České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Diplomová práce

Řízení navíječky papírového pásu

Marcel Koperniech

Vedoucí práce: doc. Ing. Ján Bílek, CSc.

Magisterský studijní program: Elektrotechnika a informatika M2612/2246

Obor: Technická Kybernetika

Květen 2007

České vysoké učení technické v Praze - Fakulta elektrotechnická

Katedra řídicí techniky *Školní rok:* 2005/2006

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: Marcel Koperniech

Obor: Technická kybernetika

Název tématu: Navíječka papírového pásu

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s funkcí navíječky papírového pásu a možnostmi jejího řízení.
2. Navrhněte vhodný HW pro modernizaci řízení navíječky.
3. Navrhněte řídicí program pro řízení modernizované navíječky.
4. Zhodnoťte dosažené výsledky modernizace.

Seznam odborné literatury: Dodá vedoucí práce.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jan Bílek, CSc.

Termín zadání diplomové práce: letní semestr 2005/2006

Termín odevzdání diplomové práce: květen 2007

prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.
vedoucí katedry

L.S.
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta elektrotechnická
-4-

v zast.
prof. Ing. Zbyněk Škvor, CSc.
děkan

V Praze dne 31.05.2006

Poďakovanie:

Týmto by som chcel poďakovať firme SoftDeC, spol. s.r.o. za sprostredkovanie diplomovej práce, pracovníkom firmy Papír-Novák za dôležité pripomienky k navrhovanému riešeniu a v neposlednom rade vedúcemu diplomovej práce doc. Ing. Ján Bílkovi, CSc. za cenné rady .

***Prehlásenie*:**

Prehlasujem, že sem svoju diplomovú prácu vypracoval samostatne a použil sem iba podklady (literatúru, projekty, SW atd.) uvedené v priloženom zozname.

V Prahe dňa 25. 5. 2007 .....

Abstract

The aim of the thesis is to modernize winding machine, made by Jagenberg, using for paper processing in Papír-Novák LTD. in Strádonice. With modernize of the machine we expect simplify of work for operator, rise of productivity, acquire higher survey of production with process data acquisition, and increase of security of work with machine.

Modernize inculde replacement of old controlling of gearing between winding role and tightening role, by the aim of speed variator, with more modern controlling by the aim of frequency inverters with optional cards connected to PLC, and implementation of all controlling components (breaks controller, thrust controller etc.), to PLC.

A part of this thesis is also controlling application for PLC, application for touch panel and for setting parameters of frequency inverters.

Abstrakt

Cieľom tejto práce je zmodernizovať navíjačku papierového pásu,od výrobcu Jagenberg, používanú na spracovanie papiera, vo firme Papír -Novák , spol. s.r.o. Strádonice. Zmodernizovaním stroja sa má zjednodušiť práca pre obsluhu, zvýšit produktivita výroby, získať väčší prehľad nad výrobou, ukladaním výrobných dát a v neposlednom rade, zvýšiť bezpečnosť práce na navíjačke

Modernizácia spočíva v nahradení starého spôsobu riadenia prevodu otáčok medzi navíjacím valcom a uťahovacím valcom pomocou variátoru , modernejším riadením prevodu pomocou frekvenčných meničov a ich voliteľných kariet, prepojených s PLC, a zavedením všetkých riadiacich prvkov (regulátor brzdy, regulátor prítlaku atd.), do PLC.

Súčasťou práce je tiež riadiaci program pre PLC, program pre dotykový terminál, a program pre nastavenie parametrov frekvenčných meničov

Obsah

Poďakovanie: ... iii
Abstract ... vi
Abstrakt ... vi
Zoznam obrázkov ... ix
1. Úvod ... 1
2. Popis navíjačky papierového pásu ... 2
2.1. Popis procesu prevíjania papieru ... 2
2.1.1. Zavádzanie papiera ... 4
2.1.2. Brzdenie odvíjanej role ... 4
2.1.3 Navíjanie papiera ... 4
2.1.4. Vykladanie role ... 5
2.2 Popis jednotlivých zariadení navíjačky Jagenberg ... 5
2.2.1. Zakladač cievky ... 5
2.2.2. Brzda odvíjanej cievky ... 7
2.2.3. Navíjač cievky papiera ... 10
2.2.4. Vykladač navinutej role ... 12
2.3. Možnosti riadenia navíjačky ... 12
2.3.1. Regulácia napnutia papiera brzdením ... 13
2.3.2. Regulácia pohonov navíjača ... 14
2.3.3. Riadiaci systém ... 16
3. Návrh riadenia navíjačky Jagenberg ... 17
3.1. Návrh spôsobu riadenia navíjačky ... 17
3.1.1. Riadenie zakladača ... 17
3.1.2. Riadenie brzdy odvíjanej role ... 18
3.1.3 Riadenie navíjania ... 21
3.1.4 Riadenie vykladania navinutej role ... 27
3.2. Požiadavky na užívateľské rozhranie ... 29
3.3. Hardwarová inštrumentácia pre riadenie navíjačky ... 31
3.3.2. Návrh pohonov a frekvenčných meničov ... 33
3.3.3. Návrh riadiacej jednotky ... 36
3.3.4. Návrh HMI ... 53
3.4. Návrh riadiaceho softwaru ... 55
3.4.2 Riadiaci program ... 56
3.5. Vizualizácia ... 66
4. Záver ... 74
5 .Slovník použitých termínov a skratiek ... 76
6. Použitá literatúra a zdroje ... 77
Príloha A ... I
Príloha B ... VIII
Príloha C ... XII

Zoznam obrázkov

Obr. 1 Stavový diagram procesu navíjania 3
Obr. 2 Závesný ovládací terminál 6
Obr. 3 Upínacie puzdro na osi zakladača 6
Obr. 4 Upnutie cievky papiera,upínacím púzdrom 7
Obr. 5 . Konštrukcia brzdy 7
Obr. 6 Brzdový kotúč s brzdovými strmeňmi 8
Obr. 7 Spojenie upínacieho puzdra, ložiska a brzdy 8
Obr. 8 Meracie puzdra tenzometrov použitých na navíjačke Jagenberg 9
Obr. 9 Príklad zapojenia regulačného obvodu brzdného účinku 9
Obr. 10 Uloženie navíjanej cievky na navíjacích valcoch 10
Obr. 11 Rezacie nože 11
Obr. 12 Uchytenie navíjanej cievky 11
Obr. 13 Vykulovacie zariadenie 12
Obr. 14 Skalárne riadenie asynchrónneho motoru v uzavretej slučke 15
Obr. 15 Prechodová charakteristika regulovanej sústavy 19
Obr. 16 Príklady nastavenia priamky pritláčania papieru 22
Obr. 17 Pritlačný valec a indukčne snímače: 23
Obr. 18 Princíp kontroly bočného uchádzania a bokorys 24
Obr. 19 Príklady krivky uťahovania 25
Obr. 20 Systém merania odvíjanej role 26
Obr. 21 Rozdelenie frekvenčných meničov v závislosti na výkone a funkcionalite 34
Obr. 22 Zapojenie frekvenčných meničov pomocou prídavných kariet PG-X2 a PG-Z2 36
Obr. 23 Princíp činnosti karty PG-Z2 36
Obr. 24 Postup pri voľbe procesorovej rady 37
Obr. 25 Procesorová séria CJ1 38
Obr. 26 Procesorová jednotka CJ1M-CPU-22 40
Obr. 27 Vstupný konektor pre procesorovej jednotky CPU-22 40
Obr. 28 Zapojenie inkrementálneho snímača pre určenie smeru porovnávaním fáze, a priebehy signálov 41
Obr. 29 Zapojenie inkrementálneho snímača pre metódu určovania smeru Up & Down a priebehy signálov 42
Obr. 30 Zapojenie inkrementálneho snímača pre metódu určovania smeru Pulz & Smer a priebehy signálov 42
Obr. 31 Prerušenie, prerušovacia úloha 43
Obr. 32 Softwarová konzola pre nastavenie vstavaných I/O funkcii 44
Obr. 33 Komunikačná jednotka CJ1W-SCU41-V1 46
Obr. 34 Rozloženie pinov na sériovom porte 46
Obr. 35 Jednotka rýchlych čítačov CJ1W-CTL-41-E 49
Obr. 36 40-PINový vstupný konektor jednotky CTL41-E 50
Obr. 37 Výstupná analógová jednotka CJ1W-DA041 52
Obr. 38Architektúra riadiaceho programu 56
Obr. 39 Algoritmus sekcie Brzdeni 60
Obr. 40 Algoritmus spúštania pohonov 61
Obr. 41 Algoritmus zmeny rýchlosti 61
Obr. 42 Algoritmus nabehávania na požadovanú rýchlosť 62
Obr. 43 Algoritmus zastavovania 62

Obr. 44 Kontrolné slovo C1 inštrukcie PMCR 64
Obr. 45 Hlavná obrazovka 67
Obr. 46 Obrazovka: Brzdeni 68
Obr. 47 Obrazovka: Utahovani 68
Obr. 48 Obrazovka: Nadlehcovani 69
Obr. 49 Obrazovka: Nastaveni Ramp 69
Obr. 50 Obrazovka: Štatistiky 70
Obr. 51 Obrazovka: Zavadeni 71
Obr. 52 Obrazovka: Vykuleni 71
Obr. 53 Obrazovka: Alarmy 72
Obr. 54 Obrazovka: Diagnostika 73
Obr. 55 Obrazovka: Nastaveni limitu 73

1. Úvod

V súčasnej dobe, s príchodom nových technológií v riadiacej technike, v oblasti poskytovaného riadiaceho softwaru a hardwaru, sa otvárajú nové možnosti v oblasti riadenia technologických procesov. To má za následok automatizáciu dnes už väčšiny výrobných procesov v akomkoľvek odvetví priemyslu, vrátane papierenského. Automatizovaním procesov sa zvyšuje produktivita výroby a tým pádom sa znižujú výrobné náklady. Nezanedbateľným výsledkom automatizovanej prevádzky je aj zníženie chybovosti výrobkov, ktorá je často zapríčinená ľudským faktorom. Automatizácia dnes už zasahuje aj do menších výrobných podnikov, ako je firma *Papír-Novák spol. s.r.o.* v Strádoniciach

Navíjanie papiera sa používa v papierenskom priemysle na spracovanie papiera. Papier je možné na navíjačke previnúť tak, aby previnutá rola mala požadované utiahnutie papiera pre tlačiareň. Ďalšie dôvody používania navíjačiek, sú požiadavky navíjať papier o požadovanej dĺžky, požadovaného priemeru, požadovanej šírky. K tomuto účelu slúžia rezacie nože na rezacom valci, a stranové zarovnávanie navinutého papieru. Cieľom firmy *Papír-Novák* je pomocou navíjačky prevádzať všetky spomenuté úkony.

Firma *Papír-Novák* disponovala od roku 2002 starou navíjačkou vyrobenou nemeckou firmou *Jagenberg*. Keďže bola vyrobená ešte začiatkom sedemdesiatych rokov, bola v dnešnej dobe už značne zastaralá, a nedokázala už splňovať vysoké nároky na kvalitu prevíjania papieru. Regulácia pohonu bola realizovaná pomocou mechanického variátoru, na ktorom už bolo citeľne poznať dobu jeho používania a jeho technický stav spôsobený opotrebovaním už dosiahol kritického stupňa. Bolo teda treba stávajúci variátor nahradiť novým spôsobom regulácie pohonov. Vďaka dnešným možnostiam, ktoré nám ponúkajú výrobcovia riadiacich a automatizačných systémov sa javí ako najvýhodnejšia voľba pre reguláciu pohonov použitie frekvenčných meničov.

Požiadavky na kvalitu spracovaného papieru, pre jeho ďalšie spracovanie v tlačiarenských a iných strojoch vedú konštruktérov navíjačiek k riešeniam s cieľom dosiahnuť:

1. Čo najlepšieho utiahnutia navinutého papiera
2. Čo najlepšieho napnutia papiera
3. Čo najlepšieho obvodového pritlačenia papiera
4. Čo najlepšieho stranového zarovnania papiera
5. Čo najpresnejšie odmeriavanie dĺžok a priemerov navinutého papiera
6. Zabezpečiť odťah odrezaného papiera

Cieľom tejto práce je zoznámiť sa s funkciou navíjačky papierového pásu a navrhnúť vhodný spôsob riadenia používanej navíjačky Jagenberg. Systém by mal splňať všetky hore uvedené požiadavky a vyžadovať minimálny zásah obsluhy do výrobného procesu. Riadiaci systém by mal tiež zahrnovať vizualizáciu celého výrobného procesu, s ohľadom na správnosť procesu, detekovanie chybových stavov a zber štatistických dát o výrobe.

Pri návrhu riadenia navíjačky je potrebné brať ohľad aj na finančné obmedzenia zadávateľa zákazky.

Na základe týchto požiadaviek bolo najvýhodnejšie navrhnúť riadenie pomocou jedného PLC od firmy OMRON, s komunikačnou jednotkou pre komunikáciu po RS – 422/485 , s jedným AD prevodníkom, jedným DA prevodníkom šiestimi vstupmi pre rýchle čítače, s troma vstupnými a dvoma výstupnými šestnásť bitovými digitálnymi jednotkami.

Na navíjačke je potreba regulovať celkom sedem pohonov. Pre reguláciu pohonov bolo navrhnuté použitie frekvenčných meničov rôznych rád, podľa druhu použitia, od firmy OMRON. Meniče sú pripojené na PLC pomocou RS – 485.

Všetky akčné členy a snímače sú pripojené na PLC pomocou jednoduchého dvoj vodičového vedenia, teda bez použitia zberníc. Toto riešenie je zvolené z dôvodu úspory finančných prostriedkov a na základe relatívne nízkeho počtu vstupov a výstupov systému a v neposlednom rade s ohľadom na nízku rýchlosť celého procesu.

Táto práca je rozdelená do niekoľkých kapitol, ktoré postupne popisujú jednotlivé fázy realizácie práce. V kapitole 2 je popísaný výrobný proces prevíjania papieru aj s funkciou navíjačky a jej jednotlivých častí. V kapitole 3 je popísaný návrh riadenia, hardwaru potrebného k navrhnutému riadeniu, aj s jeho spôsobom použitia, a návrh softwaru potrebného k správnej funkčnosti navrhnutého zariadenia

Táto diplomová práca vznikla na základe zákazky zadanou firmou *Papír-Novák*, firme *SoftDeC spol. s.r.o.*

2. Popis navíjačky papierového pásu

K každom návrhu vhodného spôsobu riadenia, a vizualizácie celého procesu, je nutné dostatočne poznať riadenú technológiu a jednotlivé postupy. To platí aj pre prípad prevíjania papiera. Je potreba poznať jednotlivé technologické prvky navíjačky. Tak isto musíme poznať jednotlivé úlohy v celom procese navíjania

Informácie pre správny návrh riadiaceho systému pre navíjačku papiera v *Papír – Novák* sú uvedené v nasledujúcich podkapitolách.

2.1. Popis procesu prevíjania papieru

Prevíjanie alebo navíjanie papiera je jeden z procesov v papierenskom priemysle, bez ktorého by sa neobišla žiadna výroba a spracovanie papiera. Navíjačka slúži pre viac účelov. Podľa toho je navíjačka konštruovaná, buď ako *osová*, alebo ako o*bvodová*.

Navíjanie na osovej navíjačke je zabezpečované pomocou hnania osi navíjanej cievky. Navíjanie na obvodovej navíjačke, poháňaním navíjanej cievky po obvode, pomocou navíjacieho valca.

Firma *Papír - Novák* používa navíjačku k spracovaniu papiera pre jeho dalšie použitie, buď vo vlastnej tlačiarni, alebo pre použitie v iných papierenských závodoch.

2. Popis navíjačky papierového pásu

Možnosti spracovania papieru prevádzané vo firme *Papír – Novák* na navíjačke *Jagenberg*:

1. Prevíjanie papiera na požadovanú dĺžku
2. Prevíjanie papiera na požadovaný priemer role
3. Prevíjanie papiera na požadovanú šírku role
4. Prevíjanie papiera za účelom požadovaného utiahnutia papiera na cievku pre jeho ďalšie spracovanie v tlačiarni
5. Stranové zarovnávanie role

Aby bolo možné prevádzať hore uvedené úkony, musí byť použitá obvodová navíjačka, teda navíjačka, kde navíjanú rolu papiera poháňa hnací valec po obvode, v súčinnosti s druhým, takzvaným uťahovacím valcom a tretím, takzvaným rezacím valcom.

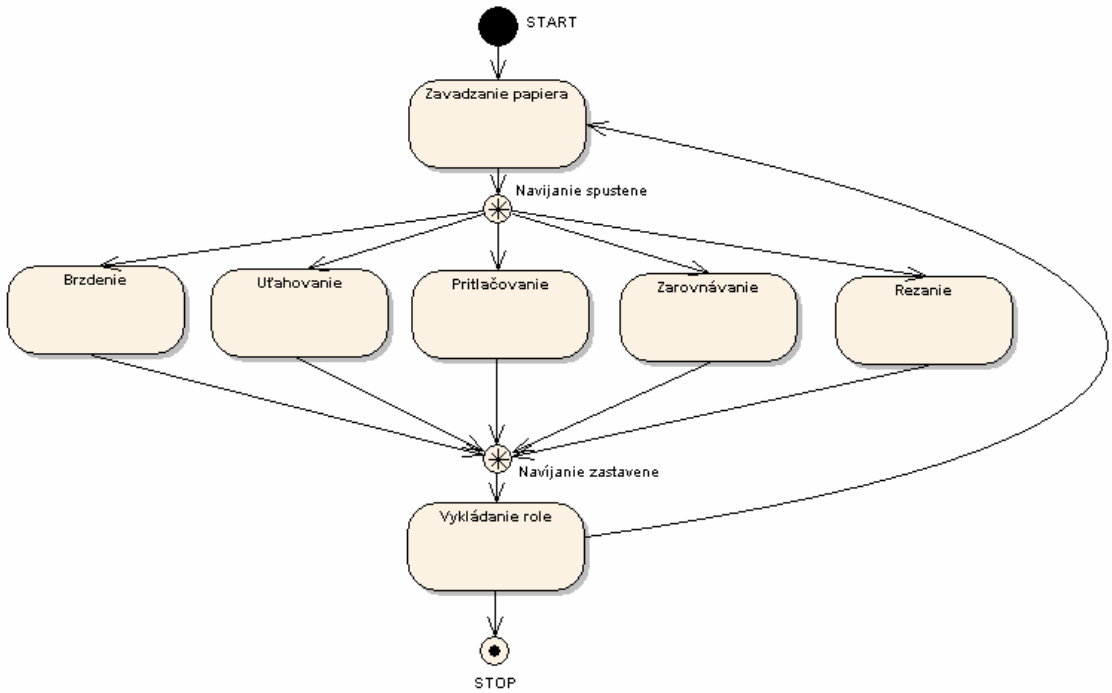
Celý proces navíjania sa skladá z jednotlivých úloh:

1. Zavádzanie papiera
2. Brzdenie odvíjanej role
3. Navíjanie papiera
4. Vykladanie navinutej role

Navíjanie sa navyše skladá z:

1. Pritlačovania papiera
2. Uťahovania papiera
3. Rezania papiera
4. Zarovnávania papiera

Na Obr. 1 je zobrazený stavový diagram procesu, zobrazujúci súčinnosť jednotlivých úloh



Obr. 1 Stavový diagram procesu navíjania

2.1.1. Zavádzanie papiera

Zavádzanie papiera je prvá úloha ktorá sa prevádza v procese navíjania. Je to činnosť pri ktorej dostávame na vstup rolu papiera, ktorú bude navíjačka prevíjaním ďalej spracovávať.

Pri zavadzaní, sa navíjaná rola musí dostať do voľného zavesenia, papier sa musí previesť cez snímače mechanického napätia, rezací valec, uťahovací valec a hnací valec až na dutinu, na ktorú bude papier navíjaný. Dutina je uchytená na navíjacom hriadeli a uložená na hnacom a uťahovacom valci.

2.1.2. Brzdenie odvíjanej role

Aby bol papier počas celej doby prevíjania požadovane napnutý je potrebné brzdiť odvíjanú rolu papiera. Požadované napnutie musí byť dodržiavané aj v momente zvyšovania a znižovania rýchlosti. Slabé napnutie papiera, by mohlo znehodnotiť navinutú rolu, čo by znamenalo finančnú a časovú stratu vo výrobnom procesu. Naopak, ak by bolo napnutie príliš silné, prevíjaný papier by sa mohol pretrhnúť

2.1.3 Navíjanie papiera

Navíjanie je hlavnou úlohou navíjačky. Počas nej sa papier z odvíjanej role dostáva na navíjanú cievku, ktorá je poháňaná regulovaným pohonom, resp. pohonmi.

Počas navíjania na obvodovej navíjačke musí byť zabezpečované optimálne tzv. uťahovanie papiera. Uťahovanie je veličina ktorá je udávaná v milimetroch na meter navinutého papiera. Udáva teda, o koľko obvodových milimetrov predbieha, resp. zaostáva uťahovací valec za hnacím, pri navinutí jedného metra papiera.

Aby bol navinutý papier po celom obvode rovnomerne pritlačený, musí sa počas navíjania obvodovo pritlačovať. To sa prevádza pomocou prítlačného valca. Je to valec uložený v ložiskách tak, aby sa mohol voľne otáčať okolo vlastnej osi. Jeho hmotnosť odpovedá maximálnemu pritlačeniu. Pri požiadavku slabšieho pritlačenia je valec väčšinou hydraulicky nadľahčovaný. Prítlačný valec musí zabezpečiť rovnomerne pritlačenie papieru počas celej doby navíjania a teda pri každom priemere navinutého papiera.

Pri navíjaní je dôležité odmeriavanie priemerov a dĺžok navíjaného papiera. V minulosti sa koncové priemery merali hlavne pomocou posuvného koncového spínača. Dnes sú možnosti na odmeriavanie priemerov podstatne širšie. Dĺžka navinutého papiera sa odmeriava, spôsobom odmeriavania vzdialenosti, teda najčastejšie pomocou počítadiel.

Aby sa na navinutej roli nevytvárali nezarovnané hrany, je potrebné hrany navíjanej role kontrolovať, v rozšírenejšom riešení aj zarovnávať nezarovnané hrany. Kontrola hrany sa môže kontrolovať viacerými možnostiam, zväčša pomocou rôznych optických snímačov.

Ak je navíjačka vybavená rezacím zariadením, môže sa toto zariadenie použiť počas úlohy navíjania. Z pravidla sa prevádza pomocou niekoľkých kotúčových nožov, hydraulický pritlačovaných k rezaciemu valcu, ktorým je vedený papier a je otáčaný rýchlosťou navíjacieho válca. Odrezaný papier je potrebné odvádzať, aby v okolí navíjačky neobmedzoval obsluhu a ďalšie zariadenia. Odvádzanie odrezaného papiera je realizované pomocou odťahových ventilátorov.

2.1.4. Vykladanie role

Posledná úloha v procese navíjania je vykladanie role. Obvodová navíjačka má rolu uloženú na oboch valcoch – hnacom a uťahovacom. Je potrebné cievku, ktorá má po navinutí relatívne vysokú hmotnosť, dostať z týchto valcov. Na to sa najčastejšie používajú hydraulické zariadenia, ktoré dokážu vyvinúť veľkú silu potrebnú na vytlačenie role. Po vytlačení sa rola pomocou zdvíhacej plošiny dostane mimo navíjačku a je pripravená k odvozu pre ďalšie spracovanie, zväčša na balenie a váženie.

2.2 Popis jednotlivých zariadení navíjačky Jagenberg

Hlavným prvkom navíjačky Jagenberg je navíjač ,ktorý zabezpečuje navinutie papiera tak, aby boli splnené všetky požiadavky na kvalitu procesu. Papier do navíjača je privádzaný od zakladača cievky. Na zakladači sú umiestnené dve hydraulické brzdy, ktoré brzdia odvíjanú cievku tak, aby bol papier požadovane napnutý. Po navinutí sa papier vykladá zo zariadenia pomocou vykladača navinutej role.

Parametre navíjaného a odvíjaného materiálu spracovaného navíjačkou sú znázornené v Tab. 1

Materiál:	papier, lepenka, kartón
Plošná hmotnosť:	20 - 350 gr/m2
Odvíjanie: - šírka: - priemer: - priemer dutinky:	 2200 mm max. 1500 mm max. 76,150 mm
Navíjanie: - šírka: - priemer: - priemer dutinky:	 2100 mm 1000 mm 76 mm

Tab. 1 Parametre materiálu spracovávaného navíjačkou Jagenberg

V nasledujúcich kapitolách sú jednotlivé zariadenia navíjačky popísané podrobnejšie.

2.2.1. Zakladač cievky

Zakladač je zariadenie, pomocou ktorého sa zakladá cievka pripravená na odvíjanie. Skladá sa z dvoch zakladacích os – ľavej a pravej. Každá os je poháňaná dvoma asynchrónnymi motormi, z nich jeden o výkone 1,5kW zabezpečuje horizontálny pohyb osi, druhý o výkone 4kW zabezpečuje vertikálny pohyb osi. Osi sa horizontálne aj vertikálne pohybujú bo závitovej tyči. Na oboch koncoch každej závitovej tyče musí byť koncový spínač, aby nedošlo k poškodeniu zariadenia.

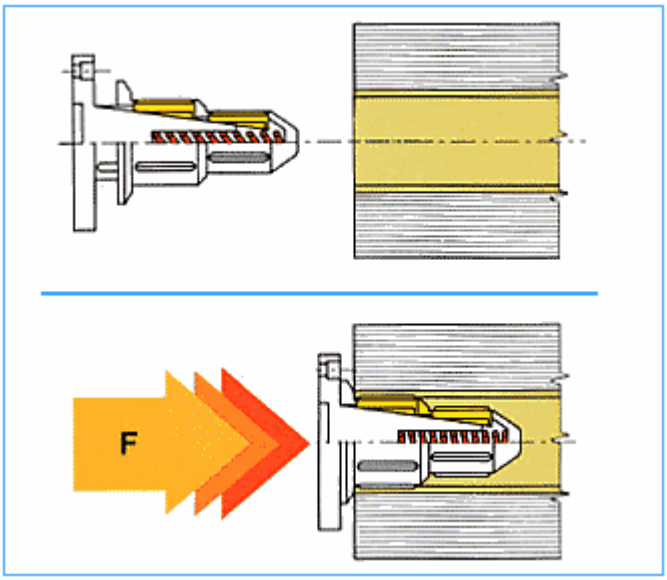
2. Popis navíjačky papierového pásu

Obsluha má k dispozícii závesný ovládací terminál obsahujúci celkom osem tlačidiel, pomocou ktorých má možnosť ovládať pohyb zakladacích os vo všetkých smeroch. Horizontálne je možné pohybovať asynchrónne, teda s každou osou zvlášť, alebo synchrónne, teda obe osi rovnakým smerom a rovnakou rýchlosťou. Pre vertikálny pohyb je možnosť zo závesného terminálu voliť, iba pohyb oboma osami súčasne. Pre bezpečné uchytenie cievky, je možnosť dotlačenia os k dutinke. Je to súčasný pohyb os, každá však v opačnom smere, teda pohyb, kedy sa osi pohybujú proti sebe, až kým nenastane bezpečné uchytenie. Terminál teda obsahuje tlačidlo pre posuv jednej osi vpravo, posuv jednej osi vľavo, prepínač medzi ľavou a pravou osou, tlačidla pre spoločný pohyb os hore, dole vpravo a vľavo a tlačidlo pre dotlačenie os k cievke. Závesný ovládací terminál je zobrazený na Obr. 2

Obr. 2 Závesný ovládací terminál

Každá os obsahuje mechanické upínacie puzdra zobrazeného na obrázku Obr. 3, ktoré sa zavádzajú do dutinky cievky. Sú uchytené tak, že sa môžu otáčať okolo vlastnej osi. To zabezpečuje odvíjací pohyb role. Spôsob uchytenia role v puzdre je zobrazený na Obr. 4

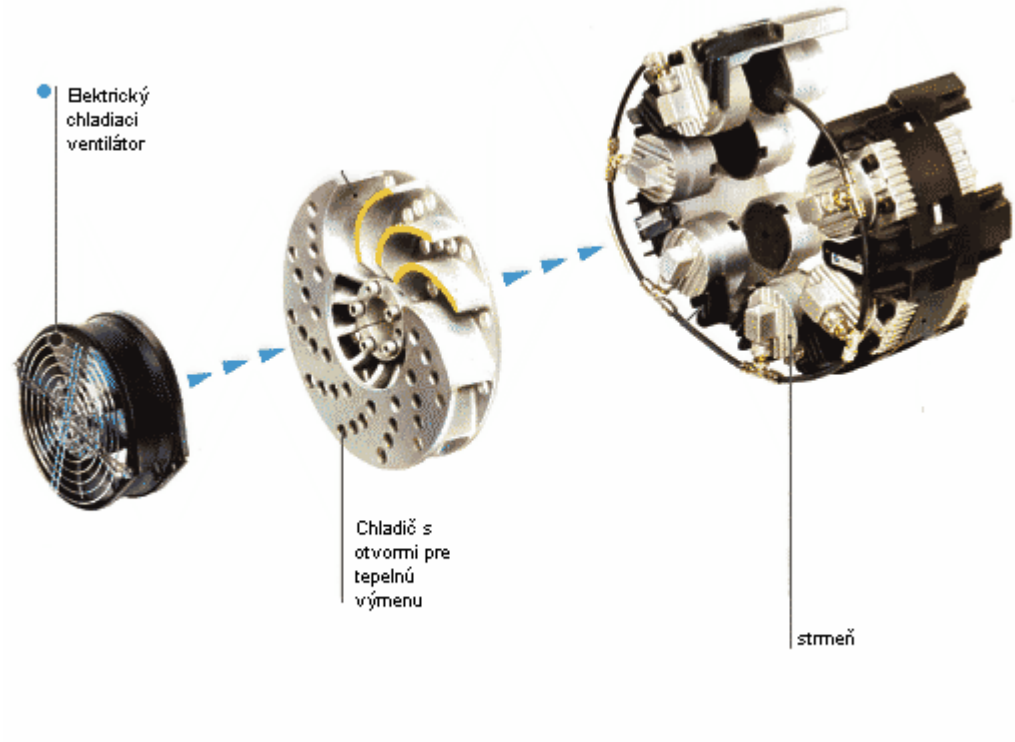
Obr. 3 Upínacie puzdro na osi zakladača



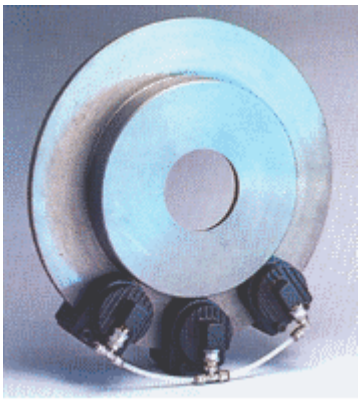
Obr. 4 Upnutie cievky papiera, upínacím puzdrom

2.2.2. Brzda odvíjanej cievky

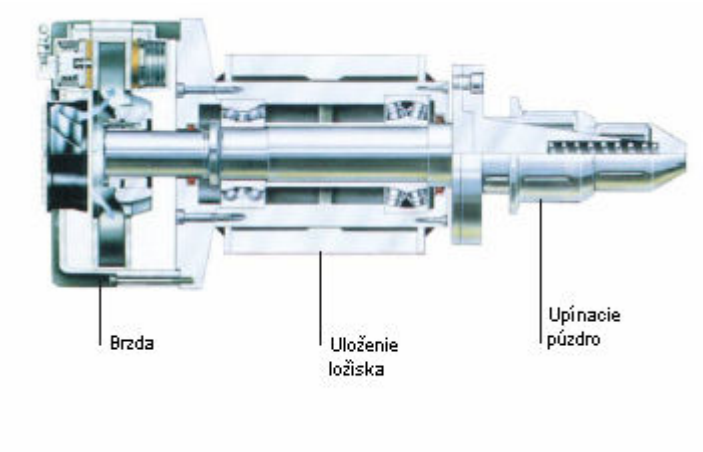
Aby bol počas celého navíjania papier rovnomerne napnutý, musí byt odvíjaná cievka brzdená s ohľadom na vlastnú hmotnosť role a z nej vychádzajúceho momentu zotrvačnosti. Brzdenie je zabezpečované cez upínacie puzdra, ktoré sú brzdené pneumatickou brzdou. Uchytenie upínacích puzdier s brzdou cez valné ložisko je vidieť z Obr. 7. Konštrukcia brzdy je zobrazená na obrázku Obr. 5.



Obr. 5 Konštrukcia brzdy



Obr. 6 Brzdový kotúč s brzdovými strmeňmi



Obr. 7 Spojenie upínacieho puzdra, ložiska a brzdy

Brzda sa skladá z štyroch základných častí:

- Brzdový kotúč
- Brzdové strmene
- Chladič
- Chladiaci ventilátor

Brzda funguje na podobnom princípe ako hydraulická kotúčová brzda, ktorá sa používa napríklad v automobiloch. Pneumatickým tlakom, ktorý je regulovaný pomocou pneumatického ventilu je ovládaný prítlak brzdného strmeňa na brzdný kotúč (Obr. 6). To vyvoláva trenie, ktoré spôsobuje brzdný účinok brzdy. Pri brzdení vzniká trením teplo, ktoré je potrebné odvádzať. Pre tento účel je použitý chladič s navŕtanými otvormi, pre lepšiu tepelný výmenu. Aby bol odvod tepla ešte vyšší, je na brzde použitý elektrický ventilátor.

Aby bolo možné brzdný účinok plynulo regulovať, je potrebné získavať zo systému spätnú väzbu o procese brzdenia, teda v tomto prípade údaj o napnutí papierového pásu, ktorý je vyjadrovaný ako mechanické napätie. Mechanické napätie sa odmeriava pomocou tenzometrov Obr. 8. . Navíjačka *Jagenberg* disponuje dvoma tenzometrami, jeden na ľavej strane a jeden na pravej strane papierového pásu .

2. Popis navíjačky papierového pásu

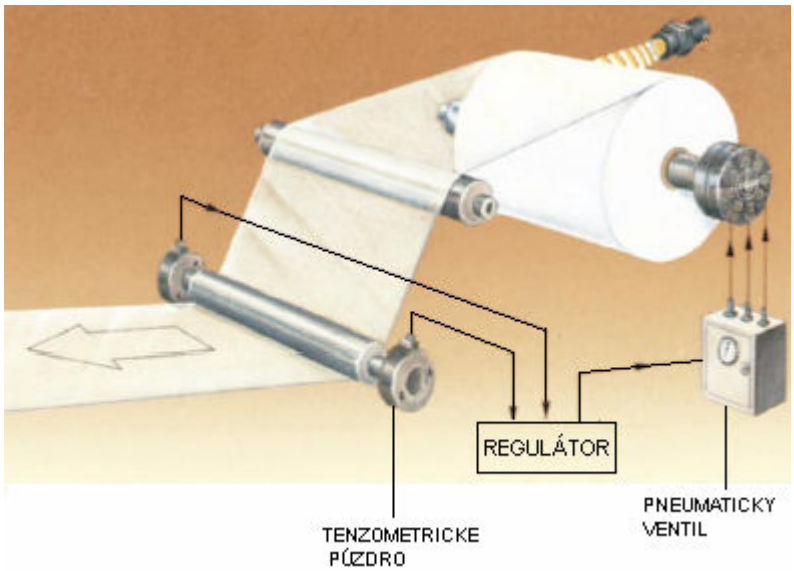
Obr. 8 Meracie puzdra tenzometrov použitých na navíjačke Jagenberg

Princíp merania mechanického napätia tenzometrom:

Tenzometre fungujú na princípe premeny ťahom spôsobenej zmeny dĺžky na zmenu elektrického odporu.

Tenzometrami je možné podchytiť všetky fyzikálne veličiny, u ktorých je možné dosiahnuť zmeny tvaru. Existujú napríklad tenzometre pre rozsah hodnôt ťahu a tlaku medzi niekoľkými mN až po viac stoviek MN, pre hodnoty krútiaceho momentu niekoľko málo Ncm až po 100Nm a pre tlak plynov a kvapalín medzi 1 bar až 2000bar. U tenzometrov vyrobených z drôtu, je napr. konstantánový drôt o priemere 20 až 30mm navinutý valcovite na nosnú fóliu, alebo tvarovaný plošne. Táto merná mriežka z fólie je vyleptaná na 2 až 10 mm silnej kovovej fólii podobne ako plošné spoje a je z oboch strán chránená umelohmotnou fóliou. U polovodičových tenzometrov, je merná mriežka tvorená z 15mm silných pásikov Silícia, ktoré sa vyrábajú z monokryštalického Silícia, leptaním.

Príklad zapojenia obvodu pre reguláciu brzdného účinku je znázornený na Obr. 9.



Obr. 9 Príklad zapojenia regulačného obvodu brzdného účinku

2.2.3. Navíjač cievky papiera

Navíjač je hlavnou časťou každej navíjačky. Je to zariadenie na ktorom sa prevádza úloha navíjania tak, aby mal navinutý papier požadované vlastnosti.

Hlavné časti navíjača:

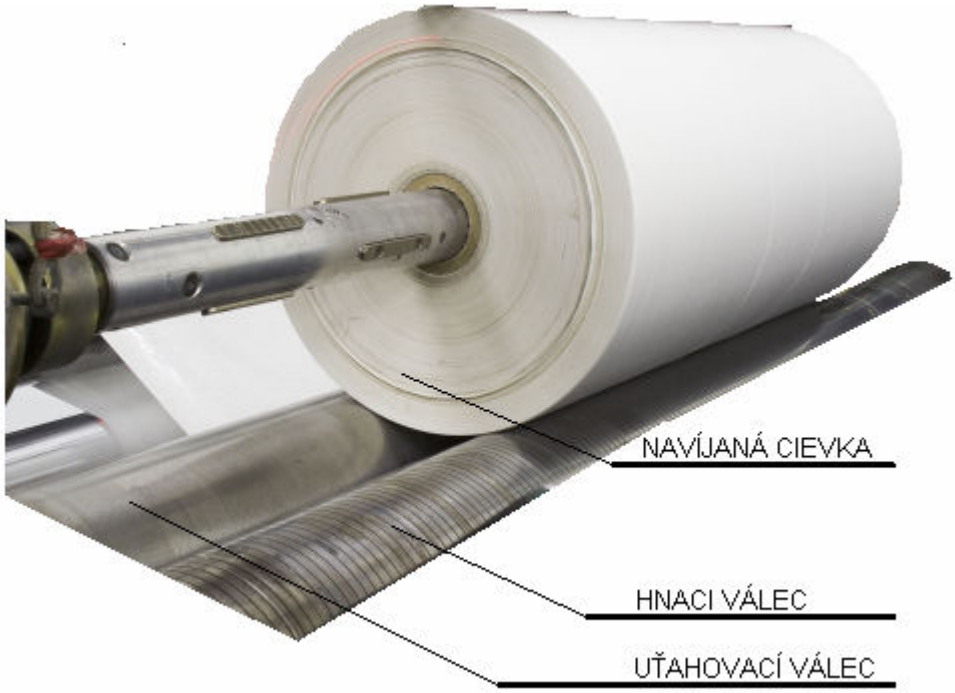
- Hnací navíjací valec
- Uťahovací valec
- Rezací valec
- Prítlačný valec
- Hriadeľ na uchytenie dutinky navíjacej cievky

Navíjací hriadeľ aj uťahovací hriadeľ majú rovnaké rozmery. Obvod každého valcov je 660mm. Povrch navíjacieho valca je drážkovaný. Drážky slúžia na lepši odvod odrezaného materiálu. Rýchlosťou otáčania hnacieho navíjacieho valca sa určuje rýchlosť navíjania.

Aby bolo možné navíjaný papier dôkladne utiahnuť je potrebné aby mal uťahovací valec drsný povrch. Rýchlosť otáčania navíjacieho valca závisí od rýchlosti hnacieho valca a momentálneho uťahovania, resp. povoľovania. Pri uťahovaní sa uťahovací valec otáča rýchlejšie ako hnací valec, hovoríme teda, že uťahovací valec predbieha hnací, pri povoľovaní, sa naopak otáča pomalšie ako hnací, tzn. uťahovací valec mešká za navíjacím.

Pôvodne bol pomer rýchlosti valcov v navíjačke *Jagenberg* riadený mechanickým variátorom. Pomer sa menil v závislosti na priemere navíjanej role. Oba valce poháňal jeden pohon, prevod momentu bol zabezpečený remeňom.

Na Obr. 10 je vidieť uloženie navíjanej cievky na hnacom a uťahovacom valci.

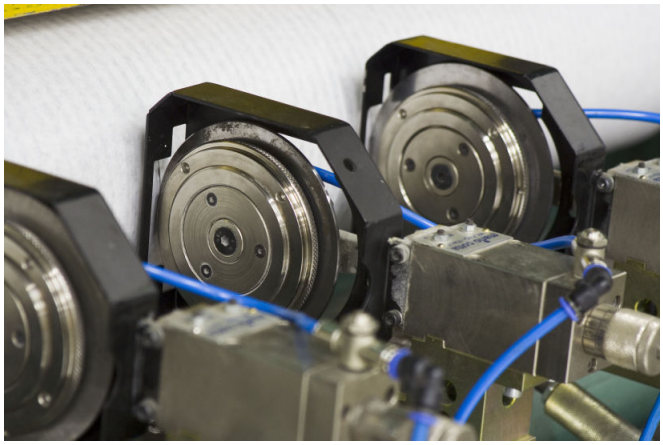


Obr. 10 Uloženie navíjanej cievky na navíjacích valcoch

2. Popis navíjačky papierového pásu

Pre účel rezania papieru sa používa rezací valec. Valec je remeňom spojený s hnacím valcom, je teda poháňaný rovnakým pohonom ako hnací valec. Povrch valca tvoria drážky slúžiace na odvoz odrezaného materiálu.

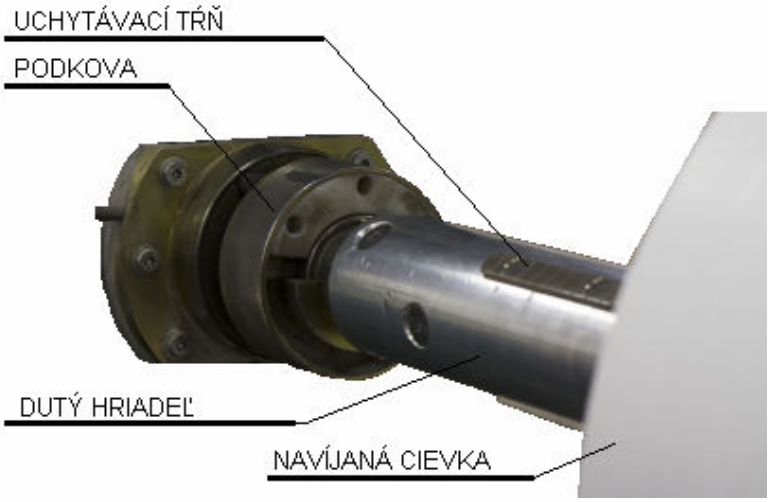
Papier je rezaný voliteľným počtom rezacích kotúčových nožov, zobrazených na Obr. 11, ktoré sú hydraulicky pritlačované k rezaciemu valcu.



Obr. 11 Rezacie nože

Na odťah odrezaného papieru je použitý odťahový ventilátor a odťahové potrubie. Potrubím sa odrezaný papier odvádza do centrálneho zberného kontajneru.

Dutinka navíjanej role je v navíjačke uchytená pomocou dutého hriadeľa. Ten sa pomocou vpúšťaného vzduchu natlakuje. Vnútorný tlak vytlačí z valca tzv. tŕne. Tie pevne uchopia dutinku. Samotný hriadeľ je v navíjačke uchytený pomocou podkovy na každej strane hriadeľa. Celý spôsob uchytenia je zobrazený na Obr. 12



Obr. 12 Uchytenie navíjanej cievky

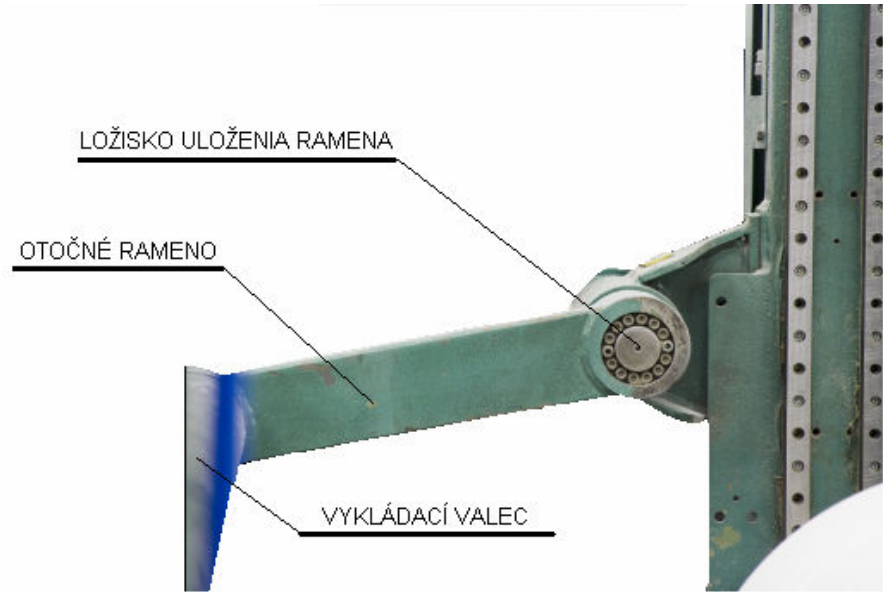
Počas celej doby navíjania sa navíjaný papier musí rovnomerne obvodovo pritláčať k roli. Na to slúži prítlačný valec. Prítlačný valec je popísaný v podkapitole *2.1.3.* a je zobrazený na Obr. 17. Je to valec uložený v ložiskách tak, aby sa mohol voľne otáčať okolo vlastnej osi. Jeho hmotnosť odpovedá maximálnemu pritlačeniu. Pri požiadavku, slabšieho pritlačenia je valec väčšinou pneumatický nadľahčovaný. Prítlačný valec musí zabezpečiť rovnomerné pritlačenie papieru počas celej doby navíjania a teda pri každom priemere navinutého papiera. Nadľahčovanie sa reguluje pomocou pneumatického ventilu. Ten sa otvára v závislosti na aktuálnej polohe prítlačného valca. V pôvodnom riešení riadenia navíjačky *Jagenberg* sa ventil otváral

pomocou reťaze. Tá bola spojená s valcom. Pri pohybe prítlačného valca smerom nahor sa otváral pneumatický ventil.

2.2.4. Vykladač navinutej role

Po navinutí role, je potrebné dostať cievku papiera von zo stroja. Na to slúži tzv. hydraulické vykladacie zariadenie a zdvíhacia plošina.

Vykladacie zariadenie je valec, umiestnený za navíjanou na dvoch otočných ramenách. Ramená sú uchytené v ložiskách tak, že sú schopné konať otočný pohyb. Umiestnenie valca za navíjanou rolou je možné vďaka hydraulickému nadľahčeniu. Pri vykladaní sa otvorí hydraulický ventil. Otočné ramena sa začnú tiažou vykladacieho valca pohybovať smerom k navinutej roli. Vykladací valec tak vytlačí rolu von zo zariadenia až na zdvíhaciu plošinu. Zariadenie je zobrazené na Obr. 13



Obr. 13 Vykladacie zariadenie

Zdvíhacia plošina je zdvíhaná hydraulicky. Hydraulická sústava plošiny sa skladá z dvoch hydraulických ventilov a asynchrónneho motoru poháňajúceho hydraulickú pumpu. Pri pohybe plošiny smerom nahor, sa prvý ventil uzavrie, druhy otvorí a spustí sa motor pre pumpu. V sústave sa zvýši hydraulický tlak, tým sa začne plošina pohybovať smerom nahor. Pri pohybe plošinou nadol sa prvý ventil otvorí, druhý uzavrie a motor nesmie byť zapnutý. Tým sa dosiahne pokles hydraulického tlaku v sústave a plošina začne klesať nadol.

2.3. Možnosti riadenia navíjačky

Navíjačky papierových pásov, ale aj pásov z iných materiálov sa v praxi používajú už pomerne dlhú dobu a teda podobne ako iné technologické zariadenia, prešla mnohými vývojovými zmenami. Najväčší vývoj sa zaznamenal v regulácii pohonov. Ide hlavne o reguláciu pohonov navíjača a reguláciu pomeru rýchlosti medzi

hnacím a uťahovacím valcom. Odlišné možnosti riadenia sa ponúkajú aj pre reguláciu napnutia navíjaného papieru či odmeriavania dĺžok papiera a priemerov navíjaných rolí.

2.3.1. Regulácia napnutia papiera brzdením

Ako bolo popísané v 2.1.2., požadované napnutie navíjaného papiera je možné dosiahnuť regulovaným brzdením. Pre správnu reguláciu brzdného účinku je potrebné mať spätnú väzbu o napnutí papiera. V minulosti boli slabé možnosti odmeriavania napnutia papiera. Väčšinou napnutie kontrolovala obsluha navíjačky a to buď dotykmi napnutého papiera, alebo len vizuálne.

Typy brzd používaných pre brzdenie odvíjanej role:

1. Mechanická brzda
2. Elektrodynamická brzda
3. Hydraulická alebo pneumatická brzda.

Mechanická brzda

Mechanická brzda je v princípe najjednoduchšia brzda používaná pre brzdenie odvíjanej role. K brzdeniu role používa iba mechanické prostriedky, napríklad reťaze, laná, strmene atd. Nevyužíva teda žiadne pneumatické, ani elektrické zariadenia. Brzdný účinok sa reguluje prítlakom brzdného prostriedku, tzv. brzdiča k odvíjanej roli, alebo časti navíjačky na ktorej je rola uchytená a ktorá je otáčaná spoločne s rolou. V dnešnej dobe sa však mechanická brzda príliš nepoužíva, pre jej relatívne slabý brzdný účinok.

Elektrodynamická brzda

Elektrodynamická brzda je zariadenie ktoré mení mechanickú prácu na elektrický prúd a tým brzdí. Ako elektrodynamická brzda sa často používa elektromotor a to ako jednosmerný tak aj striedavý.

Pri použití jednosmerného sériového motoru stačí, ak sú kotvy zapojené opačne a pripojí sa spotrebič. Vznikne tak pozitívna spätná väzba, motor sa nabudí, spotrebič začne prúd odoberať a motor začne pôsobiť proti pohybu.

Trojfázový asynchrónny motor začne vyrábať prúd, pokiaľ je uhlová rýchlosť točivého magnetického poľa menšia, ako uhlová rýchlosť kotvy. Kotva sa potom snaží priblížiť svoje otáčky točivému poľu a tak pôsobí proti pohybu. Vyrobený prúd sa potom marí v teplo v odporníkoch.

Ďalším systémom sú brzdy pracujúce na princípe vírivých prúdov. Taká brzda sa skladá z kovového kotúča a elektromagnetov. Kotúč rotuje v magnetickom poli, tým v ňom vznikajú prúdy, ktoré v ňom tiež zanikajú a tým ho zahrievajú. Brzdný účinok sa dá regulovať veľkosťou magnetického poľa, tzn. veľkosťou prúdu v elektromagnetoch.

Nevýhoda použitia elektrodynamickej brzdy je, že ma brzdnú silu závislú približne na druhej mocnine rýchlosti. Znamená to, že pri malých rýchlostiach je jej účinok praktický nulový. Naopak, pri vysokých rýchlostiach je jej účinok vysoký.

Pneumatická brzda

Princíp **pneumatickej brzdy** je popísaný v 2.2.2. Brzda funguje na podobnom princípe ako hydraulická kotúčová brzda, ktorá sa používa napríklad v automobiloch.

Pneumatickým tlakom, ktorý je regulovaný pomocou pneumatického ventilu je ovládaný prítlak brzdného strmeňa na brzdný kotúč (Obr. 6). To vyvoláva trenie, ktoré spôsobuje brzdný účinok brzdy.

2.3.2. Regulácia pohonov navíjača

V minulosti sa pohony na navíjači regulovali mechanicky. Prenos momentu sa zabezpečoval remeňovo. Pomer otáčok zabezpečovali kužeľové kolesá. Zariadenie používajúce kužeľové kolesá sa nazýva variátor. Ako elektrické riešenia sa používali jednosmerné motory [18].

V súčasnej dobe, dnešné technické možnosti ponúkajú ako najvhodnejšie riešenie použitie bežných asynchrónnych pohonov s kotvou nakrátko, riadených pomocou frekvenčných meničov. [20]

Mechanický variátor

Variátor je typ prevodovky so spojito premenným pomerom. Pomocou neho je možné meniť plynulo prevodový pomer smerom nahor i nadol. Preto bol často používaný pre reguláciu pohonov navíjacích valcov navíjačky.

Variátory sa u navíjačiek skladajú z dvoch variatorových kladiek a variatorového remeňa alebo reťaze. Každá kladka sa skladá z dvoch kužeľov ktorých osou prechádza hriadeľ, po ktorom sa pohybujú. Ak sa kužele pohybujú k sebe, získavame remenicu s menším priemerom.. Pretože remeň alebo reťaz majú stále rovnakú dĺžku, musíme meniť priemer oboch remeníc súčasne.

Pri navíjačkách používajúcich variátor, je hnací valec poháňaný jednosmerným motorom. Uťahovací je s ním spojený cez variátor remeňom. Prevodový pomer závisí na vzdialenosti medzi remenicami kde sa točí remeň. Ak sa má navíjaný papier uťahovať, musí sa uťahovací valec otáčať väčšou obvodovou rýchlosťou ako hnací. V tomto prípade remeň beží na veľkom priemere u hnacieho valca a na malom priemere u uťahovacieho. V opačnom prípade, keď je potrebné aby sa navíjací papier povoľoval, musí sa navíjací válec otáčať väčšou obvodovou rýchlosťou ako uťahovací. Remeň teda beží na malom priemere u hnacieho valca a na veľkom priemere u uťahovacieho valca.

Frekvenčné meniče

Najrozšírenejšími pohonnými jednotkami v súčasnosti sú asynchrónne elektromotory s kotvou nakrátko a to hlavne pre svoju jednoduchosť, prevádzkovú spoľahlivosť nízke investičné náklady a minimálne nároky na údržbu .

Tieto motory majú však aj nevýhody a to predovšetkým:

- obtiažnu reguláciu rýchlosti otáčok
- veľký záberný prúd pri priamom pripojení na sieť

Použitím **frekvenčného meniča,** pre riadenie asynchrónneho motoru je možné tieto nevýhody eliminovať. Menič totiž umožňuje plynulú a širokú reguláciu otáčok motoru zmenou frekvencie napájacieho napätia a točivého momentu. To nám dáva možnosť pomerne presne regulovať pomer rýchlosti a momentu hnacieho a uťahovacieho valca.

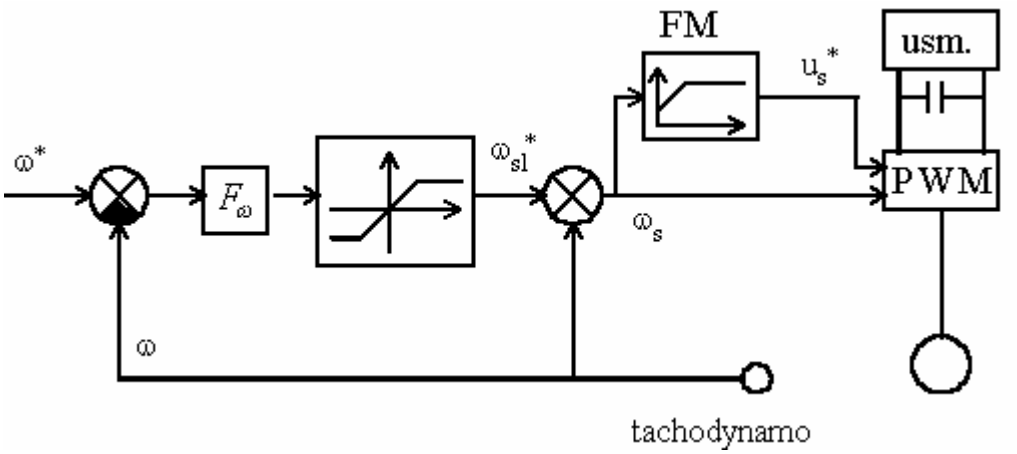
Frekvenčný menič môžeme riadiť metódami riadenia:

1. Riadenie U/f (skalárne)
2. Vektorové riadenie

Skalárne riadenie (U/f) je také riadenie, ktoré reguluje iba amplitúdy riadených premenných. Môže byť prevádzane ako v otvorenej slučke tak aj v uzavretej. Je to najrozšírenejšie riadenie.

Spôsob riadenia **U/f** (skalárne riadenie) sa používa v prípade paralelnej prevádzky niekoľkých motorov na jednom frekvenčnom meniči. Frekvenčné meniče konvertujú jednofázový alebo trojfázový napájací zdroj s konštantným napätím a frekvenciou na nový trojfázový zdroj napätia, ktorého napätie a frekvencia sú premenné. Toto riadenie napätie/frekvencia umožňuje plynulé riadenie rýchlosti trojfázových motorov. Pohon môže byť prevádzkovaný s menovitým zaťažovacím momentom, aj pri nízkych rýchlostiach. Nevýhoda je však, nie príliš vysoká statická presnosť a kvalitná dynamika.

Pri požiadavku väčšej statickej presnosti je možné celý obvod doplniť o spätnú väzbu nesúcu informáciu o otáčkach [7]. Schéma zapojenia, z [7] je zobrazená na Obr. 14.



Obr. 14 Skalárne riadenie asynchrónneho motoru v uzavretej slučke

Výhodou tejto štruktúry je, že nepotrebuje snímač prúdu, nevýhodou naproti tomu, že neumožňuje nezávislé riadenie magnetického toku a momentu stroja. Táto nevýhoda sa dá odstrániť štruktúra skalárného riadenia s nezávislou reguláciou momentu a toku. V tom prípade sú použité tri regulátory: regulátor rýchlosti $F_\omega(p)$, regulátor momentu $F_m(p)$ a regulátor magnetického toku $F_\psi(p)$ [7], [8].

Skalárne riadenie so spätnou väzbou je staticky presné, ale nie je vhodné pre dynamický náročné pohony a polohovacie pohony. Pohon so skalárným riadením môže byť prevádzkovaný buď v režime konštantného momentu, alebo výkonu.

U frekvenčných meničov riadených **vektorovo** sa ovládanie uskutočňuje pomocou bezsenzorovej prúdovo orientovanej regulácie magnetického pola v motore. Regulovanou veličinou je tu prúd v motore. Vďaka tomu je motor optimálne riadený pre náročnejšie aplikácie.

U vektorového riadenia je na rozdiel od skaláreho riadená nie len amplitúda, ale aj priestorové vektory premenných veličín.

Podľa získavania informácii o vektore magnetického toku delíme na:

- Vektorové riadenie s otvorenou slučkou
- Vektorové riadenie s uzavretou slučkou

Vektorové riadenie s otvorenou slučkou rekonštruuje vektor magnetického toku z nameraných hodnôt statorového napätia a prúdu. Ak sa navyše použije estimátor sklzu, nie je nutné používať snímače polohy alebo rýchlosti.
Vektorové riadenie s uzavretou slučkou vyžaduje snímač polohy na motore, ktorý sa však tiež používa ako pre otáčkovú spätnú väzbu a teda i reguláciu otáčok, prípadne polohy.

Pre použitie asynchrónnych motorov s frekvenčnými meničmi pre riadenie uťahovania potrebujeme jeden pohon s jedným frekvenčným meničom pre každý valec. Pohon hnacieho válca a jeho frekvenčný menič nazývame master. Rýchlosťou mastra , určujeme rýchlosť navíjania. Pohon je riadený vektorovo. Pohon uťahovacieho válca aj s jeho frekvenčným meničom nazývame slave. Jeho rýchlosť závisí na rýchlosti mastra v závislosti od aktuálneho pomeru uťahovania. Na to je potrebne presne poznať rýchlosť oboch asynchrónnych motorov ako spätnú väzbu regulačného obvodu. Na presné zistenie skutočných rýchlosti sa používajú inkrementálne enkódery.

V závislosti na tom, či budeme motory riadiť s konštantným výkonom alebo s konštantným momentom, bude uťahovanie riadené momentom, alebo rýchlosťou.

2.3.3. Riadiaci systém

V minulosti sa navrhovali navíjačky bez elektronického riadiaceho systému. Veľká väčšina používaných komponentov bola mechanická, alebo hydraulická. Spínanie sa najčastejšie realizovalo pomocou relé a stýkačov, ktoré ku spínaniu používali jednoduchú logiku.

Postupom času, vývoj technológii priniesol vyššie požiadavky pre riadenie priemyselných strojov a zariadení. To so sebou prinieslo mnoho pokrokov v oblasti automatizovaného riadenia. Hlavným riadiacim prvkom týchto zariadení sa stal programovateľný logický kontrolér, PLC (Programmable Logical Controller)

PLC (Programmable Logical Controller)

PLC je logický počítač bol navrhnutý pre vykonávanie základných logických funkcii. V dnešnej dobe je však jeho využitie omnoho širšie. Dokáže vykonávať aritmetické operácie, spracovávať a generovať spojité signály, presúvať veľké bloky dát a mnoho iného.

Podľa štruktúry zloženia, sa PLC rozdeľujú na:

- kompaktné
- modulárne
- rackové

Kompaktné PLC majú procesor, vstupy, výstupy aj komunikačné porty nerozoberateľne spojene v jednom kryte. Jednotlivé časti PLC sa teda nedajú do seba oddeliť ani pridať ďalšie funkčné časti. Počet I/O bodov je teda obmedzený. Tieto PLC obsahujú integrované vstupy vysokorýchlostných čítačov a pulzné výstupy. Vďaka tomu je možné kompaktné PLC použiť pre ovládanie rýchlosti a polohovanie. Pri návrhu zariadenia s kompaktnými PLC, musí konštruktér presne poznať počet I/O bodov.

Kompaktné PLC sa používajú skôr, pre riadenie jednoduchších systémov. Ich hlavná výhoda je nízka cena.

Modulárne PLC sa skladá z jednej hlavnej procesorovej jednotky, a z voliteľných modulov, z nich každý ma svoju zvláštnu funkčnosť (napr. digitálne I/O, analógové I/O, rýchle vstupy atď.).

Výhoda modulárneho PLC je, že užívateľ si môže vhodne navoliť svoju špecifickú konfiguráciu, podľa požiadavku na funkčnosť riadeného zariadenia. Počas života zariadenia, môže navyše voľne meniť konfiguráciu, ak by to bolo potrebné k žiadanej zmene, prípadne k zvýšeniu funkčnosti zariadenia.

Pri návrhu zariadenia s modulárnym PLC, tak nie je konštruktér praktický ničím obmedzený. Nevýhodou modulárnych PLC oproti kompaktným, je však ich vyššia cena.

Rackové PLC majú modulárnu štruktúru, oproti modulárnym PLC ponúkajú však širší výber I/O a zvláštnych funkčných jednotiek. Majú vysoké rozlíšenie, vysokorýchlostné získavanie analógových dát, plynule riadenie pohybu a užívateľský programovateľné komunikačné jednotky. Vďaka tomu sú rackové PLC použiteľné pre širokú škálu aplikácii.

3. Návrh riadenia navíjačky Jagenberg

Na základe teórie navíjania papiera a požiadavok zadávateľa práce, firmou *Papír – Novák,* je cieľom tejto práce navrhnúť najvhodnejší spôsob, akým bude navíjačka *Jagenberg* riadená. K správnemu riadeniu je potrebné mať dostatočné informácie o všetkých akčných členoch potrebných k navíjaniu papiera, rovnako tak, mať informácie, ako sa tieto členy ovládajú. Všetky tieto informácie sú obsiahnuté v kapitole 2.

Voľba spôsobu riadenie je do veľkej miery ovplyvnená zadávateľom práce. Jeho hlavnou požiadavkou bolo nasadenie PLC, ako riadiacej jednotky. Nezanedbateľným obmedzením, pri návrhu, je finančné obmedzenie zadávateľa.

V nasledujúcej kapitole sú popísané tieto požiadavky spolu so spôsobmi riadenia s ohľadom na tieto požiadavky. Požiadavky sú rozpísané v jednotlivých podkapitolách podľa jednotlivých častí navíjačky. V ďalších kapitolách je potom popísaný návrh potrebného hardware a návrh riadiaceho software

3.1. Návrh spôsobu riadenia navíjačky

3.1.1. Riadenie zakladača

Popis procesu zavádzania role je popísaný v 2.1.1. Obsluha bude pri zavádzaní role, obsluhovať pomocou pôvodného diaľkového ovládania, na ktorom sú tlačidla na horizontálny posuv jednej osi zdvihu vľavo, na horizontály posuv jednej osi vpravo , na vertikálny posuv oboch os nahor a dole, synchrónny oboch os vpravo aj vľavo, prepínač

medzi pravou a ľavou osou, pre asynchrónny horizontálny pohyb jednotlivých os a tlačidlo na dotiahnutie os k roli.

Pohyb os budú vykonávať štyri pohony. Pre horizontálny pohyb budú použité dva pôvodné asynchrónne trojfázové motory, o výkone 1,5kW a pre vertikálny pohyb dva pôvodné motory o výkone 4kW.

Riadenie týchto pohonov bude skalárnou metódou (U/f), pomocou frekvenčných meničov, pre riadenie pohonov odpovedajúceho výkonu.

Pred zavedením role si bude musieť obsluha odbrzdiť brzdené upínacie puzdra, z dotykového panelu. Po zavedení role si bude môcť puzdro znova pribrzdiť.

Obsluha si bude môcť posúvať jednotlivými osami vľavo a vpravo oboma osami súčasne, aj samostatne každou osou. Pohyb nahor a nadol bude môcť prevádzať z diaľkového terminálu iba súčasne s oboma osami. Po zavedení upínacích puzdier do dutinky, obsluha stlačí tlačidlo na dotlačenie role. Tým dá povel na súčasný pohyb zakladacích os proti sebe. V tejto chvíli budeme merať výstupný prúd z motorov. Ak prúd presiahne určitú hodnotu, posuv proti roli sa zastaví. Tým dosiahneme dokonalé a bezpečné uchytenie navíjanej role, upínacími puzdrami. Osy sa budú pohybovať dvoma rôznymi rýchlosťami, teda osobitnou rýchlosťou sa budú osy pohybovať pri manipulácii vo všetkých smeroch a osobitnou rýchlosťou pri dotlačovaní. Obe tieto rýchlosti si bude môcť obsluha nastavovať z dotykového terminálu.

Obsluha si bude môcť pohybovať osami v horizontálnom smere, vpravo aj vľavo za účelom dorovnávania role aj z prednej strany navíjačky, pomocou príslušných tlačidiel.

Obsluha bude mať možnosť dorovnať rovinu odvíjanej role z dotykového terminálu. Z terminálu bude možné zadať povel pre synchrónny pohyb oboma osami do všetkých strán súčasne, aj pre samostatný pohyb jednotlivých os vo všetkých smeroch.

Aktuálne polohy každej osy, ako vo vertikálnom, tak aj v horizontálnom smere budú odmeriavané inkrementálnymi snímačmi , ktoré budú umiestnené na jednotlivých príslušných pohonoch. Snímače sa budú nulovať vždy v krajnej polohe. Po spustení zariadenia, bude musieť vždy obsluha osy zareferencovať pomocou príkazu z dotykového panelu. Pri referencovaní sa každá os začne pohybovať ku svojej krajnej polohe, najskôr v horizontálnom smere, potom vo vertikálnom. Tým dostaneme informáciu o skutočnej polohe zakladacích os.

Pri súčasnom vertikálnom pohybe oboch os, bude potrebné tento pohyb synchronizovať. To sa bude prevádzať pomocou informácie o vertikálnej polohe každej zdvíhacej osi. Jedná z os bude braná ako master, teda hlavná os. Bude sa pohybovať rovnomerne, konštantnou rýchlosťou. Druhá bude slave, teda podriadená os. Bude sledovať hlavnú os. V prípade že začne hlavnú os predbiehať , spomalí sa jej pohyb, až kým ju hlavná os nedobehne. V opačnom prípade, ak začne za hlavnou osou zaostávať, jej pohyb sa zrýchli voči hlavnej osy, až kým hlavnú os nedobehne.

Krajné polohy každej osy pohybu, v každom smere budú strážené indukčnými snímačmi. Po dosiahnutí týchto snímačov sa pohon osy v danom smere okamžite zastaví.

3.1.2. Riadenie brzdy odvíjanej role

Pri brzdení bude potrebné, mať papier v každom mieste rovnomerne napnutý. To docielime rovnomerným brzdením odvíjaného válca, tak ako bolo popísané v 2.

V pôvodnom spôsobe riadenia brzdy bol brzdný účinok regulovaný pomocou regulátoru MW 90-10-0 od spoločnosti *Re-Spa.* Na vstup regulátoru bola privádzaná hodnota výstupného napätia z tenozometrických puzdier popísaných v 2.2.2. . V jeho

závislosti reguloval otvorenie pneumatického ventilu riadeného napätím. Tento regulátor bude demontovaný a jeho funkcia sa bude vykonávať pomocou PLC.

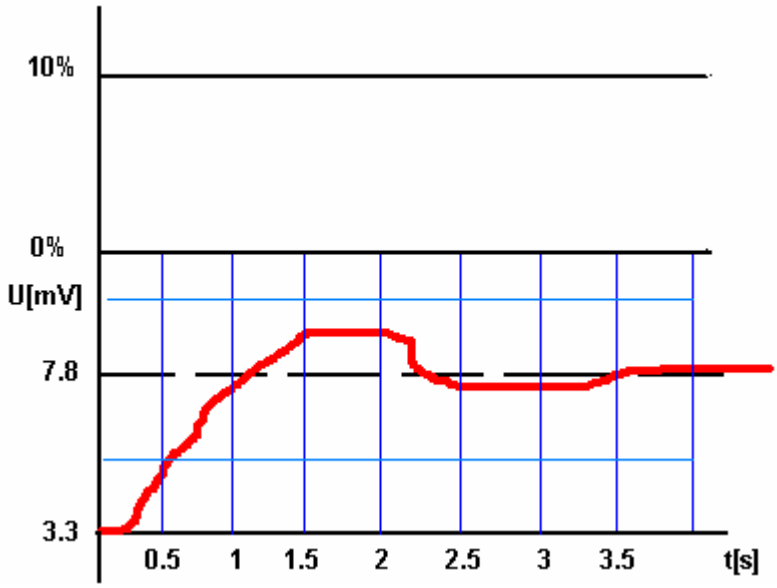
PLC bude spracovávať hodnotu výstupného napätia z meracích tenzometrických puzdier, a na ich základe, bude rovnako ako regulátor MW 90-10-0 vyhodnocovať signál pre pneumatický ventil ovládaný napätím.

Aby sme mohli jednoduchšie navrhnúť vhodný regulátor pre reguláciu brzdného účinku. K tomu si musíme popísať dynamiku regulovanej sústavy. Matematicky sa nám sústava zložito popisuje, pretože nevieme všetky parametre sústavy. Týka sa to hlavne odporov v ložiskách a trecích plôch. Vieme však že sila napnutia papieru bude závisieť pri zrýchľovaní, resp. pri spomaľovaní, od aktuálnej hmotnosti cievky, aktuálneho polomeru a od veľkosti zrýchľovania, teda rýchlosti zmeny frekvencie otáčania. Silu pôsobiacu na papier pri zrýchľovaní môžeme vyjadriť vzťahom:

$$F = m\frac{d\omega}{dt}r = m\frac{d^2\varphi}{dt}r\,,$$

Javí sa teda, že pôjde o sústavu minimálne druhého radu. Pri rovnomernom pohybe v ideálnom stave, teda ak by sme zanedbali trecie odpory, valivé odpory v ložiskách atd., by bola sila pôsobiaca na papier nulová. Samozrejme sila závisí hlavne na akčnej veličine, čo je v našom prípade otvorenie brzdného účinku.

Dynamické vlastnosti regulovanej sústavy popisujeme na základe merania, prechodovou charakteristikou, ako odozvu napätia nameraného tenzometrom, na skok akčnej veličiny z nuly na 10% otvorenia ventilu. Nameraná charakteristika je znázornená na Obr. 15



Obr. 15 Prechodová charakteristika regulovanej sústavy

Z charakteristiky je vidieť že charakteristika obsahuje inflexný bod, aj keď doba prieťahu je pomerne krátka. Potvrdilo to náš predpoklad, že ide o sústavu druhého radu. Doba ustálenia je 3,5 sekundy, doba nábehu približne jedna sekunda. Mohlo by sa stať, že v skutočnom systéme takáto zmena brzdného účinku nenastane, no môže nastať ak obsluha za behu prudko zmení požadovanú hodnotu ťahu. Regulátor bude musieť pohotovo reagovať aj na veľký nárast, respektíve pokles skutočnej hodnoty ťahu, pri zrýchľovaní, resp. pri spomaľovaní. Z tohto dôvodu bude vhodné použitie regulátoru s D zložkou. Pre dosiahnutie nulovej odchýlky použijeme aj I zložku. Navrhnutý regulátor bude teda PID. Aby sme mohli ešte rýchlejšie reagovať na zmeny rýchlosti, vybavíme regulátor ešte predikciou. Znamená to, že ventil sa otvorí, resp. priškrtí

o určitú hodnotu, ešte pred začatím zrýchľovania alebo spomaľovania. Pôjde teda o jednoduchý PID regulátor s predikciou zmeny ťahu , pri zmene rýchlosti navíjania. Pôvodný PID regulátor v zariadení MW 90-10-0 mal nastavené parametre PID nasledovné: P = 5, I = 90, D = 5. My sme sa pokúsili odhadnúť parametre nasledujúcim spôsobom: Zvyšovali sme zosilnenie P regulátoru, pri vyradení I a D zložky, až nastali oscilácie. Pri tomto zosilnení sme odmerali periódu kmitov T_0 = 1,5s a samotné zosilnenie K_0 = 7. Potom sme vypočítali parametre nasledovne:

zosilnenie regulátoru $P=0{,}6\ K_0 = 4{,}2$
integrační časová konštanta $T_i = 0{,}5\ T_0 = 0{,}72$
derivační konštanta $T_d = 0{,}12\ T_0 = 0{,}2$

Pri nastavení konštánt sa teda budeme pohybovať niekde v tomto okolí.

Počas brzdenia bude potrebné chladiť brzdu. Chladiaci systém je popísaný v 2.2.2. Chladiace ventilátory sa spustia vždy s rozbehom navíjacích motorov a zastavia určitú dobu po zastavení motorov.

Nastavenia brzdy

Pre správnu reguláciu brzdného účinku, bude potrebné nastaviť dôležité parametre potrebné k regulácii. Tie sa budú nastavovať z dotykového terminálu.

Parametre nastavované z dotykového terminálu

Nastavenie funkcie TOTAL STOP:
Nastavenie využitia brzdy pri núdzovom zastavení alebo pri pretrhnutí navíjaného papiera .
Nastavenie proporcionálneho podielu P:
Nastaví P – zložku regulátoru. Pri zvýšení P – podielu, zrýchlime reakciu, ale zvýšime výchylku regulácie.
Nastavenie doby integrácie Ti:
I – zložka dosiahne nulovú výchylku od žiadanej hodnoty, spomalí však reguláciu.
Nastavenie diferenciálneho podielu:
D – zložka dosiahne ďalšieho zrýchlenia P regulátoru, pričom výchylky zostanú pôvodné.
Nastavenie predikcie pri zrýchľovaní:
Nastavenie predikcie zabráni prepnutie papiera vo fáze zrýchľovania s ohľadom na vlastnú hmotnosť role a z nej vychádzajúceho momentu zotrvačnosti. Brzda sa v tomto momente povolí o hodnotu závislú od nastavenej predikcie zrýchľovania a ďalej bude regulovane brzdená. Pri skončení zrýchľovania a prechode do rovnomernej rýchlosti sa brzda opäť pribrzdí o hodnotu závislú od nastavenej predikcie zrýchľovania.
Nastavenie predikcie pri spomaľovaní:
Nastavenie predikcie zabráni povoleniu papiera vo fáze spomaľovania s ohľadom na vlastnú hmotnosť role a z nej vychádzajúceho momentu zotrvačnosti. Brzda sa v tomto momente pribrzdí o hodnotu závislú od nastavenej hodnoty predikcie a naďalej bude rovnomerne brzdená. Pri skončení spomaľovania a prechode do rovnomernej rýchlosti sa brzda späť odbrzdí o hodnotu závislú od nastavenej hodnoty predikcie pri spomaľovaní.
Nastavenie požadovaného ťahu:
Požadovaný ťah brzdy je hodnota udávaná v kg. Udáva, akou silou má byť navíjaný papier napínaný. Počas regulovaného brzdenia bude brzda ovládaná tak, aby sa skutočný ťah čo najpresnejšie rovnal požadovanému.

Nastavenie ťahu v pokoji:
Po zastavení navíjania prestane byť brzda regulovane brzdená. Nastavenie ťahu v pokoji nastavuje brzdný účinok brzdy po zastavení navíjania. Týmto ťahom bude brzda brzdiť aj po spustení navíjania pri behu na pomalej tzv. jog rýchlosti.
Nastavenie využitia brzdy pri manuálnom brzdení:
Okrem regulovaného brzdenia, bude mať obsluha možnosť riadiť brzdu manuálne. Pri manuálnom brzdení bude možné nastaviť využitie brzdy. Pôjde vlastne o zlomok maximálneho otvorenia brzdového ventilu.
Nastavenie nuly tenrometrických puzdier:
Hmotnosť meracieho valca vytvára v meracích puzdrách napätie, ktoré by PLC spracovalo ako signál pre brzdu. Kalibrácia sa bude prevádzať pri nezaťaženom meracom valci , navolením možnosti *nastavenie nuly* .
Kalibrácia tenzometrických puzdier:
Kalibrácia sa bude prevádzať pomocou závažia o známej hmotnosti, ktoré sa zavesí na merací valec tak, aby lanko na ktorom bude zavesené závažie, kopíroval cestu navíjaného papiera. Obsluha zadá známu hodnotu závažia a navolí možnosť *kalibrovať.* Toto je nutné aby bolo možné výstup z puzdier udávaný v mV, prepočítať na zobrazované jednotky aktuálneho ťahu v kg.
Úplné odbrzdenie brzdy:
Obsluha si bude môcť brzdu v prípade potreby úplne odbrzdiť. Pri úplnom odbrzdení sa brzdný ventil úplne otvorí. Brzda nebude účinná .

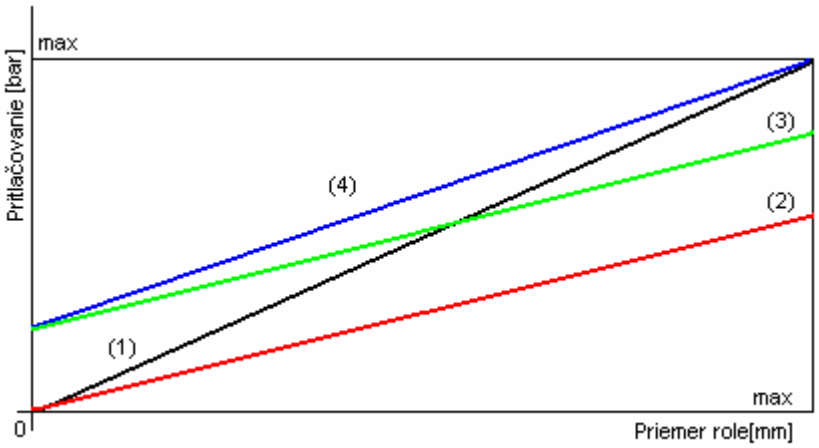
3.1.3 Riadenie navíjania

Pre každý poháňaný valec, ako hnací , tak aj uťahovací bude použitý osobitný asynchrónny pohon. Každý z týchto pohonov bude riadený pomocou samostatného frekvenčného meniča odpovedajúceho výkonu. Frekvenčné meniče budú mať možnosť voľby vzájomnej synchronizácie.

Navíjanie bude možné spúšťať tlačidlom START na ovládacom paneli umiestnenom na bočnej strane zariadenia, alebo z dotykového terminálu na príslušnej stránke. Motor sa rozbehne na pomalú, tzv. jog rýchlosť. Hodnotu jog rýchlosti bude možné nastaviť z dotykového panelu. Pre potrebu zvýšenia rýchlosti bude navíjačka vybavená tlačidlom *zrýchľovanie*, ktoré bude umiestnené na ovládacom paneli umiestnenom na bočnej strane zariadenia, alebo z dotykového terminálu na príslušnej stránke. Rýchlosť navíjania sa bude zvyšovať po dobu držania jedného z týchto tlačidiel. Pre možnosť spomaľovania budú k dispozícii tlačidla *spomaľovanie*, umiestnené na rovnakých miestach a používané rovnakým spôsobom ako tlačidla *zrýchľovanie.* Krok zrýchľovania aj spomaľovania si bude obsluha nastavovať z dotykového panelu. Obsluha bude mať možnosť si nastaviť požadovanú rýchlosť a prejsť na nastavenú rýchlosť, z dotykového panelu.

Pri navíjaní bude možné papier súčasne rezať na rezacom zariadení, popísanom v 2.2.3. Pritlačenie rezacích nožov k rezaciemu valcu, bude možné spustiť z ovládacieho panelu, z bočnej strany zariadenia. Pri navíjaní a súčasnom rezaní papieru, bude potrebné mať spustený odťahový ventilátor. Ventilátor bude možné spúšťať automaticky, pri spustení navíjania, alebo manuálne tlačidlom START. Pri automatickom spúšťaní sa bude odťahový ventilátor zastavovať určitú dobu po zastavení navíjania. Pri manuálnom spúšťaní sa bude ventilátor zastavovať stlačením tlačidla STOP. Ak obsluha prepne z manuálnej voľby rozbehu do automatickej počas navíjania, spustí sa odťahový ventilátor. Rýchlosť odťahového ventilátoru si bude môcť obsluha nastaviť z dotykového terminálu.

Papier na navíjanej roli bude pritlačovaný prítlačným valcom. Funkcia prítlačného valca je popísaná v 2.1.3. Tlak prítlačného valca vypočítavaný programom v PLC v závislosti na nameranom priemere navíjaného valca, bude zobrazovaný na dotykovom paneli a bude regulovaný pneumatickým ventilom, ovládaným napätím. Obsluha bude mať možnosť zadať hodnoty prítlaku pri dvoch možných priemeroch. Tým nadefinuje priamku pritlačovania. Pomocou nej bude PLC vypočítavať hodnoty pritlačenia papiera pre aktuálne hodnoty priemeru navíjanej role. Možnosti nastavenia priamky pritlačovania sú zobrazené na Obr. 16 Nastavenie bude závislé od druhu navíjaného papiera, preto nebudú nijak obmedzované maximálne a minimálne hodnoty. Bude ale hroziť nesprávne nastavenie priamky. Obsluha preto bude musieť byť preškolená.



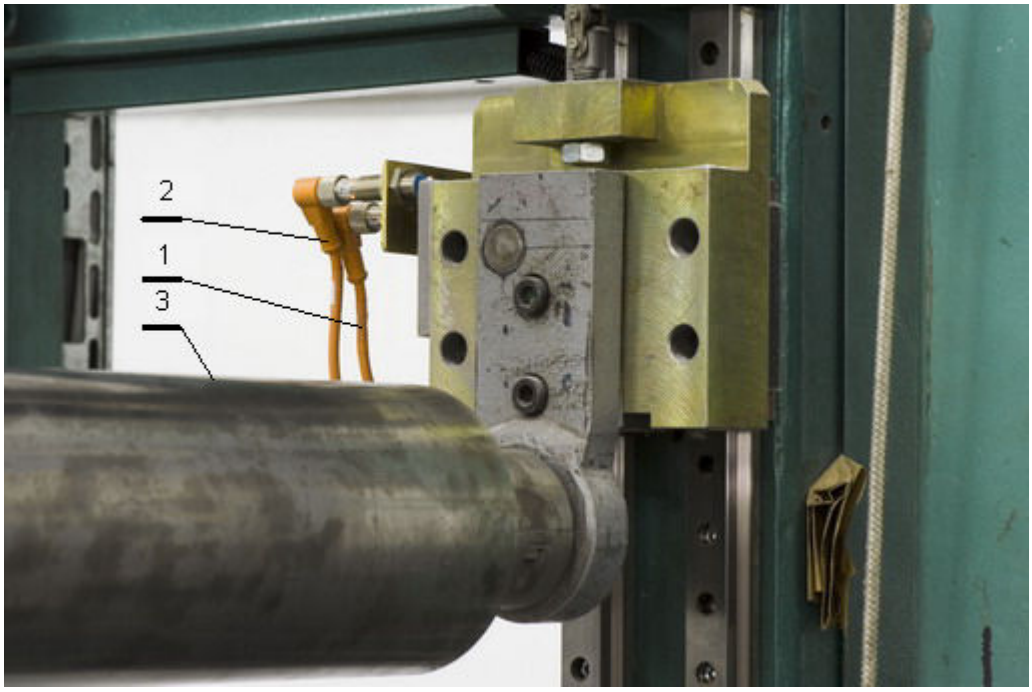
Obr. 16 Príklady nastavenia priamky pritláčania papieru
1. Defaultne nastavenie
2., 3., 4. Ďalšie možné nastavenia

Priemer navíjaného valca bude počítaný na základe inkrementálneho senzoru umiestnenom na prítlačnom valci.

Obsluha si po zastavení navíjania môže zdvihnúť prítlačný valec, pomocou tlačidla *valec nahor*: Vtedy sa otvorí pneumatický ventil pre úplné zdvihnutie prítlačného valca, ovládaný binárnym signálom. Na to ,aby valec vyšiel do hornej polohy, bude ešte potrebné otvoriť bezpečnostný pneumatický ventil. Ten sa bude ovládať samostatnými mechanickými tlačidlami umiestnenými na ovládacom paneli na bočnej strane navíjačky. Pre spustenie valca späť nadol, bude opäť potrebné z bezpečnostných dôvodov uzatvoriť oba pneumatické ventily. Pri vychádzaní alebo schádzaní prítlačného valca sa bude meniť hodnota z inkrementálneho snímača určujúci aktuálny priemer navíjanej role. Tým sa bude meniť aj vypočítavaná sila pritláčania prítlačného valca a teda, bude sa otvárať ventil pre reguláciu prítlaku. Úplné zdvihnutie prítlačného valca bude indikované pomocou indukčného snímača umiestneného v hornej polohe.

Ak by pri navíjaní prekročil aktuálny priemer navíjanej role určitú hodnotu, mohlo by sa stať, žeby sa už rola nedala vybrať z navíjača. Pri navíjaní bude teda strážený aktuálny priemer role. Ak aktuálny priemer prekročí nastavenú maximálnu povolenú hodnotu, navíjanie sa zastaví. Z bezpečnostného dôvodu bude kritická hranica strážená aj jedným indukčným snímačom. Po jeho dosiahnutí sa navíjanie zastaví.

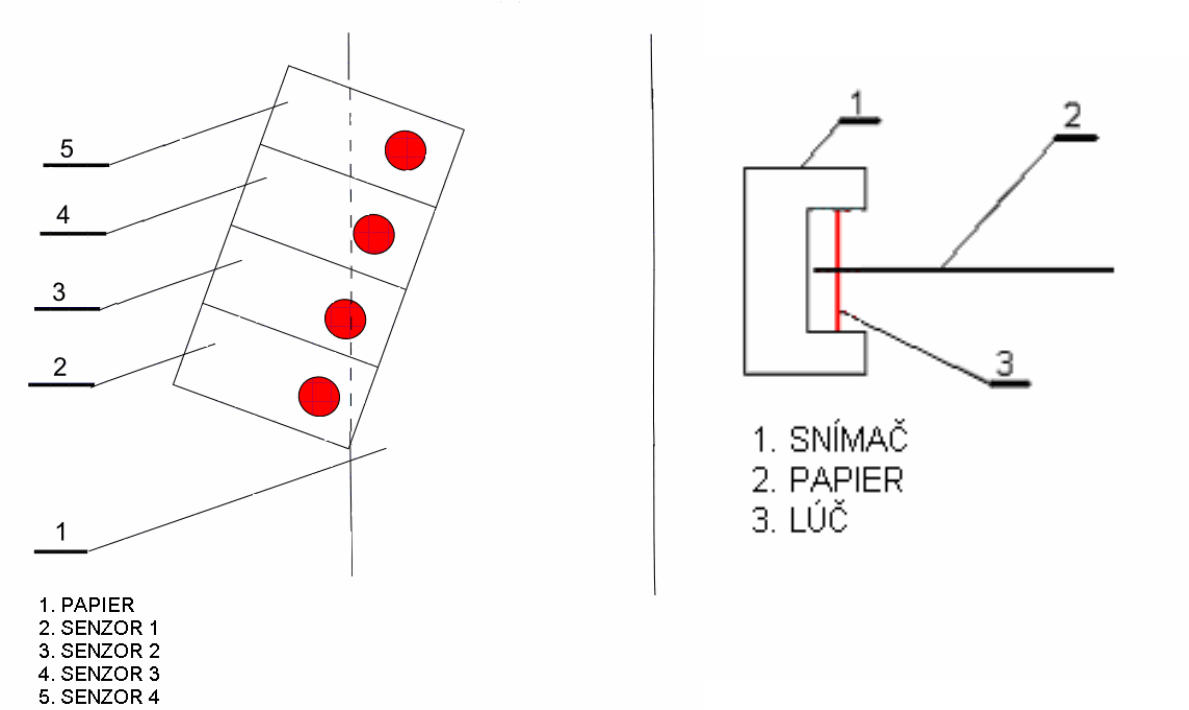
Prítlačný valec, indukčný snímač indikujúci maximálny povolený priemer navíjanej role a indukčný snímač indikujúci polohu valca úplne nahor je zobrazený na Obr. 17



Obr. 17 Pritlačný valec a indukčne snímače:
1. Indikácia maximalneho priemeru 2. Indikácia "valec úplne hore" 3. Prítlačný valec

Počas prevíjania sa bude kontrolovať, či sa papier nepretrhol. Kontrola sa bude prevádzať pomocou svetelnej reflexnej závory. Ta bude umiestnená tak, aby v prípade pretrhnutia papiera okamžite zaznamenala pretrhnutie. Ak závora zaznamená pretrhnutie, navíjanie sa okamžite zastaví a odvíjaná rola sa začne brzdiť silou veľkosti nastavenej v nastaveniach brzdy, popísaných v 3.1.2. Opätovné spustenie bude možné až keď závora nebude indikovať pretrhnutie papieru

Aby papier po stranách role neuchádzal, bude možné z dotykového panelu spustiť *kontrolu bočného uchádzania.* Na jednej strane papiera, budú umiestnené štyri snímače, tzv. vidlicové svetelné závory. Budú v tvare položeného U a ich stredom bude prechádzať papier (Obr. 18). Snímače budú spolu zviazané a mierne natočené. Tak docielime to, že ak bude papier v správnej polohe, budú zakryté dva krajné snímače. Ak sa začne papier vychyľovať, začnú sa zakrývať ďalšie snímače, alebo sa odkrývať zakryté, v závislosti na smere uchádzania papiera. Tým sa indikuje bočné uchádzanie navíjaného papiera, aj smer uchádzania. V prípade že nastane uchádzanie, program v PLC vyšle príkaz pre synchrónny horizontálny pohyb oboch os zdvihu, teda celej odvíjanej roli. Smer pohybu bude závisieť na smere uchádzania. Keď sa papier dostane opäť do svojej pôvodnej polohy, pohyb os sa zastaví. Počas prevíjania bude mať možnosť pohybovať manuálne s odvíjaným valcom horizontálne iba v prípade, že bola vypnutá kontrola uchádzania. Pohyb bude možné ovládať tlačidlami v čele navíjačky, alebo z dotykového terminálu. Pre lepšiu kontrolu pozície papiera, bude v hornej strane navíjačky umiestnený laser. Pomocou jeho lúča si bude môcť obsluha kontrolovať jeden kraj papiera. Laser sa bude zapínať z dotykovej obrazovky.



Obr. 18 Princíp kontroly bočného uchádzania a bokorys

Obsluha bude mať možnosť spúšťať navíjacie pohony krokovaním. Krokovanie sa používa pri zavádzaní papiera na navíjanú cievku. Pri krokovaní sa pohybujú oba navíjacie pohony rovnako ako pri navíjaní, avšak iba po dobu držania tlačidla *Krokovanie.* Po uvoľnení tlačidla sa navíjaný valec zastaví. Pri zastavovaní sa bude brzda chovať rovnako ako v prípade zastavenia pomocou tlačidla STOP. Obsluha bude môcť prejsť z krokovania priamo do navíjania stlačením tlačidla START v dobe keď je stlačené tlačidlo *Krokovanie*.

Rýchlosť navíjania v móde krokovanie bude možné nastaviť z dotykového terminálu, kde bude možné nastaviť aj smer krokovania.

Riadenie uťahovania papiera

Pri navíjaní papiera bude potrebné postupne doťahovať navíjaný papier tak ako bolo popísané v 2.1.3. V závislosti na aktuálnom priemere navíjanej role sa bude meniť pomer rýchlosti hnacieho a uťahovacieho valca.

Pri riadení uťahovania sa bude brať, tak ako už bolo popísane v 2.3.1, jeden valec ako hlavný, ktorého rýchlosť bude udávať rýchlosť celého navíjania. Jeho požadovaná rýchlosť bude posielaná na vstup jeho frekvenčného meniča, ako požadovaná hodnota regulačného obvodu. Hlavný valec teda bude hnací valec. Rýchlosť uťahovacieho valca bude závislá na aktuálnom priemere navíjanej cievky, a teda od aktuálneho pomeru rýchlosti valcov. Bude teda zaostávať za hnacím valcom, alebo ho predbiehať v určitom pomere. Aktuálny pomer bude vstupná veličina, frekvenčného meniča pre riadenie pohonu uťahovacieho valca.

Obsluha si bude pomocou dotykového terminálu nastavovať krivku uťahovania, pomocou ľubovoľného počtu bodov, maximálne však dvadsiatich. Je to krivka závislosti uťahovania, ako veličiny ktorá bola popísaná v 2.1.3, v závislosti na priemere navíjanej role. Pomocou nej sa bude prepočítavať pomer rýchlosti dvoch valcov pre

aktuálny priemer navíjanej role. Príklady krivky uťahovania môžeme vidieť na Obr. 19

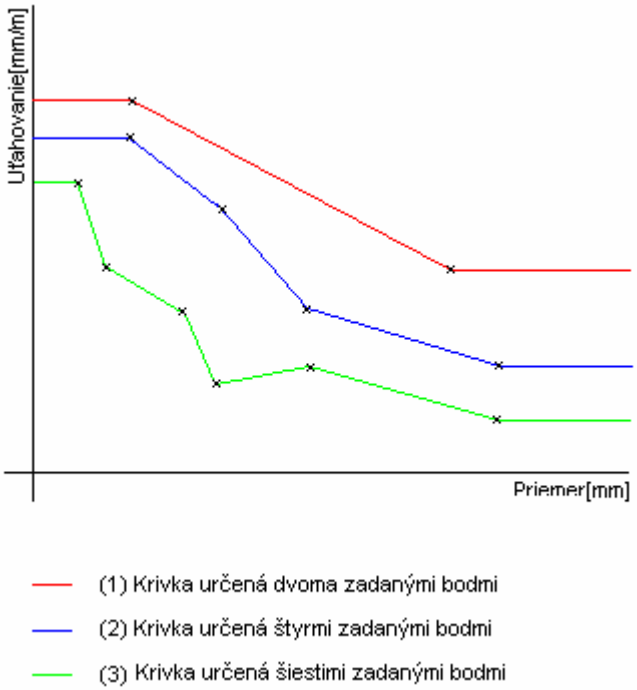
Pomer sa bude vypočítavať podľa nasledujúceho vzťahu:

$$Pomer = \frac{M_1}{M_2} = \frac{1000}{1000 - U}, \text{ kde}$$

M_1 - rýchlosť hnacieho valca
M_2 - rýchlosť uťahovacieho valca
U - uťahovanie [mm/m]
Pomer – aktuálny pomer ,získaný z krivky uťahovania pre aktuálny priemer role

Zo vzťahu je vidieť, že ak povrch hnacieho valca urazí meter dráhy, povrch uťahovacieho o hodnotu uťahovania dlhšiu, alebo kratšiu ako meter.

V prípade žeby obsluha zadala príliš veľké uťahovanie, mohlo by sa stať, žeby nastalo preťaženie pohonu uťahovacieho valca. Preto bude potrebné po dobu navíjania priebežne kontrolovať hodnotu výstupného prúdu z motoru. Ak prúd prekročí maximálnu bezpečnú hodnotu, program začne postupne znižovať uťahovanie až kým prúd opäť neklesne na bezpečnú hodnotu.



Obr. 19 Príklady krivky uťahovania

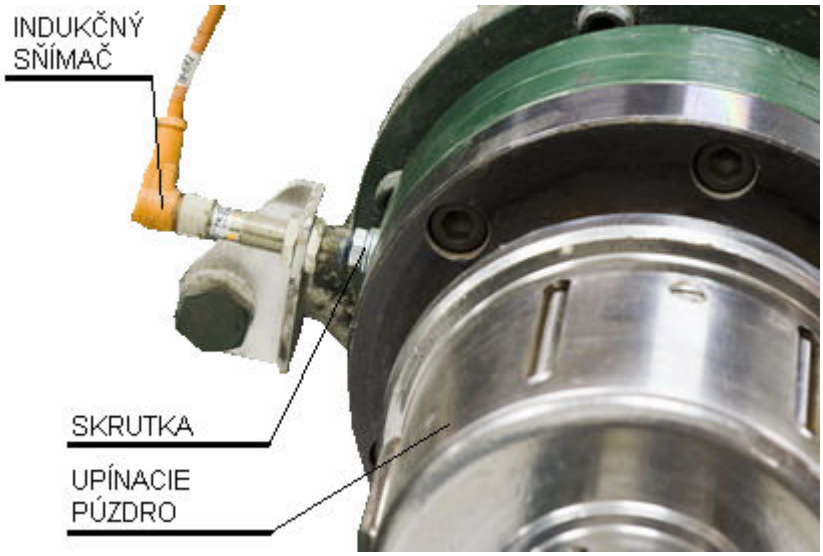
Meranie priemerov a dĺžok

Počas prevíjania budeme potrebovať poznať dĺžku navinutého papiera, priemer odvíjanej role a priemer navíjanej role. Tieto parametre budeme teda musieť merať

Meranie dĺžky navinutého papieru

Na pohone hnacieho navíjacieho valca bude umiestnený inkrementálny snímač. Vďaka nemu budeme môcť získať dĺžku navinutého papiera. Aby bolo možné dĺžku kedykoľvek vynulovať budeme riadiť nulovanie snímača softwarovo pomocou Z – signálu.

Meranie priemeru odvíjanej role
Počas navíjania bude potrebné merať priemer odvíjanej role. Meranie bude prebiehať nepriamo, teda pomocou výpočtu. Na uchytnom puzdre odvíjanej role bude umiestnená kovová skrutka. Na neotočnej časti zakladača bude umiestnený indukčný snímač. Pri otočení odvíjanej role o 360 stupňov dostaneme pulz z indukčného snímača. Na nábežnú hranu tohto pulzu budeme ukladať hodnotu aktuálnej dĺžky papiera a odpočítame od nej dĺžku uloženú pri predchádzajúcom pulze. Tým dostaneme hodnotu dĺžky navinutého papiera za dobu otočenia odvíjanej role o 360 stupňov. Táto dĺžka bude vlastne obvod odvíjanej role. Pomocou vzťahu pre výpočet obvodu kružnice, zo známeho obvodu, vypočítame priemer odvíjanej role. Skrutka s indukčným snímačom sú zobrazené na Obr. 20.



Obr. 20 Systém merania odvíjanej role

Meranie priemeru navíjanej role:
Priemer navíjanej role budeme získavať z inkrementálneho snímača umiestneného na prítlačnom valci. Tento inkrementálny snímač nám udáva informáciu o polohe prítlačného valca. Vďaka tomu, že je prítlačný valec počas navíjania pritlačený na obvode navíjaného valca, môžeme jednoducho zistiť aktuálny priemer navíjanej role.

Zastavenie navíjania

Navíjanie papieru bude vždy zastavované kvôli niektorému z nasledujúcich dôvodov:

Priemer odvíjanej role dosiahol požadovanú hodnotu
Obsluha bude mať možnosť si nastaviť na dotykovom termináli, kontrolu odvíjaného priemeru a hodnotu požadovaného priemeru odvíjanej cievky. Počas navíjania budeme nepretržito merať priemer odvíjanej cievky. Určitú dobu pred dosiahnutím požadovanej hodnoty začne navíjanie plynulo spomaľovať až sa úplne zastaví. Predstih zastavovania bude závislý od aktuálnej rýchlosti a priemeru odvíjanej role. Na dotykovom termináli sa objaví hlásenie od dosiahnutí požadovaného priemeru odvíjanej role. Znovu rozbehnutie navíjania bude možné až pri zmene požadovaného priemeru odvíjanej role alebo pri výmene odvíjanej role a s tým spojenej zmene odvíjaného priemeru

Priemer navíjanej role dosiahol požadovanú hodnotu
Obsluha bude mať možnosť si nastaviť na dotykovom termináli kontrolu navíjaného priemeru a hodnotu požadovaného priemeru navíjanej role. Počas navíjania budeme nepretržite merať priemer navíjanej role. Zastavovanie na priemere bude môcť byť *presné* alebo *približné*. Pri jemnom zastavovaní zastaví navíjanie presne na požadovanom priemere. Jeho nevýhoda bude však zdĺhavé zastavovanie. Pri požiadavku čo najrýchlejšieho zastavenia na požadovanom priemere, bude možné zastaviť približne. Približné zastavovanie bude však na úkor presnosti a teda môže sa stať, že skutočný priemer sa po zastavení bude o malú hodnotu líšiť. Približné zastavovanie sa začne určitú dobu pred dosiahnutím požadovanej hodnoty. Táto doba bude závislá od aktuálneho priemeru navíjanej role a od aktuálnej rýchlosti. Po zastavení sa na dotykovom termináli objaví hlásenie o dosiahnutí požadovaného priemeru.

Dĺžka navinutého papiera dosiahla požadovanú hodnotu
Obsluha bude mať možnosť si nastaviť na dotykovom termináli kontrolu dĺžky navinutého papiera a požadovanú dĺžku navinutého papiera. Počas navíjania budeme nepretržite merať dĺžku navinutého papiera. Rovnako ako v predchádzajúcom prípade zastavenia, bude možnosť jemného a približného zastania, ktoré budú mať rovnaký princíp, výhody, aj nevýhody.

Zastavenie navíjania stlačením tlačidla STOP
Obsluha bude môcť zastaviť navíjanie pomocou tlačidla STOP na bočnom ovládacom paneli, tlačidlom STOP na zadnej strane navíjačky pri odvíjanej roli, alebo z dotykového terminálu. Po stlačení niektorého z týchto tlačidiel začne navíjanie spomaľovať až sa úplne zastaví.

Núdzové zastavenie navíjania
Ak pri navíjaní nastane nejaká nečakaná udalosť, bude sa musieť navíjanie okamžite zastaviť. Pri núdzovom zastavovaní sa bude brzda využívať, podľa nastavenia funkcie TOTAL STOP ako bolo popísané v 3.1.2.

Núdzové zastavenie môže nastať kvôli niektorej z nasledujúcich príčin:

- Nastane pretrhnutie navíjaného papiera
- Navíjaný valec dosiahne kritický priemer
- Bude stlačené tlačidlo TOTAL STOP

Pri núdzovom zastavení sa na dotykovom termináli objaví hlásenie o núdzovom zastavení spolu s príčinou zastavenia.

3.1.4 Riadenie vykladania navinutej role

Po skončení navíjania bude potrebné vyložiť navinutú cievku papiera von z navíjačky pomocou vykladacieho zariadenia popísaného v 2.2.4.

Pred vyložením role, bude musieť obsluha manuálne odistiť navíjací hriadeľ. Odistenie hriadeľa bude indikovane indukčnými snímačmi. Na každej strane bude jeden snímač.

Aby bolo možné vyložiť navíjanú rolu, bude potrebné manuálne odistiť a spustiť vykladací mostík, spojujúci zdvíhaciu plošinu s navíjačkou. Spustenie mostíku bude

indikované indukčným snímačom. Vrátenie mostíku do pôvodnej polohy, bude indikované ďalším indukčným snímačom.

Rola sa dostane dole z navíjačky pomocou hydraulickej zdvíhacej plošiny. Plošinu si bude obsluha zdvíhať pomocou tlačidla *Plošinu nahor* na dotykovom termináli, alebo mechanickým tlačidlom na rozvodnej skrini. Plošina sa bude pohybovať smerom nahor po dobu držania niektorého z týchto tlačidiel. Po uvoľnení tlačidla sa pohyb plošiny okamžite zastaví. Horná poloha plošiny bude indikovaná koncovým mechanickým spínačom. Po dosiahnutí tejto polohy sa pohyb plošiny zastaví. Pohyb plošiny nadol bude obsluha spúšťať tlačidlami *Plošina nadol,* umiestneným rovnako, ako tlačidlo pre zdvíhanie plošiny. Pohyb plošiny sa bude opäť vykonávať iba po dobu držania niektorého z tlačidiel pre pohyb nadol a po uvoľnení sa pohyb okamžite zastaví. V spodnej polohe plošiny bude umiestnený koncový mechanický spínač. Po jeho dosiahnutí sa pohyb plošiny zastaví.

Na spodnej strane plošiny budú umiestnené štyri mechanické spínače, zapojené sériovo. Pri zopnutí aspoň jedného z týchto snímačov sa pohyb plošiny ihneď zastaví. To pomôže zabrániť úrazu, alebo mechanickému zničeniu zariadenia, v prípade nesprávnej manipulácie.

Ako bolo popísané v 2.2.4., pri pohybe smerom nahor sa musí spustiť pohon hydraulickej pumpy. Ten sa bude spúšťať tlačidlom *Plošina nahor*, teda spoločne s pokynom pre pohyb plošiny nahor. Pohon sa zastaví po uvoľnení tohto tlačidla.

Cievka sa bude vykladať z navíjača na plošinu pomocou tzv. hydraulického vykladacieho zariadenia, ktoré bolo popísané v 2.2.4. Vykladacie zariadenie sa uvedie do pohybu stlačením tlačidla *Vykulení role,* na dotykovom termináli. Stlačením tohto tlačidla sa otvorí hydraulický ventil, zariadenie začne vytláčať rolu von z navíjača. Koncová poloha vykladacieho zariadenia bude indukovaná indukčným snímačom. Po dosiahnutí koncovej polohy sa ventil znovu uzavrie, vykladacie zariadenie sa začne pohybovať do počiatočnej polohy. Tá bude indikovaná ďalším indukčným snímačom.

Aby bolo možné vyložiť cievku z navíjača pomocou vykladacieho zariadenia, budú musieť byť splnené tieto podmienky:

- Musí byť odistený navíjací hriadeľ na oboch stranách
- Prítlačný valec musí byť na hornej koncovej polohe
- Musí byť spustený mostík spájajúci navíjač so zdvíhacou polohou
- Plošina musí byť v hornej koncovej polohe
- Vykladacie zariadenie musí byť v základnej polohe

Ak sa obsluha pokúsi vyložiť rolu pomocou tlačidla *Vykulení*, a nebude splnené všetky s predchádzajúcich podmienok, nebude vykladanie role možné. Dôvod, prečo nie je možné rolu vyložiť bude zobrazený na dotykovom termináli príslušným hlásením.

Znovu spustenie navíjania bude možné až v prípade, že bude plošina v dolnej polohe, mostík nebude vyklopený a vykladacie zariadenie bude v základnej polohe. Tým pomôžeme zabrániť poškodeniu zariadenia, prípadne pracovnému úrazu.

3.2. Požiadavky na užívateľské rozhranie

Pre jednoduchšie a priehľadnejšie ovládanie zariadenia a kvôli potrebe získavania potrebných údajov, bude navíjačka vybavená rozhraním pre styk človeka so zariadením, tzv. Human Machine Interface, skrátene HMI.

Na základe požiadavku zadávateľa práce, bude navíjačka vybavená HMI s dotykovou farebnou obrazovkou.

Zobrazované údaje a ovládacie prvky obrazovky budú rozdelené na niekoľko stránok. Požiadavky na obsah jednotlivých stránok boli zadané zadávateľom. Na ich základe, budú navrhované jednotlivé stránky.

V nasledujúcich podkapitolách budú popísané požiadavky pre jednotlivé zobrazované stránky. Pri samotnom návrhu softwaru pre HMI, budú možné drobné zmeny, ktoré budú vyplývať z konzultácii s obsluhou navíjačky, pre zlepšenie tzv. usability užívateľských stránok.

Hlavná stránka

Táto stránka bude zobrazovaná ako prvá, hneď po spustení celého zariadenia. Budú sa v nej zobrazovať údaje o aktuálnych hodnotách priemeru navíjanej, aj odvíjanej role a dĺžky navinutého papiera, hodnota aktuálneho ťahu brzdy, hodnota aktuálneho uťahovania papieru, hodnota prítlaku prítlačného valca, aktuálna rýchlosť navíjania a celkový počet navinutých metrov, s možnosťou nulovania.

Užívateľ bude môcť z tejto stránky spustiť navíjanie, tlačidlom START a zastaviť navíjanie tlačidlom STOP. Bude môcť nastaviť požadovanú rýchlosť navíjania a prejsť na túto rýchlosť stlačením príslušného tlačidla. Na stránke bude možnosť spustiť a zastaviť odťahový regulátor príslušnými tlačidlami a nastaviť rýchlosť odťahu.

Pre potreby zastavovania na určitých parametroch navinutej, alebo odvinutej role, bude možnosť nastavenia hodnoty požadovanej dĺžky navinutého papiera a požadovaných priemerov s možnosťou zapínania týchto kontrol.

Na stránke budú tlačidla pre ovládanie pohybu zakladacích os, pre prípad dorovnanie odvíjanej role a tlačidlo pre zapnutie funkcie *Kontrola bočného uchádzania.*

Tlačidlom *Laser*, si bude môcť obsluha zapínať a vypínať laser pre kontrolu bočnej hrany navíjaného papiera.

Stránka nastavenia brzdy

Na tejto stránke si bude obsluha nastavovať parametre brzdy popísané v 3.1.2. Pre zadávanie číselných hodnôt bude k dispozícii numerická klávesnica. Stránka bude zobrazovať informáciu o aktuálnom ťahu brzdy a aktuálnom výkone brzdy

Stránka zakladania role

Na tejto stránke budú tlačidla pre manipuláciu zakladacích os všetkými smermi, ako synchrónne, tak aj každou osou jednotlivo. Bude tu umiestnené tlačidlo pre dotlačenie os k odvíjanej cievke. Obsluha si z tejto stránky bude môcť nastaviť rýchlosť pohybu s osami pri manipulácii a rýchlosť pri dotlačovaní.

Stránka vykladania role

Pomocou tejto stránky bude možne zadávať príkazy potrebné k vykladaniu role. Budú na nej zobrazované stavy všetkých podmienok potrebných pre vyloženie role a tlačidlo spúšťajúce vykladacie zariadenie.

Obsluha si bude z tejto obrazovky zdvíhať prítlačný valec, a manipulovať so zdvíhacou plošinou oboma smermi.

Stránka nastavenia a sledovania uťahovania

Na stránke sa bude dať definovať krivka uťahovania popísaná v 3.1.3. Užívateľ bude mať možnosť pridávať body do krivky, a uberať body v krivke, pričom sa mu bude krivka aktuálne zobrazovať. Získa tak prehľad nad celou krivkou uťahovania.

Pri navíjaní sa bude zobrazovať aktuálna poloha v krivke, spolu s údajmi o aktuálnom priemere navíjanej role a aktuálnom uťahovaní.

Stránka nastavenia a sledovania pritláčania

Na stránke sa bude dať definovať priamka pritláčania. Užívateľ bude zadávať dva body priamky. Priamka sa mu bude hneď zobrazovať. Tak získa okamžitý prehľad o tvare priamky.

Pri navíjaní sa bude zobrazovať aktuálna poloha na krivke aj s údajmi o aktuálnom priemere navíjanej role a aktuálnom pritlačovaní.

Stránka nastavenia zrýchľovania a spomaľovania

Užívateľ si na stránke bude nastavovať krok zrýchľovania a spomaľovania navíjania, pričom sa mu bude okamžite znázorňovať rampa pre zrýchľovanie aj spomaľovanie.

Tlačidlami zrýchľovanie a spomaľovanie, bude môcť užívateľ meniť okamžitú rýchlosť navíjania.

Stránka výrobných štatistík

Na stránke budú zobrazené štatistiky o výrobe. Bude tu graf priebehu navíjacej rýchlosti a graf navinutých dĺžok papiera v závislosti na čase. Obsluha si bude môcť meniť časovú základňu zobrazovaného grafu.

Diagnostická stránka

Na tejto stránke budú zobrazované stavy všetkých použitých binárnych vstupov a výstupov. Užívateľ si bude tiež môcť prezerať hodnoty analógových vstupov a výstupov a aktuálne hodnoty všetkých inkrementálnych senzorov

Alarmy

V spodnej časti každej obrazovky sa budú zobrazovať aktuálne hlásenie o stave navíjacieho procesu vrátane chybových hlásení.

Pre zobrazenie histórie hlásení bude existovať stránka *história hlásení*. Na tejto stránke budú zobrazovaná história hlásení aj s údajom o ich aktuálnom stave a čase výskytu každého hlásenia.

Hlavné menu

Hlavné menu bude zobrazované na každej hore popísanej obrazovke. Bude umiestnené v dolnej časti obrazovky. Pomocou neho si bude môcť obsluha prepínať podľa potreby medzi jednotlivými stránkami.

3.3. Hardwarová inštrumentácia pre riadenie navíjačky

Súčasťou návrhu riadenia navíjačky je aj návrh vhodného hardwaru. Pri jeho návrh musíme brať v úvahu požiadavky zadávateľa práce, ako na funkčnosť zariadenia, tak na finančné požiadavky. Pri návrhu sa môžeme opierať o už existujúce návrhy iných výrobcov podobných zariadení. V dnešnej dobe máme na výber nepreberné množstvo riadiacich komponentov, rôznych kvalít, zaradených v rôznych cenových hladinách, vyrábaných rôznymi výrobcami. V neposlednej rade preto, ovplyvňujú náš návrh konzultácie s výrobcami a predajcami jednotlivých potrebných komponentov.

Základom celého riadiaceho systému je riadiaca jednotka. Preto veľký dôraz kladieme na zvolenie vhodnej riadiacej jednotky. Pre rozhranie medzi obsluhou a riadiacim systémom potrebujeme navrhnúť vhodné HMI. Pre získanie potrebných informácii o priebehu riadeného procesu, musíme navrhnúť potrebné snímače. Aby sme mohli riadiť jednotlivé časti zariadenia popísane v predchádzajúcich kapitolách, je dôležité zvoliť správne akčné členy.

Niektoré zariadenia z pôvodného riešenia riadenia navíjačky boli vhodné aj pre realizáciu nášho návrhu riadenia. Tieto zariadenia sme na navíjačke ponechali.

V nasledujúcich kapitolách bude popísaný celý návrh hardware rozdelený po jednotlivých hardwarových častiach

3.3.1. Návrh senzorov akčných členov a spínačov.

Pre zabezpečenie funkčnosti popísanej v 3.1. musíme dokázať zbierať informácie o priebehu výrobného procesu a patrične reagovať na dané informácie. Na to nám slúžia snímače a akčné členy.

Snímače

Snímače ktoré sme použili na riadenie navíjačky sú:

- Indukčné snímače
- Inkrementálne senzory
- Svetelná reflexná závora
- Vidlicová svetelná závora
- Snímač mechanického napätia – tenzometer

Všetky ***indukčné snímače*** použité pre riadenie navíjačky sú od výrobcu *SICK*. Pri priblížení kovového predmetu k tomuto snímaču sa na snímači naindukuje jednosmerné napätie o hodnote 24V. To sa dá použiť ako vhodný vstupný signál pre riadiacu jednotku.

Inkrementálne senzory použité pre riadenie navíjačky, sú vyrábané výrobcom *SICK.* Bolo použitých šesť inkrementálnych snímačov typu *DGS-60.* Štyri z nich pre určenie polohy zakladacích os. Snímače boli umiestnené na hriadeľoch pohonov jednotlivých os. Jeden snímač sme použili pre určenie polohy prítlačného valca. Posledný snímač sme umiestnili na hriadeľ pohonu hnacieho uťahovacieho valca. Ten nám meria dĺžku navinutého papieru a pomocou neho sa určuje rýchlosť otáčania sa hnacieho valca.

Snímač *DGS-60* má tri výstupné kontakty: A, B a Z - fázu . A a B sú totožné umiestnené hneď vedľa seba. Na oboch kontaktoch sa teda objavujú pulzy rovnakej dĺžky, rovnakej frekvencie, sú však fázovo posunuté. Pomocou nich je možné určiť smer otáčania sa hriadeľu inkrementálneho senzoru. Z - fáza slúži väčšinou k indikácii pozície "*home*".

Pre kontrolu nepretrhnutia navíjaného papieru sme použili ***svetelnú reflexnú závoru*** od výrobcu SICK**.** Skladá sa vysielača svetelného lúča, z prijímača svetelného lúča a z odrazovej plochy. Vysielač a prijímač sme umiestnili pod navíjaný papier. Nad papier sme umiestnili odrazovú plochu. V prípade že sa papier pretrhne, vyslaný lúč sa odrazí od odrazovej plochy a prijímačom sa zachytí. Vtedy sa na výstupe snímača objaví jednosmerné napätie, úrovne 24V. Celý systém kontroly nepretrhnutia papiera je vidieť na obr. v Príloha A - Obr. 12.

Pre kontrolu stranového uchádzania papiera, sme po konzultácii s technickou podporou firmy *SICK* použili štyri snímače ***vidlicová svetelná závora*** typu *WF3T.* Je to senzor pracujúci na jedno cestom princípe prenosu svetla, ktorý má vysielač aj prijímač umiestnený v jednom puzdre. Vzdialenosť medzi vysielačom a prijímačom je pevné daná a označuje sa ako vidlicová vzdialenosť. Vďaka vysoko presnému orientovaniu svetelného lúču sú detekované aj minimálne zmeny intenzity svetla.

Princíp súčinnosti všetkých štyroch senzorov bol už popísaný v 3.1.3. a je zobrazený na Obr. 18. Snímač vidieť na Prilíha A - Obr. 11

Tenzometre, teda ***snímače mechanického napätia***, slúžia na meranie napnutia papieru. Použili sme dva tenzometre vyrobené firmou *Re-Spa*, ktoré sme ponechali z pôvodného riešenia. Princíp ich činnosti už bol popísaný v 2.2.2. Hodnota mechanického napätia sa prenáša na výstup v podobe elektrického napätia, rozsahu 0 až 15mV

Koncové spínače

Ako bolo popísané v 3.1.4., koncové polohy zdvihu plošiny sú strážené pôvodnými koncovými spínačmi. Fungujú na princípe spínania mechanického kontaktu. Keďže sú tieto spínače prevzaté z pôvodného riešenia riadenia navíjačky, nebudeme sa im bližšie venovať.

Ovládacie hlavice a ovládacie spínače

Pre zadávanie vstupných binárnych dát sme použili ovládacie hlavice od výrobcu *Telemechanique.*

Na ovládací panel na bočnej strane zariadenia sme umiestnili ovládacie spínače na spustenie a zastavenie navíjania, tlačidla zrýchľovania a spomaľovania, zdvihnutia a spustenia prítlačného valca, spínač pritlačenia rezacích nožov a tlačidlo TOTAL STOP. Na ovládacom paneli umiestnenom na rozvodnej skrini sú tlačidla pre spustenie a vypnutie celého zariadenia, pre spustenie a vypnutie odťahového ventilátoru, tlačidla pre pohyb zdvíhacej plošiny, tlačidla zrýchľovania a spomaľovania a tlačidlo TOTAL

STOP. Na prednej strane navíjačky sú tlačidla pre horizontálny pohyb zakladacích os, pre spustenie krokovania a tlačidlo TOTAL STOP. V zadnej strane navíjačky je umiestnené tlačidlo pre zastavenie navíjania a tlačidlo TOTAL STOP. Pôvodný závesný ovládací terminál je popísaný v 2.2.1.

Ventily

Pre riadenie všetkých pneumatických a hydraulických zariadení sú použité pneumatické a hydraulické ventily.

Na základe možnosti regulácie ventilov rozdeľujeme nami použité ventily na:

- Dvojpolohové ventily
- Spojito-regulovateľné proporcionálne ventily

Všetky použité *dvojpolohové ventily* sme ponechali z pôvodného riešenia. Ide o ventily pre ovládanie zdvihu plošiny, poistné ventily pre zdvih prítlačného válca a ventil slúžiaci ovládaniu vykladacieho zariadenia. Tieto ventily sú ovládané binárnym signálom, v podobe jednosmerného napätia s úrovňou 24 V.

Pre riadenie navíjačky sme použili, po konzultácii s technickou podporou firmy *FESTO* dva *spojito-regulovateľné pneumatické ventily* vyrábané týmto výrobcom, pričom jedným regulujeme brzdný účinok brzdy, a druhým prítlak prítlačného valca. Oba použité ventily sú rady *MPPES,* elektrický nastavované, napätím rozsahu 0 až 10V.

Ostatné súčasti

Zariadenie obsahuje *laserovú kontrolu hrany papiera*. Je to zariadenie ponechané z pôvodného riešenia, ktoré vysiela laserový lúč tak, že sleduje jednu hranu papiera. Tým si obsluha kontroluje vizuálne stranové zarovnávanie.

Z pôvodného riešenia ostal na zariadení *semafor* s troma farbami: červená, žltá, zelená, ktorý znázorňuje stav prebiehajúceho procesu.

3.3.2. Návrh pohonov a frekvenčných meničov

Pre riadenie navíjačky sme použili celkovo osem pohonov. Štyri pohony, zabezpečujúce pohyb zakladacích os, sme ponechali z pôvodného riešenia. Sú to asynchrónne trojfázove motory vyrábané výrobcom *SIEMENS.* Ako už bolo popísané v 3.1.1., pohony vykonávajúci vertikálny pohyb zdvíhacích os disponujú výkonom 4kW a pohony zabezpečujúce horizontálny pohyb sú o výkone 1,5kW.

Pre poháňanie oboch navíjacích valcov, ako hnacieho tak aj uťahovacieho, sme použili dva identické asynchrónne pohony vyrábané výrobcom *SIEMENS.* Keďže v pôvodnom riešení boli oba tieto valce poháňané jedným pohonom o výkone 22kW a boli vzájomne spojené variátorom, s remeňovým prevodom, rozhodli sme sa použiť motory o výkone 11kW. Oba motory sme vybavili prevodovkou značky *Lenze, s* prevodovým pomerom 2,048.

Pumpu hydrauliky pre zdvih plošiny poháňame pôvodným trojfázovým asynchrónnym motorom. Jeho presne parametre však bližšie nepoznáme, pretože výrobný štítok je nečitateľný. Meraním sme určili jeho približný výkon na 8kW.

Posledný použitý pohon, je trojfázový 4kW asynchrónny motor, slúžiaci k poháňaniu odťahového ventilátoru, na odvoz odrezkov.

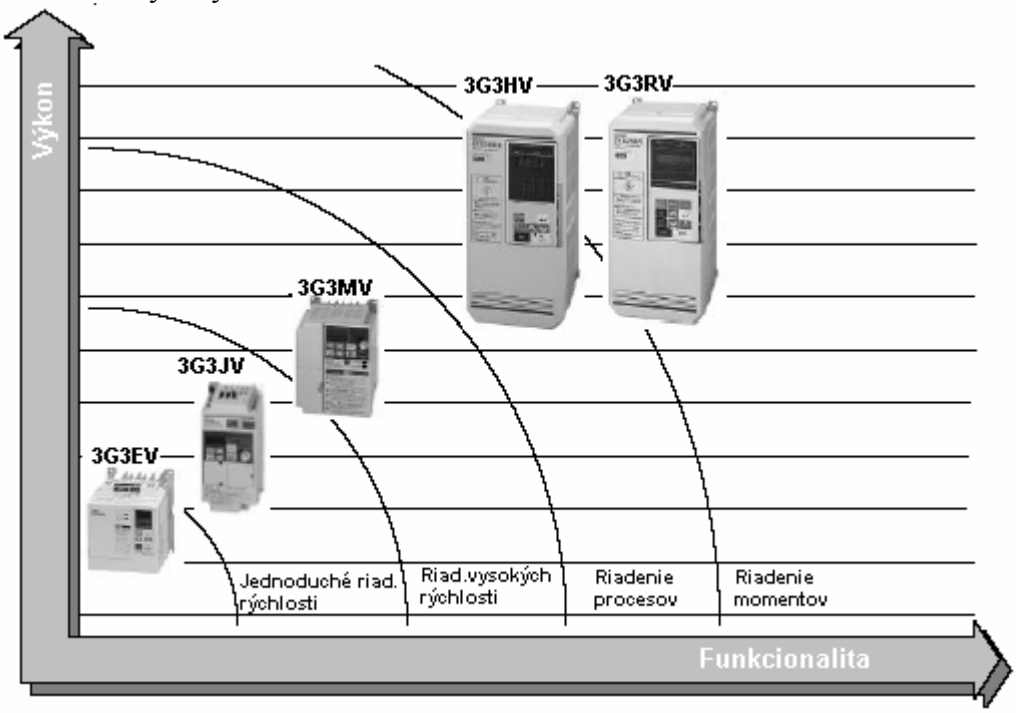
Všetky spomenuté motory, okrem motoru hydrauliky, sme potrebovali regulovať. Bolo teda potrebné nasadenie frekvenčných meničov. Motor hydrauliky potrebujeme iba uvádzať do chodu a zastavovať. Na to nám postačuje použitie stýkača.

Návrh frekvenčných meničov

Pre riadenie siedmich z ôsmich pohonov sme použili frekvenčné meniče. Pre zachovanie kompatibility, keďže firma Papír-Novák disponuje ďalšími dvoma zariadeniami, s nasadeným systémom *Omron,* sme sa rozhodli nasadiť všetky meniče vyrábané spoločnosťou *Omron.*

V ponuke spoločnosti *Omron*, je päť sérii frekvenčných meničov, ktoré sa odlišujú v dvoch hlavných parametroch: vo funkcionalite a vo výkone. V ponuke sú ako vektorové, tak aj skalárne meniče. Vďaka týmto parametrom sme si mohli vybrať frekvenčné meniče, ktorý presne zodpovedali našim požiadavkám.

Na Obr. 21 je znázornenie rozdelenia frekvenčných meničov na základe funkcionality a výkonu.



Obr. 21 Rozdelenie frekvenčných meničov v závislosti na výkone a funkcionalite

Pri výbere konkrétneho meniča sme sa orientovali podľa Tab. 2, dodanej technickou podporou spoločnosti *Omron* . Vyberali sme teda podľa výkonu motora, na ktorého riadenie sa menič bude používať. Pri výbere hrala dôležitú úlohu, možnosť pripojenia meniča na komunikačnú zbernicu. Touto možnosťou nedisponujú meniče rady *3G3EV* a *3G3JV,* majú však možnosť montáže prídavnej karty s rozhraním RS-422A/485. Tým nám zároveň dáva podmienku na použitie priemyslovej zbernice s týmto sériovým rozhraním, pre komunikáciu medzi frekvenčnými meničmi a riadiacou jednotkou.

Na základe Tab. 2 sme zvolili nasadenie frekvenčných meničov 3G3MV, predtým značených ako V7-Varispeed , pre riadenie pohonov os zakladača.

Zdvíhacie osi zaraďujeme do kategórie výťahy. Ich výkony sú 1,5kW a 4kW. Pre riadenie pohonu odťahového ventilátoru sme použili menič 3G3JV, predtým označovaný ako J7. Jeho voľba je jasná z Tab. 2.

Pre riadenie pohonov, navíjacích valcov sme rozhodli použiť meniče 3G3RV, predtým označované ako F7. Sú určené pre riadenie momentu, pohonov veľkých

výkonov. Navyše majú možnosť pridania rozširovacej karty PG-Z2 a PG-X2 pre riadenie pomeru rýchlosti dvoch a viac pohonov.

	Výkon(kW)	0.1-1.5	0.1-4.0	0.1-7.5	0.4-4.0	4.0-15	18.5-300
Kvadratický moment	Ventilátory, Pumpy	3G3EV	3G3JV	3G3MV	3G3HV	3G3HV	-
Konštantný moment	Výťahy	-	-	3G3MV	-	3G3RV	3G3RV
	Dopravníky	3G3EV	3G3JV	3G3MV	3G3HV	3G3HV/FV	3G3RV
	Výtlačné lisy	-	-	-	-	3G3RV	3G3RV
	Ťažký priemysel	-	-	-	-	3G3RV	3G3RV
Cyklické spúšťanie	Paletizácie	3G3EV	-	3G3MV		3G3HV/RV	3G3RV
	Stroje a zariadenia	-	-	-	-	3G3RV	3G3RV
	Lisy	-	-	-	-	3G3RV	3G3RV
	Roboty	-	-	-	-	-	-
Riadený moment	Navíjačky(vlákna)	-	-	-	-	3G3HV/RV	3G3RV
	Navíjačky(jemný materiál)	-	-	-	-	3G3RV	3G3RV
	Vretená	-	-	-	-	3G3RV	3G3RV

Tab. 2 Tabuľka výberu frekvenčného meniča vzhľadom k aplikácii

Všetky vybrané frekvenčné meniče podporujú komunikačný protokol *MODBUS*. Riadiaca jednotka teda komunikuje so všetkými meničmi po zbernici pomocou tohto protokolu. Dáta jednotlivých parametrov sú ukladané do registrov. Register pre každý parameter ma svoju špecifickú HEX adresu. Signály pre štart, smer pohybu a stop, sú však z bezpečnostných dôvodov posielané binárne pomocou multifunkčných vstupov, ktorými sú všetky meniče vybavené.

Pre nastavovanie a monitorovanie parametrov jednotlivých meničov sme použili konfiguračný software *CX-Drive.*

Dôležité nastavené parametre sú:

- Nastavenie tzv. Jog frekvencie
- Nastavenie maximálnej povolenej frekvencie
- Nastavenie minimálnej povolenej frekvencie
- Nastavenie maximálnej povolenej hodnoty výstupného prúdu
- Nastavenie maximálnej doby prekročenia maximálnej hodnoty výstupného prúdu

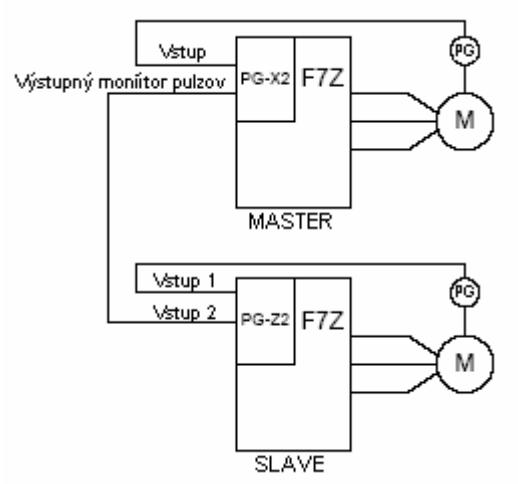
Jog frekvencia je frekvencia ktorou sa točí motor po jeho spustení.
Nastavením *maximálnej a minimálnej frekvencie*, upravíme frekvenčný rozsah fungovania motoru.
Aby nenastalo preťaženie pohonu a jeho následné zničenie, musíme nastaviť *maximálny povolený výstupný prúd a maximálnu dobu prekročenia* tejto hranice. Ak by bol výstupný prúd vyšší ako nastavená hodnota po dobu dlhšiu ako je nastavená maximálna doba, pohon sa ihneď vypne.

Riadenie pomeru rýchlosti pomocou prídavných kariet Z2 a X2

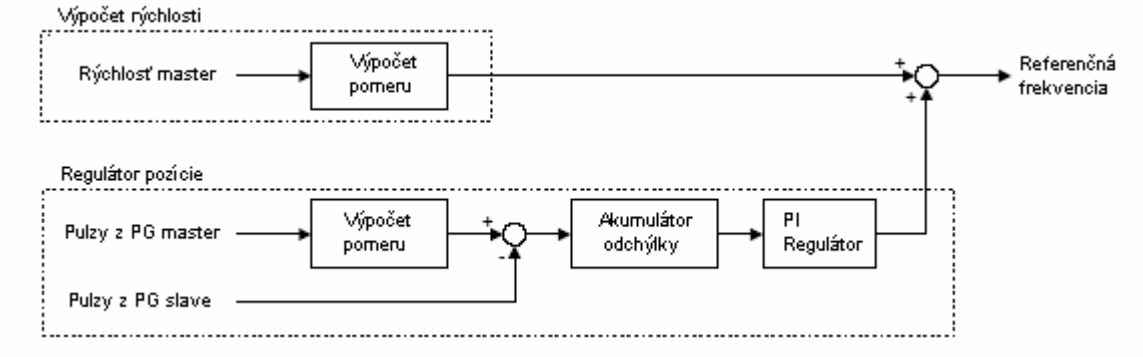
Použitie týchto prídavných kariet umožňuje pohonu sledovať rýchlosť jemu nadriadeného *MASTER* pohonu v určitom zadanom pomere. Tento pomer je nastaviteľný ako vstup karty Z2, ktorá je namontovaná na frekvenčnom meniči,

sledujúceho *SLAVE* pohonu. Bloková schéma zapojenia týchto dvoch meničov pomocou prídavných kariet je zobrazená na Obr. 22.

Princíp činnosti prídavnej karty PG-Z2, teda karty umožňujúcej sledovanie rýchlosti v určitom pomere je znázornený na Obr. 23.



Obr. 22 Zapojenie frekvenčných meničov pomocou prídavných kariet PG-X2 a PG-Z2



Obr. 23 Princíp činnosti karty PG-Z2

Do karty sú privádzané informácie o rýchlosti z oboch pohonov, ako z master, tak aj zo slave, vo forme pulzov ich pulzných generátorov (PG) umiestnených na výstupe. Rýchlosť master, je násobená pomerom, ktorý je programovo zadávaný. Odchýlka medzi násobenou rýchlosťou mastra a rýchlosťou slave, je privádzaná do PI regulátoru. Jeho výstup je pripočítavaný k vopred vypočítanej referenčnej frekvencii.

Parametre PI regulátoru sa nastavujú ako ostatné parametre frekvenčných meničov. Sú však prístupné iba ak je na meniči namontovaná prídavná karta.

Pomer, ktorým sa násobí rýchlosť mastra, sa posiela na vstup PG-Z2 karty, po sériovej zbernici. V konečnom riešení teda posielame rýchlosť navíjania na vstup mastra a pomer uťahovania na vstup slave.

3.3.3. Návrh riadiacej jednotky

Pri návrhu riadiacej jednotky sme sa držali základného požiadavku zadávateľa, a to nasadenia PLC. Keďže firma *Papír – Novák* disponuje dvoma zariadeniami riadenými pomocou PLC od výrobcu *Omron* a v budúcnosti plánuje zmodernizovať ďalšie zariadenia, bolo jedným z požiadavkov navrhnúť vhodne PLC práve od tohto výrobcu.

Keďže je možné, že časom sa zmenia požiadavky na funkčnosť navíjačky a keďže je potrebné použitie špeciálnych vstupov a výstupov, použili sme pre riadenie navíjačky PLC s možnosťou voľby modulov. Pri jeho návrhu potrebujeme poznať počet vstupov a výstupov, no nemusíme tento počet striktne dodržiavať, pretože je možnosť jednoduchého rozšírenia PLC prídavnými kartami.

Návrh PLC s možnosťou voľby modulov, pre konkrétnu aplikáciu pozostáva z dvoch časti:

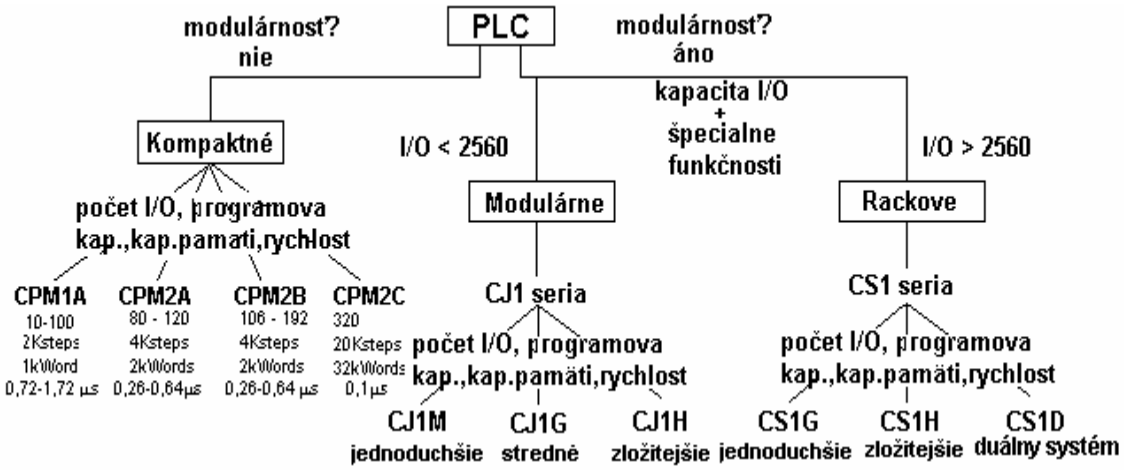
- Návrh vhodnej procesorovej jednotky
- Návrh vhodných rozširovacích kariet

Návrh procesorovej jednotky

Pri návrhu procesorovej jednotky si musíme položiť otázku : „Aká bude zložitosť riadeného zariadenia“, inými slovami, koľko budeme potrebovať premenných, koľko vstupných a výstupných bodov budeme ovládať, a akého približného rozsahu bude naprogramovaný software. Rozsah software sa udáva v jednotkách *kSteps* (kilokrokov) alebo *kWords* (kiloslov). Pýtame sa teda, z koľkých krokov bude pozostávať riadiaci program. Ďalším veľmi dôležitým parametrom v návrhu procesorovej jednotky je procesná rýchlosť, teda rýchlosť načítania vstupov, vykonania jednotlivých inštrukcií a vyhodnotenia výstupov.

V ponuke firmy *Omron* sú dve procesorové série s možnosťou voľby modulov: *CS1*(rackový) a *CJ1*(modulárny) a jedna kompaktná séria. Každá séria ma niekoľko procesorových rád, ktoré sa vzájomne odlišujú procesnou rýchlosťou, počtu I/O bodov, a rozsahu programovej kapacity.

Postup pri voľbe procesorovej rady pre konkrétnu aplikáciu môžeme vidieť na Obr. 24



Obr. 24 Postup pri voľbe procesorovej rady

Ako bolo spomenuté vyššie, pre riadenie navíjačky sme požadovali modulárne PLC. Prichádzali pre nás, teda do úvahy, procesorové jednotky zo série CJ1 a CS1

Procesorová séria *CJ1* obsahuje tri procesorové rady:

- CJ1M
- CJ1G
- CJ1H

Procesorová séria CS1 obsahuje tri procesorové rady:

- CS1G
- CS1D
- CS1H

V Tab. 3 sú znázornené parametre procesorových rád pre PLC s modulárnou štruktúrou.

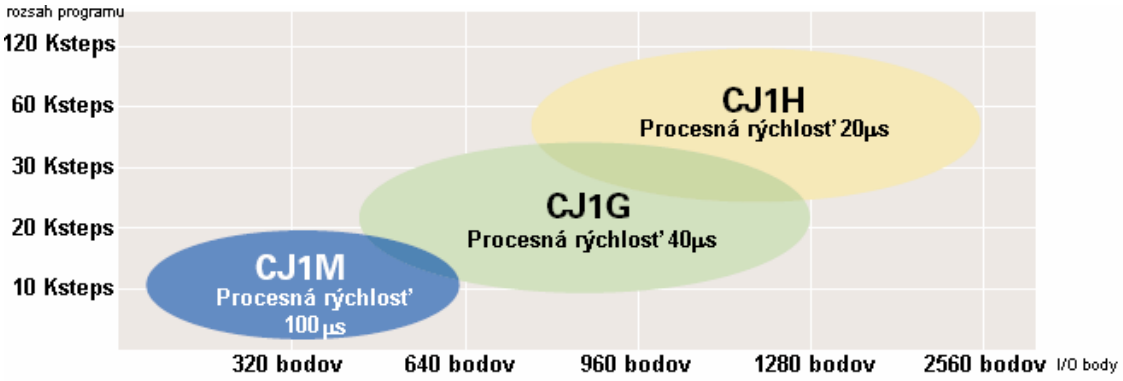
	Max. kapacita I/O Vstupné/Výstupné body	Prgramová kapacita (Ksteps)	Kapacita pamäti (kWords)	Procesný čas (ns)
Rada CS1H	5120	20 – 250	64 – 448	20
Rada CS1G	960 - 5120	10 - 60	64 – 128	40
Rada CJ1H	2560	60 – 250	128 – 448	20
Rada CJ1G	960 – 1280	10 – 60	64 – 128	40
Rada CJ1M	160 – 640	5 – 20	32	100

Tab. 3 Parametre procesorových sérií CS1 a CJ1

Procesorová rada CS1D má rovnaké parametre ako rada CS1H. Doplňuje ju však o rad volieb duálnej redundancie k zaisteniu celodennej prevádzky s minimálnymi prestojmi. U týchto procesorových jednotiek neustále prebieha krížová kontrola chýb. Pre obmedzenie servisných prestojov, existuje možnosť vybavenia týchto procesorov, duálnymi zdrojmi napájaní.

Aplikácia riadenia navíjačky patrí svojim rozsahom a požiadavkami na pamäť skôr k menej náročným. Pre riadenie navíjačky je potrebných menej ako 2500 I/O bodov. Dali sme teda prednosť použitiu *modulárneho* PLC pred *rackovým*. To znamená použite procesoru zo série CJ1.

Rozdelenie procesorových rád, zo série CJ1 je vidieť z Obr. 25. Pamäťové alokácie, inštrukcie a I/O jednotky jednotlivých rád sú navzájom kompatibilné. To znamená, že existujúci program a komponenty, môžu byť ľahko znovu použité vo veľkých aj malých inštaláciách.



Obr. 25 Procesorová séria CJ1

Vďaka pamäťovej nenáročnosti aplikácie riadenia navíjačky (vystačíme si menej ako 20 tisícami krokov programu) a vďaka relatívne nízkemu počtu I/O bodov, ktorý je nižší ako 640, javilo sa ako najoptimálnejšie použitie procesoru z procesorovej rady CJ1M. Navyše proces navíjania nevyžaduje vysokú procesnú rýchlosť. Aj v tomto ohľade rada CJ1M vyhovuje, pretože procesná doba vykonávania inštrukcií procesorov z tejto rady je 100µs. Rada CJ1M má zo všetkých ponúkaných modulárnych rád najpriaznivejšiu cenu. Vyhoveli sme tým požiadavku zadávateľa, navrhnúť riadenie v čo najnižšej cenovej hladine.

Každá procesorová rada, teda aj rada CJ1M, obsahuje niekoľko procesorových jednotiek. Jednotky sa od seba líšia, rozsahom programu, množstvom I/O bodov, rýchlosťami a prípadne obsahom špeciálnych vstupov a funkcií (komunikačný port pre ethernet, rýchle vstupy atd.)

Parametre jednotlivých procesorových jednotiek v procesorovej rade CJ1M sú zobrazené v Tab. 4

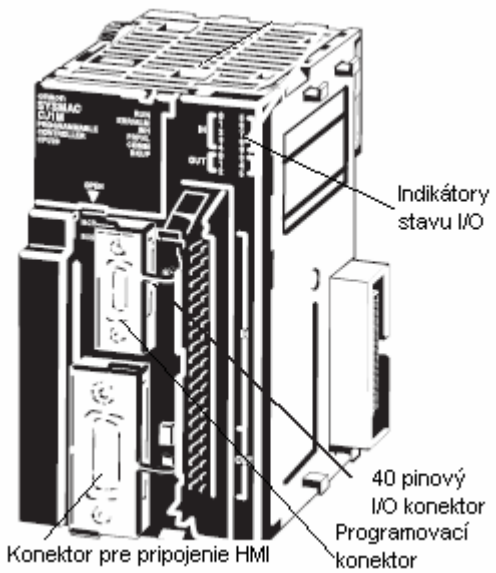
Program. kapacita	Pamäťová kapacita	Procesná doba	Max. I/O jedn.	Vstavané funkcie	Model
20 kSteps	32 kWords	100 ns	20	2 vstupy pre inkrementály (100 kHz) 2 Pulzné výstupy (100 kHz) 4 vstupy prerušenia	CJ1M-CPU23
10 kSteps	32 kWords	100 ns	10	2 vstupy pre inkrementály (100 kHz) 2 Pulzné výstupy (100 kHz) 4 vstupy prerušenia	CJ1M-CPU22
5 kSteps	32 kWords	100 ns	10	2 vstupy pre inkrementály (100 kHz) 2 Pulzné výstupy (100 kHz) 4 vstupy prerušenia	CJ1M-CPU21
20 kSteps	32 kWords	100 ns	19	Ethernet port	CJ1M-CPU13-ETN
			20	-	CJ1M-CPU13
10 kSteps	32 kWords	100 ns	9	Ethernet port	CJ1M-CPU12-ETN
			10	-	CJ1M-CPU12
5 kSteps	32 kWords	100 ns	9	Ethernet port	CJ1M-CPU11-ETN
			10	-	CJ1M-CPU11

Tab. 4 Parametre procesorových jednotiek v rade CJ1M

Pri výbere procesorovej jednotky zohrali veľkú rolu vstavané funkcie jednotlivých jednotiek. Podľa návrhu spôsobu riadenia, je jasné, že potrebujeme získavať hodnoty od celkovo šiestich inkrementálnych snímačov. Tu sa ponúka možnosť využitia vstupov na procesorovej jednotke. Pri meraní priemeru odvíjanej role, tak ako bolo popísané v 3.1.3, potrebujeme spracovávať pulzy od indukčného snímača. Tieto pulzy, môžu pri vysokých rýchlostiach a malých priemeroch odvíjanej cievky, prichádzať v krátkych intervaloch, často kratších ako je doba jedného cyklu PLC. Je teda vhodné použiť vstup prerušenia ako vstup indukčného snímača. Na tento účel môžeme opäť použiť vstup zabudovaný v procesorovej jednotke. Spomenutými požiadavkami sme obmedzili vyber jednotky na procesory *CPU-21*, *CPU-22* a *CPU-23*.

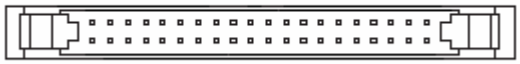
Výber konkrétneho typu procesoru, ako je vidieť z Tab. 4, záležal na programovej kapacite. CPU-21 obsahuje 5 tis. krokov, čo by zrejme pre aplikáciu navíjačky a pre splnenie všetkých požiadaviek na funkčnosť nemuselo postačovať. CPU-23 ponúka dostatočne veľký programový priestor, čo sa však odzrkadľuje na cene tejto jednotky. Najvýhodnejšie sa teda ponúkalo nasadenie procesoru CPU-22 s programovou pamäťou desaťtisíc krokov. Použili sme teda PLC s modulárnou štruktúrou CJ1M – CPU-22.

Procesorová jednotka CJ1M–CPU–22



Obr. 26 Procesorová jednotka CJ1M-CPU-22

Parametre tejto procesorovej jednotky boli už popísané vyššie a ich prehľad je znázornený v Tab. 4. Dôležitým parametrom sú vstavané funkcie tejto jednotky, teda funkcia rýchlych čítačov pre vstup z inkrementálnych snímačov, vstupov pre prerušenia a pulzných výstupov. Tieto vstupy a výstupy sú realizované pomocou 40-PINového konektoru zobrazeného na Obr. 27.



Obr. 27 Vstupný konektor pre procesorovej jednotky CPU-22

Význam jednotlivých PIN-ov je možné nájsť v [1].

Vstup rýchlych čítačov, pre načítanie dát s inkrementálnych snímačov:
Táto procesorová jednotka obsahuje dva vstupy rýchlych čítačov. Každý čítač sa riadi troma riadiacimi vstupmi: *A*, *B* a *Z*. Jednotka obsahuje vlastné registre, do ktorých sa ukladá aktuálna hodnota z inkrementálnych snímačov. Tak dokáže zachytávať pulzy, ktoré sú rýchlejšie ako cyklus PLC, v tomto prípade pulzy o frekvencii až 100 kHz. Hodnoty z registrov sa potom ukladajú do špeciálne alokovaných pamäťových miest, odkiaľ ich môžeme v programe čítať a to buď inštrukciami určenými pre načítanie hodnôt z týchto vstupov, alebo jednoduchým odkazovaním sa na alokované miesta.

Pre načítanie hodnôt sa používa inštrukcia *PRV*. Táto zabraňuje vzájomnému prepisovaniu hodnôt z rôznych miest v programe. Zároveň posiela dáta na pamäťové miesto určené programom, vždy až pri zmene aktuálnej hodnoty. Návod na použitie tejto inštrukcie môžeme nájsť v [1]

Pre načítanie hodnôt priamo z alokovaných miest sa nerieši synchronizácia, čítania a zápisu. Pamäťovú alokáciu môžeme nájsť v [1].

Rýchly čítač môže fungovať buď v cyklickom móde, alebo v lineárnom. Pri cyklickom móde, sa alokované pamäťové miesto nuluje vždy pri dosiahnutí určitej vopred nastavenej hodnoty. Nulovanie pamäte pri lineárnom móde môže byť spúšťané, buď softwarovo pomocou špeciálnej inštrukcie *INI,* prípadne nastavením bitu v pamäťovom slove alokovanom pre riadenie rýchleho čítača, alebo hardwarovo,

privedením signálu na Z – fázu. Polohu Z – fáze na prípojnom konektore (Obr. 27) pre konkrétny čítač je možné vyhľadať v [1].

Pre každý vstup inkrementálneho snímača je dôležitý smer čítania pulzov, teda či ide o inkrementáciu alebo dekrementáciu.

Existujú tri možnosti určenia smeru čítania:

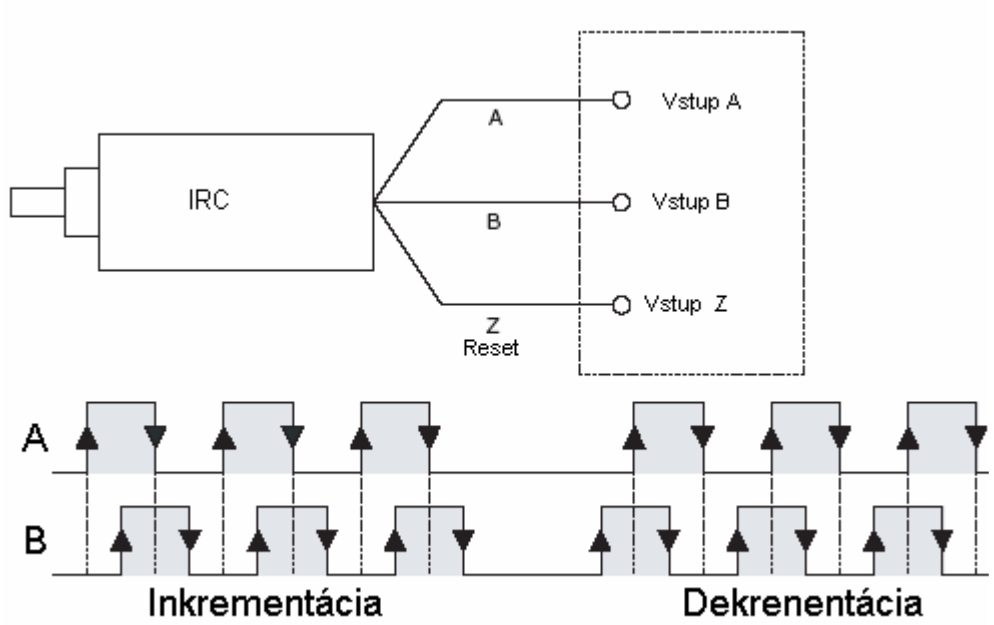
- Určenie smeru pomocou fázového posunu vstupných signálov
- Určenie smeru *Up & Down*
- Určenie smeru pomocou Z – vstupu.

Smer čítania, pomocou fázového posunu sa určuje pomocou vstupov A a B a porovnávania ich fáze. Pre tento spôsob musíme mať inkrementálny snímač zapojený podľa Obr. 28. Na základe toho či zaznamenáme ako prvú nábežnú hranu na A alebo B vstupe, určíme smer čítania.

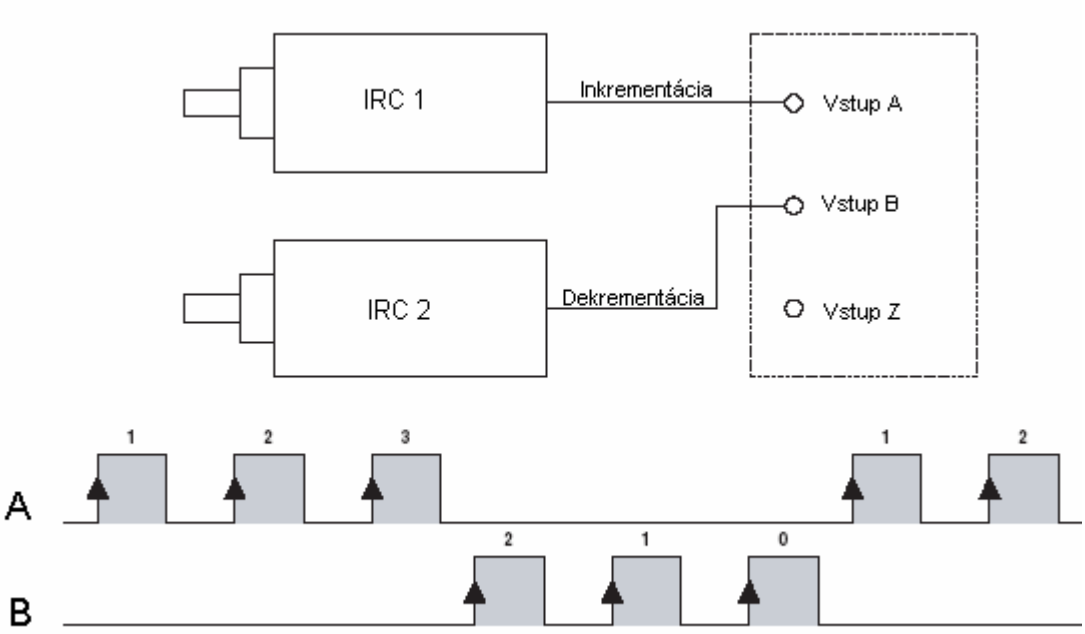
Metóda určenia smeru čítania *Up & Down,* sa používa ak máme dva inkrementálne snímače. Pulzy od jedného zvyšujú uloženú hodnotu v registri, od druhého, naopak znižujú. Zapojenie a priebehy je vidieť Obr. 29.

Pri určovaní smeru pomocou metódy *Pulz & Smer*, privádzame na vstup A signál z inkrementálneho snímača. Vstupom B určujeme smer. Zapojenie a priebeh riadiacich signálov je zrejmé z Obr. 30.

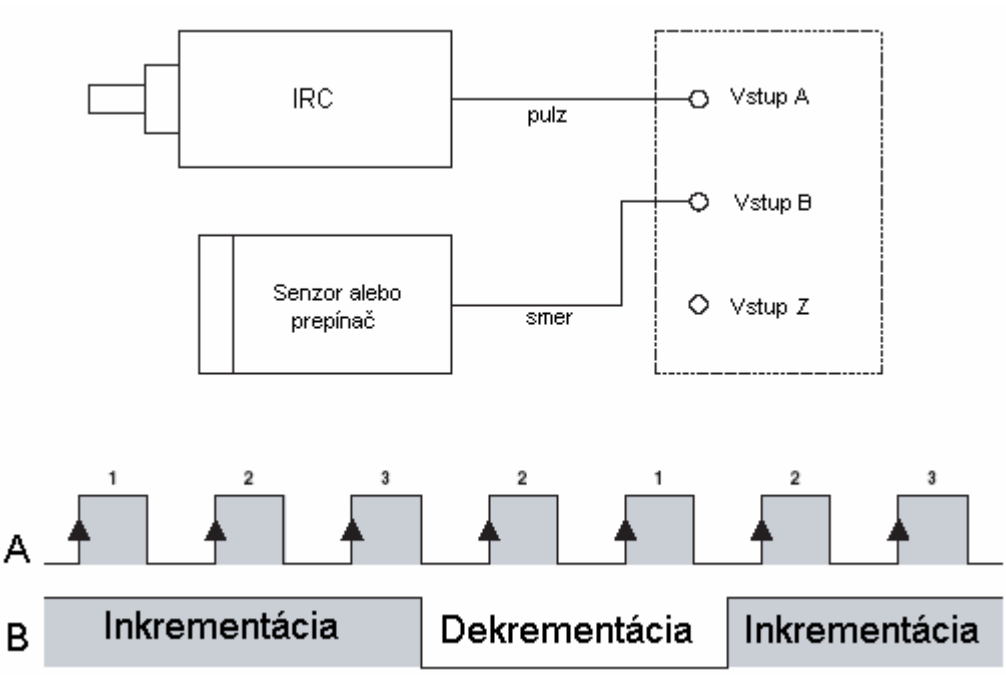
Nastavenie módu čítača výber určovania smeru a výber používania konkrétneho čítača sa prevádza pomocou programovateľnej softwarovej konzole, ktorá je súčasťou programovacieho prostredia a je zobrazená na Obr. 32.



Obr. 28 Zapojenie inkrementálneho snímača pre určenie smeru porovnávaním fáze, a priebehy signálov



Obr. 29 Zapojenie inkrementálneho snímača pre metódu určovania smeru Up & Down a priebehy signálov

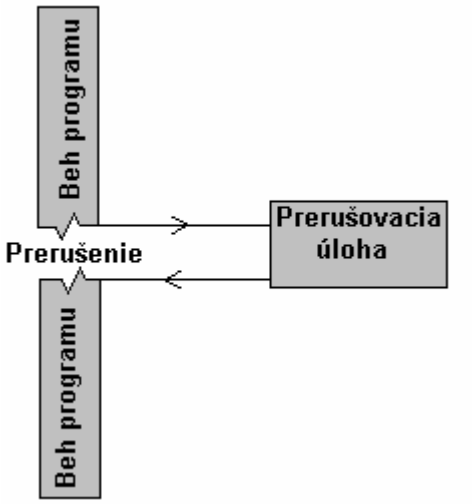


Obr. 30 Zapojenie inkrementálneho snímača pre metódu určovania smeru Pulz & Smer a priebehy signálov

Vstupy prerušenia – Interrupt inputs :

Program v PLC prebieha v cykloch, tzv. *Scan-cykloch.* Jeden cyklus trvá rádovo niekoľko desiatok milisekúnd. Môže sa však stať, že potrebujeme reagovať na pulzný signál, ktorého frekvencia je tak vysoká a dĺžka trvania jedného pulzu tak krátka, že ho PLC nedokáže zachytiť v rámci jedného cyklu. Takým signálom môžu byť napríklad vstupy inkrementálnych snímačov. V prípade riadenia navíjačky potrebujeme rýchlo

reagovať na signál z indukčného snímača slúžiaceho k meraniu priemeru odvíjanej cievky, spôsobom popísaným v 3.1.3. Na to je vhodné použitie vstupov prerušenia.
Prerušenie znamená pozastavenie vykonávania scan cyklu na určitú dobu potrebnú na vykonanie inej úlohy
Interrupt task, alebo prerušovacia úloha je úloha vykonávaná v dobe prerušenia
Funkciu prerušenia a prerušovacej úlohy je vidieť na Obr. 31.



Obr. 31 Prerušenie, prerušovacia úloha

Jednotka *CJ1M-CPU-22*, disponuje štyrmi takýmito vstupmi. Každý s týchto vstupov nastavuje jeden bit, ktorý je v pamäti PLC presne alokovaný. Každému bitu pripadá jedna prerušovacia úloha. Alokácia pamäťových miest a prerušovacích úloh je zobrazená v Tab. 5.

Prerušenie môže fungovať buď v *priamom – direct* móde alebo v *čítacom – counter* móde.

Prerušenie v *direct móde* sa spúšťa vždy nábežnou, alebo spádovou hranou signálu privádzaného na jeden zo vstupov prerušenia. Spustením prerušenia sa začne vykonávať prerušovacia úloha. Po jej dokončení pokračuje scan cyklus od miesta, kde bol prerušený. Tento mód je vhodný pre naše použitie.

V counter móde sa s príchodom každého pulzu, buď jeho nábežnou hranou, alebo spádovou hranou, zvýši, prípadne zníži hodnota čítača. Pri dosiahnutí určitej vopred nastavenej hodnoty, alebo nuly pri dekrementácii sa začne vykonávať prerušovacia úloha. Hodnota čítača sa vynuluje alebo pri dekremntácii nastaví na počiatočnú hodnotu. Po dokončení prerušovacej úlohy pokračuje vykonávanie scan-cyklu od miesta kde bol prerušený.

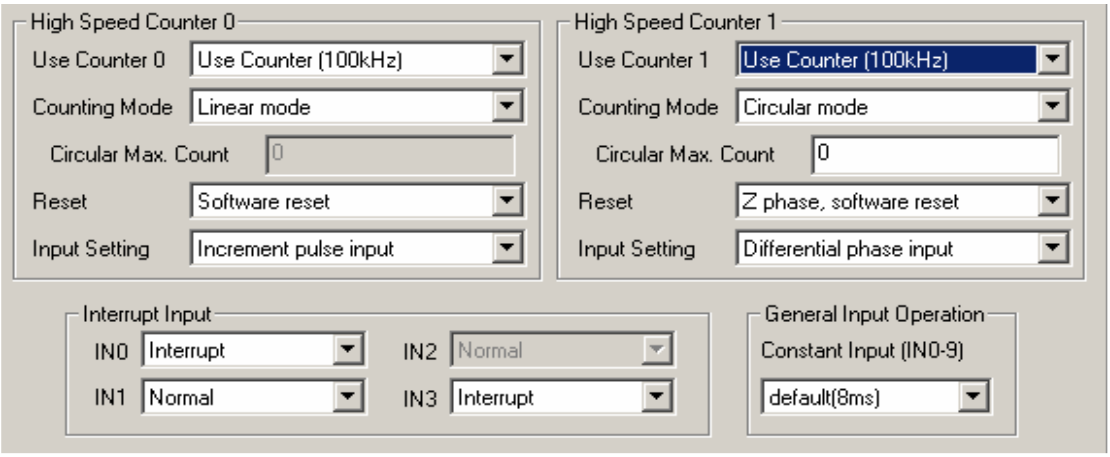
Nastavenie módov prerušovacích vstupov, smer čítania a počiatočných, či koncových hodnôt sa prevádza pomocou inštrukcie *MSKS*. Jej spôsob použitia je možné nájsť v [2]. Jednotlivé vstupy sa aktivujú pomocou programovacej konzoly zobrazenej na Obr. 32

Číslo vstupu	Pamäťové slovo	Príslušný bit	Prerušovacia úloha
1	2960	00	Task 140
2		01	Task 141
3		02	Task 142
4		03	Task 143

Tab. 5 Alokácia pamäťových miest a úloh (task) pre jednotlivé prerušovacie vstupy

Pulzné výstupy:
Funkciou pulzných výstupov, je generovať pulzy pevnej 50% striedy, doby trvania kratšej ako je doba trvania jedného scan - cyklu. Funkcia pulzných výstupov je riadená pomocou špeciálnych inštrukcii popísaných v [1]. Spôsob použitia týchto funkcii je popísaný v [2]. Keďže pre riadenie navíjačky sme nepotrebovali žiaden pulzný výstup, nebudeme sa im v tejto kapitole bližšie venovať.

Z Obr. 26 vidieť že súčasťou procesorovej jednotky je aj programovací konektor a 9-pinový sériový konektor pre pripojenie zobrazovacej jednotky.



Obr. 32 Softwarová konzola pre nastavenie vstavaných I/O funkcii

Návrh vhodných rozširovacích kariet

Keďže sme sa rozhodli použiť PLC s modulárnou štruktúrou, na zabezpečenie požadovanej funkčnosti zariadenia, nám návrh procesorovej jednotky nemôže stačiť. Preto bolo nutné navrhnúť nasadenie potrebných rozširovacích kariet. V našom prípade išlo o nasadenie :

- Komunikačnej jednotky
- Jednotky rýchlych čítačov
- Jednotky analógových vstupov
- Jednotky analógových výstupov
- Jednotky binárnych vstupov (3ks)
- Jednotky binárnych výstupov (2ks)

Adresacia pamäťových miest, používanými jednotlivými prídavnými jednotkami série CJ sa počíta podľa vzťahu:

$$m = D2000 + číslo_jednotky * 100,$$

pre alokáciu miesta v dátovej pamäti DM, v CPU. V tejto pamäti sú umiestnené nastavované parametre jednotlivých jednotiek, potrebných pre správnu funkciu, a podľa vztahu:

$$n = CIO2000 + číslo_jednotky * 10,$$

pre alokáciu miesta v CIO pamäti, v ktorej sú ukladané vstupy a výstupy jednotlivých jednotiek, merané hodnoty a príznaky slúžiace k správnej funkcii jednotlivých jednotiek.

m *je adresa prvého slova v bloku alokovanej pamäte DM*
n *je adresa prvého slova v bloku alokovanej pamäte CIO*

číslo_jednotky *je číslo určované pomocou prepínača čísla jednotky ktorý obsahuje každá jednotka, a pomocou softwarového nastavenia. Tieto dve čísla sa musia zhodovať!*

Návrh komunikačnej jednotky

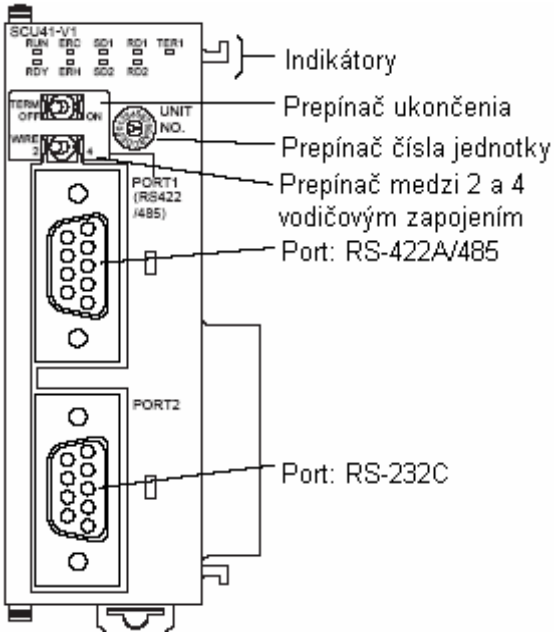
Komunikačné jednotky sú jednotky poskytujúce štandardizované otvorené sieťové rozhrania a vysokorýchlostné patentované sieťové prepojenia. Dátové spojenia medzi PLC alebo medzi informačnými systémami na vyššej úrovni, je možné uskutočniť pomocou sériových, alebo ethernetových pripojení. Systémy vyrábané spoločnosťou *Omron* podporujú pracovne sieťe, *DeviceNet* a *PROFIBUS-DP*. Pomocou plne užívateľsky konfigurovateľnej sériovej komunikácie a komunikácie na základe CAN je možné emulovať radu protokolov špecifických pre dané použitie.
V modelovej sérii *CJ1* spoločnosti *Omron* sú k dispozícii komunikačné jednotky zobrazené v Tab. 6.

Pre riadenie navíjačky je potrebná komunikačná jednotka ku realizácii sieťového prepojenia medzi PLC a všetkými frekvenčnými meničmi. Keďže všetky používane frekvenčné meniče disponujú sériovým komunikačným portom RS-422A/RS-485, bol výber komunikačnej jednotky obmedzený na modely *CJ1W-SCU31-V1 a CJ1W-SCU41-V1*. Jednotka *SCU31-V1* obsahuje dva komunikačné porty RS-422/RS-485, naproti nemu, jednotka SCU41-V1 jeden port RS-232C a jeden RS-422/RS-485. Z praktického hľadiska sa javilo kompaktnejšie použitie jednotky obsahujúce aj port RS-232, čo nám dáva možnosti do budúcnosti, v prípade rozširovania funkčnosti navíjačky. Z tohto dôvodu sme sa rozhodli pre použitie jednotky SCU41-V1 Výhodou tejto, ale aj ostatných komunikačných jednotiek, je aj podpora voľne definovaných protokolov, čím strácame obmedzenia v priestore pripojovaných zariadení.

Typ	Porty	Protokol	Model
Sériový	2 x RS-232C	CompoWay-F, Host link, NT link, Modbus, voľne-definovaný	CJ1W-SCU21-V1
Sériový	2 x RS-422A/ RS-485	CompoWay-F, Host link, NT link, Modbus, voľne-definovaný	CJ1W-SCU31-V1
Sériový	1 x RS-232C + 1 x RS-422A /RS-485	CompoWay-F, Host link, NT link, Modbus, voľne-definovaný	CJ1W-SCU41-V1
Ethernet	1 x 100 Base-Tx	UDP, TCP/IP, FTP server, SMTP (e-mail), SNTP (time adjust), FINS routing	CJ1W-ETN21
Controller link	2-wire twisted pair	OMRON	CJ1W-CLK21-V1
DeviceNet	1 x CAN	DeviceNet	CJ1W-DRM21
PROFIBUS-DP	1 x RS-485 (Master)	DP, DPV1	CJ1W-PRM21
PROFIBUS-DP	1 x RS-485 (Slave)	DP	CJ1W-PRT21
CAN	1 x CAN	voľne-definovaný	CJ1W-CORT21
CompoNet	4-wire, data + power to slaves (Master)	CompoNet	CJ1W-CRM21
CompoBus/S	2-wire (Master)	(CIP- based) OMRON	CJ1W-SRM21

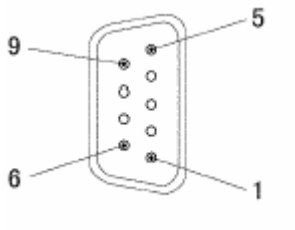
Tab. 6 Komunikačné jednotky série CJ1

Komunikačná jednotka CJ1W-SCU41-V1



Obr. 33 Komunikačná jednotka CJ1W-SCU41-V1

Jednotka SCU41-V1 patrí do kategórie sériových komunikačných jednotiek (Serial Communication Unit) – SCU. K jednému CPU môžeme pripojiť jednu alebo viac týchto jednotiek, pomocou vnútornej zbernice CPU, maximálne však šestnásť. Obsahuje dva sériové porty, ktoré je možné pripojiť k hosťujúcim počítačom, programovateľným terminálom, externým zariadeniam(napr. frekvenčným meničom) a programovacím zariadeniam.
Na Obr. 33 je zobrazená použitá komunikačná jednotka. Rozloženie jednotlivých PINov na ***sériových portoch*** je vidieť Obr. 34, význam jednotlivých PINov portu RS-232C v Tab. 7 a význam pinov portu RS-422A/485 v Tab. 8.



Obr. 34 Rozloženie pinov na sériovom porte

Číslo pinu	Signál	Skratka
1	Shield	FG
2	Send	SD
3	Receive	RD
4	Request To Send	RTS
5	Clear To Send	CTS
6	Power	5V
7	Data set ready	DSR
8	Data Terminal Ready	DTR
9	Signal Ground	SG

Tab. 7 Zapojenie portu RS-232C na jednotke SCU-41-V1

Číslo pinu	Signál	Skratka
1	Send data -	SDA
2	Send data+	SDB
3	Nepoužité	NC
4		
5		
6	Receive data -	RDA
7	Nepoužité	NC
8	Receive data +	RDB
9	Nepoužité	NC

Tab. 8 Zapojenie portu RS-422A/485 na jednotke SCU-41-V1

Indikátory slúžia pre indikáciu funkčnosti a jednotlivých chybových stavov. Pri správnej funkčnosti svietia zelené indikátory. Červené indikátory svietia v prípade ak na jednotke nastala chyba, pričom druh chyby závisí na forme svietenia(svieti nepretržite, svieti prerušovane - interval svietenia závisí na druhu vyskytnutej chyby). Žlte indikátory indikujú priebeh komunikácie na jednotlivých portoch. Presne vysvetlenie jednotlivých indikátorov a významu ich formy svietenia môžeme nájsť v [3].

Každá pripojená komunikačná jednotka, pripojená pomocou vnútornej zbernice, musí mať definované svoje číslo. Toto číslo sa udáva pomocou ***prepínača čísla jednotky.*** Musí sa zhodovať s nastavením v programovacej konzole. Od neho sa vypočítavajú alokované adresy v I/O priestore, pre danú jednotku. V našej aplikácii ma SCU číslo 0.

Ak pri použití portu RS-422A/485 je komunikačná jednotka na konci komunikačnej cesty, musíme prepnúť ***prepínač ukončenia*** do polohy *ON*. Zapojíme tým do obvodu *terminačný odpor*, tzv. *terminátor*. V našom prípade SCU nie je na konci komunikačnej cesty. Prepínač je teda v polohe *OFF*.

Prepínačom medzi 2 a 4 vodičovým zapojením prepíname medzi rozhraním, RS-485 a RS-422A, keďže RS-485 využíva na rozdiel od RS-422A len jeden par vodičov pre oba smery toku dát. Rozhranie RS-422A je vhodné použiť pre tzv. *Point-To-Point* komunikáciu, teda ak by sa na jeden port komunikačnej jednotky pripojovalo len jedno zariadenie. V prípade navíjačky, pripojujeme celú radu frekvenčných meničov na jednu linku. Preto je vhodné použiť rozhranie RS-485, teda prepínač sme prepli do polohy 4-vodičového zapojenia.

Jednotky SCU podporujú **MODBUS** protokol, ktoré podporujú aj všetky použité frekvenčné meniče.

Je to protokol pre komunikáciu po sériovom rozhraní, využívajúci nasledujúci formát správ pre komunikáciu:

Adresa Slave 1 byte	Funkčný kód 1 byte	Dáta komunikácie	Blok kontroly chýb 2 byty

Po vyslaní dát master zariadenia, slave zariadeniu, čaká slave určitú dobu a až po jej uplynutí pošle odpoveď. Kontrola dát sa prevádza pomocou kódu CRC-16

Tento protokol sa nahráva do SCU, kde je aj uložený pre sprístupnenie výmeny dát medzi PLC a externými zariadeniami, pomocou použitia inštrukcie *PMCR*.

Okrem komunikácie pomocou MODBUS protokolu, podporujú jednotky SCU aj nasledujúce módy komunikácie:

- Host Link : Pre spojenie medzi hosťujúcimi počítačmi a PLC
- Protocol Macro: Pre spojenie medzi PLC a externými zariadeniami
- 1:N NT Link: Pre komunikáciu medzi PLC a programovateľným terminálom (PT)
- Spätno-väzobný test – pre testovanie komunikačných portov
- Sériový prenos
- Bez protokolu
- 1:1 Host Link

V móde ***Host Link*** sa posiela príkaz z hosťujúceho počítača pre čítanie, alebo zápis do I/O pamäte PLC, alebo pre zmenu operačného módu PLC. PLC môže zas zapisovať, čítať, alebo prevádzať iné operácie v pamäti hosťujúceho počítača pomocou inštrukcii *SEND, RECV, CMND*. Spôsob použitia týchto príkazov je možné nájsť v [2].

Protokol, pre prenos dát v móde ***Protocol Macro***, medzi PLC a externými zariadeniami, ako sú napr. frekvenčné meniče, čítačky čiarového kódu atd. sa vytvára pomocou špeciálneho softwaru, *CX-Protocol.*

PLC môže byť pripojené k jednému alebo viacerým PT použitím portu RS-232C alebo RS-422A/485 pomocou spojenia ***1:N NT LINK***. PLC pamäť I/O je alokovaná v špeciálnych pamäťových priestoroch používaných programovateľnými terminálmi pre zobrazenie objektov, ako sú lampy, prepínače a pamäťové tabuľky. Tak môžeme kontrolovať stav konkrétnych premenných v programe, bez použitia programovacieho prostredia.

Konektor so spätno-väzobným spojením je pripojený k konkrétnemu sériovému portu pre vykonanie ***spätno-väzobnému testu.*** Dáta sú posielané na tento port a komunikačný okruh je testovaný porovnávaním vyslaných dát a dát vrátených spätnou väzbou.

Bezprotokolový mód podporuje prijímanie a odosielanie dát, použitím prijímacích a odosielacích príkazov. Tento mód sa používa ak odosielací a prijímací protokol je vytvorený užívateľom, alebo keď pripájame zariadenia ktoré iba posielajú alebo prijímajú dáta.

Návrh jednotky rýchlych čítačov

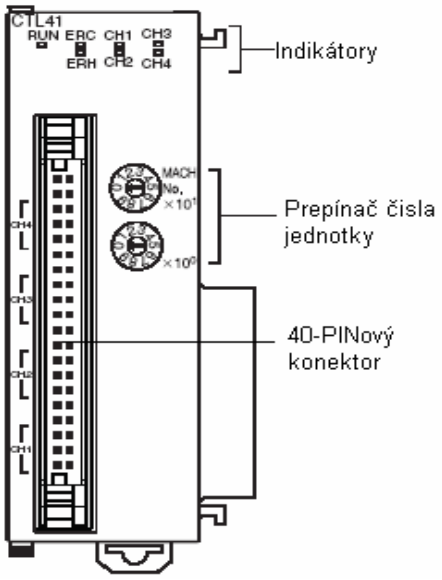
Rýchle čítače, alebo *počítadla,* sú jednotky, ktoré zhromažďujú informácie o polohe zo snímačov SSI, alebo inkrementálnych snímačov. Skutočné polohy sú porovnávané s interne uloženými hodnotami. Keďže pre riadenie navíjačky používame šesť rôznych inkrementálnych snímačov, potrebujeme aj šesť počítadiel. Dva počítadla obsahuje samotná procesorová jednotka a ich funkcia a použitie sú popísané v 3.3.3. odsek: *Procesorová jednotka CJ1M-CPU-22*. Z toho vyplýva, že potrebujeme nasadiť prídavnú rozširovaciu jednotku so štyrmi počítadlami.

V Tab. 9 sú zobrazené všetky prídavné karty s počítadlami série CJ1. Je vidieť, že máme na výber dva modely obsahujúce vstupy pre rýchle čítače. Model CJ1W-CTL41-E obsahuje štyri 100kHz kanály. Vzhľadom k tomu, že žiaden zo signálov nami použitých inkrementálnych snímačov nie je vyššej frekvencie ako 100kHz, rozhodli sme sa pre nasadenie práve tohto modelu prídavnej karty.

Kanálov	Typ	Typ signálu	Prídavné funkcie	Model
2	SSI vstupy (dáta abs. pozície)	Synchrónny sériový protokol	Baud rate, dekódovací typ, dátová dĺžka atd., sa môže nastaviť pre každý kanál	CJ1W-CTS21-E
2	500 kHz čítač	24 V	2 konfigurovatelné vstupy a výstupy	CJ1W-CT021
4	100 kHz čítač	24 V cez terminálový blok	Spúšťanie prerušení po dosiahnutí určitej hodnoty	CJ1W-CTL41-E

Tab. 9 Rozširovacie karty rýchlych čítačov série CJ1

Jednotka rýchlych čítačov CJ1W-CTL41-E



Obr. 35 Jednotka rýchlych čítačov CJ1W-CTL-41-E

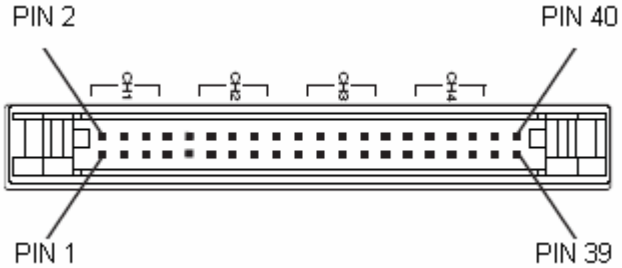
Jednotka CJ1W-CTL-41-E obsahuje štyri čítače a každý počíta v rozsahu maximálneho rozsahu 32-bitového binárneho čísla. Dokáže rozlišovať pulzy až do frekvencie 100kHz. Každý čítač dokáže čítať v oboch smeroch a každý čítač môže byť konfigurovaný nezávisle. Jednotka je vybavená 32 softwarovými výstupmi a každý z nich môže byť spojený s určitou udalosťou čítača.

Ako je vidieť z Obr. 35, jednotka obsahuje indikátory stavu jednotky, prepínač čísla jednotky a 40-PINový vstupný konektor slúžiaci na pripojenie jednotlivých inkrementálnych snímačov.

Indikátory slúžia na indikovanie funkčnosti, prípadne chybových stavov jednotky. Zelené indikátory indikujú správnu funkciu jednotky, svietia teda v prípade že je jednotka funkčná a správne zapojená. Ak svieti niektorý z červených indikátorov, znamená to, že na jednotke nastal určitý chybový stav. Žlté indikátory zobrazujú priebeh čítania na jednotlivých kanáloch. Presný význam jednotlivých indikátorov môžeme nájsť v [4].

Každá pripojená jednotka rýchlych čítačov, pripojená pomocou vnútornej zbernice musí mať definované svoje číslo. Toto číslo sa udáva pomocou ***prepínača čísla jednotky.*** Musí sa zhodovať s nastavením v programovacej konzole. Od neho sa vypočítavajú alokované adresy v I/O priestore, pre danú jednotku, slúžiace pre výmenu dát s CPU jednotkou. V našej aplikácii ma jednotka rýchlych čítačov číslo 1.

40-PINový konektor je zobrazený na Obr. 36. Jeho PINy sa rozdeľujú na štyri kanály. Každý kanál obsahuje 6 PINov. Význam jednotlivých PINov môžeme nájsť v [4].



Obr. 36 40-PINový vstupný konektor jednotky CTL41-E

Každý kanál sa riadi, rovnako ako čítače na CPU jednotke, troma riadiacimi vstupmi: *A*, *B* a *Z* Jednotka si alokuje pamäťové miesta, do ktorých sa ukladá aktuálna hodnota z inkrementálnych snímačov. Tak dokáže zachytávať pulzy, ktoré sú rýchlejšie ako cyklus PLC. Hodnoty zo špeciálne alokovaných pamäťových miest, môžeme v programe čítať a to buď inštrukciami určenými pre načítanie hodnôt z týchto kanálov, alebo jednoduchým odkazovaním sa na alokované miesta.

Pre načítanie hodnôt sa používa inštrukcia *IORD* a pre zápis parametrov inštrukcia *IOWR*. Tieto inštrukcie zabraňujú vzájomnému prepisovaniu hodnôt z rôznych miest v programe. Zároveň posielajú dáta na pamäťové miesto určené programom, vždy až pri zmene aktuálnej hodnoty. Návod na použitie týchto inštrukcií môžeme nájsť v [2] a v [4]. Pre načítanie hodnôt priamo z alokovaných miest sa nerieši synchronizácia čítania a zápisu.

Rýchly čítač môže fungovať buď v cyklickom móde, alebo v lineárnom. Tieto módy sú rovnaké ako pri použití čítačov na CPU jednotke popísaných vyššie. Pre každý vstup inkrementálneho snímača je dôležitý smer čítania pulzov, teda či ide o inkrementáciu alebo dekrementáciu.

Rovnako ako pri čítačoch na CPU existujú tri možnosti určenia smeru čítania:

- Určenie smeru pomocou fázového posunu vstupných signálov
- Určenie smeru *Up & Down*
- Určenie smeru pomocou Z – vstupu.

Princíp jednotlivých spôsobov je popísaný v 3.3.3 v odseku: Procesorová jednotka CJ1M-CPU-22.

Pre výmenu dát medzi jednotkou CTL41 a procesorovou jednotkou sa alokujú pamäťové miesta v pamäťových priestoroch DM(dátové priestory), CIO (priestory I/O) a v priestore dočasných premenných.

Návrh jednotky analógových vstupov

Jednotky analógových vstupov sú jednotky merajúce analógový signál, vo forme elektrického napätia, alebo prúdu, rôznych rozsahov. To dáva možnosť získavať dáta zo širokého spektra senzorov. Pomocou nich je možné vysokorýchlostné získavanie dát s vysokou presnosťou.

V aplikácii riadenia navíjačky potrebujeme merať hodnoty mechanického napätia navíjaného papieru. To meriame pomocou tenzometrických puzdier ktoré sú popísané v 2.2.2. Meraná hodnota je prevádzaná na napätie rozsahu niekoľko mV. V Tab. 10 sú zobrazené všetky analógové vstupy série CJ1. Je vidieť že jednotka

CJ1W-PTS15 je určená pre meranie teploty, má možnosť merania v rozsahu -100mV až +100mV. Na základe toho, sme sa rozhodli pre nasadenie tejto jednotky.

Bodov	Typ	Rozsahy	Rozlišemie	Model
4	Analog. vstup	0 - 5 V 0 - 10 V -10 -10 V 1 - 5 V 4 - 20 mA	1/8,000	CJ1W-AD041-V1 CJ1W-AD041-V1 (SL)
8	Analog. vstup	0 - 5 V 0 - 10 V -10 - 10 V 1 - 5 V 4 - 20 mA	1/8,000	CJ1W-AD081-V1 CJ1W-AD081-V1 (SL)
2	Procesný vstup	4 - 20 mA 0 - 20 mA 0 - 10 V -10 -10 V 0 - 5 V -5 - 5 V 1 - 5 V 0 - 1 V 1.25 - 1.25 V	1/64,000	CJ1W-PDC15
2	Vstup merania teploty	B, E, J, K, L, N, R, S, T, U, WRe5-26, PLII, -100 -100 mV	1/64,000	CJ1W-PTS15
2	Vstup odporového teplomeru	Pt50, Pt100, JPt100, Ni508.4	1/64,000	CJ1W-PTS16
4	Vstup merania teploty	B, J, K, L, R, S, T	0.1 °C	CJ1W-PTS51
4	Vstup odporového teplomeru	Pt100, JPt100 (-200 to 1,300 °C) J-Type (-100 to 850 °C)	0.1 °C	CJ1W-PTS52 CJ1W-TS561 (SL)

Tab. 10 Analógové vstupy série CJ1

Analógová vstupná jednotka CJ1W-PTS15

Analógová jednotka PTS15 je určená pre meranie teploty z rôznych typov senzorov. Typ senzoru, merané jednotky, rozsahy aj rozlíšenie je nastaviteľné pomocou programovacej softwarovej konzoly. Tak sa táto jednotka stáva použiteľná pre široké spektrum snímačov aj iných veličín, ako len teploty. Pre riadenie navíjačky sme teda jednotku použili k meraniu mechanického napätia. Kvôli tomu sme nastavili meranú veličinu na napätie, jednotku na mV, rozsah na 0 až 15 mV a maximálnu ukladanú hodnotu na 150. Tým sme dostali pomerne hrubé rozlíšenie 1/10. To nám však pre meranie mechanického napätia a následnú reguláciu ťahu brzdy stačí, navyše tak filtrujeme nežiaduci šum, ktorý by mohol skomplikovať reguláciu.

Jednotka obsahuje 18 svoriek pre pripojenie vodičov, z nich dva páry svoriek sú vyhradené pre vstupné merané signály. Význam a označenie jednotlivých svoriek je možné nájsť v [5].

Návrh jednotky analógových výstupov

Jednotky analógových výstupov je možné použiť pre presné riadenie, alebo k externej indikácii. Výstupný signál môže byť vo forme elektrického napätia rozsahu rádovo niekoľko V, alebo vo forme elektrického prúdu, rozsahu niekoľko mA. Tým dostávame možnosť riadiť veľký počet zariadení riadených prúdom alebo napätím.

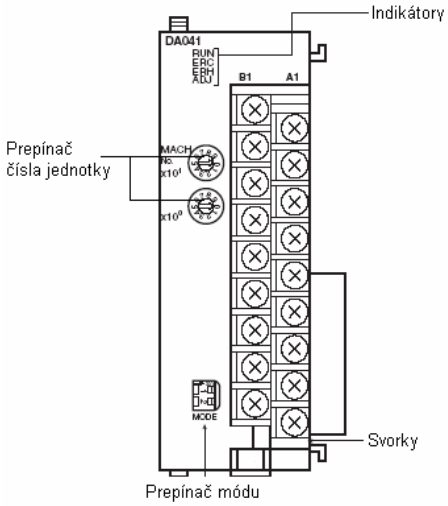
Pre riadenie navíjačky potrebujeme takto regulovať ťah brzdy a nadľahčovanie prítlačného válca. Obe veličiny sa regulujú pomocou otvárania resp. priškrcovania pneumatických ventilov. Oba ventily sú ovládané jednosmerným napätím rozsahu 0 až 10V.

V Tab. 11 sú znázornené všetky analógové výstupné jednotky série CJ aj s ich parametrami dôležitými pre výber vhodnej jednotky. V ponuke sú tri analógové výstupy s možnosťou nastavenia potrebného rozsahu výstupného napätia a to jednotky: *CJ1W-DA041, CJ1W-DA08V, CJ1W-DA08C*. Keďže sme potrebovali 2 výstupy a keďže sme hľadali riešenie za čo najpriaznivejšiu cenu, bolo pre nás vhodné vybrať jednotku DA041, ktorá svojím rozlíšením dostatočne vyhovovala našim požiadavkám.

Bodov	Typ	Rozsahy	Rozlišenie	Model
4	Analog. výstup	0 - 5 V 0 - 10 V -10 -10V 1 - 5 V 4 - 20 mA	1/4,000	CJ1W-DA041 CJ1W-DA041 (SL)
8	Napäťový výstup	0 - 5 V 0 - 10 V -10 -10 V 1 - 5 V	1/8,000	CJ1W-DA08V CJ1W-DA08V (SL)
8	Prúdový výstup	4 - 20 mA	1/8,000	CJ1W-DA08C CJ1W-DA08C (SL)
4 + 2	Analog. výstup a vstup	0 - 5 V 0 - 10 V -10 -10 V 1 - 5 V 4 - 20 mA	1/8,000	CJ1W-MAD42 CJ1W-MAD42 (SL)

Tab. 11 Analógové výstupy série CJ

Výstupná analógová jednotka CJ1W-DA041



Obr. 37 Výstupná analógová jednotka CJ1W-DA041

Analógová výstupná jednotka DA041 obsahuje 18 ***svoriek***, z nich štyri páry sú vyhradené pre výstupné body. Presné rozloženie svoriek a ich význam môžeme nájsť v [6]. Rozlíšenie 1/4000 znamená že nastavený rozsah, či už prúdový, alebo napäťový rozdelíme na 4000 bodov, ktoré reprezentujú celočíselnú hodnotu v I/O pamäti. Pre každý výstupný bod môžeme nastaviť rôzny rozsah výstupného signálu a offset. Tým určime aké napätie, resp. prúd pripadá na jeden bod rozlíšenia. Pre naše použitie sme nastavili rozsah dvoch používaných výstupov na 0 až 10V a offset na hodnotu 0. Aby sa na konkrétny analógový výstup posielala konkrétna hodnota, musíme tento výstup povoliť nastavením príznaku, uloženého v CIO priestore pamäte na konkrétnej adrese. Rozsahy, ofsety, ako aj ďalšie parametre analógového výstupu môžeme nastaviť buď pomocou nastavenia príslušných adries, alebo pomocou softwarovej programovacej konzoly. Po dobu nastavovania musíme mať ***prepínač módu*** prepnutý do polohy *Adjustment*.

Návrh digitálnych I/O jednotiek

K dosiahnutiu sekvenčného riadenia, teda pre binárne spínanie jednotlivých zariadení a prijímanie binárnych hodnôt od používaných zariadení je potrebné použiť digitálne I/O jednotky.

Jednotky sa typom rozlišujú na :

- Triakové
- Reléové
- S jednosmerným I/O napätím 24V
- TTL 5V jednosmerným I/O napätím
- So striedavým vstupným napätím

Ďalšie rozdelenie je len na základe počtu I/O bodov, ktoré sa pohybujú od 8 až po 64.

Pre riadenie navíjačky je potrebných 45 vstupných bodov, schopných prijať jednosmerný signál s úrovňou 24V a 30 výstupných bodov s generovaním rovnakého signálu. Na základe týchto požiadaviek sme sa rozhodli použiť tri 16-bodové vstupné jednotky *CJ1W-ID201* a dve 16-bodové výstupné jednotky *CJ1W-OD212*. Použitie týchto jednotiek nevyžaduje žiadne nastavovania, nebudeme sa im teda bližšie venovať. Vstupné a výstupné bity sa adresujú v CIO pamäťovom priestore. Každá jednotka zaberá jedno slovo. Prvé slovo začína na adrese CIO 0. Alokuje ho digitálna I/O jednotka ktorá je zapojená na vnútornej CPU zbernici ako prvá, z pomedzi digitálnych I/O jednotiek. Ďalšie pripojené jednotky si alokujú nasledujúce slová v poradí v akom sú pripojené.

3.3.4. Návrh HMI

Aby sme mohli splniť všetky funkčné požiadavky na riadenie navíjačky, musíme zabezpečiť rozhranie medzi človekom a zariadením, tzv. HMI. To sa zvyčajne realizuje pomocou rôznych typov zobrazovacích jednotiek a vstupnými zariadeniami. Jedným z možných riešení je použitie zobrazovacieho dotykového programovateľného panelu, tzv. Touch Panelu. Touch Panel, nám dáva široký priestor pre možnosti zadávania vstupných príkazov. Zložitosť aplikácie riadenia navíjačky s veľkým množstvom zadávaných a kontrolovaných dát kladie požiadavku na použitie Touch Panelu. Pre zachovanie kompaktnosti celého zariadenia, volili sme nasadanie panelu, od spoločnosti *Omron*.

V ponuke spoločnosti *Omron* sú dotykové terminály (skrátene - PT) rady NS, ktorá obsahuje panely od monochromatických 5,7 palcových až po 256-farebné 12,1

palcové. Na základe konzultácie so zadávateľom práce, sme sa rozhodli pre nasadenie najväčšieho, 12,1 palcového farebného panelu NS 12 so softwarom v. 6.12., programovateľným v prostredí *CX-Designer*, patriaci do rodiny programovacieho softwaru *CX-One* od spoločnosti *Omron*

Dotykový programovateľný terminál NS 12

Dotykové programovateľné terminály série NS môžu byt použité pre zobrazovanie procesných dát vo forme tabuliek, grafov, hlásení atd.. Umožňujú zasahovať obsluhe do výrobného procesu vkladaním tzv. operátorských príkazov formou prepínačov tlačidiel číselných, textových polí atd.

Dáta obrazoviek zobrazovaných panelmi série NS sa vytvárajú pomocou špeciálneho programovateľného softwaru.

PT série NS disponuje dvoma sériovými portami, jedným Ethernetovým rozhraním, jedným rozhraním pre Controller Link, jedným USB Host konektorom a jedným USB slave konektorom.

Dotykový terminál sa musí pripojiť s host zariadením (zvyčajne s PLC) pomocou jednej z možných metód:

- 1:1 NT Link
- 1:N NT Link
- Ethernetové pripojenie
- Controller Link
- Host Link

NT Link je metóda vysokorýchlostného spojenia medzi PLC Omron a PT Omron, použitím špeciálneho protokolu. Spojenie 1:1 označuje spojenie medzi jedným PLC a jedným PT. Spojenie 1:N umožňuje k jednému PLC pripojiť až osem PT.

Po ***Ethernete*** môžu s PT komunikovať PLC kompatibilné s výrobkami spoločnosti *Omron,* ak sú vybavené príslušnou komunikačnou jednotkou. PT tak môže jednoducho čítať a zapisovať dáta a nastavovať a čítať bitové informácie. Použitím *FINS* (Factory Interface Network Services) správ zabezpečuje vysokorýchlostný prenos bez použitia špeciálneho protokolu.

Controller Link priemyslová sieť po ktorej môžu byť vysielané packety veľkého objemu a ktorou sa spájajú PLC a priemyslové počítače.

Host Link je sériový komunikačný protokol, slúžiaci na spojenie *Omron* PT, s jedným PLC od rôznych výrobcov, pre zápis a čítanie dát z PLC.

Uvedenými možnosťami pripojenia môžeme pripojiť k PT aj rôzne periférne zariadenia, ako sú tlačiarne, čítačky čiarových kódov, kamery, atd. V našom prípade sme k panelu pripájali iba host zariadenie, teda PLC. Keďže oba zariadenia sú od spoločnosti *Omron,* volili sme pripojenie 1:1 NT Link.

Vytvorené obrazovky pomocou špeciálneho programovacieho softwaru môžeme nahrávať do PT jedným z nasledujúcich spôsobov:

- Spojením cez RS-232 alebo Ethernetom
- Spojením cez USB
- Spojením cez modem
- Pomocou prenosnej pamäťovej karty

PT, série NS, majú dva druhy pamäte:

- Systémovú pamäť
- Internú pamäť

Systémová pamäť slúži k výmene informácii medzi host - zariadením a PT, ako sú informácie o stave PT a informácie slúžiace k riadeniu PT .

Interná pamäť môže byť čítaná a môže byť do nej zapisované užívateľom. Môže byť alokovaná pre uloženie nastavení, ako napríklad komunikačné adresy pre funkčné objekty.

3.4. Návrh riadiaceho softwaru

Riadiaci software pre riadenie navíjačky bol naprogramovaný vo vývojovom prostredí *CX-Programmer ver. 7.0*, ktorý patrí do rodiny programovacích a konfiguračných softwarových produktov CX-One, spoločnosti Omron.

3.4.1. Popis vývojového prostredia CX – Programmer

Programovacie prostredie CX-Programmer slúži na naprogramovanie a následné nahrávanie naprogramovaného softwaru do PLC.

Riadiaci program sme navrhovali pomocou nasledujúcich programovacích jazykov:

- Programovanie pomocou *rebríkových diagramov LD*
- Programovanie pomocou *Štruktúrovaného textového jazyka ST*

Rebríkové diagramy (Ladder Diagram - LD) sú najbežnejší spôsob programovania PLC, kreslením schém pomocou symbolov znázorňujúcich kontakty, výstupy, vodiče a pomocou veľkého množstva inštrukcii.
Štruktúrovaný textový jazyk(Structured Text - ST) je súčasťou programovacieho prostredia od verzie 6.0. Je to vyšší programovací jazyk, pre priemyselné riadenie, hlavne pre PLC, definovaný IEC štandardom. Obsahuje veľa príkazov, ako sú napr. príkazy podmienok IF-THEN-ELSE-END_IF, príkazy cyklov FOR, WHILE a tiež mnoho matematických funkcii a aritmetických operácii

Architektúra programu napísaného v CX-Programmer

Každá riadiaca aplikácia napísaná vo vývojovom prostredí CX – Programer, je vedená ako projekt. Projekt môže obsahovať niekoľko úloh, tzv. *Taskov*.

Každý **Task** sa môže spúšťať buď so spustením behu celej aplikácie, alebo pomocou inštrukcie TKON, a zastavovať pomocou inštrukcie TKOF. Takto môžeme obmedziť beh programu iba na tie úlohy, ktoré v danej chvíli potrebujeme pre správnu funkciu. Existujú dva typy taskov: *Cyklické* a *Prerušovacie*. *Cyklický* task sa prevádza po jeho spustení v každom cykle PLC, až kým nie je pozastavený. Jeden cyklus prerušovacieho tasku sa prevedie vždy v prerušení programu, ktorému je daný task pridelený. Po jeho vykonaní sa beh tasku zastaví, skončí prerušenie a pokračuje cyklický beh programu.

Pre jednoduchšiu orientáciu vo veľkom programe, sa môžu tasky ďalej rozdeľovať do ľubovoľného počtu ***sekcii*** s voľne definovateľným názvom. Sekcia je

ako kapitola v knihe, a PLC prechádza sekcie v poradí v akom sú nadefinované. Sekcie je v programe možné jednoducho preskupovať a voľne kopírovať.

Každá sekcia sa skladá z ľubovoľného počtu tzv. ***Rung***-ov. Je to vlastne riadok programu, ktorý musí vždy obsahovať aspoň jeden kontakta aspoň jeden výstup, alebo výstupnú inštrukciu.

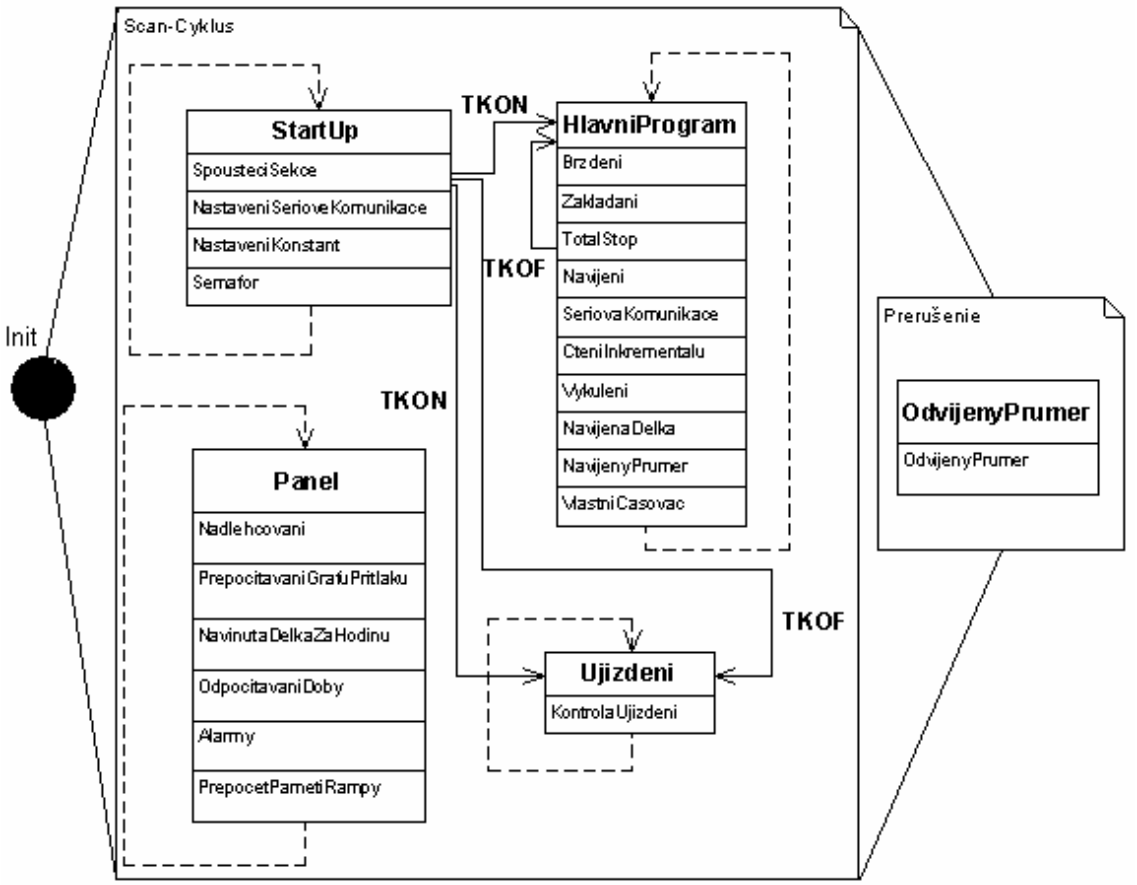
Funkčné bloky

Programovacie prostredie CX-Programmer, disponuje od verzie 6.0 aj tzv. *funkčnými blokmi* – FB. Sú to preddefinované programy, alebo funkcie, zobrazované ako jednoduchý programový element, obsahujúci vstupy a výstupy. Funkčný blok sa môže definovať pomocou LD, alebo ST. Vnútro FB obsahuje definíciu premenných a samotný program. Jeden už vytvorený funkčný blok je možné v programe opakovane použiť vo forme inštancii. Užívateľ už iba nadefinuje vstupy a výstupy. Každá inštancia FB používa k svojej funkcii vlastnú alokovanú pamäť. FB môžeme uložiť do knižnice a použiť ho v inej aplikácii. Takto ušetríme prácu programátora a sprehľadnime napísaný program.

3.4.2 Riadiaci program

Pre riadenie navíjačky sme navrhli software, ktorý sme rozdelili do niekoľkých taskov, ktoré sú spúšťané podľa potreby. Každý task obsahuje niekoľko sekcii.

Architektúra programu je znázornená v Obr. 38. V Tab. 12 je znázornený typ každého tasku, aj spôsob akým je každý task spúšťaný a sekcie pripadajúce jednotlivým taskom.



Obr. 38Architektúra riadiaceho programu

TASK	TYP TASKU	SPUSTENIE TASKU	SEKCIA
HlavniProgram	Cyklický	Inštrukciou	Brzdeni
			Zakladani
			TotalStop
			Navijeni
			SeriovaKomunikace
			CteniInkrementalu
			Vykuleni
			NavijenaDelka
			NavijenyPrumer
			VlastniCasovac
StartUp	Cyklický	So spustením programu.	SpousteciSekce
			NastaveniSerioveKomunikace
			NastaveniKonstant
			Semafor
Panel	Cyklický	So spustením programu	PanelNadlehcovani
			PrepocitavaniGrafuPritlaku
			NavinutaDelkaZaHodinu
			OdpocitavaniDoby
			Alarmy
			PrepocetPamatiRampy
Ujizdeni	Cyklický	Inštrukciou	KontrolaUjizdeni
OdvijenyPrumer	Prerušovací	Vstupom prerušenia	OdvijenyPrumer

Tab. 12 Architektúra riadiaceho programu

V nasledujúcich odsekoch budú vysvetlené dôležité body jednotlivých sekcii.

Sekcia: SpousteciSekce

Táto sekcia patrí tasku StartUp, ktorý je spustení so spustením celého programu. Z tejto sekcie sa spúšťajú všetky súčasti pre správnu funkciu celého zariadenia.

Na nábežnú hranu vstupu na ktorom je adresované tlačidlo pre spustenie celého zariadenia, sa zopne hlavný stýkač. Tým sa uvedie celé zariadenie do chodu. Funkciou TKON sa spustí task *HlavníProgram.* Tento task vykonáva všetky hlavné funkcie zabezpečujúce správnu funkčnosť zariadenia. Nábežná hrana vstupu START, zároveň aktivuje výstup, na ktorom je pripojená zelená kontrolka, indikujúca že je zariadenie v chode.

Z tejto sekcie sa navyše spúšťa a vypína task *Ujizdení*, teda sekcia Kontrola_Ujizdeni.

Sekcia : NastaveniSerioveKomunikace

Táto sekcia patrí tasku *StartUp*. Ako už jej samotný názov napovedá, nastavujú sa v nej parametre, ako sú adresy pre jednotlivé zariadenia, adresy cieľových registrov jednotlivých zariadení a počty prenášaných, pre komunikácie po sériovom rozhraní RS-485 pomocou protokolu MODBUS.

Sekcia: NastaveniKonstant

Keďže táto sekcia patrí tasku *StartUp*, spusteného so štartom programu, nastavujú sa v nej konštanty potrebné pre správnu funkciu zariadenia, ako sú vzdialenosti pripočítane príchodom pulzu každého z inkrementálnych snímačov, a maximálne povolené hranice pohybu zakladacích os a prítlačného válca

Sekcia: Semafor

Pomocou tejto sekcie umiestnenej v tasku *StartUp* sa vyhodnocujú podmienky pre jednotlivé farebné svetla semaforu. Aktivuje výstup na ktorom je pripojené červené svetlo v prípade, že nastal nejaký chybový stav, žlté svetlo, v prípade že úloha navíjania je dokončená a zelené svetlo v prípade že je všetko v poriadku.

V nasledujúcich odsekoch budú popísané sekcie patriace tasku *HlavniProgram.* Sú to teda sekcie zabezpečujúce správnu funkciu jednotlivých častí navíjačky.

Sekcia: VlastniCasovac

Udáva takt, v ktorom pracuje celé riadenie navíjačky. V tomto takte sa napr. pri zrýchľovaní resp. spomaľovaní, zvyšuje resp. znižuje rýchlosť.

Sekcia: NavijenaDelka

Pomocou inštrukcií aritmetických operácii sa tu počíta navinutá dĺžka papieru na základe hodnoty z IRC umiestnenom na pohone hnacieho válca, a nuluje sa navinutá dĺžka zopnutím príslušného kontaktu.

Na základe počítania prírastku dĺžky za jeden takt, počíta táto sekcia, koľko taktov ostáva k dosiahnutiu požadovanej dĺžky.

Sekcia: NavijenyPrumer

Pomocou inštrukcii aritmetických operácii sa tu počíta navinutý priemer role, na základe hodnoty z IRC umiestneného na prítlačnom valci
Pomocou počítania prírastku priemeru navinutej role za jeden takt počíta koľko taktov ostáva k dosiahnutiu požadovaného priemeru

Sekcia: Brzdeni

Pomocou tejto sekcie sa prevádza regulácia brzdy odvíjanej role. Načítame v nej hodnoty z oboch tenzometrov, ktoré sú uložené na adresách ktoré si pre seba alokovala jednotka analógových vstupov, PTS-15. Zo získaných hodnôt z oboch tenzometrov, počítame aritmetický priemer. Výsledok aritmetického priemeru posielame ako vstup regulátoru.

Aby mohla obsluha udávať požadovaný ťah a sledovať aktuálny ťah v kilogramoch, musí sa brzda najskôr skalibrovať, tak ako bolo popísané v 3.1.2. a nastaviť jej offset. Pri nastavovaní offsetu sa v momente aktivovania kontaktu „*NastavOffset“* uloží aktuálna hodnota vstupu z tenzometrov. Keďže sa toto nastavovanie prevádza pri nezaťažených tenzometroch, znamená to že nameraná hodnota je spôsobená vlastnou váhou meracích puzdier. Túto hodnotu teda odpočítavame počas celého merania pri regulácii, od získanej hodnoty. V momente, keď je aktívny kontakt „*Kalibrace“,* odpočíta sa od nameranej hodnoty vstupu z tenzometrov offset a táto hodnota sa podelí hmotnosťou závažia. Vypočítaná hodnota, tzv. prevodná konštanta, potom počas regulácie delí skutočnú hodnotu nameranú tenzometrami. Tak pri regulácii dostaneme skutočnú hodnotu ťahu brzdy v kilogramoch. Aby sa mohla požadovaná hodnota porovnávať so skutočnou, musíme požadovanú hodnotu previesť do jednotky, v akej dostávame signál z analógových vstupov. Prevod realizujeme násobením požadovanej hodnoty, prevodnou konštantou.

Regulácia brzdy

Pre reguláciu brzdného účinku sme vytvorili FB, ktorý prevádza funkciu jednoduchého PID regulátoru. Tento blok sme naprogramovali pomocou jazyku ST. V tomto jazyku sme jednoducho nadefinovali funkciu :

$$Vystup = P\left(E + D\frac{dE}{dt} + I\int Edt\right), \text{ kde:}$$

P je proporcionálna zložka
D je derivačná zložka
I je integračná zložka
E je regulačná odchýlka

Táto funkcia má nasledovný prepis do jazyka ST:

```
RizeniVentilu := REAL_TO_INT ( P* (( INT_TO_REAL( RozdilHodnot)) + (INT_TO_REAL(RozdilHodnot -
RozdilHodnot_old)*D) + (I* INT_TO_REAL( SumaRozdilu))));
```

Kde:

RizeniVentilu je hodnota posielaná na analógový výstup na ktorom je pripojený brzdný ventil

RozdilHodnot je regulačná odchýlka vypočítavaná nasledovne:

```
RozdilHodnot := PozadovanaHodnota - AktualniHodnota;
```

SumaRozdilu je načítaná regulačná odchýlka podľa:

```
SumaRozdilu := SumaRozdilu + RozdilHodnot;
```

Pri zrýchľovaní alebo pri spomaľovaní sa k hodnote „RizeniVentilu“ pripočítava hodnota vypočítaná na základe veľkosti zrýchľovania a na základe nastavenej hmotnostnej konštanty navíjaného materiálu.

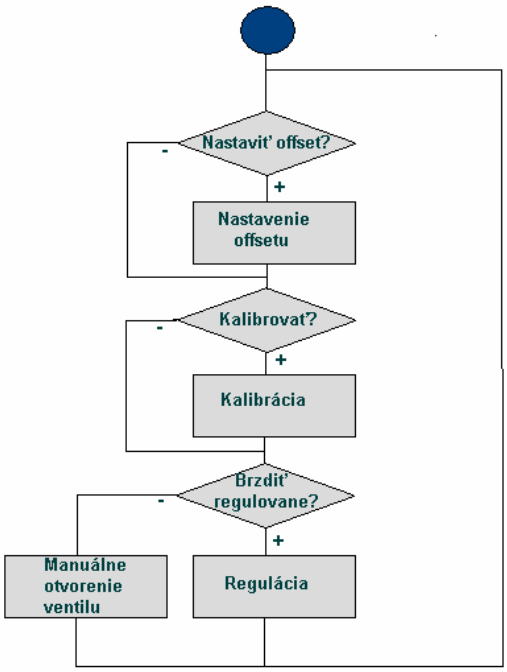
Kód celého tohto FB je možné nájsť v prílohe .

Regulácia sa začína vždy určitú dobu po rozbehu navíjania na rýchlosť 10m/min. Je tomu tak preto, lebo pri zavádzaní papiera sa papier pohybuje nízkou rýchlosťou a nie je potrebné regulovať ťah. Navyše by sa mohlo stať, žeby bola odvíjaná rola brzdená tak silno, žeby došlo k preťaženiu navíjacích pohonov.

Po zastavení navíjania, sa prirodzene zníži napnutie papiera. Ak by po zastavení regulátor ďalej reguloval ťah, snažil by sa zvýšiť napnutie papiera, priškrcovaním ventilu brzdy až do maximálneho povoleného priškrtenia. Preto sa vždy po zastavení spustí časovač. Po jeho dopočítaní sa vypne regulátor brzdy a ventil sa otvorí na vopred nastavenú hodnotu.

Obsluha môže prejsť do manuálneho brzdenia stlačením príslušného tlačidla na dotykovom termináli. Vtedy sa odpojí funkčný blok regulácie brzdy a brzdný ventil sa otvorí na nastavenú hodnotu.

Pri požiadavku úplného odbrzdenia sa brzdný ventil, úplne otvorí. Na analógový výstup na ktorom je napojený ventil posielame hodnotu 0.
Celá sekcia brzdenie teda pracuje podľa algoritmu na Obr. 39.



Obr. 39 Algoritmus sekcie Brzdeni

Sekcia: Zakladani

Táto sekcia rieši jednoduchú logiku pohybu zakladacích os. Spúšťanie a smer pohybu pohonov os každého zakladača, je riadený pomocou dvoch binárnych signálov M%_VPRED a M%_VZAD, kde % je číslo motoru, v rozmedzí 1 až 4. Podľa toho ktorý z týchto signálov je aktívny, tým smerom sa pohybuje konkrétny motor.

Sekcia rieši aj krajné polohy všetkých smerov os zakladača, meranie polôh jednotlivých os a synchronizáciu vertikálneho pohybu oboch os.

Synchronizácia sa prevádza pomocou FB *VypoctiRychlostPMotoru*. Je napísaný v jazyku ST. Vstupmi tohto FB sú vertikálne polohy oboch os, smer pohybu os a rýchlosť ľavej osi. Rýchlosť pravej osi sa vypočítava na základe tejto rýchlosti a odchýlky od polohy ľavej osi. Ak pravá os zaostáva, zvýši rýchlosť, ak predbieha rýchlosť zníži. Hodnota o ktorú svoju rýchlosť zvýši, resp. zníži závisí od hodnoty rozdielu vertikálnych polôh oboch os.

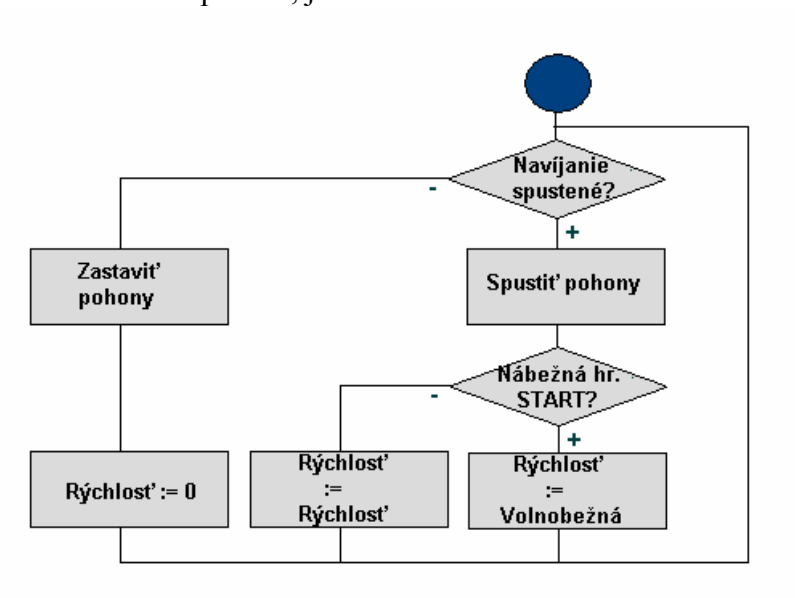
Sekcia: Navijeni

V tejto sekcii sa rieši celá funkcia navíjača, teda riadenie pohonov, ovládanie prítlačného válca, odťahového ventilátoru a logiku ďalších súčastí potrebných pre navíjanie.

Navíjanie sa spúšťa nábežnou hranou signálu zo vstupu, na ktorom je adresované tlačidlo START navíjania, alebo na nábežnú hranu signálu v premennej z tlačidla START navíjania na dotykovom paneli. Spustením sa spustí pohon *slave*, teda pohon uťahovacieho válca, chladiace ventilátory na brzdách a ak je zvolená možnosť automatického spúšťania odťahového ventilátoru, tak aj odťahový ventilátor. Pohon *master,* teda pohon hnacieho válca sa spustí až po určitej dobe. Táto doba je odpočítavaná časovačom, ktorý je takisto spustený nábežnou hranou signálu START.

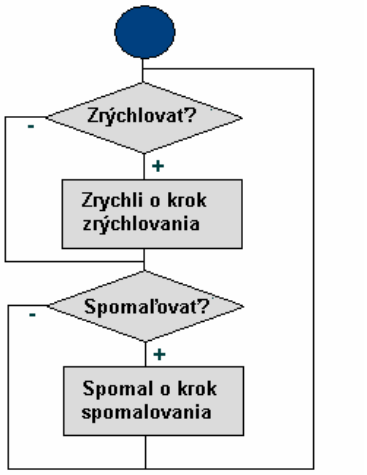
Regulácia hnacieho, *master*, pohonu sa prevádza pomocou FB *RizeniM5*, ktorý je naprogramovaný v jazyku ST. Tento FB má vstupy dávajúce povel pre reguláciu tohto pohonu, vstupy dávajúce povel k zrýchľovaniu a spomaľovaniu pohybu, povel

k zastavovaniu pohybu, povel k nabehávaní na nastavenú rýchlosť, ktorá je tiež vstupom tohto FB, povel ku krokovaniu, hodnoty kroku zrýchľovania a spomaľovania a hodnoty tzv. jog rýchlosti.
Regulácia pohonu sa prevádza ak je aktívny vstup *Beh*. Algoritmus vykonávaný pri v závislosti na stave vstupu *Beh*, je na Obr. 40.



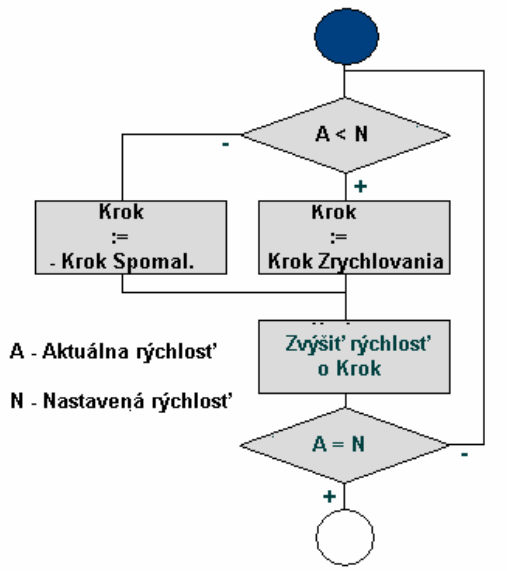
Obr. 40 Algoritmus spúštania pohonov

Pri zrýchľovaní sa v každom takte pripočíta k aktuálnej rýchlosti hodnota *KrokZrychlovani*, pri spomaľovaní sa odčíta hodnota *KrokZpomalovani*. Algoritmus je znázornený na Obr. 41



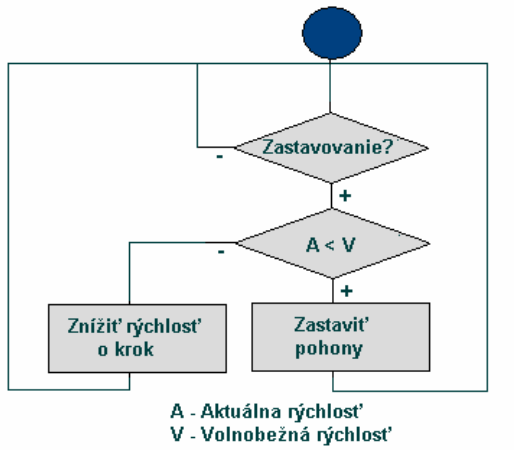
Obr. 41 Algoritmus zmeny rýchlosti

Pri nabehávaní na rýchlosť program zisťuje či aktuálna rýchlosť je vyššia, alebo nižšia, ako požadovaná. Podľa toho určí či ma začať spomaľovať, alebo zrýchľovať a urči krok. Algoritmus je zobrazený na Obr. 42.



Obr. 42 Algoritmus nabehávania na požadovanú rýchlosť

Pri zastavovaní navíjania sa v každom takte znižuje rýchlosť až po voľnobežnú rýchlosť. Po jej dosiahnutí sa pohon vypne. Algoritmus je zobrazený na Obr. 43



Obr. 43 Algoritmus zastavovania

Tento FB vypočítava počas celej doby regulácie, za koľko taktov dokáže pohon úplne zastaviť, vzhľadom k svojej rýchlosti a kroku spomaľovania.

DobaZastavovani := (AktualniRychlost - VolnobeznaRychlost) / KrokZpomalovani;

Ak je aktívny vstup Krokovani, nastaví sa rýchlosť pohonu zadaná pre krokovanie a podľa zadaného smeru krokovania sa rozbehne týmto smerom.

Kód celého funkčného bloku je zobrazený v prílohe.

Regulácia uťahovacieho pohonu *slave*, sa prevádza pomocou FB *RizeniM6*, ktorý je, rovnako ako FB *RizeníM5*, naprogramovaný v jazyku ST. Tento blok rieši krivku uťahovania, vrátane jej zadávania a prepočítavania aktuálneho pomeru uťahovania. Obsahuje vstupy pre zadávanie pomeru a k nemu prislúchajúcemu uťahovaniu zadaného v mm/m. Pri nábežnej hrane vstupu *Potvrdit* sa dvojica hodnôt pomer – uťahovanie uloží do dvojrozmerného poľa a zoradí sa vzostupne, metódou buble sort ,vzhľadom k priemeru. Tým sa nadefinuje celá krivka uťahovania.

Kód je nasledovný:

```
IF Potvrdit_old = FALSE AND Potvrdit = TRUE AND i < 20 THEN (* ak je menej prvkov ako 20 a nabezna hr.*)
    Prumer[i]:=PrumerHodnota;  (* pridaj do pola priemer*)
    PomerDotahovani[i]:= 1000,0 / (1000,0 - DotahovaniHodnota); (* pridaj do pola vypocitany pomer*)
    (*BUBBLE SORT *)
    IF i>0 THEN
    REPEAT
        sorted:= TRUE;
        FOR k:=1 TO i  BY 1 DO
            IF Prumer[k] < Prumer[k-1] THEN
                tempPrumer:=Prumer[k];
                Prumer[k]:=Prumer[k-1];
                Prumer[k-1]:=tempPrumer;
                tempDotahovani:=PomerDotahovani[k];
                PomerDotahovani[k]:=PomerDotahovani[k-1];
                PomerDotahovani[k-1]:= tempDotahovani;
                sorted:=FALSE; (* nieje zoradene*)
            END_IF;
        END_FOR     ;
    UNTIL sorted = TRUE
    END_REPEAT;
```

Po zoradení sa vypočítajú smernice úsekov medzi jednotlivými susediacimi bodmi. Pomocou týchto smerníc sa potom vypočíta aktuálne uťahovanie pri aktuálnom priemere pomocou parametrizácie priamky $y - y_0 = k(x - x_0) + q$.

Počítanie smerníc:

```
FOR m:=1 TO i BY 1 DO
    sklon[m-1]:=(PomerDotahovani[m] - PomerDotahovani[m-1])/(Prumer[m] - Prumer[m - 1]);
END_FOR;
```

Počítanie aktuálneho pomeru:

```
FOR n := 0 TO i-1 BY 1 DO  ; (* cez vsetky useky*)
    IF PrumerAktualni > Prumer[n] AND PrumerAktualni < Prumer[n+1] THEN ; (*aktualny priemer v useku*)
        smernice := sklon[n]; ; (* smernica v tomto useku*)
        PomerAktualni := (((PrumerAktualni - Prumer[n])*smernice) + PomerDotahovani[n]); (*parametrizacia*)
    END_IF;
END_FOR;
```

Tento vypočítaný aktuálny pomer sa ešte musí upraviť do tvaru vhodného k posielaniu na prídavnú kartu *PG-Z2,* frekvenčného meniča.

Počas navíjania sa pravidelne sleduje hodnota výstupného prúdu pohonu *slave.* Ak sa dostane nad povolenú medzu, začne sa znižovať pomer uťahovania o hodnotu *KompenzaceUtahovani* až kým hodnota prúdu opäť neklesne. Kód celého tohto funkčného bloku je zobrazený v prílohe

V tomto FB sa ešte prepočítavajú adresy pre zobrazenie krivky na dotykovom paneli. Jedná sa o jednoduchú matematiku a nebudeme sa tomu bližšie venovať.

Prepočítavanie prítlaku prítlačného válca sa vykonáva vo FB *Pritlak.* Je napísaný v jazyku ST. Rieši aj definovanie priamky nadľahčovania pomocou dvoch bodov. Bod je určený priemerom a nadľahčovaním na tomto priemere, udávaný v precentách. Pomocou týchto bodov sa vypočíta smernica a pomocou smernice a parametrizácie priamky, prítlak pre aktuálny priemer navíjanej role. Výsledný aktuálny prítlak sa ešte upraví do tvaru vhodného posielaniu na analógový výstup na ktorom je pripojený ventil pre reguláciu prítlaku.

Výpočet smernice:

```
smernice := (NadlehcovaniMaxPrumer - NadlehcovaniMinPrumer)/(MaxPrumer - MinPrumer)
```

Výpočet aktuálneho nadľahčovania podľa $y - y_0 = k(x - x_0) + q$:

```
NadlehcovaniAktualni := (PrumerAktualni - MinPrumer)*smernice + NadlehcovaniMinPrumer;
```

Prepočet do vhodného tvaru pre analógový výstup:

```
Ventil_real := (4000,0*NadlehcovaniAktualni)/100,0;
```

Táto sekcia rieši aj zastavovanie navíjania, pri dosiahnutí požadovaných parametrov navíjaného papieru. Sú možnosti zastavenia hrubého a jemného. Pri hrubom zastavovaní sa navíjanie začne vypínať dosiahnutím požadovaného parametru. Pri jemnom, program kontroluje dobu zastavenia z aktuálnej rýchlosti s dobou dosiahnutia požadovaného parametru. Ak sa tieto doby zhodujú alebo doba zastavenia je vyššia ako doba dosiahnutia parametru, zníži sa rýchlosť. Takto dosiahneme vysokú presnosť zastavovania, avšak jemné zastavovanie si vyžiadava viac času.

Sekcia: SeriovaKomunikace

Táto sekcia rieši komunikáciu po sériovom rozhraní, pomocou protokolu MODBUS. V tomto spojení figuruje PLC ako *master*. Nastavuje počiatočné adresy posielaných dát jednotlivým *slave* zariadeniam a rieši synchronizáciu prístupu *slave* zariadení na zbernicu.

Pre komunikáciu pomocou MODBUS protokolu, používame inštrukciu *PMCR*(protocol macro). Tejto inštrukcii sa zadávajú 4 vstupné parametre:

C1 – prvé riadiace slovo. Jeho zloženie je znázornené na Obr. 44

Obr. 44 Kontrolné slovo C1 inštrukcie PMCR

C2 – druhé riadiace slovo sa skladá z 16-tich bitov. Udáva sa v ňom číslo komunikačnej sekvencie. Táto sekvencia je definovaná pomocou utility *CX-Protocol.* V našom prípade je číslo sekvencie 850 pre zápis a 852 pre čítanie. Sekvencie pre zápis a čítanie aj ich čísla sú pre všetky meniče zhodné.

S – prvé posielané slovo, je adresa na ktorom začína blok dát posielaný po zbernici. Prvé slovo je vždy počet posielaných slov, vrátane tohto slova. Ďalšie je adresa slave zariadenia. Po ňom nasleduje adresa registru meniča. Posledné slovo je hodnota posielaná do tohto registru. Prvé tri slova sa pre jednotlivé parametre jednotlivých meničov počas programu nemenia. Mení sa len posielaná hodnota. Prvé tri slova preto pre každý parameter každého zariadenia nastavujeme v sekcii *NastaveniSerioveKomunikace* tasku *StartUp*. Parametrom S inštrukcie teda jednoducho určíme ktorému zariadeniu, ktorý parameter posielame, aj s jeho hodnotou.

R – prvé prijaté slovo. Je to adresa prvého slova prijatého bloku. Prvé slovo je vždy počet slov, vrátane tohto slova.

Prístup jednotlivých zariadení k zbernici riadime jednoduchým počítadlom, ktoré počíta do počtu pripojených zariadení. Počítadlo sa inkrementuje vždy keď sa zbernica uvoľní. Ak sa adresa slave zariadenia zhoduje s hodnotou počítadla, zariadenie má prístup ku zbernici. Nevýhoda tejto metódy je dlhá doba jedného cyklu, ktorá sa zvyšuje s počtom pripojených zariadení. To nám spôsobovalo problém pri posielaní dát meničom riadiacim navíjacie pohony, ktoré pre plynulosť riadenia potrebujú dostávať hodnotu aktuálnej rýchlosti a pomeru rýchlosti v čo najrýchlejšom slede. Preto počas behu týchto pohonov odpojíme z cyklu ostatné zariadenia a komunikujeme iba s týmito dvoma. Ak potrebujeme zmeniť niektorý z parametrov ostatných zariadení, pripojíme

toto zariadenie kým sa dostane jedenkrát na zbernicu a opäť ho odpojíme. Výstupný prúd meniča uťahovacieho pohonu sledujeme iba v každom 50-tom cykle.

Sekcia: CtenilnkrementaIu

V tejto sekcii sa načítavajú hodnoty z inkrementálnych snímačov pomocou inštrukcii *PRV* (vstupy na CPU) a IORD (vstupy z CTL41)

Sekcia: Vykuleni

V tejto sekcií sa rieši logika vykladania role. Kontrolujú sa v nej všetky podmienky potrebné ku spusteniu vykladacieho zariadenia. Ovláda sa tu logika zdvihu zdvíhacej plošiny, teda ovládanie dvoch hydraulických ventilov a motoru hydraulickej pumpy.

Sekcia: Kontrola_ujizdeni

Táto sekcia patrí tasku *Ujizdeni*, ktorý sa zapína pomocou inštrukcie *TKON* z tasku *StartUp,* vždy keď je potrebná kontrola bočného uchádzania. Sekcia obsahuje FB *KontrolaUjizdeni*, napísanú v LD. FB má všetky ako vstupy, všetky 4 výstupy zo senzoru bočného uchádzania. Na základe toho, ktoré vstupy sú aktívne, určí či sa majú posúvať zakladacie osy a ak, tak ktorým smerom, tak ako bolo popísané v 3.1.3.

Sekcia: OdvijenyPrumer

Sekcia patriaca tasku *OdvijenyPrumer*, ktorý je prerušovací. Je spúšťaný s nábežnou hranou prerušovacieho vstupu, na ktorom je adresovaný indukčný snímač indikujúci otočenie odvíjanej role o 180°. Pulzy indukčného snímača môžu byť pri malom priemere odvíjanej role a vysokých rýchlostiach navíjania, kratšie a s vyššou frekvenciou, ako scan cyklus PLC, preto je indukčný snímač pripojený na prerušovací vstup. Táto sekcia počíta priemer odvinutej role, tak ako bolo popísane v 3.1.3. Keďže odvíjaný priemer sa pri veľkých priemeroch zvyšuje pomaly, počítame obvod z desiatich otočení sa odvíjanej role a výsledok delíme desiatimi.

Task: Panel

V tomto tasku, ktorý je spúšťaný so štartom celého programu sa počítajú pomocné parametre potrebné pre vizualizáciu. Keďže tieto výpočty sú len pomocné, nebudeme im venovať veľa pozornosti. Jednotlivé sekcie sú:
Sekcia: PrepocitavaniGrafuPritlaku: Prepočítava adresy pre zobrazenie krivky nadľahčovania.
Sekcia: NavinutaDelkaZaHodinu: Prepočítava koľko papieru bolo previnutého za hodinu, pre zobrazenie štatistického grafu.
Sekcia: OdpocitavaniDoby: Počíta koľko taktov je potrebné k dosiahnutiu požadovaného parametru navíjaného papiera. Zo známej doby trvania jedného taktu, pomocou inštrukcii na prevod do časových jednotiek *HMS*, počíta čas do dovinutia v hodinách, minútach a sekundách. Tento čas je iba odhadovaný čas dovinutia.
Sekcia: Alarmy: Táto sekcia nastavuje pomocné premenné, ak nastane nejaký chybový stav, alebo udalosť ktorá sa bude musieť hlásiť na PT. Program pre PT, potom reaguje na tieto premenne
Sekcia: PrepocetPametiRampy: Prepočítava pamäť pre zobrazenie rámp zrýchľovania a spomaľovania.

3.5. Vizualizácia

Pre naprogramovanie užívateľského prostredia, programovacieho dotykového terminálu, sme použili prostredie CX-Designer ver. 2.0, ktoré patrí do softwarovej rodiny CX-One, spoločnosti *Omron.*

Vizualizácia obsahuje celkovo 10 obrazoviek, rozdelených podľa funkčnosti. Požiadavky na jednotlivé obrazovky už boli popísané v 3.2. V návrhu vizualizácie sme sa držali týchto požiadávok, niektoré sme však po konzultácii s obsluhou mierne pozmenili, tak aby boli jednotlivé stránky užívateľský prijateľné. V dolnej časti každém stránky je uložené menu, slúžiace k prepínaniu medzi jednotlivými stránkami. Nad menu sa v prípade výskytu dôležitej udalosti, alebo chybového stavu, objavuje červený riadok s textom hlásenia o tomto stave.

Hlavná obrazovka

Na hlavnej obrazovke sú zobrazované hlavné údaje o navíjaní, slúžiace k získaniu celkového prehľadu o prebiehajúcom procese. Takisto sa odtiaľ dávajú príkazy k hlavným činnostiam.

V sekcii *Měřeni průměrů a délek*, sa zobrazujú údaje o aktuálnom priemere navinutej role, priemere odvinutej role, a aktuálnej previnutej dĺžke papiera. Vedľa každej s týchto údajov sa zobrazuje stĺpcový graf, na ktorom sa znázorňuje, koľko je ešte treba navinúť, resp. odvinúť k dosiahnutiu požadovanej hodnoty.

V sekcii *Údaje o navíjení*, sa zobrazuje okrem iných, rýchlosť, ktorá je zobrazovaná jednak ako frekvencia otáčok motoru, a jednak ako m/min navinutého papieru. Ak rýchlosť prekročí určitú vysokú hodnotu, pri ktorej je potrebné dodržiavať zvýšenú opatrnosť, zafarbia sa políčka rýchlosti do červena. Ďalším údajom v tejto sekcii je údaj o aktuálnom uťahovaní a aktuálnom nadľahčovaní prítlačného válca. Vedľa týchto údajov sú umiestnené tlačidla, umožňujúce nastavenie oboch kriviek pomocou *pop-up* okna. Ak by z nejakého dôvodu nebola niektorá z kriviek nadefinovaná, obsluhu na to upozorní blikajúci obrys daného tlačidla. V políčku ťah brzdy je zobrazovaný aktuálny ťah brzdy. Vedľa neho je umiestnený stĺpcový graf, ktorý zobrazuje aktuálne otvorenie brzdného ventilu, teda aktuálny výkon brzdy.

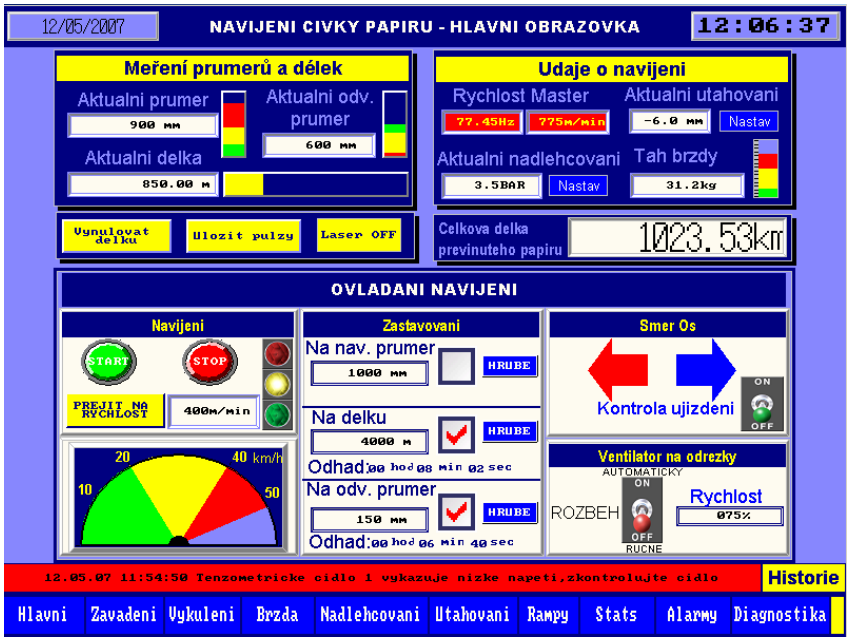
V spodnej polovici obrazovky sú sekcie slúžiace k ovládaniu navíjania. V sekcii *Navijeni*, sú tlačidla START a STOP slúžiace k dávaniu povelov, pre spustenie navíjania a jeho zastavenie. Nachádza sa tam aj tlačidlo, *PREJIT NA RYCHLOST* a vedľa neho textové políčko. V ňom sa nastaví požadovaná rýchlosť a po stlačení tlačidla, rýchlosť navíjania plynulo prejde na požadovanú. Na pravom boku tejto sekcie je umiestnený semafor s troma farbami. Červená farba svieti, ak navíjanie neprebieha. Zelená svieti v prípade že je spustené navíjanie, a jeho rýchlosť je rovnomerná, teda jeho rýchlosť sa nemení. V prípade že sa rýchlosť mení, svieti žlté svetlo. Ak navíjanie zastavuje, svieti žlté svetlo spolu s červeným.

V sekcii *Zastavovani,* obsluha nastavuje parametre požiadávok zastavovania, teda či sa ma navíjanie zastaviť na dĺžke navinutého papiera, alebo na niektorom z priemerov. Požiadavka sa aktivuje pomocou zaškrtávacieho políčka a nastavením požadovanej hodnoty. Vedľa zaškrtávacích políčok je tlačidlo určujúce, či sa bude zastavovať hrubo, alebo jemne. Pod každým políčkom je v prípade zaškrtnutia zobrazovaný odhadovaný čas do dovinutia.

V pravej časti obrazovky sú umiestnená sekcia *Smer Os*, pomocou ktorej sa posúvajú zakladacie osy, vpravo aj vľavo a v ktorej je prepínač spúšťajúci kontrolu bočného uchádzania. Osy sa vpravo aj vľavo posúvajú pomocou šípok. Ak je šípka aktívna sfarbí sa do červena. Pod touto sekciou je sekcia *Ventilator* na odrezky,

v ktorom sa nachádza prepínač určujúci, či sa bude ventilátor spúšťať automaticky, alebo ručne a textové políčko udávajúce rýchlosť ventilátoru, udávaný v percentách maximálneho výkonu.

Na tejto obrazovke sa nachádzajú aj tlačidla *Vynulovat delku*, ktorým sa nuluje aktuálna previnutá dĺžka papieru, tlačidlo *Uložiť pulzy*, ktorým sa kalibruje inkrementálny snímač slúžiaci k odmeriavaniu priemeru navinutej role a tlačidlo *Laser On/Off*, ktorým zapíname a vypíname zameriavací laser. Hlavná obrazovka je zobrazená na Obr. 45.

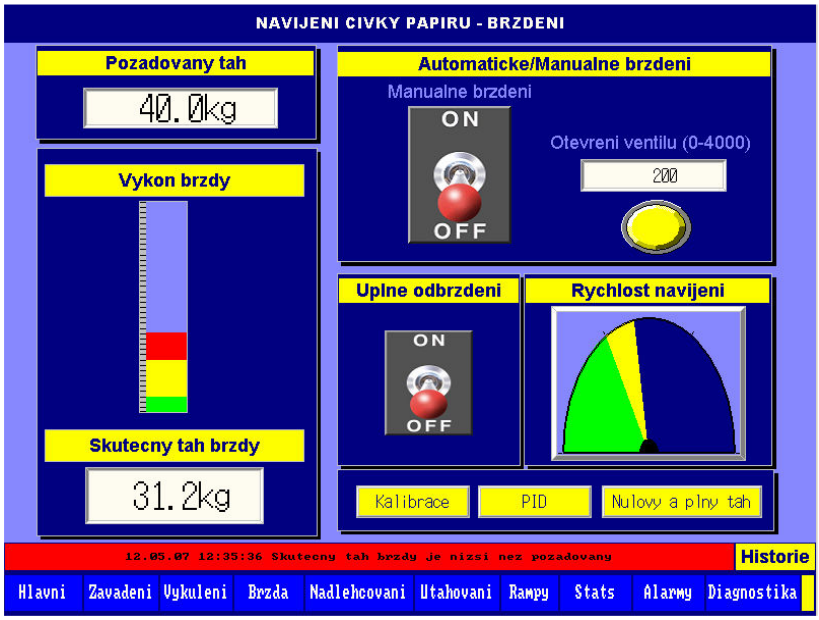


Obr. 45 Hlavná obrazovka

Obrazovka: Brzdení

Na tejto obrazovke obsluha nastavuje požadovaný ťah brzdy, pomocou odpovedajúceho políčka. Zobrazuje sa na nej hodnota aktuálneho ťahu a aktuálne otvorenie brzdného ventilu, teda aktuálny výkon brzdy. V sekcii *Automatické/Manualne brzdeni* sa pomocou prepínača volí medzi regulovaným a manuálnym brzdením, a nastavuje sa hodnota otvorenia ventilu, v prípade manuálneho brzdenia.

V spodnej časti obrazovky je prepínač k úplnému odbrzdeniu brzdy, graf znázorňujúci aktuálnu rýchlosť a tlačidla Kalibrace, ktorým sa otvorí pop-up okno kalibrácie brzdy, tlačidlo PID, ktorým sa otvorí pop-up okno k nastaveniu PID parametrov brzdy a tlačidlo Nulový a plný ťah, ktorým sa otvorí pop-up okno v ktorom sa nastavuje ťah brzdy po zastavení navíjania a ťah brzdy v prípade pretrhnutia papieru. Obrazovka obsluhy brzdy je znázornené na Obr. 46



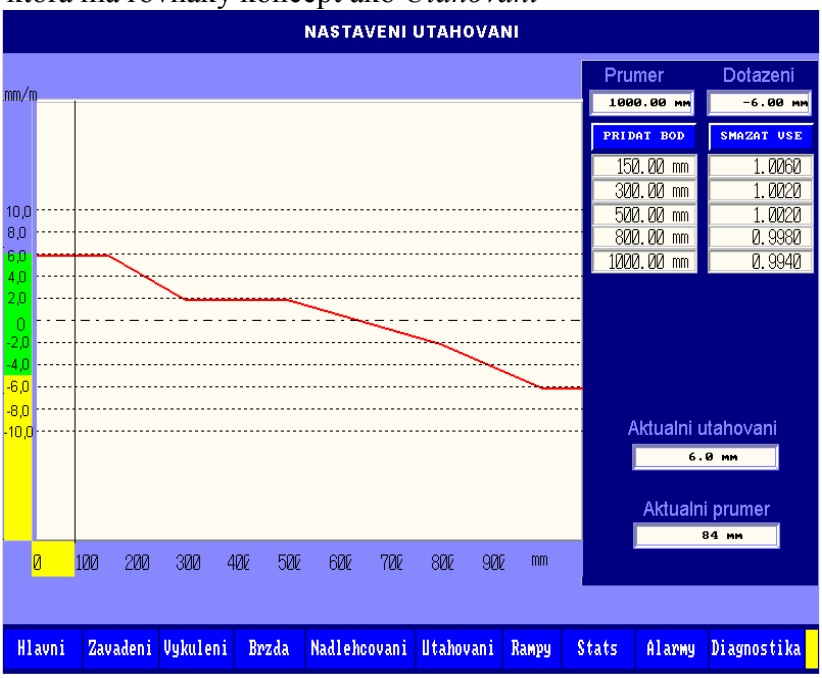
Obr. 46 Obrazovka: Brzdeni

Obrazovka: Utahovani a Nadlehcovani

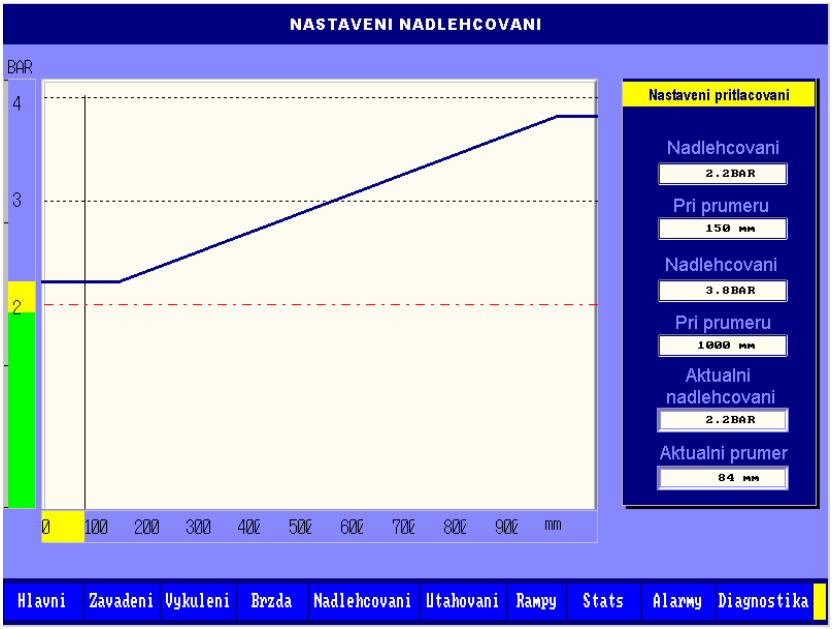
Na obrazovke *Utahovani* je znázornená krivka uťahovania, aj s možnosťou jej nastavenia. Nastavuje sa pomocou zadávania bodov v pravej časti obrazovky, pomocou políčok *Prumer* a *Dotazeni* a tlačidla *PRIDAT BOD*. Po pridaní sa pod tlačidlami zobrazí ďalšia dvojica číselných políčok. Dvojice sa automatický zoradia podľa priemeru. Pod nimi sú umiestnené políčka znázorňujúce aktuálne uťahovanie a aktuálny priemer navíjanej role.

Po stranách grafu znázorňujúceho krivku uťahovania sú zobrazené stĺpcové grafy zobrazujúce aktuálny priemer a uťahovanie. Zvislá čiara v grafe zobrazuje aktuálnu polohu v krivke uťahovania.

Na Obr. 47 je znázornená stránka *Utahovani* a na Obr. 48 stranka *Nadlehcovani*, ktorá má rovnaký koncept ako *Utahovani*



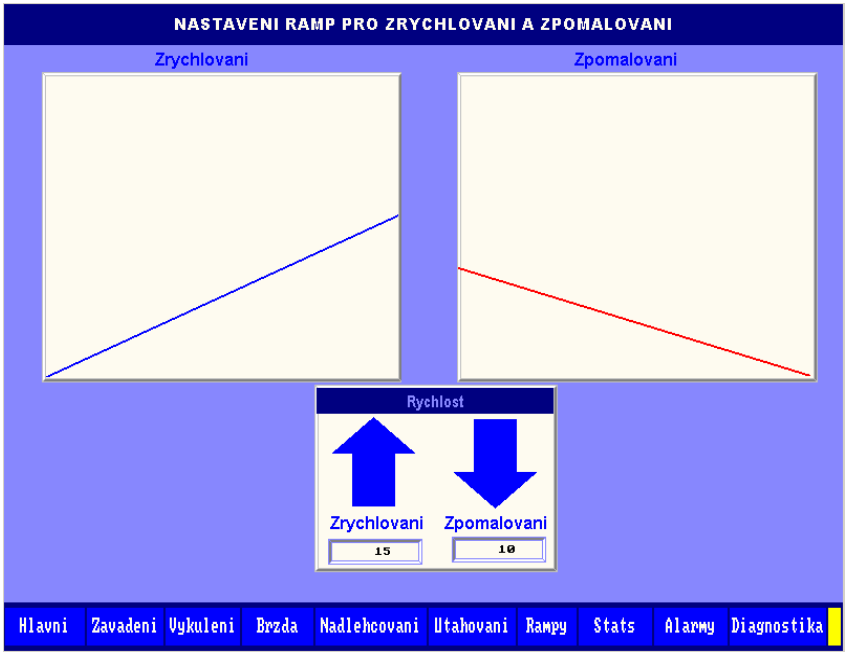
Obr. 47 Obrazovka: Utahovani



Obr. 48 Obrazovka: Nadlehcovani

Obrazovka: Nastaveni Ramp

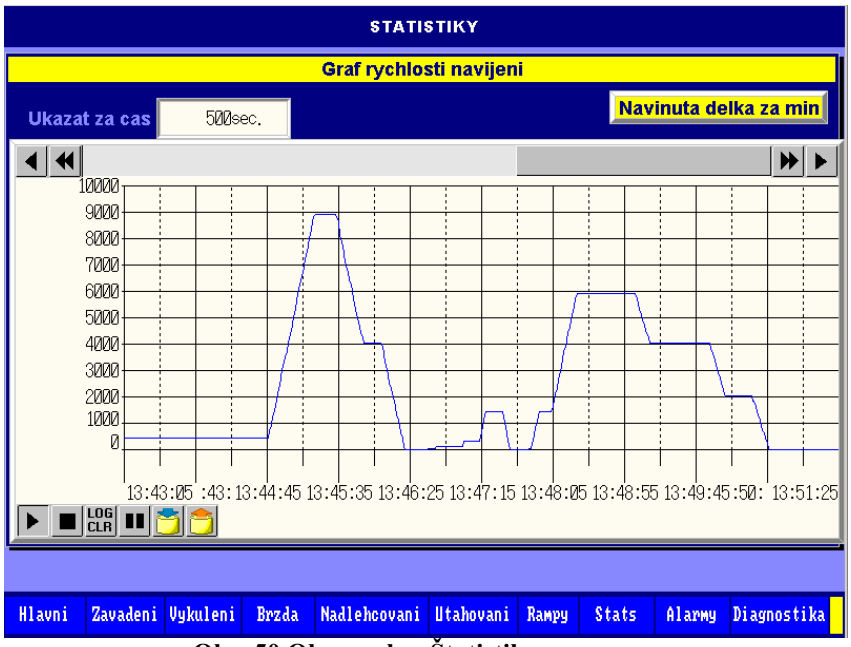
Táto obrazovka slúži k nastaveniu rámp zrýchľovania a spomaľovania, pomocou zadania krokov spomaľovania a zrýchľovania. Rampy sú znázornené grafmi. Pomocou šípok môže obsluha zrýchľovať a spomaľovať navíjanie. Obrazovka je znázornená na Obr. 49



Obr. 49 Obrazovka: Nastaveni Ramp

Obrazovka: Statistiky

Na tejto obrazovke, znázornenej na Obr. 50, sú zobrazované štatistiky o navinutých dĺžkach papieru a navíjacích rýchlostiach. Obsluha si môže meniť časovú základňu zobrazovaného grafu pomocou textového políčka v hornej strane obrazovky. V spodnej časti grafu sú umiestnené tlačidla ktorými sa spúšťa a zastavuje nahrávanie štatistik, tlačidlo na zmazanie štatistík a tlačidla na ukladanie a načítanie štatistík na USB disk.



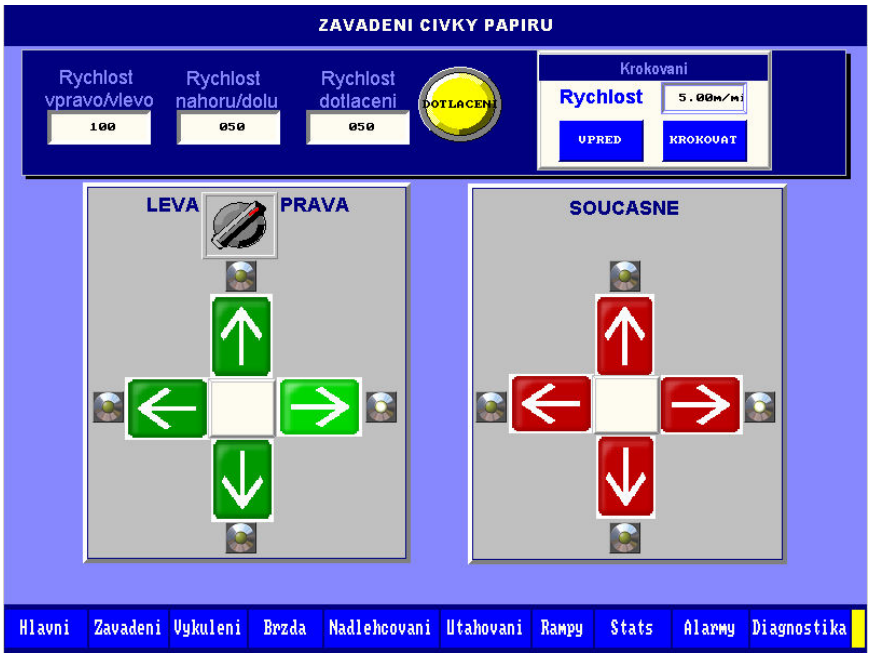
Obr. 50 Obrazovka: Štatistiky

.

Obrazovka: Zavadeni

Pomocou tejto obrazovky (Obr. 51), môže obsluha pohybovať so zakladacími osami vo všetkých smeroch, a to ako súčasne, tak aj jednotlivo. Pri jednotlivom posúvaní osami sa volí medzi ľavou a pravou osou pomocou prepínača. Aktívne tlačidlo smeru sa vždy zosvetlí. Krajné polohy sú znázorňované svetelnými kontrolkami.

Z tejto stránky sa ovláda aj krokovanie a to jeho spustenie, smer aj rýchlosť. Rýchlosť sa dá nastavovať aj pre pohyby zakladacích os, pomocou políčok vpravo hore. Je tam umiestnené aj žlté tlačidlo pre dotlačenie os. Pomocou tlačidla medzi šípkami určujúcimi smer pohybu os, je tlačidlo slúžiace k spusteniu referenčného pohybu os. Po jeho stlačení program položí otázku k potvrdeniu požiadavku referenčného pohybu.



Obr. 51 Obrazovka: Zavadeni

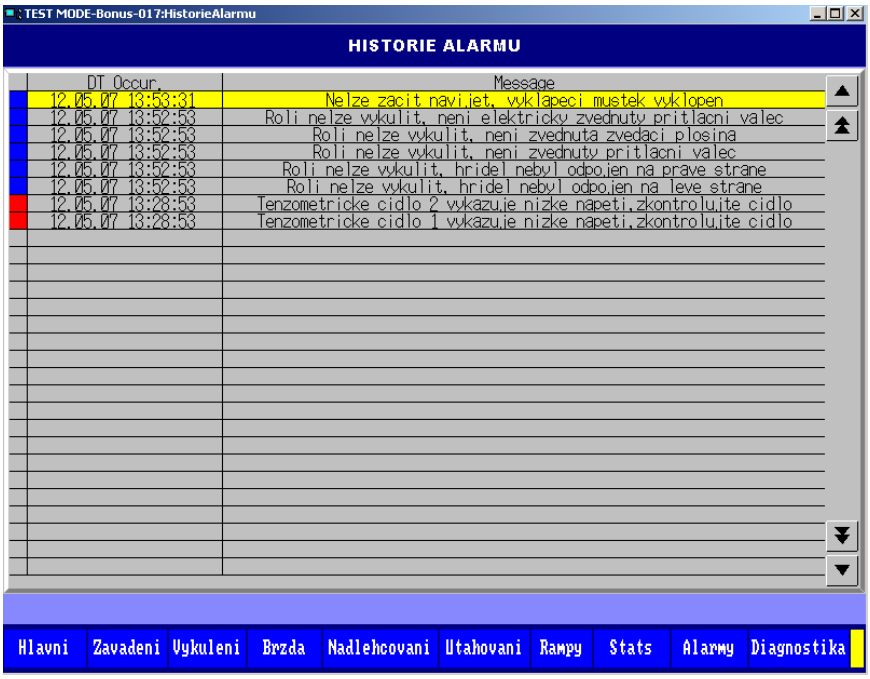
Obrazovka: Vykuleni

Na tejto obrazovke zobrazenej na Obr. 52 sú tlačidla pre ovládanie zdvíhacej plošiny a prítlačného válca. Zobrazuje sa na nej splnenie, resp. nesplnenie podmienok potrebných pre vyloženie role, pomocou zaškrtávacích políčok. Poloha vykladacieho zariadenia sa zobrazuje pomocou dvoch svetelných kontroliek. To či sú navíjacie pohony v pohybe a ak, tak v ktorom smere, je tiež zobrazované pomocou svetelných kontroliek. Vo vrchnej časti obrazovky je tlačidlo spúšťajúce vykládacie zariadenie.

Obr. 52 Obrazovka: Vykuleni

Obrazovka: Historie Alarmu

Obrazovka slúži k zobrazovaniu histórie chybových hlásení a dôležitých udalostí. Je tu zobrazovaný text alarmu, čas výskytu a farebne odlíšenie znázorňuje, či je alarm ešte aktívny, alebo nie. Táto stránka je zobrazená na Obr. 53.



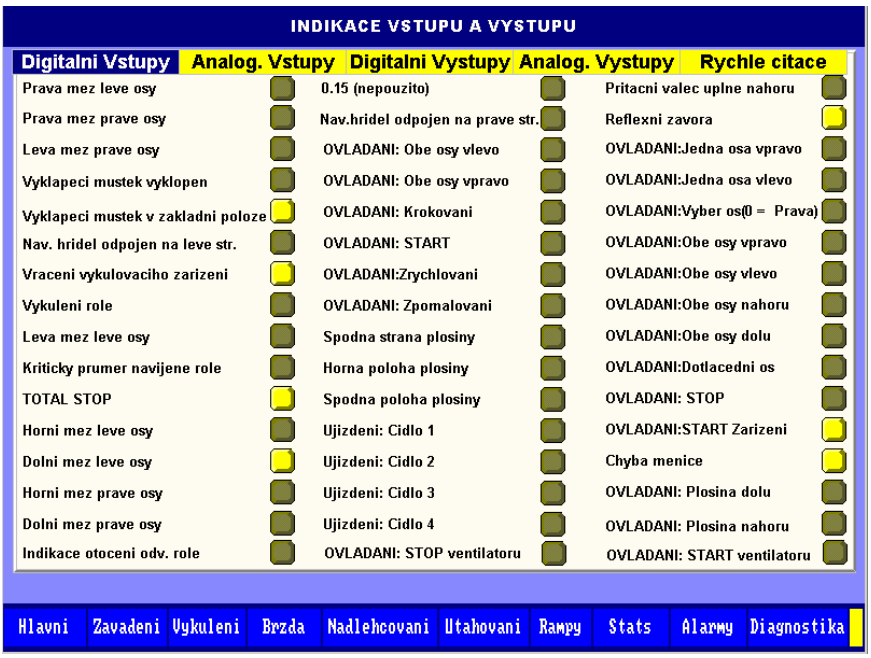
Obr. 53 Obrazovka: Alarmy

Obrazovka: Diagnostika

Táto obrazovka slúži k zobrazovaniu funkčnosti jednotlivých prídavných jednotiek CPU a zariadení k ním pripojených. Zobrazuje stavy jednotlivých binárnych vstupov (Obr. 54), binárnych výstupov, hodnoty analógových vstupov aj výstupov a hodnoty registrov rýchlych čítačov.

Obrazovka: Nastaveni limitu

K tejto obrazovke zobrazenej na Obr. 55, sa ako k jedinej nepristupuje pomocou menu, ale pomocou voľby v spodnej časti uvítacej obrazovky, ktorá sa objaví hneď po spustení celého zariadenia. Pomocou tejto obrazovky sa nastavujú limity pohybov zakladacích os, a pohybu prítlačného válca. Nastavuje sa tu aj tzv. Jog rýchlosť pomocou políčka rýchlosť rozbehu, a to v jednotkách m/min. Kontrolka v pravom dolnom rohu bliká s taktom programu.



Obr. 54 Obrazovka: Diagnostika

Obr. 55 Obrazovka: Nastaveni limitu

Ukážky všetkých pop-up okien spomenutých v tejto kapitole, sú zobrazené v prílohe C.

4. Záver

Výsledkom realizácie navrhnutého riadiaceho systému, je plne funkčná navíjačka papierového pásu *Jagenberg,* ktorá splňuje všetky požiadavky zadávateľa práce zadanými pred začatím návrhu, aj doplňujúce požiadavky zadané počas realizácie. Vyhoveli sme aj finančnému obmedzeniu zadávateľa práce, je treba však podotknúť, že na úkor doby trvania rekonštrukcie. Ujdený zisk však nepresiahol hodnotu, ktorá predstavuje ušetrené financie za lacnejšiu realizáciu a to aj vďaka tomu, že celé ladenie, aj programovanie niektorých funkcií prebiehalo za plnej prevádzky, čo nám však prácu komplikovalo, zároveň tak ale prebiehalo testovanie a mali sme mnoho času pre odhalenie chýb.

Náš spôsob riadenia uťahovania papieru spočíva v riadení pomeru rýchlosti oboch navíjacích valcov, aj keď väčšina výrobcov riadi uťahovanie, riadením momentu. My sme sa pre toto riešenie rozhodli z experimentálnych dôvodov a vďaka tomu, že spoločnosť *Omron*, ponúkala jednoduchú možnosť riadenia pomeru rýchlosti. Ukázalo sa však, že riadením pomeru rýchlosti v podstate riadime moment, takže nič prevratné nebolo vynájdené.

Riadiaci systém bol navrhnutý tak, aby v čo najväčšej miere zjednodušil prácu obsluhe. V minulosti sa obsluha navíjačky musela starať o ťah brzdy, tlak prítlačného válca, kontrolu stranového uchádzania, a v neposlednom rade musela kontrolovať správne uťahovanie papiera. Počas navíjania sa musela zdržiavať v blízkosti navíjačky aj pre prípad, žeby sa navíjaný papier pretrhol, aby mohol navíjanie okamžite vypnúť. Dnes obsluha len zavedie papier, nastaví požadované parametre a spustí navíjanie. Po navinutí papieru na požadovanú hodnotu, či už niektorého z priemerov, alebo dĺžku, prípadne ak priemer navinutej cievky dosiahne maximálny povolený priemer, sa navíjanie vypne a obsluhe to oznámi svetelná signalizácia na semafore. Semafor je umiestnený dostatočne vysoko, teda je viditeľný z celej výrobnej haly. Nie je teda nutné, aby sa obsluha v čase navíjania pohybovala v blízkosti navíjačky. To jej dáva možnosť pripravovať si k navíjaniu ďalší papier, prípadne môže súbežne obsluhovať iné výrobne zariadenie umiestnené vo výrobnej hale. Rekonštruovaná navíjačka má oproti predchádzajúcemu riešeniu aj možnosť automatického spúšťania odťahového ventilátoru. Tým odpadla ďalšia povinnosť pre obsluhu. Súčasné riadenie navíjacích pohonov dovoľuje navíjať rýchlosťou až 900 m/min. Na takúto rýchlosť už však mechanické časti navíjačky nie sú konštruované a navíjačka sa dostane do rezonancie. Bezpečne sa dá ale navíjať rýchlosťou 800 m/min, čo je aj tak oproti predošlej maximálnej rýchlosti 500m/min značné zrýchlenie. Zvýšenie rýchlosti, ale aj zjednodušenie práce obsluhe, prispelo k značnému zefektívneniu výrobného procesu. Dnes je možné previnúť 12 ton papiera typu *SC*, ktorý ma s prevíjaných papierov najvyššiu plošnú hmotnosť, za jednu dvanásťhodinovú zmenu, kým v minulosti bola rekordná hodnota 8 ton.

V našom riešení sa štatistické dáta iba zobrazujú v podobe grafov na dotykovej obrazovke, ktoré je možné uložiť na prenosný USB disk vo formáte **.csv.* V budúcnosti by sme chceli PLC rozšíriť o jednu Ethernetovú komunikačnú jednotku, pre spojenie PLC so serverom. Na tomto serveri by sa spracovávali výrobné dáta, a generovali by sa rôzne štatistiky pomáhajúce k zvýšeniu produktivity práce. Dáta by sa tiež ukladali do databáze. Súčasťou spracovávaných dát by bolo aj užívateľské meno obsluhy navíjačky. Keďže mzdy obsluhy sú odvádzané od množstva previnutého papieru, značne by to

zjednodušilo prácu účtovnému oddeleniu. Uložené dáta by sa tiež používali na vytváranie etikiet pre polepenie navinutých rolí papiera, ktoré obsahujú údaje o priemere, prípadne dĺžke navinutého papieru, hmotnosti celej role, type papiera a dátumu navinutia. Aktuálne dáta výrobného procesu, ako sú aktuálne rýchlosti, požadované a aktuálne priemery a dĺžky, atd. by sa mohli sledovať aj pomocou ktoréhokoľvek PC pripojeného k sieti internet, zadaním užívateľského mena a hesla. Toto rozširujúce riešenie je momentálne však iba v štádiu jednania sa zadávateľom. V prípade uzavretia dohody by mohla realizácia začať v priebehu nadchádzajúceho roku.

5 .Slovník použitých termínov a skratiek

PLC	**P**rogrammable **L**ogical **C**ontroller
A- AD prevodník	**A**nalógovo **D**igitálny prevodník
DA prevodník	**D**igitálne **A**nalógový prevodník
HMI	**H**uman **M**achine *I*nterface
PG	**P**ulzný **G**enerátor
CIO	**C**ommon **I**nput-**O**utput
DM	**D**ata **M**emory
SCU	**S**erial **C**ommunication **U**nit
PMCR	**P**rotocol **M**a**CR**o
PT	**P**rogrammable **T**erminal
FINS	**F**actory **I**nterface **N**etwork **S**ervices
LD	**L**adder **D**iagram
ST	**S**tructured **T**ext
FB	**F**unction **B**lock
U/f riadenie	Riadenie Napätie/frekvencia
I/O jednotky	vstupne/výstupné jednotky

MODBUS	Sériový komunikačný protokol vyvinutý spoločnosťou Omron
CX-Drive	Konfiguračný software vyvinutý spoločnosťou Omron
CX-Programmer	Vývojové prostredie pre programovanie PLC od spoločnosti Omron
CX-Designer	Vývojové prostredie pre programovanie PT od spoločnosti Omron
CX-Protocol	Vývojové prostredie spoločnosti Omron, pre navrhovanie komunikačných protokolov

6. Použitá literatúra a zdroje

[1] *CJ-series Built-in I/O, CJ1M-CPU21/22/23 CPU Units, Operation Manual.*
Omron Industrial , Apríl 2006

[2] *Omron CJ & CS Programmable Controllers, Instruction Reference Manual.*
Omron Industrial, Január 2006.

[3] *Omron CJ & CS-Series, Serial Communication, Units and Serial Communication Boards, Operation Manual.*
Omron Industrial, April 2006

[4] *Omron CJ1W-CTL41-E 4-Chanel Counter Unit, Operation Manual.*
Omron Industrial September 2004.

[5] *Omron CJ & CS-Series. PTS/PDC, Analog I/O Units, Operation Manual.*
Omron Industrial, Marec 2005.

[6] *Omron CS & CJ-Series Analog I/O Units, Operation Manual.*
Omron Industrial, Júl 2005.

[7] Čermák, T. *Elektrické regulační pohony.*
Vysoká škola báňská v Ostravě, 1986.

[8] Skalický, J. *Moderní metody řízení asynchronních motorů.*
Automatizace, Marec 1997.

[9] *Omron SYSDRIVE 3G2JV Compact Simplified Inverters , User's Manual.*
Omron Industrial, Apríl 2006.

[10] *Omron SYSDRIVE 3G3RV Multifunkční vektorový frekvenční měnič, Uživatelská Příručka.*
Omron Industrial, Apríl 2006.

[11] *F7Z-Electronic Line Shaft, Application Software Manual*
Yaskawa Mechatronic Solutions, Marec 2005.

[12] *Omron SYSDRIVE 3G3MV Multi-function Compact Inverter, User's Manual.*
Omron Industrial, Apríl 2006.

[13] *CX-Programmer Ver. 7.0, Operation Manual.*
Omron Industrial, Máj 2006.

[14] *CX-Designer Ver. 2.0, User`s Manual.*
Omron Industrial, Júl 2006.

[15] *Programmable Terminals, Host Link Connection, Operation Manual.*
Omron Industrial, Júl 2006.

[16] *Re Web Tension Control Systems, Katalóg Spoločnosti Re-Spa*
EATON, 2000

[17] www.omron.cz

[18] www.blumenbecker.cz

[19] www.papir-novak.cz

[20] www.moeller.cz

[21] www.wikipedia.cz

[22] www.wikipedia.sk

6. Použitá literatúra a zdroje

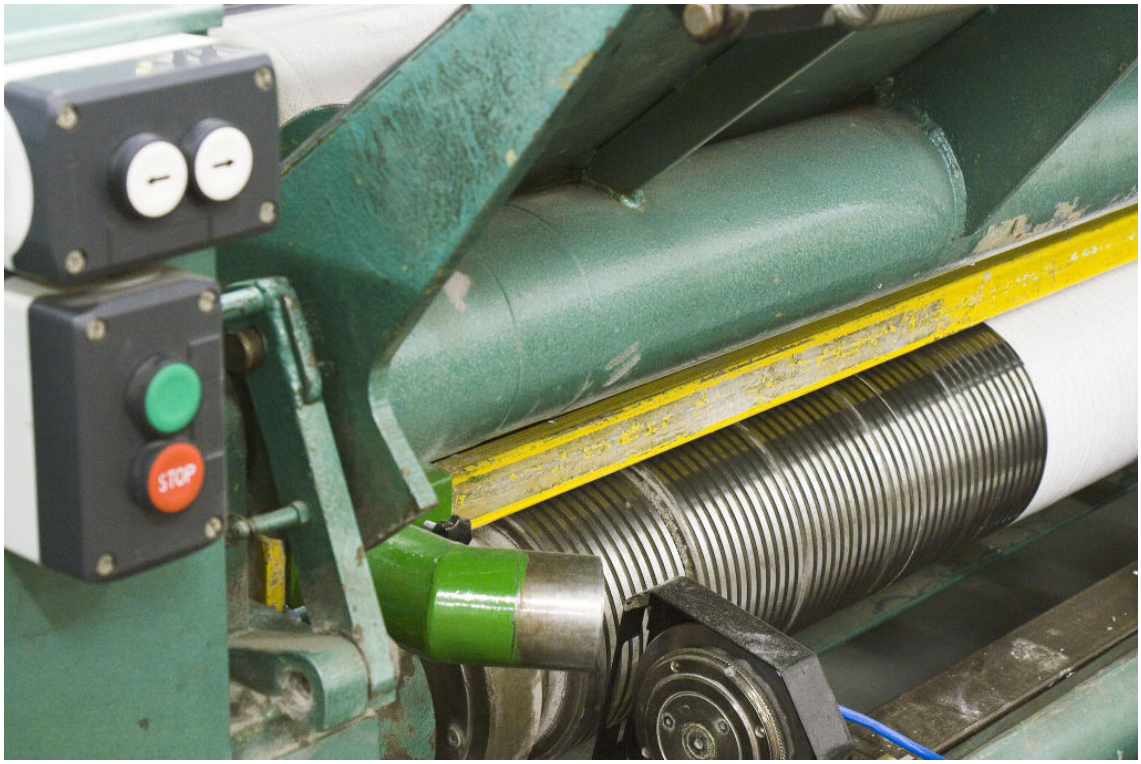
Príloha A
Obrazová fotodokumentácia

Príloha A - Obr. 1 Celkový pohľad na navíjačku od zakladača

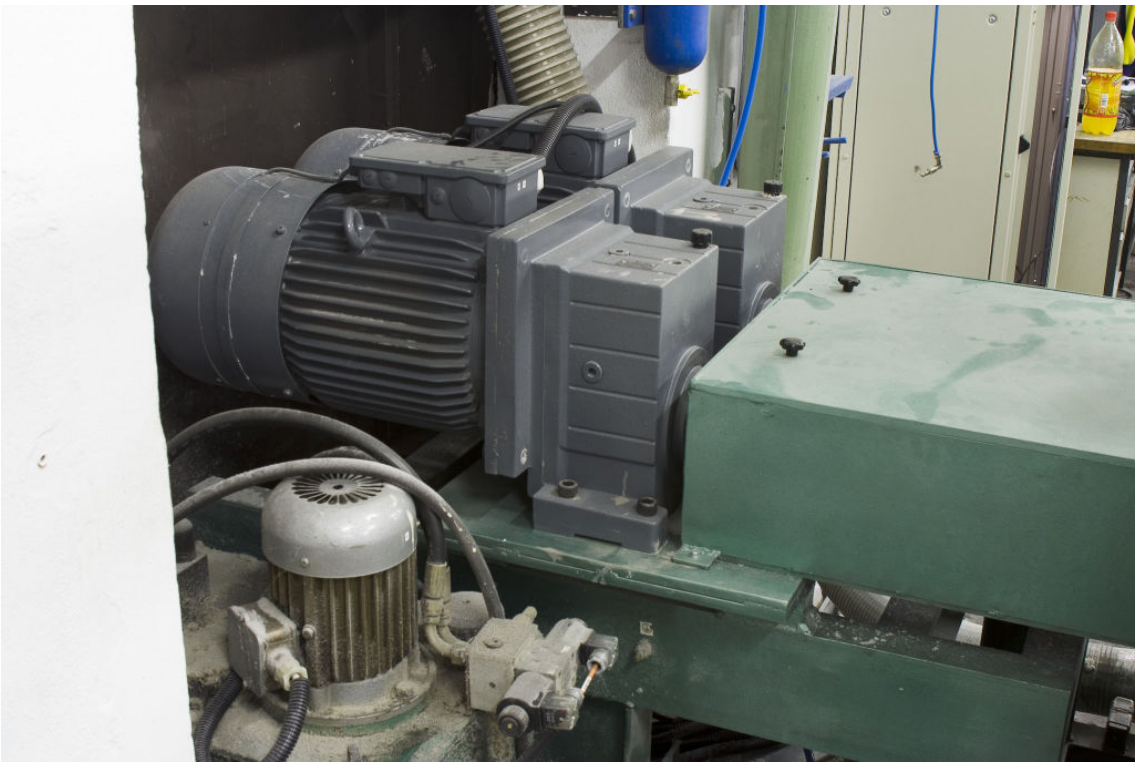
Príloha A - Obr. 2 Celkový pohľad na navíjačku od vykladača

Príloha A - Obr. 3 Os zakladača so závitovou tyčou a pohonom vertikálneho pohybu

Príloha A - Obr. 4 Naložená cievka pritlačovaná prítlačným valcom. V popredí tlačidla na riadenie smeru pohybu zakladacích os

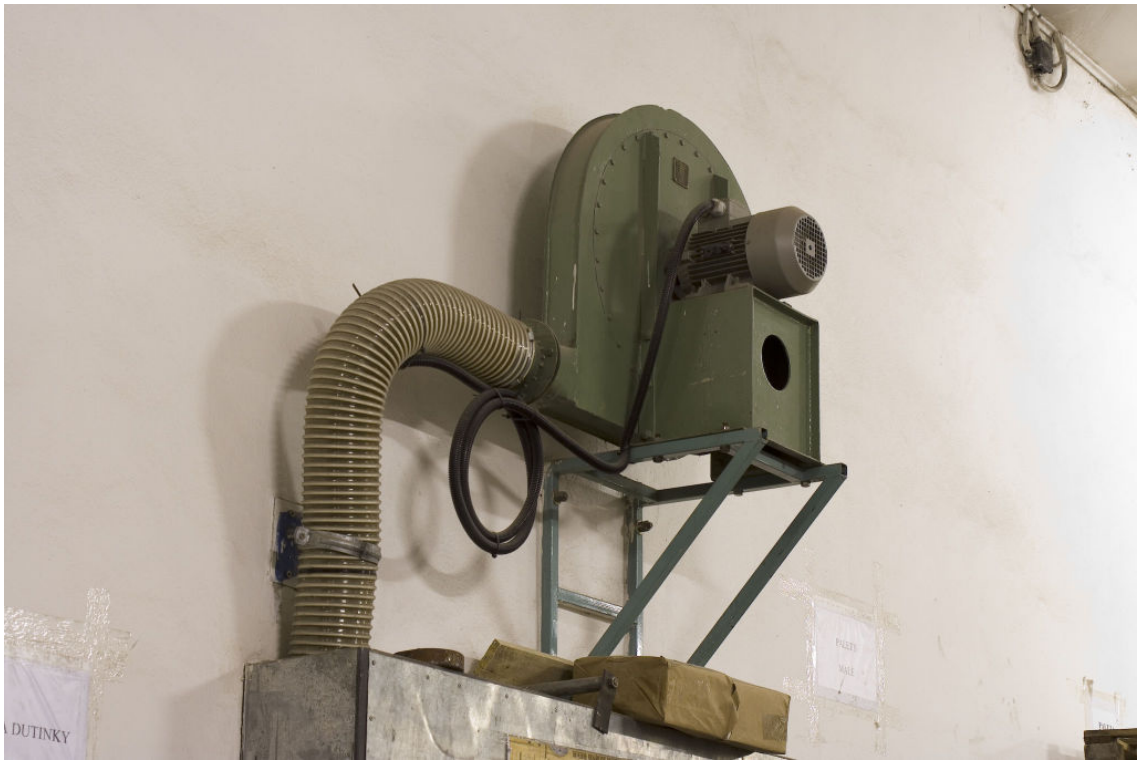


Príloha A - Obr. 5 Rezací valec, rezací nôž, tlačidlo pre krokovanie STOP tlačidlo a tlačidla pre ovládanie smeru pohybu zakladacích os



Príloha A - Obr. 6 Navíjacie pohony, v popredí pohon hydraulickej pumpy

Príloha A - Obr. 7 Zdvihnutá zdvíhacia plošina a koncový spínač dolnej polohy

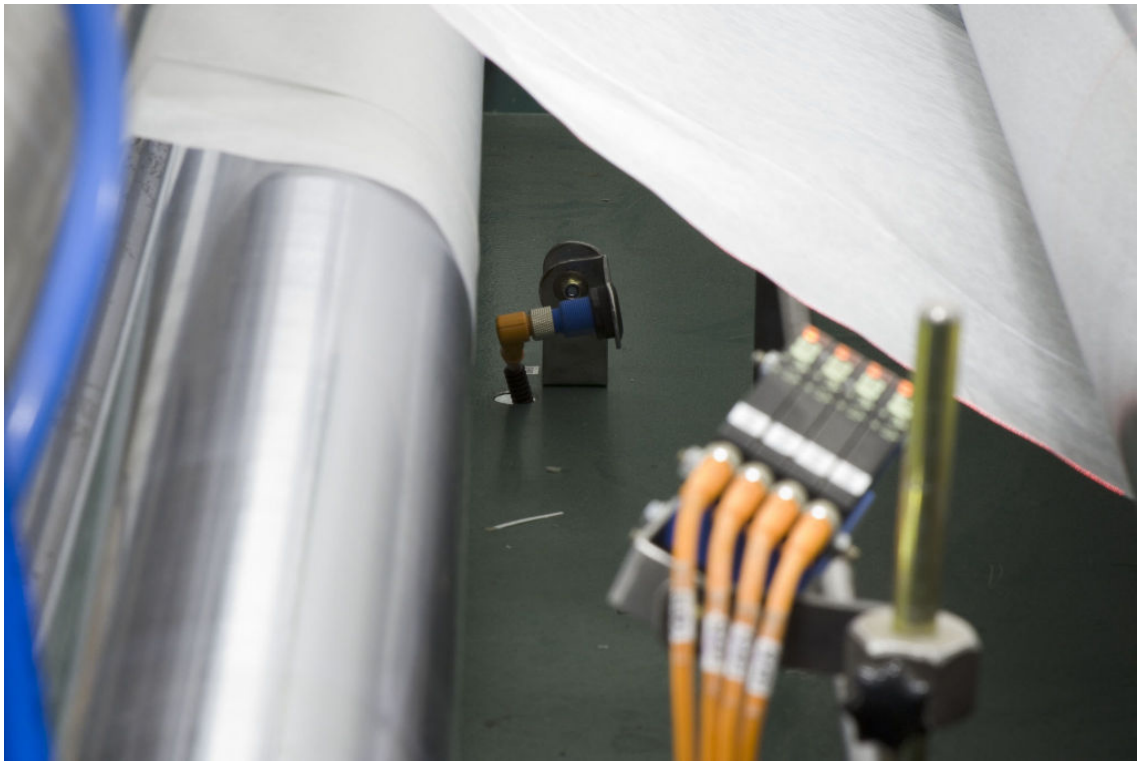


Príloha A - Obr. 8 Odťahový ventilátor

Príloha A - Obr. 9 Ovládacie tlačidla na bočnej strane navíjačky

Príloha A - Obr. 10 Ovládacie tlačidla a dotykový terminál na rozvodnej skrini

Prilíha A - Obr. 11 Senzor kontroly stranového uchádzania – 4x vidlicová svetelná závora



Príloha A - Obr. 12 Kontrola nepretrhnutia papieru - svetelná závora

Príloha A - Obr. 13 Rozvodná skriňa s ovládacím panelom a dotykovým terminálom a otvorená rozvodná skriňa

Príloha B

Zdrojové kódy funkčných blokov napísaných v ST

Kód FB *RizeniRychlostiMaster*, pre riadenie hnacieho pohonu

```
(* MA SE NAVIJET *)

IF Beh THEN  (* ak je navijanie spustene*)
      BehVpred := true;  (* spusti beh vpred*)
      BehVzad := false;
      IF Beh AND NOT Beh_old THEN (* na nabeznu hranu povelu pre spustenie*)
            AktualniRychlost := VolnobeznaRychlost; (*prejdi na jog rychlost*)
            NabeholNaRychlost := false;
      END_IF;
ELSE
      AktualniRychlost := 0; (* inak nastav rychlost na 0...*)
      BehVpred := false;  (* .. vypni pohyb pohonu*)
      BehVzad := false;
END_IF;
Beh_old := Beh;  (* pre potrebu detekovania hrany signalu Beh*)
(* ZRYCHLOVANI *)
IF Zrychlovani AND Casovac THEN
            AktualniRychlost := AktualniRychlost + KrokZrychlovani;
END_IF;
(* ZPOMALOVANI *)
IF Zpomalovani AND Casovac THEN
      IF AktualniRychlost > VolnobeznaRychlost THEN
            AktualniRychlost := AktualniRychlost - KrokZpomalovani;
      END_IF;
END_IF;
(* NABIHANI *)
IF RozbehNaHodnotu AND Casovac THEN
      (*IF RozbehNaHodnotu AND NOT Rozbeh_old THEN*)
            IF AktualniRychlost < NastavenaRychlost THEN
                  KrokNabeh := KrokZrychlovani;
            ELSE
                  KrokNabeh := 0 - KrokZpomalovani;
            END_IF;
      (*END_IF;*)
      IF ((AktualniRychlost < NastavenaRychlost AND NastavenaRychlost - AktualniRychlost > KrokNabeh AND
KrokNabeh > 0) OR (AktualniRychlost > NastavenaRychlost AND NastavenaRychlost - AktualniRychlost <
KrokNabeh AND KrokNabeh < 0) )  THEN
            AktualniRychlost := AktualniRychlost + KrokNabeh;
            NabeholNaRychlost := false;
      ELSE
            NabeholNaRychlost := true;
      END_IF;
END_IF;
Rozbeh_old := RozbehNaHodnotu;
(* ZASTAVOVANI *)
IF Zastavovani AND Casovac THEN
      IF AktualniRychlost <= VolnobeznaRychlost THEN
            BehVpred := false;
            BehVzad := false;
            AktualniRychlost := 0;
      ELSE
            AktualniRychlost := AktualniRychlost - KrokZpomalovani;
      END_IF;
END_IF;
(* DOBA ZASTAVOVANI *)
DobaZastavovani := (AktualniRychlost - VolnobeznaRychlost) / KrokZpomalovani;
(* KROKOVANI *)
```

```
IF Krokovani AND NOT Smer THEN
	AktualniRychlost := RychlostKrokovani;
	BehVpred := true;
	BehVzad := false;
END_IF;
IF Krokovani AND Smer THEN
	AktualniRychlost := RychlostKrokovani;
	BehVpred := false;
	BehVzad := true;
END_IF;
```

Kód FB *RizeniRychlostiSlave*, pre riadenie uťahovacieho pohonu

```
IF Potvrdit_old = FALSE AND Potvrdit = TRUE AND i < 20 THEN (* nabezna hrana tlacidla pridat bod*)
	Prumer[i]:=PrumerHodnota; (*vlozi na koniec pola hodnotu priemeru...*)
	PomerDotahovani[i]:= 1000,0 / (1000,0 - DotahovaniHodnota); (*... a vypocitany pomer rychlosti*)
	IF i>0 THEN
	(* QUICK SORT*)
	REPEAT
		sorted:= TRUE;
		FOR k:=1 TO i  BY 1 DO
			IF Prumer[k] < Prumer[k-1] THEN
				tempPrumer:=Prumer[k];
				Prumer[k]:=Prumer[k-1];
				Prumer[k-1]:=tempPrumer;
				tempDotahovani:=PomerDotahovani[k];
				PomerDotahovani[k]:=PomerDotahovani[k-1];
				PomerDotahovani[k-1]:= tempDotahovani;

				sorted:=FALSE;
			END_IF;
		END_FOR	;
	UNTIL sorted = TRUE
	END_REPEAT;
	(* vypocet smerni ckrivky v jednotlivych usekoch*)
	FOR m:=1 TO i BY 1 DO
	sklon[m-1]:=(PomerDotahovani[m] - PomerDotahovani[m-1])/(Prumer[m] - Prumer[m - 1]);
	END_FOR;
	END_IF;
	i := i + 1;
 END_IF;
(* vypocet aktualneho pomeru rychlosti podla krivky*)
	FOR n := 0 TO i-1 BY 1 DO
		IF PrumerAktualni > Prumer[n] AND PrumerAktualni < Prumer[n+1] THEN
			smernice := sklon[n];
			PomerAktualni := (((PrumerAktualni - Prumer[n])*smernice) + PomerDotahovani[n]);
		END_IF;
		IF PrumerAktualni = Prumer[n] THEN
			PomerAktualni := PomerDotahovani[n];
		END_IF;
	END_FOR;
	IF PrumerAktualni < Prumer[0] THEN
		PomerAktualni := PomerDotahovani[0];
		END_IF;
	IF PrumerAktualni > Prumer[i-1] THEN
		PomerAktualni := PomerDotahovani[i-1];
		END_IF;
(*prepocet do vhodneho tvaru pre kartu PG-Z2*)
PomerReal :=  (PomerAktualni - 1,0) ;
IF ((Navijeni_Revers = TRUE) AND (Krokovat = TRUE)) THEN (* pri reversnom krokovani sa tocia oba pohony
rovnako rychlo*)
	Pomer := 0;
ELSE
	Pomer := REAL_TO_INT( PomerReal * 10000,0 ) - KompenzaceUtahovani ; (*KompenzaciaUtahovani
rozna od nuly pri pretazovani pohonu*)
END_IF;
IF i = 0 THEN
	PomerReal := 0,0;
	Pomer := 0;;
```

```
END_IF;

Potvrdit_old:=Potvrdit;
 (* Mazanie krivky*)
IF Zmazat = TRUE AND Zmazat_old = FALSE  THEN
      FOR p:=0 TO i DO
            Prumer[p]:= 0,0;
            PomerDotahovani[p] := 0,0;
      END_FOR;
      FOR m:=1 TO i BY 1 DO
      sklon[m-1]:=0,0;
      END_FOR;
      i:=0;
END_IF;
```

Kód FB *VypoctiPritlak* pre výpočet tlaku přítlačného válca

```
smernice := (NadlehcovaniMaxPrumer - NadlehcovaniMinPrumer)/(MaxPrumer - MinPrumer); (* vypocet
smernice*)
(*vypocet aktualneho pritlaku*)
IF PrumerAktualni <= MaxPrumer THEN
      NadlehcovaniAktualni := (PrumerAktualni - MinPrumer)*smernice + NadlehcovaniMinPrumer;
      Ventil_real := (4000,0*NadlehcovaniAktualni)/100,0; (*uprava do vhdoneho tvaru pre analogovy vystup*)
      Ventil := REAL_TO_INT(Ventil_real);
END_IF;
IF PrumerAktualni >= MaxPrumer  THEN (*ak aktualny priemer vacsi ako vyzsi z dvoch zadanych priemerov*)
      NadlehcovaniAktualni :=NadlehcovaniMaxPrumer; (* pritlak bude ako v druhom bode*)
      Ventil_real := (4000,0*NadlehcovaniAktualni)/100,0; (* uprava do vhodneho tvaru..*)
      Ventil := REAL_TO_INT(Ventil_real);
END_IF;
IF PrumerAktualni <= MinPrumer THEN  (* rovako ako predchadzajuce ale pre spodny bod*)
      NadlehcovaniAktualni := NadlehcovaniMinPrumer;
      Ventil_real := (4000,0*NadlehcovaniAktualni)/100,0;
      Ventil := REAL_TO_INT(Ventil_real);
END_IF;
Nadlehcovani := NadlehcovaniAktualni;
(* ak neni nastavene, blika tlacidlo nastav na hlavnej obrazovke*)
IF   ((NadlehcovaniMaxPrumer = 0,0)  AND (NadlehcovaniMinPrumer = 0,0) AND (MaxPrumer = 0,0) AND
(MinPrumer = 0,0)) THEN
      FlickerNadlehcovani := TRUE;
ELSE
      FlickerNadlehcovani := FALSE;
END_IF;
```

Kód FB RegulatorBrzdy pre reguláciu brzdného účinku

```
IF (SP5X3 = TRUE) THEN  (*neni TOTAL_STOP*)
      IF  (RizenyModBrzdy = TRUE) THEN  (* regulovana brzda*)
            RozdilHodnot := PozadovanaHodnota - AktualniHodnota; (* regulacna odchylka*)
            IF ((RizeniVentilu >= 4000) AND (RozdilHodnot >= 0)) THEN    (*omezenie vystupu*)
                  RizeniVentilu := 4000;
                  OtevreniVentilu:= RizeniVentilu;
            ELSIF ((RizeniVentilu <= 0 ) AND (RozdilHodnot <= 0)) THEN  (* omezenie vystupu*)
                  RizeniVentilu := 0;
                  OtevreniVentilu:= RizeniVentilu;
            ELSE
                  SumaRozdilu := SumaRozdilu + RozdilHodnot;  (*integracia odchyliek*)
                  I := 1,0/Ti;
                  RizeniVentilu := REAL_TO_INT ( P* (( INT_TO_REAL( RozdilHodnot)) +
(INT_TO_REAL(RozdilHodnot - RozdilHodnot_old)*D) + (I* INT_TO_REAL( SumaRozdilu))));
                  IF (RizeniVentilu > 4000) OR (RizeniVentilu < 0) THEN
                        SumaRozdilu:= SumaRozdilu - RozdilHodnot;
                  END_IF;
                  IF (RizeniVentilu < 0  )  OR (RizeniVentilu > 4000) THEN
                        SumaRozdilu := 0;
                        RozdilHodnot:= 0;
                        RozdilHodnot_old:=0;
                  END_IF;
```

```
                OtevreniVentilu := RizeniVentilu;
            END_IF;
            IF ((Zrychlovat = FALSE) AND (NabehavaniNaRychlost =FALSE) AND (Zpomalovat = FALSE) AND
(Zastavovani = FALSE)) THEN
                OtevreniVentiluOut := OtevreniVentilu ;
            END_IF;
            IF (Zrychlovat = TRUE) OR (NabehavaniNaRychlost =TRUE) THEN (*predikcia pri zrychlovani*)
                OtevreniVentiluOut := OtevreniVentilu -
KrokZrychlovani*HmotnostniKonstantaZr*RychlostAktualni*RychlostAktualni;
            END_IF;
            IF (Zpomalovat = TRUE) OR (Zastavovani = TRUE)  THEN (*predikcia pri spomalovanii*)
                OtevreniVentiluOut := OtevreniVentilu +
KrokZpomalovani*HmotnostniKonstantaZp*RychlostAktualni*RychlostAktualni;
            END_IF;
        END_IF;
        RozdilHodnot_old := RozdilHodnot;
        IF  (RizenyModBrzdy = FALSE) THEN
            IF (UplneOdbrzdeno = FALSE) THEN
                OtevreniVentiluOut := NulovyTahBrzdy;  (*ak brzda nereguluje *)
            END_IF;
            IF (UplneOdbrzdeno = TRUE) THEN
                OtevreniVentiluOut:= 0;  (*upne odbrzdenie*)
            END_IF;
        END_IF;
END_IF;
IF (((SP5X3 = FALSE)  OR (S1X3 = FALSE)) AND (UplneOdbrzdeno = FALSE)) THEN (*brzdenie pri
TOTAL_STOP alebo pretrhnuti*)
        OtevreniVentiluOut := TahBrzdyTotalStop;
END_IF;
```

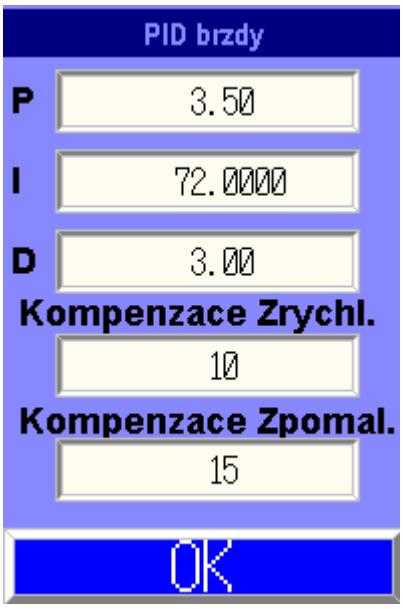
Príloha C

Pop-Up Okná

Príloha C - Obr. 1 Nastavenie uťahovania

Príloha C - Obr. 2 Nastavenie prítlaku prítlačného válca

Príloha - C Obr. 3 Kalibrácia brzdy



Príloha C - Obr. 4 Nastavenie PID regulátora brzdy

Príloha C - Obr. 5 Nastavenie ťahu pri TOTAL STOPe a pri neregulovanom brzdení