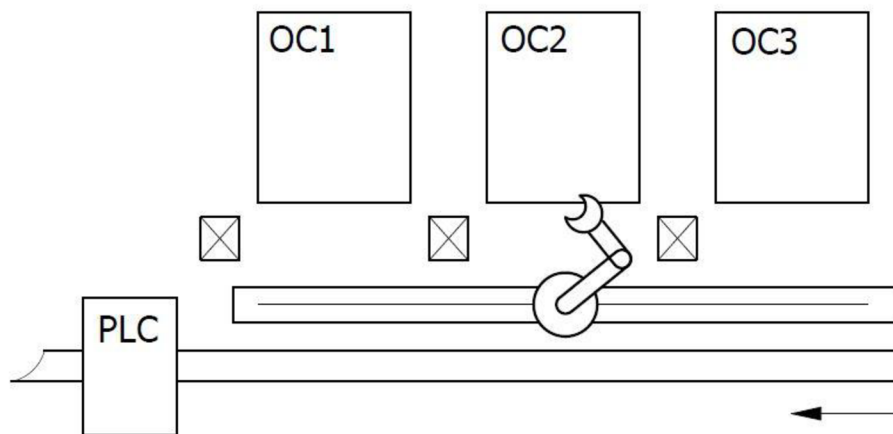
Obr. 17) Vícevřetenové obráběcí centrum G 520 od firmy GROB (bez rotačního výměníku technologických palet) [24]

6.3 Přesun ručních výrobních operací mimo pracoviště stroje

Další variantou, jak redukovat pracovní prostor obrobny, je rozdělení procesu výroby na samotné výrobní jednotky - buňky. Rozdělením součástek podle podobných konstrukčně-technologických znaků podle podstaty skupinové technologie lze dosáhnout plynulosti materiálového toku, a naopak snížit různorodost a složitost pohybů součástek mezi stroji. Jednotlivé výrobní operace a posloupnost těchto operací na dané součástce určují typ stroje a materiálový tok daného dílu. Analýzou materiálového toku dílů dle shodného přechodu součástek přes jednotlivé stroje se vytváří daná výrobní buňka (viz Obr. 17). Pro řešení manipulačních činností s vyráběnými díly ve výrobní buňce se používají automatické výrobní systémy např.: roboty, portálové zakladače apod. Výběr součástek do skupin na základě společných znaků zaručuje zvýšení využití obráběcích center a tím možnost snížení pracovní plochy obrobny [9]

Příklad redukce můžeme sledovat na výrobním procesu na třech obráběcích centrech. Postup výroby na jednom stroji spočívá v nakládání obrobku do výrobního prostoru stroje a po obrobění se hotový obrobek ofukuje tlakovým vzduchem a následně se díl odebere ze stroje na odkládací místo. O veškerou manipulaci výrobku a jeho čištění se stará robot.

Návrh přesunu výrobních operací je vidět na následujícím obrázku č. 18 Robot obsluhuje výrobní buňku na třech obráběcích centrech najednou za pomoci pojezdového ústrojí. Ostatní činnosti výrobního procesu, jako je čištění součástí pomocí ofukování tlakovým vzduchem, probíhají mimo pracoviště strojů na automatické ofukovací stanici (na obrázku vyznačená jako PLC). Práce robotu spočívá pouze v zakládání a vykládání dílů na dopravník, který přepravuje díly do automatické ofukovací stanice. Díky přesunu operace čištění na ofukovací stanici je robot schopen vykonávat méně činností a může obsluhovat více strojů najednou, čímž lze zredukovat výrobní pracoviště stroje. Dále lze snížit i pořizovací náklady, které by jinak v případě nutnosti dodat více robotů k dodržení předepsané produkce vedly k vysokým finančním nákladům.



Obr. 18) Příklad dílčí automatizace s robotickým pracovištěm a automatickou ofukovací stanicí

7 NÁVRH ŘEŠENÍ DÍLČÍ NEBO KOMPLEXNÍ ROBOTICKÉ MANIPULACE S VYBRANÝMI TYPY OBROBKŮ

Návrh robotických pracovišť budoucí obrobny, které by umožňovaly manipulaci s obrobky a tím nahradily lidskou obsluhu, se skládá z několika kroků postupu. V první části bylo třeba vymyslet koncept jednotlivých pracovišť (výrobních buněk) vyrábějící určitý počet dílů z produktového portfolia. Koncept musel být zaměřen nejenom na dodržení výrobního postupu výroby, ale i na další aspekty např.: flexibilitu při změně výroby, redukci výrobních ploch, snižování vedlejších výrobních časů nebo adekvátní přístup obsluhy. V druhé části návrhu byla vyhledávána daná strojní zařízení určená pro výrobní pracoviště a robotické efektory pro roboty.

7.1 Návrh konceptu budoucí obrobny

Na začátku dle skupinové technologie bylo rozděleno produktové portfolio, vyráběné v roce 2024, na pět výrobních skupin. Výrobky byly rozřazovány podle vzájemné tvarové a výrobní podobnosti. Pro každou skupinu se dle kapacitních propočtů vypočítal minimální potřebný počet strojů, který by zajistil dostatečnou produkci vyráběných dílů. Na základě počtu výrobních strojů, navrženého počtu upínacích přípravků a postupu výroby byl poté navržen potřebný stroj a potřebná automatizace výroby.

7.1.1 Výpočet minimálního počtu strojů podle kapacitních propočtů

Principem výpočtu je podíl celkového potřebného času potřebného k vyrobení všech součástí v jedné výrobní skupině ($T_{potrebný}$) ku efektivnímu časovému fondu stroje (E_{FS}).

Postup výpočtu je ukázaný na výrobní skupině č. 4 (SN5 třmeny):

- a) Efektivní časový fond pracovních kalendářních dní E_{FK} v roce 2024 [hod/rok]:

$$E_{FK} = [365 - (D_{SN} + D_{SV})] * t_c \quad (8)$$

kde:

D_{SN} počet víkendů za rok [dny]

D_{SV} počet svátků za rok [dny]

t_c směnový čas [hod]

$$E_{FK} = [366 - (52 * 2 + 10)] * 8 = \mathbf{2016 \text{ hod/rok}}$$

- b) Efektivní časový fond stroje E_{FS} za rok [hod/rok]:

$$E_{FS} = [D_{PR} - (D_{OP} + D_{DON})] * t_c * s * k_c \quad (9)$$

kde:

D_{PR} fond pracovních kalendářních dní za rok [dny]

výpočet dle: $D_{PR} = [365 - (D_{SN} + D_{SV})]$

D_{OP} počet plánovaných dnů za rok k opravě stroje [dny]

D_{DON} počet neplánovaných dnů za rok k opravě stroje [dny]

s počet směn za den [-]

k_c koeficient využití směnového času [-]

$$E_{FS} = [252 - (10 + 4)] * 8 * 3 * 0,8 = \mathbf{4570 \text{ hod/rok}}$$

c) Potřebný čas k výrobě $T_{potrebny}$ [hod/rok]

$$T_{potrebny} = \frac{T_A * Q}{60} \quad (10)$$

kde:

Q potřebný čas k vyrobení požadovaného počtu kusů [hod/rok]

T_A jednotkový čas [min]

$$T_{potrebny} = \frac{T_A * Q}{60} = \frac{5,8 * 113025}{60} = \mathbf{10\ 926 \text{ hod/rok}}$$

Jednotkový čas a počet výrobků v dané skupině se nachází v příloze č. 1

d) Teoretický počet strojů P_{str} [ks]

$$P_{str} = \frac{T_{potrebny}}{E_{FS} * K_{PN} * K_O * K_P} * K_N \quad (11)$$

kde:

K_{PN} koeficient překračování výkonových norem [-]

K_O koeficient počtu obsluhy [-]

K_P koeficient snižování pracnosti [-]

K_N koeficient zmetkovitosti [-]

$$P_{str} = \frac{10\ 926}{4570 * 1,1 * 1 * 1} * 1,002 = \mathbf{2,17 \text{ ks}} \quad [25]$$

Stejným postupem se pak pokračovalo při výpočtu minimálního počtu výrobních strojů u dalších skupin. Výsledky teoretického počtu strojů P_{str} jsou v tabulce č. 10 na straně 48.

7.1.2 Popis pracovišť (výrobních buněk) každé skupiny včetně použitého stroje a návrhu automatizace

• Skupina 1

Výrobní skupina obsahuje tvarově podobné třmeny SB7, SB6 a SN7/SK7. Charakteristickým znakem těchto třmenů je vysoká hmotnost (až 20,24 kg). Tato vlastnost se odrážela v problematické manipulaci s danými díly a muselo být pro odlehčení námahy obsluhy použito jeřábu. V nové verzi pracoviště veškerou manipulaci zajišťuje univerzální robot M-20iD/25 od firmy FANUC s nosností 35 kg, a to jak v zakládání a vykládání obrobků ze stroje, tak i ve srážení hran hotových obrobků ještě v upínacím přípravku před jejich vyložením z obráběcího centra. Ke srážení hran se používá odjehlovací vřetenosazené přímo na robotu. Jelikož jsou polotovary v gitterboxech neuspořádaně uloženy, je nutné robota osadit speciální snímací kamerou využívající technologii Bin picking, která umožňuje 3D snímání volně uložených součástí a následné automatické vyhodnocení vyjmutí dalšího dílu. K přepravě hotových výrobků je použit dopravník. Ke snížení výrobních časů je navíc použita automatická

ofukovací stanice, která tlakovým vzduchem ofoukne jednotlivé obrobky od třísek a chladicí kapaliny z procesu obrábění. Na konci procesu pak vyjme díly z dopravníku druhý robot a uspořádaně je pak uloží do gitterboxů. Následně se naplněné boxy přemístí přes AGV dopravníky do dalších úseků výroby.

Tento návrh obsahuje dvě horizontální obráběcí centra NHX 6300 od firmy DMG MORI. Jelikož je potřeba použít až 10 upínacích přípravků pro celkem 15 součástí o 4 podskupinách, je vhodné doplnit jeden stroj o automatickou přestavbu technologických palet se zásobníkem o šesti místech. Při přestavbě se vymění technologické palety s osazenými upínacími přípravky. Díky tomuto procesu se zajistí rychlá a spolehlivá přestavba mezi jednotlivými výrobky.

- **Skupina 2**

Tato výrobní skupina je zaměřena pouze na výrobu třmenů typu Reman, jejíž produkce je omezena na malé množství a vyžaduje se specifický technologický postup. V budoucnu se tak počítá se zachováním dosavadní výroby na stroji č. 9 bez použití automatizace.

- **Skupina 3**

Podobně jako v předešlém případě se zachovává stávající řešení výrobního postupu. Na obou dvou obráběcích centrech typu DuoBLOCK, které nečeká výměna za nové stroje, se přeorganizuje dosavadní výroba ze součástí, které se v příštím roce neplánují obrábět, na tělesa. Pro tuto skupinu není nevyžadována automatizace.

- **Skupina 4**

Výrobní skupina 4 je určena pro produkci SN5 třmenů, jejíž hlavním znakem je vysoký počet vyráběných, tvarově podobných dílů, které se upínají do identického upínacího přípravku. Není tak třeba přestavovat palety mezi jednotlivými výrobky. Na základě těchto charakteristik je vhodným obráběcím strojem vícevřetenové obráběcí centrum G520 od firmy GROB, které splňuje možnost hromadné výroby bez nutné změny produkce a zároveň efektivně redukuje výrobní prostor obrobny. Automatizace je řešena dvěma roboty M-20iD/25 od firmy FANUC. První robot zakládá a vykládá materiál ze stroje a je vybavený technologií bin pickingu. Jelikož je proces obrábění u SN5 třmenu rozdělený na dvě části, je nutné přidat mezioperační manipulaci obrobků, která spočívá v uložení materiálu z upínacího přípravku na zásobník vedle stroje. Před druhou fází obrábění se vymění hotové výrobky z centra a místo nich se vloží do upínacího přípravku díly ze zásobníku. Hotové obrobky se poté robotem umístí na dopravník, jenž pak díly přepraví ke druhému robotu, který srazí hrany výrobků odjehlovacím vřetenem a poté se díly očistí v ofukovací stanici. Následně je pak díl druhým robotem založen do gitterboxu.

- **Skupina 5**

Poslední skupina je zaměřena na výrobu všech nosičů. Jelikož je pro každou podskupinu nosičů vyhrazena vždy jedna dvojice upínacích přípravků na dané centrum a zároveň je minimální počet strojů pro každou podskupinu přibližně jedna, není vhodné použít vícevřetenové obráběcí centra, nýbrž je výhodnější opatřit centra NHX 6300 bez zásobníků palet od firmy DMG MORI pro jednotlivou podskupinu. Pro úsporu výrobní plochy jsou stroje umístěny vedle sebe a všechny jsou obsluhovány univerzálním robotem M-20iD/25 s pojezdovým ústrojím. Kromě veškeré manipulace s obrobky mezi strojem a gitterboxy je robot dále opatřen vřetenem ke srážení hran. Podobně jako u předešlých verzí je opatřen snímací kamerou pro technologii bin picking. Obrobek je pak uložen na dopravník, který díly přepraví

do ofukovací stanice. Očištěné výrobky se pak uloží do dalších gitterboxů za pomoci druhé robotu, umístěného na pojezdovém ústrojí.

V dalších kapitolách je poté podrobně rozebráno rozložení jednotlivých pracovišť včetně její výkresové dokumentace a vyhodnocení jednotlivých návrhů automatizace.

Skupina	Typ součásti	Název součásti	Počet upínacích přípravků	Teoretický počet strojů P_{str}	Návrh stroje	Návrhy automatizace
1	SB7 radiální třmen	SB7_Tb.1	10	1,58	NHX 6300 NHX 6300+CPP 63	2x robot na pojezdovém ústrojí + 1x stacionární robot
	SB7 radiální třmen	SB7_Tb.2				
	SB7 radiální třmen	SB7_Tb.3				
	SB7 radiální třmen	SB7_Tb.4				
	SB7 axiální třmen	SB7-Ta.1				
	SB7 axiální třmen	SB7-Ta.2				
	SB6 axiální třmen	SB6-Ta.1				
	SB6 axiální třmen	SB6-Ta.2				
	SB6 axiální třmen	SB6-Ta.3				
	SN7/SK7 Třmen	SNSK_T.1				
	SN7/SK7 Třmen	SNSK_T.2				
	SN7/SK7 Třmen	SNSK_T.3				
	SN7/SK7 Třmen	SNSK_T.4				
	SN7/SK7 Třmen	SNSK_T.5				
SN7/SK7 Třmen	SNSK_T.6					
2	Třmeny Reman	Všechny součásti	-	0,23	Výroba zachována na stroji č. 9	Bez automatizace
3	Radiální těleso	H.1	4	1,38	Výroba zachována na Stroji č. 1 a 11 (verze Duo block)	Bez automatizace
4	SN5 třmen	SN5_T.1	4	2,39	Dvojrřeteno- GROB	2x Robot
	SN5 třmen	SN5_T.2				
5	SN6 nosič	SN6_N.1	8	4,02	4xNHX 6300	1x robot na pojezdovém ústrojí
	SN6 nosič	SN6_N.2				
	SN6 nosič	SN6_N.3				
	SN6 nosič	SN6_N.4				
	SN6 nosič	SN6_N.5				
	ST6 nosič	ST6_N.1				
	SN5 nosič	SN5_N.1				
	SN5 nosič	SN5_N.2				
	SB7 Nosič	SB7_N.1				
	SB7 Nosič	SB7_N.2				
	SB7 Nosič	SB7_N.3				
	SB7 Nosič	SB7_N.4				
	SB7 Nosič	SB7_N.5				
	SB7 Nosič	SB7_N.6				
SB7 Nosič	SB7_N.7					

Tab 9) Rozdělení součástí do výrobních skupin a návrh stroje včetně automatizace pro každou skupinu

7.2 Výběr strojních zařízení pro výrobní buňky

Dle nachystaného scénáře výrobních postupů pro zpracování polotovarů v daných skupinách byla vybírána jednotlivá strojní zařízení. Před samotným hledáním bylo třeba zohlednit různá kritéria pro splnění proveditelnosti daného výrobního procesu.

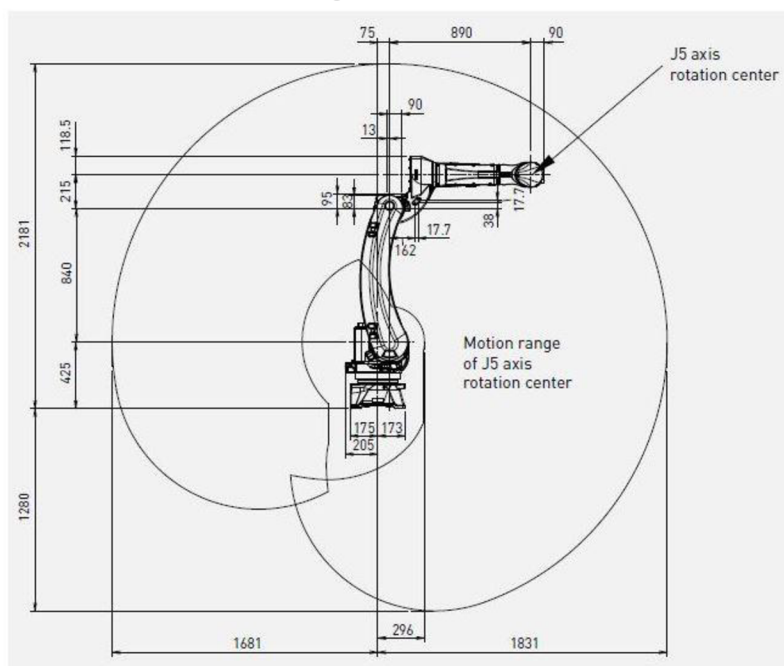
7.2.1 Výběr průmyslového robota a jeho příslušenství

Hlavním kritériem při volbě adekvátního robota byla minimální nosnost, která byla zjištěna z největší hmotnosti polotovaru a z potřebného koncového efektoru. Hmotnosti vyráběných dílů jsou v rozmezí od 8 kg až po třmeny SB7, SB6 a SN7/SK7 o 20,23 kg. Dalším faktorem bylo zohlednění pracovního rozsahu polohovacího ústrojí robota. Koncový efektor musel být schopný odebrat polotovar ze dna gitterboxu, jehož hloubka je od horní části 800 mm. Mezi další nutné podmínky pro výběr robota je dále schopnost osazení kamery pro skenování 3D mapy na orientační ústrojí robota a dále možnost přes vhodnou kinematiku stroje přesouvat břemena do libovolných míst v prostoru omezeného jeho maximálním dosahem.

Z výše uvedených kritérií byl zvolen univerzální šestiosý robot M-20iD/35 od firmy FANUC, který sdružuje výhodný poměr maximální nosnosti a dosahu. Robot je dále možné uložit na pojezdovou osu, čímž se přidá sedmý stupeň volnosti stroje a zvětší se tím manipulační prostor. Aby koncový efektor dosáhl na dno gitterboxu o hloubce 900 mm, je robot umístěn na piedestalu o výšce 800 mm nebo na pojezdovém ústrojí s vyššími vertikálními rozměry. Robot je vybaven řídicí jednotkou R-30iB Plus v provedení A Cabinet. [26] [27]

Základní parametry robota M-20iD/35:

maximální nosnost:	35 kg,
maximální dosah:	1831 mm,
rychlosti polohovacího ústrojí J1, J2, J3:	210, 210, 265 °/s,
rychlosti orientačního ústrojí J4, J5, J6:	420, 420, 720 °/s,
opakovatelnost:	±0,03 mm,
hmotnost:	250 kg. [26]



Obr. 19) Rozměry a maximální dosah robota M-20iD/35 [26]

Příslušenství robota

- **Pojezdové ústrojí AT35-F**

Pro obsluhu obráběcích center jedním robotem je potřeba zvětšit velikost manipulačního prostoru robota pojezdovým ústrojím. Robot se umístí na jezdec pojezdového ústrojí, který se pohybuje přímočaře po lineárním vedení. Pro účely této práce bylo vybráno lokomoční ústrojí AT35-F od firmy SIMKON. Konstrukce je navržena přímo pro potřeby robotů série M-20 od společnosti FANUC. Tento typ zařízení se vyznačuje maximální rychlostí pohybu jezdce až 2 m/s a nízkými radiálními rozměry a lze je tak s výhodou použít pro snížení manipulačního prostoru robota. Při tvorbě výrobních buněk byla zohledněna jednotná délka pojezdu, a tak pro potřeby buněk pro skupiny výrobků 1,4 a 5 byla navržena délka 4000 mm. Pro skupinu 5 bude navíc použito druhé ústrojí s délkou 20 000 mm. Výška umístěného robota, měřená od dna jeho podstavce po podlahu, je 800 mm. [28]

- **Snímač 3DV/600**

Společnost FANUC nabízí kompletní příslušenství k obstarání technologie bin pickingu a zapojení jednotlivých prvků do řídicí jednotky R-30iB Plus. Pro tuto technologii byl použit 3D kamerový senzor 3DV/600 s funkcí 3D Peak Locator Tool, jenž umožňuje optickým snímáním vytvářet detailní hloubkový obraz neuspořádaně položených polotovarů v gitterboxu. Následnou analýzou vytvořeného obrazu je vyhodnocena nejvýše položená součást, kterou robot automaticky vyjme z boxu vloží do upínacího přípravku stroje. Kameru je možné umístit přímo na robota, čímž není třeba staticky umísťovat kameru nad každý gitterbox, jehož polotovary má robot obsluhovat a tím redukovat počet kamer na jednu umístěnou na robota. Plocha snímaného obrazu je 600 x 500 mm při vzdálenosti kamery 500 mm od obrazu. Jelikož je velikost šířky gitterboxu 1200 x 800 mm, je potřeba kameru navádět před každým samotným skenováním obrazu na jinou pozici. Ukázka umístění kamery na robota je na straně 22. [29]



Obr. 20) Ukázka pojezdové osy AT35-F [28]

- **Nástavec pro koncové efekторы**

Pro potřebu umístění 3D kamery na robot je potřeba vytvořit nástavec, na jehož část bude pomocí spojení plechovkových dílů připevněn daný snímač. Nástavec se skládá z příruby, která je identická s přírubou robota a slouží k připojení obou částí dohromady. Na protější straně nástavce se nachází svařenec ve tvaru krychle, který je určen pro umístění rychlovýměnného systému nástrojů. Z technologického zásad svařování a pro snadnou montáž a demontáž upínače je konstrukce kostky otevřená.

- **Rychlovýměnný systém nástrojů SWS**

Každý robot v připravovaných výrobních buňkách je navržen tak, aby ke své činnosti potřeboval maximálně dva nástroje (koncové efekторы), přičemž první nástroj se používá pro manipulaci s obrobkem a druhý pro technologickou operaci srážení hran. Při výměně nástrojů mezi operacemi lze využít rychlovýměnný systém SWS od firmy SCHUNK, který se skládá ze dvou částí. Jedna část je upevněna k robotu, respektive ke kostce nástavce, druhá část je připojena k nástroji. Jestliže jsou obě části mezi sebou připojeny, lze robot používat ke své činnosti. V případě výměny efektorů najede robot na připravené odkládací místo a automaticky rozpojí výměnný systém a nepotřebný nástroj bude do odkládacího místa uložen. Robot si pak může vyměnit nový nástroj na připraveném druhém odkládacím místě. Pro každý stroj je připravena dvojice těchto odkládacích míst, přičemž do jednoho místa je vložen technologický nástroj. Robot tak může mít pouze jeden nástroj a jeho výměna pak záleží na daném výrobním postupu a na daném stroji. [30]

- **Koncové efekторы robotů**

Pro každého robota je určena dvojice koncových efektorů. Ty lze rozdělit na několik kategorií podle jejich účelu:

- a) **Manipulační nástroje**- slouží k přesunu materiálu mezi gitterboxem a strojem v případě zakládání nebo v případě vykládání mezi strojem a dopravníkem. Používají se efekторы s tvarovým stykem nevyžadující pohyb čelistí.



Obr. 21) Rychlovýměnný systém SWS od firmy SCHUNK [30]

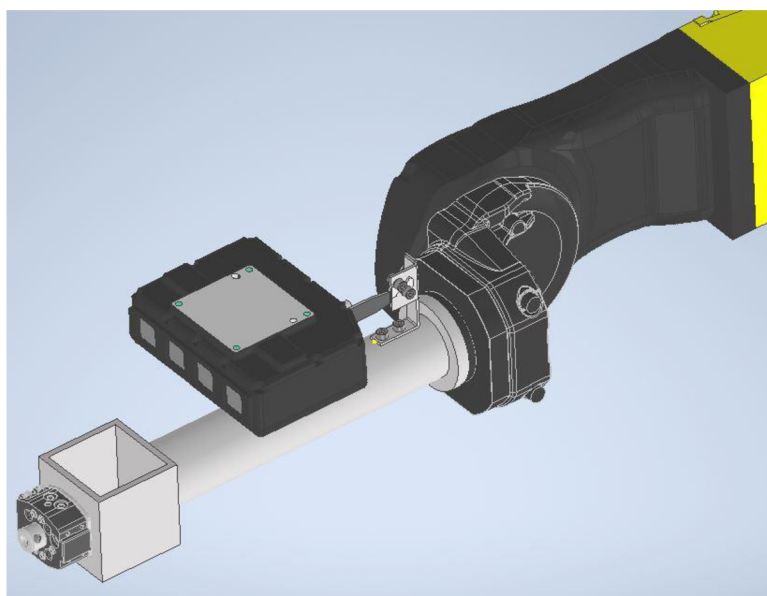
- b) **Technologické nástroje** - úkolem těchto nástrojů je dokončit proces obrábění srážením hran za pomoci odjehlovacího vřetena nebo v případě skupiny 5 pilník.
- c) **Vakuové přísavky** - tyto nástroje slouží k přesunu kartonového obalu ve tvaru desky o velikosti 800x1200 mm. Hotové výrobky se uspořádaně ukládají do předem určeného gitterboxu. V případě, kdy dojde naplnění jedné řady výrobky, robot na výrobky položí kartonový obal, který zabraňuje poškození dílů během transportu boxu mezi výrobními úseky firmy či během dopravy k cílovému zákazníkovi. Používají se u robotů zakládajících obrobky zpátky do gitterboxů.

7.2.2 Výběr dopravníků

Součástí výrobních buněk je přeprava obrobků z výrobních strojů směrem k automatické ofukovací stanici a poté k dalšímu robotu, který očištěné výrobky zakládá do boxu. Pro potřeby práce byly použity modulární dopravníky o šířce 500 mm s moduly se zvýšenou přilnavostí od firmy haberkorn, které se vyznačují vyšší nosností a životností. Délka dopravníku je pro každé pracoviště různá a jednotlivé délky jsou 6000 pro pracoviště skupiny 1, 4500 pro pracoviště skupiny 4 a pro poslední automatizované pracoviště č. 5 pak 21 000 mm. [31]

7.2.3 Automatická ofukovací stanice

Toto zařízení slouží k očištění opracovaných dílů od třísek vzniklých v průběhu obrábění ale také po procesu srážení hran po obrábění robotem a od zbytku chladicí kapaliny. Jako aktivní prvek čištění je použit proud stlačeného vzduchu. Samotný proces ofukování musí navíc odstranit nahromaděnou kapalinu ze všech hladkých a závitových děr (průměr děr je od 12 do 16 mm), protože je součást dále zpracována v dalších provozech (např.: v lakovně), kde je nutné mít součást absolutně čistou. Z tohoto důvodu proto nelze součásti umístěné na upínacím zařízení očistit přímo v obráběcím centru za pomoci např. čistící vrtule, ale pouze proudem vzduchu z ofukovací trysky. Navíc díry některých výrobků se nachází nejen na čelních stranách výrobku, ale současně i na protilehlých stranách a není možné díry spolehlivě očistit z prostoru stroje. Součásti se proto přemístí na dopravník, kde je pro ofukování možný přístup k výrobku ze všech stran.



Obr. 22) Sestava nástavce, rychloupínače SWS a snímače 3DV/600 umístěných na robotu M-20iD/35

Pro každý díl je proto nutný individuální požadavek na způsob očištění, který závisí na tvaru výrobku a na počtu děr. Z tohoto důvodu neexistuje univerzální řešení ofukovací stanice od výrobců a je vhodné vytvořit si vlastní stanici. Zařízení obsahuje ofukovací trysku, která je namontovaná na elektricky ovládaný suport, zajišťující pohyb trysky ve svislém směru (osa y). Suport je umístěn kolmo na elektricky ovládaný jezdec, pohybující se po vedení. Pohyb jezdce slouží k vodorovnému směru (osa x) trysky. Díky navzájem nezávislým pohybům jezdce a suportu dochází k navedení trysky k jakémukoli bodu rovině danou osami x, y. Výše popsaná sestava je však schopna ofukovat výrobek pouze z jedné strany. Je-li potřeba čistit výrobek i z protější strany, je vhodné vytvořit další identickou, osově obrácenou sestavu. Stanice pak ofukuje díl z obou stran najednou, čímž lze navíc dvojnásobně snížit vedlejší výrobní čas v procesu očišťování obrobku.

Z jednotlivých vybraných komponent se poté vytvořily celé automatizované výrobní soustavy s robotickými pracovišti. Výkresová dokumentace výrobních buněk je v příloze č. 6 až 9.

8 POTŘEBNÁ VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE A KOMENTÁŘ K DOKUMENTACI

Každý technický výkres je v této kapitole podpořen o příslušný komentář pro uvedení základních údajů technického zařízení a pro přidání některých poznámek k návrhu. Výkresová dokumentace se skládá z jednotlivých automatizovaných buněk pro skupiny 1, 4 a 5 a dále ze sestavy těchto buněk s částí stávajícího řešení, jejíž výsledkem je výkres návrhu nové obrobny.

- **Příloha č. 6- "Výrobní buňka skupiny 1"**

Do obou výrobních strojů se ukládají výrobky do upínacích přípravků po čtyřech kusech. Jelikož se dodávají zvlášť zrcadlově obrácené výrobky na pravé a levé varianty, je potřeba výrobní prostor buňky přizpůsobit pro dvojnásobný počet gitterboxů. Dvojice gitterboxů pro každý stroj musí být uvažována, i pro ukládání hotových dílů zvlášť na pravé a levé varianty. Pro snadný přístup při ruční výměně technologické palety na obráběcím centru NHX 6300 se zásobníkem palet je zohledněn dostatečný prostor mezi strojem a robotem (1000 mm).

- **Příloha č. 7- "Výrobní buňka skupiny 4"**

Robot sloužící pro zakládání a vykládání obrobků je na rozdíl od ostatních pracovišť umístěn na piedestalu a obsahuje pouze jeden koncový efektor, čímž nevyžaduje odkládací místo pro nástroje.

- **Příloha č. 8- "Výrobní buňka skupiny 5"**

Pro robot, který zakládá a vykládá nosiče ze strojů je použit jako technologický nástroj pilník místo odjehlovacího vřetena, který bude srážet hrany těchto výrobků po obrábění.

- **Příloha č. 9- "Návrh obrobny"**

Výkres obrobny je orientován stejným směrem jako současný výrobní úsek představený na obrázku č. 1. Nový návrh obrobny je složen ze tří automatických výrobních buněk pro výrobu skupin 1, 4 a 5. V dolní části obrobny se nachází dvojice obráběcích center DMC 80 H a DMC 80 DuoBLOCK, pro výrobu zbylých výrobních skupin 2 a 3. Způsob výroby na původních strojích zůstává zachován. Rozměry nové obrobny zůstávají stejné o velikosti 36 900 mm, stejně tak se nemění tvar vnitřního koridoru, jenž slouží pro snadný přístup obsluhy k ostatním strojům. Gitterboxy se v automatických soustavách vyměňují z vnější části obrobny pomocí AGV vozíků.

Všechna robotická pracoviště jsou oddělena od obsluhy oplocením pro zabránění kontaktu mezi člověkem a pracujícím robotem. V případě vstupu do prostoru výrobní buňky jsou oplocení opatřena dveřmi. Dále se pro výrobní buňky přepokládá přeprava gitterboxů z vnější strany obrobny.

9 KRITICKÉ ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

Hlavním úkolem této práce je automatizovat současnou výrobu za účelem navýšení výrobní produkce, snížení vedlejších výrobních časů a redukce výrobních ploch pro rok 2024. Byl proto vytvořen návrh tří pružných výrobních buněk s robotickými pracovišti.

Hlavní body zhodnocení výsledného návrhu optimalizace výroby:

1) Pružnost výroby

Možnost rychlé změny výroby v souvislosti s přestavbou stroje mezi výrobky bylo řešeno za pomoci automatické výměny technologických palet v zásobníku. Obsluha může předem umístit upínací přípravek na paletu a vložit ji do zásobníku. Poté je možné během 5 minut přestavět výrobu výměnou technologické palety a otestováním programu na dvou obrobcích s následnou kontrolou přesnosti obrábění na kontrolním programu. Tento systém bude zaveden pro buňku skupiny 1 se specializací na výrobu třmenů. Stroj má dostatečně vysokou kapacitu pro zavedení produkce dalších nových součástí. V tomto případě je však nutné vyměnit upínací přípravky pro méně vyráběné třmeny za přípravky nových součástí, protože kapacita počtu palet

v zásobníku je stavěna pouze na počet upínacích přípravků pro zajištění výroby daných třmenů ve skupině 1.

2) Snížení výrobních časů

Při zavedení nového návrhu se sníží především nevýrobní časy během přestavby stroje mezi změnou výroby součástí a časy čištění na automatických ofukovacích stanicích, který se předpokládá na 5 až 10 s pro jeden výrobek. Naopak se negativně projeví čas výměny nástroje při změně manipulační činnosti robota na technologickou činnost a naopak (přibližně 20 s).

3) Redukce prostoru

Automatizací skupiny 1 bylo sníženo počet center z původních tří (stroj 6,7,8; viz. obr. 1) na dva stroje NHX 6300. Zároveň byla nahrazena výroba třmenů SN5 z původních dvou center (stroj 4 a 5) na jeden vícevřetenový stroj G520. Navíc odebráním tří výrobních strojů určených pro vedlejší použití (DMC 60 H, NHX 5000 a CTX 510) bylo umožněno redukovat další výrobní prostor, do kterého byla umístěna výrobní buňka pro skupinu 5. Výrobní plocha tří vedle sebe umístěných strojů 6, 7 a 8 je 143 m². Dalším volný prostor o velikosti 68 m² je mezi buňkami skupin 4 a 5. Celkově se výměnou původních strojů za automatické soustavy snížila velikost plochy o 211 m².

4) Automatizace výroby

Díky aplikaci výrobních buněk do provozu je možné většinu produktového portfolia (vyráběného v roce 2024) automatizovat snížit tak počet operátorů obsluhujících stroje z původních šesti na dva. Veškeré činnosti celé etapy výroby skupin 1, 4, a 5 jsou automatizované, a to od zakládání výrobku do stroje až do uložení hotového výrobku do gitterboxu. Obsluha však musí nadále dle potřeby měnit nástroje v obráběcích strojích a ručně umísťovat upínací palety na technologické palety v případě změny výroby na stroji NHX 6300. Další úlohou operátorů bude veškerá starost o třískové hospodářství strojů, ať už se jedná o výměnu pracovních kapalin nebo kontejnerů na třísky. Skupiny 2 a 3 budou vyráběny současným postupem. Vnitřní část obrobny určena především pro přístup obsluhy ke strojům. Jelikož se gitterboxy nachází na vnější straně obrobny, je možné pro jejich přepravu použít

AGV vozíky. Kontakt těchto vozíků bude s obsluhou minimální, vzhledem k setrvání obsluhy ve vnitřní části obrobny.

5) Cena výsledného návrhu

Celková cena nového návrhu obrobny se skládá z nákupu:

- a) 5x NHX 6300
- b) 1x NHX 6300 + CPP63
- c) 6x Robot M-20iD/35 včetně snímače 3DV/600
- d) 5x AT35-F
- e) 3x dopravník

Výsledná cena je přibližně 150 000 000 korun.

10 ZÁVĚR A DOPORUČENÍ PRO PRAXI

Cílem této práce bylo vytvořit za pomoci automatických výrobních systémů navýšení současné produkce obrobny firmy Knorr-Bremse a maximálně zajistit bezobslužnost výrobního procesu. Dále bylo třeba snížit výrobní prostor firmy při stejné produkci a snížit vedlejší výrobní časy, které výrobkům nezajišťuje přidanou hodnotu.

Doporučuji domluvit se s dodavatelem, který zajišťuje výrobu polotovarů pro podnik, o možnosti ukládání součástí do gitterboxů uspořádaným způsobem. Tímto způsobem je možno zrušit používání kamer pro snímání 3D mapy robotem a dále není třeba používat technologii bin picking. Tím se výrazně ulehčí práce s robotem.

ZÁVĚR

Tato práce byla pojata jako studie možností optimalizace výroby v obrobně firmy Knorr-Bremse. Motivací firmy bylo navýšení kapacity výroby za současného snížení výrobních nákladů. Realizace těchto požadavků je možná využitím automatizace a robotizace výrobních procesů.

V první části jsem sledoval současný stav výroby, přičemž jsem hledal slabá místa určená pro optimalizaci obrobny. V dalším kroku jsem rozdělil výrobky podle tvarové a skupinové technologie a na základě těchto informací jsem vybral vhodný stroj doplněný o automatizaci. Dále jsem vyhledal jednotlivá strojní zařízení určená pro robotizaci a z těchto výrobních buněk jsem pak složil nový návrh obrobny.

V práci jsem uvažoval o tvorbě diskrétního matematického modelu, jenž by umožnil simulovat reálný provoz navržených výrobních buněk a zajistil by tak zajímavé informace ohledně vytíženosti výrobních zařízení, časových prostojů nebo počtu výrobků čekajících na zpracování ve stroji. Z důvodu nedostatku času jsem však nemohl uvést závěry z tohoto matematického modelu, stejně tak není v práci předložen výpočet návratnosti investic.

Během práce jsem se zabýval možnými navazujícími tématy. Jedná se především o řízení celého systému pomocí číslicové a výpočetní techniky a dále o veškerou komunikaci mezi uživatelem a strojem. Tato témata by mohla být předmětem další diplomové práce.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů IV.0*. Praha: MM publishing, s.r.o, 2018, 427 s. ISBN 978-80-906310-8-3.
- [2] DMG MORI. [online katalogový list]. *DMC H linear series*. [cit. 26. 2. 2023]. Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/resource/blob/44872/085b1c81dd8d44709427bce07eb5ba9c/pm0uk14-dmc-h-linear-series-pdf-data.pdf>
- [3] Industryarena, 2014. *Světová premiéra: DMC 80 H duoBLOCK* [online]. [cit. 10. 4. 2023]. Dostupné z: <https://en.industryarena.com/dmgmori/blog/world-premiere-dmc-80-h-duoblock--2164.html>
- [4] DUPAČOVÁ, Jitka a Petr LACHOUT. *Úvod do optimalizace*. Praha: Matfyzpress, 2011, 81 s. ISBN 978-80-7378-176-7.
- [5] escare. *Zkušenosti s optimalizací procesů* [online]. [cit. 18. 4. 2023]. Dostupné z: <https://www.escare.cz/blog/zkusenosti-optimalizaci-procesu/>
- [6] URBAN, David. *Optimalizace výrobních procesů*. Fakulta podnikatelská, 2011. 62 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [7] BASL, Josef, Miroslav TŮMA a Vít GLASL. *Modelování a optimalizace podnikových procesů*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2002, 140 s.: il. ISBN 80-7082-936-2.
- [8] MELČÁK, Miloš. *Výrobní management: učební texty*. Zlín: VUT, 1999, 253 s. ISBN 80-214-1393-X.
- [9] HAJDUK, Mikuláš. *Pružné výrobné bunky*. Košice: Technická univerzita, 1998, 153 s. ISBN 80-7099-387-1.
- [10] RÖHM. [online katalogový list]. *Power-grip zero point clamping system*. [cit. 1. 5. 2023]. Dostupné z: <https://pdf.directindustry.com/pdf/roehm/zero-point-clamping-system-power-grip/15881-77306.html>
- [11] DMG MORI, 2023. *Manipulace s paletami* [online]. [cit. 1. 5. 2023]. Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/produkty/automatizace/manipulace-s-paletami>
- [12] ke-next. *Automated Guided Vehicles in der Fertigung* [online]. [cit. 9. 5. 2023]. Dostupné z: <https://www.ke-next.de/kollegeroboter/grundlagen/automated-guided-vehicles-in-der-fertigung-122.html>
- [13] heller. *4-axis machining centres H* [online]. [cit. 6. 5. 2023]. Dostupné z: <https://www.heller.biz/en/machines-and-solutions/4-axis-machining-centres-h#collapse-c4988>
- [14] grobgroup. *4-axis machining centers* [online]. [cit. 6. 5. 2023]. Dostupné z: <https://www.grobgroup.com/en/products/product-range/universal-machining-centers/4-axis-machine-series/>
- [15] tajmac-zps. *ZPS MCH630i* [online]. [cit. 6.5. 2023]. Dostupné z: <https://www.tajmac-zps.cz/h630>
- [16] DMG MORI, 2023. [online katalogový list]. *NHX 6300*. [cit. 2. 5. 2023]. Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/produkty/stroje/frezovani/horizontalni-frezovani/nhx/nhx-6300>

- [17] sme, 2019. *One Spindle, Two Spindles, Three Spindles, More?* [online]. [cit. 29. 4. 2023]. Dostupné z: <https://www.sme.org/technologies/articles/2019/october/one-spindle-two-spindles-three-spindles-more/>
- [18] mmsonline, 2003. *When Two Spindles Are Better Than One* [online]. [cit. 29. 4. 2023]. Dostupné z: <https://www.mmsonline.com/articles/when-two-spindles-are-better-than-one>
- [19] absolutemachine. *Dual-Spindle Technology a Boon to Automakers* [online]. [cit. 29. 4. 2023]. Dostupné z: <https://absolutemachine.com/dual-spindle-technology-a-boon-to-automakers/>
- [20] portaproduction. *Oil&Gas industry and CNC machining operations: how to reduce production costs* [online]. [cit. 10. 5. 2023]. Dostupné z: <https://www.portaproduction.com/oilgas-industry-and-cnc-machining-operations-how-to-reduce-production-costs/>
- [21] elha. *SPX 5176 – 2-Spindle Horizontal Machining Center* [online]. [cit. 10. 5. 2023]. Dostupné z: <https://www.elha.de/en/machines/special-purpose-machines/spx-5176-2-spindle-horizontal-machining-center/>
- [22] sw-machines. *MACHINING CENTER BA 7* [online katalogový list]. [cit. 9. 5. 2023]. Dostupné z: <https://sw-machines.com/en/products/machines/ba-7/>
- [23] ffg-ea. *SPECHT® MACHINE SERIES* [online katalogový list]. [cit. 9. 5. 2023]. Dostupné z: https://ffg-ea.com/en/series/bearbeitungszentren-und-cnc-systeme/cnc-systemmaschinen/mag-specht-duo/?download_cat=109
- [24] grobgroup. *G-modules* [online]. [cit. 9. 5. 2023]. Dostupné z: <https://www.grobgroup.com/en/products/product-range/machining-technology/g-modules/>
- [25] HLAVENKA, Bohumil. *Projektování výrobních systémů*. Vydání třetí. Brno: PC_DIR Real, s.r.o., 1999. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1472-3.
- [26] fanuc. *M-20iD/35* [online katalogový list]. [cit. 10. 5. 2023]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/stránka-filtru-robotů/řada-m-20/m-20id-35>
- [27] fanuc. *Řídící jednotka R-30iB Plus* [online]. [cit. 10. 5. 2023]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/příslušenství/robot-controller-and-connectivity>
- [28] simkon. *ROBOTTRACK AT35-F* [online]. [cit. 16. 5. 2023]. Dostupné z: <https://www.simkon.de/en/travelling-axes/fanuc-robot/robottrack-at35-f/>
- [29] fanucamerica. *iRVision* [online katalogový list]. [cit. 16.5.2023]. Dostupné z: https://www.fanucamerica.com/docs/default-source/robotics-files/irvision/2019_fac_irvision_brochure_digital-101419.pdf
- [30] schunk. *SWK-007-000-000-IN03* [online]. [cit. 17.5.2023]. Dostupné z: <https://schunk.com/cz/cs/automatizace/vymenne-systemy/sws/swk-007-000-000-in03/p/000000000001405836>
- [31] haberkorn. *Modulární dopravníky* [online]. [cit. 18.5.2023]. Dostupné z: <https://www.haberkorn.cz/modularni-dopravniky/>

SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

Seznam tabulek

Tab 1)	Základní procesní omezení ve výrobě	25
Tab 2)	Postup činností při přestavbě typu č. 1	36
Tab 3)	Postup činností při přestavbě typu č. 2	36
Tab 4)	Postup činností při přestavbě typu č. 3	36
Tab 5)	Postup činností při přestavbě typu č. 4	36

Seznam obrázků

Obr. 1)	Rozložení obráběcích center v obrobň- současný	19
Obr. 2)	Ukázky strojů DMC 80 H (vlevo) a DMC 80 H DuoBLOCK (vpravo)	21
Obr. 3)	Pracoviště obsluhy obráběcího centra a popis stroje	22
Obr. 4)	Příklad postupu optimalizace výroby za použití analýzy a následné syntézy	25
Obr. 5)	Demingův cyklus	27
Obr. 6)	Graf budoucího počtu strojů při zvyšujícím se počtu vyráběných dílů	31
Obr. 7)	Myšlenková mapa s hodnotícími kritérii	32
Obr. 8)	Ganttův diagram pro typizovanou součást č. 1 (SB7 třmen).....	34
Obr. 9)	Ganttův diagram pro typizovanou součást č. 2 (SN5 třmen)	34
Obr. 10)	Umístění přípravku na paletě ve stroji (vlevo) a mimo stroj (vpravo) ve firmě Knorr-Bremse	35
Obr. 11)	AGV dopravník přepravující gitterbox od firmy Tünkers.....	37
Obr. 12)	Stroj NHX 6300 se systémem CPP 63 od firmy DMG MORI- lineární (vlevo) a pravouhlé provedení (vpravo).....	39
Obr. 13)	Rozměry pracoviště obsluhy a obráběcích center	41
Obr. 14)	Víceřetenové obráběcí centrum PORTACENTER 500	42
Obr. 15)	Víceřetenové obráběcí centrum SPX 5176 od firmy ELHA-MASCHINENBAU	42
Obr. 16)	Srovnávací tabulka víceřetenových obráběcích center.....	43
Obr. 17)	Víceřetenové obráběcí centrum G 520 od firmy GROB (bez rotačního výměníku technologických palet).....	43
Obr. 18)	Příklad dílčí automatizace s robotickým pracovištěm a automatickou ofukovací stanicí	44
Obr. 19)	Rozměry a maximální dosah robota M-20iD/35 s.....	49
Obr. 20)	Ukázka pojezdové osy AT35-F	50
Obr. 21)	Rychlovýměnný systém SWS od firmy SCHUNK	51
Obr. 22)	Sestava nástavce, rychloupínače SWS a snímače 3DV/600 umístěných na robotu M-20iD/35	52

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

<u>Značka</u>	<u>Jednotky</u>	<u>Popis veličiny</u>
D_{OP}	[dny]	Počet plánovaných dnů za rok k opravě stroje
D_{ON}	[dny]	počet neplánovaných dnů za rok k opravě stroje
D_{PR}	[dny]	Počet víkendů za rok
D_{SN}	[dny]	Počet víkendů za rok
E_{FK}	[hod/rok]	Efektivní časový fond pracovních kalendářních dní
E_{FS}	[hod/rok]	Fond pracovních kalendářních dní za rok
k_c	[-]	Koeficient využití směnového času
K_N	[-]	Koeficient zmetkovitosti
K_O	[-]	Koeficient počtu obsluhy
K_P	[-]	Koeficient snižování pracnosti
K_{PN}	[-]	Koeficient překračování výkonových norem
P_{str}	[-]	Teoretický počet strojů
Q	[-]	Potřebný čas k vyrobení požadovaného počtu kusů
s	[-]	Počet směn za den
t_c	[hod]	Směnový čas
T_A	[min]	Jednotkový čas
$T_{potrebny}$	[hod/rok]	Potřebný čas k výrobě

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

<u>Zkratka</u>	<u>Význam</u>
AGV	Automated Guided Vehicle
AVS	Automatická výrobní soustava
HSK	Hollow Taper Shank
ISO	International Organization for Standardization

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Soupis a charakteristika jednotlivých součástí vyráběných v roce 2023 a 2024

Příloha č. 2: Výkres typizovaného výrobku- SB7 třmen

Příloha č. 3: Výkres typizovaného výrobku- nosič

Příloha č. 4: Výkres typizovaného výrobku- SN5 třmen

Příloha č. 5: Výkres typizovaného výrobku- těleso

Příloha č. 6: Výkres výrobního pracoviště č. 1

Příloha č. 7: Výkres výrobního pracoviště č. 4

Příloha č. 8: Výkres výrobního pracoviště č. 5

Příloha č. 9: Výkres návrhu obrobny

Příloha č. 10: Ganttovy diagramy hlavních vyráběných skupin