

---

# **TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: N2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 3906T001 – Mechatronika

## **Projekt řídicího systému pro obsluhu balicího stroje**

## **Project of the control system for the operation packaging machine**

### **Diplomová práce**

Autor:	<b>Bc. Milan Kamarýt</b>
Vedoucí práce:	doc. Ing. Milan Kolář, Csc.
Konzultant:	Ing. Miroslav Růžička

V Liberci 14. 5. 2012

## Zadání diplomové práce

<b>Příjmení a jméno studenta</b> (osobní číslo - nepovinné)	Bc. Milan Kamarýt M09000265
<b>Zkratka pracoviště</b>	MTI
<b>Datum zadání BP/DP</b>	15. 10. 2010
<b>Plánované datum odevzdání</b>	20. 5. 2011
<b>Rozsah grafických prací</b>	dle potřeby dokumentace
<b>Rozsah průvodní zprávy</b>	40-50 stran
<b>Název BP/DP (česky)</b>	Projekt řídicího systému pro obsluhu baličeho stroje.
<b>Název BP/DP (anglicky)</b>	Project of the control system for the operation packaging machine.
<b>Zásady pro vypracování BP/DP</b> (text nijak neformátujte, pouze očísľujte jednotlivé body .. 1) ... 2) ... atd. a každý bod uveďte jako nový odstavec):	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Komplexně zpracovat problematiku týkající se baličích pracovišť s ovinovací folií, popsat stručně stávající stav.</li> <li>2. Navrhnout nové prostředky a uspořádání pro řešení řídicího systému, zobrazovacích a ovládacích prvků tedy oblast styku obsluhy a stroje. Graficky naznačit představu řešení hlavní a pomocných obrazovek a uspořádání a grafickou strukturu ovládacích prvků.</li> <li>3. Zpracovat blokový vývojový diagram programu pro nový řídicí systém a detailněji zpracovat některou jeho část případně včetně příslušného obvodového uspořádání.</li> <li>4. Pokusit se o technické a ekonomické zhodnocení nového řešení</li> </ol>	
<b>Seznam odborné literatury</b> (text nijak neformátujte, pouze každou položku uveďte jako nový odstavec):	
<p>Programování v jazyce C          Datasheety fy. Xilinx k hradlovým polím řady XC2S          Návod k obsluze řídicího systému K20 a K21</p>	
<b>Vedoucí BP/DP</b>	Ing. Milan Kolář CSc.
<b>Konzultant BP/DP</b> (u externích pracovníků uveďte plný název pracoviště – firmy)	Ing. Petr Černoňorský fa. Intronix adresa Praha 2, Jana Masaryka 26 Ing. Miroslav Růžička fa. Intronix - adresa dtto

## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval všem z firmy Intronix, kteří mi umožnili pracovat na tomto projektu a několikrát mi pomohli, ve chvílích, kdy jsem si nevěděl úplně rady, zejména pak Ing. Petru Černoorskému a Ing. Miroslavu Růžičkovi. Moje velké poděkování také patří firmě ZKM, kde jsem čerpal rady ohledně mechanického provedení stroje a jeho elektroinstalace, konkrétně Karlu Kamarýtovi, Miloslavu Kamarýtovi a Janu Kamarýtovi.

## **Abstrakt**

Prvním z cílů práce je komplexně zpracovat vývoj a stávající stav v oboru balicích strojů pro vertikální balení, zejména pak v České republice. Dále jsou v práci detailně popsány všechny části balicího stroje se všemi prvky sloužícími pro jejich ovládání, s velkým důrazem na ty, které podléhají přímo řídicímu systému takového stroje. Další z cílů práce se týkají samotného řídicího systému, ať už jeho hardwarové nebo softwarové stránky. Nejdříve je uvedeno vše podstatné ohledně obvodového uspořádání se zaměřením na ovládací a informační prvky tohoto uspořádání. Tyto prvky jsou pak uvedeny včetně návrhu jejich finálního zpracování pro styk s obsluhou. V softwarové části je pak zpracován návrh grafického provedení jednotlivých obrazovek displeje a navrženo uspořádání jednotlivých programových nabídek. Další část práce se zabývá zpracováním blokového vývojového diagramu řídicího programu stroje s bližším pohledem na jednu z jeho částí, týkající se samotného balicího postupu. V této části je popsáno ovládání jednotlivých akčních členů na základě stavů balicího stroje. Závěrem je zhodnocen řídicí systém po ekonomické stránce.

## **Abstract**

One object of this work is to describe the current situation and development of vertical packaging machines, especially in the Czech Republic. Also work describe in detail all of parts of the packaging machine with all elements for their control. Especially those come directly under control system of this machine. Another object of the work relate to the control system itself, accurately it relate to its hardware or software. First of all essential information provide on the circuit configuration with focus on control and information elements of this arrangement. These elements include the design of their final processing for contact with staff. The software part process a graphic design of each display's screens and it show organization of individual program offerings. The next part deal with the processing of the flow diagram of control program of the machine. It looks closer at one of its units in regard to packaging process. This section describes the control of individual actuators by states of packaging machine. Finally, the control system assess by economic terms.

## Obsah

Prohlášení .....	3
Poděkování .....	4
Abstrakt .....	5
Abstract .....	6
Seznam obrázků, grafů a tabulek .....	9
Seznam zkratk .....	10
Seznam symbolů .....	11
Úvod .....	12
1 Balení obecně a jeho historie .....	12
1.1 Druhy balení a jeho kritéria .....	13
1.2 Průmyslové balení .....	14
1.2.1 Vertikální balení .....	15
1.2.2 Fólie pro balení .....	16
2 Konstrukce balicího stroje .....	17
2.1 Točna .....	17
2.2 Sloup .....	18
2.3 Stabilizátor zboží .....	19
2.4 Vozík s fólií .....	21
2.5 Rozvodná skříň .....	23
2.6 Čidla a senzory .....	25
2.7 Doplnkové prvky .....	26
3 Řídicí systémy pro balicí stroje .....	27
3.1 Řídicí systém NX5022 .....	28
3.1.1 Obvody FPGA .....	31
3.1.2 FPGA Xilinx .....	33
3.1.3 Nároky na klávesnici .....	33
3.1.4 Klávesnice .....	36
3.1.5 Displej a informační LED .....	37

	3.1.6	Vstupy a výstupy .....	38
	3.1.7	Paměti .....	39
	3.1.8	Blokové schéma systému .....	40
4		Programování .....	41
	4.1	Balící cyklus .....	41
	4.2	Zpracování displeje .....	43
	4.3	Programování displeje .....	44
5		Úvod ke grafice displeje .....	46
	5.1	Shrnutí nastavitelných parametrů stroje .....	46
	5.2	Grafické prostředí pro manuální režim .....	48
	5.3	Grafické prostředí pro automatický režim .....	50
		Závěr .....	55
		Seznam použité literatury .....	56



## Seznam obrázků, grafů a tabulek

Obr. 1 Malý a velký horizontální balicí stroj .....	15
Obr. 2 Vertikální balicí stroj .....	16
Obr. 3 Balicí fólie .....	17
Obr. 4 Spodní část balicího stroje .....	18
Obr. 5 Rozsah stabilizátoru zboží .....	19
Obr. 6 Mechanismus tlakového čidla .....	21
Obr. 7 Vozík s fólií .....	22
Obr. 8 Čelní část rozvaděče s ovládacími prvky .....	24
Obr. 9 Vnitřek rozvodné skříně balicího stroje .....	25
Obr. 10 Interní struktura obvodu Spartan-II XC2S15 .....	32
Obr. 11 Klávesnice řídicího systému .....	36
Obr. 12 Ovládací panel balicího stroje .....	38
Obr. 13 Blokové schéma řídicího systému .....	40
Obr. 14 Blokové schéma programu ovládnání balicího stroje .....	42
Obr. 15 Blokové schéma programu jednoduchého balicího cyklu .....	43
Obr. 16 Rozložení paměti pro displej .....	44
Obr. 17 Významné části palety s naskládaným zbožím .....	46
Obr. 18 Návrh obrazovek pro manuální režim .....	49
Obr. 19 Základní obrazovka automatického režimu stroje .....	51
Obr. 20 Menu výběru uživatelských programů .....	52
Obr. 21 Menu nastavení uživatelských programů .....	52
Obr. 22 Menu nastavení parametrů uživatelských programů .....	53
Obr. 23 Menu systémového nastavení .....	54
Tab. 1 Použitá čidla .....	26
Tab. 2 Potřebný počet vstupů a výstupů řídicího systému .....	29
Tab. 3 Tlačítka potřebná pro realizaci systému .....	35
Tab. 4 Seznam parametrů pro jednoduché balení .....	47

## Seznam zkratk

LLDPE (Linear Low-Density Polyethylene) – je chemická látka, ze které se vyrábí mimo jiné ovinovací fólie.

FPGA (Field Programmable Gate Array) – je programovatelný obvod, který obsahuje logické a vstupně výstupní bloky navzájem propojené.

CLB (Configurable Logic Block) – je konfigurovatelný logický blok, tvořící základ hradlového pole.

DLL (Delay-Locked Loop) – jsou obvody pracující s hodinovým signálem po celém čipu hradlového pole.

LC (Logic Cell) – je logická buňka, ze které se skládají konfigurovatelné logické bloky.

VHDL (Verilog Hardware Description Language) – je programovací jazyk, který slouží pro popis hardware.

IP core (Intellectual Property core) – je soubor, kterým lze konfigurovat hradlové pole.

PWM (Pulse Width Modulation) – je diskrétní modulace pro přenos analogového signálu

## Seznam symbolů

$n$  = počet otáček za minutu [ot./min]

$M_n$  = točivý moment motoru [Nm]

$P$  = elektrický výkon [W]

$i$  = převodový poměr [-]

$F_p$  = přítlačná síla [N]

$I_m$  = maximální elektrický proud [A]

$U_{ref}$  = referenční napětí zenerovy diody [V]

## Úvod

Podnětem k vytvoření zcela nového řídicího systému pro obsluhu balicího stroje byly zvyšující se požadavky zákazníků na systémy původní. Zejména kvůli potřebě komunikace s dalšími prvky celé balicí linky a zároveň kvůli potřebě zdokonalení celého balicího procesu se zvýšily nároky na hardware a paměť řídicího systému. S těmito změnami je samozřejmě třeba upravit také uživatelské rozhraní. Ovládací prvky starších systémů sice vyhovovaly svému účelu, ale už scházela přehlednost a intuitivnost jejich uspořádání. Sedmissegmentový displej zde plnil funkci sice důležitého, ale nepříliš práci na stroji usnadňujícího pomocníka při ovládní a nastavování balicího stroje, alespoň v porovnání s možnostmi grafických displejů. V dnešní době plné technických možností je nutné řídicí systém inovovat, abychom uspokojili požadavky co nejširšího spektra zákazníků.

Úkolem bylo vytvořit nový řídicí systém, který by vyhovoval všem požadavkům na něj kladeným. V této práci bude však hlavní důraz na zpracování uživatelského rozhraní a zpracování základní struktury řídicího programu pro obsluhu balicího stroje.

Jako úvodní část této práce si tedy musíme nutně přiblížit elektromechanickou stavbu celého balicího stroje se všemi akčními členy a sensorikou, abychom snáze pochopili jednotlivé kroky při sestavování nového řídicího systému a výběru všech informačních a ovládacích prvků. V další fázi diplomové práce na poznatky o stroji opět navážeme a propojíme si je se zpracováním všech softwarových částí, ať už se jedná o hlavní řídicí program balicího stroje nebo provedení grafiky displeje.

## 1 Balení obecně a jeho historie

Slovo balení samo o sobě je slovo mnohoznačné. Skrývá v sobě několik typů balení, které je od sebe potřeba rozlišovat. Základní balení tzv. primární je bezprostřední obal výrobku. Pro příklad si uvedeme láhev od piva, obal bonbonu nebo papírové kapesníky v plastovém sáčku. Sekundární balení má za úkol seskupit jednotlivé produkty, do většího celku např. pytlík s bonbony nebo balík nápojů v lahvích. Třetí skupinou, kterou se zabývá tato práce, a proto nás zajímá nejvíce, je terciární balení. Tento způsob balení slouží pro skladování a přepravu zboží. Často je zboží naskládáno na paletách, umožňuje-li to jeho velikost, ale není to tak možné vždy.

Podle tohoto kritéria rozlišujeme balicí stroje, ale o tom si povíme až v dalších kapitolách.

Nejdříve se zmíníme o samotné historii balení, konkrétně terciárního typu. Jedním ze základních podnětů pro možnost uskutečnění takového balení byl objev *lineárního nízkohustotního polyethylenu* v roce 1939. Z tohoto materiálu se začali vyrábět fólie, určené k obalování zboží. První zmínky o balicích strojích pro terciární balení se datují již kolem poloviny 20. století.

Úplně první stroje byly zcela mechanické, pouze usnadňovaly obalení zboží fólií tak, aby drželo pohromadě. Postupně se tyto stroje začaly automatizovat a vyvíjet. Přidávaly se pomocné elektromotory, snímače a od relé se přecházelo k řídicím systémům. Těmito kroky se zlepšovala automatizace celého balení, jeho rychlost, pevnost, ale i úspora fólie při ovinování. Tento vývoj poskytl zákazníkům mnohem větší komfort balení. Jako prvního zhotovitele automatického balicího stroje velká část zdrojů uvádí americkou firmu Lantech [1]. Tato společnost vyrobila první automatický balicí stroj určený k obalování zboží naskládaném na paletě v roce 1972. Nicméně v této době se první stroje stejného druhu začaly vyskytovat také v Číně a Japonsku [2].

## 1.1 Druhy balení a jeho kritéria

Než se dostaneme k rozdělení balicích strojů terciárního balení, zmíníme všechna kritéria, která nás u balení nejvíce zajímají. Zároveň se podíváme na všechny způsoby, kterými se takové balení provádí, a zhodnotíme si je podle uvedených kritérií:

- Jedním z nejvýznamnějších parametrů je takzvaná *rychlost balení*. Tato rychlost se uvádí většinou jako počet zabalených palet se zbožím za hodinu provozu stroje. Pokud není zboží balené na paletách, uvádí se v kusech za hodinu.
- *Pořizovací cena* je parametr, který se velice liší u různých strojů a jednotlivých firem. Ve velké míře se odvíjí od úrovně kvality provedení stroje, což dále vypovídá o úrovni splnění ostatních kritérií.
- S vysokou úrovní splnění většiny kritérií se zrychlí návratnost investic, která je přímo závislá na spotřebě balicího materiálu. Tuto vlastnost nazveme *kvalita balení*.
- Pro přepravu zboží je třeba, aby zboží mělo dostatečný *stupeň zafixování*, aby hrozila co nejmenší možnost jeho poškození jak mechanického, tak od různých vnějších vlivů jako je vítr, vlhkost nebo prašnost.

- Za další parametr balení považujeme *obalovací materiál*, který daný stroj využívá. O tomto parametru se dá říci, že podle něj lze rozdělit balicí stroje do hlavních skupin.

Otázkou tedy zůstává jen to, jaké obalovací materiály se používají k samotnému balení. Jeden z příkladů, spíše z minulosti, je balení zboží do krabic naskládaných na paletu s tím, že krabice k sobě byly lepené. Tento způsob se ovšem příliš neosvědčil. Lze říci, že tento způsob balení selhal zejména u kritérií rychlosti balení a stupně zafixování. Jiným způsobem je tzv. páskování. Zboží je kolem palety obtočeno a staženo kovovými pásky. Jedná se o oblíbený způsob balení zejména v případech, kdy není potřeba zboží chránit proti vlhkosti a prachu.

Další možností balení v dnešní době využívané ve velké míře je balení ovinovací fólií. Princip je ve šroubovitém otáčení cívky s fólií kolem zboží až do dosažení úplného zabalení zboží. O tomto druhu balení bude ještě řečeno mnoho, proto se nyní budeme věnovat dalším způsobům. Tím je sice také balení pomocí fólie, ale ve formě rukávu, který je na zboží navlečen. Tato technologie se nazývá Stretch hood. Její výhodou je velice vysoká rychlost balení, pohybující se až do 120 zabalených palet zboží za hodinu. Jediná nevýhoda je, že při každém balení je třeba znát výšku baleného zboží a ve chvíli, kdy se tato výška změní, se rychlost balení velice snižuje. Proto je tento způsob balení používán pouze ve firmách s velkokapacitní sériovou výrobou.

## 1.2 Průmyslové balení

Nyní si rozdělíme balení z dalšího hlediska. Už víme, že je tato diplomová práce zaměřená na terciární balení a balení pomocí ovinovací fólie. Tímto rozdělením naše konečná specifikace ovšem stále není úplná. Zboží, spadající do zmíněných kategorií, je mnoho druhů. Jako příklad si uvedeme balíky s nápoji, krabice s mraženým masem, televize nebo na druhé straně solární panely, dveře a knihy. První tři příklady jasně spadají do skupiny zboží, které je možné naskládat na paletu. Nutno podotknout, že tato skupina je daleko obsáhlejší než ta, kterou zastupují zbylé tři příklady. Tu tvoří skupina zboží zpravidla baleného po menším množství kusů, jehož rozměry jsou nevhodné pro naskládání na jakoukoliv paletu nebo není třeba je balit po větším množství kusů.

První ze zmíněných skupin je přímo ta, o kterou se zajímáme v této práci. Balicí stroje, pomocí nichž se takové zboží balí, se nazývají *vertikální* balicí stroje. Z toho důvodu této skupině budeme věnovat celou samostatnou kapitolu. Nyní se zaměříme na

druhou skupinu neboli *horizontální (lineární)* balicí stroje. Jak už je vidět z příkladů, balené zboží může mít velikou škálu tvarů a velikostí. V zásadě je můžeme rozdělit na zboží malých rozměrů, jako jsou zmíněné knihy a zboží větších rozměrů, zejména co se délky týče. Proto i tyto stroje dělíme dále na malé a velké. Rozdíly jsou patrné z obrázků pod textem.



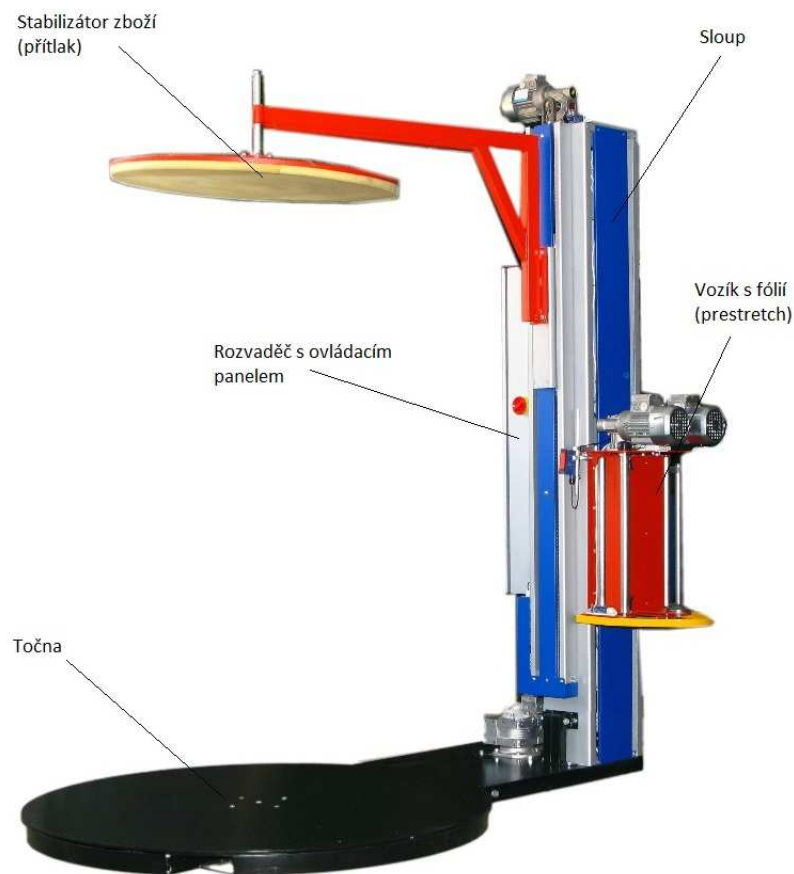
Obr. 1 Malý a velký horizontální balicí stroj [3]

Hlavní myšlenka takového stroje je však vždy stejná. Zboží horizontálně vjíždí po válečkové dráze nebo je vloženo do prostoru, kde obíhá kolem dokola cívka s fólií a je postupně obalováno. Více popisovat tento druh stroje je pro tuto práci bezúčelné, proto se mu podrobněji věnovat nebudeme.

### 1.2.1 Vertikální balení

Vertikální balicí stroje jsou velkou skupinou terciárního balení. Tato skutečnost vychází z faktu, že většinu zboží lze nějakým způsobem naskládat na paletu. Právě díky využití palet se velice usnadnila manipulace se zbožím, ať už přímo v továrně, skladu, tak při nakládání/vykládání z/do různých přepravních prostředků (typicky kamionů). Proto je snaha se zbožím manipulovat tímto způsobem.

Základní konstrukce vertikálního balicího stroje pro malou a střední kapacitu výroby je ve spoustě případů stejná. Existují i nějaké další pokusy, jak stroj sestavit, zejména z důvodu snížení pořizovací ceny balicího stroje. V těchto případech pak dominují pneumatické akční členy a konstrukce se mírně liší. Klasická konstrukce se skládá z točny otáčející paletou a ze sloupu, po kterém se pohybuje vozík ve směru nahoru a dolů. Všechny části jsou názorně vidět na obrázku pod textem.



Obr. 2 Vertikální balicí stroj

Oproti popisu výše, vidíme na obrázku navíc přítlak, který slouží ke stabilizaci zboží při ovinování. Jiná situace nastává, pokud se bavíme o strojích určených pro vysokokapacitní výrobu. Zde se často používají stroje s ramenem otáčejícím se kolem palety se zbožím. Takové stroje jsou pak součástí balicí linky a jejich provoz je plně automatický.

### 1.2.2 Fólie pro balení

Fólie, s níž balíme zboží na paletě, musí mít určité vlastnosti, abychom mohli považovat zabalení za kvalitní. V sedmdesátých letech dvacátého století byla vytvořena látka zvaná lineární nízkohustotní polyetylén, zkráceně LLDPE. Tato látka je výjimečná svou tvarovou pamětí. To v důsledku znamená, že pokud fólii z této látky roztáhneme a pevně s ní omotáme cokoli, v našem případě zboží, bude mít fólie snahu se vrátit do svého původního tvaru. Jednoduše tedy ještě pevněji stáhne to, kolem čeho je omotaná. Fólie je zároveň lepkavá, tím na sebe jednotlivé vrstvy dokonale vážou a chrání zboží před vnějšími vlivy. Další vlastností, zajímavou zejména z ekonomického hlediska,



a tedy i velice podstatnou, je možnost roztažení fólie až o několik stovek procent její původní délky. U kvalitní fólie až o 500 %. Jednoduchou úvahou lze tedy dospět k závěru, že několikanásobným roztažením fólie jsme schopni zabalit zboží tolikrát menším množstvím fólie a tím i levněji.



Obr. 3 Balicí fólie

Fólie pro balení se vyrábějí s tloušťkou 15-35  $\mu\text{m}$ . Hustota materiálu je obvykle  $940 \text{ kg/m}^3$  [8]. Materiál je také odolný vůči kyselinám a zásadám. Mimo výroby fólií se používá k výrobě elektrotechnické izolace, na výrobu ozubených kol, hraček nebo i k výrobě textilních vláken. K výrobě fólií se používá s různými přísadami pro dosažení co nejlepších vlastností pro balení.

## 2 Konstrukce balicího stroje

Jak je napsáno výše, konstrukce vertikálního balicího stroje často vychází ze stejného uspořádání u většiny výrobců. Budeme se tedy držet tohoto klasického uspořádání, které jsme již viděli na obr. 2 v kapitole 1.2.1, vertikální balení. V následujících kapitolách si popíšeme jednotlivé části uspořádání balicího stroje a vše o snímačích a akčních členech těmto částem náležejících. Popis provedeme na konkrétním stroji firmy ZKM typ BS1B.

### 2.1 Točna

Základ celého balicího stroje je točna s celou svou konstrukcí. Tuto konstrukci tvoří svařenec z jeklů a jiných vhodných ocelových profilů. Lze ji rozdělit na dvě základní části. První část, na obrázku vlevo, nese sloup stroje a pohon pro samotnou točnu. Pohon tvoří 3fázový asynchronní čtyřpólový elektromotor s výkonem  $P = 550 \text{ W}$

a otáčkami  $n = 1400$  ot./min napájený z elektrické sítě napětím 400V/50 Hz. Točivý moment motoru je převeden na šnekovou převodovku s převodovým poměrem  $i = 19$  a momentem  $M_n = 94$  Nm. Pomocí řetězového převodu je pak dále převedena na otočný střed vsazený v ložisku umístěném přesně ve středu pod kruhovou točnou. Ta je k tomuto středu upevněna a pro příznivější rozložení síly od baleného zboží podepřena menšími plastovými rolnami, které jsou rozmístěné kolem celého obvodu pod točnou.



Obr. 4 Spodní část balicího stroje

V této části zařízení nalezneme ještě jednu, z hlediska řízení, podstatnou věc. Je jí indukční čidlo reagující na navařený kus kovové zarážky zesponu točny. Čidlo je používáno k zastavování točny ve stejném místě, tzv. orientovaný stop. Zároveň čidlo slouží k počítání otáček točny.

Točna je zhotovována v průměrech 1500 mm, 1800 mm a výjimečně 2300 mm. Nejčastěji je však vyráběna točna s průměrem 1800 mm, protože je nejlépe uzpůsobena pro tzv. europaletu, což je paleta předepsaná normou evropské unie s rozměry 800×1200 mm. Maximální zatížení točny s uvedeným motorem a převodovkami je 1500 kg. Rychlost otáčení točny je dimenzována na rychlost v rozmezí 2-10 ot./min.

## 2.2 Sloup

Sloup je ústřední částí celé konstrukce balicího stroje. Pohybuje se po něm vozík s fólií, stabilizátor zboží a je na něm zpravidla zavěšena rozvodná skříň. Z toho vyplývá, že sloupem jsou tažena všechna kabelová vedení mířící až k této rozvodné skříni. Vnitřní prostor sloupu tedy musí být pečlivě rozdělený tak, aby si pohyblivé části nepřekážely. Sloup se vyrábí typicky ve výškách 2300 mm a 3000 mm.

Na vršku sloupu se nachází první pohon, je jím asynchronní dvoupólový elektromotor s výkonem  $P = 180$  W s jmenovitými otáčkami 2800 ot./min. Tento motor

přes šnekovou převodovku ( $i = 100$  a  $M_n = 28 \text{ Nm}$ ) a řetězový převod pohybuje stabilizátorem zboží na čele sloupu. V blízkosti tohoto pohonu nalezneme na vršku sloupu také mechanické čidlo polohy. To určuje horní koncovou polohu stabilizátoru zboží.

Druhý pohon nalezneme umístěný uvnitř sloupu, v jeho spodní části. Tento pohon slouží k pohybu vozíku s fólií. Použitý elektromotor je svými parametry identický s elektromotorem stabilizátoru, totéž platí i o šnekové převodovce. Převodovky s vysokým převodovým poměrem ( $i = 100$ ) byly zvoleny z důvodu jejich vysoké samosvornosti. Jednoduše jde o to, aby převodovka udržela zátěž vozíku respektive stabilizátoru i při odpojeném napájení v poslední nastavené poloze. Na sloupu nalezneme také mechanická čidla polohy pro vozík, respektive pro jeho horní a dolní koncovou polohu. Tyto polohy jsou zvoleny v takových místech, aby nemohlo dojít k jakémukoliv poškození stroje.

### 2.3 Stabilizátor zboží

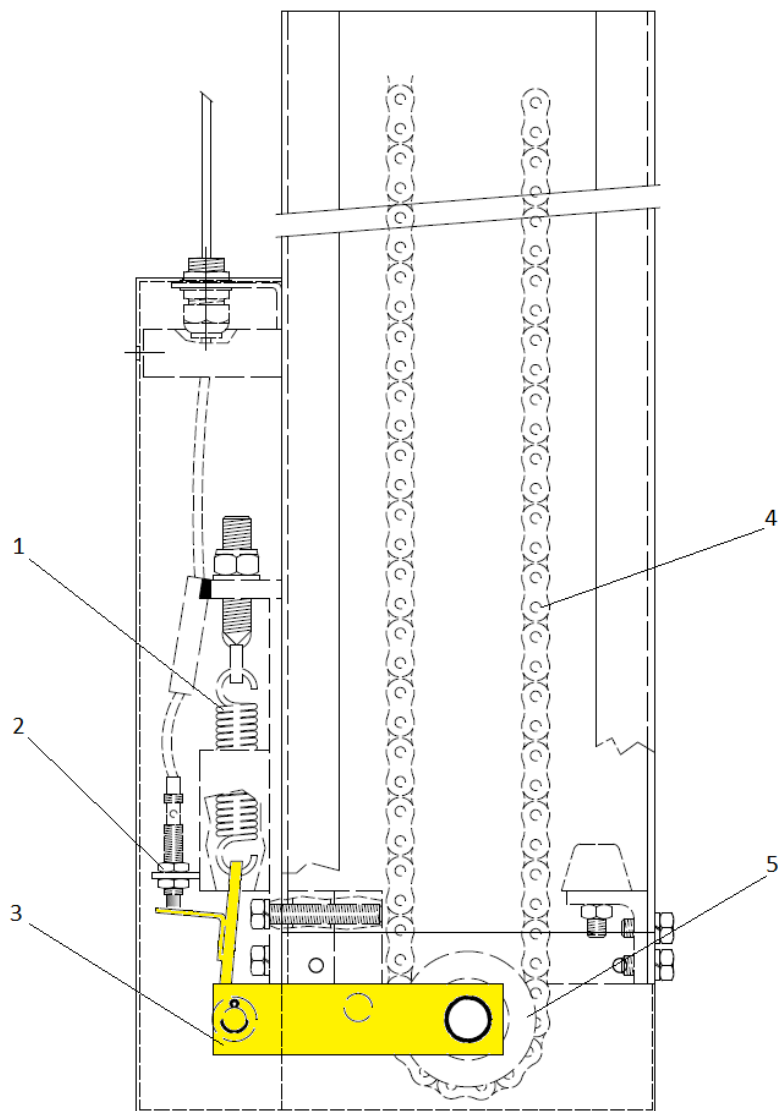
U stabilizátoru zboží si nejprve musíme vysvětlit jeho funkci. Tou je přitlačit a přidržet zboží v takové poloze, v jaké bylo naskládáno na paletu během balicího procesu. To samozřejmě platí zejména u lehkého, či méně stabilního zboží. Jako příklad si můžeme uvést krabice s vánočními ozdobami nebo úzké plazmové televize v krabicích naskládáno na sobě. Stabilizátor tedy musí přitlačit zboží tak, aby nebylo poškozeno, ale zároveň s dostatečnou silou, aby zboží dostatečně zafixoval.



Obr. 5 Rozsah stabilizátoru zboží

Jak už bylo zmíněno, jezdec stabilizátoru se pohybuje v drážkách uvnitř samotného sloupu. Tento pohyb mu umožňují ložiska, po kterých v drážkách klouže. Pohyb samotný je uskutečňován pomocí již zmíněného elektromotoru se šnekovou převodovkou, výstup převodovky je zakončen ozubeným kolem. Celé toto hnací ústrojí je umístěno na vršku sloupu balicího stroje. Druhé, identické ozubené kolo je umístěno níže na sloupu, na konci dráhy jezdce stabilizátoru. Vzdálenost těchto kol vymezuje jezdcí stabilizátoru dráhu v délce závislé na výšce sloupu. Mezi ozubenými koly je veden řetěz tak, že jeho konce jsou upevněny k jezdcí stabilizátoru.

Důležitou částí stabilizátoru je tlakové čidlo, vypínající pohon přitlačení stabilizátoru, aby nedošlo k poškození nebo nějaké deformaci zboží. Kompletní uspořádání tohoto tlakového čidla vidíme na obr. 6, řetěz (4) a ozubené kolo (5) tvoří, jak už bylo zmíněno část pohybového ústrojí jezdce stabilizátoru. Ve chvíli, kdy začne stabilizátor tlačit na zboží, dojde k převodu síly ze stabilizátoru přes řetěz na ozubené kolo na obr. 6 a to je taženo směrem nahoru. V tuto chvíli začne na kladku (3) působit protisíla ve formě pružiny (1). Nad pružinou vidíme mechanismus pro nastavování síly pružiny, za jehož pomoci jsme schopni měnit přitlačnou sílu stabilizátoru v rozsahu  $F_p = (200-800) \text{ N}$ . Jestliže je síla přitlačení stabilizátoru ke zboží větší než protisíla nastavená pomocí pružiny, kladka se pohne částí na obrázku vlevo směrem dolů. To způsobí, že kovová patka poodstoupí od indukčního čidla (2). A to má za následek rozepnutí čidla.

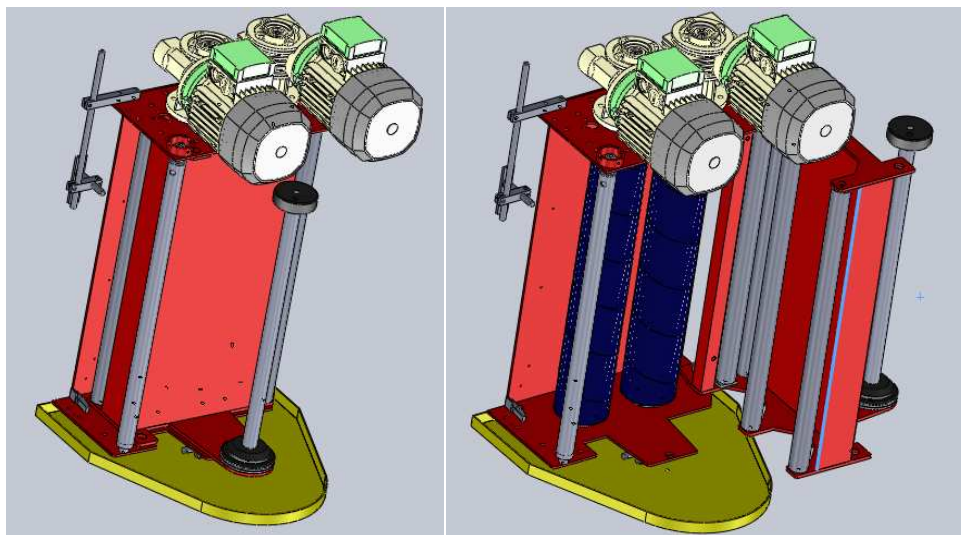


Obr. 6 Mechanismus tlakového čidla

#### 2.4 Vozík s fólií

Z pohledu ceny zabalení jedné palety se zbožím je vozík s fólií nejdůležitější část balicího stroje. Mechanismus vozíku se totiž snaží co nejlépe využít hned dvou vlastností balicí fólie. První vlastnost, zajímavá z pohledu ekonomiky balení, je protažení fólie při zachování kvality a pevnosti fólie. Druhá, neméně důležitá, je výše zmiňovaná tvarová paměť fólie. Ta způsobí, že se fólie při jejím protažení a následném obalení kolem zboží, začne stahovat zpět do svého původního tvaru. Důsledek je takový, že získáme pevně zafixované zboží.

Pojďme si vysvětlit, jak celý tento mechanismus funguje. Vozík má svého jezdce ve vnitřku sloupu obdobně, jako ho má stabilizátor. Jezdec je tedy opět osazený ložisky, která mu umožňují pohyb v drážkách sloupu. Celý vozík je umístěn na pravé straně sloupu při čelním pohledu na balicí stroj. Jeho pohyb zabezpečuje elektromotor uložený v dolní části sloupu. Točivý moment motoru je převeden pomocí šnekové převodovky a řetězového spojení dvou ozubených kol, umístěných v krajních polohách sloupu, na jezdce vozíku.



Obr. 7 Vozík s fólií

Typů vozíků máme několik druhů, na Obr. 7 je vozík s tzv. dvoumotorovým předepínáním. Základní myšlenka je taková, že mezi modrými válci na obrázku je tažena fólie. Každý válec se však otáčí jinou rychlostí a tím je fólie mezi válci napínána a roztahována. Poměr rychlostí válců je tedy zároveň převodovým poměrem protažení fólie. Jen pro úplnost musím zmínit, že tyto dva hlavní napínací válce nemusí být poháněny nutně každým motorem. Používají se i varianty s jedním nebo dokonce žádným motorem. V tom případě různé rychlosti válců docílíme stálým mechanickým převodem mezi nimi. U verze vozíku bez motoru je síla, protahující fólii přes válce realizována prostým tahem zboží otáčejícím se na točně. Jako pohony válců se používají dvou pólový asynchronní elektromotor o výkonu  $P = 250 \text{ W}$  a případně druhý s nižším výkonem  $P = 180 \text{ W}$ .

Na obr. 7 vlevo vidíme v čele vozíku trn, kam se umísťuje cívka s fólií. Samotná fólie z cívky je pomocí třech zaváděcích válečků přitlačována na samotné napínací válce, jimiž je odmotávána a pokračuje dále přes odměřovací váleček ven z tohoto

ústrojí směrem k točně se zbožím. Na vozíku máme ještě několik čidel s různými funkcemi. První mechanické čidlo pouze kontroluje, zda jsou dvířka s fólií zavřená. Další mechanické čidlo je spojeno se žlutým kovovým rámečkem, který slouží jako ochranný prvek pro případ, že by se něco nebo někdo dostal pod vozík za běhu stroje, aby byl chod stroje neprodleně přerušen. Poslední z řady čidel je optické čidlo polohy. Je namířeno směrem na balené zboží a pomocí něj rozlišujeme vršek tohoto zboží a tím i jeho výšku.

Je zde ještě jedna věc, kterou je třeba zmínit, abychom mohli zkompletovat terminologii týkající se balicích strojů. Protazení fólie mezi válci nazýváme brzda, ale není to jediný parametr, který uvádíme v souvislosti s protažením fólie. Tím dalším je předpětí a jeho hodnotu určuje poměr rychlostí mezi točnou a výstupním válcem vozíku. Toto protažení není tak velké jako protažení fólie mezi válci, zároveň však není bezvýznamné.

## **2.5 Rozvodná skříň**

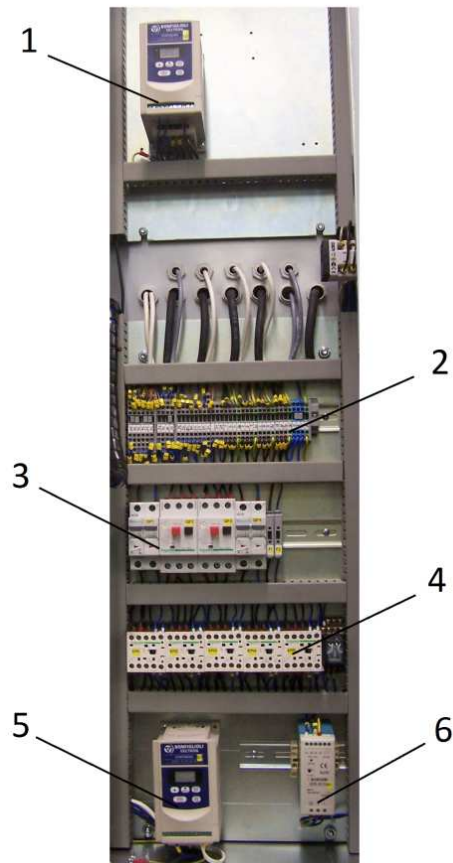
Rozvodná skříň obsahuje všechny bezpečnostní a řídicí elektrické prvky. Je umístěna na levé straně sloupu z čelního pohledu na balicí stroj. Skříň je u tohoto typu balicího stroje vyráběna v rozměrech 165×320×1200 mm, v pořadí hloubka, šířka a výška. Z boční strany skříně je umístěn hlavní vypínač napětí. Z přední strany na dvířkách jsou umístěny nejpodstatnější věci pro tuto práci, tzv. uživatelské rozhraní. Centrální stop tlačítko, tlačítko pro aktivování řídicích obvodů, které je zároveň kontrolka jejich zapnutí a další tlačítka pro start a pozastavení balení jsou všechna rozmístěna kolem ovládacího panelu řídicího systému.



Obr. 8 Čelní část rozvaděče s ovládacími prvky

Uvnitř rozvodné skříně jsou připevněny další prvky, na obr. 9 si můžeme prohlédnout jejich rozmístění. V horní části je umístěný frekvenční měnič (1), který obsluhuje elektromotor, umístěný na vozíku fólie. Počet měničů v tomto místě je stejný právě jako počet elektromotorů umístěných na vozíku s fólií. Níže pod frekvenčním měničem se nachází lišta se svorkovnicemi (2). Hned v dalším patře nalezneme všechny bezpečnostní prvky (3) celého stroje. Pro ochranu motorů, které nejsou připojeny ke zdroji energie přes frekvenční měnič, zde nalezneme proudové chrániče. V této části jsou umístěné i další prvky jako jističe a pojistky.





Obr. 9 Vnitřek rozvodné skříně balicího stroje

Pod bezpečnostním patrem nalezneme skupinu stykačů a relé (4). Tyto prvky slouží ke spínání pohonů, které nebyly opatřeny frekvenčními měniči, nebo dalších výkonových prvků. Ve spodní části ještě můžeme vidět jeden frekvenční měnič (5) určený pro točnu balicího stroje. Ve stejné úrovni se také vyskytuje 24 V spínaný stejnosměrný zdroj (6) s výkonem  $P = 43 \text{ W}$  a maximálním elektrickým proudem  $I_m = 1,8 \text{ A}$ . Zdroj je používán k napájení řídicího systému, o kterém se v následujících kapitolách dozvíme více.

## 2.6 Čidla a senzory

Všechny podstatné údaje o pohonech, respektive elektromotorech byly zmíněny. Nyní zbývá se podrobněji podívat na použitá čidla. Všechna jsou přehledně zobrazena v tabulce pod textem společně s nejdůležitější technickou specifikací.

Tab. 1 Použitá čidla

Účel čidla	Typ čidla	Technická specifikace
Čidlo čítání otáček točny	Indukční čidlo, spínací	Vzdálenost snímání: 8 mm Napájecí napětí: 10 – 30 V DC Spínací výstup: PNP
Čidlo snímače síly stabilizátoru	Indukční čidlo, rozpínací	Vzdálenost snímání: 4 mm Napájecí napětí: 10 – 30 V DC Spínací výstup: PNP
Horní koncový spínač polohy vozíku	Mechanické čidlo, rozpínací	Maximální spínané napětí: do 250 V DC
Dolní koncový spínač polohy vozíku	Mechanické čidlo, rozpínací	Maximální spínané napětí: do 250 V DC
Horní koncový spínač polohy stabilizátoru zboží	Mechanické čidlo, rozpínací	Maximální spínané napětí: do 250 V DC
Spínač spodního ochranného rámečku vozíku	Mechanické čidlo, rozpínací	Maximální spínané napětí: do 250 V DC
Spínač uzavření dvířek s fólií vozíku	Mechanické čidlo, spínací	Maximální spínané napětí: do 250 V DC
Čidlo sledování výšky zboží	Optické čidlo, spínací	Vzdálenost snímání: až 3,5m (v závislosti na barvě materiálu) Napájecí napětí: 24 V DC
Čidlo odměřování délky fólie	Inkrementální čidlo	Počet pulzů za vteřinu: 32 Napájecí napětí: 24 V DC

## 2.7 Doplnkové prvky

Na závěr této velké kapitoly o baličím stroji si musíme doplnit několik věcí, které jsou podstatné zejména z hlediska návržení systému, konkrétně z hlediska počtu jeho vstupů a výstupů. Do této doby bylo pouze sděleno, že volitelnou částí baličího stroje je stabilizátor zboží. K tomu, abychom měli přehled této kategorie volitelných prvků kompletní, si ale musíme říct o dalších prvcích, které do této kategorie patří.

Podíváme se tedy, jaké to jsou zejména z hlediska řídicího systému, tzn., že nás bude zajímat počet vstupů a výstupů, které jednotlivý prvek od systému vyžaduje. Samozřejmě si každý prvek přiblížíme i z hlediska mechanického, ale v této práci je naším úkolem navrhnout řídicí systém. A je tedy velice podstatné, kolik vstupů a výstupů bude systém obsahovat. Právě kvůli těmto volitelným prvkům je nutné zvolit dostatečnou rezervu vstupů a výstupů, abychom dosáhli alespoň lokální univerzálnosti řídicího systému v rámci tohoto typu balicího stroje.

Volitelné prvky, o kterých je nyní řeč, slouží ke zvýšení stupně automatizace celého balicího procesu. Jeden z těchto prvků je automatické trhání fólie, umístěný na vozíku s fólií, přesněji u výstupu pro fólii. Základem tohoto mechanismu je solenoid napájený stejnosměrně 24 V. Na vrcholu jádra solenoidu je ostrý trn, který je společně s jádrem v případě sepnutí solenoidu vysunut. Zatažení jádra zpět zajišťuje vhodně zvolená pružina. Fólii trn protrhne v její spodní části a ta je poté tahem točny ve spolupráci se zastavením podávání fólie úplně odtržena. Trhací mechanismus tedy spotřebuje jeden výstup řídicího systému.

Dalšími přídatnými částmi, používající se při zabudování balicího stroje do balicí linky, jsou kleště přidržení fólie, otočné rameno pro přivnutí zbytku fólie po balení k obalenému zboží a válečková dráha jako nadstavba nad samotnou točnu. První dva prvky jsou řízeny pneumatickými členy a každý z nich spotřebuje jeden výstup řídicího systému. S válečkovou dráhou na točně přibude ještě jeden pohon, přesněji asynchronní elektromotor, který pro svou obsluhu vyžaduje jeden analogový výstup navíc.

### **3 Řídicí systémy pro balicí stroje**

Tak jako se vyvíjela mechanická část balicích strojů a přidávali se motory, čidla a pneumatické členy, tak bylo nutné i pracovat s dokonalejšími řídicími systémy. Z počátku se používaly tzv. reléové systémy, logicky pospojovaná jednotlivá relé. Tyto systémy se v dnešní době stále používají u nejjednodušších balicích strojů, především z důvodu nižší ceny. Jsou to však stroje bez možnosti nastavení jakéhokoliv balicího programu. Mají jen několik tlačítek ovládajících rozběh točny a posun vozíku s fólií nahoru a dolů, případně lze pomocí potenciometru nastavit rychlost posunu a otáčení točny.

S rozšířením mikroprocesorů, zejména řady 8051, se začaly také používat jako srdce řídicích systémů pro balicí stroje. Tyto systémy disponovaly několika potřebnými vstupy, výstupy a vylepšeným uživatelským rozhraním. To zahrnovalo sedmissegmentové displeje pro nastavování většího množství parametrů balicího stroje a samozřejmě potřebná tlačítka.

Se začleňováním balicího stroje do různých balicích linek bylo také třeba využívat komunikaci mezi jednotlivými systémy prvků tohoto řetězce. Tento problém vyřešilo mnoho firem tím, že začaly používat univerzální řídicí systémy od společnosti Siemens řady Simatic. Přičemž ovládací panel se příliš nezměnil oproti systémům s mikroprocesorem.

V dnešní době ovšem velká část firem přechází k systémům méně univerzálním. Lépe řečeno nechávají si vyvíjet systém šitý přímo na míru svému stroji. To přináší jisté výhody. Zejména v uživatelském rozhraní, kde se používají velké grafické displeje, klávesnice a v některých případech také dotykové displeje. Takový systém je právě předmětem této práce, proto ho v dalších kapitolách podrobíme detailnějšímu rozboru.

### **3.1 Řídicí systém NX5022**

Řídicí systém se tedy nazývá NX5022. Při jeho vývoji jsem pracoval zejména na vývoji grafického rozhraní, provedení programu pro obsluhu balicího stroje a uspořádání všech informačních a ovládacích prvků. Navíc jsem se spolu s týmem Ing. Černohorského účastnil vývoje hardwarových částí a konfigurace FPGA. Systém je navržený a sestavený pro výše zmíněný a popsany balicí stroj s označením BS1B a jeho podobné mutace. Požadavky na tento systém jsou přímo dány požadavky balicího stroje. Bylo tedy zapotřebí realizovat dostatečný počet vstupů, výstupů a analogových výstupů. Dále uživatelské rozhraní s klávesnicí a grafickým displejem tak, aby ovládání bylo co nejvíce intuitivní a poskytovalo dostatečné množství informací pro obsluhu celého balicího stroje. V následujících kapitolách si uvedeme, jak byly realizovány jednotlivé hardwarové části a také informace týkající se výběru hradlového pole.

Nezbývá než shrnout si počet vstupů a výstupů požadovaných po řídicím systému v tabulce 2.

Tab. 2 Potřebný počet vstupů a výstupů řídicího systému

Část balicího stroje	Počet potřebných vstupů	Počet potřebných výstupů	Počet potřebných analogových výstupů
Točna	1	1	1
Stabilizátor	2	2	0
Vozík s fólií	7	2	2
Trhání	0	1	0
Pneumatické volitelné prvky	0	2	0
Ovládací prvky na rozvodné skříně	2	0	0
Automatická linka	4	4	0
Celkem	16	12	3

Z tabulky může být nejasná potřeba některých vstupů respektive výstupů u některých částí balicího stroje. Většina uvedených však přímo koresponduje s popisem balicího stroje a výčtu jeho čidel, pohonů a dalších akčních členů uvedených v předchozích kapitolách. Ty nepříliš zřejmé si nyní doplníme a zároveň zrekapitulujeme ty, které jasné jsou.

U točny je potřeba jeden klasický vstup pro čidlo počítání jejích otáček a jeden klasický výstup z důvodu řízení rozběhu točny pomocí brzdy motoru. Analogový výstup, realizovaný pomocí 8bitového D/A převodníku s rozsahem (0 – 10) V pak slouží k samotnému kmitočtovému řízení rychlosti otáčení točny přes frekvenční měnič. Přesná hodnota výstupu se pak počítá násobením uživatelem zadané hodnoty vhodnou konstantou tak, aby se výsledek pohyboval v rozsahu 0 – 255. Hodnotu tohoto rozsahu převodník transformuje na hodnotu napětí. Rozběhové a doběhové rampy pro motor, zajišťuje frekvenční měnič sám. Sice by nebylo obtížné je realizovat programově pomocí procesoru s D/A převodníkem, ale tuto možnost nabízí prakticky každý frekvenční měnič a tudíž by byla taková práce zbytečná.

Stabilizátor zboží, přesněji řečeno jeho pohon, není plynule regulovaný. Princip změny rychlosti jeho pohybu spočívá v tom, že měníme střidu jeho pohybu. Jednoduše

řečeno střídáme doby, kdy stabilizátor poháníme s těmi, kdy je pohyb přerušeny. To se děje vždy v krátkém časovém úseku. Rychlost tedy uvádíme v procentech, které jsou počítány z maximální rychlosti pohonu, tedy ze 100 %. Těchto 100 % odpovídá rychlosti pohonu, která je dána otáčkami elektromotoru a převodovými poměry převodovky a řetězového spojení. Požadujeme-li např. 70 % rychlost, znamená to, že v časovém úseku 1 s se stabilizátor 0,7 s pohybuje a 0,3 s stojí. Abychom mohli realizovat i druhý směr pohybu, potřebujeme 2 výstupy, jeden pro směr nahoru a druhý pro směr dolů. Vstupy do systému od stabilizátoru jsou z tlakového senzoru a z horního koncového snímače.

Počet výstupů k ovládání vozíku s fólií je stejný jako u stabilizátoru a to z důvodu, že princip pohybu vozíku je také stejný, jako u stabilizátoru. Analogové výstupy pro vozík jsou potřeba 2, každý z nich ovládající jeden z motorů předepínacího zařízení fólie. Znovu jsou realizovány dvěma 8bitovými D/A převodníky pomocí FPGA. Vstupů pro systém potřebujeme celkem 7. Jedním je výstup z frekvenčních měničů řídicích motory předepnutí fólie, konkrétně výstup signalizující jejich poruchu. Z obou měničů je tento signál sveden do jednoho vodiče a do řídicího systému vstupuje jako jediný vstup. Další 4 vstupy jsou spotřebovány koncovými snímači horní a dolní polohy vozíku, snímačem výšky zboží a snímačem kontroly uzavření dvířek fólie. Zbylé 2 vstupy jsou využity pro připojení inkrementálního snímače. Každý z výstupů inkrementálního snímače generuje obdélníkový signál, oba signály jsou vůči sobě posunuty o 90°. Rychlost otáčení odměřovacího válečku pak zjistíme podle počtu obdélníkových pulzů, konkrétně náběžných hran, za určitý časový úsek. Dva výstupy jsou zde použity z toho důvodu, abychom poznali směr otáčení válečku. Směr rozlišíme testováním toho, která z hran je načtena dříve. Tento způsob je použit proto, abychom zamezili zbytečnému podávání fólie ve chvíli, kdy by se odměřovací váleček neotáčel ve směru otáčení fólie, ale opačném, nebo balancoval na úrovni jedné náběžné hrany a mohlo by dojít k jejímu opětovnému chybnému načítání.

Dále pokračujeme jedním výstupem pro trhání fólie, přesněji řečeno pro solenoid s trnem. Dva výstupy také spotřebujeme pro pneumatické prvky, jako jsou kleště přidržení fólie a rameno s kartáčem, který přilepí zbytek fólie po balení ke zboží. Vstupy ovládacích prvků na rozvodné skříni jsou START a STOP tlačítko ovládání balicího cyklu.

Vstupy automatické linky jsou vesměs vstupy pro komunikaci s ostatními systémy celé balicí linky. To samé platí i o výstupech potřebných k realizaci automatické linky, slouží výhradně ke komunikaci mezi systémy, nyní však v opačném směru.

### 3.1.1 Obvody FPGA

Základním kamenem celého řídicího systému je hradlové pole (dále jen FPGA). Hlavní důvod, proč nebyl vybrán některý klasický jednočipový mikroprocesor, byla potřeba vyřešit programovou obsluhu displeje. Použitý displej má nevýhodu v tom, že každý zápis do interní video RAM řadiče displeje trvá několik mikrosekund, protože před každým dalším zápisem je nutné testovat dokončení předchozí operace, přičemž každé čtení příznaku probíhající operace trvá další 1  $\mu$ s. Druhá možnost je počkat přibližně 10  $\mu$ s, aby byla jistota, že operace proběhla. Oba způsoby však velmi prodlužují veškeré grafické operace.

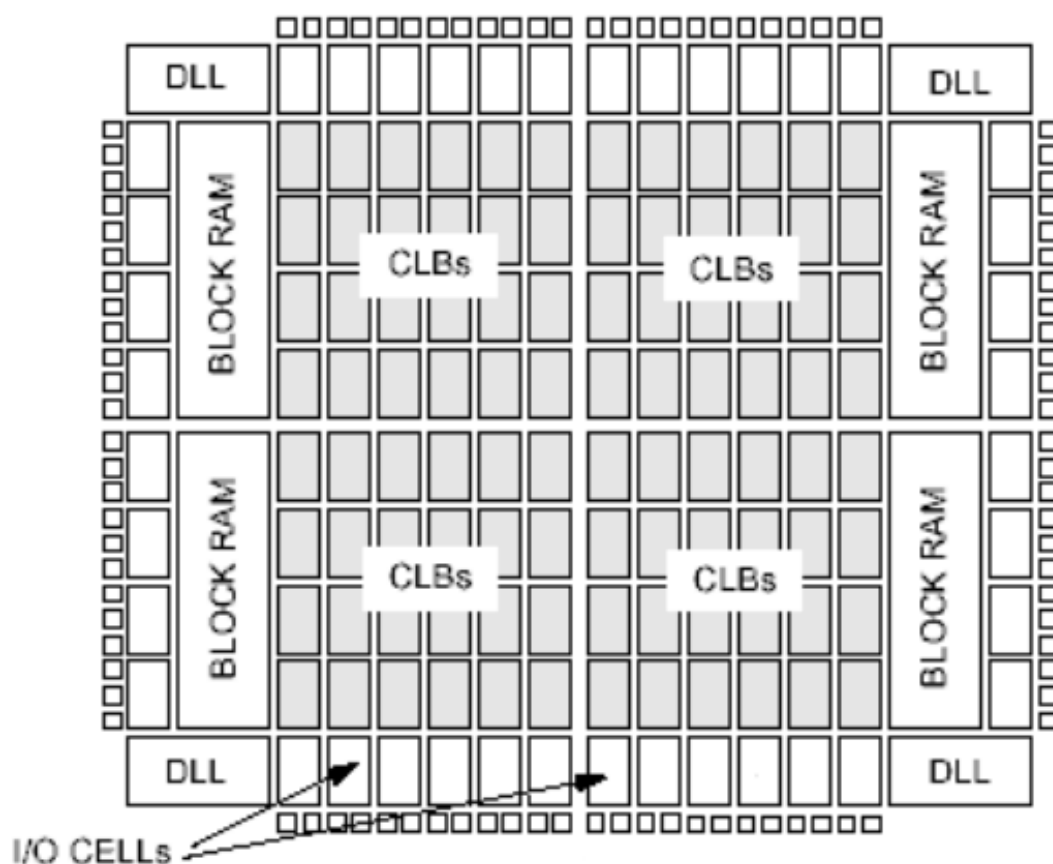
Jedna z možností, jak tento nedostatek obejít, je provádět grafické operace ve vyhrazené části RAM mikroprocesoru a obsah RAM na pozadí kopírovat do displeje v taktu 10  $\mu$ s. Vlastní kopírování dat spolu s ukládáním a obnovováním potřebných registrů při takto vysoké frekvenci přerušování hlavního programu však způsobuje rovněž značnou ztrátu výpočetního výkonu. U 8bitových mikroprocesorů je tato metoda na hranici použitelnosti. Možností by bylo použití 32bitového jednočipového procesoru, ty však nebyly v době vývoje systému běžné a jejich použití nepřinášelo oproti FPGA žádné ekonomické ani technické výhody.

Druhou možností bylo realizovat procesor v FPGA a přepisování obsahu RAM do displeje provádět pomocí hardware, který procesor nijak nezatěžuje. Navíc toto řešení umožňuje přidat pomocné funkce pro další zrychlení grafických operací, jako jsou maskování a rotace bitů, které se využijí zejména při výpisu textu na displeji.

Pomocí FPGA můžeme tedy vytvořit vlastní verzi mikroprocesoru pro naši úlohu a zároveň vyřešit problémy s displejem. Další výhodou je, že můžeme realizovat procesor s větším počtem vstupně výstupních jednotek a různých paměťových prostorů pomocí jednoho jediného obvodu. Také máme svobodu při přiřazování většiny jednotlivých pinů FPGA a tím v důsledku dokážeme minimalizovat desku plošného spoje. Další nespornou výhodou je v konkurenčním boji praktická nekopírovatelnost tohoto systému.

Abych neuváděl pouze výhody, uvedu také nějaké nevýhody oproti použití klasického mikroprocesoru. Za zmínku stojí vyšší spotřeba hradlového pole a také vyšší cena. Obě tyto nevýhody je obecně snaha minimalizovat. U našeho systému ovšem cena samotného FPGA nehraje tak velkou roli, protože ve výsledku stejně ušetříme na velikosti desky a dalších součástkách. Vyšší spotřeba nijak kompenzována není, ale není tolik významná z hlediska celkové spotřeby systému, aby nevýhody převážily.

Nyní si upřesníme informace o architektuře FPGA. Zobrazena je na obr. 10, konkrétně se jedná o typ Spartan-II XC2S15. Další typy by se lišily pouze počtem jednotlivých bloků.



Obr. 10 Interní struktura obvodu Spartan-II XC2S15 [5]

Nejmenší čtverce po obvodu obrázku představují jednotlivé piny. Vstupně-výstupní buňka, na obrázku označena jako I/O CELL, slouží k nastavení vstupně-výstupního pinu do módu, který potřebujeme pro konkrétní účely. Nejdůležitějším blokem je CLB, neboli Configurable Logic Block. Konfigurovatelný logický blok obsahuje v tomto případě 4 logické buňky, LC. Dále také obsahuje logiku, která



umožňuje kombinovat funkční generátory. Dalším blokem je BLOCK RAM, tato bloková paměť je rozmístěna rovnoměrně po celém čipu. Mezi její hlavní přednosti patří, že ji lze využít jako jednobránovou nebo dvoubránovou paměť. Poslední částí, kterou vidíme na obrázku, je blok DLL, neboli Delay-Locked Look. Tyto obvody pracují s hodinovým signálem po celém čipu FPGA. Jejich hlavní funkce spočívá v tom, že provádějí frekvenční syntézu, fázový posun hodinového signálu a eliminují časové zpoždění.

### **3.1.2 FPGA Xilinx**

Na základě všech uvedených informací a zároveň s ohledem na ty, které teprve uvedeny budou, bylo vybráno hradlové pole od firmy Xilinx XC2S50TQG144. Toto pole disponuje 1728 logickými buňkami, 92 uživatelskými vstupně výstupními piny a 32 kbit velkou block RAM pamětí. Tyto parametry zaručují, že jsme mohli pracovat se všemi periferiemi, které jsme měli v úmyslu k systému přidat. Ať už se jedná o vstupy, výstupy systému nebo klávesnici, displej, další signalizační prvky, různé typy komunikačních sběrnic, toto hradlové pole má dostatečné množství svých dispozic, abychom tyto požadavky realizovali.

### **3.1.3 Nároky na klávesnici**

Než se pustíme do návrhu tlačítek, je nezbytné si vysvětlit, jaké nároky na ně máme. Co všechno jimi chceme ovládat a jak.

V první řadě je třeba uvést, že ze zkušeností v tomto oboru svých i dalších pracovníků je často požadováno, aby stroj dokázal zabalit zboží jak v předem nadefinovaném programu, tak i bez něj. Rozlišujeme tedy automatický a manuální režim.

Nejprve začneme manuálním režimem. Proč je tento druh režimu stroje vyžadovaný, je poměrně logické. Jelikož je balicí stroj, pro který byl systém navržen, určen pro firmy malé a středně velké tak, máme vysokou pravděpodobnost, že jejich výroba bude často různorodá. Pro každý druh zboží je nastaven přesný balicí program tak, aby co nejvíce vyhovoval pro dané zboží. Pro každý druh zboží máme tedy jiný program. Občas ovšem nastane situace, kdy je potřeba jednorázově zabalit nějaké specifické zboží. V tuto chvíli je nejjednodušší, když si zákazník může jednorázově a nijak složitě nastavit parametry balení bez nutnosti nastavovat celý nový program.

Aby tento proces byl co nejrychlejší a lehce proveditelný, je nejjednodušší ho realizovat pomocí tlačítek klávesnice.

U automatického režimu, tedy u režimu, kde bude možné nastavit spoustu dalších parametrů, už takto jednoduše s tlačítky pracovat nemůžeme. Zde je nutné využít celý displej a klávesnici použít jako prostředek k ovládní a nastavování všech položek v jeho menu. Rozdělil jsem tedy běh programu do dvou režimů, manuálního a automatického. Zároveň jsem se rozhodl přidat každému tlačítku dvě funkce podle toho, v jakém režimu se systém nachází.

V tabulce pod textem si uvedeme, jaká tlačítka jsou nutná pro každý z režimů. Od tohoto faktu pak lehce odvodíme, jak displej uspořádat a kolik tlačítek vlastně bude třeba. Ještě než si uvedeme tabulku s tlačítky, připomínám, že všechny nastavitelné parametry v manuálním režimu přímo vyplývají z předchozích kapitol o konstrukci balicího stroje.

Tab. 3 Tlačítka potřebná pro realizaci systému

Položka	Manuální režim	Automatický režim
1	Tl. vozík nahoru	Tl. alfanumerických znaků {1;␣ }
2	Tl. vozík dolů	Tl. alfanumerických znaků {2;a;b;c }
3	Tl. vozík stop	Tl. alfanumerických znaků {3;d;e;f }
4	Tl. rychlost vozíku plus	Tl. alfanumerických znaků {4;g;h;i }
5	Tl. rychlost vozíku minus	Tl. alfanumerických znaků {5;j;k;l }
6	Tl. stabilizátor nahoru	Tl. alfanumerických znaků {6;m;n;o }
7	Tl. stabilizátor dolů	Tl. alfanumerických znaků {7;p;q;r;s }
8	Tl. stabilizátor stop	Tl. alfanumerických znaků {8;t;u;v }
9	Tl. točna start/stop	Tl. alfanumerických znaků {9;w;x;y;z }
10	Tl. rychlost točny plus	Tl. alfanumerických znaků {0;-;.;+ }
11	Tl. rychlost točny minus	Tl. mazání „C“
12	Tl. brzda plus	Tl. kurzorová šipka nahoru
13	Tl. brzda minus	Tl. kurzorová šipka dolů
14	Tl. předeprnutí plus	Tl. kurzorová šipka doleva
15	Tl. předeprnutí minus	Tl. kurzorová šipka doprava
16	Tl. nastavení výchozích poloh	Tl. potvrzení „OK“
17	Tl. funkční klávesa FN	Tl. pohybu o úroveň zpět „ESC“
18	Tl. přepínání mezi režimy	Tl. přepínání mezi režimy

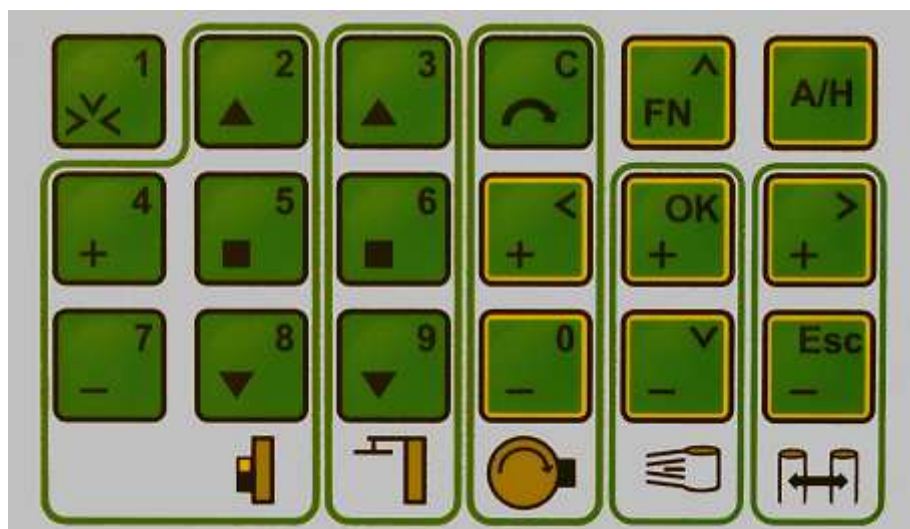
Ve sloupci tlačítek pro manuální režim jsme se dostali na počet 16, těch nutných nezvýrazněných šedou barvou. Klávesnice je řízena maticově, což uspoří několik vstupů na FPGA. Abychom získali minimálně 16 tlačítek, potřebujeme nějakou vhodnou kombinaci této matice. Ohledy ovšem musíme brát také na přípustnou velikost a možnosti rozložení tlačítek na ovládacím panelu systému. Navíc každé tlačítko musí mít dostatečnou velikost pro jeho pohodlný stisk. Předpokládané rozměry ovládacího panelu systému jsou 150×150 mm, z toho je však horní polovina vyhrazena displeji a dalším zobrazovacím prvkům. Získáváme tedy využitelný prostor 75×150 mm. Každé tlačítko by mělo mít rozměr 15×15 mm a mezera mezi tlačítky by měla být 5 mm.

Uvedené rozměry vycházejí z rozměrů desky plošného spoje, které chceme dosáhnout. Nyní tedy můžeme vyhodnotit situaci a dostáváme se k nejuhodnějšímu uspořádání tlačítek, potažmo rozměrům klávesnice. Zvolil jsem rozměr 3×6 tlačítek, což ve výsledku dává 18 tlačítek. Tvar tedy odpovídá horizontálně položenému obdélníku. Určené rozmístění je také vhodné z hlediska rozložení klávesnice pro alfanumerickou část klávesnice a kurzor. Z tabulky 3 je vidět, že právě v automatickém režimu je počet uvedených potřebných tlačítek právě 18. Toto číslo, ale nebylo vhodné brát jako opěrný bod, ze kterého bychom vycházeli. Například kurzová tlačítka mohla být volena v nižším počtu odebráním dvou kurzorových šipek. Zároveň nebylo úplně nutné opatřit systém alfanumerickou klávesnicí. Ve výsledku se ale možnost přidání takového počtu tlačítek přímo nabízela.

Nakonec stojí ještě za zmínku sdělit účel tlačítek zvýrazněných a šedě označených v tabulce. První z nich, tlačítko nastavení výchozích poloh, má za úkol nastavit všechny pohyblivé prvky balicího stroje do výchozí polohy. Konkrétně se jedná o točnu, která najede na čidlo výchozí polohy, tzv. orientovaný stop. Vozík s fólií sjede do spodní počáteční polohy, která je v úrovni točny. A zároveň stabilizátor zboží vyjede do maximální výšky, které je schopen, neboli do horní koncové polohy. Druhé tlačítko pojmenované FN žádný účel nemá, slouží jen jako rezerva pro případ potřeby.

### 3.1.4 Klávesnice

Na základě výsledků předchozí studie o rozvržení a počtu tlačítek jsem sestavil grafický návrh rozložení klávesnice. Je zobrazený na obr. 11.



Obr. 11 Klávesnice řídicího systému

Každá klávesa má na sobě dva znaky, jeden značí funkci v automatickém a druhý v manuálním režimu. Znak pro automatický režim je zarovnán v pravém horním rohu klávesy a pro manuální naproti v levém dolním rohu. Jedinou výjimkou je klávesa pro přepínání mezi režimy, ta má svůj popisek A/H umístěn přesně ve svém středu.

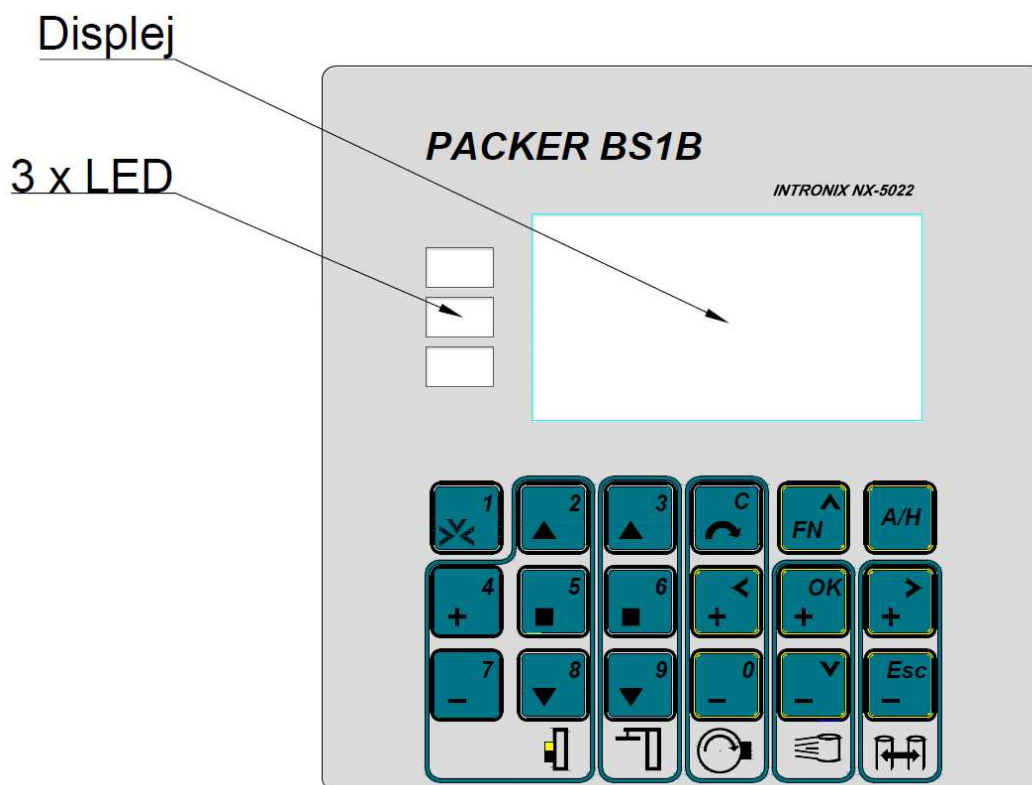
Popisky tlačítek pro automatický režim jsou poměrně jednoznačné. Pouze u alfanumerických kláves, z důvodu nedostatku místa nebyly uvedeny všechny znaky nacházející se pod touto klávesou. Sestavení znaků ukryvajících se za těmito klávesami je stejné jako u klávesnic mobilních telefonů, myšleno s 12tlačítkovou konstrukcí klávesnice. Postup psaní je tedy shodný jako na těchto mobilních telefonech, opakovaným stiskem téže klávesy se dostáváme k dalším znakům, které dané tlačítko obsahuje.

K manuálnímu režimu se vztahují rámečky, do kterých jsou společně svázána tlačítka týkající se společného ovládaného prvku balicího stroje. Tento prvek je vždy zobrazen jednoduchou miniaturou uvnitř daného rámečku. Také znaky na jednotlivých tlačítkách jsou navrženy tak, aby přesně korespondovaly s jejich funkcí ovládní balicího stroje. Jednotlivá tlačítka můžeme porovnat s tabulkou v kapitole 3.1.3. Tlačítko v levém horním rohu klávesnice se symbolem třech šipek směřujících do stejného bodu značí nájezd prvků balicího stroje do výchozích poloh. Funkční neboli rezervní klávesa je označena FN, jak už bylo předesláno dříve.

### **3.1.5 Displej a informační LED**

Nároky na displej pro takovýto systém nejsou příliš vysoké. Jak bylo sdělováno v předešlých kapitolách, v minulosti byly nejčastěji používané sedmisegmentové displeje. Ovládní stroje s takovým displejem často není úplně přehledné. A jelikož dotykový displej je v takovém prostředí, pro které je řídicí systém plánovaný použit, náchylnější na nějaké mechanické poškození, nejvýhodnější se jeví monochromatický displej s podsvícením. O jeho velikosti rozhodne z velké části prostor, který máme na hlavním panelu k dispozici. Ten je stejný jako pro klávesnici, tedy 75×150 mm. V potaz však musíme navíc vzít prostor pro umístění velkých svítivých diod. Z nabídky displejů na trhu byl tedy displej s rozlišením 64×128 bodů nejvýhodnější volbou [7]. Na takový displej lze pohodlně zobrazit 4 řádky, které už zaručují přehlednou orientaci v jednotlivých menu. Zároveň je dostatečně široký pro zobrazovaný text.

Diody na čelním panelu potřebujeme 3. Pro každý z režimů jednu a navíc jednu pro signalizaci poruchy na balicím stroji. Tyto diody jsou umístěny vlevo od displeje. Na obrázku si můžeme prohlédnout vzhled celého ovládacího panelu.



Obr. 12 Ovládací panel balicího stroje

### 3.1.6 Vstupy a výstupy

O vstupech a výstupech systému, které od systému požadujeme, jsem již zpracoval studii v kapitole 3.1. Nyní už zbývá uvést, jak jsme se s danými fakty vypořádali a realizovali je ve skutečnosti. Počet vstupů byl z požadavků stanoven na 16. Tento počet je ideální z hlediska výstupních registrů, které jsou 8bitové. Proto jsme dva vstupy FPGA obsadili dvěma kompletními registry. Počet vstupů tedy zůstal na 16. Podobná situace je u výstupů systému. Ve zmíněné kapitole bylo napočítáno 12 potřebných výstupů, ale protože jsou výstupy realizovány každý pomocí jednoho výstupního pinu, žádné omezení zde nemáme. Dále vyžadujeme alespoň 3 analogové výstupy, ale protože používáme 8pinové výstupní konektory, bylo vhodné zvolit 4 analogové výstupy, aby byl počet kompletní do 16 pinů. Toto řešení je vhodnější také z pohledu součástek, protože každé pouzdro použité integrovaného obvodu LM358

obsahuje dva operační zesilovače a tudíž bychom při realizaci tří analogových výstupů měli jeden nevyužitý.

Vstupy řídicího systému jsou realizovány pomocí 8bitového paralelně-sériového posuvného registru 74HC165D. Princip je takový, že každý ze vstupů tohoto registru je připojen na vstup systému. Mezi tyto části je přidáno několik obvodových prvků, mezi které patří signalizační dioda, přepěťová ochrana, jejímž základem je zenerova dioda s referenčním napětím  $U_{ref} = 5,1 \text{ V}$ , a další prvky upravující signál ze vstupu do potřebného tvaru pro posuvný registr. Z registru dále míří jeden výstup přímo do FPGA. Registr je synchronizován hodinovým cyklem celého obvodu.

Základ výstupů tvoří výkonové tranzistory FZT705, které spínají vždy příslušný výstup. Každý výstup je vybaven LED diodou, abychom mohli vizuálně ověřit, zda je výstup aktivní. Výstupní obvody také obsahují obvod pro ochranu proti přetížení. Ve chvíli, kdy k takovému přetížení dojde, se obvod zachová jako proudový zdroj, který udržuje stálý maximální proud, aby byly výstupní obvody ochráněny a nadproud se na ně nedostal. Nadbytečný proud je uzemněn. Tento stav není ovšem možné udržovat příliš dlouho, proto obvod pomocí signálu varuje FPGA, že k takovému přetížení došlo. FPGA obvody následně odpojí od napájecího napětí, aby je ochránil.

Princip analogových výstupů je založen na PWM. Tento signál je přiveden z výstupu FPGA na integrační článek, na jehož výstupu je součin střídavé amplitudy tohoto signálu. Nakonec je signál zesílen operačním zesilovačem zařazeným těsně před samotný výstup ze systému.

### **3.1.7 Paměti**

Také nesmí chybět zmínka o pracovních prostorech, které hradlové pole využívá. Tyto paměti jsou 4. První je konfigurační paměť pro hradlové pole a je to právě ta paměť, ve které je uložena konfigurace pole na mikroprocesor. Tato FLASH paměť je přímo od firmy Xilinx pro účely konfigurace jejich FPGA s označením XCF01F. Velikost této paměti je 1 Mbit a její využití následuje vždy po spuštění systému, kdy do hradlového pole nahraje již zmíněnou konfiguraci.

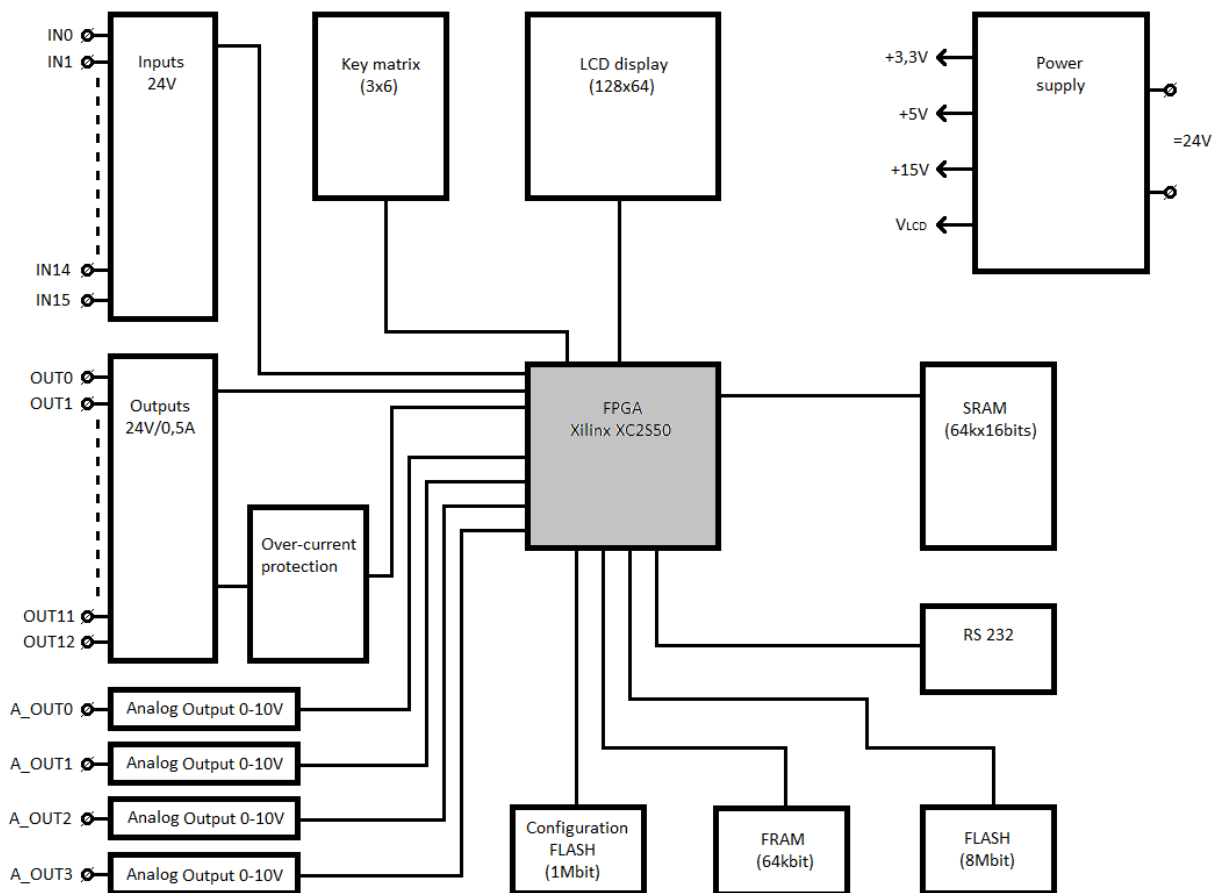
Další paměť typu FLASH nese označení SST25LF080A a je použita jako paměť pro uchování programu, který už řídí celý systém a všechny periferie, neboli hlavní program. Tato sériová paměť o velikosti 8 Mbit funguje pouze jako úložiště pro tento program. Po zapnutí systému a nakopírování konfiguračních dat je totiž obsah této

paměti přepokopírován do paměti SRAM. S touto pamětí o velikosti 65536 slov po 16 bitech, neboli 1 Mbit, pracuje hradlové pole po celou dobu běhu programu. Důvod zařazení této paměti spočívá v její rychlosti distribuce dat. Její označení je IS61LV6416 [6].

Poslední z řady pamětí je paměť FRAM, která dokáže držet informace bez napájení a navíc se řadí mezi rychlejší typy pamětí. Z tohoto důvodu je použita pro ukládání všech proměnných, které v programu používáme. Její velikost je 64 kbit a označení FM24CL64.

### 3.1.8 Blokové schéma systému

Všechny periferie celého systému jsme si popsali. Na závěr pro úplnou přehlednost se ještě na obrázku podíváme na blokové schéma celého systému. Pro úplnost však ještě dodáme, že programování FPGA probíhá pomocí sériové linky RS232, které je na schématu také zakreslena jako samostatný blok.



Obr. 13 Blokové schéma řídicího systému



## 4 Programování

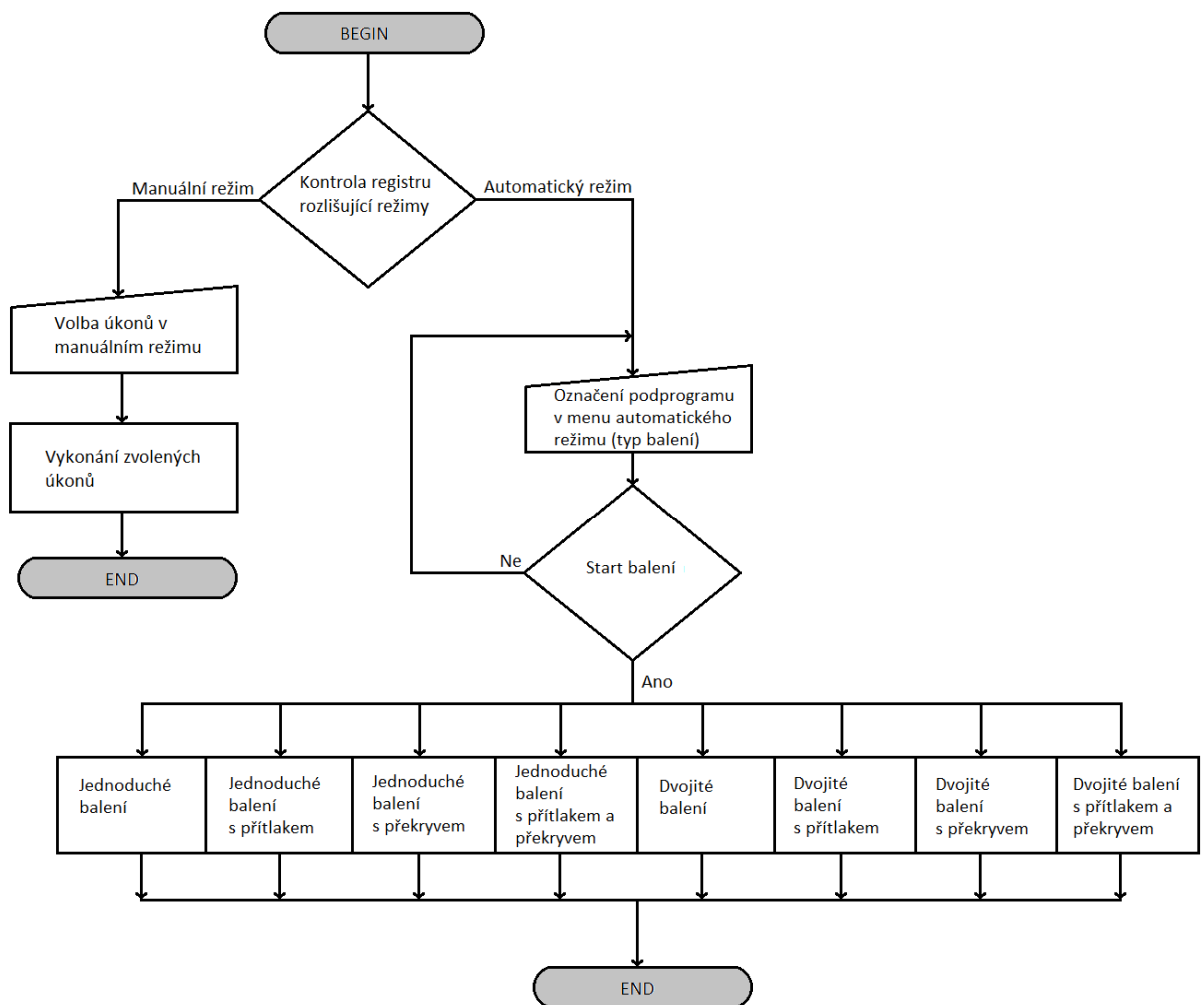
Od hardwarové části systému se dostáváme k softwaru. Ten lze rozdělit na dvě části, první je nakonfigurování hradlového pole tak, aby mělo námi požadovanou strukturu, o čemž padla zmínka v souvislosti s konfigurační pamětí. Jako důležitou poznámku musím nyní uvést, že většina výrobců mikroprocesorů má také tzv. IP core ke svým výrobkům. Tento IP core je vytvořený soubor pomocí jazyka VHDL a jeho nahráním do hradlového pole upravíme jeho strukturu tak, jak je v IP core definováno. Tato struktura může mít samozřejmě jakoukoliv podobu. V naší aplikaci bylo však výhodné použít procesor, jaký není běžně k sehnání. Využili jsme tedy tu výhodu, kterou FPGA nabízí, a procesor jsme vytvořili sami. Jeho základ tvoří klasický mikroprocesor řady 51, ale je do značné míry upravený podle našich potřeb. Zejména jde o počty vstupních a výstupních bran a jejich úpravy, aby vyhovovaly více účelům, kterým mají sloužit. Také byly přidány některé funkce jako rotace a maskování a v poslední řadě také D/A převodník.

Ve chvíli, kdy je FPGA takto nakonfigurováno, lze k němu přistupovat jako k tradičnímu mikroprocesoru. To je pro nás v tuto chvíli velice podstatné, protože ho lze naprogramovat pomocí jazyka C nebo jazyka symbolických adres (assembler). Ke kompilaci tohoto programu byl využit překladač od firmy KEIL. Tím se dostáváme k druhé části softwaru. Lze ji rozdělit na další dvě části. První je ta, která řídí celý balicí cyklus a přímo pracuje s akčními členy a veškerou senzoricou. Druhá pak pracuje s klávesnicí a displejem, vytváří tak uživatelské prostředí pro ovládání celého stroje. Její úkol je zprostředkovávat nastavení parametrů balení a další informace o stroji.

Měl bych zde ještě uvést, že části programů psané v assembleru jsou funkce ovládající paměť, displej, systém nebo i funkce pro převod řetězců. Samozřejmě by bylo snazší tyto funkce napsat pomocí jazyka C, ale je potřeba zajistit dostatečnou rychlost a přesnost těchto funkcí. Assembler oproti jazyku C je blíže strojovému kódu a proto i překlad z assembleru proběhne přesněji. Výsledkem je jednodušší kód, a tím pádem je i celý děj rychlejší a přesnější.

### 4.1 Balicí cyklus

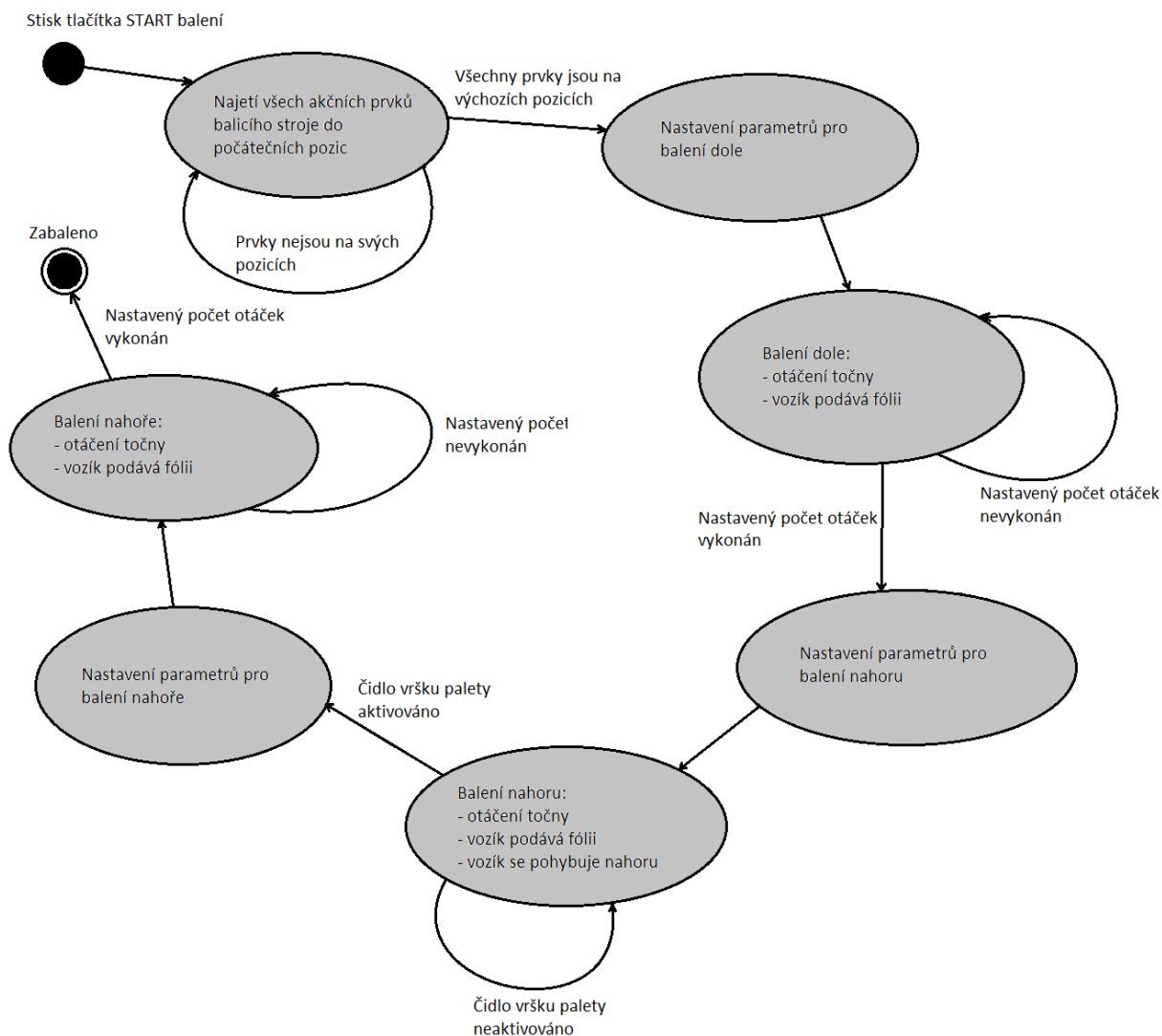
Jak už bylo řečeno, softwarová část se dělí na několik částí. Pojdme se podívat na tu, která řídí vlastní chod stroje. Co konkrétně tato část obstarává je vidět z blokového schématu, jak je na obr. 14.



Obr. 14 Blokové schéma programu ovládání balicího stroje

Schéma představuje způsob, jakým je vytvořen program, který má 2 základní módy. Mód, ve kterém se stroj nachází, určuje registr nazvaný SMODE, který se mění v závislosti na stisku tlačítka pro přepínání mezi režimy. První z módů je manuální režim, ten má za úkol ovládat jednotlivé prvky balicího stroje samostatně. V důsledku je význam takový, že obsluha stroje může pootočit točnou, popojet vozíkem s fólií nebo takovýmto způsobem postupně manuálně zabalit paletu s nějakým specifickým zbožím. Automatický režim oproti tomu obstará celé zabalení zboží sám, je pouze nutné vybrat typ balicího cyklu, který chceme použít. Všechny druhy těchto cyklů jsou zapsané přímo v blokovém schématu.

Z cyklů automatického režimu jsem vybral jeden, jednoduché balení, který předvedu v detailnějším blokovém rozboru.



Obr. 15 Blokové schéma programu jednoduchého balicího cyklu

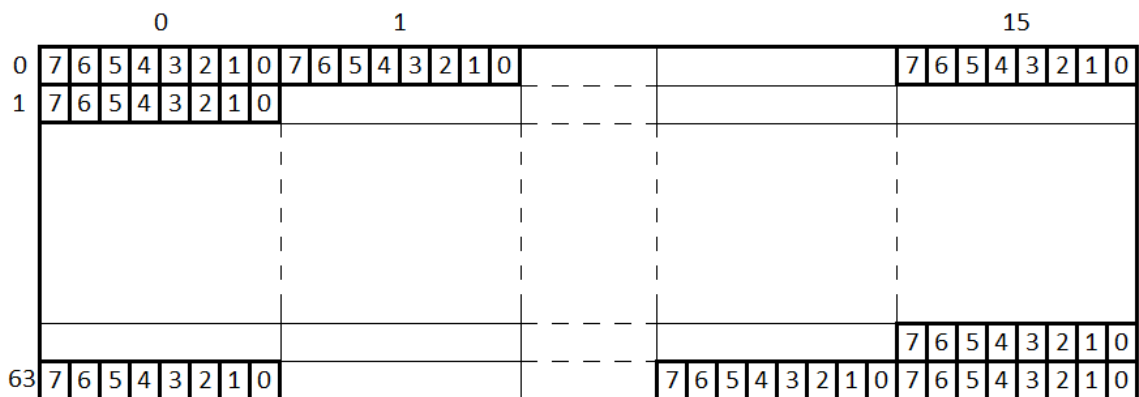
Hradlové pole v případě samotného programového balení pracuje jako sekvenční automat. Struktura programu se pořád opakuje podle stejného schématu. Program načte proměnné z registru nastavených parametrů a podle nich poté nastaví příslušné hodnoty na výstupech akčních členů. Tento automat aplikujeme na všechny druhy balení pouze s přidáním dalších části balicího cyklu. Např. u balení dvojitého je přidáno navíc oproti balení jednoduchému balení dolu a balení dole, vždy s příslušným nastavením parametrů.

## 4.2 Zpracování displeje

Zvolený monochromatický neboli jednobarevný displej s rozlišením 64×128 pixelů nese označení GDM12864A. U displeje byla provedena jednoduchá úprava

a bylo k němu přidáno teplotní čidlo. Důvod k tomuto kroku vychází přímo z principu těchto displejů, kdy při změně teploty dochází ke změnám kontrastu. Pomocí tohoto teplotního čidla můžeme teplotu kontrolovat a kontrast podle ní programově upravovat.

Jelikož je displej monochromatický, stačí každému jednomu pixelu přiřadit jeden bit paměti. Pixely na displeji jsou reprezentovány pamětí tak, že každý řádek pixelů displeje je rozdělen na 16 paměťových bytů, přičemž máme 64 řádků. Pro lepší představu lze vidět toto rozdělení na obr. 16.



Obr. 16 Rozložení paměti pro displej

Celé ploše displeje tedy odpovídá prostor v paměti. Obsah této paměti o velikosti 1 kB je vykreslován na displej.

### 4.3 Programování displeje

Protože v práci navrhuji vzhled obrazovek displeje, je také důležité si říci, jak jsem s displejem pracoval a jaké nástroje jsem měl k dispozici pro usnadnění práce s ním. V předcházející kapitole jsme si ukázali, jak vypadá rozložení paměti pro displej. S tímto rozložením nám ale také vzniká komplikace. Jde o to, že např. při vykreslování textu dochází k překrytí znaku přes dva byty. Problém vzniká mezi sousedícími byty v různých sloupcích. Znak, který by byl na rozhraní těchto bytů, by se zobrazil správně na konci prvního bytu, ale zároveň nesprávně na konci druhého bytu. Je proto nutné pracovat se znakem pro každý byte zvlášť. U prvního bytu, kde je znak zobrazený správně, pouze musíme zamaskovat nepotřebné pixely, které přes tento byte přetékají, aby se nevhodně nekopírovaly do jiného, nesprávného, bytu. Pro druhý byte musíme opět zamaskovat nepotřebné pixely ze znaku, které jsou již zobrazeny v předchozím

bytu, a zároveň ho rotovat o tolik bitů, kolik je potřeba, aby se dostal na správnou pozici na displeji. V tuto chvíli jsem využil výhodu použití FPGA a konkrétně tu, že byly přidány některé další funkce, mezi které rotace a maskování bitů patří. V případě, kdy se znak nepřekrývá přes dva byty, ale nachází pouze v rámci jednoho bytu, využijeme rotaci opět k dostání znaku na požadované místo. Další takovou funkcí je pointer do video RAM, jehož výhoda oproti klasickému pointeru je, že po každém zapsání pomocí něj se sám inkrementuje nebo dekrementuje o nastavenou hodnotu v registru VCON. Tyto funkce celý proces zapisování do paměti displeje velice urychlí.

Okrajově ještě zmíním, že jsem pracoval se znakovou sadou zvanou kód Kamenických, která obsahuje všechny znaky češtiny a slovenštiny. To je výhodné zejména proto, že systém oba jazyky obsahuje, a není tedy nutné do znakové sady nějakým způsobem zasahovat pro přidání dalších znaků. Poslední poznámka k textu se týká jeho zarovnání. To může být problém, protože znaky nemají konstantní šířku. Musíme tedy využít funkce *GetCharWidth* a *GetTextWidth* pro zjištění délky znaku nebo textového řetězce. Pak už text nebo znak zarovnáme snadno.

Další funkce pro usnadnění práce s displejem jsem využíval funkci *Pixel*, která dokáže zobrazit pixel kdekoliv na displeji, podle zadaných souřadnic. Také lze nastavit barvu pixelu, v našem případě pixel svítí (C\_INK) nebo pixel nesvítí (C\_PAPER). Další důležité funkce jsou *FillWin* a *InvWin*, které vytvoří vyplněné obdélníkové okno, respektive invertuje obdélníkové okno. Parametry těchto funkcí jsou vzdálenosti okna od levého, pravého, horního a dolního okraje displeje. V případě první jmenované funkce můžeme navíc zvolit výchozí barvu stejně jako u funkce *Pixel*. Všechny tyto funkce jsou základem tvoření rámečků programových nabídek a výběrových pohyblivých řádků menu. Jako příklad si můžeme uvést rámeček v manuálním režimu, zde pomocí funkce *FillWin(0,0,96,0,C\_PAPER)* vytvoříme nejprve rámeček od levého kraje do čtvrtiny obrazovky a následně použijeme několikrát funkci *Pixel*, k dotvoření zaoblených rohů rámečku.

Dalšími důležitými funkcemi, které je třeba zmínit, jsou *SaveWin* a *RestoreWin*. Tyto funkce slouží k uložení a obnovení zvoleného okna. U funkce *SaveWin* zadáme velikost okna stejně jako u *FillWin* a zároveň určíme místo v bufferu, kam bude okno uloženo. Funkce *RestoreWin* už jen obnoví uložené okno z místa v bufferu, které zadáme. A protože velikost celého displeje respektive paměti zastupující celý displej má velikost 1 kB, je vhodné ukládat pouze velikost okna, kterou požadujeme. Zjištění

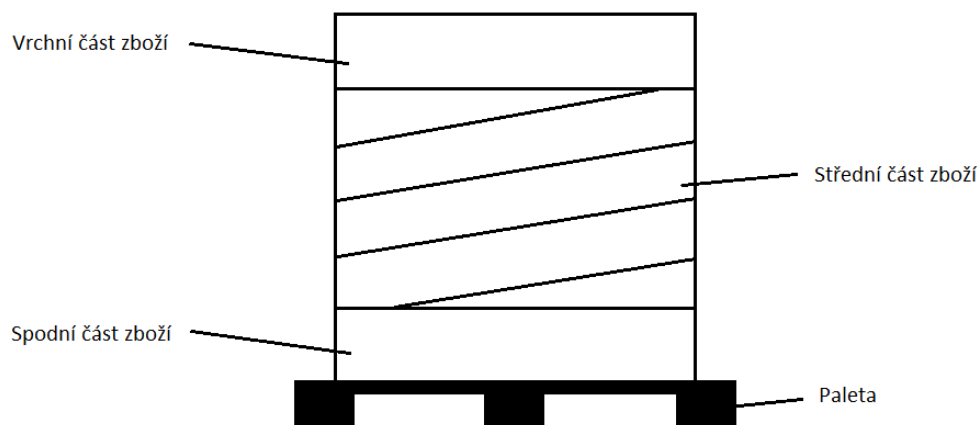
velikosti ukládaného okna nám pomůže makro *WINSIZE*. Poslední funkcí, která byla často používaná k mazání celé obrazovky, je *ClrScr*.

## 5 Úvod ke grafice displeje

Abychom se mohli pustit do vývoje grafického prostředí, je nutné pochopit, jak balení probíhá, jaké parametry balicího stroje nastavujeme a kdy je nastavujeme. Zejména rozsahy těchto parametrů a jakou veličinou jsou zastoupeny. Proto si v další kapitole uvedeme seznam těchto parametrů a celou myšlenku balicího postupu. Všechny podstatné informace o částech balicího stroje již známe z předchozích kapitol o balicím stroji. Tyto poznatky si nyní spojíme s tím, jak chceme, aby je vnímal uživatel balicího stroje skrz uživatelské rozhraní.

### 5.1 Shrnutí nastavitelných parametrů stroje

Abychom měli ucelenou představu, jak parametry pro nastavení používáme, uvedu rozdělení parametrů v tabulce s popisem, co vyjadřují. Pro přesnou orientaci v této tabulce, ale nejprve musím uvést, jak probíhá balicí cyklus. K popisu pomůže obr. 17.



Obr. 17 Významné části palety s naskládaným zbožím

Cyklus balení ve většině případů probíhá od spodní části k horní, obrácený postup je výjimečný a v uvedených případech nebude, proto se jím nebudeme dále zabývat. Celý cyklus tedy začíná tím, že připevníme fólii k paletě, stabilizátor přitlačí zboží z vrchu a balicí stroj začne omotávat spodní část zboží, jak je vidět na obr. 17. Omotávat znamená, že se roztočí točna a vozík začne podávat fólii. V tuto chvíli se

vozik s fólií nepohybuje a zboží je omotané několikrát dokola, abychom zajistili požadovanou stabilitu a pevnost zboží ve spodní části. Ve druhé fázi se začne vozík pohybovat směrem nahoru a zboží je dále bez přestání omotáváno. V této části není nutné použít velkou vrstvu fólie, protože pro dostatečně kvalitní zabalení je nutné obalit zejména spodní a vrchní část zboží. Navíc tímto dokážeme ušetřit část fólie a tím se stane balení o něco ekonomičtější. V poslední, vrchní části, je zboží opět několikrát obaleno dokola, fólie odtržena a stabilizátor s vozíkem odjedou do svých výchozích poloh. Celý tento cyklus se týká tzv. jednoduchého balení. Nyní přejdeme k sadě uživatelem nastavitelných parametrů v tab. 4, kterou jsem vypracoval právě pro jednoduché balení.

Tab. 4 Seznam parametrů pro jednoduché balení

Část balicího cyklu	Parametr	Rozsah parametru	Veličina parametru
Balení ve spodní části	Síla předepnutí	50 – 500	[%]
	Síla brzda	50 – 200	[%]
	Rychlost točny	10 – 100	[%]
	Počet otáček	0 – 35	[ot.]
Balení směrem nahoru	Síla předepnutí	50 – 500	[%]
	Síla brzda	50 – 200	[%]
	Rychlost točny	10 – 100	[%]
	Rychlost pohybu vozíku	10 – 100	[%]
	Přejezd vozíku	0 – 40	[cm]
Balení v horní části	Síla předepnutí	50 – 500	[%]
	Síla brzda	50 – 200	[%]
	Rychlost točny	10 – 100	[%]
	Počet otáček	0 – 35	[ot.]

Parametry uvedené v tabulce nyní postupně rozebereme. V části balicího cyklu, balení ve spodní části, nastavujeme parametr síla předepnutí. Parametr je uvedený

v procentech a vyjadřuje, o kolik % své původní délky bude fólie protažena. Stejně tak další parametr, síla brzdy, je uvedený v procentech. Tento údaj vyjadřuje míru, jakou je změněna délka fólie z vozíku po předeptnutí. Pro lepší pochopení si řekneme, že 100 % znamená žádné další protažení fólie. Protažení 50 % znamená smrštění fólie o polovinu a 200 % protažení na dvojnásobek. Tyto dva parametry, brzda a předeptnutí, jsou nastavovány v každé části balicího cyklu opětovně, protože v průběhu balení se mohou měnit požadavky na ně. Další parametr rychlost točny je také uveden v procentech a neznamena nic jiného, než jakou rychlostí z maximální rychlosti se bude točna pohybovat. Poslední parametr, počet otáček, udává, kolik otáček ve spodním patře má stroj vykonat.

Ve střední části balicího cyklu, jsou první tři parametry shodné. Nový parametr zde je rychlost pohybu vozíku. Opět je vyjádřený v procentech, která znovu určují, jakou rychlostí z maximální rychlosti se bude vozík pohybovat. Dalším novým parametrem je přejezd vozíku. Tím je myšleno přejezd vozíku nad horní hranu zboží, čímž se stanoví výška vrchního patra. Tento údaj je v centimetrech a je důležitý proto, aby fólie byla omotávána svojí částí přes horní hranu zboží a to bylo stahováno k paletě z vrchu. V poslední části balení jsou uvedené parametry stejné jako v prvním úseku.

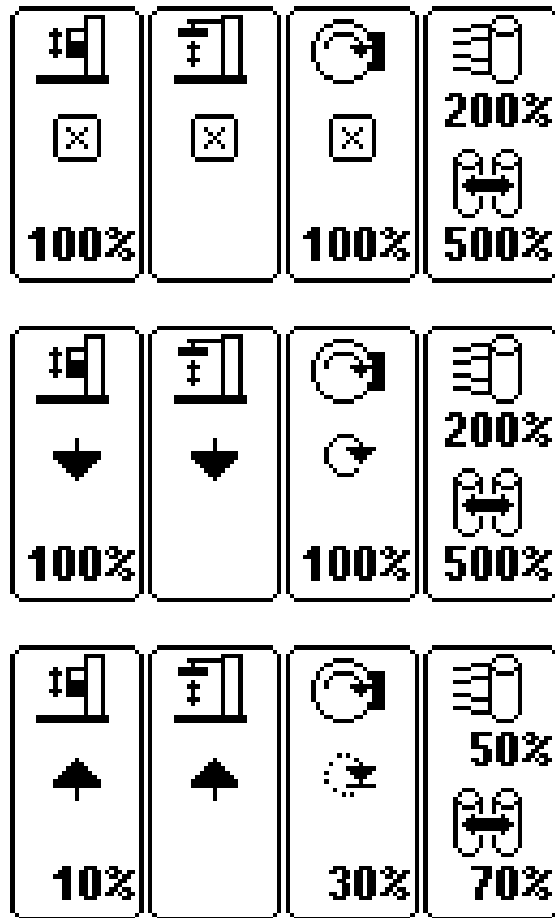
Často se používají další typy balicích cyklů, ale pro pochopení nám postačuje úplně tento nejjednodušší, ve kterém je obsažena většina nastavitelných parametrů. U dalších typů se mění zejména počet fází balicího cyklu. Jako příklad si uvedeme balení dvojitě, které je rozšířené oproti jednouchému v tom, že přibude balení směrem dolů a 2. balení spodního patra zboží.

## **5.2 Grafické prostředí pro manuální režim**

Máme tedy všechny potřebné poznatky o displeji a postupech balení, zbývá tedy jen navrhnout grafiku displeje. Vypracoval jsem tedy pomocí výše uvedených funkcí pro práci s displejem několik návrhů obrazovek jak pro manuální, tak pro automatický režim stroje. Displej zprostředkovává spojení elektronické části stroje s konkrétním nastavením akčních členů a sensoriky. Toto spojení bylo nutné vytvořit tak, aby výsledné uživatelské prostředí se všemi parametry bylo uživatelsky přívětivé. Aby bylo snadno pochopitelné a každý uživatel tohoto stroje se dokázal snadno zorientovat při používání a nastavování stroje. Vysvětlíme si tedy co každý parametr, animace nebo



obrázek znamenají. Nejprve se podíváme na sestavu obrazovek pro manuální režim na obr. 18.



Obr. 18 Návrh obrazovek pro manuální režim

Zaměřme se na první obrazovku na obrázku, ostatní jsou doplňující a pouze dokreslují funkci všech parametrů. Obrazovku jsem rozdělil do 4 sloupců. První 3 mají shodné uspořádání, v horní části je zobrazena ikona, která symbolizuje část baličního stroje, které je sloupec přiřazen. Všimněme si, že tyto ikony jsou totožné s obrázky pod klávesnicí řídicího systému, viz kapitola 3.1.4. Funkce jednotlivých tlačítek pak byla vysvětlena o kapitolu dříve, kapitola 3.1.3. Uživateli je tedy z tohoto uspořádání na první pohled jasné, která tlačítka a část displeje spolupracují. Podle obrázku vidíme, že první sloupec jsem přiřadil k ovládání vozíku s fólií. U vozíku lze nastavit rychlost jeho pohybu a směr pohybu. Jak už víme, rychlost se nastavuje v procentech, kapitola 5.1. Rozsah rychlosti pohybu lze měnit v rozsahu 10 – 100 %, to vidíme na druhé a třetí obrazovce na obrázku 18, kde je v té hornější zobrazena maximální a ve spodní

minimální hodnota. Tímto způsobem jsem také zobrazil ostatní sloupce. Numerický parametr jsem umístil vždy do spodní části sloupce, existuje-li pro danou část stroje. Doprostřed sloupce jsem umístil proměnlivý obrázek symbolizující, jakou činnost příslušná část balicího stroje vykonává. V tomto případě máme tři možnosti, křížek pro nečinnost, šipku dolů pro směr pohybu dolů a opačnou šipku pro pohyb nahoru. Všechny možnosti jsou vidět na obrázku ve stejném pořadí obrazovek, jak byly vyjmenované.

U stabilizátoru zboží, neboli u druhého sloupce obrazovky manuálního režimu rychlost nenastavujeme, pouze směr pohybu s obrazovými ikonami jako v předchozím případě.

Třetí sloupec, točna, nám umožňuje nastavit rychlost točny v hodnotách 30 – 100 % z maximální hodnoty rychlosti. Ikony pro pohyb jsou opět tři, pro nečinnost, pro uvedení točny do pohybu a pro zastavení na orientovaném bodě. Prohlédnout si je opět můžeme sestupně na obrazovkách displeje.

Poslední, čtvrtý sloupec má uspořádání odlišné. Jsou v něm umístěny ikony dvou částí stroje, každá s numerickým parametrem. To jsem provedl tímto způsobem zejména z důvodu úspory místa na displeji. Toto uspořádání můžeme takto provést, protože u těchto parametrů nastavujeme pouze samotné hodnoty bez zobrazení dalšího pohybu. Oba parametry se týkají nastavení napnutí fólie, první, takzvané předeprnutí, se pohybuje v rozmezí 50 – 200 %. Druhá ikona symbolizuje brzdu, tento parametr lze měnit v rozmezí 70 – 500 %.

Tímto ukončíme kapitolu displeje pro manuální ovládání a přesuneme se k automatickému.

### **5.3 Grafické prostředí pro automatický režim**

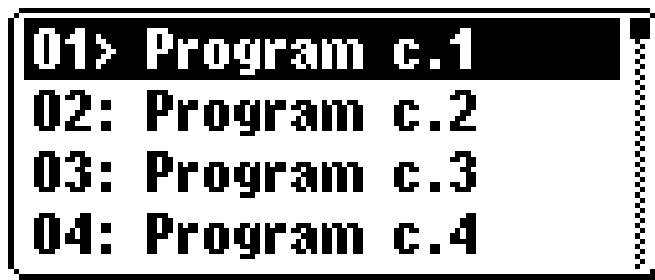
U automatického režimu je třeba si ukázat nejen grafické zpracování obrazovek, ale také uspořádání všech programových menu. Nejdříve však začneme základní obrazovkou automatického režimu na obr. 19.



Obr. 19 Základní obrazovka automatického režimu stroje

Tato základní obrazovka jsem zvolil tak, aby poskytovala základní údaje o připraveném balicím programu. Ve třech řádcích postupně vidíme zobrazený název nebo nějaké jiné uživatelské označení programu, který je aktuálně nastaven jako výchozí. Ve druhém řádku je zapsáno, že se jedná o automatický provoz stroje. Ve chvíli, kdy je stroj uveden do činnosti, se tento text rozeběhne a signalizuje tak právě probíhající balení zboží. Poslední řádek má zase jen informační charakter a ukazuje, který režim balení byl použit pro daný program.

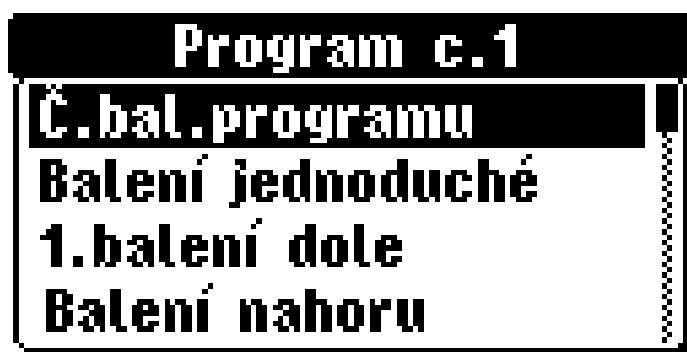
V tuto chvíli vznikl menší problém. Z této základní obrazovky jsem chtěl přistupovat ke třem základním menu systému. Chtěl jsem k nim přistupovat jednotlivě pomocí tlačítek, aby bylo vše co nejjednodušší a nejrychlejší. Žádná tlačítka jsem si však pro tuto funkci nevymezil. Nabízel se druhý způsob, umístit jedno menu pod volnou klávesu FN nebo klávesu OK, kde by vyskočila první nabídka a následně by se vybralo jedno ze tří požadovaných hlavních menu. Tato realizace však měla také jednu vadu. Ze tří zamýšlených menu bylo jedno pro rychlý přístup k programům, tímto řešením by však toto menu pozbylo smyslu. Konečné rozhodnutí bylo přistupovat k několika menu systému pod klávesami 1, 2 a 3, aby se zachovala rychlost a jednoduchost jejich procházení. Pojdme se podívat na jednotlivá menu, začneme s výběrem uživatelských programů pod klávesou 1. Je nutné ještě zmínit, že pohyb v jednotlivých menu se provádí pomocí kurzorových kláves a kláves OK a Esc, pro potvrzení nebo návrat o úroveň zpět.



Obr. 20 Menu výběru uživatelských programů

Tato nabídka na obr. 20 nabízí přehled jednotlivých uživatelských programů, ve kterém vše co můžeme dělat, je výběr toho programu, který chceme použít. Toto menu slouží pro rychlý přístup ke změně už nastavených programů. Kapacita programů je 20 a to, že je program aktivní, je signalizováno ostrou závorkou místo dvojtečky. Po opuštění této nabídky se na základní obrazovce změní název programu na nastavený program a případně se změní i režim balení.

Nyní se dostáváme ke stěžejní nabídce automatického režimu stroje. Je to nabídka, ve které lze nastavit všechny parametry každého konkrétního programu balení. Přístup k tomuto menu je pod klávesou 2 a jeho základní obrazovka je zobrazena na obr. 21.



Obr. 21 Menu nastavení uživatelských programů

V hlavičce tohoto menu je název programu, kterého se nastavení týká. Pak postupně máme na výběr číslo balicího programu, pod kterým se nám rozbalí další menu, kde si můžeme vybrat jiný uživatelský program. V podstatě je toto menu shodné s menu vyvolané klávesou 1 ze základní obrazovky s tím rozdílem, že můžeme změnit i název vybraného programu. V dalším řádku je zobrazeno v našem případě balení

jednoduché. Po jeho potvrzení tlačítkem Ok se dostaneme do dalšího menu, kde si lze vybrat typ balení, který určí strukturu zvoleného programu. Tyto druhy jsou např. balení jednoduché, dvojitě, s přítlakem, s překryvem a další kombinace těchto nastavení. U našeho příkladu je to tedy jednoduchý typ balení.

Podle zvoleného typu balení se upraví další nabídka menu pro nastavení balicího cyklu. Jak bylo zmíněno v kapitole 5.1, každý typ balení má několik úseků, pro které jsou parametry oddělené. Názvy těchto úseků jsou seřazeny postupně podle pořadí provedení do konce tohoto menu. Potvrzením každého z těchto úseků se přeneseme do dalšího menu, přímo na první parametr zvoleného úseku balení. Další menu je zobrazeno na obr. 22 v celé své délce. Můžeme se v něm pohybovat napříč celým spektrem nastavitelných parametrů všech úseků. Tento způsob jsem vymyslel pro urychlení nastavování jednotlivých parametrů.



<b>1. balení dole:</b>	
<b>Předpětí</b>	<b>200%</b>
<b>Brzda</b>	<b>50%</b>
<b>Rychl. točny</b>	<b>100%</b>
<b>Poč. otáček</b>	<b>10</b>
<b>Balení nahoru:</b>	
<b>Předpětí</b>	<b>250%</b>
<b>Brzda</b>	<b>150%</b>
<b>Rychl. točny</b>	<b>100%</b>
<b>Rychl. vozíku</b>	<b>50%</b>
<b>Přejezd vozíku</b>	<b>100cm</b>
<b>1. balení nahore:</b>	
<b>Předpětí</b>	<b>450%</b>
<b>Brzda</b>	<b>150%</b>
<b>Rychl. točny</b>	<b>100%</b>
<b>Poč. otáček</b>	<b>10</b>

Obr. 22 Menu nastavení parametrů uživatelských programů

Poslední z hlavních nabídek se rozbílí stisknutím klávesy 3 na klávesnici opět v hlavním okně automatického režimu. Toto menu zahrnuje položky nastavení celého systému a statistické údaje o balení. V nabídce je celkem 5 položek, které vidíme na obr. 23.



Obr. 23 Menu systémového nastavení

Rozkliknutím položky systém se objeví další menu, v tom lze nastavit přesnou konfiguraci celého balicího stroje. Konkrétně zde nastavujeme, zda je stroj vybaven přítlakem, trhacím zařízením nebo automatickým zařízením pro přidávání překryvu. Dále zde nastavujeme provedení předepínacího zařízení, konkrétně z kolika motorů je sestaveno. Toto nastavení je důležité z toho důvodu, aby správně pracoval hlavní řídicí program. Další položkou je statistika, kde je možné zjistit určité statistické údaje o stroji, jako je např. počet dokončených balicích cyklů rozdělených podle uživatelských programů. Další položkou jsou konstanty. Zde je spousta nastavitelných konstant, které slouží k doladění běhu celého balicího stroje. Lze zde například nastavit maximální a minimální rozsahy hodnot předpětí a brzdy, dojezdovou rychlost točny, místo jejího zastavení, místo odtržení fólie, všechny parametry stojícího stroje a další převodové konstanty. V předposledním řádku menu nastavujeme jazyk, kterým budou všechny texty v systému zobrazené. Na výběr máme ze čtyř možností češtiny, slovenštiny, angličtiny a němčiny. V posledním řádku nalezneme možnost nastavení zámku, kde máme možnost nastavit přístupové heslo právě pro toto menu. To je důležitá vlastnost zejména kvůli tomu, že tato nabídka obsahuje velké množství údajů, jejichž změna by mohla mít za následek nesprávnou funkčnost stroje.

## Závěr

Prvním z cílů této práce bylo zmapování oblasti balicích strojů. To bylo provedeno, jak v širším měřítku celého odvětví balení, tak s užším zaměřením na vertikální balicí stroje, kde byla rovněž uvedena kritéria spojená s výběrem balicího stroje. Zároveň bylo uvedeno malé okénko do minulosti a budoucnosti, ukazující, jak se trh v tomto odvětví vyvíjel a kam směřuje dál (technologie „Stretch hood“).

Stěžejním cílem této práce bylo pak vytvoření řídicího systému pro vertikální balicí stroj, pro jeho nejjednodušší verze až po ty, se všemi dostupnými rozšířeními. Práce ze svého zadání byla zaměřena především na část systému jeho styku s obsluhou. Použití grafického monochromatického displeje s rozlišením 128×64 pixelů se ukázalo jako plně vyhovující. Výsledné programové nabídky jsou přehledné a u manuálního režimu se povedlo miniaturami jednotlivých částí vizuálně propojit klávesnici s displejem, potažmo s celým balicím strojem. Uspořádání klávesnice (3×6 kláves) se také ukázalo jako velice vhodné i přes drobnější potíže při volbě vyvolávání jednotlivých menu. Celkově jsme získali přehledné uživatelské rozhraní s využitím veškerého prostoru na ovládacím panelu tak, jak bylo požadováno.

V další části diplomové práce bylo předvedeno blokové schéma řídicího programu, ze kterého je zejména vidět způsob rozdělení programu na část manuálního a automatického režimu balicího stroje. Automatický režim je vyžadovaný většinou zákazníků, proto jeho realizace byla nutností. Oproti tomu manuální režim můžeme požadovat jako menší, ale ne zanedbatelnou konkurenční výhodu. Tato část pokračuje realizací jednoho z režimů balení pro automatický režim zpracovanou jako sekvenční automat. Toho a dalších urychlení zpracování grafických operací bylo dosaženo díky vlastnostem řídicí jednotky systému respektive hradlového pole Xilinx XC2S.

Celý systém byl realizován, úspěšně odzkoušen a vyladěn na všech typech balicích strojů, které nabízí řada BS1B. Jeho pořizovací cenu se podařilo stlačit na částku okolo 12 000 Kč. Tím se stává výhodnějším systémem než univerzální řídicí systémy, které jsou většinou dražší a navíc je potřeba dokoupit zvlášť displej a analogové výstupy. Po technické stránce lze konstatovat, že je systém kvalitní. Po ekonomické stránce lze říci, že dosáhl také dobrých výsledků, ale s drobnou poznámkou. Někteří zákazníci dávají přednost ceně výrobku před komfortním ovládním stroje. Bylo by tedy vhodné vytvořit jednodušší systém bez displeje a velké klávesnice tak, aby se staral pouze o kvalitní zabalení zboží a disponoval nižší cenou.

## Seznam použité literatury

- [1] Autor: Lantech. Název stránky: Lantech.com.  
URL: < <http://www.lantech.com/about/evolution.aspx> >
- [2] Autor: Sinogon. Název stránky: China stretch wrapper. Datum publikování:  
6. duben. 2010. URL < <http://www.sinogon.com/a/en/news/20100406/48.html> >
- [3] Autor: N.E.S.P.I.. Název stránky: FEIFER – páskovací stroje, balicí linky a obaly. URL: < <http://www.feifer.cz/116-strojni-horizontalni.html> >
- [4] Autor: Schneider Electric. Název stránky: Schneider Electric Česká republika – Specialista v ovládání energie. Datum publikování: duben 2002.  
URL: < <http://www.schneider-electric.com/site/home/index.cfm/cz/> >
- [5] Autor: Ing. Jan Pech. Název stránky: Programovatelné logické obvody.  
URL: <<http://fpga.sweb.cz/>>
- [6] Autor: Integrated Silicon Solution, Inc. Název publikace:  
Datasheet IS61LV6416. Datum Vydání: 18. červen 2003. Počet stran: 16.
- [7] Autor: Intech LCD Group. Název publikace: User's guide GMD12864A LCM.  
Datum vydání: 1998. Počet stran: 22.
- [8] Autor: Ing. Daniel Maxa, Ph.D. Název stránky: Petroleum.cz, Lineární nízkohustotní polyetylen.  
URL: < <http://www.petroleum.cz/vyrobky/lldpe.aspx> >
- [9] Autor: ZKM. Název publikace: Výkresy BS1B. Datum vydání 2010.  
Počet stran: 138
- [10] Autor: Mgr. Rostislav Fojtík. Název publikace: Programování v C.  
Datum Vydání: 2004. Počet stran: 102.
- [11] Autor: Xilinx. Název publikace: Spartan-II 2.5V FPGA Family: Complete Data Sheet. Datum vydání: 3. Zář 2003. Počet stran: 99.