



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

AUTOMATIZACE POLICOVÉ VÝROBNÍ LINKY

AUTOMATION OF STORAGE SYSTEM PRODUCTION LINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vojtěch Lexman

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. František Burian, Ph.D.

BRNO 2022

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Vojtěch Lexman

ID: 220998

Ročník: 3

Akademický rok: 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

Automatizace policové výrobní linky

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Úkolem studenta bude ve firmě ITAB Shop concept CZ v Boskovicích navrhnout optimalizaci výstupu policové linky s pomocí robotického manipulátoru, či jiného vhodného řešení.

1. Seznamte se s policovými produkty firmy ITAB a s automatickou výrobní linkou, na které jsou vyráběny.
2. Zmapujte současný proces výroby (čas operací, příprava a skladování polotovarů, čas ztracený jinými aktivitami než práce na výrobku).
3. Proveďte rešerši v oblasti principů překlápění materiálu pro účely skládané robotizované paletizace.
4. Navrhněte zjednodušené ideové konstrukční řešení
5. Vyberte několik variant použitých strojů a proveďte nezbytné výpočty pro srovnání jednotlivých komponent systému a vhodnosti pro různé druhy polic.
6. Vyberte vhodné komponenty pro řešení na základě více kritérií (náklady, rychlost výroby, variantnost)
7. Srovnejte situaci před změnou a po Vámi navržené změně

DOPORUČENÁ LITERATURA:

POPLE, R. The science of palletizing [online]. Columbia Machine, 2009 [cit. 2021-9-13].

Termín zadání: 7.2.2022

Termín odevzdání: 23.5.2022

Vedoucí práce: Ing. František Burian, Ph.D.

Konzultant: Radka Adamjáková

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Tato práce se zabývá optimalizací a navrhnutím výstupu policové linky za pomoci robotického manipulátoru nebo dalších vhodných řešení. V práci jsou shrnuty návrhy pro optimalizaci výstupu policové linky a další důležité parametry, které je třeba uvážit při řešení optimalizace.

Klíčová slova

Police, robotický manipulátor, optimalizace, robot, ITAB, model.

Abstract

This thesis deals with optimization and design of shelf line output using a robotic manipulator or other suitable solutions. The thesis summarizes suggestions for optimization of shelf line output and other important parameters that need to be considered in optimization solution.

Keywords

Shelf, robotic manipulator, optimization, robot, ITAB, model.

Bibliografická citace

LEXMAN, Vojtěch. *Automatizace policové výrobní linky* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/142257>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce František Burian.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta:	<i>Vojtěch Lexman</i>
VUT ID studenta:	220998
Typ práce:	<i>Bakalářská práce</i>
Akademický rok:	2021/22
Téma závěrečné práce:	Automatizace policové výrobní linky

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 15. května 2022

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce, Ing. Františku Burianovi, Ph.D., za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: 15. května 2022

podpis autora

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK.....	11
1. ÚVOD.....	12
2. SEZNÁMENÍ S FIRMOU ITAB	13
2.1 ÚVODNÍ INFORMACE O FIRMĚ.....	13
2.2 ITAB BOSKOVICE	13
3. TEORETICKÁ ČÁST	14
3.1 POLICE	14
3.2 MONTÁŽNÍ LINKA.....	14
3.3 PROFILOVACÍ LINKA NA VÝROBU POLIC	15
3.4 ODPOROVÉ SVAŘOVÁNÍ.....	15
3.5 ROBOTI.....	15
3.5.1 Průmysloví roboti.....	15
3.5.2 Souřadnicoví roboti	16
3.5.3 Válcově souřadnicoví roboti	16
3.5.4 Sférické souřadnicoví roboti	16
3.5.5 SCARA roboti.....	16
3.5.6 Delta roboti.....	16
3.6 PÁSKOVACÍ ZAŘÍZENÍ.....	16
4. VÝROBNÍ PROCES POLICE.....	17
4.1 SCHÉMA CELKOVÉHO PROCESU VÝROBY POLICE.....	17
4.2 CELKOVÝ POPIS PRÁCE DĚLNÍKŮ.....	17
4.2.1 O1 – Skládání polic na paletu.....	18
4.2.2 O2 – Skládání otočené police na paletu.....	18
4.2.3 O3 – Odvoz palety.....	19
4.2.4 O4 – Založení prokladu.....	19
4.2.5 O5 – Balení polic	20
4.2.6 O6 – Svázání palety	21
.....	22
4.2.7 O7 – Přívoz palety k dopravníku.....	23
4.3 CELKOVÝ POPIS AUTOMATICKÉ VÝROBY	23
4.3.1 A1, A6 – Založení cívky.....	23
4.3.2 A2, A7 – Lisování.....	23
4.3.3 A3, A8 – Ohýbačka	23
4.3.4 A4, A9 – Nůžky.....	23
4.3.5 A5 – Bodovací stroj.....	23
4.4 SEZNAM SKLADŮ.....	24
4.5 ZMĚŘENÉ ČASY JEDNOTLIVÝCH OPERACÍ.....	24
5. PŘEKLÁPĚNÍ MATERIÁLU PRO ROBOTIZOVANOU PALETIZACI.....	27
5.1 ÚVOD.....	27
5.2 MOŽNOSTI PŘEKLÁPĚNÍ MATERIÁLU	27

5.2.1	<i>Nůžky</i>	27
5.2.2	<i>Válečkový překlápěč</i>	28
5.2.3	<i>Robotický překlápěč</i>	28
5.2.4	<i>Vakuový překlápěč</i>	28
6.	OPTIMALIZACE AUTOMATICKÉ LINKY	29
6.1	ZPOMALENÍ AUTOMATICKÉHO PROCESU VÝROBY	29
6.2	OPTIMALIZACE AUTOMATICKÉHO PROCESU	29
6.3	OPTIMALIZACE PRÁCE PRACOVNÍKŮ	29
6.3.1	<i>Optimalizace překlápěcího stroje</i>	29
6.3.2	<i>Optimalizace práce pracovníka</i>	31
7.	ZJEDNODUŠENÝ NÁVRH PŘEKLÁPĚCÍHO STROJE	36
7.1	PARAMETRY PRO VÝBĚR MOTORU	38
7.2	VÝBĚR PRVNÍHO POHONU.....	39
7.2.1	<i>Servomotor TGMA</i>	39
7.2.2	<i>Frekvenční měnič</i>	40
7.2.3	<i>Cykloidní převodovka</i>	40
7.3	VÝBĚR DRUHÉHO POHONU	41
7.3.1	<i>Servomotor TGH4</i>	41
7.3.2	<i>Frekvenční měnič</i>	41
7.3.3	<i>Planetová převodovka</i>	42
7.4	ZVOLENÝ POHON.....	43
7.5	UKÁZKA PŘEKLOPENÍ POLICE	43
8.	NÁVRH PORTÁLOVÉHO JEŘÁBU	45
8.1	VYBRÁNÍ JEDNOTLIVÝCH KOMPONENTŮ	45
8.1.1	<i>Výběr uchopovacího systému</i>	45
8.1.2	<i>Výběr horizontálního pohybu</i>	46
8.1.3	<i>Výběr vertikálního pohybu</i>	47
8.1.4	<i>Soupiska materiálu</i>	48
8.2	VIZUALIZACE PORTÁLOVÉHO JEŘÁBU	48
8.3	UKÁZKA ZALOŽENÍ DVOU POLIC NA PALETU	50
8.4	DOSAŽENÉ VÝSLEDKY.....	53
9.	ZÁVĚR	54
	LITERATURA	55
	SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	56
	SEZNAM PŘÍLOH	57

SEZNAM OBRÁZKŮ

2.1 ITAB [4]	13
4.1 Schéma procesu výroby	17
4.2 Výstup automatické linky	18
4.3 Založení police.....	18
4.4 Založení otočené police	19
4.5 Sklad palet	19
4.6 Proklad palet	20
4.7 Příprava ochranných kartónů	20
4.8 Balení palety	21
4.9 Zabalená paleta	21
4.10 Svázání palety podélně	22
4.11 Svázání palety příčně	22
4.12 Hotová paleta	22
5.1 Překlápěcí stroj [2].....	27
6.1 Statistický graf činností	31
6.2 Současné schéma procesu výroby	31
6.3 Optimalizované schéma procesu výroby	33
7.1 Model nejmenší police.....	36
7.2 Model největší police.....	36
7.3 Model válečkového dopravníku.....	37
7.4 Zjednodušený model překlápěcího stroje.....	37
7.5 Celkový model.....	38
7.6 Odečtení poloměru překlápěcího stroje.....	38
7.7 Servomotor TGMA [10].....	39
7.8 Frekvenční měnič [10]	40
7.9 Cykloidní převodovka [10]	40
7.10 Servomotor [10]	41
7.11 Frekvenční měnič [10]	42
7.12 Planetová převodovka [10].....	42
7.13 Nabrání police.....	43
7.14 Překlopená police.....	44
8.1 Vizualizace portálového jeřábu.....	45
8.2 Graf uchopovací síly [11]	46
8.3 Magnetické chapadlo [11].....	46
8.4 Delta modul D 90-ZRS [11]	47
8.5 Beta modul B 40-ZSS [11]	48
8.6 Pohled zepředu portálového jeřábu.....	49
8.7 Pohled z profilu portálového jeřábu.....	49
8.8 Připevňovací hliníková kostka	50
8.9 Úchyt na magnetická chapadla	50
8.10 Zarážka polic.....	50
8.11 Zjištění pozice palety	51
8.12 Nabrání první police	51
8.13 Zvednutí první police.....	51
8.14 První police nad paletou.....	52
8.15 Položení první police na paletu.....	52

8.16 Překlopení druhé police	52
8.17 Nabraní druhé police.....	53
8.18 Založení druhé police.....	53

SEZNAM TABULEK

4.1	Seznam skladů S1 až S7	24
4.2	Seznam skladů S8 až S11	24
4.3	Změřená data pro polici 666x620.....	25
4.4	Změřená data pro polici 666x670.....	26
4.5	Vypočítaná data pro polici 666x670.....	26
4.6	Vypočítaná data pro polici 666x670.....	26
7.1	Soupiska obou pohonů	43
7.2	Soupiska materiálu pro překlápečí stroj	44
8.1	Soupiska materiálu pro portálový jeřáb.....	48

1. ÚVOD

Úvodní část této práce obsahuje seznámení s firmou ITAB, která vyrábí police pro obchodní centra a další různé produkty pro jiné společnosti. Další je teoretická část, ve které je seznámení s policovými produkty a s automatickou linkou, na které jsou police vyráběny. Praktická část obsahuje popis výrobního procesu částečně automatické linky. V popisu je postupně popsán celý postup výroby police od začátku výrobního procesu až po konečný odvoz palety do lakovny. Dále je v praktické části zmapovaný proces výroby s jednotlivými časy operací. Tyto časy jsou pak vyneseny do statistického grafu. Z naměřených hodnot je poté navržena optimalizace výrobní linky. Jako další je v práci navrhnout zjednodušený model překlápěcího stroje, který je zapotřebí vyrobit, aby bylo možné provést optimalizaci navrženou v kapitole 6.3.1. A v neposlední řadě je v práci navrhnout model portálového jeřábu, potřebný pro zakládání polic na paletu.

2. SEZNÁMENÍ S FIRMOU ITAB

2.1 Úvodní informace o firmě

Firmu založil švédský podnikatel Tord Jahansson v 70. letech 20. století. Společnost ITAB je nadnárodní firma se 45 pobočkami nejen v Evropě. Společnost ITAB zaměstnává okolo 4000 zaměstnanců po celém světě. V české republice působí 29 let. V Boskovicích mají výrobní závod od roku 2007, ale firma existuje již od roku 1994, ale pod jiným názvem APOS. Firma se zabývá zámečnictvím, truhlářstvím, lakýrnictvím, montáží, revizemi, zkouškami elektrických zařízení, obráběčstvím, pokladními systémy, osvětlovacími systémy, vybavením obchodů, návrhem a řešením pro kamenné obchody. V současné době pomáhají zákazníkům v řadě sektorů, mezi které patří především potraviny, domácí kutilové, spotřební elektronika, móda a kavárny [1].

2.2 ITAB Boskovice

V Boskovicích se firma zabývá především komplexní výrobou polic a pokladních systémů pro obchodní centra a obchodní řetězce. V Boskovicích společnost zaměstnává okolo 520 lidí.



Obrázek 2.1 ITAB [4]

3. TEORETICKÁ ČÁST

3.1 Police

Police (regály) jsou součástí každodenního života lidí, a to jak doma, tak i v obchodech. Police nám umožňují velice přehledné uspořádání pro skladování různého materiálu nebo potravin. Při skladování materiálu nám šetří místo, kterého není nikdy dost. V prodejnách se regály používají k vystavování různého nabízeného zboží. V domech se využívají na vystavování například knížek nebo různých sbírek umění. Police se vyrábí z různých materiálů, jako je například plech.

Druhy polic lze dělit podle skladovaného materiálu na archivní, policové, konzolové, paletové atd. Regály se vyrábí z různých materiálů, jako je například dřevo, plast, plech nebo z různých mnoha dalších kombinací materiálů. Police se dají nastavovat a různě skládat. Mohou být pojízdné nebo napevno připevněné. Z polic lze dělat obrovské vícepatrové sklady, které umožňují, za použití moderních technologií, velkou efektivitu a menší náklady na uskladnění materiálu.

O regály je potřeba pečovat podobně jako o vše, co chceme, aby nám vydrželo. Pokud jsou regály venku, může je poškodit sluneční záření, které může spolu s deštěm způsobit povrchové poškození. Dále pokud jsou regály nastříkané práškovou barvou, mohou při dlouhodobém vystavení venku na slunci ztrácet barvu. V případě průmyslových regálů, které jsou v uzavřeném prostoru, nehrají povětrnostní vlivy roli. Hrozí jim však úplně jiné poškození. Například při častém přemísťování materiálu nám hrozí poškození poškrábáním, ohnutí police a následný pád celého vícepatrového regálu. Regály je nutné dle nařízení vlády 101/2005 Sb. v pravidelných intervalech kontrolovat. Regály se nesmí přetěžovat přes doporučenou nosnost, protože by hrozilo jejich zhroucení [5].

3.2 Montážní linka

Montážní linka je výrobní proces, během kterého se při použití optimální logistiky vytváří výsledný produkt. Účelem montážní linky je vyrobit produkt mnohem rychleji než ručními metodami. Montážní linka byla vyvinuta na začátku 20.století společností Ford Motor Company. Díky zavedení sériové výroby se staly produkty cenově dostupnější. Masová produkce na montážních linkách je považována za urychlující prvek, který napomohl ustanovení moderní spotřebitelské kultury snížením nákladů na vyráběné zboží [7].

3.3 Profilovací linka na výrobu polic

Válcovací linka je určena na výrobu regálových polic. Skládá se z odvíječícího bubnu, pístu na prostřih děr, měřícího zařízení, ohýbací části a lisovacích nůžek. Svitek materiálu postupně prochází celým strojem. Z odvíječícího bubnu se rozvíjí svitek materiálu, který prochází lisem na prostřih děr. Do materiálu se vylisují díry po určitých vzdálenostech. Materiál postupuje válcovací tratí, která materiál ohne na příslušné tvary. Na konci se materiál rozdělí nůžkami na jednotlivé polotovary polic.

3.4 Odporové svařování

Svařování je proces, který slouží k vytvoření trvalého nerozebíratelného spoje. Obecným požadavkem na proces svařování je vytvoření termodynamických podmínek, při kterých je umožněn vznik nových meziatomárních vazeb. Odporové svařování patří do skupiny 2 podle ISO 4063. Odporové svařování se používá pro spojení dvou materiálů položených na sobě. Tato metoda se používá k takzvanému bodování ocelových plechů. Spojované materiály jsou k sobě přimáčknuty dvěma elektrodami, mezi kterými prochází elektrický proud. Ocel má oproti měděným koncům velký odpor, proto v oceli dojde k lokálnímu ohřátí styčných ploch svařovaných plechů. Vzniklý svár má velkou pevnost proti usmyknutí. Svařovací proud se pohybuje v jednotkách až desítkách kiloampér při délce působení od 0,04 sekund až do 2 sekund. Pro ocelové plechy se nejčastěji používají měděné elektrody, které při vyvinutí tepla neuvolňují žádné škodlivé emise. Dalšími materiály elektrod mohou být například slitiny kobaltu a kadmia, mědi, niklu a křemíku, a mnoha dalších [8].

3.5 Roboti

Robot je stroj vykonávající určité úkoly předepsaným způsobem. Robot je schopen vnímat okolí pomocí senzorů a reagovat na něj. Roboty můžeme dělit podle toho, jestli pracují na základě pevně daného programu, nebo jsou vybaveni senzory, díky nimž reagují na okolní podmínky. Dále se můžou dělit podle schopnosti se přemísťovat, podle účelu, vzhledu, schopností a mnoha dalších aspektů. Nejčastěji použití roboti v průmyslu jsou průmysloví roboti, klouboví, souřadnicoví, válcově souřadnicoví, SCARA, delta a sférickí souřadnicoví roboti [9].

3.5.1 Průmysloví roboti

Roboti umí různé stupně anatomie. Roboti jsou naprogramováni, aby přesně prováděli konkrétní opakující se úkoly znovu a znovu. Tyto úlohy jsou naprogramovány a určují směr, zrychlení, rychlost atd. Další roboti jsou mnohem flexibilnější, zdali jde o orientaci objektů. Existuje celkem šest průmyslových robotů [6].

3.5.2 Souřadnicoví roboti

Souřadnicoví roboti nebo také přímočaří roboti mají tři hranolové klouby pro pohyb nástroje a tři rotační klouby pro orientaci v prostoru [6].

3.5.3 Válcově souřadnicoví roboti

Válcově souřadnicoví roboti jsou roboti, jejichž osy tvoří válcový souřadnicový systém. Pohyb hlavní paže je nahoru a dolů. Tento pohyb robot vykonává vysunutím válce, který je zabudován do ramene. Otáčení je zajištěno motorem s převody. Konstrukce umožňuje robotu dosáhnout těsných pracovních míst bez ztráty rychlosti [6].

3.5.4 Sféřičtí souřadnicoví roboti

Tito roboti mají pouze otočné klouby a jsou jedni z prvních robotů, kteří byli použiti v průmyslových aplikacích. Často se využívají při obrábění kovů či vytlačování plastů [6].

3.5.5 SCARA roboti

SCARA roboti mají díky paralelnímu uspořádání kloubů rameno mírně poddajné ve směru XY, ale tuhé ve směru Z. Tito roboti jsou používáni pro práce, které vyžadují přesné boční pohyby. To je vhodné pro mnoho typů montážních operací [6].

3.5.6 Delta roboti

Delta roboti se skládají z paralelních vazeb spojených společnou základnou. Tito roboti jsou vhodné pro úkoly přímého řízení a operace s vysokým manévrováním [6].

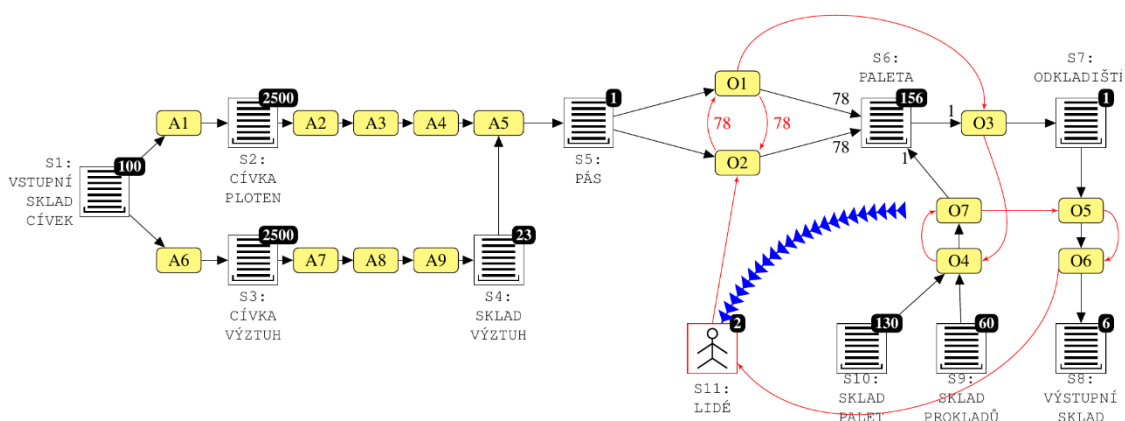
3.6 Páskovací zařízení

Páskovacím zařízením se rozumí stroj, který fixuje zboží různými typy vázací pásky. Páskovací stroje nejčastěji pracují s plastovou a ocelovou vázací páskou. Páskování palet je proces, při kterém se za pomoci automatického nebo ručního stroje zafixuje materiál na paletě, nebo stáhne jakýkoliv materiál k sobě. Slouží k levnému zabezpečení zboží při manipulaci a přepravě.

4. VÝROBNÍ PROCES POLICE

4.1 Schéma celkového procesu výroby police

Na schématu (obrázek 4.1) je vidět tok materiálu označený černými šipkami s jednotlivými automatickými procesy, které jsou označeny písmenem A. Dále jsou zde označeny jednotlivé operace lidí písmenem O a jednotlivé sklady označeny písmenem S. Všechny tyto operace a sklady jsou popsány výše v této bakalářské práci. Ve schématu u jednotlivých skladů je vpravo nahoře označeno množství, které je ve skladu na začátku procesu. Červené šipky označují pohyb zaměstnance mezi jednotlivými operacemi s příslušnými časy jednotlivých operací. Šipka trigger vyznačená na schématu modrou barvou nám značí, kdy se pracovníci vymění a tím začne další cyklus.



Obrázek 4.1 Schéma procesu výroby

4.2 Celkový popis práce dělníků

Na výstupu výrobní linky jsou dva dělníci, kteří odebírají hotové police a skládají je na paletu. Dělník v průměru založí jednu polici na paletu za 7 až 9 sekund. Z toho vyplývá, že jednu celou paletu, na které je 156 kusů zvládne za 20 minut a 48 sekund. To však ve skutečném provozu není pravda. Na konci pásu je čidlo, které snímá, jestli je nad ním hotová police. Když ji dělník neodebere do příslušného taktu linky, celá linka se zastaví a čeká, dokud ji dělník neodebere. Protože je dělník jenom člověk, potřebuje přestávky na to, aby se napil. Největší prodleva nastává v případě, když má paletu hotovou a musí ji odvézt a nachystat novou paletu. V tomto případě stroj čeká okolo dvou minut, než pracovník znovu začne skládat police na paletu. Během skládání polic začne druhý dělník hotovou paletu svazovat igelitem. Igelit slouží k tomu, aby držel na svých místech

ochranné papírové rohy, přes které pak sváže paletu, aby se při převozu na lakování nevysypala. Tento proces by se dal částečně urychlit nahrazením člověka šestiosým robotem, který by skládal hotové police na paletu.

4.2.1 O1 – Skládání polic na paletu

Hotová police vyjede z bodovacího stroje každých osm až dvanáct sekund podle velikosti police a příslušných vzpěr, které určují nosnost police. Police se přepraví po válečkovém dopravníku k pracovníkovi. Na válečkovém dopravníku jsou válečky seřizeny tak, aby fungovaly hladce kromě posledního, který je tuhý, aby se police zastavila, jak je vidět na obrázku 4.2. Polici poté vezme pracovník a položí ji na paletu stejně, jak vyjela z linky, viz obrázek 4.3. Druhou polici pracovník musí otočit horizontálně o 180 stupňů. Případně dle typu a velikosti police dále otočit vertikálně.



Obrázek 4.2 Výstup automatické linky



Obrázek 4.3 Založení police

4.2.2 O2 – Skládání otočené police na paletu

Po odebrání police z pásu vyjede z bodovacího stroje nová police, kterou musí pracovník otočit horizontálně o 180 stupňů. Případně dle typu a velikosti police dále otočit vertikálně. Poté pracovník druhou polici položí na první, jak můžeme vidět na obrázku 4.4. Tento postup se opakuje střídavě s operací jedna, dokud není na paletě požadovaný počet polic. V případě police 666x670(3) je na paletě 156 kusů polic.



Obrázek 4.4 Založení otočené police

4.2.3 O3 – Odvoz palety

Po dokončení naskládání požadovaného počtu polic na paletu, pracovník odveze paletu vedle válečkového dopravníku do meziskladu. Pracovník si poté vezme novou paletu ze skladu prázdných palet, které jsou naskládány na sobě, jak můžeme vidět na obrázku 4.5. Paletu poté pracovník položí na manipulátor.



Obrázek 4.5 Sklad palet

4.2.4 O4 – Založení prokladu

Poté co pracovník dal novou paletu na manipulátor, jde do meziskladu prokladů, kde si vezme proklad, který vloží do mezer na paletě, jak můžeme vidět na obrázku 4.6. S připravenou paletou na manipulátoru se vrátí zpět k válečkovému dopravníku.



Obrázek 4.6 Proklad palet

4.2.5 O5 – Balení polic

První pracovník poté co dokončil přípravu nové palety, jde zabalit police, které poskládal na paletu. Jednou za čas musí pracovník prvně protřídit kartonové vinkle, které slouží jako ochrana polic pro následné svázání palety páskovačkou. Kartonové vinkle se vrací z lakovny, kde se police rozbálí a následně se na ně nanese ochranná barva proti případné korozi. Pracovník pak vezme fólii, kterou začne obalovat paletu a přidává postupně ochranné kartonové vinkle, dokud každý není chycen folií k paletě. Tento postup můžeme vidět na obrázcích 4.7. až 4.9. Celý tento postup zabere pracovníkovi kolem dvou minut.



Obrázek 4.7 Příprava ochranných kartónů



Obrázek 4.8 Balení palety



Obrázek 4.9 Zabalená paleta

4.2.6 O6 – Svázání palety

Po obalení celé palety fólií vezme pracovník plastovou vázací pásku a prostrčí jí pod paletou jednou napříč a dvakrát podélně. Následně vezme páskovačku, která stáhne pásku a přestřihne ji. Svázaná paleta je poté odvezena do lakovny na druhé straně haly. Tento postup trvá pracovníkovi kolem pěti minut. Zbývajícím časem pracovník třídí ochranné kartónové vinkly, nebo se jde osvěžit. Tento postup můžeme vidět na obrázcích 4.10 až 4.12.



Obrázek 4.10 Svázání palety podélně



Obrázek 4.11 Svázání palety příčně



Obrázek 4.12 Hotová paleta

4.2.7 O7 – Přívoz palety k dopravníku

Po dokončení operace čtyři, pracovník přepraví připravenou paletu pomocí manipulátoru k válečkovému dopravníku. Následně si manipulátorem zvedne paletu do požadované výšky dle velikosti pracovníka a poté se vymění s druhým pracovníkem. Druhý pracovník následně znovu začne postupně opakovat operaci jedna a dva, dokud není paleta plná. První pracovník jde po dokončení operace sedm dále pracovat operacemi pět a šest. Po dokončení se jde pracovník občerstvit.

4.3 Celkový popis automatické výroby

V případě kusové výroby polic se nejprve (ocelová) cívka vloží do stroje, který ji pomalu rozvíjí. Plát, který se postupně rozvíjí, vjede do lisu, kde se na příslušných místech vylišují díry. Vylisovaný plát poté projíždí ohýbačkou, která ohne plát na požadované rozměry a tvary. Na konci ohýbačky jsou nůžky, které stříhají naohýbaný plát na požadovaný rozměr. Police se poté přesune do bodovačky, bodovačka si nachystá příslušný počet vzpěr, které potom přenesou na přesně dané místo na polici. K polici se přivaří vzpěry a hotová police vyjede z linky, kde ji dělníci skládají na paletu.

4.3.1 A1, A6 – Založení cívky

Ze skladu cívek, kde se nachází kolem sto kusů cívek ocelového plátu dvou velikostí, se portálovým jeřábem vezme příslušná cívka a vloží se na přední stranu odvinovacího stroje. Po odvinutí celého ocelového svitku se stroj otočí o 180°, kde na druhé straně je připravená nová cívka. Poté dělník ručně rozvine kousek svitku a vloží jej do lisu.

4.3.2 A2, A7 – Lisování

Z odvinovacího stroje vjíždí ocelový plát do lisovacího stroje, který po určité délce vylišuje do plátu koncové díry police, popřípadě výztuhy.

4.3.3 A3, A8 – Ohýbačka

Z lisu plát pokračuje do ohýbacího stroje, který ohne ocelový plát na určitý tvar. Průchod ohýbacím strojem trvá jedné polici kolem sedmi taktů v závislosti na dané délce police. V případě výztuh trvá průchod ohýbacím strojem jeden takt.

4.3.4 A4, A9 – Nůžky

Z ohýbacího stroje ocelový plát pokračuje do stříhacího stroje, který stejně jako lis po určité, předem stanovené délce, oddělí plát na již dané plotny polic, popřípadě výztuh.

4.3.5 A5 – Bodovací stroj

Po oddělení ocelového plátu na jednotlivé plotny polic se jednotlivé police posunou

pomocí pásu do bodovacího stroje. V první části (A5A) bodovacího stroje se k plotně polic připevní výztuhy na čtyřech místech. Poté se police s výztuhami posune do další části bodovacího stroje (A5B), kde se výztuhy dále spojí s plotnou na dalších čtyřech místech uprostřed.

4.4 Seznam skladů

Zde jsou uvedeny všechny jednotlivé sklady uvedené na obrázku 4.1. K jednotlivým skladům je přiřazen název skladu a maximální množství materiálu, který se do něj vleze.

Tabulka 4.1 Seznam skladů S1 až S7

Označení	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Jméno skladu	Sklad cívek	Sklad cívky ploten	Sklad cívky výztuh	Zásobník výztuh	Zásobník ploten na pásu	Sklad hotových polic	Odkládiště hotové palety
Množství	100	2500	2500	23	1	156	1

Tabulka 4.2 Seznam skladů S8 až S11

Označení	S8	S9	S10	S11
Jméno skladu	Výstupní sklad	Sklad prokladů	Sklad palet	Místnost s pracovníky
Množství	6	60	130	2

4.5 Změřené časy jednotlivých operací

Zde jsou uvedeny časy jednotlivých operací. Měření dat probíhalo v několika dnech, které jsem strávil ve firmě ITAB. Nejprve jsem začal měřením automatických procesů linky a poté jsem měřil jednotlivé operace lidí. Změření operací, které konají pracovníci, bylo časově náročné, protože některé operace nastávají jednou za půl hodiny, či více, podle poruch nebo pravidelných přestávek. Jednotlivé časy operací byly změřeny pomocí stopek a následně zapsány do tabulky. Při prvním měření operací jsem zjišťoval současný proces výroby polic a zapisoval jsem si jednotlivé procesy a sklady materiálu, které se v celém procesu nacházejí. Při dalších měřeních jsem již měřil jednotlivé časy všech procesů. Tyto časy byly změřeny pro dva typy polic. Z naměřených dat a zjištění celého procesu výroby jsem přišel na optimalizace, které by mohly zvýšit efektivitu celého procesu.

Tabulka 4.3 Změřená data pro polici 666x620

Počet měření	1	2	3	4	5	6	7	Průměr	Medián	Směrodatná odchylka
Perioda [s]	6,78	7,06	8,06	6,96	6,88	6,90	7,00	7,09	6,96	0,40
A1 [s]	213,00							213,00	213,00	
A2 [s]	0,92	0,85	0,90	0,96	0,90	0,80	1,01	0,91	0,90	0,06
A3 [s]	2,10	2,23	2,20	2,25	2,35	2,27	2,40	2,26	2,25	0,09
A4 [s]	3,78	3,74	3,81	3,85	3,79	3,83	4,00	3,83	3,81	0,08
A5A[s]	5,15	5,20	5,04	5,03	4,98	5,10	5,50	5,14	5,10	0,16
A5B [s]	4,28	4,40	4,33	4,40	4,30	4,21	4,29	4,32	4,30	0,06
A6 [s]	155,00							155,00	155,00	
A7 [s]	0,84							0,84	0,84	
A8 [s]	0,80							0,80	0,80	
A9 [s]	0,70							0,79	0,79	
O1 [s]	5,80	5,60	5,10	5,80	5,20	5,14	5,48	5,45	5,48	0,28
O2 [s]	10,27	9,60	8,90	8,43	9,00	8,25	9,01	9,0	9,00	0,64
O3 [s]	44,00	49,00	52,00					48,33	49,0	3,30
O4 [s]	20,00	15,00	14,00					16,33	15,00	2,62
O5 [s]	180,00	173,00	159,00					170,67	173,00	8,73
O6 [s]	320,00	298,00	332,00					316,67	320,00	14,08
O7 [s]	54,00	45,00	39,00					46,00	45,00	6,16

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{3} * (54,00 + 45,00 + 39,00) = 46,00 [s], \quad (4.1)$$

$$Me(X) = x_{\frac{n+1}{2}} = x_{\frac{3+1}{2}} = x_2 = 45,00 [s], \quad (4.2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{3} * ((54,00 - 46,00)^2 + (45,00 - 46,00)^2 + (39,00 - 46,00)^2)} = 6,16 [s], \quad (4.3)$$

Tabulka 4.4 Změřená data pro polici 666x670

Počet měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Perioda [s]	12,85	12,7	12,77	12,8	12,72	12,81	12,82	12,72	12,73	12,83
A1 [s]	210,00									
A2 [s]	0,79	0,55	0,67	0,78	0,68	0,63	0,64	0,58	0,59	0,74
A3 [s]	2,29	1,97	1,75	2,04	2,35	2,29	2,19	2,04	2,45	2,16
A4 [s]	2,54	2,63	2,21	2,65	2,75	2,55	2,48	2,65	2,51	2,48
A5A[s]	9,19	9,36	9,09	9,25	9,24	9,24	9,42	9,31	9,4	9,18
A5B [s]	6,57	5,71	5,96	5,81	5,98	5,92	6,18	6,88	6,56	6,41
A6 [s]	150,00									
A7 [s]	0,87									
A8 [s]	0,98									
A9 [s]	0,79									
O1 [s]	6,74	6,59	6,81	6,49	6,58	6,64	6,71	6,61	6,74	6,76
O2 [s]	7,42	8,33	7,85	7,42	8,9	8,21	8,01	7,95	7,58	8,12
O3 [s]	40,00									
O4 [s]	20,00									
O5 [s]	94,00									
O6 [s]	279,00									
O7 [s]	52,00									

Tabulka 4.5 Vypočítaná data pro polici 666x670

Název operace	Perioda	A1	A2	A3	A4	A5A	A5B	A6	A7	A8	A9
Průměr [s]	12,78	210,00	0,67	2,15	2,55	9,27	6,20	150,00	0,87	0,98	0,79
Medián [s]	12,79	210,00	0,66	2,18	2,55	9,25	6,08	150,00	0,87	0,98	0,79
Směrodatná odchylka[s]	0,05		0,08	0,20	0,14	0,10	0,37				

Tabulka 4.6 Vypočítaná data pro polici 666x670

Název operace	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7
Průměr [s]	6,67	7,98	40,00	20,00	94,00	279,00	50,00
Medián [s]	6,68	7,98	40,00	20,00	94,00	279,00	50,00
Směrodatná odchylka[s]	0,10	0,43					

5. PŘEKLÁPĚNÍ MATERIÁLU PRO ROBOTIZOVANOU PALETIZACI

5.1 Úvod

Překlápěče slouží k překlápění materiálu různých hmotností a tvarů daného produktu. Tyto stroje jsou nezbytnou součástí průmyslové manipulace, protože snižují náklady na výrobu daného produktu, režijní náklady spojené s lidskou prací a bezpečností. Otáčení dílů je běžným problémem v průmyslu zpracování oceli a plechu. Tento úkon stojí značné množství času a představuje bezpečnostní riziko pro zúčastněné zaměstnance. Tato ruční operace je časově náročná a vyžaduje od zaměstnance, popřípadě zaměstnanců velké fyzické úsilí a může vést k nebezpečným situacím. Průmysl trpí nedostatkem kvalifikovaných zaměstnanců, proto vytváření bezpečných pracovních podmínek je důležitější, než bylo kdy dříve. K vyřešení tohoto problému je mnoho možností. Existují překlápěče hydraulické, které fungují pomocí hydraulických pístů, které se vysouvají. Jejich výhodou jsou schopnosti překlápat těžké materiály a velká robustnost stroje. Elektrické překlápěcí stroje, které dokáží obracet materiál velice rychle s velkou přesností a mnoho dalších. Důležitým aspektem je provedení, kterým se daný materiál překlápí, tvar překlápěného materiálu, hmotnost, celkový rozměr, rychlost, za kterou je potřeba daný materiál převrátit.

5.2 Možnosti překlápění materiálu

Existuje mnoho různých způsobů a provedení, jak daný materiál překlápat. Zde si uvedeme základní provedení překlápěcích strojů.

5.2.1 Nůžky

Tento typ překlápěče se skládá ze dvou stolů pohybujících se pomocí pneumatických nebo hydraulických válců. Materiál se zvedne a položí na první stůl, načež druhý stůl materiál při překlápění chytne. Stroj se poté překlápí a materiál zůstane na druhém stole. Toto překlápění funguje jak po směru hodinových ručiček, tak proti směru hodinových ručiček. Celý cyklus trvá kolem 5 až 30 sekund v závislosti na hmotnosti a tvaru [2].



Obrázek 5.1 Překlápěcí stroj [2].

5.2.2 Válečkový překlápěč

Tento typ překlápěče využívá dvouválečkového dopravníku, který je nad sebou. Tyto dva válečkové dopravníky jsou upevněny k ozubenému kolu, kterým otáčí motor. Výhodou tohoto typu překlápěče je velice rychlé překlopení materiálu. Stroj je zabudován mezi dopravníky. Materiál vjede do válečkového překlápěče, poté se stroj otočí o 180 stupňů, materiál se překlopí na horní válečkový dopravník a ze stroje vyjede otočený materiál, který dál jede po válečkovém dopravníku. Na funkci tohoto typu překlápěče je možné se podívat viz literatura [3].

5.2.3 Robotický překlápěč

Tento typ překlápěče je řešený softwarově, kdy robotické rameno uchopí materiál a položí ho na pomocné nosníky. Ruka poté vezme materiál zespodu a založí materiál na příslušné místo. Tento typ způsobu otočení materiálu je nejméně nákladný na výrobu, protože využívá robota, který již bere materiál a založí ho na příslušné místo. Je pouze zapotřebí někde v blízkosti robota nainstalovat nosníky, kam si materiál může odložit a poté ho vzít zespodu. Tento cyklus je časově náročný a hodí se tam, kde je mezi jednotlivými výrobky dostatečně dlouhá doba.

5.2.4 Vakuový překlápěč

Vakuový překlápěč využívá přísavky, které při spojení s materiálem vytvoří podtlak. K válci, ke kterému je připojený motor, jsou připevněna ramena. Na ramenech jsou přísavky, ze kterých je při dotyku s materiálem odsán vzduch a tím vznikne podtlak. Po přisátí materiálu k ramenům se válec otočí o 180 stupňů. Po otočení se do přísavek zpět pustí vzduch a materiál může odebrat robot, který materiál založí. Tento způsob je vhodný pro materiály různých tvarů, protože přísavky přizpůsobí tvar danému materiálu. Výhoda oproti robotickému překlápěči je v tom, že robotické rameno mezi tím, co zakládá první materiál, tak překlápěč překlopí druhý materiál. Robot má proto dostatečný čas na založení materiálu. Tímto typem překlápěče se zabývám dále v této práci, kde navrhuji zjednodušený princip tohoto překlápěče.

6. OPTIMALIZACE AUTOMATICKÉ LINKY

6.1 Zpomalení automatického procesu výroby

Největším zpomalením automatické linky je bodovací stroj, který musí přivařit výztuže k vylišované polici. Tento úkol trvá kolem pěti sekund u police s třemi výztuhami a přibližně dvě sekundy trvá, než se police dopraví na správné místo a stroj může začít pracovat.

Nejméně pracuje lis, který v jedné periodě, která trvá 7 sekund pro polici 666x620 pracuje pouze 0,9 sekund a zbytek času čeká, než bodovací stroj přivaří vzpěry. Ohýbací stroj pracuje 2,3 sekundy z periody a nůžky pracují 3,8 sekundy z periody. Další zpoždění je způsobeno výměnou cívky, která má rozdílné váhy od 2200 kg až 8000 kg. Pokud jedna police váží 3 kg tak z nejmenší cívky se vyrobí 733 polic. To znamená, že za 1 hodinu 25 minut a 33 sekund se bude znovu muset měnit cívka. Výměna velké cívky trvá kolem 3 minut a 24 sekund. Kdyby cívky vážily kolem 8000 kg, vyrobilo by se z jedné cívky 2664 polic.

6.2 Optimalizace automatického procesu

Optimalizace automatické linky by se vyřešila tím, že by místo jedné bodovačky byly bodovačky dvě, které by pracovaly paralelně. Stroje, které lisují a ohýbají svitek plechu, mají dostatečnou rezervu na to, aby stíhaly vyrábět police pro oba bodovací stroje. Tímto řešením by se zvedla výroba o 50 %. Toto řešení je však nereálné, protože ve firmě není dostatek místa na postavení druhého stroje. Jak již bylo zmíněno výše, další optimalizace automatického procesu by spočívala v nákupu ocelových cívek. Kdyby bylo možné nakupovat cívky pouze s větší hmotností kolem 8000 kg, vyrobilo by se z jedné ocelové cívky 2664 polic, což je o 1931 polic více, než u nejmenší váhy cívky. Proces výměny cívky s nejmenší hmotností by se tedy stával 2,63krát častěji než u cívky s větší hmotností. Výroba polic by se zvedla o 2,94 %.

6.3 Optimalizace práce pracovníků

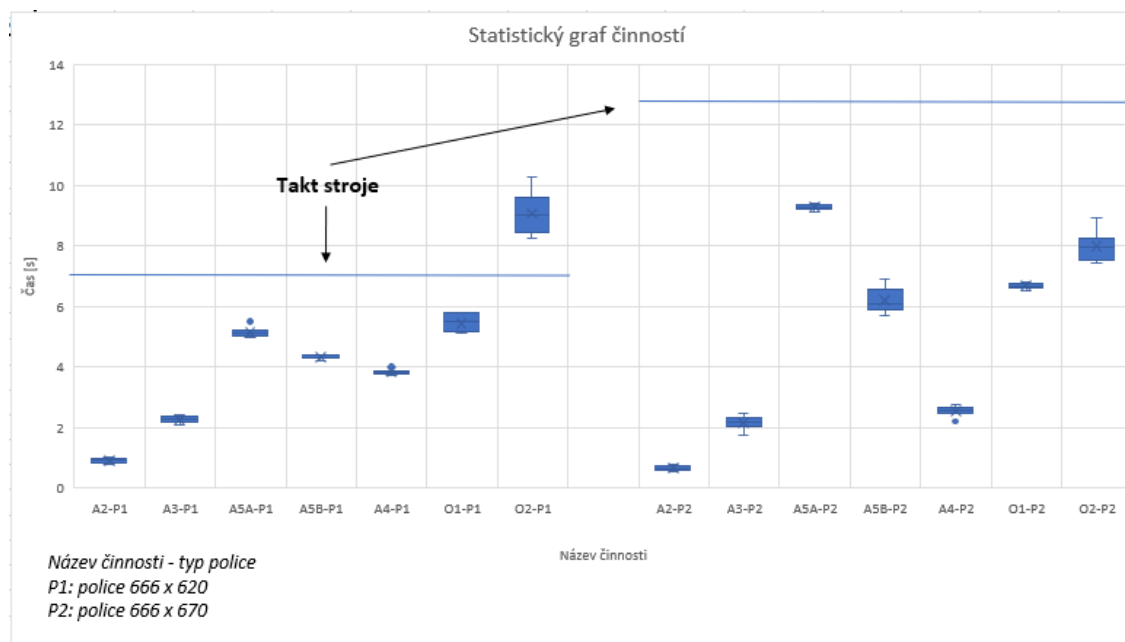
6.3.1 Optimalizace překlápěcího stroje

Z naměřených hodnot jednotlivých polic jsem vykreslil statický graf činností. V grafu (obrázek 6.1) je modrou úsečkou, která prochází všemi jednotlivými činnostmi pro danou polici, vyznačený takt stroje. Modré kvartily nám ukazují dobu práce jednotlivých procesů, kdy nám kříž značí průměrnou dobu naměřených hodnot, úsečka vně kvartilů nám značí medián, horní a dolní vousy kvartilů nám značí maximální a minimální dobu práce jednotlivých činností. Tečky nad nebo pod kvartilem jsou data, která jsou nezahrnuta mezi vousy a jsou proto vykreslena jako outliery. Z grafu můžeme vidět, že

pro polici 666x670 má pracovník poměrně hodně volného času, protože v první části bodovacího stroje se musely zabodovat čtyři výztuhy oproti polici 666x620, kde byly výztuhy tři, což stroji zabralo více času na přepravu výztuh na danou pozici. Dále můžeme z grafu vidět, že pro polici 666x620 nejvíce zpomaluje chod stroje pracovník při činnosti O2 (odběr otočené police). Tato operace je pro pracovníka náročná, protože v krátkém časovém intervalu musí polici správně otočit a položit na paletu tak, aby police byla správně zarovnána s ostatními policemi a police byly otočeny správným směrem. Proto, aby se tato činnost dala optimalizovat, je zapotřebí spočítat limit pro překlápění police a navrhnout stroj, který by zvládl obrátit polici za poloviční čas s limity překlápění police. Limit překlápění police označený x se vypočítá jako rozdíl mediánu označený Me operace O2 a O1, který můžeme vyčíst z grafu.

$$x = Me(O2) - Me(O1) == O2_{\left(\frac{n+1}{2}\right)} - O1_{\left(\frac{n+1}{2}\right)} = 9,00 - 5,48 = 3,52s, \quad (6.1)$$

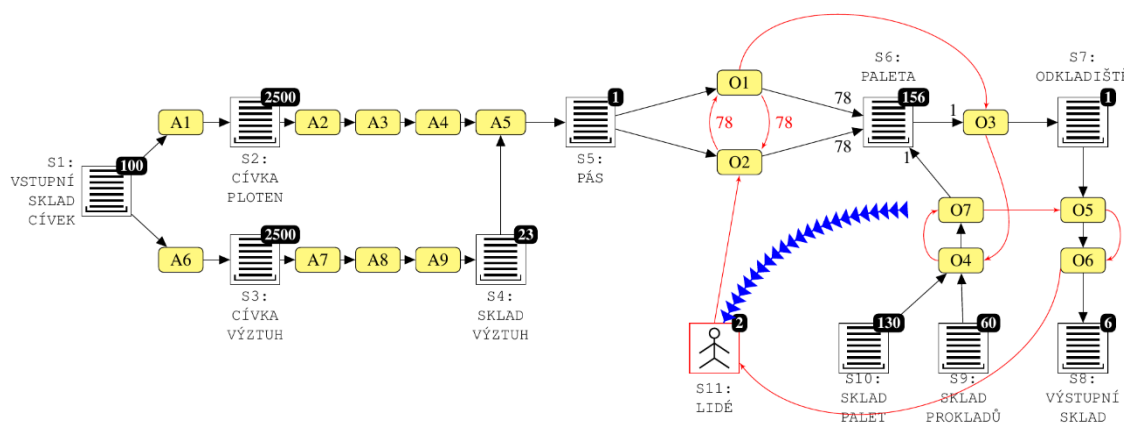
Pokud tedy překlápěcí stroj zvládne překloupit materiál za 1,76 sekundy, poté bychom mohli předpokládat, že činnost pracovníka O2 bude stejně rychle vykonávána jako činnost O1. Celkový takt stroje by se tedy mohl snížit na 5,8 sekund. Stroj se tedy zrychlí o 1,2 sekundy, protože člověk na konci válečkového dopravníku bude dostatečně rychle odebírat a skládat police na paletu. Celá automatická část stroje tedy již nebude čekat s připravenou hotovou polici uvnitř stroje, než se na konci válečkového dopravníku uvolní místo pro další polici. Výroba polic 666x620 se zvedne o 17,1 %. Proto, abychom mohli tuto optimalizaci realizovat, je ale zapotřebí navrhnout a vyrobit překlápěcí stroj, který zvládne polici 666x620 překloupit za 1,76 sekundy nebo rychleji. Zjednodušený návrh tohoto stroje je dále v kapitole 7. Tento stroj, odhaduji, že by bylo možné vyrobit za 35 000 Kč. Firmě by se tato investice do stroje vrátila po vyrobení 29 palet polic 666x620. Následně by stroj firmě generoval zisk.



Obrázek 6.1 Statistický graf činností

6.3.2 Optimalizace práce pracovníka

Na obrázku 6.2 vidíme práci pracovníka označenou červenou úsečkou s příslušnými časy jednotlivých operací. Modrá šipka nám značí místo, kde se první pracovník střídá s druhým pracovníkem.



Obrázek 6.2 Současné schéma procesu výroby

Práce pracovníka začíná operací O1 a O2, kterou celkem musí 156krát zopakovat. Následně vykoná operace O3, O4 a O7, pak se první pracovník vymění s druhým, který začne znovu vykonávat cyklus C1. Cyklus C1 je následující:

$$C1 = O1 + O2 + O3 + O4 + O7, \quad (6.2)$$

Tento cyklus se tedy skládá z několika operací jdoucích po sobě. Příslušné operace mají svůj čas, během kterého pracovník vykoná danou operaci. Tyto časy mají určitou chybu měření způsobenou především lidským faktorem při měření jednotlivých časů. Proto chybu měření musíme přenést i do výsledného času prvního cyklu. Časy naměřených hodnot jsou dostupné v přílohách této práce. Čas a chyba měření doby cyklu C1 je následující:

$$t_{C1} = t_{O1} + t_{O2} + t_{O3} + t_{O4} + t_{O7}, \quad (6.3)$$

$$\sigma_{C1} = \sqrt{\sum \sigma_0^2} = \sqrt{N * \sigma_{O1}^2 + N * \sigma_{O2}^2 + \sigma_{O3}^2 + \sigma_{O4}^2 + \sigma_{O7}^2}, \quad (6.4)$$

Po dosazení reálných hodnot vychází:

$$t_{C1} = 425,10 + 7007,46 + 48,33 + 16,33 + 46,00 = 1243,22 \text{ [s]}, \quad (6.5)$$

$$\sigma_{C1} = \sqrt{78,00 * 0,28^2 + 78,00 * 0,64^2 + 3,30^2 + 2,62^2 + 6,16^2} = \pm 9,68 \text{ [s]}, \quad (6.6)$$

Pracovník tedy vykoná celý cyklus C1 za 1243 sekund. Pracovník jde následně vykonat cyklus C2 operace O5 a O6, poté má pauzu a čeká, než druhý pracovník dokončí operaci O7. Cyklus C2 je následující:

$$C2 = O5 + O6, \quad (6.7)$$

Tento cyklus se skládá pouze ze dvou operací, které jsou časově hodně náročné. Pracovník musí obalit celou paletu kartonovými úhelníky a následně celou paletu svázat. Cyklus C2 vykonává první pracovník paralelně s druhým pracovníkem, který vykonává cyklus C1. Tyto dvě operace mají poměrně velkou chybu měření, která je způsobena dlouhou dobou měření těchto operací a malým počtem měření. Čas a chyba měření doby cyklu C2 je následující:

$$t_{C2} = t_{O5} + t_{O6}, \quad (6.8)$$

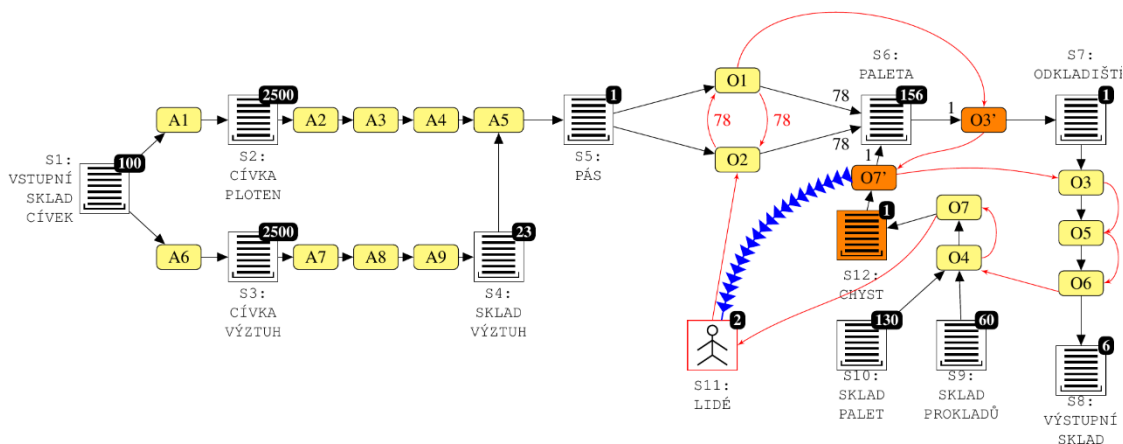
$$\sigma_{C2} = \sqrt{\sum \sigma_0^2} = \sqrt{\sigma_{O5}^2 + \sigma_{O6}^2}, \quad (6.9)$$

Po dosazení reálných hodnot vychází:

$$t_{C2} = 170,67 + 316,67 = 487,34 \text{ [s]}, \quad (6.10)$$

$$\sigma_{C2} = \sqrt{8,73^2 + 14,08^2} = \pm 16,57 \text{ [s]}, \quad (6.11)$$

Pracovník vykoná celý cyklus C2 za 487 sekund. Celá práce pracovníka se tedy skládá ze dvou cyklů C1 a C2. Pracovník tak pracuje necelých 29 minut a odpočívá 12,6 minuty. Využití pracovníka je tedy 69,60 % pro polici 666x620. Máme tedy možnost optimalizovat celý cyklus a využít lidského zdroje lépe. Optimalizace tohoto cyklu pracovníků spočívá při výměně pracovníků. Tento cyklus by se dal optimalizovat tím, že by první pracovník po dokončení operací O5 a O6 šel připravit druhý paletový vozík. Cyklus C3 pracovníka by poté byly operace O1, O2, O3' a O7'. Pracovník po dokončení operací O1 a O2 by šel vykonat operaci O3', při které by hotovou paletu pouze odvezl vedle válečkového dopravníku, a poté by šel vykonat operaci O7', při které by první pracovník přivezl připravený druhý vozík k válečkovému dopravníku. Výsledný pohyb pracovníka můžeme vidět na obrázku 6.3.



Obrázek 6.3 Optimalizované schéma procesu výroby

Předpokládáme, že obě tyto operace zaberou pracovníkovi stejný čas 6 ± 6 sekund. V tomto případě uvažujeme maximální nejistotu, protože tento čas je pouze odhadovaný. Cyklus C3 je následující:

$$C3 = O1 + O2 + O3' + O7', \quad (6.12)$$

Cyklus C3 se skládá oproti cyklu C1 ze dvou nových operací, ale byly odebrány operace O3, O4 a O7. Při operacích O3' a O7' předpokládáme velkou chybu měření z důvodu, že tento čas je pouze odhadnutý. Výsledný čas cyklu C3 by tedy měl být menší oproti cyklu C1. Čas a chyba měření doby cyklu C3 je následující:

$$t_{C3} = t_{O1} + t_{O2} + t_{O3'} + t_{O7'}, \quad (6.13)$$

$$\sigma_{C3} = \sqrt{\sum \sigma_0^2} = \sqrt{N * \sigma_{O1}^2 + N * \sigma_{O2}^2 + \sigma_{O3'}^2 + \sigma_{O7'}^2}, \quad (6.14)$$

Po dosažení reálných hodnot vychází:

$$t_{C3} = 425,10 + 707,46 + 6,00 + 6,00 = 1144,56 \text{ [s]} , \quad (6.15)$$

$$\sigma_{C3} = \sqrt{78,00 * 0,28^2 + 78,00 * 0,64^2 + 6,00^2 + 6,00^2} = \pm 10,49 \text{ [s]} , \quad (6.16)$$

Pracovník tedy vykoná celý cyklus C3 za 1144 sekund. Následně jde pracovník vykonat cyklus C4 operace O3, O4, O7, O5 a O6, poté má pauzu a čeká, než druhý pracovník dokončí operaci O7'. Cyklus C4 je následující:

$$C4 = O3 + O4 + O7 + O5 + O6 , \quad (6.17)$$

Cyklus C4 je tedy oproti cyklu C2 rozšířený o tři operace, které předtím byly v cyklu C1. Čas a chyba měření doby cyklu C4 je následující:

$$t_{C4} = t_{O3} + t_{O4} + t_{O7} + t_{O6} , \quad (6.18)$$

$$\sigma_{C4} = \sqrt{\sum \sigma_O^2} = \sqrt{\sigma_{O3}^2 + \sigma_{O4}^2 + \sigma_{O7}^2 + \sigma_{O5}^2 + \sigma_{O6}^2} , \quad (6.19)$$

Po dosažení reálných hodnot vychází:

$$t_{C4} = 48,33 + 16,33 + 46,00 + 170,67 + 316,67 = 598,00 \text{ [s]} , \quad (6.20)$$

$$\sigma_{C4} = \sqrt{3,30^2 + 2,62^2 + 6,16^2 + 8,73^2 + 14,08^2} = \pm 18,17 \text{ [s]} \quad (6.21)$$

Pracovník tedy vykoná celý cyklus C4 za 598 sekund. Pracovník po optimalizaci odpočívá 9 minut. Využití pracovníka po optimalizaci stoupl o 6,52 % a je tedy 76,12 % pro polici 666x620, kde jsou přidány dvě nové operace a sklad S12, kde je nachystaný druhý paletový vozík.

$$V_1 = (Z_n - Z) * t_{C1} * \frac{\text{hodinová mzda}}{t_{C1}} = 9,26 \text{ [Kč]} , \quad (6.22)$$

$$V_2 = \frac{t_{C1} - t_{C3}}{t_{C1}} * \text{cena palety} = 557,78 \text{ [Kč]} , \quad (6.23)$$

$$V_3 = 7000,00 \text{ [Kč]} , \quad (6.24)$$

Zisk pro firmu zkrácením času cyklu C1 je 557,78Kč a zisk lepším využitím pracovníka je 9,26Kč na jedné paletě 666x620. Proto, aby tuto optimalizaci bylo možné uskutečnit, je zapotřebí koupit paletový vozík, který stojí 7000Kč. Celkový zisk a návratnost je následující:

$$\text{Zisk} = V_1 + V_2, \quad (6.25)$$

$$\text{Návratnost} = V_3 / \text{Zisk}, \quad (6.26)$$

Po dosazení reálných hodnot vychází:

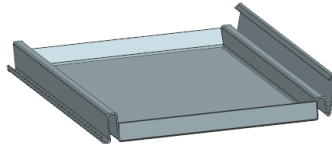
$$\text{Zisk} = 9,26 + 557,78 = 567,04 \text{ [Kč/paleta]}, \quad (6.27)$$

$$\text{Návratnost} = \frac{7000}{567} = 12 \text{ [palet]}, \quad (6.28)$$

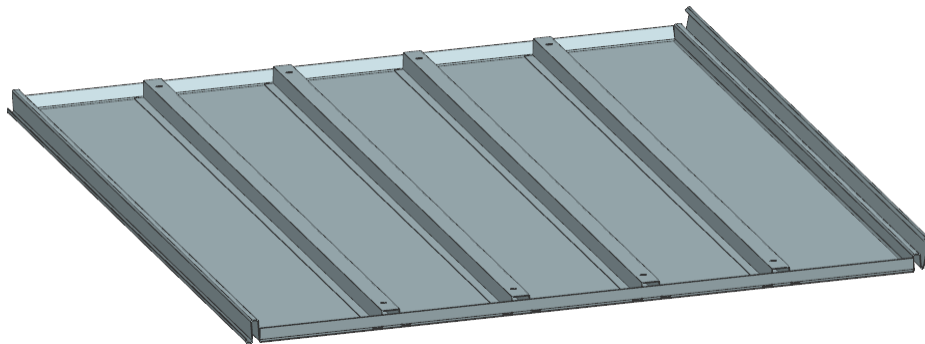
Firma po zavedení optimalizace bude vydělávat o 567,04 Kč více na jedné paletě polic 666x620. Koupený nový paletový vozík se jím zaplatí po vyrobení 12 palet.

7. ZJEDNODUŠENÝ NÁVRH PŘEKLÁPĚCÍHO STROJE

Zjednodušený návrh překlápěcího stroje jsem maloval v programu Siemens NX. Nejprve jsem vytvořil model nejmenší a největší police, kterou linka vyrábí. Nejmenší police má rozměry 666x200 a váží 1,35 kg (obrázek 7.1). Největší police má rozměry 1333x770 a váží 11,21 kg (obrázek 7.2).



Obrázek 7.1 Model nejmenší police



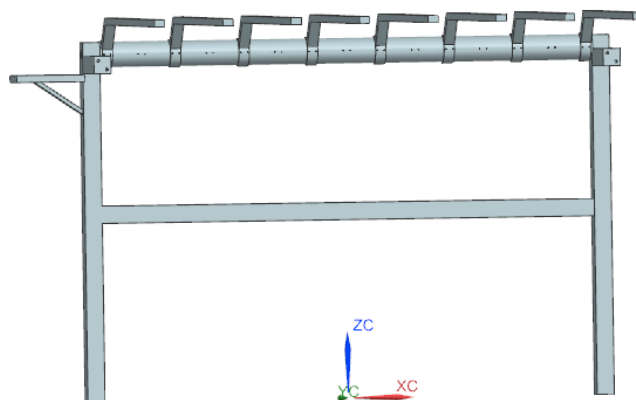
Obrázek 7.2 Model největší police

Poté jsem vytvořil model válečkového dopravníku, který má firma na výstupu z automatické linky. Model pásu je dlouhý 2 metry, široký 67 centimetrů a vysoký 1 metr. V modelu válečkového dopravníku jsou na boku oproti skutečnosti vymodelované dvě krychle, které slouží k připevnění překlápěcího stroje k válečkovému dopravníku. Tím je zajištěna větší stabilita překlápěcího stroje. V dopravníku je zapuštěných 19 válců, které slouží k dopravě police k pracovníkovi. Model je vidět na obrázku 7.3.



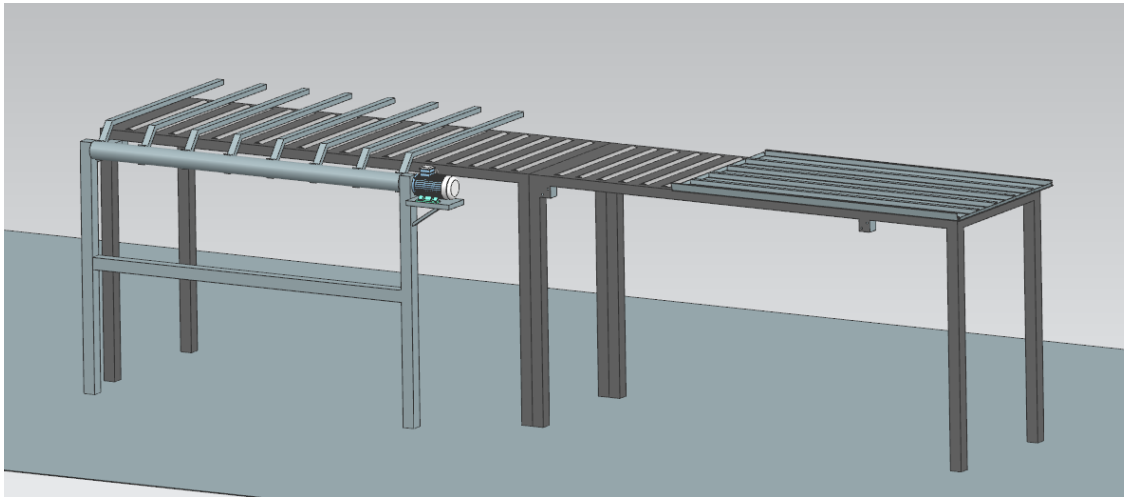
Obrázek 7.3 Model válečkového dopravníku

Na konec jsem navrhnul překlápěcí stroj, který se připevní k zemi a dopravníku. Překlápěcí stroj obsahuje válec, ke kterému jsou připevněny výztuhy, na kterých bude buď elektromagnet nebo přísavky. Ve válci jsou připravené díry na rozmístování výztuh různě daleko od sebe podle potřeby, jak je police velká a těžká. Válec se otáčí pomocí motoru. Na koncových pozicích jsou připevněny koncové snímače, které vypínají motor. Zjednodušený model je ukázán na obrázku 7.4.



Obrázek 7.4 Zjednodušený model překlápěcího stroje

Tyto modely jsem poté v programu seskládal a vytvořil zjednodušený model výstupní části automatické linky.



Obrázek 7.5 Celkový model

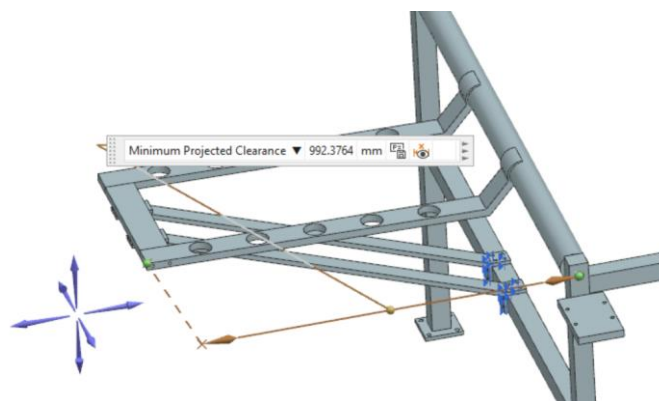
7.1 Parametry pro výběr motoru

Pro výběr motoru je zapotřebí nejprve vypočítat potřebný moment a výkon motoru.

Výpočet momentu:

$$M = F * r = m * g * r = 12 * 9,81 * 1 = 117,72 [N * m] \quad (7.1)$$

Hmotnost, která bude působit na hřídel motoru byla zvolena podle největší police, která váží 12 kilogramů. Poloměr 1 metr je od středu válce na konec podpěry, jak je vidět na obrázku 7.6. Moment, podle kterého bude volen motor je tedy 120 N*m.



Obrázek 7.6 Odečtení poloměru překlápěcího stroje

Otáčky motoru jsou voleny s požadavkem na délku pracovního cyklu (1 sekundy), za který musí překlápěcí stroj nabrat a obrátit polici. Pro splnění dané podmínky je nutné mít motor s 30 otáčky za minutu. Výpočet potřebného výkonu motoru:

$$P = M * \omega = M * RPS * 2 * \pi = 120 * 0,5 * 2 * \pi = 377,00 [W] \quad (7.2)$$

Parametry, podle kterých bude volen motor a převodovka, jsou tedy 400 W, 120 N*m a 30 otáček za minutu.

7.2 Výběr prvního pohonu

Jako první typ pohonu byla vybrána sestava servomotoru, cykloidní převodovky a frekvenčního měniče, která zvládne parametry uvedené v odstavci 7.1.

7.2.1 Servomotor TGMA

Dle vypočítaných parametrů jsem jako první motor zvolil servomotor TGMA-0300-40-560 viz. obrázek 7.7. Tento elektromotor disponuje přesným nastavením polohy hřídele. [10]



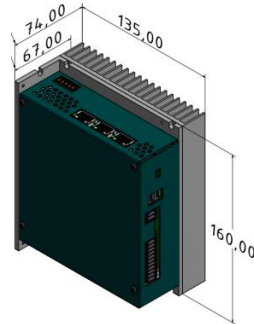
Obrázek 7.7 Servomotor TGMA [10]

Parametry motoru jsou:

$$\begin{aligned} \text{Výkon} &= 0,624 [kW] \\ \text{Jmenovité otáčky} &= 4000 [RPM] \\ \text{Jmenovitý proud} &= 2,93 [A] \\ \text{Napětí} &= 560 [VDC] \\ \text{Klidový moment} &= 3 [Nm] \\ \text{Hmotnost} &= 3,3 [kg] \end{aligned} \quad (7.3)[10]$$

7.2.2 Frekvenční měnič

Frekvenční měnič TGZ-S-230-5/15-UNI. Tento měnič byl zvolen z důvodu kompatibility se servomotorem (obrázek 7.8). Cena frekvenčního měniče je 18300 Kč bez DPH. [10]



Obrázek 7.8 Frekvenční měnič [10]

Parametry frekvenčního měniče jsou:

$$Výkon = 2,6 [kW]$$

$$Ovládací napětí = 24 [V DC]$$

$$Trvalý proud na 1 osu = 5 [A]$$

$$Výkonové napájecí napětí = 320 [VDC]$$

$$Klidový moment = 6,3 [Nm]$$

$$Hmotnost = 1,3 [kg]$$

(7.4)[10]

7.2.3 Cykloidní převodovka

Pro motor uvedený výše byla vybrána cykloidní převodovka TS110-119 s převodovým poměrem 1:119, aby bylo docíleno méně jak 30 otáček za minutu (viz obrázek 7.9). Cena převodovky je 90000 Kč bez DPH. [10]



Obrázek 7.9 Cykloidní převodovka [10]

Parametry převodovky:

$$Moment = 122 [N * m]$$

$$převodový poměr = 1:119[-]$$

(7.5) [10]

7.3 Výběr druhého pohonu

Jako druhý typ pohonu, byla vybrána sestava servomotoru řady TGH4, planetové převodovky a frekvenčního měniče.

7.3.1 Servomotor TGH4

Jako další motor jsem, dle vypočítaných parametrů, zvolil servomotor TGH4- 0750–30-560/T5S4-S01 (viz obrázek 7.10). Tento servomotor disponuje přesnou polohou nastavení hřídele. Cena motoru je 16800 Kč bez DPH. [10]



Obrázek 7.10 Servomotor [10]

Parametry motoru jsou:

$$Výkon = 1,446 [kW]$$

$$Jmenovité otáčky = 3000 [RPM]$$

$$Jmenovitý proud = 8,77 [A]$$

$$Napětí = 560 [VDC]$$

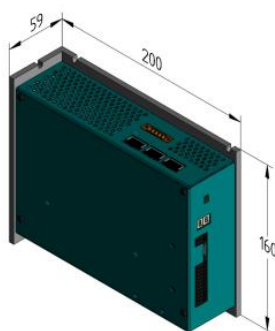
$$Klidový moment = 6,3 [Nm]$$

$$Hmotnost = 5,5 [kg]$$

(7.6)[10]

7.3.2 Frekvenční měnič

Frekvenční měnič TGZ-S-400-7/15-UNI. Tento měnič byl zvolen s ohledem na jmenovitý proud servomotoru 8,77 A, proto tedy bylo zvoleno napájecí napětí frekvenčního měniče na 3x400 V (viz obrázek 7.11). Cena frekvenčního měniče je 24300 Kč bez DPH. [10]



Obrázek 7.11 Frekvenční měnič [10]

Parametry frekvenčního měniče jsou:

$$Výkon = 3,9 [kW]$$

$$Ovládací napětí = 24 [V DC]$$

$$Trvalý proud na 1 osu = 7 [A]$$

$$Výkonové napájecí napětí = 560 [VDC]$$

(7.7) [10]

7.3.3 Planetová převodovka

Pro servomotor byla vybrána planetová převodovka MNT140-100-2-10-WK-AP s převodovým poměrem 1:100, aby bylo docíleno méně jak 30 otáček za minutu (viz obrázek 7.12). Cena převodovky je 62400 Kč bez DPH. [10]



Obrázek 7.12 Planetová převodovka [10]

Parametry planetové převodovky jsou:

$$Převod = 1:100 [-]$$

$$Jmenovité otáčky = 20 [RPM]$$

$$Jmenovitý výstupní moment = 273 [Nm]$$

$$Účinnost = 91 [%]$$

$$Životnost = 20000 [hod]$$

$$Hmotnost = 17 [kg]$$

(7.8) [10]

7.4 Zvolený pohon

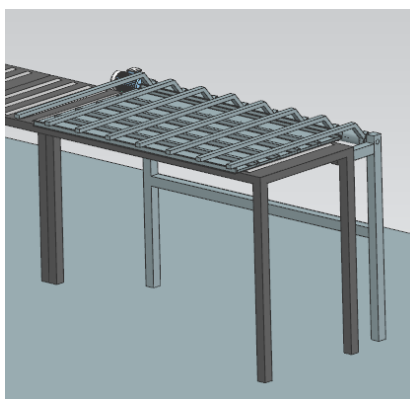
Tabulka 7.1 Soupiska obou pohonů

Výběr pohonu	První pohon	Druhý pohon
Motor	TGMA-0300-40-560	TGH4-0750-30-560/T5S4-S01
Frekvenční měnič	TGZ-S-230-5/15-UNI	TGZ-S-400-7/15-UNI
Převodovka	TS110-119	MNT140-100-2-10-WK-AP
Cena celkem	108 300 Kč + DPH	103 500 Kč + DPH

Celková cena prvního pohonu bude ještě větší, protože v uvedené ceně není zahrnut vybraný motor. Cena motoru TGMA je poptávána. Pro mnou navržený překlápěcí stroj jsem zvolil druhý pohon z důvodu nižší ceny a lepších parametrů servomotoru.

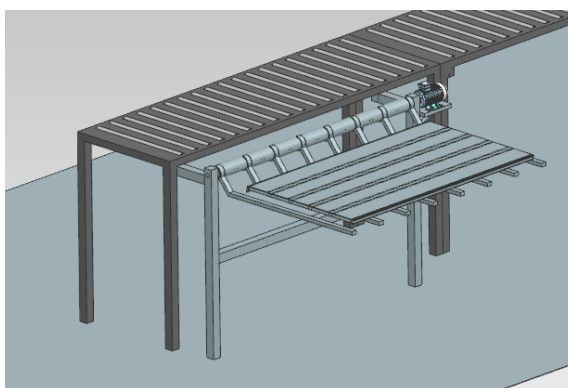
7.5 Ukázka překlopení police

Hotová police vyjede z automatické linky a přepraví se pomocí válečkového dopravníku vedle překlápěcího stroje. Překlápěcí stroj se následně otočí, tak aby výztuhy s elektromagnetem nebo přísavkami vzaly polici.



Obrázek 7.13 Nabrání police

Po připevnění police k výztuhám se stroj otočí o 180 stupňů a vypne se připevnění police. Převrácenou polici pracovník vezme a založí ji na paletu.



Obrázek 7.14 Překlopená police

Tento postup se opakuje pro každou druhou polici, která vyjede z automatické linky. Police se na paletu skládají jedna normálně a následně na ni přichází police otočená. Na tomto obrázku je překlápěcí stroj s osmi výztuhami, což byla první verze. Nyní má překlápěcí stroj výztuhy dvě, upravené pro magnetická chapadla. V tabulce 7.2 je soupiska materiálu, potřebného pro vytvoření překlápěcího stroje. Ceny v tabulce jsou uvedené bez DPH k datu 12.05.2022.

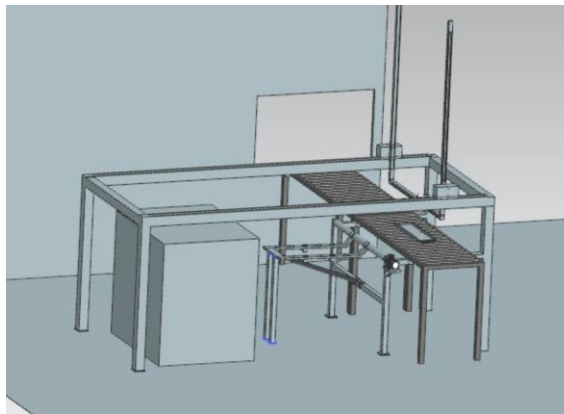
Tabulka 7.2 Soupiska materiálu pro překlápěcí stroj

Komponenty	Typ komponentu	Cena [Kč]
Motor	TGH4-0750-30-560/T5S4-S01	16800
Frekvenční měnič	TGZ-S-400-7/15-UNI	24300
Převodovka	MNT140-100-2-10-WK-AP	62400
Kabel	DSL4x1/5m +08p	2350
Odušovací filtr 3F/10A	NMU103P79-04	1560
Hliníkový profil	50x50 mm 6000 mm	711
Válec	Poloměr 37 mm délka 1540 mm	12000
Hliníkové výztuhy	70x20x2000 mm	4592
Hliníkový profil	20x50x3000 mm	442
Hliníkový podstavec	100x100x10 mm	120
Celková cena		122 275 Kč

8. NÁVRH PORTÁLOVÉHO JEŘÁBU

8.1 Výběr jednotlivých komponentů

Nejprve jsem se rozhodoval, jakým způsobem budu přepravovat materiál na paletu. Nejjednodušší variantou se zdál být 6osý robot. Tito roboti však stojí poměrně velké peníze. Před výběrem jednotlivých komponentů jsem nejprve namaloval zjednodušené schéma portálového jeřábu. Schéma portálového jeřábu je vidět na obrázku 8.1. Poté jsem začal vybírat komponenty, které by odpovídaly mým daným požadavkům. Jako první jsem vybíral uchopovací systém na nabrání police, a to jak pro portálový jeřáb, tak pro překlápečí stroj. Jako další komponenty jsem vybíral lineární pohyby pro přesun police z válečkového dopravníku na paletu. Všechny tyto komponenty jsem nakonec vybral ve firmě SCHUNK. [11] K vybraným komponentům firma SCHUNK dodává i motory pro ovládání lineárních pohybů. Portálový jeřáb by měl být schopný přesunout nejtěžší polici na paletu za 6 sekund.



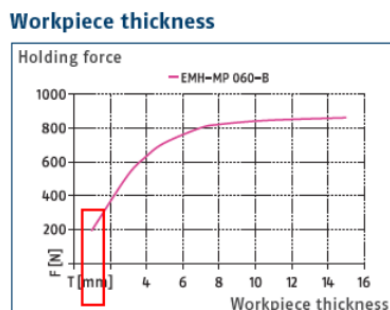
Obrázek 8.1 Vizualizace portálového jeřábu

8.1.1 Výběr uchopovacího systému

Nejtěžším úkolem bylo vybrání správného uchopovacího systému pro portálový jeřáb. Nakonec jsem se rozhodl pro magnetické chapadlo EMH-MP 060-B, které má tyto parametry:

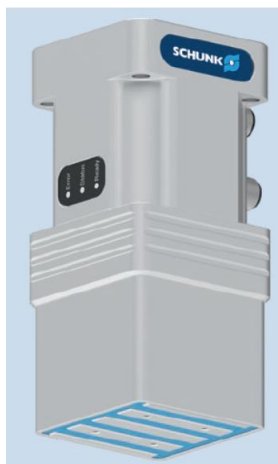
$$\begin{aligned} \text{Uchopovací síla} &= 850 \text{ [N]} \\ \text{Plocha magnetu} &= 15,36 \text{ [cm}^2\text{]} \\ \text{Min/Max pracovní teplota} &= 5/50 \text{ [}^\circ\text{C]} \\ \text{Hmotnost} &= 2 \text{ [kg]} \end{aligned} \tag{8.1} [11]$$

Uchopovací síla je sice 850 newtonů, ale pro materiál o tloušťce alespoň 9 mm. Svitek, ze kterého se vyrábí police má ale pouze 1 mm. Uchopovací síla při takové tloušťce materiálu je 200 newtonů, jak je vidět na obrázku 8.2.



Obrázek 8.2 Graf uchopovací síly [11]

Toto chapadlo se využívá především pro zvedání tenkých plechů. Chapadlo má více magnetických pólů a je napájeno 24 V. Výhodou tohoto chapadla je, že má veškerou elektroniku uvnitř a není tedy potřeba mít řídicí jednotku jako například u chapadel typu EMG. Magnetická chapadla celkově mají nevýhodu v tom, že při časté aktivaci se ohřívají a mohla by se přehřát. Jelikož dynamika celé jednotky bude díky tlaku na čas vysoká, tak budou působit i velké smykové síly mezi magnetem a policí. Na smykovou sílu jsou magnety hodně náchylné, proto je potřeba počítat alespoň se čtyřmi magnety pro nejtěžší polici, která váží kolem 12 kg. Cena jednoho magnetického chapadla je 51800 Kč bez DPH. Vzhled vybraného uchopovacího systému můžete vidět na obrázku 8.3. [11]



Obrázek 8.3 Magnetické chapadlo [11]

8.1.2 Výběr horizontálního pohybu

Při výběru lineárního pohybu jsem se rozhodoval mezi elektrickým nebo pneumatickým typem. Nakonec jsem vybral elektrický typ (D 90-ZRS) pohonu pro jednoduché řízení.

Horizontální pohyb je dlouhý 3720 mm z důvodu dostatečného místa pro překlápěcí stroj a palety. Parametry Delta modulu jsou:

$$\begin{aligned} \text{Max. zdvih} &= 3720 \text{ [mm]} \\ \text{Max. hnací síla} &= 800 \text{ [N]} \\ \text{Max. zrychlení} &= 30 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \\ \text{Max. rychlost} &= 5 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \end{aligned} \quad (8.2) \text{ [11]}$$

Tyto Delta moduly jsou použity dvakrát na obou stranách a slouží i jako nosná základna pro vozík. Oba moduly jsou spojeny na společnou hřídel do motoru, aby byl zajištěn rovnoměrný pohyb obou modulů. Horizontální pohyb můžete vidět na obrázku 8.4. [11]



Obrázek 8.4 Delta modul D 90-ZRS [11]

8.1.3 Výběr vertikálního pohybu

Vertikální pohyb jsem vybral B 40-ZSS. Beta modul má zdvih 1850 mm, což je dostatečná výška na nabrání police a její uložení na paletu. Podobně jako při horizontálním pohybu, budou oba použité Beta moduly spojeny na stejnou hřídel z důvodu rovnoměrného pohybu obou stran. Parametry Beta modulu jsou:

$$\begin{aligned} \text{Max. zdvih} &= 1850 \text{ [mm]} \\ \text{Max. hnací síla} &= 500 \text{ [N]} \\ \text{Max. zrychlení} &= 30 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \\ \text{Max. rychlost} &= 3 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \end{aligned} \quad (8.3) \text{ [11]}$$

Vertikální pohyb můžete vidět na obrázku níže (8.5).



Obrázek 8.5 Beta modul B 40-ZSS [11]

8.1.4 Soupiska materiálu

V tabulce 8.1 je celkový soupis materiálu potřebný pro vytvoření portálového jeřábu. V budgetové ceně jsou zahrnuty i návrhy výkresu, malých součástí a funkčního testu bez ovládání servomotoru. V ceně je i přípojovací materiál. Tento materiál byl poptán ve firmě SCHUNK. Cena je uvedena bez DPH k datu 05.05.2022.

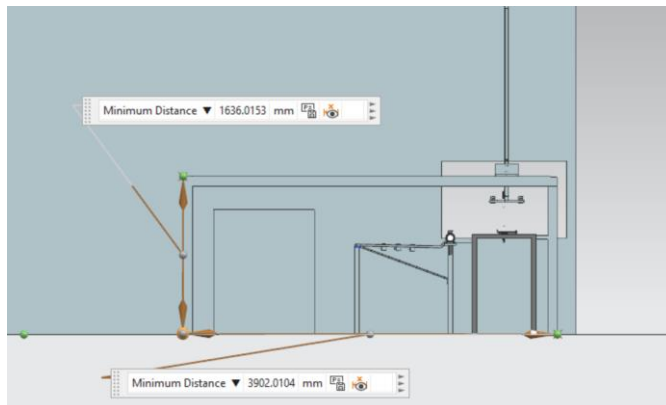
Tabulka 8.1 Soupiska materiálu pro portálový jeřáb

Soupiska materiálu	Typy pohonů	Počet kusů
Motor	servomotor	2
Převodovka	-	2
Kabelový set	-	2
Magnetické chapadlo	EMH-MP 060-B	3
Horizontální X osy	G120-ZSS 3720mm	2
Vertikální Y osy	B110-ZRS 1800mm	2
Synchronizační hřídel	-	2
Energetický řetěz	-	2
Hliníkový profil	100x100x16000mm	1
Cena celkem		1 415 000 Kč

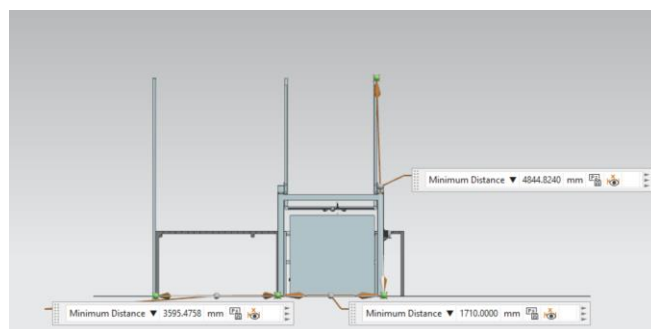
8.2 Vizualizace portálového jeřábu

Celková vizualizace je udělána v programu Siemens NX. Na obrázcích 8.6 a 8.7 jsou zobrazeny celkové rozměry stroje. Stroj je posunut od bodovačky z toho důvodu, že ve

firmě ITAB je zabudovaný rozvaděč pro bodovací stroj a stroje k němu příslušné. Portálový jeřáb má na délku 4 m, široký je 1,7 m a na výšku má 1,6 m. Při plně vytažených Beta modulech má výšku 4,8 m. Kvádr na levé straně v obrázku 8.6 představuje plnou paletu polic.

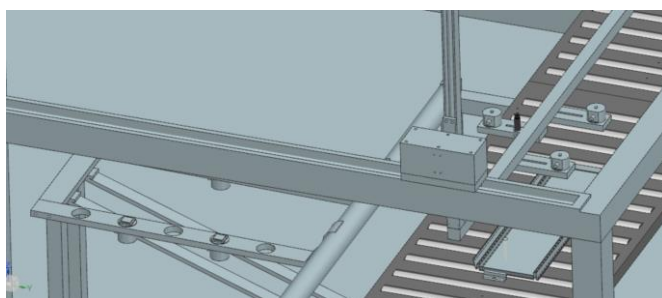


Obrázek 8.6 Pohled zepředu portálového jeřábu

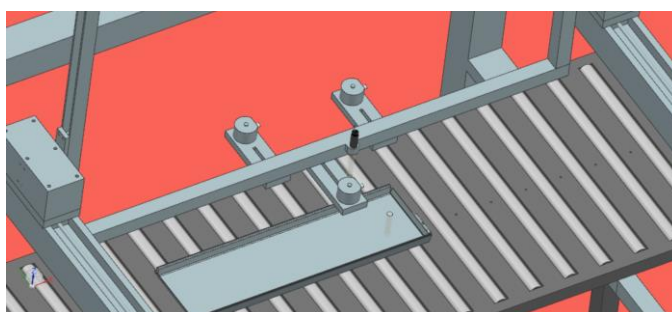


Obrázek 8.7 Pohled z profilu portálového jeřábu

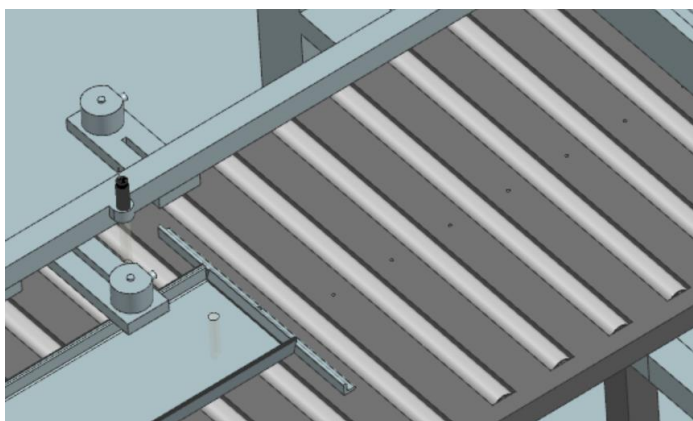
Beta a Delta modul jsou k sobě spojeny pomocí hliníkové kostky, ve ní jsou připravené otvory pro šrouby, které se přišroubují přímo do vozíku, které jsou na jednotlivých modulech (obrázek 8.8). Beta moduly jsou navíc mezi sebou spojeny hliníkovým profilem, ve kterém je na spodní straně udělaná drážka pro připevnění úchytů pro magnetická chapadla (obrázek 8.9). Na profilu je připravený držák pro indukční snímač, který snímá polici a na začátku cyklu výšku palety, na které je přidělaný ve středu palety malý kovový terčík. Ve válečkovém pásu jsou přípravné otvory pro připevnění zarážky pro police, které vyjíždí z bodovacího stroje (obrázek 8.10).



Obrázek 8.8 Připevňovací hliníková kostka



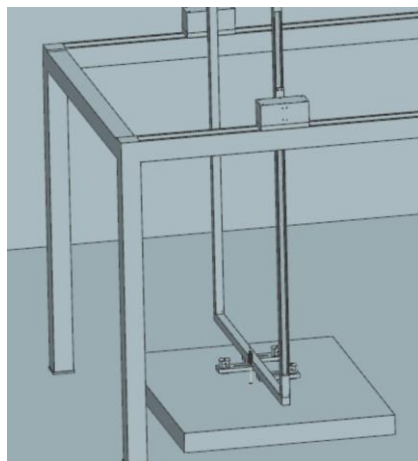
Obrázek 8.9 Úchyt na magnetická chapadla



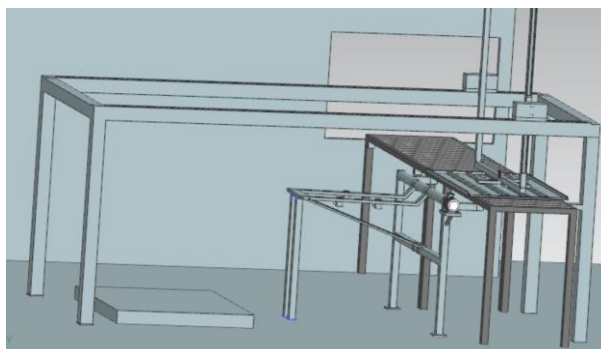
Obrázek 8.10 Zarážka polic

8.3 Ukázka založení dvou polic na paletu

Celý cyklus založení dvou palet se skládá z několika kroků. Jako úplně první krok portálový jeřáb zjistí polohu palety, na kterou bude pokládat police (obrázek 8.11). Po zjištění polohy palety se portálový jeřáb přesune nad první polici, kterou nabere (obrázek 8.12).

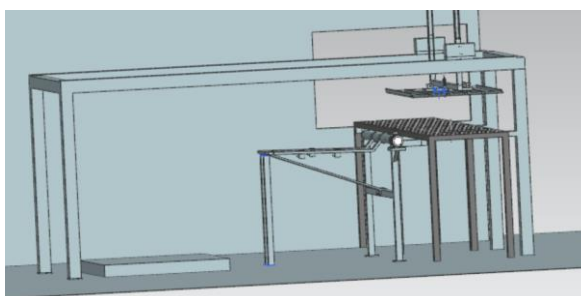


Obrázek 8.11 Zjistění pozice palety

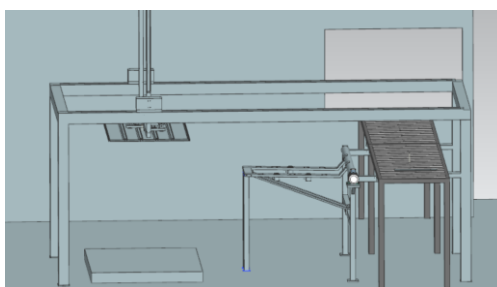


Obrázek 8.12 Nabrání první police

Poté stroj vyjede s policí nad pás (obrázek 8.13) a následně se přesune v horizontální ose nad paletu (obrázek 8.14).

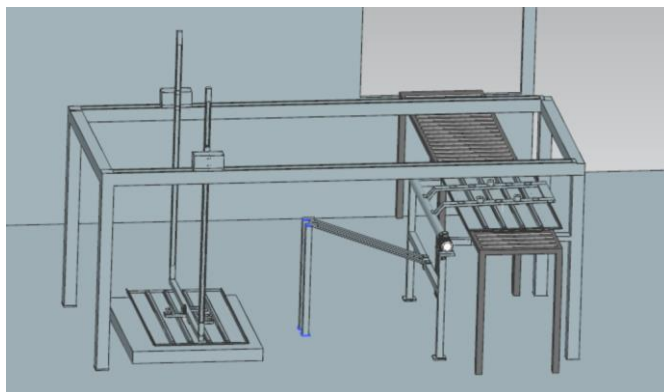


Obrázek 8.13 Zvednutí první police

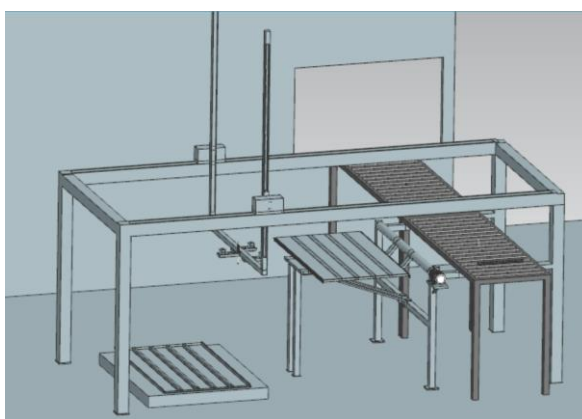


Obrázek 8.14 První police nad paletou

Poté položí první polici na paletu (obrázek 8.15) a překlápěcí stroj obrátí druhou polici (obrázek 8.16).

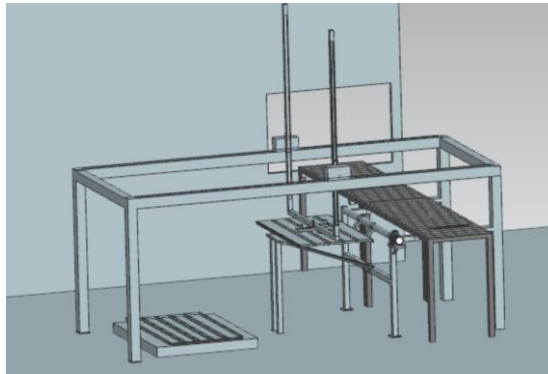


Obrázek 8.15 Položení první police na paletu

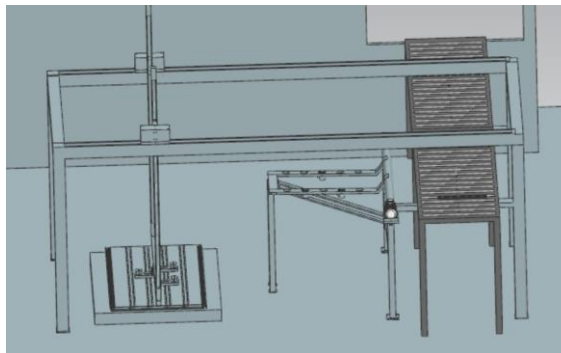


Obrázek 8.16 Překlopení druhé police

Následně portálový jeřáb přejezdí nad překlopenou polici a nabere ji (obrázek 8.17). Nakonec druhou polici položí na první (obrázek 8.18).



Obrázek 8.17 Nabrání druhé police



Obrázek 8.18 Založení druhé police

Po této operaci portálový jeřáb opakuje jednotlivé kroky. Prvně vždy nabere první polici a následně jí položí na paletu a poté druhou překlopenou polici nabere a položí ji na paletu. Celý tento cyklus by měl trvat 12 sekund.

8.4 Dosažené výsledky

S takto navrhnutým portálovým jeřábem by mělo být možné, dosáhnout požadovaných 12 sekund. Bohužel jsem těsně před odevzdáním bakalářské práce dostal od firmy SCHUNK výsledky, podle kterých není možné dosáhnout požadovaného času cyklu 12 sekund s těmito vybranými komponenty. Tento cyklus by ve skutečnosti dle posledních úprav mohl trvat 22,6 sekundy. Za tento čas je schopný stroj vykonat cyklus založení dvou polic na paletu. Tento návrh má však výhody v jednoduchosti a zachování provozu paletové linky při poruše tohoto stroje.

9. ZÁVĚR

Bakalářská práce postupně seznamuje s firmou ITAB a jejími výrobky. V kapitole 4 bakalářské práce popisuje současný proces výroby s jednotlivými operacemi, které jsou označeny příslušnými symboly. V rámci rešerše v kapitole 5 se práce zabývá oblastí překlápění materiálu. Jsou zde popsány jednotlivé principy překlápění materiálu. Ze zjištěného současného procesu výroby a z naměřených dat jsou v bakalářské práci v kapitole 6 navržené optimalizace výroby, které by firmě mohly pomoci zlepšit současný proces výroby a tím zefektivnit celý proces výroby polic. Po optimalizaci práce pracovníka by firma ITAB vydělávala o 567,04 Kč více na jedné paletě polic 666x620. Při pořízení překlápěcího stroje by firma zvedla produktivitu výroby polic 666x620 o 14,25 %, jak je vidět z obrázku 6.1, kde takt stroje zpomaluje pracovník při činnosti překlápění police. V kapitole 7 se práce zabývá navrženým zjednodušeným konstrukčním schématem překlápěcího stroje, který je potřeba vytvořit pro navrženou optimalizaci popsanou v kapitole 6.3.1. V následující kapitole 8 je navržené ideové schéma portálového jeřábu s celkovou soupiskou potřebného materiálu pro vytvoření tohoto jeřábu. Portálový jeřáb by měl být schopný založit 2 police na paletu za 12 sekund. Těsně před odevzdáním jsem dostal výsledky od firmy SCHUNK, z kterých vyplývá, že s vybranými komponenty uvedené v kapitole 8.1, není možné dosáhnout požadovaného času 12 sekund. Na výběru jiných komponentů, které zvládnou požadovaný čas cyklu právě pracuji.

V neposlední řadě tato bakalářská práce slouží jako základ pro navazující diplomovou práci, která se bude blíže věnovat dané problematice.

LITERATURA

- [1] ITAB. ITAB [online]. Boskovice: ITAB Shop Concept CZ, 2021 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://itab.com/>
- [2] Manufacturing News. Manufacturing News [online]. Suite 2100 Grapevine: Gross Publications, 2021 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://mfgnewsweb.com/archives/4/58185/Material-Handling-mar21/Flip-Heavy-Parts-Easily.aspx>
- [3] Youtube. Youtube [online]. San Mateo: Google, 2005 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=0u32tIBbHXM&ab_channel=atrcorporation
- [4] Seznam.cz. Seznam.cz: Firmy.cz [online]. Praha: Seznam.cz, © 1996–2021 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.firmy.cz/detail/154298-itab-shop-concept-cz-boskovice.html>
- [5] Wikipedie. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Reg%C3%A1l_\(police\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Reg%C3%A1l_(police))
- [6] Wikipedie. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Industrial_robot
- [7] Wikipedie. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Mont%C3%A1%C5%BEen%C3%ADlinka>
- [8] Wikipedie. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD>
- [9] Wikipedie. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Robot#D%C4%9Blen%C3%AD_robot%C5%AF
- [10] TG drives. *TG drives* [online]. Brno: TG drives, © 2006–2022 [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.tgdrives.cz/>
- [11] SCHUNK. SCHUNK [online]. Lauffen am Neckar: SCHUNK, © Autorská 2022 [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/domovska-stranka/
- [12] POPLER, R. The science of palletizing [online]. Columbia Machine, 2009 [cit. 2021-9-13].

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	Vysoké učení technické v Brně

Symboly:

$O1, O2$	operace pracovníka	(-)
$A1, A2$	operace automatické linky	(-)
$S1, S3$	sklady	(-)
t_{o1}, t_{o2}	změřený čas operace	(s)
t_{c1}, t_{c2}	změřený čas cyklu	(s)
σ_{o1}, σ_{o2}	směrodatná odchylka času operace	(s)
σ_{c1}, σ_{c2}	směrodatná odchylka času cyklu	(s)
x	limit překlápění police	(s)
Me	medián	(s)
\bar{x}	průměrná hodnota	(s)
V_1	zisk pro firmu vyšším využitím pracovníka	(Kč)
V_2	zisk pro firmu zkrácením času	(Kč)
V_3	aplikace technologie	(Kč)
Z	využití lidského zdroje	(-)
Z_n	využití lidského zdroje po změně	(-)
M	moment	(N*m)
F	síla	(N)
r	poloměr	(m)
g	tíhové zrychlení	(m/s ²)
m	hmotnost	(Kg)
P	výkon	(W)
ω	úhlová rychlost	(rad/s)
RPS	otáčky za sekundu	(ot/s)

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A - NAMĚŘENÉ HODNOTY	58
PŘÍLOHA B - KONSTRUKČNÍ SCHÉMATA PŘEKLÁPĚČE A PORTÁLOVÉHO JEŘÁBU...	59

Příloha A - Naměřené hodnoty

Příloha A – Naměřené hodnoty jsou uloženy na přiloženém CD

Příloha B - Konstrukční schémata překlápěče a portálového jeřábu

Příloha B – Konstrukční schémata překlápěče a portálového jeřábu jsou uložena na přiloženém CD