



# **Středoškolská technika 2012**

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

## **Výrobní linka pro kostky domina Domino tiles production line**

**Patrik Šimůnek, Milan Ambrož, Michal Blahovský**

Střední průmyslová škola, Trutnov, Školní 101

Školní 101, Trutnov



## **Anotace**

Předmětem práce je stavba automatizované výrobní linky, která na připravené polotovary kreslí kombinace teček a kompletuje tak dominové kostky.

Linka je sestavena z dílů stavebnice Merkur, poháněna je modelářskými servomotory a napájena upraveným PC zdrojem. Obsahuje řadu obvodů vlastního návrhu a řízena je dvojicí mikrokontrolérů PICAXE s řadiči servomotorů SD20. Programy obou řídicích desek jsou napsány v jazyce BASIC. Výsledné kombinace teček, které linka na kostky kreslí, jsou dány přímo programem.

Součástí linky je robotický manipulátor Merkur BETA dodávaný jako stavebnice, který byl pro účely práce značně modifikován.

klíčová slova: výrobní linka; automatizace; mikrokontrolér; Merkur; domino

## **Annotation**

The scope of this project is to build an automated production line which draws combinations of dots onto prepared domino tiles.

The production line has been assembled from Merkur construction parts, it is actuated by servomechanisms and powered by an adapted PC power supply. It contains many self-designed circuits and is controlled with pair of PICAXE microcontrollers and SD20 servo controllers. Programs for both control boards are written in BASIC programming language. Dot combinations which are to be drawn are given solely by this programming.

Robotic arm Merkur BETA - supplied as a kit - is the part of this production line but has been extensively modified to satisfy requirements of the project.

keywords: production line; automatization; microcontroller; Merkur; dominoes

# Obsah

Úvod .....	5
Domino .....	5
1 Konstrukční část .....	6
1.1 Zásobník na kostky .....	8
1.1.1 Parametry kostek .....	8
1.1.2 Konstrukce zásobníku .....	8
1.1.3 Vyhazovací páka .....	9
1.1.4 Podávací kolečka .....	9
1.2 Tělo linky .....	11
1.2.1 Pásový dopravník .....	11
1.2.2 Pojezd popisovače .....	12
1.2.3 Popisovač .....	13
1.3 Manipulátor .....	14
1.3.1 Původní verze .....	14
1.3.2 Upravená verze .....	14
2 Pohony .....	15
2.1 Servomotory .....	15
2.1.1 Princip servomotoru .....	15
2.1.2 Servomotory pohánějící tělo linky .....	16
2.1.3 Servomotory manipulátoru .....	17
2.2 Elektromotor .....	17
3 Napájecí část .....	18
3.1 Napájecí zdroj .....	19
3.1.1 Původní parametry zdroje .....	19
3.1.2 Provedené úpravy .....	20
3.2 Posílení elektromotoru .....	21
3.3 Napájení laserů .....	22
3.3.1 Chlazení laserů .....	23
3.4 Napájení manipulátoru .....	23
3.5 Spínače .....	24
4 Řídicí elektronika .....	25
4.1 Optozávory .....	26
4.1.1 Lasery .....	26
4.1.2 Snímače .....	27

4.2	Dekodér .....	27
4.2.1	Účel .....	27
4.2.2	Časové průběhy signálů .....	28
4.2.3	Minimalizace funkcí .....	28
4.2.4	Výsledný obvod .....	29
4.3	Informační displej .....	29
4.4	Řídicí desky .....	30
4.4.1	Mikrokontrolér PICAXE-18X .....	31
4.4.2	Řadič servomotorů SD20 .....	32
4.4.3	Komunikace desek .....	32
4.4.4	Startovací tlačítko .....	33
5	Programy .....	33
5.1	Program hlavní desky .....	34
5.2	Program manipulátoru .....	35
	Závěr .....	36
	Použitá literatura .....	37
	Seznam obrázků .....	38
	Seznam tabulek .....	39

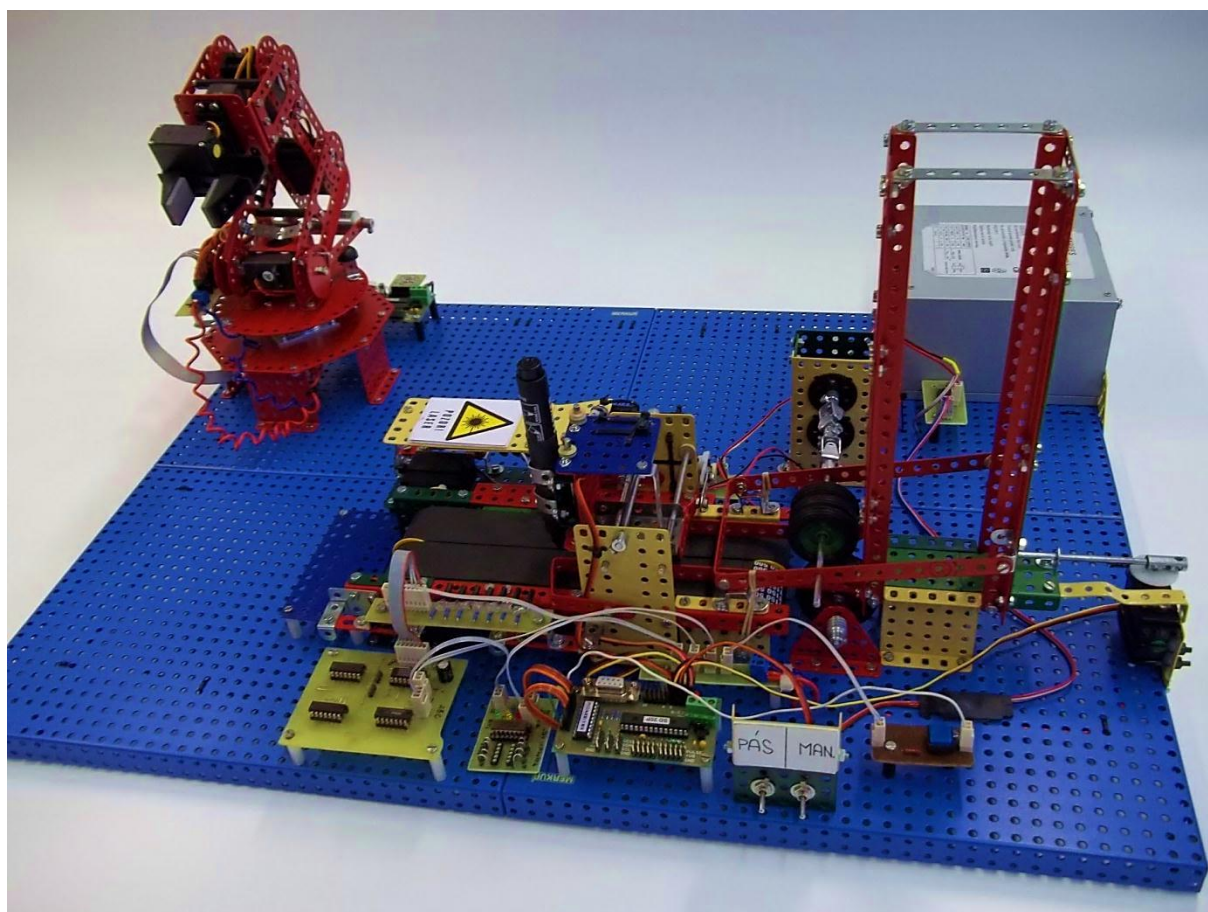
---

## Úvod

Naším záměrem bylo postavit plně automatizovanou výrobní linku, která popisuje předem připravené polotovary a tím postupně zkompletuje celou sadu kostek domina. Toto téma jsme si zvolili proto, že v něm můžeme využít svoje znalosti z elektrotechniky. Té se dlouhodobě věnujeme na amatérské úrovni a je také oborem našeho studia, chtěli jsme proto naše znalosti a dovednosti uplatnit v oficiálním projektu většího rozsahu.

Linka je celá sestavena z dílů stavebnice Merkur, jsou v ní využity optické prvky a její řízení zajišťují dva mikrokontroléry. Pohon všech součástí umožňuje deset modelářských servomotorů a jeden upravený elektromotor Merkur. Napájení z přizpůsobeného PC zdroje dodává napětí 5 a 12 voltů. Logika linky je pětivoltová, dvanáctivoltovou větev využíváme pro další komponenty.

Cílem bylo postavit automatizované zařízení, které plní svou úlohu spolehlivě, ale přitom ho lze postavit levně a nevyžaduje žádné na zakázku vyráběné součásti. Všechny komponenty „na míru“ jsme si chtěli buď navrhnout sami, nebo je získat přizpůsobením běžně dostupných součástek.

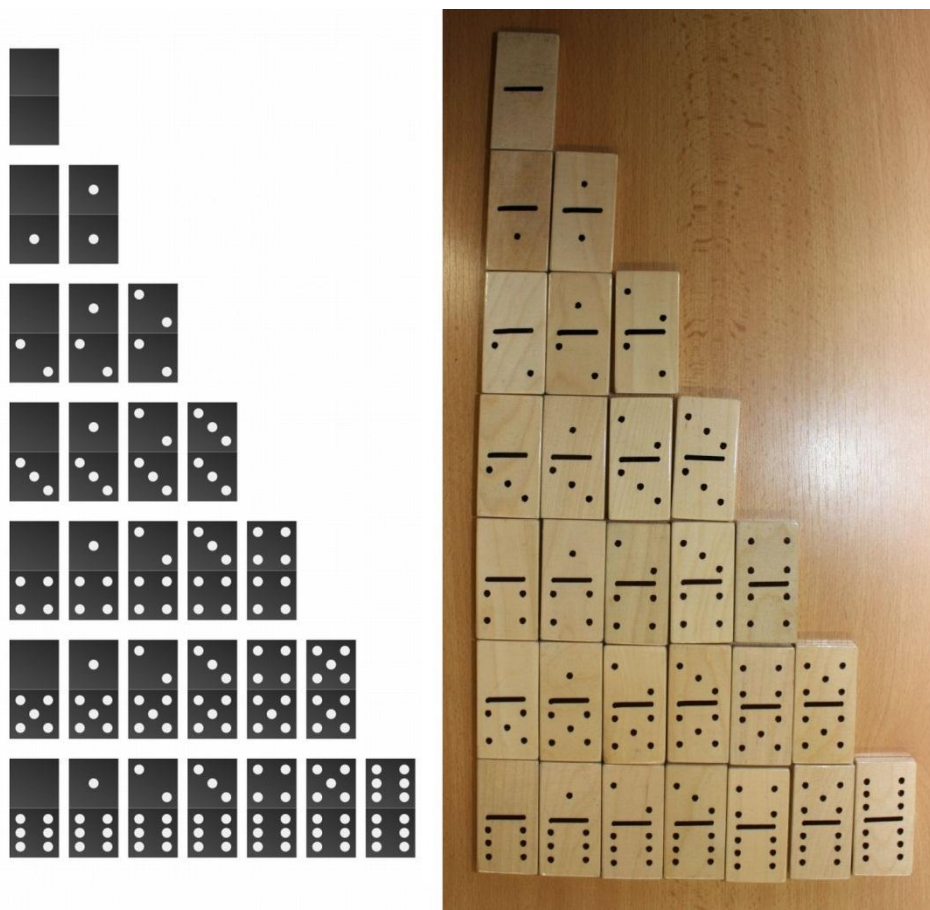


Obr. 1 - Výrobní linka pro kostky domina

## Domino

Domino je označení řady her, jejichž základem jsou hrací kameny (kostky) s dvojicí čísel, vyznačených obvykle tečkami. Hra vznikla pravděpodobně v Asii, kde existuje mnoho jejích variant, a do Evropy se dostala na konci 13. století, v době zámořských objevů.

Klasické dominové kostky mohou mít podle konkrétní varianty na každé své polovině čísla od nuly do 6, 9, 12, 15 nebo 18. Od toho se také odvíjí počet kostek v sadě - nejjednodušší varianta jich má 28, nejsložitější 190. Vzhledem k náročnosti jsme zvolili první z nich a pracujeme s počtem teček 0 - 6 na každé polovině kostky. Po úpravě řídicího programu by však naše výrobní linka snadno dokázala kreslit i 9 teček na každou polovinu. Testování by však zabíralo více času a měli bychom téměř dvojnásobnou spotřebu kostek (55 kusů v sadě).



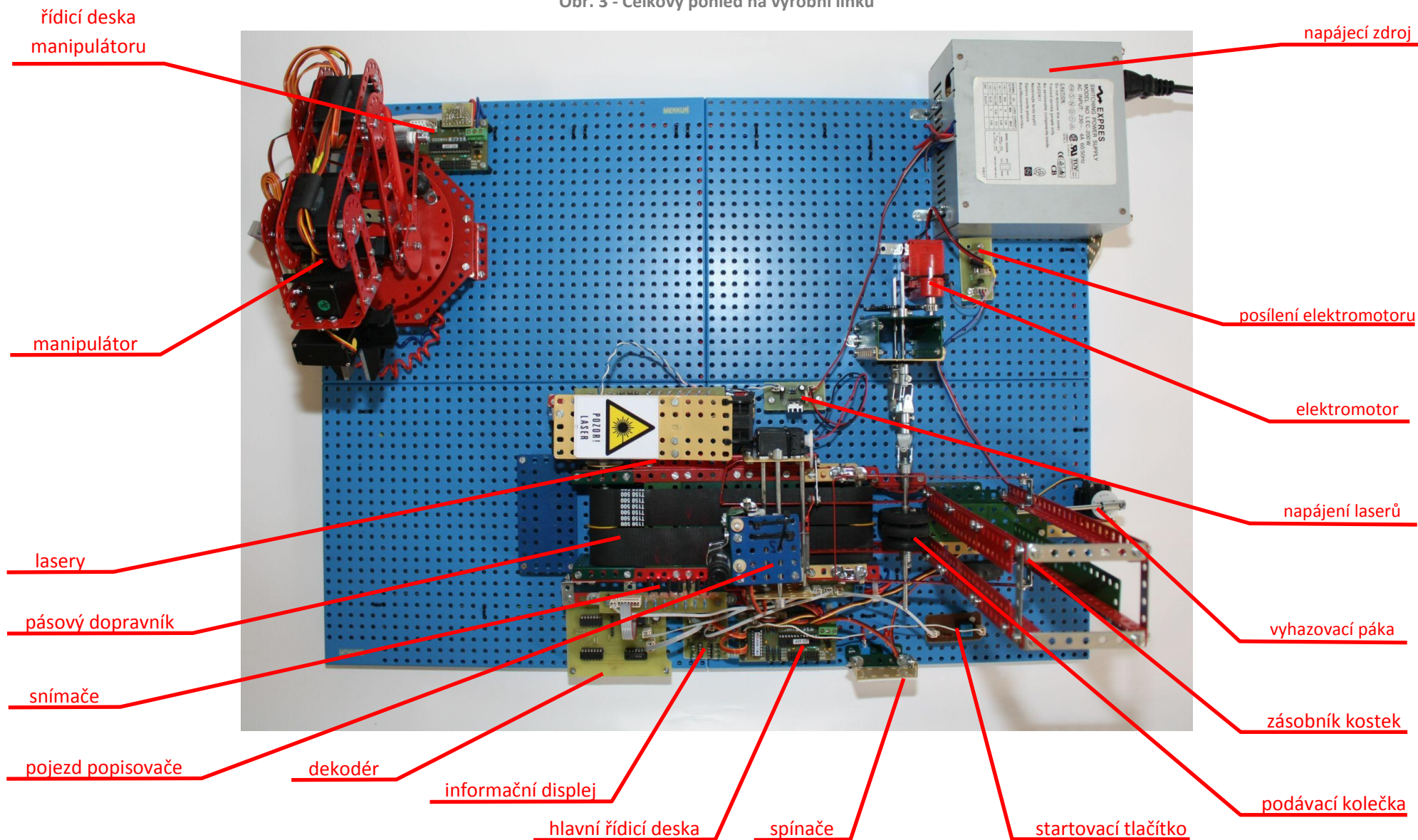
Obr. 2 - Sada 28 dominových kostek, vzor a finální výrobek

## 1 Konstrukční část

Celá linka se skládá ze zásobníku na kostky, samotného těla linky tvořeného pásovým dopravníkem a popisovacím fixem, a dále z manipulátoru, který odebírá hotové kostky z pásu a přenáší je na předem určené místo k dalšímu zpracování. Komponenty jsou navrženy tak, aby celá výroba probíhala plynule a co nejvíce se podobala skutečné automatizované výrobě, i když jsme pro větší zajímavost a výzvu našim schopnostem použili prvky a postupy, které by stavbu linky v reálném nasazení prodražily (vysoký počet optozávěr, složitý dekodér).

Cesta polotovaru kostky skrze linku probíhá následujícím způsobem. Nejprve se kostka nachází v zásobníku. Odtamtud ji vyhazovací páka vtláčí do podávacích koleček a ta kostku přesunou na dopravníkový pás. Poté co se kostka dostane do prostoru s optozávěry, začíná samotný proces tisku teček. Optozávěry jsou rozmístěny v takovém rozestupu, že kostka zastavuje pod popisovačem v místech, kde jsou na ní jednotlivé pomyslné řádky s tečkami. Pojezd popisovače se následně pohybuje tak, aby na řádek nakreslil správnou kombinaci teček. Pak kostka pokračuje k další optozávěře. V průběhu popisování kostky je vyslán pokyn manipulátoru, aby se připravil odebrat kostku z pásu. Když je proces tisknutí teček dokončen, pokračuje hotová kostka do připravených čelistí manipulátoru. Ten odebere kostku z pásu a přenesení ji na určené místo. Zde zatím výrobní proces končí.

Obr. 3 - Celkový pohled na výrobní linku



## 1.1 Zásobník na kostky

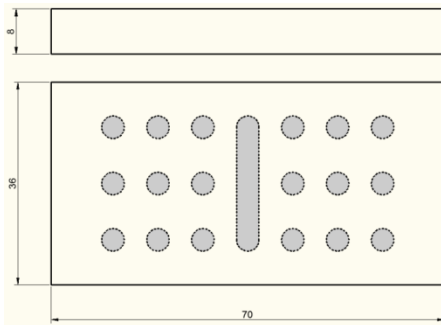
K rychlé přepravě kostek na pás slouží zásobník. Do něj se před spuštěním programu připraví polotovary bez potisku, které pomocný servomotor vysouvá mezi podávací kolečka. Zásobník byl navržen tak, aby se do něj při tloušťce kostek pod 8 mm vešlo 28 kostek, tedy kompletní dominová sada.

### 1.1.1 Parametry kostek

Co se týče rozměrů kostek, snažili jsme se o nejlepší kompromis mezi běžným poměrem stran kostek skutečného domina a možnostmi našeho hardwaru, tedy přizpůsobeným dílům stavebnice Merkur. Doporučená velikost kostek pro naši linku je ve výsledku 36 mm × 70 mm × 8 mm. Dokážeme zpracovávat i kostky s malými variacemi některého z těchto rozměrů, zvyšuje se tím však riziko špatného tisku (neoptimální přítlak popisovače na kostku) nebo mechanického selhání některé části linky (např. vzpříčení kostky). Některé z nich lze řešit úpravou řídicího softwaru, ne však všechny.



Obr. 4 - Zásobník na kostky



Obr. 5 - Vzhled kostky

Jako materiál pro testovací sérii kostek jsme zvolili dřevěnou překližku. Museli jsme ale kostky na povrchu polepit průhlednou samolepící páskou, aby se lihová barva nevpíjela do materiálu. Zároveň nám to usnadnilo testování linky, protože z pásky lze stopu po lihovém fixu beze stop setřít.

Připraveny k širšímu testování jsou také kostky z plastu, které nám poskytl náš konzultant Bc. Šenkýř. Pokud se osvědčí, do budoucna u nich nejspíše zůstaneme, protože potisk na nich je pěkně kontrastní a finální výrobek vypadá profesionálněji. Pro testování se ale tyto kostky nehodí, stopa fixu z nich jde odstranit pouze obtížně.

První zkušební kostku jsme měli také kovovou, ze železa. Ta se nám neosvědčila, protože byla příliš těžká pro manipulátor. Navíc by při plném naložení zásobníku takovými kostkami dosáhla celková hmotnost materiálu šesti kilogramů. Takovou zátěž by ani pomocný servomotor pro vysouvání kostek do podávacích koleček neutáhl.

### 1.1.2 Konstrukce zásobníku

Při stavbě zásobníku jsme museli dbát na to, aby spojovací materiál nezasahoval do prostoru s kostkami, protože ty by se mohly o maticky nebo šroubky zadrhávat.

Zásobník má výšku 35 cm i s přichytnými nožičkami. Dno zásobníku je vzdáleno 5 cm od základní desky, aby kostky, které vyjíždějí zespodu zásobníku, byly nasměrovány přímo do podávacích koleček.

Na konstrukci je z přední i zadní strany plochá součástka, aby kostky nemohly vypadnout. Pouze dole na přední straně je ponechána mezerka pro vysunutí kostky. Naproti mezeře je ze zadu umístěn servomotor s vyhazovací pákou, který zajišťuje vysunutí kostky ze zásobníku.



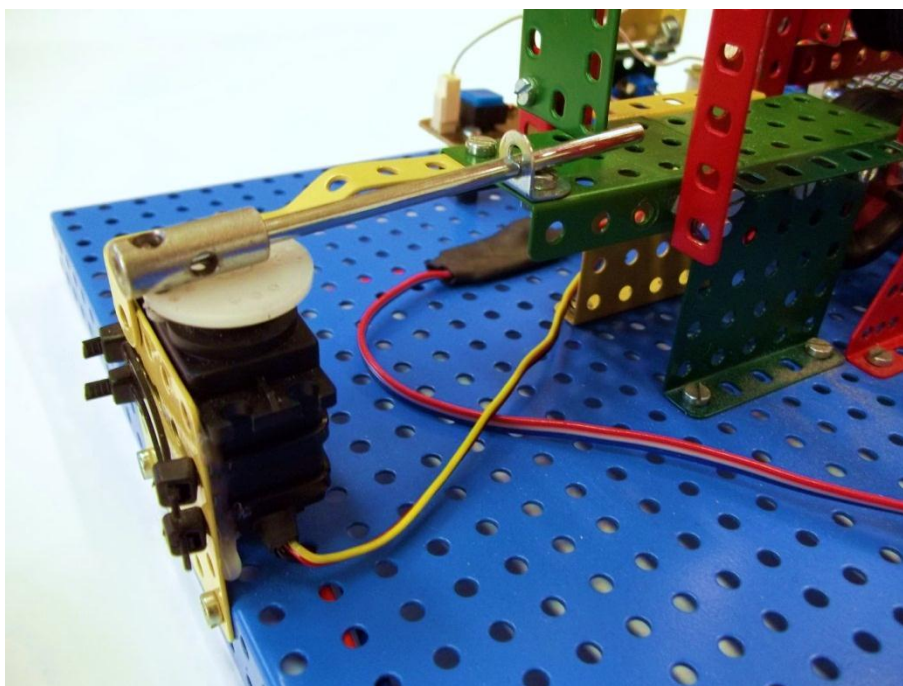
---

### 1.1.3 Vyhazovací páka

Pro vysunutí kostky ze zásobníku jsme hledali nejrůznější řešení. Věděli jsme už, že bude použita řídicí elektronika s řadičem pro servomotory, bylo proto rozhodnuto, že i tento druh pohonu použijeme pro vyhazovací mechanismus. Zbývalo navrhnout mechanickou podobu páky.

První její verze nebyla vůbec úspěšná. Naprázdno mechanismus pracoval dle předpokladů, ale už se zátěží jedné kostky měl problémy. A u vědomí, že bude v zásobníku kostek 28 nad sebou, jsme byli nuceni vymyslet jiný způsob vysouvání.

Milan Ambrož přišel s nápadem mechanismu, který se využívá u malé horské dráhy pro děti. Rotující kolo (pneumatika) se otáčí mírně vysunutě nad rovinu podvozku vagónků. Když obsluha odjistí sestavu, rotující kolo způsobí, že obsluha nemusí tlačit celou soupravu až na začátek jízdy z kopce.



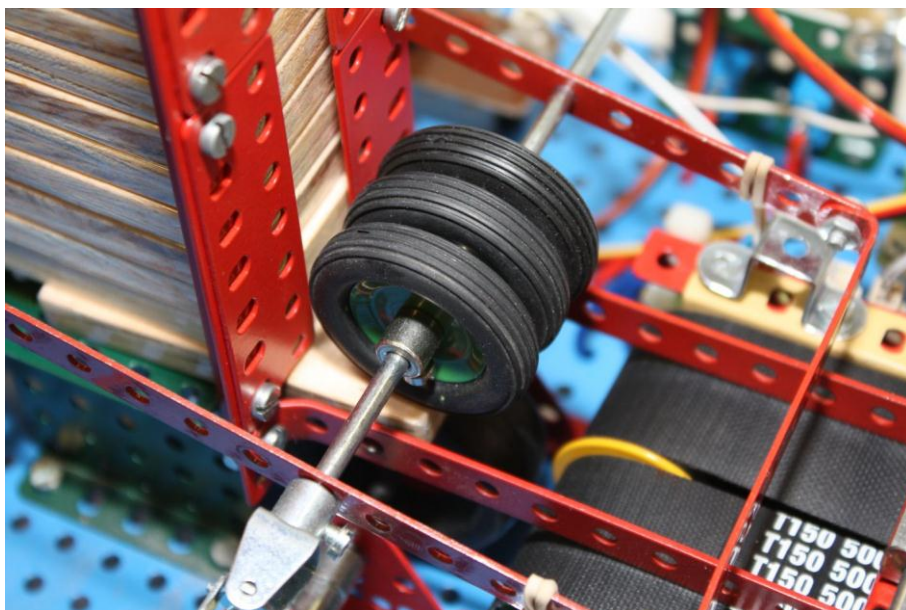
Obr. 6 - Vyhazovací páka

Na podobném principu funguje konečná verze vyhazovací páky. Ta pouze posune kostku o cca 1 - 2 cm, což nestačí pro vysunutí na pás, ale plně postačuje, aby kostku přebrala podávací kolečka a na pás ji dopravila.

### 1.1.4 Podávací kolečka

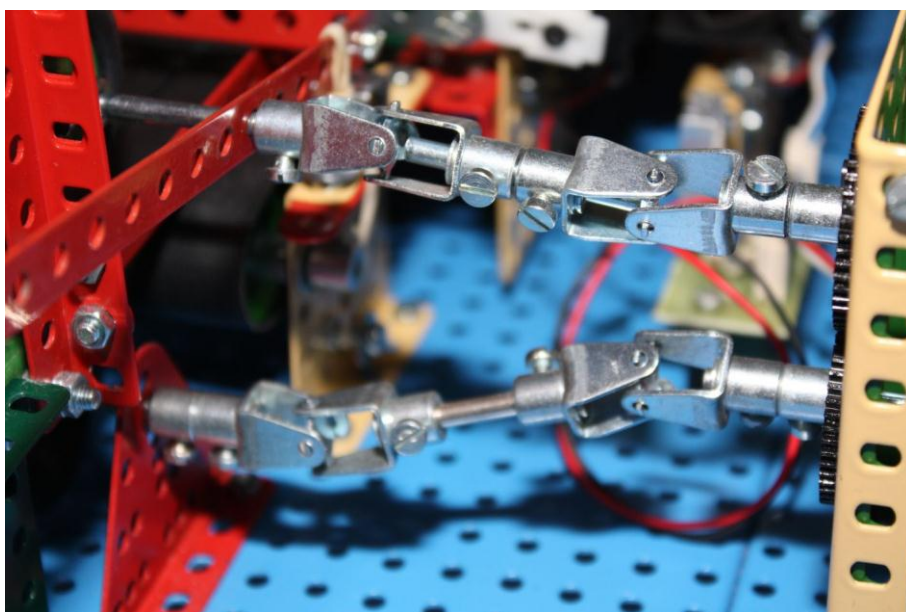
Jak bylo popsáno výše, byla použita technologie používaná na malé horské dráze mírně upravená pro naše potřeby.

Podávací kolečka tvoří čtyři rotující kola s pneumatikou dole a tři kola s pneumatikami nahoře. Aby bylo možné vyvíjet dostatečný přítlak na kostku a zároveň umožněno používání různých výšek kostek, je umístěna horní osa s kolečky kyvně. Pro přitlačování osy byly použity kuchyňské gumičky, protože po původních pokusech s pružinami se projevil jako nevhodnější.



Obr. 7 - Podávací kolečka při práci

Pohon podávacích koleček je zajištěn elektromotorem, který je vhodně převodován, aby byla dosažena potřebná síla a rychlost. Protože jsou osy rotujících koleček mimo osy převodovky a vrchní osa je navíc pohyblivá, bylo napojení os vyřešeno primitivním, ale kvalitním způsobem, totiž pomocí čtyř křížových kloubů se dvěma tyčinkami. Horní osa není uchycena v kyvném rameni a může se pohybovat ve směru osy. Tím je zajištěno, že se může rameno do určité míry zvedat, aniž by tento pohyb omezoval správný chod mechanismu jako celku.



Obr. 8 - Křížové klouby podávacích koleček

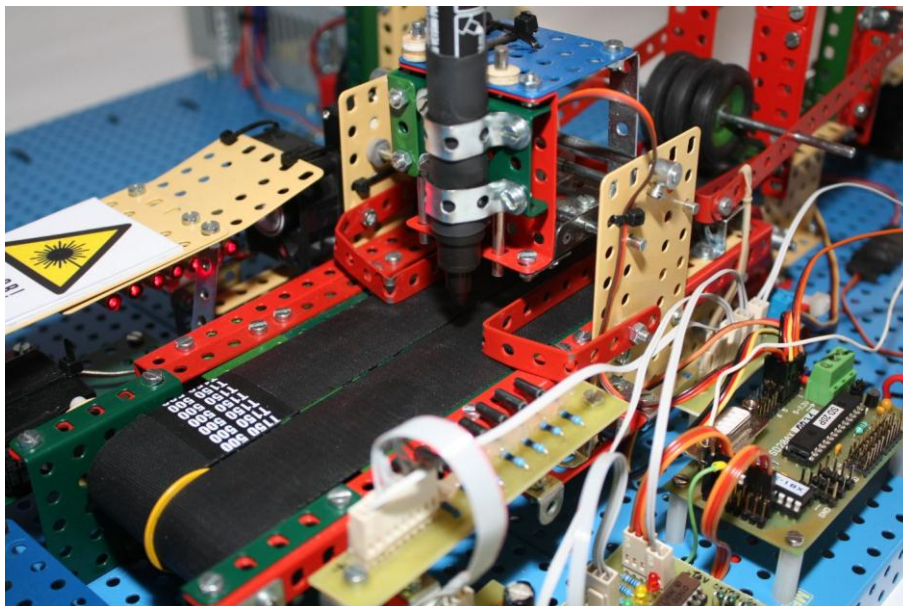
Aby se rotující kolečka nesevěřela moc, zabraňují jim v tom dva úhlové dílce umístěné na těle pásového dopravníku.

Použitý elektromotor neumožňuje přímé napojení do řadiče servomotorů, který řídí ostatní pohony linky. Byla proto vyvinuta elektronika převádějící řídicí signál pro servomotor na řízení elektromotoru. O jejím návrhu více v samostatné kapitole.

---

## 1.2 Tělo linky

Ze zásobníku postupuje kostka na pásový dopravník, který ji posouvá na předem určené pozice, a popisovač následně kreslí na kostku kombinace teček. Zastavení kostky na patřičných místech pásu je řešeno pomocí sedmi optozávor. Po dokončení potřebných operací pokračuje kostka dále směrem k manipulátoru.



Obr. 9 - Tělo linky

### 1.2.1 Pásový dopravník

Pro pohyb kostky byl použit dopravní pás. Protože firma MERKUR TOYS tehdy ještě neměla ve své nabídce dopravní pásy, použili jsme na stavbu náhradní pásy, které ve škole využíváme během výuky na PLC automatech. Tyto pásy mají ideální délku, proto nebylo třeba upravovat dílce Merkuru na míru pásům. Kvůli nedostatečné šířce pásu musely být použity dva pásy vedle sebe. Pro vedení pásu byla použita kolečka. Protože měly dva pásy během pohybu tendenci navlékat se na sebe, musela být použita vymezovací kola. Ta jsou umístěna na společné hřídeli s vodicími kolečky.

Pohon pásu zajišťuje servomotor upravený pro trvalé otáčení. Toho bylo docíleno tak, že byl vymontován potenciometr pro snímání polohy páky a nahrazen dvěma rezistory 2k2 zapojenými jako dělič. Tím pádem si elektronika servomotoru „myslí“, že páka je uprostřed. Pokud dostane signál, že ji má vychýlit ze středové polohy, začne otáčet elektromotorem, dokud nenalezne správnou polohu. Ale protože potenciometr byl nahrazen rezistory, bude se elektromotor otáčet, dokud nedostane signál pro středovou polohu, kterou mu odporový dělič simuluje.

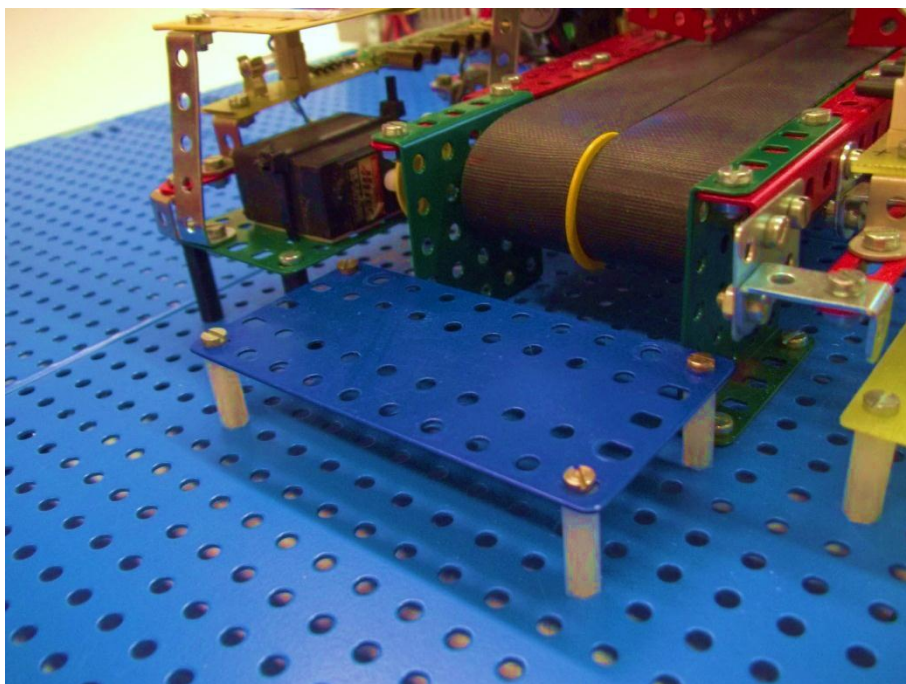
Aby se mohla hřídel servomotoru otáčet o více jak 180°, musí se mechanicky odstranit dorazy na ozubeném kole. U tohoto servomotoru postačuje vytáhnout kolíček, který je do kola vlisován.

Aby byla zajištěna dlouhodobá schopnost servomotoru pracovat, byla převodovka znovu vyčištěna a přemazána speciální teflonovou vazelinou.

Pro převod točivé síly z hřídele servomotoru na hřídel s vodicími kolečky byla použita křížová páka dodávaná se servomotorem a ploché kolo se staváčkem. Protože hřídel prokluzovala, byla zbrušena tak, aby šroubky koleček zapadly do vybrúšené plochy a tak zamezily pohybu.

---

Pro správné vedení kostky na pásu byly natvarovány vodící pásky. Na zhotovení byly použity dílce, které se naohýbaly tak, aby přesně vymezovaly prostor pro pohyb kostky pod popisovačem.



Obr. 10 - Dosedací plocha pro čelisti manipulátoru na konci pásu

### 1.2.2 Pojezd popisovače

K tisku na kostku slouží popisovač, který je upnut na dvouosém pojezdu poháněném servomotory. Vlastní pojezd popisovače prošel několika verzemi návrhu. Konečný systém je jednoduchý a pro naše účely vyhovuje velmi dobře, ačkoli má docela velké vůle.

To má za následek například to, že když postupně kreslíme na kostku jednotlivé myšlené řádky s tečkami, musí se na začátku každého řádku popisovač vracet do výchozí pozice (nalevo). Pokud bychom pohybovali popisovačem střídavě doleva a doprava pro každý řádek, zvýšila by se tím sice efektivita linky, ale tečky by byly „rozházené“, jak by se projevovaly různé vůle při pojezdu doleva nebo doprava.

Takový systém popisu by navíc kladl vyšší nároky na řídicí program linky (bylo by třeba vyhodnocovat, kde je právě popisovač a kolikátý řádek se na kostku tiskne). Rozhodli jsme se proto pro jednodušší, i když méně efektivní variantu.

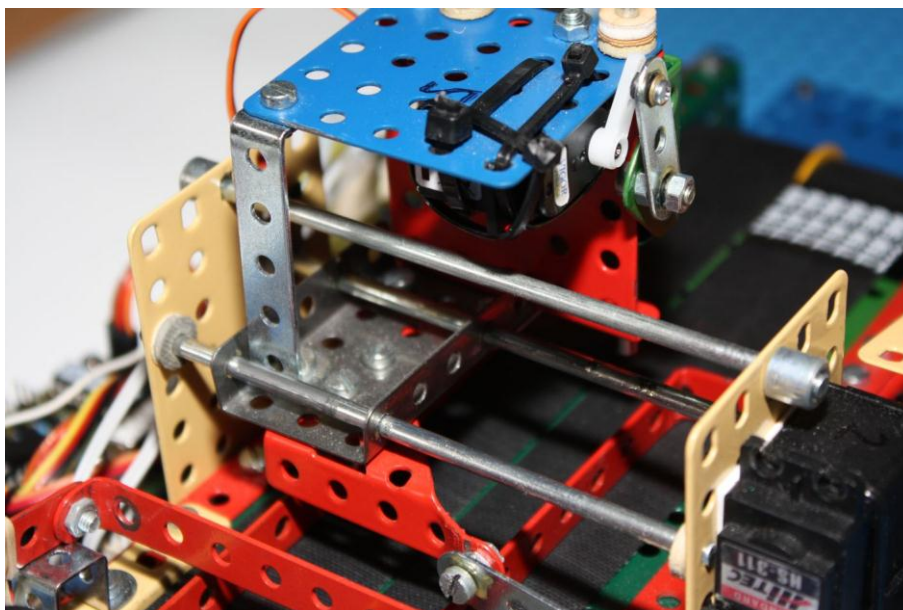
Základem posunu jsou dvě hřídele, po kterých se pohybuje plotnička. Základna horizontálního posunu je tvořena dvěma destičkami, do kterých jsou zasazeny hřídele zaaretované pryžovými kroužky. Na jedné destičce základny je pomocí oboustranné lepicí pásky upevněn servomotor, který je dále zajištěn vázacím páskem. Aby se nerozházela konstrukce základny, je celá vyztužena hřídelí, která je z vnější strany základny pojištěna staváčky.

Na hřídel servomotoru je umístěna páka umožňující nastavit délku ramene. Do ramene je umístěn čep vytvořený z nýtky o vnějším průměru 3 - 4 mm a délce 3 mm. Na tento čep je nasazen pásek. Na plotničku pojezdu je namontován uhlový dílec A. Na tomto dílci je pomocí šroubu a dvou matek vytvořen čep, do kterého je zamontováno táhlo od servomotoru.

Na dílec pojezdu je pomocí destičky uchycena plotnička, do této plotničky jsou zasunuty dvě hřídele a svrchu zajištěny pryžovými kroužky. Po těchto hřídelích se pohybuje plotnička. Na tuto plotničku je

---

umístěn samotný popisovač. Na horní část plotničky je umístěna destička, která slouží jednak jako držák druhého servomotoru, ale také pro zpevnění vertikálního posunu popisovače. Tato destička je podepřena páskem.

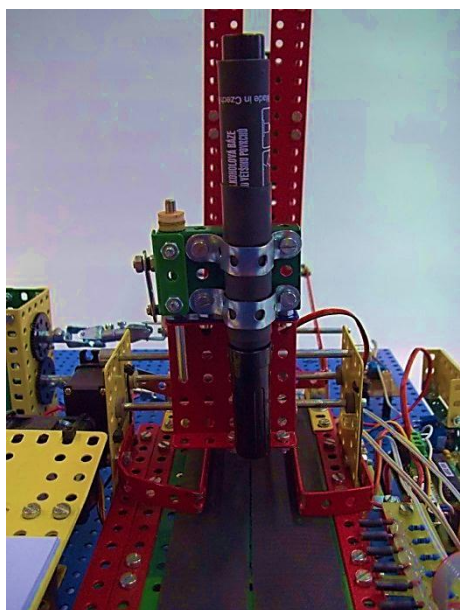


Obr. 11 - Pojezd popisovače

Na plotničku vertikálního posunu je umístěna zahnutá destička. Na tuto destičku je umístěn čep vytvořený ze šroubu a dvou matic. V tomto čepu je zasazen pásek a ten je uchycen za páku servomotoru.

### 1.2.3 Popisovač

Nejlepší volbou pro popisovač se ukázal být lihový fix Centropen s širokým hrotem. Bohužel tento fix nemá příliš dlouhou výdrž a postupně vysychá. Proto jsou hřídele vertikálního posunu zajištěny pouze z jedné strany, aby je bylo možné vyjmout a umístit krytku na popisovač. I přesto je ovšem lihový fix schopen vysychat. Proto je nutné po delší odstavce navlhčit hrot popisovače technickým lihem.



Obr. 12 - Popisovač zavřený



Obr. 13 - Popisovač otevřený

---

Popisovač je umístěn na destičce vertikálního posunu pomocí přesně natvarovaných pásků. Na popisovač bylo třeba navléct smršťovací bužírku, jinak měl tendenci v držáku prokluzovat.

## 1.3 Manipulátor

Když jsme přemýšleli, jakým způsobem budeme přepravovat kostky z pásu, v úvahu padlo několik variant. Protože jsme prakticky celou linku stavěli z dílů stavebnice Merkur a protože firma MERKUR TOYS nedávno uvedla na trh robotický manipulátor BETA, napadlo nás, že bychom mohli použít ten. S tehdy dosud ještě nekonkrétními plány na další možné rozšíření linky pro nás škola pořídila dva kusy tohoto manipulátoru.

### 1.3.1 Původní verze

Po rozbalení obou manipulátorů jsme zjistili, že jsou v několika detailech odlišné a některé díly se zdály chybět. Zahájili jsme tedy stavbu pouze jednoho z nich, u kterého byly všechny díly k dispozici. Teprve později jsme se od zástupců firmy MERKUR TOYS dozvěděli, že na trh byly ve skutečnosti vydány dvě různé verze manipulátoru, které však nebyly nijak vnějškově odlišeny.

V balení nalezneme: díly na sestavení manipulátoru, potřebné nářadí pro stavbu, šroubky pro spojení dílů, stavební návod, software na CD, servomotory pro pohyb jednotlivých částí, řídicí desku a síťový zdroj. V manipulátoru jsou použity dva typy servomotorů. Prvním z nich jsou pohony značky Vigor, druhým servomotory značky Hitec. Podrobněji se k servomotorům dostaneme v samostatné kapitole.

Manipulátor je sám o sobě celkem pěkně dílensky a mechanicky zpracován, po elektrické stránce to je již o něco horší, což si vyžádalo úpravy, jak bude popsáno dále. Stavba manipulátoru probíhala jinak bez obtíží, přiložený návod je dostatečně srozumitelný a postup stavby je v něm popsán slovně i graficky.

### 1.3.2 Upravená verze

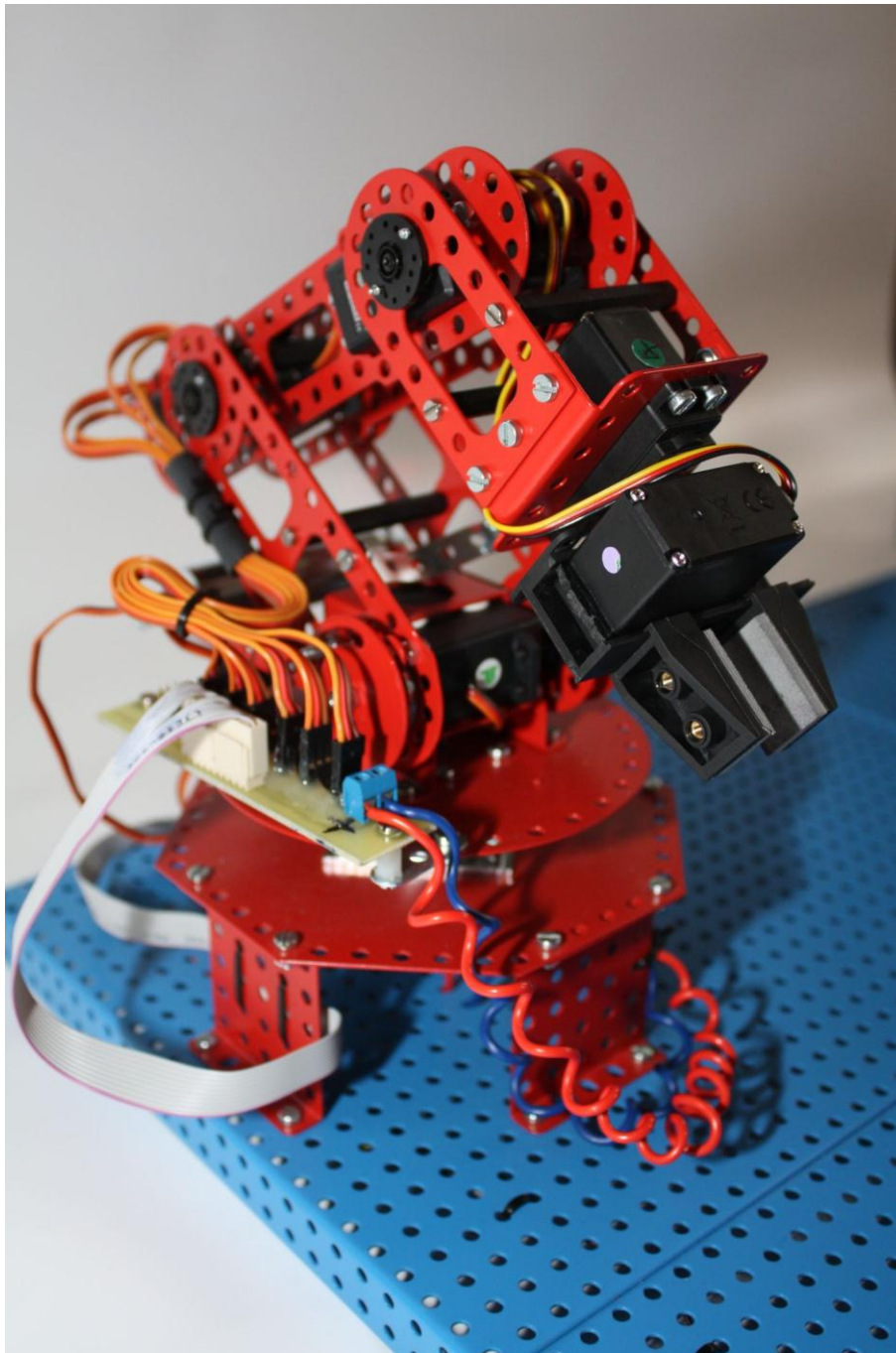
Manipulátor byl od samého počátku provozován bez dodané řídicí elektroniky a softwaru. Namísto ní jsme nainstalovali již dříve ověřenou řídicí desku SD20AX kombinující programovatelný mikrokontrolér PICAXE a řadič servomotorů SD20. Tuto řídicí elektroniku jsme používali již v minulosti na jiném zařízení a máme s ní proto bohaté zkušenosti.

Pro napájení této řídicí jednotky i servomotorů manipulátoru byl použit upravený zdroj, který napájí také zbytek celé linky. Síťový zdroj dodávaný s manipulátorem jsme používali pouze v raných fázích testování, kdy ještě nebyla montáž našeho vlastního zdroje dokončena.

Po zkonstruování původní verze manipulátoru jsme zjistili, že servomotory mají problém s příliš dlouhou pákou ramene. Ani manipulátor bez zátěže nemohl sám sebe unést bez potíží. Na vině byly zvolené servomotory v kombinaci s dlouhou pákou a malým protizávažím.

Z těchto důvodů jsme manipulátor přestavěli a použili tentokrát kratší ramena z druhé verze stavebnice. Tím se zlepšilo přepákování na manipulátoru a snížila celková hmotnost ramene. Tato nová verze již pracovala v rámci naší výrobní linky celkem spolehlivě. Verzi s kratším ramenem dnes již doporučuje používat i přímo výrobce. Ten nám také laskavě vyměnil dílce dlouhého ramene z první zakoupené stavebnice za kratší variantu.

Díky kontaktům pana Ing. Řezníčka ve firmě MERKUR TOYS jsme navíc dostali jedinečnou příležitost prodiskutovat přímo s výrobcem způsob provedení protizávaží ramene. Po našich připomínkách je možné, že se na trhu objeví třetí verze manipulátoru, která bude obsahovat větší závaží a zlepší tak chování manipulátoru i při plně nataženém rameni. Klíčový zdroj problémů s manipulátorem se však skrýval jinde, jak bude popsáno dále.



Obr. 14 - Upravená verze manipulátoru

## 2 Pohony

### 2.1 Servomotory

#### 2.1.1 Princip servomotoru

Servomotor je zařízení, které na ose dokáže nastavit přesný úhel v rozmezí 0° až 180°. Existují i varianty, které se otáčejí pouze v rozmezí 0° až 90°. Po přestavbě lze takové zařízení používat i jako pohon s kontinuálním chodem.

Uvnitř je umístěn elektromotor, který je vhodně převodován, aby servomotor dokázal dodat dostatečnou sílu, ale měl při tom uspokojivou rychlost. Na výstupní osu servomotoru je napojen potenciometr, který snímá polohu. Tuto polohu (napětí 0 - 5 V) vyhodnocuje elektronika umístěná v zadní části servomotoru. Tato elektronika přijímá signál datového vodiče, na kterém jsou impulzy o délce jednotek milisekund s opakovací frekvencí 50 Hz. Tento signál je porovnáván se signálem potenciometru a elektronika se neustále „snaží“ docílit shody signálů z potenciometru a z datového vstupu. Toho docíljuje tak, že otáčí elektromotorem, dokud nedosáhne stabilní polohy.

U digitálního servomotoru je zpracování jiné. Tento servomotor už je složitější, protože hlídá chybové stavy vstupu, přetížení, rychlost pohybu a podobně. My ovšem na naší lince nepoužíváme digitální servomotory. Výjimkou je pouze servomotor pro pohon pásu, který je digitální, ale zároveň byl námi upraven a proto nejsou jeho pokročilé vlastnosti využívány.

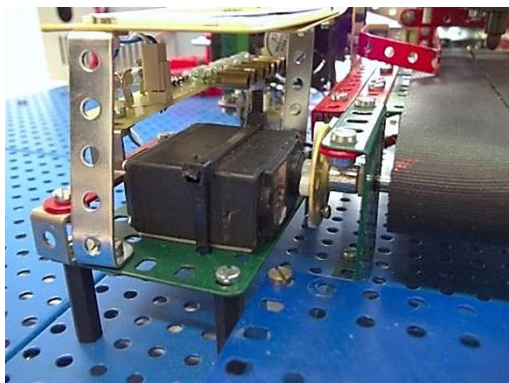
## 2.1.2 Servomotory pohánějící tělo linky

Horizontální posun popisovače zajišťuje servomotor Hitec HS-311 s tahem 3 kg/cm. Vertikální posun popisovače zajišťuje servomotor Vigor VTS-05A. Tento servomotor, ačkoli není příliš kvalitní, byl použit proto, že nejsou kladeny vysoké nároky na jeho přesnost a sílu. Servomotor pouze zvedá a spouští popisovač a vyšší silou působí jedinečně při tlačení na popisovač, aby byla stopa na kostce sytá a silná.

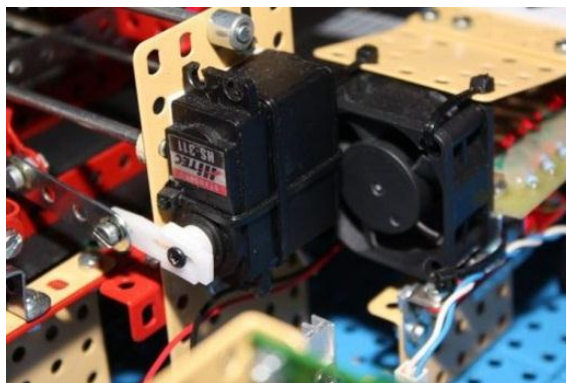
	Vigor VTS-05A		Hitec HS-422		Hitec HS-5626MG	
	při 4,8 V	při 6,0 V	při 4,8 V	při 6,0 V	při 4,8 V	při 6,0 V
Tah [kg/cm]	1	1,2	8	9,5	8	9,5
Rychlost [s/60st.]	0,19	0,17	0,21	0,16	0,17	0,17
Kuličková ložiska	Ne		Ano		Ano	
Rozměry [mm]	22,5 × 17,8 × 23,3		40,4 × 19,6 × 36,6		40,4 × 19,6 × 37,6	
Hmotnost [g]	8		45		60	

Tab. 1 - Parametry servomotorů těla linky

Vyhazovací páku pohání servomotor HS-422. Pohon pásového dopravníku obstarává kvalitní servomotor HS-5626MG, který bezproblémově zvládá i vysokou dlouhodobou zátěž. Ten je navíc upraven pro kontinuální chod (nemá krajní polohy).



Obr. 15 - Servomotor HS-5626MG



Obr. 16 - Servomotor HS-311



### 2.1.3 Servomotory manipulátoru

Obr. 17 - Servomotory manipulátoru

Nyní si detailně popíšeme servomotory manipulátoru. Výrobce používá dvě značky - Vigor a Hitec. Se servomotory Hitec nebyly zatím žádné problémy, jsou zde dva kusy a provozujeme je od začátku bez obtíží.

Bohužel o servomotech Vigor se toto říci nedá. Už od začátku jsme k těmto servomotorům neměli příliš velkou důvěru vzhledem k jejich obecně známé málo odolné konstrukci. A jak se ukázalo, servomotory Vigor skutečně začaly velice brzy selhávat.

Tabulkově sice udávají tah 6,5 kg/cm, ale zdání klame. Na servomotor, do kterého se pustil signál a byl v dané poloze, kterou měl držet, stačilo pouze lehce zatlačit prstem a už bylo slyšet, jak nevládá zátěž a jak se natahuje v převodech. Zkrátka servomotory neměly ani zdaleka udávaný tah.

Kvůli těmto nekvalitním servomotorům se naše práce na stavbě linky o něco zdržela. Nyní jsou snad již problémy alespoň částečně vyřešeny. Po přestavbě manipulátoru na verzi s kratšími rameny už se servomotory zdají být podstatně méně namáhané, problémy lze pozorovat pouze při dlouhodobé práci s ramenem nataženým na maximální vzdálenost.



	Vigor VS-18B		Hitec HS-311	
	při 4,8 V	při 6,0 V	při 4,8 V	při 6,0 V
Tah [kg/cm]	6,5	7,0	3,0	3,5
Rychlost [s/60st.]	0,25	0,20	0,19	0,15
Kuličková ložiska	Ano		Ne	
Rozměry [mm]	40 × 20 × 36,5		40 × 20 × 36,5	
Hmotnost [g]	43		43	

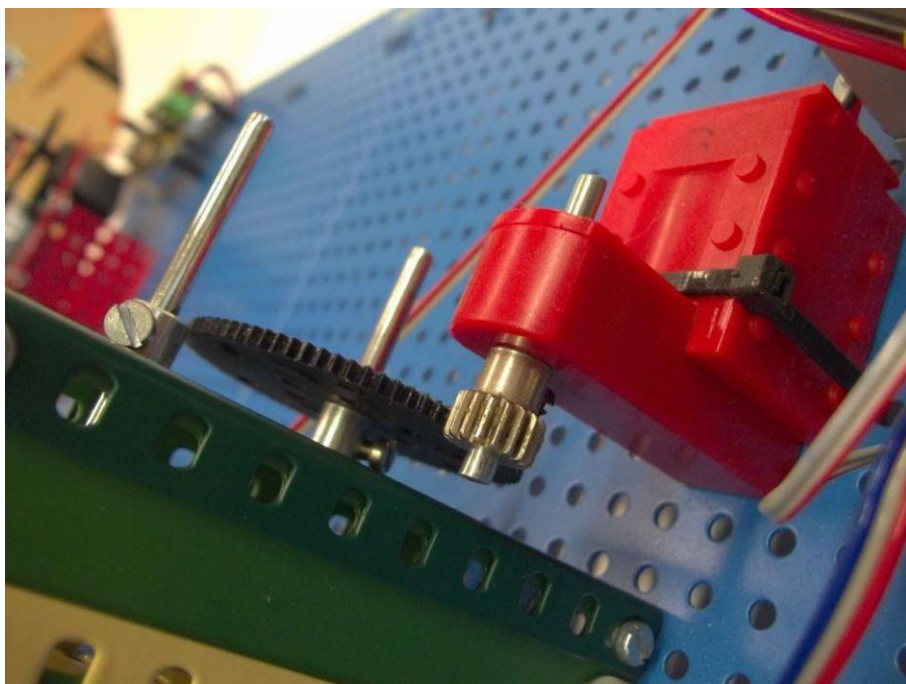
Tab. 2 - Parametry servomotorů manipulátoru

## 2.2 Elektromotor

Elektromotor pohání podávací kolečka. Jde o klasický typ motorku dodávaného ke stavebnicím Merkur. Během práce jsme zjistili, že potřebuje přidat odrušení, protože napěťové špičky z cívky elektromotoru rušily řadiče SD20 na řídicích deskách a tím i práci všech servomotorů v lince.

Provozní napětí [V]	6
Rychlý převod tah [kg/cm]	0,3
Pomalý převod tah [kg/cm]	2,5

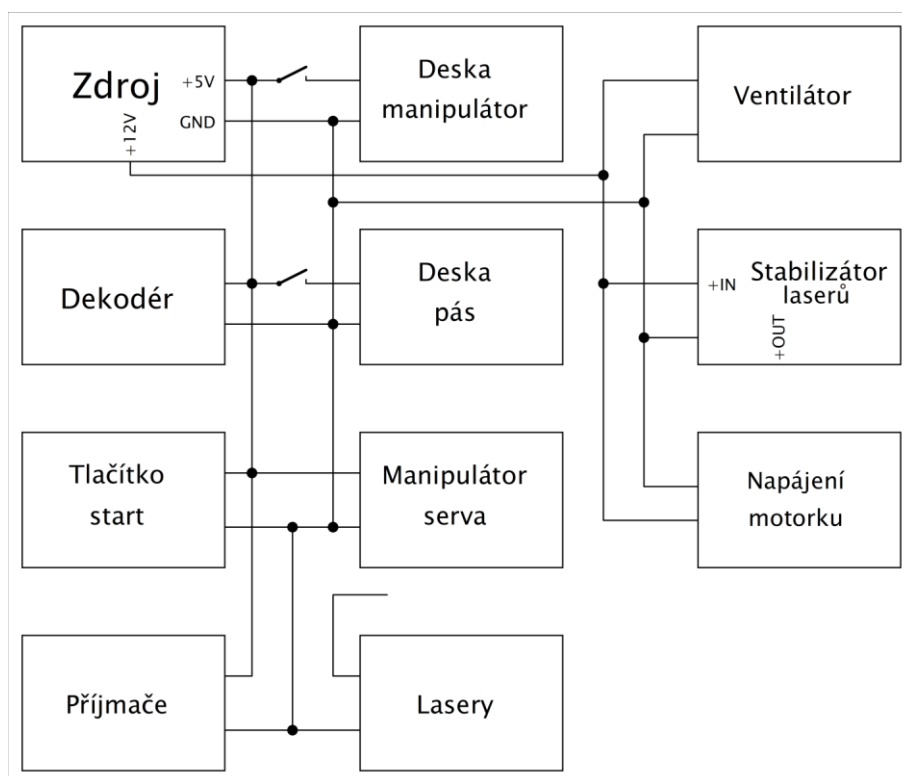
Tab. 3 - Parametry elektromotoru



Obr. 18 - Elektromotor Merkur

Proto jsme na tělo elektromotoru připojili antiparalelně usměrňovací diodu spolu s kondenzátory, které tlumí napěťové špičky a tím problém rušení řeší. Součástky jsou zabudovány v plastovém krytu motoru, který jsme museli uvnitř vyfrézovat kvůli získání potřebného prostoru.

### 3 Napájecí část



Obr. 19 - Blokové schéma napájecí části

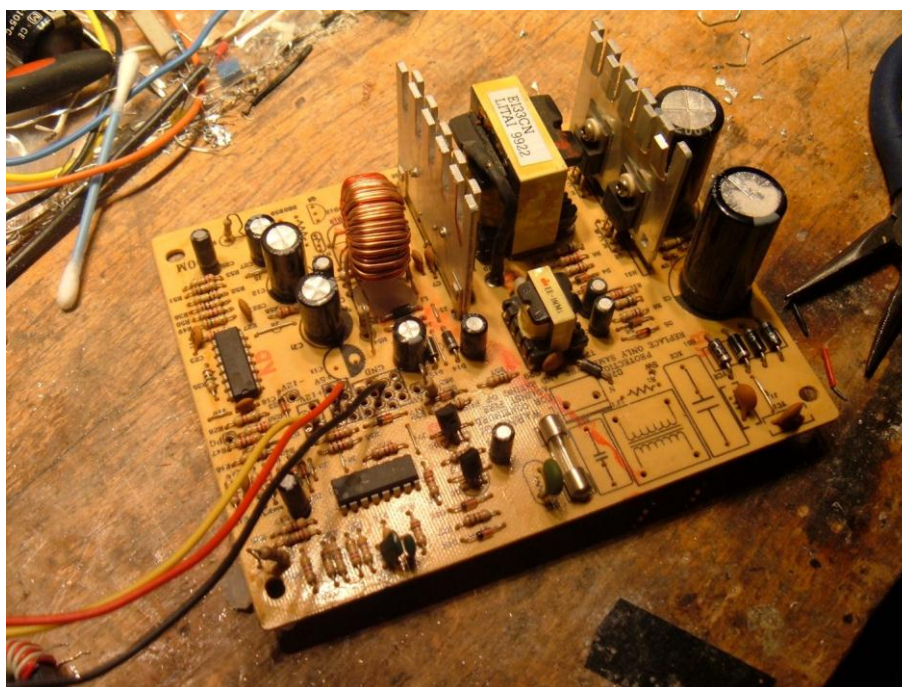
## 3.1 Napájecí zdroj

Pro celou výrobní linku byl vyvinut speciální napájecí zdroj, který je umístěn na desce tvořící základnu linky.

Linka vyžaduje pro svou činnost tvrdý zdroj 5 V / 10 A. Také je potřeba napětí 12 V / 2 A (tato větev nemusí být stabilizovaná). Vyšší napětí slouží pro napájení ventilátorů, laserů a motorku podávacích koleček.

### 3.1.1 Původní parametry zdroje

Protože bylo zapotřebí velkých proudů, byl okamžitě zavrhnut síťový transformátor. Ten by měl příliš velké rozměry a hmotnost, také by nedokázal dodávat stabilní napětí a bylo by zapotřebí přidat lineární stabilizátor s malou účinností. Proto byl jako základ zvolen impulzní zdroj. Původním záměrem bylo navrhnout a sestavit zdroj úplně celý, ale kvůli omezenému času a díky tomu, že Milan Ambrož měl už zkušenosti s úpravami zdrojů z počítačů typu PC-AT, přikročili jsme raději k úpravě zdroje tohoto typu.



Obr. 20 - Původní napájecí zdroj

Upravovaný zdroj je v originále konstruován pro síťové napětí 120 / 230 V a výstupní napětí 12 V, 5 V, -5 V a -12 V. Na kladné 5 V větvi dokáže dodat proud až 20 A, na 12 V větvi 8 A. Záporné větve shodně disponují proudy 0,5 A. Zdroj má štítkový výkon 200 W a bylo změřeno, že ochrana proti nadproudu začne reagovat při 218 W výstupního výkonu (součet všech výkonů výstupních větví).

Napětí zdroje [V]	Proud zdroje [A]	Výstupní výkon [W]
12	8	96
5	20	100
-5	0,5	2,5
-12	0,5	6

Tab. 4 - Parametry původního zdroje

### 3.1.2 Provedené úpravy

Původní zdroj měl nevýhodu v tom, že sice dodával stabilní napětí, ale pouze když byly rovnoměrně zatíženy větve +5 V a +12 V. Toto omezení bylo třeba odstranit. Docílili jsme toho úpravou zpětné napěťové vazby, kterou jsme zavedli pouze z +5 V větve. Integrovaný obvod TL494 řídí celý zdroj tak, aby na vývodu č. 1 bylo stálé napětí 2,5 V. Tento vývod jsme odpojili od všech ostatních obvodů tak, že jsme vypájeli součástky těchto obvodů. Do míst po vypájených součástkách jsme umístili nové součástky.

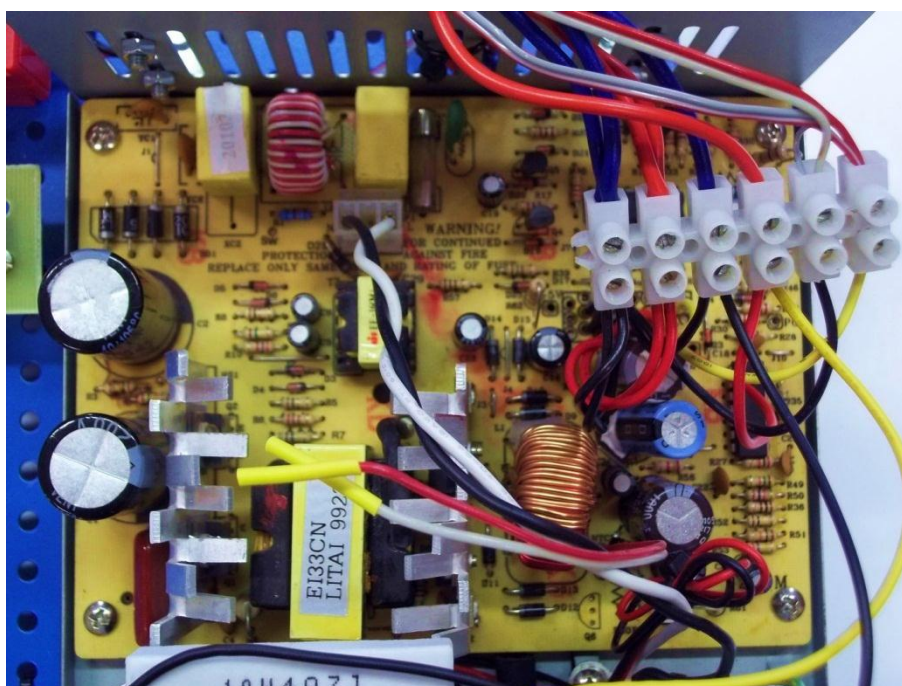
Po této úpravě zdroj hlídá pouze +5 V větev nezávisle na ostatních.

Abychom zajistili vyšší kvalitu a výdrž při tvrdém zkratu na větvi +5 V, vyměnili jsme usměrňovací diody za výkonnější typ, který jsme získali z jiného zdroje. Tyto diody umožňují protékající proudy do 45 A. Zdroj proto krátkodobě dodá do větve +5 V plný výkon, aniž by došlo k jeho poškození.

Do zdroje byly následně osazeny filtrační prvky, které nebyly (nejspíše kvůli snížení ceny) od výroby instalovány, a zdroj byl doplněn o síťový vypínač.

Pro bezchybnou funkci zdroje je potřeba ho zatížit na měřené větvi. Toho bylo docíleno tak, že jsme k ventilátoru umístili výkonový rezistor 4R7/10 W, který zatěžuje +5 V větev. Díky tomu je zdroj stabilní, i pokud odpojíme zátěž.

K této úpravě je potřeba mít zkušenosti z oboru spínaných zdrojů a proto je dobré svěřit práci někomu, kdo problematice rozumí, nebo sehnat továrně vyráběný zdroj. Protože je každý zdroj jiný, neuvádíme zde ani schéma upravené části, ani použité hodnoty součástek.



Obr. 21 - Upravený napájecí zdroj

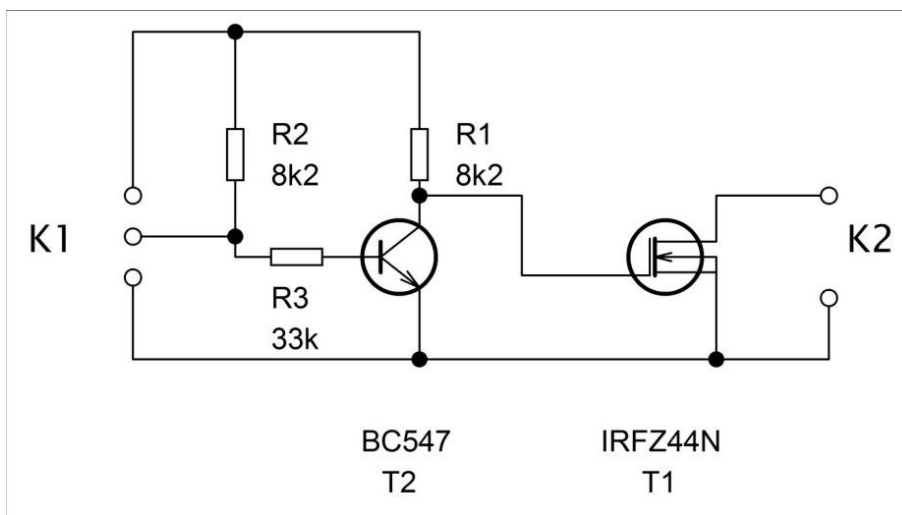
Napětí zdroje [V]	Proud zdroje [A]	Výstupní výkon [W]
12	5	60
5	20 (max. 40)	100 (max. 200)

Tab. 5 - Parametry upraveného zdroje

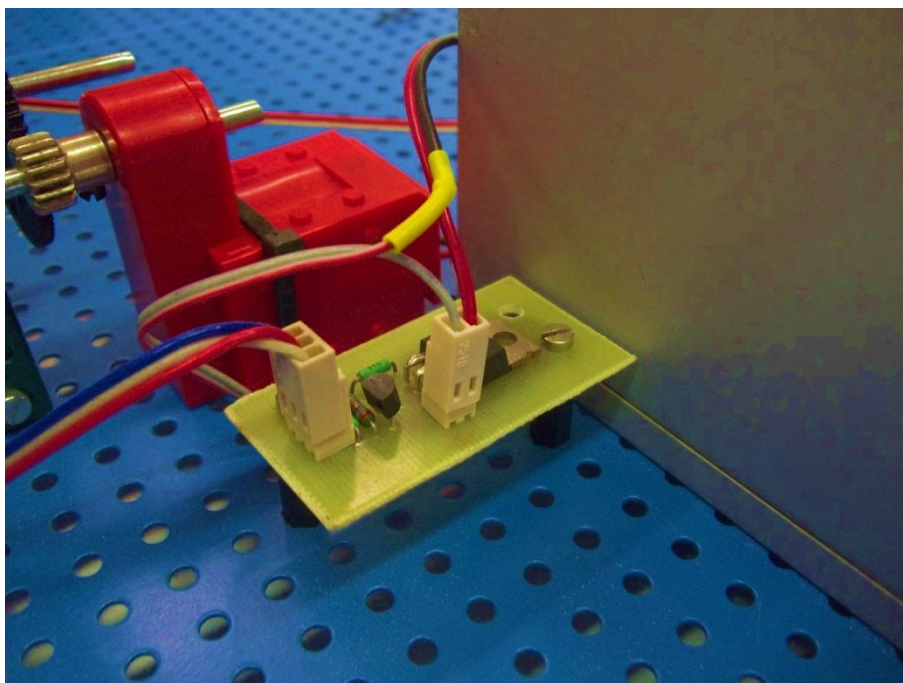
Rozvod napájení je řešen většinou ze spodní strany desek tvořících základnu linky a kabely jsou přichyceny ke konstrukci pomocí stahovacích pásků.

### 3.2 Posílení elektromotoru

Na posilovací destičce je umístěn výkonový tranzistor IRFZ44N, který spíná zátěž. Výkonový tranzistor je otevírán přes rezistor R1. Mezi *gate* a *source* tranzistoru je umístěn běžný BC547, který nepřímo řídí výkonový tranzistor. Řídicí tranzistor je otevírán přes ochranný rezistor R3 rezistorem R2. To způsobí, že v klidovém stavu není motor spuštěn. Takovéto řešení je zapotřebí, protože v klidovém stavu elektroniky servomotoru není na výstupu pro elektromotorek nulové napětí, ale napětí asi 2,5 V.



Obr. 22 - Schéma desky s posílením elektromotoru

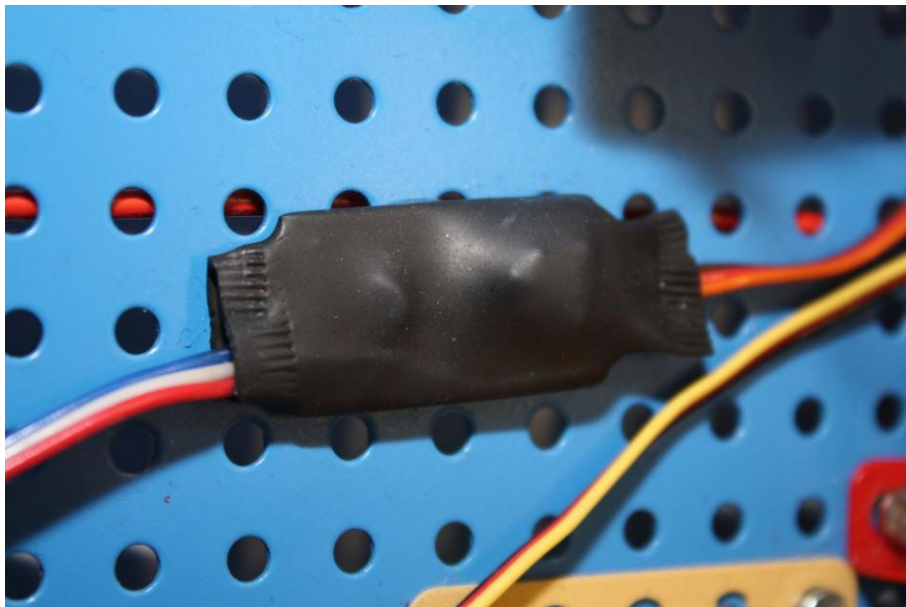


Obr. 23 - Osazená deska s posílením elektromotoru

Protože bylo potřeba vyřešit napájení elektromotorku tak, aby se dal ovládat jako servomotor přes řadič, musela být vyvinuta odpovídající elektronika pro řízení.

---

K její výrobě byla použita elektronika získaná z jiného poškozeného servomotoru doplněná o výkonový stupeň s tranzistorem MOSFET. Doplňující elektronika je umístěna na speciální desce plošného spoje vedle elektromotorku a je propojena kablíkem s elektronikou servomotoru umístěnou ve smršťovací bužírce.



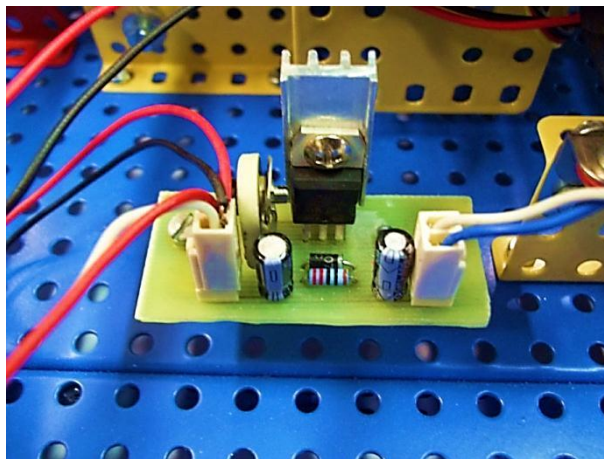
Obr. 24 - Zakrytá elektronika elektromotoru

Úprava vymontované elektroniky servomotoru spočívá v nahrazení potenciometru dvěma rezistory 2k $\Omega$ , které zajistí, že si elektronika „myslí“, že je nastavena středová poloha. Poté se z elektroniky musí vyvést +5 V, GND a signál z jednoho výstupu pro původní elektromotorek. Výsledek se napojí do posilovací destičky přes třípinový konektor se zámekem.

### 3.3 Napájení laserů

Pro lepší nastavení/regulaci svítivosti laserů jsme využili jednoduchý stabilizovaný zdroj s obvodem LM317. Tento obvod umožní plynulou regulaci výstupního napětí od 1,2 V do 36 V.

My jsme použili trimr o menší hodnotě odporu a maximální výstupní napětí se tak pohybuje kolem 10 V. Každá laserová dioda je pak zapojená v sérii s rezistorem o hodnotě 150  $\Omega$ . Tímto ve VA charakteristice laserové diody dosáhneme lepší linearity a nemusíme napájet obvod proudovým zdrojem.



Obr. 25 - Napájení laserů

---

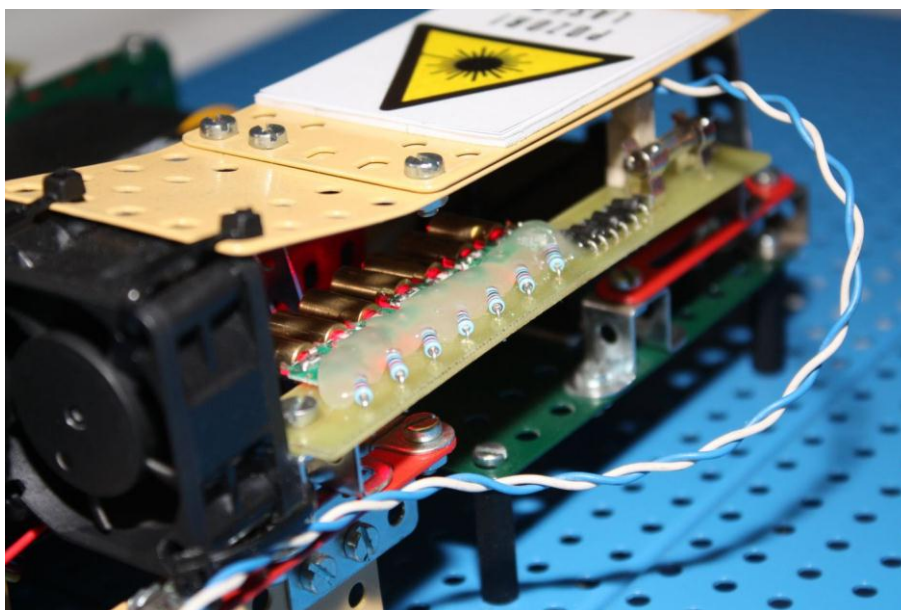
### 3.3.1 Chlazení laserů

Protože se lasery značně zahřívaly a klesala jejich svítivost (a to až na mez, kdy přestaly reagovat fototranzistory a to způsobilo chybnou práci linky), museli jsme přikročit k nainstalování chlazení. To obstarává ventilátor CY420/A o rozměrech 40 × 40 × 20 mm.

Krycí deska ventilátoru byla natvarována, aby směřovala proudící vzduch tak, že prochází i přes lasery na konci řady. Ventilátor je spuštěn ihned při startu zdroje, ale je v plánu ho do budoucna regulovat, aby neobtěžoval okolí nepříjemným hlukem.

Na krycí desce je umístěna výstraha „POZOR! LASER“. Použité laserové diody pocházejí sice z obyčejných laserových ukazovátek, i tak ale mohou poškodit lidský zrak. Při běžné práci s linkou toto nehrozí, protože jsou lasery umístěny nízko a svítí přesně vodorovně. Pro větší bezpečnost případných diváků jsou navíc namířeny směrem k prostoru pro obsluhu, která je během manipulace s ovládacími prvky mimo nebezpečný úhel.

Tato konfigurace laserů navíc vytváří hezký efekt světelných bodů na kostkách projíždějících linkou, čímž se zároveň demonstuje správná funkce optozávora.

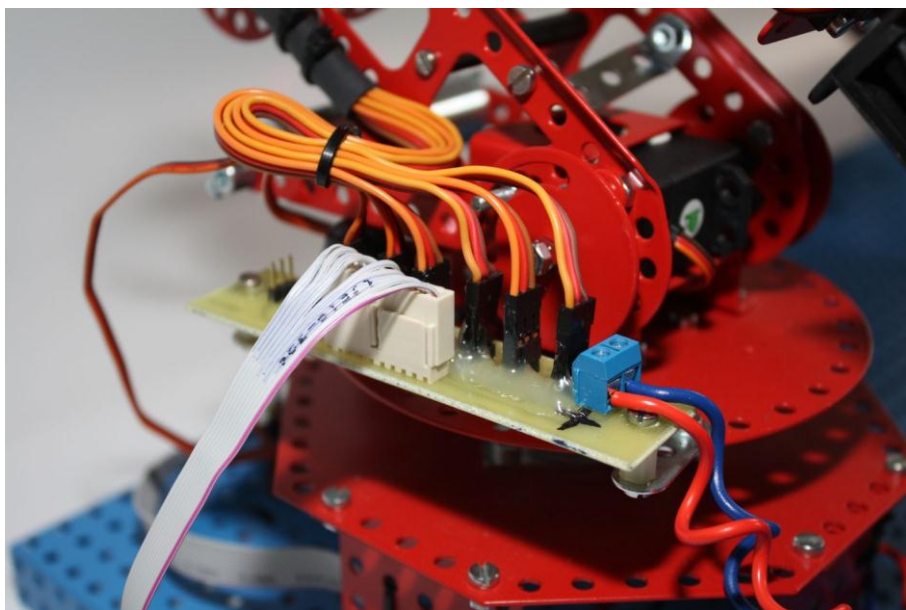


Obr. 26 - Chlazení laserů

### 3.4 Napájení manipulátoru

Protože použití prodlužovacích kablíků a napojení každého servomotoru do řídicí jednotky samostatně by znamenalo mnoho přechodových odporů a mnoho tenkých cest, byla vyvinuta deska, která má externí napájení pro servomotory a odděluje jejich napájení od řídicích signálů. Tento plošný spoj je umístěn na manipulátoru, vedou k němu jednak dva silné vodiče ze zdroje (pro napájení servomotorů) a jednak plochý deseti žilový vodič (pro řídicí signály).

Kabel propojující nový spoj s řídicí deskou manipulátoru je zakončen následujícími konektory: na jedné straně jsou dva pětipinové konektory se zámkem, na druhé straně je umístěn desetipinový konektor pro dvouřadou jumper lištu. Mezi řídicí jednotkou a konektorem kabelu byla zhotovena redukce, která přizpůsobí osm výstupů řídicí jednotky pro konektor kabelu.

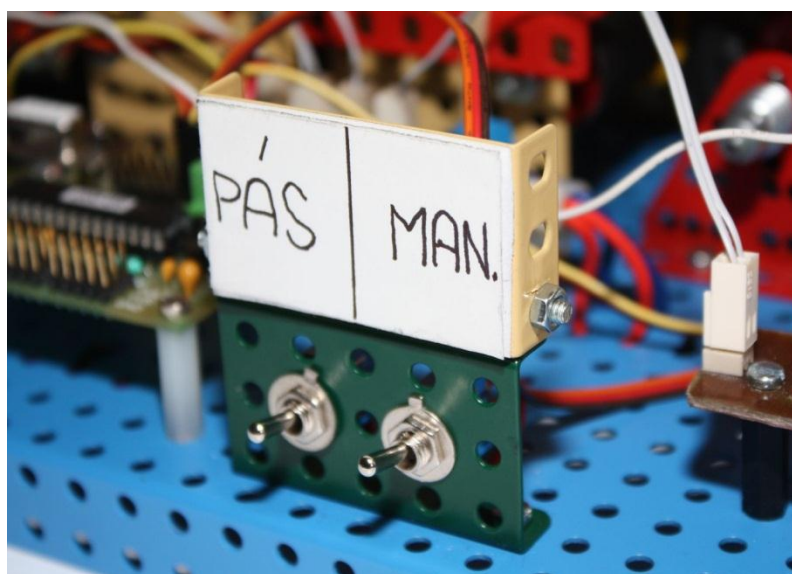


Obr. 27 - Napájení manipulátoru

### 3.5 Spínače

Během testování jsme zjistili, že nám v lince schází možnost odděleně vypínat/zapínat řídicí desky manipulátoru a těla linky. Sáhli jsme proto k řešení, kde napájení, které vede do obou desek, můžeme kdykoli odpojit od zdroje, aniž bychom museli manipulovat s hlavním vypínačem. Za tím účelem jsme přidali na základnu linky dva spínače, které zajišťují právě tuto funkci.

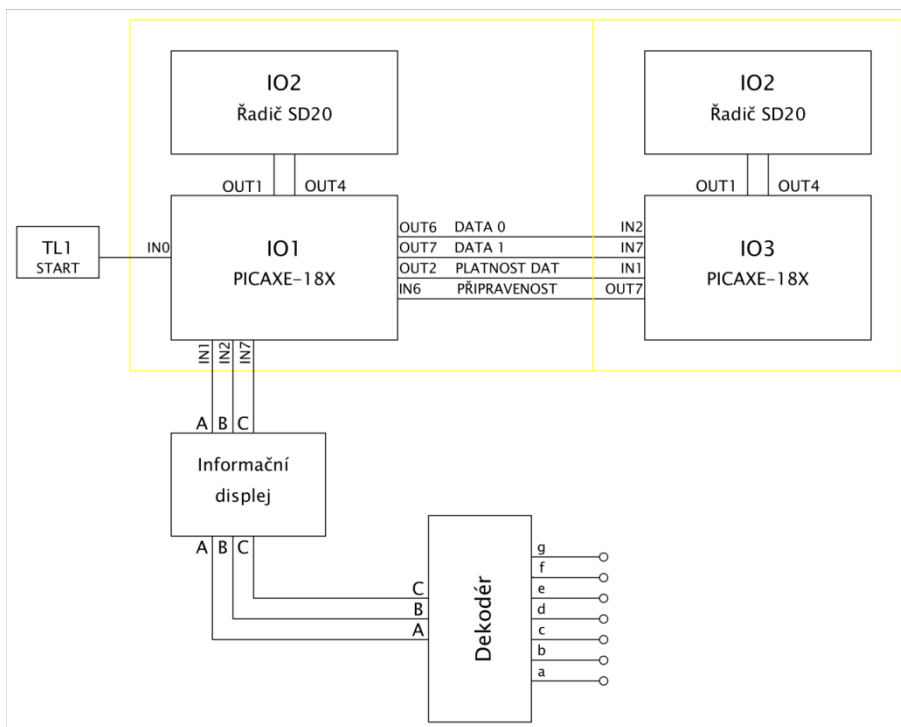
Nastal zde ale problém. Napájení manipulátoru přerušitelné ve výsledku není (souvisí to s modifikací napájení manipulátoru), takže se přes signální vodiče servomotorů dostává malý napěťový signál na obě řídicí desky. Kvůli tomu se řídicí mikrokontroléry desek nedokáží úplně resetovat (dostanou se pouze do „uspaného“ režimu) a program se až do obnovení plného napájecího napětí pouze pozastaví. To jsme nakonec vyřešili rezistorem, který sráží parazitní napětí na napájení mikronrolérů pod úroveň cca 2 V a tím je při odpojení vždy úplně resetuje.



Obr. 28 - Spínače pro reset hlavní desky a manipulátoru



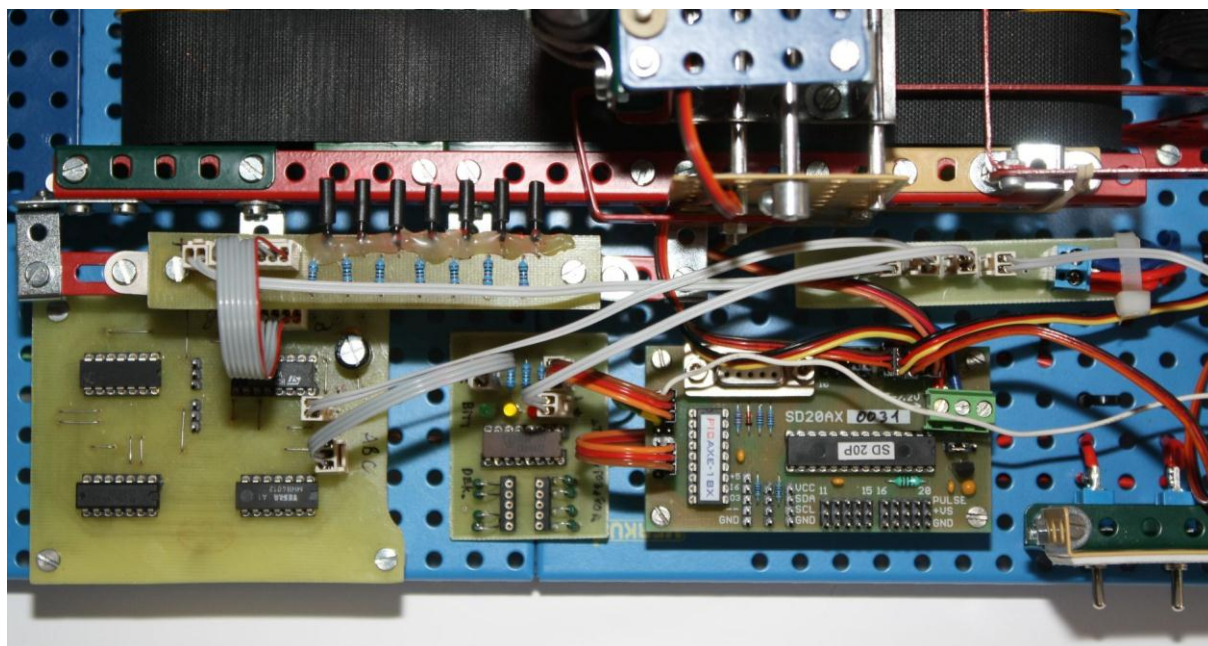
## 4 Řídicí elektronika



Obr. 29 - Blokové schéma řídicí části

Centrem řízení celé linky je hlavní řídicí deska s mikrokontrolérem PICASE-18X a řadičem servomotorů SD20(P). Tato deska určuje načasování všech akcí, zpracovává informace z dekodéru (stav na optozávórah) a určuje, kdy a do které polohy se má nastavit manipulátor. Konkrétní příkazy servomotorům manipulátoru udílí jeho vlastní řídicí deska. Komunikace mezi hlavní deskou a deskou manipulátoru je vedena čtyřmi vodiči pod základnou linky.

Celá řídicí elektronika je napájena pěti volty, kromě laserů, které mají svůj vlastní stabilizátor ze 12 V.

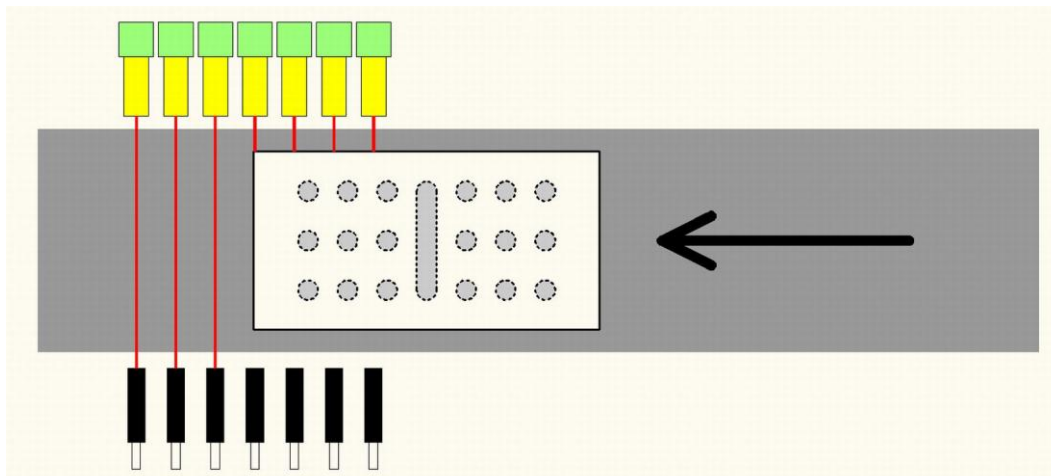


Obr. 30 - Řídicí elektronika

---

## 4.1 Optozávory

Soustava sedmi optozávor slouží k synchronizaci pásového dopravníku a pojezdu popisovače. Každá optozávora odpovídá jednomu řádku teček (nebo řádku s půlicí čarou) na dominové kostce. Optozávora se skládá z vysílače (laser) a přijímače (fototranzistor). Pokud je optozávora nepřerušená, je na výstupu přijímače logická 0. Po přerušení paprsku se výstup změní na logickou 1.

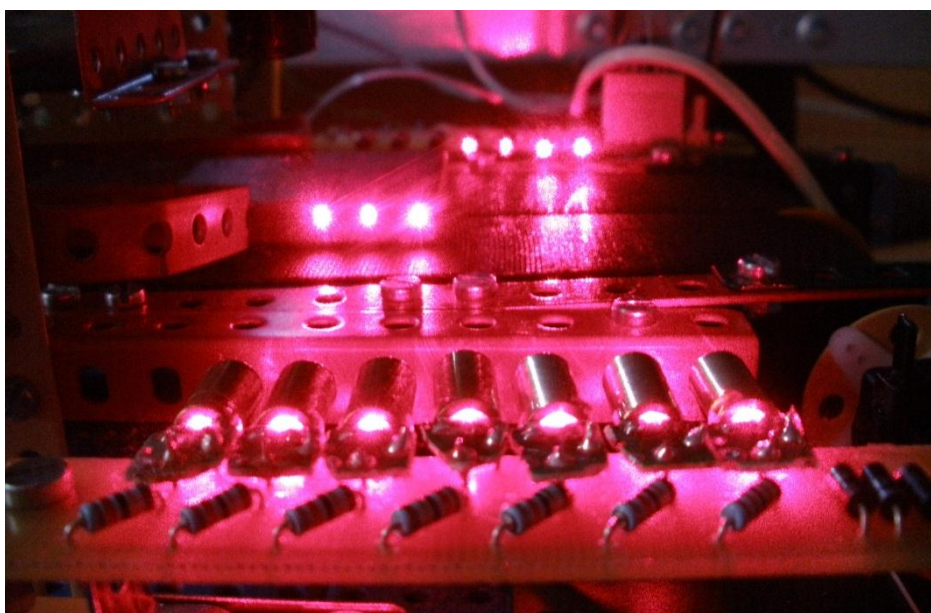


Obr. 31 - Schematické znázornění průjezdu kostky optozávory

### 4.1.1 Lasery

Hned jak jsme se rozhodli, že polohu kostky budeme snímat opticky, před námi stál problém, kde získat lasery, které by byly k dostání rychle a za rozumnou cenu. Nakonec jsme využili obyčejnou dětskou hračku - přívěšek na klíče s laserovým ukazovátkem. Po rozebrání prošel každý čip s optikou několika úpravami (odstranění tlačítka, zmenšení celkových rozměrů kvůli rozestupům optozávor atd.)

Desku, na které máme osazeny samotné lasery, jsme doplnili přepětovou ochranou. Ta se skládá z pojistky a šestice usměrňovacích diod zapojených do série v propustném směru. Tuto soustavu napájíme stabilizátorem (více v kapitole o napájení laserů).



Obr. 32 - Deska s lasery

---

### 4.1.2 Snímače

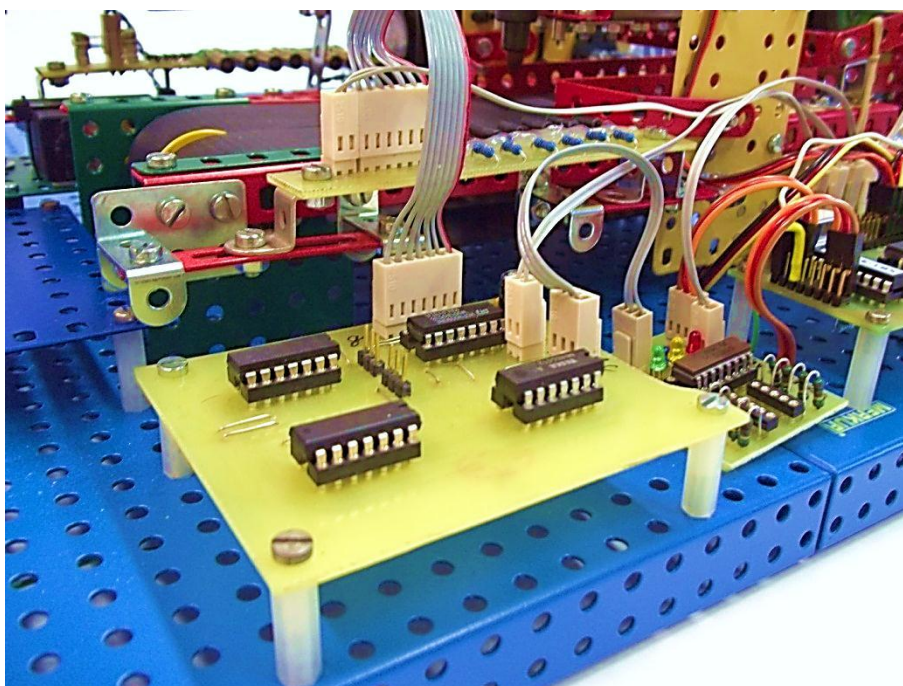
Laserové paprsky snímáme sedmi fototranzistory KP101. Na nich červená tečka označuje kolektor, neoznačený vývod je emitor. Tyto fototranzistory máme chráněné proti rušivému okolnímu světlu nasunutou bužírkou. Jako celek je každý přijímač připájen na desku vlastního návrhu a přilepen tavným lepidlem. Výstupy z této desky posíláme na vstupy dekodéru, který je umístěn na samostatné desce hned za přijímači.



Obr. 33 - Deska se snímači

## 4.2 Dekodér

Informace, které přijímáme z fototranzistorů, zpracováváme pomocí dekodéru. Jde o kombinační obvod složený z hradel CMOS 4009, 4011, 4012, 4023. Slouží nám ke snížení počtu potřebných vstupních pinů řídicího mikrokontroléru.

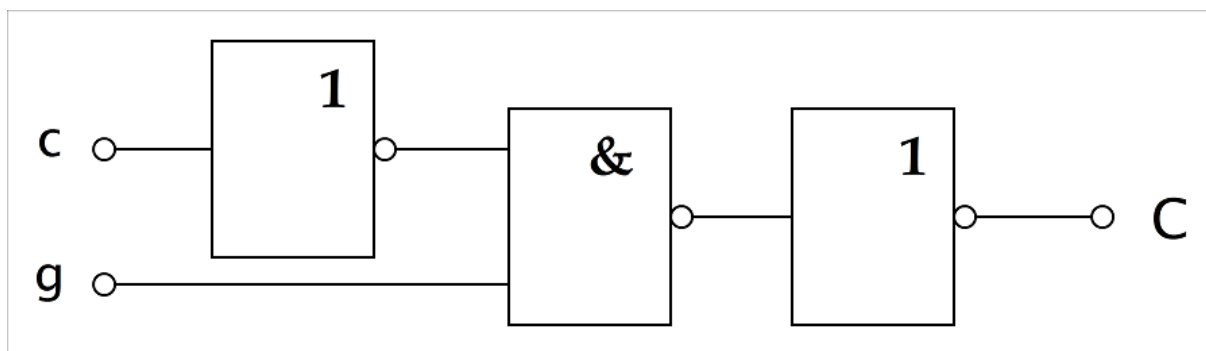


Obr. 34 - Dekodér

### 4.2.1 Účel

Dekodér byl zhotoven proto, že výstupů z přijímačů máme celkem sedm a maximální využitelný počet vstupů na mikrokontroléru PICAXE-18X je pět. Navíc již využíváme dva vstupy, které slouží pro komunikaci s druhou deskou a jako vstup signálu ze startovacího tlačítka. Tudíž nebylo možné připojit každý elementární výstup z přijímačů na samostatný vstup mikrokontroléru.



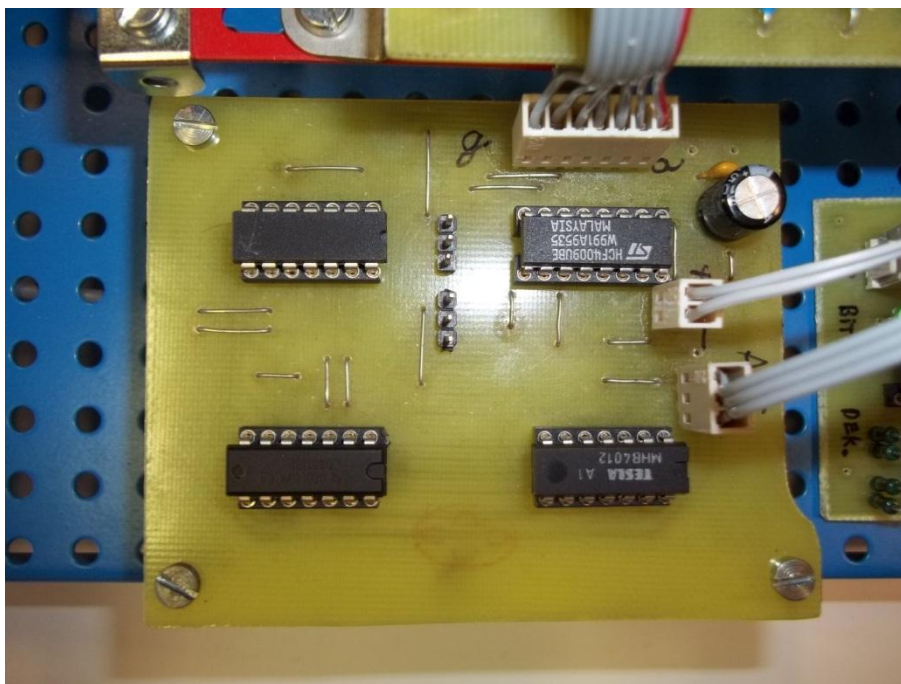


Obr. 37 - Realizace funkce C

Když jsme se k problému vrátili v rámci zpracování kompletní dokumentace, zjistili jsme, že některé funkce by byly bývaly šly minimalizovat efektivněji a výsledný návrh obvodu mohl být jednodušší. Původní dekodér však funguje spolehlivě, je to pro nás tedy spíše ponaučení do budoucna.

#### 4.2.4 Výsledný obvod

Výsledný obvod tedy řeší tři funkce, každou z nich jsme realizovali pomocí hradel NAND a negátorů. Hradla máme dvouvstupá, třívstupá a čtyřvstupá. Minimalizaci, návrh schématu a následnou výrobu plošného spoje provedl Patrik Šimůnek a obvod fungoval správně hned na první pokus.



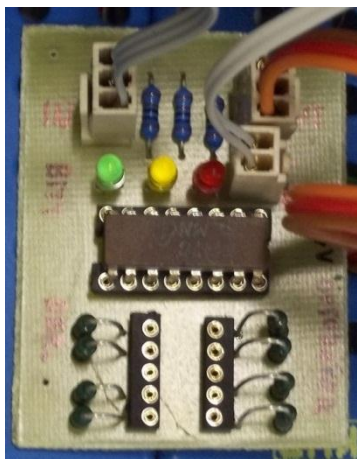
Obr. 38 - Deska dekodéru

### 4.3 Informační displej

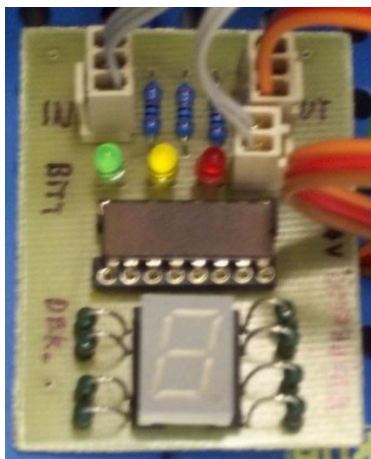
Tato přídatná deska poskytuje pouze informaci pro obsluhu a byla vyvinuta, aby se daly lépe seřizovat optozávory (měli jsme okamžitou zpětnou vazbu). Pomocí segmentového displeje a tří LED jsou zobrazovány aktuální výstupy dekodéru. Na funkci celé výrobní linky nemá jinak obvod žádný vliv, ovšem během ladění se ukázal jako neocenitelná pomůcka.

Na desce plošného spoje je umístěna trojice LED, které přímo indikují stavy na výstupech dekodéru. Dále je zde umístěn segmentový LED displej, který převádí signál z dekodéru na dekadické číslo. Převod je prováděn pomocí speciálního integrovaného obvodu D147, který je přímo pro tuto funkci určen.

Jak bylo řečeno, D147 dekoduje čtyřbitový signál na dekadické číslo. Protože však vedeme z dekodéru pouze tři bity, je třeba na čtvrtý vstup trvale přivést logickou 0. Displej jsme volili v zelené barvě, protože lépe splyne s okolím a neruší. Aby nedošlo k záměně čísel při pohledu z jiného úhlu, je trvale rozsvícena také desetinná tečka.



Obr. 39 - Deska bez displeje



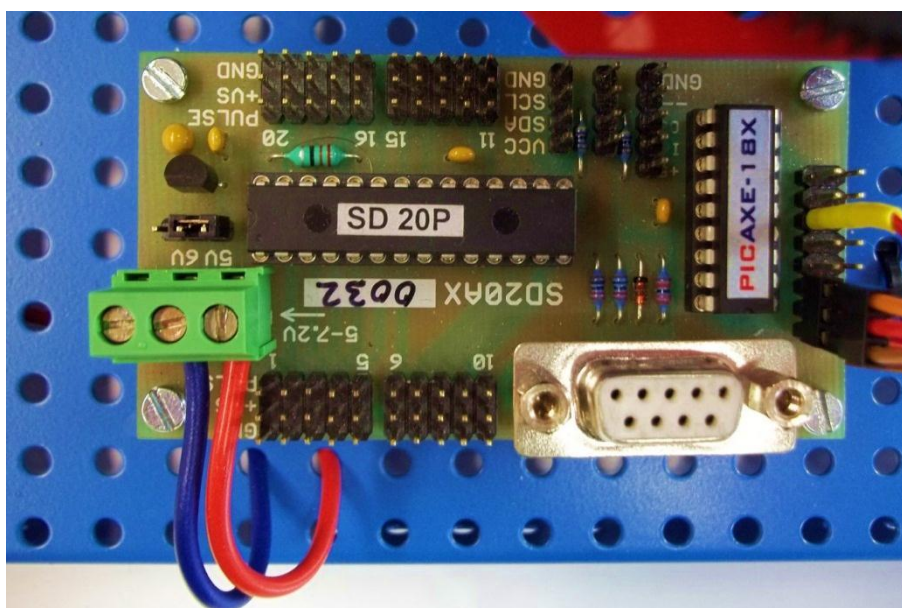
Obr. 40 - Osazený displej



Obr. 41 - Displej při práci

#### 4.4 Řídicí desky

Celá linka je řízena dvojicí desek SD20AX osazených mikrokontrolérem PICAXE-18X a řadiči servomotorů SD20(P). Tyto desky jsme zakoupili již hotové pro jeden z předchozích projektů a máme s nimi dobré zkušenosti. Díky povaze mikrokontrolérů PICAXE je možné je programovat přímo sériovým kabelem, není třeba žádný mezistupeň v podobě programátoru. Jde také o jedny z mála součástí, které jsme si nenavrhovali od základu sami.



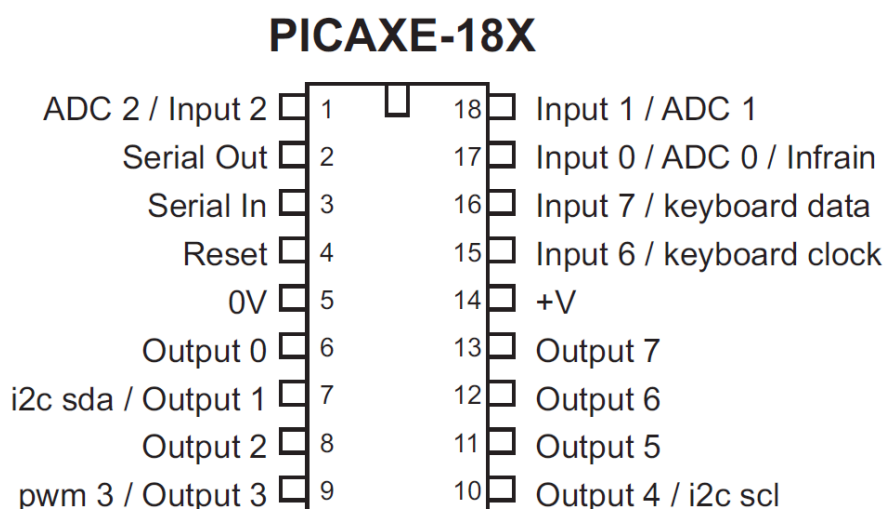
Obr. 42 - Jedna z řídicích desek SD20AX

První z desek (hlavní deska) řídí většinu linky (zásobník, pásový dopravník a pojezd popisovače), zatímco druhá má na starosti pohyby manipulátoru. Obě desky spolu komunikují pomocí čtyř vodičů. Tím získáváme potřebnou synchronizaci dvou nezávisle běžících programů.

#### 4.4.1 Mikrokontrolér PICAXE-18X

PICAXE je řada mikrokontrolérů určená domácím kutilům a zájemcům o robotiku. Jde v podstatě o předprogramované mikrokontroléry *PICmicro* společnosti Microchip. Poskytují řadu doplňkových vlastností, které usnadňují programátorskou práci s nimi.

Nejdůležitější z těchto vlastností je vestavěný interpret jazyka BASIC, který dovoluje vyhnout se náročnému programování přímo v jazyce symbolických adres nebo v jazyce C a soustředit se místo toho přímo na řešenou úlohu. Díky tomu postupovaly práce na programech obou desek poměrně rychle a nezdržovaly dokončení stavby linky.



Obr. 43 - Rozmístění pinů mikrokontroléru PICAXE-18X

Konkrétní model PICAXE-18X fyzicky odpovídá čipu PIC16F88 spol. Microchip a disponuje 5 vstupními a 8 výstupními piny, z nichž dva jsou zde již využity pro ovládání řadiče servomotorů přes sběrnici I<sup>2</sup>C. Každý z pinů lze zatížit proudem až 20 mA.

V našem případě jsme u mikrokontroléru na hlavní desce využili všechny vstupní (tříbitový dekodér, startovací tlačítko a jednobitová linka od desky manipulátoru) a tři výstupní piny (komunikace směrem k desce manipulátoru).

<b>Provozní napájení [V]</b>	4,5 - 5
<b>Pracovní frekvence [MHz]</b>	8
<b>Celkový počet pinů</b>	18
<b>Počet vstupních pinů</b>	5
<b>Počet výstupních pinů</b>	8

Tab. 6 - Parametry mikrokontroléru PICAXE 18X

U mikrokontroléru na druhé desce využíváme pouze tři vstupní (povely od hlavní desky) a jeden výstupní pin (indikace připravenosti manipulátoru pro hlavní desku). K tomu samozřejmě opět dva výstupy pro řadič servomotorů.

PICAXE-18X dovoluje pracovat s programy o velikosti až 2 KiB. Tato hodnota se kvůli vývoji ve vyšším programovacím jazyce obtížně převádí na skutečnou délku programu v řádcích, kterou nesmíme překročit. V praxi se délka obou našich programů pohybuje kolem hranice 1 KiB.

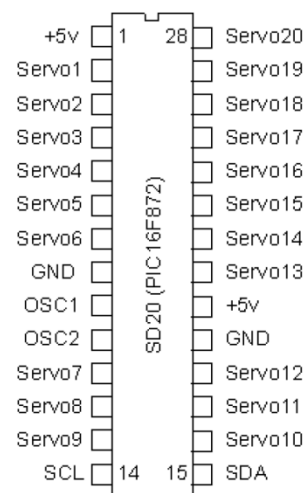
#### 4.4.2 Řadič servomotorů SD20

Tento integrovaný obvod slouží k ovládání servomotorů. Na každé řídicí desce je osazen jeden řadič SD20 v kombinaci s nadřazeným mikrokontrolérem PICAXE-18X.

Integrovaný obvod SD20 je vlastně předprogramovaný mikrokontrolér PIC16F872 pracující na frekvenci 8 MHz. Řadič může ovládat až 20 servomotorů, příkazy nadřazené jednotky určující polohu každého z nich přijímá přes sběrnici I<sup>2</sup>C.

U SD20 jsou k dispozici dva módy - standardní, kde 256 hodnot odpovídá délce pulsu v rozmezí 1 - 2 ms, a rozšířený mód, který podporuje větší rozsah pulsů a tím i větší otáčecí úhel servomotorů. Servomotory se dají také deaktivovat přerušením řídicího signálu.

Obr. 44 - Řadič SD20



Počet připojitelných servomotorů	20
Interval mezi pulzy [ms]	20
Přesnost časování [μs]	0,5

Tab. 7 - Parametry řadiče servomotorů

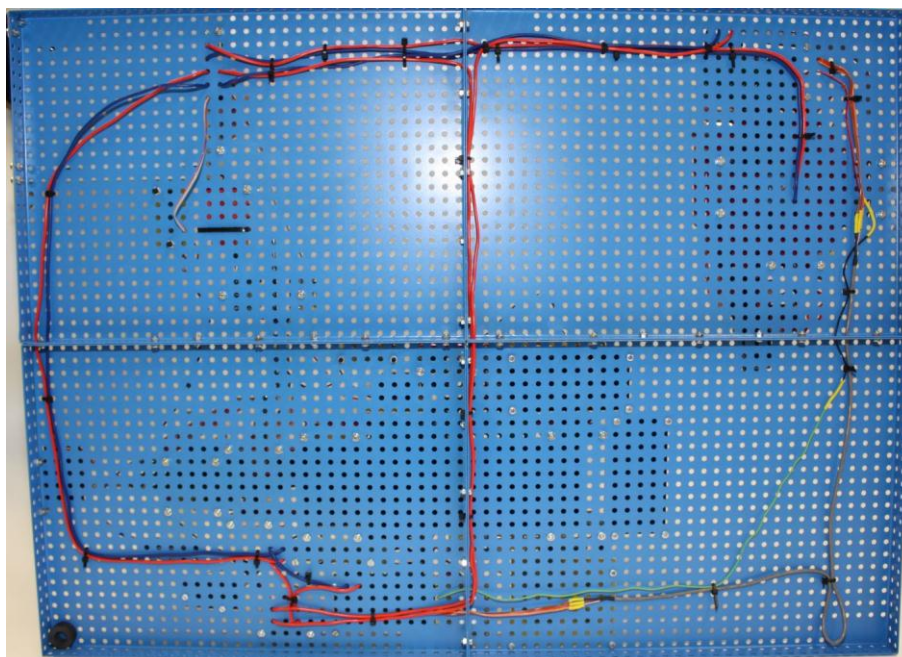
#### 4.4.3 Komunikace desek

Protože je třeba v určitých fázích průjezdu kostky linkou odesílat pokyny manipulátoru a zároveň nesmí manipulátor žádnou kostku „propásnout“, propojili jsme obě desky datovými vodiči a zřídili mezi nimi obousměrnou komunikaci vlastním jednoduchým protokolem.

Pin mikrokontroléru hlavní desky	Směr	Pin mikrokontroléru desky manipulátoru	Význam
OUT6	→	IN2	DATA_0
OUT7	→	IN7	DATA_1
OUT2	→	IN1	platnost dat
IN6	←	OUT7	připravenost

Tab. 8 - Komunikace řídicích desek





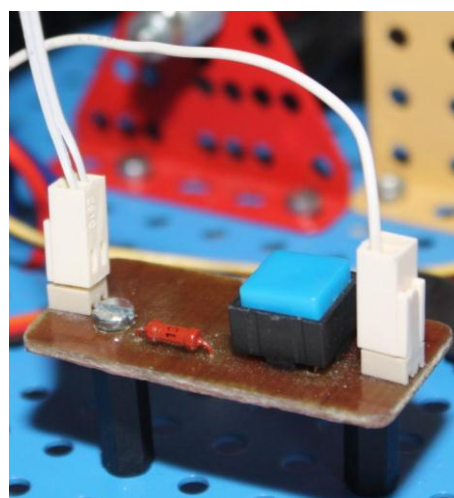
Obr. 45 - Zapojení na spodní straně základny

Hlavní deska pomocí dvou vodičů nastavuje, do které ze čtyř poloh se má manipulátor přesunout, a třetím vodičem stanovuje, zda je povel na zbývajících dvou vodičích aktuálně platný. Deska řídící manipulátor pomocí čtvrtého vodiče neustále signalizuje nazpět, jestli je připravena ke zpracování dalšího příkazu, nebo zda ještě zpracovává příkaz předchozí. Hlavní deska před odesláním nového příkazu vždy zkontroluje, jestli je manipulátor připraven příkaz přijmout, a v případě potřeby na něj čeká.

#### 4.4.4 Startovací tlačítko

K hlavní desce je připojeno jediné tlačítko, které v příslušné fázi po resetu (po uvedení všech servomotorů na celé lince do výchozích pozic) spouští hlavní program. Deska s tlačítkem je napájena pěti volty a posílá na vstup mikrokontroléru logickou 1 při nestisknutém tlačítku, po stisknutí logickou 0.

Při nejbližší revizi programu plánujeme přidat tomuto tlačítku také funkci uživatelského zastavení linky, a to ve fázi, kdy hotová kostka vyjíždí směrem k manipulátoru. Při zastavení v jiné fázi výrobního procesu by bylo třeba částečně zpracovanou kostku pracně vyprošťovat z konstrukce linky.



Obr. 46 - Startovací tlačítko

## 5 Programy

Každá z řídicích desek je osazena jedním mikrokontrolérem PICAXE-18X a má svůj vlastní program. Tyto programy jsou spolu synchronizovány pomocí obousměrné komunikace našeho vlastního návrhu. Vzhledem k této synchronizaci by měly být desky resetovány (připojeny k napájení pomocí spínačů) buď najednou, nebo deska řídící manipulátor jako první.

Díky tomu, že mikrokontroléry PICAXE obsahují přímo z výroby interpret jazyka BASIC, bylo programování vcelku jednoduché - k dispozici jsme měli podmínky, cykly, volání podprogramů i programové skoky. Pouze jsme si museli hlídat, aby naše programy nepřesáhly svou délkou kapacitu programové paměti mikrokontroléru (2 KiB).

Programování probíhalo ve vývojovém prostředí *PICAXE Programming Editor* dodávaném zdarma přímo výrobcem čipu. Toto prostředí umožňuje také kontrolu syntaxe a simulaci zapsaného programu. Dokonce je možné sestavovat program pouze pomocí vývojových diagramů, pro tento způsob zadání však byly naše programy příliš rozsáhlé.

## 5.1 Program hlavní desky

Úkolem programu hlavní desky je zajišťovat správný pohyb kostky ze zásobníku postupně skrz tělo linky, dále nakreslení teček popisovačem a poté doprava hotové kostky na konec pásu, kde si ji převezme manipulátor.

Činnost programu začíná inicializací všech servomotorů v hlavní části linky a odeslání pokynu pro manipulátor připravit se k práci. Pak se spustí čekací smyčka, která kontroluje, zda došlo ke stisku startovacího tlačítka obsluhou linky. Po zachycení startovacího signálu následuje v hlavním programu pouze jediná sekvence, ve které jsou zadány kombinace teček, které se mají na kostky kreslit. Samotné zpracování každé z kostek je řešeno podprogramem. Obsluha linky tak může jednoduchým zásahem do programu a jeho opětovným nahráním do mikrokontroléru změnit vzhled výsledných kostek. Po skončení této hlavní sekvence program vypne servomotory na lince a odešle manipulátoru pokyn k vypnutí.

8-bitový registr							
bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
nevyužito		počet teček na třetím řádku		počet teček na druhém řádku		počet teček na prvním řádku	

Tab. 9 - Zakódování kombinace teček pro jednu polovinu kostky

Podprogram pro tvorbu jednotlivé kostky nejprve manipuluje se servomotory tak, aby dostal kostku ze zásobníku na pásový dopravník. Tato část je kritická v tom, že neexistuje zpětná vazba, která by mikrokontrolér uvědomila, že některá z akcí nedopadla správně. Práce linky se může v tomto místě zablokovat. Softwarové zotavení z této situace je jedním z plánovaných vylepšení linky.

Jakmile je kostka na pásu, přejde program do interaktivního režimu a sleduje výstupy dekodéru, aby zachytil okamžik, kdy kostka najede do první optozávory. Tam pás zastaví a v závislosti na zadané kombinaci teček vydá mikrokontrolér pokyny pojezdu s popisovačem. Tak je vytvořen první pomyslný řádek potisku kostky, pás je znovu spuštěn a pokračuje se k další optozávore.

Celkem se kostka na své cestě skrze část s optozávory zastaví sedmkrát (3 + 3 řádky s tečkami a jeden řádek s půlicí čarou). Během zastávky pro zakreslení půlicí čáry je odeslán pokyn manipulátoru připravit se k odebrání kostky z pásu. Toto místo v programu je voleno proto, aby měl manipulátor dost času připravit se, než hlavní program kostku dokončí, ale aby zároveň mohl manipulátor skončit svou práci s kostkou, kterou odebral z pásu předtím. Komunikace s manipulátorem je blokovácí, takže nemůže nastat situace, že by manipulátor kostku „propásl“.

Po zakreslení všech sedmi řádků je kostka dopravena až na konec pásu a vzápětí je odeslán pokyn manipulátoru k uchopení kostky a jejímu přenosu z pásu pryč. Čekací časy jsou voleny tak, aby celá akce vypadala plynule a „nacvičeně“, ačkoli v tuto chvíli nepůsobí žádná zpětná vazba. Hlavní program pouze čeká na zprůchodnění všech optozávore (nastane tehdy, až manipulátor zvedne kostku z pásu pryč), než začne práci na další kostce ze seznamu.

Díky rozměrům celé linky a volbě čekacích dob je práce rychlá a přesná. Jediné nebezpečí představuje mechanická závada během počáteční fáze vysouvání kostky ze zásobníku nebo porucha některého

---

servomotoru na manipulátoru, na kterou nemá možnost sám reagovat, ani o ní uvědomit hlavní řídicí desku.

## 5.2 Program manipulátoru

Program řídicí manipulátor má na starosti jednak komunikaci s hlavní řídicí deskou, především ale udílí příkazy servomotorům samotného manipulátoru.

Základní naprogramované pohyby jsou:

- 1) rozložení manipulátoru (manipulátor se zvedne do pohotovostní polohy),
- 2) přesunutí manipulátoru na podložku na konci pásového dopravníku, kde čeká na kostku,
- 3) zvednutí kostky z pásu a její přesun na odkládací místo + upuštění kostky,
- 4) návrat manipulátoru do pohotovostní polohy,
- 5) složení manipulátoru po skončení práce zpět do základního stavu.

Naprogramovány jsou tedy pouze pohyby, ke kterým během standardní práce výrobní linky skutečně dochází. Důležité je spouštět jednotlivé pohyby ve správném pořadí. Jelikož manipulátor nemá žádnou zpětnou vazbu zjišťující, jak jsou právě jednotlivé servomotory natočeny, mohl by pokyn k pohybu zadaný ve špatnou chvíli způsobit rozsáhlé poškození ramene manipulátoru i zbytku linky. Také za tím účelem jsme nad lasery namontovali krycí desku.

Na začátku programu nejprve nastavíme parametry rozšířeného módu řadiče servomotorů SD20, kde určíme střídu a periodu řídicích pulsů pomocí vzorců z dokumentace. Díky tomuto nastavení máme možnost pohybovat jednotlivými servomotory v rozsahu 180° namísto původních 90°, které pro nás nebyly dostačující (manipulátor nedosáhl až k pásu).

Poté program srovná rameno manipulátoru do polohy nazývané základní, aby jednoznačně definoval výchozí stav pro další pohyby. Manipulátor musí být před spuštěním programu ručně uveden do pozice co nejbližší pozici základní, jinak hrozí po zapnutí jeho poškození rychlými pohyby, jak se snaží z neznámé polohy přesunout do té programem definované.

Když je počáteční pohyb dokončen, zahájí se nekonečná smyčka, ve které cyklicky očekáváme, přijímáme a zpracováváme povely od hlavní desky. Povely mají podobu tříbitové informace - 2 vodiče jsou datové (umožňují přijmout čtyři různé povely) a 1 potvrzovací (informuje o platnosti zbylých dvou).

DATA_1	DATA_0	Povel
0	0	složit a vypnout
0	1	rozložit
1	0	připravit k pásu
1	1	odebrat kostku

Tab. 10 - Kódování povelů pro manipulátor

Přes datové vodiče přijímáme číslo vyslané z hlavní desky a stanovující potřebnou polohu manipulátoru. Program je navržen tak, že se manipulátor dokáže pomocí připravených pohybů dostat do cílové polohy různými cestami v závislosti na tom, ve které poloze se nacházel na začátku pohybu. Tuto pozici

---

programátor zná, protože do ní manipulátor předchozím povelům uvedl. Úvodní poloha je definována prvním samostatným pohybem, jak bylo uvedeno výše.

Manipulátor pomocí jednoho vodiče neustále signalizuje hlavní desce, zda je či není připraven k přijetí nového příkazu. Během vykonávání jednotlivých pohybů je „nepřipraven“, ve fázi cyklického čekání na nový pokyn je „připraven“. Tím zajišťujeme synchronizaci obou programů, tudíž i obou částí linky.

Programově jsme řešili také zpomalení pohybů manipulátoru, protože při maximální rychlosti hrozilo riziko destrukce převodů v servomotorech. Zpomalení je řešeno pohybem po malých krocích, každý kompletní pohyb je pak tvořen cyklickým inkrementováním žádané polohy servomotorů. Třešničkou na dortu je pohyb dvou servomotorů současně, kdy se v cyklu přepíná mezi dvěma výstupy tak, aby po skončení cyklu měly oba servomotory správnou konečnou polohu.

## Závěr

Úkolem, který jsme si vytkli, bylo navrhnout a postavit výrobní linku, která dokáže samostatně bez dalšího zásahu lidské obsluhy zhotovit sadu kostek domina.

Ve finále můžeme prohlásit, že se nám podařilo tento úkol splnit. Výrobní linka po vložení polotovarů kostek do zásobníku, připojení napájecího zdroje do elektrorozvodné sítě, zapnutí řídicích desek a stisku startovacího tlačítka automaticky zhotoví kompletní sadu 28 kostek domina. Výroba celé sady trvá necelých 10 minut, na potisk jedné kostky tak potřebujeme v průměru 21 sekund. Konkrétní čas výroby jednotlivých kostek se ale značně liší podle počtu teček, které je třeba vytisknout.

V současnosti plánujeme další úpravy programu, které by měly učinit stávající linku odolnější proti nečekaným chybovým stavům a mechanickým selháním (například některého z pohonů). Již nyní máme spoustu dalších nápadů, jak naši výrobní linku dále rozšířit a doplnit o nové funkce. Prvním z kroků bude nepochybně další stupeň linky, který musí řešit uložení vyrobených kostek do úhledného balení. K tomu pravděpodobně využijeme druhý zakoupený manipulátor, který ale bude muset nejprve projít podobnými úpravami jako první.

S jistou nadsázkou snad můžeme říci, že po nějakém čase bychom mohli namísto pouhé výrobní linky skončit s celou firmou pro výrobu dominových kostek.

---

## Použitá literatura

- [1] Stavebnice.com, Seznam součástek Merkurů,  
<http://www.stavebnice.com/eshop/images/seznamsoucastek.htm>
- [2] MERKUR TOYS s.r.o., Součástková základna,  
<http://www.merkurtoys.cz/vyroby/soucastkova-zakladna>
- [3] MERKUR TOYS s.r.o., Robotická stavebnice Beta, Návod na sestavení
- [4] Revolution Education Ltd., PICAXE Manual Section 1,  
[www.picaxe.com/docs/picaxe\\_manual1.pdf](http://www.picaxe.com/docs/picaxe_manual1.pdf)
- [5] Revolution Education Ltd., PICAXE Manual Section 2,  
[www.picaxe.com/docs/picaxe\\_manual2.pdf](http://www.picaxe.com/docs/picaxe_manual2.pdf)
- [6] Devantech Ltd., SD20 - 20 Channel I2C to Servo Driver Chip,  
<http://www.robot-electronics.co.uk/htm/sd20tech.htm>
- [7] GM electronic, spol. s.r.o., datasheety elektronických součástek, <http://www.gme.cz/>
- [8] Domanský s.r.o., parametry servomotorů, <http://profimodel.cz/>
- [9] Wikipedia, heslo Karnaughova mapa, [http://cs.wikipedia.org/wiki/Karnaughova\\_mapa](http://cs.wikipedia.org/wiki/Karnaughova_mapa)

## Seznam obrázků

Obr. 1 - Výrobní linka pro kostky domina.....	5
Obr. 2 - Sada 28 dominových kostek, vzor a finální výrobek.....	6
Obr. 3 - Celkový pohled na výrobní linku .....	7
Obr. 4 - Zásobník na kostky .....	8
Obr. 5 - Vzhled kostky.....	8
Obr. 6 - Vyhazovací páka .....	9
Obr. 7 - Podávací kolečka při práci .....	10
Obr. 8 - Křížové klouby podávacích koleček .....	10
Obr. 9 - Tělo linky.....	11
Obr. 10 - Dosedací plocha pro čelisti manipulátoru na konci pásu .....	12
Obr. 11 - Pojezd popisovače .....	13
Obr. 12 - Popisovač zavřený Obr. 13 - Popisovač otevřený.....	13
Obr. 14 - Upravená verze manipulátoru.....	15
Obr. 15 - Servomotor HS-5626MG Obr. 16 - Servomotor HS-311 .....	16
Obr. 17 - Servomotory manipulátoru .....	17
Obr. 18 - Elektromotor Merkur .....	18
Obr. 19 - Blokové schéma napájecí části .....	18
Obr. 20 - Původní napájecí zdroj .....	19
Obr. 21 - Upravený napájecí zdroj.....	20
Obr. 22 - Schéma desky s posílením elektromotoru .....	21
Obr. 23 - Osazená deska s posílením elektromotoru .....	21
Obr. 24 - Zakrytá elektronika elektromotoru .....	22
Obr. 25 - Napájení laserů.....	22
Obr. 26 - Chlazení laserů.....	23
Obr. 27 - Napájení manipulátoru.....	24
Obr. 28 - Spínače pro reset hlavní desky a manipulátoru .....	24
Obr. 29 - Blokové schéma řídicí části.....	25
Obr. 30 - Řídicí elektronika .....	25
Obr. 31 - Schematické znázornění průjezdu kostky optozávorami .....	26
Obr. 32 - Deska s lasery .....	26
Obr. 33 - Deska se snímači.....	27
Obr. 34 - Dekodér .....	27
Obr. 35 - Časové průběhy signálů Obr. 36 - Minimalizace funkce B .....	28
Obr. 37 - Realizace funkce C.....	29
Obr. 38 - Deska dekodéru.....	29
Obr. 39 - Deska bez displeje Obr. 40 - Osazený displej Obr. 41 - Displej při práci .....	30
Obr. 42 - Jedna z řídicích desek SD20AX.....	30
Obr. 43 - Rozmístění pinů mikrokontroléru PICAXE-18X.....	31
Obr. 44 - Řadič SD20 .....	32
Obr. 45 - Zapojení na spodní straně základny .....	33
Obr. 46 - Startovací tlačítko.....	33

## Seznam tabulek

Tab. 1 - Parametry servomotorů těla linky.....	16
Tab. 2 - Parametry servomotorů manipulátoru .....	17
Tab. 3 - Parametry elektromotoru .....	17
Tab. 4 - Parametry původního zdroje.....	19
Tab. 5 - Parametry upraveného zdroje.....	20
Tab. 6 - Parametry mikrokontroléru PICAXE 18X .....	31
Tab. 7 - Parametry řadiče servomotorů .....	32
Tab. 8 - Komunikace řídicích desek .....	32
Tab. 9 - Zakódování kombinace teček pro jednu polovinu kostky .....	34
Tab. 10 - Kódování povelů pro manipulátor.....	35