



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

ŘÍDICÍ SYSTÉM LABORATORNÍHO ŘETĚZOVÉHO DOPRAVNÍKU

CONTROL SYSTEM OF LABORATORY CHAIN CONVEYOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ihor Fursov

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Vetiška, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: Ihor Fursov
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: Ing. Jan Vetiška, Ph.D.
Akademický rok: 2016/17

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 bakalářské práce:

Řídicí systém laboratorního řetězového dopravníku

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Tvorba laboratorní úlohy s řetězovým dopravníkem. Práce je zaměřena na použití automatizačních prostředků na bázi PLC.

Cíle bakalářské práce:

- rešerše,
- návrh a realizace HW řídicího systému,
- návrh SW.

Seznam doporučené literatury:

ŠMEJKAL, L. a M. MARTINÁSKOVÁ. PLC a automatizace 1: Základní pojmy, úvod do programování. BEN, 2002. ISBN 80-86056-58-9.

MAREK, J. Konstrukce CNC obráběcích strojů. 2. Praha: MM publishing, s.r.o., 2010. ISBN 978-8-254-7980-3.

BOLTON, W. Programmable Logic Controllers. Oxford: Elsevier Newnes. 2006. ISBN-13: 978-0-75-6-8112-4

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem řízení pro laboratorní řetězový dopravník s možností rozeznání typu palet, které jím jezdí. Rešeršní část je zaměřená na rozebírání možností dopravníku: jeho pohon, předinstalované senzory. V praktické části je zaprvé navrhnut a popsán hardware, který je používán pro automatizaci dopravníku, zadruhé je popsán řídicí systém pro automatickou práci linky. Na závěr je práce zhodnocena a jsou navrženy další možnosti modifikace a vývoje tohoto dopravníku v kompletní automatickou výrobní buňku.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the proposal of the management of laboratory chain conveyor with the possibility of detection the types of pallets on it. Researching part is focused on disassembly of the conveyor's options: it's driving force, pre-installed sensors. The first thing in the practical part is about design and description of the hardware, which is used for automation of the conveyor. The second thing is to describe control system for automatic work of the line. In conclusion work is evaluated, and also designed further possible modifications and developments for this conveyor in the complete automatic production cell.

KLÍČOVÁ SLOVA

Automatizovaný řetězový dopravník, PLC programování pomocí TwinCAT 3, pohon asynchronního motoru frekvenčním měničem.

KEYWORDS

Automated chain conveyor, PLC programming with TwinCAT, control of induction motor with frequency converter.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FURSOV, I. *Řídicí systém laboratorního řetězového dopravníku*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2017, 54 s., Vedoucí diplomové/bakalářské práce Ing. Jan Vetiška, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Vetiškovi, Ph.D. za jeho pomoc vedení a cenné rady během realizace bakalářské práce.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jana Vetišky a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 20.05.2017

.....
Fursov Ihor

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	FUNKCE A TYPY DOPRAVNÍKU	17
2.1	Typy dopravníku	17
3	POČÁTEČNÍ STAV DOPRAVNÍKU	19
3.1	Pohon	19
3.2	Vybavení stanic	19
3.3	Zapojení a způsob řízení	21
3.4	Vyhodnocení stavu dopravníku	21
4	PROGRAMOVATELNÉ AUTOMATY	23
4.1	Hardware PLC	23
4.1.1	Vnitřní struktura PLC	24
4.1.2	Sběrnice EtherCAT	25
4.2	Programování PLC	26
4.2.1	Jazyk mnemokódů	28
4.2.2	Jazyk strukturovaného textu	28
4.2.3	Jazyk kontaktních schémat	28
4.2.4	Jazyk logických schémat	29
4.2.5	Nástroj sekvenčního programování - SFC	29
5	NÁVRH A REALIZACE HW ŘÍDICÍHO SYSTÉMU	31
5.1	Řízení asynchronního motoru	31
5.1.1	Skalární řízení	31
5.1.2	Vektorové řízení	32
5.1.3	Použitý měnič frekvence	32
5.2	Návrh zapojování elektronických jednotek	33
5.3	Využití programovatelné automaty	34
6	NÁVRH SOFTWARE	35
6.1	Programování v TwinCAT 3	35
6.2	Řídicí program dopravníku	35
6.3	Struktura programu	36
7	DISKUZE	39
8	ZÁVĚR	41
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	43
10	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK	45
11	SEZNAM PŘÍLOH	47
	PŘÍLOHY	49

1 ÚVOD

V současnosti se dopravník vyskytuje nejenom ve formě zvláštního stroje pro přepravu materiálu, ale i jako páteř dalších výrobních strojů. Spojováním různých procesů výroby stále vylepšujeme výrobní čas a kvalitu výrobku. Sebekvalitnější stroje a technologické linky nemohou být úspěšné, pokud nebudou vybaveny kvalitním řízením a inteligencí[1]. Požadavky na efektivitu výroby se neustále zvyšují a tím pokračuje vývoj všech procesů výroby. Z hlediska teorie i aplikace u automatizační techniky a vývojového prostředí došlo k velkému posunu kupředu. Tím došlo k možnosti úplné automatizace zvláštních procesů výroby a vyloučení lidské práce, a to především v oblasti práce fyzicky náročné a nebezpečné pro lidi.

Cílem této práce je návrh způsobu řízení řetězového dopravníku s použitím programovatelných automatů a návrh hardwaru a řídicího programu využitelného pro automatizovanou práci. Nejedná se o úplně automatizovanou výrobní buňku, ve které není nutná lidská činnost, ale i přesto je tento laboratorní model dostačující ukázkou možnosti automatizace ve zvýšení efektivity a principu řízení linky.

2 FUNKCE A TYPY DOPRAVNÍKU

Dopravník je zařízení pro nepřetržitý pohyb sypkého materiálu, kusového zboží nebo ucelených manipulačních jednotek[2]. Dopravníky byly také historicky jednou z prvních automatizačních komponent hromadné sériové výroby. Jistě každý si vzpomene na všeobecně známou historku o Henry Fordovi, kterému pouze zavedení tzv. pásové výroby umožnilo výrazně zvýšit rychlost a snížit náklady na výrobu dnes legendárního automobilu Ford T, který si pak mohlo dovolit koupit více lidí než doposud a tím dostalo USA přezdívku "země na kolech". Moderní dopravníky tak již oslavují více jak 100 let existence a postupně se neustále vylepšují s tím, jak jsou vyvíjeny a zdokonalovány materiály i elektronika[3].

Dopravníky lze podle různých kritérií rozdělit do několika kategorií. Například podle způsobu pohybu / unášení přepravovaného předmětu či materiálu lze dopravníky rozdělit na:

- nepoháněný dopravník,
- poháněný dopravník.

V prvním případě jsou pohyblivé části dopravníku jen čistě volné a nenapojené na žádný poháněcí zdroj/sílu. Předměty na něm se tedy pohybují buď gravitací (tzv. gravitační dopravník / gravitační trať) nebo působením nějaké externí síly, obvykle tlačení lidské obsluhy. Poháněný dopravník pak má všechny nebo alespoň některé pohyblivé části napojeny na zdroj síly / pohybu, a tedy předměty na něm umístěné jsou unášeny bez nutnosti působení vnějších sil[3]. Moderní dopravníky ve většině případů používají k pohonu elektromotory v různém provedení, i když někdy se využívají pneumatické či hydraulické pohony, zvláště v prostředích s vysokým rizikem výbuchu[3].

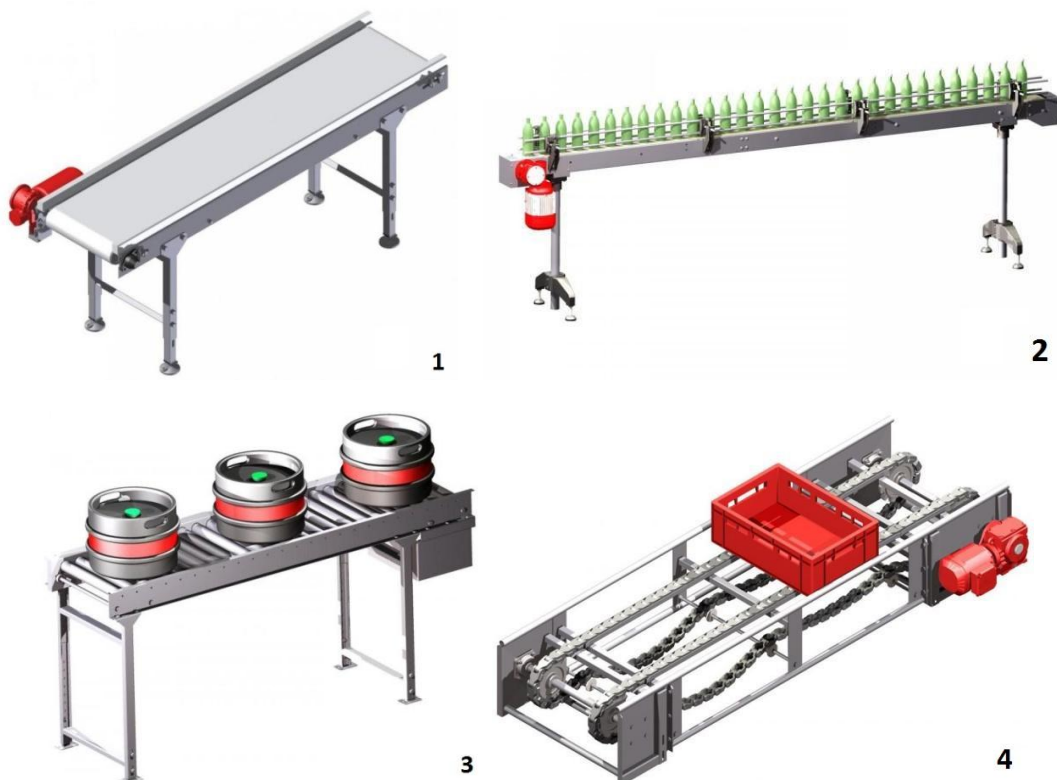
2.1 Typy dopravníku

V dnešní době se nejčastěji používají dopravníky dalších typů:

- Pásový dopravník – ohebný, například gumový pás, podepíraný a poháněný válci. Užití pro sypké materiály, pro kusové zboží jako pokladní pás v supermarketu, jako montážní pás v sériové výrobě.
- Šnekový dopravník – šnek otáčející se v trubce nebo žlabu slouží pro sypké materiály jako obilí, pelety, granule, uhlí do kotle[2].
- Řetězový dopravník – přeprava kompaktních předmětů ležících a unášených na pohybujících se řetězech. Užití pro palety, kusové zboží.
- Hřeblový dopravník – v kovovém korytu táhne řetěz hřebel, příčné díly, které shrabují hrubší sypký materiál, například uhlí v hlubinném dole.
- Destičkový dopravník – na horní straně plochého řetězu jsou upevněny destičky, které vytvářejí prakticky souvislou pohybující se plochu. Dopravované předměty jsou dopravníkem unášeny mezi nepohyblivým ohrazením. Vhodné i pro vysoké úzké předměty jako například pивní lahve v plnicí lince.
- Korečkový dopravník – korečky (kapsy) navěšené na pásu nebo řetězu. Obvykle jsou děrované, slouží pro dopravu mokřých substrátů (písku) i svislým směrem.

- Válečkový dopravník – válečky usazené v pevném rámu tvoří souvislou dráhu. Směr pohybu dopravovaných předmětů kolmo na osu otáčení válečku. Gravitační tratě jsou nepoháněné, případně může mít válečková trať i poháněcí sekci ve formě poháněných válečků nebo pásů. Oblouky (zatačky) jsou řešeny prostřednictvím kuželových válečků. Používají se pro transport a manipulaci kusového materiálu např. krabic, beden, transportních palet apod. v distribučních skladech a balících linkách, při pohybu vývalků ve válcovnách apod.
- Kladičková trať – obdoba válečkové tratě. Místo válečků jsou na ose nasazeny kotouče – kladičky. Na ose je s mezerami několik kotoučů. Kladičky na sousedních osách se přesahují, aby nikde nevznikla souvislá mezera. Trať se používá pro manipulaci s plochými předměty: plechy, tabule skla, nábytkové dílce.
- Nátřasný žlab (kmitavý dopravník) – koryto, kde jeden konec je výše než druhý, pohon třese žlabem a díky tomu se materiál (např. rubanina v uhelných dolech) přesouvá žlabem níž[2].

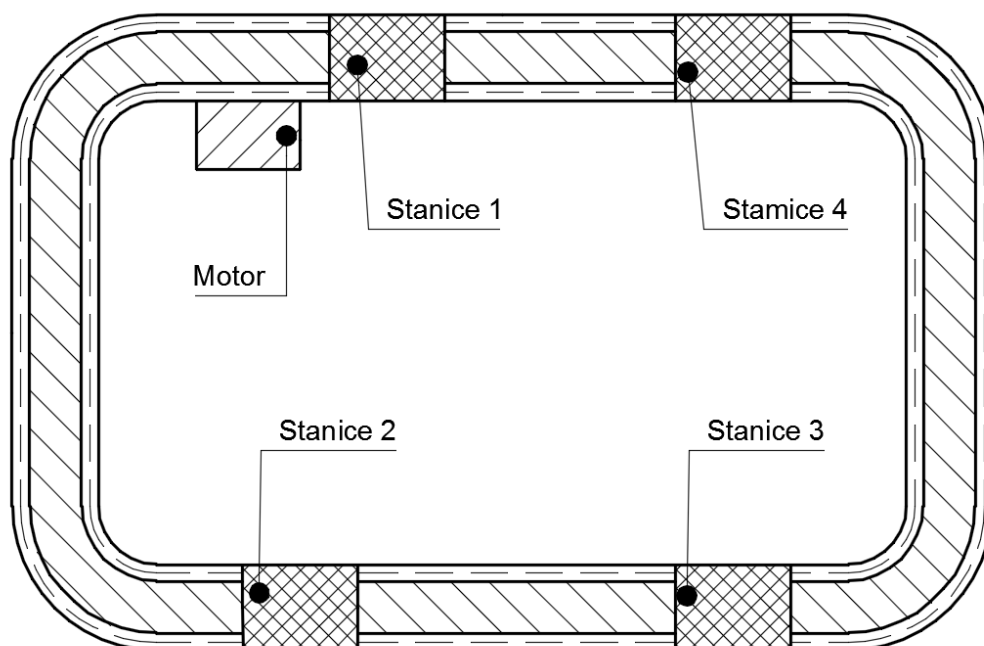
Každý zde uvedený typ pak má svá provozní specifika a hodí se jen pro určité typy, konzistence, balení, velikosti a hmotnosti produktů. Výběr vhodného provedení pro konkrétní aplikaci je pak často dost náročná záležitost a vyžaduje poměrně dost velké zkušenosti. Špatná volba má pak obvykle za následek praktické nesplnění požadavků na rychlost, spolehlivost přepravy a hlavně životnost dopravníku, která musí být obvykle i v řádu desítek let. Správně zvolený typ, provedení a kvalita materiálů je tak pro konstrukci každého dopravníku zcela klíčová[3].



Obr. 1) Základní a nejvyužívanější typy dopravníků[3]; 1-pásový dopravník; 2-destičkový dopravník; 3-válečkový dopravník; 4-řetězový dopravník

3 POČÁTEČNÍ STAV DOPRAVNÍKU

Dopravník, kterým se zabývá tato práce je určen pro dopravu palet různého typu od stanice ke stanici. Je to řetězový dopravník s plastovým řetězem, který je zapojen do kola. Tento dopravník je určen pro pohyb do jedné strany, a to proti směru hodinových ručiček. Celkově dopravník obsahuje 4 stanice.



Obr. 2) Schema dopravníku

3.1 Pohon

Tento dopravník je poháněn asynchronním třífázovým elektromotorem. Asynchronní motor je elektrický stroj, který pracuje na principu elektromagnetické indukce a u kterého lze nalézt tzv. skluz, což je rozdíl otáček magnetického pole statoru a otáček rotoru. Asynchronní stroj je nejpoužívanější a nejrozšířenější elektrický stroj, který nachází uplatnění v různých pohonech. Má jednoduchou konstrukci, je nenáročný na obsluhu a údržbu. Vyznačuje se značnou provozní spolehlivostí a relativně nízkou cenou. Velký proudový náraz při připojení stroje k síti a dále velká závislost momentu na napětí však patří k negativním vlastnostem asynchronního stroje[4].

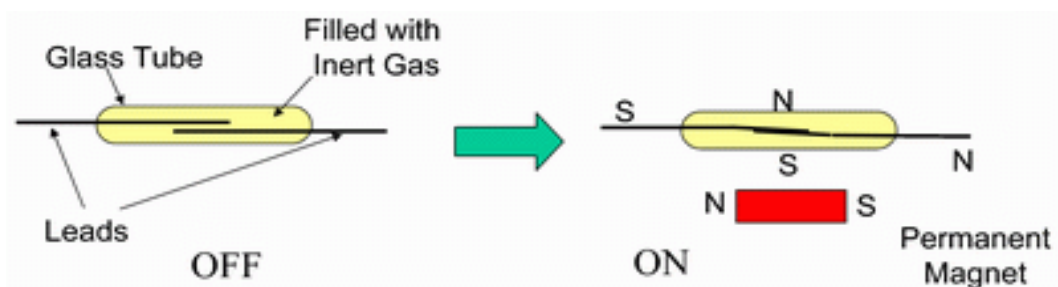
Zapojení motoru a řetězu linky v této úloze je realizováno pomocí řetězu. Jelikož samotný dopravník byl od začátku určen jen pro pohyb do jedné strany tak i zapojení s motorem je uděláno způsobem, kterým není možné pohánět řetěz dopravníku do jiné strany.

3.2 Vybavení stanic

Jak už bylo řečeno dopravník obsahuje 4 stanice. Každá ze stanic je vybavena senzory, a kromě toho brzdou. Celkově každá stanice obsahuje 6 senzorů.

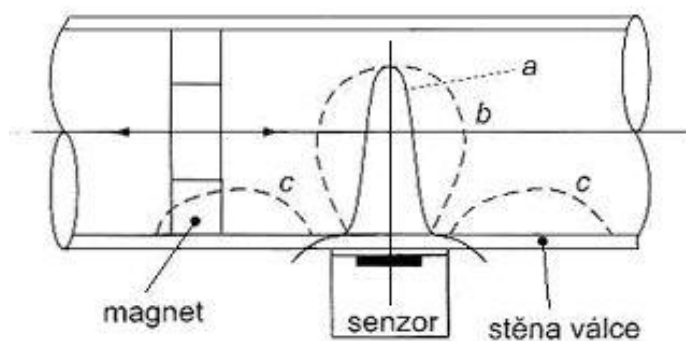
Senzor je zařízení, které reaguje na fyzický podnět (jako teplo, světlo, zvuk, tlak, magnetismus, nebo zvláštní pohyb) a přenáší výsledný impuls (jak pro měření nebo provozní kontroly). Senzor je vstupní blok měřicího řetězce, který je v přímém styku s měřeným prostředím. Citlivá část senzoru je označována jako čidlo. Senzor snímá měřenou většinou neelektrickou veličinu a převádí ji na měřenou (většinou elektrickou) veličinu.

V tomto případě využité magnetické senzory, které pracují na principu jazýčkových relé. Tento typ senzoru se také nazývá Reedův senzor. Princip tohoto snímače je založen na jazýčkových kontaktech, které se skládají z feromagnetických nožů hermeticky uzavřených ve skleněné baňce naplněné inertním plynem.



Obr. 3) Princip Reedůvých senzorů[5]

Funkce sepnutí se aktivuje pomocí přiblížení, nebo oddálení magnetického pole, tzn. kontakty spínají v závislosti na magnetickém poli. Výhodou tohoto typu snímače je že nemagnetické a neželezné materiály umístěné mezi senzor a magnet neovlivňují jeho funkci. Existuje také ale i nevýhoda – vykazování tzv. opakovaného spínání, kdy při úplném horizontálním přejetí magnetu kolem snímače dojde k několikanásobnému sepnutí.



Obr. 4) Spínání jazýčkového relé – oblast (b) a (c); (b) – podélná magnetizace; (c) – příčná magnetizace

U stanic tohoto dopravníku se senzory používají pro polohování a třídění palet. Senzor ARRIWING nám slouží k snímání polohy palety přímo před pracovní částí stanice. Senzor IN PLACE polohuje paletu už přímo v pracovní části. Zbývající senzory se používají k zjištění typu palet.

Kromě toho každá stanice obsahuje brzdu. V našem případě jsou brzdy realizované pneumatickými písty. Ke každé stanici je provedeno potrubí se stlačeným vzduchem. Potrubí je vždy pod tlakem a zapnutí brzdy se realizuje otevřením ventilu. Otevírání a zavírání ventilu je uděláno pomocí digitálního výstupu.

Nakonec pro komunikaci s prostředím každá stanice obsahuje dvě žárovky. Jedna z nich je červená druhá zelená.



Obr. 5) Ukázka stanice

3.3 Zapojení a způsob řízení

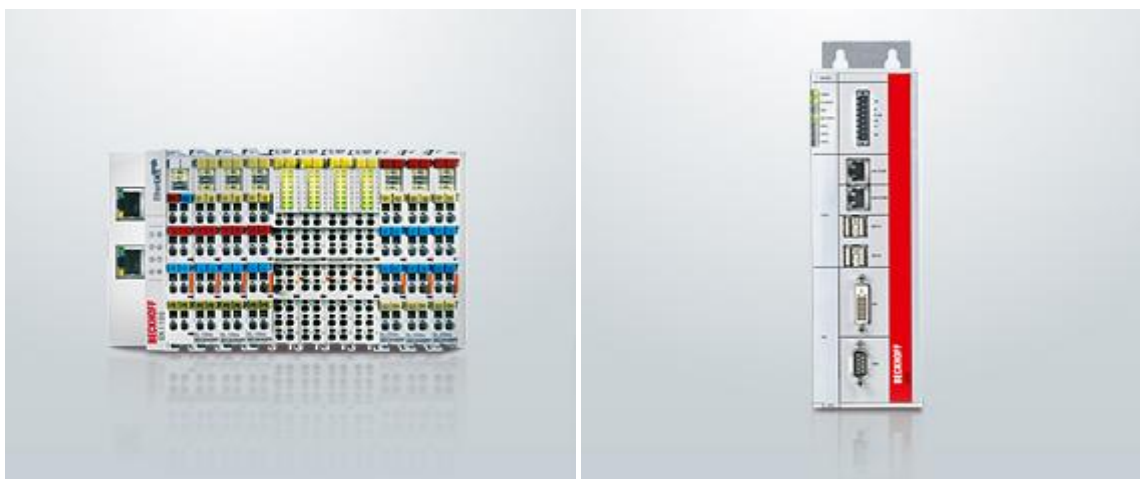
Již od počátečního stavu řízení dopravníku bylo realizováno pomocí programovatelných automatů. Avšak hardware, který byl použit při tom zapojování, už není využitelný v dnešní době. Navíc, nevýhodou originálního zapojování bylo to, že skoro každá elektronická jednotka dopravníku byla zapojena přes svůj vlastní kabel. Kvůli tomu dopravník nebyl jenom těžce přestavitelný, ale také obsahoval nepotřebné prvky. Jako příklad můžeme vzít desku, která se používala pro zapojení všech kabelů ze stanice s kabelem, který šel do rozvaděče s programovatelnými automaty.

3.4 Vyhodnocení stavu dopravníku

Na základě výsledků prozkoumání různých částí základního zapojení dopravníku bylo rozhodnuto některé zvláštní části předělat. Asynchronní motor je vhodný pro využití i teď, proto nemá smysl vymýšlet jiný typ pohonu. Úplně jiná je situace u zapojování digitálních vstupů a výstupů do programovatelných automatů. Pro snadnější zapojování a lepší přestavitelnost bylo rozhodnuto zapojování u stanic předělat znova, a to tím způsobem, aby bylo možné nakonec využít moderní PLC automaty od firmy Beckhoff.

4 PROGRAMOVATELNÉ AUTOMATY

Když dochází k návrhu hardware, tak první otázka, na kterou je nutné dát odpověď, je výběr druhu řízení. Řídicí systém, zkráceně ŘS, je programovatelné zařízení používané převážně v průmyslu, které ovládá nějaký technologický proces. Obvykle se jedná o systém z oboru regulační či automatizační techniky řízený pomocí různých prostředků z oblasti výpočetní techniky. Výhodou ŘS je úplná transparentnost řízení technologického zařízení, kdy jsou zpravidla veškeré úkony operátora a hodnot veličin snímaných A/D převodníky ukládány na server/PC[6]. Mezi základní řídicí systémy patří programovatelné automaty, distribuované řídicí systémy a průmyslové PC. V minulosti každý z takových typu řídicích systémů měl svůj vlastní okruh, pro který byl nejlíp využitelný. Ale s pokročilejším hardwarem a softwarem se výběr řídicího systému stal jen otázkou ceny a přání zákazníků. Pro tuto úlohu byl vybrán řídicí systém, který využívá Programovatelné logické automaty.



Obr. 6) Ukázka řídicích systémů od firmy Beckhoff[7]

V automatizační technice se programovatelné automaty používají zhruba od roku 1970. Původně byly určeny pro řízení strojů, jako náhrada za pevnou reléovou logiku. Postupně se jejich možnosti rozšiřovaly a dnes se s nimi můžeme setkat v nejrůznějších oborech, kde mnohdy vytlačují dříve používané přístroje. Programovatelné automaty, nebo PLC, tvoří páteř průmyslové automatizace. Jsou vhodné pro řízení jednotlivých strojů, jednodušších procesů, výrobních linek, podsystémů velkých technologických procesů. Jsou velmi vhodné pro logické řízení, avšak mohou realizovat i složité algoritmy pro regulaci pohonu, ventilu, klapek, os a dalších[8].

4.1 Hardware PLC

Jako mnoho jiných zařízení, PLC se dodává ve dvou verzích, a to v provedeních, které jsou označovány:

- Kompaktní, jehož provedení má unifikovaný počet vstupů a výstupů a rozsah operační paměti.
- Modulární PLC má volitelnou konfiguraci v počtu všech druhů vstupů. Vstupy a výstupy se sdružují do modulů, jejichž počet je volitelný.

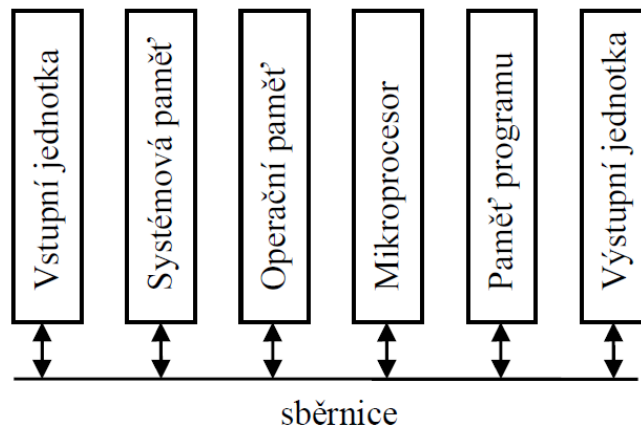
Konfigurace PLC se navrhuje s bezpečnou rezervou v počtech vstupů a výstupů a dalšími parametry[9]. Jako příklad PLC automatu jsou známy výrobky od firem Siemens, Beckhoff, Bosh, Festo a další. Příkladem dvou výše popsaných typů PLC jsou výrobky od firmy Siemens. To jsou jednoduchý řídicí modul Siemens LOGO! kompaktního typu a modulární PLC řady SIMATIC S7-300[10].



Obr. 7) Ukázka kompaktního a modulárního typu PLC od firmy Siemens[10]; zleva: Siemens LOGO!, SIMATIC S7-300

4.1.1 Vnitřní struktura PLC

Vnitřní struktura PLC představuje mikropočítač se sběrníkovou strukturou. Na společnou sběrnici jsou připojeny další důležité jednotky: vstupní jednotka, systémová paměť, operační paměť, centrální procesorová jednotka (CPU), paměť programu, výstupní jednotka.



Obr. 8) Vnitřní struktura PLC[9]

- **Vstupní jednotka** zajišťuje převzetí informací z řízeného procesu do PLC. Tyto signály vstupují do počítače prostřednictvím tzv. číslicových (digitálních) vstupů. Každý vstupní dvouhodnotový (binární) signál obsahuje informaci o velikosti jednoho bitu. Kromě číslicových vstupů je u PLC omezené množství tzv. analogových vstupů, které měří fyzikální veličiny jako teplota, tlak, a podobné, tj. výsledkem měření je číslo. Převod signálu, nejčastěji napětíového, na číslo se uskutečňuje v tzv. analogově-číslíkovém převodníku ADC, česky A/Č[9].
- **Systémová paměť** je nutná pro uložení vstupu, výstupu, mezivýsledku a také meze pro časovače, meze pro čítače.

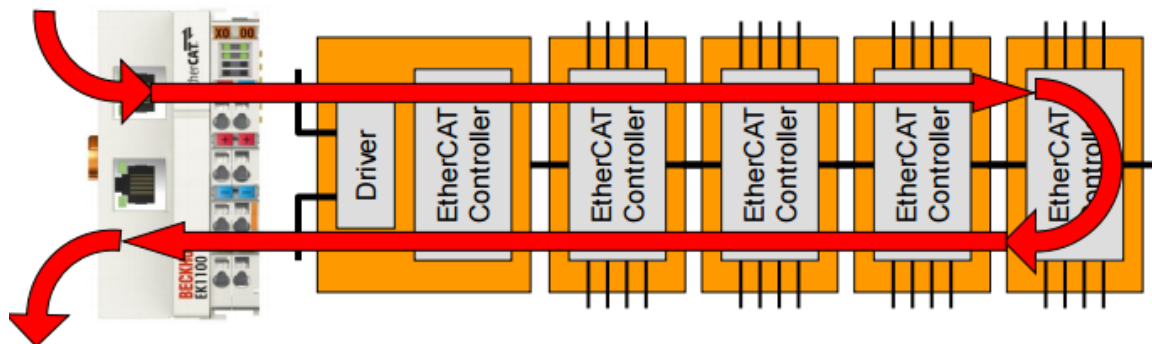
- **Operační paměť** s aktuální verzí programu. Je tvořena rychlou pamětí typu RAM. RAM – paměť s náhodným přístupem (Random Access Memory) pro opakovaný zápis a čtení paměťové buňky s libovolnou adresou.
- **CPU** je základem celého programovatelného automatu a určuje jeho výkonnost. Bývá jak jednodprocesorová, tak i víceprocesorová. Důležitým parametrem je operační rychlost posuzovaná podle tzv. doby cyklu.
- **Paměť programů** se zavádějí po restartu nebo resetu. Je tvořena obvykle pamětí typu EPROM. ROM je typ paměti, jejíž obsah lze jen číst (Read Only Memory). Potřeba přeprogramování vynutila zavést programovatelný ROM s označením PROM (Programmable ROM). Mazání obsahu paměti pro nové nahrání dat u typu EPROM (Erasable PROM) se zajišťovalo ultrafialovým zářením. Mazání elektrické je u typu EEPROM (Electrically EPROM)[9].
- **Výstupní jednotka** slouží k předání dvouhodnotových a vícehodnotových signálů ven z PLC. Dvouhodnotové veličiny mohou vystupovat staticky nebo také jako sled impulsů o zadané frekvenci. Výstupem také může být analogová veličina jako výsledek číslico-analogového převodu DAC, jehož princip je podobný s převodníkem ADC.

PLC samozřejmě vyžaduje napájecí zdroj, který bývá v současné době řešen jako spínaný s dostatečnou výkonovou rezervou, pro napájení i případných rozšiřujících modulů. Na stejný zdroj lze také připojit množství čidel. Standardní napájecí stejnosměrné napětí je potom 24V DC[11].

4.1.2 Sběrnice EtherCAT

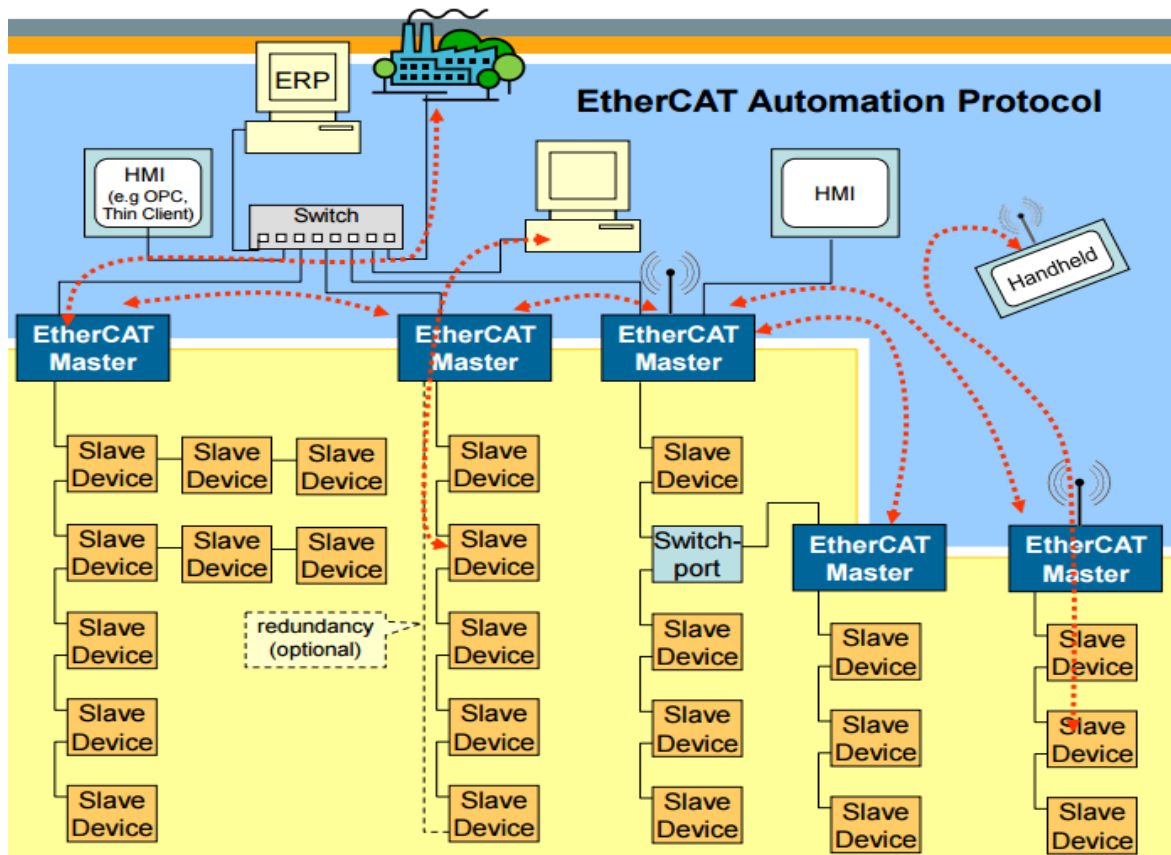
EtherCAT je průmyslová ethernetová sběrnice, původně vyvinutá firmou Beckhoff, vhodná zvláště pro úlohy, kde se využije její schopnost pracovat v reálném čase. Její předností je také volnost při volbě topologie komunikační sítě, včetně možnosti realizovat redundantní kabelové spoje. Sběrnici EtherCAT propaguje a podporuje mezinárodní sdružení EtherCAT Technology Group (ETG), založené v roce 2003 a sdružující dodavatele průmyslové automatizace, její uživatele i výrobce strojů a zařízení [12].

EtherCAT je průmyslová provozní sběrnice založená na Ethernetu, která se vyznačuje velkým výkonem, flexibilitou a cenovou výhodností. Lze ji v současné době označit za nejrychlejší ethernetovskou sběrnici. Zkrácení doby cyklu dosahuje EtherCAT tím, že řízené jednotky rámce (telegramy) neinterpretují celé a nekopírují je až po jejich přijetí, ale zpracovávají je průběžně – on-the-fly (za letu).



Obr. 9) EtherCAT - Fieldbus [13]

Rámce (EtherCAT využívá vlastní EtherType 88A4h) jsou adresovány do jednotky zvané FMMU (Fieldbus Memory Management Unit), která z nich ve stejné době, kdy jsou již předávány následující stanici, přečte data, jež jsou pro ni určena. Podobně také uživatelská data jsou do rámce zaváděna v době, kdy rámec prochází stanicí. Proto jsou doby zpoždění řádově v nanosekundách. Přitom mohou být účastníci velmi přesně synchronizováni, protože zpoždění je konstantní, závislé pouze na hardwaru. EtherCAT podporuje všechny topologie sítí v podstatě bez omezení z hlediska počtu připojených přístrojů. Je to také dosud ojedinělé řešení průmyslového Ethernetu se schopností pracovat v reálném čase, které nevyžaduje pro řídicí jednotku sítě (master) žádný speciální hardware: funkci HRT lze realizovat v libovolném ethernetovém řadiči jednotky master softwarově. Také řadiče podřízených jednotek (slave), které již vyžadují speciální hardware pro EtherCAT, jsou cenově velmi výhodné. Přepínače nejsou nutné. To vede k tomu, že řídicí i podřízené jednotky stejně jako infrastrukturu lze realizovat s nízkými náklady, zvláště ve srovnání s běžnými sběrníčovými systémy [14].



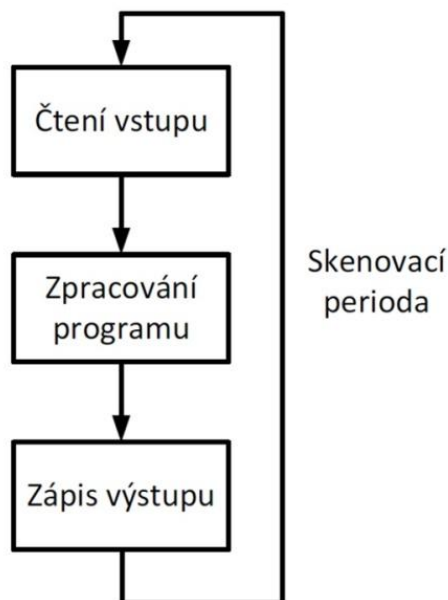
Obr. 10) Propojení PLC sběrníci EtherCAT [13]

4.2 Programování PLC

Protože programovatelné automaty byly původně určeny k realizaci logických úloh a k náhradě pevné logiky, obsahuje každý automat instrukce pro logické operace s bitovými operandy, instrukce paměťových funkcí a klopných obvodů, instrukce pro zápis výsledku a mezivýsledku na adresované místo, ale i instrukce čítačů, časovačů, posuvných registrů, krokových řadičů a jiných funkčních bloků.

V souboru instrukcí současných PLC jsou obsaženy instrukce pro aritmetické operace s čísly, logické instrukce s číselnými operandy (paralelní operace s operandem v délce byte, slovo nebo delší), přenosy dat a instrukce pro realizaci programu (skoky v programu, cykly, volání podprogramů a návraty atd.). Některé PLC poskytují i velmi výkonné instrukce pro komplexní operace[12].

Program PLC je posloupnost instrukcí a příkazů jazyka. Typickým režimem jeho aktivace je cyklické vykonávání v programové smyčce. Na rozdíl od jiných programovatelných systémů se programátor PLC nemusí starat o to, aby po konci programu vrátil jeho vykonávání opět na začátek – zajistí to již systémový program. Naopak každé dlouhodobé setrvání programu v programové smyčce je "fatální chybou" a systém jej hlásí jako "překročení doby cyklu"[13]. Po spuštění programu jsou nejprve provedeny režijní operace systému, aktualizace systémových a časových proměnných, naplánována aktivace procesů pro další cyklus apod. Poté jsou sejmuty aktuální hodnoty fyzických vstupů, které jsou pro celý následující cyklus konzervovány, jako obrazy vstupů X. Následně se vykoná požadovaný program a na závěr jsou na výstupy vyslány aktuálně vyčíslené hodnoty obrazů výstupů Y. Celý cyklus se stále opakuje[13].



Obr. 11) Cyklická práce PLC[11]

Programování PLC využívá externí softwarové pomůcky, takže uživatel v podstatě zadává svou specifickou úlohu logického řízení dříve popsanou ve zvláštním programu. K programování nabízejí PLC systémy specializované jazyky, původně navržené pro snadnou, názornou a účinnou realizaci logických funkcí. Jazyky systémů různých výrobců jsou podobné, nikoliv však stejné. Přenositelnost programů mezi PLC různých výrobců není možná, daří se to obvykle jen mezi systémy téhož výrobce[13]. Jsou ale známy 4 základní jazyky programování logického řízení definované mezinárodní normou IEC EN 61131-3. Někdy se také uvádí pátý programovací nástroj SFC.

4.2.1 Jazyk mnemokódů

Jazyk mnemokódů je obdobou assembleru u počítačů a je také strojově orientován. To znamená, že každé instrukci PLC systému odpovídá stejně pojmenovaný příkaz jazyka. Tyto jazyky jsou často používány, zejména profesionálními programátory[14].

1.1	LD	SM 0.1	On for One Scan
1.2	MOVD	# 4000 , VD200	Put 4000 in address VD200
1.3	LD	SM 0.1	VD200
1.4	MOVW	# 41 , VW10	Put 41 in address VW10
1.5	LD	SM 0.1	
1.6	DIV	VW10 , VD200	DIV Value in Address VD200 on the Value VW10 put result in the address VW200
1.7	MEND		

Obr. 12) Zápis programu v jazyce mnemokódů[15]

4.2.2 Jazyk strukturovaného textu

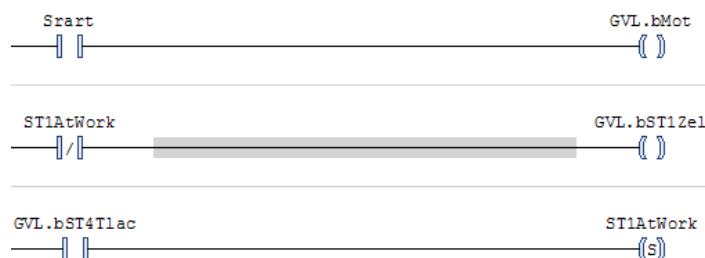
Jazyk strukturovaného textu je obdobou vyšších programovacích jazyků pro PC (např. Pascal nebo C). Umožňuje úsporný a názorný zápis algoritmů[13].

```
MAIN (PRG-ST)
0002 VAR
0003     fbTimer: TON;
0004     bToggle AT %Q*: BOOL;
0005 END_VAR
0006
0001 fbTimer(PT:=t#250ms, in:= NOT fbTimer.Q);
0002 IF fbTimer.Q THEN
0003     bToggle:=NOT bToggle;
0004 END_IF
0005
0006
0007
```

Obr. 13) Zápis programu ve strukturovaném textu[15]

4.2.3 Jazyk kontaktních schémat

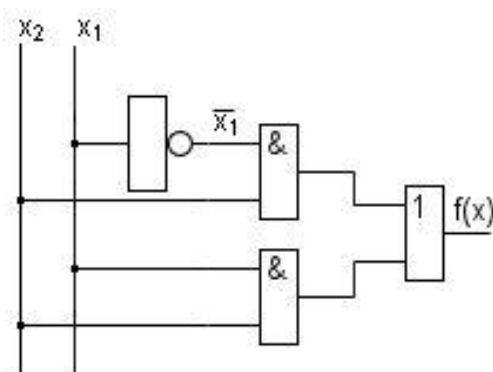
Jazyk kontaktních (reléových) schémat je grafický. Program se zobrazuje ve formě schémat používaných při práci s reléovými a kontaktními prvky. Jazyk je výhodný při programování nejjednodušších logických operací a v případech, kdy s ním pracují lidé, kteří neznají tradiční počítačové programování[14].



Obr. 14) Zápis programu v jazyce kontaktních schémat

4.2.4 Jazyk logických schémat

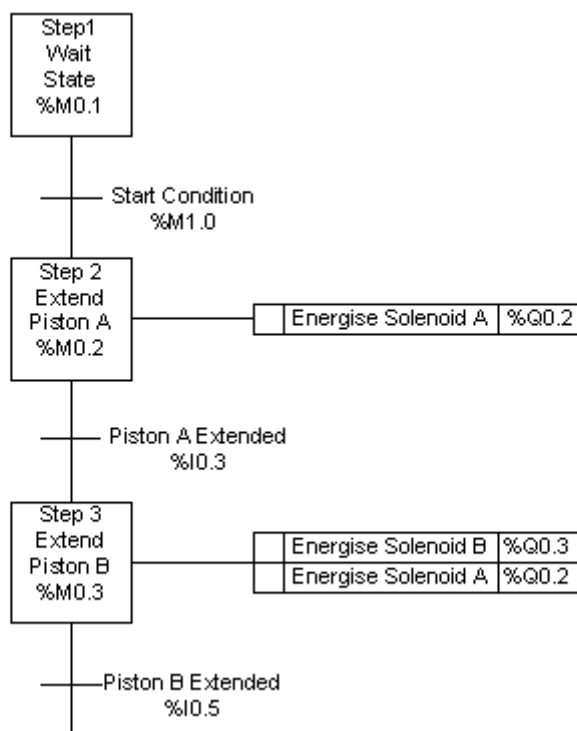
Jazyk logických schémat je opět grafický. Základní logické operace popisuje obdélníkovými značkami. Své značky mají i ucelené funkční bloky. Vychází vstříc uživateli, zvyklým na kreslení logických schémat[14].



Obr. 15) Zápis programu v jazyce logických schémat[16]

4.2.5 Nástroj sekvenčního programování - SFC

Nadstavbu nad popsány jazyky tvoří grafické prostředí pro sekvenční programování (SFC, GRAFCET). Dovoluje stavový popis sekvenčních úloh v symbolice přechodového grafu konečných automatů a určité třídy Petriho sítí. K popisu struktury používá značky stavů, přechodů a větvení. Chování v jednotlivých stavech nebo definování podmínek přechodů lze obvykle popsat prostředky kteréhokoliv z dříve popsanych jazyků nebo dalším vnořeným sekvenčním grafem (podgrafem). Jazyk sekvenčního programování je velmi názorný a podporuje systémový přístup k programování[13].



Obr. 16) Ukázka sekvenčního programování[15]

5 NÁVRH A REALIZACE HW ŘÍDICÍHO SYSTÉMU

Při návrhu hardware bylo nutné vyřešit 3 základní otázky, to jsou způsob řízení asynchronního motoru, způsob drátování elektronických jednotek stanice a jejich zapojení s PLC, a také si vybrat programovatelné automaty a navrhnout vhodný počet vstupů a výstupů.

5.1 Řízení asynchronního motoru

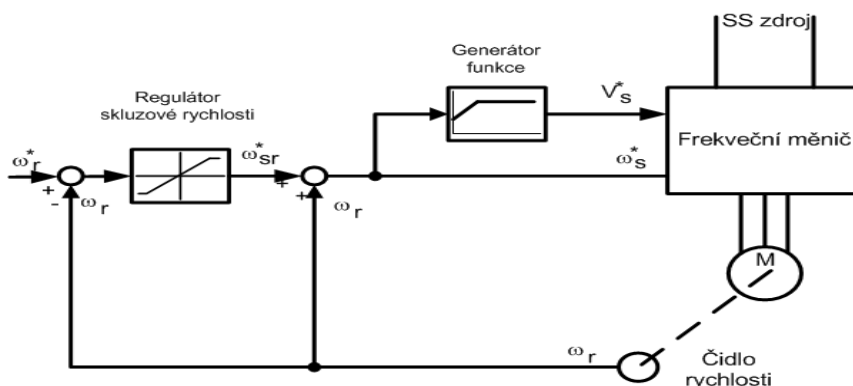
Pod řízením asynchronního motoru rozumíme řízení jeho otáček, a to nastavením otáček na hodnotu rozdílnou od jmenovité hodnoty. Otočky je možné řídit změnou frekvencí napájecího napětí, změnou počtu pólů, nebo změnou skluzu. Řízení otáček změnou frekvence napájecího napětí se používá pro pohony s náročnými požadavky na dynamiku a rozsah řízení. K tomuto účelu se využívá měnič kmitočtu (frekvence). Řízení otáček změnou počtu pólů (přepínáním počtu pólů) se používá např. u obráběcích strojů, výtahů, čerpadel apod. jedná se vždy o skokovou změnu počtu pólů[4]. Řízení otáček změnou skluzu se používá u strojů kroužkových. Jedná se o řízení otáček ztrátové a otáčky se takto řídí v rozmezí cca 30%.

Jako způsob řízení motoru pro danou úlohu byl vybrán způsob, který využívá měnič frekvence. Řízení v otevřené smyčce změnou frekvence umožňuje změnu rychlosti ve velkém rozsahu. Takovéto řízení lze použít, pracuje-li motor s přibližně konstantním momentem bez přísných nároků na přesnost rychlosti. Pokud je požadována zaručená dynamická odezva a přesnost regulace rychlosti nebo momentu je otevřená smyčka nedostačující. V takových případech je nutné řídit asynchronní motor v uzavřené regulační smyčce[17]. Jsou známé dvě základní metody řízení asynchronních motorů pomocí frekvenčního měniče.

5.1.1 Skalární řízení

Skalární řízení frekvenčních měničů vychází z rovnic pro ustálený stav asynchronního stroje. Model motoru nerespektuje elektromagnetické jevy uvnitř stroje a z tohoto důvodu neumožňuje řízení okamžité hodnoty momentu, což má za následek zhoršenou dynamiku regulace rychlosti[17].

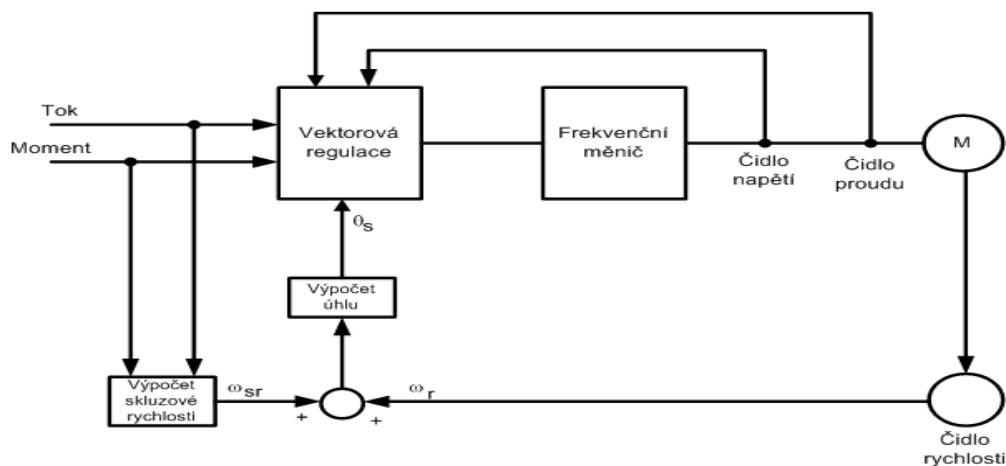
Pro dosažení maximálního možného momentu pomocí statorového proudu musí být velikost magnetického toku strojem konstantní a blízká jeho jmenovité hodnotě. K řízení na konstantní magnetický tok je nutné řídit napájecí napětí U a napájecí frekvenci f v konstantním poměru[17].



Obr. 17) Frekvenční řízení na konstantní poměr U/f [17]

5.1.2 Vektorové řízení

Vektorové řízení asynchronních motorů vychází z modelu popisujícího jak elektromagnetické, tak elektromechanické jevy ve stroji. Díky tomuto modelu lze efektivně řídit okamžité hodnoty toků a proudů ve stroji a v důsledku rovněž okamžitou hodnotu momentu stroje. Prostorové vektory veličin v modelu stroje jsou dále transformovány pomocí Clarkovy a Parkovy transformace do/z souřadného systému svázaného s prostorovým vektorem spřaženého rotorového nebo statorového magnetického toku. V řídicí struktuře se v ustáleném stavu jeví zadávané hodnoty jako stejnosměrné. Na asynchronní pohon s vektorovým řízením pak lze pohlížet jako na stejnosměrný pohon s cizím buzením, kde lze řídit nezávisle tok motorem a jeho moment[17].



Obr. 18) Blokové schéma přímého vektorového řízení[17]

5.1.3 Použitý měnič frekvence

K řízení asynchronního motoru, který pohání řetěz dopravníku, je použit frekvenční měnič od firmy Omron, model 3G3MX2-AB022-E. Rozsah výstupní frekvence je 0,1 až 400 Hz, jmenovitý výkon 4,5 kVA při napětí 240 V[18]. Měnič je dále zapojen do programovatelných automatů a řízení se provádí pomocí digitálního vstupu na určení směru chodu motoru a analogového vstupu na řízení otáček motoru. Nastavení otáček je dále realizováno posíláním signálu napětí do měniče, a to v rozsahu 0 až 10 VDC.



Obr. 19) Měnič frekvence Omron 3G3MX2-AB022-E[18]

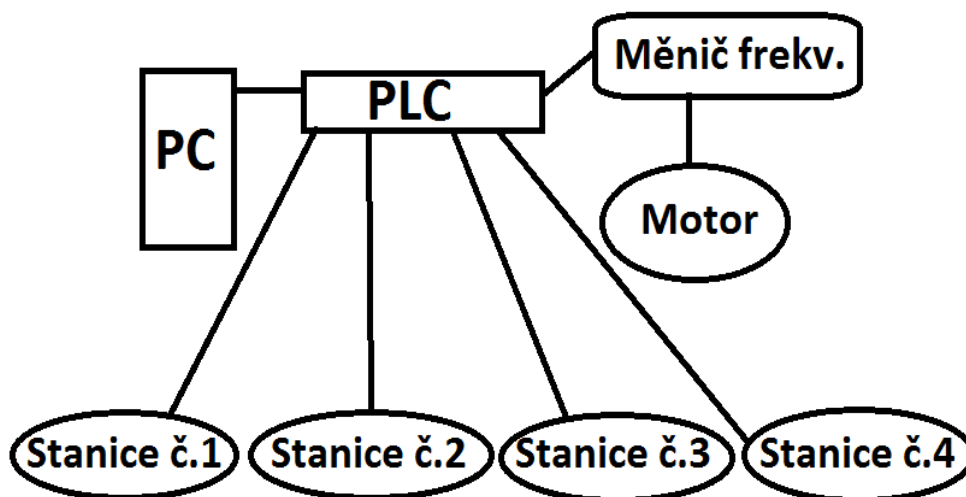
5.2 Návrh zapojování elektronických jednotek

Pro ověřování funkčnosti navrženého programu, byly přidány ke stanicím pomocná tlačítka. U stanic číslo 1 a číslo 4 byla přidána dvě tlačítka ke každé, u stanic 2 a 3 bylo přidáno po jednom tlačítku. Tyto modifikace byly udělané pro komplexnost úlohy a snadnější práci s dopravníkem. Jejich funkce je dále popsána v softwarové části.

Jak už bylo uváděno výše, hlavním cílem při zapojování elektronických jednotek stanice bylo dosáhnout kompaktního uspořádání drátu vevnitř krytu stanice a takového zapojování s PLC automaty, aby přestavitelnost dopravníku, anebo rozvaděče nebyla obtížná.

Na to byly využité konektory typu D-sub. Standardní konektory D-sub mají 9, 15, 25, 37 nebo 50 vývodů. Výhodou těchto konektorů je robustnost a dobrá dostupnost. Zapojování je provedeno tím způsobem, že celé vybavení stanice je zapojeno přes svorky do jednoho konektoru D-sub s 50 vývodů. Schéma zapojení vodiče do konektoru je v příloze 1. Všechny vodiče se nachází vevnitř krytu stanice. Konektor je připevněn k otvoru. Takovým způsobem je uděláno zapojení u každé ze 4 stanic. Dále pomocí 4 kabelů ze stejnými konektory na obou krajích je každá stanice zapojena s příslušným vstupem u hlavního rozvaděče.

Pomocí takového typu zapojování bylo dosaženo kompaktnosti a jednoduchosti zapojování. Byl také vyřešen problém přestavitelnosti. Při nutnosti přemístování dopravníku anebo rozvaděče je nutné jen odpojit kabely od stanic a štítku, po přemístování se kabely připojí zpět a dopravník je ihned funkční.



Obr. 20) Schema zapojení jednotlivých prvků

5.3 Využití programovatelné automaty

Pro realizaci automatizace jsou použity programovatelné automaty modulárního typu od firmy Beckhoff. Program pro řízení dopravníku se spustí pomocí softwarového PLC emulátoru TwinCAT 3. Počítač komunikuje s bus couplerem Beckhoff BK 1120, který řídí modulární terminály, přes EtherCAT. Z výměnných modulů stejného výrobce je využito čtyř terminálů digitálních vstupů KL1418, dvou terminálů digitálních výstupů KL2408, jediného terminálu s jističem KL9210, jednoho terminálu výstupu s relé KL2622, jednoho terminálu analogových výstupů KL4034 a koncového terminálu KL9010. Seznam terminálů a schéma zapojení je v příloze 2.



Obr. 21) Rozmístění prvků v rozváděči

6 NÁVRH SOFTWARE

Pro programování této úlohy je využit program TwinCAT 3 od firmy Beckhoff. Automatizační sada TwinCAT (The Windows Control and Automation Technology) tvoří jádro řídicího systému. Využitím programu TwinCAT můžeme téměř každý počítač předělat v systém s ovládáním v reálném čase s PLC, NC a CNC runtime systémy. Program TwinCAT je integrován v Microsoft Visual Studio, díky čemuž je možné programování v C a C++[7].

6.1 Programování v TwinCAT 3

Při vytvoření automatizačního programu se v TwinCAT 3 vytváří soubor. Každý soubor může obsahovat teoreticky nekonečný počet projektů, přičemž každý projekt musí obsahovat základní jednotky, to jsou list globálních proměnných a programová organizační jednotka (POU) MAIN.

Do listu globálních proměnných (GVL) se zadávají proměnné, které budou nadále přiřazené k reálným proměnným. Každá proměnná z GVL může mít přiřazenou pouze jednu reálnou proměnnou. Ostatní definované proměnné, které se zadávají do POU, jsou pouze pracovní.

Organizační jednotka MAIN je hlavní částí řídicího systému. Na rozdíl od jiných POU, které si vytvoří uživatel, program MAIN je možné psát jen v jazyce strukturovaného textu. POU MAIN je nadřazená nade všemi dalšími POU a určuje, které z nich budou aktivní po spuštění programu.

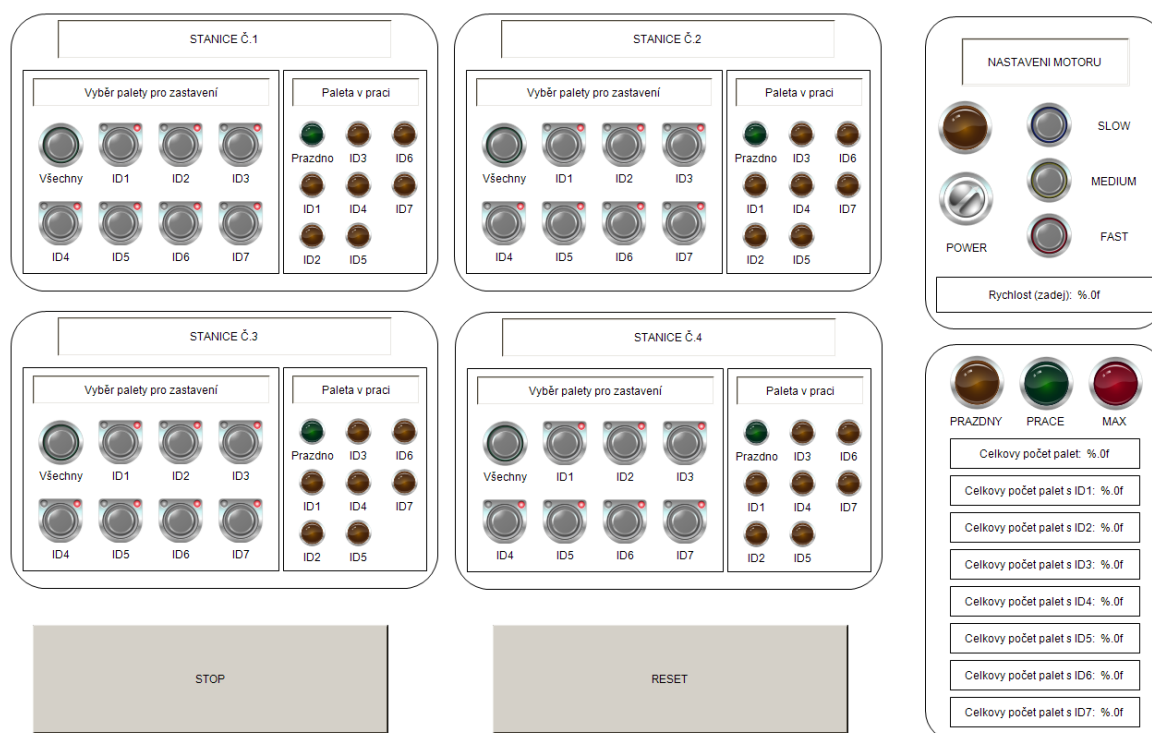
Připojená zařízení, v tomto případě modulární terminály, se skenují mimo projekty. Celá tvorba řídicího programu probíhá v konfiguračním módu. Program začíná fungovat jen po aktivaci konfigurace v run módu.

6.2 Řídicí program dopravníku

Řídicí program pro dopravník je vytvořen tím způsobem, aby co nejvíc minimalizoval účast člověka v jeho práci. Po spuštění programu musí operátor udělat počáteční nastavení, v další době provozu dopravníku je potřebná lidská činnost jen pro odebírání a dodávání palet na dopravník.

Celé počáteční nastavení se uskutečňuje pomocí vizualizací. Operátor si musí zapnout pohon a zvolit rychlost, nastavit jaké palety chce zastavit u každé stanice. Rychlost je možné nastavit dvěma způsoby. První způsob je skokový, operátor do příslušného pole zapíše požadovanou rychlost a stiskne OK. Hodnota rychlosti nemá žádnou jednotku, pouze odpovídá napětí, které posíláme do měniče frekvence, 1 V odpovídá přibližně 3500 jednotkám. Druhý způsob je pomocí tlačítek s rozdělením rychlosti do tří stupňů: slow (pomalu), medium (střední), fast (rychle).

Volba požadovaných palet u stanic se uskutečňuje v příslušných polích. Každá stanice má své pole, ve kterém si pomocí tlačítek vybereme, jaké palety chceme u této stanice zastavit. Kromě toho z těchto polí můžeme dostat i informaci o aktuálním stavu stanice, jestli je prázdná, nebo jaká paleta je teď v práci.



Obr. 22) Vizualizace

6.3 Struktura programu

Strukturu programu je možné rozdělit do 3 základních částí. První část je určena pro zapnutí i řízení pohonu. Funkce tohoto podprogramu je popsána v článku popisujícím vizualizaci.

Druhá část slouží k řízení stanic. Podprogram rozeznává 7 typů palet u každé stanici. Je to zajištěno pomocí senzorů samotných stanic. Každá paleta obsahuje 4 místa pro magnety a každá stanice obsahuje 4 senzory. Pomocí různých kombinací uspořádání magnetů je možné vytvořit 16 typů palet. Pro tento případ bylo využito jen 7 palet různých typů, proto stačily pro jejich rozeznávání 3 senzory.

Tab 1) Logické hodnoty senzorů pro různé typy palet

	Senzor ID-1	Senzor ID2	Senzor ID-3
Paleta č.1	1	0	0
Paleta č.2	0	1	0
Paleta č.3	1	1	0
Paleta č.4	0	0	1
Paleta č.5	1	0	1
Paleta č.6	0	1	1
Paleta č.7	1	1	1

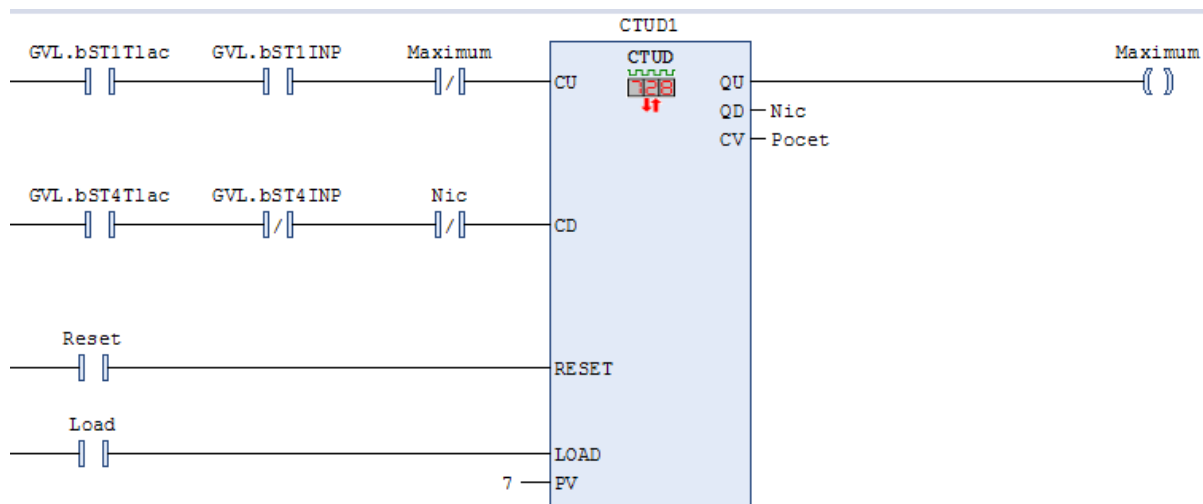
Řízení je nastaveno tak, že když paleta, která je přes vizualizaci nastavena pro zastavení, najede na příslušnou stanici, tak se zapne pracovní stav stanice. Když dochází k pracovnímu stavu, tak se zapne brzda a místo zeleného světla se rozsvítí červené. Avšak v průběhu pracovního stavu stanice nebude brzda pořád zapnuta. Jakmile operátor odebere

paletu, tak se brzda vypne a uvolní projezd pro další palety. Pokud je stanice v pracovním stavu, tak bude ignorovat každou paletu. Brzda se opět zapne, když operátor stiskne tlačítko. Pracovní stav stanice se zresetuje, když operátor vrátí paletu zpět na stanici a stiskne tlačítko podruhé. Avšak způsob řízení se liší u různých stanic. Popsané řízení se využívá u stanic číslo 2 a 3.

Stanice číslo jedna je určena pro dodávání palet na dopravník. Její způsob řízení je nejvíc rozdílný od dalších stanic. Pracovní stav se na ni zapíná dvěma způsoby: bílým tlačítkem u této stanice, nebo tlačítkem u stanice číslo 4. První způsob se využívá pro případ, když jen začínáme dodávat palety na dopravník. Je možné tento způsob využívat i nadále, ale pro snadnější ovládání je lepší využívat druhý způsob, je to dále podrobněji popsáno u funkce 4. stanice. Zresetovat pracovní stav 1. stanice je možné když na ni bude paleta vybrána ve vizualizaci.

Stanice číslo 4 se využívá pro kontrolu a odebrání palet. Pracovní stav stanice se zapíná stejným způsobem jako u stanic číslo 2 a 3. Po kontrole si operátor rozhodne, jestli je výrobek na paletě v pořádku, nebo ne. Jestli výrobek je hotový, tak je nutné odebrat paletu a stisknout zelené tlačítko. Tím se zresetuje pracovní stav stanice a zároveň se zapne pracovní stav u stanice číslo 1. Je to uděláno tímto způsobem, jelikož se na dopravníku uvolnilo místo a můžeme přidat další paletu. Jestli výrobek je nutné dodělat, nebo předělat, tak je nutné stisknout žluté tlačítko. Tím se zresetuje pracovní stav stanice a paleta pojedje dál na další operace obrábění (paleta nebyla odebrána, místo se neuvolnilo, není smysl připravovat stanice číslo 1 pro dodávání další palety).

Poslední část programu je určena pro počítání celkového počtu palet a počtu palet různých typu. Na to se využívá funkční blok CTUD. Pro zvětšení počtu zaznamenává stisknutí zeleného tlačítka u první stanice, pro zmenšení – stisknutí zeleného tlačítka u stanice číslo 4. Když se stiskne reset tak dojde k vymazání aktuálního počtu u všech stanic.



Obr. 23) Počítadlo celkového počtu palet

7 DISKUZE

Jak už bylo zmíněno na začátku, výsledkem práce není úplně automatizovaný dopravník. Dodávání a odebrání palet se uskutečňuje pouze ručně. Kromě toho musíme program říkat, jestli je operace skončena a může pustit paletu jet dál stisknutím tlačítka. Avšak v praxi to není optimální, a proto si v diskuzní části rozebereme možnosti modifikace dopravníku až do úrovně úplně automatické výrobní buňky.

Pro vyloučení ruční práce je nejvhodnější variantou využití robotu. Při umístění robotu u každé stanice se proces odebrání a dodávání palet úplně automatizuje. Avšak zbývá otázka odkud si bude robot palety brát. V podstatě jsou dvě základní možnosti.

Jednou z nich je, že paleta k robotu dojede dalším dopravníkem. Tato metoda je využitelná při nutnosti většího počtu operaci obrábění. Je možné předpokládat, že se na předchozí lince konaly operace vyrábění polotovarů, na lince popsané v této práci se konají hlavní operace obrábění, a dále jede paleta na linku určenou pro dokončovací operace. Pro daný předpoklad je nutné, aby robot u poslední stanice přemísťoval palety na další dopravník.

Druhou možností je využití zásobníku. Tato metoda vychází z předpokladu, že polotovar už je připraven k výrobě a čeká na příslušné paletě v zásobníku. Na obrázku 23 vidíte jeden z typů zásobníků pro palety. Princip jeho práce je založen na tom, že při nutnosti dodání některé z palet se zásobník pootočí tak, aby robot měl co nejsnadnější přístup k požadované paletě. Tím se zmenší dráha pohybu robotu a zvětší maximální počet palet v zásobníku.



Obr. 24) Ukázka zásobníku

U stanic, které se netýkají odebírání a dodávání palet z dopravníku, je možné nainstalovat obráběcí stroje nebo zařízení pro kontrolu kvality. Vybavení těchto stanic se v podstatě volí jen na základě požadavků zákazníků.

Nutnost tlačítek se vymezí při instalaci robotu a dalšího zařízení u stanic a jejich zapojování do řídicího programu. Místo signálu tlačítek bude program využívat signály od stroje u stanic. Jako příklad předpokládejme, že u jedné ze stanic se nachází soustruh, který je propojen s řídicím programem dopravníku a robotu. Po skončení operace dostane program o tom informaci, robot vrátí paletu na dopravník a brzda se vypne, nutnost signálu od tlačítka je vymezena.



Obr. 25) Ukázka stroje s robotem vhodného pro spojení s jednou ze stanic

8 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce byl návrh způsobu řízení řetězového dopravníku pomocí programovatelných automatů. Byly rozebrány a zhodnoceny další způsoby řízení a dále jednotlivé druhy řízení procesu se zaměřením na PLC. Následovalo rozebrání prvků dopravníku a měničů frekvence.

Dalším cílem byl návrh hardwaru a zapojování prvků dopravníku. Po označení prvků dopravníku všechny komponenty byly zapojené a došlo k nutnosti nastavit některé z nich. K elektromotoru byly přiřazené hodnoty rychlosti, aby nedocházelo k přetížení a rušení funkce dopravníku, byl nastaven vhodný tlak pro pneumatické brzdy. Výběr modulárních terminálů byl určen počtem a typem signálů od zapojených komponentů.

Software linky byl vytvořen pomocí PLC emulátoru TwinCAT 3 od firmy Beckhoff. Řídící program je určen pro automatické ovládání dopravníku, avšak s nutností počátečních nastavení. Cele nastavení se uskutečňuje pomocí vizualizací. Výsledkem je úplně funkční řídicí program dopravníku, který lze provozovat v emulátoru, a to přímo z počítače.

Navržený hardware a software dopravníku je využitelný i pro reálný proces, avšak pravděpodobně by došlo k dalším úpravám. V případě zapojování dalších strojů ke stanicím už nejsou potřebné tlačítka, je možné zvýšit rychlost. Došlo by k zvětšení počtu modulárních terminálů a tím by se muselo předělat i zapojování.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ŠMEJKAL, Ladislav a Marie MARTINÁSKOVÁ. *PLC a automatizace*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 1999. ISBN 8086056589.
- [2] Dopravník. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. b.r., Last modified 11. 1. 2017 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Dopravn%C3%ADk>
- [3] VOJÁČEK, Antonín. *Dopravníkové systémy v průmyslu* - 1. díl. In: *Hw.cz* [online]. HW server s.r.o., 2014 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/dopravnikove-systemy-v-prumyslu-1-dil.html>
- [4] HAMMER, Miloš. *Elektrotechnika a elektronika: přednášky*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 8021433345.
- [5] Magnetické senzory přiblížení. In: *Hw.cz* [online]. HW server s.r.o., 2014 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2006012901>
- [6] Řídicí systém. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. Last modified 27. 9. 2016, b.r [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%98%C3%ADdic%C3%AD_syst%C3%A9m
- [7] *BECKHOFF AUTOMATION* GmbH. Catalog [online]. 2017 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <https://download.beckhoff.com/download>
- [8] ZEŽULKA, František. *Průmyslová automatizace: (teze přednášky k profesorskému jmenovacímu řízení)*. Brno: VUTIUM, 2000. Vědecké spisy Vysokého učení technického v Brně. ISBN 8021416343.
- [9] TŮMA, Jiří, Renata WAGNEROVÁ, Radim FARANA a Lenka LANDRYOVÁ. *Základy automatizace*. 1. vyd. Ostrava: Ediční středisko VŠB – TUO, 2007, 283 s. ISBN 978-80-248-1523-7.
- [10] Catalog. In: *Siemens* [online]. © 1996-2017 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <https://www.siemens.com/cz/cz/home.html>
- [11] Vnitřní uspořádání *PLC* [online]. 2015 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/968>
- [12] EtherCAT zůstává nejrychlejší *průmyslovou ethernetovou sítě*. In: *Automa: časopis pro automatizační techniku* [online]. Ústí nad Labem, 2008 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: http://automa.cz/cz/casopis-clanky/ethercat-zustava-nejrychlejsi-prumyslovou-ethernetovou-sbernici-2008_07_37529_5672/
- [13] Catalog. In: *EtherCAT Technology Group* [online]. Nuremberg, 2016 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <https://www.ethercat.org/en/downloads.html>

- [14] Extrémně krátká doba cyklu sběrnice díky zpracování „on-the-fly“. In: *Automa: časopis pro automatizační techniku* [online]. Ústí nad Labem, 2008 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: http://automa.cz/cz/casopis-clanky/extremne-kratka-doba-cyklu-sbernice-diky-zpracovani-on-the-fly-2008_02_36692_5126/
- [15] Automatizace 1 [online]. *Vyšší odborná škola*, Chomutov, b.r. [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://web.spscv.cz/~madaj/skra3.pdf>
- [16] KOVÁŘ, Josef, Zuzana PROKOPOVÁ a Ladislav ŠMEJKAL. Programování PLC [online]. b.r. [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: http://www.spszl.cz/soubory/plc/programovani_plc.pdf
- [17] ŠVARC, Ivan. *Základy Automatizace*. Brno, 2002. Dostupné také z: <https://akela.mendelu.cz/~xmateasa/TKY/ZakladyAutomatizace.pdf>.
- [18] Programovací jazyky. In: *ELUC [online]*. Olomouc: kr-olomoucky.cz, 2015 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/976>
- [19] CHYTIL, Jiří. *Skládání funkcí*. In: *Programujte.com* [online]. Praha, 2006 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://programujte.com/clanek/2006021704-ze-sesitu-cislicove-techniky-br-0000-0110-dil-skladani-funkci/>
- [20] GAJDŮŠEK, Pavel. *Přehled metod řízení asynchronních motorů*. *Elektrorevue* [online]. 2005 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/05020/index.html>
- [21] OMRON. *Specifikace a informace pro objednání* [online]. Omron Corporation, 2017 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: https://industrial.omron.cz/cs/products/mx2#specifications_ordering_info

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

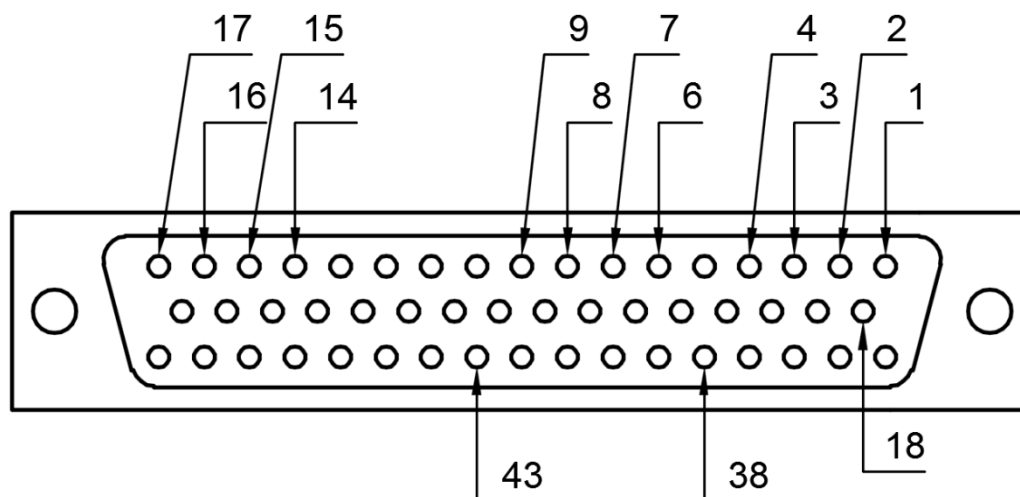
Obr. 1)	Základní a nejvyužívanější typy dopravníků[3].....	18
Obr. 2)	Schema dopravníku	19
Obr. 3)	Princip Reedůvá senzoru[5]	20
Obr. 4)	Spínání jazýčkového relé	20
Obr. 5)	Ukázka stanice	21
Obr. 6)	Ukázka řídicích systémů od firmy Beckhoff[7].....	23
Obr. 7)	Ukázka kompaktního a modulárního typu PLC od firmy Siemens[10]	24
Obr. 8)	Vnitřní struktura PLC[9]	24
Obr. 9)	EtherCAT - Fieldbus[13]	25
Obr. 10)	Propojení PLC sběrnicí EtherCAT[13].....	26
Obr. 11)	Cyklická práce PLC[11]	27
Obr. 12)	Zápis programu v jazyce mnemokódů[15]	28
Obr. 13)	Zápis programu ve strukturovaném textu[15].....	28
Obr. 14)	Zápis programu v jazyce kontaktních schémat	28
Obr. 15)	Zápis programu v jazyce logických schémat[16]	29
Obr. 16)	Ukázka sekvenčního programování[15]	29
Obr. 17)	Frekvenční řízení na konstatní poměr U/f[17].....	31
Obr. 18)	Blokové schéma přímého vektorového řízení[17]	32
Obr. 19)	Měnič frekvence Omron 3G3MX2-AB022-E[18].....	32
Obr. 20)	Schema zapojení jednotlivých prvků	33
Obr. 21)	Rozmístění prvků v rozváděči	34
Obr. 22)	Vizualizace.....	36
Obr. 23)	Počítadlo celkového počtu palet	37
Obr. 24)	Ukázka zásobníku	39
Obr. 25)	Ukázka stroje s robotem vhodného pro spojení s jednou ze stanic.....	40

11 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Schéma zapojení vodiče do konektoru

Příloha 2: Seznam terminálů a schéma zapojení
CD

PŘÍLOHA 1 - SCHÉMA ZAPOJENÍ VODIČE DO KONEKTORU



- 1 a 2 – GND
- 3 – senzor IN PLACE
- 4 – senzor ARRIVING
- 6 – senzor ID1
- 7 – senzor ID2
- 8 – senzor ID3
- 9 – senzor ID4
- 14 – tlačítko číslo 1 (jediná pro 2 a3 stanici)
- 15 – zapnutí brzdy
- 16 a 17 - +24 V DC
- 18 – tlačítko číslo 2 (jen pro 1 a 4 stanici)
- 38 – zelené světlo
- 43 – červené světlo

PŘÍLOHA 2 – SEZNAM TERMINÁLŮ A SCHÉMA ZAPOJENÍ

Seznam použitých modulů [7]

BK1120 - bus coupler Beckhoff

2 x KL2408 - 8-kanálový terminál digitálních výstupů 24 V DC

4 x KL1418 - 8-kanálový terminál digitálních vstupů 24 V DC

KL9210 – napájecí terminál 24 V DC s pojistkou

KL2622 – 2-kanálový terminal digitálních výstupů s relé 230 V AC

KL4034 – 4-kanálový terminal analogových výstupů -10...+10 V

KL9010 – koncový terminál

Seznam zapojených kontaktů

stanice 1 IN PLACE ÷ stanice 4 IN PLACE

stanice 1 ARRIWING ÷ stanice 4 ARRIWING

stanice 1 ID1 až ID4 ÷ stanice 4 ID1 až ID4

brzda u stanice 1 ÷ brzda u stanice 4

zelené světlo u stanice 1 ÷ zelené světlo u stanice 4

červené světlo u stanice 1 ÷ červené světlo u stanice 4

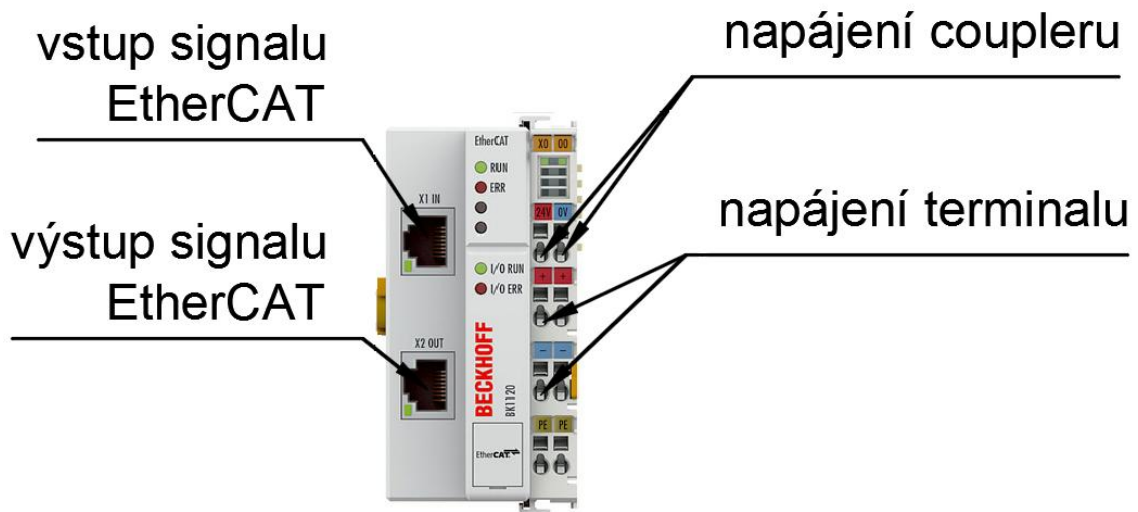
tlačítko číslo 1 u stanice 1 ÷ tlačítko číslo 1 u stanice 4

tlačítko číslo 2 u stanice 1 a stanice 4

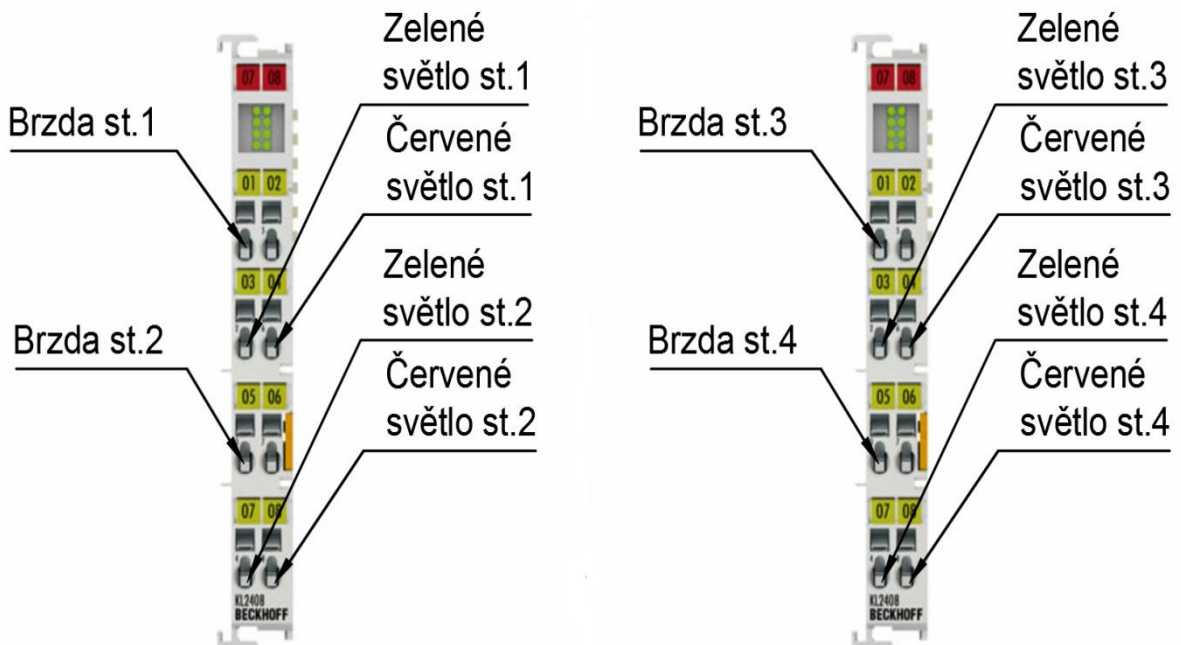
frekvenční měnič - směr dopředu

frekvenční měnič – regulace otáček

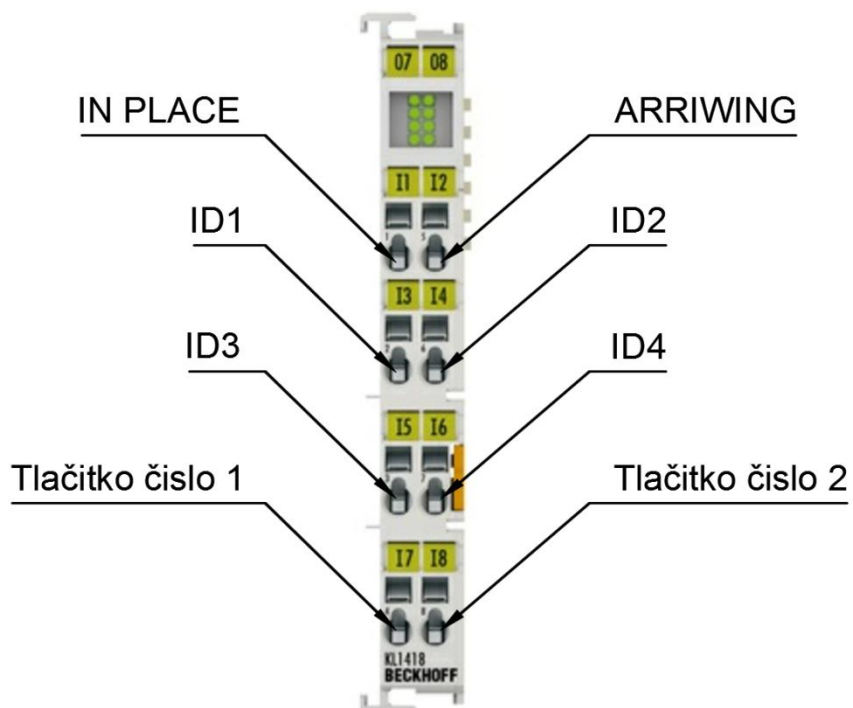
BK1120 - bus coupler Beckhoff



KL2408 - 8-kanálový terminál digitálních výstupů 24 V DC

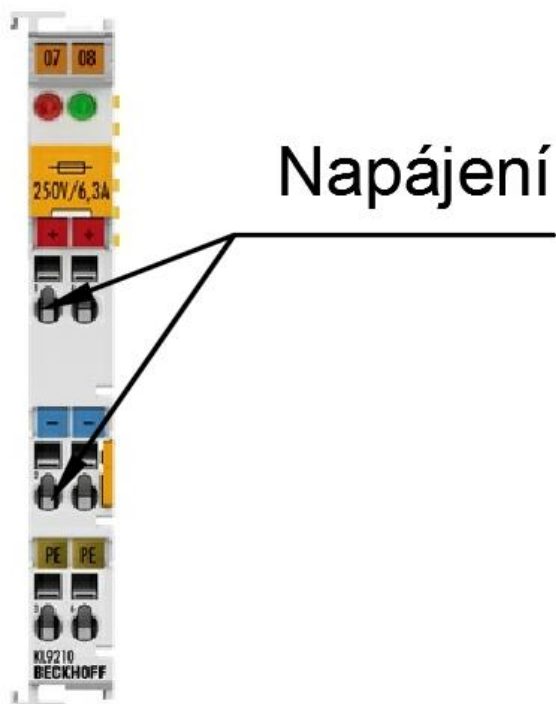


KL1418 - 8-kanálový terminál digitálních vstupů 24 V DC

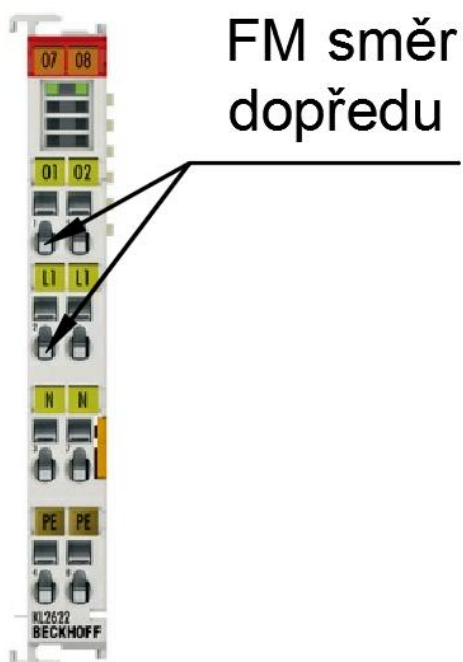


**platí pro každou stanici*

KL9210 – napájecí terminál 24 V DC s pojistkou



KL2622 – 2-kanálový terminal digitálních výstupů s relé 230 V AC



KL4034 – 4-kanálový terminal analogových výstupů -10...+10 V

