



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

MODERNIZACE MALOSÉRIOVÉ VÝROBNÍ LINKY

SMALL-LOT PRODUCTION LINE MODERNIZE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Marek Havlena

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Daniel Zuth, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav automatizace a informatiky
Student: **Bc. Marek Havlena**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Aplikovaná informatika a řízení
Vedoucí práce: **Ing. Daniel Zuth, Ph.D.**
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Modernizace malosériové výrobní linky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se bude zabývat modernizací výrobní linky pro malosériovou výrobu. Jako řídicí jednotka bude využit 8bitový mikrokontrolér. Kromě teoretického rozboru bude součástí práce i ověření funkčnosti navrženého zařízení. Práce je součástí projektu - Aplikovaná informatika a řízení FSI-S-14-2533.

Cíle diplomové práce:

1. Proved'te teoretický rozbor problematiky
2. Vyberte a popište vhodnou řídicí jednotku
3. Vyberte a popište vhodné prvky
4. Realizujte navrhované řešení a popište jednotlivé bloky
5. Demonstrujte funkčnost Vámi navrženého řešení (video/foto dokumentace)

Seznam literatury:

Matoušek, D. (2006): Práce s mikrokontroléry Atmel AVR. BEN. Praha

Matoušek, D. (2010): Programování mikrokontrolérů s jádrem 8051 v jazyce C. BEN, Praha.

Novák, P. (2005): Mobilní roboty - pohony, senzory, řízení. BEN, Praha.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Roupec, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem a modernizací ovládání výrobní linky pro malosériovou výrobu různých druhů plastových výrobků. Jako řídicí jednotka bude využíván 8bitový mikrokontrolér ATmega128. Dále se zabývá návrhem potřebné elektroniky k řízení linky pomocí vhodných prvků a potřebného programového řešení.

ABSTRACT

This Master's thesis is dedicated to the design and modernization of the control of production line for the small-lot production of various plastic products. As a control unit will be used 8-bit microcontroller ATmega128. This thesis also deals with design of the needful electronics to control the production line by using appropriate elements and necessary software solution.

KLÍČOVÁ SLOVA

Mikrokontrolér, ATmega 128, výrobní linka, plasty, pneumatické členy, řídicí jednotka

KEYWORDS

Microcontroller, ATmega128, production line, plastics, pneumatic devices, control unit

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HAVLENA, M. *Modernizace malosériové výrobní linky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 87 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Daniel Zuth, Ph.D..

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval panu Ing. Danielu Zuthovi, Ph.D., vedoucímu mé diplomové práce, za cenné rady, připomínky a pomoc během zpracování diplomové práce.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 26. 5. 2016

.....

Havlena Marek

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	MIKROKONTROLÉRY.....	17
2.1	Řady mikrokontrolérů Atmel AVR.....	17
2.2	Architektura AVR	19
2.3	Periferie	20
2.4	I/O porty	23
2.5	Přerušovací systém.....	24
3	VÝROBNÍ LINKY NA PLASTY	25
3.1	Technologie vytlačování	27
3.1.1	Popis šneku a jeho geometrie.....	29
3.1.2	Vytlačovací hlavy	30
3.1.3	Druhy vytlačovacích výrobních linek	31
3.2	Technologie vyfukování.....	34
3.2.1	Vstřikovací vyfukování	34
3.2.2	Vytlačovací vyfukování.....	35
4	ZPRACOVATELSKÉ VLASTNOSTI PLASTŮ.....	37
4.1	Příprava a rozdělení plastů	37
4.2	Molekulární struktura plastů	39
4.3	Termodynamické vlastnosti plastů.....	40
5	POPIS POUŽITÝCH PRVKŮ.....	43
5.1	Spínaný zdroj	43
5.2	Mikrokontrolér ATmega128	45
5.2.1	Vlastnosti základové desky	46
5.2.2	UniProg-USB - universální programátor.....	47
5.3	Optočleny	48
5.4	Schmittův klopný obvod	50
5.5	Alfanumerický LCD displej	51
5.6	Pneumatické prvky.....	52
5.6.1	Základní pneumatický obvod	52
5.6.2	Elektromagnetické ventily	53
5.6.3	Pneumatické válce.....	55
5.6.4	Kompresor	56
6	MODERNIZACE OVLÁDACÍ JEDNOTKY	59
6.1	Modul řídicí desky vstupů a výstupů	61
6.2	Modul displeje menu.....	64
6.3	Modul reléových výstupů.....	66
6.4	Návrh panelu ovládací jednotky.....	68
7	PROGRAM ŘÍZENÍ VÝROBNÍ LINKY.....	71
7.1	Inicializace	71
7.2	Ovládací menu	73
7.3	Řídicí program výroby	74
8	ZHODNOCENÍ.....	81
9	ZÁVĚR.....	83

10	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	85
11	SEZNAM PŘÍLOH	87

1 ÚVOD

Hromadné zavádění strojů do výroby začalo v 18. století během 1. průmyslové revoluce, kde byly nahrazovány manufaktury továrnami. Během 2. průmyslové revoluce na konci 19. a počátkem 20. století se začali objevovat první výrobní linky a začínala hromadná sériová výroba. Ta je již v dnešní době automatizována a využívána téměř ve všech odvětvích výroby a ne jen tam. Automatizací výrobních procesů dochází k zefektivnění výroby, zjednodušení fyzické práce, a tím zásadním způsobem eliminuje selhání lidského faktoru. Mimo jiné také dochází k ekonomickým a provozním úsporám nákladů, a tím i ke zvýšení zisků a produktivity. Proto je tedy vhodné starší výrobní linky modernizovat a automatizovat.[33]

Diplomová práce se zabývá návrhem řízení výrobní linky pro lisování a vyfukování plastových výrobků. Výrobní stroj je z roku 1996 a k řízení využívá RS klopné obvody a TTL logiku. Práce konkrétně řeší modernizaci jejího řízení, které se skládá ze dvou částí, resp. dvou režimů ovládání. Prvním z nich je manuální ovládání, tedy řízení pomocí tlačítek na ovládacím panelu. Druhým je automatizovaný režim řízený mikrokontrolérem ATmega128. Konkrétně základovou deskou, která je osazena tímto mikrokontrolérem. Výrobní stroj bude po modernizaci připojen k vytlačovacímu stroji (extrudéru), se kterým bude tvořit výrobní linku. Ta bude vyrábět lisované plastové výrobky z polypropylenu a PVC.

V práci budou nejdříve popsány základní technologie výroby různých druhů plastových výrobků a také příslušné druhy výrobních linek. Zejména se zaměřením na vytlačovací linky, jelikož i tato linka bude obsahovat vytlačovací stroj (extrudér). Poté budou popsány mikrokontroléry. Konkrétně mikrokontroléry od firmy Atmel. Jeden z nich bude využit jako řídicí jednotka, konkrétně mikrokontrolér řady ATmega128. Dále budou popsány členy, které budou využívány. O napájení řídicí jednotky, příslušných obvodů a tlačítek, se postará spínaný zdroj. Vstupy i výstupy budou galvanicky odděleny optočleny. Na vstupu budou i Schmittovy klopné obvody pro zajištění jednoznačné logické úrovně. Na výstupu za optočleny budou tranzistory, které spínají relé, a ty spínají 110V na elektromagnetické cívky pneumatických ventilů ovládající pojezdy, nůž a vyfukovací trny. Deska s relé bude připojena k řídicí desce jako modul z důvodů možného budoucího vylepšování zařízení.

Ovládací panel bude uvnitř obsahovat spínaný zdroj, modul reléových výstupů, řídicí desky vstupů a výstupů, displeje menu s tlačítky (ovládací menu linky) a řídicí jednotku. Příslušnými tlačítky se bude na displeji volit program řízení výroby jednotlivých výrobků. Panel bude obsahovat i tlačítka pro manuální ovládání pojezdů, vypnutí či zapnutí ATmegy, spínaného zdroje, tlačítek pro pojezdy, a také tlačítka pro START a STOP.

Modernizovaná výrobní linka bude vyrábět různé druhy výrobků. Na posuvných pístech jsou umístěny desky, na kterých jsou přidělané 4 formy, ve kterých se vyfukuje příslušný výrobek. Tyto formy se dají měnit podle druhu výrobků a použitého materiálu. Výrobní linka pracuje tak, že vždy do dvou forem vytéká z dvojité hlavy extrudéru polypropylenová tavenina plastu ve tvaru trubky (dále jen tavenina plastu) o teplotě 210°C až 230°C, anebo tavenina plastu z PVC o teplotě kolem 150°C. Jakmile nateče do celé formy, tak se forma uzavře, nůž uřízne trubku nad ní a celý stroj odjede pryč a k hlavě přijede druhá dvojice forem. Do nich začne opět natékat tavenina plastu. Do již uzavřených forem vjedou mezitím vyfukovací trny,

čímž uzavřou a utěsní celou formu. Přes ně je dovnitř vháněn kompresorem studený vzduch, který formu vyfukuje a zároveň i přichlazuje. Doba natékání a doba chlazení musí být stejná, tudíž musí být rychlost vytékání taveniny synchronizována s dobou potřebnou k uchlazení výrobku. Mimo jiné je i do forem vháněna studená voda, která je ochlazuje a tím i chladí vyfukovaný výrobek. Jakmile nateče tavenina plastu ve tvaru trubky do druhé dvojice forem, tak trny z první dvojice vyjedou ven, druhá dvojice forem se uzavře, a tím se otevře první dvojice, ze které vypadnou již hotové výrobky. Celý stroj poté přijíždí zpět k hlavě, aby do první dvojice mohla natékat tavenina plastu. Do druhé dvojice uzavřených forem najede druhá dvojice trnů, které formu utěsní a začnou vyfukovat další výrobky. Tento proces se pořád dokola opakuje.

2 MIKROKONTROLÉRY

První mikroprocesor na světě vyvinula americká firma Intel v roce 1971 s kódovým označením Intel 4004 a byl 4bitový. O půl roku později Intel vydal již 8 bitový mikroprocesor Intel 8008 a vývoj dále postupoval velmi rychle až k dnešním více jádrovým procesorům. My se zde zaměříme konkrétně na mikrokontroléry, ale nejdříve si řekneme, co to vůbec takový mikrokontrolér je.

Mikrokontroléry (MCU) jsou také označovány jako jednočipové mikropočítače. Obsahují totiž v jediném pouzdře všechny jejich podstatné části, kterými jsou: řadič, ALU, paměť programu (typu EPROM nebo Flash), paměť dat (typu R/W, např. EEPROM) a periferní obvody pro vstup/výstup dat. A navíc ještě obsahují další obvody, kterými se liší od jednočipových mikropočítačů, např. čítače/časovače, A/D a D/A převodníky, komparátor, synchronní sériový port, USB, generátor hodinového signálu, PWM modulátor, řadiče přerušení a další.

Mikrokontroléry se vyrábí v širokém sortimentu výkonů a velikostí, a proto je také nalezneme téměř ve všech dnešních moderních elektronických přístrojích. Obvykle se používají pro tzv. embedded (vestavěné) aplikace. Své místo naleznou nejen v systémech, kde je třeba složité řízení nebo ovládání, ale rovněž i v např. dálkových ovladačích, k řízení různých částí automobilů, v přenosných lékařských přístrojích, měřicích přístrojích, mp3 přehrávačích, televizích, mobilních telefonech, robotech, jako řídicí jednotky apod. Jejich největší výhodou použití je, že dokáží nahradit velké množství logických a integrovaných obvodů a to díky různým perifériím, které již v mikrokontroléru jsou integrovány. Tím je možné nejen snížit náklady, ale i navrhnout přívětivější rozhraní nebo implementovat funkce, díky kterým se zvýší komfort celého zařízení. Rovněž také můžeme celé zařízení zdokonalovat pouhou změnou programu, aniž by bylo nutné zasahovat do konstrukce celého zařízení.

V současné době jsou, mimo jiné, nejrozšířenější mikrokontroléry firmy ATMEL rodiny AVR, jenž jsou nejmladšími na poli mikrokontrolérů, a jeden z nich také bude využit k řízení výrobní linky, a proto zde bude blíže popsána jejich architektura a periferie.

2.1 Řady mikroprocesorů Atmel AVR

Atmel vyrábí 4 základní řady 8-bitových až 32bitových mikrokontrolérů AVR:

8-bit tinyAVR MCU

- 0.5 - 16kB Flash
- 6 - 32 pinů
- Frekvence až do 20 Mhz
- Využití: obecné použití, základní ovládání motoru, osvětlení
- Technologie: QTouch, EEPROM, 0.7V operations, Self-programming

megaAVR MCU

- 4 - 265KB Flash
- 28 - 100 pinů
- Frekvence až do 20 Mhz
- Aplikace: obecné použití, osvětlení, LCD
- Technologie: QTouch, PTC (Peripheral Touch Controller), picoPower, SleepWalking, EEPROM, Self-programming

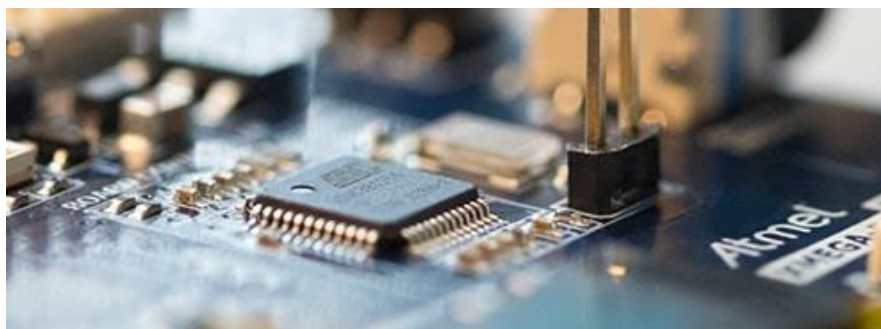
AVR XMEGA MCU

- 8 - 384 KB Flash
- 32 - 100 pinů
- Frekvence až do 32 Mhz
- Aplikace: obecné použití, osvětlení, LCD
- Technologie: picoPower, SleepWalking, DMA, Event System, EEPROM, Self-programming

32-bit AVR UC3

- 16 - 512 KB Flash
- 48 - 144 pinů
- Frekvence až do 66 Mhz
- Aplikace: obecné použití
- Technologie: picoPower, SleepWalking, DMA, Event System, EEPROM, Self-programming

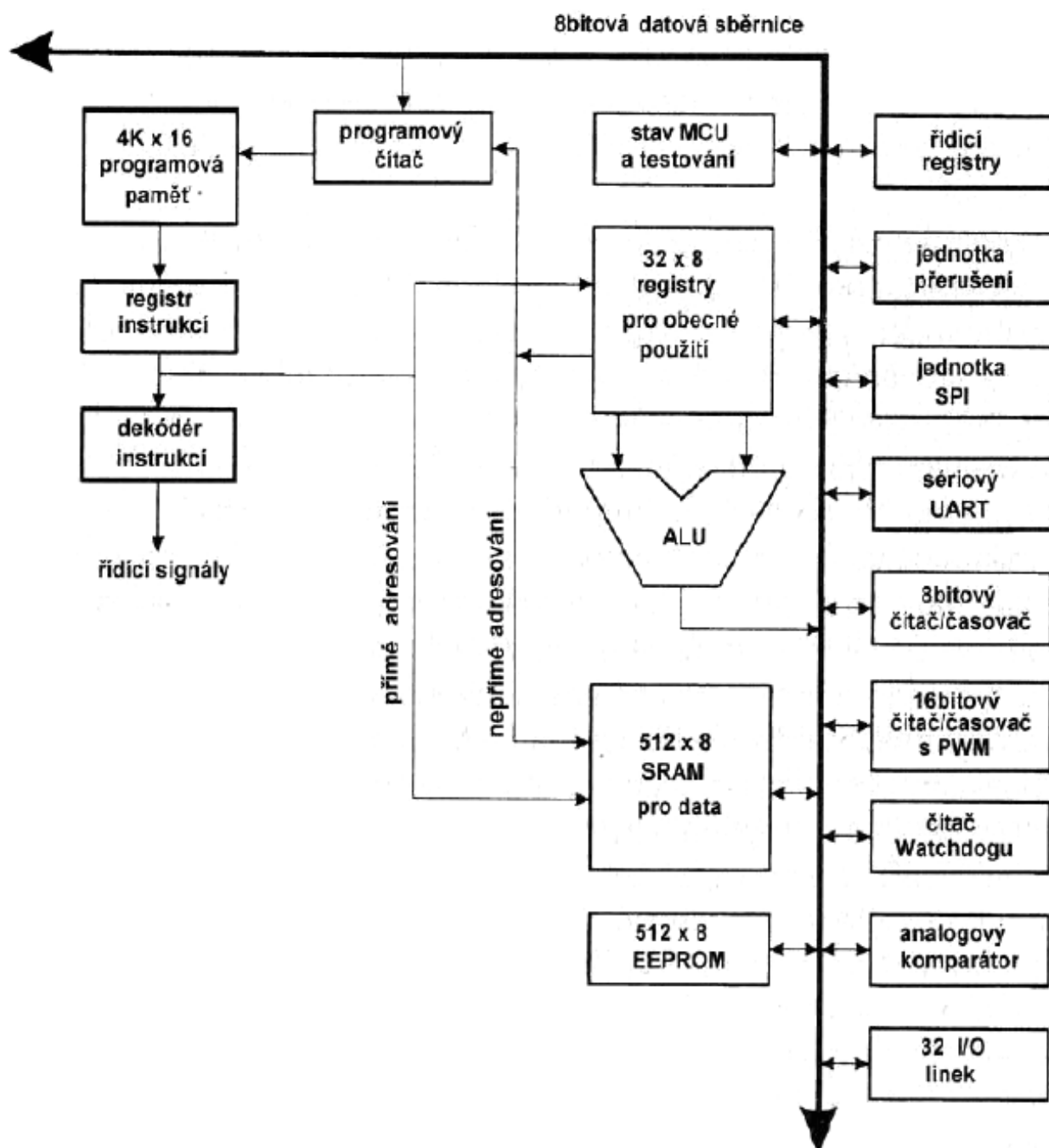
Více informací na [3].



Obr. 1 AVR XMEGA MCU firmy Atmel [3]

2.2 Architektura AVR

Hlavní funkcí jádra CPU je zajištění správného provádění programu. CPU tedy musí mít přístup k pamětem, provádět výpočty, kontrolovat periferie a zpracovávat přerušení. Základní architekturu Atmel AVR je na Obr. 2.



Obr. 2 Blokové schéma AVR architektury [2]

Za účelem maximalizace výkonu a paralelismu využívá AVR Harvardskou architekturu s oddělenými paměťmi pro program a pro data. Instrukce v programové paměti jsou prováděny jedinou úrovní zřetězení. Zatímco jedna instrukce se provádí, další je přednačítána z paměti programu. Takle koncepce umožňuje, aby byly instrukce provedeny v každém hodinovém cyklu. Program je uložen v přepisovatelné Flash paměti.

Soubor registrů rychlého přístupu obsahuje 32 8-bitových pracovních registrů pro obecné použití. K přístupu k těmto registrům stačí jen jeden hodinový cyklus. Tyto registry jsou propojeny s ALU (Arithmetic Logic Unit), a díky tomu se během jednoho hodinového cyklu provede jedna ALU operace. To znamená, že se načtou 2 operandy z registru, provede se operace a výsledek se zapíše zpátky do registru. Šest z 32 registrů lze použít jako tři 16-bitové ukazatele pro nepřímé adresování paměti dat.

ALU podporuje aritmetickologické operace mezi registry nebo mezi konstantou a registrem a také operace s jediným registrem. Po aritmetické operaci je stavový registr aktualizován informací o výsledku operace.

2.3 Periferie

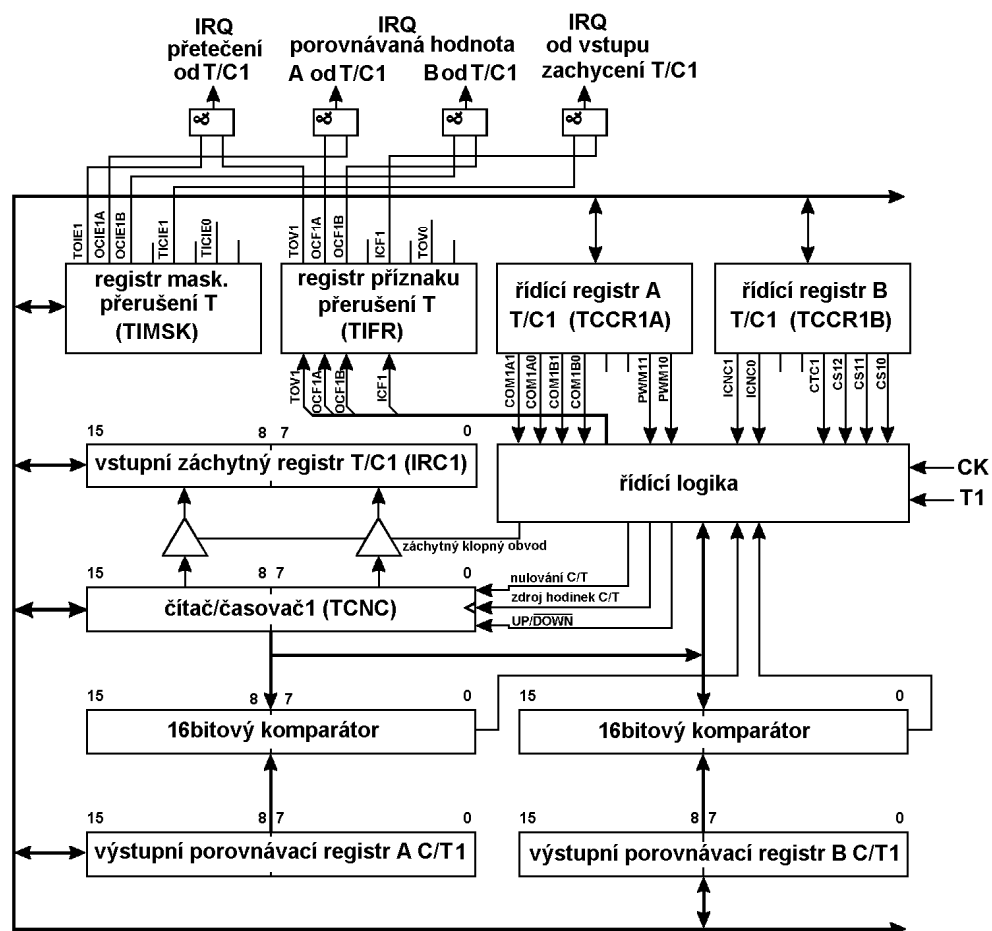
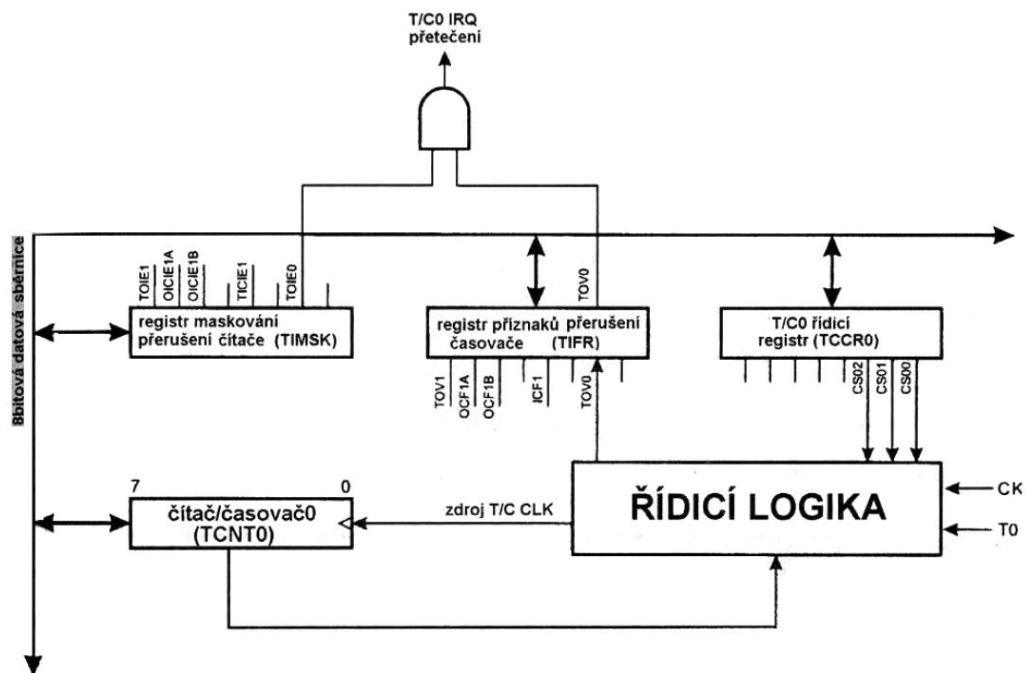
Součástí mikrokontroléru jsou i další obvody, které můžeme vidět na Obr. 2. My se zde zaměříme pouze na pár vybraných a stručně si je popíšeme. Jsou to obvody čítače/časovače a watchdog. Mezi další periferie patří Obvod RESETu, UART, Analogový komparátor, A/D převodník, SPI – synchronní sériový port a další.

➤ Obvody čítače/časovače

Jednou z důležitých funkcí každého mikrokontroléru je čítání vnějších událostí, časových intervalů mezi nimi a/nebo jejich kmitočet. Mikrokontroléry AVR tedy mají v sobě zabudované 8 bitové a 16bitové čítače/časovače. Jejich počet závisí na typu mikrokontroléru. V nejjednodušším případě má alespoň jeden 8bitový čítač/časovač 0, např. typ ATtiny11. ATmega 128 obsahuje dva 8bitové a i dva 16bitové čítače/časovače.

Čítač/časovač 0 (Obr. 3) není velmi flexibilní z hlediska volby časových intervalů (v režimu čítání signálu CLK), a proto je vlastnímu čítači předřazen předdělička s volbou dělicího poměru 1 až 1024 v krocích 1, 8, 64, 256 a 1024. Může také čítat vnější impulzy na vstupu T0, které musí trvat nejméně jednu periodu hodinového cyklu oscilátoru. Obsah čítače je zvětšen s každou jeho vzestupnou hranou. Tento čítač je řízen řídicím registrem TCCR0 (Timer/Counter0 Control Register). Příznak přečtení je v registru TIFR (Timer/Counter Interrupt Flag Register) a povolení či zakázání přerušení z tohoto čítače je v registru TIMSK (Timer/Counter Interrupt Mask Register).

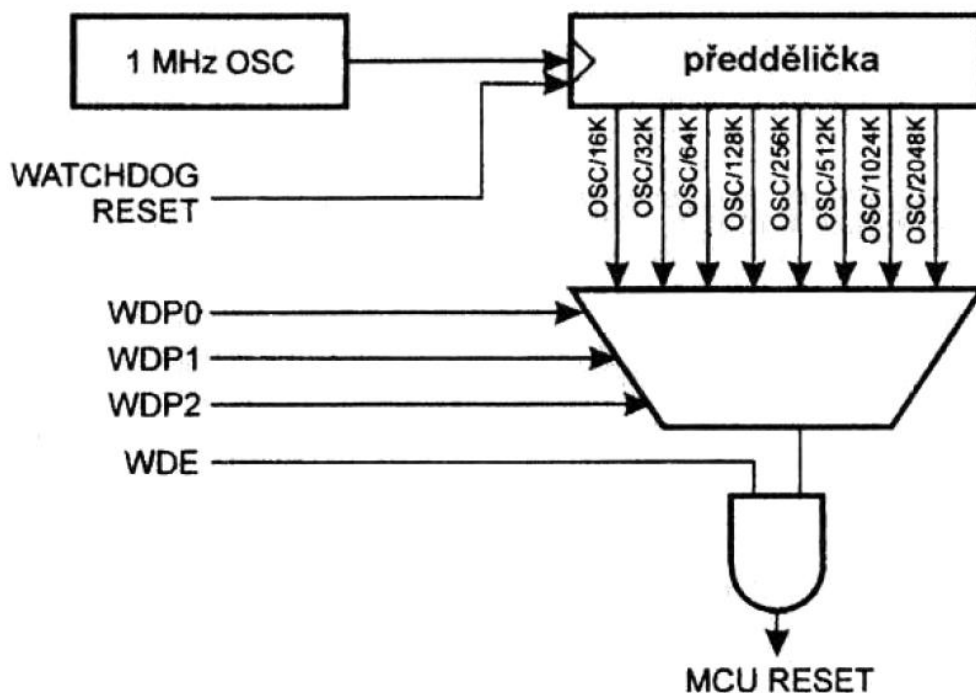
Čítač/časovač 1 (Obr. 4) je na rozdíl od předešlého multifunkční a lze ho používat jako klasický čítač/časovač, ale i také jako 16bitovou jednotku compare/capture a nebo jako generátor signálu pulzně-šířkové modulace PWM. Navíc také oproti 8bitovému čítači obsahuje i záchytný registr a dva komparační registry.



➤ Hlídací obvod Watchdog

Hlídací obvod Watchdog (Obr. 5) je časovač, který dohlíží na správný chod programu. Je odstartován buď hned po resetu mikrokontroléru, nebo jej můžeme zapnout později z programu. Časová konstanta může být buď svázána s hodinami mikrokontroléru, nebo může být nastavena např. programem. Obvod funguje tak, že po vypršení časového limitu vyvolá časovač automatický reset, pokud není dříve vynulován nějakým podnětem, např. signálem, speciální instrukcí nebo hodnotou zapsanou do řídicího registru.

Využívá se tak, že je do programu vložen příkaz pro vynulování časovače obvodu Watchdog, aby nedošlo k vypršení jeho časového limitu. Při případné poruše, způsobenou např. náhodnou změnou dat v paměti nebo chybou programu, kdy např. neošetřená určitá kombinace dat vyvolá změnu chování programu a může tak předejít k případným škodám, které by tato porucha vyvolala. Watchdog se tedy využívá v např. překonfigurování periferních obvodů, zacyklení programu nebo chybné zamaskování signálu přerušení. Program, který je v nekonečném cyklu, nevynuluje do vypršení časového limitu časovač Watchdogu a ten vyvede program z nežádoucího stavu jeho resetem. Je to taková technická implementace tlačítka reset u PC, kdy se vlivem chyby operačního systém nebo jeho programu počítač tzv. „zakousne“. Programově lze Watchdog ovládat řídicím registrem WDTCR (Watchdog Timer Control Register).



Obr. 5 Blokové schéma hlídacího obvodu Watchdog [2]

2.4 I/O Porty

Mikrokontroléry jsou v základní řadě vybaveny až čtyřmi 8bitovými obousměrnými porty (PORT A až PORT D) a u některých řad, např. ATmega, mohou být ještě další dva porty (PORT E a port F). Každý port je mapován na tři adresy - vstupní vývody (PINx), výstupní registr (PORTx) a směrový registr (DDRx), kde x symbolizuje písmeno portu A až F. Na Obr. 6 můžeme vidět tyto tři adresy portu A a také chování jejich vývodů vlivem zapsání dat do příslušných registrů.

Port A Data Register - PORTA

datový registr PORTu A

bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$1B (\$3B)	PORTA7	PORTA6	PORTA5	PORTA4	PORTA3	PORTA2	PORTA1	PORTA0	PORTA
čtení/zápis	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
počáteční hodnota	0	0	0	0	0	0	0	0	

Port A Data Direction Register - DDRA

registr směru přenosu dat PORTu A

bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$1A (\$3A)	DDA7	DDA6	DDA5	DDA4	DDA3	DDA2	DDA1	DDA0	DDRA
čtení/zápis	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
počáteční hodnota	0	0	0	0	0	0	0	0	

Port A Input Pins Address - PINA

adresa vstupních pinů PORTu A

bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$19 (\$39)	PINA7	PINA6	PINA5	PINA4	PINA3	PINA2	PINA1	PINA0	PINA
čtení/zápis	R	R	R	R	R	R	R	R	
počáteční hodnota	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	

Obr. 6 Registry PORTu A [2]

Adresa PINA umožňuje přístup k fyzické hodnotě vlastního portu. Na adresu výstupního registru (PORTA) lze zapisovat výstupní data a směrový registr (DDRA) přitom definuje funkci daného vývodu (vstup/výstup). Stav vývodu shrnuje tabulka na Obr. 7.

DDAn	PORTAn	I/O	Stav vývodu
0	0	Vstup	Velká impedance (otevřený kolektor v log.1)
0	1	Vstup	Připojen zatěžovací odpor, vstup může být zdrojem proudu
1	0	Výstup	Výstup v log.0, otevřený kolektor
1	1	výstup	Výstup v log.1, otevřený kolektor

Obr. 7 Stav vývodu [2]

Přístup k I/O portům je základní nezbytně nutná dovednost pro jakoukoliv činnost mikrokontrolérů. AVR k nim umožňuje bitový i bytový přístup. Jednotlivé bity portu mohou mít alternativní funkci, která se zapíná nastavením příslušných bitů ve směrových registrech daného portu.

2.5 Přerušovací systém

Mikrokontroléry mohou mít u řady ATmega až 34 zdrojů přerušení. Adresy vektorů přerušení jsou od začátku paměťového systému uspořádány za sebou a jejich priorita odpovídá jejich pořadí. Nejnižší adresu má RESET systému a tedy i největší prioritu. Přehled vybraných vektorů přerušení mikrokontroléru ATmega128 jsou uvedeny v tabulce na Obr. 8.

Každé přerušení je povoleno jen tehdy, pokud je součin bitu I ve stavovém registru SREG a bitu povolení přerušení v řídicím registru příslušné periferie, která má být zdrojem přerušení, roven log. 1. Pro vstupy externího přerušení INT0, INT1 až INT7 jsou povolovací bity umístěny v registru EIMSK a jeho příslušný vývod musí být nastaven jako vstup (vynulování bitu ve směrovém registru portu, na kterém se přerušení nachází). Bity, které umožňují přerušení od čítačů/časovačů, jsou v registru TIMSK. Registr návěští TIFR je nulován hardwarově po spuštění obslužného podprogramu příslušného přerušení.

Č. vektoru	Adresa programu	Zdroj	Definice
1	\$0000	RESET	Inicializace systému, Watchdog reset, ...
2	\$0002	INT0	Vnější přerušení 0
3	\$0004	INT1	Vnější přerušení 1
4	\$0006	INT2	Vnější přerušení 2
5	\$0008	INT3	Vnější přerušení 3
6	\$000A	INT4	Vnější přerušení 4
7	\$000C	INT5	Vnější přerušení 5
8	\$000E	INT6	Vnější přerušení 6
9	\$0010	INT7	Vnější přerušení 7
10	\$0012	TIMER2 COMP	Timer/Counter2 Porovnávací Shoda
11	\$0014	TIMER2 OVF	Timer/Counter2 Přetečení
12	\$0016	TIMER1 CAPT	Timer/Counter1 Zachycení Události
13	\$0018	TIMER1 COMPA	Timer/Counter1 Porovnávací Shoda A
14	\$001A	TIMER1 COMPB	Timer/Counter1 Porovnávací Shoda B
15	\$001C	TIMER1 OVF	Timer/Counter1 Přetečení
16	\$001E	TIMER0 COPM	Timer/Counter0 Porovnávací Shoda
17	\$0020	TIMER0 OVF	Timer/Counter0 Přetečení

Obr. 8 Tabulka vektorů přerušení ATmega128 [4]

Informace k této kapitole 2 byly čerpány z [1, 2, 3, 4].

3 VÝROBNÍ LINKY NA PLASTY

Výrobky z plastů jsou pro všechny obory strojírenské výroby nepostradatelné. Polymerní materiál se na strojích zpracovává technologickými postupy. Tyto stroje byly přebírány z příbuzných odvětví, hlavně tedy z technologie zpracování kaučuku, hliníku a dalších kovů. Vyvinuly se z nich stroje určené ke zpracování plastů, jelikož mají zpracovávané materiály různé specifické vlastnosti. V dnešní době se na řízení strojů již významně podílí automatizace, počítačové programování jednotek a robotizace potřebných obslužných a mechanických funkcí. V moderních lisovnách plastů již stroje běžně pracují pod dozorem jen několika pracovníků nebo jsou již celé výrobní linky plně automatizovány a pracují bez lidského dozoru a obsluhy.

Často je nutné vyměňovat vstřikovací nebo vyfukovací formy, ale i tohle již zvládnou automatizovaní roboti. Jediné, kde je člověk stále ještě nezastupitelný, je nabíhání výroby. Tento proces trvá poměrně dlouho, řádově desítky minut a někdy i déle. Během náběhu se stroje nahřívají a stabilizují se teploty v jednotlivých úsecích stroje, doladují se tlaky, časové intervaly jednotlivých kroků, doby chlazení a další parametry.

Zpracovatelské technologie pro zpracování a výrobu plastů lze rozdělit do tří základních skupin, kterými jsou:

➤ Tvářecí technologie

Při téhle technologii dochází k velkému přemístování částic, a tím se zásadním způsobem mění tvar výchozího materiálu. Ten má před zpracováním formu granulí, kapalin nebo prášku a je během výrobního procesu přeměněn na polotovar nebo přímo na finální výrobek. Nejčastěji jsou používány technologie vytlačování (extruze), vstřikování, válcování, odlévání a lisování.

➤ Tvarovací technologie

Při této technologii nedochází k velkému přemístování částic. Před samotným zpracováním je materiál ve formě polotovaru. Během tohoto procesu se mění hlavně tvar (geometrie). Nejvýznamnějšími zástupci této skupiny jsou technologie spojování plastů, obrábění, tvarování desek a ohýbání.

➤ Doplnkové technologie

Při téhle technologii dochází jak k úpravě výchozí suroviny (granulátu, prášku) před tvářením (předehřev, sušení, barvení), tak i ke konečné úpravě výrobku (pokovování, potiskování, dodatečné zesílování).

Při vývoji výrobku se dá volit z různých technologií a výrobních postupů, z nichž každý má své výhody, ale i nevýhody. Přehled jednotlivých technologií a jejich specifických vlastností je uveden na Obr. 9.

Technologie	Vytlačování	Vstřikování	Vyfukování	Rotační natavování	Tvarování
Vlastnost					
Cena zařízení	Vysoká	Vysoká	Vysoká	Střední	Střední
Cena nástroje	Střední	Vysoká	Střední	Nízká	Nízká
Doba cyklu	Kontinuální	<1 min	<1 min	>3 min	1–3 min
Ekonomické množství	>5 km	>10 000 ks	>10 000 ks	100 – 10 000 ks	100 – 10 000 ks
Přesnost	Dobrá	Dobrá	Střední	Střední	Nízká
Kontrola tloušťky stěny	Ano	Ano	Ne	Ne	Ne
Neprůchozí dutiny	Ne	Ano	Ano	Ano	Ano
Uzavřené dutiny	Ne	Ne	Ano	Ano	Ne
Velmi malé díly	Ne	Ano	Ne	Ne	Ne
Složité tvary	Ano	Ano	Ano	Ne	Ne
Velký uzavřený tvar	Ne	Ne	Ano	Ano	Ne
Vložky (inserty)	Ne	Ano	Ne	Ano	Ne
Průchozí díry	Ne	Ano	Ne	Ne	Ne
Závity	Ne	Ano	Ano	Ne	Ne

Obr. 9 Specifické vlastnosti jednotlivých technologií zpracování plastů [5]

U finálního výrobku se můžeme setkat s využitím technologií, které jsou ve všech třech základních skupinách. Volba technologie je také závislá na zvoleném materiálu, a proto nelze použít libovolnou kombinaci technologie a materiálu. V tabulce na Obr. 10 je vidět vhodnost různých materiálů pro příslušné technologie.

Technologie	Vytlačování	Vstřikování	Vyfukování	Rotační natavování	Tvarování
Materiál					
ABS	Ano	Ano	Ne	Ano	Ano
EVA	Ano	Ano	Ne	Ano	Ne
PA	Ano	Ano	Ne	Ano	Ne
PC	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano
PE-LD	Ano	Ano	Ano	Ano	Ne
PE-HD	Ano	Ano	Ano	Ano	Ne
PMMA	Ano	Ano	Ne	Ne	Ano
POM	Ano	Ano	Ano	Ne	Ne
PP	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano
PS / PS-HI	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
PVC-U	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
PVC-P	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
SAN	Ano	Ano	Ano	Ne	Ne

Obr. 10 Vhodnost materiálů pro různé technologie zpracování plastů [5]

3.1 Technologie vytlačování

Vytlačováním (extruzí) se vyrábí široký sortiment výrobků (Obr. 11), jako jsou desky, dráty, profily, profily tvaru L i složitější několikakomorové okenní profily, trubky, plné a duté tyče. Trubky jsou vyráběny až do průměru 1600 mm s tloušťkou stěny až do 60 mm. Teprve v poslední době byly vyrobeny trubky s tloušťkou stěny 100 mm. Desky jsou vyráběny v tloušťkách od 1 do 60 mm a šířce až do 2000 mm.

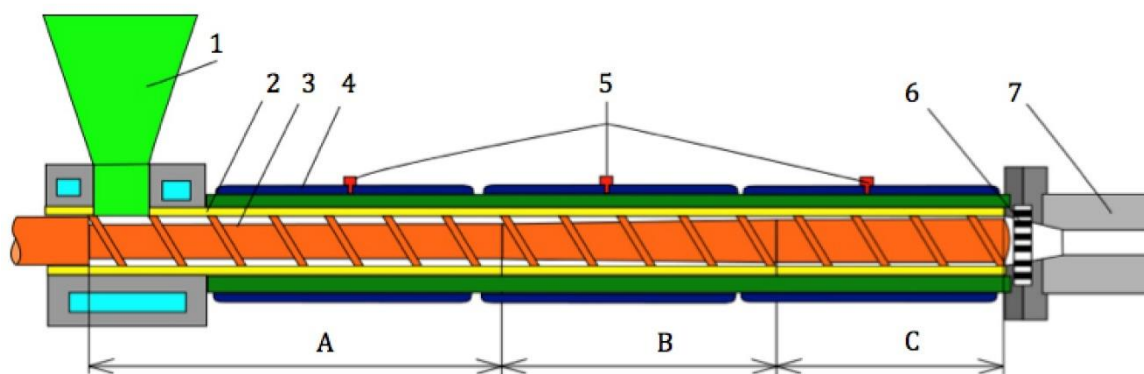


Obr. 11 Výrobky vyráběné technologií vytlačování [5, 6]

Technologie vytlačování se provádí na tzv. vytlačovacích strojích (extrudérech). Tento stroj se skládá z převodovky, která pohání pracovní šnek a z mechanicky velmi pevného rámu (frémy), ve kterém je uložen pohonný elektromotor s plynule řiditelnými otáčkami.

Šnek se točí v ocelovém válci, který je zahříván elektrickými topnými pásy v několika regulovaných zónách. Na začátku komory je násypka na zpracováváný materiál ve formě granulí (případně přípojka k zásobníku s materiálem na pneumatický přívod). Na opačném konci je příruba, na kterou se nasazují vytlačovací hlavy. Délka šneku bývá 20 – 40 D a je udávána jako násobek jeho průměru. Surovina je dopravována šnekem od násypky, přes nahříváný ocelový válec až k vytlačovací hlavě. Válec se šnekem má minimálně tři pásma. Vstupní, přechodové a výstupní. Každé toto pásmo má vlastní topení a teplotní regulaci. Materiál se postupně, průchodem válcem, promíchává, homogenizuje, převádí do plastického stavu, zhutňuje a temperuje na potřebnou teplotu. Dále se pod tlakem vytlačuje přes tzv. lamač do hubice a provádí tím další homogenizaci materiálu. Lamač obvykle podpírá síto, které zachycuje případný neroztavený granulát a náhodné pevné nečistoty. Za vytlačovací hubicí se polotovar ochlazuje a dále zpracovává.

Extrudér v řezu můžeme vidět na Obr. 12 a jeho části jsou: Zóna A – vstupní část, zóna B – přechodová (plastikační) zóna, C – výstupní (vytlačovací) zóna, 1 – násypka, 2 – ocelový válec, 3 – šnek, 4 – odporové topení (elektrické), 5 – termočlánky pro měření teploty v zónách, 6 – lamač, 7 – vytlačovací hlava.



Obr. 12 Řez vytlačovacím strojem (extrudérem) [5]

Existují i tzv. dvoušnekové extrudéry, ve kterých pracují dva šneky. Jsou umístěny v komoře tvaru ležaté osmičky a otáčejí se stejným směrem nebo protiběžně a jejich závity do sebe zasahují (Obr. 13). Takovéto stroje mají o dost větší míchací účinky a díky tomu se hodí pro homogenizaci regenerátu, a také i pro materiály získávané z několika složek přímo v extrudéru (PVC – směsi). Nevýhodou téhle konstrukce je menší výtok taveniny plastu a pravidelnost dopravy.



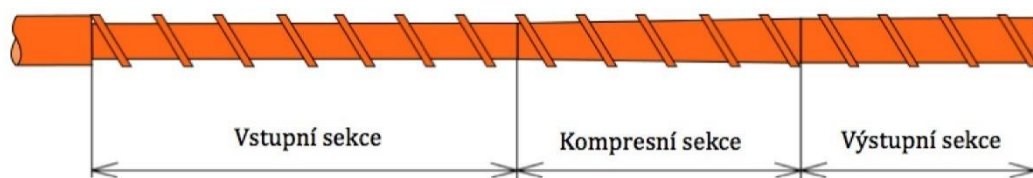
Obr. 13 Stejnoseměrné a protiběžné uspořádání šneků [5]

Extrudéry jsou vyráběny v různých velikostech a odlišují se průměrem šneku, který bývá od 12 mm až do 150 mm. U speciálních strojů může být i podstatně větší. Od jeho průměru se odvíjí i množství zpracovaného materiálu za časovou jednotku. Je kladen důraz také na požadavek krátkého zdržení materiálu ve stroji (do 10 min.), jinak materiál může působením teploty degradovat. Výkon stroje lze lineárně regulovat otáčkami šneku až v poměru 1:6.

3.1.1 Popis šneku a jeho geometrie

Šnek je nejdůležitější částí extrudéru a slouží k dopravě, stlačení, následnému zplastikování a homogenizaci vytlačovaného materiálu. Šnek také musí vyvinout dostatečný tlak v tavenině, který je potřeba k průchodu přes profilovací otvor. Šneky se dělí do dvou základních skupin. První jsou šneky obyčejné, které mají po celé jeho délce stejné stoupání závitu i stejnou hloubku drážky. Druhou skupinou jsou šneky diferenciální, které mají naopak rozdílnou hloubku drážky při konstantním stoupání nebo s konstantní hloubkou drážky a změnou stoupání závitu. Diferenciální šnek je charakterizován kompresním poměrem. Ten je buď udáván jako poměr objemu jednoho stoupání závitu na vstupu k objemu závitu na výstupu, nebo jako poměr hloubky drážky na vstupu vůči hloubce drážky na výstupu.

Běžný šnek je převážně tvořen třemi sekcemi, které se od sebe liší různou hloubkou drážky, jak je vidět na Obr. 14. Materiál v podobě granulí vstupuje do první části nazývané vstupní (dopravní) sekce, kde je hloubka drážky největší. Za ní následuje kompresní (přechodová) sekce, v níž se mění stoupání šroubovice nebo hloubka drážky a plast je tu stlačován, intenzivně zahříván a pevná látka přechází v taveninu. Ve výstupní (homogenizační) sekci je hloubka drážky nejmenší a dokončuje se zde plastikace a tavenina plastu se homogenizuje.



Obr. 14 Vytlačovací šnek se třemi sekcemi [5]

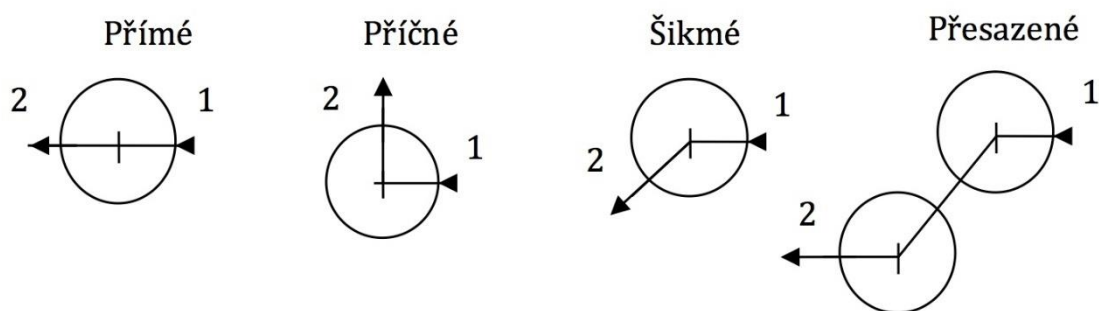
Každý polymer má odlišné specifické vlastnosti (tepelné, reologické, apod.), a tedy není možné navrhnout univerzální šnek na všechny typy polymerů. Z tohoto důvodu byla vyvinuta velká řada jejich různých druhů. Na Obr. 15 jsou ukázány některé druhy sekcí (mísící a torpédové), které jsou k standardním šnekům často přiřazovány. Dochází tím ke zlepšení promíchání a zvýšení (zkvalitnění) homogenity taveniny polymeru. Díky tomu je možné přidávat k vytlačovaným plastům různá barviva, minerální prášky, skelná vlákna apod.



Obr. 15 Mísící a torpédové sekce [5]

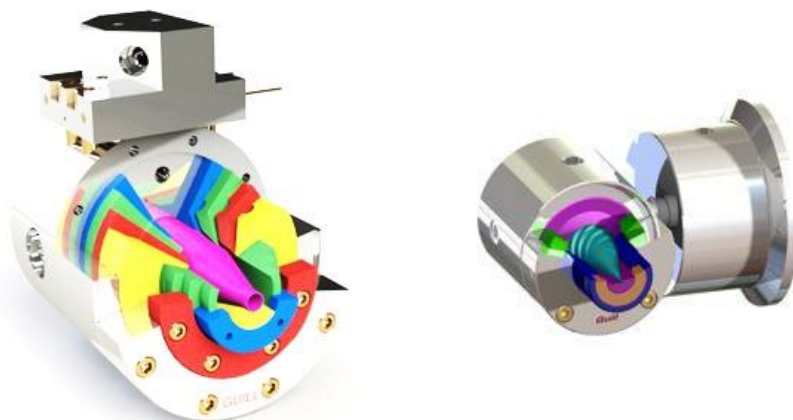
3.1.2 Vytlačovací hlavy

Požadovaný tvar udává plastové tavenině vytlačovací hlava. Je jich velké množství stejně, jako je i mnoho různých tvarů výrobků. Jedno z možných dělení vytlačovacích hlav je dělení podle polohy os šneku a hubice (Obr. 16, 17).



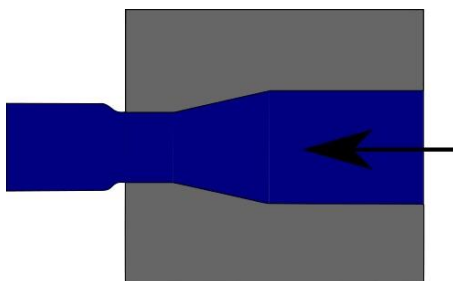
Obr. 16 Rozdělení dle polohy os šneku (1 – vstup do hlavy) a hubice (2 – výstup z hlavy) [5]

- Přímé vytlačovací hlavy – výroba trubek, fólií, tyčí a profilů
- Příčné vytlačovací hlavy – výroba vyfukovaných fólií a k opláštění
- Šikmé vytlačovací hlavy – výroba tenkých fólií
- Předsazené vytlačovací hlavy – výroba trubek s vnitřní kalibrací, vícevrstvé opláštění

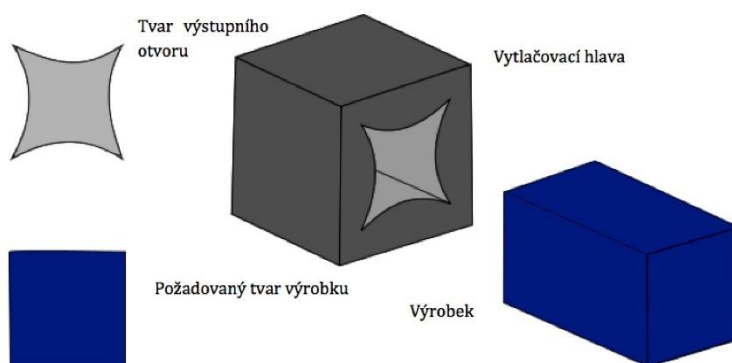


Obr. 17 Přímá a příčná vytlačovací hlava [5]

Při konstrukci vytlačovacích hlav je nutnou podmínkou zajištění rovnoměrnosti průtoku vytlačovaného materiálu. Při návrhu tvaru profilového otvoru je také nutno dát pozor na stlačitelnost taveniny plastu a její vliv na výsledný tvar. Velikost stlačení závisí na technologických podmínkách vytlačování, na materiálu, a také na konstrukci vytlačovací hlavy. Čím větší je stlačení taveniny a nárůst vytlačeného profilu, tím větší klade hlava odpor proti tečení (Obr. 18 a 19).



Obr. 18 Nárůst profilu taveniny po projití vytlačovací hlavou [5]



Obr. 19 Upravení tvaru profilu ve vytlačovací hlavě [5]

3.1.3 Druhy vytlačovacích linek

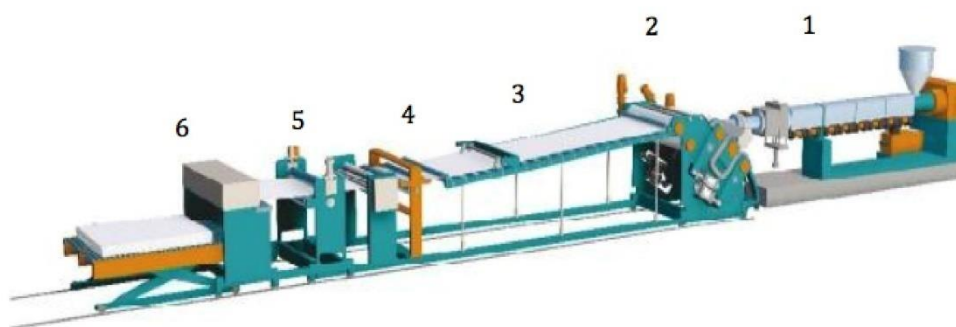
Existuje mnoho druhů výrobních linek pro vytváření plastových výrobků. Jsou jimi i vytlačovací linky, například vytlačovací linky na desky, fólie, trubky a profily, na opláštění vodičů, na výrobu vláken a granulátu, na vyfukování fólií a další. My si zde dále přiblížíme výrobní linky na výrobu plastových desek a trubek.

Výrobní linka na vytlačování desek

Extrudér je hlavní součástí vytlačovací linky na desky. V něm jsou pomocí šneku zamíchány (roztaveny) všechny komponenty plastové směsi. Ty jsou jím postupně dopravovány do ploché vytlačovací hlavy, která tvaruje taveninu do formy nekonečného pásu. Ten je tvarově zafixován pomocí tří kalandrovacích válců, které jsou vidět na Obr. 21. Tyto válce jsou chromovány nebo leštěny a temperovány na teplotu, která závisí na druhu materiálu,

který se zpracovává. Chladicí válce vevnitř musí zajistit rovnoměrné rozložení teplot po celé délce válce. Pás je následně schlazen na válečkovém dopravníku, poté ořezán na požadovaný rozměr a nakonec dělen na požadovanou délku.

Na Obr. 20 je zobrazena celá výrobní linka na plastové desky. Skládá se z částí: 1 – extrudér, 2 – válcovací část, 3 – válečkový dopravník (chladicí část), 4 – ořezávací část, 5 – tažné válce, 6 – dělicí část.



Obr. 20 Výrobní linka na vytlačování plastových desek [5]

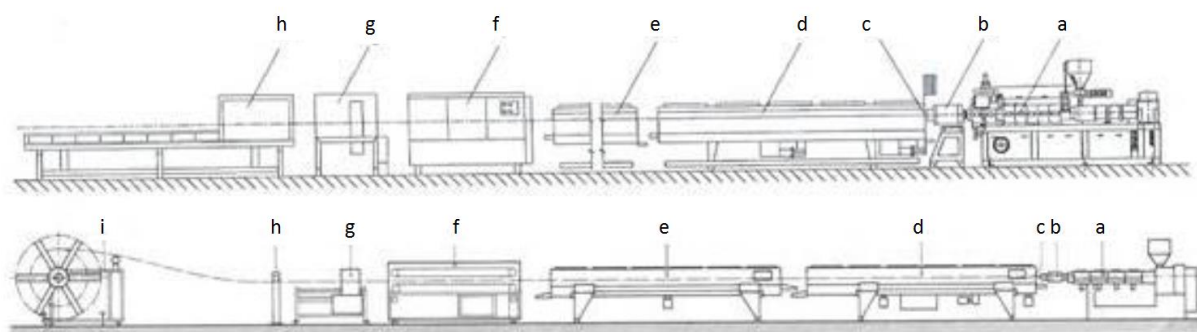


Obr. 21 Kalandrovací tříválec [5]

Předností této technologie je velká variabilita vyráběných rozměrů. Nejčastějšími používanými materiály pro výrobu desek jsou PE, PP, ABS, PVC, PMMA, PET, PS.

Výrobní linka na vytlačování trubek a profilů

Výrobní linka na vytlačování uzavřených a otevřených profilů a trubek se skládá z: a – extrudéru, b – vytlačovací hlavy, c – kalibrace, d – kalibrační jednotky, e – chlazení, f – měřicího zařízení, g – dělicího zařízení, h – odkládacího zařízení nebo i – navíjecího zařízení, jak můžeme vidět na Obr. 22.



Obr. 22 Výrobní linka na výrobu trubek z PP (dole) a PVC (nahore) [7]

Standardně se používají jednošnekové extrudéry. Obvykle se používá PVC, HDPE a LDPE, méně PP a PA k výrobě trubek. K výrobě profilů se používá PVC, PS a jejich kopolymerů, PMMA, PC, POM, apod.

➤ Kalibrační jednotka

Jejím účelem je vytlačovanou trubku nebo profil ochladit tak, aby získal požadovaný stabilní rozměr a tvar. Tato jednotka je buď podtlaková, přetlaková nebo průvlastková.

Podtlaková (vakuová) kalibrace je nejběžněji používána, protože odpadají problémy s uzavřením trubky. Ta nastává přisátím trubky ke kalibračnímu pouzdru, její povrch se tím ochladí a tvar tak zůstane zachován. Trubky se vytlačují o 1 – 3% větší než rozměr, který je požadován. Tato kalibrace je vhodná pro výrobky s tenčí stěnou a pro menší průměry.

Přetlaková kalibrace se využívá pro kalibraci trubek s většími rozměry nebo pro uzavřené profily, které moc nemění tvar. Vzduch o přetlaku kolem 0,075 Mpa se přivádí přes rozdělovač a trn do trubky, která je tímto přitlačována k chlazenému kalibračnímu pouzdru. V trubce je umístěna zátka, která je mechanicky uchycena k hlavě např. drátem, resp. elektromagnetem a umožňuje tak malý průnik vzduchu, aby se trubka mohla chladit i zevnitř. Přetlak vzduchu je pro velké trubky menší než pro malé trubky. Přetlakové pouzdro je při této kalibraci připojeno k čelu hlavy. Pro zmenšení tření se využívá tzv. mazací vzduch. Přetlaková i podtlaková kalibrace je vhodná i pro výrobu zvlněných trubek.

Průvlastková kalibrace se využívá na výrobu plných profilů. V kalibračním pouzdru je šroubová drážka. Tou prochází chladicí voda (protiproudně), která ochlazuje povrch profilu tak, že si uchová požadovaný rozměr i tvar. Tato kalibrace je vhodná pro tlustostěnné trubky a otevřené profily.

Kalibrační zařízení dále obvykle obsahuje chladicí zařízení, které výrobek dochlazuje na takovou teplotu, aby nedocházelo k jeho trvalým deformacím v dalších zařízeních vytlačovací linky. Dalším zařízením je odtahovací zařízení, které reguluje a nastavuje rychlost posuvu vytlačovaného profilu. Dále je dělicí či řezací zařízení, které je tvořeno kotoučovou pilou nebo sekacím tvarovaným nožem. Do vytlačovací linky také patří další zařízení pro měření (déłkoměry), manipulaci, značení a k úpravám výrobků. Do linky se dle typu výrobku přidávají i zařízení na hrdlování trubek či jejich tvarování, vysekávání aj.

3.2 Technologie vyfukování

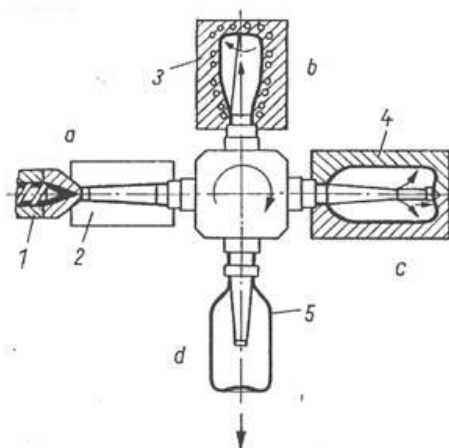
Vyfukování je proces, při kterém je ve vyfukovací formě přetlakem vzduchu tvarován polotovar (předlisek) do tvaru uzavřeného tělesa. Materiál je předtím zahřán do plastického stavu, kdy je hmota tvarovatelná, ale i dostatečně soudržná. Polotovarem může být předlisek, který je vyráběn vstřikováním, vytlačováním či může být i fólie. Vyfukováním se zpracovávají hlavně PE a PP (cca. 75% produkce). Dále PVC a jeho kopolymery a v poslední době i PET. Další termoplasty jsou zastoupeny v malé míře, jako např. PC, POM, kopolymery PS a jiné.

Nejrozšířenějšími technologiemi jsou vstřikovací a vytlačovací vyfukování.

3.2.1 Vstřikovací vyfukování

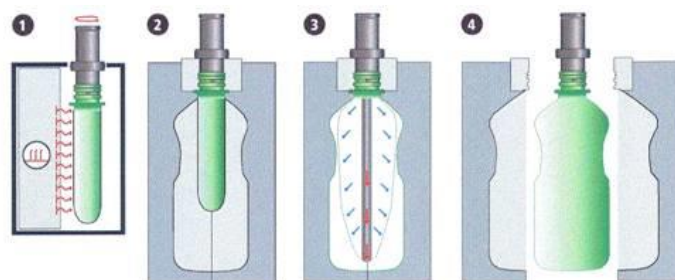
Používá se k výrobě dutých výrobků s malými rozměry a velmi členitými tvary. Samotný proces probíhá tak, že ve vstřikovací formě nastříkne na ocelový trn tavenina plastu. Trn se potom buď přeneseme do formy (výlisek je tvářen ihned, Obr. 23) anebo se forma přisune k předlisku po odsunutí vstřikovací formy (proces vyfukování je oddělen, Obr. 24). Poté se vyfoukne stlačeným vzduchem do tvaru dutiny formy a chladí se až do ztuhnutí plastu. Pak se nástroj otevře a následuje vyhození výrobku z trnu stlačeným vzduchem. Takto se celý cyklus opakuje.

Výhoda tohoto postupu je v tom, že při používání živého toku nemá žádný technologický odpad a výrobek má díky tomu vysokou kvalitu, protože neobsahuje svar. Nevýhodami jsou, že je potřeba dvou forem, samotná výrobní linka je složitá a plast musí být vhodný pro vyfukování i vstřikování.



Obr. 23 Vstřikovací vyfukování s okamžitým vyfouknutím [8]

1 – vstřikovací stroj, 2 – vstřikovací forma, 3, 4 – vyfukovací forma, a – vstřikování,
b – vyfukování, c – chlazení, d – vyhození



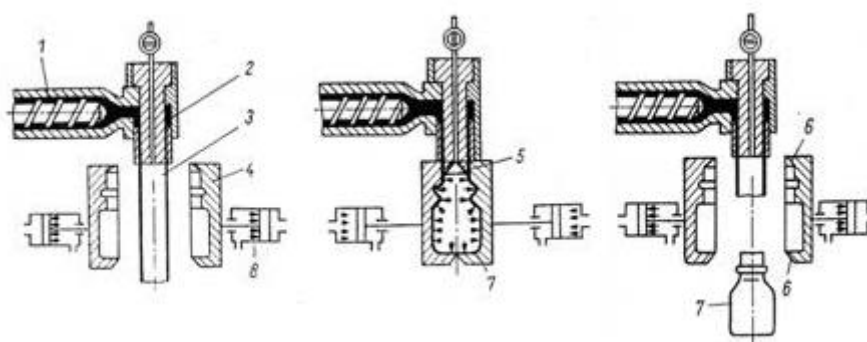
Obr. 24 Vstřikovací vyfukování s přerušovaným procesem [8]

1 – ohřev tvarové části předlisku, 2 – přesun do vstřikovací formy, 3 – vyfukování, 4 – chlazení a vyhození

3.2.2 Vytlačovací vyfukování

Je nejrozšířenějším způsobem výroby dutých těles vůbec. Samotný proces probíhá tak, že na extrudéru s příčnou či příčnou vytlačovací hlavou se vytlačuje polotovar zvaný jako parizon. Takováto trubka je schopná plastického přetvoření a je odstřižena (odříznuta), jakmile dosáhne požadované délky. Střížné nůžky ji podrží, dokud nepřijede vyfukovací forma (Obr. 25), nebo je po odříznutí přenesena do formy, kde je nasazena na trn a po uzavření formy je vyfukována, tím dojde ke svaření dna a vylišování výrobku. Po ochlazení a ztuhnutí se forma rozevře, výrobek se vyhodí a následně se u něj odstraní přetoky od svarových ploch a celý proces se opakuje.

Výhodou této technologie je, že je možné vyrábět mnohem větší výrobky a také ekonomie provozu. Nevýhodou je malá přesnost výrobků, vznik svarů, a tím pádem i poměrně velký odpad.



Obr. 25 Vytlačovací vyfukování [8]

1 – vytlačovací stroj, 2 – příčná hlava, 3 – parizon, 4 – vyfukovací forma, 5 – vzduch, 6 – svařovací hrany, 7 – výrobek, 8 – uzavírací mechanismus

K nejdůležitějším parametrům této technologie patří teplota a tlak (Obr. 26). Z hlediska vlastností výrobků je vhodné používat co nejvyšší teplotu. Na druhou stranu tím dochází

k velkému protahování parizonu, nárůstu smrštění a doby chlazení. Při nízké teplotě není zaručena kvalita svaru ve dně a zhoršují se tím mechanické vlastnosti výrobku. Při vyfukování bývá tlak vzduchu v rozmezí 0,4 – 1 MPa a musí působit na vyfukovaný parizon po celou dobu chlazení, aby nedošlo k jeho deformacím. Forma se udržuje na teplotě 30 až 60 °C.

Materiál / teplota [°C]	vytlačovací stroj				hlava	hubice
	1. zóna	2. zóna	3. zóna	4. zóna		
PE-HD	140	160	170	180	180	185
PE-LD	125	135	135	145	140	140
PP	180	200	215	225	225	235
PVC měkké	180	170	160	150	160	160
PVC tvrdé	155	165	175	190	180	185
PS-HI	175	185	200	205	200	210
ABS	175	195	205	205	200	210
PA	275	255	235	225	225	225
PMMA	160	165	170	170	170	180
POM	170	190	205	200	200	200

Obr. 26 Doporučené technologické parametry pro extrudér a technologii vyfukování [8]

Vyfukovací formy se konstruuji jako jednonásobné či vícenásobné a to podle velikosti výrobku a použitého materiálu. Dvoudílné formy jsou pro menší výrobky. Pro větší výrobky jsou formy tvořeny z více částí. Z celého pracovního cyklu představuje nejdelší úsek doba chlazení. Chladí se buď cirkulující vodou ve formách, nebo pomocí vnitřního chlazení vodní mlhou, CO₂, kapalným dusíkem, apod.

Informace k této kapitole 3 byly čerpány z [5, 6, 7, 8, 10].

4 ZPRACOVATELSKÉ VLASTNOSTI PLASTŮ

V dnešní době na trhu plastů existuje několik tisíc různých druhů, ovšem v technické praxi jich má uplatnění pouze několik desítek. Z celkové světové produkce plastů je 80% jen šest druhů plastů a 70% výroby jen tři druhy. Jsou jimi polyvinylchlorid, polyolefiny a styrenové hmoty. Sortiment termoplastů se zvětšuje neustále a to dvěma směry. Prvním směrem je výroba stále nových polymerů a druhým je modifikace dosavadních.

Při volbě materiálu je třeba dbát na cenu a vlastnosti hmoty, ale i na jeho zpracovatelnost. Ta výrazně ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti výrobku, technologické podmínky, volbu stroje a konstrukční řešení nástroje. Odolnost polymerů a jeho vlastnosti jsou dány jejich fyzikální a chemickou strukturou. Mohou být ovlivněny ale také i zpracovatelským procesem a to do značné míry.

Výhodami plastů jsou jejich výborné zpracovatelské vlastnosti, nízká měrná hmotnost, elektrická izolace, výborná korozní odolnost, tlumení rázů a chvění, atd. Jejich nevýhodami jsou nízké mechanické a časově závislé vlastnosti, ekologická zatížitelnost, kríp, apod.

4.1 Příprava a rozdělení plastů

Makromolekulární látky, které jsou synteticky připravované, vznikají polyreakcí (polyadice, polymerace a polykondenzace). Jde o velmi jednoduché mnohokrát opakující se chemické reakce. Původní nízkomolekulární sloučenina (monomer) tím přechází ve vysokomolekulární látku (polymer). Polymer se stává plastem až poté, co se smíchá a smísí s nezbytnými přísadami a převede do formy (granule, tablety, prášky, apod.), která je vhodná k dalšímu technologickému zpracování. Polymer představuje chemickou látku, kdežto plast je technický materiál s vhodnými užitnými vlastnostmi.

Plasty se dají rozdělit dle různých hledisek:

1. Podle **aplikace** a konstrukční složitosti výrobků se rozdělují do skupin jako plasty pro:

- **Široké použití** – polyolefiny (PP, PE), fenolformaldehydové (PF), polyvinylchlorid (PVC), polystyrenové hmoty (PS) a močovinoformaldehydové hmoty (UF).
- **Inženýrské aplikace** – polykarbonáty (PC), terpolymer ABS, polyoximetylen (POM), polyamidy (PA), polyfenilénoxid (PPO), polymetylmetakrylát (PMMA), polyuretan (PU), epoxidové (EP) a polyesterové (UP) pryskyřice.
- **Špičkové aplikace** – tetrafluoretylén (PTFE), polyfenylénsulfid (PPS), polyimidy (PI), polysulfon (PSU) a další.

2. Podle **působení teploty**, na základě teplotního chování:

- **Termoplasty** – jsou to polymerní materiály, které přecházejí do plastického vysoce viskózního stavu vlivem zahřívání a lze je tedy snadno tvářet a zpracovávat různými technologiemi. Ochlazením, pod teplotu tání T_m (semikrystalické plasty), resp. teplotu viskózního toku T_f (amorfní plasty), přejdou do tuhého stavu. Při zahřívání a tuhnutí nedochází ke změnám chemické struktury, a proto lze tento proces teoreticky opakovat bez omezení. K termoplastům patří většina zpracovávaných hmot, jako je polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC), polyamid (PA), atd.
- **Reaktoplasty** – jsou to polymerní materiály, které v první fázi zahřívání měknou jako termoplasty a lze je tvářet, ale pouze jen po omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k vytvrzování (prostorovému zesíťování struktury). Ochlazování potom probíhá mimo nástroj, protože by bylo třeba rychlého ohřevu formy pro vytvrzení a následného rychlého ochlazení pro ochlazení materiálu a to by bylo náročné a časově zdouhavé. Tento děj je nezvratný a vytvrzené plasty nejde opět roztavit a použít, jelikož dojde k degradaci materiálu. K reaktoplastům patří epoxidové pryskyřice, polyesterové hmoty, fenolformaldehydové hmoty, apod.
- **Pryže, kaučuk a elastomery** – jsou to polymerní materiály, které v první fázi zahřívání měknou jako termoplasty a reaktoplasty, ale lze je tvářet jen omezenou dobu. Při dalším zahřívání probíhá tzv. vulkanizace (prostorové zesíťování struktury).

3. Podle **nadmolekulární struktury** (stupně uspořádanosti), nadmolekulární struktura je nadřazena makromolekulám:

- **Amorfní** – plasty, kde jsou makromolekuly rozmístěny zcela nahodile, např. PC, PS, PMMA apod. Jsou charakteristické svojí tvrdostí, křehkostí, vysokou pevností, modulem pružnosti a jsou průhledné kvůli nízkému indexu lomu (1,4 - 1,6), resp. podle propustnosti světla jsou transparentní anebo průhledné (60 % propustnosti světla), čiré (92 % propustnosti světla). Mají menší součinitel teplotní roztažnosti α než semikrystalické polymery. Použitelnost je do teploty zesklenní T_g .
- **Krystalické** – plasty (semikrystalické), které mají určitý stupeň uspořádanosti neboli krystalinity (40 až 90 % – vyjadřuje relativní podíl uspořádaných oblastí uložených mezi amorfními oblastmi, nemůže nikdy dosáhnout 100%). Jsou mléčně zakalené, index lomu mají větší, houževnatý materiál, pevnost a modul pružnosti roste se stupněm krystalinity. Semikrystalické plasty jsou použitelné do teploty tání T_m a patří mezi ně PE, PP, PA, PTFE, POM, atd.

4. Podle **druhu přísad**:

- **Neplněné plasty** – množství přísad neovlivňuje vlastnosti polymerní matrice.
- **Plněné plasty** – množství přísad ovlivňuje mechanické a fyzikální vlastnosti plastu. Funkci pojiva plní makromolekulární látka a také určuje základní mechanické a fyzikální vlastnosti hmoty. Jako přísada mohou být maziva, barviva, plniva, stabilizátory, nadouvadla, tvrdidla, změkčovadla, iniciátory, retardéry hoření, apod.

5. Podle **polarity**:

- **Polární plasty** – mají trvalý dipól, patří mezi ně některé pryskyřice, PA, apod.
- **Nepolární plasty** – nemají trvalý dipól, patří mezi ně PP, PE, PS, apod.

6. Podle **chemické struktury plastů**:

- chemické názvy byly odvozeny z jejich chemické struktury, poté se tedy mohou dělit na polyamidy, polyolefiny, styrenové plasty, apod.

7. Podle **původu** (zastaralé dělení)

- **Přírodní plasty** – založeny na přírodních makromolekulárních látkách, např. na bázi latexu, kaseinu, celulózy, atd.
- **Syntetické plasty** – vyrábí se chemickou cestou.

4.2 Molekulární struktura plastů

Plasty jsou organické makromolekulární látky s molekulovou hmotností vyšší jak 10^4 . Tyto látky syntetického nebo přírodního původu, které jsou tvárné za působení teploty a tlaku, v jejichž makromolekule se mnohokrát opakuje základní monomerní jednotka (jako článek řetězu), jsou podstatou polymerů. Atom uhlíku je základním prvkem řetězce. Tyto atomy uhlíku mají schopnost vzájemně se vázat a vytvářet dlouhé řetězce.

Existují tři druhy polymerních makromolekul:

- **Lineární** – vznikají tak, že se monomerní molekuly řadí za sebou (jedna vedle druhé). Polymery mají vyšší hustotu (např. vysokohustotní polyethylen HDPE) díky tomu, že se tyto makromolekuly můžou, z prostorových důvodů, přiblížit jedna ke druhé a vyplnit tak kompaktnější prostor. Také snáze vytvářejí prostorově pravidelné shluky krystalických struktur, takže takovéto polymery mají vyšší obsah krystalických podílů. Plasty s lineárními makromolekulami jsou dobře rozpustné a tavitelné (dobrá pohyblivost makromolekul), v tuhém stavu jsou houževnaté a ve formě tavenin dobře zpracovatelné.
- **Rozvětvené** – mají, na rozdíl od lineárních, na základním řetězci boční větve a kvůli tomu se nedokáží jedna k druhé dostatečně přiblížit. Tudíž mají nižší hustotu (např. nízkohustotní polyethylen LDPE). Mají také nízkou uspořádanost jejich shluků, a proto hůře krystalizují a mají nižší stupeň krystalinity. Rozvětvení také zhoršuje pohyblivost makromolekul, tím i tekutost v roztaveném stavu a většinu mechanických vlastností.
- **Zesíťované** – několik přímých nebo rozvětvených řetězců je mezi sebou propojeno vazbami. Tím vytvářejí jednu téměř nekonečnou makromolekulu (prostorovou síť), která vede ke ztrátě tavitelnosti a rozpustnosti polymeru. Za to ale vykazují vysokou tuhost, tvrdost a odolnost proti zvýšené teplotě na úkor nízké odolnosti proti rázovému namáhání. Prostorové sítě mohou být husté (reaktoplasty) nebo řídké (elastomerní kaučukovité polymery).

4.3 Termodynamické vlastnosti plastů

Vlastnosti polymerů jsou závislé především na teplotě. Tyto změny probíhají buď rychleji anebo se mění skokově v přechodové oblasti přechodových teplot: T_g - teplota zesklenní, T_f - teplota viskózního toku (amorfní plasty), T_m - teplota tání (semikrystalické plasty).

U amorfních plastů se mez pevnosti v tahu a modul pružnosti v přechodové oblasti mění skokově v okolí teploty zesklenní T_g . Modul pružnosti přibližně o tři řády a koeficient teplotní roztažnosti o 100 %. Konkrétní hodnota závisí na velikosti mezimolekulárních sil (čím jsou tyto síly větší, tím je vyšší teplota zesklenní) a na ohebnosti řetězců (čím je ohebnost větší a mezimolekulární síly menší, tím je nižší teplota zesklenní). Přídavkem změkčovadel lze ovlivnit teplotu zesklenní, které sníží mezimolekulární soudržnost a tím také T_g .

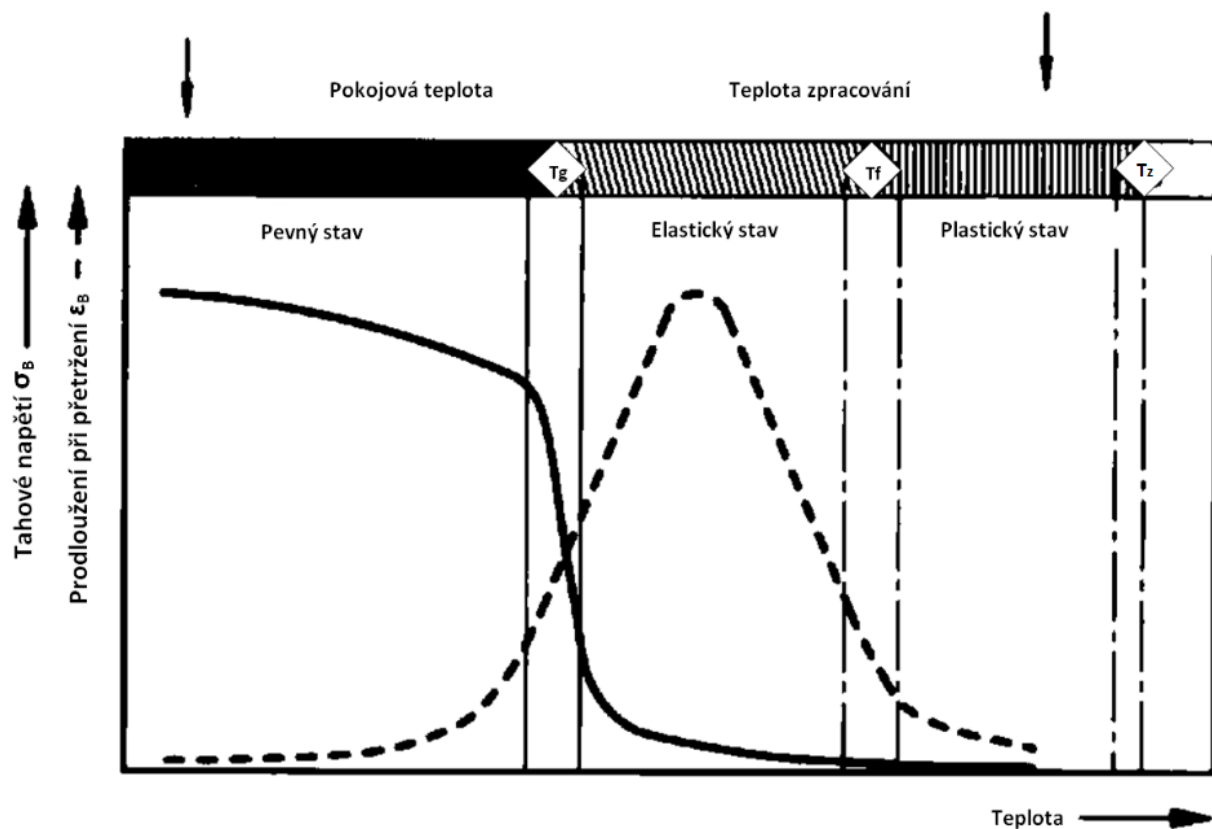
Typické hodnoty přechodových teplot u vybraných polymerů jsou na Obr. 27.

Polymer	Struktura	Název	Zkratka	T_g [°C]	T_m [°C]
TERMOPLAST	semikrystalické	Polyethylen nízkohustotní	PE-LD	-120	105 + 115
		Polyethylen vysokohustotní	PE-HD	-120	130 + 135
		Polypropylen	PP	-15	160 + 170
		Polyoxymethylen	POM	-50	165 + 185
		Polyamid 6	PA-6	50	215 + 225
		Polyamid 66	PA -66	50	250 + 260
		Polyethylentereftalát	PET	75	250 + 260
		Polybutylentereftalát	PBT	75	225 + 230
		Polytetrafluorethylen	PTFE	125	340 + 345
		Polyetheretherketon	PEEK	145	335 + 345
	amorfní	Neměkčený polyvinylchlorid	PVC-U	85	-
		Standardní polystyren	PS-GP	95	-
		Akrylonitril-butadien-styren	ABS	105	-
		Styren-akrylonitril-akrylát	SAN	105	-
		Akrylonitril-styren-akrylát	ASA	100	-
		Polymethylmetakrylát	PMMA	110	-
		Polykarbonát	PC	150	-
		Polysulfon	PSU	190	-
		Polyimid	PI	>400	-
VULKANIZOVANÝ ELASTOMER	amorfní	Přírodní kaučuk	NR	-70	-
		Butadien-styrenový kaučuk	SBR	-50	-
		Isoprenový kaučuk	IIR	-55	-
		Butylkaučuk	IIR	-75	-
		Chloroprenový kaučuk	CR	-40	-
		Ethylen-propylen-dién-terpolymer	EPDM	-60	-
		Silikonový kaučuk	Q	-85	-
REAKTOPLAST	amorfní	Epoxidová pryskyřice	EP	>75	-
		Fenol-formaldehydová pryskyřice	PF	>150	-
		Novolaková epoxidová pryskyřice		>125	-
		Polyesterová pryskyřice	UP	>60	-

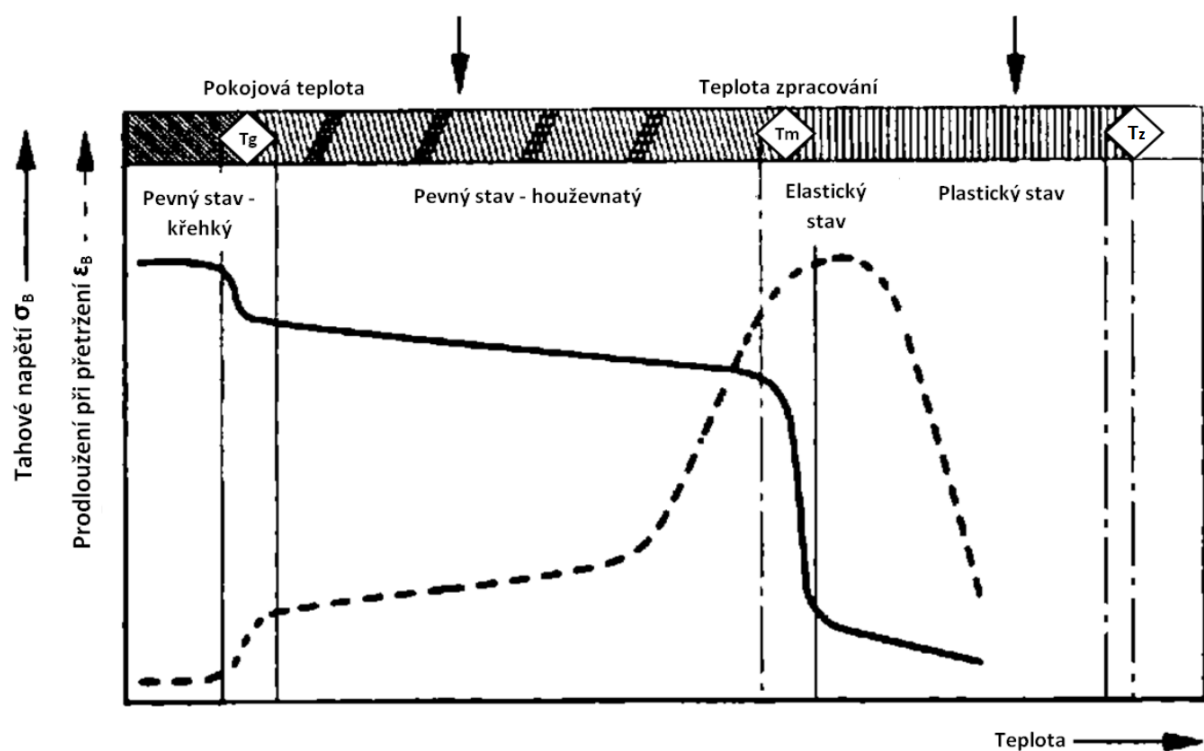
Obr. 27 Hodnoty přechodových teplot zesklenní (T_g) a tání (T_m) u vybraných polymerů [11]

Intenzita změn vlastností polymeru narůstá při teplotě viskózního toku T_f , při níž ztrácí hmota své kaučukovité vlastnosti a mění se na vysoce viskózní kapalinu. Oblast zpracovatelnosti materiálu leží nad touto teplotou. Mezimolekulární síly klesají s rostoucí teplotou a tím se snižuje i viskozita taveniny. Tepelná degradace polymeru začne probíhat nad teplotou T_z . Průběh těchto vlastností je na Obr. 28. Odlišně od lineárních polymerů se chovají zesíťované amorfní polymery. Přesuny makromolekul jako celku vylučuje tuhá síť chemických vazeb a proto u těchto materiálů lze při vysokých teplotách nalézt jen určitou kaučukovitou oblast s relativně vysokým modulem pružnosti, který zůstává konstantní až do teploty rozkladu.

U semikrystalických plastů v oblasti teplot dochází k nejrychlejším změnám vlastností, kterou je teplota tání T_m (Obr. 29). Při této teplotě dochází k rozpadu a tání krystalitů a hmota přechází z tuhé fáze do kapalné. I zde lze stanovit teplotu zesklenní, protože tyto plasty obsahují určité množství amorfního podílu. Teplota zesklenní charakterizuje výrazné změny vlastností polymeru. Čím víc jsou tyto změny při T_g méně patrné, tím je vyšší stupeň krystalinity.



Obr. 28 Průběh deformačních vlastností u amorfního plastu [11, 12]



Obr. 28 Průběh deformačních vlastností u semikrystalického plastu [11, 12]

Informace k této kapitole 4 byly čerpány z [9, 11, 12].

5 POPIS POUŽITÝCH PRVKŮ

V této kapitole si popíšeme stěžejní prvky, které budou použity k řízení samotné výrobní linky. Také se zde podíváme na pneumatické členy, které jsou důležité a nezbytné pro chod výrobní linky jako takové a slouží k jejímu pohybu a správnému fungování.

5.1 Spínaný zdroj

Pro napájení řídicí elektroniky byl vybrán spínaný zdroj MEAN WELL RD-50A, který můžeme vidět na Obr. 29, kde jsou i jeho konkrétní specifikace. Tento zdroj poskytuje výstupní napětí o hodnotách 5V a 12V. To přesně vyhovuje požadavkům, kde 12V bude sloužit k napájení základové desky s mikrokontrolérem ATmega 128 a 5V bude pro napájení příslušných modulů.

MODEL		RD-50A	
OUTPUT	OUTPUT NUMBER	CH1	CH2
	DC VOLTAGE	5V	12V
	RATED CURRENT	6A	2A
	CURRENT RANGE	0.3 ~ 6A	0.3 ~ 3A
	RATED POWER	54W	
	RIPPLE & NOISE (max.) Note.2	80mVp-p	120mVp-p
	VOLTAGE ADJ. RANGE	CH1: 4.75 ~ 5.5V	
	VOLTAGE TOLERANCE Note.3	±2.0%	±7.0%
	LINE REGULATION Note.4	±0.5%	±1.5%
	LOAD REGULATION Note.5	±0.5%	±3.0%
	SETUP, RISE TIME	500ms, 20ms/230VAC	1200ms, 30ms/115VAC at full load
	HOLD UP TIME (Typ.)	60ms/230VAC	12ms/115VAC at full load
INPUT	VOLTAGE RANGE	88 ~ 264VAC	125 ~ 373VDC (Withstand 300VAC surge for 5sec. Without damage)
	FREQUENCY RANGE	47 ~ 63Hz	
	EFFICIENCY(Typ.)	79%	
	AC CURRENT (Typ.)	1.3A/115VAC	0.8A/230VAC
	INRUSH CURRENT (Typ.)	COLD START 33A/230VAC	
	LEAKAGE CURRENT	<2mA / 240VAC	
PROTECTION	OVERLOAD	110 ~ 150% rated output power Protection type : Hiccup mode, recovers automatically after fault condition is removed	
	OVER VOLTAGE	CH1: 5.75 ~ 6.75V Protection type : Hiccup mode, recovers automatically after fault condition is removed	
ENVIRONMENT	WORKING TEMP.	-25 ~ +70°C (Refer to "Derating Curve")	
	WORKING HUMIDITY	20 ~ 90% RH non-condensing	
	STORAGE TEMP., HUMIDITY	-40 ~ +85°C, 10 ~ 95% RH	
	TEMP. COEFFICIENT	±0.03%/°C (0 ~ 50°C) on +5V output	
	VIBRATION	10 ~ 500Hz, 5G 10min./1cycle, period for 60min. each along X, Y, Z axes	



Obr. 30 Specifikace spínaného zdroje MEAN WELL RD-50A [13]

Spínané zdroje mají oproti klasickým lineárním zdrojům značné výhody, a proto se v současné době začínají čím dál víc prosazovat hlavně tam, kde je třeba vyšších účinností a kompaktních rozměrů, např. počítače, notebooky, bateriové napájení spotřebičů, atd. Těmito zdroji se říká spínané, protože výstupní napětí je získáno ze vstupního pomocí spínání.

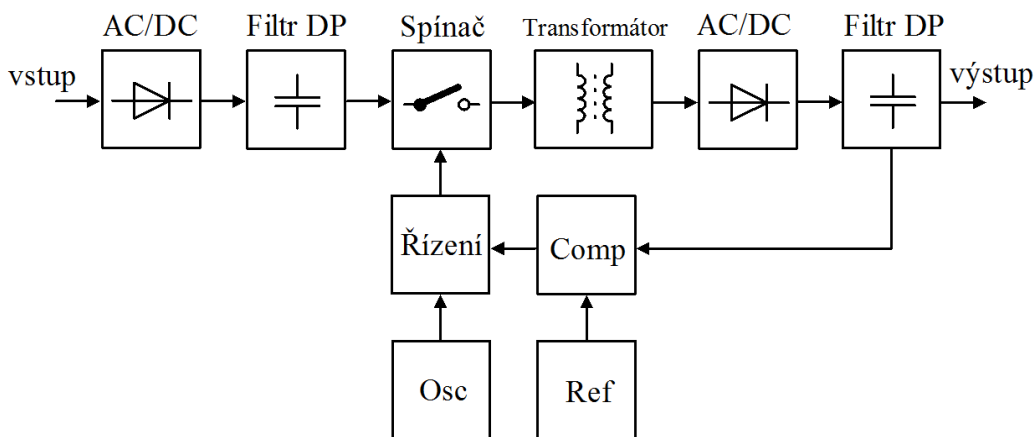
Výhody spínaných zdrojů oproti lineárním:

- Vyšší účinnost (nad 70%)
- Menší hmotnost a rozměry
- Velmi dobrá stabilizace parametrů výstupního napětí
- Výhodnější při velkém rozdílu vstupního a výstupního napětí
- Ekonomicky výhodnější i přes svoji obvodovou složitost

Nevýhody spínaných zdrojů oproti lineárním:

- Při potřebě malého zvlnění se musí uvažovat vliv impulsního charakteru zdroje
- Pomalejší reakce výstupního napětí na rychlé změny zatěžovacího proudu
- Jsou zdrojem rušivých signálů (spínací prvky)

Obecné blokové schéma spínaného zdroje zobrazuje Obr. 31. Vstupní střídavé napětí (ST) je v AC/DC měničích usměrněno a přeměněno na stejnosměrné (SS). Dále se přes analogový filtr DP (dolní propust') vyhladí střídavá složka. SS napětí je poté přivedeno na spínač, kterým bývá obvykle tranzistor. Ten SS napětí přemění na střídavé trojúhelníkového nebo obdélníkového průběhu. Kmitočet spínání je řízen oscilátorem (Osc) a má buď hodnotu síťového kmitočtu (50Hz) anebo i podstatně vyšší (100kHz až 1Mhz), čímž se dosahuje vyšší účinnosti zdroje. Velikost tohoto ST napětí je poté upravena transformátorem na požadovanou hodnotu. Pokud je na výstupu požadováno ST napětí, může být výstupní napětí transformátoru dále usměrněno. Logika spínání spínače je řízena zpětnou vazbou, která také zajišťuje stabilizaci regulace. V ní se používají bloky jako zdroj referenčního napětí (Ref), komparátor (Comp), apod.



Obr. 31 Blokové schéma spínaného zdroje [15]

Informace k této kapitole 5.1 byly čerpány z [14, 15].

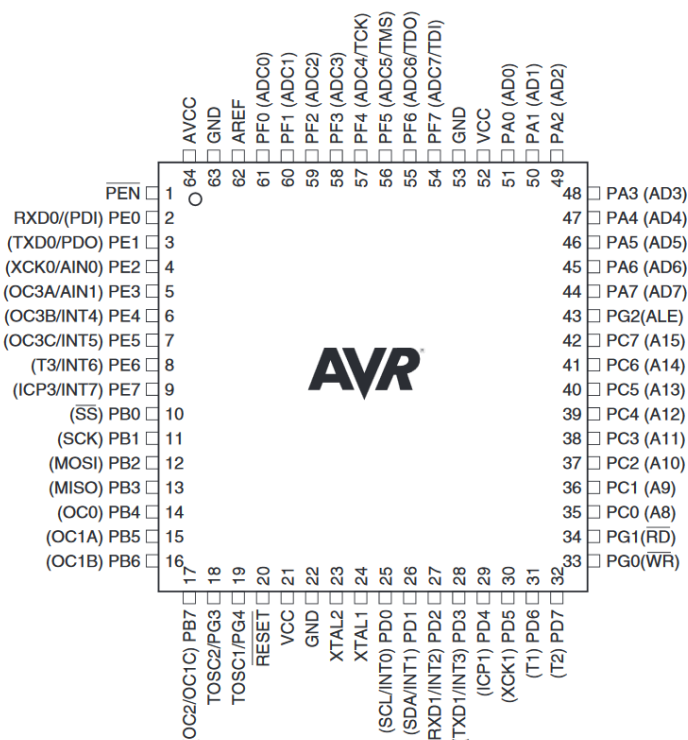
5.2 Mikrokontrolér ATmega 128

Jako řídicí jednotka byla vybrána základová deska MB-ATmega128 v4.0 od firmy PK-Design. Tato deska je založena na obvodu ATmega128-TQ64. Tato deska je vhodná jak pro výukové, tak i pro vývojové účely v oblastech mikroprocesorové techniky, vestavěných řídicích systémů, komunikačních systémů, apod. Díky portům, které jsou zde vyvedeny na konektory, lze k desce připojit velkou škálu rozšiřujících modulů, což vyhovuje požadavkům.

Vlastnosti mikrokontroléru Atmel ATmega128-16AI TQFP64:

- 8-bitový RISC mikrokontrolér
- Výkon - 16MIPS/16MHz
- Dvou-cyklová násobička na čipu
- Plně statická funkce, interní kalibrovaný RC oscilátor
- 32 osmibitových registrů pro obecné použití
- 133 výkonných instrukcí (většinou jednocyklových)
- 4kB interní SRAM
- 4kB EEPROM, 100.000 zápisových cyklů
- 128kB programová FLASH paměť, programovatelná přímo v aplikaci, 10 000 zápisových/mazacích cyklů
- JTAG (IEEE 1149.1) rozhraní pro ladění a programování
- 8-kanálový 10-bitový A/D převodník, analogový komparátor
- Bytově orientované sériové rozhraní (TWI)
- Master/slave SPI sériové rozhraní
- 53 programovatelných I/O vývodů
- 2 programovatelné USART komunikační rozhraní
- Dva 8-bitové PWM kanály
- Dva 8-bitové čítače a dva 16-bitové čítače (každý s vlastní před-děličkou)
- 6 PWM kanálů s programovatelným rozlišením 2-16 bitů
- Programovatelný Watch-dog časovač s vestavěným oscilátorem na čipu
- Čítač reálného času RTC s odděleným oscilátorem
- 6 režimů snížené spotřeby
- Napájecí napětí 4.5V-5.5V

Na Obr. 32 je zobrazen popis a rozvržení pinů pouzdra mikrokontroléru ATmega128.



Obr. 32 Piny ATmega128 [4]

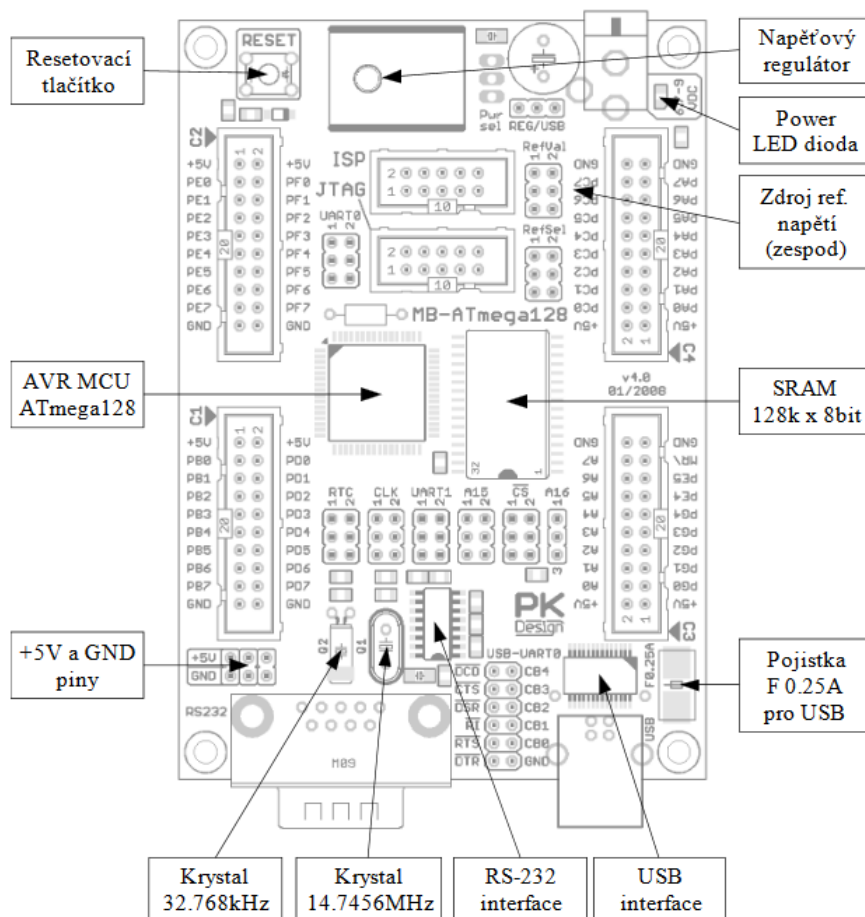
5.2.1 Vlastnosti základové desky

Základová deska obsahuje pouze součástky, které jsou nezbytně nutné pro její funkci (zdroj referenčního napětí pro vnitřní ADC převodník, napěťový regulátor, resetovací obvod, krystaly, apod.). Dále obsahuje 4 rozšiřující konektory CON1 – CON 4 typu MLW20, pomocí nichž se k mikrokontroléru mohou připojit různé moduly. Deska neobsahuje žádné periferní obvody připojené přímo k mikrokontroléru, takže je umožněno vývojáři zapojit celý systém dle potřeby, což přesně vyhovuje požadavkům. Na Obr. 33 jsou zobrazeny periferie základové desky.

Vlastnosti základové desky MB-ATmega128 v4.0:

- Obsahuje RISC mikrokontrolér Atmel ATmega128-16AI TQFP64.
- Pro programování lze použít volně dostupný vývojový software Atmel AVR Studio, WinAVR-GCC.
- Programování pomocí ISP nebo JTAG (JTAG i pro ladění).
- I/O vývody jsou přístupné na popsanych konektorech - možno připojit přídavné moduly či uživatelský hardware.
- Vestavěné periferie - odpojení a konfigurace pomocí propojek (vysoká univerzálnost).
- Napěťový regulátor na desce napájecí napětí pro mikrokontrolér a pro připojené moduly (+5V).
- Asynchronní SRAM paměť 128k x 8bit, 55ns. Připojení řídicích vodičů paměti je možné měnit propojkami.

- Nastavitelná napěťová reference pro interní AD převodník mikrokontroléru. Umožňuje připojení externí napěťové reference anebo použít jako referenci napájecí napětí Vcc.
- Zdrojem hodinového signálu může být krystal umístěný v patici na desce anebo externí zdroj hodinového signálu. Deska je dodávána s krystalem 14.7456MHz.
- Na desce je umístěný odpojitelný krystal 32.768kHz pro vnitřní RTC obvod mikrokontroléru.
- 2 odpojitelné sériové rozhraní: 1x RS-232 a 1x USB.
- Tlačítko RESET pro resetování mikrokontroléru.
- Rozměry desky (v, š, d) : 25mm, 74mm, 107mm



Obr. 33 Periferie základové desky [17]

5.2.2 UniProg-USB – universální programátor

UniProg-USB – universální programátor 1.0 (Obr. 34) slouží k programování mikrokontrolérů AVR přes ISP a JTAG rozhraní. Tento programátor bude využíván k programování mikrokontroléru. Jako software bude využíváno volně dostupné Atmel AVR Studio 4 a pro nahrávání programu do mikrokontroléru bude využit zdarma dostupný software na webu firmy PK-Design (AVR ISP programmer v6.61).

Základní informace programátoru:

- Plné galvanické oddělení.
- Jednoduché připojení k PC přes USB port.
- Programování přímo v aplikaci (výstupy jsou typu 3 stavová logika).
- Programovací konektor typu MLW10 - kompatibilní s konektory základové desky
- Automatické spuštění ISP/JTAG firmware na základě detekce typu připojeného kabelu (s/bez redukce v konektoru MLW10).
- Možnost změny vnitřního firmware pomocí vestavěného bootloaderu.
- Velmi malé rozměry – obal je typu „redukce CAN9-CAN9“.
- Napájení 3.3V-5.0V (z připojené aplikace).



Obr. 34 UniProg-USB – universální programátor 1.0 [19]

Informace k této kapitole 5.2 byly čerpány z [1, 4, 16, 17, 18, 19].

5.3 Optočleny

Optočlen je jedním ze základních prvků optoelektroniky. Říká se mu také optron, světelná závora či optoizolátor a používá se na transformaci elektrických a optických signálů. Vnitřní vazba mezi vstupním a výstupním signálem je zprostředkována světelným zářením (nejčastěji infračerveným). Základem optočlenu je optronová dvojice, která je tvořena světelným zářičem (nejčastěji infračervená luminiscenční LED dioda) a optickým detektorem (nejčastěji fototranzistor). Jako detektor se dají použít i fotodioda, fototyristor, apod.

Principem činnosti je, že LED generuje světelný signál v závislosti na vstupním signálu. Ten je přijímán detektorem a přeměněn zpět na elektrický signál, který je předán na vstup navazujícího elektrického obvodu. Mezi zdrojem a detektorem je izolované prostředí, které nevede elektrický proud, a tedy není mezi nimi galvanická vazba.

Využívají se k přenosu analogových či digitálních střídavých i stejnosměrných signálů, přičemž zajišťují velký izolační odpor mezi vstupem a výstupem a tudíž od sebe galvanicky

oddělují dva obvody. Při optickém přenosu nevzniká žádné elektrické ani magnetické pole. Takový optický spoj je tedy odolný proti vnějšímu rušení, nedochází u něj ke zpětným a parazitním vazbám, je těžce odposlouchatelný, apod. Dalšími výhodami optočlenů jsou: velká přenosová rychlost, malé rozměry a hmotnost, velká kapacita přenosu, nízká výkonová úroveň. Nejdůležitějšími parametry jsou izolační napětí (izolační pevnost) a přenosový poměr.

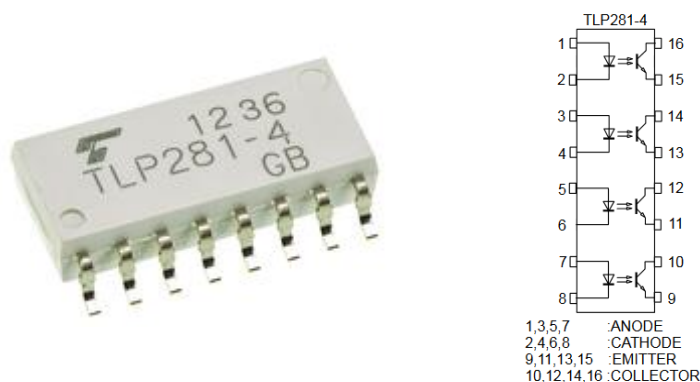
Přenosový poměr – udává změnu výstupního napětí vlivem změny vstupního proudu. U optočlenů s fotodiodou je poměr malý a jedná se tedy o zeslabení (0,001 až 0,01). U optočlenů s fototranzistorem je poměr v řádů jednotek až desítek a jedná se tedy o zesílení.

Izolační napětí – značí kvalitu izolace mezi vysílačem a přijímačem, tj. jak velké napětí je možno připojit mezi ně, aniž by došlo k průrazu (stovky až tisíce V).

Existují dva typy optočlenů, které se liší využitím. Analogové optrony se využívají pro galvanické oddělení analogových obvodů. Mají lineární závislost výstupního signálu na vstupním a mohou oddělovat střídavé i stejnosměrné obvody. Optrony pro logické obvody jsou určeny pro přenos dvou úrovní signálu. Nejsou tedy lineárně závislé a jejich realizace je tím pádem jednodušší než u analogových.

Nejpoužívanější typy jsou optočleny s tranzistorem, které jsou určeny pro stejnosměrné napětí a skládají se z LED a fototranzistoru. Fungují tak, že je na vstup optočlenu přiveden malý proud, který rozsvítí LED. Tím se fototranzistor začne otvírat a sepne obvod na výstupu. Díky galvanickému oddělení lze spínat mezi sebou obvody s odlišnou napěťovou úrovní (v řádech stovek V). Využívá se tam, kde je potřeba mít úplně oddělená zařízení včetně zemí.

Pro tyto účely byl vybrán optočlen s tranzistorem TOSHIBA TLP281-4 (Obr. 35) s izolační pevností 2,5kV z důvodů potřeby galvanického oddělení vstupů (tlačítek) a výstupů (výkonových tranzistorů) od řídicí jednotky ATmega128. Další parametry optočlenu jsou k nalezení v datasheetu [22].



Obr. 35 4x optočlen s tranzistorem (smd provedení, pouzdro SO16) [21, 22]

Informace k této kapitole 5.3 byly čerpány z [20, 21, 22].

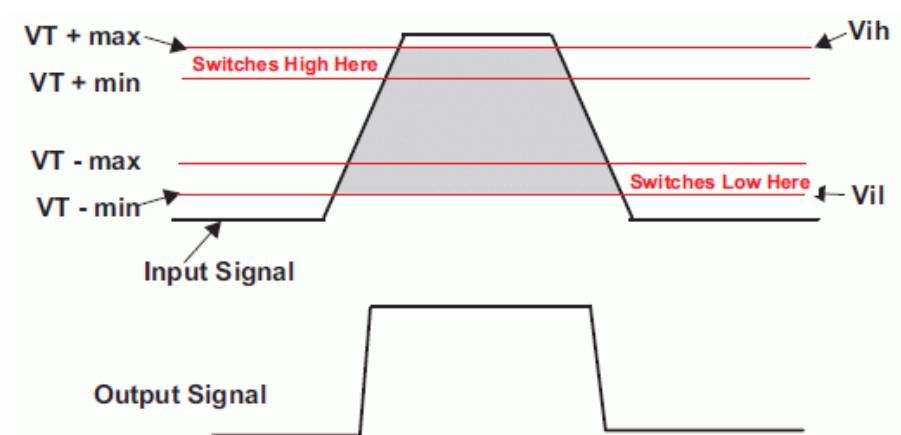
5.4 Schmittův klopný obvod

Většina logických obvodů vyžaduje na svých vstupech signál s rychlými hranami, tj. krátký sestupný i náběžný čas. Pokud tomu tak není, hrozí kmitání obvodu, tok nadměrného proudu a v nejhorším případě i poškození celého obvodu. Zdrojem nerychlých hran je především stisknutí tlačítka či zapnutí spínače, které mají na svých pinech filtrační kondenzátory pro odstranění zákmitů. Problém mohou představovat i jiné logické obvody, které jsou zatíženy např. kapacitou a indukcí připojených vodičů.

U standardních logických vstupů dochází k překlopení v případě sestupné ale i náběžné hrany, a pokud se mění hrany pomalu, může dojít k otevření obou výstupních tranzistorů zároveň. Tím vznikne v obvodu požadavek na větší napájecí proud. Jestliže takový proud není k dispozici, dojde ke krátkodobému poklesu napětí. Tím ale také dojde k posunutí rozhodovací úrovně vstupů a příslušný logický prvek se přepne do předchozího stavu. Následně tím stoupne napětí a celý proces se dokola opakuje. Výsledkem je kmitání obvodu (oscilace), které se ale také přenesou do rozvodu napájení. Toto se děje, i když je na vstup obvodu přiveden šum.

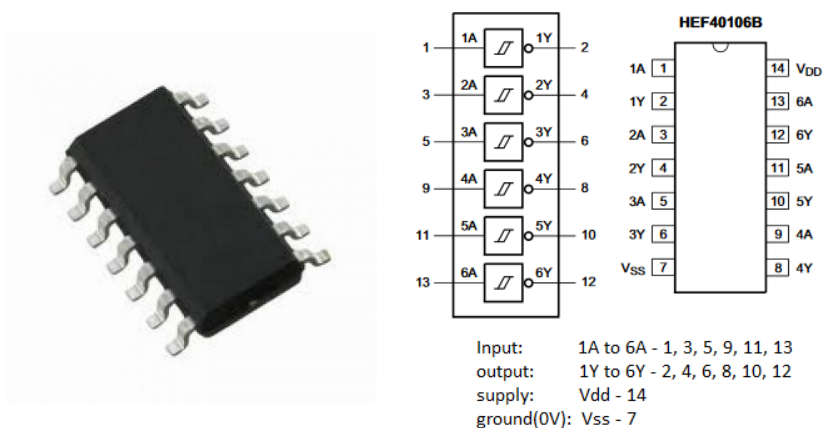
Řešením tohoto problému je právě použití Schmittova klopného obvodu (SKO), kterému se také říká komparátor s hysterezí. Ten zamezí vzniku jakýchkoliv zákmitů díky jeho hysterezní charakteristice vstupů. Výsledkem je logický obvod s jednoznačným signálem na výstupu. Toto se využívá u vstupů do různých logických součástek a mikrokontrolérů.

Velikost hystereze SKO (V_t) je definována úrovní napětí pro překlopení do vysoké úrovně (V_{t+}) a do nízké (V_{t-}). Hlavním omezením u SKO jsou napěťové úrovně. Náběžná hrana signálu je akceptována tehdy, kdy se její napětí pohybuje mezi hodnotami ($V_{t+ \text{ min}}$) a ($V_{t+ \text{ max}}$). Sestupná hrana pak mezi ($V_{t- \text{ max}}$) a ($V_{t- \text{ min}}$). Zároveň je nutné, aby se napětí na vstupu pohybovalo mezi hodnotami ($V_{t- \text{ min}}$) a ($V_{t+ \text{ max}}$) jak je vidět na Obr. 36.



Obr. 36 Úrovně napětí signálu na hysterezním vstupu [23]

SKO se tedy hodí tam, kde potřebujeme jednoznačné logické úrovně. To také odpovídá požadavkům, aby na vstupu řídicí jednotky ATmega128 byl takto jednoznačný signál. Jako SKO byl vybrán CMOS 40106 v smd pouzdře SO14, které obsahuje 6 x invertující Schmittův klopný obvod (Obr. 37). Další parametry SKO jsou k nalezení v datasheetu [24].

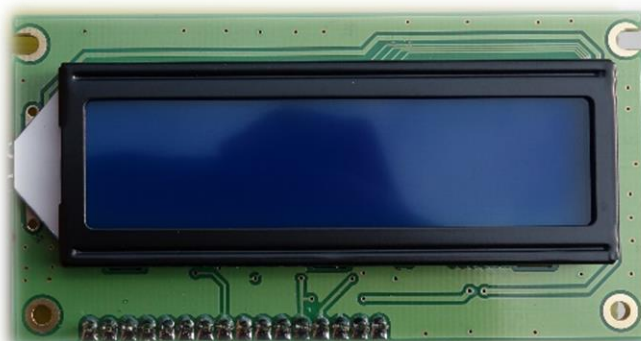


Obr. 37 6 x invertující Schmittův klopný obvod (smd provedení, pouzdro SO16) [24, 25]

Informace k této kapitole 5.4 byly čerpány z [23, 24, 25].

5.5 Alfanaumerický LCD displej

Pro ovládací menu byl zvolen dvouřádkový alfanumerický LCD displej MC1602E-SBL/H s řadičem S6A0069 (Obr. 38), který obsahuje znakovou sadu i instrukce pro ovládání displeje. Tento displej dokáže zobrazit 16 znaků na řádek a obsahuje také modré podsvícení. To vyhovuje požadavkům, aby byl displej dobře čitelný i ve špatných světelných podmínkách. Popis pinů, mechanický diagram a další specifikace lze najít v datasheetu [26].



Obr. 38 Alfanaumerický LCD displej MC1602E-SBL/H

5.6 Pneumatické prvky

Pneumatické pohony se používají tam, kde je potřeba malých až středních sil a rychlých pohybů. Jako pohon je využíván stlačený vzduch. Ten má mnohostranné využití jako např. u výrobních strojů a linek ve většině průmyslových odvětví. Je také lehce dostupný (pomocí pojízdných kompresorů lze využít na různých místech), lehce skladovatelný, bezpečný (lze využít ve výbušném prostředí) a bez negativních vlivů na životní prostředí.

Výhody pneumatických systémů jsou:

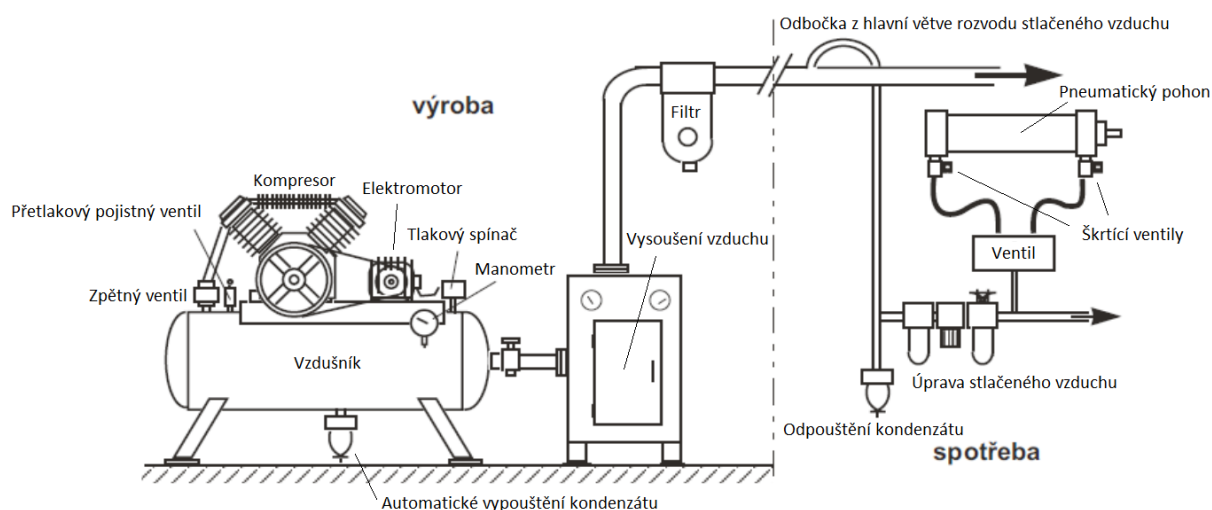
- Možnost rychlých pohybů
- Snadná regulace
- Rozvod i na delší vzdálenosti
- Netřeba odpadových větví rozvodu

Nevýhody pneumatických systémů jsou:

- Problematické dosažení pomalých a plynulých pohybů
- Omezená síla
- Nepřesné zastavování v mezipolohách

5.6.1 Základní pneumatický obvod

Součástí obvodů, které využívají stlačený vzduch, jsou pneumatické válce, úchopné hlavice, kyvné pohony a pneumatické motory. Ty převádí energii stlačeného vzduchu na mechanickou. Ta se využívá k opracování materiálu, dopravě, zajištění polohy, atd. K ovládání a také řízení těchto pohonů slouží další pneumatické prvky. Dále jsou třeba jednotky pro úpravu vzduchu, který ho filtrují, zbavují nečistot a regulují jeho tlak, popř. jej přimazávají olejem. Ventily řídí směr toku vzduchu, a tím i pohyby pneumatických pohonů. Škrtkové ventily řídí rychlost proudu vzduchu, a tím i rychlost pohybu pneumatických pohonů. Na Obr. 39 je zobrazen základní pneumatický obvod.



Obr. 39 Základní pneumatický obvod [27]

5.6.2 Elektromagnetické ventily

Elektromagnetické ventily slouží k uzavírání průtoku vody, páry, olejů nebo neutrálních plynů a jejich využití najdeme u rozvodů vody, chladících a topných systémů nebo vzduchotechniky. Vyrábějí se ve dvou typech, kde je základní poloha buď uzavřená, nebo otevřená a existují v provedení 2/2, 3/2, 4/2 nebo 5/2-cestné. Jsou ovládány pomocí cívky buď přímo, nepřímo nebo nuceně.

➤ Elektromagnetické přímo ovládané ventily

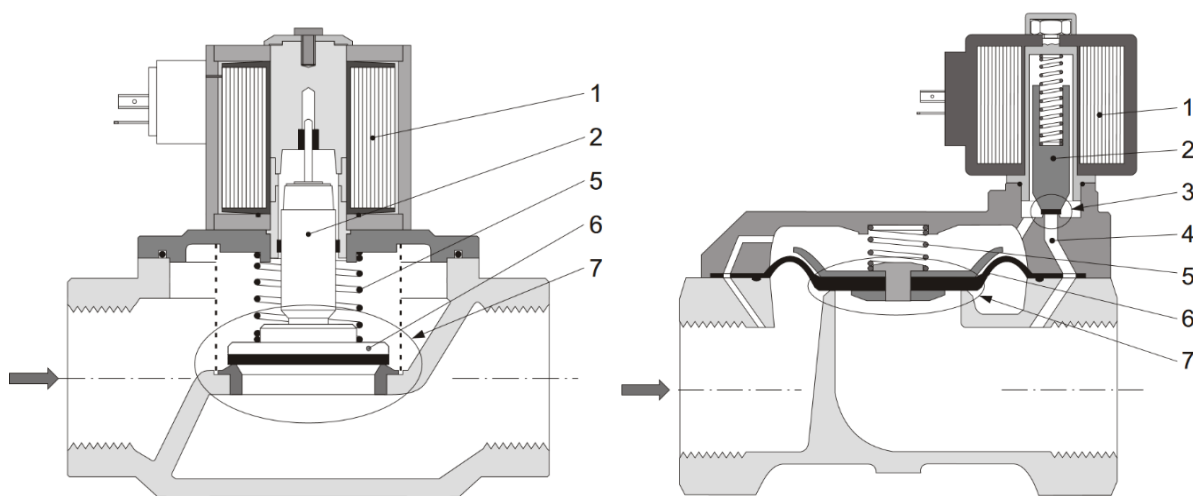
U těchto ventilů (Obr. 40) je kuželka (6) přímo spojená s kotvou (2) elektromagnetu a ten tedy přímo otvírá průchod ventilem (7) bez potřeby tlakového rozdílu. Ve stavu, kdy je cívka (1) bez napětí, pružina (5) tlačí kuželku do sedla ventilu a tím uzavírá jeho průchod.

➤ Elektromagnetické nepřímo ovládané ventily

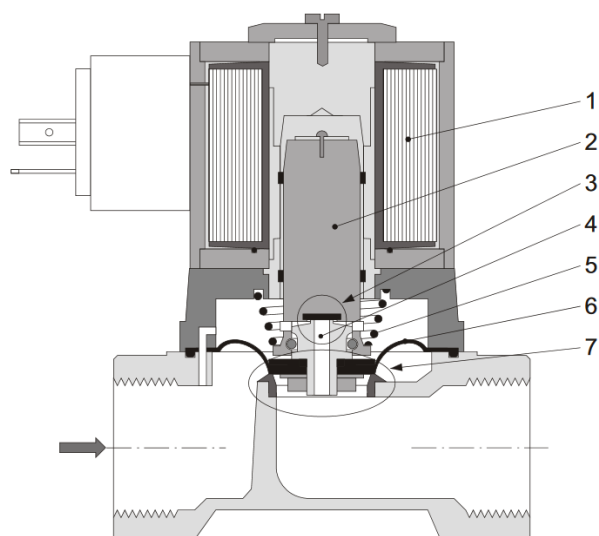
U těchto ventilů (Obr. 40) není kuželka (6) přímo spojená s kotvou (2) elektromagnetu, který otvírá pomocný přepouštěcí kanál (4) a pomocné sedlo (3). Tím se uvolní tlak nad kuželkou a průchod ventilem je otevřen (pomocí tlakového rozdílu). Takovéto ventily pracují vždy od nějakého min. tlakového rozdílu. Při poklesu pod jeho úroveň začne kuželka průchod omezovat, ale pomocné sedlo zůstane otevřené i tak. Uzavření ventilu zabezpečí pružina (5) a není tedy potřeba min. tlakový rozdíl pro jeho uzavření.

➤ Elektromagnetické nuceně ovládané ventily

Tyto ventily (Obr. 41) slučují výhody přímo a nepřímo ovládaných ventilů. Pokud je na ventilu nějaký tlakový rozdíl (diferenční tlak), tak se chová jako nepřímo ovladatelný. Pokud tlakový rozdíl klesá, kuželka (6) zůstává v otevřeném stavu, protože je zavěšena na jádře (2) elektromagnetu (nuceně otevřená).

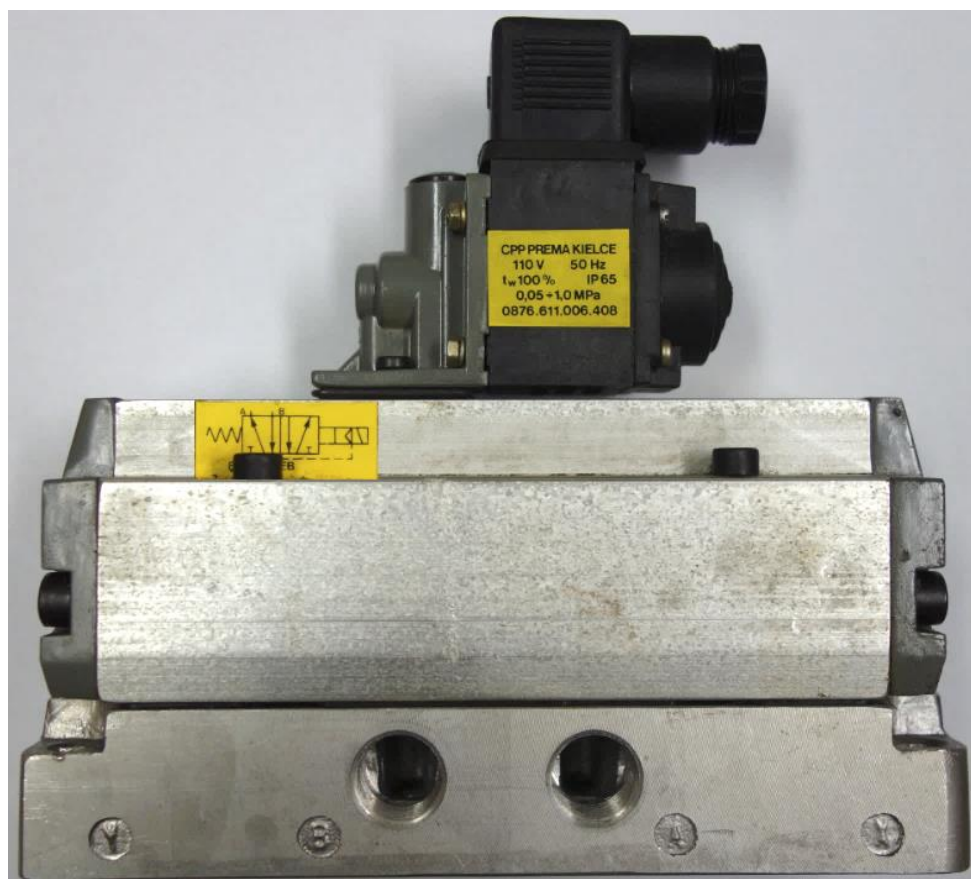


Obr. 40 Elektromagnetické ventily – přímo ovládaný (vlevo), nepřímo (vpravo) [28]



Obr. 41 Elektromagneticky nuceně ovládaný ventil [28]

U této výrobní linky jsou použity 5/2-cestné elektromagnetické ventily od firmy CPP Prema Kielce (Obr. 42) s cívkami na 110V, které budou spínat pneumatické písty pojezdů výrobní linky a vyfukovací pneumatikých válců.



Obr. 42 Elektromagnetické ventily od firmy CPP Prema Kielce s cívkami na 110V

5.6.3 Pneumatické válce

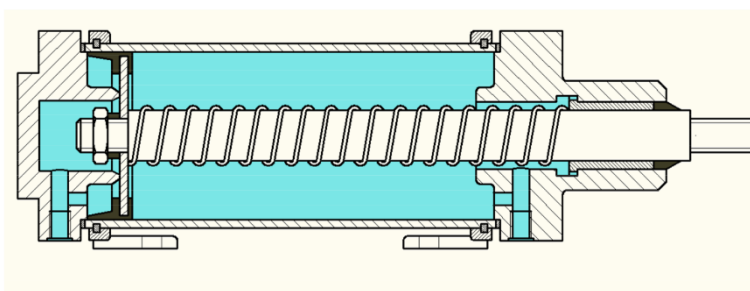
Pneumatické válce převádí energii stlačeného vzduchu na mechanickou. Tyto válce se dělí na jednočinné s pneumatickým pohonem v jednom směru a dvojčinné s pohonem v obou směrech.

➤ Jednočinné pneumatické válce

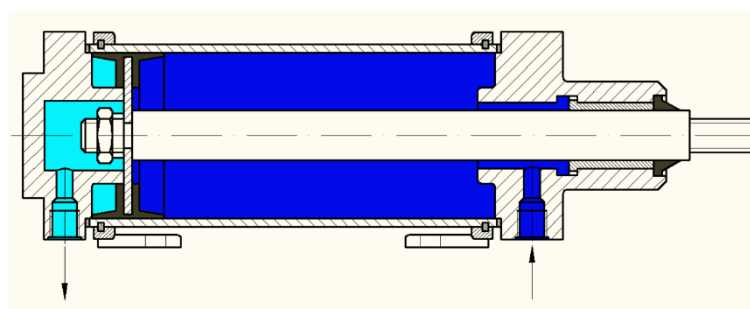
Tyto válce (Obr. 43) se vyrábí v membránovém provedení a pístnicovém. Tlak vzduchu zde působí jen na jednu stranu pístu či membrány. Zpětný pohyb zabezpečuje pružina, vnější síla (např. závaží) či nepružení membrány. U pístnicového válce (Obr. 43) je pístní tyč vytlačována z válce tlakem vzduchu a zdvih je tedy závislý na délce pístního válce. Může být ale redukován dorazem či distančními objímkami. U membránového válce se vlivem tlaku vzduchu prohýbá membrána a vytlačuje pístnici, jejich výhoda je nenáročná údržba.

➤ Dvojčinné pneumatické válce

U těchto válců (Obr. 44) působí stlačený vzduch na střídavě v obou směrech a lze nastavit i jejich rychlost. Výhody oproti jednočinným jsou v rychlém a rovnoměrném zpětném chodu a ve větším zdvihu. Rozsah pohybu je obvykle vymezen zarážkami ve válci a jejich opotřebení vlivem prudkých nárazů lze omezit pružnými podložkami tlumící nárazy. Při pohybu opačným směrem volně prochází zpětným škrticím ventilem vzduch a působí tak tlakem na opačnou stranu pístu. Válec s oboustranně vyvedenou pístní tyčí může lépe odolávat příčným silám.



Obr. 43 Jednočinný pneumatický pístnicový válec [29]



Obr. 44 Dvojčinný pneumatický pístnicový válec [29]

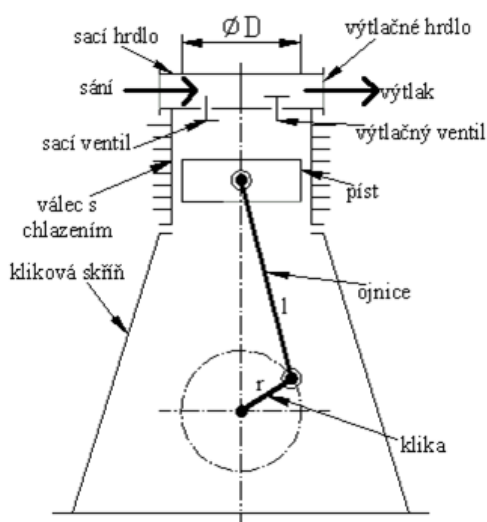
U této výrobní linky budou používány dvojčinné pneumatické pístnicové válce, které slouží k pohybu pojezdů, s regulací rychlosti pomocí škrtících ventilů. Dále jsou použity jednočinné pneumatické pístnicové válce s provrtanou pístnicí (Obr. 45), speciálně vyrobené na zakázku, které slouží k vyfukování tvaru příslušných výrobků.



Obr. 45 Jednočinný pneumatický pístnicový válec s provrtanou pístnicí vyrobený na zakázku

5.6.4 Kompresor

Kompresor je pracovní stroj určený ke stlačování plynů a par. Rozdělují se na objemové (zvýšení tlaku probíhá tak, že se zmenšuje objemu pracovního prostoru, kde je plyn uzavřen) a rychlostní (zrychlením proudícího plynu se dosahuje zvýšením tlaku, po něm následuje přeměna kinetické energie v tlak). Mezi objemové patří kompresory pístové a rotační (lamelové, šroubové). Mezi rychlostní patří turbokompresor (axiální, radiální). Na Obr. 46 je schéma objemového jednostupňového pístového kompresoru. U něj se dosahuje změny objemu plynu přímočarým vratným pohybem pístu uvnitř válce. Když se píst pohybuje dolu, je plyn nasáván přes sací ventil o sacím tlaku p_1 . Při opačném pohybu se plyn stlačuje na tlak p_2 a následně vytlačuje výtlačným ventilem z válce ven.



Obr. 46 Objemový jednostupňový pístový kompresor [30]

K pohonu kompresorů se používá spalovací motor nebo elektromotor. Pohon elektromotorem se používá převážně v průmyslových provozech a pohon spalovacím motorem u mobilních kompresorů.

Regulace kompresorů je potřebná při nerovnoměrné spotřebě tlakového vzduchu a je tak nutné jejich výkon přizpůsobovat spotřebě, aby nedocházelo ke kolísání výtlačného tlaku. Regulace tedy udržuje provozní tlak v povolených mezích max. a min. hodnot, které se dají nastavovat. Rozlišujeme její dva druhy:

➤ **Regulace s chodem na prázdno**

1. **Odpouštění do atmosféry** – je realizována pomocí pojistného ventilu ve výtlačném potrubí. Nejjednodušší regulace, vhodná jen pro malá zařízení.
2. **Uzavřením sání** – je realizována uzavíráním sacího nástavce. Kompresor nemůže nasávat vzduch a vzniká tím v sání podtlak. Využití hlavně u rotačních kompresorů, někdy i u pístových.
3. **Odtlačení sacího ventilu** – pístek regulátoru odtlačí sací ventil a drží ho otevřený, kompresor nemůže vzduch stlačovat. Velmi jednoduchý způsob regulace využívaný u větších pístových kompresorů.

➤ **Regulace výkonu**

1. **Regulací otáček** – nastavení požadovaných otáček probíhá automaticky nebo ručně podle provozního tlaku. Využívá se při pohonu spalovacím motorem řízeným regulátorem otáček. Při pohonu elektromotorem je využívána stupňovitá regulace otáček pomocí přepínání počtu pólů (moc často se nepoužívá).
2. **Škrcením v sání** – je realizována škrcením průtočného průřezu sacího nástavce. Díky tomu je možné nastavit výkon kompresoru v širokém rozmezí. Využití u turbokompresorů a u rotačních.

U této výrobní linky bude dodávat stlačený vzduch třípístový kompresor Orlík 3JSK-75-2 s elektromotorem. Ten je zobrazen na Obr. 47, kde jsou i jeho specifikace. Kompresor je rozšířen o dva vzdušníky. Pro spolehlivý chod linky bude vzduch tlakován na 4 atm (0,4 Mpa).



Obr. 47 Třípístový kompresor Orlík 3JSK-75-2 s elektromotorem

Informace k této kapitole 5.6 byly čerpány z [27, 28, 29, 30, 31], kde lze nalézt i další informace.

6 MODERNIZACE OVLÁDACÍ JEDNOTKY

Úkolem je zmodernizovat řídicí jednotku výrobního stroje z roku 1996. Tato stará řídicí jednotka využívá pro řízení RS klopné obvody a TTL logiku. Toto řízení bylo poloautomatické a pro budoucí plány využití nevyhovující a zastaralé. Není zaručena ani její spolehlivost, jelikož se 20 let nepoužívala. Panel této řídicí jednotky je vidět na Obr. 48, který si popíšeme.

Samotný panel byl zapínán páčkovým přepínačem (zap. / vyp.), kde zapnutí signalizuje zelená dioda (zdroj). Dále jsou tu zelená tlačítka START zvlášť pro spuštění stroje (vlevo) a zvlášť pro spuštění řezacího nože (vpravo) a červené tlačítka STOP pro zastavení celé linky. Nůž se zapínal/vypínal otočným vypínačem (nůž zap. / vyp.). Dále zde je vidět otočný přepínač pro nastavování prodlevy (doby chlazení), resp. doby natečení plastové taveniny do forem. Nakonec zde vidíme čtyři páčkové přepínače pro tlak, přejezd, trny 1, trny 2 a příslušné diody, které se rozsvítí při přepnutí přepínače do polohy 1. Tlak slouží k uzavírání páru forem, přejezd k přejetí celého stroje do druhé polohy a trny 1, trny 2 pro sepnutí vyfukovacích pístů.



Obr. 48 Panel staré ovládací jednotky

Nyní se podíváme, jak vypadá náš výrobní stroj, který se bude modernizovat. Celý stroj je postaven z pneumatických pístů, které drží pohromadě železná konstrukce. Dva písty se starají o hlavní pojezd celého bloku, který obsahuje formy a píst. Tento blok je jimi posouván směrem od hlavy extrudéru a zpátky. V tomto bloku jsou na bocích pevně umístěné jedny části forem. Píst zde posouvá posuvnou prostřední částí, na které jsou umístěny protějšky forem. V jednom stavu jsou uzavřené jedny formy a ve druhém jsou uzavřeny druhé a otevřeny první. Na stroji ještě budou přidělané vyfukovací písty pro vyfukování forem. Celé toto řídí ovládací panel, který spíná cívky příslušných elektromagnetických ventilů. Ty jsou umístěny v červené bedýnce, kterou můžeme vidět na Obr. 49, u které je i celý výrobní stroj s ovládací jednotkou. Jak je vidět na obrázcích, jedna forma zde chybí. Ta momentálně není dostupná, a tudíž při ukázce bude nutno se bez ní obejít.

K řízení této výrobní linky bude využit jako řídicí jednotka mikrokontrolér ATmega128, konkrétně základová deska, která již byla popsána. Nabízel by se zde využít i programovatelný automat, ale zadavatel úkolu trval na použití mikrokontroléru. Je to logický krok, protože mikrokontroléry jsou pro tyto potřeby plně dostačující a již se výborně osvědčili u druhé výrobní linky, která ve firmě již přes rok pracuje. Je to také vhodné do budoucna, kde by mohly linky spolupracovat.

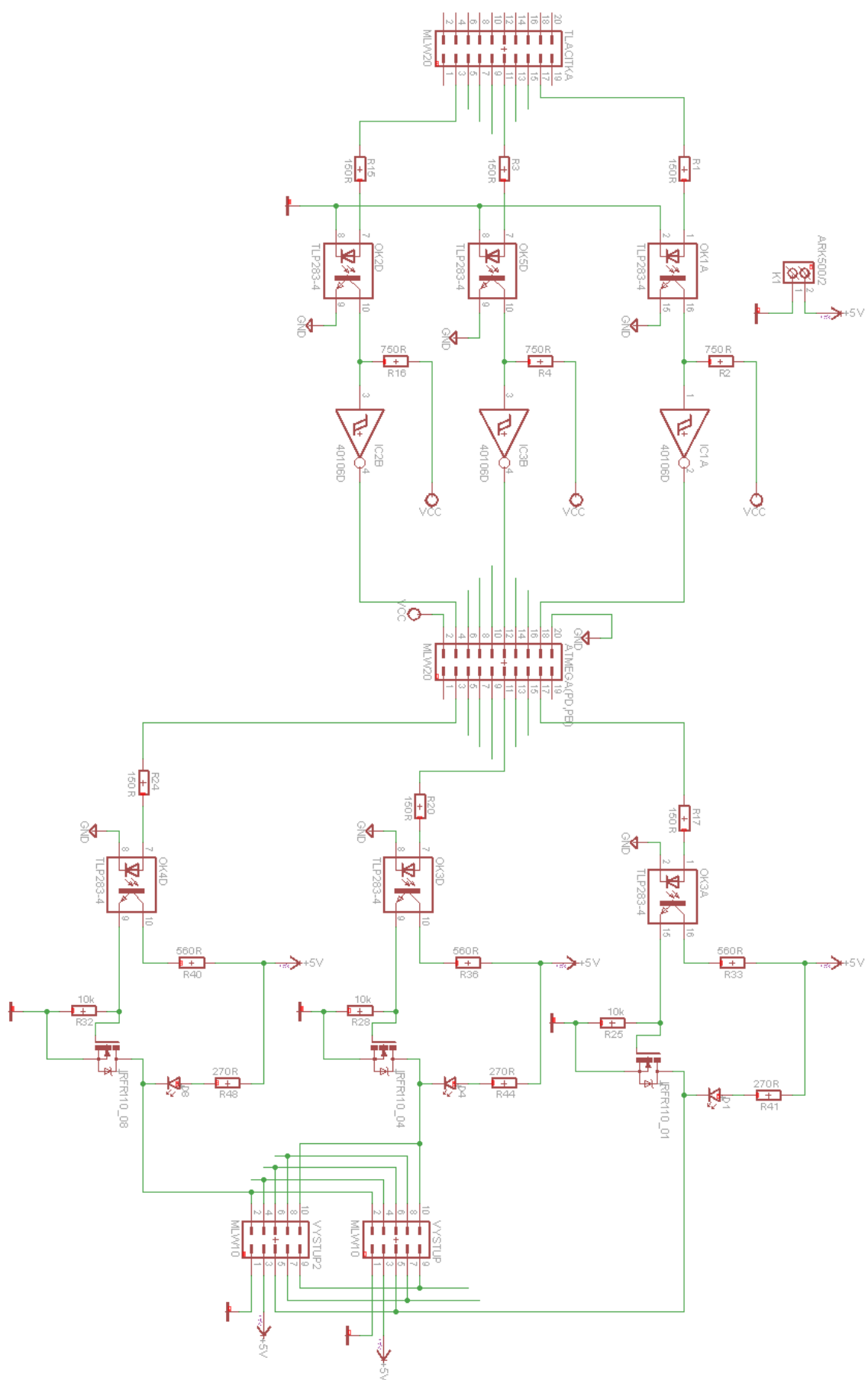
Mikrokontrolér zde bude zastávat pouze řídicí funkci, která bude dána jeho programem a bude potřeba udělat periferie, které bude řídit. Po osobních zkušenostech bylo rozhodnuto o vytvoření více modulů, které budou spolu komunikovat. Výhodou takového přístupu je, že při poškození stačí vyměnit či vyrobít jen daný modul a ne celou desku. Další výhodou je také možnost vylepšení a rozšíření, kde stačí jen připojit nový modul na konektor. Pro tyto potřeby tedy byly navrženy a zhotoveny tři moduly plošných spojů, které se budou připojovat k portům přes konektor MLW20, vyvedeným na základové desce mikrokontroléru. Tyto moduly byly navrženy v programovém prostředí Eagle verze 6.5.0, které se používá pro navrhování plošných spojů.

6.1 Modul řídicí desky vstupů a výstupů

Hlavním modulem je modul řídicí desky vstupů a výstupů. Tento modul se připojuje přes konektor MLW20 přímo na porty PB a PD mikrokontroléru pomocí páskového kabelu. Modul se skládá ze vstupní a výstupní části. Obě tyto části jsou galvanicky oddělené pomocí optočlenů s fototranzistorem, včetně zemí. Vstupní část začíná konektorem (TLACITKA), na který bude připojen modul displeje menu. Přes něj budou na tyto vstupy připojeny tlačítka pro ovládání menu a také tlačítka START a STOP. Tyto dvě tlačítka musí být připojeny na vstup mikrokontroléru na piny PD0 a PD1, protože potřebujeme, aby se po stisknutí vyvolalo vnější přerušení (INT0 a INT1). To zastaví nebo pustí celou výrobní linku. Před konektorem do ATmegy máme Schmittovy klopné obvody pro zajištění rychlé a ostré hrany signálu. Tato vstupní část je přivedena na port PD mikrokontroléru, výstupní část je připojena na portu PD. Ve výstupní části máme za optočleny výkonové unipolární N-Kanálové tranzistory IRFR110. Tyto tranzistory budou spínat relé, které budou umístěny na modulu reléových výstupů. Také zde máme připojenou signalizační modrou diodu, která signalizuje otevření tranzistoru (sepnutí výstupu, resp. relé). V bázi tranzistorů máme poměrně velký rezistor (10k), jelikož unipolárními tranzistory stačí k otevření i velmi malé napětí. Výstupy tranzistorů vedou na výstupní konektor MLW10, na který bude připojen modul reléových výstupů. Tento výstupní konektor je zdvojený pro případ budoucího připojení ještě jednoho modulu. Na desce je svorkovnice pro připojení +5V ze spínaného zdroje. To bude napájet tranzistory a bude vyvedeno i na výstupním konektoru (VYSTUP, VYSTUP2).

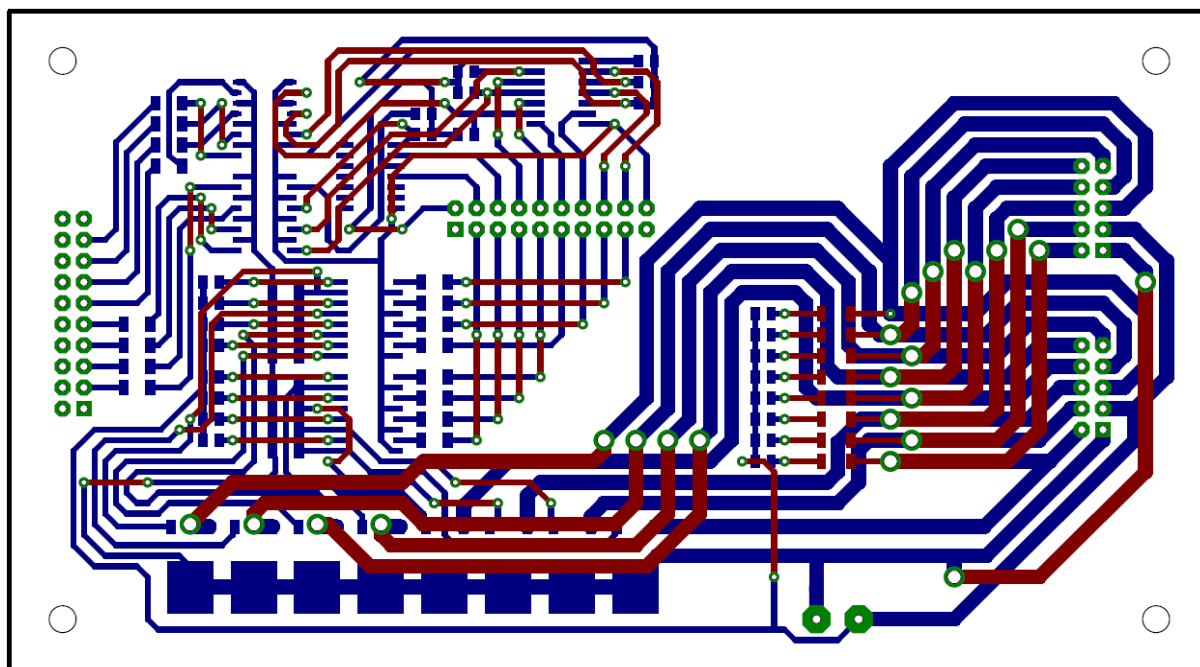
Když bude potřeba otevřít tranzistor, nastaví se příslušný výstup portu, ke kterému je tranzistor připojen do log. 1. Tím začne procházet proud z portu na vstup optočlenu, který otevře fototranzistor na jeho výstupu a do báze unipolárního tranzistoru začne procházet proud, který ho otevře a přepne výstup na zem. Cívky relé jsou připojeny na +5V, a tím se sepnou.

Redukované schéma zapojení tohoto modulu je na Obr. 51, které obsahuje 3 vstupní a 3 výstupní zapojené piny z celkového počtu 8 vstupních a 8 výstupních pinů. Úplné schéma zapojení je v příloze 1.3.



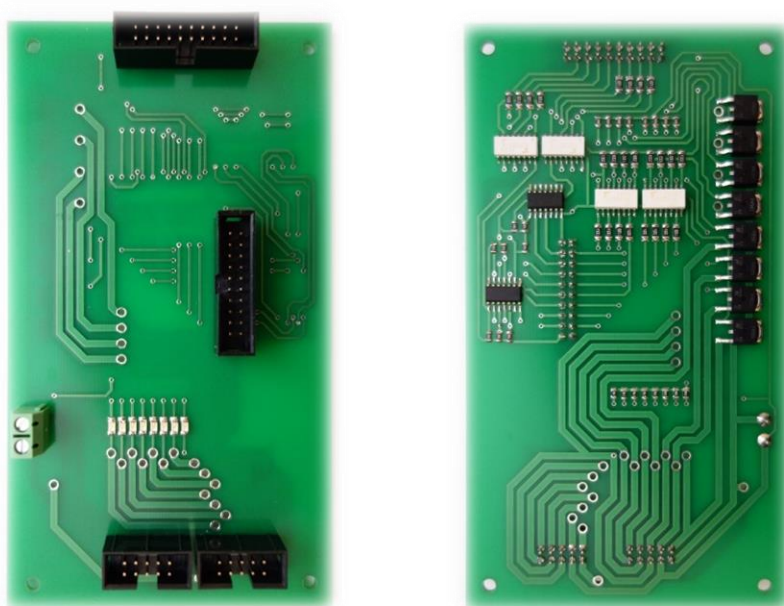
Obr. 51 Redukované schéma zapojení modulu řídicí desky vstupů a výstupů

Z takto navrženého schéma modulu byl navrhnout plošný spoj, který je vidět na Obr. 52. Vlivem větší složitosti obvodu bylo nutné navrhnout oboustranný plošný spoj. Součástky byly použity v SMD provedení, aby modul nebyl příliš velký. Tento modul byl vyroben a osazen specializovanou firmou na výrobu desek plošných spojů, která ho vyrobila z dodaných návrhů v Eaglu.

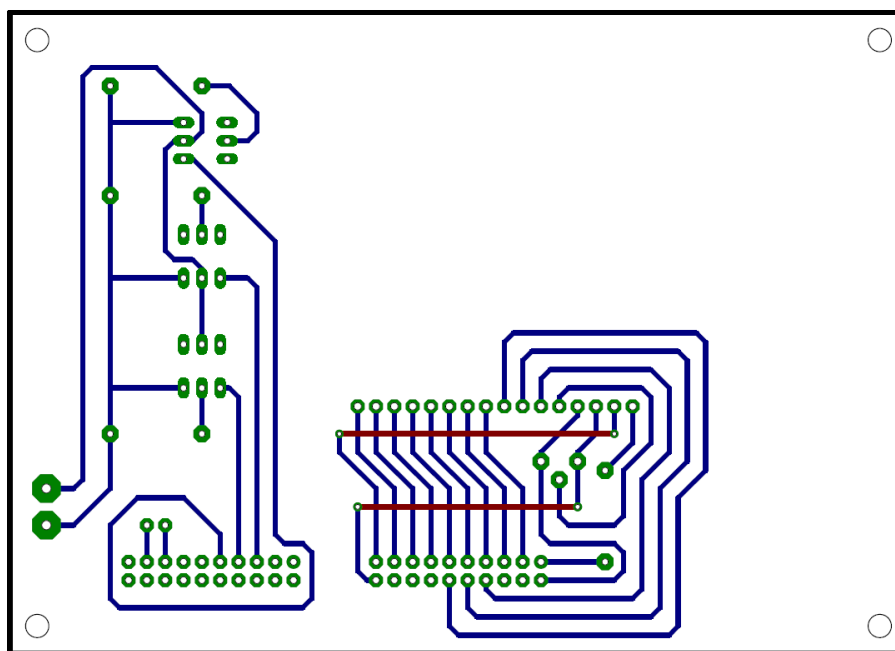


Obr. 52 Deska plošného spoje modulu řídicí desky vstupů a výstupů

Všechny součástky byly použity v SMD provedení, kromě konektorů a svorkovnice. Vyrobený modul je vidět na Obr. 53.

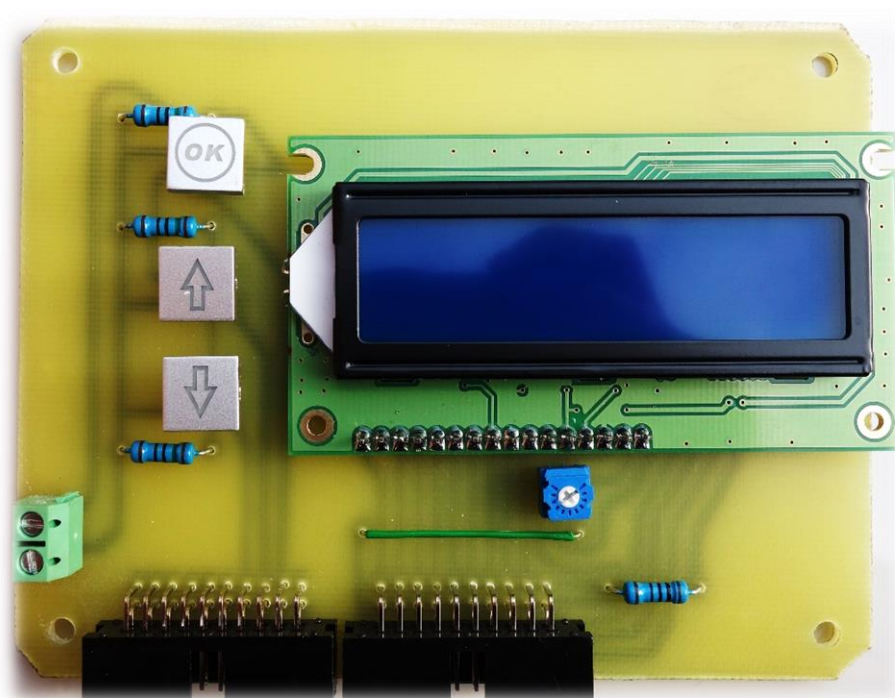


Obr. 53 Hotový modul řídicí desky vstupů a výstupů (levý - pohled shora, pravý - pohled zdola)



Obr. 55 Deska plošného spoje modulu displeje menu

Na Obr. 56 je vidět hotový modul displeje menu.

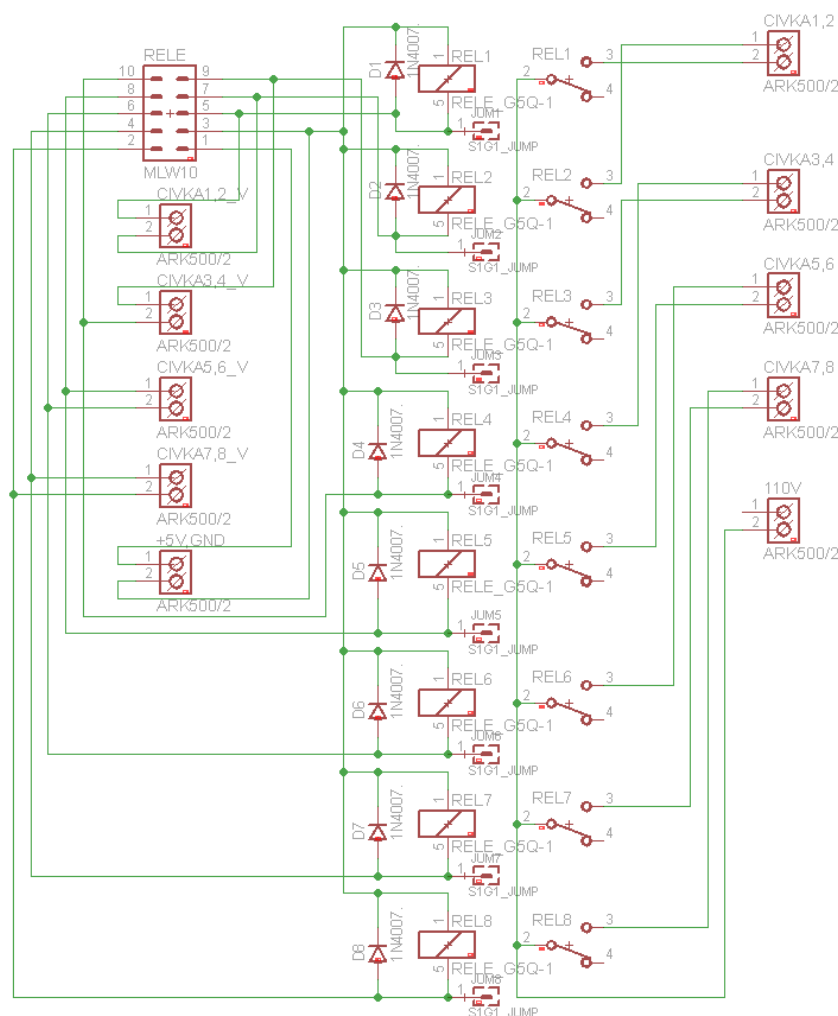


Obr. 56 Hotový modul displeje menu

6.3 Modul reléových výstupů

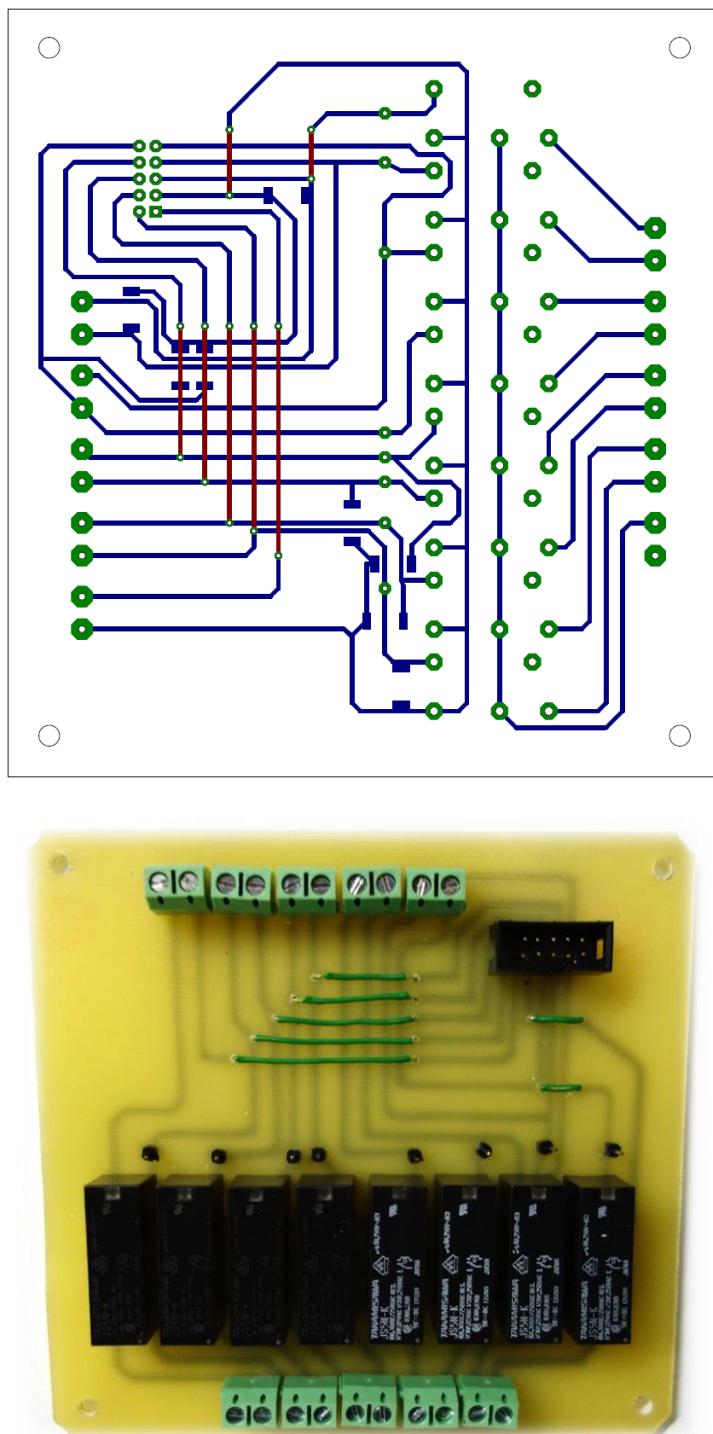
Třetím a posledním modulem je modul reléových výstupů. Ten bude sloužit ke spínání cívek ventilů na 110V. Jak už název napovídá, je to deska s relé. Ty budou spínány unipolárními tranzistory z hlavního modulu. Když bude tranzistor sepnut, příslušná cívka relé se sepně a uzavře se tím obvod přes tranzistor na zem.

Na desce je konektor MLW10, který slouží k připojení modulu k výstupnímu konektoru hlavnímu modulu opět páskovým kabelem. Dále zde máme svorkovnice. Jedna je na vstupech relé a druhá na jeho výstupech. První zmíněná svorkovnice slouží k připojení tlačítek, které ovládají přímo spínání relé. Je to uděláno proto, aby šly cívky pneumatických ventilů spínat ručně pomocí spínačů z důvodů najíždění při výměně forem či při údržbě bez účasti automatiky (mikrokontroléru). Tlačítka fungují tak jako tranzistory, připínají zem. Relé je tam celkem 8krát, ale bude jich využíváno jen 5. Další tři jsou zde pro případné rozšíření. Výstupy z relé jsou ze svorkovnice připojeny dráty k příslušným cívkám elektromagnetických ventilů. Dále jsou zde piny pro připojení diod spínačů, které budou signalizovat sepnutí relé na ovládacím panelu. K cívkě relé je paralelně připojena odrušovací dioda, protože cívka má určitou indukčnost, která při rozpojení obvodu vygeneruje napěťovou špičku. Ta by mohla spínací tranzistor prorazit. Schéma zapojení modulu je na Obr. 57.



Obr. 57 Schéma zapojení modulu reléových výstupů

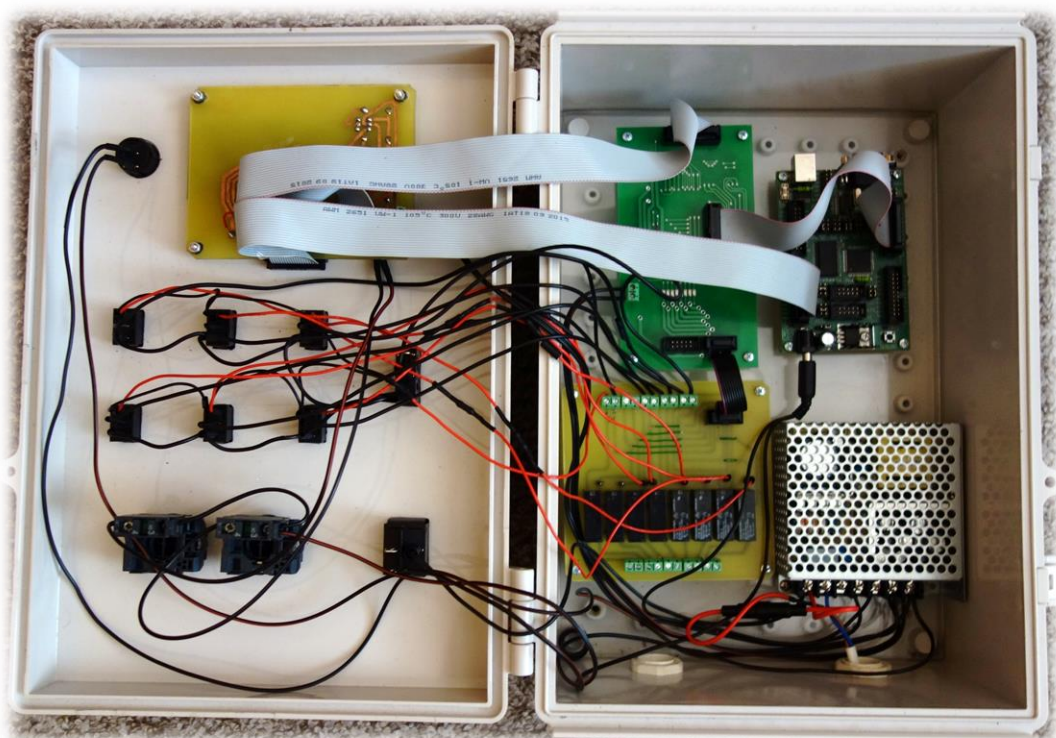
Z takto navrženého schématu modulu byl navrhnut plošný spoj v programu Eagle, který je vidět na Obr. 58, kde je i hotový modul. Tento plošný spoj byl opět vyráběn ručně.



Obr. 58 Deska plošného spoje modulu reléových výstupů a její hotový modul

6.4 Návrh panelu ovládací jednotky

Panel byl navržen tak, aby fungoval podobně jako u druhé výrobní linky, která ve firmě již pracuje. To byl požadavek zadavatele úkolu. Jako ovládací panel byla tedy vybrána plastová průmyslová krabička IP65 U-01-46 z ABS materiálu o rozměrech 285x185x180 mm. Do této krabičky přijde celá řídící elektronika (základová deska s ATmega128, 3x modul) včetně spínaného zdroje, jak je vidět na Obr. 59. Zde jsou již všechny moduly spolu propojeny i s tlačítky na ovládacím panelu. Obrázek je focen ještě před zapojením k výrobnímu stroji, a tudíž nejsou připojeny na svorkovnici výstupů relé. Modul menu displeje je přidělán na předním panelu s tlačítky.



Obr. 59 Propojení modulů a tlačítek v krabičce ovládacího jednotky

Samotný ovládací panel je zepředu vidět na Obr. 60, který si popíšeme. Nahoře je displej, který bude zobrazovat menu s výběrem programu výroby. Ten se bude vybírat pomocí tlačítkových spínačů bez aretace (TL. Nahoru a TL. Dolu), a pro potvrzení vybraného programu bude sloužit TL. OK. Tyto tlačítka i displej jsou modře podsvícené. Vedle displeje se nachází kolébkový spínač s aretací (ON / OFF), který zapíná či vypíná přívod proudu do základové desky mikrokontroléru, a tím vypíná či zapíná ATmega.

Dále uprostřed máme červený kolébkový spínač s aretací, který povoluje či zakazuje tlačítka vedle (Tlak, Nůž, ... atd.). Je to z důvodů, aby nedošlo při automatickém režimu řízení výrobního stroje mikrokontrolérem k nechtěnému zmáčknutí tlačítka, což by mohlo způsobit velké škody. Před spuštěním manuálního režimu je doporučováno vypnout i mikrokontrolér pomocí tlačítka ON / OFF vedle displeje, aby nedošlo k případnému poškození či úrazu vlivem neočekávaného stavu mikrokontroléru a případnému nechtěnému rozjetí výrobního stroje.

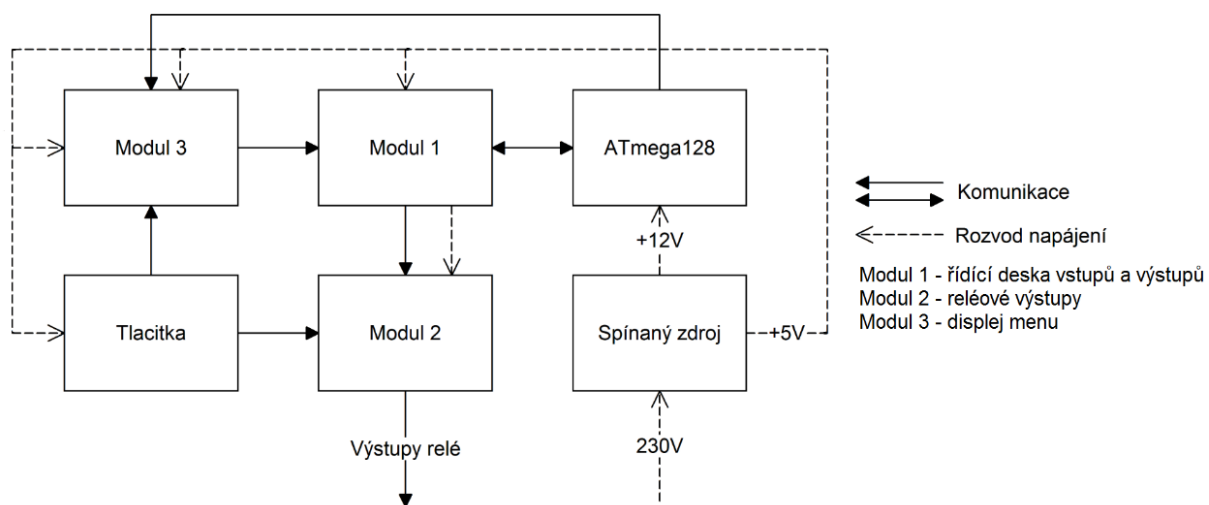
Dále zde máme kolébkové spínače s aretací (Tlak, Nůž, ... atd.). Tyto tlačítka slouží přímo ke spínání relé příslušných pneumatických ventilů bez použití mikrokontroleru a hlavního modulu. Sepnutí spínače signalizuje zelená dioda, která je součástí spínače. Tato dioda je připojená k modulu reléových výstupů, a tedy se rozsvěcí i při automatickém režimu, kdy je sepnuté příslušné relé. První spínač (Tlak) slouží k pojezdu prostředního bloku s formami (uzavírání forem). Druhý spínač (Nůž) řídí řezací nůž, který řeže taveninu plastu po natečení do forem. Třetí spínač (Pojezd) řídí odjíždění celého bloku od hlavy extrudéru, aby mohla tavenina plastu natékat do druhých forem. Čtvrté a páté tlačítko (Trny 1 a Trny 2) řídí pneumatické písky, které slouží k vyfukování plastové taveniny ve formách do příslušného tvaru výrobku. Poslední šesté tlačítko je zde navíc, pro případné rozšíření.

Nakonec tu máme dole vlevo kolébkový spínač s aretací (Zap. / Vyp.), který zapíná či vypíná spínaný zdroj a tím celou elektroniku. Vedle jsou tlačítkové spínače bez aretace START a STOP. Tyto spínače jsou připojeny na modul displeje a přes konektor přivedeny přes vstupy hlavního modulu na vstupy ATmegy. Konkrétně na piny PD1 a PD0, na kterých je vnější přerušení INT1 a INT0. Tyto spínače slouží k spuštění či zastavení běhu programu přes obslužnou rutinu přerušovacího systému.



Obr. 60 Ovládací panel výrobní linky

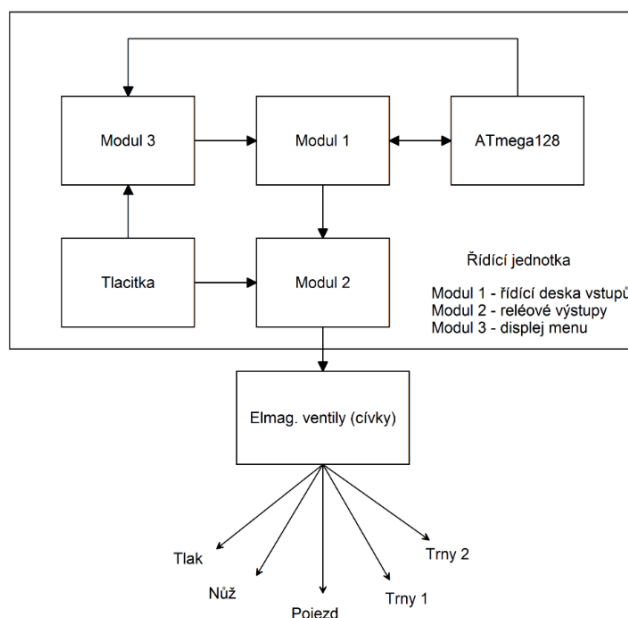
Blokové schéma ovládacího panelu je na Obr. 61, kde je popsána komunikace mezi jednotlivými moduly a řídicí jednotkou, a také jak je celá soustava napájena.



Obr. 61 Blokové schéma ovládacího panelu – napájení a komunikace

7 PROGRAM ŘÍZENÍ VÝROBNÍ LINKY

Jako řídicí jednotka slouží mikrokontrolér ATmega128, jak již bylo zmíněno dříve. ATmega komunikuje s modulem řídicí desky vstupů a výstupů (Modul 1) přes port PD a PB. PD je nastaven jako vstupní port a PB jako výstupní. Na modulu displeje menu (Modul 3) je připojen displej, který řídí přímo ATmega přes porty PA a PC a je napájen přes konektor těchto portů z mikrokontroléru. Z modulu 3 vedou na port modulu 1 tlačítka pro ovládání displeje a tlačítka START a STOP, které jsou napojeny přes tento modul na piny PD6 (TL_NAHORU), PD5 (TL_DOLU), PD4 (TL_OK), PD1 (START), PD0 (STOP). ATmega spíná skrz port PD přes optočleny výkonové unipolární tranzistory na modulu 1. Tyto tranzistory spínají příslušná relé na modulu reléových výstupů (Modul 2). K modulu 2 jsou připojeny cívky elektromagnetických ventilů, které jsou spínány příslušnými relé. Tyto ventily dále spínají pneumatické prvky. Ventil pro Tlak je připojen na PB7, Nůž na PB6, Pojezd na PB5, Trny 1 na PB4 a Trny 2 na PB3. Blokové schéma komunikace je na Obr. 62.



Obr. 62 Blokové schéma komunikace

Pro napsání programu bylo využito vývojové prostředí Atmel AVR Studio 4.13 SP2 Build 571, které je k používání zdarma. Ke komunikaci s displejem byla využita knihovna (knihovnaLCD.c), která je k dostání z [32]. Pro nahrávání programu do mikrokontroléru je používán UniProg-USB.

Dále budou popsány jednotlivé části programu, a tím i celý výrobní proces linky.

7.1 Inicializace

Po spuštění mikrokontroléru musí nejdříve proběhnout inicializace portů a nastavení přerušení pomocí funkcí *device_init()*. Port D je nastaven jako vstup a Port B jako výstup. Přerušení INT0 a INT1 je zapnuto a nastaveno na sestupnou hranu. Pomocí

funkce *welcome_scr()* je provedena inicializace displeje a zobrazena uvítací obrazovka na displeji. Na Obr. 63 můžeme vidět tyto funkce.

```
void device_init(void) //funkce inicializace
{
PORTD=0x00;
DDRD=0x00; // vstup tlacitek
PORTB=0x00;
DDRB=0xFF; // výstup relé

// External Interrupt(s) initialization
// INT0: On
// INT0 Mode: Falling Edge (sestupná hrana)
// INT1: On
// INT1 Mode: Falling Edge (sestupná hrana)
// INT2: Off
// INT3: Off
// INT4: Off
// INT5: Off
// INT6: Off
// INT7: Off
EICRA=0x0A;
EICRB=0x00;
EIMSK=0x03;
EIFR=0x03;

// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=0x00;
ETIMSK=0x00;

// Global enable interrupts
sei();
}

void welcome_scr(void) //funkce uvítací obrazovky
{
LCD_Init(); //inicializace displeje
delay_ms(2); //spoždění pro provedení inicializace
LCD_Clear(); //vymazání displeje
delay_ms(2); //spoždění pro vymazání displeje

LCD_Position(0, 0); //pozice pro vypsání (1. řádek)
LCD_WriteString("Dobry den"); //vypsání na displej
LCD_Position(1, 0); //pozice pro vypsání (2. řádek)
LCD_WriteString("Vitejte! :)"); //vypsání na displej
delay_ms(2); //spoždění pro zapsání na displej
}
```

Obr. 63 Inicializace portů, přerušení a displeje

Dále je ještě nutné nastavit vektory přerušení a jejich obslužnou rutinu. To můžeme vidět na Obr. 64. INT1 funguje tak, že při stisknutí tlačítka START se vyvolá přerušení, které nastaví proměnnou *start* na hodnotu 1 a *stop* na 0 a hodnotu *poprve* na 1 za podmínky, že bylo stisknuto tlačítko STOP, které zastavilo výrobní linku. Je to z toho důvodu, protože při prvním cyklu je program jiný kvůli začátku z výchozí polohy stroje, kde natéká první forma a druhá se nevyfukuje, jelikož je prázdná. Řídící program výroby se spustí jen za podmínky, je-li proměnná *stop* = 0 a zároveň *start* = 1. INT0 funguje tak, že po stisknutí tlačítka se vyvolá přerušení, které okamžitě přeruší prováděný program, zastaví výrobní stroj a přesune ho do výchozí polohy pomocí funkce *stop_stroje()*.

```
ISR(INT0_vect) //obsluha preruseni tlacitka stop
{
stop=1; //zastavení vykonávání programu
start=0; //linka stojí
bezi=0; //linka byla zastavena
stop_stroje(); //funkce pro zastavení a najetí do výchozí polohy
}

ISR(INT1_vect) //obsluha preruseni tlacitka start
{
start=1; //rozjetí linky
stop=0; //povoleno vykonávání programu

if (bezi==0) //provede se pokud linka stojí
{
poprve=1; //nastavení poprve na 1 pokud linka není v provozu
}
}
```

Obr. 64 Vektory přerušení pro externí přerušení INT1 a INT0

7.2 Ovládací menu

V ovládacím menu se volí řídicí program výroby pro určité výrobky. Tj. doba sekání nože (doba natékání taveniny plastu do formy), a s tím spjatá doba chlazení. Jelikož stroji trvá nějaký čas, než se dostane do druhé polohy, je tedy doba chlazení zákonitě o tuto dobu kratší.

Po zapnutí řídicí jednotky se na displeji objeví uvítací obrazovka. Dále se pokračuje stisknutím tlačítka nahoru, kterým se listuje v seznamu nahoru a tlačítkem dolů zpět. Na Obr. 65 je vidět uvítací obrazovka a vzhled jednoho programu výroby ze seznamu. Zde můžeme vidět na horním řádku označení výrobku. Jedná se o redukci z průměru 50 na 63 (R50/63). Dále je zde zobrazena doba sekání nože (N:30) a doba chlazení (CH:26). Obě hodnoty jsou uvedeny v sekundách. Tlačítkem OK se požadovaný program potvrdí.



Obr. 65. Uvítací obrazovka (vlevo nahoře), řídicí program výroby (vpravo nahoře), potvrzení vybraného programu (vlevo dole), potvrzený program (vpravo dole)

Aby nešlo měnit program v menu během výroby, je dána podmínka, že pokud řídicí program výroby běží, je proměnná $start = 1$. Pokud se tedy $start$ nerovná 0, příslušný kód výběru menu se přeskočí. Pohyb v menu je proveden funkcí vícecestného větvení *switch* tak, že se se do proměnné i přičítá či odčítá jednička po každém stisknutí tlačítka. Aby nedošlo k přetečení, je toto přičítání/odčítání omezeno na počet programů výroby. Pomocí příkazu *switch (i)* je každému návěští (*case i*) přiřazen příslušný program, který je zobrazován na displeji menu. Při potvrzení vybraného programu se do proměnné *potvrzeno* uloží hodnota i . Tato proměnná bude dále vybírat a spouštět příslušný řídicí program pomocí *switch (potvrzeno)*. Proměnná x symbolizuje počet programů výroby, které se dají libovolně přidávat či ubírat pouhou změnou hodnoty této proměnné a napsáním příslušného programu na další návěští *case*. Ukázka kódu zobrazení menu a pohybu v něm je na Obr. 66.

```

if(start==0) //ochrana proti pohybovani v menu za provozu
{
//pohyb v menu
    if bit_is_set(PIND,6) //stisknutí tlačítka nahoru
    {
        if ((i>=0) & (i<x)) //podmínka jestli i je v povoleném rozsahu
        {
            i++; //pohyb v menu nahoru
        }
    }
    if bit_is_set(PIND,5) //stisknutí tlačítka dolů
    {
        if ((i>0) & (i<=x)) //podmínka jestli i je v povoleném rozsahu
        {
            i--; //pohyb v menu dolů
        }
    }
}

switch (i) //přepnutí na návěští i
{
    case 1: LCD_Clear(); //vymazání displeje
            _delay_ms(2); //spždění pro smazání displeje
            LCD_Position(0 , 0); //pozice pro zapsání textu
            LCD_WriteString("R50/63N:30,CH:26"); //zapsání textu na displej
            if (potvrzeno==4) //vypsání potvrzení, pokud bylo stisknuto tlačítko ok
            {
                LCD_Position(1 , 0); //pozice pro vypsání na displej
                LCD_WriteString("Potvrzeno :-"); //vypsání na displej
                _delay_ms(250); //delay kvůli stisknutí tlačítka (aby se přičetlo jen jednou)
            }
            else //jinak se na spodní řádek запиše toto
            {
                LCD_Position(1 , 0); //pozice pro vypsání na displej
                LCD_WriteString("Vybrat, OK?"); //vypsání na displej
                _delay_ms(250); //spždění kvůli stisknutí tlačítka (aby se přičetlo jen jednou)
            }

            if bit_is_set(PIND,4) //tlacitko OK
            {
                LCD_Clear(); //vymazání displeje
                _delay_ms(2); //delay pro smazání displeje
                LCD_Position(0 , 0); //pozice pro zapsání textu
                LCD_WriteString("Potvrzeno!"); //vypsání na displej
                potvrzeno=i; //nastaví proměnnou, podle které se vybírá řídicí program výroby
                bezi=1; //prohánání programu
                poprve=1; //spouští se poprvé
                _delay_ms(2000); //spždění pro zobrazení textu
            }
            break; //ukončení návěští case 1
}

```

Obr. 66 Pohyb v menu, vybírání řídicího programu výroby a jeho vypsání na displej

7.3 Řídicí program výroby

Bylo popsáno menu a teď se podíváme na samotný řídicí program výroby, který bude řídit výrobní linku a vyrábět výrobky. Ten bude vybírán příkazem *switch* (*potvrzeno*) podle výběru v menu. Tento program se spouští pomocí tlačítka START, které vyvolá přerušení, kde se nastaví hodnoty, které byly již popsány dříve. Tím bude splněna podmínka pro vykonávání řídicího programu. Kdykoliv během vykonávání lze zmáčknout tlačítko STOP, čímž se přeruší vykonávání programu a stroj se vrátí do své výchozí polohy.

Zde je problém s tím, že po každém sepnutí tlačítka START, když je stroj ve výchozí poloze, tj. když se spouští „poprvé“, je nutné nejdříve čekat, než tavenina plastu nateče do prvních forem. Ve druhém kole a každém dalším již bude nutné vyfukovat druhé formy pomocí Trnů 2. Tudíž tato část kódu musí proběhnout pouze jednou. Toto řeší podmínka s proměnnou *poprvé*, která je nastavena při potvrzování výběru řídicího programu v menu. Tato proměnná je po splnění podmínky vynulována a může být opět nastavena vybráním a potvrzením výběru jiného či stejného řídicího programu výroby, nebo také stisknutím tlačítka START, pokud byl ovšem předtím stroj zastaven tlačítkem STOP. Pro případ, že by bylo tlačítko START stisknuto opakovaně či během výroby, je zde proměnná *bezi*, která tomuto zabráňuje. Bez tohoto opatření by totiž došlo k tomu, že by se část kódu, která měla běžet jen napoprvé, spustila během výroby, a tím pádem by se nevyfukovaly jedny formy a nebyly by tím vyrobeny ony výrobky.

Dále zde bude již konečně popsán samotný výrobní proces. Ten začíná po zajetí extrudéru. To trvá kolem deseti minut, než z něj bude vytékat tavenina plastu o správné kvalitě. Poté se nastaví vhodné otáčky šneku, aby tavenina natekla do forem dle vybraného řídicího programu, tj. doba sekání nože. Až poté se pomocí tlačítka START spustí samotný výrobní stroj, který vytvoří s extrudérem výrobní linku.

Program je udělán pomocí cyklů *for*. Na Obr. 67 je ukázka kódu, kde cyklus *if (poprve==1)* probíhá pokaždé jen jednou po spuštění výroby tlačítkem START. Tento cyklus začne na displeji odpočítávat čas do seknutí nože (natečení formy), v tomto konkrétním případě 30s. 0,8s před koncem se nastaví pin PB7 do log. 1. To sepne cívku příslušného elektromagnetického ventilu (Tlak), a tím se formy uzavřou. Toto uzavření trvá cca 0,8s, takže nůž uřízne plastovou taveninu přesně po zavření forem v době třicáté vteřiny. Dále je zde na začátku a na konci cyklu kontrola, jestli nebylo zmáčknuté tlačítko STOP. Pokud ano, tak příkaz *break* ukončí provádění řídicího programu a provede se definovaný vektor přerušení, který zastaví celý stroj.

```

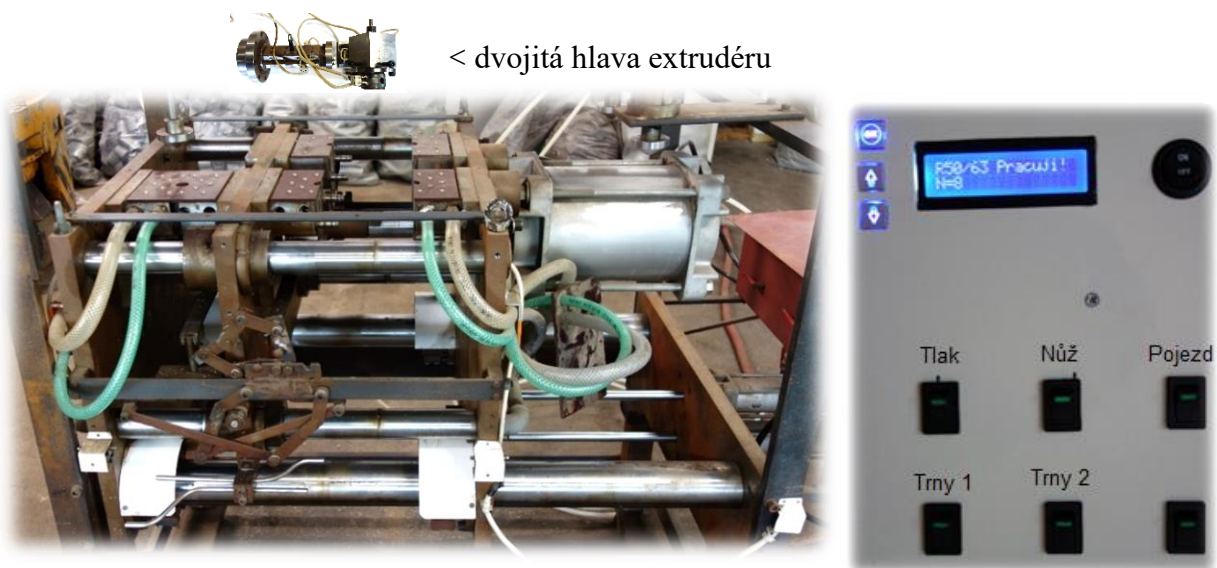
if ((start==1) & (stop==0))                //spuštění řídicího program výroby pokud bylo stisknuto start
{
switch (potvrzeno)                          //přepnutí na návěstí potvrzeno
{
////////////////////////////////////
case 1: //////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

if (poprve==1)                             //provedení podmínky
{
    poprve=0;                             //zakázání cyklu for
    for (int j=300; j>=0; j--)             //čas natékání forem
    {
        if (stop==1){ break;}              //zastavení stroje pokud bylo vyvoláno přerušení
        LCD_Clear();                       //vymazání displeje
        _delay_ms(2);                     //spždění pro smazání displeje
        sprintf(N,"N=%d",j/10);           //odpočet času na displeji po sekundách
        LCD_Position(0, 0);                //pozice pro zapsání textu
        LCD_WriteString("R50/63 Pracuji!"); //zapsání na displej
        LCD_Position(1, 0);                //pozice pro zapsání textu
        LCD_WriteString(N);                //zapsání na displej
        if (j==8) {setb(PORTB,7);}          //zavření forem
        _delay_ms(100);                    //spždění (čas cyklu)
        if (stop==1){break;}               //zastavení stroje pokud bylo vyvoláno přerušení
    }
}
}

```

Obr. 67. Spuštění výroby, cyklus *if (poprve==1)*, probíhá jen jednou

Na Obr. 68 je ukázán stav výrobní linky a ovládacího panelu při průběhu programu výše uvedeného na Obr. 67. Všechny diody na panelu jsou zhasnuté, protože jsou ve svém výchozím stavu a jen se čeká, až nateče tavenina do prvních forem. Jelikož stroj není ještě mechanicky dokončen, je zde pro názornost přiložena k obrázkům výrobního stroje dvojité hlava extrudéru, aby bylo vidět, do jakých forem tavenina natéká. Stroj v tomhle stavu na Obr. 68 je ve své výchozí poloze (do které najede po stisknutí tlačítka STOP) a při prvním spuštění, které odpovídá situaci popisované výše u Obr. 67.



Obr. 68. Výrobní linka po spuštění výroby (ve výchozím stavu) a ovládací panel při odpočítávání času do seknutí nože

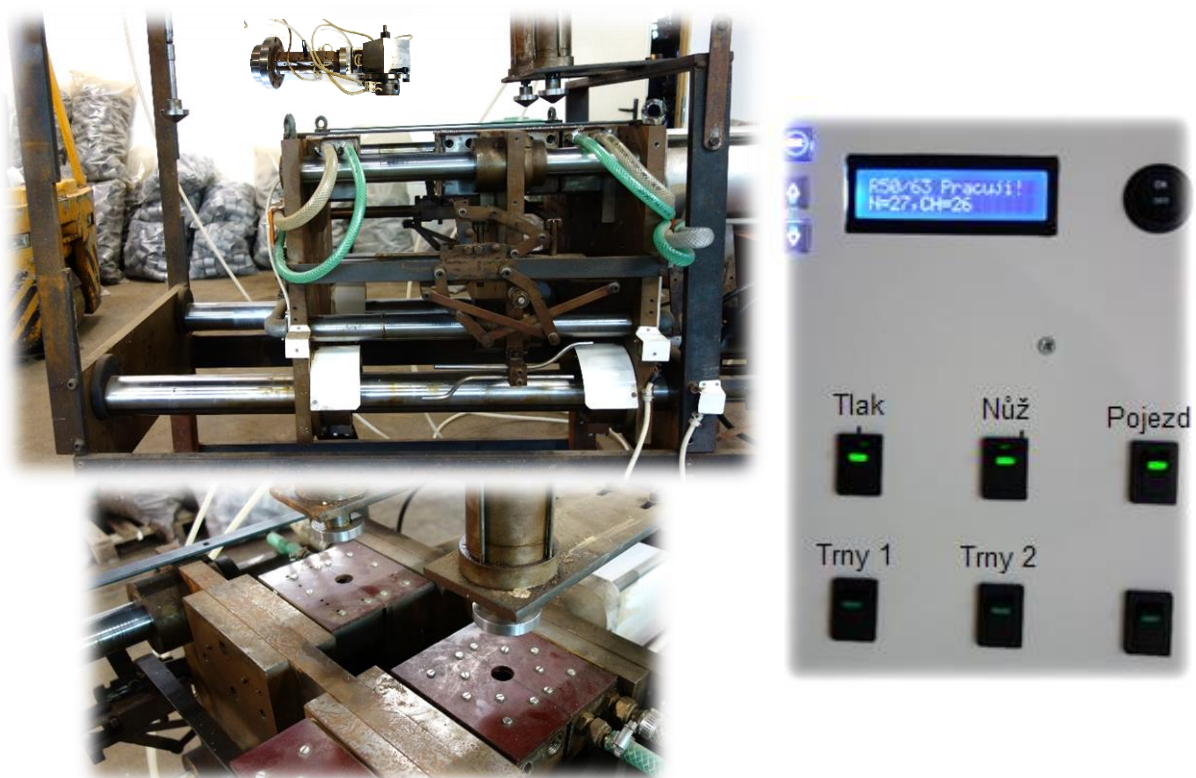
Po vyjetí z tohoto cyklu skočí program do dalšího cyklu *for*, který je vidět na Obr. 69. Zde se ihned provede uříznutí taveniny nožem nastavením pinu PB6, který sepne jeho elmag. ventil. Pohyb nože trvá cca 0,3s. Po této době je sepnut *Pojezd* pinem PB5. Tomu trvá necelé 3s, než najede do druhé polohy. Tento stav je vidět na Obr. 70. Časy sepnutí jsou vidět v kódu na Obr. 69 v komentářích. Po odečtení doby pojezdů a odjetí *Trnů 1* zbyde 26 vteřin pro vyfukování (chlazení) výrobku. Na displeji je postupně čas do seknutí nože (N) a doba chlazení (CH) odpočítávána, jak je vidět na displeji na příslušných obrázcích. Na Obr. 71 je vidět stav vyfukování po najetí vyfukovacích trnů do první dvojice forem (nastavení pinu PB4). Diody na panelu signalizují stavy ventilů.

```

for (int j=300;j>=0;j--) //30s cyklus
{
    if (stop==1){break;} //zastavení stroje pokud bylo vyvoláno přerušení
    if (j==300){setb(PORTB,6);} //Nůž - uříznutí (v čase 30s)
    if (j==297){setb(PORTB,5);} //Tlak - odjetí pojezdem na plnění druhé formy 29,7s
    if (j==270){setb(PORTB,4);} //Trny 1 - zajetí (v čase 27s)
    if (j==10) {clrb(PORTB,4);} //Trny 1 - odjetí (v čase 1s)
    if (j==8) {clrb(PORTB,7);} //Tlak - uzavření druhých forem, otevření prvních v čase 0,8s
    sprintf(N, "N=%d", j/10); //výpis odpočítávání
    if ((j<=270) & (j>=10)) //26s odpočet doby chlazení
    {
        sprintf(CH, "CH=%d", (j-10)/10); //výpis odečítání doby chlazení
    }
    else
    {
        sprintf(CH, "CH=%d", 26); //výpis doby chlazení
    }
    LCD_Clear(); //vymazání displeje
    _delay_ms(2); //spždění pro smazání displeje
    LCD_Position(0, 0); //pozice pro zapsání textu
    LCD_WriteString("R50/63 Pracuji!"); //zapsání na displej
    LCD_Position(1, 0); //pozice pro zapsání textu
    LCD_WriteString(N); //zapsání na displej
    LCD_WriteString(CH); //zapsání na displej
    _delay_ms(100); //spždění pro počítání času 300*100=3000ms = 30s
    if (stop==1){break;} //zastavení stroje po stisknutí tlačítka stop
}

```

Obr. 69 Cyklus *for* pro odjetí stroje od hlavy extrudéru



Obr. 70 Najetí stroje do druhé pozice směrem od hlavy extrudéru a signalizace na panelu



Obr. 71 Vyfukování dvojice forem 1 (chlazení) a natékání taveniny do druhé dvojice

Jakmile na displeji uplyne čas doby chlazení, je pin PB4 vynulován. Tím se příslušný elmag. ventil rozepte (signalizace diody *Trny 1* se vypne) a vyfukovací trny vyjedou z forem. Poté je v čase $N=0,8s$ vynulován pin PB7, který rozepte elmag. ventil (signalizace *Tlak* se vypne). Tím se první formy otevrou (vypadnutí vyfouknutých výrobků) a sevřou se druhé formy, do kterých natékala tavenina. Tím tenhle cyklus *for* končí a program vjede do dalšího cyklu *for*, který bude místo dříve zmíněného, který se vykoná pouze napoprvé. Výřez kódu je vidět na Obr. 72, zobrazování na displej je řešeno stejně jako na Obr. 69.

```
for (int j=300;j>0;j--) //natékání + chlazení forem 2
{
    if (stop==1){break;} //zastavení stroje pokud bylo vyvoláno přerušení
    if (j==300){clrb(PORTB,6);} //Nůž - uříznutí (v čase 30s)
    if (j==297){clrb(PORTB,5);} //Pojezd - odjetí na plnění druhé formy
    if (j==270){setb(PORTB,3);} //Trny 2 - zajetí (v čase 27s)
    if (j==10) {clrb(PORTB,3);} //Trny 2 - odjetí (v čase 1s)
    if (j==8) {setb(PORTB,7);} //Tlak - uzavření prvních forem, otevření druhých v čase 0,8s
}
```

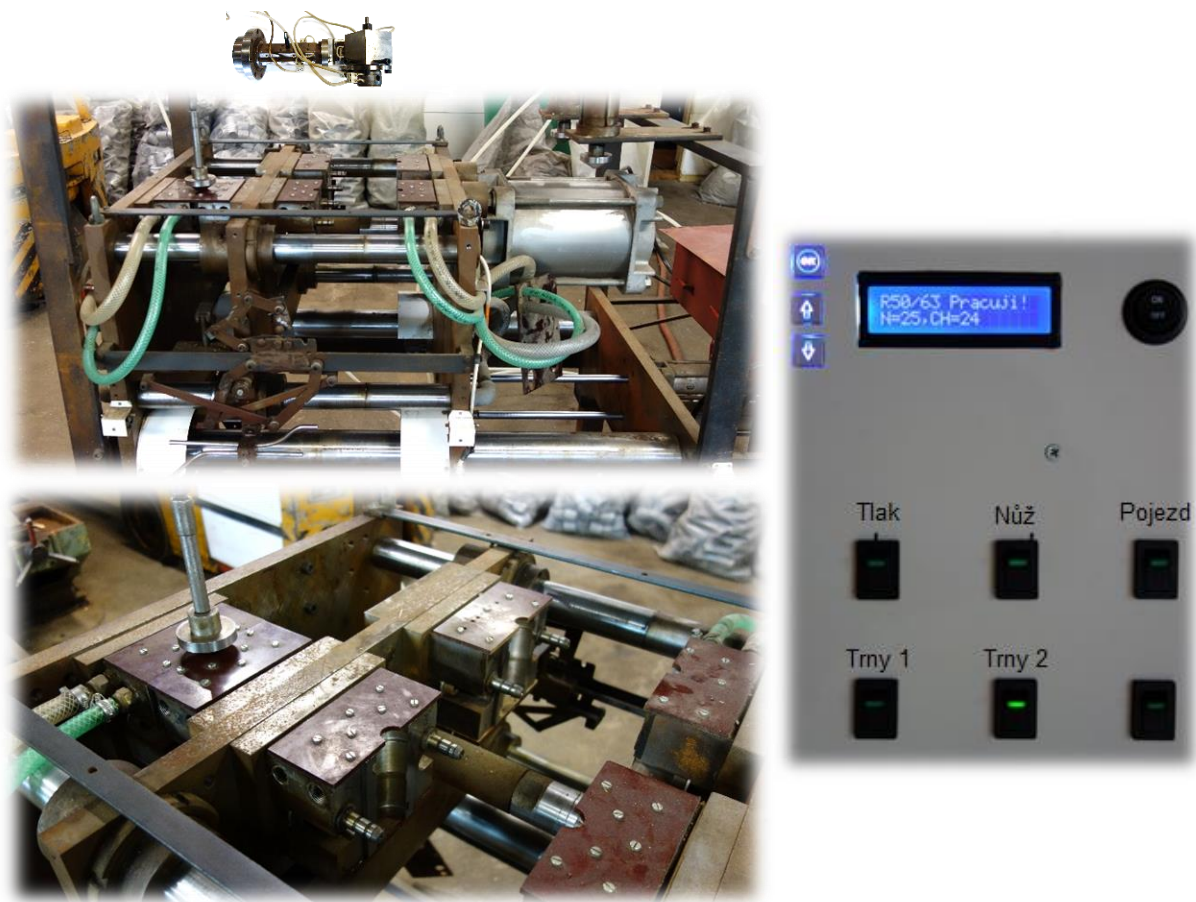
Obr. 72 Výřez kódu cyklu *for* pro přijetí stroje zpět k hlavě extrudéru

Vynulováním bitu PB6 *Nůž* uřízne taveninu a vynulováním bitu PB5 *Pojezd* přesune celý blok s formami zpět k hlavě extrudéru, aby do prvních forem mohla opět natékat tavenina (Obr 73).



Obr. 73 Najetí stroje do první pozice směrem k hlavě extrudéru

Po dojetí *Pojezdu* směrem k hlavě v čase $N=27s$ se nastaví bit PB3, který sepne vyfukovací trny (*Trny 2*) a probíhá vyfukování a chlazení výrobků ve druhých formách. Mezitím se čeká na natečení prvních forem. To je vidět na Obr. 74. V čase ($CH=0s$) *Trny 2* odjedou vynulováním pinu PB3 a v čase $N=0,8s$ je nastaven pin PB7, který uzavře první natékané formy a otevře druhé formy, z kterých vypadnou vyfouknuté výrobky. Cyklus končí a program se vrací zpět do předešlého cyklu *for*, který již byl popsán. V čase $N=30s$ je sepnut *Nůž*, který uřízne taveninu, která natekla do prvních forem a v čase $N=29,7s$ *Pojezd* odjíždí směrem od hlavy extrudéru a celý výrobní proces se opakuje.



Obr. 74 Vyfukování druhých forem a natékání taveniny do prvních

8 ZHODNOCENÍ

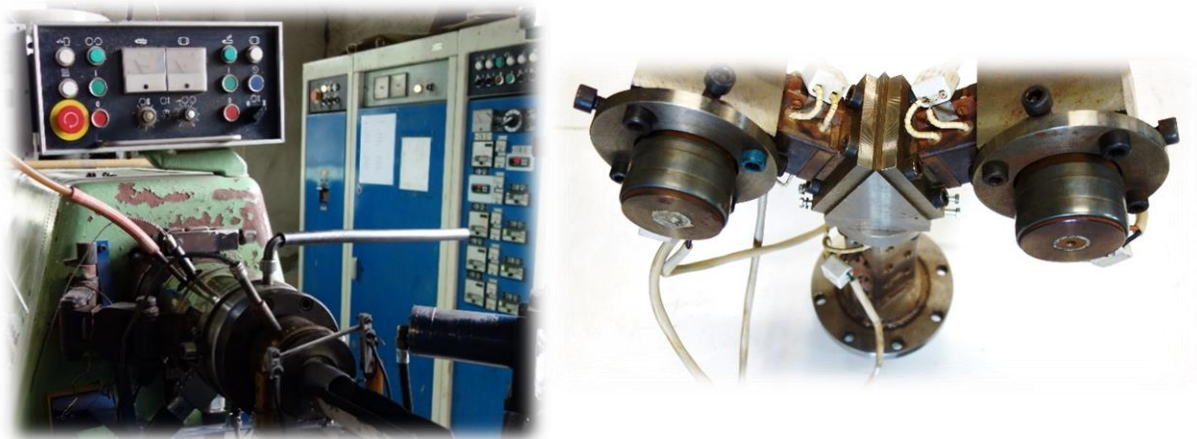
V rámci úkolu byla navržena ovládací jednotka dle přání zadavatele. Podle starého ovládacího panelu výrobní linky byl navržen, vylepšen a ve funkčnosti pozměněn nový panel. Ten byl vytvořen z průmyslové plastové ABS krabičky, do níž byla vložena celá řídící elektronika včetně spínaného zdroje. Takto vytvořená ovládací jednotka byla přidělena místo té staré a její výstupy byly připojeny k cívkám elmag. ventilů, které spínají pneumatické prvky používané u výrobní linky. Na Obr. 75 níže je vidět porovnání starého panelu s novým. Nový ovládací panel byl otestován a je plně funkční a pracuje přesně podle očekávání.



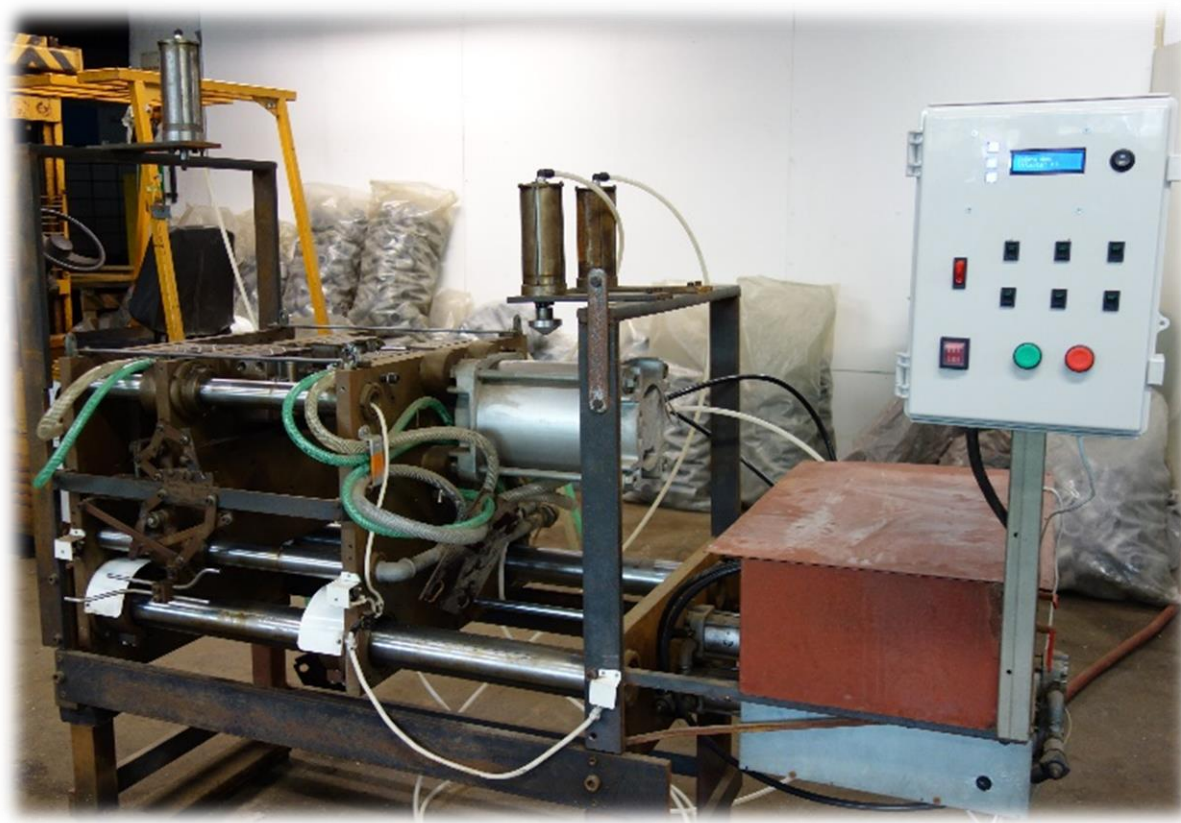
Obr. 75 Porovnání starého a nového ovládacího panelu

Samotná výrobní linka není ještě po mechanické stránce dokončena, a proto byla ovládací jednotka otestována na lince bez použití plastu. To proběhlo úspěšně a byla přesně splněna očekávání. Další postupné ladění chodu linky, tj. časy pohybů, vyfukování a natékání taveniny plastu do forem, bude možné až po mechanickém dokončení celé výrobní linky.

Na Obr. 77 níže je vidět připojená ovládací jednotka k výrobní lince místo té staré. Zde je vidět i extrudér, který bude používán při výrobě po jejím dokončení. Na něm bude změněna přímá vytlačovací hlava za dvojitou, kterou můžeme vidět na Obr. 76. Z této dvojité hlavy budou vytékat plastové tavenina ve tvaru trubky.



Obr. 76 Extrudér vlevo a dvojitá vytlačovací hlava vpravo



Obr. 77 Výrobní linka s novým ovládacím panelem

9 ZÁVĚR

V rámci této práce modernizace malosériové výrobní linky byla navržena, realizována a otestována funkčnost ovládací jednotky určené k řízení výrobní linky na výrobu plastových výrobků, a tím i splněny všechny její cíle. Samotná ovládací jednotka byla navržena jako takový modulární systém, kde jednotlivé moduly spolu komunikují a jsou spolu propojeny přes konektory pomocí páskových kabelů. Řídící jednotkou je mikrokontrolér ATmega128, ke kterému byly navrženy, vyrobeny a po pár úpravách nalezených drobných nedostatků i úspěšně otestovány tři moduly. Modul 1 jako řídící deska vstupů a výstupů, modul 2 jako reléové výstupy a modul 3 jako menu displeje. Tyto moduly byly spolu s řídící deskou a spínaným zdrojem umístěny do ovládacího panelu, který byl též úspěšně navržen, vyroben, otestován a připojen k výrobní lince.

Sama výrobní linka není ještě po mechanické stránce dokončena, a tedy nebylo možné úplně napsat, otestovat a odladit řídící program výroby. Ten bude postupně doladován při dokončování výrobní linky a následně při zkušebním provozu a výrobě. Program byl tedy proto napsán tak, aby se otestovala funkčnost řízení navržené ovládací jednotky a demonstrovalo to, jak by měla výrobní linka fungovat a vyrábět. Tento program byl úspěšně otestován na lince v aktuálním stavu, a tím byla i otestována správná funkčnost samotné ovládací jednotky, jak můžeme vidět na obrázcích v kapitole 7.

Na této výrobní lince lze vyrábět různé druhy výrobků díky výměnným formám. Každý takový výrobek má jinou tloušťku stěny, velikost, tvar, hmotnost a popř. je vyroben i z jiného materiálu. S tím je úzce spjatá i doba chlazení, protože každý takový výrobek potřebuje jiný čas na to, aby zchladnul natolik, aby se jeho stěna nedeformovala a výrobek jako takový měl svůj správný tvar, který vyhovuje normám. Proto na displeji menu je volen program podle doby chlazení. V potaz je nutno brát i doby trvání pneumatických pohybů, a proto bude doba sekání nože (natékání do forem) o něco delší. V tomto případě to vychází o 4 vteřiny. Takže např. výrobek (PVC redukce 50/63) je potřeba chladit 26 vteřin při teplotě chladicí vody 5°C. Doba sekání nože je tedy 30 vteřin. Oba tyto parametry jsou zobrazeny v menu volby na displeji. Jelikož tavenina plastu natéká do dvou forem současně, vyrobí se za jednu minutu čtyři výrobky. Výrobní linka je tedy schopna vyrobit 240 ks tohoto druhu výrobku za jednu hodinu. Při výrobě 8h denně pak dostáváme 1920 ks za jednu pracovní směnu.

Do budoucna je v plánu dokončit výrobní linku, zefektivnit její fungování a zrychlit pneumatické pohyby (odhadem o 1 až 2 vteřiny, tj. 66kusů navíc za 8 hodin při zvýšení rychlosti o pouhou jednu vteřinu), a tím i samotnou výrobu. Za příznivé finanční situace je do budoucna v plánu vyměnit 110V cívky elmag. ventilů za 24V. Nebude tedy třeba používat modul 2 a tyto cívky mohou spínat přímo výkonové tranzistory na modulu 1.

Jako rozšíření může být k ovládacímu panelu (na volný kolébkový spínač) připojen např. vyhazovač, který bude vyhazovat vyfouknuté výrobky z forem ven.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] HAVLENA, M. *Datalogger s paralelním záznamem dat*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 54 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Daniel Zuth, Ph.D..
- [2] VÁŇA, Vladimír. *Mikrokontroléry ATMEL AVR: popis procesorů a instrukční soubor*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2003, 335 s. ISBN 80-730-0083-0.
- [3] Atmel AVR 8-bit and 32-bit Microcontrollers. *Atmel* [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/default.aspx>
- [4] ATMEL CORPORATION. *ATmega128/L Datasheet* [online]. 2011, 386 s. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/doc2467.pdf>
- [5] AUSPERGER, Aleš. *Technologie zpracování plastů* [online]. 2015 [cit. 2016-05-26]. ISBN 978-80-88058-77-9. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Uvod.html>
- [6] *Cs-plastik* [obrázek], [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.cs-plastik.de/files/csplastik-5721.jpg>
- [7] LENFELD, Petr. *Vytlačování* [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/06.htm
- [8] LENFELD, Petr. *Výfukování, výroba dutých těles* [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/07.htm
- [9] LENFELD, Petr. *Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti* [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm
- [10] HORAKOVA, M. *Technologie zpracování plastů, příprava polymerních směsí* [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: https://www.pf.jcu.cz/structure/departments/kaft/wp-content/uploads/MTD1_pr03_2.pptx
- [11] AUSPERGER, Aleš. *Polymery* [online]. 2015 [cit. 2016-05-26]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Uvod.html>
- [12] FIALA, T. *Problematika výroby elektronické součástky*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2012. 97 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Štěpán Šanda.
- [13] MEAN WELL. *50W Dual Output Switching Power Supply* [online]. 2012 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: [13] <http://www.gme.cz/img/cache/doc/751/245/spinany-zdroj-mean-well-rd-50a-datasheet-1.pdf>
- [14] BABČANÍK, Jan. *Spínané zdroje* [online]. 2007 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/spinane-zdroje.html>
- [15] ZAPLATÍLEK, Karel. *Napájecí zdroje* [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: http://user.unob.cz/zaplatilek/Obecne/Skripta_napajeci%20zdroje/Část4.doc
- [16] Základová deska MB-ATmega128 v4.0. *PK Design* [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: http://pk-design.net/HtmlCz/MB_ATmega128v4.html
- [17] Uživatelský manuál. *PK Design* [online]. 2008 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: http://pk-design.net/Datasheets/Zakladova_deska_ATmega128_v40.pdf
- [18] AVR ISP Programmer. *PK Design* [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://pk-design.net/HtmlCz/SoftUtilities.html#AtmelAVR3>
- [19] UniProg-USB - univerzální programátor v1.0. *PK Design* [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://pk-design.net/HtmlCz/ProgCables.html#UniProgUSB>
- [20] *Optoelektrické vazební členy - Optočleny* [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/1431/jaro2015/F2400/um/Optoclen.pdf>

- [21] *Rs-online* [Obrázek], [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://uk.rs-online.com/images/F6258700-01.jpg>
- [22] TOSHIBA. *TLP281,TLP281-4* [online]. 2002 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/961/022/tlp281-4-datasheet-1.pdf>
- [23] COCKRILL, Chris. Princip Schmittova klopného obvodu. *Pandatron.cz* [online]. 2011 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: http://pandatron.cz/?2910&princip_schmittova_klopneho_obvodu
- [24] NXP SEMICONDUCTORS N.V. *HEF40106B* [online]. 2015 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/953/093/cmos-40106-so14-stm-thomson-datasheet-2.pdf>
- [25] *Nasicoelec.ir* [Obrázek], [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://nasicoelec.ir/image/cache/data/AUTO/P-DSO-14-700x700.jpg>
- [26] *ATM 1602B: Liquid Crystal Display Module* [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/513/128/mc1602e-sbl-h-datasheet-1.pdf>
- [27] POKORNÝ, Marek a Ladislav KALAS. *Pracovní sešit pro 3. a 4.ročník oboru ME Teorie mechatroniky a robotiky* [online]. Střední škola technická a gastronomická Blansko, 2014 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: www.sosblansko.cz/projekty_2014/produkt_2_20112014.pdf
- [28] *Elektromagnetické ventily* [online]. FLAMA-GAZ, 2010 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: http://www.flamagaz.com/files-pdf/katalog_pdf_cz.pdf
- [29] *Pneumatické komponenty: Válce a příslušenství* [online]. Střední škola technická Žďár nad Sázavou [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: http://www.flamagaz.com/files-pdf/katalog_pdf_cz.pdf
- [30] *Kompresory* [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: http://sps.watzke.cz/dl/mat/sps/28_objemove_kompresory.odt
- [31] *Kompresory* [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: http://www.kod.tul.cz/predmety/AOV/dalsi_mat/kompresory.pdf
- [32] ZUTH, Daniel. *Osnova VHT* [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.hw.zuth.cz/>
- [33] TRAPLOVÁ, Jana. Dějepis - Druhá průmyslová revoluce, rozvoj vědy a techniky. *Imaturita.cz* [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.imaturita.cz/maturitni-otazky/dejepis/druha-prumyslova-revoluce,-rozvoj-vedy-a-techniky/238/>
- [34] Bibliografické citace dokumentu podle CSN ISO 690 a CSN ISO 690-2

11 SEZNAM PŘÍLOH

1 CD

- 1.1 DP_Havlena_Marek.pdf
- 1.2 Zdrojové kódy.zip
- 1.3 Úplné schéma zapojení modulu_1.pdf