

UNIVERZITA PARDUBICE

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Mikroprocesorově řízená harvestorová hlavice

Bc. Marek Veselý

Diplomová práce

2022

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Marek Veselý**
Osobní číslo: **I19314**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a řídicí technologie**
Téma práce: **Mikroprocesorově řízená harvesterová hlavice.**
Zadávající katedra: **Katedra elektrotechniky**

Zásady pro vypracování

Vytvořte procesorovou jednotku řízení harvesterové hlavice. Řídicí jednotka umožní ovládat hlavici prostřednictvím pultu operátora s joystickem. Vyřešte systém spínání solenoidů pro ovládání hydraulických prvků. Řídicí jednotku doplňte displejem pro vizualizaci nastavených parametrů pro obsluhu stroje. V první části práce proveďte rešerši existujících komerčních řešení a porovnejte jejich vlastnosti. Implementujte základní bezpečnostní prvky pro omezení poškození stroje.

Rozsah pracovní zprávy: **30-40**
Rozsah grafických prací: **10**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

Literatura

- [1] Matoušek D., Práce s mikrokontroléry Atmel AVR, BEN technická literatura, Praha 2006, ISBN: 80-7300-209-4
- [2] RaCleave, Active Bandsaw Control, PhD thesis, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand. 12 October 2001
- [3] Joseph Yiu., The Definitive Guide to the ARM Cortex-M3 (Embedded Technology) 1st Edition, ISBN-13: 978-0750685344
- [4] Herout Pavel., Učebnice jazyka C – 1. díl, Kopp, ISBN-13: 978-80-7232-383-8

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Dobrovolný, Ph.D.**
Katedra elektrotechniky

Datum zadání diplomové práce: **8. listopadu 2021**
Termín odevzdání diplomové práce: **20. května 2022**

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

Ing. Jan Pidanič, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 19. listopadu 2021

Prohlášení autora

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 20. 5. 2022

Bc. Marek Veselý

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Ing. Martinu Dobrovolnému, Ph.D., za cenné rady při návrhu a realizaci celého projektu.

Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu při mém studiu.

Anotace

Práce se zabývá návrhem, výrobou a testováním řídicí jednotky harvestorové hlavice. V úvodní části práce jsou porovnány řídicí jednotky dostupné na trhu. V další části je rozebrán postup řízení. Praktická část se zabývá návrhem jednotlivých bloků, volbou hlavních komponent a vytvořením softwaru. Na konci práce je část o přizpůsobení a ladění v provozu.

Klíčová slova

Řídicí jednotka, harvestorová hlavice, mikroprocesor, ATmega128A, LCD displej, měnič napětí, joystick, klávesnice, enkodér, spínání solenoidových ventilů

Title

Harvester Head Control System

Annotation

This thesis contains the design, development, and testing of a control unit of a forest harvester head. Firstly, various commercially available harvester heads are compared. In the next section, the controlling mechanism is described. The practical part consists of the designs of individual parts of the head, the description of the main components, and the implementation of software for the controller. The final part describes optimizations and adjustments done while the harvester head was in use.

Keywords

Control unit, forest harvester head, microprocessor, ATmega128A, LCD display, voltage converter, joystick, keyboard, encoder, switching solenoid valves

Obsah

Seznam zkratk	8
Seznam obrázků	9
Úvod	10
1 Harvestorová hlavice	12
2 Analýza řídicích jednotek dostupných na trhu	12
2.1 Řídicí a informační systém firmy Komatsu Forest.....	13
2.2 Řídicí systém firmy Technion Ltd.....	13
3 Návrh vlastního řešení	15
3.1 Elektromagnetický solenoidový ventil	15
3.1.1 Přímou ovládané ventily	16
3.1.2 Nepřímou ovládané ventily	16
3.2 Hydromotory	17
3.2.1 Rotační hydromotory	17
3.2.2 Přímoučaré hydromotory	18
3.3 Spínání indukčních zátěží	19
3.3.1 Spínání pomocí relé	19
3.3.2 Spínání pomocí bipolárního tranzistoru	20
3.3.3 Spínání pomocí tranzistoru MOSFET	20
3.4 Enkodér.....	20
3.5 LCD displej	21
4 Návrh systému řízení harvestorové hlavice	22
4.1 Konečná architektura systému.....	23
4.1.1 Spínání solenoidových ventilů	23
4.1.2 Vstupy z enkodérů, senzoru a joysticku	24
4.2 Zvolené komponenty	24
4.2.1 Měnič napětí 12V/24V	24
4.2.2 Mikroprocesor ATmega128A.....	25
4.2.3 MOSFET tranzistor IRFU6215PBF	25
4.2.4 Optočlen PC817X1NSZ1B	26
4.2.5 Znakový LCD displej	26
4.2.6 Membránová klávesnice QW-01	27

4.3 Návrh schéma a DPS	27
4.4 Software.....	29
4.5 Optimalizace a první aplikace	34
Závěr	38
Literatura	39
Příloha A – Schémata.....	42
Příloha B – Osazovací plán.....	46
Příloha C – Fotografie.....	47

Seznam zkratek

GPS	Global Positioning System
USB	Universal Serial Bus
GPRS	General Packet Radio Service
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
CDMA	Code Division Multiple Access
WLAN	Wireless Local-area Network
SSD	Solid-state drive
CAN	Controller Area Network
LCD	Liquid Crystal Display
I ² C	Inter-Integrated Circuit
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
GND	Ground
LED	Light-Emitting Diode
SMD	Surface Mount Device
RISC	Reduced Instruction Set Computer
SRAM	Static Random Access Memory
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
ISP	In-System Programming
USART	Universal Synchronous / Asynchronous Receiver and Transmitter

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Harvestorová hlavice (upraveno); 1. Nepohyblivý odvětovací nůž, 2. Přední pohyblivé odvětovací nože, 3. Podávací válce, 4. Zadní pohyblivé odvětovací nože, 5. Řetězová pila, 6. Měření délky, 7. Měření průměru [1]	12
Obrázek 2 – Řídící jednotka MaxiXT [3].....	13
Obrázek 3 – Schéma řídicí jednotky Ilogger; 1. Displej, 2. Modul rozhraní, 3. Řídící jednotka hlavice, 4. Přídavný modul jeřábu [4].....	14
Obrázek 4 – Blokové schéma řídicí jednotky.....	15
Obrázek 5 – Přímou ovládaný ventil (upraveno); 1. Tělo ventilu, 2. Jádru, 3. Pružina, 4. Cívka [5].....	16
Obrázek 6 – Nepřímou ovládaný ventil (upraveno); 1. Tělo ventilu, 2. Jádru, 3. Pružina, 4. Cívka, 5. Membrána, 6. Pilotní otvor [5].....	16
Obrázek 7 – Zubové hydromotory; a) S vnějším ozubením, b) S vnitřním ozubením, c) S orbitálním pohybem, d) Vřetenové [7].....	18
Obrázek 8 – Lamelový hydromotor (upraveno) [7]	18
Obrázek 9 – Schémata jednostranných přímočarých hydromotorů (upraveno); a) Jednočinný s pružinou, b) Jednostranný bez pružiny, c) Dvojčinný [8]	19
Obrázek 10 – Zapojení proti přepětí vyvolané indukční zátěží [9]	19
Obrázek 11 – Schématická značka bipolárních tranzistorů.....	20
Obrázek 12 – Schématická značka MOSFET tranzistorů s diodou.....	20
Obrázek 13 – Signál z enkodéru s jedním výstupem [12].....	21
Obrázek 14 – Signál z enkodéru se dvěma výstupy [12]	21
Obrázek 15 – Stav krystalů v propustném a nepropustném natočení [14]	22
Obrázek 16 – Blokové schéma hydraulického obvodu harvestorové hlavice [15]	23
Obrázek 17 – Blokové schéma pro spínání solenoidových ventilů.....	23
Obrázek 18 – Blokové schéma vstupů ze senzoru	24
Obrázek 19 – Měnič napětí Carspa SUT1224-10A [16]	25
Obrázek 20 – Mikroprocesor ATmega128A [17]	25
Obrázek 21 – MOSFET tranzistor IRFU6215PBF [18].....	26
Obrázek 22 – Optočlen PC817X1NSZ1B [20]	26
Obrázek 23 – Znakový LCD displej s I ² C sběrníci [21].....	27
Obrázek 24 – Membránová klávesnice [22].....	27
Obrázek 25 – Blok výstupu pro spínání solenoidových ventilů.....	28
Obrázek 26 – Blok vstupů z enkodérů, senzorů a joysticku.....	28
Obrázek 27 – Vývojový diagram hlavní programové smyčky.....	30
Obrázek 28 – Výchozí zobrazení na displeji	32
Obrázek 29 – Režim nastavení	33
Obrázek 30 – Nastavení konkrétního parametru	33
Obrázek 31 – Tlakový ventil spolu s pomocným solenoidovým ventilem	35

Úvod

Tato práce se zabývá návrhem a výrobou řídicí jednotky, která má obsluhovat harvestorovou hlavici. Téma jsem si vybral z důvodu pořízení hlavice ze staršího harvestoru, kterou si zakoupil můj známý a potřeboval tuto hlavici zprovoznit. Hlavice sama o sobě ovšem řídicí jednotku nemá a běžně ji obsluhuje řídicí jednotka v kabině, která nebyla součástí.

Na trhu je možné pořídit řídicí jednotky od různých výrobců, které by dokázaly obsluhovat hlavici, ale bohužel mají spoustu funkcí, které jsou určené pro jiný typ užití nebo jsou určeny přímo pro harvestor. Ve funkci, v které bude hlavice pracovat tyto činnosti nevyužiji. Jsou to různé sběrnicové kombinace řídicích jednotek, které s obsluhou harvestorové hlavice mohou spolupracovat nebo funkce pro řízení samotného jeřábu, které na harvestoru hlavici nosí. Tyto funkce navyšují pořizovací cenu, a navíc většinou potřebují doplňkové řídicí jednotky na regulaci tlaku atd.

Další požadavkem bylo co nejjednodušší řízení. V harvestoru jsou různé funkce podle zpracovávaných druhů dřevin. To značně komplikuje nastavení. Tyto funkce jsou přínosem pro užití v náročných podmínkách, kdy se zpracovávané dřeviny mění během těžby. To ovšem ve funkci podle majitele harvestorové hlavice není třeba, protože lesy, kde bude těžit, jsou maximálně dva druhy dřevin.

V tomto případě bude harvestorová hlavice umístěna na vyvážecím voze ve vodorovné poloze oproti původnímu harvestoru, kde je hlavice ve vertikální poloze. Tím vznikne víceúčelové zařízení, které nebude tak specifické pro konkrétní práci a nalezne tím větší využití. Je nutné podotknout že toto řešení je značně ojedinělé a požaduje přizpůsobení samotného ovládání hlavice. Pro zjištění možných problémů při vytváření řídicí jednotky se práce nejdříve zabývá analýzou řídicích jednotek na trhu a zhodnocením potřebných funkcí. Následuje návrh samotné řídicí jednotky vytvořením schématu, návrhem desky plošného spoje, vytvořením prototypu, naprogramováním, laděním a kalibrací celé jednotky.

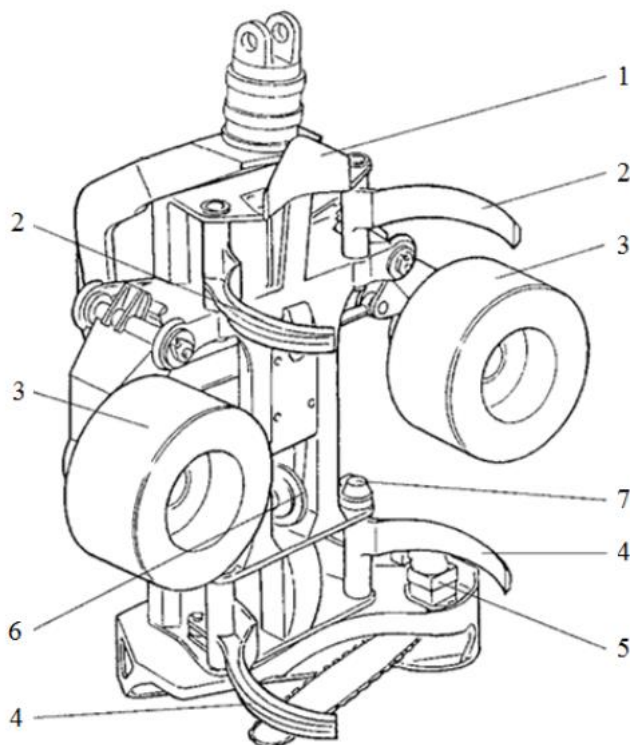
Požadavkem od majitele bylo vytvoření řídicí jednotky, která bude usazená v odolné krabici, na které budou pomocí displeje vizualizované potřebné parametry. Na této krabici bude umístěna klávesnice pro nastavení potřebných parametrů a spínače pro ovládání méně používaných funkcí. Celá tato jednotka bude připojena pomocí konektoru k napětí běžně vyskytujícím se v traktorech, což je 12V. K této jednotce bude napevno připojen pomocí kabelu joystick se 6 polohami. Na joysticku budou hlavní funkce pro ovládání. Tyto funkce jsou zjednodušeny pro snadnou obsluhu. U krabice řídicí jednotky bude konektor k harvestorové hlavici. Tento konektor bude pouze jeden z důvodu snadného připojování a zároveň ochrana proti záměně jednotlivých konektorů. Od tohoto konektoru budou vést vodiče o délce 10m v chránící hadici přímo k ventilům, sensorům a enkodérům. Tento požadavek je kvůli minimalizaci elektroniky, která po odpojení bude zůstat na harvestorové hlavici. Harvestorová hlavice bude uchovávána venku, takže vlhkost by mohla elektroniku poškodit. Řídicí jednotka s veškerou elektronikou bude uschovávána v příznivějších podmínkách.

Krabice i joystick budou mít vlastní držáky pro upevnění v traktoru. Takže po jednoduchém uvolnění držáku a rozpojení konektoru půjde celá krabice s řídicí jednotkou a joystickem uschovat a nebude tím zabírat prostor při využívání traktoru pro jiné účely.

Z požadavků na zpracování dřeva plynou určité parametry, které jsou důležité vizualizovat a počítat. Na displeji musí být možnost zobrazit délku, průměr, zpracovaný objem a možnost nastavení předvoleb délek, na kterých by harvesterová hlavice po aktivaci měla zastavit. Z tohoto požadavku vyplývá další důležitý údaj a to je tolerance nebo přesněji interval, v kterém se délka považuje za správnou. Celkový objem i jednotlivé objemy u předvoleb se musí dát snadno resetovat kvůli požadavkům zákazníků, pro které je dřevo zpracováváno.

1 Harvestorová hlavice

Harvestorová hlavice je hlavní součást harvestoru, což je stroj na těžbu dřeva. Tyto stroje dokáží celý strom zpracovat od podříznutí přes odvětvení až po zakrácení na požadovanou délku.



Obrázek 1 – Harvestorová hlavice (upraveno); 1. Nepohyblivý odvětvovací nůž, 2. Přední pohyblivé odvětvovací nože, 3. Podávací válce, 4. Zadní pohyblivé odvětvovací nože, 5. Řetězová pila, 6. Měření délky, 7. Měření průměru [1]

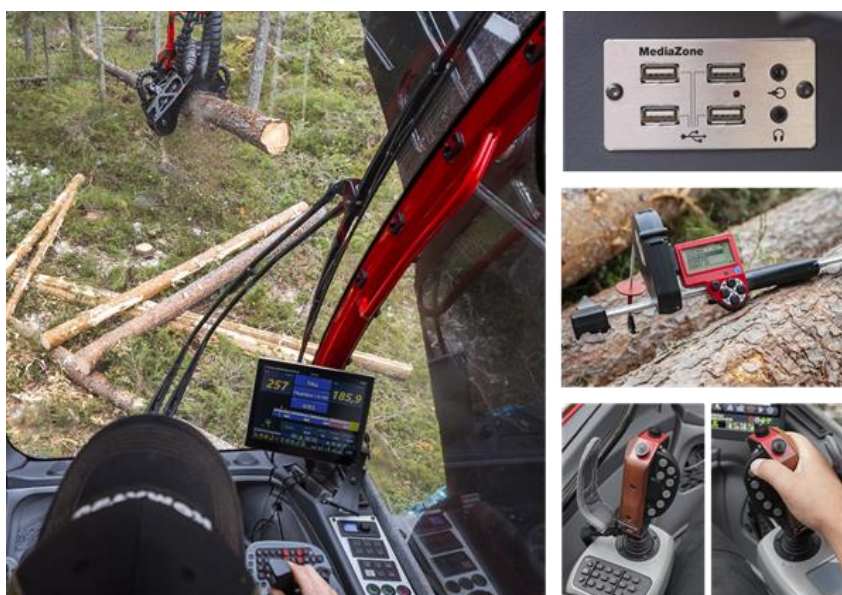
Postup zpracování je následující: Harvestorová hlavice je přisunuta k patě stromu. Odvětvovací nože obejmou kmen. Řetězová pila strom odřízne. Po té strom kontrolovaně padá a přichází se fází odvětvování a pořezání na požadovanou délku. To hlavice provádí pomocí podávacích válců, které protahují kmen odvětvovacími noži. Pomocí kolečka pro měření délky se zastaví na požadované délce a řetězová pila kmen bez větví odřízne. Při odříznutí dochází ke spočítání zpracovaného objemu [2].

2 Analýza řídicích jednotek dostupných na trhu

V dnešní době na trhu existuje spousta firem, které se specializují na výrobu řídicích jednotek k harvestorům a vyvážecím soupravám. Tyto stroje mezi sebou dokáží komunikovat pomocí různých rozhraní. Využívají GPS souřadnice ke sdílení informací o tom, kde se jaký sortiment nachází. Dále je kladen důraz na spolehlivost v náročných podmínkách.

2.1 Řídící a informační systém firmy Komatsu Forest

Tento systém nabízí kompletní řízení pro harvestory. Jsou zde omezeny pohyblivé části kvůli možným otřesům stroje při práci a následné poruše. Proto zdroj napájení jednotky je uzpůsoben tak, aby neobsahoval ventilátor, ale pouze pasivní chlazení. Jednotka disponuje USB portem pro přenos dat, GPRS, EDGE, CDMA450, WLAN, SSD diskem pro rychlé čtení a ukládání dat. Obsahuje 12palcový dotykový displej pro vizualizaci dat a nastavení. Tato jednotka je dodávána se dvěma druhy joysticků pro snadné ovládání při práci. Pomocí displeje operátor nastaví, jaký druh dřeva je zpracováván a podle toho jsou dále nastavené priority jednotlivých sortimentů. Každý sortiment se odvíjí od kvality dřeva a průměru kmene [3].



Obrázek 2 – Řídící jednotka MaxiXT [3]

Jednotka firmy Komatsu Forest je vytvořena pro harvestory. Jsou zde funkce, které při použití drobným zpracovatelem vzhledem nejsou využity, jako jsou například funkce GPRS, EDGE, CDMA450, WLAN. Tyto funkce se hodí spíše pro velké podniky, které potřebují zpracovaný sortiment vizualizovat kvůli většímu počtu strojů pracujících na stejném místě. Dále jsou zde výstupy pro ovládání samotného jeřábu harvestoru, který v řešení není třeba, protože je řešen systémem vyvážecího vozu.

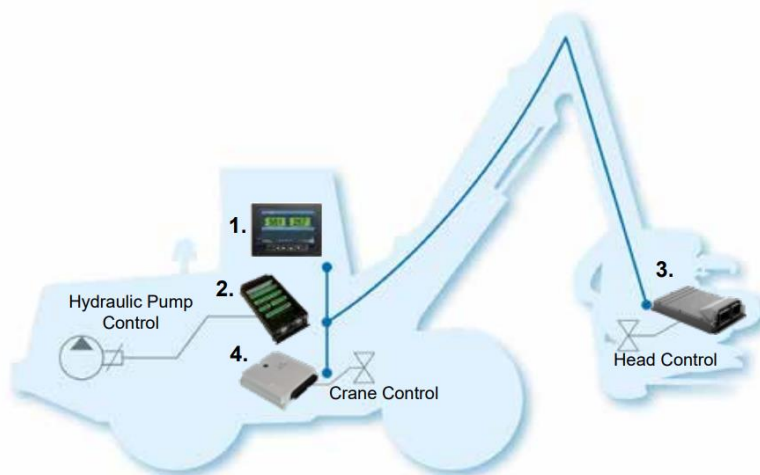
2.2 Řídící systém firmy Technion Ltd.

Firma nabízí 3 varianty řídicích jednotek, které jsou vždy odstupňované podle účelu a možného vybavení. Základní varianta se jmenuje Logger, rozšířená verze je Ilogger a nejvyšší varianta je Xlogger [4].

V základní variantě nabízí 6 přednastavených vybraných druhů dřevin, 160 přednastavených délek ke každému druhu, označování, možnosti více pracovišť atd. Systém je dodáván s 5,7palcovým displejem, USB portem, s CAN sběrnici a 31 PNP vstupně/výstupních pinů.

Hlavní modul má potom 8 digitálních/frekvenčních vstupů, 8 analogových vstupů, 8 digitálních výstupů a 24 proporciálních výstupů [4].

Varianta Ilogger má oproti předchozí verzi navýšený počet druhů dřevin, navýšený počet předvolených délek k jednotlivým druhům, disponuje dodatečnou kalibrací průměru a délky, podporuje přídatnou klávesnici, umožňuje integraci pro ovládání jeřábu, obsluha si může zvolit jazyk prostředí, je kompatibilní s většinou harvestorových hlavic [4].



Obrázek 3 – Schéma řídicí jednotky Ilogger; 1. Displej, 2. Modul rozhraní, 3. Řídicí jednotka hlavice, 4. Přídavný modul jeřábu [4]

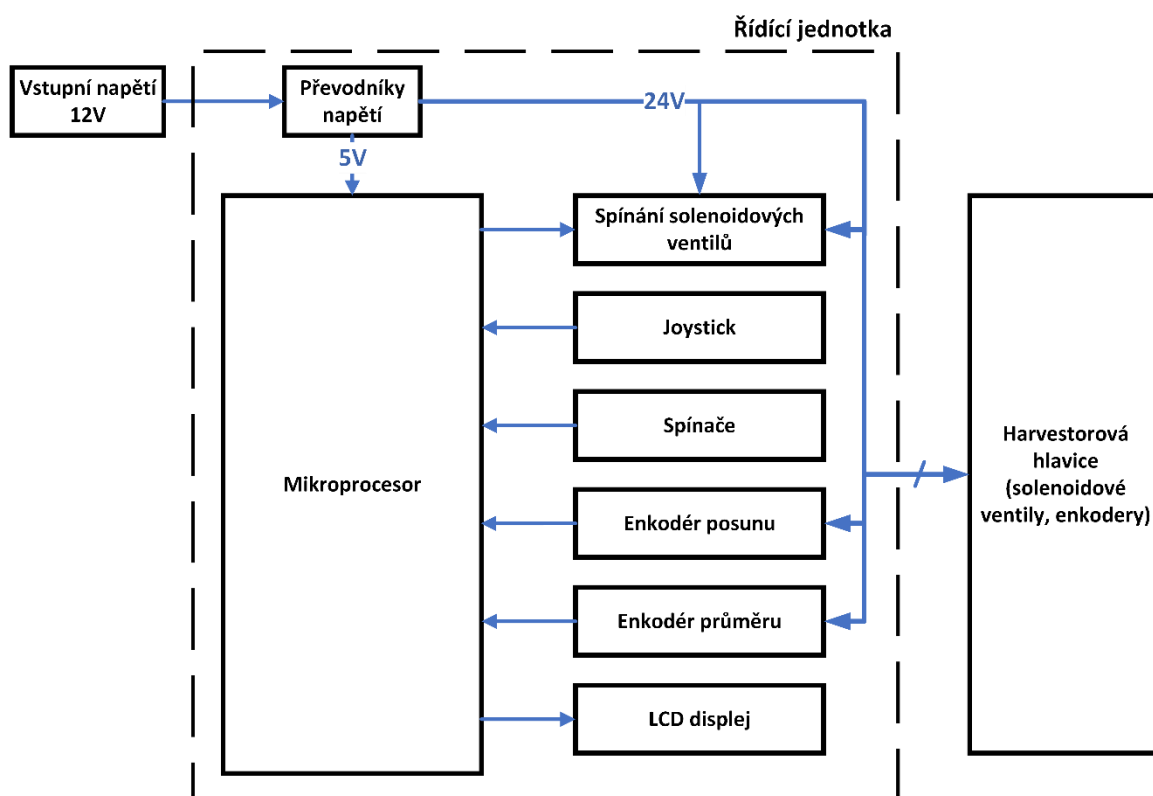
Xlogger firma dodává s 8,4palcovým nebo 12,1palcovým dotykovým displejem. Má všechny funkce předešlých verzí. Navíc disponuje správou a monitoringem. Umožňuje plné řízení stroje a harvestorové hlavice. Kabinový modul nabízí s rozhraním ethernet, 3 CAN sběrnicemi, sériovou komunikací pro tiskárnu a 2 USB porty [4].

Tato jednotka má vzhledem k použití mnoho funkcí, které v tomto řešení nebudou využity. Jsou to podobné funkce jako u firmy Komatsu Forest. Navíc je zde mnohem větší důraz na to, aby tento systém byl využíván v harvestoru. Dále je zde nevýhoda, že celý systém je rozdělený do mnoha bloků, které jsou rozmístěny po celém stroji. To značně znesnadňuje skladování při odpojení hlavice.

3 Návrh vlastního řešení

Řídicí jednotka bude v krabici spolu s měničem napětí. Z této krabice bude přes kabel připojený joystick. Krabice s joystickem bude umístěna v traktoru. Dále z krabice bude vyveden kabel k samotné harvestorové hlavici. Ten bude možno rozpojit v konektoru kvůli manipulaci s jednotkou a harvestorovou hlavici.

Jednotka musí disponovat alespoň 15 výstupy pro spínání solenoidových ventilů, které jsou spínány pomocí napětí 24V. Pro měření délky a průměru jsou na hlavici 2 inkrementální enkodéry, takže musí obsahovat i vstupy pro tyto komponenty. Řízení bude probíhat pomocí joysticku, který má 6 funkcí. Pro zobrazování údajů bude k řídicí jednotce připojen LCD displej, který bude komunikovat po sběrnici I²C. Následující blokové schéma (Obrázek 4) ukazuje, jak budou jednotlivé funkční celky komunikovat s mikroprocesorem.

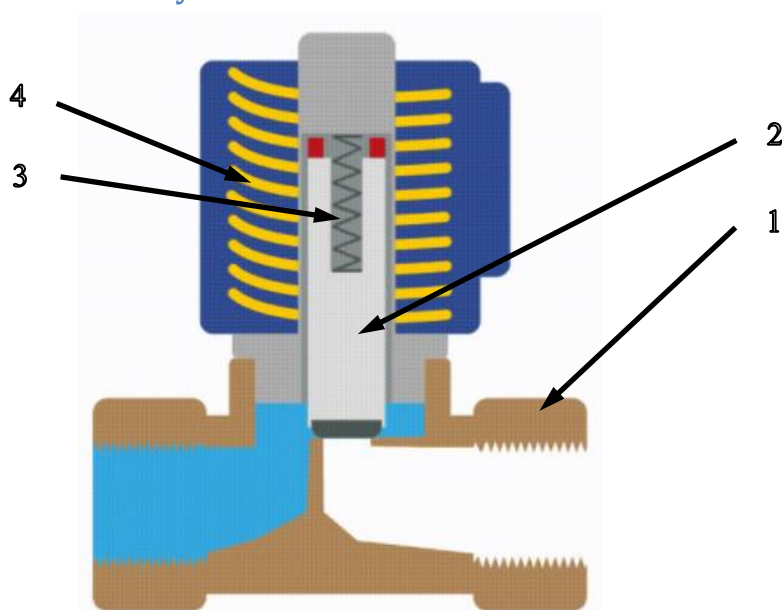


Obrázek 4 – Blokové schéma řídicí jednotky

3.1 Elektromagnetický solenoidový ventil

Elektromagnetické ventily se používají na řízení průtoku kapalin a plynů k různým periferiím. Tento způsob řízení je velmi využívaný. Ventily se vyrábí ve dvou možných funkcích, a to normálně otevřený nebo normálně zavřený. Tento stav určuje, jestli při stavu bez proudu bude kapalina nebo plyn ventilem procházet. Tyto ventily se rozdělují do dvou skupin podle principu ovládání [5].

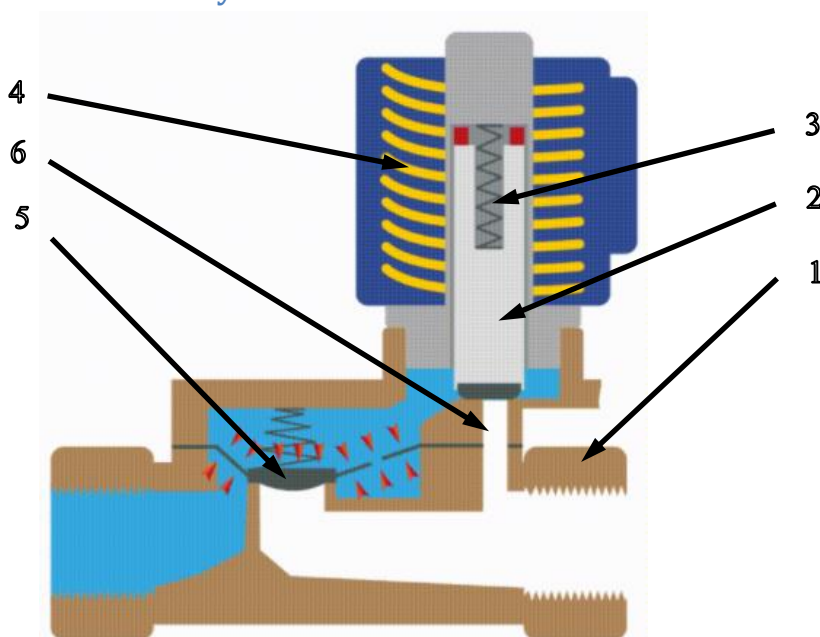
3.1.1 Přímá ovládané ventily



Obrázek 5 – Přímá ovládaný ventil (upraveno); 1. Tělo ventilu, 2. Jádro, 3. Pružina, 4. Cívka [5]

Pokud cívkou neprotéká proud, pružina tlačí jádro dolů. To zastaví průtok kapaliny. Když se následně připojí napětí na cívku, protékající proud vytvoří elektromagnetické pole, které jádro posune proti tlačící pružině a tím se ventil otevře. Ten bude otevřený po dobu, dokud proud nepřestane přes cívku protékat. Takto to je v případě normálně zavřeného ventilu. U ventilu normálně otevřeného je funkce opačná. Ventily s přímým ovládaním se používají pro malý průtok a nižší tlak. [5] [6].

3.1.2 Nepřímá ovládané ventily



Obrázek 6 – Nepřímá ovládaný ventil (upraveno); 1. Tělo ventilu, 2. Jádro, 3. Pružina, 4. Cívka, 5. Membrána, 6. Pilotní otvor [5]

Nepřímo ovládané ventily fungují na principu rozdílných tlaků na vstupu a výstupu. Mezi vstupem a výstupem je membrána, která průtok kapaliny umožní nebo zastaví. Mezi vstupem a prostorem nad membránou je malý průchozí otvor, takže tlak, který se vytvoří nad membránou přitlačí membránu do pozice, kdy je ventil uzavřený. V případě ventilu, který je normálně zavřený, tlačí pružina jádro na pilotní otvor, kapalina zde neprotéká a tím je nad membránou stejný tlak jako na vstupu. Jakmile je připojeno napětí na cívku a začne protékat proud, vytvoří se elektromagnetické pole, které jádro posune nahoru proti pružině. Tím začne protékat kapalina na výstup a klesat tlak nad membránou, což způsobí odtlačení membrány z polohy, kdy je ventil uzavřený a kapalina začne protékat ze vstupu rovnou na výstup. U ventilu, který je normálně otevřený se liší pouze poloha jádra a pružiny. Tento způsob ovládání se hodí pro větší průtok a tlak [5] [6].

V projektu jsou použity přímo ovládané solenoidové ventily. Byly přímo namontované výrobcem harvestorové hlavice. Tyto ventily jsou použity pro řízení hydromotorů posunu kmene a přímočarých hydromotorů. Jsou zde potřeba ventily, které dokáží pouštět tlak oběma směry kvůli posunu kmene, zavírání a otevírání jednotlivých kleští atd. Dále jsou potřeba ventily, které pouští hydraulický olej pouze jedním směrem pro hydromotor na řetězovou pilu.

3.2 Hydromotory

Hydromotory slouží pro převod energie z přivedeného tlaku kapaliny na mechanickou energii. Rozdělují se na rotační, přímočaré a kyvné [7].

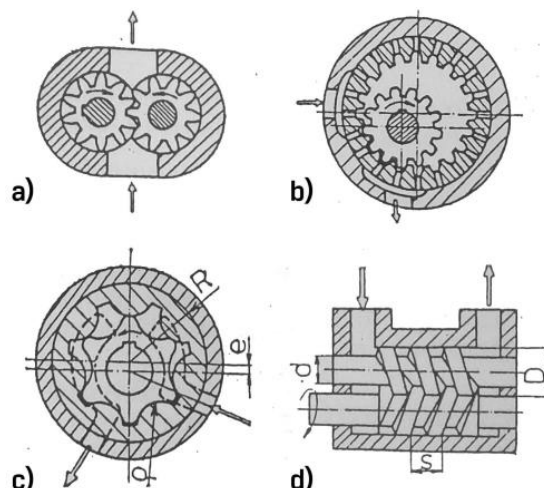
3.2.1 Rotační hydromotory

Tyto hydromotory převádí protékající kapalinu a tlak na rotační pohyb hřídele. Hydromotory mohou pracovat na různých principech převodu.

Zubové hydromotory fungují na vpouštění kapaliny mezi zuby dvou kol, které se následkem průtoku a tlaku kapaliny otáčí a tím je generován rotační pohyb, viz následující obrázek (

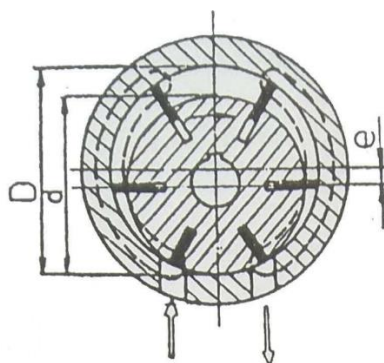
Obrázek 7). Tyto rotační hydromotory se vyznačují jednoduchou konstrukcí a protože se jedná o nejběžnější rotační hydromotor, není problém s náhradními díly. Při použití tohoto hydromotoru je však potřeba počítat se setrvačností kvůli přesnému zastavení [7].

Zubové rotační hydromotory jsou použity v tomto projektu. Hydromotory jsou na harvestorové hlavici celkem 4. Dva z nich jsou použité k posunu kmene mezi odvětvovacími noži a pro nastavení délky kmene, třetí je použit pro řetězovou pilu a poslední slouží k natáčení celé harvestorové hlavice.



Obrázek 7 – Zubové hydromotory; a) S vnějším ozubením, b) S vnitřním ozubením, c) S orbitálním pohybem, d) Vřetenové [7]

Lamelové hydrogenerátory mají na rotoru vysouvací lamely. Kapalina je tlačena do prostoru mezi lamelami, které se vysouvají při otáčení. Rotačním pohybem se objem kapaliny dostane do místa s větším objemem, čímž tlak v kapalině klesne. Po otočení k výstupu hydromotoru je kapalina mezi lamelami odvedena. Tento postup je znázorněn na následujícím obrázku (Obrázek 8) [7].



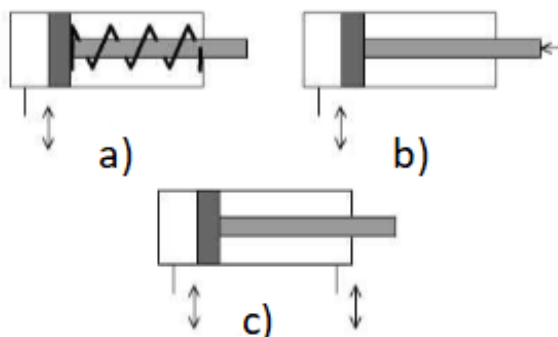
Obrázek 8 – Lamelový hydromotor (upraveno) [7]

Pístové hydromotory vytváří rotační pohyb pomocí postupného vysouvání a zasouvání pístů, které roztáčí hřídel. Tento druh hydromotorů má spoustu modifikací. Rozdělují se na radiální a axiální [7].

3.2.2 Přímočaré hydromotory

Přímočaré hydromotory jsou nejpoužívanější prvek v hydraulických obvodech. Převádí tlak a objem kapaliny na přímočarý pohyb. Mezi jejich hlavní výhody patří jednoduchá konstrukce, účinnost a spolehlivost. U těchto hydromotorů rozlišujeme dvě kategorie. Jednočinné a dvojčinné. Jednočinné hydromotory jsou vytlačovány tlakem kapaliny. Opačný pohyb vykonává pružina nebo zatížení. U dvojčinných oba pohyby provádí tlak kapaliny [8].

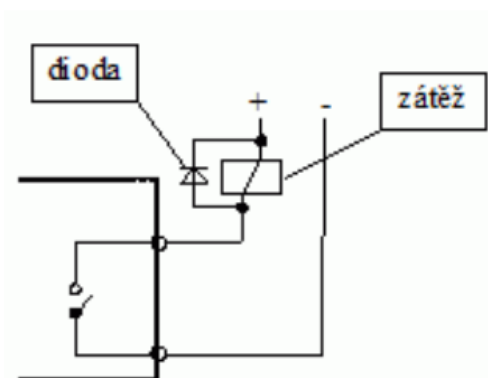
V projektu jsou použity dvojčinné přímočaré hydromotory. Tyto hydromotory se starají o uchopení kmene, přítlak při odvětvení, přítlak řetězové pily a naklání harvestorové hlavice.



Obrázek 9 – Schémata jednostranných přímočarých hydromotorů (upraveno); a) Jednočinný s pružinou, b) Jednostranný bez pružiny, c) Dvojčinný [8]

3.3 Spínání indukčních zátěží

Solenoidový ventil je tvořen cívkou. Tato cívka při rozpojení napájecího napětí generuje přepětí opačné polaroty, což může spínací prvky nenávratně poškodit. Proto se tomuto přepětí předchází pomocí následujícího zapojení.



Obrázek 10 – Zapojení proti přepětí vyvolané indukční zátěží [9]

Při zapojení s diodou je důležité zvolit diodu, která bude mít potřebné parametry. Znamená to, že závěrné napětí musí být větší než napětí, které je spínáno. Dalším důležitým parametrem je napětí a proud v propustném směru, které cívka vytvoří. V praxi se tato dioda předimenzuje, aby nedošlo k jejímu zničení. To platí i u samotného spínacího prvku.

3.3.1 Spínání pomocí relé

U relé jsou podstatné parametry napětí, pomocí kterého může být kontakt sepnut, napětí, které může být na spínacím kontaktu a velikost proudu procházejícího přes kontakt.

Při spínání indukčních zátěží pomocí relé nastává problém v podobě opalování kontaktů při rozepínání. Indukční zátěž při rozepnutí generuje proud, který protékal cívkou před rozepnutím. To vyvolá přepětí, které kontakty relé poškozuje [9].

3.3.2 Spínání pomocí bipolárního tranzistoru

Další součástí, kterou lze spínat zátěž je bipolární tranzistor. Bipolární tranzistor potřebuje spínací proud do báze, aby procházel proud mezi kolektorem a emitorem. Proud báze bývá přibližně 100x menší než proud kolektoru. Tento tranzistor má potom nevýhodu při použití u mikroprocesoru právě kvůli proudu, který do báze musíme dodat. Při více tranzistorech už tento proud není zcela zanedbatelný a musíme přizpůsobit zapojení. Navíc tento tranzistor má vzhledem k požadovaným vlastnostem značnou velikost, což znesnadňuje návrh a přizpůsobení do požadovaných rozměrů řídicí jednotky [10].

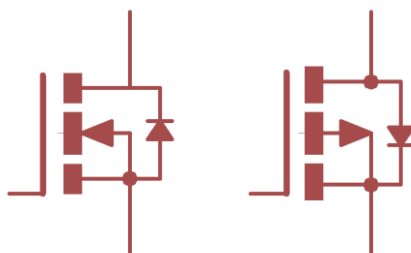


Obrázek 11 – Schématická značka bipolárních tranzistorů

3.3.3 Spínání pomocí tranzistoru MOSFET

Použití tranzistoru MOSFET oproti bipolárnímu tranzistoru má spoustu výhod. Hlavní výhodou je řízení napětím místo proudem. To umožňuje spínání více výstupů bez ohledu na maximální možný proud, který je možno odebírat z mikroprocesoru. Další výhodou jsou rozměry při mnohem větším proudu na výstupu z tranzistoru a zároveň u konkrétních MOSFET tranzistorů je přidána dioda proti přepětí, které generuje indukční zátěž [11].

Při řízení pomocí MOSFET tranzistoru je třeba dbát na maximální napětí, které může být mezi gate a source. Toto napětí se označuje jako V_{GS} . Při sepnutí tranzistoru vznikne úbytek napětí způsobený vnitřním odporem R_{DS} . Tento úbytek napětí lze ovlivnit vhodnou volbou tranzistoru s malým vnitřním odporem. Na tomto odporu závisí také ztrátový výkon, se kterým je třeba počítat při navrhování chladičového prvku tranzistoru.

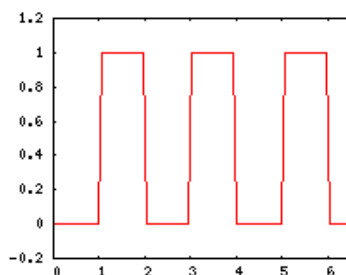


Obrázek 12 – Schématická značka MOSFET tranzistorů s diodou

3.4 Enkodér

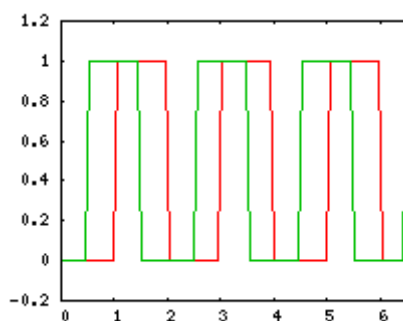
Enkodér je součástka, pomocí které lze měřit úhel otočení. Funguje na principu přítomnosti dobře detekovatelného materiálu či pomocí optické závory, které se otáčí na ose. U optického enkodéru je kolečko otáčející se na ose děrované po přesně definovaném úseku. Tento úsek definuje, jaký je úhel pootočení při jednom impulsu. Optický paprsek je skrz

kotouček přijímán pomocí opticky citlivého senzoru. V bodě, kdy je kotouček neprůchozí paprsek na senzor nedopadá. Pak výstup z enkodéru vypadá následovně [12].



Obrázek 13 – Signál z enkodéru s jedním výstupem [12]

Pokud je pomocí enkodéru potřeba zjistit i směr otáčení, používá se inkrementální enkodér, který má dva výstupy. Pak tyto senzory jsou od sebe posunuty o úhel, aby výstupní signál obou výstupů byl od sebe posunut o 90 stupňů. Pak lze pomocí těchto signálů zjistit směr otáčení. Signál vypadá jako na následujícím obrázku (Obrázek 14) [12].



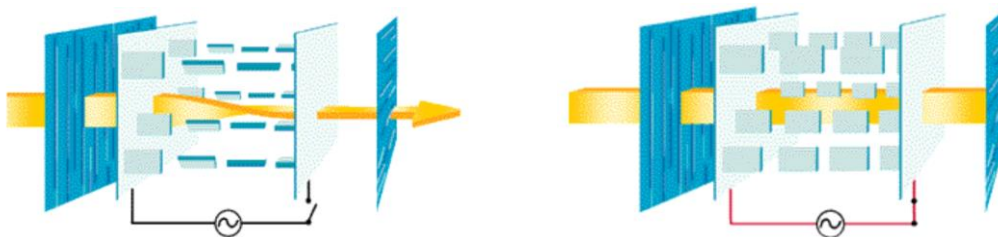
Obrázek 14 – Signál z enkodéru se dvěma výstupy [12]

V tomto projektu jsou použity enkodéry se dvěma výstupy pro měření průměru a délky kulatiny. Výrobce hlavice používá na měření průměru inkrementální enkodér, který má na jednu otáčku 500 impulsů a na měření délky enkodér s 50 impulsy na otáčku. Použití rozdílných enkodéru je zcela logické. U měření průměru se enkodér pohybuje pouze v určité výšce, takže při měření s 50 impulsy by přesnost měření nebyla dostačující.

3.5 LCD displej

LCD displej se používá ke zobrazování potřebných informací. Skládá se z pixelů, které jsou uspořádány do mřížky. Funguje na principu procházejícího světla přes dva polarizační filtry, které jsou vůči sobě otočeny o 90°. Mezi těmito filtry je vrstva tekutých krystalů, které mění svoje natočení podle přiloženého napětí. Pokud jsou krystaly bez napětí, projde světlo zadním vertikálně polarizovaným filtrem, tekutý krystal ho pootočí o 90° a projde tedy i předním horizontálně polarizovaným filtrem. Po připojení napětí světlo otáčeno není a přes přední filtr tedy neprojde. Takto je řízen každý pixel, zda má či nemá svítit. Pokud je LCD displej barevný, každý pixel je tvořen třemi sub-pixely, které mají červenou, zelenou a modrou barvu, a z nich lze zkombinovat barvu, kterou je na displeji potřeba zobrazit. U LCD

displejů bývá součástí i řadič, který celý displej řídí. Do něj jsou posílány příkazy po sběrnici. V řadiči jsou uloženy znaky z ASCII tabulky, popřípadě se dá nakonfigurovat vlastní znak. LCD displeje vyrábí spousta firem, nabízí různé velikosti, řadiče a další vlastnosti důležité pro konkrétní použití [13] [14].

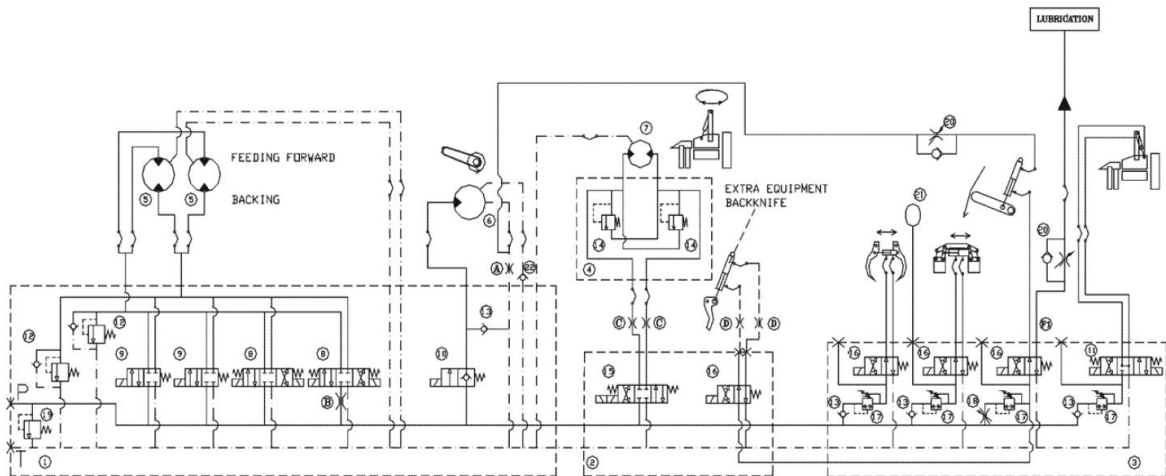


Obrázek 15 – Stav krystalů v propustném a nepropustném natočení [14]

4 Návrh systému řízení harvestorové hlavice

Harvestorová hlavice obsahuje 11 solenoidových ventilů, z toho 7 je jednočinných a 4 jsou dvojčinné. Je potřeba zajistit 15 výstupů pro spínání. Dále je potřeba zajistit dostatečný proud pro výstupy. Solenoidový ventil musí být napájen 24V a proud, který jím musí protékat je 1,3A. Maximální počet sepnutých solenoidových ventilů je 7. To je dáno funkcemi, které mohou být zároveň prováděny. Některé funkce zároveň vylučují provádění ostatních funkcí. Posouvání klády a úřez je navzájem vyloučený z důvodu poškození hlavice. Dále tu jsou dvojčinné ventily, které nikdy nemohou být sepnuty na obě funkce současně. Je zde důležité uvést, že některé funkce jsou v pracovním režimu bez sepnutého ventilu a naopak. Z těchto parametrů vychází, že maximální proud, který může při používání téct je 9,1A.

Na následujícím schéma (Obrázek 16) jsou znázorněny jednotlivé hydromotory a jejich řídicí ventily. Ventily jsou v obrázku ohraničené podle rozdělení v jednotlivých blocích. Je zde vyobrazen i tlakový ventil, který bohužel nakonec nefungoval. Hadice z ventilů pro otevírání kleští byly zapojeny opačně a tím bylo způsobeno u některých funkcí opačné ovládání (viz 4.5 **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**). Přítlak řetězové pily je řešen mechanicky regulačním ventilem. Tyto regulační ventily jsou i u některých dalších ventilů, kde je potřeba řídit tlak hydraulického oleje. Samotná řídicí jednotka tlak oleje řídit nemusí.



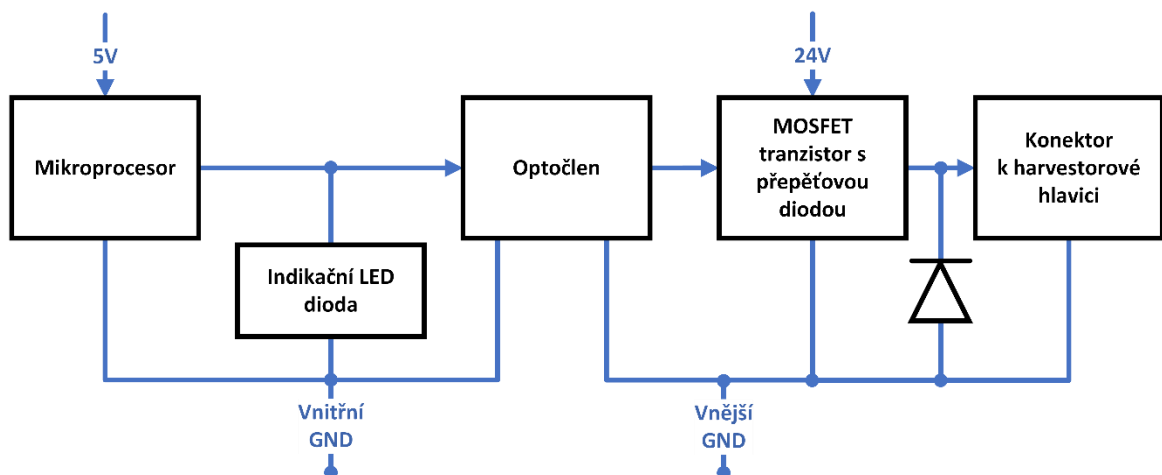
Obrázek 16 – Blokové schéma hydraulického obvodu harvesterové hlavičky [15]

4.1 Konečná architektura systému

Oproti původnímu návrhu jednotky má konečná řídicí jednotka značné úpravy. U každého spínacího prvku bylo přidáno galvanické oddělení, aby se oddělila vnitřní GND od GND traktoru. Zároveň je to ochrana proti nevyžádanému rušení, popřípadě ochrana mikroprocesoru při poruše některého ze spínacích prvků nebo neodborné manipulaci, kde by mohlo dojít ke zkratu. Galvanické oddělení je i na vstupech do řídicí jednotky, protože enkodéry a joystick jsou taktéž napájeny jiným napětím než mikroprocesor.

Pro přehlednost při ladění byla ke každému vstupu přidána LED dioda, která indikuje, zda je výstup v sepnutém nebo rozepnutém stavu. Tyto LED diody byly přidány i ke vstupům, aby bylo vidět, zda ze vstupu přichází log. 0 nebo log. 1.

4.1.1 Spínání solenoidových ventilů

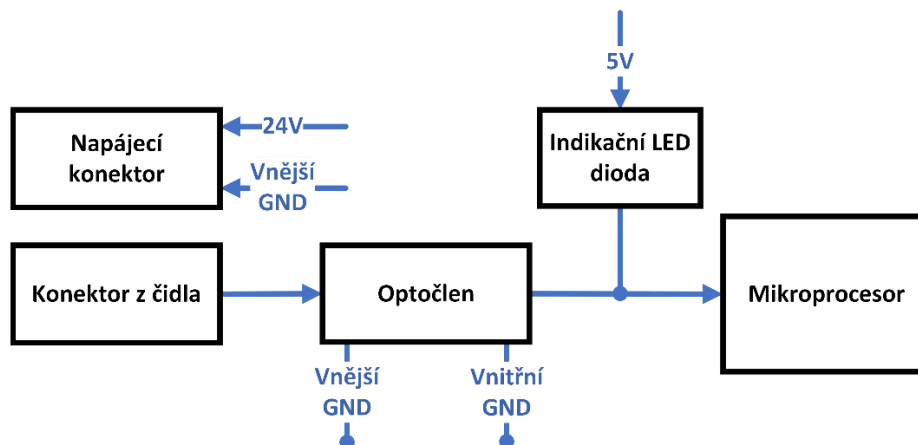


Obrázek 17 – Blokové schéma pro spínání solenoidových ventilů

Spínání se provádí pomocí optočlenu, který galvanicky odděluje vnitřní a vnější GND a zároveň odděluje napětí potřebné pro mikroprocesor od napětí, které je potřeba pro sepnutí solenoidových ventilů. Mikroprocesor spíná optočlen a indikační LED diodu s předřadnými

odpory kvůli omezení proudu, který může jednotlivými součástmi protékat. Optočlen uzemní elektrodu gate MOSFET tranzistoru přes odporový dělič k vnější GND. Tím dojde k sepnutí MOSFET tranzistoru s P-kanálem. Následně začne protékat proud přes konektor k harvestorové hlavici do solenoidového ventilu. Při rozepnutí může vytvořit cívka přepětí, které projde přes diodu umístěnou přímo v pouzdře tranzistoru. Dioda umístěna mimo pouzdro v závěrném směru je paralelně k cívce ve ventilu. Tato dioda zabráňuje vytvoření přepětí. Tím je zaručena dvojitá ochrana spínacího tranzistoru.

4.1.2 Vstupy z enkodérů, senzoru a joysticku



Obrázek 18 – Blokové schéma vstupů ze senzoru

Signál z enkodérů a z joysticku přivádí napětí přes předřadný odpor na optočlen, který při sepnutí propojí pin mikroprocesoru s vnitřní GND. Na pinu mikroprocesoru je zapnut pull-up rezistor. Vstupy z enkodéru a z jednotlivých senzorů jsou přivedeny na piny, které mohou v mikroprocesoru vyvolat externí přerušování. To je z důvodu rychlejší obsluhy při změně.

4.2 Zvolené komponenty

4.2.1 Měnič napětí 12V/24V

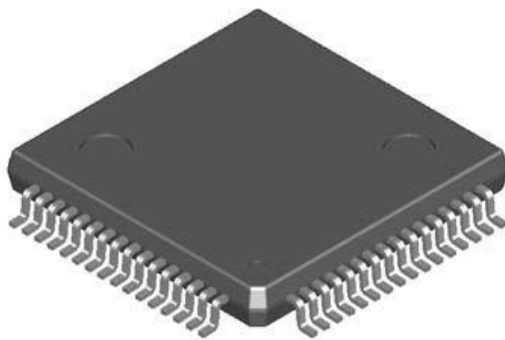
Pro spínání solenoidových ventilů je potřeba přizpůsobit napětí z 12V na 24V. Měnič napětí Carspa SUT1224-10A disponuje potřebným rozsahem vstupního napětí z důvodu možného kolísání. Výstupní trvalý proud u tohoto měniče je 10A. Vzhledem k tomu, že maximální proud, který může být odebírán v tomto projektu je 9,1A, je tento měnič dostatečný. Měnič je samostatná periferie, která bude připojena k plošnému spoji pomocí konektorů. Účinnost tohoto měniče je větší než 90% [16].



Obrázek 19 – Měníč napětí Carspa SUT1224-10A [16]

4.2.2 Mikroprocesor ATmega128A

Mikroprocesor ATmega128A od firmy Atmel je vyráběn v SMD pouzdře. Je to mikroprocesor s 8-bitovou architekturou RISC. Obsahuje paměť programu Flash o velikosti 128KB, 4KB paměti dat SRAM a 4KB paměti dat EEPROM. Taktovací frekvence může být maximálně 16MHz. Pinů pro připojení jednotlivých periférií má tento mikroprocesor 53. Dále obsahuje 4 čítače/časovače, které budou použity na testování. Dva z nich jsou 8-bitové a dva 16-bitové. Kvůli sensorům a enkodérům musí mikroprocesor disponovat dostatečným počtem vnějších přerušení. Těch je u tohoto mikroprocesoru 8 [17]. Tento mikroprocesor byl zvolen z důvodu většího množství periférií, počtu I/O pinů a z důvodu předešlých zkušeností s těmito mikroprocesory.



Obrázek 20 – Mikroprocesor ATmega128A [17]

4.2.3 MOSFET tranzistor IRFU6215PBF

MOSFET tranzistor s P-kanálem IRFU6215PBF je využíván ke spínání solenoidových ventilů. Tento tranzistor byl zvolen z důvodu dostatečného výkonu, který dokáže v sepnutém stavu přenést, diodě proti přepětí a také z cenových důvodů. Proud v sepnutém stavu je až 13A, napětí mezi drain-source je 150V. Zároveň je tento tranzistor v malém pouzdře, takže použití těchto konkrétních tranzistorů usnadní montáž do konečné krabice [18].



Obrázek 21 – MOSFET tranzistor IRFU6215PBF [18]

4.2.4 Optočlen PC817X1NSZ1B

Optočlen PC817X1NSZ1B slouží jako galvanické oddělení mezi vnitřní a vnější GND. Dále tvoří hranici mezi dvěma úrovněmi napětí, a to napětí pro napájení mikroprocesoru a napětí potřebné pro spínání solenoidových ventilů, napájení enkodéru a senzorů. Dále byl zvolen kvůli předešlým zkušenostem. Na vstupu optočlenu je třeba přizpůsobit napětí na hodnotu 1,2V. Proto u všech optočlenů byl použit předřadný odpor. Maximální napětí mezi kolektorem a emitorem může být až 80V, které jsou dostatečné. Maximální frekvence spínání je 80kHz. To vzhledem k úhlové rychlosti enkodérů není ovlivňující faktor, protože maximální frekvence výstupu z enkodéru je přibližně 0,8kHz. [19].



Obrázek 22 – Optočlen PC817X1NSZ1B [20]

4.2.5 Znakový LCD displej

Pro vizualizaci jednotlivých veličin a nastavení je využíván LCD displej 20x4 znaků. Tento displej je napájen napětím 5V. S mikroprocesorem komunikuje po sběrnici I²C, tudíž je výhodný z důvodu využití pouze 2 pinů mikroprocesoru. Velikost displeje je dostatečná pro zobrazení všech důležitých údajů. Tento LCD displej byl zvolen z důvodu nízké ceny [21].



Obrázek 23 – Znakový LCD displej s I²C sběrnici [21]

4.2.6 Membránová klávesnice QW-01

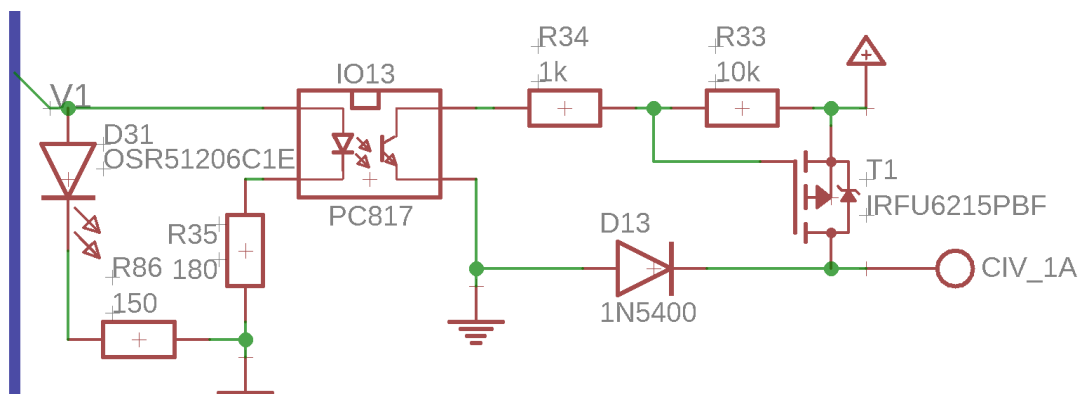
Dále bylo třeba vybrat vhodnou klávesnici, která by odolala prostředí, v kterém bude řídicí jednotka pracovat. Musí být odolná proti nečistotám i proti vlhkosti. Membránová klávesnice tyto požadavky splňuje a zároveň ji lze nalepit přímo na víko krabice, ve které bude řídicí jednotka usazena. Tato klávesnice má 16 tlačítek uspořádaných do matice 4x4. Obsahuje číslice, šipky a potvrzovací tlačítka pro pohyb v menu. Tato klávesnice disponuje ohebným kabelem pro připojení, což usnadňuje práci při výrobě celé jednotky [22].



Obrázek 24 – Membránová klávesnice [22]

4.3 Návrh schéma a DPS

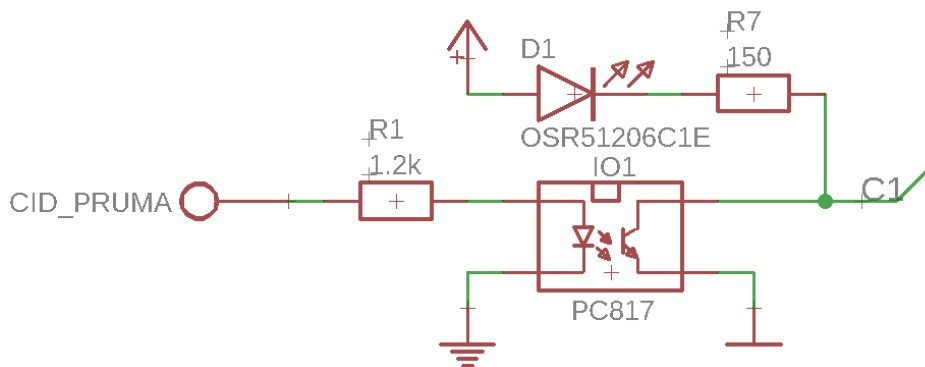
Schéma a návrh plošného spoje byly vytvořeny a navrženy v prostředí EAGLE 8.7.0. Schéma je rozděleno do bloků a tyto jednotlivé bloky jsou uspořádány do celků podle funkce a přes sběrnici jsou připojeny k mikroprocesoru. První blok je výstup pro spínání solenoidových ventilů. Zde byl zvolen kvůli minimalizaci pohyblivých částí a spolehlivosti MOSFET tranzistor, který zároveň splňuje požadavek na minimální rozměry.



Obrázek 25 – Blok výstupu pro spínání solenoidových ventilů

Pomocí vodivé cesty „V1“ je celý blok připojen k jednomu pinu mikroprocesoru a tímto pinem spíná optočlen, který následně přes odporový dělič (z důvodu maximálního napětí mezi gate – source 20V) sepne MOSFET tranzistor. Zároveň se spíná i LED dioda D31, která má proud nastavený rezistorem R86. Dioda D13 je zapojena paralelně k cívce ventilu, takže nuluje napětí vznikající na cívce při odpojení. Celý funkční blok se v projektu opakuje celkem 16x.

Druhý blok jsou vstupy z enkodérů, senzorů a joysticku.



Obrázek 26 – Blok vstupů z enkodérů, senzorů a joysticku

Z konektoru je přijímán signál o napětí 24V. Rezistor R1 upravuje velikost napětí na optočlenu. Při sepnutí optočlenu je pin mikroprocesoru připojen k vnitřní GND. Zároveň je tím rozsvícena LED dioda D1, která má také svůj předřadný rezistor. Tato LED dioda slouží pro vizuální kontrolu při programování a ladění. Vstupní blok je v řídicí jednotce navržen celkem 14x, z toho některé bloky jsou neobsazeny, ale jsou připraveny, pokud by bylo nutné do budoucna nějaký senzor přidat.

LCD displej a klávesnice jsou periferie, které jsou umístěny na víku krabice. Proto byl zvolen jeden konektor a následně plochý kabel pro přenos signálu a napájení. LCD displej obsadil na mikroprocesoru 2 piny a klávesnice je uspořádána na 4 sloupce a 4 řádky, takže obsadila celkově 8 pinů mikroprocesoru.

Na řídicí desce jsou konektory pro spínače a diody, které budou umístěny na víku krabice. Celý mikroprocesor je programován pomocí ISP sběrnice. Pro případ potřeby komunikace mezi řídicí jednotkou a vnějšími přístroji je zde navržený převodník mezi USART a USB. Ten nakonec zatím nebyl osazen součástkami. Mikroprocesor je zcela obsazen na všech pinech.

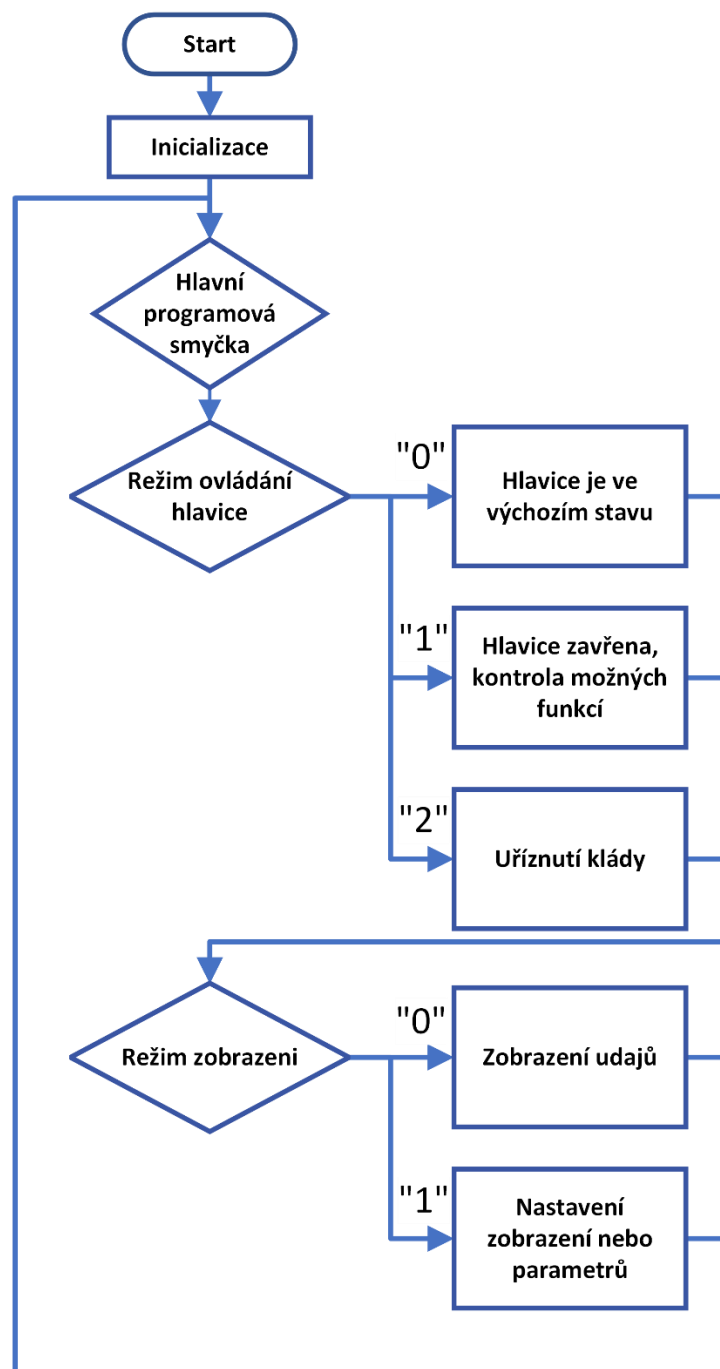
Z tohoto schéma byla navržena deska plošného spoje o rozměrech 15,8 x 15,2 cm. Mikroprocesor je připájen k desce plošného spoje pomocí redukční desky. Ta byla zvolena z důvodu snazší montáže. Na desce se nacházejí 4 montážní otvory na přišroubování distančních sloupků ke krabici, v které se deska nachází. Měnič napětí z 12V na 24V na této desce není umístěn, ale je připevněn ke krabici a k desce řídicí jednotky je připojen pomocí vodičů. Mezi přívodní kabel a samotnou desku byl vložen vypínač.

4.4 Software

Program byl napsán v jazyce C++ v prostředí programu Atmel Studio 7.0. Program je rozdělen pro přehlednost na knihovny podle účelu. V knihovně s názvem „definice.h“ jsou jednotlivé piny mikroprocesoru pojmenované podle názvu použitých ve schématu. V knihovně „deklarace.h“ jsou tyto názvy z předešlé knihovny pojmenovány na názvy podle použití v projektu. V další knihovně s názvem „inicializace.h“ jsou jednotlivé piny nastaveny pro konkrétní účel použití a jejich výchozí stav po zapnutí. Jsou zde nastaveny jednotlivé časovače na frekvence podle jejich využití. Externí přerušení je nastaveno na vyvolání přerušení při změně hodnoty na pinu. Po tomto nastavení je na určitý čas zobrazen úvodní text na displeji.

Hlavní program je v souboru s názvem „main.cpp“. Na začátku tohoto souboru jsou naimportovány předešlé knihovny. Za touto částí následují definice potřebných proměnných. Na začátku programu se provede inicializace a načtení proměnných, které jsou uloženy v paměti EEPROM kvůli zachování hodnoty po vypnutí napájení. Tyto proměnné jsou například předvolby, tolerance či zpracovaný objem.

Hlavní program je rozdělený na dvě základní operace. První část je řízení harvestorové hlavice a druhá část je zobrazování a nastavování na displeji. Toto rozdělení ukazuje následující schéma (Obrázek 27).



Obrázek 27 – Vývojový diagram hlavní programové smyčky

Jak ukazuje vývojový diagram, tyto dvě části jsou na sobě nezávislé. Tím je zaručena bezpečnost stroje při nastavování a obsluze. Řídící jednotka kontroluje harvesterovou hlavici nepřetržitě.

V bloku, kdy je hlavice ve výchozím stavu, je zajištěno otevření dvou kleští na odvětvení i kleští pro posun kmene. Zároveň se v tomto bloku kontrolují jednotlivé úkony, které může uživatel požadovat. To může být zavření všech kleští, vynulování napočítané délky, otočení a naklopení hlavice.

V bloku, kdy je hlavice uzavřena probíhá vlastní odvětvení a počítání délky. Kontrolují se zde všechny funkce z joysticku i jednotlivých spínačů. Při naklonění joysticku vpravo nebo vlevo je zkontrolováno, zda je zvolena předvolba, na kterou má být kmen zakrácen. Pokud je tato volba aktivní, zkontroluje se, zda je délka požadovaným směrem podle naklonění joysticku. Je-li podmínka splněna, je nastaven příznak pro přejetí na předvolbu. Kontrola správné délky se opakuje při každém cyklu. Je zde počítána aktuální délka od posledního uříznutí, ke kterému se připočítá aktuální rychlost posuvu kvůli včasnému zastavení a porovnává se s požadovanou předvolbou a tolerancí. Toto posouvání na předvolbu probíhá do doby, dokud není požadovaná délka dosažena nebo dokud má uživatel vykloněný joystick stejným směrem. Jakmile požadovaná délka dosáhne předvolby, zastaví se posouvání bez ohledu na držení joysticku. Při zastavení posunu na předvolbě se rozsvítí indikační LED dioda pro započítání do objemu předvolby. V opačném případě je strom posouván bez zastavení na předvolbě, dokud má uživatel vykloněný joystick stejným směrem. Na LCD displeji se zobrazují aktuální parametry jako jsou délka, průměr či zpracovaný objem.

Aby bylo možné přejít do bloku uříznutí stromu, je třeba vyčkat na zastavení posunu a zároveň nesmí být joystick v jiné než výchozí poloze. To je bezpečnostní prvek proti poškození hlavice. Jakmile jsou tyto požadavky splněny, rozsvítí se kontrolka pro možnost řezu. Následně při zmáčknutí tlačítka na joysticku pro úřez přejde program do tohoto bloku. Spočítá se objem z délky, která byla změřena a průměrů kulatiny, který byl zaznamenán u předešlého řezu a aktuálního řezu. Tento objem se vždy připočítá do objemu celkového a zároveň, pokud byl úřez proveden na některé z předvoleb, se také připočítá do objemu pro tuto předvolbu. Poté se vynuluje naměřená délka posunu. Přechodem do této části se zároveň zablokovaly všechny ostatní funkce.

V režimu zobrazení se zobrazují informace nezávisle na ovládání hlavice. Ve výchozím zobrazení údajů je první sloupec displeje prázdný. To signalizuje, že se zobrazují aktuální informace podle nastavených řádků. Aby mohly být údaje na displeji správně zobrazeny, je třeba parametry přepočítat z počtu impulsů na reálné číslo. Zároveň kvůli obnovovací frekvenci displeje je třeba měnit údaje jenom pokud jsou právě na displeji zobrazeny hodnoty, které nejsou aktuální. To zaručuje následující kód.

```
uint8_t prepocet_parametru() {
    data_predesla[0] = data[0];
    data_predesla[1] = data[1];
    data[0] = delka_int*delka_konstanta;
    data[1] = max_prumer_konstanta-prumer_int*prumer_konstanta;
    if ((data[0] != data_predesla[0]) || (data[1] != data_predesla[1])
    || (data[2] != data_predesla[2])) {
        data_predesla[2] = data[2];
        return 1;
    } else {
        return 0;
    }
}
```


Nejprve se aktuální data přepíše do proměnné, kde jsou uložena data předešlá. To se provádí z důvodu porovnání při dalším průchodu. Následuje výpočet aktuální délky a průměru pomocí jednotlivých konstant. V podmínce se kontroluje, zda se data změnila a pokud ano, zajistí se přepis na displej.

Při výpisu údajů na displej se musí každé reálné číslo zaokrouhlit na určitý počet desetinných míst. Proto při výpisu údajů je třeba každé číslo upravit.

```
for(uint8_t i=0;i<4;i++) {
    lcd_printf(i+1,"%s",text[lcd_zobrazeni[i]]);
    char hodnota[5];
    if ((lcd_zobrazeni[i] > 2) && (lcd_zobrazeni[i] < 8)) {
        dtostrf(data[lcd_zobrazeni[i]],0,data_des[lcd_zobrazeni[i]],hodnota);
        lcd_text(i+1,17-strlen(hodnota),hodnota);
    }
}
```

Vypisování probíhá v cyklu, který se provede 4x, protože displej má 4 řádky. Nejprve se vypíše předdefinovaný text z proměnné „text“. Tento text se vybírá pomocí proměnné „lcd_zobrazeni“, ve které jsou uloženy hodnoty nadefinované uživatelem pro vizualizaci na displeji. Do proměnné „hodnota“ se převede hodnota na text pro správné zobrazení. Nakonec se tento předpřipravený text vypíše vedle názvu parametru na displeji.



Obrázek 28 – Výchozí zobrazení na displeji

Pro přechod na nastavení je třeba stisknout na klávesnici šipku nahoru nebo dolů. Tím se na displeji zobrazí znak šipka (Obrázek 29), která označuje nastavovaný řádek. Pro změnu řádku se použijí stejná tlačítka. Pokud chce uživatel změnit parametr na nastavovaném řádku, je třeba užít šipky vlevo nebo vpravo. Tím se na displeji změní parametr na další podle zmáčknuté šipky. Pro změnu hodnoty daného parametru slouží klávesa ENTER. Zároveň se změní šipka v první sloupci na pomlčku (Obrázek 30). Ten lze užít pouze u parametrů, které lze nastavovat. To jsou parametry „Predvolba“, kde lze nastavit 3 délky na předvolby, „Tolerance“, kde se nastavuje interval pro zastavení na předvolbě kvůli setrvačnosti a „Objem“, pokud chce uživatel napočítané objemy vymazat. Konkrétní hodnoty se nastavují pomocí klávesnice. Pro ukončení nastavování je zvolena klávesa ESC.



Obrázek 29 – Režim nastavení



Obrázek 30 – Nastavení konkrétního parametru

Nezávisle na hlavní programové smyčce může být vyvoláno několik přerušení. Externí přerušení vyvolávají enkodéry. U tohoto mikroprocesoru není režim, který by vyvolával externí přerušení při každé změně. Proto musely být jednotlivé přerušení měněny během vykonávání. To ukazuje následující kód.

```
ISR(INT0_vect) {
    if (!(get_bit(pin(C1)) ^ (EICRA & (1<<ISC0)))) {
        EICRA ^= (1<<ISC0);
    }
}
```

```

prumer_pom = (get_bit(pin(C1))) | (get_bit(pin(C2)));
if ((prumer_pom == 1) || (prumer_pom == 2)) {
    prumer_int++;
} else {
    prumer_int--;
}
}
}

```

V podmínce se kontroluje, zda je pin shodný s bitem v registru EICRA, ve kterém se nastavuje, na jakou hranu se má vyvolávat přerušení. Pokud je bit registru stejný, znamená to, že toto přerušení vyvolala správná hrana a nejednalo se o zákmit. Po této kontrole je provedena negace bitu, aby příští přerušení vyvolala hrana opačná. Po této úpravě je rozpoznáno, zda se má hodnota z enkodéru přičíst nebo odečíst. To je dáno směrem a přerušením, které bylo vyvoláno.

Obsluha přerušení pro délku je obdobná s předešlým přerušením, navíc je zde povolen časovač. Tento časovač kontroluje konec pohybu při posouvání kvůli možnému úřezu. Po vyvolání přerušení od tohoto časovače se nastaví příznak a zakáže se další svoje vyvolání. Zároveň rozsvítí LED diodu, která signalizuje možnost uříznutí.

```

ISR(TIMER1_COMPA_vect) {
    clr_bit(L3);
    TIMSK &= (~(1<<OCIE1A));
    rez_pom = 0;
}

```

Další časovač počítá po určitém čase změnu délky. Ta je potřebná pro včasné zastavení při posunu. Pokud by nebyla počítána rychlost posunu, hydromotory by při zastavení hydraulického oleje setrvačností přejely přes nastavenou toleranci. To by způsobilo impuls opačným směrem, kde by se celá situace opakovala. Proto musí být hydromotory vypnuty s dostatečným předstihem, který je závislý na rychlosti posunu. Počítání je znázorněno v následujícím kódu. Výpočet je udáván frekvencí přerušení a změnou délky od předešlého přerušení. Osmibitový časovač však nebylo možné nastavit na požadovanou periodu, proto zde bylo vloženo počítadlo, které určuje součet dílčích period na požadovanou.

```

ISR(TIMER2_COMP_vect) {
    if (pocitadlo_pom == 10) {
        pocitadlo_pom = 0;
        delta_delka = delka_int - delka_predesla;
        delka_predesla = delka_int;
    } else {
        pocitadlo_pom++;
    }
}

```

4.5 Optimalizace a první aplikace

Při prvním testu byla harvestorová hlavice připojena přímo na hydraulický okruh traktoru, protože čerpadlo na vývodovou hřídel ještě nebylo zakoupeno. Při tomto testu bylo důležité přiřadit ventily k jednotlivým funkcím, protože původní majitel odstranil veškerou elektroinstalaci. Při tomto zjišťování byl nalezen problém s některými ventily, které

nefungovaly tak jak bylo v hydraulickém schéma (Obrázek 16). To vedlo ke značným problémům při oživování jednotlivých funkcí. Bylo zjištěno, že funkce na otvírání kleští funguje opačně. To znamená, že pokud je solenoidový ventil bez napětí, odvětvovací kleště jsou zavřené. Dále bylo zjištěno, že některé funkce musí mít udělaný doraz kvůli změně funkce celé harvesterové hlavice. Pokud je harvesterová hlavice ve vertikální poloze, jak je standardně na harvesterovém stroji, pak není doraz na tyto funkce třeba, protože hlavice je k tomuto účelu přizpůsobena. Při této zkoušce bylo zjištěno značné zahřívání hydraulického oleje a zatížení celého traktoru. Z toho bylo zjištěno, jak velké čerpadlo bude potřeba a zároveň, jaký objem oleje musí harvesterová hlavice využívat. Dále byly tyto parametry konzultovány přímo s výrobcem čerpadla. Software řídicí jednotky ještě nebyl zcela dokončen, takže zde některé funkce chyběly.

Před následujícím testováním majitel harvesterové hlavice dodělal jednotlivé dorazy. Dále byly jednotlivé ventily zprovozněny a připraveny na další test. U tohoto testu už bylo zakoupeno čerpadlo a byla nainstalována nádrž s hydraulickým olejem. Při prvním spuštění čerpadla se ale traktor úplně zastavil. Po delší konzultaci bylo dosaženo závěru, že tlakový ventil, který měl při dosažení určitého tlaku začít přebytný olej propouštět, byl nefunkční. To bylo následně i potvrzeno, když řídicí jednotka ještě před spuštěním vývodové hřídele spustila funkci posouvání, která odebírala dostatečný objem oleje a traktor po zapnutí hřídele nebyl nijak zatížený. To vedlo k závěru pořídit tlakový ventil, který by nahradil nefunkční ventil. Ten bohužel z důvodu zabudování nebylo možné vyměnit. Tento problém se u prvního testování neobjevil z důvodu použití novějšího traktoru, který tento ventil měl zabudovaný, takže jeho funkce nebyla na první pohled zjevná. Při řešení nového tlakového ventilu nastala otázka, zda se olej nebude příliš zahřívát. Proto bylo rozhodnuto, že paralelně k tomuto ventilu bude nainstalován nový solenoidový ventil, který bude otevřený, pokud nebude žádná funkce na harvesterové hlavici probíhat. To značně změnilo naprogramovaný software a bylo třeba obsadit další výstup, který byl na desce připravený, ale nebyl využitý.



Obrázek 31 – Tlakový ventil spolu s pomocným solenoidovým ventilem

Před třetím testem byl tlakový ventil a solenoidový ventil nainstalován na harvesterovou hlavici. Při úpravě programu bylo však předpokládáno, že doba zavření pomocného ventilu bude u všech funkcí stejná. To bylo vyloučeno hned při prvním spuštění, kdy bylo zjevné, že každá funkce potřebuje jiný čas na provedení. Doba však nemohla být určena nejdelším potřebným časem, protože pokud nebyla vykonávána žádná funkce, traktor byl značně zatížen. Proto musely být časy rozděleny podle funkce. U funkce posouvání byl čas dán podle uživatele. U funkce uříznutí klády byl čas dán podle senzoru na řetězové pile. Čas u funkce otevírání a zavírání byl zjištěn experimentálně, protože na harvesterové hlavici není žádné čidlo, které by určilo úplně otevření nebo zavření. Dále byly přizpůsobeny některé funkce na joysticku. Funkce otevření rozdělena z otevření všech kleští současně na postupné otevírání kvůli možnému znemožnění posunu stromu. Takže pro úplné otevření hlavice nadále bylo třeba 3x vyklonit joystick směrem dopředu. Tím se postupně otevrou první, následně druhé kleště, a nakonec se otevrou řetězy pro posun kmene.

U čtvrtého testu už byly použity stromy, na kterých se testovala funkčnost. Při uchopení stromu však docházelo k problému, kdy tlak v systému byl moc velký nebo naopak moc malý. To bylo postupným testováním a laděním tlakových omezení odstraněno.

Následovala kalibrace délky posunu. Ta byla prováděna počítáním impulsů v mikroprocesoru a změřením uříznutého kmene. Z toho byla spočítána vzdálenost na jeden impuls, která se nastavila v programu jako konstanta. Po několika ověřeních se tato konstanta upřesňovala až na uspokojující přesnost. Po tomto nastavení konstanty následovala zkouška předvoleb.

Zde bylo poprvé zjištěno, že u funkcí předvoleb je problém se zastavením v toleranci. Vzhledem k rychlosti hydromotoru a hmotnosti stromu byla setrvačnost velká. To způsobilo, že hydromotor po vypnutí hydraulického oleje přešel za nastavený interval. Z tohoto důvodu bylo do programu přidáno měření rychlosti a program byl upraven, aby s patřičným předstihem zastavil hydromotor v zadaném intervalu. Tato spočítaná rychlost je v programu upravována pomocí času, po který je rychlost měřena, aby výsledné délky byly co nejbližší nastaveným v předvolbách.

Po vyřešení kalibrace délky a problému s předvolbami byla začata kalibrace průměru. Postup byl obdobný jako u délky. Bohužel, výsledky byly velmi nepřesné. Po dlouhém zkoumání bylo zjištěno, že uložení kleští, z kterých se průměr odečítá, bylo poškozené natolik, že dosažení potřebné přesnosti není možné. Proto byl naplánován další test po opravě kleští.

Páté testování probíhalo již přímo v lese. Testované funkce byly správně nakonfigurované, ale objevil se problém se zápisem hodnot do paměti EEPROM. Po vypnutí řídicí jednotky byly všechny hodnoty uchovány, kromě přednastavených délek pro předvolby. Tato chyba byla zanesena do programu po posledním testování.

Dále byla znovu kalibrována konstanta průměru. Ta již po opravě vycházela přijatelně. Průměr nemůže být vždy přesně na milimetry vzhledem k tomu, že kmen není zcela ideálně rovný. Povrchové nerovnosti vykazují určitou nepřesnost. Dále je to způsobené zuby na

posuvném řetězu, který kmen protahují a od kterých se průměr určuje. Tyto zuby se zamáčknu do povrchu stromu pokaždé jinak, protože každý strom je jinak suchý. Do suchého stromu se zuby prakticky nezamáčknu, kdežto do stromu živého se zamáčknu podstatně více.

Závěr

V projektu byl popsán způsob řízení a ovládání harvesterové hlavice. V první části projektu je analýza řídicích jednotek dostupných na trhu. Z toho byly vybrány potřebné funkce, které by řídicí jednotka měla obsahovat, a které naopak jsou pro tento konkrétní případ nadbytečné.

V další části se práce zabývá návrhem vhodného způsobu spínání solenoidových ventilů, při které jsou zhodnoceny výhody a nevýhody jednotlivých metod. Tyto solenoidové ventily jsou ovládány pomocí MOSFET tranzistorů, které jsou z hlediska funkčnosti i odolnosti nejvýhodnější.

Byla řešena i otázka rušení celé řídicí jednotky. Kvůli možnému rušení jsou všechny vstupy a výstupy, které jsou mimo krabici řídicí jednotky galvanicky odděleny pomocí optočlenů. Tím byla dosažena i zvýšená bezpečnost při poškození některého ventilu. Zároveň tím byla zajištěna odolnost při neobdobné manipulaci.

Tyto poznatky byly využity při návrhu schéma a desky plošného spoje. Osazená deska byla namontována do krabice. V krabici se nachází i měnič napětí potřebný pro ovládání jednotlivých ventilů. Ke krabici není třeba žádnou další součást elektroniky připojovat. Ke krabici je připojen joystick a pomocí konektoru se připojí i celá harvesterová hlavice. Deska navíc obsahuje přípravu pro přenos dat po sběrnici USB.

Po vytvoření desky byl naprogramován software, ve kterém bylo třeba vyřešit efektivní ovládání a zároveň bezpečnost celého zařízení. Program byl během testování přizpůsoben tak, že řídicí jednotka dokáže spolehlivě ovládat celou harvesterovou hlavici a zároveň jsou zde přidány funkce předvoleb a nastavení maximální tolerance, které uživatel může měnit. Potřebné nastavené hodnoty a spočítané objemy jsou uloženy do paměti EEPROM.

Řídicí jednotka by do budoucna mohla být rozšířena o grafický displej, kde by jednotlivé parametry nebyly zobrazeny pouze číselně, ale například šipkami a procenty ke snazší orientaci uživatele. Dále by mohlo být přidáno dálkové ovládání, které by dovolovalo uživateli ovládat zařízení mimo traktor a tím lépe vidět na hlavici. Toto ovládání by ale muselo umět ovládat i samotný jeřáb vyvážecího vozu. To by obnášelo výměnu celého mikroprocesoru za vyšší řadu, protože zvolený mikroprocesor by nebyl vyhovující.

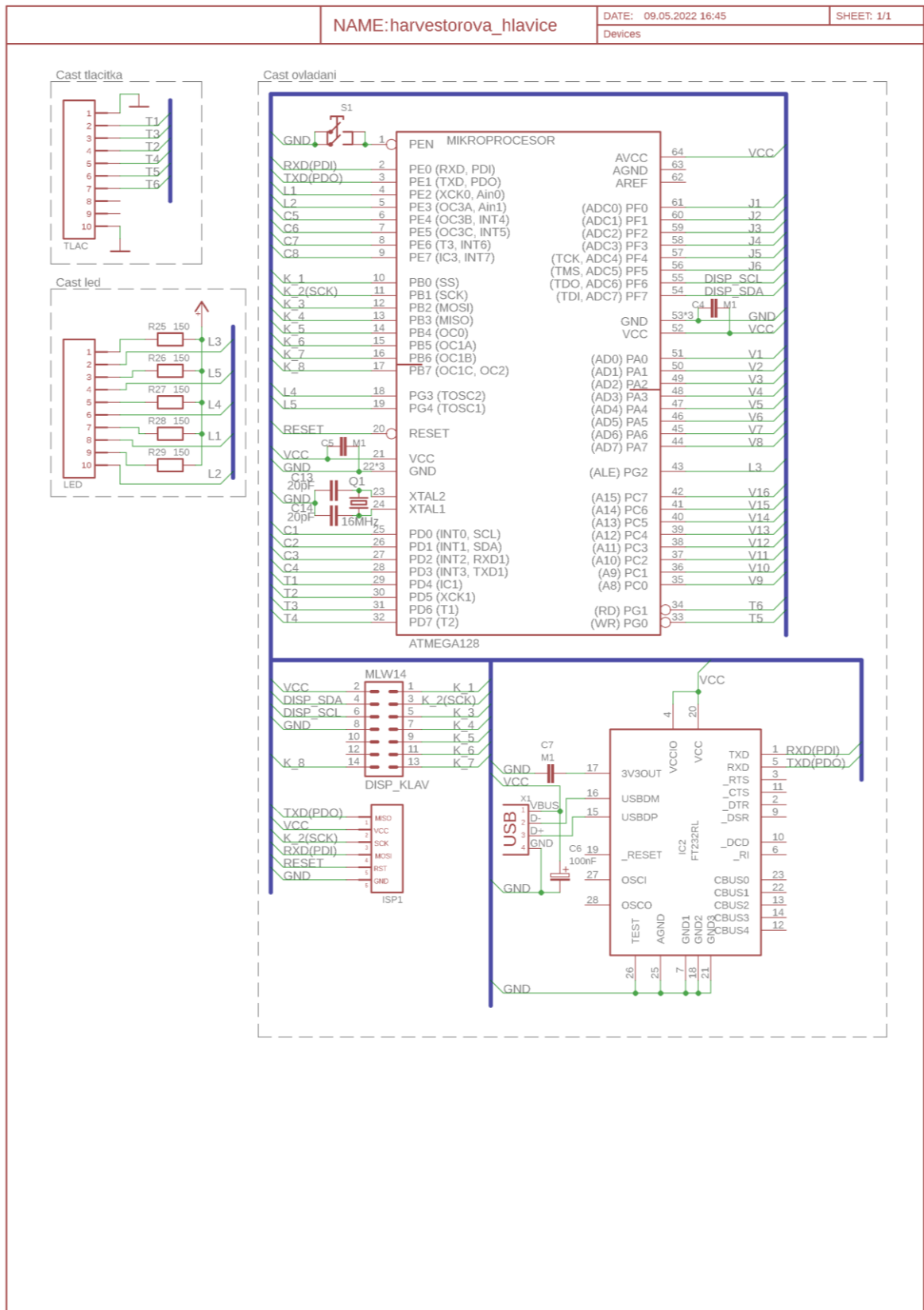
Literatura

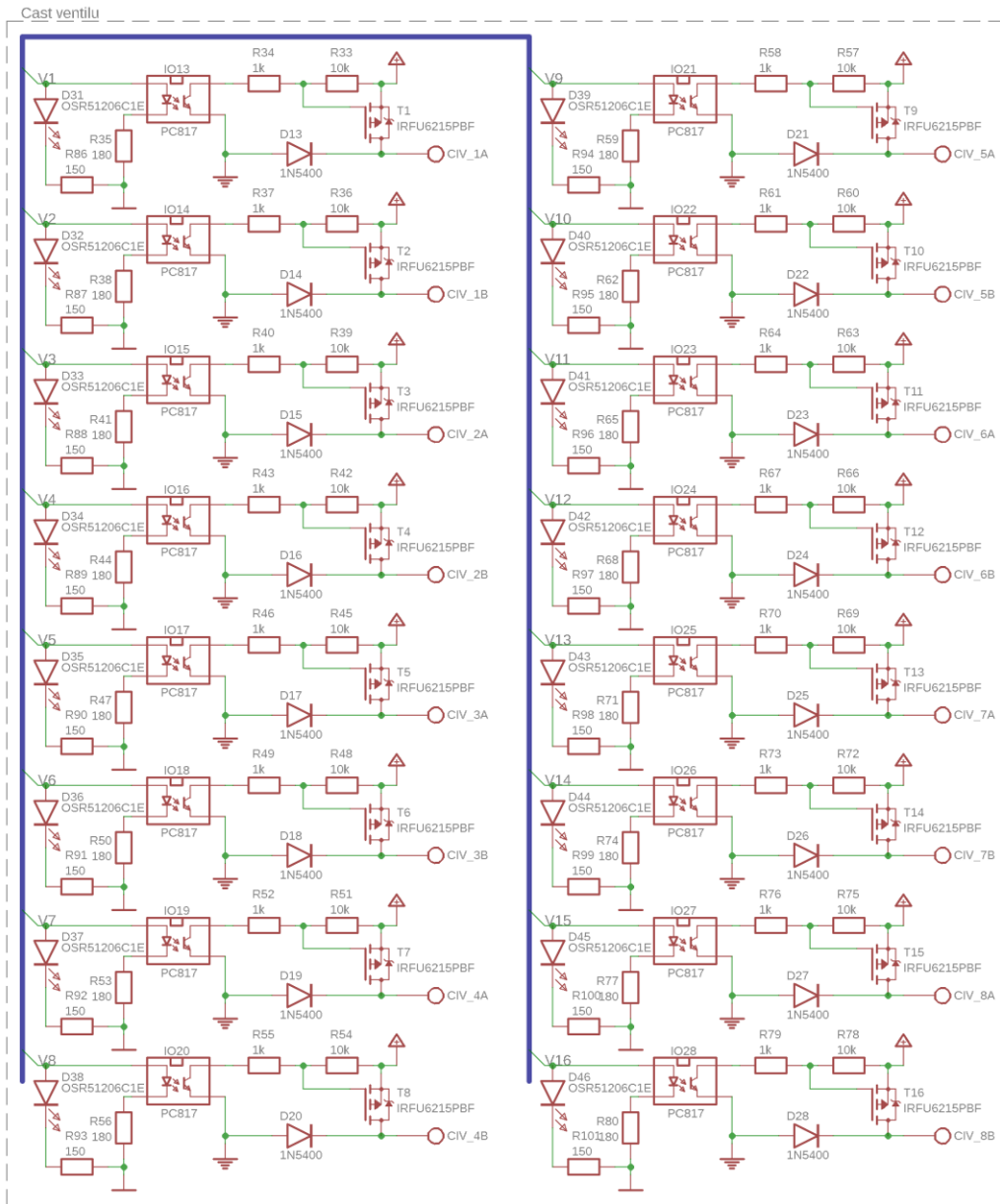
- [1] BRYCHTA, Vojtěch. *Lesní těžební stroje*. Brno, 2018. Dostupné také z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=172632. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.
- [2] LÖWE, Radim. *Analýza struktury sortimentů vyráběných harvestory při pni a rozklad přesnosti metodik pro výpočet jejich objemu*. Praha, 2021. Dostupné také z: <https://www.fld.czu.cz/dl/96139?lang=cs>. Disertační práce. Česká zemědělská univerzita v Praze. Vedoucí práce Doc. Ing. Jiří Dvořák, Ph.D.
- [3] Komatsu Control and Information Systems MaxiXT. In: *Komatsu Forest Machines* [online]. Umeå [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: <https://www.komatsuforest.com/forest-machines/control-and-information-systems>
- [4] *Technion | Electronic control systems for mobile machinery* [online]. Naantali, 2022 [cit. 2022-03-09]. Dostupné z: <https://technion.fi/>
- [5] Co jsou zač elektromagnetické ventily? | Bola. In: *Měřicí, regulační a topenářská technika | Bola* [online]. 2022 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://www.bola.cz/poradna/co-jsou-zac-elektromagneticke-ventily>
- [6] JAK ELEKTROMAGNETICKÝ VENTIL FUNGUJE?. In: *SMS TORK / Pneupohony, Elektromagnetické ventily, Servopohony* [online]. 2018 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://www.smstork.cz/jak-elektromagneticky-ventil-funguje/>
- [7] POKORNÝ, Pavel. *Pohon sériovým zapojením rotačních hydromotorů*. Brno, 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Jiří Omes, Ph.D.
- [8] JANOVEC, Aleš. *Sestavení souboru multimediálních interaktivních schémat hydromotorů*. Brno, 2007. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Stanislav Věchet, Ph.D.
- [9] Jak si (ne)zničit relé | Automatizace.HW.cz. In: *Automatizace.HW.cz | Elektronika v automatizaci* [online]. 2018 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/jak-si-neznicit-rele.html>
- [10] Od písku k procesoru — Tajemství tranzistorů. In: *Průvodce světem informačních technologií | Pctuning* [online]. 2022 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://pctuning.cz/article/od-pisku-k-procesoru-tajemstvi-tranzistoru?chapter=4>

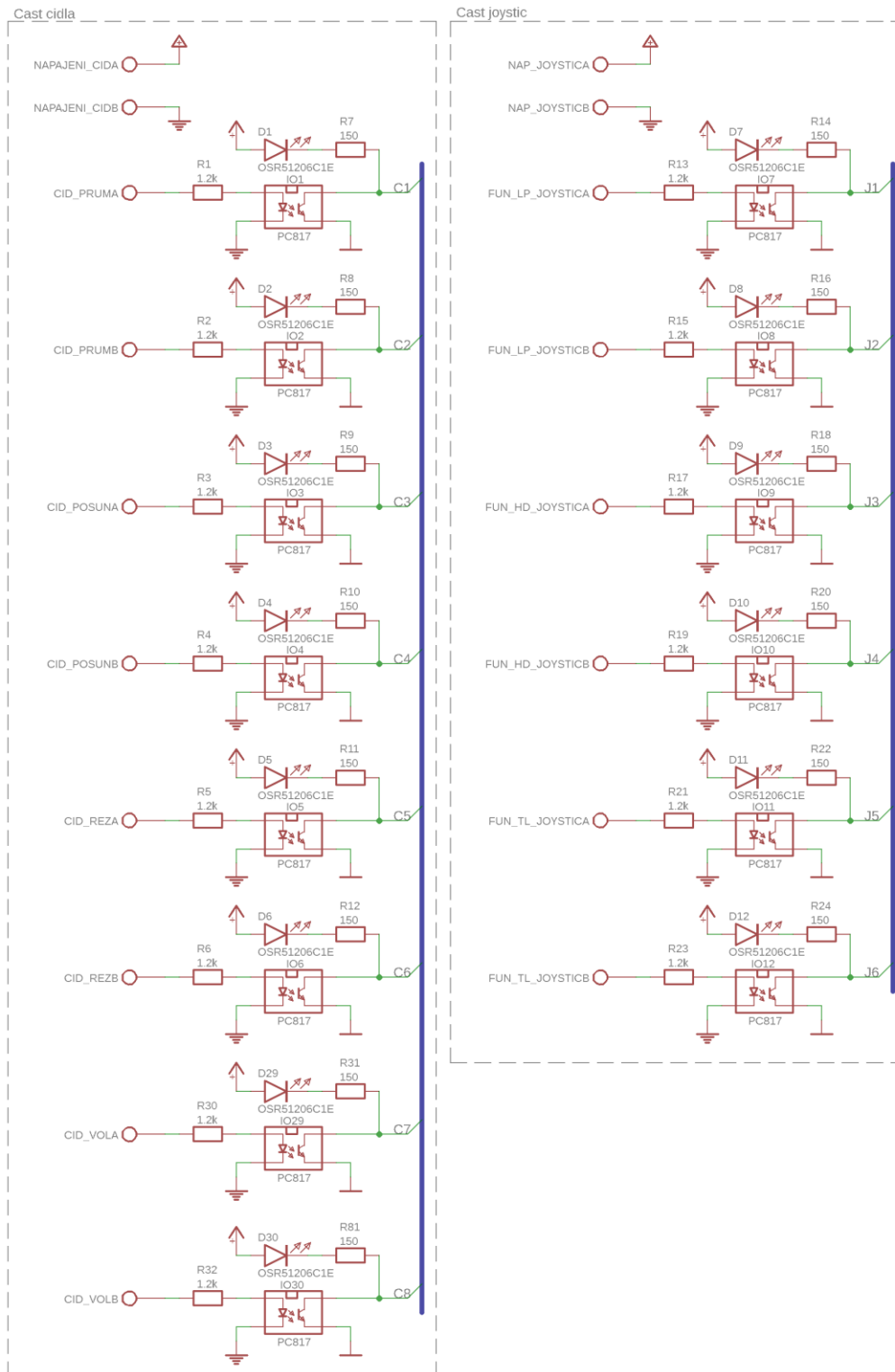
- [11] MOSFET jako spínač - využití spínání výkonových MOSFETů | Arquidia Mantina. In: *Arquidia Mantina* [online]. 2022 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://arquidiamantina.org/cs/mosfet-jako-sp%C3%ADna%C4%8D/>
- [12] Enkodéry (Robotika.cz > Průvodce). In: *Robotika.cz* [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://robotika.cz/guide/encoders/cs>
- [13] Jak funguje LCD display. In: *Display-LCD.cz - Prodej LCD displejů*. [online]. Plzeň, 2022 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <http://www.display-lcd.cz/jak-funguje-lcd>
- [14] Technologie: TFT LCD displeje | Svět hardware. In: *Svět hardware | homepage* [online]. 2022 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/technologie-tft-lcd-displeje/7555>
- [15] *INSTRUCTIONS FOR INSTALLATION, USE AND MAINTENANCE* [online]. 2005 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://webshop.robert-aebi-landtechnik.ch/DE/SitePages/classDocuments.aspx?classId=Keto&brandId=Keto>
- [16] Měnič napětí Carspa SUT1224-20A, z 12V na 24V, 20A, 480W | VSelektro.eu. In: *VSelektro.eu - víme jak na to* [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.vselektro.eu/menic-napeti-carspa-sut1224-20a-z-12v-na-24v-20a-480w/>
- [17] Mikrokontrolér AVR, EEPROM: 4kB, SRAM: 4kB, flash: 128kB, SMD ATMEGA128A-AU | GM electronic, spol. s.r.o. In: *GM electronic | elektronické součástky, komponenty*. | *GM electronic, spol. s.r.o.* [online]. 2022 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/atmega128a-au-tqfp64-atmel>
- [18] IRFU6215PBF - Infineon - Výkonový MOSFET, P Kanál, 150 V. In: *Farnell Česká republika - Distributor elektronických součástek* [online]. Leeds, 2022 [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: https://cz.farnell.com/infineon/irfu6215pbf/mosfet-p-ch-150v-13a-175deg-c/dp/3155151?gclid=CjwKCAjw682TBhATEiwA9crl35CgSI3UTQ9SEjPbNhgqGmCuOnzRGT98DY4izpEgj37JFNxmFlihexoCoGMQAvD_BwE&mckv=s5JvTUMnp_dc|pcrid|430410598775|keyword|irfu6215pbf|match|p|plid||slid||product||pgrid|105576193408|ptaid|kwd-347832284308|&CMP=KNC-GCZ-GEN-SKU-MDC
- [19] PC817X1NSZ1B SHARP - Optočlen | THT; Ch: 1; OUT: tranzistorový; Uizol: 5kV; Uce: 80V; DIP4 | TME Czech Republic s.r.o. - Elektronické součástky. In: *Elektronické díly. Distributor a obchod online - Transfer Multisort Elektronik* [online]. 2022 [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/details/pc817x1nsz1b/optocleny-analogovy-vystup/sharp/>

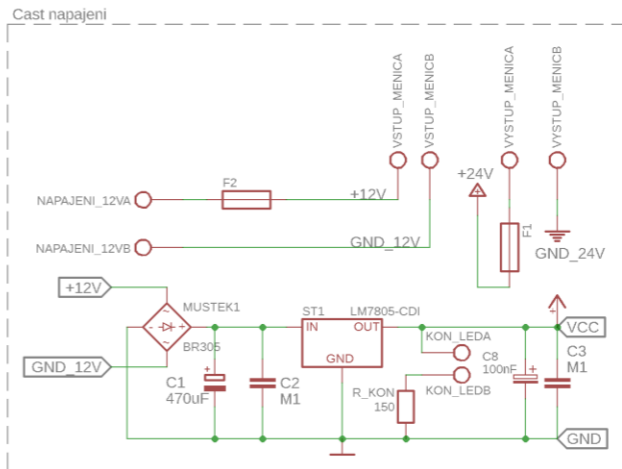
- [20] Optočlen PC817 s tranzistorem | dratek.cz. In: *Dratek.cz: VELKOOBCHOD, MALOOBCHOD S ARDUINEM* [online]. [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/1252-optoclen-pc817-s-tranzistorem.html>
- [21] Znakový LCD displej 20x4 I2C (žlutý). In: *Pájeničko.cz* [online]. 2022 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://pajenicko.cz/displeje/znakovy-lcd-displej-20x4-i2c-zluty>
- [22] QW-01 QWERTY - Klávesnice: membránová | Poč.tl: 16; W: 80mm; Rozteč: 2,54mm; L: 80mm | TME Czech Republic s.r.o. - Elektronické součástky. In: *Elektronické díly. Distributor a obchod online - Transfer Multisort Elektronik* [online]. 2022 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/details/qw-01/membranove-klavesnice/qwerty/>

Příloha A – Schémata

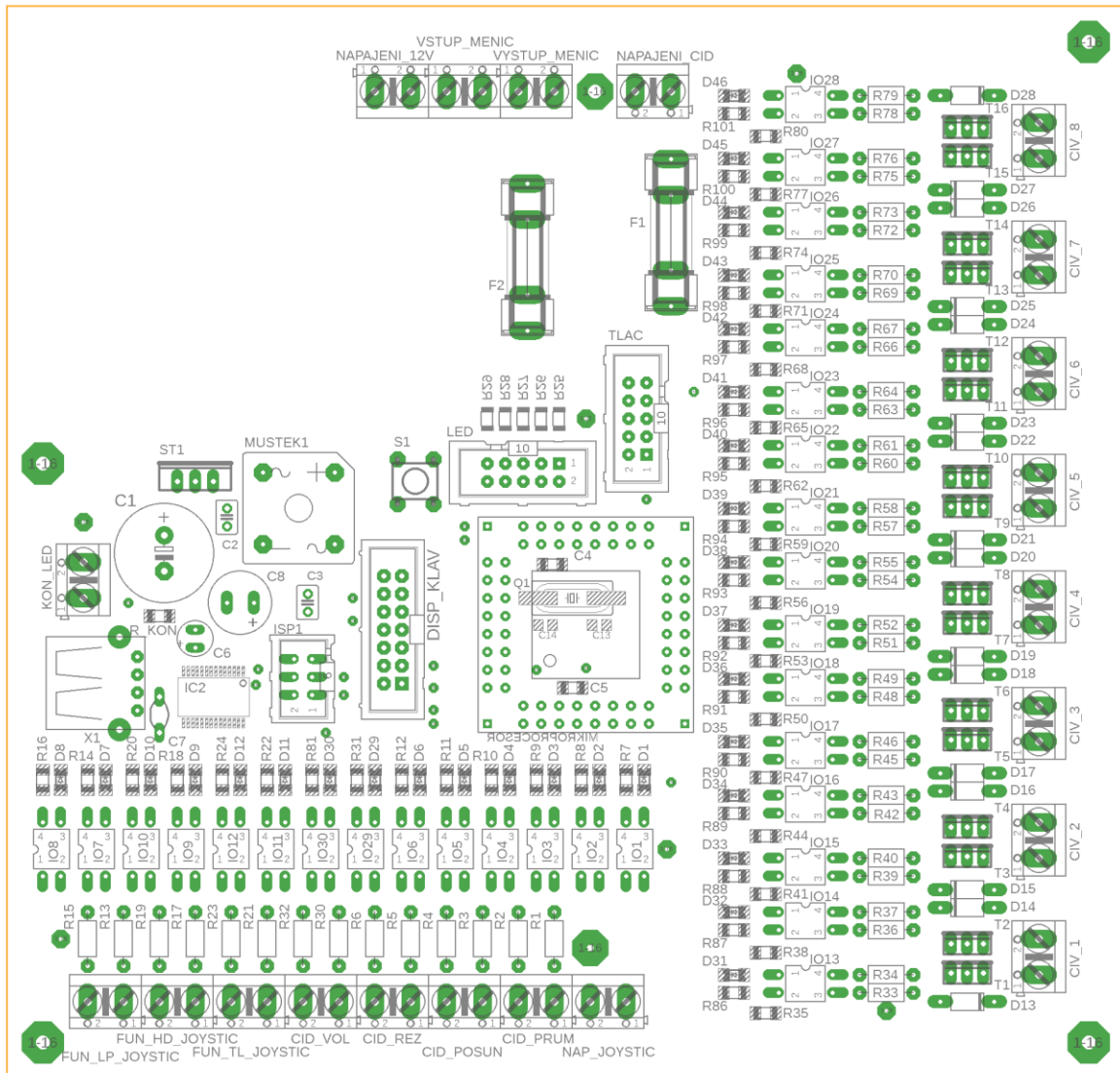








Příloha B – Osazovací plán



Příloha C – Fotografie

