



Středoškolská technika 2013

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

VÝROBNÍ LINKA PRO KOSTKY DOMINA

DOMINO TILES PRODUCTION LINE

Patrik Šimůnek, Milan Ambrož, Tomáš Jón

Střední průmyslová škola, Trutnov, Školní 101

Školní 101, Trutnov



Anotace

Předmětem této práce je stavba automatizované výrobní linky, která na připravené polotovary kreslí kombinace teček a kompletuje tak dominové kostky, které následně skládá do krabičky.

Linka je sestavena převážně z dílů stavebnice Merkur, poháněna je modelářskými servomotory a napájena upraveným PC-AT zdrojem. Obsahuje řadu obvodů vlastního návrhu a je řízena zakoupenými deskami SD20AX s mikrokontroléry PICAXE a řadiči servomotorů SD20. Programy řídicích desek jsou napsány v jazyce BASIC. 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; mechatronika; PICAXE; Merkur; domino

Annotation

The scope of this project is to build an automated production line which draws combinations of dots onto prepared domino tiles and stack these tiles into a box afterwards.

The production line has been assembled mostly from Merkur construction parts, it is actuated by RC servos and powered by an adapted PC-AT power supply. It contains many self-designed circuits and is controlled by purchased SD20AX boards with PICAXE microcontrollers and SD20 servo controllers. Programs for 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 a part of this production line and has been extensively modified to satisfy requirements of the project.

keywords: production line; mechatronics; PICAXE; Merkur; dominoes

Obsah

Úvod	5
Mechatronika	6
Domino	7
1 Konstrukce.....	8
1.1 Zásobník na kostky	10
1.1.1 Parametry kostek	10
1.1.2 Konstrukce zásobníku.....	10
1.1.3 Vyhazovací páka	11
1.1.4 Podávací kolečka	11
1.2 Tělo linky	13
1.2.1 Pásový dopravník.....	13
1.2.2 Pojezd popisovače	14
1.2.3 Popisovač.....	15
1.3 Robotický manipulátor	15
1.3.1 Původní verze	15
1.3.2 Upravená verze.....	16
1.3.3 Konečná verze	17
1.4 Portálový skladač.....	17
1.4.1 Násypník na kostky	18
1.4.2 Dělený pásový dopravník	19
1.4.3 Pojezd skladače	20
1.4.4 Kompresor	20
1.4.5 Výjezd krabičky	21
1.4.6 Parametry krabičky.....	22
2 Pohony.....	23
2.1 Analogové servomotory	23
2.2 Digitální servomotory.....	24
2.3 Parametry použitých servomotorů	24
2.3.1 Servomotory těla linky	24
2.3.2 Servomotory manipulátoru	25
2.3.3 Servomotory portálového skladače	26
3 Napájení	26
3.1 Napájecí zdroj.....	26
3.1.1 Původní parametry zdroje.....	27

3.1.2	Provedené úpravy.....	27
3.2	Napájení laserů.....	29
3.2.1	Chlazení laserů.....	29
3.3	Napájení manipulátoru.....	30
3.4	Spínač.....	31
4	Řízení	32
4.1	Řídicí desky	33
4.1.1	Mikrokontrolér PICAXE-18X.....	33
4.1.2	Řadič servomotorů SD20	35
4.1.3	Role jednotlivých desek	35
4.1.4	Komunikace desek.....	36
4.2	Optozávory	37
4.2.1	Lasery.....	37
4.2.2	Snímače	38
4.3	Dekodér	38
4.3.1	Účel.....	39
4.3.2	Časové průběhy signálů.....	39
4.3.3	Minimalizace funkcí.....	40
4.3.4	Výsledný obvod	40
4.3.5	Informační displej.....	41
4.4	Elektronika skladače	41
4.4.1	Elektrorozvodná deska	42
4.4.2	Optický snímač otáček.....	42
4.4.3	Koncové spínače	43
4.5	Tlačítko	43
4.5.1	Stavy linky.....	44
5	Programy	45
5.1	Program hlavní desky	45
5.2	Program desky manipulátoru	47
5.3	Program desky portálového skladače	49
Závěr.....		50
Použitá literatura.....		51
Seznam obrázků.....		52
Seznam tabulek		54

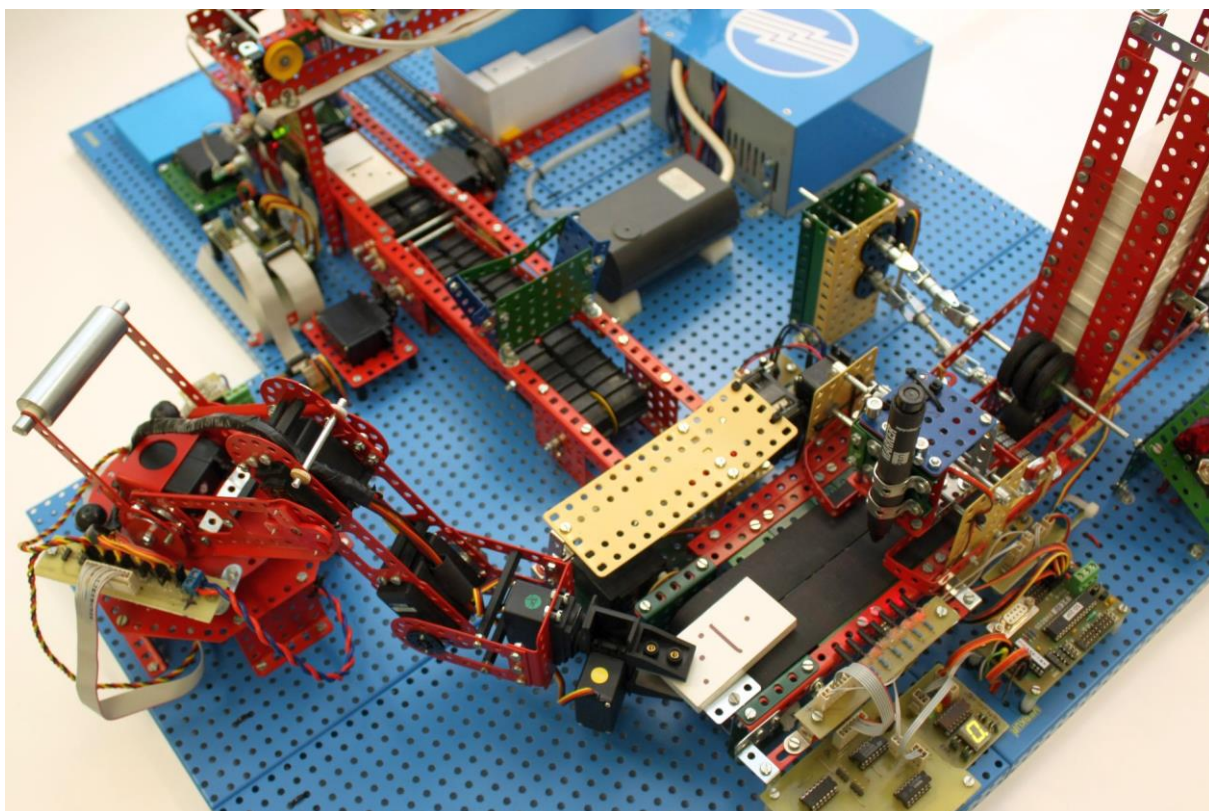
Úvod

Záměrem naší práce bylo postavit plně automatizovanou výrobní linku, která bude popisovat předem připravené polotovary kostek a tím kompletovat sadu domina. Zároveň jsme chtěli zjistit, jestli se dá taková linka postavit za pomoci běžně dostupných konstrukčních materiálů, pohonů, senzorů a řídicích jednotek. Během návrhu i samotného zpracování jsme chtěli využít co nejvíc strojírenských, elektrotechnických a programátorských postupů z průmyslové praxe.

Výše uvedené téma jsme si zvolili také proto, že v něm můžeme využít svoje znalosti z elektrotechniky, které se dlouhodobě věnujeme na amatérské úrovni a je také oborem našeho studia. Při práci jsme mohli uplatnit mnoho prvků používaných ve výuce, od návrhu elektronických obvodů přes počítačem asistovaný návrh plošných spojů až k jejich praktické výrobě. Hodily se nám i znalosti získané v automatizační technice, jako například základy užití snímačů, nebo v číslicové technice, kterou jsme aplikovali zejména při návrhu dekodéru. Všechny tyto naše znalosti a dovednosti jsme chtěli uplatnit v oficiálním projektu většího rozsahu.

Naše výrobní linka je téměř celá sestavená z dílů stavebnice Merkur, jsou v ní využity optické prvky pro snímání polohy, pásové dopravníky, robotický manipulátor, portálový skladač, kompresor, dekodér a další prvky. Řízená je třemi mikrokontroléry PICAXE naprogramovanými v jazyce BASIC. Pohon všech součástí zajišťují modelářské servomotory. Upravený PC-AT zdroj dodává napětí 5 a 12 voltů, logika linky je pětivoltová, dvanáctivoltovou větev využíváme pro další komponenty.

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



Obr. 1 - Výrobní linka pro kostky domina

Mechatronika

Mechatronika je mezioborová inženýrská disciplína, která v sobě spojuje prvky mechaniky, elektroniky, kybernetiky a počítačových věd, ale nedá se redukovat na žádnou z nich. Pojem pochází z Japonska, kde ho jako první v roce 1969 použil Tetsuro Mori. Jedním z nejběžnějších příkladů mechatronických systémů jsou průmyslové roboty, které v sobě spojují všechny výše popsané disciplíny. Robotika je však pouze jednou ze součástí mechatroniky, která jinak zasahuje do mnoha dalších oblastí průmyslu a zejména v současné době je stále všudypřítomnější.

Když jsme přemýšleli, do jaké kategorie naši práci přihlásit, zjistili jsme, že žádná přesně nevyhovuje tomu, na čem pracujeme. Nakonec jsme se rozhodli pro kategorii spojenou se strojírenstvím, protože zahrnuje také robotické výrobní linky a počítačem řízenou výrobu. I když je naše linka zcela samočinná a nelze ji ovládat přes PC, tři řídicí mikrokontroléry se dají klasifikovat jako počítače.

Kdybychom si mohli navrhnout vlastní kategorii, ve které chceme soutěžit, byla by to nejspíš právě mechatronika. Jako obor, který v sobě spojuje mechaniku a elektroniku s výpočetní technikou, přesně vystihuje povahu naší práce. Během stavby linky jsme použili mnoho principů z oblasti strojírenství (pákový převod, ozubené převody, křížový kloub, pásový dopravník, transformace otáčivého pohybu na lineární), elektrotechniky (optozávory, dekodér, pulzní napájecí zdroj), robotiky (manipulátor) i programování (programy řídicích desek, komunikace mezi nimi). Z tohoto hlediska jde o práci komplexní a špatně zařaditelnou do jakékoli jednotlivé kategorie. Podle nás pouze mechatronika vystihuje, o co jsme se při práci na naší výrobní lince snažili.



Obr. 2 - Příklad mechatronického zařízení, průmyslový robot (Wikipedia)

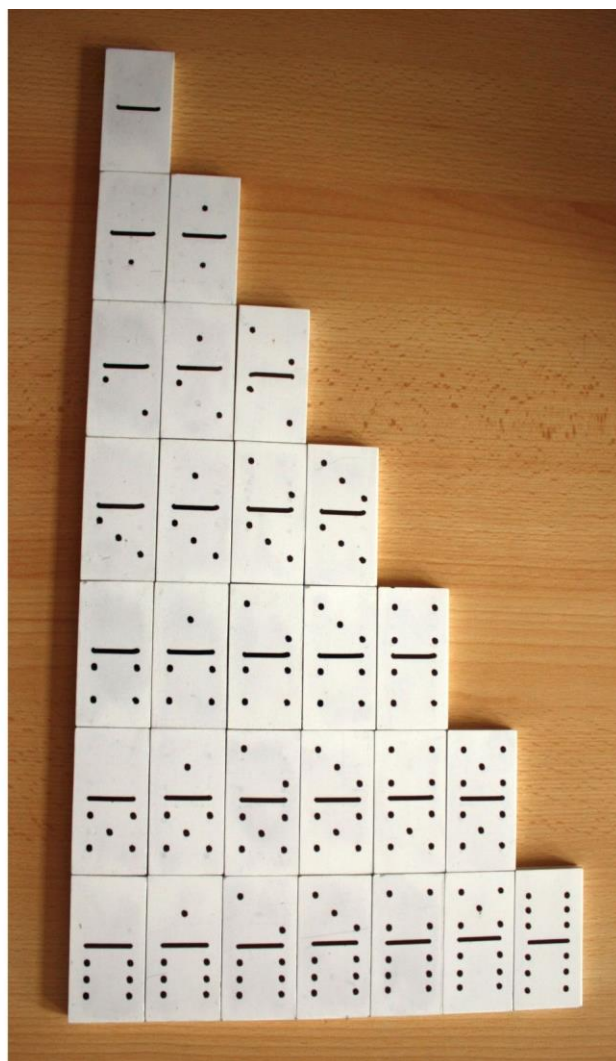
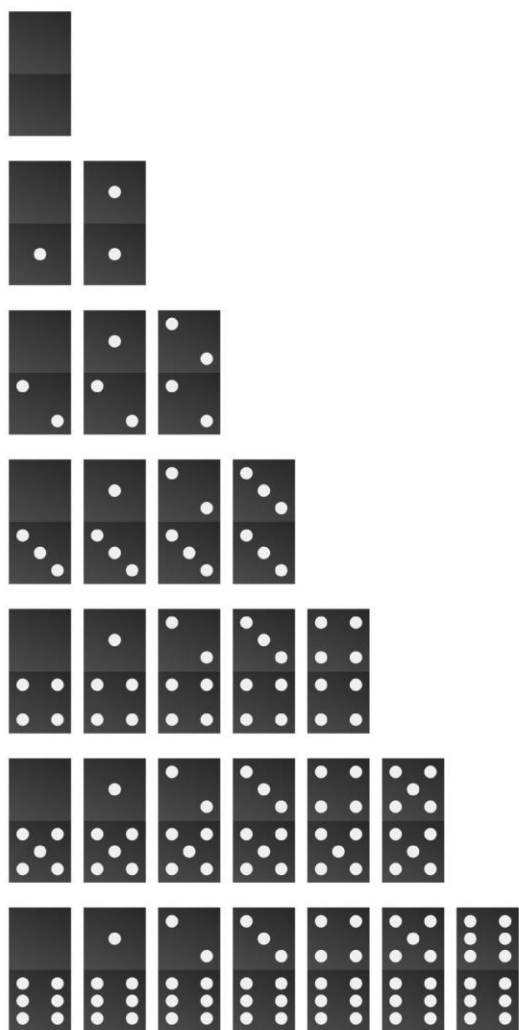
Domino

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.

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 výroby a testování jsme zvolili první variantu a pracujeme s počtem teček 0 - 6 na každé polovině kostky.

Po úpravě programu by nebyl problém kreslit i 9 teček na každou polovinu, museli bychom však kvůli tomu přepracovat zásobník na kostky a krabičku pro uložení potíštěných kostek, kterých bychom v takovém případě měli téměř dvojnásobnou spotřebu (55 kusů v sadě). Vzniklo by tak vlastně úplně jiné zařízení.

Považujeme proto naši výrobní linku za jednoúčelovou. Jejím úkolem je vyrábět pouze sady dominových kostek typu 6 + 6.



Obr. 3 - Sada dominových kostek, vzor (Wikipedia) a finální výrobek

1 Konstrukce

Celá linka se skládá ze zásobníku na kostky, těla linky tvořeného pásovým dopravníkem a pojezdem s popisovacím fixem, dále z manipulátoru, který odebírá hotové kostky z hlavního pásu a přenáší je na druhý pás, na kterém kostka putuje pod nový modul linky - portálový skladač, který přenáší potištěné kostky do krabičky.

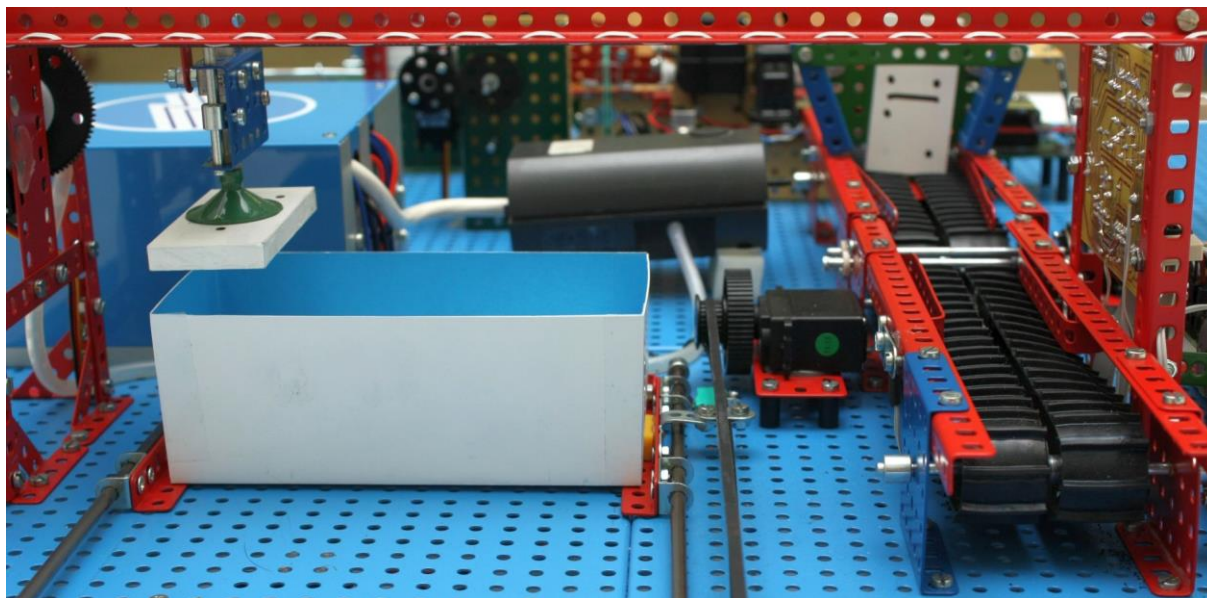
Bloky linky jsou navrženy tak, aby celá výroba probíhala plynule a co nejvíce se podobala skutečné automatizované výrobě, i když jsme pro větší zajímavost a výzvu našim schopnostem použili prvky a postupy, které by stavbu linky v reálném nasazení prodražily (vysoký počet optozávor, složitý dekodér, nelineární směr výroby).

Cesta polotovaru kostky skrze linku probíhá následujícím způsobem. Nejprve se kostka nachází v zásobníku. Odtamtud ji vyhazovací páka vtlačí do podávacích koleček a ta kostku přesunou na dopravníkový pás. Poté, co se kostka dostane do prostoru s optozávory, začíná samotný proces potisku kostky. Optozávory jsou rozmístěny v takovém rozestupu, že kostka zastavuje pod popisovačem v místech, kde jsou na ní jednotlivé řádky s tečkami. Pojezd popisovače se následně pohybuje tak, aby na řádek nakreslil správnou kombinaci teček.

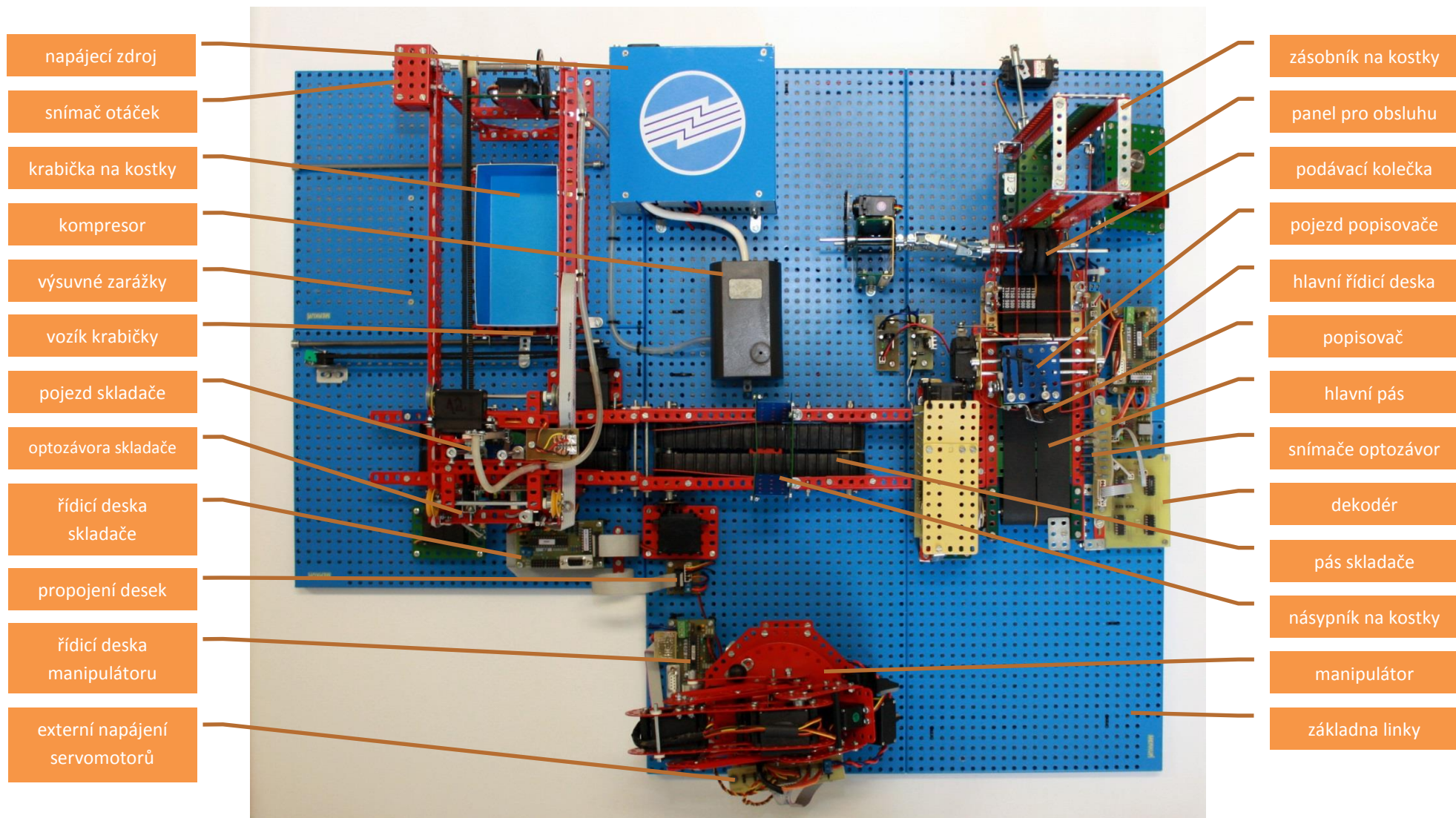
V průběhu popisování kostky je vyslán pokyn manipulátoru, aby se připravil odebrat kostku z pásu. Když je proces tisknutí teček dokončen, pokračuje hotová kostka do připravených čelistí a manipulátor obdrží pokyn kostku odebrat. Přenesení ji nad násypník na začátku druhého pásu a tam ji upustí, aby se mohl vrátit pro další kostku.

Druhý pás je řízen novým modulem linky, na kterém jsme pracovali v průběhu posledního roku a kterému říkáme portálový skladač kostek. Jeho úlohou je stabilizovat polohu kostky a posléze ji přenést do krabičky, která tvoří finální produkt výrobní linky. Jde o hlavní vylepšení proti ložské verzi, kde výroba končila tím, že manipulátor upustil kostku na volnou plochu, případně do provizorní krabičky. Nyní už můžeme říci, že skutečně vyrábíme celou sadu domina, protože začínáme s čistými kostkami v zásobníku a končíme s potisknutými kostkami úhledně srovanými v krabičce.

Druhý pás popsaný výše nejprve převez kostku pod rameno pojezdu skladače. Tam je poloha kostky opět detekována optozávorem. Následně sjede dolů rameno s přísavkou a upravený kompresor vytvoří podtlak, který přisaje kostku. Rameno se zvedne a pojezd se posune v ose X o příslušnou vzdálenost nad krabičkou. Pak sjede rameno dolů, kompresor se vypne a kostka zůstane v krabičce.



Obr. 4 - Nový modul linky při práci



Obr. 5 - Celkový pohled na výrobní linku

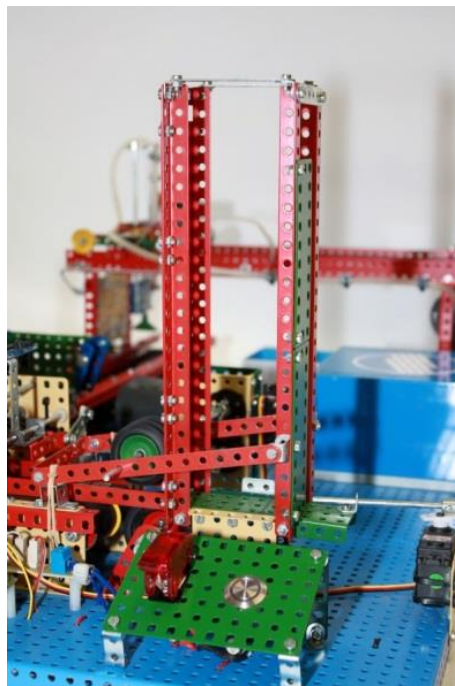
1.1 Zásobník na kostky

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

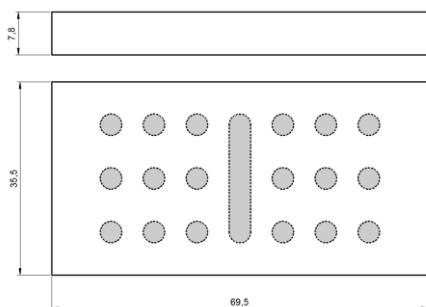
Co se týče rozměrů kostek, snažili jsme se o nejlepší kompromis mezi běžným poměrem stran kostek skutečného domina a možnostmi našeho hardwaru, tedy přizpůsobeným dílům stavebnice Merkur. Doporučená velikost kostek pro naši linku je ve výsledku 35,5 mm × 69,5 mm × 7,8 mm.

Dokážeme zpracovávat i kostky s malými variacemi (typicky ±0,5 mm) těchto rozměrů, zvyšuje se tím však riziko špatného tisku (neoptimální přítlak popisovače na kostku) nebo mechanického selhání některé části linky (např. uváznutí kostky ve vodicích linkách). Některé z těchto problémů lze řešit úpravou



Obr. 6 - Zásobník na kostky

řídícího softwaru, ne však všechny.



Obr. 7 - Vzhled kostky

Jako materiál pro testovací sérii kostek jsme v původní verzi linky zvolili dřevěnou překližku. Museli jsme ale kostky polepit průhlednou samolepící páskou, aby se lihová barva nevpíjela do materiálu. Tím jsme si zároveň usnadnili testování linky, protože z pásky lze stopu po lihovém fixu snadno setřít.

Současná verze linky používá kostky z bílého lehčeného polyuretanu, nařezané z desek určených původně pro reklamní tabule. Potisk na nich je pěkně kontrastní a finální výrobek vypadá profesionálněji. Protože však máme těchto kostek pouze omezenou zásobu, rozhodli jsme se je pro demonstrační účely

rovněž polepit páskou a používat opakovaně. Při tisku přímo na kostky jde stopa fixu odstranit pouze obtížně a většinou se tím kostka znehodnotí.

První zkušební kostku jsme měli také kovovou, z oceli. Ta se nám neosvědčila, protože byla příliš těžká pro manipulátor. Navíc by při plném naložení takovými kostkami dosáhla celková hmotnost materiálu v zásobníku šesti kilogramů. Takovou zátěž by ani pomocný servomotor pro vysouvání kostek do podávacích koleček neutáhl. Krátce jsme zvažovali rovněž hliníkové kostky, ale materiál pro ně by se obtížně sháněl a museli bychom ve finále řešit bezpečnost výrobku s kovovými hranami.

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 matičky nebo šroubky zadržávat. Zásobník má i s přichytnými nožičkami výšku 35 cm. Dno zásobníku je vzdáleno 5 cm od základní desky. Kostky, které jsou vytlačovány ze zásobníku, tak směřujeme přímo mezi podávací kolečka.

Na konstrukci věže zásobníku je z přední i zadní strany připevněna plochá součástka, aby kostky nemohly vypadnout. Pouze dole na přední straně jsme nechali dostatečnou mezeru pro vysunutí kostky.

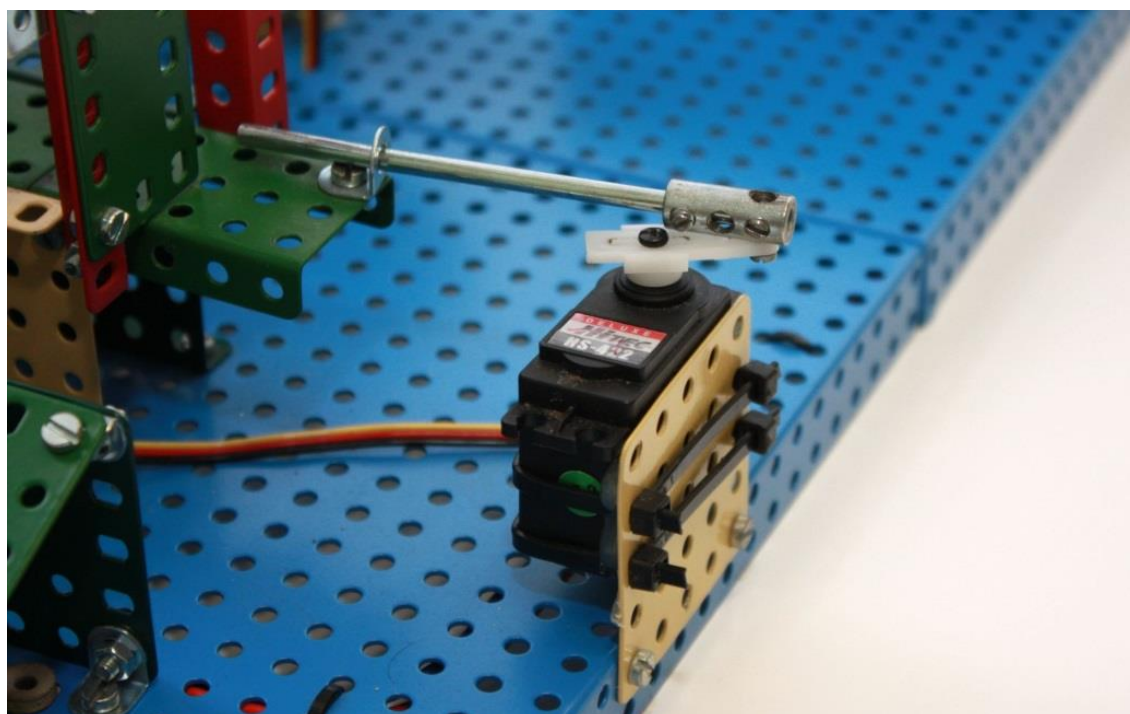
Naproti mezeře je zezadu umístěn servomotor s vyhadzovací pákou, která zajišťuje vysunutí kostky ze zásobníku.

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, rozhodli jsme se proto, že tento druh pohonu použijeme i pro vyhadzovací mechanismus. Zbývalo navrhnout mechanickou podobu páky.

Její první verze nebyla vůbec úspěšná. Naprázdno sice mechanismus pracoval dle předpokladů, ale už se zátěží jedné kostky měl problémy. Při vědomí, že bude v zásobníku 28 kostek 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.

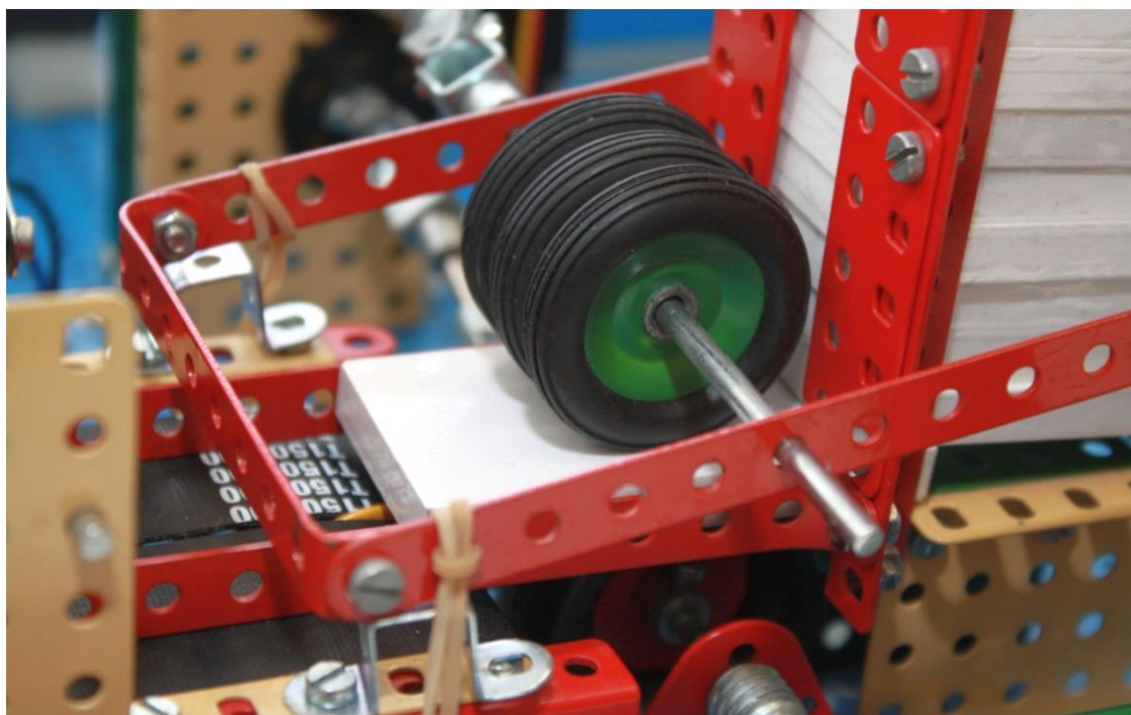


Obr. 8 - Vyhazovací páka

Na podobném principu funguje konečná verze vyhadzovací páky. Ta jen posune kostku o cca 2 - 3 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. Soustavu podávacích koleček tvoří jedno široké rotující kolo s pneumatikou dole a tři úzká kola s pneumatikami nahoře. Aby bylo možné vyvíjet dostatečný přítlak na kostku a zároveň umožněno používání různých výšek kostky, je umístěna horní osa s kolečky kyvně. Pro přitlačování osy byly použity kuchyňské gumičky, protože se po původních pokusech s pružinami projevily jako nevhodnější a nejjednodušší řešení.



Obr. 9 - Podávací kolečka při práci

Pohon podávacích koleček byl původně zajištěn elektromotorem Merkur upraveným tak, aby se dal řídit jako servomotor. V současné verzi linky jsme ho pro jeho hlučnost nahradili upraveným servomotorem. Protože jsou osy rotujících koleček mimo osy převodovky a vrchní osa je navíc pohyblivá, bylo jejich napojení vyřešeno pomocí čtyř křížových kloubů. Vrchní osa je 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.

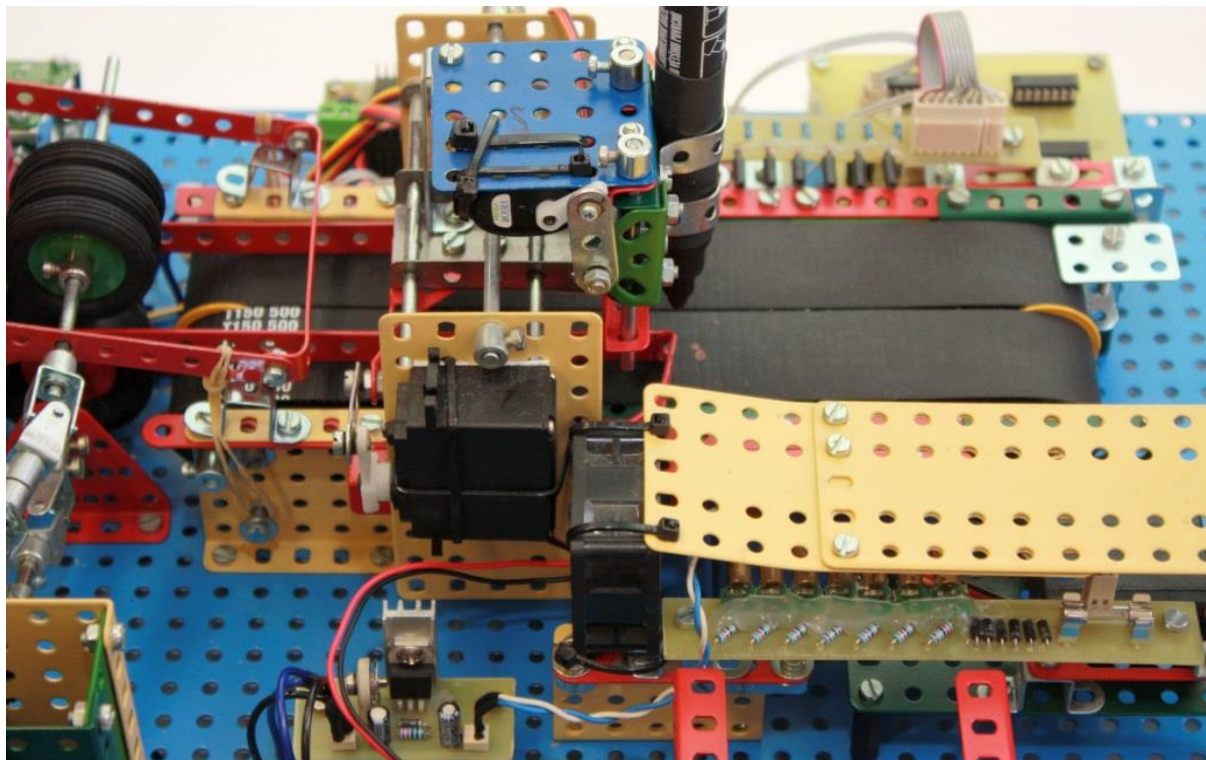


Obr. 10 - Křížové klouby podávacích koleček

Aby se rotující kolečka nesevřela příliš, zabráňují jim v tom dva úhlové dílce umístěné na těle pásového dopravníku.

1.2 Tělo linky

Ze zásobníku postupuje kostka na pásový dopravník, který ji posouvá na předem určené pozice, kde na ni popisovač nakreslí příslušnou kombinaci teček a půlicí čáru. Zastavení kostky na správných místech pásu je řešeno pomocí sedmi optozávor. Po dokončení potřebných operací pokračuje kostka dál směrem k manipulátoru.



Obr. 11 - Tělo linky

1.2.1 Pásový dopravník

Pro pohyb kostky skrz tělo linky byl použit dopravní pás. Protože firma MERKUR TOYS v době stavby linky ještě neměla ve své nabídce dopravní pásy, použili jsme 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 však být použity dva pásy vedle sebe. Pro vedení pásu jsme použili kolečka. Protože měly dva rovnoběžné pásy během pohybu tendenci navlékat se na sebe, museli jsme mezi ně přidat vymezovací kola. Ta jsou umístěna na společné hřídeli s vodicími kolečky.

Pohon pásu zajišťuje servomotor upravený pro trvalé otáčení. Toho bylo docíleno tak, že jsme vymontovali potenciometr pro snímání polohy páky a nahradili ho dvěma rezistory 2k2 zapojenými jako dělič. Tím pádem si elektronika servomotoru „myslí“, že páka je stále uprostřed. Pokud dostane signál, že ji má vychýlit ze středové polohy, začne otáčet elektromotorem, dokud nenalezne správnou polohu. Čím je požadovaná poloha vzdálenější od nastavené (střed), tím se servomotor otáčí rychleji. Protože potenciometr byl nahrazen rezistory, bude se elektromotor otáčet stále, respektive dokud nedostane opět 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, vyčistili jsme převodovku a přemazali ji speciální teflonovou vazelinou.

Pro převod točivé síly z hřídele servomotoru na hřídel s vodicími kolečky jsme použili křížovou páku dodávanou se servomotorem a ploché kolo se staváčkem. Protože hřídel prokluzovala, zbrousili jsme ji tak, aby šroubky koleček zapadly do vybroušené plochy a tak zamezily prokluzu.

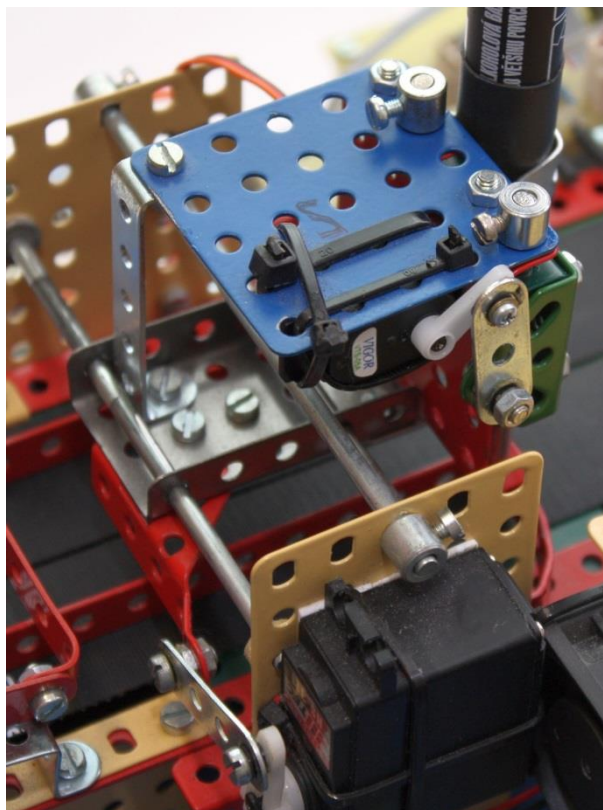
Pro správné vedení kostky na pásu byly natvarovány vodicí pásy. Na jejich zhotovení jsme použili dílce, které jsme naohýbali tak, aby přesně vymezovaly prostor pro pohyb kostky pod popisovačem. Vodicí pásy poskytují procházející kostce jen minimální vůli, při použití kostek s jinou šířkou je proto potřeba tuto část linky upravit kostkám na míru.

1.2.2 Pojezd popisovače

K tisku na kostku slouží popisovač, který je upnut na dvousosém 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 při pohybu.

To má za následek například to, že když postupně kreslíme na kostku jednotlivé 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.



Obr. 12 - Pojezd popisovače

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 stahovacím 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 2 - 3 mm a délce 3 mm. Na tento čep je nasazeno táhlo. Na plotničku pojezdu je namontován úhlový dílec ve tvaru A. Na tomto dílci je pomocí šroubu a dvou matek vytvořen čep, do kterého je zamontováno táhlo od servomotoru.

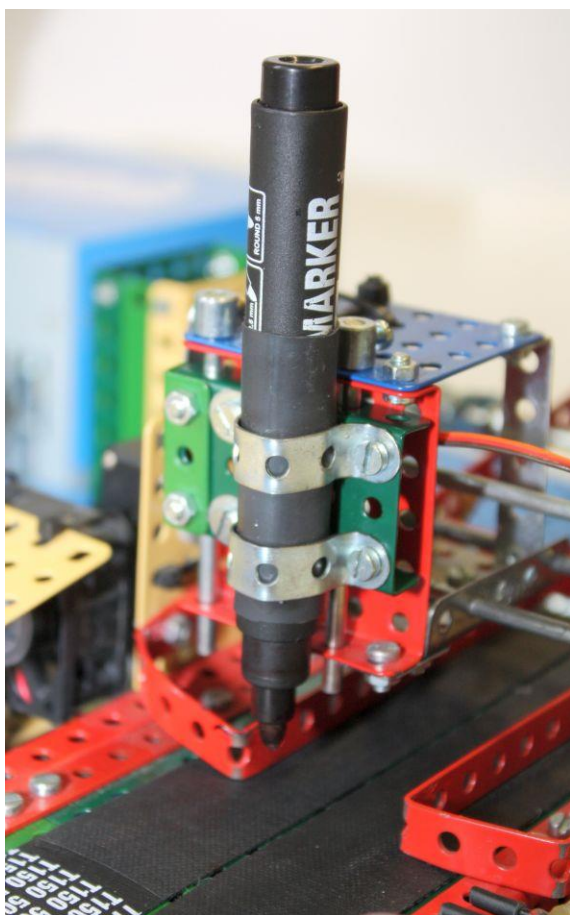
Na dílec pojezdu je pomocí destičky uchycena plotnička, do této plotničky jsou zasunuty dvě hřídele a svrchu jsou zajištěny staváčky. Po těchto hřídelích se pohybuje plotnička. Na ni je umístěn samotný popisovač. Na popisovač bylo třeba navléct smršťovací bužírku, jinak měl tendenci v držáku prokluzovat.

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. 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.

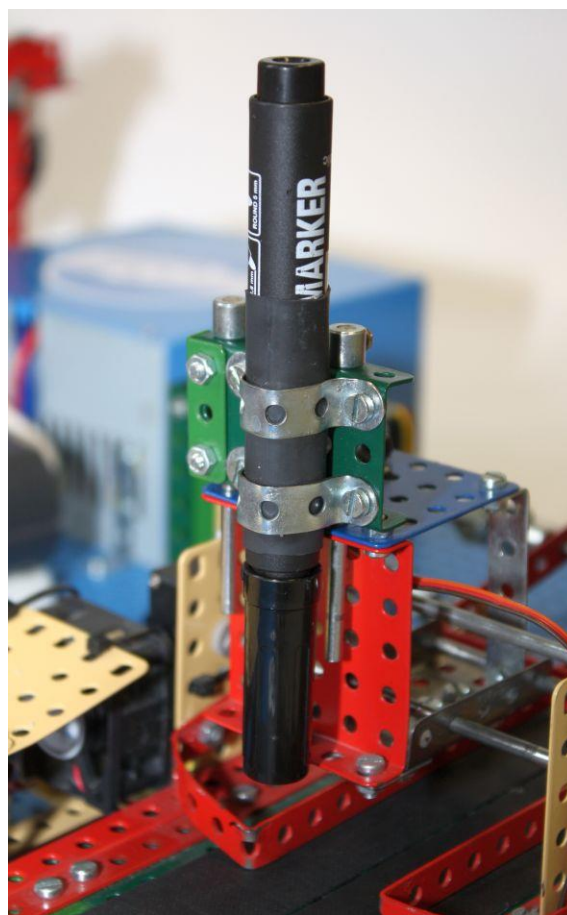
1.2.3 Popisovač

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 ovšem lihový fix vysychá, k čemuž přispívá i blízký ventilátor, který zajišťuje chlazení laserů. Proto je nutné po každé delší odstavce navlhčit hrot popisovače technickým lihem.

Pro výrobu ve větším měřítku by bylo vhodné použít namísto lihového například lakový fix, který má při jednotném přtlaku konstantní stopu. Také by se dala použít malá frézka, ale následovaly by komplikace s odsáváním pilin. Další nevýhodou je, že obě tyto techniky popisu jsou trvalé a při zkušebním provozu bychom měli velkou spotřebu kostek. Nové řešení popisovače je nicméně jedním z možných bodů dalšího vylepšení linky.



Obr. 13 - Popisovač otevřený



Obr. 14 - Popisovač zavřený

1.3 Robotický manipulátor

Pro přepravu kostek z pásu padlo v úvahu několik variant. Protože jsme prakticky celou linku stavěli z dílů stavebnice Merkur a firma MERKUR TOYS tou dobou uváděla na trh robotický manipulátor BETA, napadlo nás, že bychom mohli použít ten. Po domluvě s vedením pro nás škola pořídila dva kusy tohoto manipulátoru.

1.3.1 Původní verze

Po rozbalení obou zakoupených 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 uvedeny dvě různé verze manipulátoru, které však nebyly nijak vnějškově odlišeny.



Obr. 15 - Balení manipulátoru BETA

V balení stavebnice BETA nalezneme: díly na sestavení manipulátoru, potřebné nářadí, 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 bez obtíží, přiložený návod je dostatečně srozumitelný a postup stavby je v něm popsán slovně i graficky.

1.3.2 Upravená verze

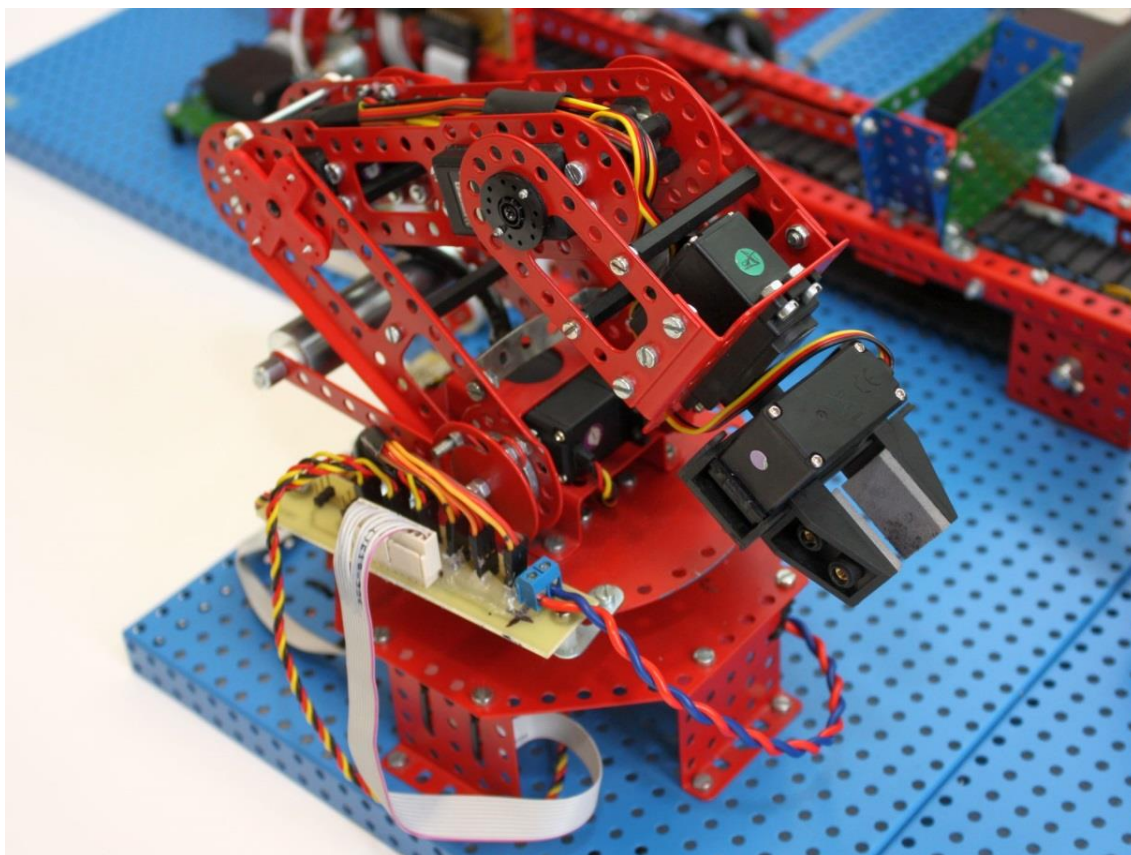
Manipulátor byl od samého počátku provozován bez dodané řídicí elektroniky a softwaru. Namísto ní jsme nainstalovali již dříve ověřenou řídicí desku SD20AX kombinující programovatelný mikrokontrolér PICAXE a řadič servomotorů SD20. Tuto řídicí elektroniku jsme používali již v minulosti na jiném zařízení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

Pro napájení této řídicí jednotky i servomotorů manipulátoru jsme použili 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 manipulátoru podle návodu 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 našich problémů s manipulátorem se však skrýval jinde, jak bude popsáno dále.



Obr. 16 - Upravená verze manipulátoru

1.3.3 Konečná verze

Zatím poslední úpravou manipulátoru byla výměna tří nejnamáhanějších servomotorů Vigor za kvalitní digitální servomotory Hitec HS-7985MG. Výměna si vynutila také částečnou úpravu konstrukce ramene, protože servomotory Hitec nemají vyvedenou osu na druhé straně motoru. Výměna se týkala servomotoru podstavy, spodní části ramene a horní části ramene manipulátoru. Nově použité servomotory jsou silné, rychlé a spolehlivé, což se o servomotorech Vigor rozhodně říci nedalo.

Jedinou nevýhodou tohoto řešení je, že se při delším provozu servomotor na horní části ramene značně zahřívá a dochází v nataženém stavu k rozkmitání ramene. To jsme nakonec vyřešili připevněním chladiče na spodní stranu servomotoru. Chladič jsme vymontovali ze starého set-top boxu a upravili jeho rozměry tak, aby při pohybu ramene nikde nepřekážel.

1.4 Portálový skladač

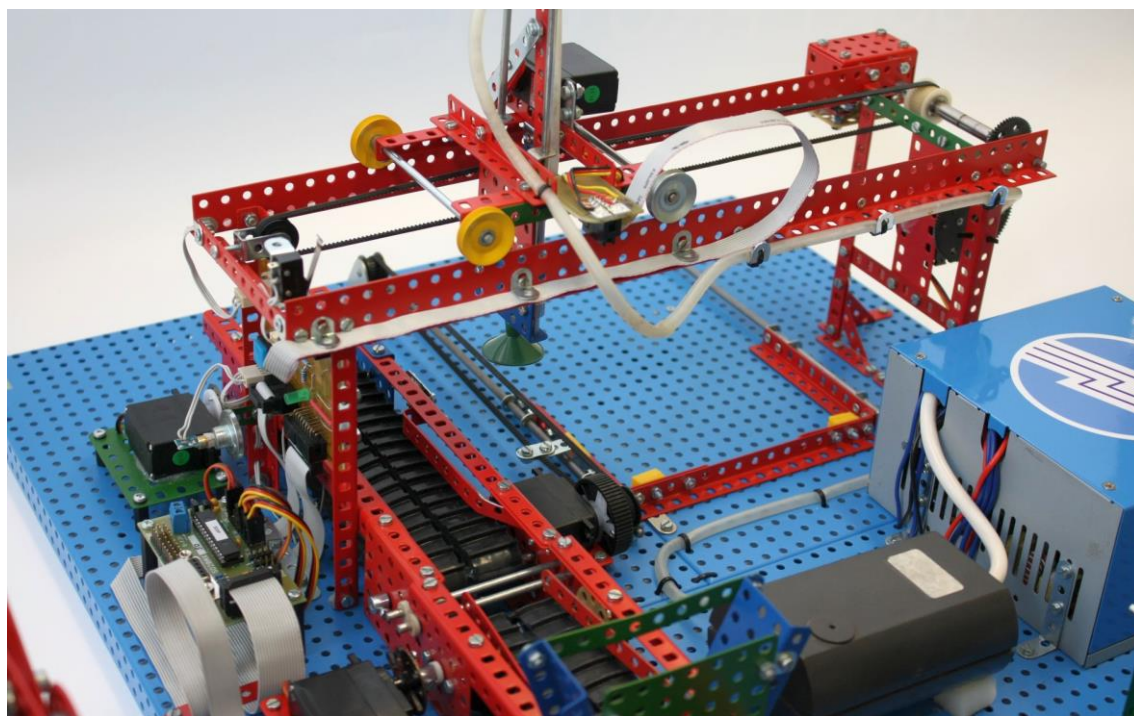
Manipulátor původně po dokončení potisku kostku uchopil a náhodně pouštěl do krabičky, která byla připravená na prázdné ploše základny mezi napájecím zdrojem a manipulátorem. Od začátku jsme ovšem chtěli, aby byly hotové kostky nějakým způsobem pravidelně skládány do krabičky, která by potom tvořila finální výrobek naší linky. V původní verzi nám na výrobu tohoto dalšího mechanismu nezbýval čas.

Když se rozběhly práce na nové verzi linky, zvažovali jsme nejdříve využití druhého zakoupeného manipulátoru BETA. Vzhledem ke zkušenostem s prvním kusem jsme však tento plán zamítli. Rameno manipulátoru má sice mnoho stupňů volnosti při pohybu, ale nevykazuje přesnost, což jsme při skládání kostek do krabičky potřebovali nejvíce.

Poměrně rychle jsme potom přišli s nápadem využít konstrukci podobnou portálovému jeřábu. Pravoúhlý pohyb by byl pro skládání kostek do krabičky na první pohled vhodnější než složité ohýbání ramene manipulátoru.

Výslednému zařízení říkáme portálový skladač kostek. Manipulátor na lince stále plní svou úlohu v odebírání potišťených kostek z hlavního pásu, ale nyní je předává na pás skladače. Ten jednotlivé kostky úhledně uspořádá do ručně vyrobené papírové krabičky.

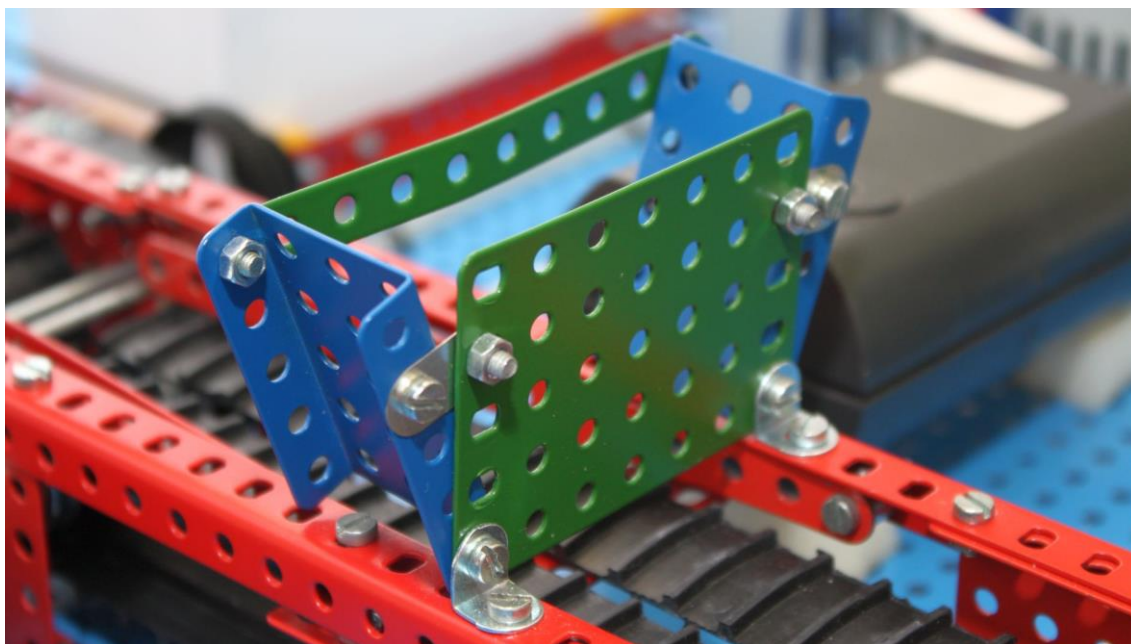
Modul skladače se nachází na nové desce základny a je sestaven ze dvou pásů, samotného skladače, pojezdu s přísavkou a výsuvného mechanismu krabičky. Modul se dá samostatně odpojit a jednoduše oddělit od desky s manipulátorem a popisovačem kostek. Manipulátor upouští kostky na podobném místě jako dřív, ale kostka je nyní zachycena v násypníku a putuje po pásu ke skladači. Po přerušení laserového paprsku optozávory je pomocí přísavky a upraveného akvarijního kompresoru kostka zdvihnuta a uložena na přesně určené místo v krabičce. Kostky jsou skládány do vrstev po čtyřech, celkem sedm vrstev tak obsahuje všech 28 kostek vyráběné sady domina.



Obr. 17 - Portálový skladač

1.4.1 Násypník na kostky

Po upuštění kostky z čelistí manipulátoru se nám nejprve stávalo, že kostka vypadla z pásu nebo se vzpříčila mezi vodícími páskami a zablokovala výrobní postup. Proto jsme nad místo, kde manipulátor kostku upustí, namontovali kónický násypník na kostky. Ten kostku nejdříve stabilizuje a po rozjetí pásu se kostka jemně sveze v podélném směru a může pokračovat ke skladači bez dalších problémů. Pás jsme v místě pod násypníkem podložili plošinkou, která tlumí pružnost dopadu kostky na pás. Jinak se občas mohlo stát, že kostka po dopadu nadskočila a zaklínila se v násypníku.

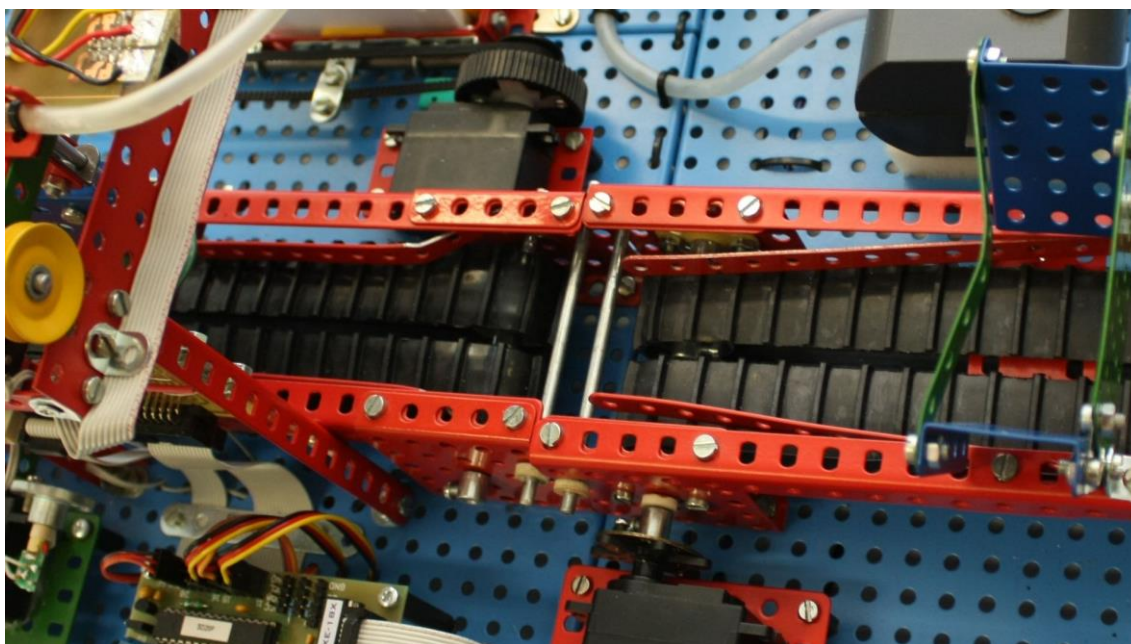


Obr. 18 - Násypník na kostky

1.4.2 Dělený pásový dopravník

Aby se modul skladače dal odpojit od hlavní desky s manipulátorem, je doprava kostky řešena pomocí dvou samostatných pásů. Jeden je umístěn na desce vedle manipulátoru, druhý vede až pod portálový skladač. Kostka je na prvním pásu stabilizována pomocí násypníku a vodících linek, aby se postupně cestou srovnala a na druhém pásu ji přísavka odebrala vždy ze stejného místa. To umožňuje skladači velkou přesnost při rovnání kostek do krabičky.

Mezi oběma pásy vzniká poměrně velká mezera a kostka se v tom místě naklápěla a propadávala, proto jsme přidali ke každému pásu hřídelku. O ně se nyní kostka při přechodu z pásu na pás opírá a nemůže propadnout.



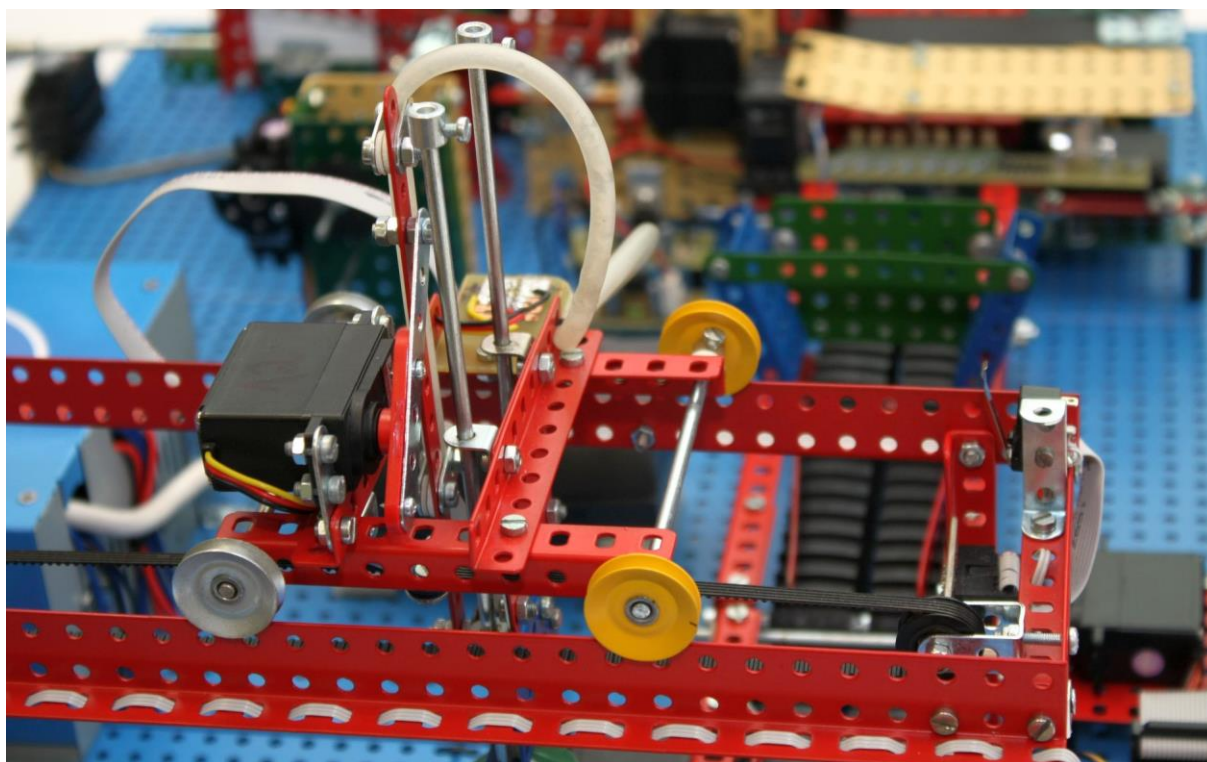
Obr. 19 - Přechod mezi pásy dopravníku

1.4.3 Pojezd skladače

Pohyb pojezdu ramene s přísavkou musí být co nejpřesnější, aby se kostky do krabičky neskládaly ani přes sebe, ani s příliš velkou mezerou. Mechanismus je proto poháněn ozubeným řemínkem ze staré tiskárny. Osičku, na které je umístěno kolečko pro ozubený řemínek, jsme si vysoustružili na průměr, který mají otvory v běžných merkurových dílcích.

Pro snímání polohy vozíku jsme nejdříve použili perforované kolečko ze staré kuličkové myši. Mělo však příliš malé rozlišení a přesnost ukládání kostek nebyla dostatečná, docházelo k chybám. Proto jsme nakonec sehnali jemnější perforované kolečko z jiné kuličkové myši, pomocí kterého jsme dosáhli potřebné přesnosti.

Pojezd ramene má na sobě nainstalován servomotor Hitec HS-311, který se stará o manipulaci s přísavkou. Pojezd se pohybuje na dílcích Merkur objednaných od firmy MERKUR TOYS samostatně, protože jejich tradiční stavebnice tak dlouhé dílce neobsahují. Tím jsme získali dostatečně dlouhý dosah skladače až nad konec krabičky.



Obr. 20 - Pojezd portálového skladače

1.4.4 Kompresor

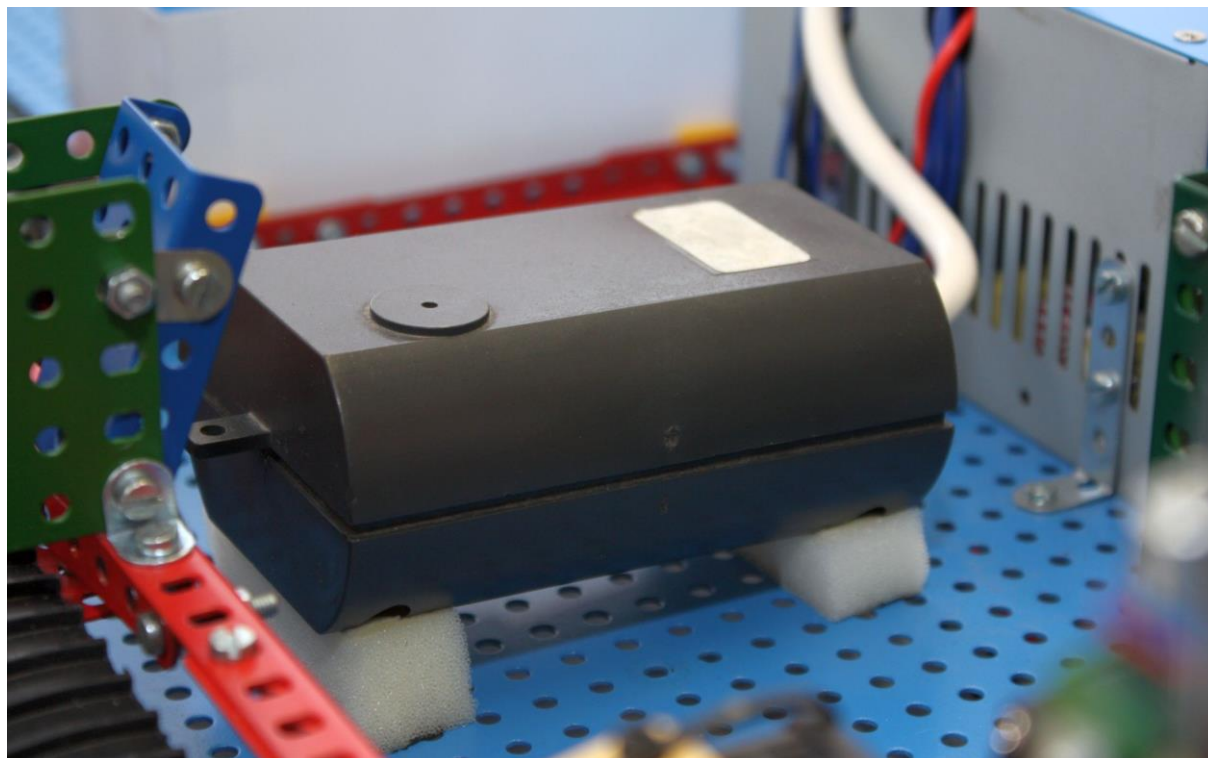
Pro vytvoření podtlaku v přísavce nutného ke zvednutí kostky používáme kompresor, který se nachází na desce s manipulátorem a je spojen s přísavkou na skladači silikonovou hadičkou. Kompresor ovládáme pomocí mikrokontroléru skladače a jeho činnost indikujeme žlutou kontrolkou na rozvodné desce skladače.

Kompresor byl použit akvaristický, kterému jsme upravili zpětné klapky, a proto místo foukání nasává. Díky jeho mírné netěsnosti není potřeba řešit pouštění kostky přísavkou. Odpojí-li se napájení kompresoru, podtlak se ztratí a kostka od přísavky odpadne.

Kompresor je konstruován pro provoz na síť 230 V / 50 Hz (vibrační kompresor), a proto se musí spínat pomocí relé. Použili jsme silové relé, které ale potřebuje napájení 24 V. Náš zdroj dodává jen napětí 5 V,

12 V a -12 V. Problém jsme proto vyřešili zapojením mezi větev 12 V a -12 V zdroje. Spínání kompresoru bylo složité i proto, že jeden tranzistor na to nestačí. Zvolili jsme proto řešení, kde tranzistor NPN sepne proti 0 V bázi tranzistoru PNP zapojeného do větve +12 V.

Kompresor během své činnosti vibruje, a proto je odpružen (tlumen) pomocí podložek z molitanu. Dokud byl prvně spojen s kostrou linky, začaly vždy při jeho spuštění kmitat veškeré volně uložené části linky a produkoval tím nepříjemný zvonivý zvuk.



Obr. 21 - Kompresor

Tištěný spoj spínače kompresoru je umístěn přímo ve zdroji. Toto je bezpečné řešení, protože po lince nevede nikde silové napětí. Přívodní kabel ke kompresoru je určen pro síťové napětí a má z důvodu bezpečnosti dvojitou izolaci. Takové úpravy minimalizují riziko úrazu obsluhy elektrickým proudem.

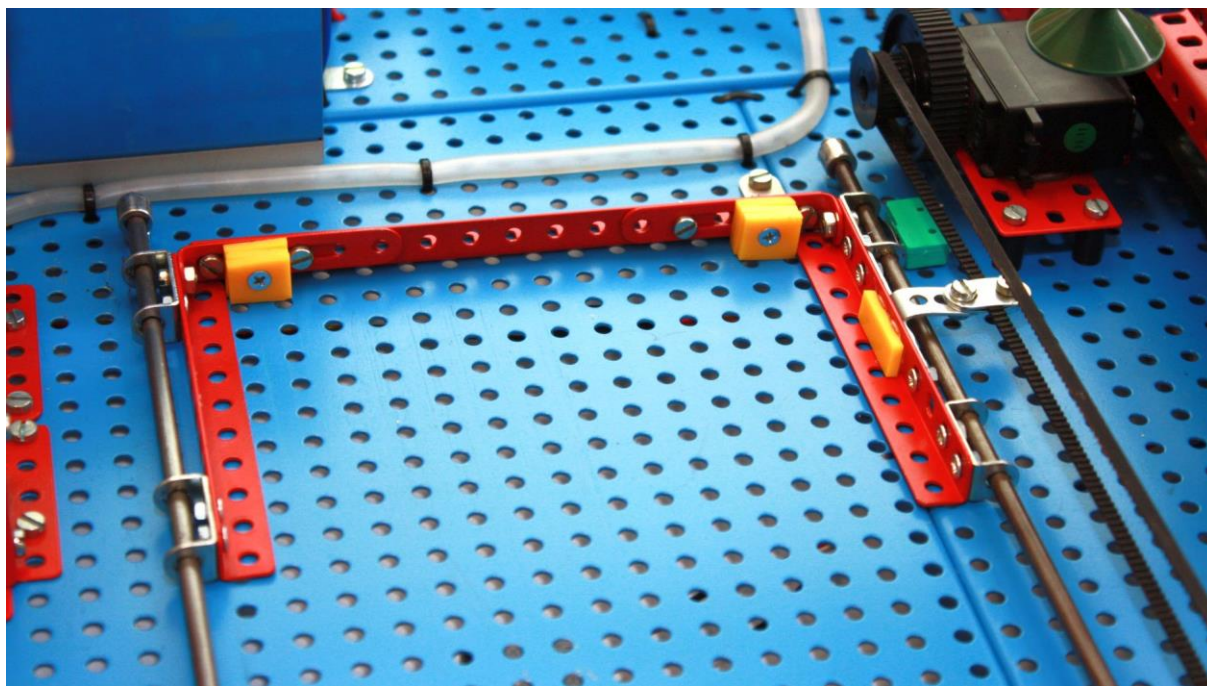
1.4.5 Výjezd krabíčky

Po srovnání kostek do krabíčky bylo potřeba celý výrobní proces nějak zakončit. Rozhodli jsme se pro vysunutí krabíčky z linky ven na volnou plochu před skladačem. Tím se zároveň zjednodušuje práce obsluhy, která může plnou krabíčku vyjmout, aniž by hrozilo poškození mechanismu skladače neobornou manipulací. Novou krabíčku už je sice potřeba instalovat na vozík zasunutý zpátky pod skladač, ale s prázdnou krabíčkou se manipuluje snadno a vymezovací podložky připevněné na konstrukci vozíku jednoznačně určují správnou pozici krabíčky ve skladači.

Mechanickou stránku řešení jsme zvolili tak, aby byla krabíčka co nejnižší nad základnou linky. Základ konstrukce tvoří dvě vodící osy o průměru 4,5 mm a délce 30 cm. Originální osy ze stavebnice Merkur nebylo možné použít, protože nejdelší se vyrábějí v délce 27 cm. Využili jsme proto běžné hřídele o délce 30 cm. Po těchto hřídelích vozík vyjíždí a zase se vrací. Konstrukce vozíku se skládá ze čtyř „U“ profilů, které slouží jako „kluzáky“. Ty drží na „L“ profilu a slouží zároveň jako uložení pro krabíčku.

Aby se vozík mohl po vysunutí vrátit a krabíčka přitom zůstala na místě, namontovali jsme pod desku základny páku poháněnou malým servomotorem. K páce jsou připevněny dvě zarážky vyrobené z upilovaných šroubků. Ty procházejí děrovanou základnou v místě, kde končí zadní strana krabíčky

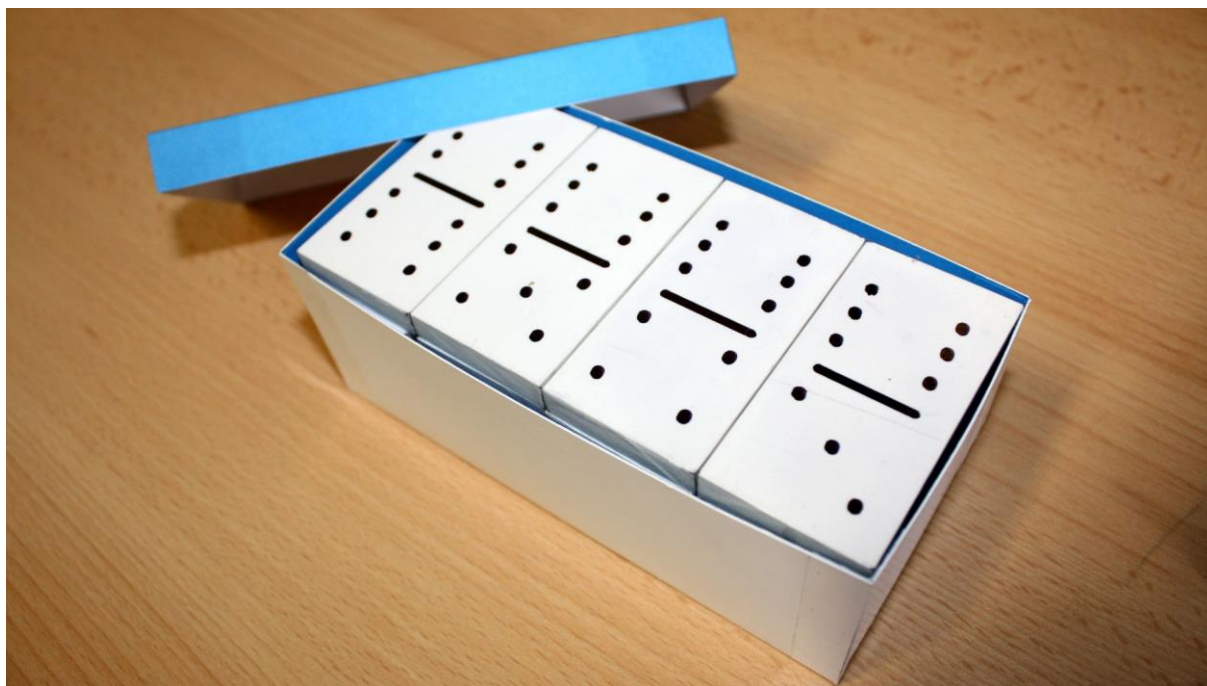
po výjezdu z linky. Servomotor následně vysune zarážky a ty podrží krabičku na místě, zatímco se vozík vrací. Poté se opět zasunou pod úroveň základny.



Obr. 22 - Vozík výjezdu krabičky

1.4.6 Parametry krabičky

Portálový skladač ukládá pokreslené kostky do krabičky o rozměrech 70 mm × 145 mm × 55 mm. Krabička má jen minimální vůle a je podélně i napříč mírně kónická, aby usnadnila vkládání kostek. Původní testovací verze krabičky byla kónická výrazně, což kazilo výsledný dojem. Protože jsme ale vymysleli jednoduchý způsob zarovnávání kostek v podélném směru (pro detaily viz kapitolu o programu skladače), je současná verze krabičky nahoře jen o cca 2 - 3 mm širší než její základna.



Obr. 23 - Krabička na kostky

Krabička je vyráběna ručně, základní materiál tvoří obyčejná čtvrtka o tloušťce 0,2 mm. Pro zlepšení vzhledu je krabička uvnitř polepena modrým samolepicím papírem, aby bílé kostky kontrastovaly s barevným pozadím. Odstín modré jsme volili podle barvy základny linky, na které krabička leží. Ke krabičce jsme ze stejného materiálu vyrobili také víčko, které je modře polepené z vnější strany a tvoří s bílým tělem krabičky příjemnou barevnou kombinaci.

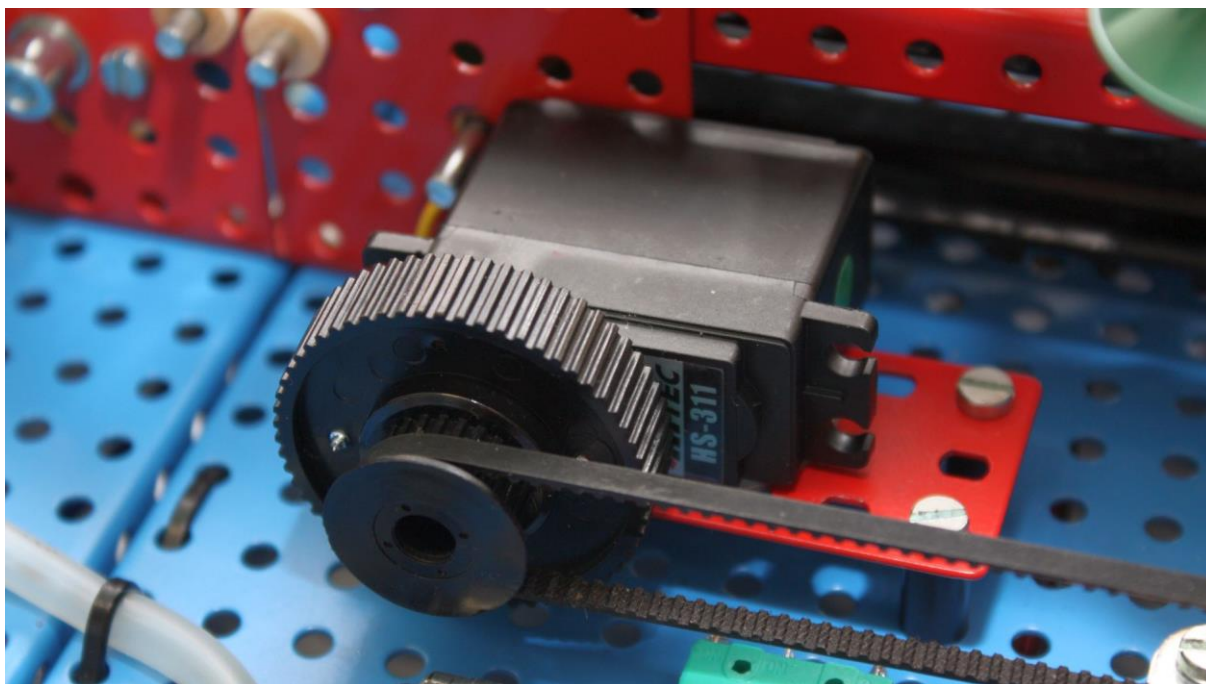
Víčko se na plnou krabičku umísťuje ručně po skončení výrobního cyklu, tedy v rámci výměny krabičky v lince za novou. Nutnost vyrábět krabičky jednotlivě je jedním z nedostatků linky, pokud bychom někdy měli uvažovat o hromadné výrobě dominových kostek.

2 Pohony

V současné době je celá linka poháněná výlučně servomotory. Ve starší verzi jsme používali pro pohon podávacích koleček originální elektromotor Merkur, který jsme řídili elektronikou vymontovanou z nefunkčního servomotoru. Tato kombinace se ale ukázala jako příliš hlučná. Nakonec nám při jednom běžném testování porucha elektromotoru zablokovala celou linku. A tak byl upravený elektromotor v současné verzi linky nahrazen klasickým servomotorem.

2.1 Analogové servomotory

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° a dokonce existuje i model s rozsahem 0° až 1080° (tři plné otáčky). Po jednoduché přestavbě lze takové zařízení používat i jako pohon s kontinuálním chodem.

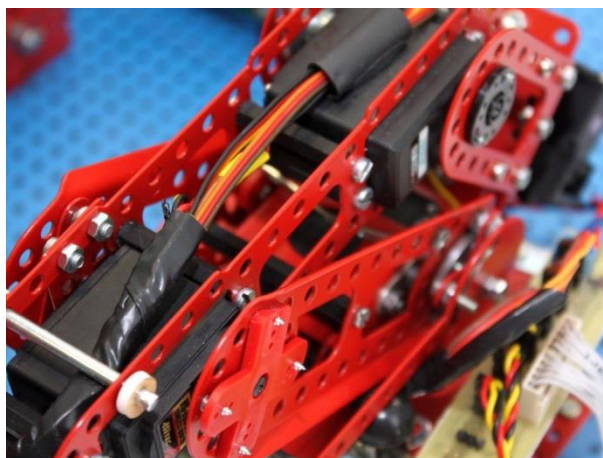


Obr. 24 - Analogový servomotor upravený pro kontinuální chod

Uvnitř je umístěn elektromotor, který je vhodně převodován, aby servomotor dokázal dodat dostatečnou sílu, ale měl přitom 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. Jejich 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 žádané polohy.

2.2 Digitální servomotory

Na naší lince nyní využíváme také digitální servomotory firmy Hitec. Tyto servomotory jsou velmi silné, rychlé a mají pokročilé funkce, jako například nastavitelné omezení výkonu, rychlosti nebo nastavení výchylek. Abychom mohli tyto parametry nastavit, zakoupili jsme také USB programátor servomotorů. Pomocí PC a dodaného softwaru můžeme tyto parametry nastavit a následně ověřit jejich funkci vestavěným testerem.



Obr. 25 - Digitální servomotory

Digitální servomotor pohánějící hlavní pás s popisovačem byl upraven pro kontinuální chod a jeho pokročilé funkce nevyužíváme. Zde jsme mohli použít i běžný servomotor, digitální verzi jsme zvolili hlavně pro její vyšší mechanickou kvalitu a větší možnost zatížení. Zbýlé tři digitální servomotory jsme použili jako náhradu za opakovaně selhávající servomotory na rameni manipulátoru.

2.3 Parametry použitých servomotorů

Výrobní linku v současnosti pohání celkem 17 servomotorů, z toho 13 analogových a 4 digitální. Jeden digitální a čtyři analogové servomotory jsou upraveny pro kontinuální chod bez krajních poloh.

2.3.1 Servomotory těla 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 jediné při tlačení na popisovač, aby byla stopa na kostce sytá a silná.

	Vigor VTS-05A		Hitec HS-422		Hitec HS-5626MG		Hitec HS-485HB	
	při 4,8 V	při 6,0 V	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	4,8	6
Rychlost [s/60°]	0,19	0,17	0,21	0,16	0,17	0,17	0,22	0,18
Kuličková ložiska	Ne		Ano		Ano		Ano	
Rozměry [mm]	22,5 × 17,8 × 23,3		40,4 × 19,6 × 36,6		40,4 × 19,6 × 37,6		39,8 × 19,8 × 38	
Hmotnost [g]	8		45		60		45	

Tab. 1 - Parametry servomotorů těla linky

Vyhazovací páku pohání servomotor HS-422, podávací kolečka typ HS-485HB upravený pro stálé otáčení. Pohon pásového dopravníku obstarává kvalitní digitální servomotor HS-5626MG, který bezproblémově zvládá i vysokou dlouhodobou zátěž. Ten je navíc jediným digitálním servomotorem na lince upraveným pro kontinuální chod (nemá krajní polohy).

2.3.2 Servomotory manipulátoru

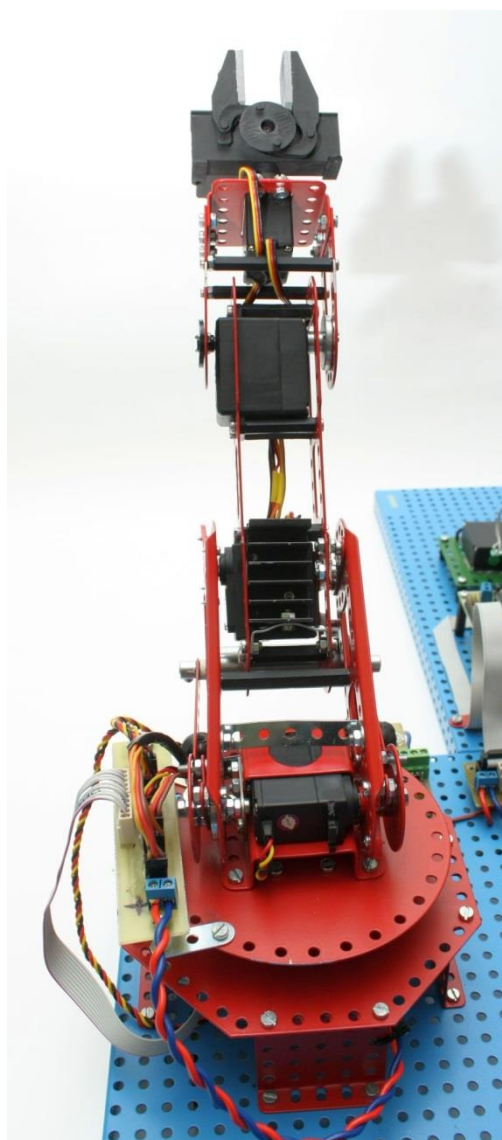
Nyní si detailně popíšeme servomotory manipulátoru. Výrobce používá servomotory dvou značek - Vigor a Hitec. Se servomotory Hitec zprvu nebyly žádné problémy, obtíže začaly vykazovat teprve po několika měsících pravidelného zatěžování linky.

Bohužel o servomotorech Vigor toto říci nemůžeme. 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 jsme pustili signál pro polohu, kterou měl držet, stačilo pouze lehce zatlačit prstem a už bylo slyšet, jak nezvládá zátěž a prokluzuje v převodech. Tyto servomotory jednoduše nemají ani zdaleka udávaný tah.

Kvůli těmto nekvalitním servomotorům se naše práce na lince původně o něco zdržela. Po přestavbě manipulátoru na verzi s kratšími rameny už se servomotory zdály být podstatně méně namáhané, problémy jsme mohli pozorovat pouze při dlouhodobé práci s ramenem nataženým na maximální vzdálenost.

Z výše popsaných důvodů nyní používáme v nejnamáhanějších pozicích manipulátoru digitální servomotory Hitec. Jedná se konkrétně o servomotory podstavy, dolní části ramene a horní části ramene. Poslední jmenovaný servomotor je namáhaný tolik, že se při jeho zahřátí celé rameno rozkmitalo a museli jsme na něj proto připevnit chladič.



Obr. 26 - Servomotory manipulátoru

	Vigor VS-18		Hitec HS-311		Hitec HS-7985MG	
	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]	6,5	7	3	3,5	10,4	12,4
Rychlost [s/60°]	0,25	0,20	0,19	0,15	0,16	0,13
Kuličková ložiska	ano		ne		ano	
Rozměry [mm]	40 × 20 × 36,5		40 × 20 × 36,5		40 × 20 × 36,5	
Hmotnost [g]	43		43		62	

Tab. 2 - Parametry servomotorů manipulátoru

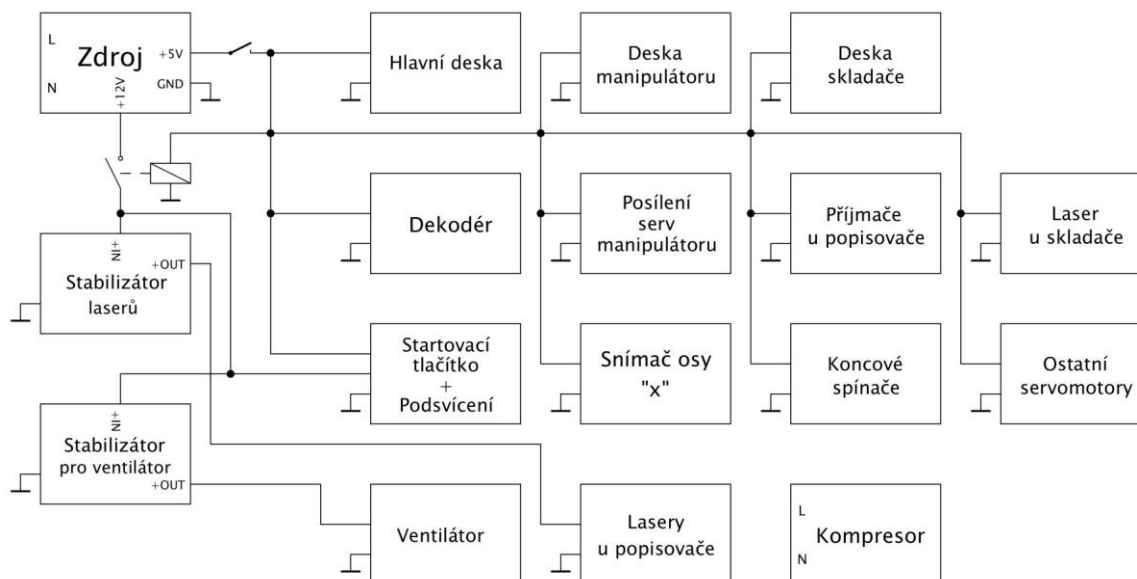
2.3.3 Servomotory portálového skladače

Servomotory skladače jsou opět od firem Vigor a Hitec. Celkem tu máme pět kusů Hitec HS-311. Dva se starají o pohon děleného pásu, další o pohyb ramene s přísavkou, čtvrtý zajišťuje pohon pojezdu v ose X a poslední pohání výsuvný mechanismus krabičky. Všechny servomotory kromě pohonu ramene jsou upravené pro kontinuální pohyb. Poslední malý servomotor Vigor VTS-05A je umístěn pod základnou linky a vysouvá zarážky, aby při zpětném pohybu vozíku krabička zůstala stát na místě. Opět jde o málo namáhanou část pohonného systému, pro kterou se servomotory Vigor dobře hodí.

	Hitec HS-311		Vigor VTS-05A	
	při 4,8 V	při 6,0 V	při 4,8 V	Při 6,0 V
Tah [kg . cm]	3	3,5	1	1,2
Rychlost [s/60°]	0,19	0,15	0,19	0,17
Kuličková ložiska	ne		ne	
Rozměry [mm]	40 × 20 × 36,5		22,5 × 17,8 × 23,3	
Hmotnost [g]	43		8	

Tab. 3 - Parametry servomotorů portálového skladače

3 Napájení



Obr. 27 - Blokové schéma napájení linky

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 a laserů, pětivoltová větev je určená pro řídicí elektroniku.

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 jsme jako základ napájení linky zvolili impulzní zdroj. Původním záměrem bylo navrhnout a sestavit zdroj úplně celý, ale kvůli omezenému času a díky tomu, že Milan Ambrož měl už z dřívějšíka zkušenosti s úpravami zdrojů z počítačů typu PC-AT, přikročili jsme raději k úpravě zdroje tohoto typu.



Obr. 28 - 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 změřili jsme, že ochrana proti nadproudu začne reagovat při 218 W výstupního výkonu (součet všech výkonů výstupních větví).

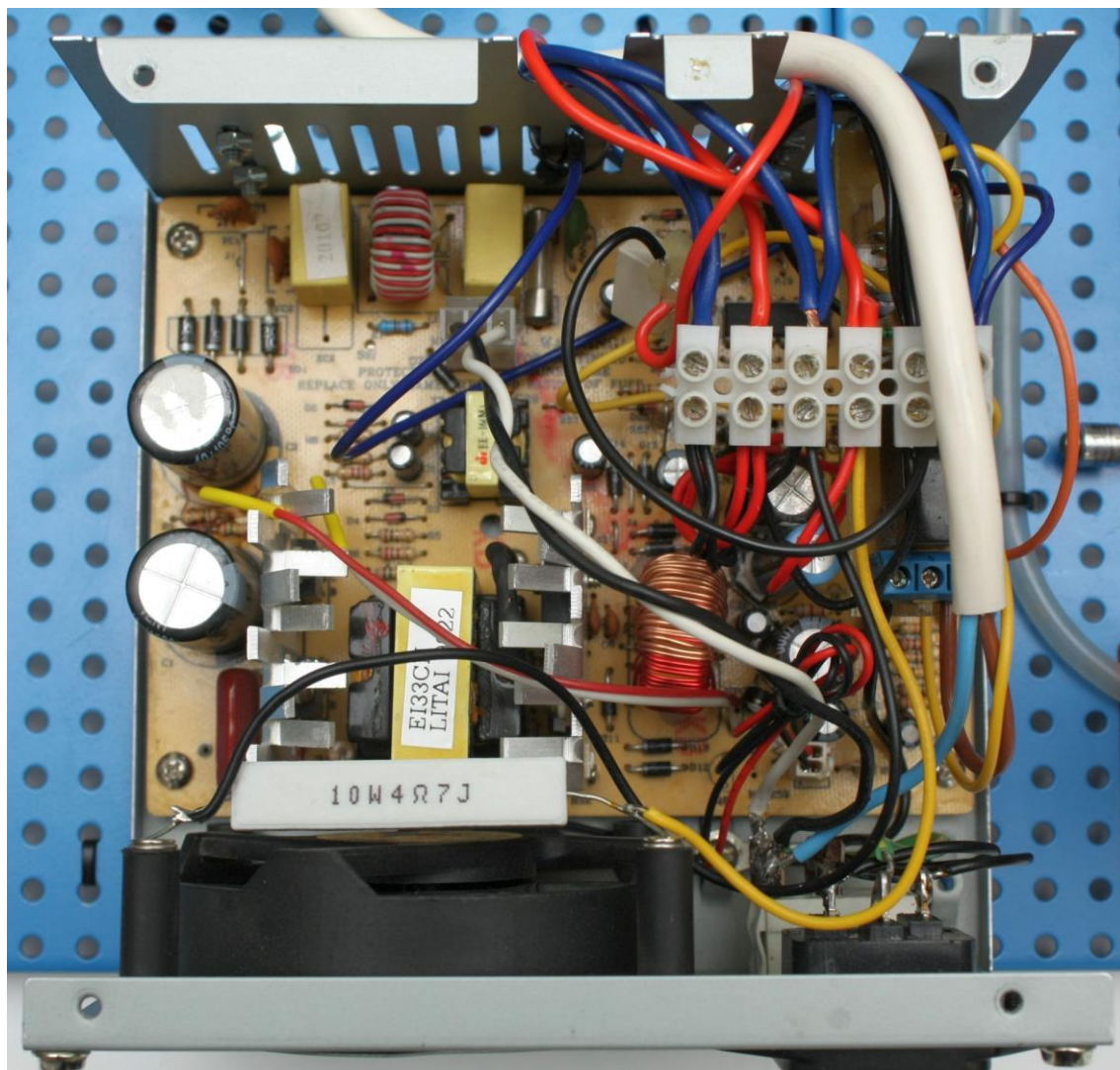
Napětí zdroje [V]	Proud zdroje [A]	Výstupní výkon [W]
12	8	96
5	20	100
-5	0,5	2,5
-12	0,5	6

Tab. 4 - Parametry původního zdroje

3.1.2 Provedené úpravy

Původní zdroj měl nevýhodu v tom, že sice dodával stabilní napětí, ale pouze pokud 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.



Obr. 29 - Upravený napájecí zdroj

Abychom zajistili vyšší kvalitu a výdrž při tvrdém zkratu na větvi +5 V, vyměnili jsme usměrňovací dvojdiody 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 jsme docílili 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 na měřené větvi.

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

Tab. 5 - Parametry upraveného zdroje

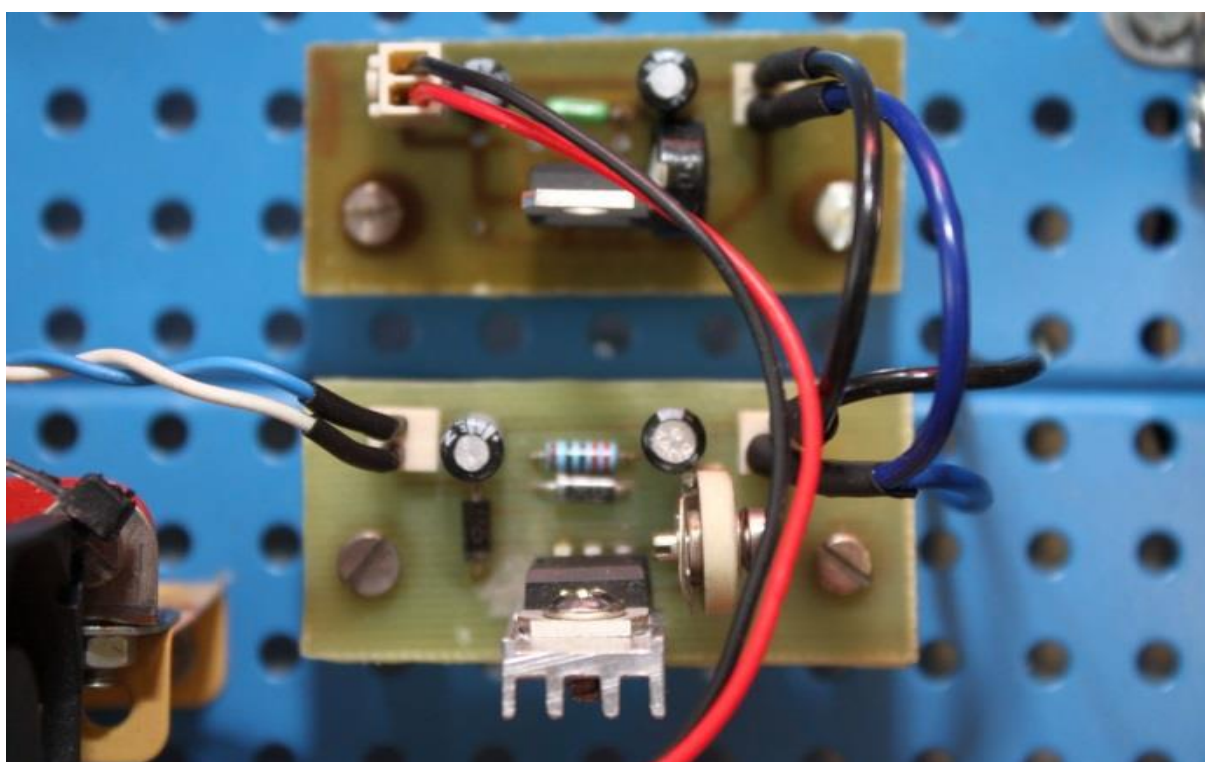
K této úpravě musíte mít zkušenosti z oboru spínaných zdrojů, nebo dokázat sehnat vhodný továrně vyráběný zdroj. Protože je každý zdroj jiný, neuvádíme zde ani schéma upravené části, ani použité hodnoty součástek.

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

3.2 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 Ω . Tím ve VA charakteristice laserové diody dosáhneme lepší linearity a nemusíme napájet obvod proudovým zdrojem.



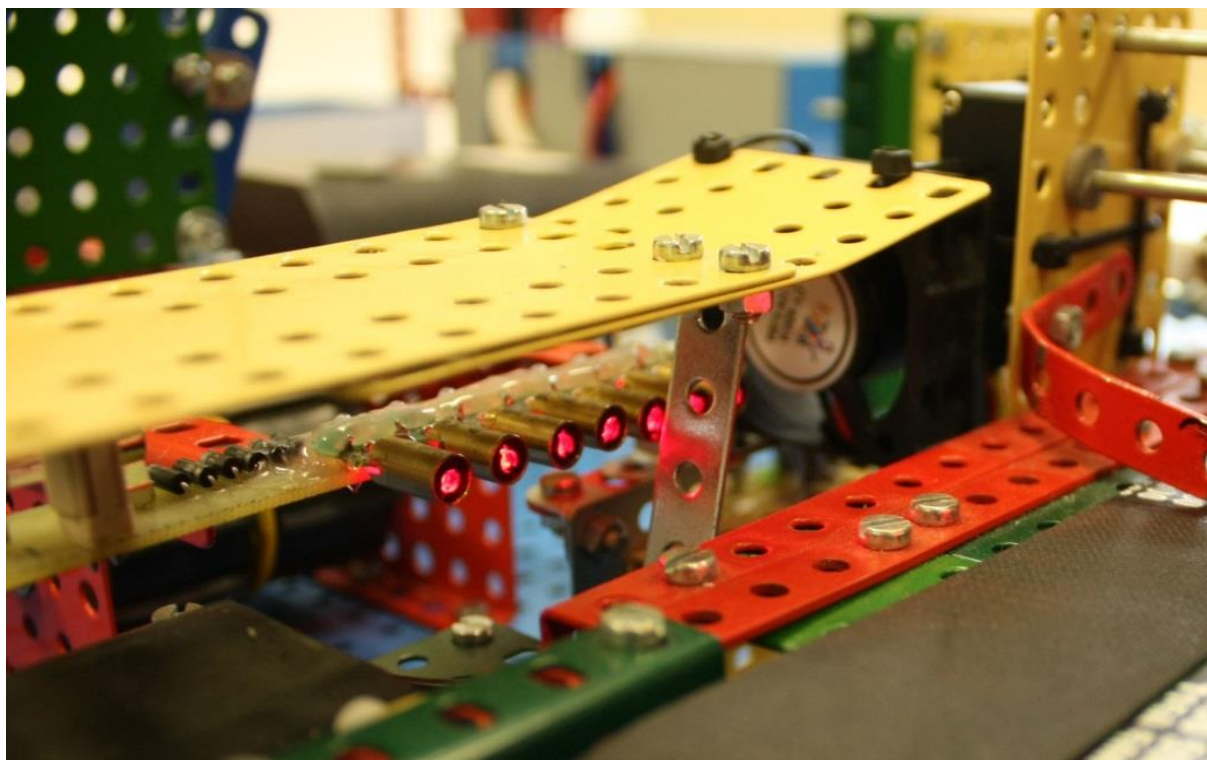
Obr. 30 - Napájení laserů a jejich chlazení

3.2.1 Chlazení laserů

Protože se lasery značně zahřívaly a klesala jejich svítivost až na mez, kdy přestaly reagovat fototranzistory a to způsobilo chybnou práci linky, museli jsme přikročit k instalaci chlazení. To nyní obstarává ventilátor CY420/A o rozměrech 40 × 40 × 20 mm. Ventilátor lze regulovat pomocí lineárního zdroje, který je kopií regulace napájení laserů. Můžeme tím docílit jak tiššího chodu ventilátoru, tak i účinného chlazení. Krycí deska ventilátoru směřuje proudící vzduch tak, že prochází i přes lasery na konci řady a chlazení je tudíž rovnoměrné.

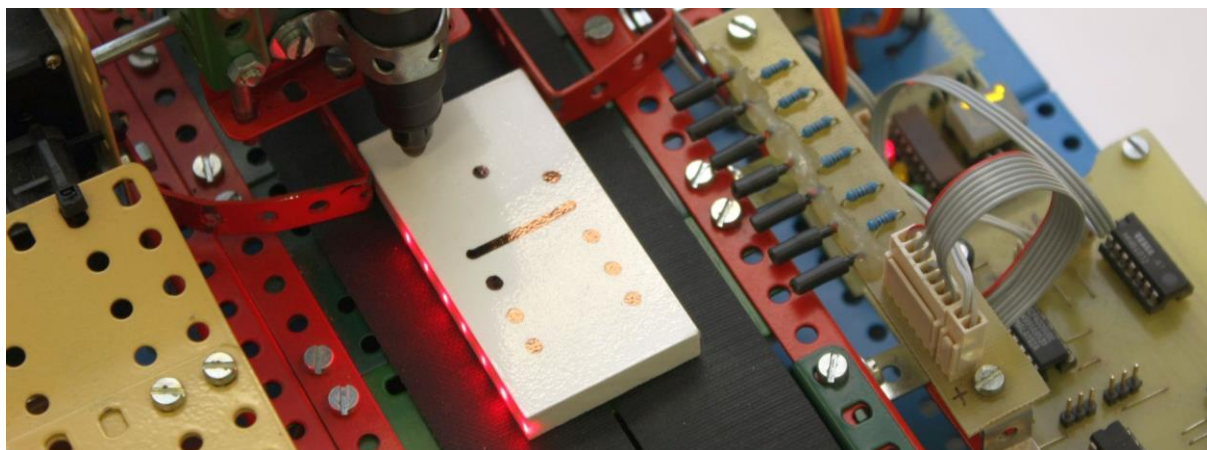
Na krycí desce je umístěn výstražný symbol laserového paprsku. Použité laserové diody sice pocházejí z obyčejných laserových ukazovátek, i tak ale mohou poškodit lidský zrak. Při běžné práci s linkou toto nehrozí, protože jsou lasery umístěny nízko a svítí přesně vodorovně. Pro větší bezpečnost případných

diváků jsou navíc namířeny směrem k prostoru pro obsluhu, která je během manipulace s ovládacími prvky mimo nebezpečný úhel.



Obr. 31 - Chlazení laserů

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

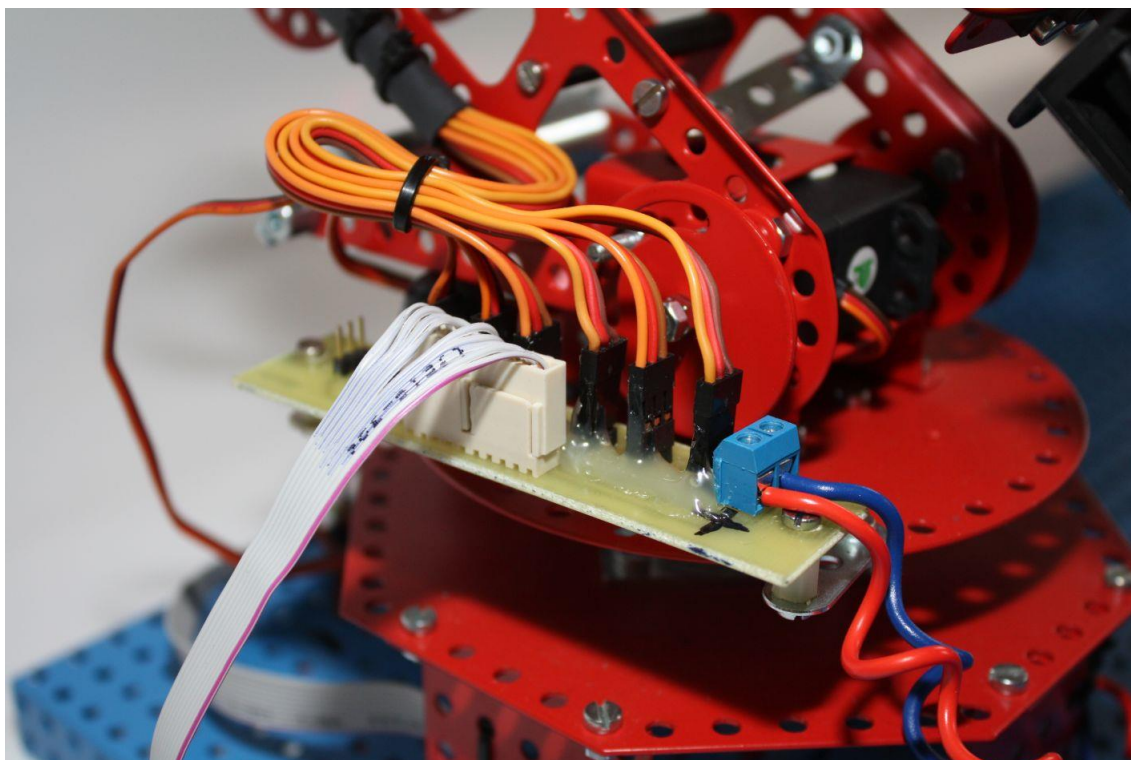


Obr. 32 - Odlesky paprsků optozávor na kostce

3.3 Napájení manipulátoru

Protože použití prodlužovacích kablíčků a napojení každého servomotoru do řídicí jednotky samostatně by znamenalo mnoho přechodových odporů a mnoho tenkých cest, vyvinuli jsme desku, která obsahuje externí napájení pro servomotory a odděluje tak 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 desetižilový 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 jsme zhotovili redukci, která přizpůsobuje osm výstupů řídicí jednotky pro konektor kabelu.

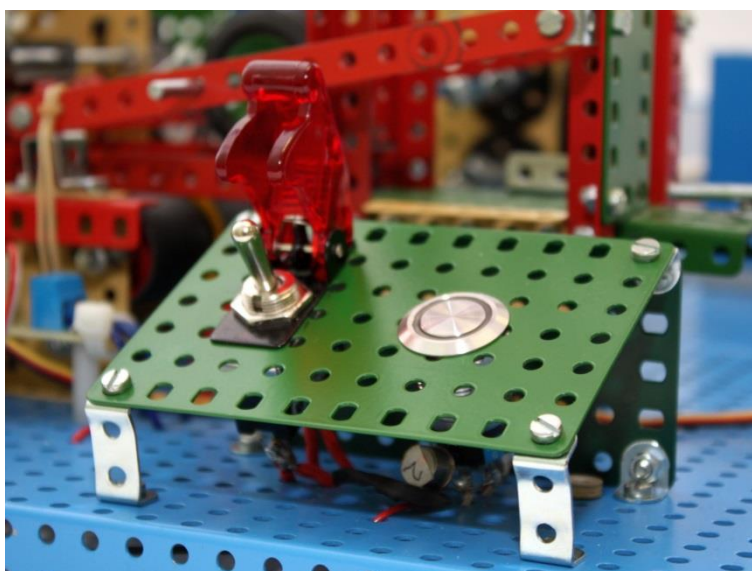


Obr. 33 - Napájení manipulátoru

3.4 Spínač

I když je na napájecím zdroji hlavní vypínač, který kompletně odpojuje linku od napájení, opatřili jsme panel pro obsluhu umístěný na těle linky dalším spínačem. Ten odpojuje napětí řídicím deskám a servomotorům a slouží proto zejména jako bezpečnostní vypínač v případě nesprávné funkce linky během testování. Zároveň je centrálním spínačem, který umožňuje jedním pohybem zapnout všechny části linky.

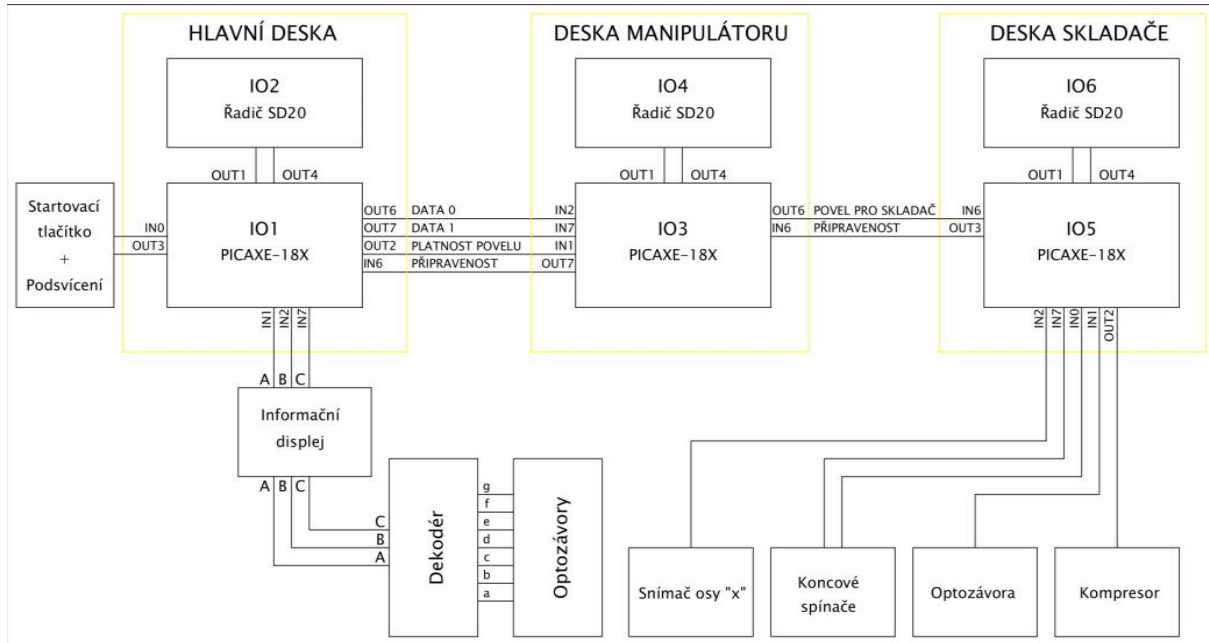
Spínač jsme museli dostatečně proudově dimenzovat, aby nevznikaly velké poklesy napětí, které napájí řídicí



Obr. 34 - Panel s centrálním spínačem

desky. Odpojujeme tedy přímo 5V větev, zatímco 12V větev (která napájí chlazení laserů, manipulátor a optické závory), je ovládána přes relé. Na páčkovém vypínači je červená plastová krytka, která v případě poruchy poskytuje snazší pohotovostní odpojení napájení. Kromě lepší manipulace používáme tento spínač k ovládnutí napájení linky také proto, že by byl pulzní zdroj opakovaným odpojováním a připojováním síťového napětí příliš namáhán.

4 Řízení

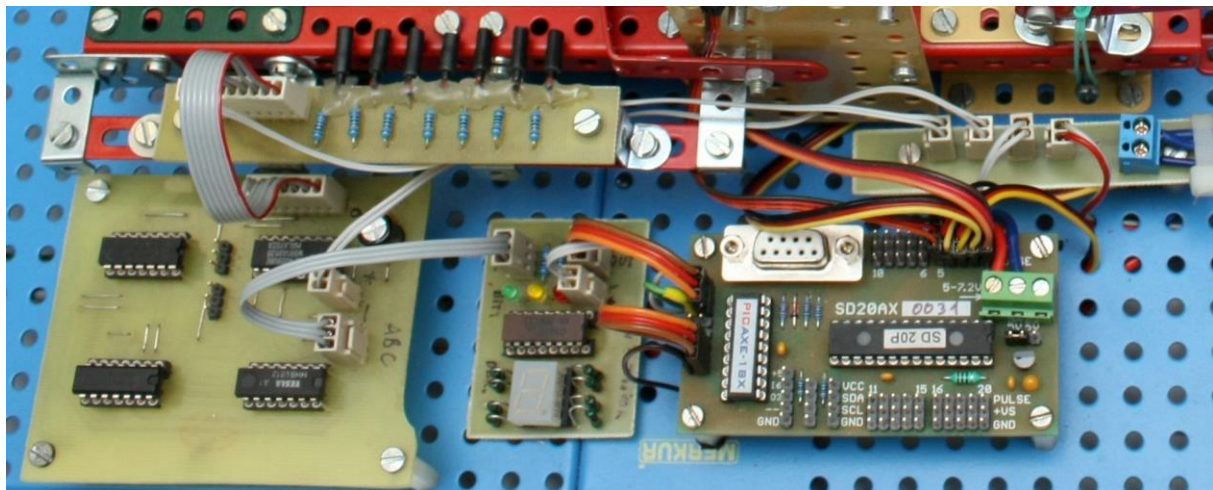


Obr. 35 - Blokové schéma řízení linky

Jádrum řízení celé linky je trojice zakoupených řídicích desek SD20AX. Jejich programy určují načasování všech akcí, přímo nebo přes dekodér zpracovávají informace z optozávory a koncových spínačů, a také určují, kdy a do jakých poloh se mají nastavovat servomotory. Komunikace mezi deskami je vedená dedikovanými vodiči přímo mezi vstupními a výstupními piny jednotlivých mikrokontrolérů.

Důležitým regulačním vstupem řídicích obvodů jsou optozávory, které v patřičných místech snímají polohu kostky na lince. Sedm optozávory se nachází na hlavním pásu, osmá na pásu portálového skladače. Signály z optozávory hlavního pásu jsou převáděny na tříbitovou informaci o poloze kostky dekodérem našeho vlastního návrhu. Dalším optickým prvkem je snímač otáček na pojezdu portálového skladače.

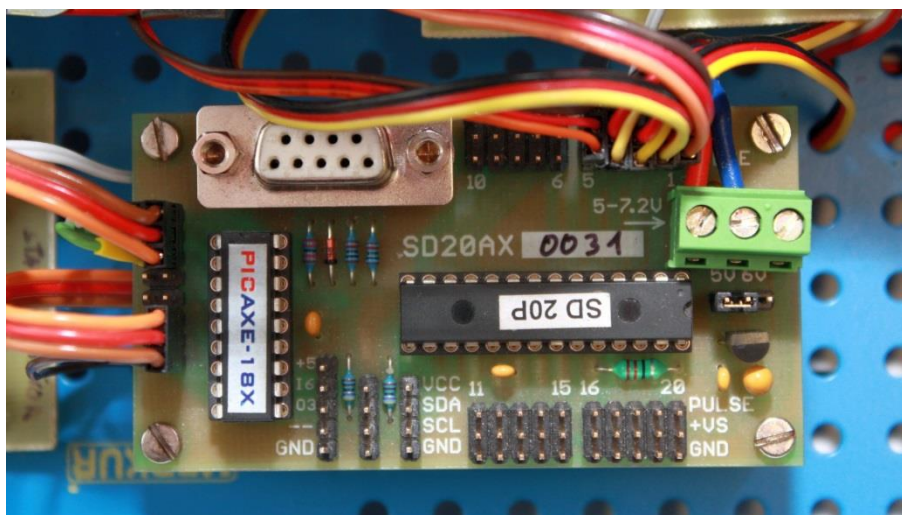
Kromě optozávory využívá řízení linky tři koncové spínače. Jeden se nachází na pojezdu skladače, dva jsou součástí mechanismu výjezdu krabíčky. Uživatelský vstup linky tvoří jediné tlačítko připojené na vstup hlavní řídicí desky. Pomocí něj se spouští výrobní proces a podsvícení tlačítka zároveň informuje obsluhu o stavu linky.



Obr. 36 - Řídicí elektronika těla linky

4.1 Řídicí desky

Linka je řízena celkem třemi deskami SD20AX, které jsou osazeny mikrokontroléry PICAXE-18X a řadiči servomotorů SD20. Tyto desky jsme zakoupili již hotové pro jeden z předchozích projektů a máme s nimi proto praktické zkušenosti. Díky povaze mikrokontrolérů PICAXE je možné tyto desky programovat přímo sériovým kabelem, není třeba žádný mezistupeň v podobě samostatného programátoru. Jde také o jednu z mála součástí linky, které jsme si nenavrhovali od základu sami.

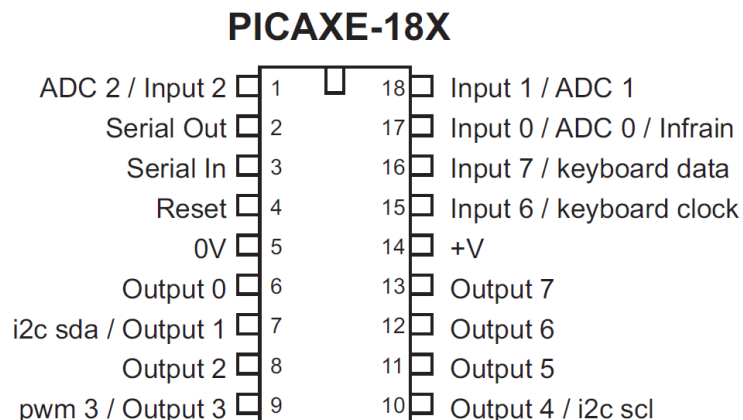


Obr. 37 - Jedna z řídicích desek SD20AX

První z desek (hlavní deska) řídí tělo linky, tj. zásobník, pásový dopravník a pojezd popisovače. Druhá deska má na starosti přesné pohyby manipulátoru. Třetí deska ovládá portálový skladač kostek a zajišťuje závěrečné vysunutí krabičky z linky. Hlavní deska a deska manipulátoru spolu komunikují pomocí čtyř vodičů vedených pod základnou linky. Deska manipulátoru a deska skladače spolu komunikují pomocí dvou vodičů, které jsou společně s dalšími vodiči vedeny plochým kabelem propojujícím modul skladače se zbytkem linky.

4.1.1 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.



Obr. 38 - Rozmístění pinů mikrokontroléru PICAXE-18X

Nejdůležitější z těchto vlastností je vestavěný interpret jazyka BASIC. Ten dovoluje vyhnout se náročnému programování v jazyce symbolických adres nebo v jazyce C a soustředit se místo toho přímo na řešenou úlohu. Díky tomu postupovaly práce na programech všech tří desek poměrně rychle a nezdržovaly nás při práci na stavbě linky.

Konkrétně používaný model PICAXE-18X fyzicky odpovídá čipu PIC16F88 spol. Microchip a disponuje 5 vstupními a 8 výstupními piny, z nichž dva jsou na deskách SD20AX využity pro ovládání řadiče servomotorů pomocí sběrnice I²C. Každý z pinů lze zatížit proudem až 20 mA.

V našem případě jsme u mikrokontroléru na hlavní desce využili všechny vstupní a polovinu výstupních pinů. Na vstupy jsou připojeny tříbitový dekodér, startovací tlačítko a jednobitová komunikační linka od desky manipulátoru. Výstupy tvoří tříbitová komunikace směrem k manipulátoru a dále ovládání podsvícení tlačítka.

Provozní napájení [V]	4,5 - 5
Pracovní frekvence [MHz]	8
Kapacita paměti programu [KiB]	2
Celkový počet pinů	18
Počet vstupních pinů	5
Počet výstupních pinů	8
Počet PWM kanálů	1

Tab. 6 - Parametry mikrokontroléru PICAXE-18X

U mikrokontroléru na druhé desce využíváme čtyři vstupní a dva výstupní piny. Na vstupy vedou povel od hlavní desky a jednobitová komunikační linka ze skladače, na výstupy indikace připravenosti manipulátoru pro hlavní desku a vysílání povelů pro skladač.

U mikrokontroléru na třetí desce používáme všech pět vstupních a tři výstupní piny. Vstupy zabírá jednobitový povel k akci od manipulátoru, dále optozávora na pásovém dopravníku, snímač otáček pojezdu v ose X, koncový spínač na tomto pojezdu a koncové spínače mechanismu výjezdu krabíčky. Pro nedostatek vstupních pinů jsme byli nuceni zapojit koncové spínače výjezdu krabíčky sériově, takže kontrolujeme jedním vstupem oba spínače zároveň. Protože se nemůže při normálním chodu linky stát, že by byly sepnuty oba současně, neztrácíme žádnou důležitou informaci. Na výstupy třetího mikrokontroléru jsou napojeny jednobitová komunikační linka směrem k manipulátoru, spínání kompresoru a indikační LED na elektrorozvodné desce skladače.

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 všech našich programů pohybuje do hranice 1 KiB. Toho jsme dosáhli hlavně efektivním zápisem opakujícího se kódu a častým využíváním podprogramů.

Během práce jsme narazili na další omezení použitého mikrokontroléru, na maximální povolený počet vnořeného volání podprogramů. Tento limit se v dokumentaci přímo neuvádí, ale jako u každého mikrokontroléru je dán omezenou kapacitou zásobníku pro návratové adresy. Po jejím překročení se poruší návaznost při návratu z podprogramu a program se začne chovat nepředvídatelně. Příčinu této chyby jsme odhalili teprve simulací kódu ve vývojovém prostředí.

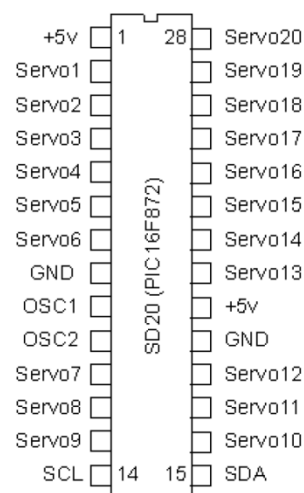
4.1.2 Řadič servomotorů SD20

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

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 I²C.

U řadiče jsou k dispozici dva módy řízení – standardní mód, kde 256 hodnot odpovídá délce pulzu v rozmezí 1 - 2 ms, a rozšířený mód, který podporuje větší rozsah pulzů a tím i větší otáčecí úhel servomotorů. Jednotlivé servomotory se dají také deaktivovat přerušením řídicího signálu.

Na naší lince používáme řadič SD20 na desce portálového skladače ve standardním módu a zbylé dva v různě volených rozšířených módech. Tím dosahujeme potřebných rozsahů pro jednotlivé servomotory na lince.



Obr. 39 - Řadič SD20

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

Tab. 7 - Parametry řadiče servomotorů SD20

4.1.3 Role jednotlivých desek

Každá ze tří desek SD20AX ovládá jeden blok linky (tělo, manipulátor a skladač) a vzájemně mezi sebou komunikují.

První deska řídí hlavní pás s popisovačem, zajišťuje vysunutí kostky ze zásobníku a ovládá informační podsvícení startovacího tlačítka. Vstupem desky je startovací tlačítko. Pomocí komunikačních vodičů je deska propojena s deskou řídicí manipulátor, které udílí povely, do jaké polohy se má rameno manipulátoru přesunout.

Deska manipulátoru ovládá výhradně servomotory jeho ramene. Má na starost příjem kostek z hlavního pásu a jejich přepravu na pás skladače. Povely k akci přijímá z hlavní desky, ale konkrétní polohu ramene řídí sama. Komunikace opačným směrem informuje hlavní desku, kdy je deska manipulátoru připravena přijímat nové povely. Obsluze přístupné ovládací vstupy deska manipulátoru nemá.

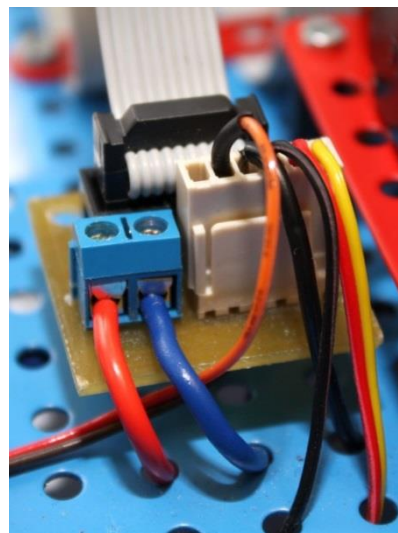
Deska manipulátoru je dále propojena s deskou řídicí portálový skladač. Od ní přijímá informaci, kdy může kostku skladači předat, a zároveň vydává skladači povel kostku přebrat a uložit. Díky kaskádové komunikaci mezi deskami tak například nemůžeme ihned po upuštění kostky do násypníku převzít další kostku z hlavního pásu, protože skladač dosud nepotvrdil přijetí předchozí kostky. Manipulátor v takovém případě zůstává v pohotovostní poloze, dokud skladač nesloží svou kostku do krabíčky a nepřevezme novou.

Deska skladače ovládá obě části pásového dopravníku za manipulátorem, dále kompresor, pojezd s přísavkou a mechanismus výsunu krabíčky. Na její vstupy je napojen optický snímač otáček pojezdu v ose X, koncové spínače mechanismu pro výsuv krabíčky, koncový spínač pojezdu a komunikační vodič od desky manipulátoru, přes který deska skladače přijímá povel k uložení nové kostky. Výstupem desky skladače je komunikační vodič směřující do desky manipulátoru, přes který skladač informuje

manipulátor, že je připraven přijmout novou kostku. Obsluze přístupné ovládací vstupy deska skladače nemá, pokud nepočítáme možnost stiskem koncových spínačů korigovat chod skladače během testování linky.

4.1.4 Komunikace desek

Protože je třeba v určitých fázích průjezdu kostky linkou odesílat pokyny manipulátoru a skladači a zároveň nesmí ani jeden z nich žádnou kostku propásnout, propojili jsme všechny tři desky datovými vodiči a zřídili mezi nimi kaskádovou komunikaci vlastním jednoduchým protokolem. Komunikace je vedena vždy přímo z výstupního pinu jednoho mikrokontroléru na vstup jiného. Protože mají mikrokontroléry PICAXE-18X pevně stanovené vstupy a výstupy a komunikační linka sběrnice I²C je již obsazena řadiči servomotorů SD20, nebyl pokročilejší návrh komunikace možný.



Obr. 40 - Propojení řídicích desek

Hlavní deska pomocí kódované informace na dvou paralelních vodičích určuje, 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 komunikačního vodiče neustále signalizuje nazpět, zda je připravena ke zpracování povelu, nebo zda ještě zpracovává povel předchozí. Hlavní deska před odesláním nového povelu vždy zkontroluje, jestli je manipulátor připraven tento povel přijmout, a v případě potřeby na něj čeká. Po odeslání povelu hlavní deska naopak čeká na přechod manipulátoru do nepřipraveného stavu, což značí, že manipulátor odeslaný povel přijal a zpracovává ho.

Manipulátor je stejným způsobem nadřazený skladači, kterému jedním vodičem vysílá povel převzít kostku a skladač druhým vodičem neustále podává manipulátoru informaci, zda je připraven kostku převzít. Pokud skladač dosud zpracovává minulou kostku, musí na něj manipulátor čekat. Pokud čeká manipulátor dlouho, zastaví se díky výše popsané komunikaci s hlavní deskou také hlavní pás. Teprve po uvolnění skladače a předání vlastní kostky je manipulátor připraven převzít novou kostku z hlavního pásu.

Pokud hlavní deska čeká na zbylé části linky příliš dlouho, signalizuje to závadu při výrobě (uvízlou kostku apod.). V takovém případě výrobu programově pozastavíme a startovací tlačítko se jasně rozbliká. Po odstranění chyby může obsluha stiskem tlačítka v přerušené výrobě opět pokračovat.

Pin mikrokontroléru hlavní desky	Směr	Pin mikrokontroléru desky manipulátoru	Směr	Pin mikrokontroléru desky skladače	Význam
OUT6	→	IN2			DATA_0
OUT7	→	IN7			DATA_1
OUT2	→	IN1			platnost povelu
IN6	←	OUT7			připravenost
		OUT6	→	IN6	povel
		IN6	←	OUT3	připravenost

Tab. 8 - Komunikace řídicích desek

4.2 Optozávory

Na výrobní lince se nachází celkem osm optozávor. Sedm jich řídí potisk kostky na hlavním pásu a jedna je umístěná na skladači a zjišťuje, kdy se kostka nachází pod přísavkou a můžeme ji odebrat z pásu.

Soustava sedmi optozávor na hlavním pásu slouží k synchronizaci pásového dopravníku a pojezdu popisovače. Každá optozávora odpovídá jednomu řádku s tečkami nebo 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.

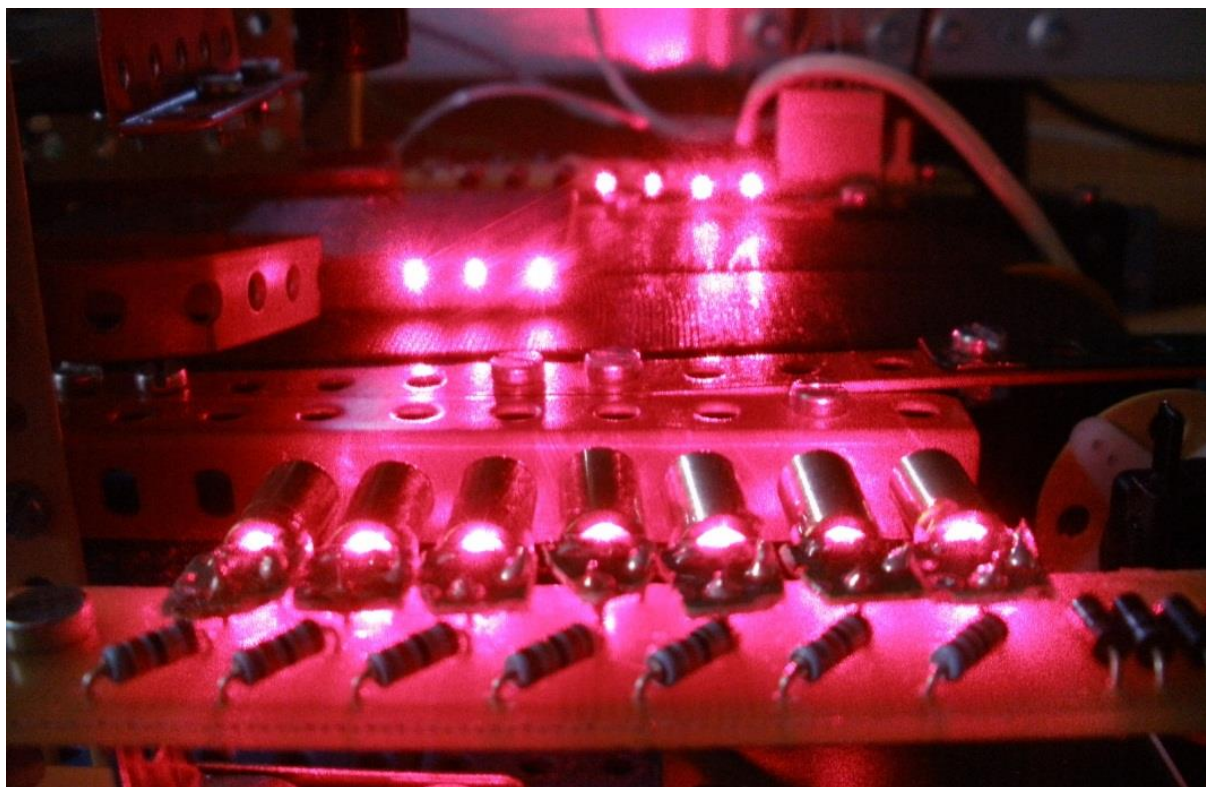
4.2.1 Lasery

Hned jak jsme se rozhodli, že chceme polohu kostky snímat opticky, stál před námi 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).

Další laser používáme u skladače na druhé části pásového dopravníku. Postupně jsme zde použili už několik laserů, protože mají navzdory masivnímu chladiči sklon se přehřívat a nepracují dobře.

Protože je linka určená k častému předvádění, jsou všechny lasery namířeny směrem od případných diváků. Lasery na hlavním pásu kvůli tomu sice míří ke stanovišti obsluhy, nacházejí se ale tak nízko, že ohrožení zraku obsluhy laserovým paprskem je minimální. Pro zvýšení bezpečnosti jsme kryt nad lasery hlavního pásu opatřili mezinárodně srozumitelným výstražným symbolem.

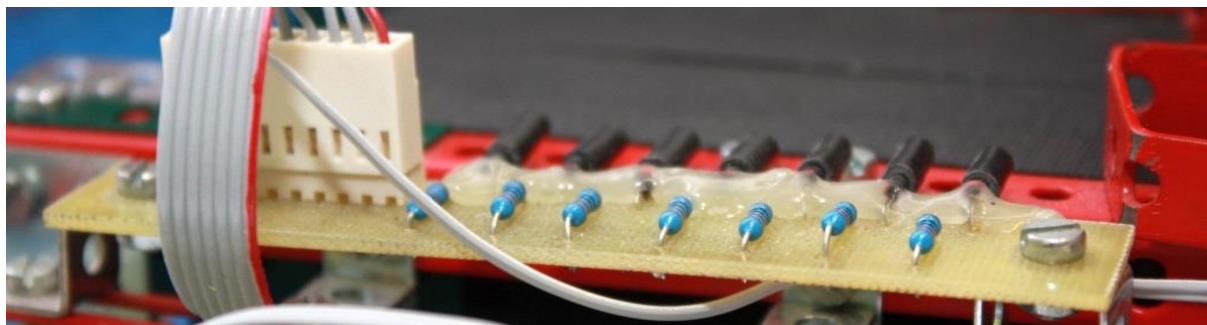


Obr. 41 - Deska s lasery

4.2.2 Snímače

Laserové paprsky na hlavním pásu 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.

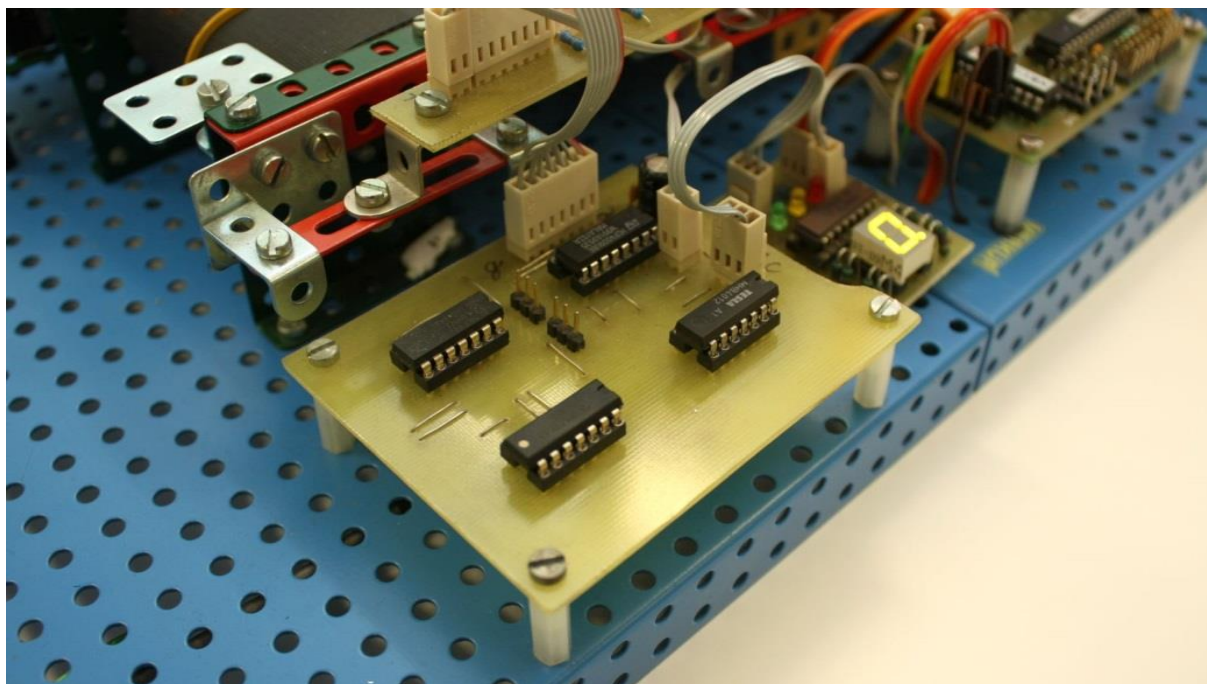
Naproti laseru, který je umístěn na pásu skladače, jsme použili fototranzistor vymontovaný z optozávory staré nepoužívané tiskárny. Jeho výstup je přímo napojen na vstup mikrokontroléru, který ovládá skladač. Na rozdíl od snímačů na hlavním pásu tento fototranzistor není krytý bužírkou, protože ho dostatečně stíní okolní konstrukce linky.



Obr. 42 - Deska se snímači

4.3 Dekodér

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

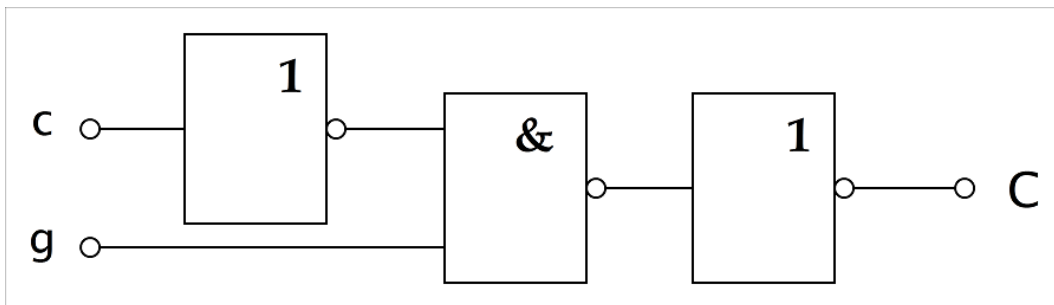


Obr. 43 - Dekodér

4.3.3 Minimalizace funkcí

Jednotlivé bity výstupu dekodéru značíme velkými písmeny A, B a C, kde C je nejvyšší bit výstupního třibitového slova, A je jeho nejnižší bit. Tyto výstupy představují vlastně jednotlivé logické funkce, které bylo třeba dekodérem realizovat.

Při sedmi vstupech ($2^7 = 128$ položek pravdivostní tabulky) jsme pochopitelně museli každou z funkcí minimalizovat, aby šla realizovat pomocí rozumného počtu hradel. Jednotlivé funkce jsme kvůli počtu vstupů nezapisovali ani algebraicky, ani pravdivostní tabulkou, nýbrž rovnou do Karnaughovy mapy, pomocí které jsme je následně i minimalizovali.

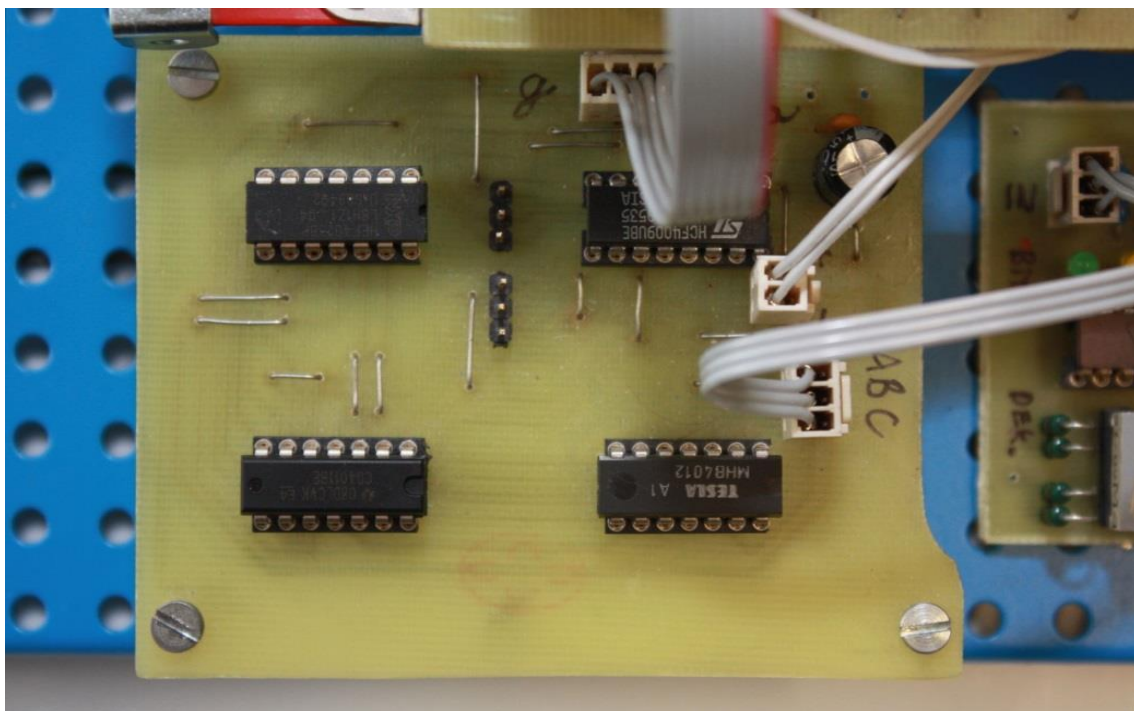


Obr. 46 - Realizace nejjednodušší ze tří funkcí dekodéru

Když jsme se k problému vrátili v rámci zpracování 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 tedy pro nás spíše ponaučení do budoucna.

4.3.4 Výsledný obvod

Výsledný obvod řeší tři logické 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 zcela správně hned na první pokus.



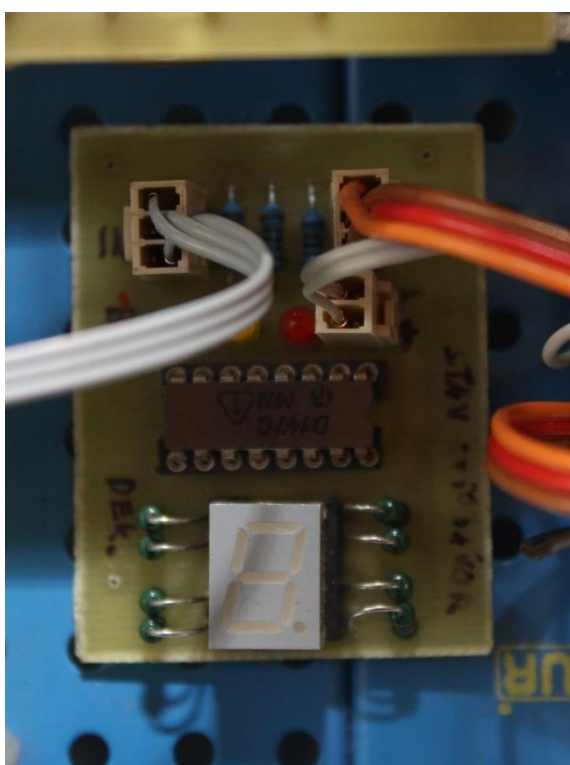
Obr. 47 - Deska dekodéru

4.3.5 Informační displej

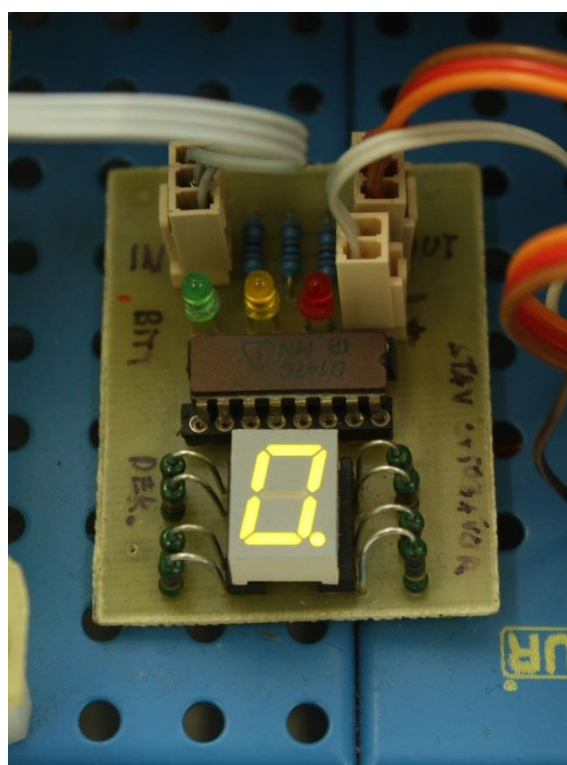
Tato přídatná deska poskytuje informaci pro obsluhu linky a byla vyvinuta, abychom měli okamžitou zpětnou vazbu při seřizování optozávora. Pomocí segmentového displeje a tří LED jsou zobrazovány aktuální výstupy dekodéru. Na funkci celé výrobní linky nemá jinak obvod žádný vliv, ovšem během ladění se ukázal jako neocenitelná pomůcka. Protože jsou snímače na hlavním pásu náchylné na otřesy během převážení linky, umožňuje informační displej rychlé otestování a správné seřízení optozávora před samotným spuštěním.

Na desce plošného spoje je umístěná 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 integrovaného obvodu D147, který je přímo pro tuto funkci určen. Protože vedeme z dekodéru pouze tři bity, musí být na čtvrtý vstup obvodu D147 trvale přiváděna logická 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. 48 - Informační displej



Obr. 49 - Displej při práci

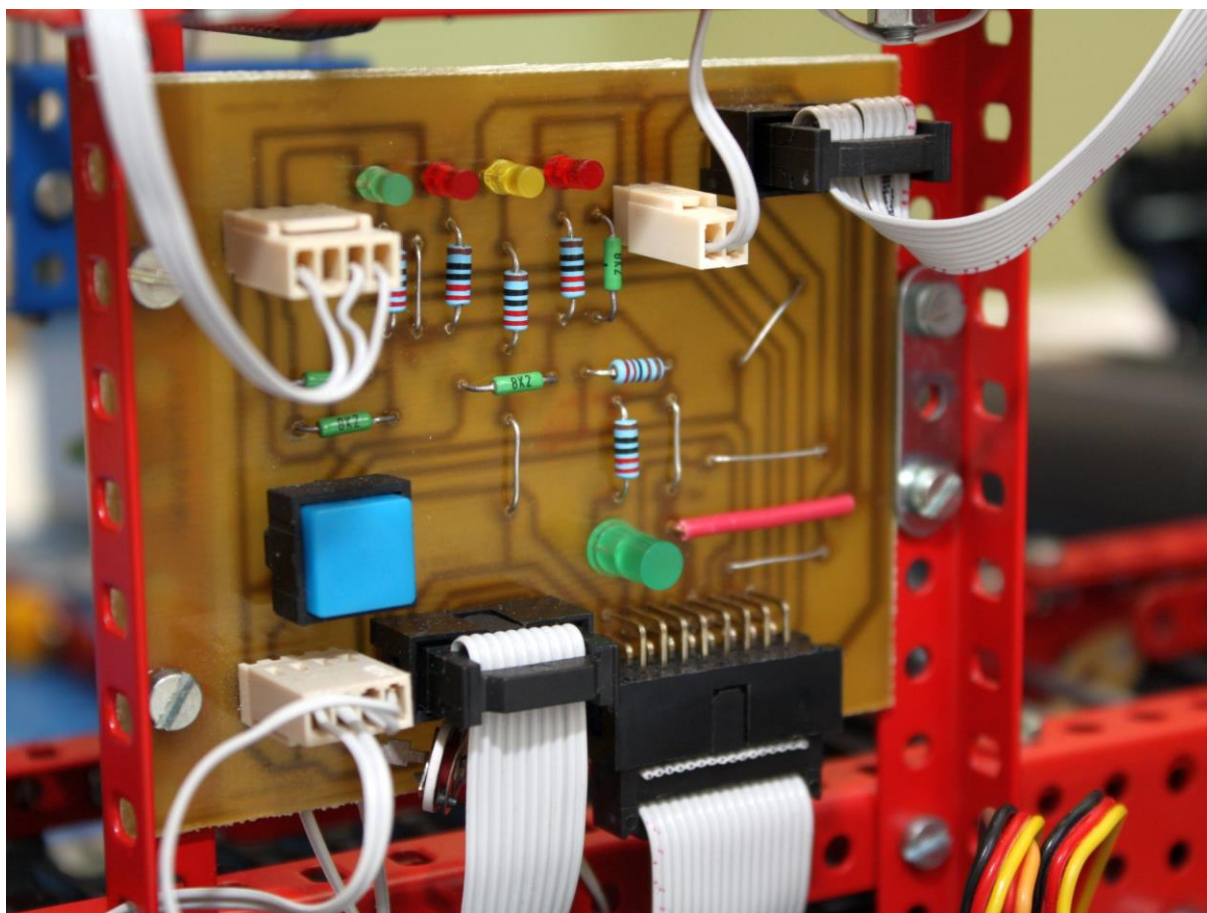
4.4 Elektronika skladače

Součástí řídicí elektroniky skladače je kromě desky SD20AX také optozávora na pásovém dopravníku, elektrorozvodná deska, optický snímač otáček měřící polohu pojezdu s přísavkou, koncový spínač na pojezdu a koncové spínače na obou krajních polohách vozíku pro výsun krabíčky.

Protože byl modul se skladačem navrhován až jako poslední, obsahuje jeho elektronika mnoho signalizačních prvků užitečných během testování. Nejvíce je to vidět na elektrorozvodné desce skladače.

4.4.1 Elektrorozvodná deska

Tato deska není určena přímo k řízení činnosti skladače - jak název napovídá, slouží pro rozvod potřebných signálů k periferiím. Také jsou na ní umístěny signalizační kontrolky, které slouží k rychlé identifikaci problémů a k seřizování snímacích prvků skladače.



Obr. 50 - Elektrorozvodná deska skladače

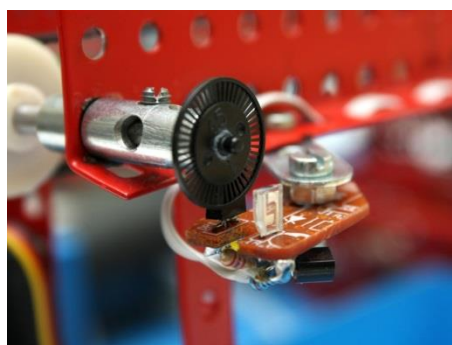
Směrem zleva diody na desce indikují impulsy z optického snímače otáček, stav optozávory na pásu skladače, stav kompresoru a stav koncových spínačů. Pátá LED je napojena na výstup řídicího mikrokontroléru a lze ji využívat k ladění programu. Současná verze programu skladače rozsvěčí tuto diodu, pokud je skladač zaměstnán aktuální kostkou a není připraven přijímat od manipulátoru povel k převzetí kostky nové.

Do rozvodné desky je přiveden šestnáctižilový kabel z řídicí desky SD20AX. Po tomto kabelu je vedeno napájení a také vstupy a výstupy mikrokontroléru. Dále má rozvodná deska konektory pro pojezd skladače, optozávory pásu, optický snímač otáček a plochý kabel pro připojení modulu skladače ke zbytku linky.

Obr. 51 - Optický snímač otáček

4.4.2 Optický snímač otáček

K určení polohy pojezdu portálového skladače používáme snímač otáček vymontovaný ze staré kuličkové myši. Jeho základem je perforované kolečko, které při otáčení střídavě zakrývá a odkrývá optozávory. Na výstupu snímače se proto střídají logická 1 a logická 0. Z hlediska měření není příliš podstatné, která hodnota odpovídá průchozí optozávoře a která zakryté optozávoře, protože nás zajímají pouze změny. Počet



těchto změn odpovídá pootočení kolečka a tím také vzdálenosti, kterou pojezd urazil. Absolutní poloha pojezdu je určena součinností snímače otáček a koncovým spínačem, viz dále.

4.4.3 Koncové spínače

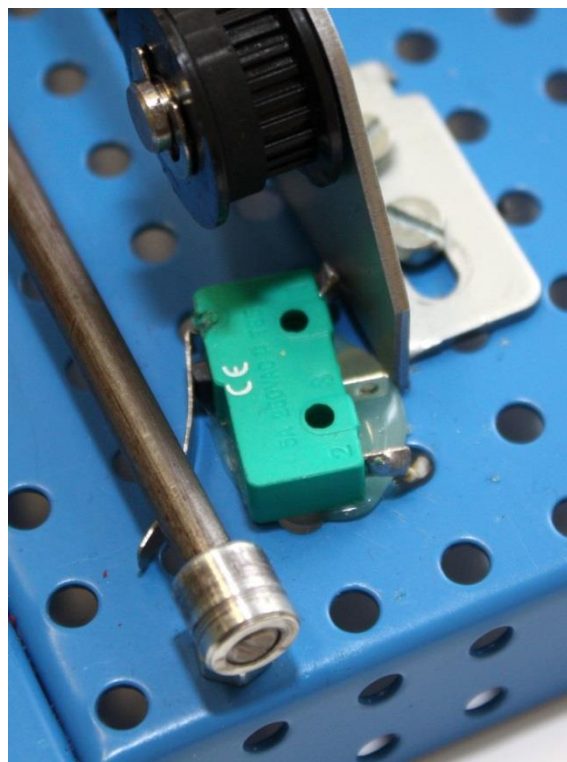
Koncový spínač slouží pro spolehlivou a jednoduchou signalizaci, že se pohyblivý prvek dostal na mez možnosti pohybu. Na lince máme celkem tři koncové spínače. Jeden se nachází na pojezdu portálového skladače a dva v mechanismu vysouvání krabíčky na skladači.

Od koncového spínače pojezdu se odvíjí přesnost skládání kostek do krabíčky. Jemným posunutím spínače po konstrukci skladače lze také rychle doladit nulovou polohu skládání, i pokud uživatel nemá k dispozici PC k přeprogramování řídicí desky.

Koncové spínače výsuvného mechanismu jsou pro nedostatek vstupů řídicího mikrokontroléru zapojeny v sérii a při sepnutí ve skutečnosti rozpojují obvod (chovají se v tomto smyslu jako hradlo typu NAND). Jeden spínač detekuje dojezd krabíčky při výsunu, druhý při návratu vozíku pod skladač. Kvůli sériovému zapojení není možné určit, který ze dvou spínačů byl sepnut, ale při běžném provozu linky nemůže dojít k tomu, že by byly oba sepnuty současně (vozík by musel být vysunutý i zasunutý zároveň).



Obr. 52 - Koncový spínač pojezdu skladače



Obr. 53 - Koncový spínač výjezdu krabíčky

Obsluha musí pouze dbát na to, aby byl vozík při zapnutí linky buď na svém místě pod skladačem, nebo zcela mimo koncové spínače. V opačném případě logika programu chybně vyhodnotí polohu krabíčky jako zasunutou a začne skládat kostky do prázdného místa, kde krabíčku očekává. Na konci výroby by vyjíždějící vozík, který by se už nacházel ve vysunuté pozici, zabíral svým pohonem určitou dobu proti konstrukci a mohl by ji poškodit.

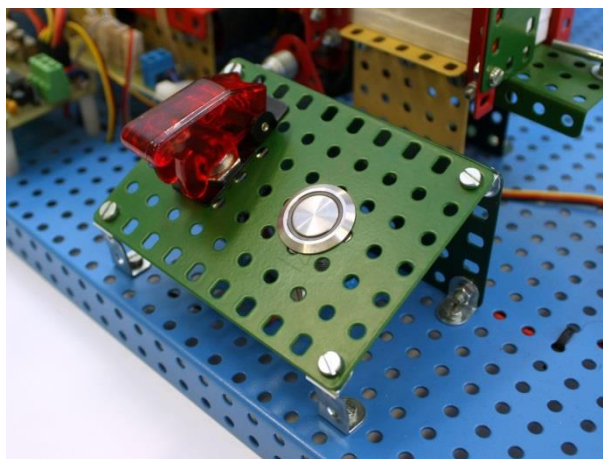
4.5 Tlačítko

K hlavní desce je připojeno jediné tlačítko, kterým lze po resetu a uvedení všech pohyblivých částí na lince do výchozích pozic spustit výrobní cyklus jedné sady kostek. Po úspěšném skončení výrobního

cyklu lze stejným tlačítkem spustit další. Také se jím může znovu spustit výroba pozastavená kvůli chybě na lince.

V současné verzi výrobní linky používáme tlačítko s podsvícením, kterým obsluze indikujeme aktuální stav linky. Pro regulaci jasu podsvícení tlačítka využíváme vestavěný PWM kanál řídicího mikrokontroléru, který nám umožňuje snadno měnit intenzitu svitu podsvětlovací diody. Programově také dokážeme rozšířit režimy podsvícení o různé typy blikání.

Tlačítko je napájeno pěti volty a standardně posílá na vstup mikrokontroléru logickou 0, po stisknutí logickou 1. Podsvětlovací LED je napájena dvanácti volty a řídíme ji samostatným výstupem mikrokontroléru hlavní desky.



Obr. 54 - Startovací tlačítko

4.5.1 Stavby linky

Během výroby se může linka nacházet ve čtyřech různých stavech, které jsou indikovány různým podsvícením startovacího tlačítka. Mezi tyto stavy patří příprava linky po studeném startu (slabé trvalé podsvícení), připravenost k výrobě a výroba (plné trvalé podsvícení), úspěšné skončení výroby (slabě blikající podsvícení) a chyba na lince (jasně blikající podsvícení).

Typ podsvícení	Význam
trvalé slabé	linka se připravuje k práci
trvalé jasné	linka je připravena k práci / pracuje
blikání slabé	linka dokončila výrobní cyklus
blikání jasné	linka je pozastavena kvůli chybě

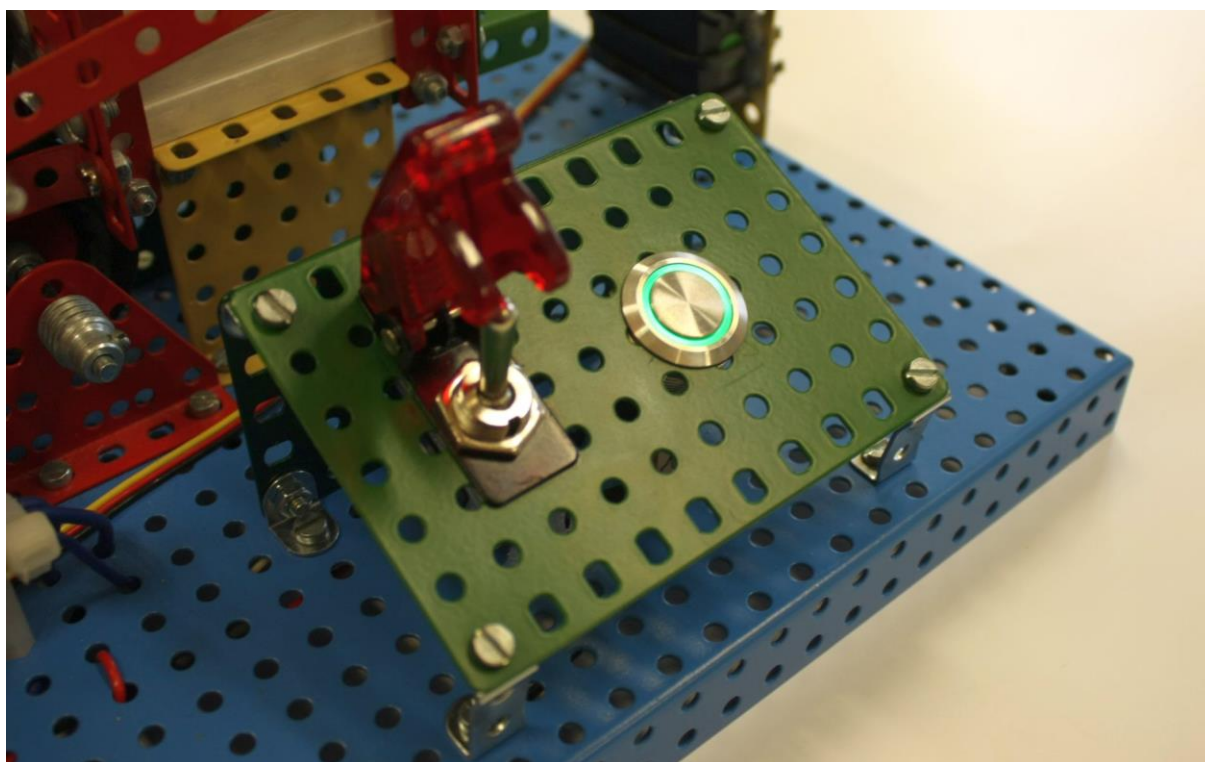
Tab. 9 - Režimy podsvětlení startovacího tlačítka

Příprava linky k práci zahrnuje přesun všech pohyblivých částí do výchozích poloh. Tuto přípravu vykonává každá z řídicích desek samostatně a poté ohlásí příslušným komunikačním signálem svou připravenost nadřazenému bloku. Protože je komunikace kaskádová, může manipulátor ohlásit připravenost, teprve když mu ji nejprve ohlásí portálový skladač, a hlavní deska je ze stejného důvodu připravena teprve ve chvíli, kdy je připraven manipulátor i skladač. Do té doby indikuje slabé podsvícení startovacího tlačítka, že linka funguje, ale není připravena k výrobě. Podle konkrétních poloh jednotlivých částí při zapnutí může tato fáze trvat půl sekundy až několik sekund.

Po skončení přípravné fáze se podsvícení tlačítka rozsvítí naplno a dává tím obsluze na vědomí, že může stiskem tlačítka zahájit výrobu. Tlačítko zůstává podsvíceno naplno i během výroby.

Po skončení kompletního výrobního cyklu (sada kostek domina je naskládána do krabičky a ta je vysunuta z linky, vozík se bez krabičky vrátí pod skladač) je třeba doplnit do zásobníku nové kostky a vyměnit krabičku za prázdnou. Nutnost zásahu obsluhy indikuje slabě blikající podsvícení startovacího tlačítka. Jeho stiskem linka přejde opět do přípravné fáze a poté může začít další výrobní cyklus. To je opět indikováno plným podsvícením tlačítka.

Pokud dojde během výroby k chybě (kostka uváže, vypadne z linky apod.), je toto detekováno překročením limitu čekání hlavní řídicí desky. Ta poté přejde do chybového režimu, který indikujeme jasně blikajícím podsvícením startovacího tlačítka. Po tuto dobu je výroba pozastavena a čeká se na zásah obsluhy. Když jsou chyby odstraněny, může obsluha jedním stiskem startovacího tlačítka na přerušenu výrobu opět navázat.



Obr. 55 - Tlačítko svým podsvícením indikuje stav linky

5 Programy

Každý z mikrokontrolérů PICAXE-18X osazených na řídicích deskách má svůj vlastní program. Tyto programy jsou spolu synchronizovány pomocí obousměrné komunikace našeho vlastního návrhu. Kvůli této synchronizaci jsou také desky resetovány společně centrálním spínačem, který je všechny připojuje k napájení ve stejný okamžik.

Díky tomu, že mikrokontroléry PICAXE obsahují přímo z výroby interpret jazyka BASIC, bylo jejich 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). Toho jsme docílili častým využíváním podprogramů.

Programování probíhalo ve vývojovém prostředí PICAXE Programming Editor poskytovaném zdarma přímo výrobcem čipu, společností Revolution Education. Toto vývojové prostředí umožňuje také kontrolu syntaxe a simulaci zapsaného programu, což jsme často využívali během testování. Dokonce je tu možné sestavovat program pouze za pomoci vývojových diagramů, pro tento způsob zadání jsou však naše programy příliš rozsáhlé.

5.1 Program hlavní desky

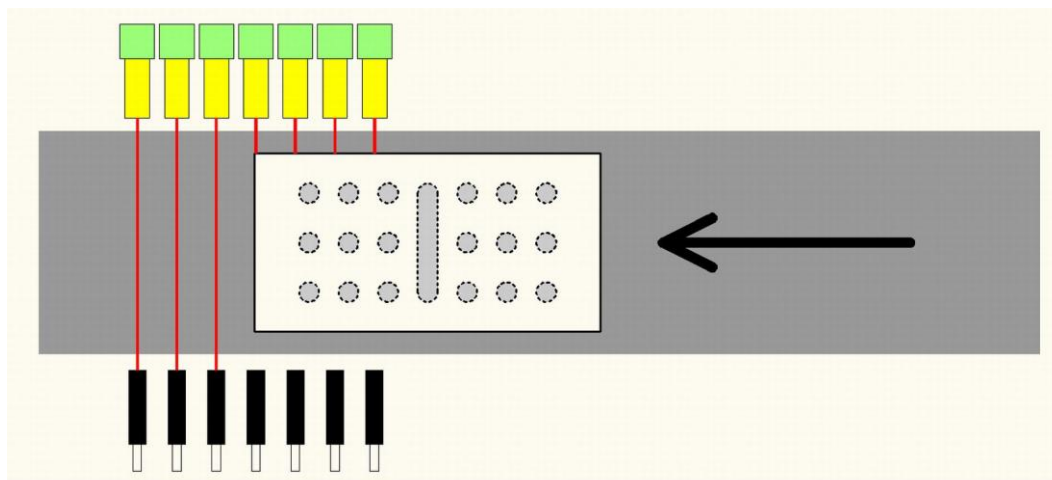
Úkolem programu hlavní desky je zajišťovat správný pohyb kostky ze zásobníku postupně skrze tělo linky, pokreslení kostky popisovačem a poté doprava hotové kostky na konec pásu, kde ji převezme

manipulátor. Program hlavní desky také komunikuje s obsluhou pomocí různých režimů podsvícení startovacího tlačítka.

Činnost programu začíná inicializací řadiče servomotorů, přesunutím všech servomotorů v těle linky do výchozích pozic a odesláním pokynu pro manipulátor připravit se k práci. Během této přípravné fáze používáme vestavěnou možnost generování PWM signálu na výstupu mikrokontroléru, čímž zajišťujeme slabé podsvícení startovacího tlačítka. To upozorňuje obsluhu, že je linka v činnosti, ale není připravena ke spuštění výroby (stisk startovacího tlačítka linka ignoruje). Poté se přenastavením parametrů PWM výstupu rozsvítí podsvícení startovacího tlačítka naplno a spustí se čekací smyčka, která čeká, až obsluha tlačítko stiskne.

Po zachycení startovacího signálu následuje v hlavním programu sekvence, ve které jsou jednoduchým algoritmem zadány kombinace teček, které se mají na kostky nakreslit. Protože jsou tyto kombinace dopředu známé, lze takto generovat celou sadu kostek. Samotné zpracování každé z kostek je řešeno podprogramem. Po skončení hlavní sekvence program vypne servomotory na lince a odešle manipulátoru pokyn k vypnutí. Střídavým programovým zhasínáním podsvícení tlačítka a jeho rozsvěcením v PWM režimu na slabý jas detekujeme úspěšně skončený výrobní proces. Obsluha může nyní stiskem startovacího tlačítka program hlavní desky zacyklit a uvést tím linku opět do přípravné fáze. Poté druhým stisknutím rozběhne výrobu další sady kostek.

Podprogram pro tvorbu jednotlivé kostky nejprve manipuluje se servomotory tak, aby dostal kostku ze zásobníku na pásový dopravník. 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 řádek potisku kostky, pás je znovu spuštěn a pokračuje se k další optozávore.



Obr. 56 - Schematické znázornění průjezdu kostky optozávorami

Celkem se kostka na své cestě skrz část s optozávorami 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 konkrétní 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. V případě, že se čeká na manipulátor příliš dlouho, detekuje se to jako problém při výrobě a program přejde do chybového režimu.

Kódování kombinace teček na kostce používáme dvojí – jedno pro zadávání programátorem a jedno pro vykonávání popisovačem. Při zadávání vzoru kostky v programu se dbá na snadnou čitelnost člověkem, potisk kostky je proto určen jednoduše dvouciferným číslem, kde první cifra znamená počet

teček na první polovině kostky a druhá cifra počet teček na druhé polovině kostky. To dovoluje snadné úpravy programu během ladění, kdy si můžeme vytisknout libovolnou verzi kostky.

Druhé kódování je určeno pro snadné kreslení popisovače a pracuje vždy pouze s polovinou kostky, kterou dělíme na tři řádky. Na každém řádku se mohou nacházet až tři tečky vedle sebe. Malý podprogram izoluje ze zadaného vzoru kostky jednotlivé cifry původního zadání a podle pravidel domina z nich určuje konkrétní geometrické uspořádání teček. Protože na jednom řádku se nacházejí vždy nejvýše tři tečky, stačí k jeho zakódování dva bity. K zakódování poloviny kostky se třemi řádky tak využíváme (neúplný) 8-bitový registr.

Půlicí čára na kostce se kreslí samostatně a protože se nachází vždy na stejném místě a vypadá vždy stejně, není třeba ji nijak speciálně kódovat.

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. 10 - Vnitřní kódování kombinace teček pro jednu polovinu kostky

Po zakreslení všech sedmi řádků je kostka dopravena až na konec pásu a po zprůchodnění všech optozávor je odeslán pokyn manipulátoru k uchopení kostky a jejímu přenosu z pásu pryč. Hlavní program pak začíná práci na další kostce ze seznamu.

5.2 Program desky manipulátoru

Program řídící manipulátor má na starost jednak komunikaci s programy hlavní řídící desky a desky skladače, především ale udílí příkazy servomotorům samotného ramene manipulátoru.

Základní naprogramované pohyby ramene jsou:

- 1) rozložení manipulátoru (manipulátor se zvedne ze základní do pohotovostní polohy),
- 2) přesunutí manipulátoru na konec pásového dopravníku, kde čeká na kostku,
- 3) zvednutí kostky z pásu a její přesun nad násypník, upuštění kostky,
- 4) návrat manipulátoru zpět do pohotovostní polohy,
- 5) složení manipulátoru po skončení práce zpět do základní polohy.

Jak je vidět, naprogramované jsou pouze ty pohyby, ke kterým během standardní práce linky skutečně dochází. Důležité je spouštět jednotlivé pohyby ve správném pořadí. Jelikož manipulátor nemá žádnou zpětnou vazbu, pomocí které by zjistil, jak jsou právě jednotlivé servomotory natočeny, mohl by pokyn k pohybu zadaný ve špatnou chvíli způsobit rozsáhlé poškození ramene manipulátoru i zbytku linky. Program proto při nevhodně zadaném pohybu přejde do chybového stavu, ukončí se a manipulátor zůstane stát v poloze, kterou měl předtím. Vzhledem k tomu, jak je napsán program hlavní desky, taková situace ani nemůže nastat. I tak jsme ale pro jistotu namontovali nad lasery hlavního pásu krycí desku.

Na začátku programu manipulátoru nejprve nastavíme parametry rozšířeného módu řadiče servomotorů SD20, kde určíme střihu a periodu řídicích pulzů 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).

Potom 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 polohy programem definované. Servomotory se rovnají do svých základních poloh směrem od čelistí k základně ramene, aby se minimalizovalo nebezpečí poškození linky či zranění obsluhy při zapnutí s nesloženým manipulátorem.

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 - dva vodiče jsou datové (umožňují proto přijmout čtyři různé povely) a jeden 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. 11 - Kódování povelů pro manipulátor

Přes datové vodiče přijímáme dvoubitové číslo vysílané z hlavní desky a stanovující novou polohu manipulátoru. Program je navržen tak, že se někdy manipulátor dokáže 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 definovaná prvním samostatným pohybem, jak bylo uvedeno výše. Manipulátor si od té chvíle svoji aktuální polohu uchovává jako hodnotu v registru a pracuje v tomto smyslu jako stavový automat.

Manipulátor pomocí jednoho komunikačního vodiče neustále signalizuje hlavní desce, zda je či není připraven ke zpracování nového povelu. Během vykonávání jednotlivých pohybů je „nepřipraven“, ve fázi cyklického čekání na nový pokyn je „připraven“. Tím zajišťujeme synchronizaci obou programů a tedy i těchto částí linky.

S návratem do pohotovostní polohy po předchozím upuštění kostky do násypníku manipulátor předává povel portálovému skladači, aby převzal novou kostku a uložil ji do krabičky. Stejně jako při komunikaci se základní deskou program manipulátoru nejdříve kontroluje, zda je skladač připraven povel přijmout, a v případě potřeby na něj čeká. Teprve po odeslání povelu sám ohlásí hlavní desce, že je připraven od ní přijímat nové povely. Kaskádovou komunikací tak můžeme způsobit pozastavení práce na hlavním pásu, když program hlavní desky čeká, až bude manipulátor připraven, a ten zase čeká, až bude připraven skladač.

Programově jsme řešili také zpomalení pohybů manipulátoru, protože při maximální rychlosti hrozilo riziko destrukce převodů v servomotorech, práce manipulátoru byla celkově málo „elegantní“ a chvílemi i nebezpečná pro obsluhu. Zpomalení je řešeno pohybem po malých krocích, každý kompletní pohyb je tvořen cyklickým inkrementováním poloh jednotlivých 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.

5.3 Program desky portálového skladače

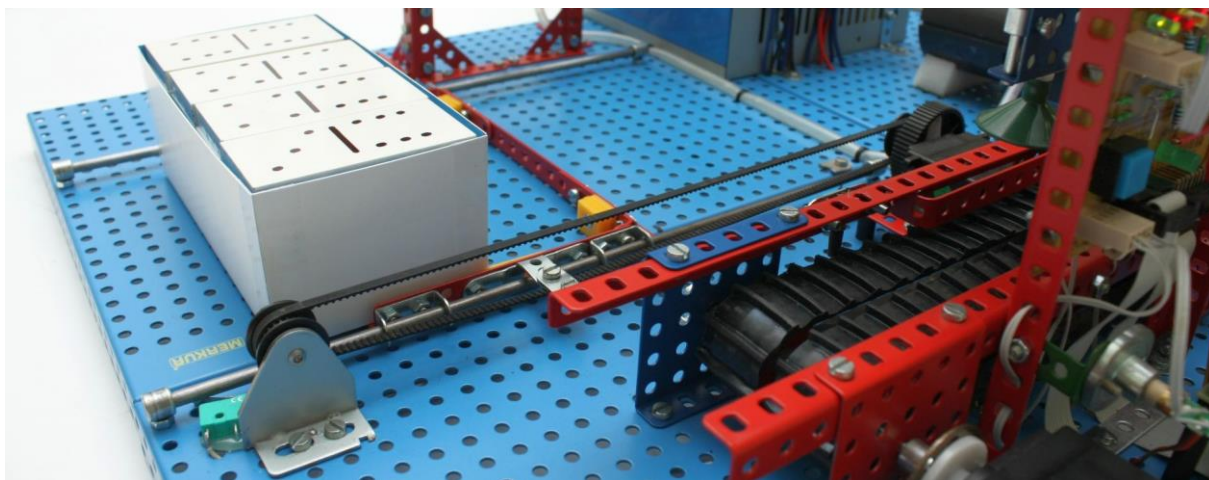
Program desky skladače je nejjednodušší a nejkratší. Po úvodní inicializaci řadiče servomotorů skladač přesune všechny svoje části do výchozích pozic a oznámí manipulátoru svoji připravenost přijímat kostky. Po přijetí povelu zapne pásový dopravník, který s kostkou dojede až k optozávoře, pak spustí rameno s přísavkou, zapne kompresor a přísátou kostku přesune do krabičky.

Celkem ukládáme kostky do čtyř různých sloupců a sedmi výškových hladin. Výšku uložení určuje natočení servomotoru s ramenem, vzdálenost v ose X je určena počtem změn na perforovaném kolečku, které je součástí optického snímače otáček. Při měření těchto změn cyklicky čekáme na změnu mezi logickou 1 a logickou 0 na snímači a každou změnu si započteme. Počet změn je úměrný ujeté vzdálenosti.

Protože je toto měření velmi přesné, dostáváme se na hodnoty přes 255, takže je nelze uložit do obyčejných 8-bitových registrů mikrokontroléru. Používáme proto vestavěný 16-bitový čítač vzniklý spojením dvou registrů. Správné hodnoty pro ujetou vzdálenost a výšku ramene jsme zjistili opakovaným testováním a lze je v případě potřeby měnit na začátku programu skladače, kde jsou definované jako programové konstanty.

Při skládání kostek do prvního a druhého sloupce využíváme rezervu v podélném směru uložení, aby kostky nemohly zavadit o okraj krabičky nebo o sebe navzájem. Kostkou ve třetím sloupci pak ještě před vypnutím kompresoru pohneme mírně nazpět, aby zatlačila na první a druhou kostku. Tím mezery mezi prvními třemi kostkami opět odstraníme a kostku ve čtvrtém sloupci už skládáme na přesnou pozici. Díky tomuto zarovnávání může být krabička vyrobená kostkám na míru a v plné krabičce se kostky citelně nepřesypají.

Poté, co je do krabičky naskládáno všech 28 kostek, je potřeba krabičku vysunout z linky ven. Spustí se proto servomotor připojený k ozubenému řemínku a po krátkém čekání nutném ke sjetí vozíku s krabičkou z koncového spínače začneme cyklicky detekovat stisk koncového spínače na druhé straně. Spínače jsou zapojeny v sérii, takže se z hlediska programu jedná o stejný vstup. Po stisku koncového spínače zbývá vysunout zářezky, které podrží krabičku na místě, a rozjet vozík zpět. Stejně jako na začátku výsuvné fáze čekáme nejdříve pevně zadanou dobu na sjetí vozíku z koncového spínače a potom naopak na opětovné sepnutí spínače (nyní v pozici pod skladačem). Na závěr zasuneme zářezku zpátky pod základnu linky a program skladače zacyklíme, aby byl připraven pro další výrobní cyklus.



Obr. 57 - Vozík se vrací po vysunutí krabičky z linky

Závěr

V úvodu jsme si stanovili za cíl postavit výrobní linku, která bude samostatně pokreslovat připravené polotovary dominových kostek a poté je skládat do krabičky, čímž vznikne finální výrobek - sada domina. Chtěli jsme využít a dále rozšířit svoje zkušenosti na poli elektrotechniky, strojírenství a programování, chtěli jsme na lince aplikovat co nejvíce běžných průmyslových postupů a chtěli jsme linku postavit za použití běžně dostupných součástek.

Ve finále můžeme s hrdostí prohlásit, že se nám tento úkol podařilo 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, kterou naskládá do krabičky a tu vysune z linky. Jediné, co musí lidská obsluha udělat, je naplnit zásobník novými kostkami, vyměnit krabičku za prázdnou a stiskem tlačítka spustit výrobu další sady. Vyrobit jednu sadu trvá přibližně šest a tři čtvrtě minuty, což je více než 30% zrychlení proti ložské verzi linky, která modul s krabičkou vůbec neobsahovala.

Linka je nyní proti své původní verzi více odolná proti chybám při výrobě a také mechanicky je spolehlivější. Jednotlivé funkční bloky jsou navzájem programově synchronizované, takže v případě poruchy na kterémkoli z nich je celá výroba pozastavena a může být znovu spuštěna, jakmile obsluha závadu odstraní. Jednotlivé řídicí programy jsou nově přepsány pro zvýšení efektivity kódu a snadnější úpravy při ladění. Na lince také přibyly různé indikační prvky užitečné pro testování i při běžné výrobě.

Věnovali jsme se rovněž vylepšení vzhledu linky, což je vidět na nově nalakovaném napájecím zdroji a přepracovaném panelu pro obsluhu, který nyní obsahuje centrální spínač s plastovou krytkou pro větší bezpečnost při manipulaci a startovací tlačítko s podsvícením, které zároveň indikuje obsluhu stav linky.

Největší slabinou naší linky je asi zmíněná nutnost po každém výrobním cyklu doplňovat nové kostky do zásobníku a novou krabičku do skladače. Souvisí s tím i potřeba mít stále zásobu čistých kostek k potišťění (kostky samotné linka nevyrábí, pouze potiskuje) a prázdných krabiček (vyráběných ručně). Pro demonstrační účely nám jedna až dvě sady obojího postačí, při výrobě většího rozsahu bychom však museli řešit cenu výsledného výrobku tak, abychom pokryli alespoň náklady na materiál kostek a práci na výrobu krabiček.

I pokud pomineme toto praktické omezení, výrobní linka není ani v současné podobě z našeho pohledu dokonalá. Mezi další věci, které bychom rádi přidali, patří například možnost pozastavení celé výroby stiskem tlačítka, zvuková signalizace při dokončení výroby nebo závadě na lince, výměna lihového fixu za spolehlivější typ popisovače atd. Tento seznam nedodělků pokračuje do nekonečna, protože stále přicházíme s novými nápady, co na lince upravit nebo vylepšit.

Jako u každého projektu je však třeba myslet také na termín odevzdání. Ač neradi, musíme proto nyní naši výrobní linku alespoň na čas opustit. Ještě že máme v hlavě tolik dalších projektů, na kterých teď můžeme začít pracovat.

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
- [5] Revolution Education Ltd., PICAXE Manual Section 2,
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

Seznam obrázků

Obr. 1 - Výrobní linka pro kostky domina.....	5
Obr. 2 - Příklad mechatronického zařízení, průmyslový robot (Wikipedia)	6
Obr. 3 - Sada dominových kostek, vzor (Wikipedia) a finální výrobek	7
Obr. 4 - Nový modul linky při práci.....	8
Obr. 5 - Celkový pohled na výrobní linku	9
Obr. 6 - Zásobník na kostky	10
Obr. 7 - Vzhled kostky.....	10
Obr. 8 - Vyhazovací páka	11
Obr. 9 - Podávací kolečka při práci	12
Obr. 10 - Křížové klouby podávacích koleček	12
Obr. 11 - Tělo linky.....	13
Obr. 12 - Pojezd popisovače	14
Obr. 13 - Popisovač otevřený Obr. 14 - Popisovač zavřený.....	15
Obr. 15 - Balení manipulátoru BETA.....	16
Obr. 16 - Upravená verze manipulátoru.....	17
Obr. 17 - Portálový skladač.....	18
Obr. 18 - Násypník na kostky	19
Obr. 19 - Přejechod mezi pásy dopravníku	19
Obr. 20 - Pojezd portálového skladače.....	20
Obr. 21 - Kompresor	21
Obr. 22 - Vozík výjezdu krabičky.....	22
Obr. 23 - Krabička na kostky	22
Obr. 24 - Analogový servomotor upravený pro kontinuální chod.....	23
Obr. 25 - Digitální servomotory	24
Obr. 26 - Servomotory manipulátoru	25
Obr. 27 - Blokové schéma napájení linky	26
Obr. 28 - Původní napájecí zdroj	27
Obr. 29 - Upravený napájecí zdroj.....	28
Obr. 30 - Napájení laserů a jejich chlazení	29
Obr. 31 - Chlazení laserů.....	30
Obr. 32 - Odlesky paprsků optozávor na kostce.....	30
Obr. 33 - Napájení manipulátoru.....	31
Obr. 34 - Panel s centrálním spínačem.....	31
Obr. 35 - Blokové schéma řízení linky.....	32
Obr. 36 - Řídící elektronika těla linky.....	32
Obr. 37 - Jedna z řídicích desek SD20AX.....	33
Obr. 38 - Rozmístění pinů mikrokontroléru PICAXE-18X.....	33
Obr. 39 - Řadič SD20.....	35
Obr. 40 - Propojení řídicích desek	36
Obr. 41 - Deska s lasery	37
Obr. 42 - Deska se snímači.....	38
Obr. 43 - Dekodér	38
Obr. 44 - Časové průběhy signálů Obr. 45 - Minimalizace funkce B	39
Obr. 46 - Realizace nejjednodušší ze tří funkcí dekodéru	40

Obr. 47 - Deska dekodéru.....	40
Obr. 48 - Informační displej Obr. 49 - Displej při práci.....	41
Obr. 50 - Elektrorozvodná deska skladače	42
Obr. 51 - Optický snímač otáček	42
Obr. 52 - Koncový spínač pojezdu skladače Obr. 53 - Koncový spínač výjezdu krabíčky	43
Obr. 54 - Startovací tlačítko.....	44
Obr. 55 - Tlačítko svým podsvícením indikuje stav linky	45
Obr. 56 - Schematické znázornění průjezdu kostky optozávorami	46
Obr. 57 - Vozík se vrací po vysunutí krabíčky z linky	49

Seznam tabulek

Tab. 1 - Parametry servomotorů těla linky	24
Tab. 2 - Parametry servomotorů manipulátoru	25
Tab. 3 - Parametry servomotorů portálového skladače	26
Tab. 4 - Parametry původního zdroje	27
Tab. 5 - Parametry upraveného zdroje	28
Tab. 6 - Parametry mikrokontroléru PICAXE-18X	34
Tab. 7 - Parametry řadiče servomotorů SD20	35
Tab. 8 - Komunikace řídicích desek	36
Tab. 9 - Režimy podsvětlení startovacího tlačítka	44
Tab. 10 - Vnitřní kódování kombinace teček pro jednu polovinu kostky	47
Tab. 11 - Kódování povelů pro manipulátor	48