



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

**VLIV AUTOMATIZACE OBRÁBĚCÍCH PROCESŮ
NA PRŮCHOD ZAKÁZKY FIRMOU**

THE INFLUENCE OF AUTOMATION OF MACHINING PROCESSES ON THE PASSAGE OF THE
ORDER THROUGH THE COMPANY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. David Pavelka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Dr. Ing. Jiří Marek, Ph.D., DBA

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Bc. David Pavelka**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce: **prof. Dr. Ing. Jiří Marek, Ph.D., DBA**
Akademický rok: 2021/22

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:

Vliv automatizace obráběcích procesů na průchod zakázky firmou

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Průběh zakázky firmou do značné míry v dnešní době ovlivňují děje, které mají velmi rychlý průběh. Ve strojírenské výrobě, která se zabývá výrobou na CNC obráběcích strojích hraje zásadní roli, jakým způsobem má uspořádané výrobní stroje. Neméně podstatnou roli hraje zvolený systém průchodu zakázky firmou, logistika polotovarů a zvolená automatizace. Optimalizace těchto procesů a dále systém při realizaci zakázky jsou předpokladem k úspěchu firmy. Navíc nové uspořádání otevírá možnost realizace nového byznys modelu firmy.

Cíle diplomové práce:

Rozbor současného stavu vědy a techniky u řešené problematiky.

Systémový rozbor řešené problematiky, dále návrh a zdůvodnění zvoleného způsobu řešení zadaného úkolu.

Návrh metodiky optimalizace materiálového toku a logistických procesů v průmyslové firmě dle aktuálních možností.

Návrh optimalizace uspořádání technologických pracovišť v průmyslové firmě dle aktuálních možností.

Proveďte potřebné simulace ve vámi navržených 3 případových studiích verifikující vaše předpoklady.

Komentář k předloženému řešení.

Seznam doporučené literatury:

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů IV.0. Praha: MM publishing, s.r.o., 2018. MM speciál. ISBN 978-80-906310-8-3.

JANÍČEK, Přemysl a Jiří MAREK. Expertní inženýrství v systémovém pojetí. Praha: Grada, 2013. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-4127-7.
JUROVÁ, Marie. Výrobní a logistické procesy v podnikání. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-5717-9

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.

ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce zhodnocení vlivů automatizace na obráběcí procesy, jež mají silný význam v souvislosti s průchodem zakázky firmou. Závěrečná práce je zpracována ve spolupráci s firmou FERMAT CZ, s.r.o, sídlící v Brně. Teoretická část je věnována detailní rešerši současného stavu vědy a techniky a systémovému rozboru řešené problematiky. Praktická část je zaměřená na projekční návrh a zhodnocení změn ve výrobě zmíněné firmy. Veškeré detaily jsou podloženy výpočty, tabulkami a grafickými ilustracemi v textu závěrečné práce.

ABSTRACT

The goal of this master's thesis is valorisation of automation influences, affecting machine processes, which has strong importance on the passage of the order through the company. Master's thesis is processed in cooperation with FERMAT CZ, s.r.o company, which is based in Based. Theoretical part is focused on detailed research of current state of science and technology and system analysis of solved problems. Practical part is focused on design proposal and evaluation of changes in the production of the mentioned company. All the details are based on calculations, tables, and graphic illustrations in the text of the final thesis.

KLÍČOVÁ SLOVA

Automatizace, strojní zařízení, obráběcí proces, firma, výrobní podnik, zero point systém, zlepšení, inovace, srovnání

KEY WORDS

Automation, machinery, machining processes, company, manufacturing company, zero-point system, improvement, innovation, evaluation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PAVELKA, David. Vliv automatizace obráběcích procesů na průchod zakázky firmou [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139993>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Jiří Marek.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto prof. Dr. Ing. Jiřímu Markovi, Ph.D., DBA. za cenné připomínky, konzultace, vstřícnost, rady a velmi cennou konstruktivní kritiku, kterou mi poskytl při vypracování této závěrečné práce. Dále bych rád poděkoval všem zaměstnancům výrobního závodu v Lipníku nad Bečvou firmy FERMAT CZ, s.r.o., za upřesnění podkladů. Jmenovitě patří velké díky panu Bc. Janu Svobodovi a Jiřímu Ferencovi, jež mi umožnili pracovat na praktické závěrečné práci a poskytovali mi potřebné podklady a konzultace.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma vliv automatizace obráběcích procesů na průchod zakázky firmou vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 22.04.2022

.....

David Pavelka

OBSAH

1	Úvod	15
2	Rozbor současného stavu vědy a techniky u řešené problematiky.....	16
2.1	Globalizace firem.....	17
2.2	Redukce počtu zaměstnanců, automatizace a náklady s ní spojené.....	17
2.3	Automatizace a robotizace klíčových výrobních uzlů	19
2.4	Skladovací systémy.....	21
2.5	Automatizované plánování materiálového toku	22
2.6	Virtuální simulace jako náhražka prototypování	23
2.7	Riziko úrazu při navyšování automatizace	24
2.8	Faktory ovlivňující možnost automatizace obráběcích procesů	24
2.8.1	Výpis parametrů ovlivňující přímou automatizaci obráběcích procesů	36
3	Systémový rozbor řešené problematiky, návrh a volba způsobu řešení.....	39
3.1	Charakteristika faktorů ovlivňující upínání obrobků.....	39
3.2	Výpis faktorů ovlivňující upínání obrobků a jejich multikriteriální zhodnocení	45
3.3	Upínání na stůl pomocí upínek a přípravků.....	48
3.3.1	Výhody a nevýhody	49
3.4	Technologické palety	50
3.5	Zero point systém – ZERO CLAMP	52
3.5.1	Konstrukce.....	53
3.5.2	Konkurenční typy	54
3.5.3	Výhody a nevýhody.....	55
4	Simulace případových studií	57
4.1	První případová studie – současný stav výrobního podniku.....	57
4.1.1	Současný layout výrobního podniku	57
4.1.2	Současný technologický postup obrábění víka vřeteníku.....	58
4.2	Druhá návrhová případová studie – ZPS MCG3022i	60
4.2.1	Představení samotného ZPS MCG3022i	60
4.2.2	Technické parametry ZPS MCG3022i	61
4.2.3	Technologický postup pro obrábění víka vřeteníku	62
4.3	Třetí návrhová případová studie – lineární layout	65
4.3.1	Projekční řešení výrobní linky.....	65
4.3.2	Technologický postup obrábění víka vřeteníku	66

4.3.3	Optimalizace materiálového toku, logistických procesů a uspořádání technologických pracovišť	70
4.4	Čtvrtá návrhová případová studie – změna současného výrobního layoutu.	71
4.4.1	Optimalizace materiálového toku, logistických procesů a uspořádání technologických pracovišť	73
4.4.2	Technologický postup obrábění víka vřeteníku	77
5	Porovnání případových studií – výběr varianty řešení.....	79
6	ZÁVĚR	84
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	86
8	SEZNAM OBRÁZKŮ	89
9	SEZNAM TABULEK.....	92
10	SEZNAM PŘÍLOH.....	93

1 ÚVOD

Automatizace obráběcích procesů je revolucí v oblasti usnadnění obráběcích procesů, která může mít za důsledek plynulý průchod zakázky firmou, avšak v nesprávném využití může zanechat i negativní stopy, jež mohou končit bankrotem samotné firmy. Je proto víc než důležité detailně plánovat každý krok ve firmě ať už informační, materiální, či procesní, aby se předešlo nežádoucím procesům a výsledkům. Současně je technologie okolo automatizace na tak vysoké dynamické úrovni, že jsou firmy nuceny téměř každý den podnikat kroky vedoucí ke zlepšování chodu firmy. V opačném případě firma, či výrobní podnik stagnuje. Reakce a přizpůsobivost firem musí být extrémně pružná a rychlá, aby si dokázala udržet konkurenceschopnost a zároveň tak udržely firmu v chodu, nejlépe v tržbách na úrovni černých čísel. Pokud firma neudrží inovativní a pružný přístup jak k zákazníkovi, tak interní, hrozí riziko ztráty zákazníka, potažmo ztráty fungujících procesů uvnitř firmy. Je tedy na vedoucích pracovnících dané firmy, aby pružnost a plánování firmy udržovali na vysoké úrovni.

Diplomová práce je zaměřená na zkoumání těchto vlivů na samotné obráběcí procesy v souvislosti s interními vlivy firmy, jež nemusí být na první pohled vidět a bez nichž by závěry mohly být nepřesné, v horším případě dokonce destruktivní. Vlivy a změny budou zkoumány konkrétně na výrobním podniku FERMAT CZ, s.r.o., jež vyrábí strojní zařízení již od roku 1990 a má tak jistou stabilní základnu firmy. Zmíněný výrobní podnik je ovšem také nucen pružně reagovat na trh a poptávku jakýmkoliv dostupným způsobem.

2 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU VĚDY A TECHNIKY U ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

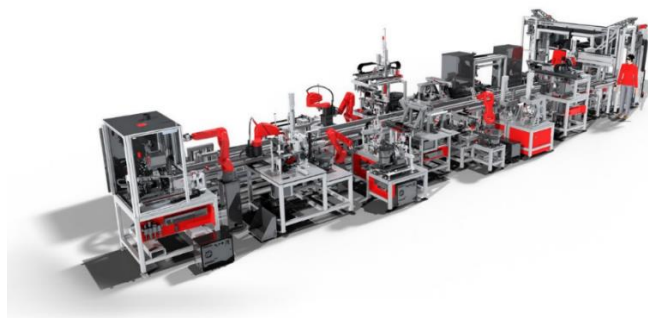
V současné době, kdy firmy všech velikostí tlačí na robotizaci, digitalizaci, automatizaci a celkově Průmysl 4.0, je nutno přizpůsobovat těmto trendům výrobu pravidelně a čím dál rychleji. Automatizace sama o sobě značí snahu člověka o zjednodušení, usnadnění práce pomocí strojních zařízení, resp. řídicích systémů, jež tuto práci dokážou vykonávat rychleji, s vyšší přesností, za nižších finančních nákladů.

Aktuálně se celosvětově firmy snaží zvýšit výrobnost, zvýšit kvalitu vyrobených výrobků či poskytovaných služeb, snížit počet neshodných dílů, snížit či dokonce odstranit chyby a omyly způsobené lidským faktorem a tím zredukovat zatížení administrativních zaměstnanců na úkor nákladů ve formě finančních investic, a to pomocí automatizováním obráběcích procesů, mají tyto záměry spoustu dalších důsledků neboli vlivů. Často se dnes můžeme potkat s pojmem autonomizace, což značí pokročilou strukturu automatizace, kdy se stroj stává samotným vykonavatelem práce, bez pomoci člověka. Jak automatizace ovlivňuje míru průchodnosti zakázky firmou, jaké jsou klíčové vlivy, je popsáno v podkapitolách níže.

Nejdůležitější je vždy otázka, co si společnosti od automatizace slibují. Určitě není překvapením, že jak české, tak zahraniční firmy čekají od robotizace a automatizace ušetření nákladů a posílení konkurenceschopnosti firmy. Cílem podnikajících fyzických a právnických osob je tedy snížit výrobní náklady pomocí automatizace při zanechání stejné, či dokonce zvýšení kvality výrobků a navýšení výrobnosti. Co ovšem zůstává, nebo se v negativním smyslu často zvyšuje, je počáteční investice, jenž zahrnuje plánování, vývoj a samotnou výrobu automatizovaných strojních zařízení.

Automatizace týkající se obráběcích procesů ve strojírenství, má své výhody i nevýhody. Hlavní výhodou může být například odstranění, či minimalizování rizika vzniku zranění, odstraněním podílu manuální práce člověka na celkovém obráběcím procesu, jež vzniká kvůli špatné manipulaci se stroji. Tato výhoda se ovšem stává nevýhodou z hlediska samotných zaměstnanců, kterých se tento krok týká (viz kap. 2.1). Jako nevýhodu lze vytyčit například exponenciální růst rychlosti vzniku nových technologií, jež firmy nutí k neustálému udržování kroku s nejnovějšími trendy, vysokou vstupní investicí, či přihlížení k stále více průbojnému tématu ekologie a recyklace. Úrovněmi automatizace se firmy předhánějí a platí, že kdo si drží vysokou úroveň automatizace výroby, plánování, skladování, sbírání dat (o výrobě a zákaznících – feedback), ten je zpravidla úspěšnější. Moderním tématem dnešní doby je také automatizace diagnostiky, predikce poruch a vývoj inteligentních automatizovaných systémů na jejich zpracování.

Z globálního hlediska není robotizace a automatizace dostatečně doceněna, jak by se očekávalo. To ovšem změnila doba „před covidová“ a doba „pocovidová“. Nutnost automatizace si dnes uvědomuje stále více firem všech velikostí. Automatizaci uplatňuje radikálně spousta firem, neboť si uvědomují zvýšené ohrožení lidského faktoru, oproti sofistikovaným automatizačním prvkům.



Obrázek 1 – Příklad robotické montážní linky [6]

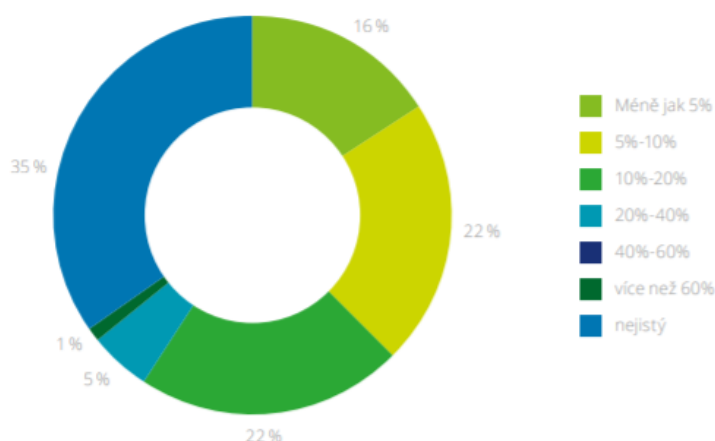
2.1 Globalizace firem

Jak pro výrobce, tak pro zákazníka je důležité, aby bylo zajištěno plnění cílů podnikatelského plánu. Automatizace přináší velké výzvy a příležitosti, ale má i svá úskalí. Jedním z nich je zmíněná návratnost investic. Velké a globální společnosti mají v tomto ohledu vždy velkou výhodu oproti malým, lokálním firmám. I menší firmy mají ovšem šanci uspět, pokud vynaloží tolik potřebné úsilí. Automatizace má také vliv na globalizaci firem v tom smyslu, že jakmile je nějaká malá firma schopná vyrábět, ale ne automatizovat do potřebné míry, jednoduše ji větší firma koupí a vznikne tím jedna (často) globální firma. Těto činnosti se říká globalizace firmy. Cílem globalizace je tedy udržet jednotlivé společnosti v chodu, zachovat know-how a zajistit firmám budoucnost, ať už pod původním, či novým názvem, jež vybírá většinou mateřská společnost.

2.2 Redukce počtu zaměstnanců, automatizace a náklady s ní spojené

Největším a nejčastějším trendem současnosti je redukování počtu lidských zaměstnanců. Stává se tak nejčastěji v logistice zabývajících se fyzickou manipulací se zbožím, výměnou za automatizované strojní zařízení. S navyšováním sofistikovanosti jednotlivých výrobních systémů a výrobních soustav, klesá poptávka po méně kvalifikovaných lidech ve všech oborech. Zároveň narůstá poptávka po kvalifikovaných lidech, kteří budou umět nové nástroje ovládat a posouvat je dál z hlediska propracování. Firmy preferují pořízení strojního zařízení, jenž umí vykonávat několik úkonů naráz, čímž si značně navýší počáteční finanční investici, je to ovšem vykompenzováno v ideálním případě zvýšením kvality, výrobnosti, snížením výrobních nákladů a snížením počtu zaměstnanců na počet, jež je třeba k obsluze automatizovanému zařízení, není-li plně autonomní. V případě plné autonomie je potřeba maximálně 1 pracovník, mnohdy se jedná pouze o servis a kontrolu. Dle podrobné statistické analýzy společnosti Deloitte, jež se zaměřuje na profesionální služby v oblasti auditu, daní, konzultingu a finanční poradenství, se míra automatizace a robotizace v České republice podepíše do roku 2033 do přibližně 51 % pracovních míst (převážně v zemědělství, stavebním sektoru a zpracovatelském průmyslu). Znamená to tedy, že pokud lidé nebudou ochotni se překvalifikovat, více vzdělávat, či dělat jinou práci, než je jejich současná, jednoduše o ni díky technologickému růstu přijdou. V analýze jsou zahrnuté faktory, jako je nevyužití plného potenciálu inovací kvůli kapitálu, ochota automatizovat a potenciální regulatorní rezistence vůči novým technologiím. Zajímavý je i dotazníkový graf, jenž ukazuje, jaký finanční dopad má robotická automatizace na průmysl, dle tázaných firem a společností. V průměru společnosti odhadují úspory nákladů ca. 11 %. Součástí grafu je také výrazné procento nejistoty, kdy 35 % finančních zástupců firem není schopno odhadnout, zda vůbec uspoří finance pomocí automatizace, přičemž pouze 1 % tázaných odpovědělo, že by mohla automatizace do jejich firem přivést až 60 % finančních úspor při automatizaci procesů. Graf je založen na odpovědích 110 finančních ředitelů.

Jakých úspor nákladů jste již pomocí robotické automatizace procesů dosáhli, nebo jaké očekáváte?

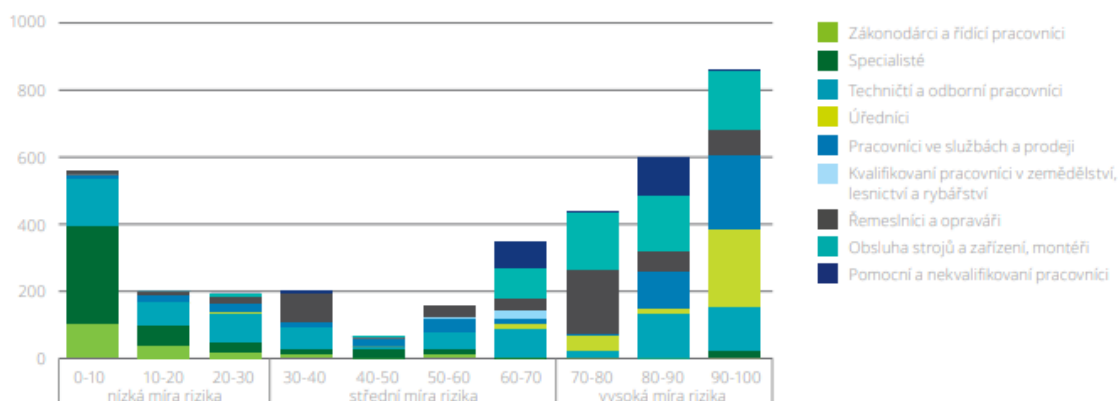


Zdroj: Deloitte - CFO Survey 2018 Czech Republic

Obrázek 2 - Očekávané zisky firem [7]

Pro zajímavost lze zmínit fakt, že v roce 1970 byl podíl zaměstnanosti v průmyslu v České republice na hodnotě 37,1 %, v roce 2016 to bylo už 29 %, což dělá rozdíl 8,1 % během 46 let. V predikci uvedené výše, jež činí snížení o 51 % z aktuálního zastoupení v průmyslu během 22 let lze konstatovat exponenciální zrychlení nástupu automatizace oproti blízké historii.

Velikost zaměstnanosti (tis. osob) v intervalech pravděpodobnosti automatizace (%)

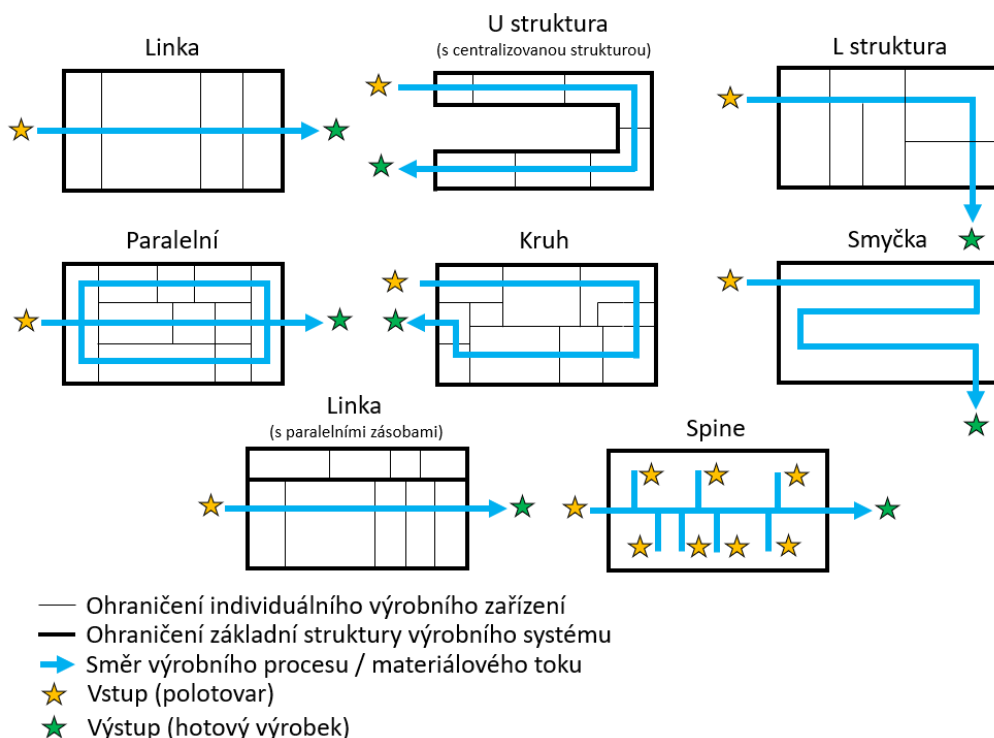


Obrázek 3 - Velikost zaměstnanosti v intervalech pravděpodobnosti automatizace [7]

Z grafu uvedeném výše, je zobrazeno riziko spojené s automatizací daných oborů. Prezentované výsledky grafu jsou pouze přibližné odhady následujících dvou dekád, nejedná se tedy o počty pracovníků, jež by měli přijít díky automatizaci o práci. Přesné výsledky by mohly být uvedeny, kdyby byly zahrnuty do výpočtů další faktory, jako jsou komplementarita práce a kapitálu, pružnost pracovního trhu a schopnost, či ochota zaměstnanců se rekvalifikovat. Z grafu lze vyčíst, jaké skupiny pracovníků budou nejvíce vystaveny v nejbližších letech automatizaci. Zatímco nejnižší míru rizika si nese skupina zákonodárců a řídících pracovníků, u obsluh strojů, zařízení a montérů je míra rizika velmi vysoká. Dá se ovšem s jistými předpoklady odhadovat, že bude automatizace postupovat během času do více oborů a zvyšovat tak jejich míru rizika integrace automatizace.

2.3 Automatizace a robotizace klíčových výrobních uzlů

Samotná automatizace obráběcích procesů ještě nezaručuje zvýšení kvality, zvýšení produkce, nebo snížení celkových výrobních nákladů, obecně tedy nezaručuje výhodnost a krok kupředu. Automatizaci obráběcích procesů je třeba kombinovat s optimalizacemi i ostatních uzlů, z nichž jeden je samotné plánování výroby. Optimalizace výroby pomocí automatizace a robotizace ne vždy znamená zasahovat do všech výrobních uzlů a činností s ní spojených. Jsou tu situace, kdy je vhodné se zaměřit pouze na klíčové uzly, ke kterým je vhodné soustředit veškeré úsilí a kapitál, s cílem optimalizovat tyto klíčové uzly, resp. výrobu. Jde tedy o jisté propojení zařízení pomocí softwarového nástroje s ostatními procesy. Často hovoříme v této souvislosti o změně uzlu v layoutu, či celého layoutu. Jaké druhy layoutů (jinak také základní struktury výrobních systémů) se v praxi využívají a co obsahují, graficky znázorňují obrázky níže.



Obrázek 4 - Základní struktury výrobních systémů [8]

Existuje 7 nejběžnějších layoutů, jež průmyslové firmy nejčastěji využívají a kombinují je mezi sebou: linka, U struktura, L struktura, paralelní, kruh, smyčka, linka s paralelními zásobami a spine (tvar trnu/páteře). Jaký typ layoutu si firma zvolí, záleží na mnoha interních faktorech. Tyto faktory mohou být ovlivňovány zkušenostmi vedoucích pracovníků, pracovníků daných uzlů layoutu, technologickým postupem výroby, prostorovým omezením, vnějším okolím (teplota, vlhkost), dostupným kapitálem nebo například úrovní strojového parku. Aby bylo možné optimalizovat, či jen upravovat výrobu formou přenastavení pořadí technologických postupů, pořadí strojních zařízení, rekonfiguraci materiálového toku, redukci zástavbové plochy, je třeba si vytvořit plánované, resp. aktuální schéma, jako komplex zmíněných bodů, z něhož vznikne právě layout. Struktura výrobního systému, jak se toto schéma nazývá, přiřazuje pomocí přehledného grafického znázornění samotný výpis výrobních zařízení, materiálového toku a směru výrobního procesu.

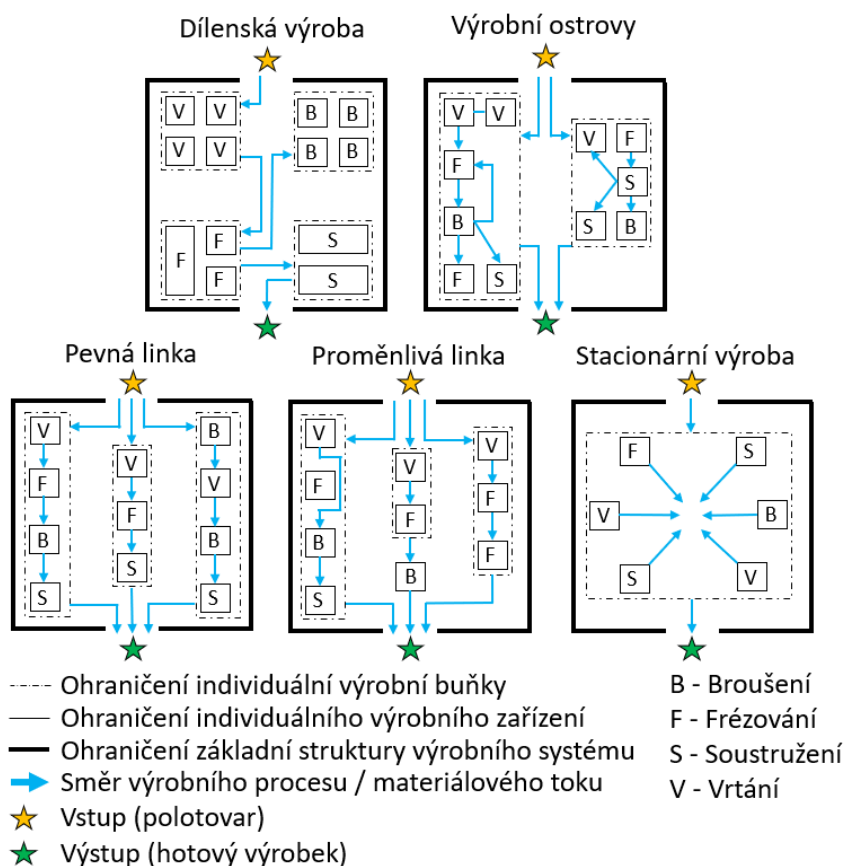
Layouty lze upravovat a měnit do jiné podoby, jež se nazývají schémata výrobních principů. Rozdíl mezi layouty a schématem výrobního principu je detailnost samotného grafického podání. Zatímco layout nám ukazuje, jak obecně vypadá výrobní úsek, výrobní princip nám ukazuje podrobně, jaké technologické operace se kde vyskytují a jakými směry se

zde orientuje materiálový tok. Dalším rozdílem je dělení, zatímco u layoutů jich rozlišujeme 7, u výrobních principů jich je pouze 5.

V dílenské výrobě, kde jsou prostorově sdružené výrobní zařízení stejného druhu s neorientovaným materiálovým tokem, se užívá technologický princip. Znamená to tedy, že v daném prostoru jsou obsaženy například vrtačky, na jiném místě k tomu určeném je shluk frézovacích center. Logistika materiálu a polotovarů je řešena dle potřebného technologického postupu daného výrobku.

U výrobních ostrovů se seskupují výrobní zařízení pro obrábění podobných součástí s neorientovaným materiálovým tokem a princip je založen na pružných buňkách. Pružné výrobní buňky chápeme jako dva a více strojů, kde je minimálně jedno obráběcí centrum, automatizované skladové hospodářství a různé typy přepravníků. Není opomenuta také automatizovaná výměna nástrojů a obrobků pro každý z obsažených strojů v buňce. Veškerá práce je řízena počítačem.

Pevné linky nám udávají seskupení výrobních zařízení podle výrobního postupu s pevným materiálovým tokem, jako typická výroba v taktu. Výroba v taktu znamená pevně daný maximální čas pro každou z operací, jenž celková suma tvoří takt. Proměnlivé linky, fungují podobně, jako pevné linky, s možností přeskakování jednotlivých operací. Stacionární výroba je funkčně stejná, jako proměnlivá linka, jen je zde veškeré výrobní zařízení soustředěno okolo vyráběného produktu.



Obrázek 5 - Výrobní principy [8]

2.4 Skladovací systémy

Součástí layoutů (zmíněných v předchozí kapitole), resp. schémat výrobních principů je také logistika materiálu neboli materiálový tok a skladování. Samotný sklad lze charakterizovat jako prostor, jež slouží k přechodnému uchovávání materiálu typů, jako jsou polotovary (tyče, výkovky, výlisky, odlitky...), spotřební materiál (mazivo, žárovky, břitové destičky...), procesní kapaliny (mazivo, olej, řezná kapalina...), nakupované díly (šrouby, matice, ložiska, vedení...), hotové díly sloužící pro montáž, montážní celky, či jiný specifický materiál potřebný k výrobě. Všechny výše zmíněné objekty se obecně v praxi značí jako zásoby. Ve výrobním procesu plní sklady tři základní funkce:

1. Jistící – po omezenou dobu musí být v případě poruch stálý přísun zásob
2. Transformační – pomáhá vyrovnat časové neúměrnosti potřebného materiálu daného operačního úseku
3. Kompletační – za pomoci kompletačních zásob je realizována kompletace soustav, montážních celků

Pro samotné skladování se využívá různých typů regálů – policové, konzolové, příhradové, paletové, pojízdné, skříňové, kombinací zmíněných, či speciálně navržené pro daný výrobek. Veškeré činnosti související se skladováním materiálu je potřeba řešit s ohledem na požadavky prostoru, času a funkčních vazeb jednotlivých prvků výrobních procesů a systémů.



Obrázek 6 - Zleva: Policový regál [9], konzolový regál [10], příhradový regál [11], skříňový regál [12], pojízdný regál [13]

2.5 Automatizované plánování materiálového toku

Kromě navyšování samotné úrovně automatizace, se světové dění taktéž zaměřuje na zavádění efektivního automatizovaného plánování výroby. To přináší objektivní posouzení reálné kapacity společností a vyšší flexibilitu, za úmyslem zajistit klientům zkrácení doby dodání.

Plánování je soubor činností, jehož cílem je maximalizovat efektivnost využití výrobních prostředků tak, aby bylo možné vytvořit reálný plán a podle něj udělat takové kroky, jež vedou ke splnění požadavků zákazníka. Samotné plánování není jednoduchý proces, je naopak velmi komplexní a korektní plánování mnohdy vyžaduje mnoholeté zkušenosti a sofistikované znalosti. Plánování materiálového toku je nedílnou součástí každého procesu a její absence tvoří neúspěch zamýšlené činnosti. Přirovnat by se tato činnost dala ke koupi letenky. Stejně tak, jako nelze koupit letenku bez předem určené destinace, nelze plánovat bez předem určených cílů, kterých má být pomocí plánování dosaženo. Firmy na celém světě se snaží uplatnit co nejefektivnější metody plánování, pomocí sofistikovaných software a umělé inteligence. Základním kamenem materiálového toku je označení každého materiálu speciálním znakem. Dnes využíváme tři nejběžnějších – QR kód, EAN 13 (čárový kód kombinovaný s čísly), CODE 128 (čárový kód).



Obrázek 8 - QR Kód



Obrázek 9 - EAN 13 [14]



Obrázek 7 - CODE 128 [15]

Cílem plánování materiálového toku je jednoduše co nejrychlejší, nejkratší a nejlevnější pohyb materiálů, polotovarů a výrobků na předem určené místo předem určeným přepravným zařízením. Do materiálového toku ve výrobním systému řadíme samotnou manipulaci s materiálem, skladování, řízení a informování o materiálovém toku. Ve výrobních systémech rozlišujeme logistiku materiálového toku do 7 různých požadavků důležitých jak pro firmu samotnou, tak pro zákazníka. Tyto požadavky se nazývají jako Systém 7 správností (7 S):

1. **Připravit správné polotovary, materiál, nástroje, výrobní pomůcky, součásti, montážní celky, služby**
2. **Připravit je ve správném pořadí**
3. **Připravit je ve správné kvalitě**
4. **Připravit je ve správném časovém okamžiku**
5. **Dopřavit je na správné místo (výrobní systém, pracoviště)**
6. **Realizovat materiálový tok za správné náklady**
7. **Se správnými lidmi**

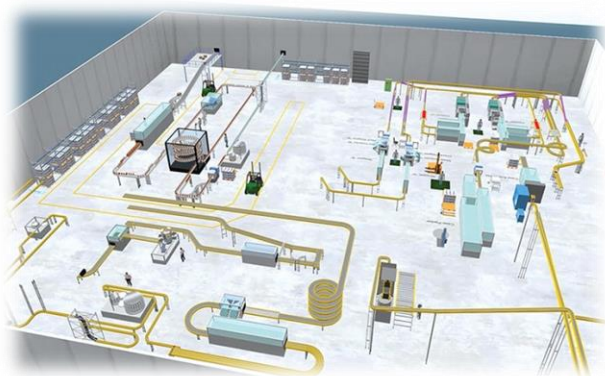
Je také nutno podotknout, že pro 7S požadavky je nutno dekomponovat (rozdělit do jednodušších dílčích činností) celý výrobní systém i výrobní činnosti s ním spojené, jež jsou také propojeny funkčními závislostmi a návaznostmi. Odborníci se shodují, že jde o to dopřavit materiál k člověku, ne člověka k materiálu. Lze tedy vyvodit, že cílem automatizace materiálového toku je minimalizace lidského pohybu.

2.6 Virtuální simulace jako náhražka prototypování

Dnešním trendem je vytvářet virtuální modely strojních zařízení, soustavy výrobních linek a simulace výrobních procesů, materiálového toku, skladování a materiálového toku. Virtuální simulace se vytvářejí pro vytvoření co nejvíce reálné situace, pomocí vložené řady počátečních podmínek, s cílem radikálně snížit náklady výroby, redukovat čas potřebný ke zkušebním testům, předejít nečekaným chybám a minimalizovat potřebný materiál k budoucí výrobě. Samozřejmostí je dnes virtuální simulování ideálních podmínek pro obrábění daného materiálu, daným nástrojem, v daném prostředí. Existuje celá řada nástrojů, pomocí kterých lze těchto simulací dopomáhat výrobě. Pro tvorbu modelů a soustav v software Inventor, Solidworks, Catia, AutoCAD, Fusion360, Blender, Creo, TinkerCAD a další.

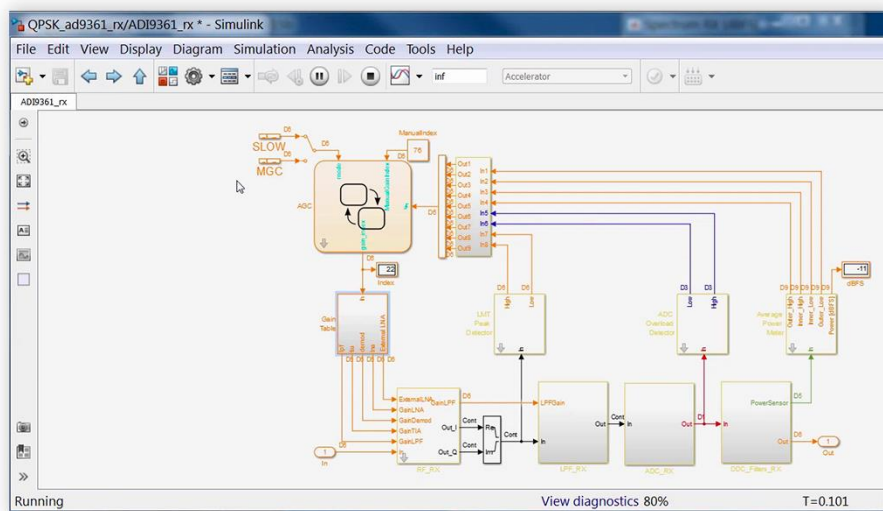


Obrázek 11 - Model obráběcího stroje ze Solidworks [17]

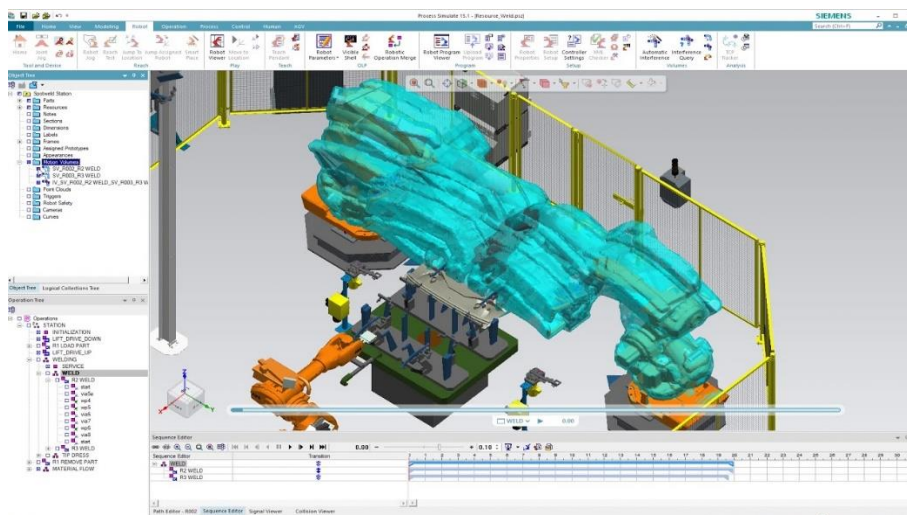


Obrázek 10 - Model výrobní linky [16]

Pro zprovoznování výrobních linek a dosažení co nejkratšího výrobního času, simulování pohybů, aby nedošlo ke vzájemným kolizím strojů a k optimalizaci zástavbové plochy, lze vyjmenovat zástupce, jako jsou: Process Simulate, Matlab Simulink, AnyLogic, SIMUL8 nebo FlexiSIM.



Obrázek 12 - Prostředí Matlab Simulink [18]



Obrázek 13 - Prostředí Tecnomatix Process Simulate [19]

2.7 Riziko úrazu při navyšování automatizace

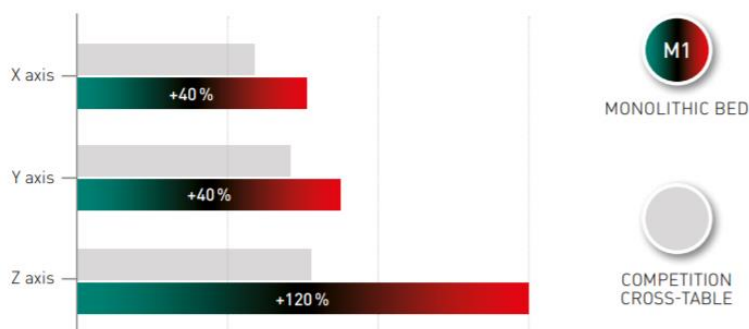
U každého strojního zařízení je snaha o snížení, či úplné odstranění rizik neboli účinků nejistot, spojené se vznikem úrazu, v kombinaci se závažností tohoto úrazu. U starších konstrukcí strojů bylo vzhledem ke konstrukci více typů rizik, ta byla ovšem mnohdy ne příliš vysoká a drtivá většina byla známa jak konstruktérům, tak uživatelům strojů. Dnes jsou stroje konstruovány bezpečněji, s obsahem spousty čidel, softwarových bezpečnostních zámků a jiných automatizovaných systémů. O to těžší je ovšem vzdělávat a udržovat kvalifikaci zaměstnanců na bezpečné úrovni při běžné manipulaci s těmito stroji. Rizika jsou závažnější, neboť se v současnosti zvyšují hmotnosti samotných strojů, počty integrovaných mechanismů, momenty setrvačnosti, obecně dynamika zařízení, jež byla v historii nižší.

2.8 Faktory ovlivňující možnost automatizace obráběcích procesů

Na průchod zakázek firmou má velký vliv automatizace obráběcích procesů. Mezi tradiční technologie obrábění patří například: Frézování, soustružení, řezání, hoblování, obrážení, broušení, superfinišování, lapování, honování. Z netradičních pak lze vyjmenovat elektrojiskrové, chemické, světelný paprsek, vysokotlaký proud vody.

Do jaké míry mohou být tyto procesy automatizovány a jak, ovlivňují parametry spojené s okolím blízkým strojnímu zařízení, obrobkem a s obráběcím strojním zařízením samotným. Množství působících vlivů je nespočetné množství a pro úplné vymezení množiny těchto parametrů je téměř nemožné, neboť člověk, jež tyto parametry definuje, si nemusí být schopen spojit souvislost, či závislost jednoho parametru na druhém. Spousta parametrů se může přitom lišit jen detaily a s ostatními parametry mohou mít tak spoustu společného.

Vezměme si pro demonstraci specifický příklad, na němž některé z podmínek lze jednoduše vymezit a definovat. Na obrázku níže lze vidět vertikální frézovací centrum M1 od společnosti DMG MORI Czech s.r.o., jež je definováno možnostmi frézování ve 3 různých osách. Lůžko tohoto obráběcího centra je monolitické o hmotnosti 2 400 kg, což zajišťuje oproti tradičnímu provedení vyšší tuhost jednotlivých os. Pevný stůl obsahuje tradiční T drážky rozměrů 18 H7 a 5x 18 H12. Vřeteno je možné rotovat rychlostí až 12 000 ot. /min. Zásobník nástrojů, obohacený o dvojité podavač, je možno naplnit až 24 různými nástroji s celkovou plochou pracovního stroje 6 m² [25].



Obrázek 14 - Navýšení tuhosti využitím monolitického lůžka [26]



Maximální provozní hodnoty:

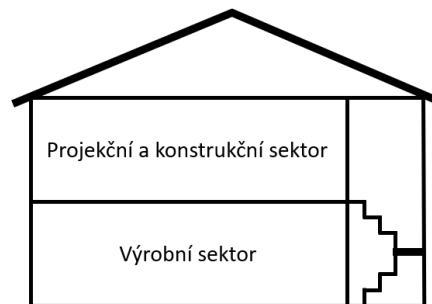
Pojezd v ose X	550 mm
Pojezd v ose Y	550 mm
Pojezd v ose Z	510 mm
Délka obrobku	850 mm
Šířka obrobku	650 mm
Výška obrobku	615 mm
Hmotnost obrobku	600 kg

Obrázek 15 - DMG MORI M1 [25]

Dle přiloženého obrázku samotného frézovacího centra lze z popisu vyčíst, že se jedná o strojní zařízení určené pro menší obrobky, konkrétně určeno 850 mm na délku, 650 mm na šířku a 615 mm na výšku. Vylučuje se tak obrovská škála potenciálních zakázek, pro obrobky větších rozměrů, jako jsou například díly typicky do lodního, či leteckého průmyslu. Větší rozměry znamenají u obrobků ovšem vyšší hmotnost, což je také limitováno maximální únosností stroje udáváno výrobcem, zde 600 kg. S větším rozměrem a hmotností se mění také schopnost manipulace, která se s rostoucími dvěma předchozími faktory taktéž navyšuje. Můžeme tedy vyčíst první 3 zmiňované faktory ovlivňující samotný nadcházející obráběcí proces, a to: rozměr, tvar a polohování, resp. manipulace s obrobkem. Je zřejmé, že tvar a rozměr lze u polotovarů navrhovat s předstihem tak, aby se synchronizoval s dostupnými výrobními stroji.

V praxi to potom vypadá tak, že daná firma, jež je složená z projektového a výrobního sektoru, komunikuje navzájem mezi sebou a ideálně navrhuje vyráběné komponenty tak, aby byly výrobitelné co nejjednodušší, nejlevnější, nejrychlejší a obecně nejefektivnější cestou. Takový systémový přístup poté šetří čas a peníze nejen samotnému výrobníku podniku, ale zejména koncovému zákazníkovi, neboť je ten, který ve finále všechny náklady zaplatí. Je tedy v zájmu každé firmy, aby optimalizovali svou výrobu tak, aby byli ochotni se zákazníci vracet pro nové zakázky. Zmíněnou manipulaci lze do jisté míry také ovlivnit speciálními

technologickými prvky připevněné ke konstrukci obrobku nebo technologickým příslušenstvím pro specifické produkty. Ve správném návrhu se tak zjednoduší manipulace a rozšíří se možnosti uchycení polotovaru. Je třeba ovšem dbát pozornost pracovnímu prostoru strojního zařízení, který je rozměrově omezen a dbát na opatrnou manipulaci, aby nedošlo k poškození jakékoliv součásti strojního zařízení, manipulovaného obrobku, či jiného s tím souvisejícím příslušenstvím a zařízením.



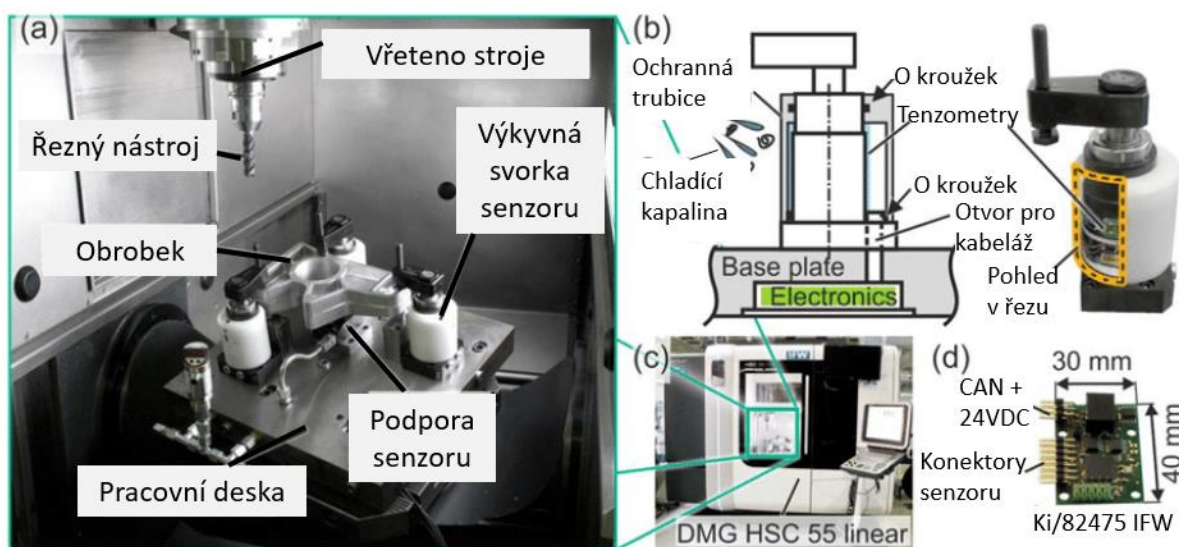
Obrázek 14 – Příklad blízkosti sektorů výrobního podniku

Každý obráběcí stroj má své komponenty sloužící k přímému odběru třísek. Odběr probíhá prostřednictvím řezného nástroje, s nimiž jsou spojeny řezné podmínky. Každý nástroj má svou trvanlivost, jež je do velké míry ovlivňována také materiálem, z něhož je vyroben, ale především materiálem, který mu je určen k obrobení. Musí platit, že materiál nástroje je z tvrdšího materiálu, než je samotný obráběný materiál (Z odlišných důvodů, ale podobně přirovnatelné, jako u svařování, kdy musí být svařovací elektroda, resp. materiál, který je pomocí aditivního svařování přidáván, tvrdší než materiál, jež je pomoc svařování spojován.). Při obrábění jakéhokoliv materiálu je tedy víc, než důležité vhodně vybrat kombinaci nástroje a obráběného materiálu, ať už z hlediska trvanlivosti nástroje, tak z finančního, či časového hlediska. Takový výběr bud doporučují strojnické tabulky, výrobce, nebo zkušenosti odborníci.

Skupina	Podskupiny	Základní chemické složení	Efektivní aplikace pro obráběný materiál
P	P01, P05, P10, P15, P20, P25, P30, P35, P40, P45, P50	WC (30÷82)% +TiC (8÷64)% +Co (5÷17)% + (TaC.NbC)	Slinuté karbidy pro obrábění materiálů, dávající dlouhou, plynulou třísku: Nelegovaná, nízkolegovaná a vysoce legovaná ocel, litá ocel, automátová ocel, nástrojová ocel, feritická a martenzitická korozivzdorná ocel.
M	M01, M05, M10, M15, M20, M25, M30, M35, M40	WC (79÷84)% +TiC (5÷10)% +TaC.NbC (4÷7)% +Co (6÷15)%	Slinuté karbidy pro obrábění materiálů, dávající dlouhou a střední třísku: Austenitická a feriticko-austenitická ocel, korozivzdorná, žáruvzdorná, žárovevná, nemagnetická a otěruvzdorná ocel.
K	K01, K05, K10, K15, K20, K25, K30, K35, K40	WC (87÷92)% +Co (4÷12)% + (TaC.NbC)	Slinuté karbidy pro obrábění materiálů, dávající krátkou, drobnou třísku: Nelegovaná i legovaná šedá litina, tvárná litina, temperovaná litina.
N	N01, N05, N10, N15, N20, N25, N30		Slinuté karbidy pro obrábění neželezných materiálů: Slitiny mědi a hliníku, duroplasty, fibry, plasty s vlákninou, tvrdá guma.
S	S01, S05, S10, S15, S20, S25, S30		Slinuté karbidy pro obrábění: Žáruvzdorné slitiny na bázi Fe, superslitiny na bázi Ni nebo Co, Titanu, Ti slitiny.
H	H01, H05, H10, H15, H20, H25, H30		Slinuté karbidy pro obrábění: Zušlechťené oceli s pevností nad 1500 MPa, kalené oceli HRC 48÷60, tvrzeňé kokilové litiny HSh 55÷58

Obrázek 15 - Využívané řezné materiály nástrojů [27]

V případě, že se jedná o speciální výrobu, nejčastěji velkosériovou výrobu, mohou být strojní zařízení obohaceny o nesčetnou senzorku. Může se tak jednat například o optická čidla reagující na specifické barevné spektrum. Lze využívat různých štítků, či barevných označení materiálů, aby se při vložení polotovaru před začátkem CNC programu zkontroloval polotovar pomocí zmíněného označení, aby byl v nutném případě polotovar odstaven bokem, či obsluha upozorněna na nesprávný kus vložený do prostoru obráběcího stroje. Optická a jiná čidla mohou takto ušetřit spoustu financí, času a redukovat počet zmetků vlivem nesprávně voleného obrobku pro daný účel. Jedná se ovšem o specifický podíl na trhu, jež je využíván primárně ve velkosériové, hromadné výrobě. V kusové výrobě se prozatím takové vychytávky zřídka využívají a vsází se na lidský faktor, kdy pracovník fyzicky kus kontroluje při manipulaci, obrábění i po samotném obrábění. S kontrolou při obrábění hraničí další ne minoritní problém, kdy by obsluha při odstartování CNC programu mohla provádět jinou činnost, díky současně velké vyspělosti strojních zařízení. Doopravdy se ovšem děje často přesný opak.



- a) Senzorický upínací systém uvnitř frézovacího centra
b) Ochrana senzorů a elektronických zařízení
c) Testovací frézovací centrum
d) Integrované elektronické zařízení pro předzpracování signálu

Obrázek 16 - Senzorický upínací systém uvnitř frézovacího centra [28]

Je ovšem na jednotlivých firmách, aby si tyto problémy vyřešily pomocí vedoucích pracovníků, či změnou plánování pomocí například tzv. interim manažerů. Interim management je aktuálně čím dál rozšiřovanější požadované dočasné vedení. Jsou to firmy, skupiny, či fyzické osoby s bohatými zkušenostmi, kteří jsou nájímáni firmami a dočasně pomáhají řešit komplexní management, výjimečné situace, nečekané problémy a další krizové situace v dané firmě. Odborníci takových pozic jsou finančně odměňováni na domluvě s firmou různým způsobem. Většinou je to však procentuální podíl na ušetřených financích pomocí takto najmuté osoby, podíl z daného projektu či fixní mzda. Fixní mzda se odvíjí od počtu přímo specifikovaných, zadaných úkolů, jejich počet, komplexnosti dané problematiky a

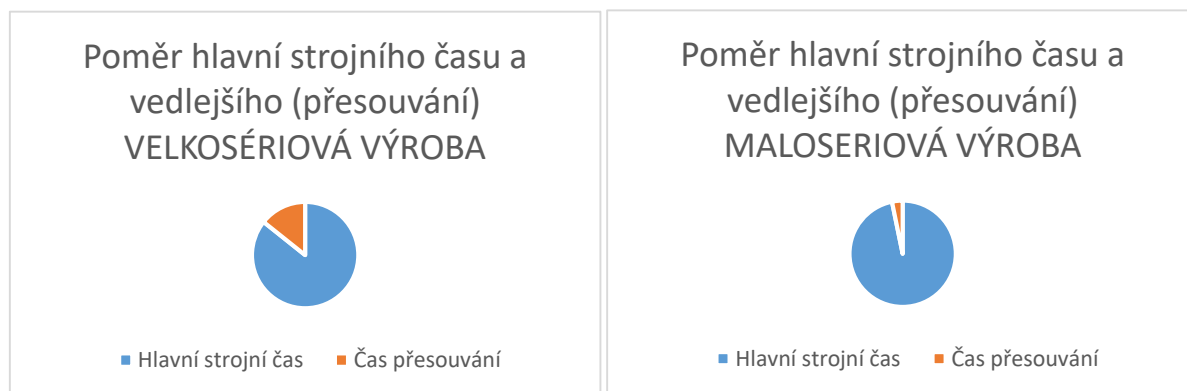


Obrázek 17 - Příklady využití interim a krizového managementu [29]

velikosti firmy. Pro představu může den takového krizového manažera přijít firmu na 10 až 20 tisíc korun. Obecně platí, že výhoda takových pracovníků je nepotřebná přítomnost headhunterů (pracovníků, jež by takové osoby složité hledali a najímali) a mzdové ohodnocení je podobné, jako management na plný úvazek, s tou výjimkou, že se může takový externista z dlouhodobého hlediska na krátkodobé projekty velmi vyplatit.

Zmíněná senzorka může ovšem zrychlovat, ale i zpomalovat výrobu. Vše závisí na správném využití. Totéž platí o volbě dopravníků, jež mohou obrobky dopravovat. Zaměříme se zde na přepravu, přesouvání polotovaru, resp. na její rychlost. Čas přepravy obrobku, či hotového, obrobeného dílu se řadí do kategorie vedlejších časů obrábění. Znalý člověk ovšem zpozorní, jedná-li se o obrobky vyráběné ve větším množství a vedlejší čas přesouvání je vyšší, než je standartní, nebo v případě, kdy je časová hodnota přepravy produktu kusové výroby z místa na místo, znatelně vysoká. Vedlejší časy jsou mnohdy firmami řazeny na druhé místo, za samotné časy obrábění. Ovšem je nutno podotknout, že celková složka obráběcího času se skládá také z vedlejších časů, jež mohou být velmi významnou časovou složkou, mnohdy převyšující samotný hlavní čas obrábění. Rychlost přesouvání polotovaru, resp. čas přesouvání polotovaru může být tedy velmi významným faktorem souvisejících nejen obráběcích procesů.

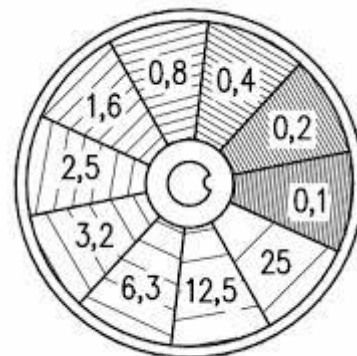
Výše zobrazovaná rychlost přesouvání, jak již bylo zmíněno v textu, úzce souvisí s počtem vyráběných kusů a je na ní přímo závislá. Za předpokladu kusové výroby obecně rychlost přesouvání mnohdy nebývá tak významná, jako u výroby velkosériové. Důvodem je celkový výrobní čas jednice. Pokud činí hlavní obráběcí čas jednice 300 hodin a ročně je naplánována výroba 80 kusů, je čas přesouvání 30 sekund ne tak důležitý, neboť se většinou nevyrábí všech 80 kusů za krátký interval, ale dle poptávky zákazníků, se rozprostře výroba na celý rok. K 30 sekundám se tak může i přidat řada jiných vedlejších časů. Pokud se zaměříme ovšem na velkosériovou výrobu např. 1 000 000 kusů ročně, kde obráběcí čas jednice je 10 minut (velkosériové díly většinou trvá vyrobit kratší čas, neboť na nich mnohdy probíhá neustálá optimalizace) a čas přesouvání také 30 sekund, podíl času k přesouvání je zde poměrně větší a může tak významně zpomalovat výrobu a snižovat zisky. Je tedy na zvážení a na zodpovědnosti každé firmy, či jedince, jaké časy zvolí například k optimalizaci a kolik do ní bude investovat tak, aby bylo rozhodnutí co nejvýnosnější. To znamená, aby byla optimalizační investice dlouhodobě zisková finančně a ideálně redukovala výrobní čas.



Obrázek 18 - Srovnání důležitosti času přesouvání obrobku při malosériové a velkosériové výrobě

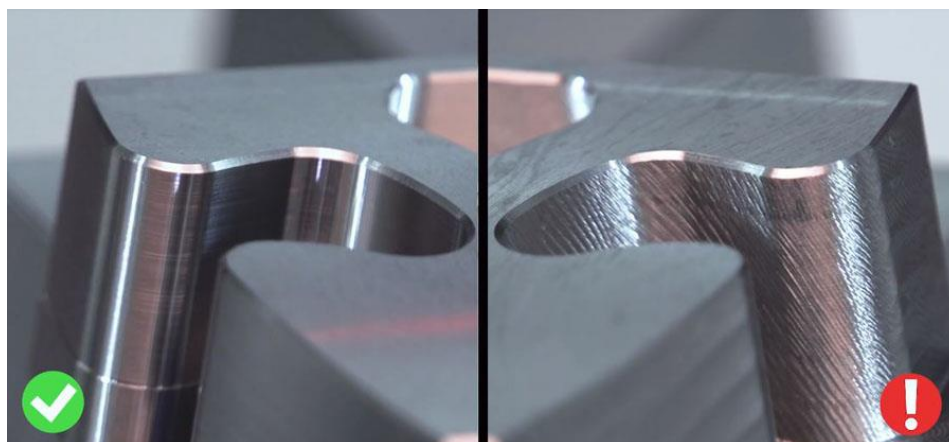
Jedna z optimalizací prováděných již při návrhu samotného strojního zařízení je odolnost vůči teplotám okolního prostředí. Často se řeší výběrem materiálu, konstrukcí, technologickými přídatnými prvky, přídatným zařízením, různými čidly apod. Návrh strojního zařízení se tak do jisté míry musí přizpůsobovat do okolí, ve kterém bude provádět pracovní činnost. Teplotní změny v okolí mají nejvýraznější vliv na přesnost obrábění, která je ve

strojírenstvím ovšem velmi žádaným prvkem a je snaha mířit s přesností obrábění na co nejnižší hodnotu. Často se tak můžeme setkat s přesností na jednotky mikrometrů, konkrétně pak 6,4 nebo 3,2. Technologie ovšem v současnosti dovolují přesnost obrábění snížit až na 0,000001 mm (1 nm). Pro představu můžeme tuto délku přirovnat procesorům, jejíž nejmenší struktury mají 45 nm na délku. Jeden nanometr představuje také 10 atomů vodíku. V současné době, kdy je ve světě pandemie aktivní specifický druh koronaviru, lze jako zajímavost zmínit, že virus SARS-CoV-2 v závislosti na své variantě a specifické buňce může dosahovat velikostí Ø50 nm až Ø120 nm. Při návrhu strojního zařízení i při jeho využívání je nutné brát také v potaz vlhkost a prašnost prostředí. Veliká škála, především pohybového ústrojí může začít korodovat nebo se zaprášit, čímž může být významně zredukována funkce stroje, nebo jeho úplné vyřazení z provozu. Pohyblivé součásti strojů jsou totiž kvůli snížení tření často mazány tukem, či speciálními oleji, které přestávají plnit svou funkci při styku s určitým množstvím pevných částic (například zmíněné prachové či jiné). Teplota samotná ovšem nemusí negativně ovlivňovat součást stroje či rezný nástroj, ale také obrobek, na kterém může při nesprávné vlhkosti či teplotě vzniknout nežádoucí povrch, jež v horším případě nemusí být opravitelný.



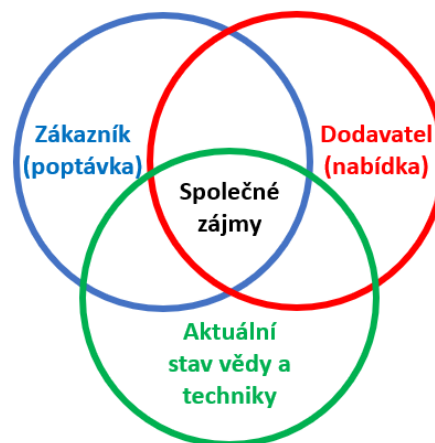
Obrázek 19 - Ukázka různých drsností povrchů Ra [30]

V prvotní fázi navrhování strojního zařízení je jedním z úkolů konstruktérů zaměřit se také na analýzu rizik vzniku vibrací. Vibrace může vznikat vlivem nepřesně vyrobených komponent, ze kterých se skládá, potažmo z jejich kompletace. Vibrace se mohou přenášet celým strojem přes nástroj až do obrobku, jemuž může způsobit nevratné škody. Vibrace, které se špatně simulují nebo je třeba odvrátit nečekané fatální chyby se odstraňují pomocí fyzického měření již na prototypu vyrobených právě na veškeré prvotní testování ještě před tím, než je vypuštěn stroj na trh. Vibrace jsou také jednou z nejčastějších příčin uvolňování komponent, šroubů na veškerém často se pohybujícím zařízení, čímž se mohou uvolnit například kryty elektroinstalace nebo ochranné kryty, jejíž absence může přiblížit nebezpečnou událost končící smrtí. U zařízení, jež znamenitě vibrují, je tak třeba provádět pravidelné kontroly jednotlivých částí komponent. Spousta firem tak provádí přímo revize svých jednotlivých strojů, kde zjistí, jestli na stroji je, či není nějaký problém, který by mohl ztížit pracovní funkci nebo ji zcela zamezit.



Obrázek 20 - Srovnání povrchu při obrábění bez vibrací a s vibracemi [31]

Jeden z nejdůležitějších, ne-li nejdůležitější je výše investice obráběcích procesů, resp. prostředků vynaložené na strojní zařízení, příslušenství, CNC programy a pracovníky. Vývoj technologií je současně na tak rychlé a vysoké úrovni, že je možno obstarat obráběcí strojní zařízení za vyšší desítky tisíc korun, až na neomezenou hranici, kdy se jedná o úzce specializované obráběcí strojní zařízení (někdy označováno, jako hi-tech). Kolik je nutno vložit finančních prostředků a kolik jich držet v oběhu pro správnou funkci výroby ovlivňuje nespočetné faktorů. Tuto problematiku je možno definovat a rozšiřovat na obsáhlé texty, což není náplní této práce, a proto zůstaneme pouze u velikosti investice a jeho souvislost s obráběcími procesy. Výše investic v oblasti obráběcích procesů, ale i v jiných oblastech je vždy průnik požadavků dvou stran, a to: strana zákazníka (poptávka) a strana dodavatele (poptávka). Na straně zákazníka to jsou mimo jiné požadavky spojené s obrobkem například požadovaná přesnost obrábění, vyráběné množství, požadovaná kvalita (povrchová, strukturní, fyzikální...), škálovatelnost produktů (univerzálnost stroje), zástavbová plocha strojního zařízení, odolnost strojního zařízení vůči okolním vlivům, údržba, záruka apod. Vedoucí pracovníci jsou poté ve firmách pověřováni, aby tato kritéria sjednotila a vybrali co nejvhodnější strojní zařízení. Na druhé straně stojí dodavatel – výrobce jenž si jako první plánuje, do jaké cílové skupiny zákazníků míří. To znamená, komu chce prodávat stroje a jaké množství prodeje očekává (například detailní analýzou trhu). Poté jakou cenovou kategorii strojních zařízení je schopen a ochoten přijmout za své do portfolia vyráběných strojů. Po těchto fázích výběru konstruktéři dostávají za úkol zkonstruovat strojní zařízení odpovídající co nejblíže požadavkům zákazníka. Zasahují zde vedlejší vlivy, jako dostupnost materiálů a komponent. Úroveň dostupných technologií, legislativa, logistika, transport a další. Je tedy v zájmu obou (resp. třech) zmíněných stran najít právě takovou cestu, jež bude ne pouze kompromisem, ale vhodnou cestu pro zákazníka i dodavatele. Třetí okrajově zmíněná strana by mohla být faktorem ovlivňující dvě předešlé strany – Aktuální stav vědy a techniky a jeho dostupnost. Jinak řečeno – zákazník objedná jen takové stroje s danými technologiemi, o kterých má dané ponětí a ve kterých má určitou víru. Pro dodavatele to platí, že může vyvíjet takové technologie, se kterými je seznámen, nebo si vyvíjet své. To samé platí pro typy materiálů a jejich variabilitu, nebo strojní, či jiné komponenty.



Obrázek 21 - Schéma společných zájmů

V současné době čím dál rychleji roste cena pozemků ať už určených k prodeji, tak k pronájmu. Obecně by se dalo říct, že čím větší firma, co do počtu zaměstnanců, strojů a oborů, do kterých zasahuje, tím větší plochu potřebuje. Každá hala má například pevné rozměry, do kterých se vedoucí pracovníci snaží vymyslet takový layout strojů, příslušenství, zařízení a kanceláří, aby byla veškerá plocha využita a funkční. V souvislosti s tímto je nutné brát v potaz také rozměry obráběcích strojů, výrobních linek, portálových jeřábů apod. V tomto případě, kdy máme referenční příklad DMG MORI M1 se jedná o zástavbové rozměry o celkové ploše necelých 6 m². Tato plocha je jedna z menších zástavbových ploch běžných ve strojírenství. Vše ovšem záleží na obráběných produktech. Pro srovnání se mohou ve světě vyvíjet i obráběcí centra větší plochy. Jeden takový příklad je od společnosti The Emco Mecof PowerMill, jež je určený pro obrábění nadrozměrných dílů pro letecký a automobilní průmysl. Celková plocha převyšuje 310 m², což je oproti referenčnímu příkladu téměř 52x víc a je tak jedním z rozměrově největších obráběcích strojů na světě. Plocha takového stroje pak představuje plochu srovnatelnou s větším rodinným domem. Některé průmyslové haly výrobních podniků

takových ploch ani nedosahují, proto je důvod zvažovat i na první pohled nedůležitý parametr rozměrů strojních zařízení.

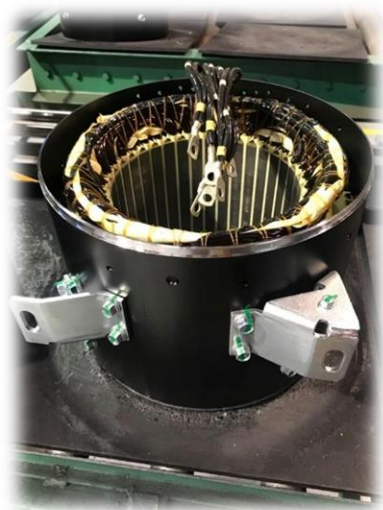


Obrázek 22 - Obráběcí vertikální centrum Emco Mecof PowerMill [26]

V některých situacích je nutné obrábět polotovary, jež disponuje silně magnetickými vlastnostmi. Lze dbát na správný výběr krytování, nástrojů a součástí, jež přichází do bližšího, či přímého styku s takovým magnetickým obrobkem, aby se nepoškodila nějaká ze zmíněných součástí. Může se jednat také o částečně zkompleťované zařízení, na kterém je třeba pouze dopravit část, ve které se navíc nachází elektromagnetické pole. Může se například jednat o soustružení těla elektromotoru pro následné usazení víka na osoustruženou část. Elektromotor je již téměř kompletní a obsahuje stator, rotor i veškerou kabeláž, kterou je třeba technologickým přípravkem před soustružením zakrýt, aby nedošlo k poškození zejména právě kabeláže, či řezného nástroje.

Pokud je součást časově náročná na obrábění, může se stát, že obráběná součást změní své fyzikální vlastnosti vlivem tepelné vodivosti, resp. tepelné roztažitelnosti. U obrobků obráběných delší dobu na téměř stejném místě je na zvážení optimalizace technologického postupu tak, aby se součást mohla ochladit na nižší teplotu a neztratit tak fyzikální vlastnosti, jejíž narušení by mohlo vést k poškození nebo zařazení jednice mezi zmetky. Optimalizace může probíhat například změnou trajektorie obrábění.

Vlivy, jako jsou vznik kovových třísek, kvalifikace zaměstnanců, čas obrábění, životnost nástrojů a přípravků a stabilita zabudování jsou popsány v systémovém rozboru, tedy kapitole 3, neboť je princip a charakteristika těchto vlivů totožná jak obecně u obráběcích procesů, tak u samotného upínání obrobků.



Obrázek 23 - Ukázka osoustružení části statoru pro usazení víka

Jak je zmíněno v úvodu kapitoly, každý obrobek má svůj daný technologický postup, jež je potřeba dodržovat, aby se tak vyhnulo potenciálním finančním a časovým ztrátám, nebo výrobě neshodných kusů. Již při navrhování konstrukce obrobku by měli konstruktéři přemýšlet nad reálnou obrobitelností pomocí současných, zamýšlených technologií, jež firma ideálně už disponuje. V opačném případě je nutno kupovat strojní zařízení daných technologických operací nebo měnit konstrukci obrobku. V obou případech může jít ovšem o zvýšení celkových finančních nákladů vlivem nevědomosti konstruktéra o všech možnostech a ideálních volbách.

Hrotová bruska BUB E, FERMAT



✓ Broušení

Multifunkční obráběcí centrum ZPS MCG3022i

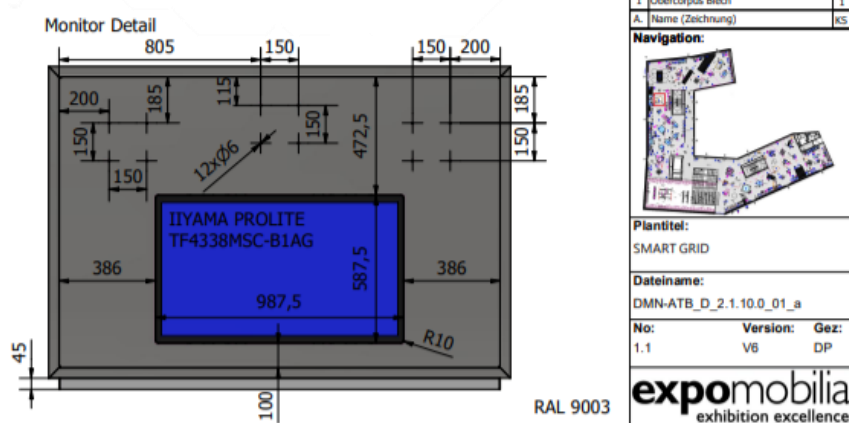


✓ Broušení
✓ Frézování
✓ Soustružení
✓ Závítování
✓ Vrtání

Obrázek 24 - Příklad možných operací dvou různých strojních zařízení [22] [32]

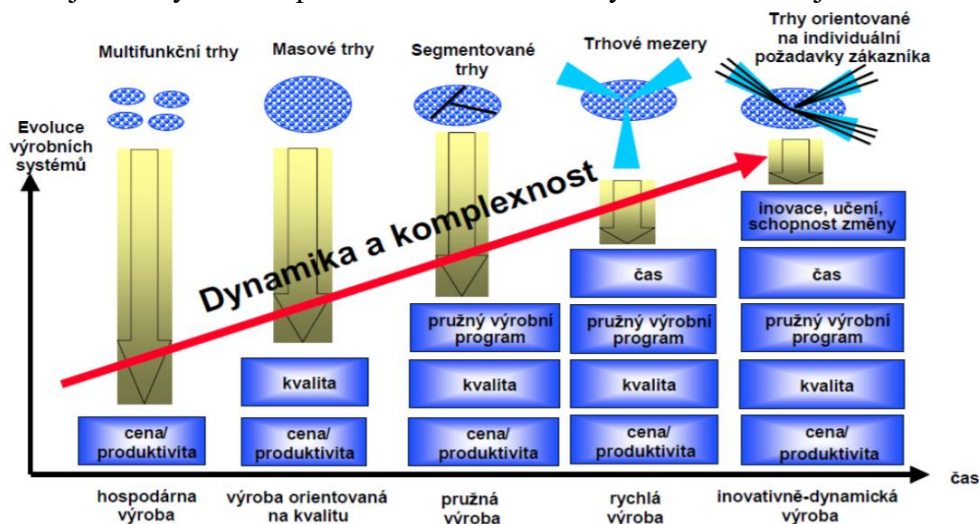
Často se tedy například z těchto důvodů výkresové dokumentace obrobků, či komponent číslují i dle verze, kterých může být klidně i vyšší desítky. Je jisté, že sofistikovanější strojní zařízení jsou schopna dominovat ve více operacích najednou, takové zařízení ovšem exponenciálně roste na ceně zároveň s umožňujícími operacemi. Je tak na vedoucích pracovnících, aby naplánovali, jaké strojní zařízení využívat, kdy je využívat, kdy nakoupit nové, jaké technologické postupy využívat a kdy se vyplatí je optimalizovat. Optimalizace může probíhat například byť jen přesouváním strojních zařízení z místa na místo tak, aby byly sobě blíže a veškerý vedlejší čas obrábění se tak zkrátí, popřípadě vznikl nový skladový prostor. U větších strojních zařízení se ovšem čím dál častěji setkáváme se zabudováním přímo do podlahy, čímž vzniká celek strojního zařízení sahajícího až pod podlahu, což může zasahovat významně do financí a také do časových možností podniku.

V současné době je trendem vyrábět a dodávat co nejrychleji, nejlevněji a nejkvalitněji. Zákazník udá požadavky a firmy se snaží nabízet nabídky co nejblíže požadavkům, občas i s nevídanou přidanou hodnotou, jež může



Obrázek 25 – Ukázka části výkresu číslování verze výkresu

danému dodavateli zajistit objednávku. Do jaké míry je dodavatel konkurence schopný nezávisí pouze na tom, jaké má vedení, vedoucí a kmenové pracovníky, ale i na tom, co může nabídnout. Nabídku může ovlivňovat množství strojního zařízení, univerzálnost zaměření, schopnost řešit komplexní objednávky nebo například flexibilitu v náhlých změnách objednávek.



Obrázek 26 - Grafické znázornění závislosti evoluce výrobních systémů na typu výroby [33]

Čím přísnější požadavky zákazníků a dodavatelů na trhu vznikají, tím je jednodušší pro dodavatele dodávat obrobky podle daných požadovaných norem, neboť je současně jednodušší, rychlejší a přesnější kalibrace, měření a ve spojení s předchozím vlivem to vede k obecně kvalitnějším produktům. Všechny stroje v dnešní době před vypuštěním na trh musí splňovat mimo jiné celou řadu bezpečnostních norem, normy spojené s elektro kompatibilitou, či certifikáty o vyzkoušeném produktu, jež má povolení se vstupem na trh.

S vyšší úrovní automatizace se zrychluje i výměna nástrojů u strojů, jež jsou vybaveny automatickou výměnou nástrojů. Automatická výměna nástrojů probíhá dle sepsaného CNC programu plně automaticky v řádů jednotek sekund. Nástroje jsou manuálně vloženy do zásobníků předem tak, aby odpovídaly daným operacím. Měly by být vhodně vybrány tak, aby byly schopné obrobit očekávaný materiál bez problémů, bez poškození nástroje, či obrobku. Pro každý materiál je nutno vybrat nástroj tak, aby se zbytečně neurychlilo zkrácení životnosti, otupení řezné části, či v případě předimenzování se nevyužíval nepotřebně příliš kvalitní a drahý nástroj pro měkký materiál. Pomocí materiálu nástroje je možno určit řezné podmínky ideální pro specifickou situaci, ať už se jedná o frézování drážek, zkosení, či komplexní obrábění celého obrobku. I při nejkvalitnějším materiálu daného řezného nástroje je nutno ovšem nástroj v pravidelných intervalech kontrolovat, neboť existuje vždy vyšší, či menší procento pravděpodobnosti vzniku poškození samotného nástroje, ať už vlivem únavy materiálu, tak nevhodným zvolením řezných podmínek, či samotného řezného nástroje. Pokud ovšem je vybrán nástroj vhodně, má tento fakt významný pozitivní vliv na efektivitu samotného

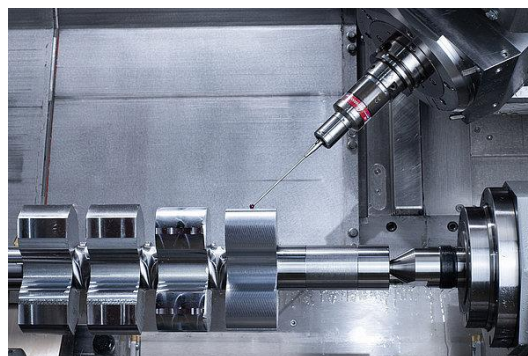
obrábění a může se tak podstatně snížit obráběcí čas, jež jsou v obraze výrobních podniků vždy finance.



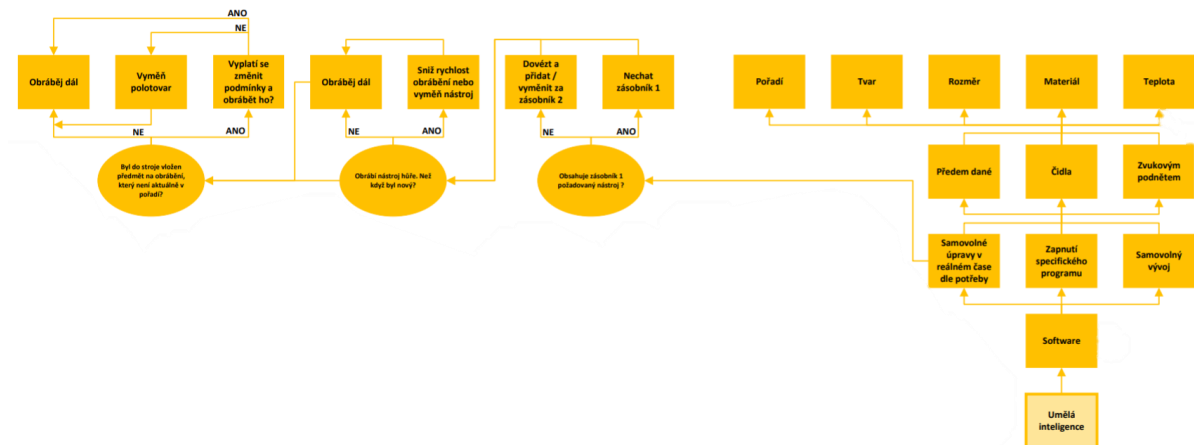
Obrázek 27 - Příklad automatické výměny nástroje frézky EMS800 [34]

Drtivá většina obrobků vyžaduje po částečném, či úplném obrobení měření. Ať už se jedná o měření délkové, či geometrických tolerancí. Zautomatizování těchto operací pomocí strojních zařízení je dnes standardem, který usnadňuje práci, čas i peníze. Integrované měřidla na strojích musí být kalibrovány a revidovány v pravidelných intervalech, které si většinou určuje firma sama, interně. Měření obrobků může probíhat i během obrábění, kdy při větším rozměru, než je žádaný, je obrobek třeba obrobit znovu na bližší rozměr. V opačném případě se může jednat o zmetek, je-li délková či geometrická tolerance mimo daný požadovaný interval.

Jedná-li se o velkosériovou výrobu (ne kusovou), je třeba počítat s částečným, nebo úplným odstavením stroje (v praxi 1 až 2x ročně), aby bylo možné provést servis, kontrolu stavu jednotlivých komponent. Servis a údržba je prováděna povětšinou současně manuálně, pověřeným pracovníkem. Novější strojní zařízení jsou ovšem vybaveny různými systémy, jako je například autodiagnostika, jež pomocí senzorů může upozornit na problém vznikající dříve, než je plánovaná odstávka a předejít tak fatálním následkům poškození stroje, či obráběného kusu. Nastupující technologie ovšem pomocí virtuálního zprovoznění, umělé inteligence a průmyslu 4.0 tlačí inovace k samo udržitelnosti, což znamená, aby musel do strojního zařízení člověk zasáhnout co nejméně a co nejméně krát. Takové vylepšené vlastnosti ale mnohdy znamenají navýšení prodejní ceny veškerého strojního zařízení, jehož se tato inovace týká.

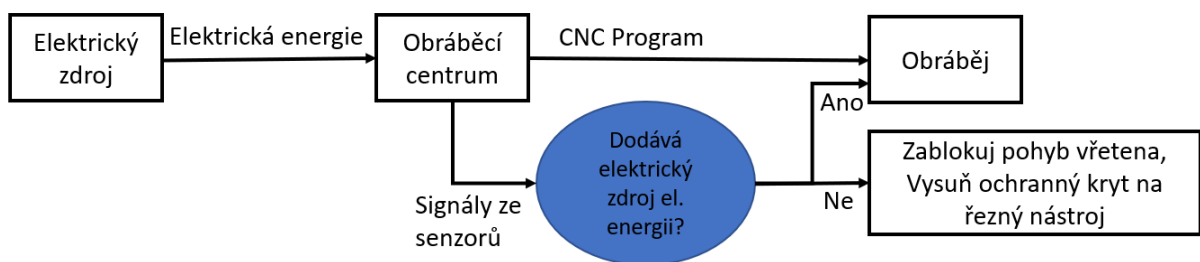


Obrázek 28 - Automatické měření drsnosti povrchu skenovací dotykovou sondou TC63 DIGILOG [35]



Obrázek 29 - Příklad využití automatické diagnostiky obráběcích strojů

Aktuálně je výroba strojních zařízení tlačena ke zvýšení bezpečnosti, a to mimo jiné i při výpadku elektřiny. Je to zejména pro pojištění poškození řezného nástroje, pohybového ústrojí stroje, jakékoliv jiné jeho části, či poškození obrobku. Takové pojištění je pak pojištěno plynulým pozastavením, či zablokováním jistých částí. Některé větší strojní zařízení mohou mít přidavné záložní zdroje (i menší, pokud si je firma upraví dle potřeb), jež mohou dočasně dodávat elektrickou energii strojnímu zařízení, aby bylo umožněno dokončit obráběcí proces nebo stroj bezpečně odstavit.



Obrázek 30 - Ilustrační příklad vývojového diagramu zablokování pohybu vřetena a vysunutí ochranného krytu na řezný nástroj při přerušení dodávky elektrické energie do obráběcího centra

Obráběcí materiály mají různé fyzikální vlastnosti, jež některé z nich jsou na první pohled viditelné a citelné, jiné naopak ne. Jedná-li se o zřídka využívané radioaktivní materiály, je třeba s nimi nakládat speciálním (přizpůsobeným) způsobem, oproti klasickým konstrukčním ocelím, jako ne například SJR235. Ať už se jedná o krytování, odsávání, speciální odpadní zásobníky, tak zejména o integrované radiometry. Jedná se zejména o obrábění pro jaderný průmysl, jež je ve světovém měřítku minoritní. Technologie v tomto odvětví musí být ovšem na vysoké úrovni, kvůli rizikům spojených s radioaktivitou.

2.8.1 Výpis parametrů ovlivňující přímou automatizaci obráběcích procesů

Níže je tabulka se všemi parametry ovlivňující přímou automatizaci obráběcích procesů, obohaceny o stručný komentář, jež byly detailně charakterizovány, definovány a popsány v předchozí podkapitole 1.8.

Tabulka parametrů ovlivňující přímou automatizaci obráběcích procesů		
Pořadí	Název	Popis
1.	<i>Tvar polotovaru</i>	Složité tvary polotovaru vyžadují komplexnější mechanismy obrábění, složitější upevnění, komplexnější přípravky
2.	<i>Rozměr polotovaru</i>	Na menší obrobky dostačuje mnohdy menší strojní zařízení, na větší obrobky je třeba větších strojů. U větších obrobků může být složitější manipulace a mnohdy vyšší hmotnost díky rozměrům samotného polotovaru
3.	<i>Materiál (tvrdost) polotovaru</i>	Tvrdost materiálu ovlivňuje řezné podmínky (či výběr nástroje) a finální vlastnosti obrobku
4.	<i>Polohování polotovaru</i>	Jak složité a do jaké míry je nutno otáčet polotovar a dostat ho do dané polohy
5.	<i>Možnost uchycení polotovaru</i>	Možnosti uchycení polotovaru (jak do chapadel, tak do pevných základů)
6.	<i>Barva polotovaru</i>	Nevhodně volená barva může zapříčinit nežádoucí vedlejší efekty (účinky) nebo se může jednat o jiný (barevně odlišný), nežádoucí polotovar
7.	<i>Rychlost přesouvání polotovaru</i>	Obrobek může obsahovat součásti, či kapalinu, která při rychlejších pohybech vyvolává nežádoucí účinky, například díky vysokému momentu setrvačnosti
8.	<i>Hmotnost</i>	S vyššími hmotnostmi se hůře manipuluje, představují mnohdy větší rozměry samotného polotovaru
9.	<i>Počet vyráběných výrobků</i>	V jakém množství je potřeba vyrobít daný produkt ovlivní, kolik je nutno investovat do technologie obrábění (rychlost obrábění, velikost stroje a do jisté míry i vlastnosti výrobku)
10.	<i>Teplota okolního prostředí</i>	Teplota může ovlivňovat obráběcí proces, strojní zařízení či samotný obrobek (měknutí, roztavení, deformace struktury extrémní teplotou)
11.	<i>Vlhkost okolního prostředí</i>	Vlhkost může ovlivňovat obráběcí proces, strojní zařízení či samotný obrobek (koroze, měknutí, vznik nežádoucích povrchů)
12.	<i>Vibrace</i>	Vibrace může ovlivňovat obráběcí proces, strojní zařízení či samotný obrobek (deformace opotřebením, nevratné poškození)
13.	<i>Velikost investice</i>	Jak moc je firma ochotná investovat do specializovaného zařízení ovlivňuje nepřímo vlastnosti finálního produktu a jeho průchod firmou
14.	<i>Prostory</i>	U omezených prostorů je třeba improvizovat tak, aby se naplnily požadované rychlosti, vlastnosti, jako u strojů, které by bylo jednodušší vyvinout ve větších velikostech (tzn. využití menších prostor za uchování, či zvýšení kvality finálního výrobku)

15.	<i>Magnetismus</i>	Pokud je obrobek magnetický, je třeba tomu přizpůsobit krytování a využití technologie, aby se nepoškodil stroj nebo obrobek.
16.	<i>Elektrická vodivost</i>	Využívání technologií na bázi elektřiny je třeba vzít v potaz při obrábění součástek, jež by mohly zkratovat, či se jinak poškodit, či poškodit stroj
17.	<i>Tepelná vodivost</i>	Je nutné vzít ohled na tepelnou vodivost materiálů stroje, jeho součástí a samotného obrobku a její vliv na finální vlastnosti výrobku
18.	<i>Odvod třísek</i>	Při třískovém obrábění polotovarů je třeba odvádět třísky, aby nepoškodily stroj nebo samotný obrobek
19.	<i>Kvalifikace zaměstnanců</i>	K dispozici je omezené množství kvalifikovaných pracovníků, a i ti jsou kvalifikovaní na pouze danou pozici. To může zpomalovat výrobu – nábor přímo specializovaných pracovníků
20.	<i>Čas obrábění</i>	Pokud se na strojích časově neshodují finance výroby, není nutno za každou cenu zakázku přijmout (nemusí se finančně vyplatit)
21.	<i>Požadovaný typ obrábění</i>	Obrobek může být povahy, pro který je třeba využít daných technologií v daném pořadí (technologický postup) a současný stav vědy a techniky může být v tomto směru omezený – je třeba improvizovat, či vymyslet novou technologii (časově i finančně náročné)
22.	<i>Požadavky zákazníka</i>	Speciální požadavky na vlastnosti obrobku, čas dodání množství, maximální prodejní cena jednice
23.	<i>Normy</i>	Výroba dle předepsaných norem např.: ČSN ISO 2768-1, evropské, americké normy
24.	<i>Materiál nástrojů</i>	Pro každý materiál je vhodný jiný nástroj a je nutno myslet na fakt, že může být finančně náročné a nevhodné využívat nejtvrďší nástroj na měkký materiál
25.	<i>Životnost nástrojů a přípravků</i>	Nástroje a přípravky je nutno měnit. Ať už kvůli opotřebení, únavovým kazům, jiným poškozením, tak preventivně
26.	<i>Efektivita a účinnost dané technologie</i>	Pro různé technologie jsou výrobní časy, množství odpadu, pro tentýž obrobek odlišné, což je pro správný výběr typu automatizace důležité
27.	<i>Kalibrace měřidel, přídavných zařízení</i>	Do jaké míry a jak často je třeba kalibrovat nástroje a zařízení je třeba brát v potaz vzhledem k servisu a případným opravám.
28.	<i>Stabilita zabudování</i>	Ať už jsou strojní zařízení automatizována sebevíc, jak přesně je stroj ukotven do země (či jinam) může mít výrazný vliv na kvalitu výsledného produktu.
29.	<i>Délka nepřetržitého provozu</i>	Pokud stroj poběží příliš dlouho, může se zvýšit zmetkovitost, poškodit nezvratně strojní zařízení či jakoukoli jeho automatizovanou část
30.	<i>Servis</i>	Čas od času je potřeba vyměnit olej, utáhnout šrouby, zkontrolovat správnou funkčnost součástí stroje a udělat revizi – to zpomaluje samotnou výrobu
31.	<i>Opravy</i>	Ať už nesprávným zacházením se stroji, chybou v programu či únavou materiálu. Někdy se stane, že se něco pokazí a je třeba to vyměnit, opravit, závadu jednoduše odstranit

32.	<i>Výpadek elektrického proudu</i>	Při výpadku elektrického proudu by neměla nastat nebezpečná situace (např.: přehřívání, zaseknutí nástroje). Existují preventivní opatření (záložní generátory, kondenzátory pro udržení chodu stroje...)
33.	<i>Řezné podmínky</i>	Posuvová rychlost, řezná rychlost, otáčky posuv na otáčku, dráha nástroje ve směru posuvu, výchozí obráběný průměr, počet záběrů nástroje (počet třísek), délka náběhu nástroje, obráběná délka, délka přeběhu nástroje a mnoho dalších.
34.	<i>Radioaktivita materiálu</i>	Při obrábění radioaktivního materiálu je třeba brát ohled na možný únik radioaktivity, nutnost odvádět nebezpečný prach, dým, znečištěnou vodu...

Tabulka 1 - Tabulka parametrů ovlivňující přímou automatizaci obráběcích procesů

3 SYSTÉMOVÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY, NÁVRH A VOLBA ZPŮSOBU ŘEŠENÍ

3.1 Charakteristika faktorů ovlivňující upínání obrobků

Jak bylo zmíněno výše, samotnou automatizaci, v kontextu inovačního prostředí, ovlivňuje nespočetné množství faktorů. Tyto faktory jsou ovlivňovány interně i externě v závislosti na situační působnosti. Vzhledem k probíhané koronavirové pandemii během psaní této diplomové práce bylo obtížné se setkat s experty a odborníky ve firemním prostředí. Mnohdy nebylo možné si kvůli časové vytíženosti firem domluvit ani online schůzku pro potvrzení domněnek a doložení praktických rad přispívající k této diplomové práci.

Jediná firma, jež byla ochotna spolupracovat v širším rozsahu byla firma FERMAT CZ s.r.o. (dále jen FERMAT) s pobočkou sídlící v městské části Slatina města Brno. Spolupráce byla domluvena díky osobní angažovanosti vedoucího diplomové práce, díky němuž mohly studie zde uvedené, vzniknout s praktickým využitím. Zaměření automatizace bylo dohodnuto s ohledem potřeb všech stran na zautomatizování řešení pro zákazníka v oblasti paletizace. Aktuálně se interně využívá ručních upínek a svěráků, jež je nutno manuálně pro každý kus zvlášť nainstalovat a po obrobení odejmout. Upínání má tak několik fází, kdy je také třeba upevnit pomocí speciálního měřicího zařízení obrobek do polohy tak, aby po spuštění CNC programu obráběl kus přesně tak, jak je zamýšleno, v opačném případě může dojít k výrobě zmetku. Neustálé měření polohy upínání každého kusu tak značně prodlužuje vedlejší čas samotného obrábění. Po domluvě byla dohodnuta spolupráce na 2 souvisejících projektech. 1. Z nich je snížení výrobního času víka vřeteny, jež je popsáno níže a 2. projekt snížení upínacího času pomocí technologických palet s integrovaným zero point systémem. To vše ideálně za využití již firemně dostupných strojních zařízení a příslušenství. Co je zero point systém a jaký smysl má toto využití je popsáno v kapitole 3.3.

Zadaným, zmíněným souvisejícím předmětem řešení 2. projektu je odlitek víka vedení z tvárné litiny EN-GJS-600-3 (GGG-60), jež figuruje výbornými mechanickými vlastnostmi a velmi dobrou obrobiteľností. Odlitek si firma nechává dodávat externě, odléváný mimo Brno. Svými

rozměry se řadí mezi rozměrově menší a hmotnostně lehčí obrobky využívané firmou než většina jejich portfolia. S rozměry 420x182x1235 (VxŠxD) vyžaduje vyvrtání a řezání 312 různých děr a závitů a 24 ploch k frézování a broušení, což práci značně komplikuje v oblasti optimalizace jak technologických pracovišť, tak materiálového toku. Obrobek byl proto pro řešení diplomové práce ze zmíněného důvodu složitosti přizpůsoben (zjednodušen), aby bylo dosaženo jasným a jednoduchým závěrům optimalizací. Samotné víko vřeteny slouží pro uložení valivého lineárního vedení a kuličkového šroubu. Jako celek po kompletaci pak slouží k realizaci lineárního posuvu domku uložení vyvrtávacího vřetene horizontální vyvrtávačky vyráběné



Obrázek 32 – Model víka vřeteníku před a po obrobení

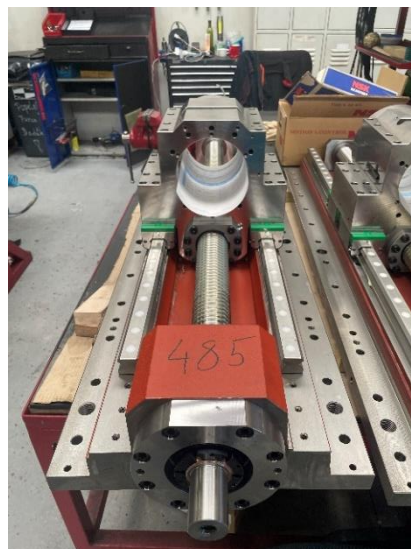


Obrázek 31 - Horizontální vyvrtávačka v prostorách firmy FERMAT

FERMATem. Jednotlivé díry vyvrtávačky jsou objednávány a vyráběny na různých místech, ať už ve vlastních prostorách, tak u externích firem. Kompletace větších kusů probíhá v Brně a kompletace menších kusů v Lipníku n. Bečvou.



Obrázek 33 - Polotovár víka vřeteníku



Obrázek 34 - Obrobené a částečně usazené víko vřeteníku

Aby bylo vůbec možné realizovat optimalizaci upínání obrobků, je třeba si nejprve definovat faktory, jež samotné upínání mohou ovlivňovat a ty následně zhodnotit dle důležitosti mezi sebou (vztah relevantnosti k upínání). Je samozřejmé, že každý ovlivňující faktor si nese svou váhovou hodnotu důležitosti, která nám říká, do jaké míry je důležitější, podstatnější než ostatní faktory. Nejlépe se tyto faktory nalézají přímo v praktických příkladech, a proto byl vybráno jako příklad multifunkční obráběcí centrum ZPS MCG3022i, zobrazené na obrázku níže.



Obrázek 35 - Multifunkční obráběcí centrum ZPS MCG3022i [22]

Na první pohled lze vidět, že se jedná o multifunkční obráběcí centrum typu horní gantry, umožňující komplexní obrábění prostorově složitých a technologicky náročných obrobků. ZPS MCG3022i lze využít jak s otočným stolem Ø 2100 mm, tak s pevným stolem 4000x2000 mm. Jak už text naznačuje, lze vyvodit první dva faktory upínání dané typem stolu, na něž se obrobek upíná, a to tvar a rozměr samotného obrobku.



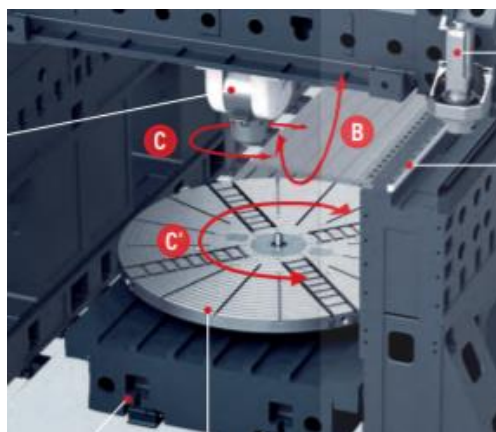
Obrázek 36 - Pevný stůl 4000x2000 mm [22]



Obrázek 37 - Otočný stůl Ø2100 mm [22]

Při obrábění jakéhokoliv polotovaru je nutno najít vhodné nástroje a určit si řezné podmínky. Nástroje a řezné podmínky jsou silně závislé na materiálu polotovaru, což je dalším z rozhodujících faktorů, neboť materiál polotovaru nám může udat, jak ho upnout, aby nedošlo například k plastické deformaci ať už upínacích prostředků, tak samotného obrobku. Jak bylo zmíněno, v našem případě bude věnována pozornost tvárné litině GGG-60 (EN-GJS-600-3).

Při obrábění s využitím otočného stolu je nutnost zmínit, že může rotovat současně obráběcí hlava i samotný otočný stůl, čímž se odhaluje důležitost faktoru správného polohování obrobku při upínání tak, aby bylo obrábění co nejjednodušší, nejrychlejší a nejefektivnější a v neposlední řadě, aby bylo možné obrobit co možná nejvíce z potřebných ploch určených k obrábění na tomto strojním zařízení. Existují situace, kdy vzhledem ke komplexnímu tvaru v kombinaci s atypickými rozměry obrobku nebude možné využít potřebné upínací prostředky, či nebude prostor pro upínání v pracovním prostoru. V takovém případě je na zvážení konkrétní situace, v nichž je možné využít upínání na technologické palety, mimo pracovní prostor, jedná se tedy o další faktor, a to možnost uchycení obrobku. Je ovšem nutno brát v potaz rozměry a tvar pracovního prostoru, aby byla po upnutí obrobku na technologickou paletu možno vůbec vložit do zamýšleného pracovního prostoru.



Obrázek 38 - Ukázka rotace hlavy a otočného stolu ZPS MCG3022i [22]

Za předpokladu, že předchozí faktory budou umožňovat upnutí polotovaru na otočný či pevný stůl, je přímo nutností znát maximální únosnost právě stolu, neboť příliš vysoká hmotnost obrobku může převyšovat nosnost stolu, jež je v tomto případě u otočného stolu 9000, resp. 4000 kg, v závislosti na otáčkách a 10 000 kg u pevného stolu. Při zvyšující se hmotnosti nad rámec únosnosti se zvyšuje riziko nevratného poškození stolu, ale i samotného obrobku.

PARAMETRY OTOČNÉHO STOLU

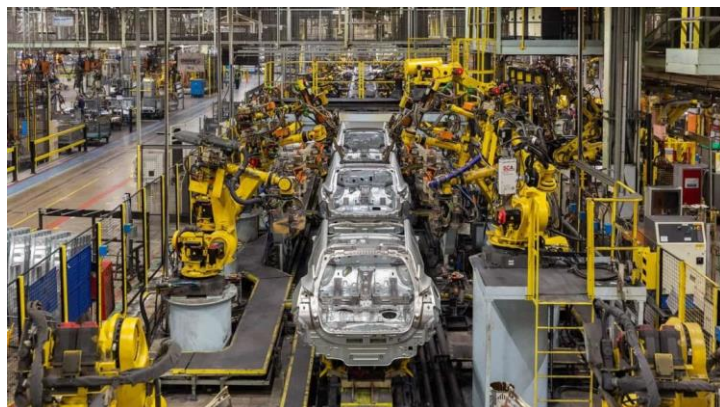
Upínací plocha	Ø 2 100 mm
Rozměr T-drážek	18H12 / 28H12
Zatížení stolu do 50 min ⁻¹ / nad 50 min ⁻¹	9 000 / 4 000 kg
Upínací plocha od podlahy	820 mm
Rozsah otáček otočného stolu v režimu vřetena	2-250 min ⁻¹
Pracovní posuv otočného stolu v režimu C osy	0-50 min ⁻¹
Krouticí moment jmenovitý / maximální	6 640 / 8 840 Nm
Maximální výkon	51 kW
Moment při zpevnění (12 MPa)	9 500 Nm

PARAMETRY PEVNÉHO STOLU*

Upínací plocha	4 000 × 2 000 mm
Rozměr T-drážek	22H12
Maximální zatížení	10 000 kg/m ²
Upínací plocha od podlahy	610 mm

Obrázek 39 - Parametry otočného a pevného stolu ZPS MCG3022i [22]

Průmyslové podniky se dají rozlišit i dle zaměření na malosériovou a velkosériovou výrobu. U malosériových produktů může čas upínání být zanedbatelnou složkou vzhledem k počtu vyráběných kusů. Ovšem u velkosériových produktů, mluvíme-li například o 1 000 000 vyráběných kusech specifického produktu, může v upínacím čase hrát roli každá sekunda, neboť při zmíněném množství je již po sečtení upínacích časů všech kusů zanedbatelná časová hodnota. Je tedy důležité vybrat správný upínací přístup a přípravky pro každou situaci zvláště i v závislosti na počtu vyráběných kusů, jakožto další z ovlivňujících faktorů upínání.

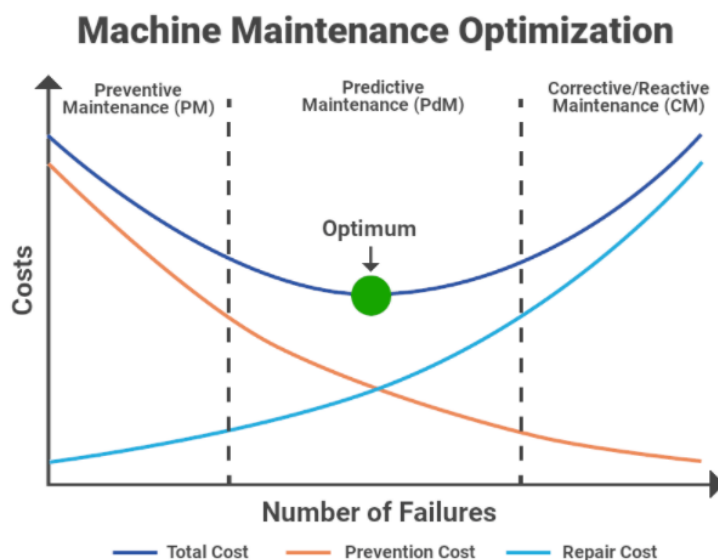


Obrázek 41 - Ukázka velkosériové výroby v automobilním průmyslu (ročně v milionech kusů) [23]



Obrázek 40 - Horizontální vyvrtávačka FERMAT jako příklad kusové výroby (ročně v jednotkách kusů)

Pokud se ovšem dodavatel produktů rozhodne, že potřebuje snížit upínací časy, aby ušetřil čas navíc pro další zakázky, přichází na řadu další z faktorů, ve formě výše investice, jež vloží do optimalizace právě upínacích časů (například změnou konstrukce obrobku, změnou typů využívaných upínacích prostředků, změnou polohy obrobku apod.). Pokud se bavíme o velkosériové výrobě, je třeba dbát na údržbu a správnou konstrukci udržitelných komponent ve smyslu možnosti provozu v delším časovém úseku. Mnohdy bývá zvykem u velkosériové výroby nepřetržitý provoz, jež je přerušen pouze několika denní odstavkou ročně, během níž se provádí údržba celých strojních zařízení, linek, či celého výrobního závodu. V takovém případě mluvíme o celozávodní dovolené. V opačném případě může mít zanedbaný servis vliv na životnost zejména na pohyblivých částí a obecně jakékoliv části strojů, včetně zmiňovaných upínacích prostředků.



Obrázek 42 - Závislost ceny údržby na počtu vyrobených zmetků vlivem preventivní, prediktivní nebo korekční údržby [24]

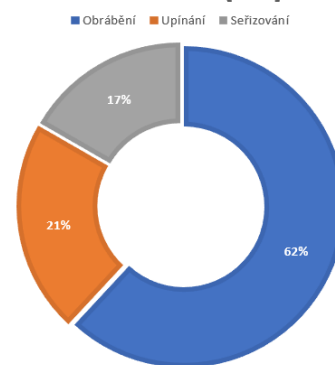
Na upínání z hlediska počtu vyráběných kusů má svůj podíl i čas obrábění. To znamená čas, jež je obrobek transformován z polotovaru do výrobku. Pokud totiž pracovník vloží upnutý kus do obráběcího centra, či jiného obráběcího zařízení a obráběcí čas je delší než upínací, je možné v mezičase, kdy se jeden kus obrábí, upínat externě, mimo pracovní prostor druhý kus na technologickou paletu. Po obrobení jednoho kusu jej obsluha jednoduše vyjme a vymění za již upnutý kus na technologické paletě, čímž podstatně eliminuje vedlejší čas obrábění. Zde je možno tedy vytyčit dva vlivné faktory, a to: čas obrábění a samotný čas upínání. Zero point systém firmy ZERO CLAMP dokáže redukovat vedlejší čas upínání až o 90 %.

Menší, ne však zanedbatelný faktor ovlivňující upínání může být i prostor. Někdy bývá obrobek rozměrově tak velký, že upínání může trvat v řádů několika hodin. Většinou ovšem platí pravidlo, že je nejlepší mít upnutý obrobek co nejrychleji, ovšem za podmínky kvalitního upnutí. U upínání obrobku mimo pracovní prostor je třeba mít vyhrazený prostor mimo strojní zařízení, kde je bezpečné obrobek upínat a kde je možné ho upnout ve všech požadovaných bodech. Strojní zařízení větších rozměrů v nově plánovaných výrobních halách se kotví do podlahy, jež je tomu přizpůsobena již při budování. Samotná stabilita zabudování má také dost podstatný vliv na upínání. Při nestabilním zabudování může upnutý kus vlivem nesprávné geometrie zabudování povolit a poškodit jak strojní součást, tak samotný obráběný kus. Je nutno připomenout, že také odolnost vůči vibracím, jež může být zvyšována jak samotnou konstrukcí upínek, kvalitou upnutí, tak stabilitou zabudování, v jejíž absenci by se vibrace mohly přenášet na obrobek, resp. na upínací příslušenství. Stabilita zabudování má také přímý vliv na přesnost obrábění, na přesnost upínání, kvůli zmíněným faktům. Nelze opomenout speciální typ upínání, pomocí zero point systému, jež nám dovoluje upínat obrobky s přesností 0,005 mm opakovaně. O tomto tématu je více informací v kapitole 3.3.

Při obrábění jsou tvořeny kovové třísky, jež je třeba odvádět mimo obrobek, aby nebránily dalšímu obrábění. Na tento fakt je potřeba brát zřetel zejména u upínání, aby nebylo nevhodným upnutím zamezeno úniku kovových třísek do potřebných míst a naopak, aby se nehromadily vlivem upnutí na nevyžadovaném místě.

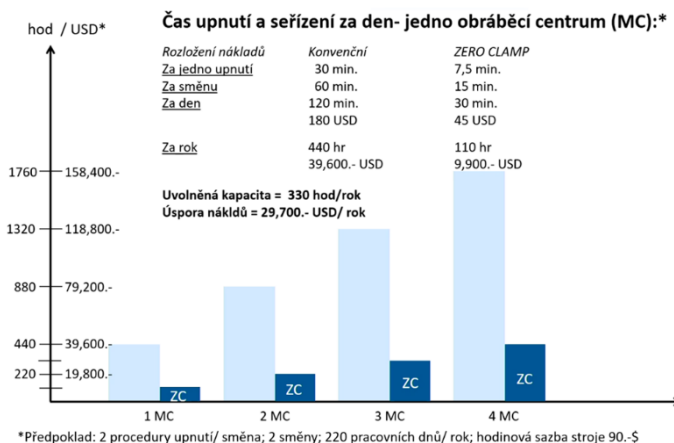
Do jaké polohy, jakým typem upínek, jak rychle, efektivně a kvalitně bude obrobek upnut, mnohdy silně závisí na zaměstnancích, zejména na jejich kvalitě. Zkušenosti operátoři, montážníci a dělníci dokážou upínat obrobky efektivně rychle, bez problémů, závisí to ovšem na jejich zkušenostech a na dovednosti přemýšlet nad různými způsoby upínání s ohledem na vznik možných rizik. Souběžně s kvalitací zaměstnanců ovšem záleží i na tom, jaký typ upínání je u strojního zařízení zvolen a jak jednoduché, či složité je upínání zvoleného typu. Současně se průmyslové firmy, podniky a společnosti snaží nalézat co nejjednodušší řešení, které mnohdy vede rovnou k automatizovaným prvkům, pomocí kterých se čím dál častěji odstraňuje nutnost lidské přítomnosti při upínání.

PODÍL ČASOVÝCH SLOŽEK PŘI OBRÁBĚNÍ VÍKA VŘETENA [MIN]



Obrázek 43 - Současný poměrový podíl časových složek na obrábění víka vřetena z tvárné litiny GGG-60

Velmi významný podíl na samotném upínání mají minimální náklady na upnutí jednoho kusu, jež mohou ve výsledku ovlivňovat fakt, kdy se zákazník rozhodne zakázku přijmout či ne, neboť může být celková prodejní cena zakázky, kvůli této nenápadné významné finanční složky související s finanční dosti problémovou. Aktuálně platí, že pokud má firma více konkurentů v oblasti svého uplatňování, jednotliví konkurenti se mezi sebou podsekávají s cenou tak, aby právě daná firma vyhrála zakázku a mohla tak obohacovat jak sebe, tak zákazníka v podobě hotové zakázky. Minimální náklady na upnutí ovlivňuje ovšem více faktorů naráz. Některé vybrané z nich mohou být například: atypičnost upínky (konstrukční atypičnost, kdy je potřeba vyvíjet komplexní tvary upínek), jednoduchost upnutí, rychlost upnutí apod.



Obrázek 44 - Vzorový příklad redukce času a úspora nákladů upínání pomocí změny typu upínacího systému na ZERO CLAMP [1]

Součástí navrhování veškerých strojních zařízení, jeho součástí a příslušenství podléhá specifickým legislativám, jež se v tomto případě týká směrnice o 2006/42/ES. Dále nutno dodržet směrnici 2006/95/ES, týkající se elektrických zařízení a směrnici o elektromagnetické kompatibilitě 2004/108/ES. V rámci bezpečnosti strojních zařízení je již během navrhování snaha o snižování rizik ve všech ohledech, s ohledem na ČSN EN IEC 31010 ed. 2:2020. Legislativy týkající se strojních zařízení je téma, které je třeba brát v potaz kvůli bezpečnosti samotného výsledného produktu.

Jako poslední, neméně významný faktor je možnost proměřování obrobku, a to jak v případě před upnutím, během upnutí, tak po upnutí. Pokud se zaměříme na proměřování obrobku v upnutém stavu, je ideální promyslet, v jakých místech a jak upnout daný kus, aby bylo možno proměřit jeho rozměry po daném obrobení, aby bylo v případě potřeby možno spustit cyklus obrábění bez nutnosti opakovaného upnutí. Předchází se tak vedlejším časovým ztrátám, které ve firmě mnohdy znamenají nemalé množství financí.

Veškeré zmíněné ovlivňující faktory jsou stručně popsány a vypsány v tabulce níže. Je nutno brát v potaz, že vypsání faktory nemusí být nutně všechny, neboť jejich výčet je do jisté míry ovlivněn zkušeností a vědomostí autora. Jsou ovšem vytyčené faktory, jež jsou zřejmé a dosti významné. Jak významné jsou jednotlivé faktory vůči sobě je zhodnoceno v textu níže.

3.2 Výpis faktorů ovlivňující upínání obrobků a jejich multikriteriální zhodnocení

Níže je tabulka se všemi parametry ovlivňující upínání obrobků, obohaceny o stručný komentář, jež byly detailně charakterizovány, definovány a popsány v předchozí podkapitole 1.8.

Tabulka faktorů ovlivňující upínání obrobků		
Pořadí	Název	Popis
1.	<i>Tvar obrobku</i>	Složité tvary polotovaru vyžadují komplexnější studie o možných pozicích využitelných k upnutí.
2.	<i>Rozměr obrobku</i>	Rozměr polotovaru může být zásadní pro rozhodnutí odmítnutí objednávky vlivem příliš velkých rozměrů pro vybavení dané firmy.
3.	<i>Materiál (tvrdost) obrobku</i>	Tvrdost materiálu ovlivňuje řezné podmínky (či výběr nástroje) a finální vlastnosti obrobku, je tedy nutné zohlednit metodu upínání pro dané materiály, aby nedošlo k poškození obrobků, ani přípravků.
4.	<i>Polohování obrobku</i>	Jak složité a do jaké míry je nutno otáčet polotovar a dostat ho do dané polohy.
5.	<i>Možnost uchycení obrobku</i>	Maximální možné rozměry pro upínací prostředky, prostor pro uchycení a možnost upevnění přímo v obrocích.
6.	<i>Hmotnost obrobku</i>	S vyššími hmotnostmi se hůře manipuluje, představují mnohdy větší rozměry samotného polotovaru. Je třeba náročnějších, větších, silnějších a sofistikovanějších přípravků k upínání.
7.	<i>Počet vyráběných obrobků</i>	V jakém množství je potřeba vyrobit daný produkt ovlivní, kolik je nutno investovat do technologie obrábění a upínání.
8.	<i>Velikost investice</i>	Jak moc je firma ochotná investovat do specializovaného zařízení ovlivňuje nepřímo vlastnosti finálního produktu a jeho průchod firmou.
9.	<i>Prostory</i>	U omezených výrobních prostorů je třeba improvizovat tak, aby se naplnily požadované rychlosti, vlastnosti, jako u strojů, které by bylo jednodušší vyvinout ve větších velikostech (tzn. využití menších prostor za uchování, či zvýšení kvality finálního výrobku) a to za zajištění kvality upnutí.
10.	<i>Odvod třísek</i>	Při třískovém obrábění polotovarů je třeba odvádět třísky, aby nepoškodily stroj, samotný obrobek či upínací přípravky (třísky mohou také zabraňovat upínání/odepínání)
11.	<i>Kvalifikace zaměstnanců</i>	K dispozici je omezené množství kvalifikovaných pracovníků, a i ti jsou v drtivé většině kvalifikovaní pouze na danou pozici. To může zpomalovat výrobu a snižovat tak zisky firmy.
12.	<i>Čas obrábění</i>	Pokud je upínání obrobku prováděno mimo pracovní prostor stroje, je možné upínat jeden kus a druhý obrábět. Ideálně by měl být čas upínání nižší než čas obrábění, aby se nezpomalovala výroba.
13.	<i>Stabilita zabudování</i>	Ať už jsou strojní zařízení automatizovány sebevíc, jak přesně je stroj ukotven do země (či jinam) může mít výrazný vliv na kvalitu upnutí, resp. na kvalitu finální podoby výrobku.

14.	<i>Délka nepřetržitého provozu</i>	Pokud stroj poběží příliš dlouho, může se zvýšit zmetkovitost, poškodit nezvratně strojní zařízení (např. kvůli teplotní roztažitelnosti), jakoukoli jeho automatizovanou část, včetně upínacího příslušenství.
15.	<i>Jednoduchost upnutí</i>	Do jaké míry je jednoduché obrobek k upnutí vede jednoznačně k rychlému výběru dané varianty upínání firmou. Ve spojení s finančními náklady, rychlostí upnutí a manipulovatelností může vést k radikální změně rozhodnutí.
16.	<i>Bezpečnost upnutí</i>	Obrobek musí být v upínacím prostředku velmi dobře a stabilně zajištěn, aby se vlivem působení odstředivé síly a síly řezného odporu neuvolnil.
17.	<i>Rychlost upínání</i>	Ta závisí na druhu upínacího zařízení, velikosti, váze a tvaru obrobku.
18.	<i>Minimální náklady na provedení upnutí</i>	Výše nákladů může ovlivňovat konečné rozhodnutí zákazníka nad výběrem systému upínání.
19.	<i>Přesnost upínání</i>	Přesnost znovu upínání u zero-point clamping systému se pohybuje okolo 2,5 μm. Velmi silně tak konkuruje konvenčním systémům, kde je třeba proces upínání celý opakovat, což prodlužuje ve výsledku čas přípravy.
20.	<i>Odolnost vůči vibracím</i>	Může v jisté míře ovlivňovat manipulovatelnost s upínacím systémem před upnutím, po upnutí je efekt vibrací na upnutý přípravek či obrobek, v ideálním případě mizivý.
21.	<i>Životnost upínacího prostředku</i>	Závislá na kvalitě materiálu, konstrukci, frekvenci využití a servisu. Životnost je jedním z důležitých faktorů a nepřímo ovlivňuje náklady firmy.
22.	<i>Možnost odchodu třísek a řezné kapaliny</i>	Do jaké míry lze odvádět třísky a řeznou kapalinu z obrobku a prostoru upínacího prostředku může hrát zásadní roli pro upínání a odepínání obrobků či přípravků, jež navazuje na rychlost upínání a je nepřímo spojen s náklady firmy.
23.	<i>Možnost proměření obrobku</i>	Před a po obrábění je občas nutno měřit polohu obrobku a jeho rozměry po obrobení. Pokud se dá měřit obrobek po obrobení v upnutém stavu, je možné ho znovu zaslat do stroje pro obrábění, v opačném případě je nutno znovu upnout, což navyšuje výrobní čas, snižuje výrobnost a zisk firmy.

Tabulka 2 - Faktory ovlivňující upínání obrobků

Samotné multikriteriální zhodnocení je využíváno tam, kde je potřeba srovnat více vlivů/faktorů současně a zároveň je třeba dodržet vyšší míru objektivitu, než je tomu například u náhodného bodování prisuzovaného hodnotitelem, či hodnocení intuicí, ačkoliv i ta má v jistých metodách své zastoupení (má-li hodnotící dostatečné zkušenosti a povědomí o dané problematice). Zhodnocení příloženou multikriteriální metodou bylo provedeno autorem práce, což určuje určitou míru subjektivity, neboť je nutno každému ovlivňujícímu faktoru přivlastnit váhu, jež je určena zde právě pouze autorem. Jakékoliv objektivnější zhodnocování tedy závisí nejen na počtu hodnotících přispěvovatelů, ale i na jejich zkušenostech, objektivitě hodnotících, neutralitě k hodnotícím prvkům a znalosti různých typů multikriteriálních metod. Nedostatečné povědomí o typech a účinnostech jednotlivých multikriteriálních metod může mít značný vliv na nevhodně zvolenou vyhodnocovací metodu, což může zapříčinit zcela nepřesný výsledek, v praxi potom podstatnou ztrátu financí.

Existuje nespočetné množství metod, z nichž byla zde vybrána právě 1 zmíněná, na základě předchozích zkušeností a podrobné rešerše vhodných kandidátů. Tato metoda porovnává vybraná ovlivňující kritéria vzájemně mezi sebou a zároveň určuje váhu významnosti v závislosti na upřednostňování kritéria oproti ostatním kritériím. Prvním krokem bylo tedy potřeba zjistit, jaké faktory mohou ovlivňovat upínání obrobků.

Obecně platí, že čím více kritérii je využito v jakékoliv metodě zhodnocování, tím přesnější bude výsledek. Je ovšem důležité brát v potaz fakt, že se zvyšujícím se počtem hodnotících kritérií se zvyšuje u většiny hodnotících metod nejen výpočetní, ale i časová náročnost. Tato příčina tvoří zcela nežádoucí účinek. Výše uvedených 23 kritérií bylo postupně srovnáno v multikriteriální, přiložené metodě, zvaná jako metoda porovnávání párů v trojúhelníku. Zde bylo třeba navzájem srovnat 253 párů kritérií, označená F1 – F23. Po srovnání jednotlivých kritérií bylo třeba uspořádat kritéria dle významnosti (tabulka 4). Finální zhodnocení je založeno na 3 dále popsanych možnostech upínání obrobků, a to: upínání na stůl pomocí upínek, technologická paleta a zero point clamping systém. Pro každou z variant bylo nutné určit bodové hodnocení. Škála hodnocení tabulce níže je 1–3, kde 1 je nejnižší a 3 nejvyšší bodování daného kritéria. Bodování bylo udělováno na základě symbiózy kritéria s danou metodou upínání, viz. tabulka 5 uvedená níže.

Označení kritéria	Váha významnosti	Pořadí	Počet voleb	Kombinace kritérií																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
F1	3,4	6	13	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1

Tabulka 3 - Metoda porovnávání v trojúhelníku párů

Jak lze vidět v levé části tabulky 5, významnost je nejvíce přikládána bezpečnosti, přesnosti a rychlosti upínání, jež tvoří podstatnou trojici upínacích metod. Je to způsobeno velkým důrazem na bezproblémovou, přesnou a co nejrychlejší výrobu s cílem co nejvyšší možné výrobnosti. Nejmenší váha byla pak prisuzována kvalifikaci zaměstnanců, délce

nepřetržitého provozu a prostorům, neboť lze tyto kritéria modifikovat jednodušeji, než ostatní kritéria a nejsou tak významnou složkou, ačkoli jsou stále důležité.

Jak lze vidět ve výše uvedené tabulce č.4, bodové hodnocení jednotlivých variant bylo vyhodnoceno s ručním upínáním jako nejnevhodnější varianta. Téměř dvojnásobný počet bodů obdržel zero point clamping systémem, čímž se díky tomu stal zaměřením pro využití v případových studiích v této práci, neboť je nejperspektivnější z těchto 3 variant pro upínání obrobků. Níže jsou uvedeny a detailněji charakterizovány jednotlivé 3 zmiňované varianty typů upínání.

Označení kritéria	Popis kritéria	Finální pořadí významnosti
F1	Tvar obrobku	6
F2	Rozměr obrobku	5
F3	Materiál (tvrdost) obrobku	12
F4	Polohování obrobku	5
F5	Uchycení obrobku	4
F6	Hmotnost obrobku	13
F7	Počet vyráběných obrobků	6
F8	Velikost investice	6
F9	Prostory	13
F10	Odvod třísek	11
F11	Kvalifikace zaměstnanců	13
F12	Čas obrábění	5
F13	Stabilita zabudování	8
F14	Délka nepřetržitého provozu	13
F15	Jednoduchost upnutí	7
F16	Bezpečnost upnutí	1
F17	Rychlost upínání	3
F18	Minimální náklady na provedení upnutí	4
F19	Přesnost upínání	2
F20	Odolnost vůči vibracím	7
F21	Životnost upínacího prostředku	9
F22	Možnost odchodu třísek a fezné kapaliny	10
F23	Možnost proměnění obrobku	7
Počet kritérií	Možnosti páru	
23	253	

Označení kritéria	Popis kritéria	Výraznost		
F1	Tvar obrobku	1	2	2
F2	Rozměr obrobku	2	2	2
F3	Materiál (tvrdost) obrobku	2	2	2
F4	Polohování obrobku	1	2	3
F5	Uchycení obrobku	2	2	3
F6	Hmotnost obrobku	1	1	1
F7	Počet vyráběných obrobků	1	2	3
F8	Velikost investice	3	2	1
F9	Prostory	1	3	3
F10	Odvod třísek	1	2	3
F11	Kvalifikace zaměstnanců	2	2	3
F12	Čas obrábění	1	2	3
F13	Stabilita zabudování	2	2	3
F14	Délka nepřetržitého provozu	3	3	3
F15	Jednoduchost upnutí	1	2	3
F16	Bezpečnost upnutí	2	3	3
F17	Rychlost upínání	1	1	3
F18	Minimální náklady na provedení upnutí	1	2	3
F19	Přesnost upínání	1	2	3
F20	Odolnost vůči vibracím	3	3	3
F21	Životnost upínacího prostředku	1	3	3
F22	Možnost odchodu třísek a fezné kapaliny	1	2	3
F23	Možnost proměnění obrobku	1	2	3
Celková ∑ bodů:		103,6	146,4	188,8

Tabulka 4 - Vyhodnocení multikriteriální metody porovnání v trojúhelníku páru

3.3 Upínání na stůl pomocí upínek a přípravků

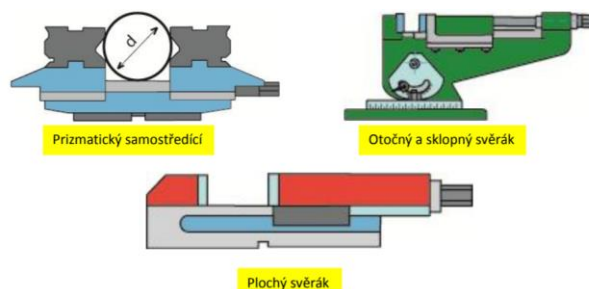
Cílem upínání obrobků je zajištění jeho správné polohy vůči nástroji, zabezpečení obrobku proti posouvání vzhledem k nástroji a zachycení rezných sil vyvolaných nástrojem při obrábění. Obrobek je možno upnout na pracovní stůl, technologickou paletu, či pomocí systému zero point (ZERO CLAMP, více viz. kap. 3.3). Upnutí obrobku, či přípravku musí být dostatečně tuhé, aby zaručilo nehybnost obrobku či upevněného přípravku, nesmí být zároveň deformován upínací silou a nesmí chybět odolnost vůči chvění. Upínání může být mechanické, elektromagnetické, hydraulické či pneumatické. Pneumatická varianta se využívá nejčastěji v sériové výrobě díky rychlosti upínání, odepínání a umožnění vysoké přesnosti výroby [20].

K samotnému upnutí lze tedy vyjmenovat například:

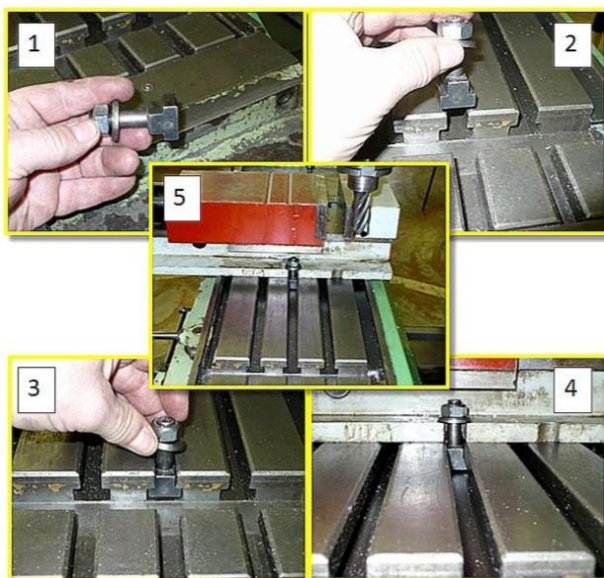
- Strojní svěráky (obrázky 14 a 15)
- Upínky se šrouby a opěrkami (obrázky 16 a 17)
- Upínací úhelníky (obrázek 18)
- Technologické palety (kap. 3.2)
- Zero point systém (kap. 3.3)
- Stavebnicové přípravky (obrázek 19)
- Jiná přídatná zařízení, upínací přípravky a pomůcky pro specifické využití



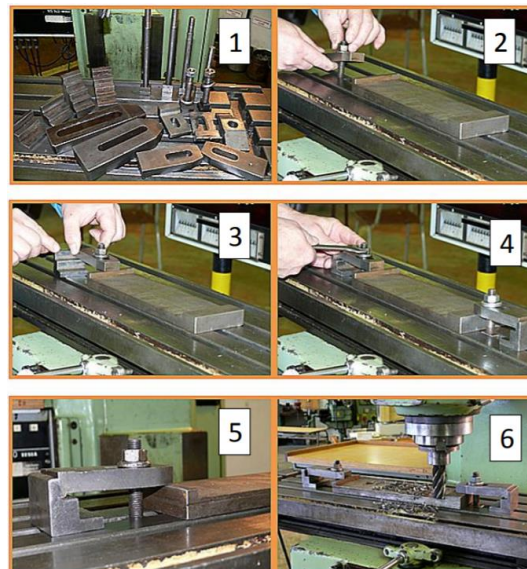
Obrázek 48 - Strojní svěrák [21]



Obrázek 49 - Principy strojních svěráků [21]



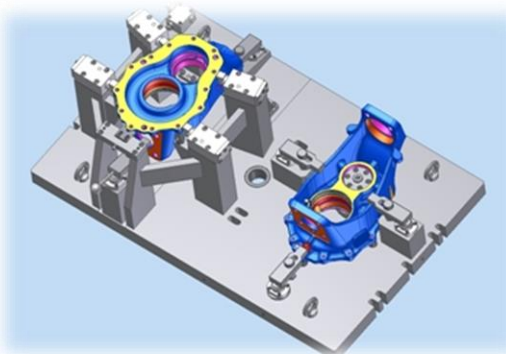
Obrázek 47 - Upínání do stolu s T drážkami pomocí šroubů [21]



Obrázek 46 - Upínání pomocí šroubů a opěrek [21]



Obrázek 45 - Upínání pomocí upínacích úhelníků [20]



Obrázek 50 - Stavebnicový přípravek [20]

3.3.1 Výhody a nevýhody

Při upínání na pracovní stůl je výhodou nenutnost přesunování pracovního stolu do pracovního prostoru stroje. Další výhodou je podstatně nižší cena, oproti modernějším alternativám upínání pomocí technologických palet (kapitola 3.2), či zero point systému (kapitola 3.3). Nevýhodou může být nutné množství přípravků pro upnutí, aby se zajistila možnost upnutí jakéhokoliv obrobku či přípravku. Rychlost a kvalita upínání na stůl pomocí upínek a přípravků mnohdy silně závisí na zkušenostech operátora a časovém tlaku na zaměstnance a může se tedy radikálně lišit. Obecně ovšem platí, že oproti upínání na technologickou paletu a zero point systému je

tato varianta podstatně pomalejší a pomalejší upínání, jakožto vedlejší proces znamená pro firmu ztrátu finančních prostředků. Díky obrovské škále přípravků je možno upnout téměř každý obrobek, pokud firma vlastní potřebný upínací prostředek. Možnost zdrojů upínací síly, jež je zmíněna v úvodu kapitoly, může být také vodítkem pro finální výběr požadovaného přípravku pro upnutí.

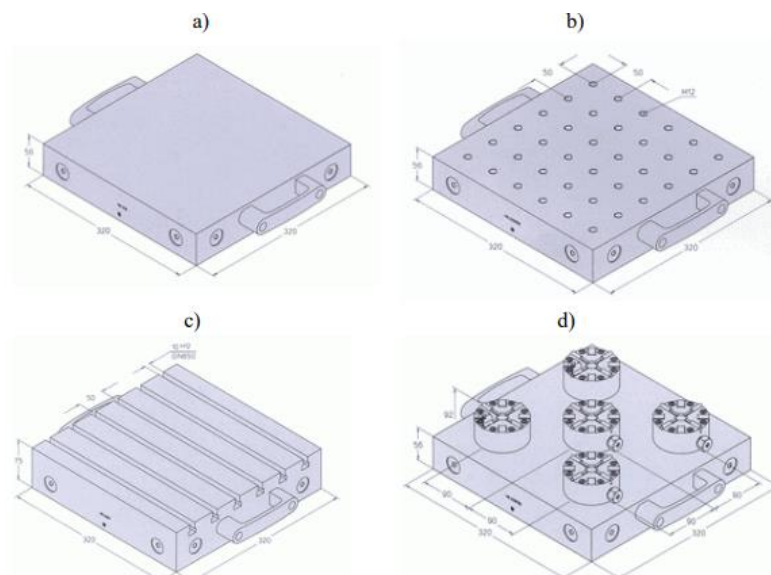
3.4 Technologické palety

Vyvinutá primárně pro využití upínání obrobku mimo pracovní prostor stroje, znamená to tedy, že pracovní stůl je přenesen mimo pracovní prostor stroje a tam je upínán obrobek. Paleta nemusí být využívána ovšem jako prostředek pro upnutí obrobku, ale i pro přípravky, do kterých se obrobek následně upne. Vše záleží na konkrétní situaci, využití a požadavcích zákazníka. Po upnutí se technologická paleta vrací ať už manuálně pomocí člověka (ručně), či automaticky do pracovního prostoru stroje, v závislosti hlavně na hmotnosti a velikosti obrobku. Na technologické palety jsou v současnosti kladeny velmi přísné požadavky, a to především vzhledem k bezpečnosti a funkčnosti.

Velmi důležitá je složitost manipulovatelnosti a rychlost upínání obrobků na jednotlivé palety, na jehož základě se zákazník rozhoduje, jaký systém upínání obrobků využít pro svou potřebu. Neméně důležitým faktorem je vysoká tuhost a splnění požadovaných délkových a geometrických tolerancí samotné palety. Tento prvek je základem automatizování výroby. Výhodou je upínání velké škály obrobků v různých velikostech a hmotnostech. Paletám se také přizpůsobují ostatní automatizační prvky související s paletami, jako jsou dopravníky, manipulátory a skladovací regály.

Upínací část je většinou volena tak, aby co nejvíce odpovídala požadavkům na upínání daného obrobku. Technologické palety mohou mít různé typy ploch, z nichž nejčastější je technologická paleta s T drážkami.

- Hladká (obrázek 20a)* – univerzální provedení palety, často využívané magnetické (neodymové permanentní magnety) upnutí či jiné přípravky. Je vhodné pro broušení i frézování. Neodymový magnet je charakteristický nadměrnou silou na jeho plochu oproti ostatním druhům magnetů.
- Se závitovými otvory (obrázek 20b)* – závitové otvory zajišťují pevnou (nehybnou) polohu obrobku. Tuhost palety je kvůli množství otvorů obsaženém v paletě menší než u hladké. Závitové díry v paletě zvyšují riziko zanesení a poškození palety v místě otvorů se závity, což znemožňuje jednoduchou renovaci závitů a horší podmínky upínání protikusů.
- S T drážkami (obrázek 20c)* – díky T drážkám po celé délce palety se stává paleta do jisté míry vysoce mobilní a obrobek tak lze přesně umístit do téměř jakéhokoliv místa na paletě. T drážky jsou také ovšem negativním důvodem, proč je nutnost z bezpečnostních a funkčních důvodů vyrábět paletu poněkud vyšší než v ostatních případech palet.
- Speciální provedení (obrázek 20d)* – na obrázku je zobrazen jeden z mnoha různých řešení, zde provedení s 5 sklíčovými. Provedení závisí primárně na tvaru, hmotnosti, velikosti a požadavku zákazníka.



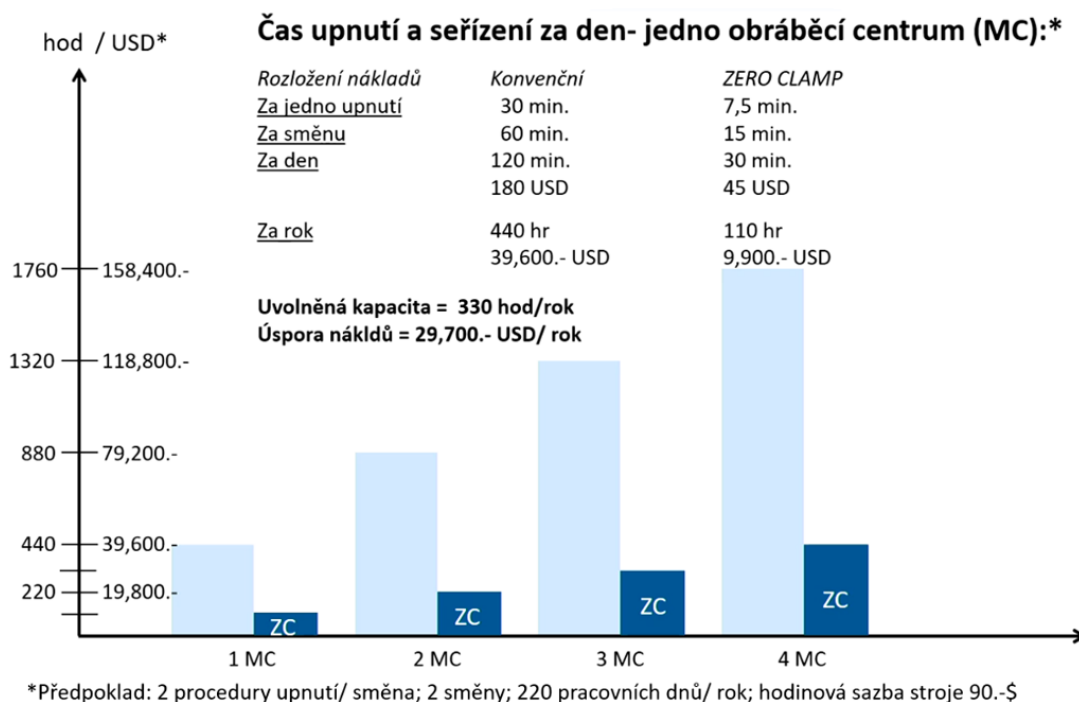
Obrázek 51 - Provedení upínacích ploch u technologických palet [2]

Na palety jsou kvůli funkčnosti a bezpečnosti kladeny vysoké nároky na kvalitu zpracování, což se výrazně projevuje na poměrně vysokých cenách. Tento fakt žene vývoj technologických palet k mezinárodní normalizaci základních připojovacích rozměrů. Znamená to tedy, že drtivá většina výrobců, pokud nepočítáme se speciálními provedeními, vyrábí technologické palety stejných rozměrů, což umožňuje zákazníkům kombinovat palety různých výrobců dle aktuální nabídky technických specifikací.

Mimo zmíněné palety se využívá palet strojních. Tento typ palety vyžaduje také vysoké technické požadavky, zejména tuhost, tuhost upnutí obrobku a přesnost upnutí. U tohoto typu palet je vyžadována vlastní manipulace, zpevnění a opakovaně přesné polohování v pracovním prostoru stroje. Na strojní paletu se obrobek upíná pomocí upínek či šroubů, dle potřeby. U sofistikovanějších palet je upínání konáno pomocí hydrauliky [2][3].

3.5 Zero point systém – ZERO CLAMP

ZERO CLAMP (systém upnutí s nulovým bodem) je moderní alternativou upínání pomocí T-drážek. Moderní systém drasticky snižuje čas přípravy až o 90 %, výměnou za navýšení využitelného času pro výrobu. Tato redukce dokáže ušetřit až 330 hodin ročně v procesu přípravy, což odpovídá přibližně 29 700 eurům, v kontextu s multifunkčním obráběcím centrem. Systém se tak stává jednou z možností navýšení výrobní kapacity pomocí investice do nových technologií, zde optimalizací upínání. Opakovatelná přesnost upínání 2,5 µm tvoří tuto metodu upínání velmi žádanou v různých oblastech průmyslu. ZERO CLAMP obsahuje pouze jeden typ upínacího čepu, čímž se stává systém velmi mobilním ve smyslu oprav, servisů a množství nutných druhů upínacích čepů k upnutí. Ve strojírenském průmyslu se tento systém využívá nejčastěji u frézování, soustružení, ale také na kontrolu kvality. Oproti ostatním metodám není nutno u ZERO CLAMPu nastavovat nulový bod při každém upnutí. Tato metoda vyniká rychlostí, velkou silou a vysokou přesností upínání [1][3].



Obrázek 52 - ZERO CLAMP výhodnost [1]

Konvenční způsob upínání vyžaduje několik jednotek procesů, jež je třeba opakovat k upnutí každého obrobku. K samotnému upnutí tak vede velmi často zdlouhavá posloupnost úkolů, kde každý z nich stojí čas i peníze jak firmu, tak zákazníka, neboť zákazník je v konečném důsledku finální plátcem všech nákladů. Je tedy úkolem dodavatele zakázky, aby uměl nabídnout lukrativní nabídku za cenu, jež se vyplatí oběma stranám. Samotný proces upínání začíná jak v konvenčním způsobu, tak v ZERO CLAMP systému čištěním stolu od železných třísek, prachových částic či jiných nechtěných překážek a částic, jež by mohly bránit korektnímu styku kontaktních ploch stolu s plochami obrobků a přípravků. Díky speciálnímu systému upínání však u ZERO CLAMPu je tento čas redukovaný, neboť stačí vyčistit svrchní plochu a není nutno čistit T drážky, kvůli jejich absenci. Čištění kontaktních ploch přípravků se provádí za stejným záměrem, jako první krok, ovšem zde moderní alternativa upínání nemá vliv na redukci času, a tak je zde není uvedena změna. Po očištění kontaktních ploch stolu, přípravků a obrobků nadchází u konvenční metody upínání matic, vyrovnávání, upínání pomocí šroubů a nastavování nulového bodu. Všechny zmíněné dílčí úkony jsou časově nejnáročnější ze všech procesů v přípravě pro upnutí a platí pouze pro konvenční metody. Pro ZERO POINT

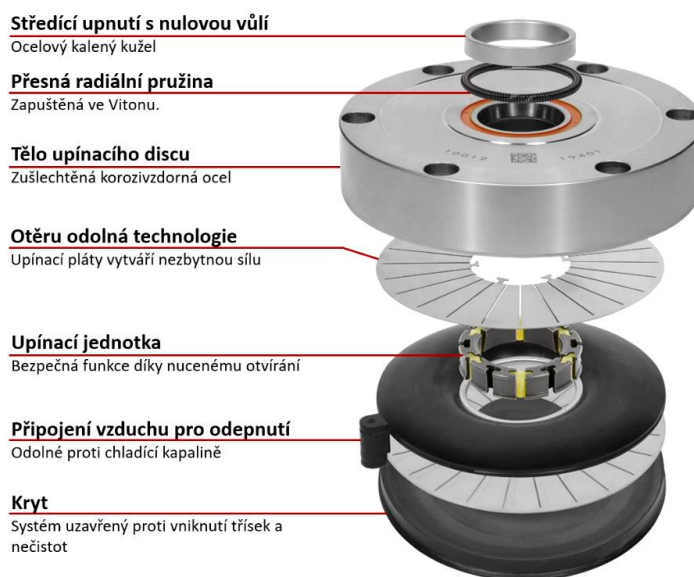
jsou všechny tyto úkony eliminovány vlivem promyšleného konstrukčního řešení, což je důvodem pro nejvyšší podíl redukováného času moderní alternativy oproti stávajícím. Po upnutí je možné jak v klasických metodách, tak v ZERO CLAMP spustit účelný program a po obrobění jej vypnout.

Srovnání dílčích úkonů upínání obrobků		
Číslo kroku v postupu	Konvenční upnutí obrobku	Upnutí ZERO CLAMP
1.	Čištění stolu	Čištění stolu REDUKOVÁNO
2.	Čištění kontaktních ploch přípravků	Čištění kontaktních ploch přípravků
3.	Umístění T matic	ELIMINOVÁNO
4.	Vyrovnání	ELIMINOVÁNO
5.	Upnutí pomocí šroubů	ELIMINOVÁNO
6.	Nastavení nulového bodu (opakované)	ELIMINOVÁNO
7.	Spuštění programu	Spuštění programu
8.	Ukončení programu	Ukončení programu

Tabulka 5 - Rozdíl mezi procesy upínání u konvenčních metod a ZERO CLAMP [1]

3.5.1 Konstrukce

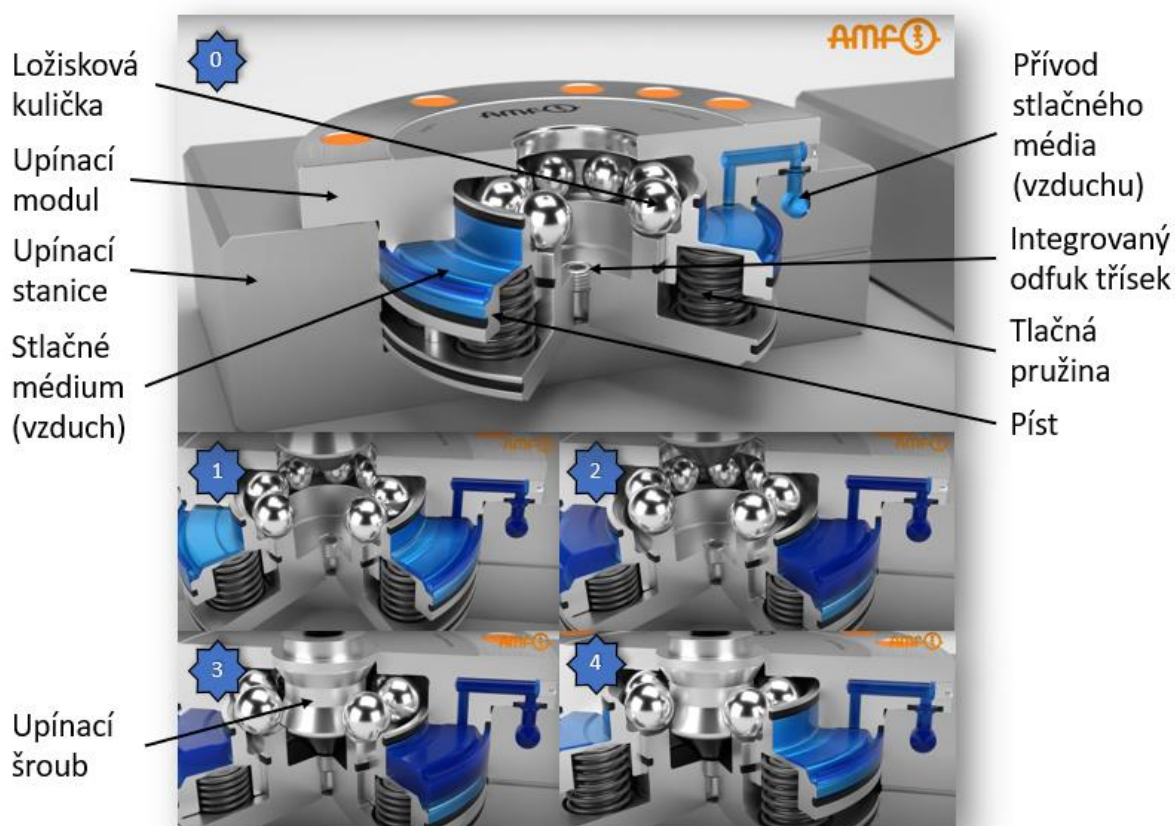
Konstrukce pneumatického ZERO CLAMPu je na první pohled poněkud komplikovaná, vzhledem ke své účinnosti je ovšem velmi promyšlená a efektivní. Pro středění čepu při pevném na přípravku, či samotném obrobku je u systému připraven ocelový kalený kužel s nulovou vůlí a přesná radiální pružina. Tělo upínacího disku se pomocí imbusových šroubů upíná nejčastěji do desky stolu, do něhož se přišroubuje pouze jednou při počáteční montáži. Dále obsahuje upínací pláty, jež pomáhají vytvořit nezbytnou sílu k upnutí. Nechybí upínací jednotka a neméně důležitý vzduchový vak, jež má na starosti stlačení upínací jednotky, jež tlačí na čep, čímž ho zajistí proti vertikálnímu pohybu vůči ose čepu. Vzduch je dodáván externě prostřednictvím pneumatického ventilu. Celý systém je chráněn proti vniknutí třísek a nečistot krytem. Všechny součásti upínacího hrnce jsou o nerezové oceli nebo oceli chráněné proti korozi. Samotná paleta je vyrobena z vysokopevnostního hliníku s povrchovou úpravou.



Obrázek 53 - Popis pneumatického systému ZERO CLAMP [1]

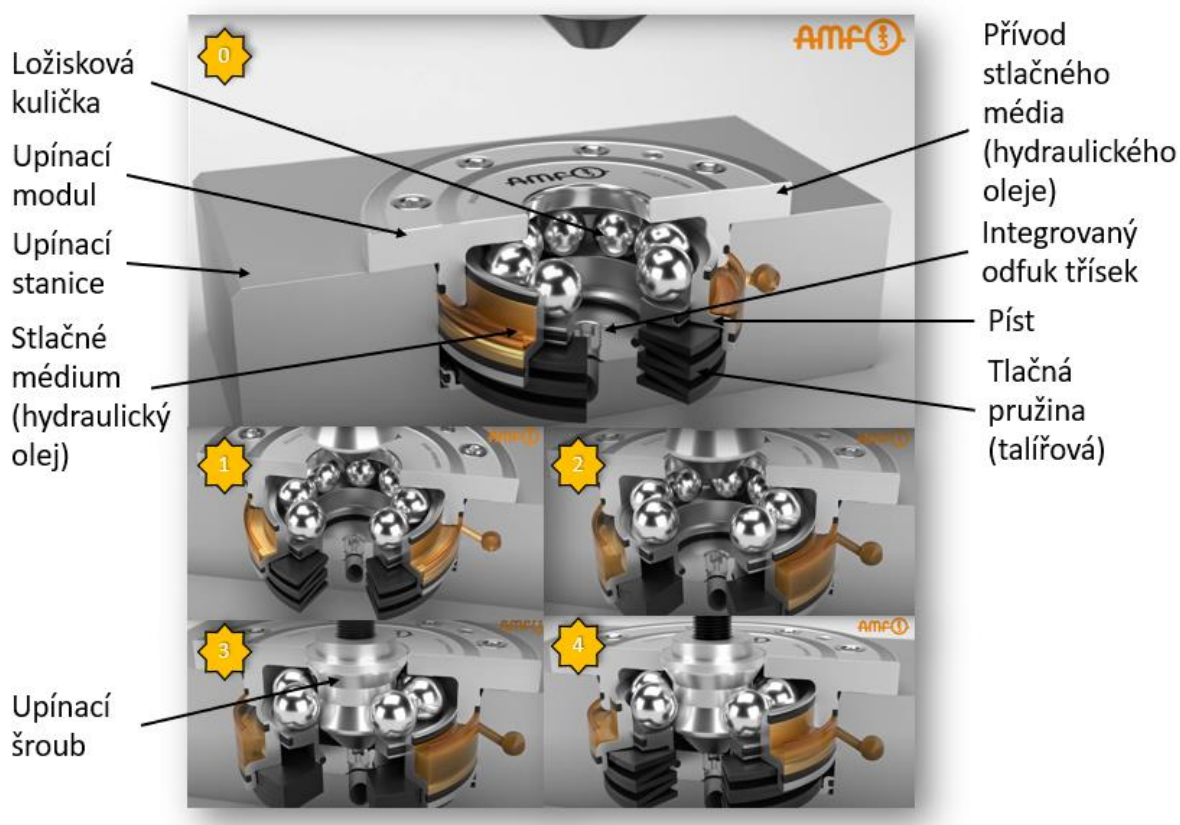
3.5.2 Konkurenční typy

Pneumatický Zero-Point systém, zde firmy AMF CZECH, s.r.o., (dále jen AMF) je napájen vzduchem jak pro upínání, tak odepínání obrobku či přípravku. U pneumatického typu lze vidět na obrázku popis konstrukce (0). V prvním kroku (1) je zařízení v klidovém stavu, bez stlačeného vzduchu a neupnutého upínacího šroubu. Následuje krok (2), kde je pomocí přívodní hadice přiveden pod tlakem přibližně 5 barů vzduch, jenž stlačuje píst ležící na tlačné pružině. Díky nižší pozici (3) pístu mají nyní ložiskové kuličky více prostoru pro pohyb, čímž je umožněn vstup upínacího šroubu. Jakmile je upínací šroub na požadovaném místě, je možné vzduch odsát ven, čímž je píst vyzdvižen směrem vzhůru díky tlačné pružině pod ním. Při kontinuálním pohybu tlačné pružiny a pístu se současně snižuje prostor pro pohyb ložiskových kuliček do doby, kdy mezi ložiskovými kuličkami, upínacím šroubem a pístem není žádný prostor, v tomto momentě je přípravek pevně upnut. Nezbyvá nic jiného, než odpojení pneumatických hadic a pokračování v technologickém postupu daném situací.



Obrázek 54 - Pneumatická varianta systému zero point, AMF [4]

Hydraulická varianta téhož systému je principiálně stejná, rozdíl je ve stlačujícím médiu. Tento typ upínání využívá hydraulický olej, pro odepínání / upínání obrobku či přípravku. U hydraulického typu lze vidět na obrázku popis konstrukce (0). V prvním kroku (1) je zařízení v klidovém stavu, bez stlačeného hydraulického oleje a neupnutého upínacího šroubu. Následuje krok (2), kde je pomocí přívodní hadice přiveden hydraulický olej, jenž stlačuje píst ležící na tlačné pružině. Díky nižší pozici (3) pístu mají nyní ložiskové kuličky více prostoru pro pohyb, čímž je umožněn vstup upínacího šroubu. Jakmile je upínací šroub na požadovaném místě, je možné olej odsát ven, čímž je píst vyzdvižen směrem vzhůru díky tlačné pružině pod ním. Při kontinuálním pohybu tlačné pružiny a pístu se současně snižuje prostor pro pohyb ložiskových kuliček do doby, kdy mezi ložiskovými kuličkami, upínacím šroubem a pístem není žádný prostor, v tomto momentě je přípravek pevně upnut. Nezbyvá nic jiného, než odpojení hydraulických hadic a pokračování v technologickém postupu dané situací.



Obrázek 55 - Hydraulická varianta systému zero point, AMF [4]

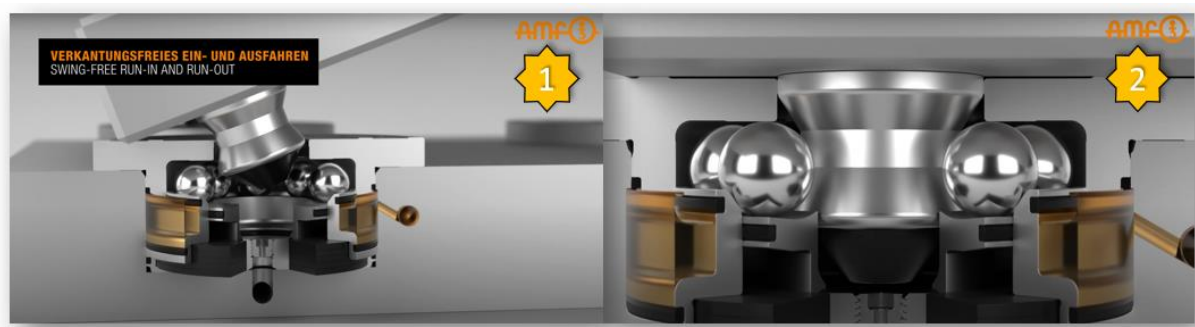
3.5.3 Výhody a nevýhody

Jak již bylo zmíněno, časová redukce ZERO CLAMP systému je velmi značná. Výrobci udávají různé hodnoty, jež se všechny pohybují nad 90 %. Konkrétně AMF udává z 30 minut přípravy jedné procedury čas s ZERO CLAMP redukován na pouhé 2 minuty. Při 8. hodinové směně, kdy je čas na přípravu 120 minut, potřebuje alternativní systém 8 minut, což dělá rozdíl celých 112 minut a výsledný přípravný čas má obrovský vliv na zvýšení efektivity a produktivity výroby. Cena nákladů bez zero-point clamping systému je stanovena na 50.000 eur za 1 pracovní rok (250 pracovních dní, 8. hodinové směny). Úspora nákladů při stejném časovém okruhu je 46.750 eur, čímž se dostává alternativa upínání na hodnotu 3.250 eur (6,5 %) [5].

Kuželovitý tvar upínacího šroubu tvoří výhodu vkládání do upínacího modulu, jehož díra střídá upínací šroub díky zmíněnému tvaru, viz obrázek níže.

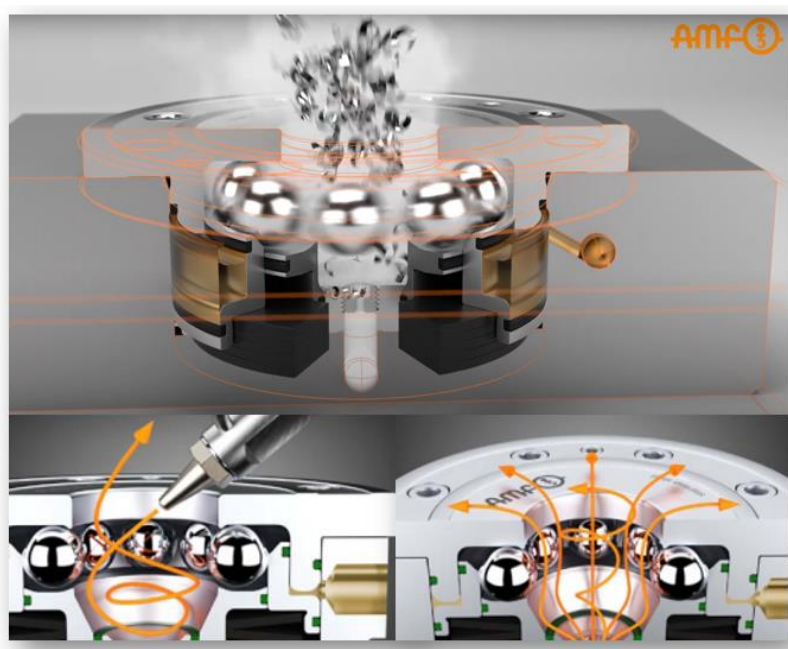


Obrázek 56 - Středění upínacího šroubu, zero-point systém AMF [4]



Obrázek 57 - Středění upínacího šroubu 2, zero-point systém AMF [4]

Odvod třísek je u moderní alternativy upínání umožněn dvěma způsoby. Integrovaná pneumatická tryska v dolní části upínacího modulu nebo manuálně odfukem z horní části. Díky absenci ložiskové klece je odstraňování třísek z prostoru mezi ložiskovými kuličkami mnohem jednodušší.



Obrázek 58 - Odfukování třísek, zero-point systém AMF [4]

4 SIMULACE PŘÍPADOVÝCH STUDIÍ

Zadáním závěrečné práce bylo vyhotovení 3 případových studií verifikující předložené předpoklady. Jejich finální počet byl finálně navýšen o 1, kdy první je případová studie současného layoutu, jež existuje a podle něho probíhá fyzicky výroba v Lipníku nad Bečvou. Další případové studie (druhá, třetí a čtvrtá) jsou autorovy návrhy.

Druhá případová studie se věnuje univerzálnosti výroby pomocí jednoho multifunkčního centra, jež je primárně určeno pro kusovou a malosériovou výrobu. Výhodou je ovšem univerzálnost využití.

Třetí případová studie se zabývá paralelní dvojicí lineární linky. Výrobní linky, jak je zmíněno v kapitole 2.3, slouží primárně pro velkosériovou výrobu. Zde je dokonce využita jednoúčelovost linky, jež slouží k navyšování výkonu samotné linky, ale potlačuje tak její univerzálnost.

Čtvrtá případová studie je zaměřená na změnu aktuálního stavu výrobního podniku pomocí daných kroků zmíněných v příslušné kapitole tak, aby byl výsledek prakticky využitelný pro podnik.

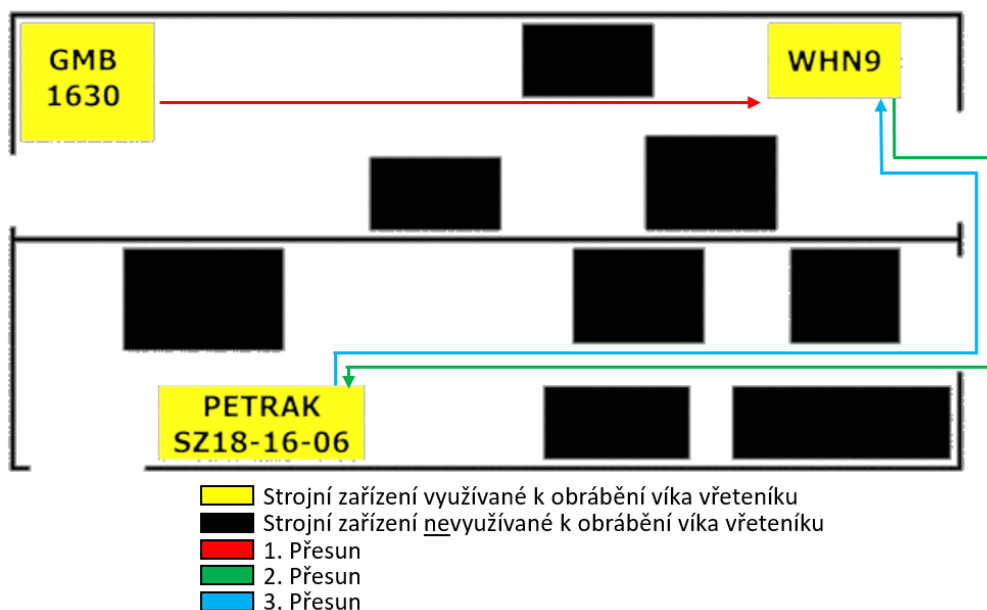
Případové studie, jako celek potom slouží k vytvoření podnětu o tom, jaké modifikace jsou vhodné pro výrobní podnik, jež se zabývá kusovou výrobou a jaké modifikace vhodné naopak nejsou.

4.1 První případová studie – současný stav výrobního podniku

Současně se výrobní závod, lokalizovaném v Lipníku n. Bečvou (jednou z poboček FERMATu), orientuje převážně na výrobu obráběcích strojů pro zbrojní průmysl. V minulosti převažovala poptávka po strojích určených pro stavební průmysl. Flexibilní orientaci si ovšem firma musí neustále udržovat kvůli častým změnám poptávky ve světě. Zmíněný výrobní závod několik desítek kilometrů, jihovýchodně od Olomouce obsahuje několik výrobních hal, z nichž jsou 2 částečně využívány na výrobu zadaného obrobku víka vřeteníku. Po několika osobních návštěvách poboček jak v Brně, tak v Lipníku n. Bečvou autor dospěl k několika závěrům.

4.1.1 Současný layout výrobního podniku

Rozmístění strojů, vzájemná návaznost vzhledem k polohám těchto strojů není pro obrábění zadaného polotovaru zdaleka ideální. V halách se objevují prostorové mezery mezi stroji, jež dosahují vzdáleností až 40 metrů. Důvod tohoto rozmístění nebyl lokálními vedoucími pracovníky nijak vysvětlen, a tak jediný logický závěr je postupné umístění strojů dle aktuálních možností v době pořizování daných strojů. Prostor je využíván částečně jako skladní prostor, ve kterém nejsou výrobky neoptimálně uloženy mnohdy ani na dřevěných paletách a není tak využito možných tradičních skladových regálů pro úsporu prostor a možnosti skladování ve více výškových úrovních (viz kapitola 2.4). Kvůli nedostatku času a pracovníků, jež by se těmito problémy věnovali, výrobní podnik neuvažuje o razantních změnách, navzdory očividnému přínosu. V layoutu níže jsou zobrazeny žlutě stroje, jež jsou pro obrábění zadaného polotovaru víka využívány, zbytek jsou stěny hal a ostatní stroje, jež pro tento obrobek nejsou relevantní.



Obrázek 59 - Výrobní layout závodu Lipník n. Bečvou

Obrobek je prvotně obráběn na portálové frézce GMB 1630, ze které je přesunut na vyvrtávačku WHN9, po té na brusku PETRAK SZ18-16-06 a zpět na WHN9, kde je strojní výroba ukončena. Většina závitů a děr je zde řezáno manuálně, kvůli potenciálnímu zlomení závitníků a následnému poškození obráběného kusu. Z obrázku je značné, že logistika obrobku mezi stroji je dosti komplexní. Kvůli aktuálnímu rozložení strojů do dvou hal může nastat situace, kdy nebude možné obrobek přepravit ze stroje na stroj. Například kvůli nevhodně uloženým jiným obrobkům, jež mohou stát v cestě. Dalším negativním faktorem je příliš velká vzájemná distance strojů.

4.1.2 Současný technologický postup obrábění víka vřeteníku

Výrobní podnik využívá pro vrtání děr a řezání závitů menších průměrů manuální práce operátorů a to zejména kvůli obavám z lámání závitníků a vrtáků vlivem nedostatečně optimalizované výroby pro víko vřeteníku. Údajný vyráběný počet 80 kusů ročně není dostatečnou motivací pro změnu v technologických procesech pro tento obrobek. Manuálním řezáním závitů se značně výroba časově prodlužuje a nemusí být vždy kvůli přítomnosti lidského faktoru správným směrem výroby. Za zmínku stojí také časová i finanční redukce pro obrábění jiných komponent portfolia firmy, jež by optimalizací technologických procesů obrábění pro víko vřeteníku dosáhli. Zejména díky uvolnění kapacit strojních zařízení pro jiné zakázky. Samotná doba seřizování se skládá z kalibrace nástrojů, výměny nástrojů, upínání obrobků. Časy zobrazené níže v tabulce jsou orientační a kvůli firemnímu know-how nebyly sepsány detailněji. Z tabulky uvedené níže lze vyvodit závěry, že technologický postup současného stavu není ideálně strukturován, primárně kvůli vysokým seřizovacím časům, vrtání děr a řezání závitů malých $\varnothing$ manuálně.

Současný technologický postup					
Pořadí operace	Stroj	Typ obrábění	Doba obrábění [min]	Doba seřizování [min]	Doba přesunu [hod]
1	GMB1630	Frézování v 1. poloze	90	60	0
2	GMB1630	Frézování v 2. poloze	90	60	0
3	WHN9	Vyvrtávání	267	160	15
4	PETRAK SZ18-16-06	Dokončování	10	63	15
5	WHN9	Vyvrtávání	100	160	15
6	Manuálně	Odjehlení	24	36	15
7	Manuálně	Značení štítkem	0	0	0
8	Manuálně	Vrtání děr a řezání závitů menších Ø	200	50	15
Čas celkem [min]			781	589	75
			Σ1445		

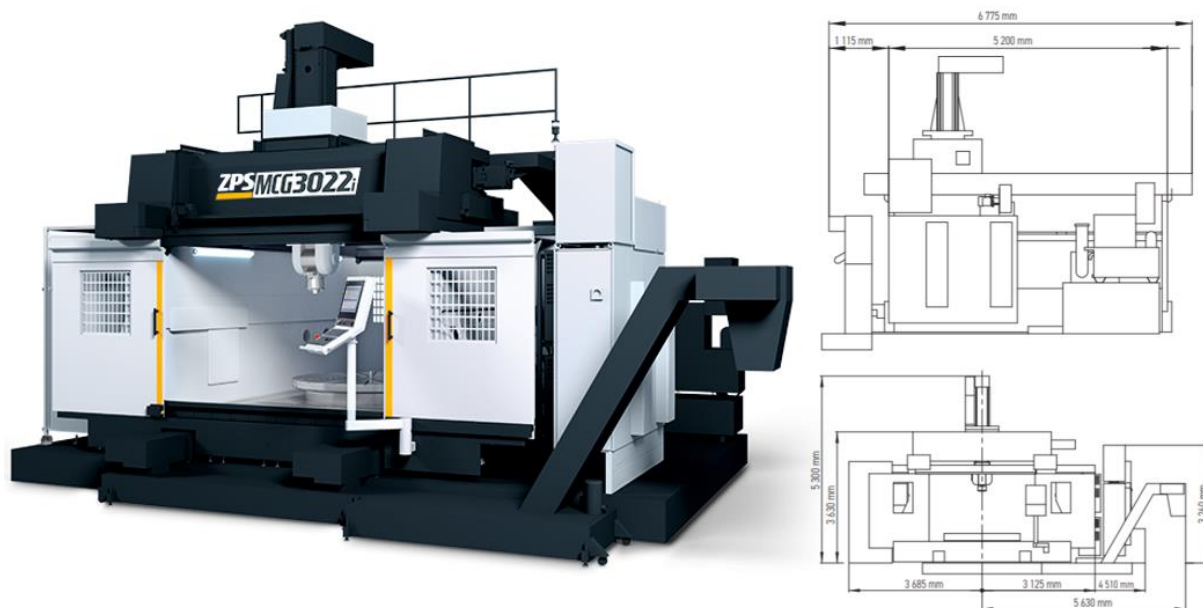
Tabulka 6 - Současný technologický postup

Pro samotné upínání využívá firma tradičních ručních upínek, zmíněných v kapitole 3.3. Výrobní podnik si je vědoma o mezeře v upínacích systémech (časové, bezpečnostní i rychlostní), což bylo podnětem pro realizaci jakékoliv změny vedoucí k významnému zlepšení v tomto směru. Samotné upínání obrobků probíhá za omezených podmínek, a to i za přítomnosti zkušeného operátora, který ví, ve kterých místech obrobek upnout a ví, jaké upínky k tomu využít. Upínání obrobku zabírá přibližně 75 % času z uvedené doby seřizování u GMB1630, dále bude uvažováno tedy s upínacím časem 45 minut. Může nastat ovšem situace, kdy bude potřeba nahradit zaměstnance jiným a v tomto případě je učení upínání daného obrobku komplexní proces. Změna vypsána ve čtvrté případové studii toto riziko zcela eliminuje univerzálností využitím navrženého upínacího systému.

4.2 Druhá návrhová případová studie – ZPS MCG3022i

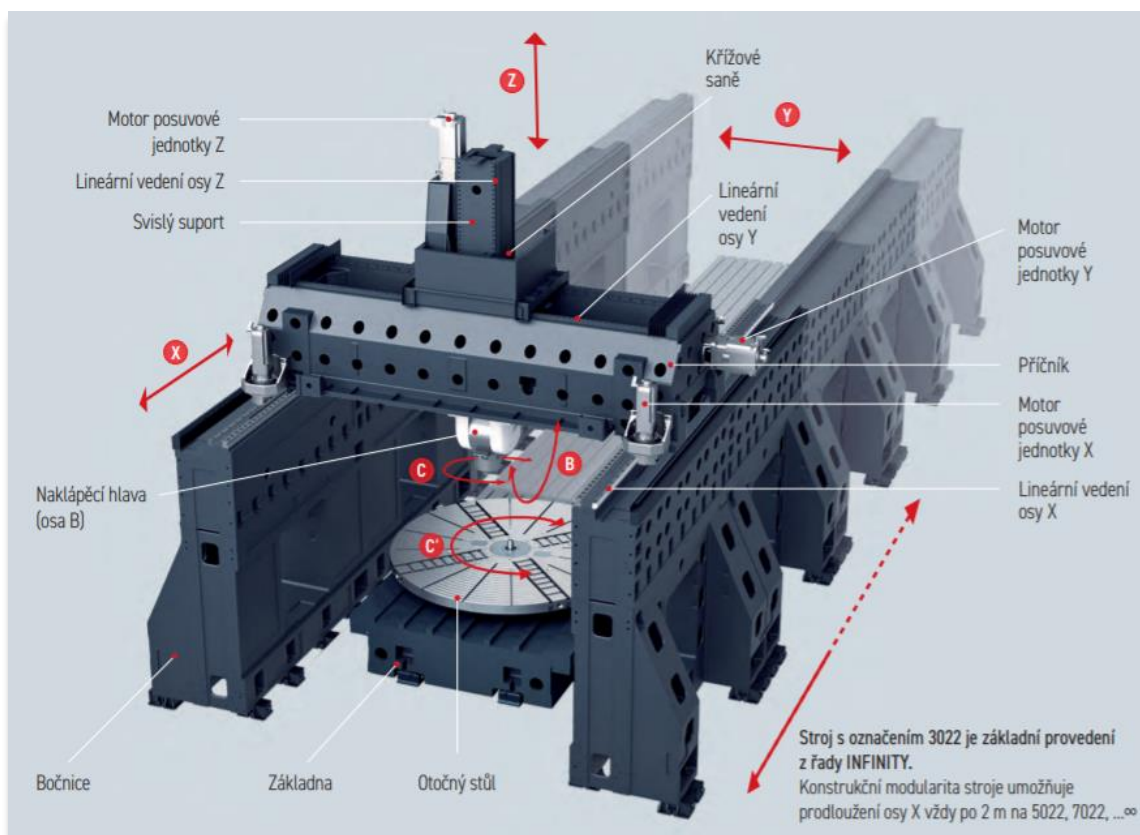
4.2.1 Představení samotného ZPS MCG3022i

ZPS MCG3022i je multifunkční obráběcí centrum, představující jednu z moderních alternativ obrábění od profesionálního výrobce TAJMAC-ZPS, a.s. Zlín. Zmíněné multifunkční obráběcí centrum je vysoce produktivní stroj určený pro obrábění hmotnostně těžkých a rozměrově větších výrobků. Je schopno si poradit i s technologicky, tvarově složitých dílců z šedé litiny, oceli a slitin lehkých kovů. Centrum umožňuje technologické operace, jako je frézování, vrtání, vystružování, závitování a také soustružnické operace (např.: soustružení vnitřních či vnějších ploch, čelní soustružení apod.). Veškeré funkce stroje jsou řízeny CNC řídicím systémem, který umožňuje obrábění prostorově složitějších dílců, jejichž trasu obrábění sleduje dle výstupu z 3D CAD modelu.



Obrázek 60 - Multifunkční obráběcí centrum ZPS MCG3022i [22]

Konstrukce stroje je tvořena portálem typu horní gantry, jehož rám se skládá ze dvou sad bočnic a základny. Bočnice a základna otočného stolu, resp. pevný stůl jsou uloženy na stavitelných klínech a jsou připevněny k betonovému základu. Po horní straně bočnic, v podélném směru, se pohybuje příčník, jakožto osa X. V příčníku se pohybují křížové saně se svislým suportem (box in box) v příčném směru osa Y. Osa Z se pohybuje ve vertikálním směru na svislém suportu, kde může být osa osazena různými typy hlav s elektro vřetenem, fixním elektro vřetenem nebo soustružnickým adaptérem. Pohyby všech 3 os jsou vedeny na lineárním vedení. Jejich dimenzování dovoluje využívání obrobků vyšších hmotností, zachování vysoké přesnosti obrábění a kvalitu povrchu obrobku i při přerušovaném řezu. Odměřování polohy os je prováděno přímo absolutními lineárními odměřovacími jednotkami. Upínací plocha kruhového, otočného stolu dosahuje rozměru Ø2100 mm, což je dostačující prostor pro upnutí zadaného dílu této závěrečné práce. ZPS MCG3022i vyžaduje zástavbovou plochu o rozměrech 63,1m². Cena takového stroje byla na vyžádání autora stanovena výrobcem na 892 000 € (22 959 095 Kč) včetně montáže. Multifunkční centrum přináší výhodu dodávky kompletního hotového výrobku, jež není třeba obohacovat i další speciální konstrukce či modifikace. Jediná dodatečná věc je tedy nakoupení příslušných nástrojů na obrábění víka. Jak bude stanoveno v další kapitole 4.1.3 o lineárním layoutu, jsou náklady na nástroje stanoveny na 185 905 Kč, čímž se celkové náklady na stroj s nástroji zvýší na 23 145 000 Kč [22].



Obrázek 61 - Konstrukční řešení multifunkčního obráběcího centra ZPS MCG3022i [22]

4.2.2 Technické parametry ZPS MCG3022i

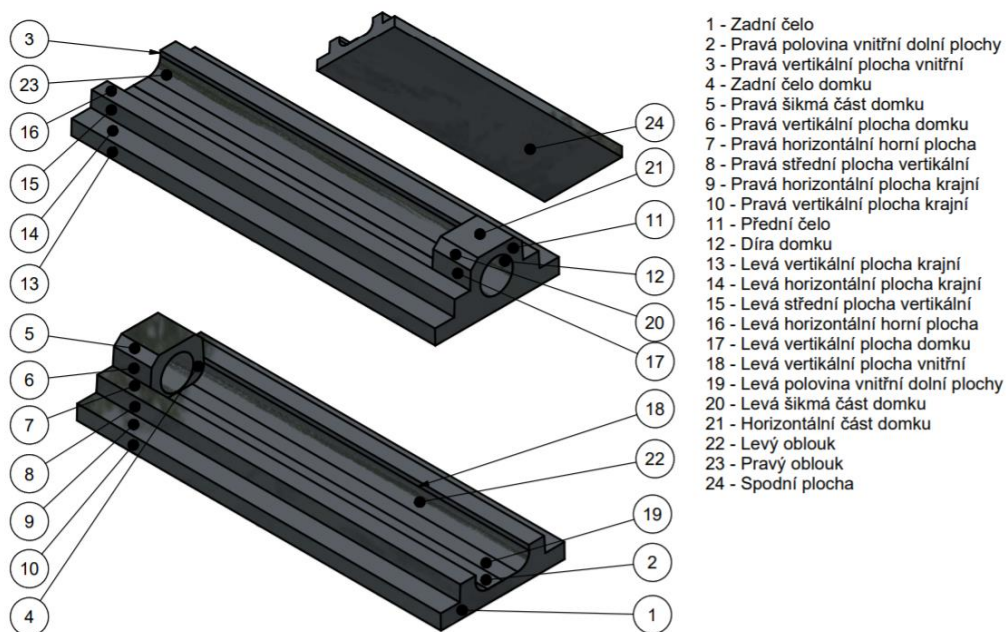
Vybrané technické parametry ZPS MCG3022i	
Upínací rozměry	Ø2100 (4000x2000) mm
Maximální zatížení	10000 kg/m ²
Počet míst v zásobníku nástrojů	128
Max. délka nástroje	615 mm
Čas výměny nástroje	3,5 s
Hmotnost stroje	55 000 kg
Osa X	3000 mm
Osa Y	2250 mm
Osa Z	1050 mm
Pracovní posuv os	50 000 mm/min
Celkový příkon	90kVA (72kW)

Tabulka 7 - Výpis vybraných technických parametrů ZPS MCG3022i [22]

Standartně se ZPS MCG3022i dodává s vřetenovou jednotkou HSK-A100, dopravníkem třísek, chlazením nástroje osou vřetena vzduchem a kapalinou, kompletní krytování pracovního prostoru, automatickým zásobníkem nástrojů, vibrodiagnostikou a vnějším chlazením stroje. Dále se dá volitelně stroj vybavit mimo jiné nástrojovou sondou, obrobkovou sondou, soustružnickou hlavou, chlazením olejovou mlhou, dálkovou diagnostikou. Strojní zařízení tak se svými rozměry a funkcionalitou patří mezi sofistikovanější kus. Nutno podotknout, že i přes svou hmotnost není třeba stroj zabudovávat do podlahy, jako tomu u některých strojů je [22].

4.2.3 Technologický postup pro obrábění víka vřeteníku

Vytvoření neexistujícího technologického postupu pro obrábění víka vřeteníku na multifunkčním stroji je komplexní záležitost vyžadující povědomí o možnostech samotného stroje, rezných vlastnostech nástrojů, detailní popis obráběného dílce, jeho materiálu a reálné využití dílce (pro různé možnosti upnutí). Vytvoření takového technologického postupu začalo vypsáním všech potřebných ploch o obrobení. Obrobení v tomto případě zahrnuje frézování, dokončování, vrtání děr a řezání závitů. S celkovým počtem 312 děr různých průměrů a 24 ploch k obrobení byl tento úkol z hlediska správného pořadí operací a určení jednotlivých hlavních časů společně s vedlejšími dosti složitý úkol. Pomocí určení rezných nástrojů, obráběného materiálu a velikosti odběru třísek bylo vypočteno softwarem ToolScout hodnoty uvedené níže. Vzhledem k počtu děr a jejich nepřehlednosti znázorněných na ilustracích je detailní obrázek děr a děr se závity vynechán, technologický postup je ovšem zanechán a ilustrační obrázek děr je zobrazen v kapitole 3, kde je popisován obrobek detailněji. Jak byly určovány vedlejší časy, je popsáno pod tabulkami s technologickým postupem [36].



Obrázek 62 - Označení jednotlivých ploch víka vřeteníku určených k obrobení

Frézování a dokončování						
Pořadí operace	Označení nástroje*	Obráběná plocha	Čas obrábění [s]	Vedlejší čas [s]*	Řezný výkon [kW]	Počet otáček [1/min]
0	U	UPNUTÍ		2 700		
1	F1	Zadní čelo	39,2	5,5	12,7	2550
2		Pravá vertikální plocha krajní	94,2	1	12,7	
3		Pravá horizontální plocha dolní	152,1	1	3,7	
4		Pravá střední plocha vertikální	94,2	1	12,7	
5		Pravá horizontální horní plocha	101,4	1	3,7	
6		Pravá vertikální plocha vnitřní	26,6	1	3,7	
7		Pravá vertikální plocha domku	12,2	1	3	
8		Vnitřní dolní plocha	313,2	1	17,5	
9		Zadní čelo domku	22,8	1	4,7	
10		Levá vertikální plocha vnitřní	26,6	1	3,7	
11		Levá horizontální plocha horní	101,4	1	17,5	
12		Levá střední plocha vertikální	94,2	1	12,7	

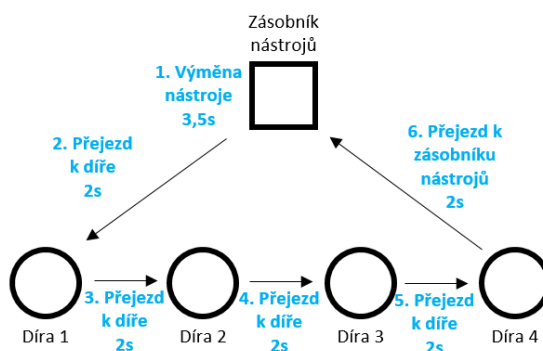
13		Levá horizontální plocha dolní	152,1	1	3,7	
14		Levá vertikální plocha krajní	94,2	1	12,7	
15		Levá vertikální plocha domku	26,6	1	3,7	
16		Levá šikmá část domku	12,3	1	6,5	
17		Horizontální část domku	30,3	1	11,7	
18		Pravá šikmá část domku	12,3	1	6,5	
19		Pravá vertikální plocha domku	26,6	1	3,7	
20		Přední čelo	76,8	1	11,7	
21		Díra domku	33,1	1	12	
22	F4	Levý oblouk	156,6	7,5	2,2	
23		Pravý oblouk	156,6	3	2,2	
0	U	UPNUTÍ		2700		
24	D1	60xØ7 hl. 35 mm (pro M8)	27,6	125,5	0,1	1140
25	D2	8xØ9 hl. 32 mm (pro M10)	26,1	21,5	0,2	884
26	D3	60xØ10,2 hl. 1 mm	3,2	125,5	0,3	780
27	D4	8xM10 hl. 25 mm	2,4	21,5	0,6	477
28	D5	60xM8 hl. 30 mm	27,8	125,5	0,5	597
29**	F5	Spodní hrana	70,1	603,5	22	955
30	D6	1xØ7 hl. 20 mm (pro M8)	17	7,5	0,1	1140
31	D17	4 x Ø8 hl. 31 mm	81,1	11,5	0,2	597
32	D22	2x Ø8 hl. 29 mm	38,2	6	0,2	597
33	D23	2x Ø8,5 hl. 15 mm (pro M10)	22,8	9,5	0,2	936
34	D7	2xØ9 hl. 20 mm (pro M10)	31,3	9,5	0,2	884
35	D8	4xØ10,2 hl. 30 mm (pro M12)	41	11,5	0,3	780
36	D24	4xØ10.2 hl. 31 mm (pro M12)	41	8	0,3	780
37	D25	1xØ10.2 hl. 10 mm (pro M12)	10,3	2	0,3	780
38	D26	2xØ10.2 hl. 25 mm (pro M12)	20,5	6	0,3	780
39	D19	4x Ø12 hl. 31 mm	78,7	13,5	0,5	663
40	D20	2x Ø14 hl. 29 mm	44	7,5	0,5	568
41	D12	24x Ø14 hl. 31 mm	559,2	30	0,5	568
42	D14	4x Ø17,5 hl. 77 mm (pro M20)	157,6	11,5	1,1	455
43	D15	2x Ø17,5 hl. 29 mm (pro M20)	31	6	1,1	455
44	D13	2x Ø21 hl. 29 mm (pro M24)	38,2	7,5	1,4	379
45	D16	2x Ø21 hl. 31 mm (pro M24)	40,4	6	1,4	379
46	D21	2x Ø22 hl. 13 mm	22,8	7,5	1,4	362
47	D27	8x Ø22 hl. 13 mm	91,2	16	1,4	362
48	D28	8x Ø22 hl. 13 mm	91,2	16	1,4	362
49	D29	8x Ø22 hl. 13 mm	91,2	18	1,4	362
50	D18	2 x Ø25 hl. 31 mm	35	9,5	2	318
51	D9	1xM8 hl.15 mm	1,7	7,5	0,5	597
52	D10	2x M10 hl. 15 mm	3	7,5	0,6	477
53	D34	2x M10 hl. 15 mm	3	6	0,6	477
54	D35	4x M12 hl. 31 mm	12,8	11,5	0,8	398
55	D36	1x M12 hl. 10 mm	1,4	2	0,8	398
56	D37	2x M12 hl. 25 mm	4,8	4	0,8	398
57	D11	4xM12 hl. 20 mm	8,8	10	0,8	398
58	D31	4x M20 hl. 77 mm	26,8	11,5	1,7	239
59	D32	2x M20 hl. 29 mm	7	6	1,7	239
60	D30	2 x M24 hl. 29 mm	7	7,5	2,4	199
61	D33	2x M24 hl. 31 mm	7,4	6	2,4	199
Celkový čas obrábění [s] Celkový vedlejší čas [s]			3 680	6 759		
Celkem [s]				10 439		

*Zahrnující časy posuvu a výměnu nástroje, **Před obráběním pomocí F5 je nutno přepnout polotovár, aby bylo jej možné obrábět z druhé strany.

Čas obrábění v tabulce výše je čas vrtání a řezání závitů veškerého uvedeného počtu děr či závitů na daném řádku. Vedlejší čas je zobrazení doby výměny nástrojů a doby přejezdů mezi dírami. Výměna nástroje trvá 3,5 sekund a optimistické 2 sekundy značí dojezd po výměně nástroje k díře, další 2 sekundy výjezd z díry k výměně nástroje. V případě, že se jedná o vrtání více děr, jsou přidávány 2 sekundy, jako přejezd od díry k díře. Pro lepší orientaci slouží následující příklad: Operace č. 31 obsahuje 4 díry Ø8 hloubky 31 mm. Vyvrtat jednu díru trvá 20,3 s. Čas čistého vrtání 4 děr je tedy 81,1 s. Před vrtáním průměru těchto děr je třeba vyměnit vrták, což zabere 3,5 sekund. Po výměně nástroje se vřetenem pohybuje směrem k určené díře, tento čas je stanoven na 2 sekundy. 2 sekundy jsou také přiřazeny přejezdům mezi jednotlivými dírami a jako přejezd od díry k další výměně nástroje. Lze tedy matematicky psát:

$$\text{Vedlejší čas} = \text{čas výměny nástroje} + (\text{počet děr} + 1) \cdot 2 = 3,5 + 5 \cdot 2 = 13,5s$$

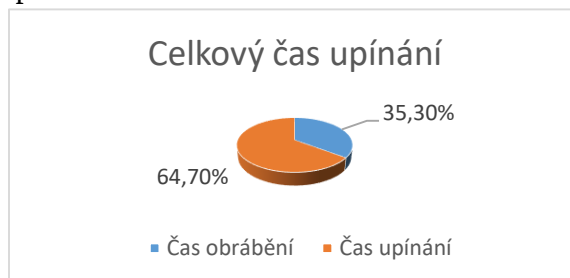
Graficky vyjádřeno:



Obrázek 63 - Grafické znázornění pohybu vřetená

V tabulce se také objevují díry stejného průměru i stejných hloubek u kterých není nutno počítat čas výměny nástroje, či čas přejezdu k zásobníku nástrojů. Operace nejsou sloučeny záměrně, kvůli synchronizaci a přehlednosti s danými nástroji v lineárním layoutu. Jedná se například o operace 46 a 47, jež se liší v lineárním layoutu pouze označením D21 A D27.

Varianata využití multifunkčního obráběcího centra se tak jeví časově výhodnější z hlediska samotného času obrábění, než současný stav. Cena obráběcího centra ovšem nevyhovuje předpokladům investice výrobního podniku a je třeba brát v potaz univerzálnost současného stavu oproti samotnému multifunkčnímu obráběcímu centru. Zatímco v současném stavu mohou využívat střídavě 3 strojní zařízení využívané k obrábění víka vřeteníku, při využití zmíněného obráběcího centra by se jednalo o zatížení stroje po celou dobu výroby víka vřeteníku, bez možnosti obrábět jiné komponenty. Tento fakt není na první pohled zřetelný, je ovšem nutno brát na něj ohled. Čas upínání zde byl ponechám stejný, jako v současném stavu, tedy upínání pomocí ručních upínek, čímž se ovšem negativně ovlivňuje celkový obráběcí čas, kvůli nadměrnému upínacímu času. Samotný čas obrábění tak znázorňuje 35,3 % celkového času, zahrnující upínací časy, což je dosti výstražné. Celkové zhodnocení případové studie s ostatními situacemi je v kapitole 5.



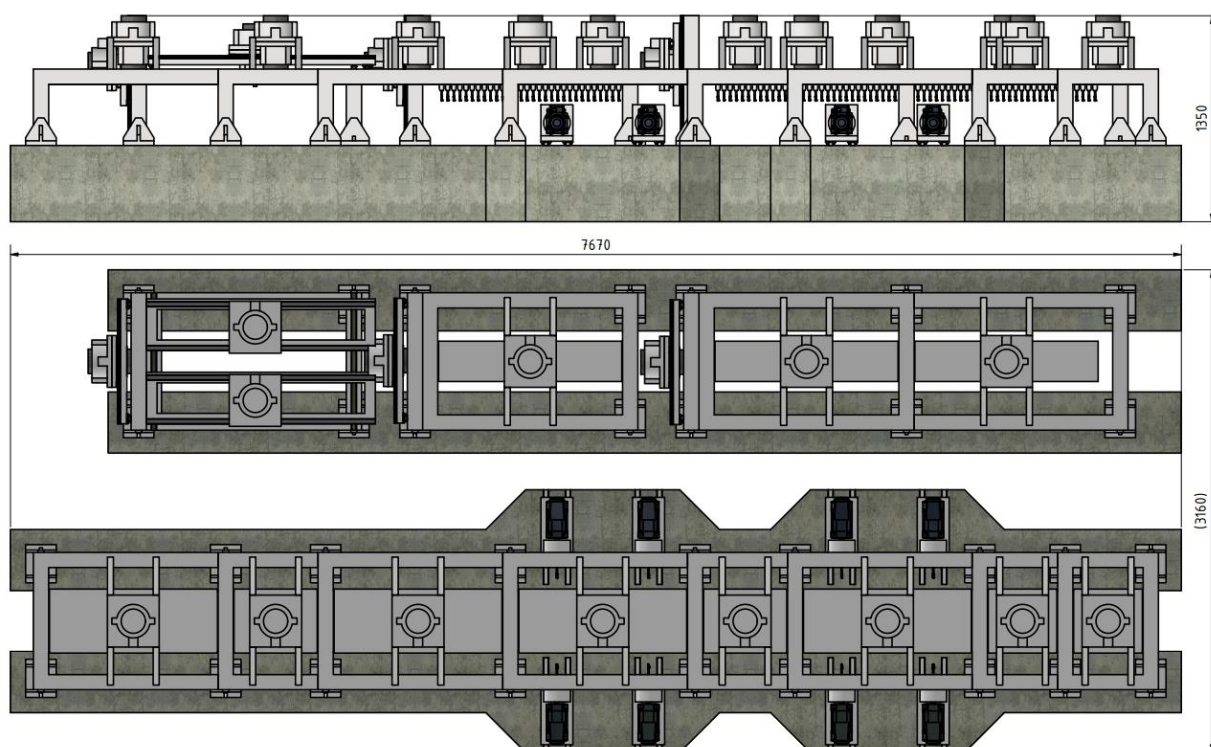
Obrázek 64 - Poměr času obrábění a upínání

4.3 Třetí návrhová případová studie – lineární layout

Případová studie byla vytvořena na míru předloženému obrobku, jakožto dvojice paralelních jednoúčelových linek. Tvar linek je lineární. Obsahuje 12 úseků zajišťujících veškeré potřebné technologické operace (frézování, dokončování, vrtání a řezání závitů) pro obrobek víka vřeteníku. Umisťování objektů na dopravník je zajišťováno pomocí již zmiňovaného Zero Clamp (Zero Point System), jež redukuje vedlejší čas, zde tedy čas upínání ve fázi příprav, o 90 %. Časy příprav jsou odečteny na základě reálných současných hodnot upínání z kapitoly 4.1 (současný stav výrobního podniku). Zvolena varianta ZERO CLAMPu byla zde z důvodu plynulé návaznosti výroby. Za pomoci upínání tradičními upínkami, jako je v případě současného stavu a v případové studii s multifunkčním obráběcím centrem, by byl čas upínání natolik dlouhý, že by linka nebyla schopná plynule udávat hotové výrobky, ale čekalo by se neustále na upnutí. Pomocí ZERO CLAMPu, jež zabírá nepatrnou časovou hodnotu upínání je tak možné upnout obrobek dříve, než je možno ho zaslat na linku, což by v opačném případě mělo zmíněný negativní efekt. Cena upínací desky s komponenty byla převzata z čtvrté případové studie, zahrnuta do celkové ceny výrobní linky a částečně ponížena, aby odpovídala rozměrům víka vřeteníku, hmotnosti a rozměrům linky.

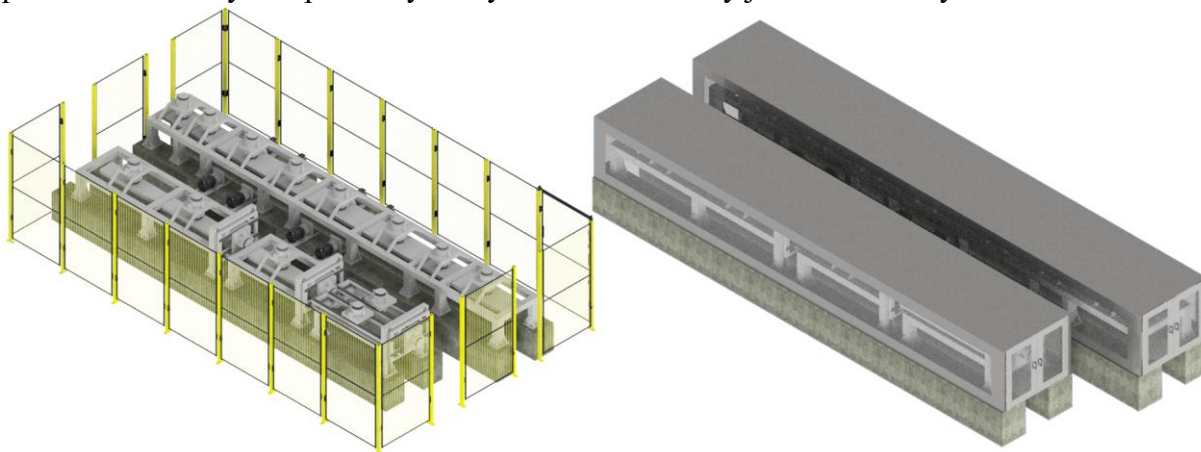
4.3.1 Projekční řešení výrobní linky

Rozměry navrhovaného layoutu vychází na 7670 mm na délku, 3160 mm na šířku a 1350 mm na výšku. Je nutno podotknout že rozměry jsou pouze projekčně orientační a reálné hodnoty se mohou lišit. Dvojice linek tak zaujímá plochu přibližně 24,2 m². Základ se sestává ze dvou betonových monolitů, do něž jsou ukotveny ocelové rámové konstrukce s příslušnými nástroji. Navrhovaný layout je zobrazen na obrázku níže.



Obrázek 65 - Náhled na návrh dvojici paralelní výrobní linky

Součástí samotného projekčního návrhu bylo krytování aktivních výrobních úseků. Vznikly 2 varianty – oplocení a plechové kryty. Oplocení by bylo rozloženo po metrových úsecích, dodávaných výrobcem. Existuje více variant oplocení, jako jsou například drátové, či plexisklo. Jeden délkový metr takového oplocení vychází na přibližně 10 000 Kč. Vzhledem k přítomnosti třískového obrábění ovšem drátěná varianta není příliš vhodná a varianta plexiskla je příliš drahá. Zvolená varianta je tedy plechové krytování z oceli okolo aktivních strojních součástí. Pro jednoduchost a minimalizaci nákladů je každý z manipulačních otvorů opatřen dvířky s madly pro manuální otvírání. Obráběcí prostor je pak transparentní pomocí plexiskel umístěných v plechových krytech. Obě varianty jsou znázorněny na obrázku níže.



Obrázek 66 - Varianty krytování dvojice paralelních linek (vlevo oplocení, vpravo plechové kryty)

4.3.2 Technologický postup obrábění víka vřeteníku

Kvůli komplexnosti a počtu operací obrobku bylo potřeba rozdělit linku na dvě části. První část linky obsahuje nástroje pro frézování a dokončování uvedené v tabulce jako F1, F2, F3 a F4. První tři nástroje jsou od sebe v návrhu umístěny dostatečně vzdáleně tak, že bylo možné je nechat pracovat zároveň (na jednom pracovním úseku), čímž se redukoval výrobní čas o více, než 10 minut / obráběný kus. Z vrtání a řezání nástrojů jsou to nástroje D1 – D5.

Samotný technologický postup a výsledný návrh prošel přibližně 10 iteracemi, přičemž je zde znázorněn pro jednoduchost výstup z finální verze. Každý úsek, jak již bylo zmíněno výše, obsahuje jeden, či více nástrojů. Úseky s například

ToolScout

Aplikační data > Aplikační data 12.02.2022

Aplikační data

Metoda Závítování - Závítové vrtání
Materiál Litina GGG, GT> 180 HB - EN-JS1092 t; EN-JS2060 t; EN-GJS-600-3U t; EN-GJS-HB230 t; GGG-60 t
Volba rozměrů Hloubka závitu I1 [mm]: 20
Vlhká/suchá hodnota: 5 chlazením

Číslo zboží	132721 M12
Velikost	Strojní závitník GARANT Master Tap typ B
Materiál /materiálová třída	EN-JS1092 t; EN-JS2060 t; EN-GJS-600-3U t; EN-GJS-HB230 t; GGG-60 t
Řezná rychlost Vc start [m/min]	15
Počet otáček n [1/min]	398
Řezný výkon Pc [kW]	0,859
Krouticí moment M [Nm]	20,612
Čas/otvor (hlavní čas) th [min]	0,0373

Obrázek 67 - Příklad výpočtů ToolScout od Hoffman Group [36]

více vrtáky by byly fyzicky řešeny pomocí multivřeten a jsou zohledněny ve finanční finální situaci. Všechny zmiňované nástroje jsou uvedené v tabulce nástrojů pro obrábění víka vřeteníku v textu níže a řezné podmínky jsou kalkulovány s verifikovanou vysokou přesností aplikace ToolScout společnosti Hoffmann Group. K jednotlivým časům obrábění jednotlivých operací byly připočteny 3 sekundy, jako vyjádření přibližování a oddalování nástroje od obrobku po 1,5 sekundách. Upínací čas je zde zahrnut pouze jednou, a to v případě přepnutí z 1. polohy do 2., aby byl čas co nejrelevantnější. Čas upnutí před vložením do výrobní linky a čas odepínání po odejmutí z výrobní linky již nemá vliv na samotný celkový obráběcí čas. V první a druhé případové studii se tyto časy musely zahrnovat, ovšem u výrobních linek se odebráním tohoto času zrychluje samotná výroba. [36].

Frézování a broušení					
Pořadí operace	Označení nástroje*	Obráběná plocha	Čas obrábění [s]	Řezný výkon [kW]	Počet otáček [1/min]
1	F1	Zadní čelo	39,2	12,7	2550
2		Pravá polovina vnitřní dolní plochy	156,6	17,5	2550
3		Pravá vertikální plocha vnitřní	26,6	3,7	2550
4		Zadní čelo domku	22,8	4,7	2550
5		Pravá šikmá část domku	12,3	6,5	2550
6		Pravá vertikální plocha domku	12,2	3	2550
7		Pravá horizontální horní plocha	101,4	3,7	2550
8		Pravá střední plocha vertikální	94,2	12,7	2550
9		Pravá horizontální plocha krajní	152,1	17,5	2550
10		Pravá vertikální plocha krajní	94,2	12,7	
**Celkový čas operace			715,6		
11	F2	Přední čelo	76,8	11,7	2550
12		Díra domku	33,1	12	2550
**Celkový čas operace			116,9		
13	F3	Levá vertikální plocha krajní	94,2	12,7	2550
14		Levá horizontální plocha krajní	152,1	17,5	2550
15		Levá střední plocha vertikální	94,2	12,7	2550
16		Levá horizontální horní plocha	101,4	3,7	2550
17		Levá vertikální plocha domku	12,2	3	2550
18		Levá vertikální plocha vnitřní	26,6	3,7	2550
19		Levá polovina vnitřní dolní plochy	156,6	17,5	2550
20		Levá šikmá část domku	12,3	6,5	2550
21		Horizontální část domku	30,3	11,7	2550
**Celkový čas operace			683,9		
0	U	UPNUTÍ	270		
22	F4	Levý oblouk	156,6	2,2	2550
23		Pravý oblouk	156,6	2,2	2550
**Celkový čas operace			317,2		
24	F5	Spodní plocha (dokončování)	70,1	22	955
**Celkový čas operace			74,1		
Celkový čas frézování a broušení			1376,9		

*Nástroje F1, F2 a F3 obrábí zároveň, **K celkovým časům jsou připočteny přejezdy k daným plochám z počátečních bodů a zpátky k nim (4s).

Tabulka 8 - Výpis operací pro frézování a dokončování paralelních linek

Hodnoty jak vrtání děr a řezání závitů jsou spočteny stejným způsobem, jako hodnoty pro frézování a dokončování, pomocí ToolScout od Hoffmann Group. Nepřeberné množství děr prošlo několika iteracemi, než vznikla následující tabulka. Postup vrtání děr a řezání závitů je vytvořen tak, aby byla potřeba co nejméně operačních stanovišť výrobní linky, ale aby zároveň bylo reálné vůbec potenciálně realizovat konstrukční řešení výrobní linky. Jednotlivé kroky jsou tedy řešeny tak, aby nebyl příliš vysoký výkon samotného stanoviště kvůli exponenciálně se zvyšujícím cenám vzhledem k dodávanému výkonu a zároveň aby se vyvrtalo, popřípadě vyřezalo co nejvíce závitů s ohledem na jejich vzájemnou vzdálenost a velikost vřeteníků, jež by byly konstrukčně využity.

Pořadí operace *	Pracovní označení nástroje	Druh obrábění	Čas obrábění [s]	Řezný výkon [kW]	Potřebný celkový výkon [kW]	Směr díry**
1	D1	60xØ7 hl. 35 mm (pro M8)	27,6	8,2	9,3	V
	D2	8xØ9 hl. 32 mm (pro M10)	26,1	1,1		H
Celkový čas operace			30,6			
2	D3	60xØ10,2 hl. 1 mm	3,2	0,3	4	V
	D4	8xM10 hl. 25 mm	2,4	3,7		
Celkový čas operace			6,2			
3	D5	60xM8 hl. 30 mm	27,8	2,4	2,4	V
Celkový čas operace			27,8			
4	D6	1xØ7 hl. 20 mm (pro M8)	17,1	0,2	1,6	V
	D7	2xØ9 hl. 20 mm (pro M10)	15,6	0,5		H
	D8	4xØ10,2 hl. 30 mm (pro M12)	25,7	3,8		
Celkový čas operace			28,7			
5	D9	1xM8 hl.15 mm	1,7	0,4	4,2	V
	D10	2x M10 hl. 15 mm	1,5	0,6		
	D11	4xM12 hl. 20 mm	2,2	3,2		
Celkový čas operace			5,2			
6	D12	24x Ø14 hl. 31 mm	23,3	13	13	V
	D8	4xØ10,2 hl. 30 mm (pro M12)	25,7	3,8		
Celkový čas operace			26,3			
7	D13	2x Ø21 hl. 29 mm (pro M24)	19,1	2,6	12	V
	D14	4x Ø17,5 hl. 77 mm (pro M20)	39,4	4,5		
	D15	2x Ø17,5 hl. 29 mm (pro M20)	15,5	2,3		
	D16	2x Ø21 hl. 31 mm (pro M24)	20,2	2,6		
Celkový čas operace			42,4			
8	D17	4 x Ø8 hl. 31 mm	19,1	0,2	12,5	V
	D18	2 x Ø25 hl. 31 mm	17,5	4		
	D19	4x Ø12 hl. 31 mm	19,7	1,7		
	D20	2x Ø14 hl. 29 mm	22	1,1		
	D21	2x Ø22 hl. 13 mm	11,4	2,8		
	D22	2x Ø8 hl. 29 mm	19,1	0,4		
	D23	2x Ø8,5 hl. 15 mm (pro M10)	11,4	0,4		
	D24	4xØ10.2 hl. 31 mm (pro M12)	26,4	1,1		
	D25	1xØ10.2 hl. 10 mm (pro M12)	10,2	0,3		
	D26	2xØ10.2 hl. 25 mm (pro M12)	21,8	0,5		
Celkový čas operace			29,4			
9	D27	8x Ø22 hl. 13 mm	11,4	11,2	11,2	V
Celkový čas operace			14,1			
10	D28	8x Ø22 hl. 13 mm	11,4	11,2	11,2	V
Celkový čas operace			14,4			
11	D29	8x Ø22 hl. 13 mm	11,4	11,2	11,2	V
Celkový čas operace			14,4			
12	D30	2 x M24 hl. 29 mm	3,5	2,4	12,6	V
	D31	4x M20 hl. 77 mm	6,7	6,8		
	D32	2x M20 hl. 29 mm	3,5	3,4		

Celkový čas operace			9,7			
13	D33	2x M24M hl. 31 mm	3,7	5	12,2	V
	D34	2x M10 hl. 15 mm	1,5	1,2		
	D35	4x M12 hl. 31 mm	3,2	3,6		
	D36	1x M12 hl. 10 mm	1,4	0,9		
	D37	2x M12 hl. 25 mm	2,4	1,5		
Celkový čas operace			6,7			
Celkový čas vrtání a řezání závitů			220,2			

*Operace 1,2 a 3 se provádějí v 1. upnutí, zbylé operace ve 2. upnutí., **V = vertikální, H = horizontální

Tabulka 9 - Výpis operací pro vrtání a řezání závitů paralelních linek

Všechny níže vypsané řezné nástroje slouží jako orientační a platí po uplatnění slev ve vztahu dodavatel x odběratel. Ceny jsou uvedeny včetně DPH. Nástroje jsou vybrány dle doporučení určené výrobcem daných nástrojů softwarem ToolScout, pro zvolení vhodných nástrojů. Porovnání případové studie s ostatními a výsledné plynoucí závěry z výrobní linky jsou uvedené v kapitole 5.

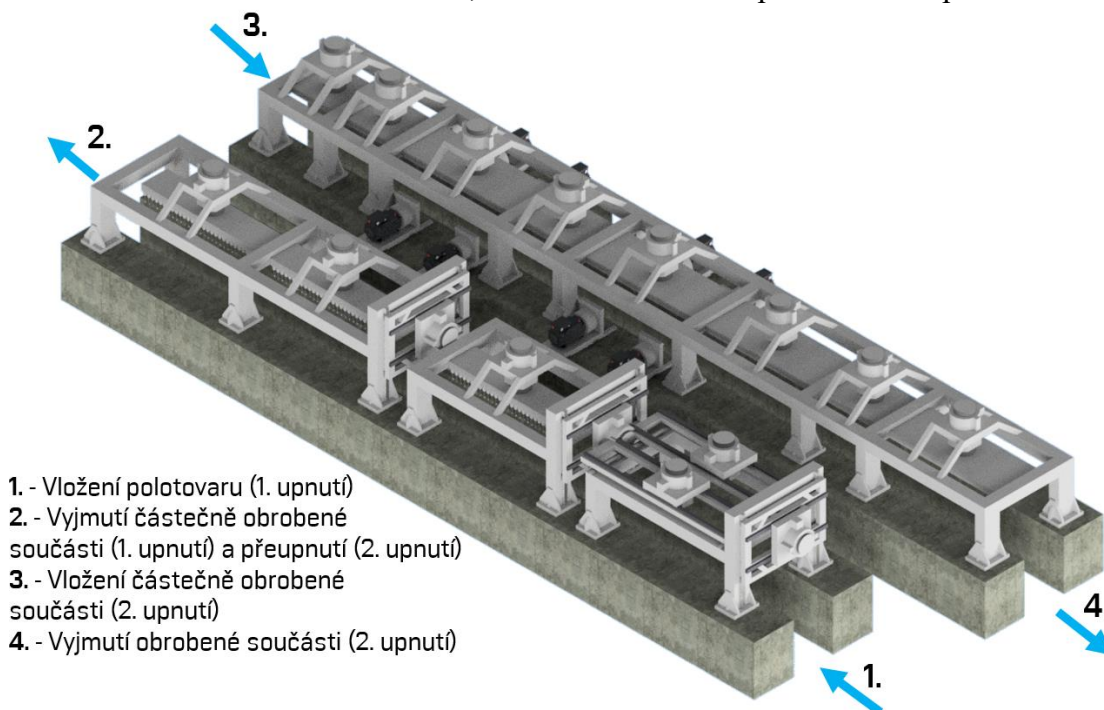
Nástroje pro obrábění víka vřetena		
Označení nástroje	Počet	Cena za daný počet ks [Kč]
113230 7 Krátký vrták HSS-E N	61	20 642
113020 8 Krátký vrták HSS-E FS	6	1 204
113020 8,5 Krátký vrták HSS-E FS	2	428
113230 9 Krátký vrták HSS-E N	10	4230
113150 10,2 Krátký vrták HSS-E N	71	26 390
113150 12 Krátký vrták HSS-E N	4	2 170
113150 14 Krátký vrták HSS-E N	26	20 826
116340 17,5 Spirálový vrták HSS N	6	5 156
116340 21 Spirálový vrták HSS N	4	5 199
116340 22 Spirálový vrták HSS N	10	14 292
116360 25 Spirálový vrták HSS-E VA	2	7 565
132721 M8 Strojní závitník GARANT Master Tap typ B	61	49 904
132721 M10 Strojní závitník GARANT Master Tap typ B	12	13 127
132680 M12 Strojní závitník HOLEX Pro Tap HSS-E	11	6 197
132721 M20 Strojní závitník GARANT Master Tap typ B	6	17 180
132680 M24 Strojní závitník HOLEX Pro Tap HSS-E	4	8 532
203054 25 TK hrubovací fréza HOLEX Pro Steel HPC	3	19 421
207505 10 TK rádiusová hrubovací fréza	1	2 939
213110 100/8 Fréza pro vysoké posuvy Hi5 213178 HART POMX 10T5ZESR R	1	13 790
VBD POMX 10T5ZESR R HART	5	1773
		Σ 185 905

Tabulka 10 - Výpis využitých řezných nástrojů pro paralelní linky

4.3.3 Optimalizace materiálového toku, logistických procesů a uspořádání technologických pracovišť

Kvůli nutnosti obrábění víka vřeteníku z téměř všech stran je nutnost přeupnutí, což vedlo k vytvoření právě dvojice paralelních výrobních linek. Na začátku první výrobní linky (na obrázku níže bod 1.) by se tedy vložilo víko vřeteníku, proběhl 4 obráběcími úseky a na konci první lineární výrobní linky by jej obsluha musela přeupnout (na obrázku níže bod 2.) a vložit na začátek 2. výrobní linky (na obrázku níže bod 3.). Po obrobení na všech stanovištích druhé výrobní linky by obsluha odebrala hotový obrobek a vložila jej na paletu, či jiné, k tomu určené odkládací místo.

Za povšimnutí stojí fakt, že jsou manipulační místa výrobních linek logicky uspořádány, aby probíhala výroba co nejrychleji. Například 2. a 3. bod jsou hned vedle sebe, aby přeupnutí a vložení obrobku měla obsluha co nejbližší. Pro potenciální uspořádání skladových prostor je vkládání polotovarů a odebírání hotových obrobků také hned vedle sebe, pro tentýž důvod. Pro optimální rychlost tak linku mohou obsluhovat 2 osoby k tomu určené. První osoba u 2. a 3. bodu znázorněného na obrázku níže, zatímco druhá osoba počátečního a posledního bodu.



Obrázek 68 - Znázornění toku materiálu na dvojici paralelních lineárních linkách

Celková cena paralelních lineárních linek byla po té odhadnutá na 2 635 000 Kč. Cena byla stanovena součtem ceníků jednotlivých potenciálně vybraných komponent na webových stránkách dodavatelů a prodejců a může se v době realizace vzhledem k velmi aktivní vzrůstající inflaci a aktuálních skladových zásob měnit.

4.4 Čtvrtá návrhová případová studie – změna současného výrobního layoutu.

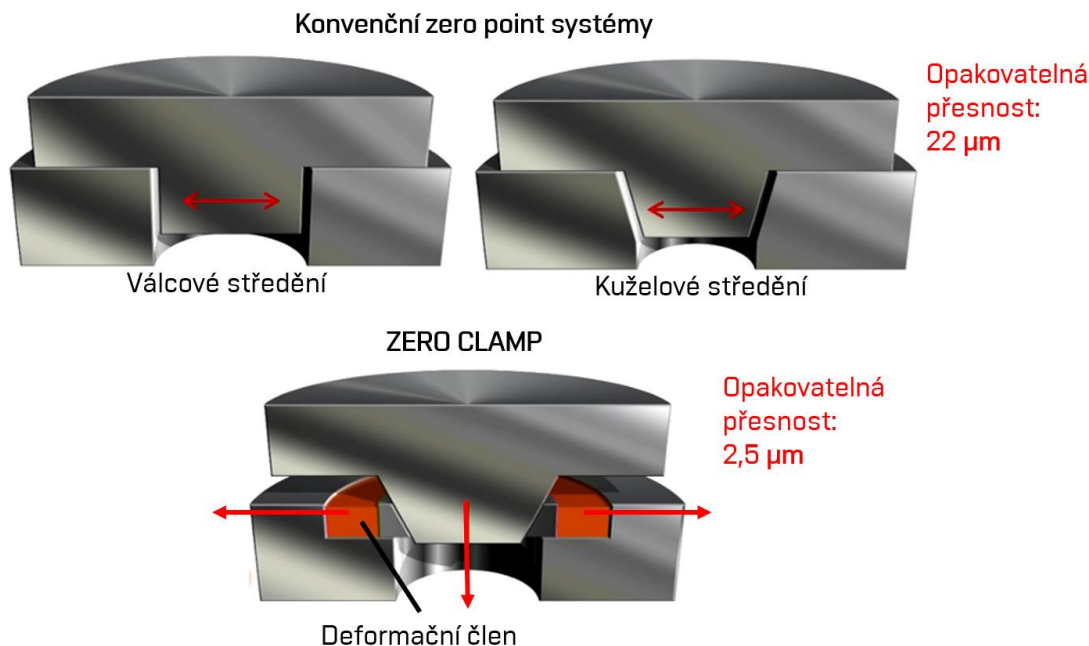
Jinou cestou optimalizace se jeví změna současného výrobního layoutu. Tento proces by znamenal změnu pozic obráběcích strojů, jež jsou určena mimo jiné pro obrábění víka vřeteníku. Přiblížením strojů je možno dosáhnout snížení počtu potřebných strojních zařízení k manipulaci (např. jeřábů sloužících k přepravě z místa na místo, zde v 1 hale postačí 1 jeřáb), dále čas přesouvání díky podstatně menší vzdálenosti mezi stroji, než v případě 4.1.1. (současný výrobní layout)

Přidaná hodnota této případové studie je snížení upínacího času pomocí zero point systému. Po domluvě s firmou je zadání specifikováno, jako projekční zhotovení využití zero point systému pro upínání obrobků. Cílem bylo navrhnout takového rastru rozmístění upínacích disků na hliníkové desce o rozměrech 2500 mm x 2500 mm, aby bylo možné libovolně upínat 3 různé předem dané velikosti dílů. Deska by se permanentně upnula na stůl obráběcího stroje, na něž by se dále obrobky upínali pomocí právě zero point systému. Jedná se o obrobky s rozměry (Š x D x V): 750x750x1000, 750x2200x2000, 1800x2500x2500. Navrhovaný rastr by měl splňovat univerzálnost nejen různých typů zmíněných 3 obrobků, ale i jejich pozici (možnost otáčení obrobků po 90° a posouvání z jednoho upínacího disku do druhého. Bližší požadavky na návrh jsou uvedeny v tabulce níže.

Technické požadavky hliníkového stolu se zero point systémem		
Maximální obráběcí síla stroje	[kN]	30kN
Rozměry stolu	[mm]	2500x2500
Rozměry obrobku 1	[mm]	750x750x1000
Rozměry obrobku 2 (max 10 tun)	[mm]	750x2200x2000
Rozměry obrobku 3 (max. 15 tun)	[mm]	1800x2500x2500
Maximální obráběcí síla na obrobek 1	[kN]	Nutno stanovit
Maximální obráběcí síla na obrobek 2	[kN]	Nutno stanovit
Maximální obráběcí síla na obrobek 3	[kN]	Nutno stanovit

Tabulka 11 - Technické požadavky upínacího stolu

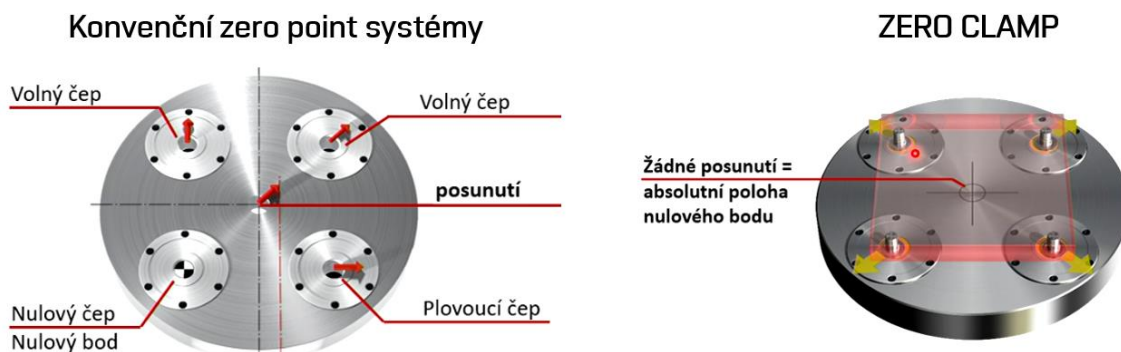
Zvolen byl dle podrobné rešerše s následným multikriteriálním zhodnocením zero point systém od firmy ZERO CLAMP, zmíněný již v kapitole 3.3. Konvenční zero point systémy využívají systémů referenčních bodů, které nejsou díky konstrukci ZERO CLAMPu potřeba. Konvenční zero point systémy využívají válcových, či kuželových středících ploch, čímž vznikají nepatrné vůle. U těchto systémů je také potřeba brousit dotykové (vzájemné) plochy velmi přesně, aby nedocházelo k výrazným ztrátám přesnosti obrábění. U ZERO CLAMP systému s využívá také středící kužel, avšak mezi pevnou část a pružnou část je vložen deformační člen (na obrázku níže oranžově vyznačen), jež se při středění, resp. upínání deformuje, čímž se eliminují veškeré nepřesnosti a vymezují veškeré možné vůle. Konvenční systémy uvádějí opakovatelnou přesnost 22 μm (je nutno brát v potaz také zmíněné výrobní problémy), zatímco ZERO CLAMP má opakovatelnou přesnost pouze 2,5 μm. Rozdíl samotné opakovatelné přesnosti upínání, který je téměř 9x přesnější, je velmi znatelný.



Obrázek 69 – Princip vymezování vůlí konvenčních zero point systémů a zero point systému od ZERO CLAMP [37]

Pro přesné nastavení využívají konvenční systémy u technologických palet, do nichž jsou upínací disky zabudovány, nulový čep, jež je velmi přesně usazen do technologické palety (upínací desky). Dále standardně 1 plovoucí čep a 2 volné čepy, aby bylo možné přesně upnout, pomocí eliminace nepřesností. Tento systém přináší dodatečné náklady, nutnost vyrábět a dodávat 3 různé typy čepů, neuniverzálnost možností upínání a kvůli různým typům čepů i zvýšenou pravděpodobnost chyb při montáži, či samotném upínání.

U ZERO CLAMP systému je čep (kroužek) pouze jednoho druhu, a to díky výše zmiňovanému deformačnímu členu, jenž eliminuje případné nepřesnosti. Pro výrobu a dodávku to potom znamená dodávání pouze 1 typu čepu pro disk daného průměru (různé průměry disků mají jak u konvenčních systémů, tak u ZERO CLAMP systému různé průměry čepů). Výroba, montáž disk, popřípadě samotné upínání je zde jednodušší oproti konvenčním zero point systémům. Vyniká zde možnost univerzálnosti upínání obrobků, jež bude v této případové studii dále popisována a využita. Díky principu konstrukce je u tohoto systému také snadnější kompenzace tepelných deformací, jež je vždy souměrná kolem osy.



Obrázek 70 Ukázka zabudování čepů v konvenčních zero point systémech a deformačního členu v ZERO CLAMP [37]

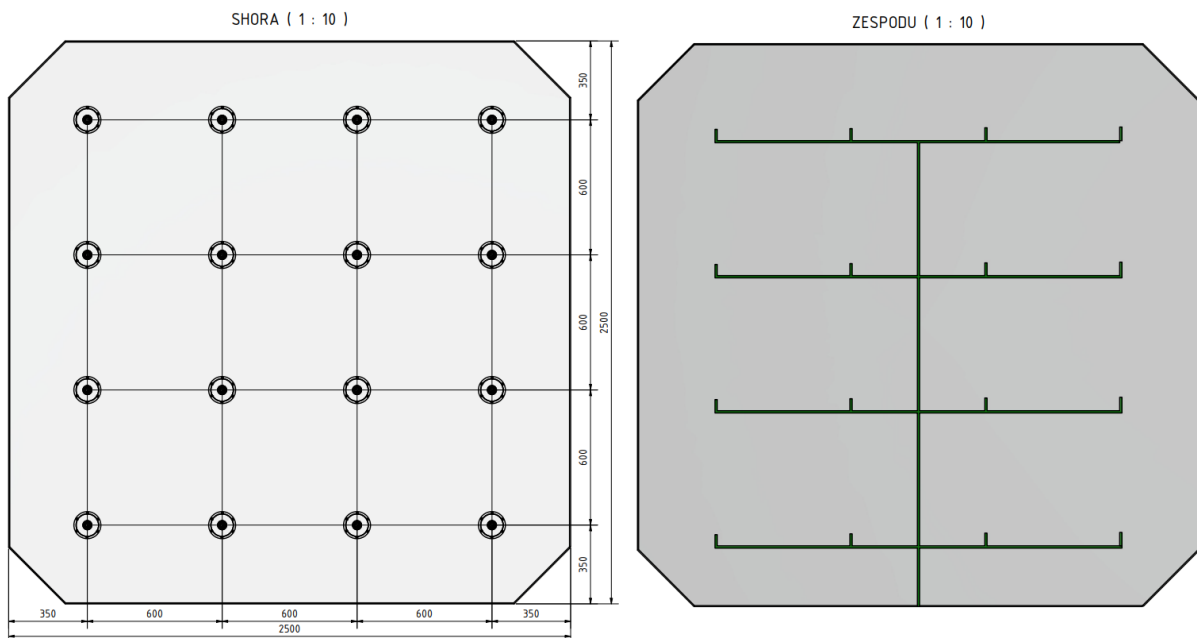


Obrázek 71 - Ukázka různých průměrů upínacích disků ZERO CLAMP zero point systému seřazených dle potřebné upínací síly [37]

Využití takového systému lze například uvést pro frézování, soustružení, elektrojiskrovém obrábění, či kontroly kvality (souřadnicové měřicí strojní zařízení).

4.4.1 Optimalizace materiálového toku, logistických procesů a uspořádání technologických pracovišť

Jak již bylo zmíněno, bylo potřeba navrhnout rastr upínací desky o rozměru 2500 mm x 2500 mm, jež by disponovala univerzálností upínání 3 obrobků různých rozměrů zmíněné v tabulce výše. Finální rastr byl po mnoha úpravách stanoven na počet upínacích disků 16, se vzájemnou roztečí 600 mm. Veškeré upínací disky je třeba propojit pomocí pneumatické hadice, pro možnost upínání a odepínání. Drážka na hadice je zobrazena na obrázku níže. Je umístěna ze spodní části desky. Hadice je po vložení standartně upevněna silikonem, jež brání samovolnému uvolnění. Zde je volen způsob napájení všech 16 upínacích disků vzduchem najednou. Upínací disky, jež se v daný moment nevyužívají se jednoduše zakryjí krytkou, jež dodavatel nabízí, jako součást dodávaného příslušenství.



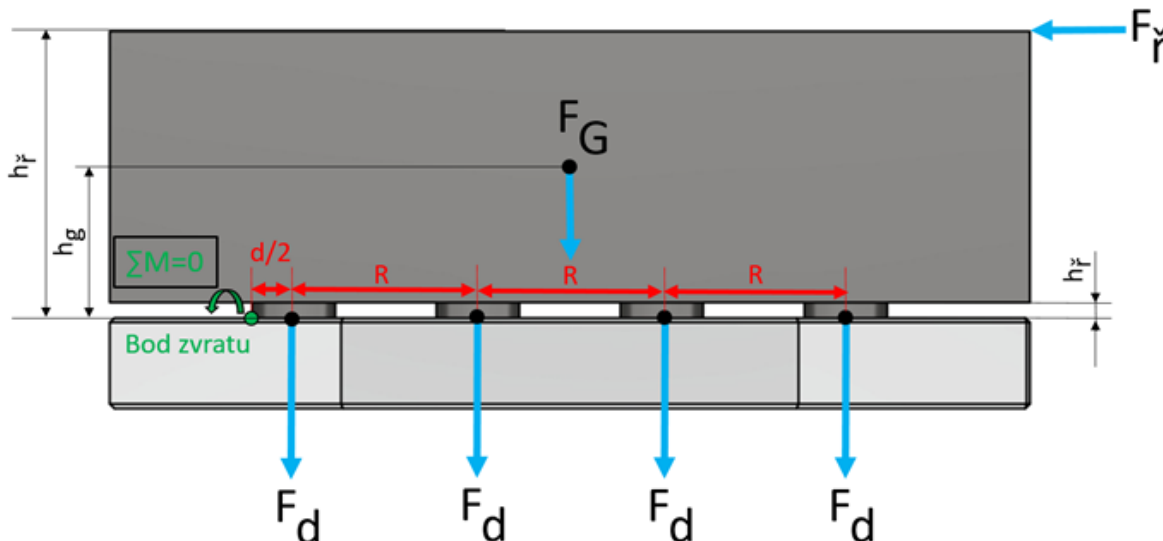
Obrázek 72 - Navrhovaný rastr upínacích disků

Pro volbu rozteče upínacích disků bylo třeba provést výpočty, jež zahrnují možnosti umístění upínacích čepů do obrobků, hmotnost obrobků, rozměry obrobků, řezné síly, a nakonec bezpečnost upnutí. Veškeré výpočty pro všechny 3 obrobky byly prováděny ve veřejně, zdarma dostupném programu Smath, jež se svou funkcionalitou rovná komerčnímu MathCADu. Výsledkem bylo zvolení upínacího disku, o $\varnothing 120$ mm, s upínací silou 25 kN. Maximální obráběcí síla stroje, jež byla zadána, bylo možné využít pouze pro obrobky větších rozměrů 750x2200x200 a 1800x2500x2500. Pro menší obrobek 750x750x1000 je možné při upnutí na 4 upínací disky, s minimální bezpečností 3 využít obráběcí sílu 14,3 kN. Minimální bezpečnost 3 je doporučována výrobcem upínacích disků. Zmíněných 14,3 kN je po konzultaci s firmou víc než dostačující obráběcí síla pro obrobek daného rozměru. Významnou roli při volení upínacího disku hraje zejména výška obrobku (řezná síla je počítána na nejvyšší bod obrobku k dosažení extrémní situace, jež může nastat), rozteč upínacích disků a hmotnost obrobku. Veškeré výpočty jsou uvedeny v PDF příloze, kde jsou uvedeny i bezpečnosti k různému počtu využitých upnutých disků pro daný obrobek.

Rozměry obrobku [mm]	Maximální řezná síla [kN]	Počet využitých upínacích disků [-]	Bezpečnost [-]
750x750x1000	14,3	4	3,03
750x2200x2000	30	8	3,83
1800x2500x2500	30	8	4,01

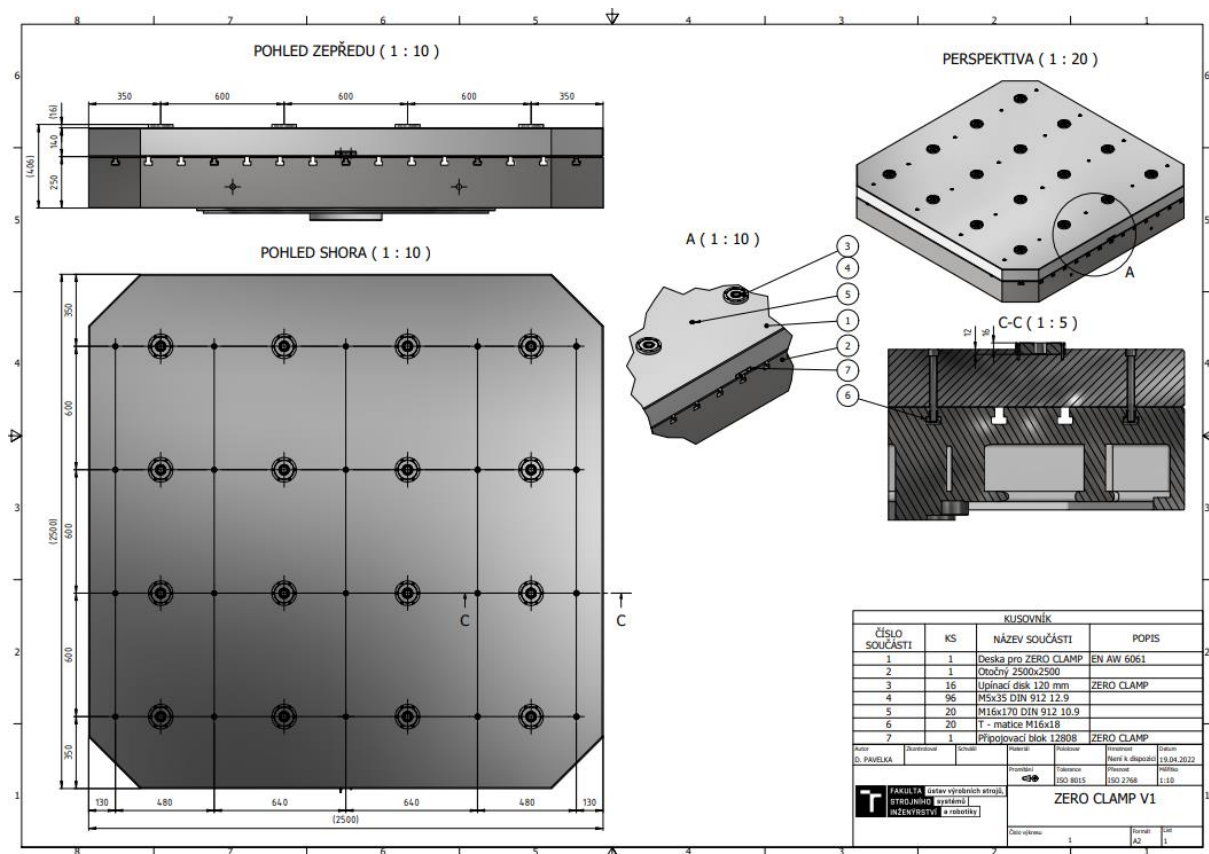
Tabulka 12 - Využitelnost upínacích disků a bezpečnost upnutí

Následující obrázek představuje model sloužící jako interaktivní pomůcka pro výpočty prováděné v Smath software. Veškerý popis obrázku je v příloze, spolu s detailními prováděnými kontrolními výpočty, zde je uveden obrázek pro jednodušší představu.



Obrázek 73 - Využitý model pro výpočty v SMath

Upnutí navrhované desky z hliníkové slitiny s upínacími disky, je provedeno prostřednictvím šroubového spoje typu B. Předvrtané díry v hliníkové desce, s předvrtaným otvorem umožňující zapuštění šroubu se utahuje pomocí matice určených do T drážek. Spojení je navrženo tak, aby byla rozteč šroubů vždy stejná a zároveň, aby šrouby nekolidovaly se samotnými upínacími disky. ZERO CLAMP využívá pro své upínací desky imbus šrouby, což bylo dodrženo i zde, konkrétně navrhovaný šroub M12. Upínací disk se šroubuje do předvrtaných děr se závity přímo do hliníkové desky, šroubovým spojem typu A, tedy bez matic, pouze do plného materiálu. Samotné upínání obrobku do upínacího disku se provádí navrtáním díry do obrobku s následným vyřezáním potřebného závitu a našroubování upínacího čepu, jež slouží jako protikus upínacího disku.



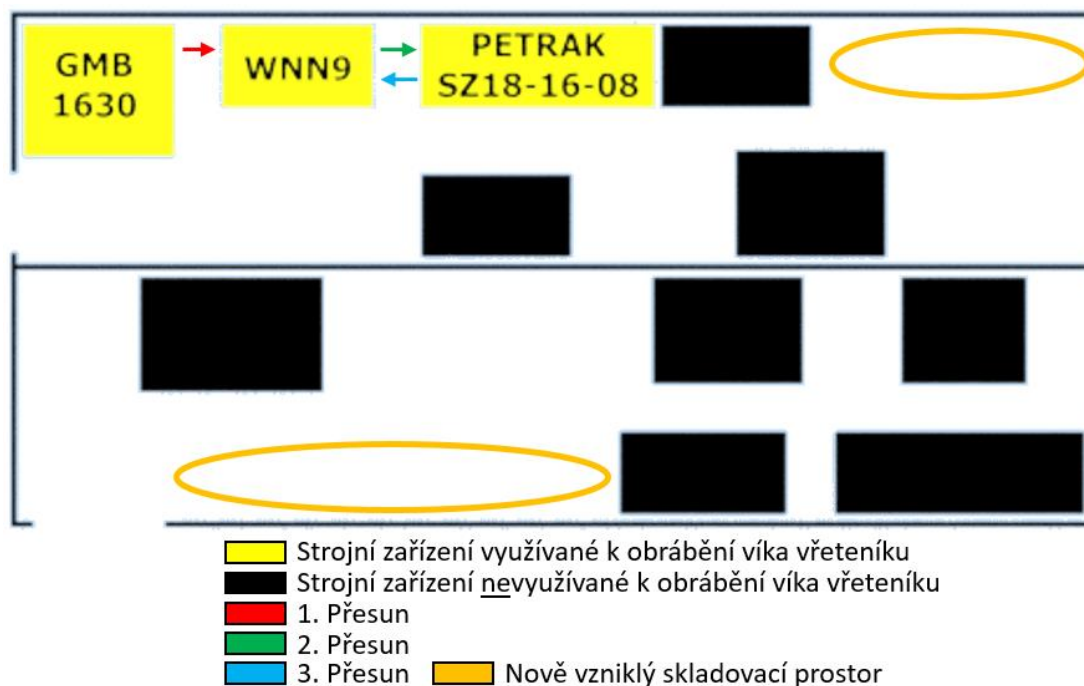
Obrázek 74 - Schématické naznačení upevnění desky s upínacími disky na obráběcí stůl

Po diskusi s výrobním podnikem se společně s autorem došlo k závěru, že přiložený návrh bude realizován interními konstruktéry blíže specifikován. Níže jsou uvedeny ceny, jež dodavatel zaslal na základě poptávky na navrhovanou desku.

Č.	Položka	Název položky	Cena v za ks bez DPH [EUR]	Potřebných kusů [ks]	Celková cena bez DPH [EUR]
1	10012	Upínací disk Ø120 mm	615	16	9840
2	16868	Sada ochranných víček 50ks	71,6	1	71,6
3	10040	Uzavírací čep pro disk Ø120 mm	36,5	16	584
4	10004	Upínací čep 18k6 M16	52	16	832
Celkem					11327,6

Tabulka 13 - Kupované komponenty

Níže znázorněné schéma změny layoutu představuje přesunutí dvou strojů: vyvrtávačky WHN9 a brusky PETRAK SZ18-16-08. Cena přesunu jednoho stroje činí přibližně 200 000 Kč, zatímco vybudování základů pod strojní zařízení, jež je třeba ukotvit do podlahy by stálo pro rozměry využitých strojů 2 000 000 Kč. Dává tedy logický smysl přesunutí zmíněných dvou strojů k obráběcímu centru GMB 1630, neboť má jako jediný, na rozdíl od zbylých dvou, ukotvení v podlaze. Přesun dvou strojů bude stát přibližně 400 000 Kč.



Obrázek 75 - Schéma layoutu po přesunutí strojů

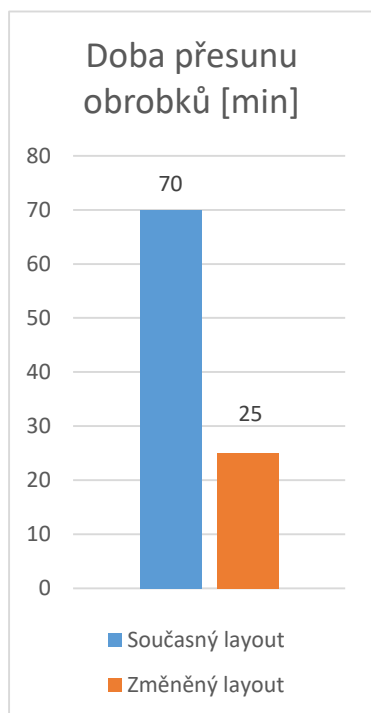
Tato varianta má hned několik výhod. Za prvé jsou ušetřeny 2 000 000 Kč, za eliminace potřeby vybudování nového kotvení obráběcího centra, které není třeba přesouvat, čímž se také sníží potřebný čas pro změnu layoutu. Zmíněný potřebný čas se týká odstranění původní podlahy a procesů spojených s vytvořením nové. Volné místo současného layoutu zároveň dovoluje přesunout stroje do prostoru poblíž obráběcího centra. Není nutno manipulovat s ostatními stroji, neboť to jejich vzdálenost vůči nově umístěným strojům nevyžaduje. Zároveň vzniká nový skladovací prostor, na obrázku znázorněn oranžově jež může být využit pro regály, či palety s hotovými víky vřeteníku, či jiných komponent.

4.4.2 Technologický postup obrábění víka vřeteníku

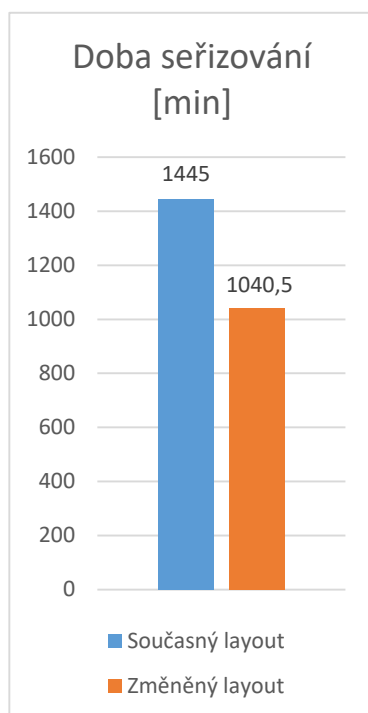
Následující technologický postup je změněn časovým přizpůsobením vrtání děr a řezání závitů z manuálního na automatizované, pomocí příslušných strojních zařízení, po osobní domluvě s odborníkem z výrobníku podniku. Tímto krokem se razantně snížil obráběcí čas vrtání a řezání závitů. Druhou významnou změnou je ponížení časů upínání pomocí ZERO CLAMP systému o 90 % (zmíněno v kapitole 3.5), zahrnuté v tabulce níže v době seřizování. Hodnoty jsou poníženy vůči současnému stavu (kapitola 4.1.2).

Změna Současného technologického postupu					
Pořadí operace	Stroj	Typ obrábění	Doba obrábění [min]	Doba seřizování [min]	Doba přesunu [min]
1	GMB1630	Frézování v 1. poloze	90	19,5	0
2	GMB1630	Frézování v 2. poloze	90	19,5	0
3	WHN9	Vyvtávání	334	119,5	5
4	PETRAK SZ18-16-06	Dokončování	10	22,5	5
5	WHN9	Vyvtávání	100	119,5	5
5	Manuálně	Odjehlení	24	36	5
6	Manuálně	Značení štítkem	0	0	0
Čas celkem [min]			648	336,5	20
			Σ1040,5		

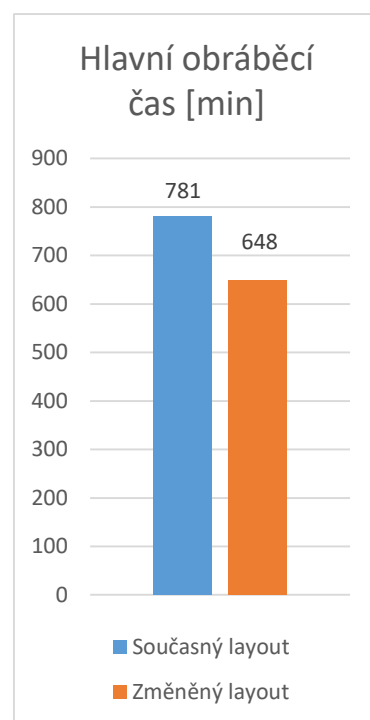
Celková časová změna oproti původnímu stavu je redukce o téměř třetinu, konkrétně 30,5%. Taková hodnota přináší ekvivalentní čas, jež umožňuje využít strojní zařízení pro výrobu jiných komponent, provádění servisních činností, či je využívat jiným způsobem. Pozitivní změna ovšem přináší přidanou hodnotu v projekčním návrhu hliníkových desek, jež plánuje výrobní podnik vyrábět a prodávat koncovému zákazníkovi (detailněji popsáno v kapitole 5). Níže jsou graficky znázorněny jednotlivé časové redukce dosažené zmíněnými změnami výše.



Obrázek 76 - Graf doby přesunu obrobků mezi stroji před a po změně layoutu



Obrázek 77 - Graf doby seřizování před a po změně layoutu



Obrázek 78 - Graf hlavního obráběcího času před a po změně layoutu

5 POROVNÁNÍ PŘÍPADOVÝCH STUDIÍ – VÝBĚR VARIANTY ŘEŠENÍ

Následuje porovnání současného stavu výrobníku podniku, se třemi navrhovanými variantami pro změnu v oblasti výrobního procesu ve firmě. Pro připomenutí se jedná zejména o zaměření na zvýšení výrobnosti, která se ukázala jako ideální v kombinaci s upínacím systémem zero point ZERO CLAMP.

Změna upínacího systému byla aplikována na současný stav výrobního podniku, aby bylo srovnání stavu před využitím ZERO CLAMP systému a s využitím ZERO CLAMP systému co nejrelevantnější, v těchto dvou podobných případech. Jak lze na srovnání v tabulce níže vidět, z celkového hlediska upínání je potenciální pozitivní změna firmy, za využití ZERO CLAMPu 43,6 %. Samotné hodnocení nejvíce ovlivňovalo vzhledem k váze významnosti: bezpečnost, přesnost a rychlost upnutí, jež je oproti tradičnímu upínání pomocí ručních upínek vyšší u všech třech parametrů. Parametry, podle nichž se srovnávalo samotné upínání zmíněných dvou případových studií, byly využity již ze systémového rozboru řešené problematiky, v kapitole 3, kde je detailně popsáno proč jsou tyto parametry vybrány a jak ovlivňují samotný proces upínání. Všechny vlivy byly poté zpracovány pomocí multikriteriální metody srovnávání párů v trojúhelníku pro dosažení váhových hodnot a zde srovnány, aby bylo možné uvést závěr, zdali je ZERO CLAMP správná cesta, či nikoli a do jaké míry.

Označení kritéria	Popis kritéria	Finální pořadí významnosti	Váha významnosti	Současný stav (hodnocení)	Body	Změna současného stavu (hodnocení)	Body
F16	Bezpečnost upnutí	1	5,2	3	15,6	5	26
F19	Přesnost upnutí	2	4,6	3	13,8	5	23
F17	Rychlost upnutí	3	4,2	1	4,2	5	21
F5	Uchycení obrobku	4	3,8	3	11,4	5	19
F18	Minimální náklady na provedení upnutí	4	3,8	1	3,8	4	15,2
F2	Rozměr obrobku	5	3,6	5	18	5	18
F4	Polohování obrobku	5	3,6	5	18	5	18
F12	Čas obrábění	5	3,6	4	14,4	4	14,4
F1	Tvar obrobku	6	3,4	4	13,6	4	13,6
F7	Počet vyráběných obrobků	6	3,4		0		0
F8	Velikost investice	6	3,4	5	17	3	10,2
F15	Jednoduchost upnutí	7	3,2	2	6,4	5	16
F20	Odolnost vůči vibracím	7	3,2	3	9,6	4	12,8
F23	Možnost proměření obrobku	7	3,2	3	9,6	5	16
F13	Stabilita zabudování	8	3	2	6	5	15
F21	Životnost upínacího prostředku	9	2,8	3	8,4	4	11,2
F22	Možnost odchodu třísek a řezné kapaliny	10	2	3	6	5	10
F10	Odvod třísek	11	1,8	4	7,2	4	7,2
F3	Materiál (tvrdost) obrobku	12	1,6	5	8	5	8
F6	Hmotnost obrobku	13	1,4	5	7	5	7
F9	Prostory	13	1,4	2	2,8	5	7
F11	Kvalifikace zaměstnanců	13	1,4	3	4,2	5	7
F14	Délka nepřetržitého provozu	13	1,4	2	2,8	2	2,8
				Celkem:	207,8	Celkem:	298
				Bodový nárůst v %:		43,6	

Hodnocení vlivů na případové studie:	
1	Neuspokojuje
2	Uspokojuje mírně
3	Uspokojuje dostatečně
4	Uspokojuje dobře
5	Uspokojuje velmi dobře

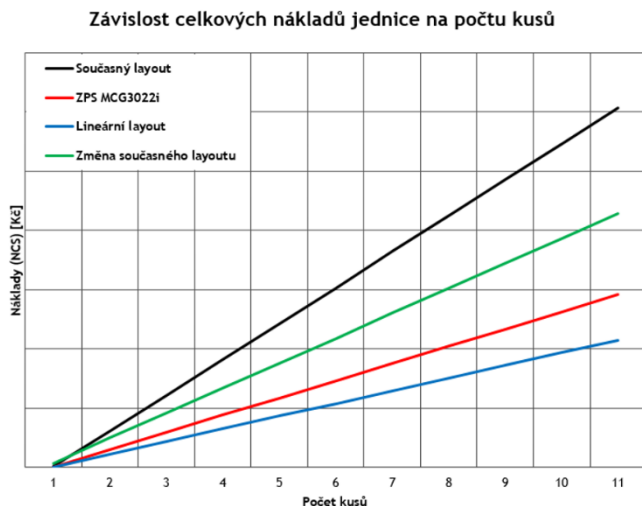
Obrázek 79 - Porovnání současného upínacího systému se ZERO CLAMP systémem na první a čtvrté případové studii

Součástí porovnávání případových studií bylo vypracování detailní ekonomické analýzy (pomocí kapacitních propočtů) všech případových studií, kde bylo zjištěno, o kolik se navýší, či sníží výrobní cena obráběného víka vřeteníku. Jednalo se o analýzu, kde byly mimo jiné zahrnuty ceny jednotlivých případových studií, nákladů na zaměstnance, které by zde figurovaly, ceny za materiál, přípravky, řezné kapaliny, odpis strojů během 5 let, náklady na školení obsluhy, náklady na údržbu, servis a další.

Z obrázku níže lze vyčíst, že oproti stávajícímu stavu by nejvíce snížilo výrobní cenu jednice využití dvojice lineárních paralelních linek. V konečném rozhodnutí výběru varianty řešení nemusí hrát roli pouze výsledky analýz a odhadů, ale také rozhodnutí vedoucích pracovníků firmy. Zde se výrobní podnik ovšem rozhodl na změně pouze v upínacím systému. Pomocí nového upínacího systému je redukce prodejní ceny víka vřeteníku odhadnuta na 19,06 %, tedy téměř o pětinu. V grafu kvůli firemnímu know-how není znázorněna přesná výrobní částka, ale pouze poměrové hodnoty, na přání firmy.

Kalkulace výrobku: ZPS MCG3022i		
Požadovaná výrobnost 80 kusů / rok	Aktuální výrobnost / rok: 2518,36	
Cena stroje	- [Kč]	22 959 095
Odpis	- [%]	20%
Úroky	- [%]	5%
Údržba	- [%]	1%
Plochy	- [%]	5%
Energie	- [%]	10%
Roční časový fond stroje	- [hod]	3525
Jednicový čas pro přípravu výroby	T_p [hod]	0,00
Jednicový čas pro výrobu	T_k [hod]	1,40
Výrobnost	- [ks/hod]	0,71
Strojní hodinová sazba strojů	S_{Hs} [Kč/hod]	2670,42
Náklady na obrobek jednice	N_{ob} [Kč]	3737,85

Obrázek 80 – Výstřižek z ekonomické analýzy případových studií



Snížení prodejní ceny (ZPS MCG3022i):	51,29%
Snížení prodejní ceny (Lineární layout):	64,13%
Snížení prodejní ceny (Změna současného layoutu):	19,06%

Obrázek 81 - Grafické znázornění celkových nákladů jednic u daných případových studií

Po analyzování veškerých detailů všech 4 případových studií bylo na místě využít metodu pro finální zhodnocení, aby bylo možné dospět k jednoznačným závěrům. Pro tento krok byla vybrána metoda pořadí dle důležitosti hodnotících kritérií. V metodě se postupně vybírá dvojice kritérií, kdy jedno z kritérií je dle autora nejdůležitější a druhé z kritérií nejméně podstatné. Po vybrání kritérií a přiřazení důležitosti každému z nich, se tento krok opakuje se zbývajících, do doby, než žádné kritérium nezbyvá (je-li počet kritérií lichý, poslední z výběru se vloží doprostřed tabulky – zde K2 – minimální náklady na upnutí). Po srovnání kritérií se každému kritériu přidá bodová hodnota. Bodová hodnota kritéria může být například od 1 do n, kdy n značí maximální počet kritérií, tedy zde 9.

Zároveň také značí nejvyšší bodovou hodnotu. Čím menší relevantnost (důležitost) kritéria, tím menší bodové ohodnocení je. Součet vah všech kritérií zde pro kontrolu dosahuje hodnoty 1, což ukazuje korektnost výpočtů.

Váha každého kritéria se poté vypočte jako:

$$váha = \frac{\text{počet bodů daného kritéria}}{\text{součet bodů všech kritérií}}$$

$$váha \text{ kritéria } K5 = \frac{7}{45} = 0,16$$

Jak lze vidět z tabulky kritérií níže, kritérií pro zhodnocování je právě 9. U každého z parametrů je kromě popisu a zkratky uvedena také tendence změny, která značí, jakým směrem by se měl parametr ubírat k pozitivní změně. U rychlosti upnutí tak platí že čím vyšší hodnota, čím hodnotnější změna nastává. Jedná se tedy o rostoucí tendenci.

Číslo parametru	Porovnávací parametry	Tendence změny
K1	Komplexnost realizace	Klesající
K2	Minimální náklady na upnutí	Klesající
K3	Velikost prostoru	Klesající
K4	Jednoduchost upnutí	Klesající
K5	Rychlost upnutí	Rostoucí
K6	Výše potřebné investice	Klesající
K7	Výrobnost	Rostoucí
K8	Univerzálnost upínání	Rostoucí
K9	Bezpečnost upnutí	Rostoucí

Tabulka 14 - Výpis kritérií pro metodu pořadí dle důležitosti kritérií

Z tabulky níže lze vyčíst, že nejvyšší tři hodnoty nese bezpečnost upnutí, univerzálnost upnutí a rychlost upnutí, zatímco nejmenší váha je přiřazena výrobnosti. Je ovšem brát zřetel fakt, že všechna porovnávací kritéria jsou velmi důležitá v tomto porovnávání, avšak je třeba je mezi sebou rozdělit.

Nejnižší hodnota výrobnosti je přiřazena z důvodu kusové výroby výrobního podniku. Nezáleží, zda výrobní podnik vyrobí požadovaných 80 kusů daného víka vřeteníku, či 200. Nejedná se tedy o požadavek vyšší výrobnosti na základě velkosériové výroby, avšak má zde své zastoupení, neboť stroje, na kterých se obrábí víko vřeteníku, je využíváno i na jiné dílce. To znamená, že pokud se zvýší výrobnost víka vřeteníku, sníží se celkový obráběcí čas, což umožní obrábět i jiné dílce na daných strojích.

Naopak, jedná-li se o bezpečnost upnutí, je logicky na prvním místě z mnoha důvodů, jako například zabránění odepnutí upnutého obrobku a následné poškození stroje, samotného obrobku, upínacího příslušenství, či zranění obsluhy.

Univerzálnost je zde zvýrazněna, neboť si výrobní podnik přeje upínat dané 3 typy obrobků upínat v libovolné poloze, na libovolném místě upínací desky. Přidaná hodnota je tak vytvořen jak pro výrobní podnik, tak pro koncového zákazníka, kterému plánuje desky dodávat díky právě univerzálnosti.

Kritérium	K9	K8	K5	K4	K2	K6	K1	K3	K7	Součet
Počet bodů	9	8	7	6	5	4	3	2	1	45
Normovaná váha	0,20	0,18	0,16	0,13	0,11	0,09	0,07	0,04	0,02	1

Tabulka 15 - Zhodnocení důležitosti jednotlivých kritérií

Po stanovení hodnotících kritérií a určení jejich vah přišlo na řadu finální porovnání případových studií. V jednotlivých kapitolách případových studií je detailně sepsána charakteristika a popis jednotlivých parametrů, jež byly převzaty a níže v tabulce ohodnoceny. Rozdíl mezi současným stavem a změnou současného stavu je primárně díky změně upínacího systému. Lze dále vidět, že nejmenší bodové ohodnocení bylo autorem uděleno multifunkčnímu obráběcímu centru ZPS MCG3022i. Lineární layout dostal více bodů než samotný současný layout, faktem ovšem je, že i přes bodové hodnocení by výrobní podnik vybral současný stav před lineárním layoutem kvůli univerzálnosti svého současného stavu a kusové výrobě. Lineární layout je primárně určen pro vyšší počty výrobků. Konkrétně bylo ve studii spočten možný vyráběný počet kusů obráběného víka na 11 465 za rok, což je oproti současnému požadovanému stavu 143x vyšší, ovšem reálné využití by měl lineární layout za požadavku velkosériové výroby zmíněného obrobku.

Parametr	Současný layout	ZPS MCG 3022i	Lineární layout	Změna současného layoutu
K1	3	1	1	2
K2	1	1	3	3
K3	2	3	3	2
K4	1	1	2	3
K5	1	1	2	3
K6	3	1	2	3
K7	2	1	3	2
K8	1	1	1	3
K9	2	2	2	3
Bodová váha	1,58	1,28	1,92	2,87

1 – Parametr je dle tendence změny těžko dosažitelný. Parametr dosahuje negativních hodnot, jež ovlivňují výrobu negativní způsobem.

2 – Parametr je s menší námahou dosažitelný v souvislosti s tendencí změny. Parametr dosahuje hodnoty na pomezí neutrality, nepatrné positivity, či negativity. Tento fakt má udržitelný, ale nerozvíjející se tendenci.

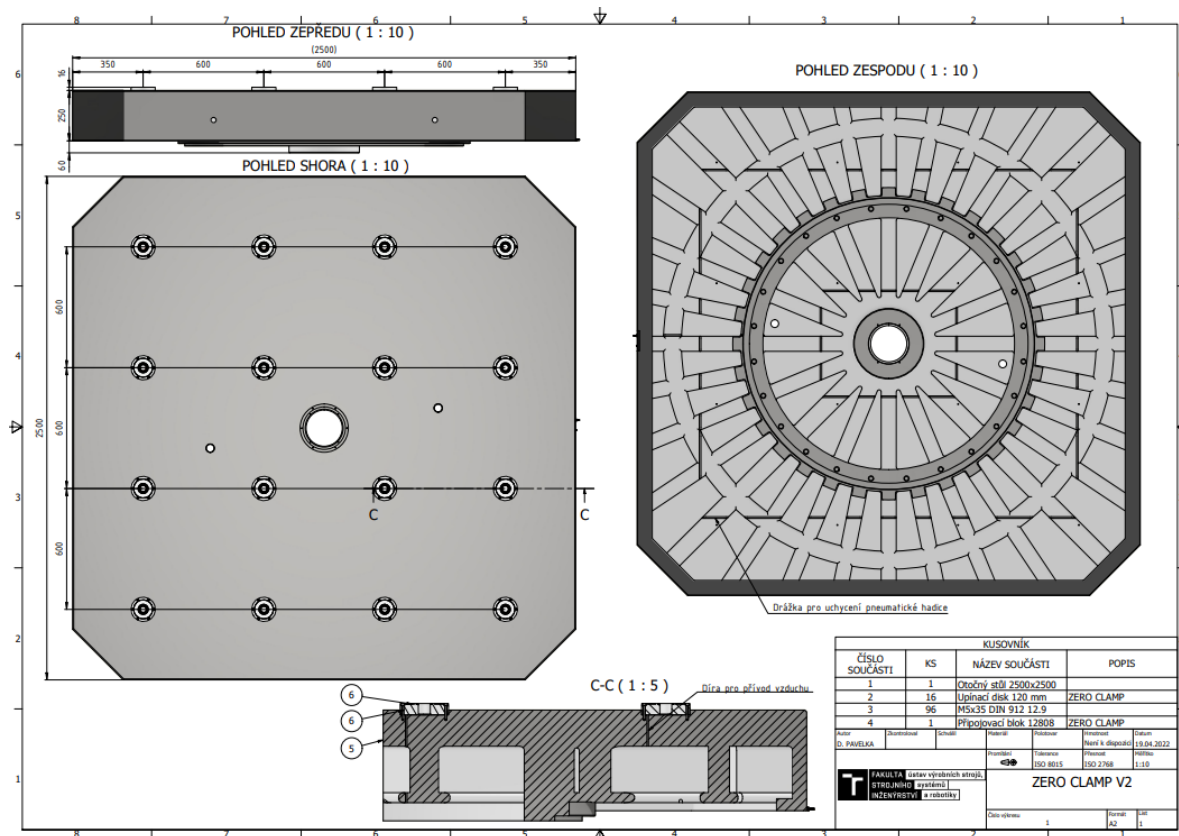
3 – Parametr je lehce dosažitelný v souvislosti s tendencí změny. Parametr dosahuje významně pozitivních hodnot. Tento fakt velmi významně ovlivňuje pozitivně výrobu.

Po veškerém zhodnocení je jednou z dalších možností integrace upínacích disků přímo do otočného stolu, bez nutnosti upínání mezikusu ze slitiny hliníku. Předložený návrh čtvrté případové studie se zaměřuje na zákazníka, jenž má hybridní výrobu, ve které bude možnost upínat jak na stůl do T drážek pomocí ručních upínek, svěráků apod., nebo přišroubovat na stávající otočný stůl navrhovaný mezikus se zabudovanými upínacími disky ZERO CLAMP.

Zmíněnou možností se tak nabízí pro zákazníky, kteří by ve výrobě chtěli upínat pouze pomocí zero point systému. Upínací disky by v tomto případě byly zabudovány do hloubky 12 mm do otočného stolu z horní strany, čímž by nenarušily žádné funkční prvky otočného stolu. Zároveň je možno ze spodní strany vést pneumatické přívody do jednotlivých upínacích disků bez větších zásahů do žebër samotného stolu, neboť nejsou v navrhovaném rastru upínací disky v kolizi se žebry ani s montážními otvory stolu. Zásah do stávající desky by znamenal vyfrézování drážek na spodní části (spodní pohled na obrázku níže), pro jednodušší uchycení zmíněných vzduchových přívodů. Následuje propojení všech pneumatických přívodů a vyvedení na okraj stolu, do pneumatické přípojky.

Tato varianta umožňuje zjednodušení výroby otočného stolu, a to kvůli možné absenci T drážek. V případě přítomnosti T drážek nelze upínací disky v navrhovaném rastru uplatnit, neboť by s nimi kolidovaly a nebylo by tak možné dostatečně upínací disky upevnit. Z funkčního hlediska by bylo možné zapustit upínací disky, aby byly rovnoběžné s upínací plochou samotného otočného stolu, znamenalo by to ovšem nutnost přesného broušení ploch a dalších nutných úprav, jež by mohly být značně nákladné. Pro ponechání upínacích disků a T drážek zároveň by bylo nutné také upravit polohu T drážek, což by znamenalo značný zásah do výroby samotného stolu, což by se výrazně promítlo na nákladech, zejména na vytvoření nové formy pro odlitek.

Níže je zobrazená situace se zabudovanými upínacími disky přímo do otočného stolu, bez T drážek.



Obrázek 82 - Varianta integrovaných upínacích disků přímo v otočném stole

6 ZÁVĚR

Současný stav nutí k úzké spolupráci výrobních podniků a tržního prostředí, neboť tržní prostředí, resp. poptávka zákazníka udává trendy, jež musí pro udržení konkurenceschopnosti výrobní podniky přebírat. Stav samotného tržního prostředí je ovlivňován v době vzniku této závěrečné práce zejména koronavirovou pandemií a válkou na blízkém východě. Dosavadní stav jednotlivých výrobních podniků v kombinaci se zmíněnými vlivy ukazuje, do jaké míry jsou pružné. Pružnost těchto výrobních podniků v těchto dobách hraje klíčovou roli a může významně ovlivnit až už pozitivní, tak negativní vývoj samotného výrobního podniku. Aktuálním trendem zlepšování procesů ve firmě je využívání automatizace, na niž se tato diplomová práce zaměřuje. Působení žádoucích i nežádoucích vlivů není mnohdy na první pohled znát, ovšem můžou mít velmi značný vliv na správnost využití dané automatizace.

V teoretické části diplomové práce byla detailně charakterizována automatizace, její možné vlivy a následky těchto vlivů na procesy obrábění. FERMAT CZ, s.r.o., pro kterou byla diplomová práce vyhotovena, se zabývá výrobou obráběcích strojů v Brně, kde se zaměřují na rozměrnější strojní zařízení a v Lipníku nad Bečvou, výrobnímu záводу určenému pro menší obráběcí stroje. Součástí automatizace je i paletizace, jež tlačí zmíněnou firmu. Konkrétně jde o upínací systémy obrobků, jež hraje velmi důležitou roli v samotném procesu obrábění. Upínací systémy obrobků mají značný vliv na průchod zakázky firmou a jejich výběr může silně ovlivnit postoj zákazníka k dodavateli. Tato problematika je blíže popisovaná v druhé polovině teoretické části systémového rozboru, kde jsou detailně popsány a srovnány jednotlivé upínací systémy. Ve zmíněné kapitole je také představena zadávající firma a její zadání ve formě technických požadavků.

Praktická část diplomové práce se zabývá 4 případovými studiemi, z nichž jsou 3 vlastním návrhem samotného autora. Jednotlivé případové studie znázorňují současný stav výrobního podniku, využitelnost a univerzálnost multifunkčního centra, využití výrobních linek a změnu současného stavu výrobního podniku. Současný stav výrobního podniku slouží pro definování výhod, nevýhod a nalezení nedostatků ve výrobním procesu víka vřeteníku. Druhá případová studie věnovaná multifunkčnímu centru ukazuje, že existuje varianta obrábění obrobku jedním strojem. Třetí případová studie je se zabývá využitelností výrobních linek v oblasti obrábění a užití v případné velkosériové výrobě. Čtvrtá případová studie se zabývá úpravami první případové studie z hlediska upínání obrobků pomocí zero point systému a optimalizací materiálového toku.

V rámci diplomové práce byly identifikovány vlivy působících na výrobní podniky v rámci automatizace, kterým jsou nuceny se neustále přizpůsobovat s cílem dosažení silné konkurenceschopnosti. Dále byly identifikovány nedostatky ve výrobě a navrženy případné optimalizace pro zlepšení samotného procesu obrábění víka vřetene s možností využití pro další obráběné komponenty v prostorách firmy. Přidanou hodnotou je projekční návrh speciální hliníkové desky s upínacím systémem ZERO CLAMP, jež výrobní podnik může nejen využívat pro svou potřebu, ale i prodávat koncovému zákazníkovi a posunout tak přidanou hodnotu dál.

Diplomová práce by se dala, popřípadě rozšířit o vypracování podrobné výkresové konstrukční dokumentace k navrhované desce z hliníkové slitiny s upínacími disky, popřípadě projekční a konstrukční aplikace téhož na druhou případovou studii, tedy na multifunkční obráběcí centrum ZPS MCG3022i.

Výrobní podnik, pro něž byla tato diplomová práce zpracována, disponuje širokým portfoliem strojního zařízení, což znamená i velkou škálu pevných a otočných stolů. ZERO CLAMP navrhovaná hliníková deska by se tak mohla využít s příslušnými úpravami i pro stoly jiných rozměrů, čímž by si výrobní podnik podstatně obohatil výrobní portfolio a narostlo by tak v konkurenceschopnosti.

Využitelnost ZERO CLAMP se jeví jako velmi významná a jako další stupeň vylepšení by mohla být realizace zapuštěných upínacích disků právě v pevném, či otočném stole, bez nutnosti přidávat další mezikus.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ZERO CLAMP [online]. 2021 [cit. 2021-12-19]. Dostupné z: <https://www.zeroclamp.com/en/zero-point-clamping-system/>
- [2] HRBÁČEK, Vlastimil. AUTOMATICKÁ VÝMĚNA OBROBKŮ [online]. Brno, 2018 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=174073. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Radim Blecha, Ph.D.
- [3] TEJKL, Michal. AUTOMATICKÁ VÝMĚNA MALÝCH A STŘEDNÍCH OBROBKŮ U CNC STROJŮ [online]. Brno, 2019 [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=191688. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Radim Blecha, Ph.D.
- [4] AMF Zero Point System [online]. YouTube, 2020 [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=SmKhY7hTTSc>
- [5] Katalog Zero Point System AMF [online]. AMF [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.amf.de/files/amf-assets/news/downloads/catalogues/Katalog-AMF-Zero-Point-Systems.pdf>
- [6] Robotizované linky [online]. 2021 [cit. 2021-12-02]. Dostupné z: <https://www.temex.cz/reference/montazni-linky/roboticka-montazni-linka-chladice-egr-ventilu-2-generace/>
- [7] Automatizace práce v ČR [online]. Praha: Deloitte, 2018 [cit. 2021-12-23]. Dostupné z: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cz/Documents/strategy-operations/Automatizace-prace-v-CR.pdf>
- [8] Výrobní systémy [online]. Brno, 2020 [cit. 2021-12-23]. Dostupné z: <https://moodle-archiv-2019-2020.ro.vutbr.cz/mod/folder/view.php?id=136416>
- [9] Policový regál [online]. Nezvěstice [cit. 2021-12-23]. Dostupné z: https://www.pematros.cz/app/uploads/2019/12/6_policovy_zakladni-293.jpg
- [10] Konzolový regál [online]. Praha, 2018 [cit. 2021-12-23]. Dostupné z: <https://www.kovovynabytek.cz/konzolovy-regal-multistrong-m-jednostranny-pristavny-75091/p75091/>
- [11] Příhradový regál [online]. Praha, 2019 [cit. 2021-12-23]. Dostupné z: <https://www.jungheinrich.cz/produkty/regaly/paletove-regaly/staticke-skladovani-palet/prihradovy-regal-se-sirokou-ulickou-492388>
- [12] Skříňový regál [online]. 2021 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://www.manutan.cz/img/S/GRP/ST/AlG2738199.jpg>
- [13] Pojízdňý regál [online]. 2020 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://www.kaiserkraft.cz/regaly/pojizdne-regaly/pojizdny-regal-vyska-1588-mm/pojizdny-regal-pro-160-prepravek-s-viditelnym-obsahem/p/M1120871/?articleNumber=170709>
- [14] EAN 13 [online]. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.gs1cz.org/standardy-gs1/sber-dat/linearni-carove-kody/ean-13>

- [15] CODE 128 [online]. [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://www.barcodefaq.com/1d/code-128/>
- [16] Model výrobní linky ze simulačního prostředí [online]. VŠE O PRŮMYSLU, 2020 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://www.vseoprmyslu.cz/digitalizace/digitalni-prototypovani/optimalizujte-navrh-vyrobní-linky-pomoci-simulačního-modelování.html>
- [17] CNC Obráběcí centrum [online]. [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://www.archibaseplanet.com/download/01c98286.html>
- [18] Matlab Simulink [online]. [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://www.coursef.com/simulink-tutorial-ppt>
- [19] Tecnomatix Process Simulate [online]. YouTube, 2019 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=loDNGv2fDs>
- [20] Upínání obrobků [online]. ELUC, 2014 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1229>
- [21] Upínání obrobků SŠPU Opava [online]. Opava: SŠPU Opava, 2011 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: https://www.sspu-opava.cz/static/UserFiles/File/_sablon/Praxe_II_a_III/VY_52_INOVACE_H-02-25.pdf
- [22] Multifunkční obráběcí centrum ZPS MCG3022i [online]. Zlín: Tajmac-ZPS, 2018 [cit. 2022-02-26]. Dostupné z: <https://www.tajmac-zps.cz/zps-mcg3022i>
- [23] Velkosériová výroba [online]. Gaadiwaadi, 2021 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://gaadiwaadi.com/ford-toyota-vw-fca-close-plants-due-to-lack-of-electronic-chips/>
- [24] Vliv údržby na cenu [online]. Machine Metrics, 2020 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://www.machinemetrics.com/blog/machine-maintenance>
- [25] DMG MORI M1 [online]. DMG MORI [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/produkty/stroje/frezovani/vertikalni-frezovani/m/m1>
- [26] Emco Mecof PowerMill [online]. 2008 [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://www.mmsonline.com/articles/meet-the-colossus-an-inside-look-at-one-of-the-largest-five-axis-machining-centers-in-the-us>
- [27] Materiály řezných nástrojů [online]. DocPlayer, 2022 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/8177193-Nastrojove-materialy.html>
- [28] Senzorický upínací systém uvnitř frézovacího centra [online]. Research Gate, 2008 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/a-Sensory-clamping-system-inside-a-milling-center-b-Protection-of-the-sensors-and_fig6_308869659
- [29] Interim management [online]. Avilo, [2018] [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <http://www.avilo.cz/cz/krizovy-a-interim-management>
- [30] KEHLER, Roman. Měření drsnosti povrchů [online]. České Budějovice, 2014 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: https://theses.cz/id/nf4w4l/BP-men_drsnosti_povrch_-_Kehler_Roman.pdf. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta, Katedra aplikované fyziky a techniky. Vedoucí práce RNDr. Pavel Kříž, Ph.D.

- [31] *Srovnání obráběných povrchů bez vibrací a s vibracemi* [online]. Sans Machining, c2022 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://www.sansmachining.com/how-to-reduce-chatter-vibration-in-cnc-machining/>
- [32] *Hrotová bruska BUB E, FERMAT* [online]. Brno: FERMAT, 2020 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://www.fermatmachinetool.com/produkty/bub-e/>
- [33] MAREK, Jiří. *O výrobním systému* [online]. Brno, 2020 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: https://moodle-archiv-2019-2020.ro.vutbr.cz/pluginfile.php/230977/mod_folder/content/0/1c_V%C3%BDr%20obn%C3%AD%20syst%C3%A9m.pdf?forcedownload=1. Přednáška. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních systémů, strojů a robotiky.
- [34] *EMS800 Milling Machine with Auto Tool Changer ATC cutting ballscrew mount for our Z Axis UCCNC Mach3* [online]. YouTube: cnc4youUK, 2016 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=EcSm8jG3gYk>
- [35] *Automatické měření drsnosti povrchu skenovací dotykovou sondou TC63 DIGILOG* [online]. Bangkok: BLUM Novotest, 2021 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://www.blum-novotest.com/th/news/news-stories/detail/taking-measurement-technology-to-an-elite-level/>
- [36] *ToolScout, Hoffmann* [online]. Hoffmann, 2019 [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: <https://toolscout.com/toolsearch>
- [37] *ZERO CLAMP typy upínacích disků* [online]. ZERO CLAMP, 2020 [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: https://www.zeroclamp.com/wp-content/uploads/2019/11/gesamtkatalog_v4_2019_engl.pdf
- [38]

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Příklad robotické montážní linky [6]	17
Obrázek 2 - Očekávané zisky firem [7]	18
Obrázek 3 - Velikost zaměstnanosti v intervalech pravděpodobnosti automatizace [7]	18
Obrázek 4 - Základní struktury výrobních systémů [8]	19
Obrázek 5 - Výrobní principy [8]	20
Obrázek 6 - Zleva: Policový regál [9], konzolový regál [10], příhradový regál [11], skříňový regál [12], pojízdný regál [13]	21
Obrázek 7 - CODE 128 [15]	22
Obrázek 8 - QR Kód	22
Obrázek 9 - EAN 13 [14]	22
Obrázek 10 - Model výrobní linky [16]	23
Obrázek 11 - Model obráběcího stroje ze Solidworks [17]	23
Obrázek 12 - Prostředí Matlab Simulink [18]	23
Obrázek 13 - Prostředí Tecnomatix Process Simulate [19]	24
Obrázek 14 – Příklad blízkosti sektorů výrobního podniku	26
Obrázek 15 - Využívané řezné materiály nástrojů [27]	26
Obrázek 16 - Senzorický upínací systém uvnitř frézovacího centra [28]	27
Obrázek 17 - Příklady využití interim a krizového managementu [29]	27
Obrázek 18 - Srovnání důležitosti času přesouvání obrobku při malosériové a velkosériové výrobě	28
Obrázek 19 - Ukázka různých drsností povrchů Ra [30]	29
Obrázek 20 - Srovnání povrchu při obrábění bez vibrací a s vibracemi [31]	29
Obrázek 21 - Schéma společných zájmů	30
Obrázek 22 - Obráběcí vertikální centrum Emco Mecof PowerMill [26]	31
Obrázek 23 - Ukázka osoustružení části statoru pro usazení víka	31
Obrázek 24 - Příklad možných operací dvou různých strojních zařízení [22] [32]	32
Obrázek 25 – Ukázka části výkresu číslování verze výkresu	32
Obrázek 26 - Grafické znázornění závislosti evoluce výrobních systémů na typu výroby [33]	33
Obrázek 27 - Příklad automatické výměny nástroje frézky EMS800 [34]	34
Obrázek 28 - Automatické měření drsnosti povrchu skenovací dotykovou sondou TC63 DIGILOG [35]	34
Obrázek 29 - Příklad využití automatické diagnostiky obráběcích strojů	35
Obrázek 30 - Ilustrační příklad vývojového diagramu zablokování pohybu vřeten a vysunutí ochranného krytu na řezný nástroj při přerušení dodávky elektrické energie do obráběcího centra	35
Obrázek 31 - Horizontální vyvrtávačka v prostorách firmy FERMAT	39
Obrázek 32 – Model víka vřeteníku před a po obrobení	39
Obrázek 33 - Polotovár víka vřeteníku	40
Obrázek 34 - Obrobené a částečně usazené víko vřeteníku	40
Obrázek 35 - Multifunkční obráběcí centrum ZPS MCG3022i [22]	40
Obrázek 36 - Pevný stůl 4000x2000 mm [22]	41
Obrázek 37 - Otočný stůl Ø2100 mm [22]	41
Obrázek 38 - Ukázka rotace hlavy a otočného stolu ZPS MCG3022i [22]	41

Obrázek 39 - Parametry otočného a pevného stolu ZPS MCG3022i [22].....	41
Obrázek 40 - Horizontální vyvrtávačka FERMAT jako příklad kusové výroby (ročně v jednotkách kusů)	42
Obrázek 41 - Ukázka velkosériové výroby v automobilním průmyslu (ročně v milionech kusů) [23]	42
Obrázek 42 - Závislost ceny údržby na počtu vyrobených zmetků vlivem preventivní, prediktivní nebo korekční údržby [24].....	42
Obrázek 43 - Současný poměrový podíl časových složek na obrábění víka vřetena z tvárné litiny GGG-60	43
Obrázek 44 - Vzorový příklad redukce času a úspora nákladů upínání pomocí změny typu upínacího systému na ZERO CLAMP [1]	44
Obrázek 45 - Upínání pomocí upínacích úhelníků [20].....	49
Obrázek 46 - Upínání pomocí šroubů a opěrek [21].....	49
Obrázek 47 - Upínání do stolu s T drážkami pomocí šroubů [21].....	49
Obrázek 48 - Strojní svěrák [21].....	49
Obrázek 49 - Principy strojních svěráků [21]	49
Obrázek 50 - Stavebnicový přípravek [20]	49
Obrázek 51 - Provedení upínacích ploch u technologických palet [2]	51
Obrázek 52 - ZERO CLAMP výhodnost [1]	52
Obrázek 53 - Popis pneumatického systému ZERO CLAMP [1]	53
Obrázek 54 - Pneumatická varianta systému zero point, AMF [4].....	54
Obrázek 55 - Hydraulická varianta systému zero point, AMF [4].....	55
Obrázek 56 - Středění upínacího šroubu, zero-point systém AMF [4]	56
Obrázek 57 - Středění upínacího šroubu 2, zero-point systém AMF [4].....	56
Obrázek 58 - Odfukování třísek, zero-point systém AMF [4].....	56
Obrázek 59 - Výrobní layout závodu Lipník n. Bečvou	58
Obrázek 60 - Multifunkční obráběcí centrum ZPS MCG3022i [22]	60
Obrázek 61 - Konstrukční řešení multifunkčního obráběcího centra ZPS MCG3022i [22] ...	61
Obrázek 62 - Označení jednotlivých ploch víka vřetenu určených k obrobení	62
Obrázek 63 - Grafické znázornění pohybu vřetena	64
Obrázek 64 - Poměr času obrábění a upínání	64
Obrázek 65 - Náhled na návrh dvojici paralelní výrobní linky.....	65
Obrázek 66 - Varianty krytování dvojice paralelních linek (vlevo oplocení, vpravo plechové kryty).....	66
Obrázek 67 - Příklad výpočtů ToolScout od Hoffman Group [36]	66
Obrázek 68 - Znázornění toku materiálu na dvojici paralelních lineárních linkách.....	70
Obrázek 69 – Princip vymezování vůlí konvenčních zero point systémů a zero point systému od ZERO CLAMP [37].....	72
Obrázek 70 Ukázka zabudování čepů v konvenčních zero point systémech a deformačního členu v ZERO CLAMP [37]	72
Obrázek 71 - Ukázka různých průměrů upínacích disků ZERO CLAMP zero point systému seřazených dle potřebné upínací síly [37].....	73
Obrázek 72 - Navrhovaný rastr upínacích disků.....	73
Obrázek 73 - Využitý model pro výpočty v SMath.....	74
Obrázek 74 - Schématické naznačení upevnění desky s upínacími disky na obráběcí stůl.....	75
Obrázek 75 - Schéma layoutu po přesunutí strojů	76
Obrázek 76 - Graf doby přesunu obrobků mezi stroji před a po změně layoutu	78

Obrázek 77 - Graf doby seřizování před a po změně layoutu	78
Obrázek 78 - Graf hlavního obráběcího času před a po změně layoutu.....	78
Obrázek 79 - Porovnání současného upínacího systému se ZERO CLAMP systémem na první a čtvrté případové studii	79
Obrázek 80 – Výstřižek z ekonomické analýzy případových studií	80
Obrázek 81 - Grafické znázornění celkových nákladů jednic u daných případových studií ...	80
Obrázek 82 - Varianta integrovaných upínacích disků přímo v otočném stole.....	83

9 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Tabulka parametrů ovlivňující přímou automatizaci obráběcích procesů.....	38
Tabulka 2 - Faktory ovlivňující upínání obrobků	46
Tabulka 3 - Metoda porovnávání v trojúhelníku párů	47
Tabulka 4 - Vyhodnocení multikriteriální metody porovnání v trojúhelníku párů.....	48
Tabulka 5 - Rozdíl mezi procesy upínání u konvenčních metod a ZERO CLAMP [1]	53
Tabulka 6 - Současný technologický postup.....	59
Tabulka 7 - Výpis vybraných technických parametrů ZPS MCG3022i [22]	61
Tabulka 8 - Výpis operací pro frézování a dokončování paralelních linek	67
Tabulka 9 - Výpis operací pro vrtání a řezání závitů paralelních linek	69
Tabulka 10 - Výpis využitých rezných nástrojů pro paralelní linky	69
Tabulka 11 - Technické požadavky upínacího stolu.....	71
Tabulka 12 - Využitelnost upínacích disků a bezpečnost upnutí.....	74
Tabulka 13 - Kupované komponenty.....	76
Tabulka 15 - Výpis kritérií pro metodu pořadí dle důležitosti kritérií.....	81
Tabulka 16 - Zhodnocení důležitosti jednotlivých kritérií.....	82

10 SEZNAM PŘÍLOH

- 1 Výpočty ZERO CLAMP
- 2 Multikriteriální zhodnocení vlivů upínání
- 3 Výkres - ZERO CLAMP V1
- 4 Výkres - ZERO CLAMP V2