VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

ŘÍZENÍ DOPRAVNÍKOVÝCH SYSTÉMŮ POMOCÍ PLC OD SPOLEČNOSTI B&R AUTOMATION

CONTROL OF CONVEYOR SYSTEMS USING PLC BY B&R AUTOMATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE Martin Bělín
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. et Ing. Stanislav Lang, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2025

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav automatizace a informatiky
Student:	**Martin Bělín**
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Aplikovaná informatika a řízení
Vedoucí práce:	**Ing. et Ing. Stanislav Lang, Ph.D.**
Akademický rok:	2024/25

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:

Řízení dopravníkových systémů pomocí PLC od společnosti B&R Automation

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Dopravníkové systémy patří mezi klíčové prvky moderní průmyslové automatizace. Umožňují efektivní přesun materiálů a výrobků, čímž zvyšují celkovou produktivitu výroby. Tato práce se soustředí na využití průmyslových řídicích systémů společnosti B&R Automation v kontextu dopravníkových systémů. V praktické části práce student naprogramuje řízení jednoduchého (modelového) dopravníkového systému určeného pro převoz sypkých hmot. Inspirace reálnou výrobní nebo dopravní linkou je vítána a považována za přínos (fyzická realizace modelu není požadována).

Cíle bakalářské práce:

1) Nastudujte řídicí prostředky od společnosti B&R Automation.
2) Navrhněte modelový dopravníkový systém včetně specifikace požadavků a funkcí (inspirace reálným systémem je vítána).
3) Pro navržený dopravníkový systém naprogramujte řídicí program pro PLC pomocí softwarových nástrojů B&R Automation.
4) Stručně zhodnoťte dosažení výsledky.

Seznam doporučené literatury:

[1] ZEZULKA, František, Zdeněk BRADÁČ, Petr FIEDLER, Pavel KUČERA a Radek ŠTOHL. Programovatelné automaty. Brno: VUT FEKT, 2003.

[2] B&R Industrial Automation. Automation Help. Eggelsberg, Austria: B&R Industrial Automation, 2024.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2024/25

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Zdeněk Hadaš, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zaměřuje na návrh, vytvoření a simulační ověření řídicího systému pro distribuci formovacích směsí s využitím PLC od společnosti B&R Automation. Systém, inspirovaný reálným provozem ve slévárně UNEX, si klade za cíl nahradit zastaralé řídicí prvky, minimalizovat ztráty materiálu a zvýšit celkovou efektivitu a spolehlivost procesu. Řídicí program byl vyvinut v jazyce strukturovaný text a zahrnuje různé provozní režimy a uživatelské rozhraní pro vizualizaci a ovládání. Práce také hodnotí potenciální ekonomickou návratnost navrženého řešení a naznačuje možnosti budoucího rozšíření.

ABSTRACT

This bachelor thesis focuses on the design, development, and simulation testing of a control system for the distribution of molding sands, utilizing a PLC from B&R Automation. Inspired by a real-world system at the UNEX foundry, the primary objective was to replace outdated control components, minimize material losses, and enhance overall process efficiency and reliability. The control program, developed in Structured Text, incorporates various operational modes and a Human-Machine Interface (HMI) for process visualization and operator control. The work also includes an estimation of the economic return on investment for the proposed system and outlines potential avenues for future development.

KLÍČOVÁ SLOVA

Dopravníky, pásový dopravník, PLC, automatizace distribuce formovacích směsí, řízení, snížení ztrát

KEYWORDS

Conveyors, belt conveyor, PLC, automation of molding mixture distribution, device management, loss reduction

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

2025

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BĚLÍN, Martin. *Řízení dopravníkových systémů pomocí PLC od společnosti B&R Automation*. Online, bakalářská práce. Stanislav LANG (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2025. Dostupné z: https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/165767.

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat Ing. et Ing. Stanislavu Langovi, Ph.D. za vedení, odborný dohled a cenné připomínky, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce a zároveň za poskytnutí volnosti při zpracovávání. Mé poděkování patří rovněž Ing. Viktoru Masarovi za poskytnutí konzultace při realizaci praktické části práce. Velké díky patří mé rodině a přítelkyni za jejich pomoc při jazykové korektuře práce a jejich neustálou podporu.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, vypracoval jsem ji samostatně pod vedením vedoucího práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury.

Jako autor uvedené práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následku porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestně právních důsledků.

V Brně dne 20. 5. 2025 ……

Student Učený

OBSAH

1 ÚVOD 10
2 DOPRAVNÍKOVÉ SYSTÉMY 11
2.1 Pásové dopravníky 12
2.2 Šnekové dopravníky 13
2.3 Válečkové dopravníky 14
2.4 Redlery 15
2.5 Korečkové elevátory 16
2.6 Speciální dopravníky B&R 17
2.6.1 ACOPOStrak 17
2.6.2 SuperTrak 18
2.6.3 ACOPOS 6D 18
3 PLC 20
3.1 Programovací jazyky programovatelných automatů 20
3.1.1 Seznam instrukcí (IL) 21
3.1.2 Strukturovaný text (ST) 21
3.1.3 Příčkový diagram (LD) 22
3.1.4 Funkční blokové schéma (FBD) 23
3.1.5 Sekvenční funkční schéma (SFC) 23
3.2 Hardware PLC 24
3.3 Výrobci PLC 25
3.3.1 Siemens 25
3.3.2 Rockwell Automation 26
3.3.3 Schneider Electric 27
3.3.4 Mitsubishi Electric 27
3.3.5 B&R 28
4 VOLBA REÁLNÉHO SYSTÉMU 29
4.1 Popis volby řešeného dopravníkového systému 31
4.2 Vysvětlení technologie 32
4.3 Zhodnocení současného stavu a implementace vylepšení 34
4.3.1 Nové řízení technologie 34
Ovládání pásů 35
4.3.2 Výběr nových sond 35
4.3.3 Displej pro vizualizaci 37
5 POPIS PLC PROGRAMU PRO PLNĚNÍ 38
5.1 Hlavní program 39
5.2 Popis cyklu plnění 41
5.3 CentralSTOP 43

5.4 Vizualizace řízené soustavy ... 45
6 ODHAD NÁKLADŮ A UŠETŘENÝCH ZTRÁT ... 47
6.1 Odhad nákladů pro implementaci vylepšení ... 47
6.2 Odhad ušetřených ztrát ... 48
6.3 Zhodnocení výsledků ... 49
7 ZÁVĚR ... 50
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY ... 51
SEZNAM OBRÁZKŮ ... 53
SEZNAM TABULEK ... 54
SEZNAM ELEKTRONICKÝCH PŘÍLOH ... 55

1 ÚVOD

Automatizace průmyslových procesů je v současnosti klíčovým faktorem při zvyšování efektivity, bezpečnosti a ekonomičnosti výrobních systémů. V mnoha průmyslových odvětvích, včetně slévárenství, představuje řízení dopravníkových systémů významný potenciál pro optimalizaci výrobního procesu a snížení výrobních nákladů. Tato práce se zabývá návrhem a realizací řídícího programu pro distribuci formovacích směsí na strojní formovně ve společnosti UNEX, Slévárna s.r.o. v Uničově.

Cílem práce je vytvořit funkční řídicí program implementovaný v programovatelném automatu (PLC) společnosti B&R Automation, který nahradí zastaralý systém příkazových elektronických karet. Program je navržen s důrazem na minimalizaci nebo úplnou eliminaci ztrát formovacích směsí. Dále se snaží co nejvíce přiblížit reálné aplikaci řídícího programu.

Teoretická část práce uvádí základní poznatky o dopravníkových systémech a jejich typech se zaměřením na pásové dopravníky. Dále přibližuje problematiku programovatelných automatů, jejich hardware a programovací jazyky. V praktické části je popsán výběr vhodného PLC systému a senzoriky, která bude optimálně řídit celou dopravníkovou soustavu. Následuje popis tvorby programu v prostředí Automation Studio, hlavního řídícího programu a vybraného cyklu plnění. Práce rovněž obsahuje ekonomické zhodnocení navrženého řešení s výpočtem ušetřených nákladů.

Navržené řešení představuje významný krok směrem k modernizaci stávajícího provozu, zvýšení spolehlivosti a dlouhodobé udržitelnosti výrobního procesu, což je pro průmyslovou praxi sléváren klíčové.

2 DOPRAVNÍKOVÉ SYSTÉMY

Dopravníky jsou technologická zařízení určená k přesunu materiálů v průmyslových a logistických procesech. Díky své univerzálnosti a efektivitě se staly nedílnou součástí moderního průmyslu. Umožňují ekonomický a plynulý transport široké škály materiálů. Od sypkých látek, jako je písek či obilí, až po kusové zboží a těžké předměty. Jejich využití významně snižuje pracovní nároky, zvyšuje produktivitu a přispívá k automatizaci výrobních procesů.

Hlavní funkcí dopravníků je zajistit kontinuální a bezpečný přesun materiálu na krátké nebo dlouhé vzdálenosti. Moderní dopravníky jsou navrženy tak, aby odolávaly vysokým zatížením, minimalizovaly své opotřebení a splňovaly požadavky na rychlost, spolehlivost a životnost. Kromě základní přepravní funkce mohou být dopravníky vybaveny dalšími technologiemi, které umožňují například třídění, dávkování nebo úpravu přepravovaných látek [1,2,3].

Dopravníky dělíme [1,4,5]:

a) podle přítomnosti tažného prvku
   1) s tažným prvkem,
   2) bez tažného prvku,
b) podle konstrukčního provedení
   1) pásové,
   2) šnekové,
   3) válečkové,
   4) redlery,
   5) korečkové,
   6) článkové,
   7) hřeblové,
   8) řetězové,
   9) závěsné,
c) podle způsobu použití
   1) stacionární,
   2) mobilní.

V následující pasáži budou zmíněny vybrané typy dopravníků, kterou jsou ve světě nejčastěji používány.

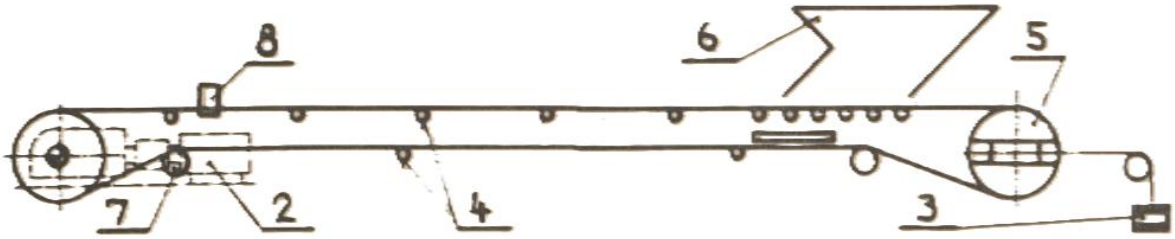
2.1 Pásové dopravníky

Pásové dopravníky patří k nejrozšířenějším způsobům dopravy sypkých materiálů. Jsou určené ke kontinuální dopravě sypkých látek a kusového zboží. Směr dopravy je převážně vodorovný, popřípadě mírně šikmý.

Vyznačují se vysokými dopravními rychlostmi a tím i vysokým dopravním výkonem (až 20 000 t/hod). Dopravní pás musí splňovat řadu náročných požadavků. Například musí mít vysokou odolnost proti opotřebení otěrem, dlouhou životnost, odolnost proti teplotě a působení chemických látek. Pás může být navíc upraven podle specifických potřeb podniku, aby bylo zajištěno správné přesouvání materiálu [1,4].

Rozdělení pásových dopravníku dle [1,4]:

1) podle tažného elementu dopravního pásu
   a) dopravníky s gumovým pásem nebo pásem z PVC,
   b) dopravníky s ocelovým pásem,
   c) dopravníky s ocelogumovým pásem,
   d) dopravníky s pásem z drátěného pletiva,
2) podle tvaru dopravníku
   a) dopravníky vodorovné,
   b) dopravníky šikmé,
   c) dopravníky konvexní,
   d) dopravníky konkávní,
   e) dopravníky kombinované,
3) podle provedení nosné konstrukce
   a) dopravníky stabilní,
   b) dopravníky pojistné a přenosné,
   c) dopravníky přestavitelné



Obr. 1: Schéma pásového dopravníku [1]

Na obrázku (obr. 1) je zobrazeno schéma typického pásového dopravníku. 1 je dopravní pás, 2 je hnací stanice, 3 je napínací závaží, 4 jsou nosné válečky, 5 je vratná stanice, 6 je násypka, 7 je čistič pásu a 8 je strážní váleček.

2.2 Šnekové dopravníky

Šnekový dopravník patří k nejstarším dopravníkům, které se využívaly jíž v antickém Řecku jako čerpadla vody. Tento dopravník byl potom zdokonalen za průmyslové revoluce, kde se stal klíčovým nástrojem pro manipulaci s materiály.

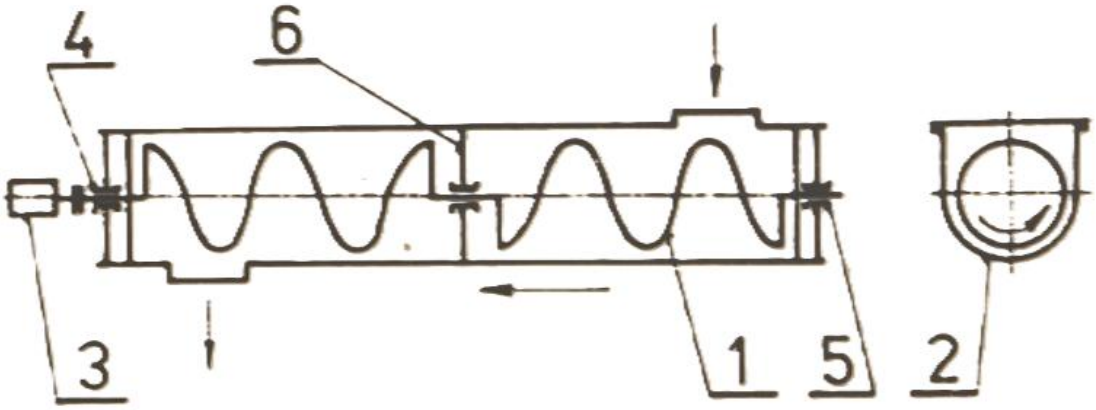
Šnekové dopravníky se používají k dopravě sypkých materiálů ve vodorovném nebo mírně skloněném směru. Materiál je posouván rotujícím šnekem podobně jako u pohybového šroubu, kde plní funkci pevné, posuvné matice. Dopravníky mohou být jak vodotěsné, tak vzduchotěsné. Jsou tudíž vhodné pro přepravu prašných, jedovatých i výbušných materiálů [1].

Dělení šnekových dopravníků [2]:

1) podle směru dopravy
   a) vodorovné,
   b) šikmé,
   c) svislé,
2) podle směru otáček šneku
   a) pravotočivé,
   b) levotočivé,
3) podle počtu šneků
   a) jednošnekové,
   b) dvoušnekové.

Celý stroj je umístěn v uzavřeném plechovém žlabu. Konstrukce těchto dopravníků je jednoduchá. Skládají se ze tří hlavních částí: dopravního žlabu, šneku a poháněcí jednotky, kterou nejčastěji tvoří elektromotor.

Pohonná jednotka vytváří potřebnou sílu k přesunu materiálu. Pro pohyb je důležité, aby tření materiálu o stěny žlabu bylo větší než tření o šnek samotný. To připívá i k vzájemnému promíchání částic materiálu [1,2].



Obr. 2: Schéma šnekového dopravníku [1]

Na obrázku (obr. 2) vidíme základní schéma šnekového dopravníku. 1 je spirála, 2 je žlab, 3 je pohon, 4 je ložisko pohonu a 5 je koncové ložisko.

2.3 Válečkové dopravníky

Válečkové dopravníky slouží k dopravě a manipulaci s kusovými předměty. Hlavní konstrukční prvek tvoří válečky, které jsou otočně uloženy v rámu a sestavují sekce, anebo celé tratě. Tyto sekce mohou být přímé nebo obloukové pro přizpůsobení dopravníku konkrétnímu provozu.

Válečkové dopravníky dělíme [1,4]:

1) podle způsobu pohonu
   a) nepoháněné (gravitační),
   b) poháněné,
2) podle konstrukčního upořádání
   a) přímé,
   b) lomené,
   c) uspořádání válečků do tvaru V.

Základem pohonu jsou válečky nebo v některých případech kladičky. Tvar, nosnost a materiál válečku se volí podle typu přepravovaného předmětu, aby byla zajištěna jeho bezpečná a efektivní přeprava.

Dopravní tratě mohou být gravitační, kdy pohyb předmětů zajišťuje tíhová síla nebo ruční posun po nepoháněných válečcích, nebo jsou poháněny elektromotorem [1].

Na obrázku (obr. 3) jsou válečkové tratě s gravitačním nebo ručním posunem.

Obr. 3: Nepoháněný válečkový dopravník [6]

2.4 Redlery

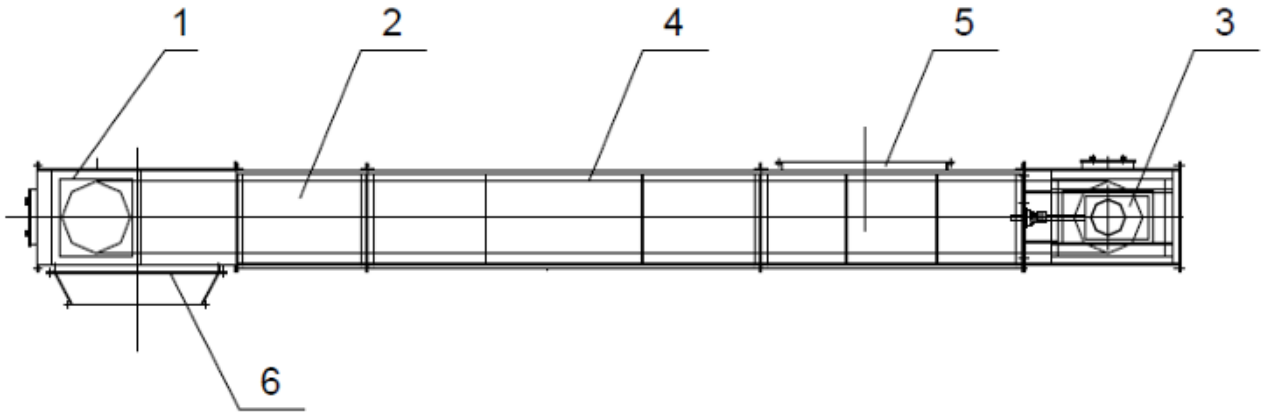
Redlery jsou určené pro vodorovnou, mírně skloněnou nebo svislou dopravu sypkých a nelepivých látek. Materiál je přepravován pomocí řetězů s unašeči, které však způsobují velké opotřebení stroje. Konstrukce redleru zahrnuje uzavřený žlab, což výrazně snižuje prašnost během provozu.

Rozdělení redlerů dle literatury [4]:

1) podle směru dopravy materiálu
   a) jednosměrné,
   b) dvousměrné,
2) podle konstrukčního provedení
   a) přímé,
   b) lomené,
   c) okružní,
3) podle umístění hrnutí materiálu
   a) redlery se spodním hrnutím,
   b) redlery s horním hrnutím.

Jednou z výhod tohoto dopravníku je možnost přizpůsobení konstrukce tak, aby umožňovala přívod a odvod materiálu na libovolném místě. Tím je zajištěna vysoká flexibilita při používání redlerů v různých provozech [1].

Na obrázku (obr. 4) je schéma vodorovného redleru. 1 je hnací stanice s pohonem, 2 je dopravní žlab, 3 je napínací stanice, 4 je řetěz s unašeči, 5 je násypka a 6 je výsypka.



Obr. 4: Schéma redleru [7]

2.5 Korečkové elevátory

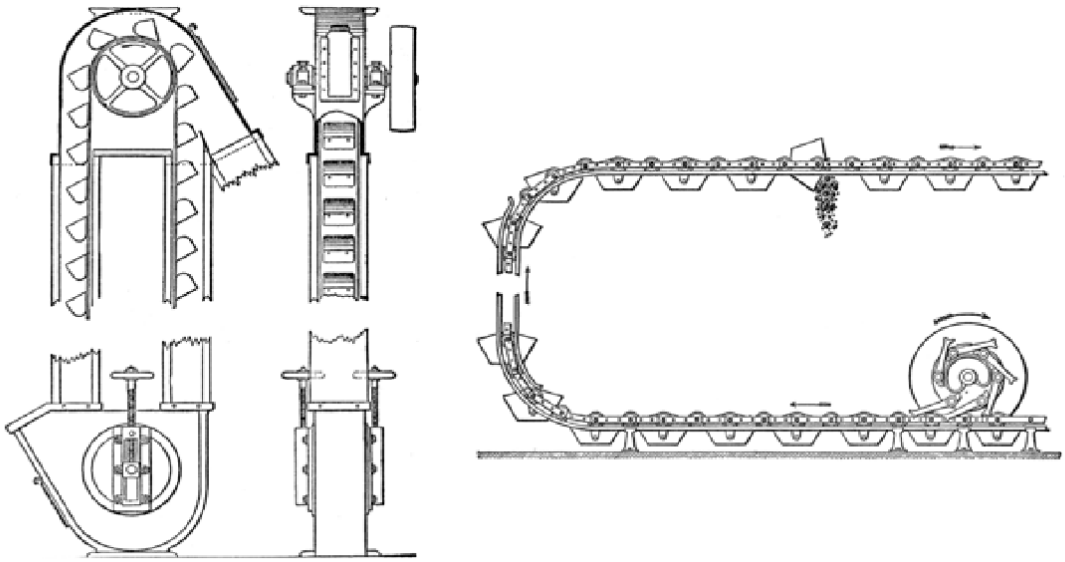
Korečkové elevátory jsou dopravní zařízení určená k přepravě sypkých látek ve svislém či strmém směru. Umožňují dopravu materiálu do výšky, která je omezená pevností jejich tažného orgánu. Běžně se užívají pro malá a střední dopravní množství (do 160 m3/hod) a dopravní výšky do 40 m. Využití nacházejí například v povrchových dolech jakožto korečková rypadla.

Při použití dopravního pásu jako tažného orgánu lze dosáhnout vyšších rychlostí, většího dopravního výkonu a dopravních výšek. Materiál je přepravován v korečcích, což jsou kovové nebo i nekovové nádoby pevně připevněné k tažnému orgánu. Tažným orgánem mohou být buď řetězy, nebo pryžové pásy. Kompletní ústrojí elevátoru je umístěno v prachotěsné šachtě, což zajišťuje ochranu před únikem prachu do okolí.

Dělení korečkových elevátorů:

1) podle způsobu vyprazdňování korečků
   a) gravitační vyprazdňování,
   b) odstředivé vyprazdňování,
   c) smíšené vyprazdňování,
2) podle konstrukčního provedení
   a) s nekonečným pásem,
   b) s řetězovým tažným elementem,
3) podle uspořádání korečků
   a) s řetězem s jedním párem korečků,
   b) s řetězem se dvěma páry korečků.

Pohon elevátoru se nachází v horní části zařízení, zatímco napínací ústrojí je umístěno dole, jak můžeme vidět na obrázku (obr. 5) vlevo. Tento způsob konstrukce zajišťuje spolehlivý provoz a efektivní využití zařízení [1,4].



Obr. 5: Druhy korečkových elevátorů [8]

2.6 Speciální dopravníky B&R

„*Inovativní mechatronické systémy firmy B&R umožňují ekonomickou výrobu malých sérií a individualizovaných produktů. Výsledkem je vysoká produktivita. Jsou navrženy pro vysokou dostupnost i v náročných podmínkách.*

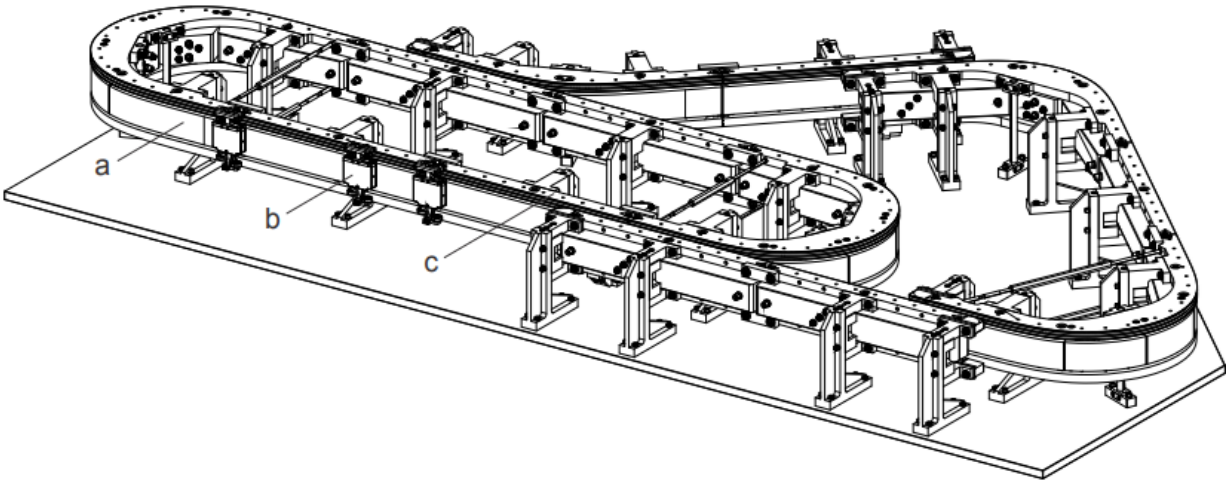
Eliminace bufferových zón[1] *výrazně snižuje celkovou vzdálenost pohybu ve srovnání s konvenčními pásovými dopravníky. Dostupná plocha je využita efektivněji. Všechny dráhové technologie jsou upravitelné do každých podmínek. Jednotlivé segmenty lze kombinovat a uspořádat podle potřeby [9].*“

2.6.1 ACOPOStrak

ACOPOStrak je multifunkční, flexibilní transportní systém založený na technologii lineárního motoru s dlouhým statorem. Volně pohybující se prvky (šatle) jsou řízeny pomocí dopředné síly a normálové síly na segmentech. Segmenty jsou instalovány ve vodičovém systému a tvoří otevřené nebo uzavřené dráhy. Tyto dráhy jsou založené na mřížkovém systému, který umožňuje rozmístění šatlí podle potřeb firmy.

Individuální řízení normálové síly každé šatle umožňuje implementovat větve neboli rozbočovače čistě elektricky. Každá šatle se dá vyměnit za provozu, aniž by došlo k zastavení celé dráhy dopravníkové dráhy. Toto zařízení je jednoduše programovatelné a dá se implementovat i s jinými dopravníky [10].

Na obrázku (obr. 6) vidíme jednu z možností konstrukčního řešení dráhy ACOPOStrak.



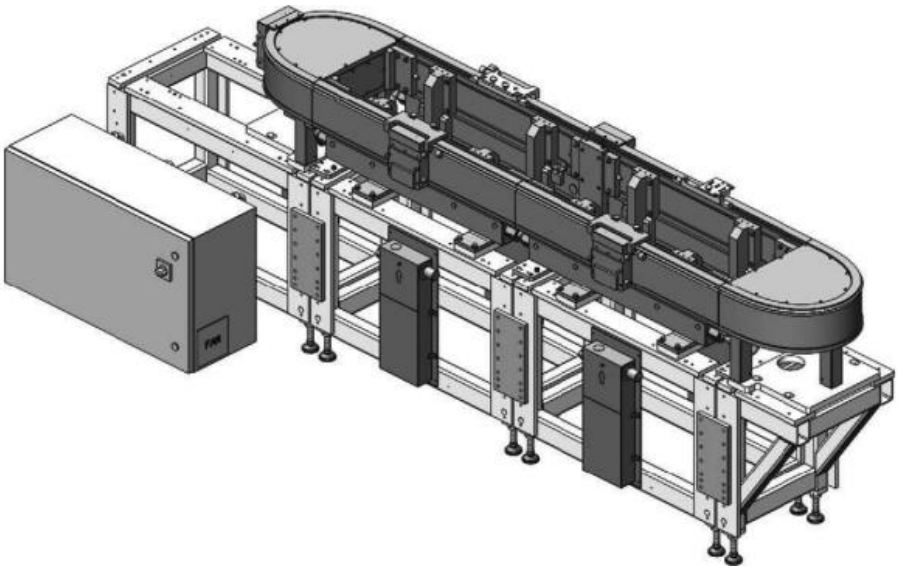
Obr. 6: Schéma ACOPOStrak [10]

[1] Jedná se o odstranění nebo minimalizaci míst, kde se materiály nebo produkty dočasně ukládají mezi různými výrobními procesy. Umožňují plynulý tok materiálu a kompenzují časové rozdíly mezi operacemi.

2.6.2 SuperTrak

SuperTrak je flexibilní transportní systém, který využívá magnetickou technologii k řízení individuálně ovladatelných šatlí podél dráhy pomocí lineárních motorů s dlouhým statorem. Systém díky nezávislému řízení šatlí minimalizuje riziko pohybu přepravovaných předmětů na šatlích a vysokou přesnost polohy.

Je navržen pro přepravu těžkých nákladů. Zajišťuje synchronizaci mezi šatlemi a dalším zařízeními, jako jsou roboty nebo CNC stroje. Systém je škálovatelný v krocích po jednom metru a lze jej přizpůsobit specifickým požadavkům výrobní linky, jak můžeme vidět na obrázku (obr. 7) [11].



Obr. 7: Dráha zařízení SuperTrak [11]

2.6.3 ACOPOS 6D

ACOPOS 6D je založen na principu magnetické levitace. Jezdci s integrovanými permanentními magnety se vznášejí nad povrchem elektromagnetických segmentů motoru. Tyto motory o velikosti 240 mm^2 lze libovolně uspořádat do jakéhokoli tvaru. Jezdci se mohou volně pohybovat ve dvourozměrném prostoru, otáčet se a naklánět kolem tří os. Umožňují přesnou kontrolu nad výškou levitace.

Při používání stroje dochází k nulovému opotřebení způsobeném levitací bez jakéhokoli kontaktu nebo tření. Systém je integrován a to umožňuje synchronizaci jezdců s přesnými osami, roboty a strojového vidění. Každý jezdec má svoje jedinečné ID. Při spuštění stroje řídící jednotka okamžitě zná polohu všech jezdců [12].

Obrázek (obr. 8) znázorňuje řešení ACOPOS 6D s jedním robotickým ramenem.

Obr. 8: Modifikace ACOPOS 6D [12]

3 PLC

Trendem posledních let je viditelná snaha o neustálé zvyšování produktivity práce, snižování potřebného času pro výkon práce a minimalizování nákladů. K dosažení tohoto cíle je využívána především automatizace. Ta umožňuje člověka oprostit od fyzické, namáhavé a opakující se činnosti. Činnost lidí nahrazují počítače, automaty a stroje ovládané umělou inteligencí. K automatizaci dochází především tam, kde pracovní síla chybí, jako například v lehkém i těžkém průmyslu a automotiv.

Programovatelné automaty (Programmable Logic Controlers PLC) jsou považovány za nejvýznamnější řídící prostředek umožňující zavádění automatice. Pomocí PLC jsou řízeny výrobní procesy, linky, stroje i roboti. Tato zařízení nahrazují starší centralizované řídící systémy, které byly ovládány řídícími počítači a minipočítači. Mezi výhody modernějších PLC patří vysoká spolehlivost, nízké náklady, rychlé uvedení do provozu a snazší programování. Při proměnlivých pracovních podmínkách může být dosaženo optimalizace a synchronizace procesů.

Při vzniku PLC bylo požadováno zavedení jednoduchého programovacího jazyka, který by se podobal systémům, jež PLC nahrazovala. Z tohoto důvodu byly programovací jazyky dané normou navrženy tak, aby odpovídaly jazyku logických schémat, booleovským rovnicím, reléovým schématům a assembleru. Díky programovatelnosti jsou PLC schopna logiku řízení realizovat programem a nikoli pevným zapojením. Pokud dojde ke změně logické struktury, úprava řídícího programu je provedena snadněji. V minulosti by bylo nutné přepojit reléový nebo logický obvod [13,14].

3.1 Programovací jazyky programovatelných automatů

Programovací jazyky jsou normovány. Každý programovací jazyk je navržen tak, aby nebylo možné jeho propojení s jiným programovacím jazykem. Rozdíly lze nalézt v adresaci vstupů a výstupů, instrukčních sadách nebo organizaci paměti. Programovací jazyky jsou rozděleny na grafické (LD, FBD, SFC) nebo algebraické (IL, ST) [13].
Norma ČSN EN 61131-3 tyto jazyky dělí na [15]:

1) seznam instrukcí (IL),
2) strukturovaný text (ST),
3) příčkový diagram (LD),
4) funkční blokové schéma (FBD),
5) sekvenční funkční schéma (SFC).

Od prvních modelů PLC probíhá neustálé zdokonalování hardwaru programovatelných automatů. V důsledku toho jsou stále častěji využívány další programovací jazyky. Moderní typy PLC umožňují programování v jazycích běžně používaných v IT, jako jsou C a C++.

Výrobci PLC vyvíjí vlastní vývojová prostředí, která usnadňují programování automatů. Tyto softwary umožňují také testování programu ještě před jeho nasazením do provozu.

Některé z nich podporují vlastní programovací jazyky nebo rozšiřují běžně používané C a C++. Mezi ně patří například:

1) RSLogix 5000 s AOI,
2) Beckhoff TwinCAT XAE
3) Siemens SCL.

3.1.1 Seznam instrukcí (IL)

Seznam instrukcí (Instruction List – IL) je textový programovací jazyk, jehož struktura se podobá assembleru. Programová organizační jednotka je složena ze sekvence instrukcí. Každá instrukce je uvedena na samostatném řádku. Instrukce mohou být modifikovány pomocí modifikátorů. Tyto modifikátory mohou například vyvolávat negace, podmíněnost nebo nepodmíněnost. Princip programování je znázorněn na obrázku (obr. 9) [16,17].

```
0 LD X0
1 OUT C0
        K5
3 LD C0
4 OUT Y0
5 LD X1
6 RST C0
7 END
```

Obr. 9: Příklad seznamu instrukcí (IL) [17]

3.1.2 Strukturovaný text (ST)

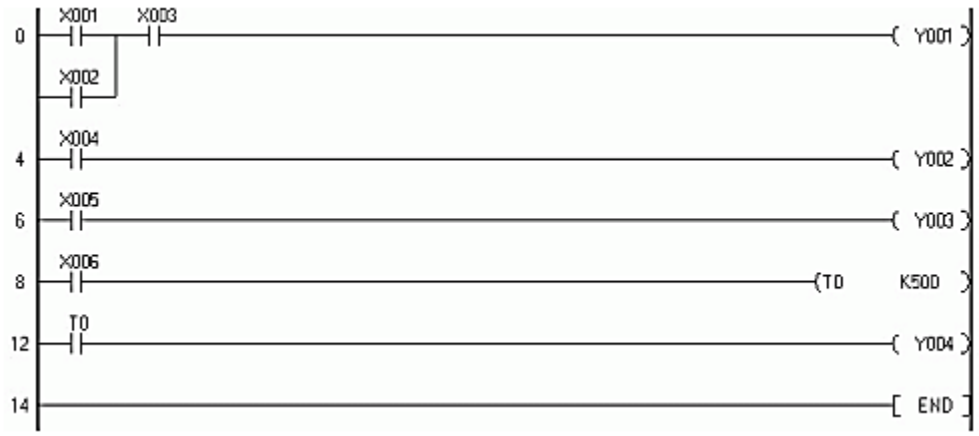
Strukturovaný text (Structured Text – ST) je odvozen od vyšších programovacích jazyků jako jsou Pascal, C a C++. Tento jazyk je využíván k úspornému a jednoznačnému zápisu algoritmů. Definuje velké množství příkazů (jako přiřazení, vyvolávání funkce, návrat apod.). Na jednom řádku se může objevit více příkazů, které však musí být odděleny středníkem. Výstižné znázornění strukturovaného textu lze vidět na obrázku (obr. 10) [16,17].

```
WHILE seznam_nasypek.pocet > 0 DO
    aktivni_nasypka ACCESS seznam_nasypek.info[seznam_nasypek.pocet - 1].adresa;

    IF aktivni_nasypka.hladina <= (0.9 - aktivni_nasypka.rezerva) THEN
        EXIT;
    ELSE
        seznam_nasypek.pocet := seznam_nasypek.pocet - 1;
    END_IF;
END_WHILE;

IF seznam_nasypek.pocet = 0 THEN
    formovna.tlacitka.doplnit_modelovaci := FALSE;
    formovna.tlacitka.doplnit_vyplnovou := FALSE;
    stav := 10;
ELSE
    index := 0;
    aktivni_nasypka ACCESS seznam_nasypek.info[index].adresa;
    zapnout_pasy;
    stav := 510;
END_IF;
```

Obr. 10: Znázornění programování ve strukturovaném textu

3.1.3 Příčkový diagram (LD)

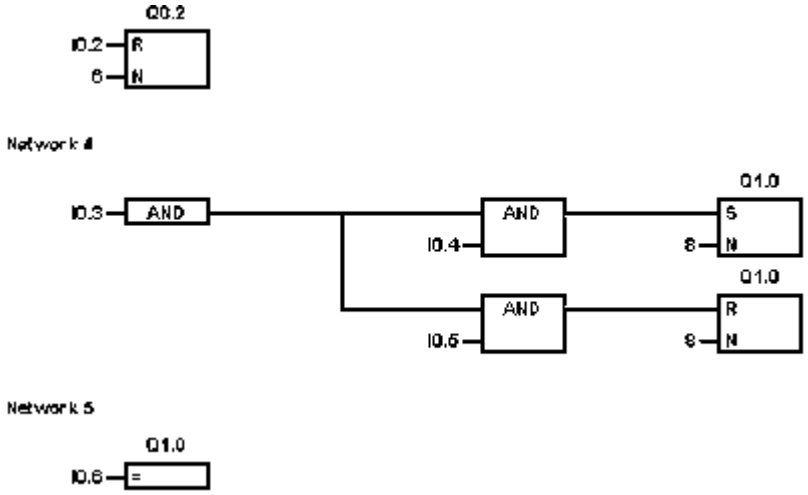
Příčkový diagram (Ladder Diagram – LD) je grafický jazyk, který je založen na reléové logice. V programovém prostředí je zobrazována síť, která je ze dvou stran ohraničena svislými čárami reprezentující napájecí sběrnice. Mezi tyto čáry jsou vkládány příčky s kontakty, cívky nebo funkční bloky. Příklad tohoto jazyku je zobrazen na obrázku (obr. 11) [16,17].



Obr. 11: Příklad schéma příčkového diagramu [17]

3.1.4 Funkční blokové schéma (FBD)

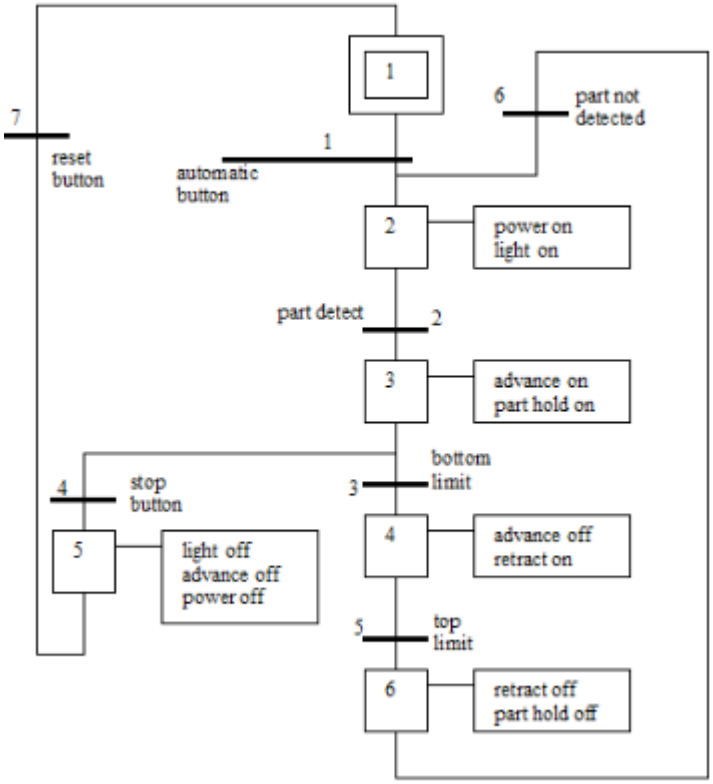
Funkční blokové schéma (Function Block Diagram – FBD) je grafický jazyk, který popisuje chování funkcí, funkčních bloků a programů. Využívají se standartní funkční bloky. Bloky představují logické funkce, čítače, časovače, komunikační bloky nebo speciální bloky. Grafické bloky jsou propojeny podobně jako v elektronických obvodových diagramech. Logické operace jsou zapsány v obdélníkových značkách, jak je vidět na obrázku (obr. 12) [16,17].



Obr. 12: Příklad schéma zapsaného ve funkčním blokovém schématu [17]

3.1.5 Sekvenční funkční schéma (SFC)

Sekvenční funkční schéma (Sequential Function Chart – SFC) popisuje sekvenční chování řídicího programu a je zapisováno ve formě vývojového diagramu. Struktura programu je definována pomocí značek stavů, přechodů a větvení. Každý stav odpovídá jednomu kroku, ke kterému jsou přiřazeny podmínky a blok akcí. Tyto stavy mohou být dále vyjádřeny použitím jiného sekvenčního grafu nebo programovacím jazykem, který byl zmíněn dříve. Ukázka tohoto programovacího stylu je znázorněna na obrázku (obr. 13) [16,17].

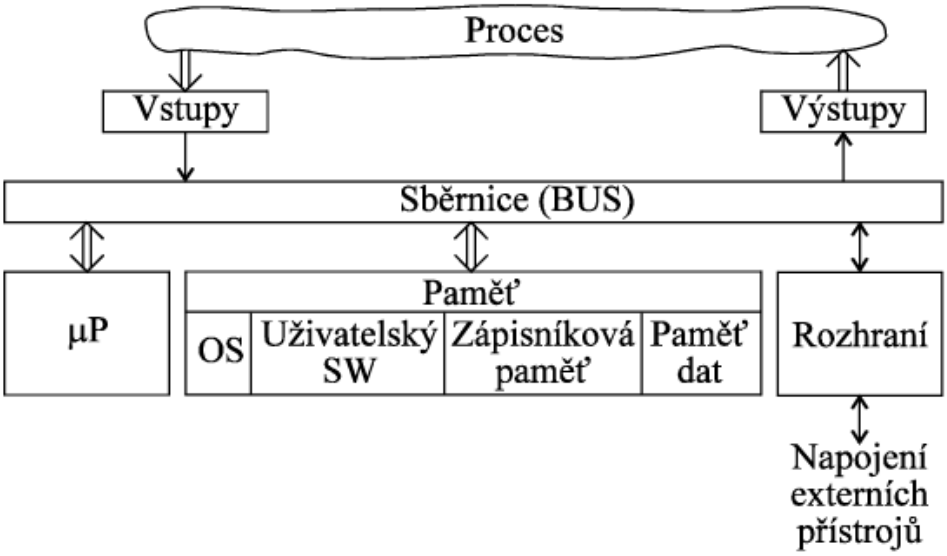


Obr. 13: Příklad sekvenčního funkčního schéma [17]

3.2 Hardware PLC

Původní návrh programovatelných logických automatů byl zaměřen na zefektivnění reléové a později bezkontaktní logiky. Z tohoto důvodu byl jejich design přizpůsoben ke zpracování binárních informací, což vedlo k začlenění několika klíčových hardwarových prvků. Mezi ně například patřily bitově orientovaná CPU (centrální procesorová jednotka), bitově orientovaná paměť dat a slovně orientovaná paměť programu.

S postupem času byl původní koncept PLC neustále vyvíjen a zdokonalován, až se v původní podobě přestal používat. Moderní verze PLC jsou vybaveny výkonnějšími mikroprocesory s vyšší výpočetní kapacitou a podporou pokročilejších datových typů. Namísto bitově orientovaného přístupu byla zavedena slovně orientovaná architektura umožňující nejen složitější operace, ale také integraci s dalšími technologiemi. Celkové hardwarové schéma těchto zařízení lze vidět na obrázku (obr. 14) [13].



Obr. 14: Blokové schéma standardního modulárního PLC [13]

3.3 Výrobci PLC

V této kapitole jsou uvedeny společnosti, jejichž programovatelné automaty patří mezi nejrozšířenější na českém trhu. U každé firmy je zároveň zmíněn nejnovější model z jejich nejvýkonnějších řad PLC.

3.3.1 Siemens

Siemens patří mezi přední světové výrobce PLC. Jeho produkce se zaměřuje zejména na řady SIMATIC, které jsou využívány v průmyslové automatizaci. PLC od Siemens se vyznačují škálovatelností a integrací s dalšími automatizačními technologiemi, jako je SCADA[2] a IoT[3].

Nabídka PLC zahrnuje kompaktní modely S7-1200 určené pro menší aplikace až po modulární S7-300/400, které jsou určeny pro rozsáhlé průmyslové systémy. Nejnovějším modelem je SIMATIC S7-1500, který je zobrazen na obrázku (obr. 15). Výrobce uvádí, že jeho PLC je nejrychlejším řídícím systémem na světě. Díky své výkonné systémové sběrnici umožňuje dosažení maximální produktivity [18].

[2] SCADA je systém pro sběr dat a řízení technologických procesů na dálku
[3] IoT označuje síť propojených zařízení, která mezi sebou sdílejí data přes internet

Obr. 15: Siemens SIMATIC S7-1500 [18]

3.3.2 Rockwell Automation

Rockwell Automation je americká společnost s českým zastoupením v Praze. Specializuje se na průmyslovou automatizaci, elektroniku a elektrotechniku. Její produktové řady PLC se rozlišují na MicroLogix a CompactLogix pro menší aplikace, zatímco ControlLogix je navržen pro rozsáhlé průmyslové systémy s vysokými nároky.

Nejnovějším modelem pro náročné a víceoborové řízení je ControlLogix 5580, který je zobrazen na obrázku (obr. 16). Toto PLC je integrováno s vývojovým prostředím Studio 5000, umožňuje řízení prostřednictvím Ethernet/IP a vyznačuje se zvýšenou bezpečností systému a rozšířenými diagnostickými možnostmi [19].

Obr. 16: Rockwell Automation ControlLogix 5580 [19]

3.3.3 Schneider Electric

Společnost Schneider Electric se zaměřuje na průmyslové technologie s důrazem na elektrifikaci, automatizaci a digitalizaci. Vyvíjí řešení pro průmysl, datová centra, inteligentní budovy a chytré domácnosti s využitím umělé inteligence a IoT. Její technologie umožňují například vytváření digitálních dvojčat reálných strojů. Nejnovějším modelem PLC této značky je Modicon M262, který je zobrazen na obrázku (obr. 17). Tento programovatelný automat je navržen pro vysoce výkonné automatizační aplikace. Mezi jeho hlavní přednosti patří výkonný procesor, vysoká energetická účinnost, vestavěný Ethernet a moduly umožňující snadnou integraci do IoT a cloudových platforem. [20].

Obr. 17: Schneider Electric Modicon M262 [20]

3.3.4 Mitsubishi Electric

Mitsubishi Electric je přední výrobce PLC řady MELSEC. Je známý svou spolehlivostí, rychlostí zpracováním instrukcí a flexibilitou pro průmyslovou automatizaci. Nabízí škálovatelné modely od kompaktních FX5U pro menší aplikace až po modulární iO-R, který je na obrázku (obr. 18).

Posledním modelem je MELSEC iO-R, jehož rychlost zpracování instrukce dosahuje až 0,98 ns na instrukci. Tyto modely jsou určené pro složité a vysoce výkonné systémy. Nabízejí synchronizaci mezi cyklem PLC a skenováním sítě za účelem eliminace zpoždění přenosu dat. Stejně jako předešlé modely má vestavěnou síťovou konektivitu. Dále nabízí pokročilé diagnostické a údržbové nástroje [21].

Obr. 18: Mitsubishi Electric MELSEC iO-R [21]

3.3.5 B&R

B&R je rakouská společnost, která má pobočku v Brně. Specializuje se na průmyslovou automatizaci a vyrábí modulární a vysoce výkonné PLC. Její řada X20 (obr. 19) nabízí flexibilní a škálovatelné řešení pro náročné průmyslové aplikace, zatímco APC (Automation PC) kombinuje funkce PLC a průmyslového počítače.

Řada X20 je koncipována jako modulární, výkonné a flexibilní řešení, které umožňuje široké spektrum průmyslových aplikací. Díky kompaktnímu designu přispívá k úspoře místa v rozvaděči. Podporuje vícejádrové CPU, čímž umožňuje rychlé a efektivní řízení složitých procesů. Mezi další přednosti patří integrovaná konektivita a možnost bezpečnostního řízení. Celý systém lze programovat, simulovat a ladit ve výkonném softwarovém prostředí Automation Studio [22].

Obr. 19: B&R Systém X20 [22]

4 VOLBA REÁLNÉHO SYSTÉMU

Pro návrh modelového dopravníkového systému bylo vybráno pracoviště ve slévárně UNEX a.s. s pobočkou v Uničově. Vybrané středisko je součástí strojní formovny, kde jsou formovány rámy pro odlévání odlitků primárně z oceli.

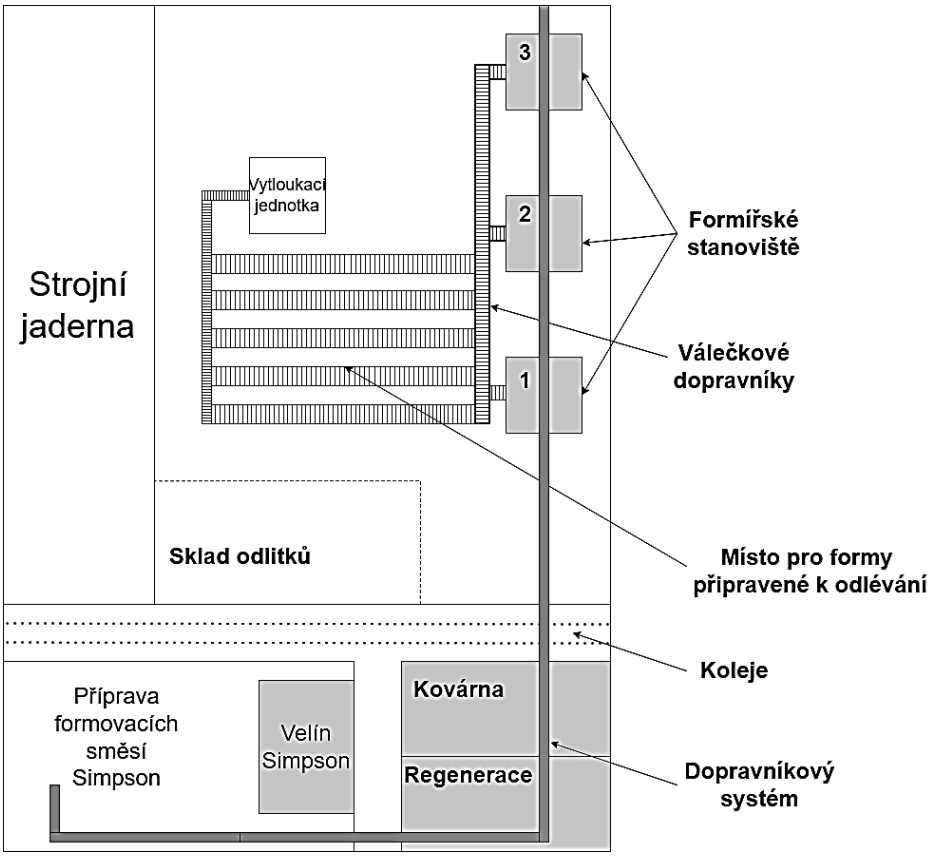
Jedná se o řízení přípravy formovacích směsí a jejich následnou distribuci na strojní formovně na pracovišti Simpson pomocí rozvaděče velínu. Toto pracoviště bylo spuštěno před 50 lety. Jde o systém řízení pomocí příkazových elektronických karet. Příklad této karty lze vidět na obrázku (obr. 20). V současnosti již nejsou k dispozici náhradní karty pro případ nutné výměny poškozené karty.

Obr. 20: Příkazová elektronická karta řídící Simpson

Blok řízení, který je vyobrazen na obrázku (obr. 21), je nuceně chlazen klimatizační jednotkou a zároveň ještě odsáván pro zvýšení výkonu chlazení. Při přehřátí, zvláště v letních měsících, dochází k blokování příkazů a k výpadkům ovládání. Pokud by došlo k poruše na některé z karet, dojde k výpadku celé strojní formovny. Podle závažnosti opravy by provoz mohl být odstaven na několik směn. Jestliže by byl systém neopravitelný, potom by výpadek trval do nainstalování nového řídícího systému. Neplánovaná odstávky by zabrala i několik měsíců.

Obr. 21: Ovládací stěna Simpsonu

V dnešní době se zvyšuje počet poruch a problémů na řídícím systému. Může jít o poruchy, které jsou odstraněny během směny nebo se odstaví provoz na více dní. Poruchy způsobují nejen ztráty formovacích časů, ale i ztráty formovacích směsí. Směs neskončí v násypkách, ale v přepadu na konci pásového dopravníku, jak můžeme vidět na plánku strojní formovny na obrázku (obr. 22). Tímto se formovací směs stává surovinou pro výplňovou směs nebo odpadem.



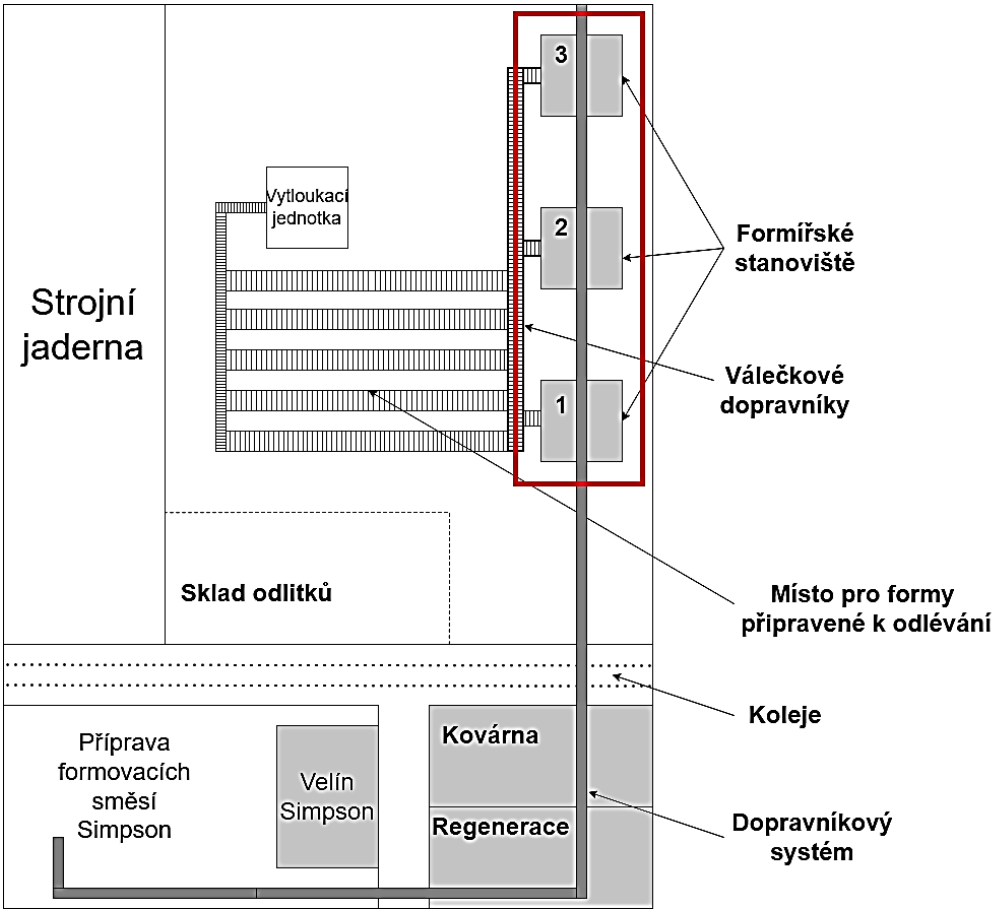
Obr. 22: Schéma rozložení strojní formovny

Nový řídící systém založený na PLC by odstranil nebezpečí neplánované odstávky přípravy směsí pro strojní formovnu a umožnil zautomatizovat distribuci směsí. Automatizace by také zajistila snížení ztrát formovacích směsí, které vznikají při ručním ovládání plnění násypek.

4.1 Popis volby řešeného dopravníkového systému

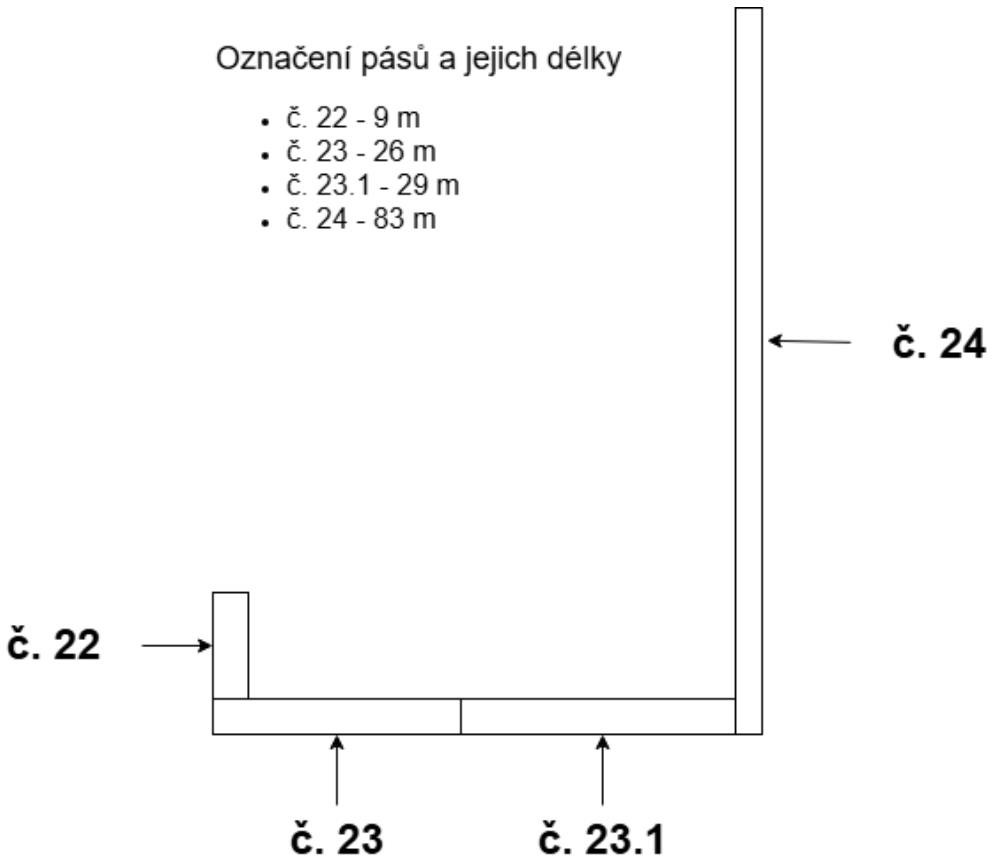
Pro praktickou část mé bakalářské práce byla konkrétně vybrána část dopravníkového systému a formířská stanoviště, jak je zvýrazněno na obrázku (obr. 23). Při realizaci řízení této technologie je snaha se přiblížit co nejvíce reálné aplikaci. I přestože program nebude v budoucnu použit, tak se blíží k reálné aplikaci, která by vypracovala firma se stejným zadáním.

Řízena bude soustava pásových dopravníků dopravující písek k násypkám a stěrky nacházející se nad násypkami. Cyklus plnění bude vždy spuštěn obsluhou, jak bylo vyžádáno od vedoucího střediska. Obsluha bude mít veškerou kontrolu nad spuštěním plnění a možnost odstavení určitého formířského stanoviště v případě, že na něm bude docházet k opravě nebo se na něm nebude pracovat.



Obr. 23: Zvýrazněná řízená část strojní formovny

Řízení bude probíhat od mísiče, který dávkuje písek na první pásový dopravník označen číslem 22. Dále pomocí soustavy na sebe navazujících pásů se formovací směs dostává na poslední nejdelší pás číslo 24. Tato soustava pásových dopravníků včetně rozměrů je znázorněna na obrázku (obr. 24). Na páse se nachází stěrky, které po spuštění na pás shrnují směs do násypek. Stěrky budou řízeny programem tak, aby nedocházelo k žádným ztrátám. Automatizace zaručí úsporu času, peněz a energií.



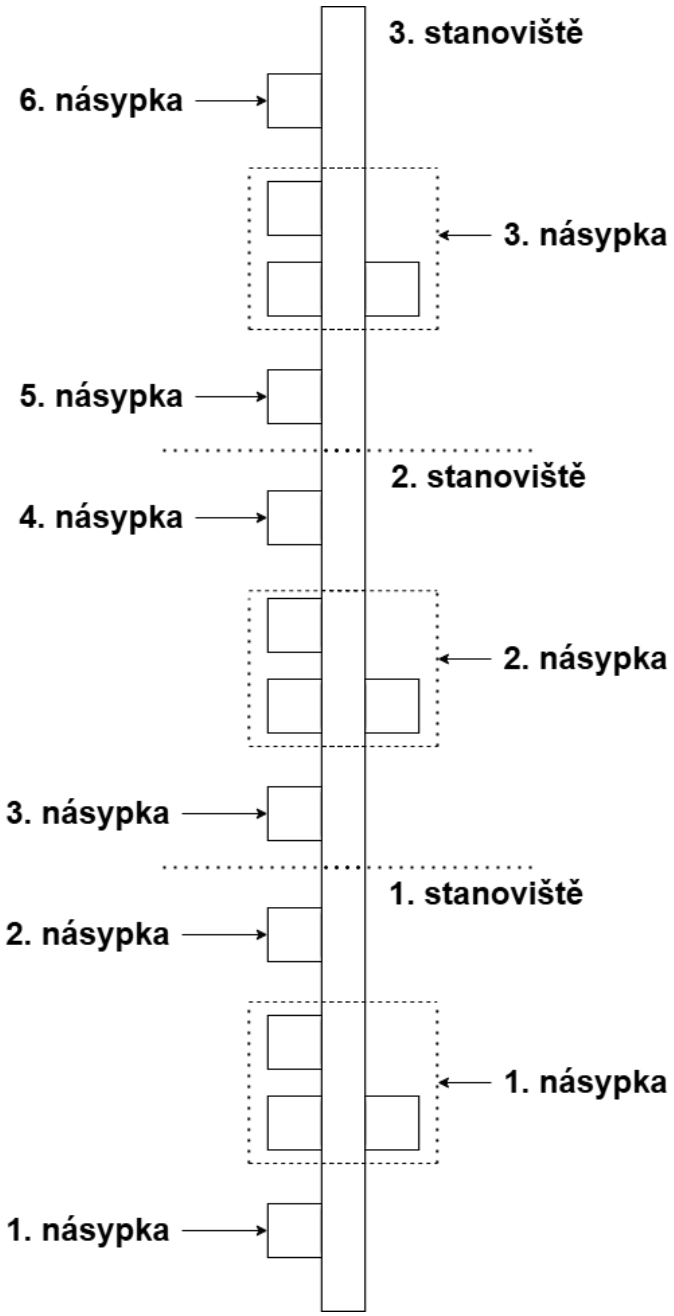
Obr. 24: Soustava pásových dopravníků s popisky

4.2 Vysvětlení technologie

Na pracovišti Simpson se připravují dva druhy formovacích směsí. Směs modelová, která přichází přímo do styku s odlévaným kovem, se připravuje v šaržových mísičích MK2. Připravuje se ze sta hmotnostních dílů křemenného písku, 6.5 hmotnostního dílu bentonitového pojiva a 0.3 hmotnostního dílu plastifikátoru na bázi škrobu. Dále je to směs výplňová, která tvoří výplň formovacího rámu, která se vyrábí v průběžném dvoukomorovém mísiči Simpson. Ta se připravuje ze sta procent vratného písku s přídavkem bentonitového pojiva a vody. Každá z vyráběných směsí se plní do předem určených násypek.

Dopravníkový systém tyto směsi dopravuje do předem k tomu určených násypek. Rozložení násypek na strojní formovně s popisky můžeme vidět na obrázku (obr. 25). Každé formířské stanoviště má 3 násypky. Největší z nich je násypka určená pro výplňovou formovací směs. Tato násypka má 3 vstupy, do kterých je směs shrabována z pásu. Na obrázku (obr. 25) jsou popsány v pravé části. Zbylé dvě násypky jsou pro modelový písek, ze kterého se modeluje horní a spodní část formy. Tyto násypky mají popisky vlevo na obrázku.

Všechny násypky jsou osazeny dvěma sondami. Spodní sonda informuje o poklesu hladiny na 50 % a méně. A horní sonda, která informuje o naplnění násypky na 90 %. Sondy jsou dvoustavové. Logická 1 představuje stav, při kterém je sonda zasypána formovací směsí a 0 stav, u kterého je sonda odkryta a může docházet k plnění násypky.



Obr. 25: Schéma rozložení násypek na strojní formovně

4.3 Zhodnocení současného stavu a implementace vylepšení

Jak bylo dříve zmíněno, v současné době dochází k častějším poruchám. Závady jsou způsobeny přehříváním řídící jednotky nebo samotné příkazové karty mohou být poškozeny. Pro snížení množství závad je nutné nahradit a vylepšit dosavadní ovládací blok a jeho příkazové karty. Je žádoucí, aby nový řídicí systém nevyžadoval přídavný chladící agregát, což by bylo rovněž výhodou oproti současnému řešení, kdy chlazení představuje přídavné náklady na provoz, které je možno optimalizovat.

4.3.1 Nové řízení technologie

Technologie je momentálně ovládána příkazovými karty. Po modernizaci by byl chod zajištěn programovatelným automatem. Pro danou technologii bylo vybráno PLC X20CP0483 od společnosti B&R, které je pro tento druh řízení vhodné. Zvolené PLC je vyobrazeno na obrázku (obr. 26). Jedná se o PLC z nižší výkonnostní řady, což zajistí nižší pořizovací náklady, zároveň je však pro danou aplikaci stále značně naddimenzované.

Obr. 26: Zvolené PLC od B&R

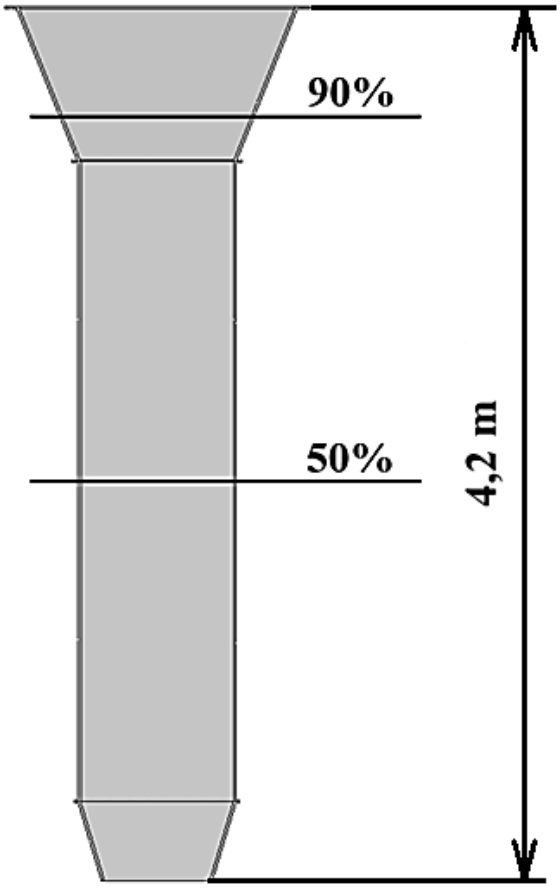
PLC neobsahuje vnitřní baterii a musí být tedy konstantně napájeno. Napájení zajišťuje přídavná napájecí karta X20PS9600, která je nedílnou součástí PLC. PLC obsahuje kartu pro digitální vstupy X20DI9371, na kterou bude připojeno tlačítko CentralSTOP, stěrky a mlýn. Dále k řídícímu PLC jsou přidány dvě přídavné karty X20DO8332 pro digitální výstupy, které řídí jednotlivé pásy, stěrky a mlýn. Poslední přídavnou kartou je modul X20IF1061-1, do které vede sběrnice PROFIBUS z výpočetní jednotky, která sbírá a počítá konkrétní hladiny jednotlivých násypek. Odhad pořizovacích nákladů tohoto PLC je v následující kapitole.

Ovládání pásů

Nové řízení pásů bude mít dva módy, jako je tomu nyní. Ruční řízení, kdy bude možné spustit každý pás zvlášť a automatické řízení. Při ručním ovládání nebude docházet k plnění mísičem Simpson. Tento mód bude sloužit pouze pro opravy dopravníkové soustavy a následné testování. Při ručním plnění by mohlo docházet ke ztrátám, které by nebylo možné řídit pomocí naprogramování PLC. Sám program zajistí minimální nebo žádné ztráty formovací směsi a optimální chod celé technologie plnění.

4.3.2 Výběr nových sond

Momentálně se v násypkách využívají kapacitní sondy ve dvou polohách. Jejich rozložení můžeme vidět na obrázku (obr. 27). Rozložení sond je stejné jak pro násypku s výplňovou směsí, tak násypku s modelovací směsí.



Obr. 27: Rozložení sond v násypkách

Všech devět násypek by bylo osazeno novými ultrazvukovými sondami. Dopravovaná formovací směsi je při míchání vlhčena. Měřená hladina násypky nebude nijak ovlivněna prášením. Z tohoto důvodu by měl senzor spolehlivě měřit a tím zajišťovat přesné údaje o množství formovací směsi v násypce.

Vybrány byly ultrazvukové sondy Time-of-Flight Prosonic FDU91 značky Endress+Hauser, sonda je vyobrazena na obrázku (obr. 28). Senzor je navržen pro kontinuální bezkontaktní a bezúdržbové měření výšky hladiny sypkých materiálů. Součástí je integrovaný teplotní senzor pro korekci měření Time-of-Flight, který umožňuje přesná měření při změnách teploty. Další výhodou je samočistící efekt senzoru, který minimalizuje tvorbu nánosů. Měřící rozsah dosahuje až 10 metrů, což ho činí ideální volbou pro tuto technologii. Sondy budou nainstalovány na násypce samostatně a jejich analogový výstup bude přenesen do vzdálené výpočetní jednotky ve velíně [23].

Obr. 28: Ultrazvuková sonda Time-of-Flight Prosonic FDU91 [23]

Pro měřící jednotku byl zvolen Prosonic FMU95 na obrázku (obr. 29). Zařízení bude nainstalováno ve velíně na DIN liště. Umožňuje připojení až 10 ultrazvukových senzorů FDU91, které zařízení samo detekuje, což usnadní jejich instalaci. Další výhodou je displej pro jednoduché ovládání. Převodník umožnuje korekci měření prostřednictvím integrovaných nebo externích teplotních senzorů. Výstupní data z převodníku budou přenesena do PLC prostřednictvím sběrnice PROFIBUS-DP, kde budou dále zpracována pro optimální řízení a monitoring systému [24].

I přesto, že by bylo možné signály ze sond zpracovávat přímo v PLC, byla zvolena výpočetní jednotka Prosonic FMU95 z důvodu vyšší přesnosti, zjednodušení programové struktury, centralizace dat a možnosti připojení až 10 sond bez zatížení řídicí jednotky. Díky pokročilým algoritmům pro korekci měření (např. Time-of-Flight s teplotní kompenzací) a robustnímu rozhraní PROFIBUS-DP je FMU95 optimální volbou pro spolehlivý provoz v náročném průmyslovém prostředí

Obr. 29: Převodník Prosonic FMU95 [24]

4.3.3 Displej pro vizualizaci

Pro vizualizaci programu byl vybrán model panelu od firmy B&R 5AP1130.101E-000, který můžeme vidět na obrázku (obr. 30). Tento panel s 10palcovou úhlopříčkou má rozlišení 1280x800 px. Rozlišení displeje je dostačující pro menší vizualizaci ovládání plnění. Montáž tohoto displeje je přímo do rozvaděče. Pro optimální ovládání je displej dotykový, tudíž zaručí nejsnadnější ovládání pro obsluhu.

Obr. 30: Displej 5AP1130.101E-000 [25]

5 POPIS PLC PROGRAMU PRO PLNĚNÍ

Kapitola se věnuje návrhu a realizaci programu pro řízení technologického procesu plnění násypek výplňové a modelové směsi pomocí PLC. Program je vytvořen ve strukturovaném textu (ST) v prostředí Automation Studio a jeho logika vychází z praktických požadavků provozu a bezpečnosti obsluhy. Kód byl strukturován do stavového automatu, který jasně odděluje jednotlivé fáze logiky. Například výběr násypek, plnění či reakci na tlačítko CentralSTOP. Místo opakování obdobné logiky pro různé typy směsí byly zavedeny sdílené stavy, které lze chápat jako obecné akce zpracovávající předem připravený seznam násypek. Úprava kódu odpovídá požadavkům na průmyslový kód, kde je čitelnost a předvídatelné chování klíčové, zejména s ohledem na údržbu a bezpečnost provozu.

Základním prvkem programu pro řízení plnění násypek je stavový automat, jehož úkolem je výběr optimálního cyklu plnění na základě aktuálních podmínek v systému. Tento výběr probíhá ve dvou krocích, přičemž v každém z nich dochází ke kontrole stavu jednotlivých násypek. Program nepracuje s pevně definovanými procedurami, ale místo toho flexibilně vytváří seznam vhodných násypek pro plnění podle aktuálních podmínek v systému. Tím se eliminuje nutnost programovat jednotlivé varianty zvlášť a snižuje se náročnost údržby kódu.

Program také zohledňuje stisknutí tlačítka CentralSTOP obsluhou a děj, který se vykoná po jeho vypnutí. Pokud tlačítko bylo spuštěno v době, kdy nedocházelo k plnění, nemusí se řešit zbývající směs na pásech. Avšak pokud docházelo k plnění při stisknutí tlačítka, tak formovací směs zůstala na pásech po jejich vypnutí. Po vypnutí tlačítka CentralSTOP se směs z pásu přerozdělí do násypek výplňové směsi. I přestože se na pásech mohla nacházela směs modelová. Modelová směs může ztratit požadované vlastnosti po dobu vypnutí pásů. Z tohoto důvodu může být uložena pouze do výplňové násypky.

Na doporučení mistra regenerace v UNEXu byla dále přidána možnost manuálního řízení pro obsluhu. Obsluha bude moct ovládat všechny pásy, mlýn a jednotlivé stěrky samostatně, bez spuštění cyklu plnění. Manuální ovládání zaručí možnost otestovat správnou funkčnost jednotlivých segmentů a částí v dopravníkové soustavě po jejich opravě, výměně či kontrole.

V následujících tabulkách (tab. 1-3) můžeme vidět výpis všech vstupních a výstupních parametrů, které jsou klíčové pro správný chod programu plnění. Mezi analogové vstupy patří hladiny násypek, které zpracuje měřící jednotka Prosonic FMU95 a následně je pošle do PLC pomocí PROFI Busu. Dále je to tlačítko CentralSTOP, které po jeho stisknutí okamžitě zastaví probíhající cyklus plnění. Digitální vstupy představují signály od obsluhy, které slouží k volbě cyklu plnění. Umožňují výběr směsi pro doplnění do násypek a také poskytují možnost odstavit formířské stanoviště v případě poruchy. Další možností je přepnutí do manuálního módu, pro ovládání jednotlivých segmentů soustavy. Digitální výstupy ovládají dopravníkovou soustavu prostřednictvím stykačů. Patří mezi ně signály pro spuštění všech pásů, stěrek násypek a mlýnu.

Tab. 1: Výpis analogových vstupů

Počet signálů	Popis funkce
3	Hladina násypek výplňové směsi
6	Hladina násypek modelové směsi
1	Tlačítko CentralSTOP

Tab. 2: Výpis digitálních vstupů

Počet signálů	Popis funkce
2	Tlačítka pro výběr formovací směsi
3	Odstavení stanoviště
1	Přepnutí do manuálního režimu

Tab. 3: Výpis digitálních výstupů

Počet signálů	Popis funkce
4	Řízené dopravníkové pásy
9	Stěrky na pásech
1	Zapnutí mlýnu

Pro simulaci a následné otestování správného chodu programu byl napsán simulační program, který simuluje naplňování násypek směsí. Hladina násypky se naplní o 10 % za 1 sekundu. Následně byl přidán úbytek směsí z násypek pro znázornění a možné opětovné spuštění simulace plnění. Úbytek činí 0.5 % hladiny násypky za 1 sekundu.

5.1 Hlavní program

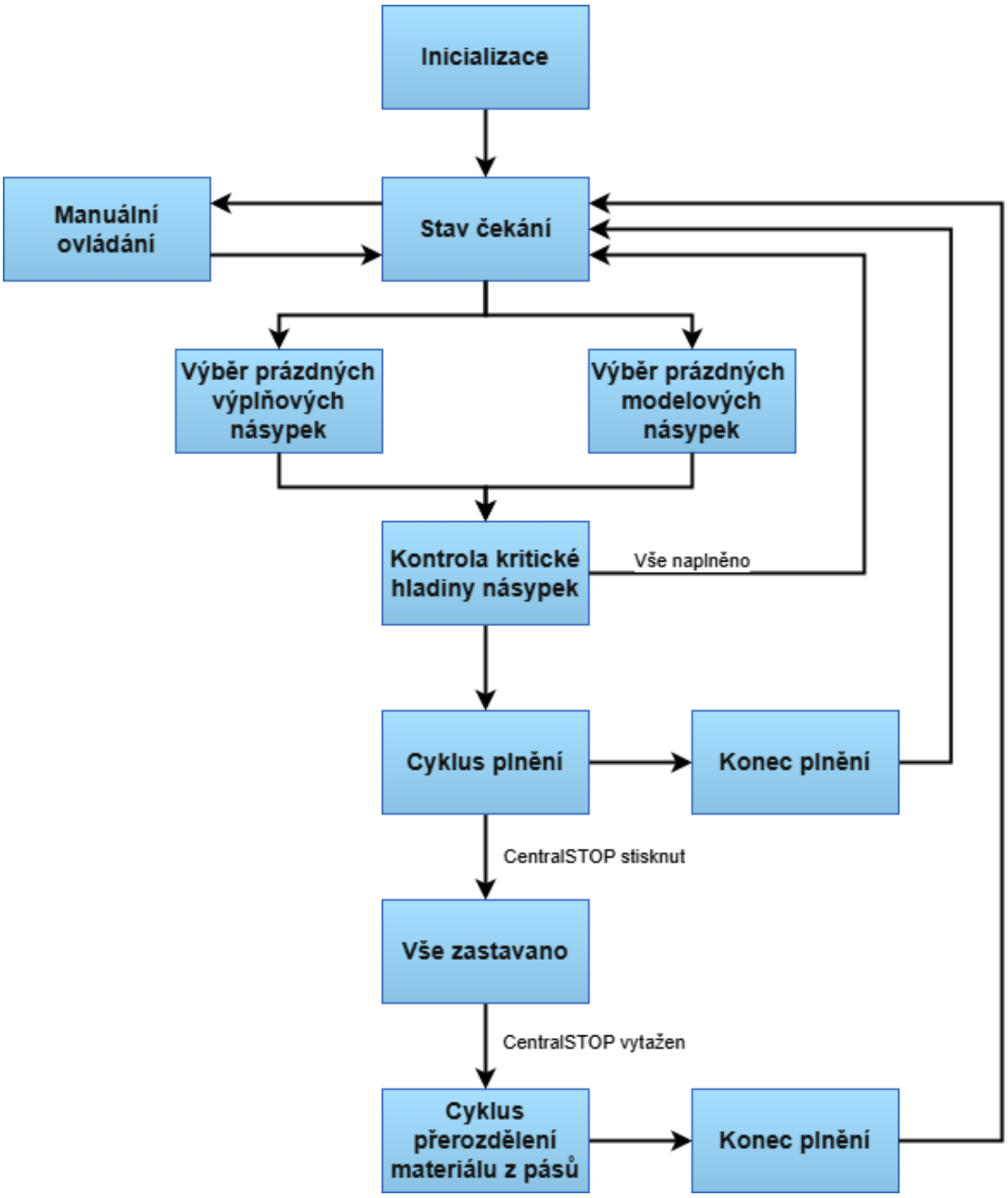
Program pracuje v cyklickém režimu řízení, jako stavovým automatem. Při spuštění PLC a následně hlavního programu dojde k nastavení všech částí dopravníkové soustavy do výchozího stavu, pokud tak nebylo učiněno předem. Výchozí stav znamená, že jsou stěrky zdvižené z pásu, mlýn a všechny dopravníky jsou vypnuté.

Po inicializaci program čeká na zásah obsluhy, která vybírá mezi plněním výplňové a modelové směsi. Po aktivaci plnění je automaticky vytvořen seznam vhodných násypek, založený na aktuálních provozních podmínkách. Do seznamu jsou zařazeny pouze ty násypky, jejichž stanoviště není odstavené a které nejsou naplněny nad kritickou úroveň.

Veškeré násypky (modelovací i výplňové) jsou definovány pomocí jednotného datového typu nasypka_typ, čímž je zajištěna jednotnost a přehlednost při práci s nimi. Podobně i seznam_nasypek je reprezentován jako struktura obsahující pole ukazatelů na konkrétní násypky a další doplňující údaje (např. index stanoviště). Tento přístup silně připomíná principy z programování v jazycích typu C/C++, kde se pro efektivní a strukturovanou práci využívají ukazatele, pole a uživatelsky definované typy.

V každé fázi programu zároveň probíhá kontrola stavu tlačítka CentralSTOP. Pokud je aktivováno, dojde k okamžitému zastavení celé technologie a pozastavení plnění. Nový plnicí cyklus nemůže být spuštěn, dokud obsluha nezruší stav STOP. Tento bezpečnostní mechanismus je integrován napříč všemi klíčovými stavy programu.

Diagram hlavního programu je uveden na obrázku (obr. 31).



Obr. 31: Vývojový diagram hlavního program

5.2 Popis cyklu plnění

Pro popis cyklu plnění byl zvolen příklad plnícího cyklus výplňové směsi pro 1. formířské stanoviště.

Seznam násypek, který byl vybrán po kontrole kritické hladiny v násypkách, je dále znovu ověřován pomocí cyklu WHILE. Poslední násypka v seznamu musí splňovat podmínku hladiny dostatečně nízkou tak, aby po vypnutí mlýnu bezpečně pojmula zbylou směs z dopravníků. Pokud podmínku nesplňuje, je ze seznamu vyřazena a cyklus pokračuje, dokud není nalezena vhodná poslední násypka nebo seznam nezůstane prázdný. Tímto přístupem je zajištěno, že ani v okamžiku nevhodných podmínek (například všechny násypky jsou plné) nedojde k nechtěnému spuštění cyklu nebo plýtvání směsí.

V dalším kroku dojde ke spuštění pásů, zapne se mlýn a na pás se spustí stěrka aktivní plněné výplňové násypky 1. stanoviště. Plnění probíhá na hladinu 80 %, která zaručí, že všechna zbývající směs, která zůstane po vypnutí mlýnu na dopravních pásech, bude uložena do násypky a nebudou vznikat ztráty směsí. Řešení programu plnění zaručí, že se mlýn vypne ve správnou dobu, než by mohlo dojít k přeplnění násypek. Dosavadní vypnutí mlýnu musí hlídat obsluha, která může způsobit chyby. Chyby by vedly k vyšším ztrátám směsí při plnění násypek. Momentálně je obsluha pouze informována o dosažení 90 % hladiny, nyní však program sám automaticky vypíná mlýn v předem určený čas, čímž minimalizuje riziko přeplnění. Z tohoto důvodu sama obsluha musí vědět, jak dlouho musí provádět plnění, aby včas vypla mlýn a nedošlo k větším ztrátám směsi. Implementací nového řešení zmizí lidský faktor a cykly plnění budou mít nižší ztráty.

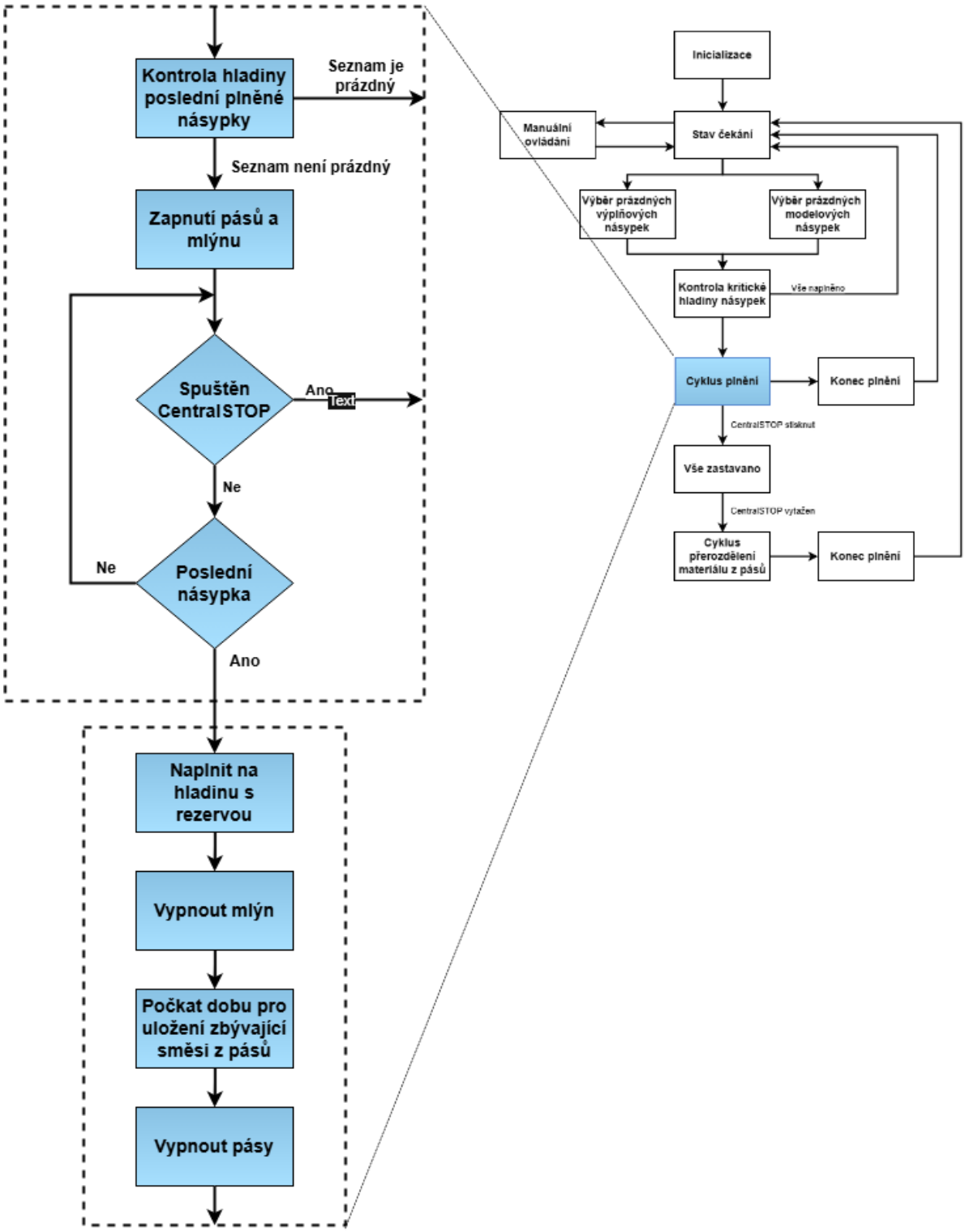
Po naplnění násypky 1. stanoviště na 80 % se mlýn vypne. Rozběhne se časomíra 60 sekund, po kterou jsou stále zapnuty pásy. 60 sekund stačí na to, aby se z pásů uložila všechna směs do násypky, která zbývá na pásech po vypnutí mlýnu. Po uplynutí časomíry dojde k vypnutí pásů a stěrka se zdvihne do výchozího stavu a cyklus plnění je ukončen.

Pro případ plnění více násypek je postup obdobný. Násypky jsou plněny na úroveň 90 %, zatímco poslední násypka v seznamu je naplněna na kritickou hladinu s rezervou, která však stále zajišťuje dostatečný prostor pro zbytkovou směs z pásových dopravníků a předchází tak materiálovým ztrátám. Po naplnění aktivní násypky na 90 % se spustí stěrka následující násypky a zdvihne se stěrka předchozí plněné násypky. Na konci plnění pásy opět běží po předepsanou dobu k uložení zbývající směsi. Z důvodu výskytu formovací směsi na pásech, která se nestihla uložit do násypek. Snahou je i tuto směs uložit do násypek, aby byla použita pro formování a nedošlo k jejímu vyhození. Doba zapnutí pásu se liší podle stanoviště a jeho vzdálenosti od mlýnu. Pro 2. stanoviště je to 70 sekund a pro 3. stanoviště časomíra činí 80 sekund. Následně je vše uvedeno do výchozího stavu a cyklus je ukončen.

V průběhu plnění dochází ke kontrole tlačítka CentralSTOP pro případ, že nebylo stisknuto a plnění musí být zastaveno. Děj po stlačení CentralSTOP je detailněji popsána v následující kapitole.

Na obrázku (obr. 32) vidíme vývojový diagram cyklu. Diagram detailně popisuje průběh cyklu plnění, který je rozdělen do dvou dějů. Prvním dějem je plnění násypek a kontrola,

jestli v seznamu zbývá poslední násypka. Druhým dějem je naplnění poslední násypky s rezervou, distribuce zbývající směsi na pásech po vypnutí mlýnu a následné vypnutí pásů.



Obr. 32: Vývojový diagram plnícího cyklu

5.3 CentralSTOP

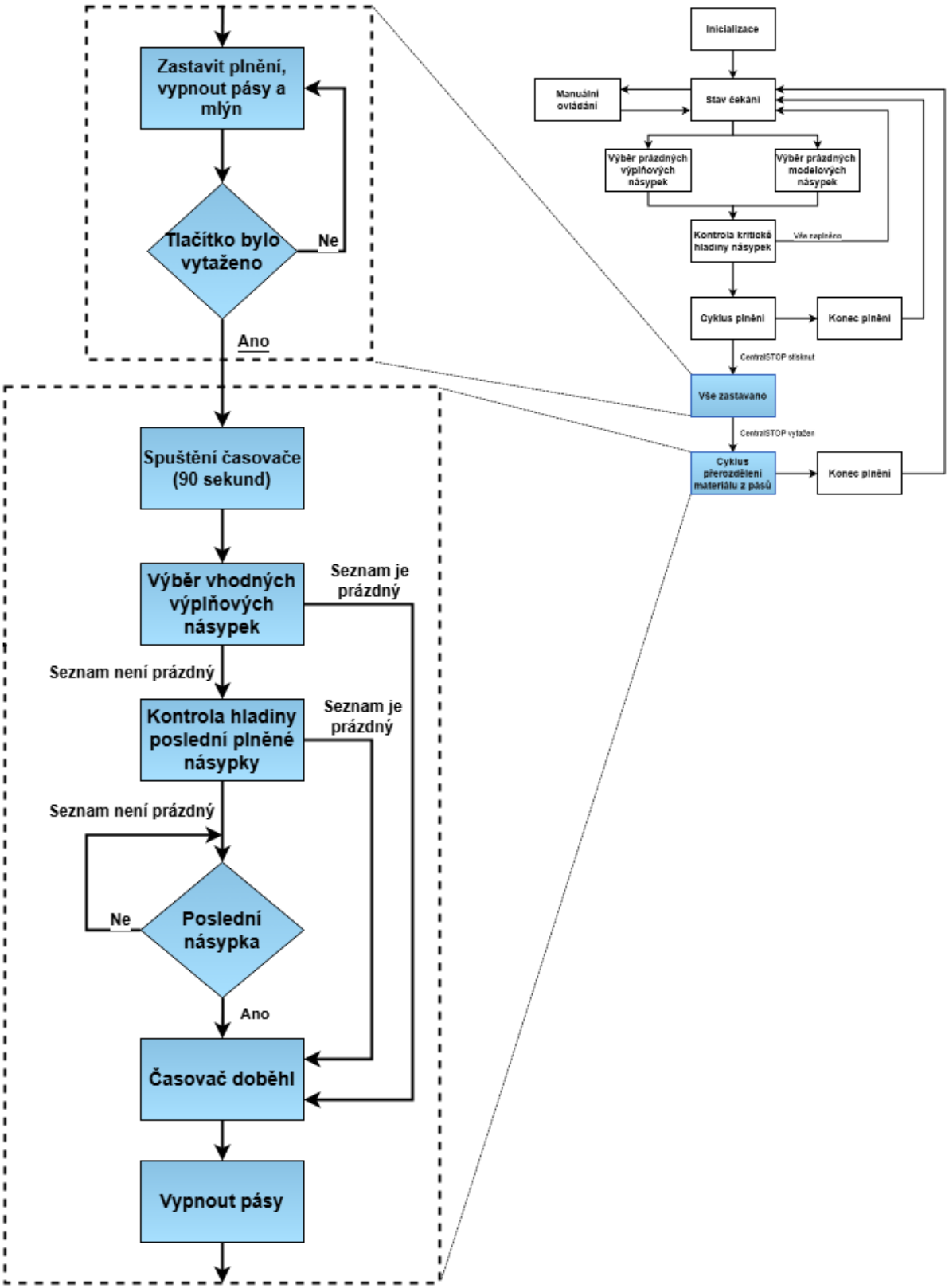
Každý cyklus plnění, manuální mód a hlavní program je opatřen kontrolou, jestli nebylo stisknuto tlačítko CentralSTOP. Za předpokladu stlačení CentralSTOP je probíhající cyklus okamžitě ukončen a soustava je uvedena do základního stavu (všechny pásy se zastaví, dojde k vypnutí mlýnu a stěrky jsou zvednuty). Veškeré plnění, které probíhalo, je zastaveno. Pokud ve chvíli stisknutí plnění neprobíhalo, tak všechny části dopravníkové soustavy jsou stále ve výchozí poloze. Program je uzpůsoben tak, že brání obsluze spustit jakýkoliv cyklus plnění, dokud je tlačítko spuštěné.

PLC čeká, dokud obsluha tlačítko CentralSTOP nevytáhne. V situaci, kdy bylo tlačítko spuštěno v průběhu cyklu plnění, nastává problém se zbytkem směsi, která se nachází na pásech. Výplňová směs se nesmí dostat do násypek s modelovou směsí, ovšem modelová směs může spadnout do směsi výplňové. Pokud modelová směs zůstane po delší dobu volně ležet na pásech, může dojít k jejímu oschnutí a ztrátě požadovaných vlastností pro použití do formy. Z tohoto důvodu je program uzpůsoben tak, aby jakoukoliv směs na pásech rozdělil do násypek s výplňovou směsí a tím snížil ztráty.

Po vytažení tlačítka CentralSTOP následuje spuštění časovače na 90 sekund. Předdefinovaný čas je dostačující pro přerozdělení jakékoliv směsi, která se momentálně nachází na pásech. Po 90 sekund bude probíhat plnění násypek výplňové směsi. Podobně jako u příkladu plnění z předchozí kapitoly probíhají i zde dvě kontroly. Program si ověří, zda nebylo odstavené některé ze stanovišť a poté zkontroluje hladinu všech násypek s výplňovou směsí. Jakmile časovač vyprší, dojde k zastavení pásů a stěrky budou vytaženy do výchozího stavu. Program se vrátí na začátek a obsluha bude opět moci spustit další plnění podle potřeby.

V případě, že všechna stanoviště budou odstavena nebo násypky budou na kritické hladině, časovač se spustí na 90 sekund, aby zbylá směs na dopravníku vyjela za poslední formířské stanoviště mimo řízenou soustavu.

Na obrázku (obr. 33) vidíme vývojový diagram s popisem funkce stavu CentralSTOP.



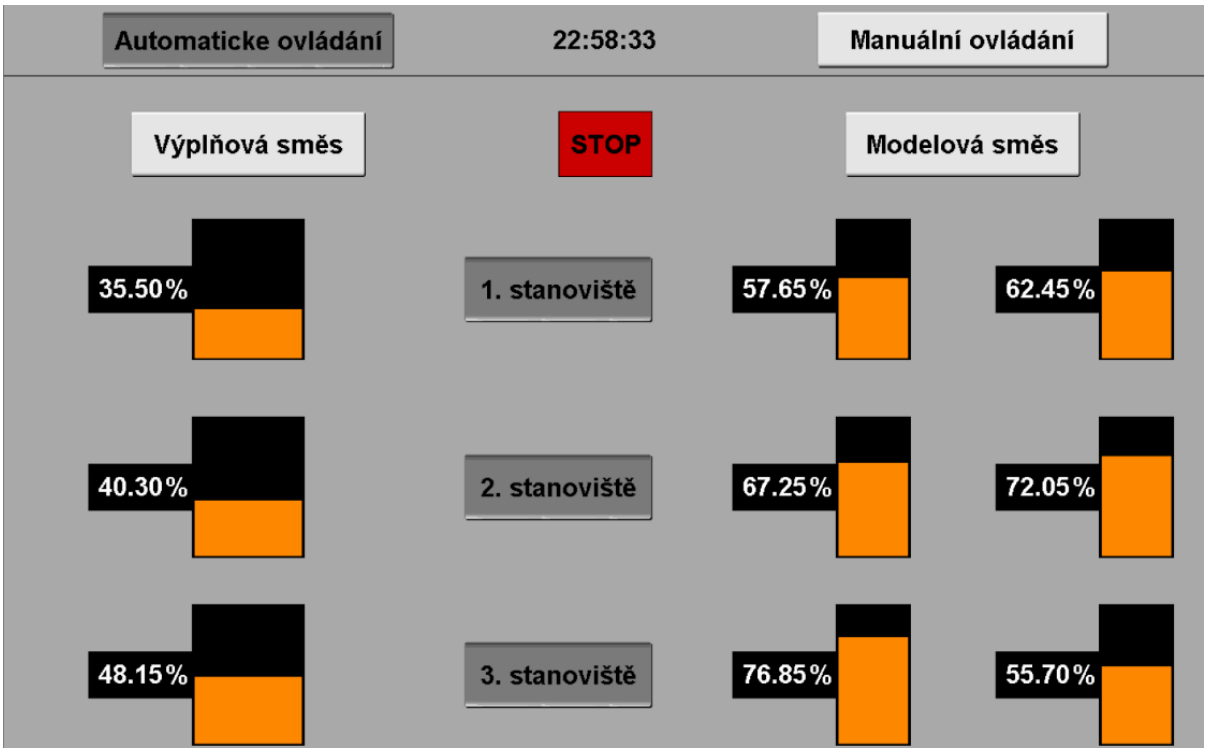
Obr. 33: Vývojový diagram tlačítka CentralSTOP

5.4 Vizualizace řízené soustavy

Pro obsluhu formovací linky byla navržena a realizována vizualizace v prostředí Automation Studio. Její hlavní úlohou je umožnit pohodlné ovládání a zároveň zpřístupnit přehledné informace o stavu technologie. Vizualizace byla otestována prostřednictvím aplikace RealVNC Viewer. Vizualizace je rozdělena do dvou stránek členěných podle funkcí.

Hlavní stránka slouží pro automatické ovládání plnících cyklů. Umožňuje monitorování aktuálních hladin násypek a spouštění automatického plnění směsí. Obsluha zde může vybírat mezi výplňovou a modelovou směsí, případně odstavit jednotlivá stanoviště. Aktuální hladiny směsí jsou zobrazeny ve formě číselných údajů v procentech a v *Bar Graph* pro znázornění hladiny násypky. PLC dostává údaje o hladinách z výpočetní jednotky, do které jsou vedeny všechny sondy v jednotlivých násypkách. Data jsou normalizována na rozsah 0 až 1 a pro účely zobrazení převedena na procenta. Tento převod probíhá přímo v hlavním programu, mimo hlavní řídicí strukturu CASE. I přestože tlačítko CentralSTOP je analogový vstup, pro otestování správné funkčnosti bylo přidáno do vizualizaci v podobě červeného tlačítka STOP.

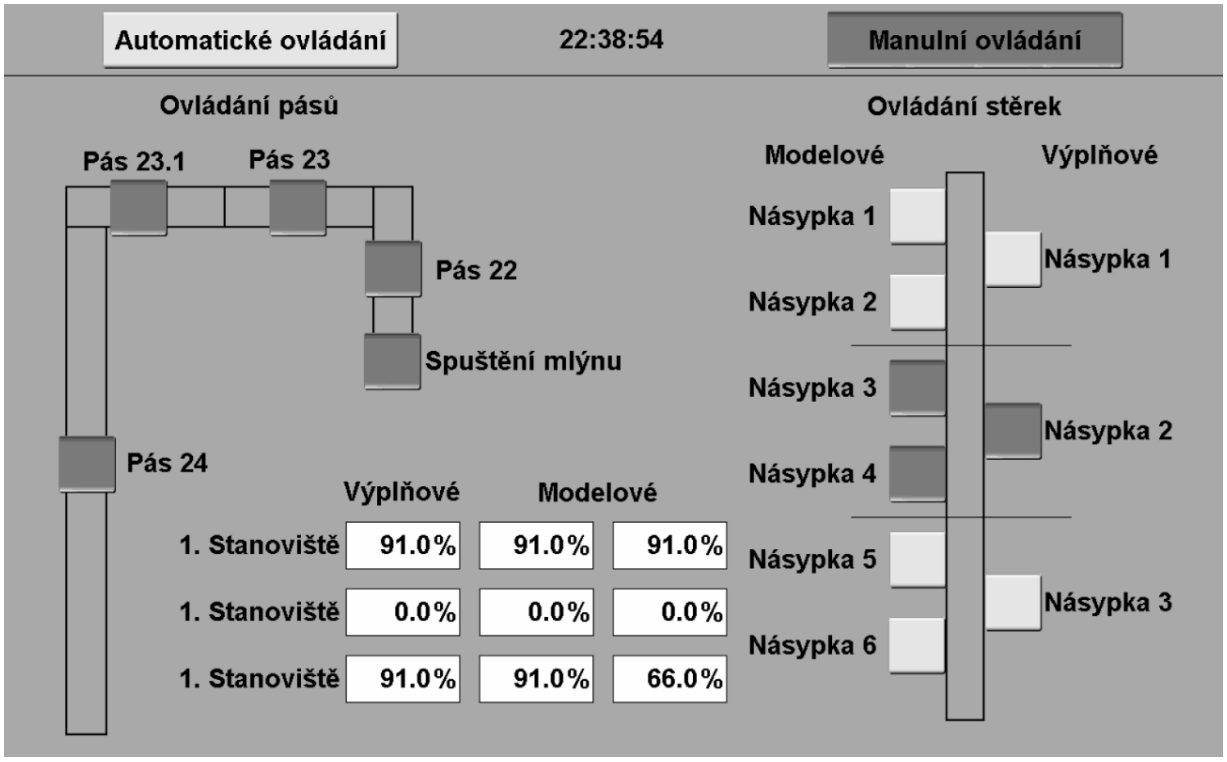
Pro spuštění plnění obsluha stlačí tlačítko Modelová směs nebo Výplňová směs, po dokončení doplnění směsí se hodnota tlačítka nastaví na 0 (FALSE). Spuštěný cyklus plnění indikuje stlačené tlačítko, které změní barvu na tmavě šedou. Tlačítko pro odstavení stanoviště nabývá hodnoty 1 (TRUE) a je stisknuto, dokud není obsluhou vypnuto. Dokončený cyklus plnění jej nedeaktivuje. V pravém rohu stránky se nachází tlačítko pro přepnutí do manuálního ovládání, které znemožní spuštění plnícího cyklu. Vizualizaci stránky pro automatické ovládání můžeme vidět na obrázku (obr. 34).



Obr. 34: Vizualizace automatické ovládání

Stránka manuálního ovládání slouží k přímému řízení vybraných částí technologie, konkrétně pásových dopravníků, stěrek a mlýnu. Po přepnutí do tohoto režimu jsou automatické řídicí funkce dočasně nahrazeny manuálním ovládáním. Po dobu aktivace manuálního režimu jsou výstupy řízeny výhradně podle vstupů od obsluhy prostřednictvím přepínacích tlačítek, která jsou v rozhraní dostupná pro každé zařízení zvlášť. Jakmile je manuální režim ukončen, řídicí logika se automaticky vrací do původního stavu a veškeré výstupy jsou uvedeny do výchozího nastavení. Současně dochází k resetu stavových proměnných z vizualizace, aby nedocházelo k opětovnému nechtěnému spuštění výstupních prvků. Při realizaci vizualizace byl kladen velký důraz na intuitivnost a zároveň bezpečnost při ovládání částí soustavy. Stejně jako na předchozí stránce vizualizace jsou i zde zobrazeny hladiny násypek pro případ, že bude potřeba ručně přerozdělit směs na pásech. Vizualizaci této stránky pro manuální ovládání vidíme na obrázku (obr. 35).

Pro zajištění správného návratu systému do výchozího stavu po ukončení manuálního režimu byl vytvořen samostatný blok kódu, který resetuje veškeré ovládací proměnné z vizualizace, čímž se zabrání opětovnému spuštění výstupů v následujícím cyklu. To zajišťuje bezpečnost a přehlednost v ovládání zařízení. Navržená vizualizace tak tvoří jednoduché intuitivní uživatelské rozhraní, které obsluze umožňuje nejen ovládat technologii, ale zároveň získávat důležité provozní informace v reálném čase.



Obr. 35: Vizualizace manuálního ovládání

6 ODHAD NÁKLADŮ A UŠETŘENÝCH ZTRÁT

Kapitola je zaměřena na odhad pořizovacích nákladů všech vylepšení pro automatizaci dopravníkového systému a plnění formířských násypek. Konkrétně se bude jednat o cenu nového PLC s přídavnými kartami, novými ultrazvukovými sondami a jejich výpočetní jednotkou. Následně budou odhadnuty ztráty, které vznikají dosavadním druhem řízení při přepínání plnění z jednoho formířského stanoviště na druhé.

6.1 Odhad nákladů pro implementaci vylepšení

Cenu PLC a jeho jednotlivých komponent nelze určit přesně, jelikož výrobce ceny v katalozích neuvádí, nýbrž jsou ceny stanoveny individuálně na základě poptávky a požadovaného množství zboží. Proto byly ceny vzaty z nabídek překupníků (na internetu). Ceny tak mohou být výrazně vyšší než skutečné ceny od výrobce, pro hrubý odhad však postačí. Cena displeje pro vizualizaci byla převzata z eBay, kde byla nalezena její nejnižší prodejní cena. Nákupní ceny ultrazvukových sond a výpočetní jednotky byly poskytnuty firmou Endress+Hauser.

Finální součet cen a jejich množství pro implementaci vylepšení můžeme vidět v tabulce (tab. 4). Do výpočtu nákladu nebyla zahrnuta cena kabeláže a práce zaměstnanců, kteří by uvedli celý stroj do chodu. Cena za práci programátora, který by celý systém plnění naprogramoval, taktéž není uvedena.

Náklady nových komponent pro vylepšení v praxi mnohdy činí polovinu nákladů na realizaci. Tudíž hrubý odhad modernizace by činil 500.000 Kč.

Tab. 4: Výpis a ceny jednotlivých vylepšení

Název	Model	Počet kusů	Cena s DPH
PLC	X20CP0483	1	28.000 Kč
Napájecí karta	X20PS9600	1	1.867 Kč
Karta digitálních vstupů	X20DI9371	1	2.000 Kč
Karta digitálních výstupů	X20DO8332	2	4.000 Kč
Karta PROFIBUS Master	X20IF1061-1	1	11.000 Kč
Displej pro vizualizaci	5AP1130.101E-000	1	41.812 Kč
Ultrazvuková sonda Prosonic	FDU91	9	91.128 Kč
Výpočetní jednotka Prosonic	FMU95	1	71.761 Kč
Celkový počet kusů pro vylepšení a jejich cena		17	251.568 Kč

6.2 Odhad ušetřených ztrát

Všechny doposud vznikající ztráty jsou způsobeny automatickým doplňováním. Obsluha, než spustí plnění směsí, navolí všechny násypky, které se mají plnit. Příkazová karta si někdy pamatuje postupnost navolení násypek a v některých případech k tomu nedojde. Tudíž dochází k náhodnému plnění všech násypek, při kterém se nemůže docílit správného bezeztrátového plnění. Dalším faktorem je schopnost obsluhy ovládat řídící stěnu Simpsonu tak, aby ona v dané situaci dokázala zabránit ztrátám formířské směsi. Lidský faktor nelze dokonale zaimplementovat do výpočtu. Ve výpočtu se usuzuje, že obsluha bude dělat chyby, které zapříčiní největší možné ztráty materiálu.

Pro výpočet není možné přesně odhadnout chod automatického plnění za jednu směnu. Z tohoto důvodu je počítána maximální možná ztráta za měsíc únor 2025, kde bylo odpracováno 20 pracovních dnů na všech formířských stanovištích. Je předpokládáno, že obsluha plní jednotlivé násypky od 3. po 1. stanoviště. Při tomto plnícím cyklu vzniká nejvíce ztrát.

Dále nelze přesně odhadnout možné úniky směsi pod jednotlivými stěrkami, které nedokonale leží na celé šířce pásu. Další problém pro výpočet ztrát vzniká po stisknutí tlačítka CentralSTOP. Přestože je nová funkce programu CentralSTOP optimalizována pro minimální ztráty směsí, tak může docházet ke ztrátám podle toho, kdy bylo tlačítko stisknuto a cyklus plnění se ukončil. Oba tyto jevy nebudou zahrnuty v následujících odhadech.

Tab. 5: Cena směsí a počty plnících cyklů

Směsi	Cena za 1 kg	Počet plnění za směnu
Modelová	1,44 Kč	7 - 10
Výplňová	0,14 Kč	15 - 20

Pro následující výpočty volíme z tabulky (tab. 5) počty plnících cyklů za směnu pro modelovou směs 10x a pro formovací směs 20x. Dále bylo vypočítáno, že množství směsi na jednom metru dopravníkového pásu je 10,4 kg.

Tab. 6: Výpočet množství ztrátových metrů pásu a jejich vyčíslení

Cyklus pro	Délka nevyužitých pásů výplňové směsi	Vyčíslení spuštění cyklu plnění	Délka nevyužitých pásů modelovací směsi	Vyčíslení spuštění cyklu plnění
Plnění 3 stanovišť	18,8 m	27 Kč	26,8 m	401 Kč
Plnění 2 stanovišť	9,4 m	14 Kč	16,2 m	243 Kč
Plnění 1 stanoviště	0 m	0 Kč	6 m	84 Kč
Celkový součet	28,2 m	41 Kč	48,6 m	728 Kč

V tabulce (tab. 6) můžeme vidět počty metrů pásu, které nebudou využity při jednotlivém druhu plnícího cyklu. Ztrátové metry vznikají mezi násypkami v momentě, kdy obsluha přepíná plnění ze vzdálenější násypky od velínu na bližší násypku. Pro cyklus plnění jednoho stanoviště činí ztrátové metry pásu pro formovací směs nula z důvodu jiného stylu plnění. Obsluha při tomto cyklu plnění čeká na signál od spodní sondy, která je v daný moment zasypána a poté hned vypne mlýn a všechna směs z pásů spadne do násypky. Tudíž nevznikají žádné ztráty.

Tab. 7: Finální odhad za únor

Formovací směsi	Cena ztrát za průměrný den	Cena ztrát za průměrný měsíc
Modelová	4.014 Kč	80.271 Kč
Výplňová	547 Kč	10.949 Kč
Celkový součet	4.561 Kč	91.220 Kč
Optimistický odhad ceny ztrát		45.610 Kč
Pesimistický odhad ceny ztrát		68.415 Kč

Celkové maximální možné ztráty za únor 2025 činí 91.220 Kč, jak můžeme vidět v tabulce (tab. 7). Tato hodnota je pouhým odhadem reálné částky. Z tohoto důvodu byl výsledek vynásoben koeficientem pro optimistický a pesimistický odhad výsledné ceny ztrát. Optimistický koeficient činní 0.5 a pesimistický 0.75. Jak bylo dříve zmíněno, nemůžeme přesně odhadnout, zda příkazové karty budou správně fungovat a obsluha bude správně ovládat cykly plnění. Avšak tento odhad by se měl maximálně přiblížit reálné ceně za všechny ztráty v měsíci únor.

6.3 Zhodnocení výsledků

Z výsledků uvedených v předchozích částech kapitoly je patrné, že investice do nového řídicího systému s možností automatizovaného plnění a snímání hladin jednotlivých násypek může vést k významným úsporám materiálu. Odhad ukázal, že ztráty vznikající při ručním řízení plnění mohou dosahovat při pesimistickém odhadu až 68.415 Kč měsíčně.

Při zohlednění pořizovacích nákladů ultrazvukových sond, výpočetní jednotky a nové řídící jednotky PLC se může předpokládat velmi rychlá návratnost počáteční investice činící 251.568 Kč. Přestože byly výpočty založeny na zjednodušených předpokladech a maximálních možných ztrátách, ukazují reálný potenciál optimalizace procesu.

Je důležité zdůraznit, že skutečné úspory mohou být v praxi nižší v závislosti na chování obsluhy, přesnosti výpočtových jednotek a provozních podmínkách. Nicméně i orientační výsledky naznačují, že implementace navrženého systému je ekonomicky výhodná a z pohledu provozu přináší větší přehlednost, bezpečnost a efektivitu.

7 ZÁVĚR

Předložená bakalářská práce se zabývala návrhem, tvorbou a simulačním ověřením řídicího systému pro distribuci formovacích směsí s využitím programovatelného logického automatu (PLC) od společnosti B&R Automation. Vytvořené řešení bylo inspirováno reálným systémem ve společnosti UNEX, Slévárna s.r.o. v Uničově. Hlavním cílem práce bylo navrhnout moderní a spolehlivý řídicí systém, který by mohl nahradit zastaralé příkazové karty a přispět k minimalizaci ztrát vznikajících během plnění formířských násypek.

Během návrhu byl kladen důraz na logiku řízení, bezpečnost provozu, snížení provozních ztrát, optimalizaci nákladů a snahu o co největší přiblížení se reálné implementaci celého řešení. Řídicí program byl navržen v jazyce strukturovaný text v prostředí Automation Studio. Při implementaci byly zohledněny různé provozní režimy v souladu s požadavky vedoucího střediska. Mezi klíčové implementované funkce patří automatický cyklus, režim zastavení CentralSTOP a samostatný manuální režim určený pro servisní zásahy a testování komponent. Funkčnost programu byla ověřena prostřednictvím simulačního testování v rámci vývojového prostředí. Nedílnou součástí řešení se stala také vizualizace procesu na dotykovém displeji. Tato vizualizace umožňuje sledování okamžité hladiny v násypkách v reálném čase. Obsluha prostřednictvím ní může odstavit jednotlivá stanoviště, zvolit plnění směsí a přepínat do manuálního módu, v němž je možné ovládat jednotlivé části řízené soustavy.

Součástí práce byl rovněž orientační odhad ekonomické návratnosti investice do nového systému. Výsledky analýzy naznačily, že v případě plného nasazení nového řízení může být návratnost velmi příznivá, zejména díky výraznému snížení ztrát formovací směsi. Je však nutné zdůraznit, že prezentovaný výpočet představuje pouze hrubý odhad, neboť nezahrnuje veškeré proměnné, z nichž některé nelze v této fázi přesně vyčíslit či byly pro zjednodušení z výpočtu vypuštěny.

Z pohledu provozního nasazení a budoucí udržitelnosti lze konstatovat, že navržené řešení představuje moderní a flexibilní přístup, který má potenciál přispět k celkové efektivitě řízeného technologického procesu. Očekávaným přínosem implementace podobného systému je především úspora energií a formovacích směsí, snížení četnosti poruch a eliminace souvisejících výrobních odstávek, které v ojedinělých případech mohou trvat i několik dnů.

Potenciální směry dalšího rozvoje tohoto systému zahrnují například rozšíření o webový přístup k vizualizaci. Do programu a vizualizace by mohla být integrována správa mlýnu. Rovněž by bylo možné zvážit propojení s databází pro sledování historie plnění a další analýzy.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] GAJDŮŠEK, Jaroslav a Miroslav ŠKOPÁN. Teorie dopravních a manipulačních zařízení. Brno: Vysoké učení technické, 1988.

[2] DRAŽAN, František. Teorie a stavba dopravníků: určeno pro stud. fakulta strojní. Praha: ČVUT, 1983.

[3] ČSN 26 0002. Manipulace s materiálem. Praha: Český normalizační institut, květen 1983. 24 s.

[4] BIGOŠ, P., KULKA, J., KOPAS, M., MANTIČ, M. Teória a stavba zdvíhacích a dopravných zariadení. Vyd. 1. Košice: TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2012, 356 s. Edícia vedeckej a odbornej literatúry (Technická univerzita v Košiciach). ISBN 978-80- 553-1187-6.

[5] RAČEK, Jiří. *Strojní prvky a systémy*. Brno: VUT, 1992. ISBN 80-214-0380-2.

[6] WIKIPEDIE, Přispěvatelé. *Válečkový dopravník*. Online. In: Wikipedie: Otevřená encyklopedie. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%A1le%C4%8Dkov%C3%BD_dopravn%C3%ADk. [cit. 2025-01-21].

[7] PAŠTĚKA, Michal. *Redlery*. Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2014.

[8] AUTOR, Nenalezený. *Clipart tagged: 'bucket elevator'*. Online. ClipArt ETC. Dostupné z: https://etc.usf.edu/clipart/keyword/bucket-elevator. [cit. 2025-01-21].

[9] B&R automatizace spol. s.r.o. *Track systems*. Online. B. Dostupné z: https://www.br-automation.com/. [cit. 2025-01-26].

[10] *ACOPOStrak – User's manual*. Eggelsberg, Rakousko, 2024. Dostupné také z: https://www.br-automation.com/cs/produkty/track-systems/acopostrak/.

[11] *SuperTrak Modular Transport System - Operation and Maintenance Manual*. Eggelsberg, Rakousko, 2024. Dostupné také z: https://www.br-automation.com/cs/ke-stazeni/#fullText=SuperTrak.

[12] B&R automatizace spol. s.r.o. *ACOPOS 6D*. Online. B. Dostupné z: https://www.br-automation.com/. [cit. 2025-01-22].

[13] ZEZULKA, František; BRADÁČ, Zdeněk; FIEDLER, Petr; KUČERA, Pavel a ŠTOHL, Radek. *Programovatelné automaty*. Učební text. Brno: VUT FEKT, 2003.

[14] ŠVARC, Ivan. *Základy automatizace*. Učební text. Brno: VUT FSI, 2002.

[15] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. ČSN EN 61131-3, *Programovatelné řídicí jednotky – Část 3: Programovací jazyky*. 2016.

[16] KREJČÍ, Jan. *Retrofit/digitální řízení CNC manuální vrtačkofrézky BF20L*. Bakalářská práce. Brno: VUT FEKT, 2019.

[17] AUTOR, Nenalezený. *Programovací jazyky pro PLC*. Online. Nenalezený vydavatel. Dostupné z: https://coptel.cz/mod/page/view.php?id=7301. [cit. 2025-02-16].

[18] Siemens, s.r.o. *Nejrychlejší řídicí systém pro automatizaci*. Online. Siemens Česká republika. Dostupné z: https://www.siemens.com/cz/cs/products/automation/systems/industrial/plc/simatic-s7-1500.html. [cit. 2025-02-11].

[19] Rockwell Automation, Inc. *ControlLogix 5580 Controllers*. Online. Rockwell Automation. Dostupné z: https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/hardware/allen-bradley/programmable-controllers/large-controllers/controllogix/1756controllogix5580.html. [cit. 2025-02-11].

[20] Schneider Electric Česká republika, s.r.o. *Modicon M262*. Online. Schneider Electric Česká Republika. Dostupné z: https://www.se.com/cz/cs/product-range/65771-modicon-m262/. [cit. 2025-02-11].

[21] Mitsubishi Electric Česká republika, s.r.o. *Série MELSEC iQ-R*. Online. MELSEC iQ-R Series - Mitsubishi Electric Factory Automation - Czech. Dostupné z: https://cz.mitsubishielectric.com/fa/products/cnt/plc/plcr. [cit. 2025-02-11].

[22] B&R automatizace spol. s.r.o. *Systém X20*. Online. B. Dostupné z: https://www.br-automation.com/. [cit. 2025-02-11].

[23] ENDRESS+HAUSER. *Prosonic S FDU91*. 2021. Dostupné také z: https://bdih-download.endress.com/files/DLA/005056A500261EEC96FF8CE853CE14B4/TI01470FCS_0221-00.pdf.

[24] ENDRESS+HAUSER. *Prosonic S FMU95*. 2021. Dostupné také z: https://bdih-download.endress.com/files/DLA/005056A500261EEBAFA63C324E1313C9/TI00398FEN_1921.pdf.

[25] B&R automatizace spol. s.r.o. *5AP1130.101E-000*. Online. B. Dostupné z: https://www.br-automation.com/. [cit. 2025-04-28].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Schéma pásového dopravníku ... 12
Obr. 2: Schéma šnekového dopravníku ... 13
Obr. 3: Nepoháněný válečkový dopravník ... 14
Obr. 4: Schéma redleru ... 15
Obr. 5: Druhy korečkových elevátorů ... 16
Obr. 6: Schéma ACOPOStrak ... 17
Obr. 7: Dráha zařízení SuperTrak ... 18
Obr. 8: Modifikace ACOPOS 6D ... 19
Obr. 9: Příklad seznamu instrukcí (IL) ... 21
Obr. 10: Znázornění programování ve strukturovaném textu ... 22
Obr. 11: Příklad schéma příčkového diagramu ... 22
Obr. 12: Příklad schéma zapsaného ve funkčním blokovém schématu ... 23
Obr. 13: Příklad sekvenčního funkčního schéma ... 24
Obr. 14: Blokové schéma standardního modulárního PLC ... 25
Obr. 15: Siemens SIMATIC S7-1500 ... 26
Obr. 16: Rockwell Automation ControlLogix 5580 ... 26
Obr. 17: Schneider Electric Modicon M262 ... 27
Obr. 18: Mitsubishi Electric MELSEC iO-R ... 28
Obr. 19: B&R Systém X20 ... 28
Obr. 20: Příkazová elektronická karta řídící Simpson ... 29
Obr. 21: Ovládací stěna Simpsonu ... 30
Obr. 22: Schéma rozložení strojní formovny ... 30
Obr. 23: Zvýrazněná řízená část strojní formovny ... 31
Obr. 24: Soustava pásových dopravníků s popisky ... 32
Obr. 25: Schéma rozložení násypek na strojní formovně ... 33
Obr. 26: Zvolené PLC od B&R ... 34
Obr. 27: Rozložení sond v násypkách ... 35
Obr. 28: Ultrazvuková sonda Time-of-Flight Prosonic FDU91 ... 36
Obr. 29: Převodník Prosonic FMU95 ... 37
Obr. 30: Displej 5AP1130.101E-000 ... 37
Obr. 31: Vývojový diagram hlavního program ... 40
Obr. 32: Vývojový diagram plnícího cyklu ... 42
Obr. 33: Vývojový diagram tlačítka CentralSTOP ... 44
Obr. 34: Vizualizace automatické ovládání ... 45
Obr. 35: Vizualizace manuálního ovládání ... 46

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Výpis analogových vstupů 39
Tab. 2: Výpis digitálních vstupů 39
Tab. 3: Výpis digitálních výstupů 39
Tab. 4: Výpis a ceny jednotlivých vylepšení 47
Tab. 5: Cena směsí a počty plnících cyklů 48
Tab. 6: Výpočet množství ztrátových metrů pásu a jejich vyčíslení 48
Tab. 7: Finální odhad za únor 49

SEZNAM ELEKTRONICKÝCH PŘÍLOH

Vypracování programu (ZIP)
Simulace programu (RAR)