

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



**Diplomová práce**

**System robotického řízení teleskopu  
D50**

Autor: **Petr Skala**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. René Neděla**

©Praha 2013

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

Katedra elektrotechniky a automatizace

Technická fakulta

# **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Skala Petr

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

**Systém robotického řízení teleskopu D50**

Anglický název

**System for robotic control telescope D50**

## **Cíle práce**

Cílem této práce je systém robotického řízení teleskopu D50.

## **Metodika**

Studium doporučené literatury a praktický návrh řízení teleskopu D50.

## **Osnova práce**

- 1) Úvod
- 2) Cíle a metodika
- 3) Teoretická část
- 4) Praktická část
- 5) Testování a ověřování funkčnosti
- 6) Závěr

**Rozsah textové části**

55 stran

**Klíčová slova**

Teleskop D50, řízení, robotický systém

---

**Doporučené zdroje informací**

Automatické řízení: Balátě J. BEN, 978-80-7300-148-3

Teorie automatického řízení: Švarc I. VUT,

Zítek, P.: Automatického řízení pro bakaláře. Skriptum, ČVUT v Praze, 2009

Technická dokumentace Teleskop D50

---

**Vedoucí práce**

Neděla René, Ing.

**Termín zadání**

listopad 2011

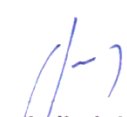
**Termín odevzdání**

duben 2013

  
**prof. Ing. Volf Jaromír, DrSc.**

Vedoucí katedry



  
**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**  
Děkan fakulty

## **Čestné prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně, na základě informací získaných z uvedené literatury a po odborných konzultacích s vedoucím diplomové práce.

V Praze dne .....

Podpis.....

## **Poděkování:**

Rád bych poděkoval mému vedoucímu diplomové práce, že mi umožnil psát práci na toto téma a také mu děkuji za jeho cenné připomínky k obsahu a stylu práce. Také děkuji svým rodičům za podporu, a své přítelkyni za korektury práce. V neposlední řadě také děkuji Mgr. Janu Štroblovi a Bc. Michalu Jakubcovi z astronomického ústavu, kteří mi pomohli v hledání vhodných zdrojů a formou konzultací. Všem těmto lidem tímto děkuji.

System robotického řízení teleskopu D50

Control system for robotic telescope D50

## **Abstrakt**

Práce se zabývá problematikou robotizace teleskopů, jsou v ní popsány typické požadavky na teleskopy. Na teleskopu D50 je provedeno hodnocení výkonu a následně proveden návrh řídicího systému podle navržených úprav. Navržený systém bude řešit problematiku bezpečnosti, spolehlivosti a efektivity provozu. V závěru bude zhodnoceno výsledné řešení, a splnění cílů.

## **Klíčová slova**

Teleskop D50, řízení, robotický systém

## **Summary**

The work deals with robotic telescopes issues. There are described typical requirements for telescopes in the thesis. Performance evaluations will be made on the D50 telescope and subsequently new control system will be designed according to the proposed modifications. The proposed system will solve issues of safety, reliability and operational efficiency. At the conclusion, the final solution will be evaluated, whether targets are accomplished.

## **Keywords**

Telescope D50, robotic system, control



## Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíle práce a metodika.....	3
2.1	Cíle práce .....	3
2.2	Metodika .....	3
3	Teoretická část.....	4
3.1	Motivace robotizace teleskopů.....	4
3.2	Analýza výchozího stavu .....	7
4	Praktická část.....	11
4.1	Představení projektu REMOTES.....	11
4.2	Návrh modulů.....	18
4.3	Etapy nasazení systému .....	24
4.4	Návrh rozměrů modulů .....	26
4.5	Návrh hlavní desky .....	27
4.6	Návrh periferní desky .....	47
4.7	Význam a výhody 3D modelování .....	49
4.8	Testování a ověřování funkčnosti.....	52
5	Závěr .....	57
6	Citovaná literatura.....	59
7	Použité zkratky .....	61
8	Seznam obrázků.....	62
9	Přílohy.....	64

# 1 Úvod

Věda stejně jako průmysl udělala velký pokrok. Moderní astronom již nepotřebuje ponocovat u teleskopu jako před sto lety a astronomie tak ztratila hodně ze své romantiky. Bohužel časy romantiky ustoupily potřebám přesnému, rychlému, ale i náročnému opakovanému pozorování. Robotizace se tedy stala nutností spíš než luxusem. Astronom se díky automatizaci stal více programátorem, který jen plánuje svá pozorování i několik dní napřed a může při tom být na druhé straně zeměkoule.

Požadavky na robotizaci teleskopů jsou často extrémní, za účelem přesného a klidného chodu teleskopu po dobu expozice v řádu minut až hodin, musí každá součást teleskopu pracovat bezchybně. Robotický dalekohled musí vynikat nejen svou přesností, ale i spolehlivostí, tak aby bylo možné úkolovat teleskop bez přímého dozoru technika.

V ondřejovském astronomickém ústavu pozoruje skupina výzkumu vysokých energií ty nejexotičtější objekty vesmíru, jako jsou supernovy, blazary, aktivní galaxie, kataklyzmické proměnné hvězdy a jiné. Podílí se také na programu družice INTEGRAL (INTErnational Gamma-Ray Astrophysics Laboratory), která pozoruje na oběžné dráze tyto objekty v oboru gama záření. Již koncem 60. let 20. století se pomocí vojenských satelitů podařilo objevit gama záblesky. Jsou to nejenergičtější jevy ve vesmíru, které si armáda nejdříve pletla s ruskými atomovými testy. Ještě v dnešní době je původ těchto jevů neznámý, ale právě pomocí INTEGRALu se koordinuje úsilí mezi touto družicí a pozemními pozorovateli, kteří se snaží zachytit optické protějšky záblesků. Gama záblesk trvá od několika jednotek až po stovky sekund a to klade velké nároky na pozemní pozorovatelny, které musí zahájit své pozorování co nejdříve (pokud možno souběžně s pozorováním v gama oboru), a také velmi přesně nastavit polohu teleskopu na udané souřadnice. Následuje nepřetržité pozorování, protože optický protějšek plynule slábne a je detekovatelný až několik dní. Z následných dat se pak sestavuje fotometrická křivka (multispektrální), která dokáže prozradit, o jaký typ gama záblesku šlo a jaký objekt je pravděpodobným původcem. Toto je naprosto nejnáročnější pozorovací disciplína, vyžadující téměř všechny aspekty robotizace, ale zároveň i velmi lákavá díky možnosti získu velmi zajímavých a v impaktovaných publikacích žádaných dat.

Proto bylo rozhodnuto o stavbě takového teleskopu, který by mohl přispět k poznání na poli gama záblesků. Pro tento účel byl mimo jiné v Ondřejově zkonstruován a s některými problémy provozován teleskop D50 (dalekohled o průměru zrcadla 50cm). Ukázalo se, že řešení robotizace u tohoto teleskopu nebylo dostatečné výkonné. Nevyhovující byla

motorizace pomocí krokového motoru, který neměl dostatečnou sílu, a hlavně v zimním období se stávalo, že se dalekohled nemohl hýbat. V letním období se sice tyto problémy s vyššími teplotami zmírnily, ale i tak se dalekohled pohyboval velmi pomalu. Další problém nastával v momentu, kdy motor ztratil kroky a tím najížděl na špatnou pozici. Bylo jasné, že je zapotřebí motor vyměnit za jiný výkonnější typ a přidat i měření skutečné polohy. Byly zaznamenány problémy i řídicím systémem RTS2 (Remote Telescope Systém 2. verze). (1) Tento systém řídí celé pozorovací stanoviště a je napojen i na systém upozornění gama družic. Bohužel několikrát se stalo, že se RTS2 snažil pozorovat gama záblesk i pod horizontem a jen souhrou okolností nedošlo v poškození teleskopu, což je nepřípustné chování.

Proto bylo rozhodnuto o vývoji nového řešení, které na úrovni hardware bude řešit ovládání nových motorů a okolních čidel a tyto periferie bude koordinovat tak, aby nedošlo k ohrožení teleskopu a jeho chod byl maximálně spolehlivý.

## **2 Cíle práce a metodika**

### **2.1 Cíle práce**

V práci budou rozebrány důvody robotizace teleskopů, a nastíněny obecné požadavky na ně. Dále budou porovnány se stávajícími parametry teleskopu D50 a bude navrženo řešení pro vytvoření systému robotického řízení teleskopu D50. Návrh bude fyzicky proveden, a následně otestována jeho funkčnost.

### **2.2 Metodika**

Studium doporučené literatury a praktický návrh řízení teleskopu D50. Budou probíhat konzultace s odbornými pracovníky astronomického ústavu, prezentace a sběr reakcí na mezinárodních konferencích a týmových schůzkách a měření charakteristik součástí systému.

## **3 Teoretická část**

### **3.1 Motivace robotizace teleskopů**

#### **První robotický dalekohled**

Ondřejovská skupina začala okolo roku 2000 provozovat malý robotizovaný teleskop, který je schopný rychle reagovat na upozornění INTEGRALu, a díky tomu získávat ty nejcennější data z počátku jevu. Tak vzniklo pozorovací stanoviště robotického teleskopu BART (Burst Alert Robotic Telescope). Parametry dalekohledu jsou uvedeny v Tabulka 1. Tento teleskop je ovládaný pomocí RTS2 (Remote Telescope Systém 2. Verze), což je open source balík k ovládní robotických pozorovaten (nejen teleskopů), spouštěný pod operačním systémem Linux, obsluha a komunikace s tímto systémem komunikuje například pomocí SSH. K pohybu teleskopu jsou využívány motory montáže, které dovolují i základní ovládní (nikoli řízení) polohy. Vlastní řízení polohy probíhá pomocí menšího sekundárního sousého teleobjektivu, jenž po dobu provozu neustále snímkuje oblohu a provádí astrometrii (určuje polohu pomocí identifikace hvězdného pole), která funguje jako zpětná vazba. (1), (2)

Tabulka 1 - Parametry teleskopu BART (2)

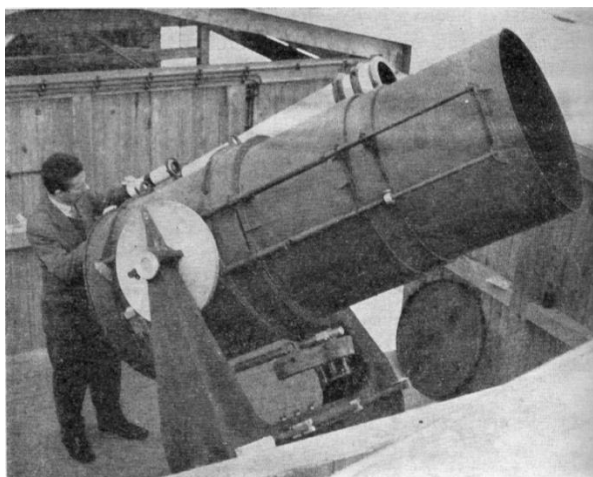
Teleskop	
Výrobce	MEADE
Typ	Schmidt-Cassegrain
Průměr optiky	254 mm
Ohnisková délka	1640 mm
Montáž	
Výrobce / Typ	Losmandy / Titan
Sekundární teleskop	
Výrobce	Rubinar
Typ	Maksutov- Cassegrain
Průměr optiky	100 mm
Ohnisková délka	495 mm
Hlavní CCD kamera	
Výrobce / Typ	FLI / MaxCam CM2- 1
Rozlišení	1024x1024
Zorné pole	28' x 28'
Úhlové rozlišení	1,635''/pixel
Sekundární CCD kamera	
Výrobce / Typ	FLI / IMG 6303 E
Rozlišení	3072 x 2048
Zorné pole	3,2° x 2,1°
Úhlové rozlišení	3.748 ''/pixel
Filtry	
Spektrální typ	B, V, R, i, z, clear

## Druhý dalekohled

Teleskop BART se osvědčil a skupina od roku 2002 začala uvažovat nad stavbou většího, který by měl větší dosah a zaznamenal i více záblesků. Pro tyto účely byl navržen specializovaný teleskop o průměru zrcadla 50cm (odtud název D50). Jeho stavba byla dokončena roku 2007 a v roce 2008 začal teleskop pozorovat v sestavě, která je brána jako výchozí stav pro tuto diplomovou práci. Z historických a dispozičních důvodů byl umístěn do pozorovacího domku na centrální pozorovací plošině v Ondřejově na původní vidlicovou montáž První brněnské strojírny z padesátých let. Na Obrázek 1 můžete vidět vzhled původní pozorovatelný a montáže. Další parametry teleskopu jsou uvedeny v Tabulka 2. (1), (2)

Tabulka 2 - Parametry teleskopu D50 (2)

Teleskop	
Výrobce	---
Typ	Newton
Průměr optiky	500 mm
Ohnisková délka	2277 mm
Montáž	
Výrobce / Typ	První brněnská strojárna
Sekundární teleskop	
Výrobce	Rubinar
Typ	Maksutov- Cassegrain
Průměr optiky	100 mm
Ohnisková délka	500 mm
Hlavní CCD kamera	
Výrobce / Typ	FLI / IMG 4710
Rozlišení	1024 x 1024
Zorné pole	20' x 20'
Úhlové rozlišení	1,18''/pixel
Sekundární CCD kamera	
Výrobce / Typ	FLI / IMG 6303 E
Rozlišení	3072 x 2048
Zorné pole	3,2° x 2,1°
Úhlové rozlišení	3.748 ''/pixel
Filtry	
Spektrální typ	B, V, R, i, clear



Obr. 38. Komora typu Richter-Slevogt na ondřejevské observatoři.  
Průměr vstupního otvoru 65 cm, světelnost 1 : 1,4. Foto: L. Straka

Obrázek 1 – Vzhled předchůdce teleskopu D50

Zdroj: *Moderní technika v astronomii, edice Cesta k vědění č.6, NČSAV Praha 1964, s.52, obr.38)*

### 3.2 Analýza výchozího stavu

Pozorovací stanoviště se nachází na centrální pozorovací plošině observatoře Astronomického ústavu Ondřejov AV ČR v.v.i. Poloha je na vyznačena na Obrázek 2. Pozorovací stanoviště je připojeno na třífázové napájení, telefonní linku a pomocí metalického kabelu UTP je přivedeno připojení k internetu.

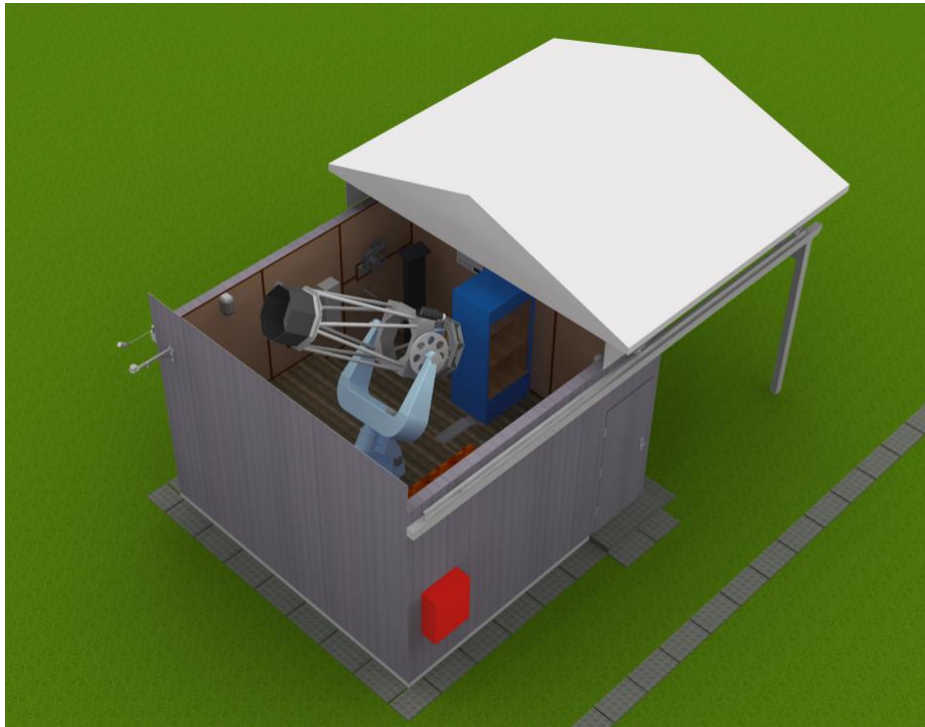


*Obrázek 2 – Poloha pozorovacího domečku*

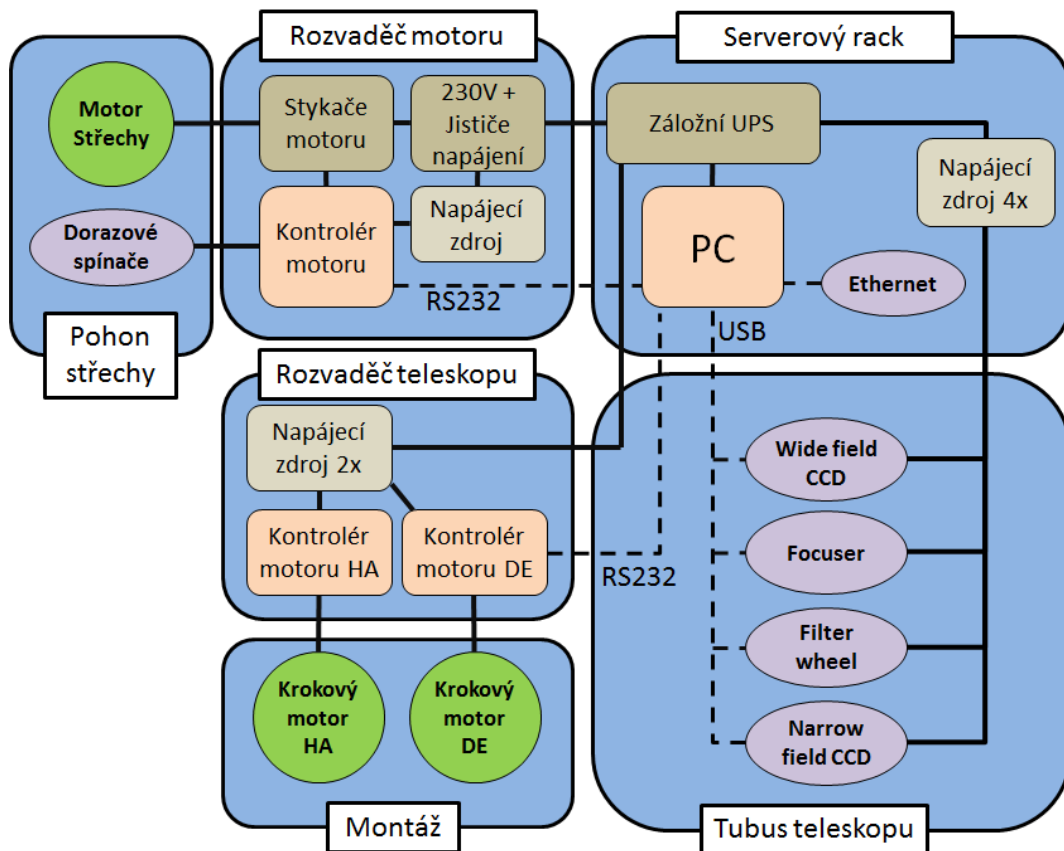
*Zdroj: Seznam.cz*

U severní zdi je umístěna serverová skříň, ve které je řídicí PC a bezpečnostní UPS (Uninterruptible Power Supply) pro případ výpadku napájení. Na severní stěně je umístěn rozvaděč, kde jsou pojistky a jističe. Na západní stěně jsou kontroléry krokových motorů (pro pohon os teleskopu), a třífázový asynchronní motor pro otevírání střechy domečku. Střecha je s motorem spojená pomocí řetězu a ozubeného kola s převodem do pomala a celý obvod je vypínán pomocí dorazových spínačů (silových a informativních). Dále jsou na západní stěně také dvě monitorovací kamery pro kontrolu pozorovacího stanoviště. Na venkovní straně jsou umístěny senzory pro snímání oblačnosti a srážek. Dalekohled je osazen dvěma CCD (Charge Coupled Device) kamerami, filtrovým kolem a motorizovaným ostřením. Pro lepší představu můžete vidět na Obrázek 3 vzhled pozorovacího stanoviště, a v Příloze 1 pak i další pohledy. Na Obrázek 4 můžete vidět schéma pozorovacího stanoviště.





Obrázek 3 – Pohled na pozorovací stanoviště



Obrázek 4 – Schéma pozorovacího stanoviště

Zdroj: (2)

Ve výchozím stavu bylo pozorovací stanoviště teleskopu funkční, ale kvůli některým technickým řešením trpěl několika nedostatky. Tyto nedostatky se postupem času v praxi ukázaly jako závažné, a proto byla skupinou okolo D50 svolána schůzka pozorovatelů a techniků, na které byly sepsány všechny problémy, se kterými se pracovníci při provozu teleskopu setkali. Na základě toho byl vytvořen dokument, z něž se vycházelo při tvorbě strategie opravy pozorovacího stanoviště.

- 1) Nedostatečně dimenzované motory mají za následek pomalé najíždění ( $0,8^\circ/s$ ) na požadovaný objekt, vinou nevhodného řízení motory také najíždějí na nesprávné místo a poloha se musí dodatečně korigovat.
- 2) Chybí čidla výchozí pozice, která by hlídala správnou polohu dalekohledu při parkování dalekohledu po skončení pozorování.
- 3) Montáž dalekohledu vykazuje periodickou chybu, která zkracuje použitelnou expoziční dobu na 20s, navíc má montáž i jiné mechanické problémy, např. vůle v převodech hodinové osy a deklinace.
- 4) Teleskop se v případě výpadku elektřiny neumí zaparkovat a zavřít střechu.
- 5) Teleskop se v případě zhoršení počasí (např. srážky) neumí zaparkovat a zavřít střechu.
- 6) Teleskop nemá informaci, kam může zajet bez rizika kolize s okolními předměty (střecha a stěny domečku).
- 7) Teleskop nemá možnost guidingu.
- 8) Při jakékoli poruše PC se stává celý systém nefunkčním.
- 9) Systém může dostat od RTS-2 příkaz, který vede ke kolizi (např. najetí do okolních předmětů). (2)

Jak je ze seznamu vidět, jde o kombinaci jak mechanických, tak i elektrických problémů. Další strategie jejich nápravy se tedy řídila hlavně tím, aby bylo dosaženo nejvyšší spolehlivosti, bezpečnosti a výkonnosti za přijatelných ekonomických potřeb.

Zvažována byla varianta pořízení nové montáže vyrobené na zakázku nebo sériově vyráběné, která by měla výkonnější motory a obsahovala čidla s absolutní informací o poloze. Tím by se vyřešily mnohé problémy, ale stále by tu byl řídicí počítač jako centrální bod, který je značně nespolehlivý. Druhým problémem jsou celkové náklady na takovéto řešení.

Jako řešení, které nejlépe vyhovělo všem stanoveným kritériím, bylo zvoleno to, které využívá původní montáž i teleskop. Pro odstranění problémů bylo rozhodnuto o výměně krokových motorů, které byly příliš slabé a pomalé a jejich krování bylo použito

k nepřesnému řízení, za servomotory, které dovolují daleko rychlejší pohyb (až  $10^\circ/\text{s}$  a zrychlení  $5^\circ/\text{s}^2$ ), a navíc mají zabudovaný selsyn, který dává informaci o natočení motorů. Dalším opatřením bude instalace čidel absolutní (dále jen ARC) a relativní (dále jen IRC) polohy s interpolátorem. To dá teleskopu jasnou informaci, kam míří, kam může najet, a řízení bude tak přesné (asi 0,1 obloukové vteřiny), že nebude zapotřebí guiding pomocí druhé kamery. Velkou část problémů způsobuje i mechanika montáže, která je přes 50 let stará. Proto se vymění ústrojí šneku hodinového stroje. Tím se výrazně zmenší problémy s periodickou chybou. Dále také bude teleskop oplechován, za účelem odstranění parazitního světla vnikajícího do teleskopu z boku. Jako opatření proti chybným nebo nebezpečným příkazům bude vyvinuta speciální řídicí jednotka, která bude vyhodnocovat informace z čidel a příkazy od RTS2 a bude tak hlídat, aby nedošlo k havarijnímu jednání.

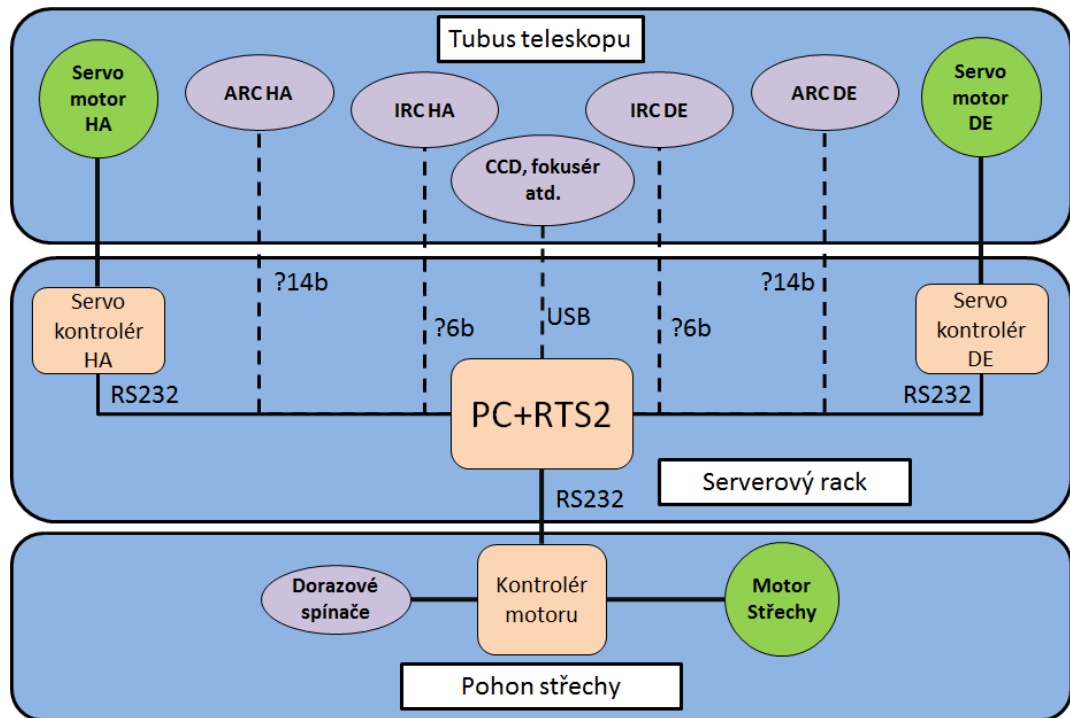
## 4 Praktická část

### 4.1 Představení projektu REMOTES

Projekt REMOTES měl poskytnout řešení, jak se vypořádat s problémy řízení. Do úvahy přicházelo několik variant od průmyslových počítačů, přes PLC (Programmable Logic Controller), až po vlastní návrh a program pomocí MCU (Micro Controller Unit) některého renomovaného výrobce. Už při první poradě vyplynulo, že kvůli specifickým možnostem financování celé renovace se projekt vydá cestou speciálně navržené jednotky. Tato cesta je časově velmi náročná, už jen teoretický návrh je odhadován na měsíce práce. Další velká kapitola je vlastní elektrický a později i fyzický návrh PCB (Printed Circuit Board). Zde bude zapotřebí mnoho testování a vývoj některých prototypů k ověření správnosti návrhu. Náročná bude i kapitola vývoje firmware takové jednotky. MCU pracují na úrovni jazyka assembler, který má redukovanou sadu příkazů, ale ovládání všech funkcí MCU je daleko přirozenější. Druhá možnost je použití jazyka C, který je již na pomezí mezi programovacími jazyky nižšími a vyššími. Usnadní implementaci složitějších funkcí a nevyžaduje tak extenzivní znalosti o registrech MCU. Problémem by mohl být fakt, že pro použití některých funkcí je zapotřebí k programu připojit knihovny (například počítání s plovoucí desetinnou čárkou). Tyto knihovny mohou být poměrně rozsáhlé v závislosti na složitosti funkce a téměř tak zaplnit programovou paměť MCU. Proto by se při výběru MCU již muselo uvažovat nejen nad potřebným počtem pinů, ale i nad velikostí potřebné paměti. Nejvíce zkušeností má tým okolo projektu REMOTES s MCU firmy Atmel, proto, až se bude rozhodovat o přesném typu MCU, pak mezi mikrokontroléry této firmy. V sortimentu se náchází MCU s vnitřní FLASH pamětí až 384kB a EEPROM až 4096kB, což je dostatečné, i pro velmi rozsáhlé projekty jako tento.

#### Zvažované možnosti architektury

K vítězné architektuře vedlo několik stupňů, které byly kvůli svým vlastnostem později zamítnuty, ale byly důležité ve formování výsledné architektury. Jako první se vzalo to nejjednodušší řešení. Použily se všechny stávající komponenty a zakomponovaly se k nim nové prvky bez řídicí jednotky, jak je zobrazeno na Obrázek 5.



Obrázek 5 – První verze architektury

Zdroj: (2)

Tato verze se ukázala jako velmi problematická hlavně v oblasti spolehlivosti. Centrálním bodem stále zůstává PC s nainstalovaným balíčkem RTS2. Topologie do hvězdy je velmi citlivá na poruchovost centrálního uzlu. Tím je standartní PC, které je na tento účel naprosto nevhodné. Poruchovost komponent je příliš velká a systém je v případě poruch plně paralyzovaný.

Další problém představuje šířka a počet použitých sběrnic a jejich zpracováním v reálném čase. Nároky na rychlost zpracování dat z čidel ARC, která mají 14 bitů, jsou značné. Při navrhované rychlosti  $20^\circ/s$  a rozlišení 14bitů = 16384 úrovní je dle Shannon-Kotelnikova teorému zapotřebí vyčítat čidlo téměř přesně každé půl milisekundy, jak ukazuje rovnice 4.1.

$$\Delta T_{\text{měření}} = 16384 \cdot \frac{20}{360} = 910,229 \text{ Hz} = 1,0986 \text{ ms} \quad 4.1$$

U IRC je situace ještě daleko složitější úhlové rozlišení je  $0,1''$

$$\Delta T_{\text{měření}} = \frac{\text{úhlové rozlišení}}{\text{úhlová rychlost}} = \frac{0,1}{20 \cdot 10 \cdot 60 \cdot 60} = 72000 \text{ Hz} = 13, \bar{8} \mu\text{s} \quad 4.2$$

Měření by tedy muselo probíhat každých  $6,944 \mu\text{s}$  podle rovnice 4.2. Je jasné, že žádné PC není schopné pojmout takový tok dat v reálném čase. Proto bude zapotřebí vyvinout

zmíněnou jednotku, která bude zajišťovat komunikaci s motory a kontrolu polohy pomocí čidel. PC by se podílelo jako nadřazená instance, která by zadávala příkazy k přesunu a dostávala informace o jejich splnění. Dále jednotka převezme kompetence nad periferiemi domečku jako je motor střechy. Tím se změní topologie hvězdy na strom, který za předpokladu, že jednotka bude mít výrazně vyšší spolehlivost, nebude již tolik náchylný na selhání PC a systém bude dál schopný provozu nebo ho bezpečně ukončí.

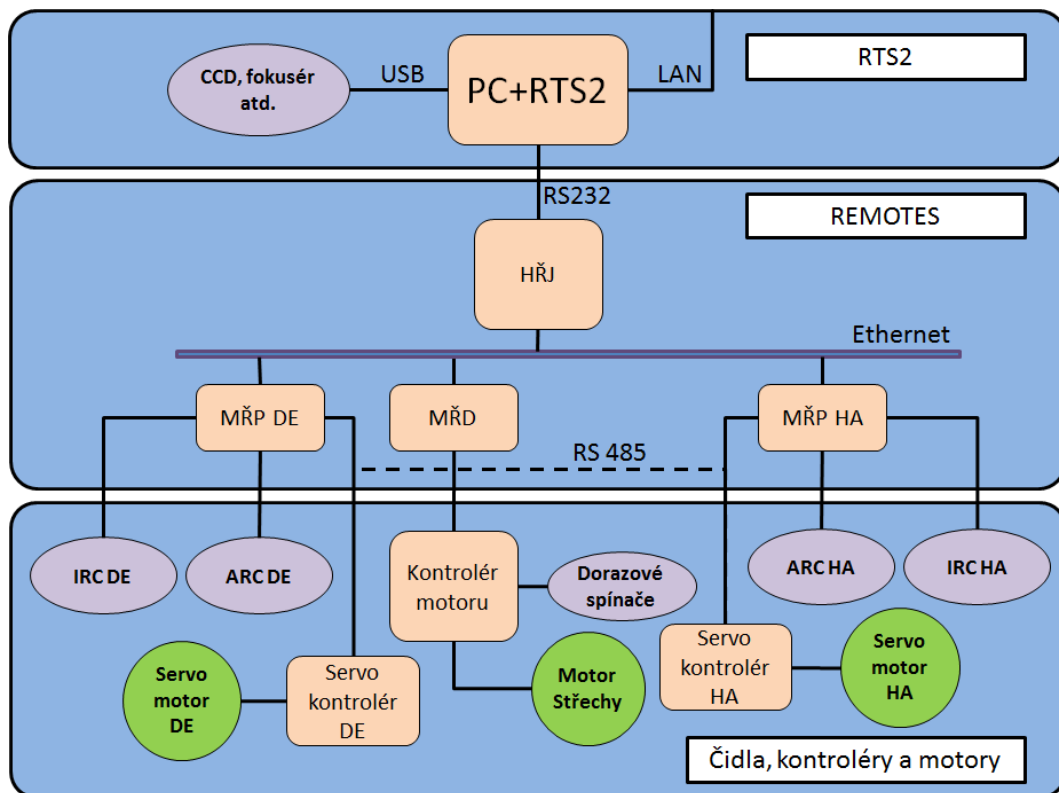
### **Výsledná architektura**

Z prostorových důvodů a z důvodu ideálních délek vodičů od senzorů bude vhodné, aby se řídicí jednotka rozdělila do jednotlivých modulů, jejichž polohou bude určena role, kterou budou primárně vykonávat. Podle určení se dají moduly rozdělit do tří skupin.

- 1) Hlavní řídicí jednotka (HŘJ) bude zajišťovat komunikaci mezi řídicím počítačem a systémem modulů. Od PC bude dostávat požadavky na informace o stavu systému, a příkazy na jeho změnu. Bude vyhodnocovat i stav systému a v případě poruchy rozhodne jak dále pokračovat (v ideálním případě dostane uživatel jen informaci, že se vyskytla porucha, a jak byla vyřešena a to celé bez nutnosti přerušování činnosti).
- 2) Modul řízení polohy (MŘP) je určen ke zpracovávání informací z ARC a IRC a ovládání servo kontrolérů. Čidla jsou náročná na zpracování datového toku a mají požadavek na co nejmenší délku kabelů. Proto musí být tyto moduly od HŘJ odděleny a jsou tak samostatnými moduly. Navíc bude mít každá osa montáže svůj MŘP.
- 3) Modul řízení domečku (MŘD) bude obstarávat provoz periferních zařízení, otevírání a zavírání střechy a spouštění jiných silových zařízení. Bude tedy zapotřebí mnoha silových spínačů.

Celý přehled výsledné architektury vykresluje Obrázek 6.

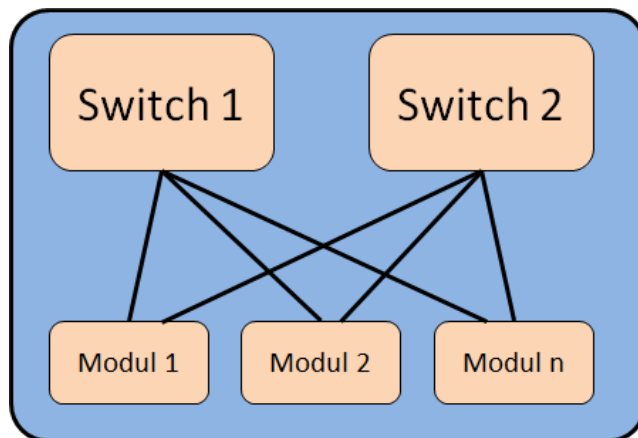
Modularita není použita jen na úrovni rozdělení úloh a kompetencí, ale i uvnitř modulů, jak bude předvedeno i v dalších kapitolách. Díky tomu klesly náklady na výrobu a vývoj a bylo možné lépe rozdělit práci mezi členy skupiny. To přináší možnost jednotku jednoduše servisovat a přizpůsobit jiným úkolům.



Obrázek 6 – Výsledná architektura

Zdroj: (2)

Kontrolní jednotka je konstruována z důvodu zvýšení spolehlivosti celého systému. To znamená, že i návrh jejích vlastností a vlastností komponent musí plně vyhovovat požadavkům na maximální spolehlivost. Zároveň je tu i faktor extrémních podmínek, ve kterých bude jednotka nasazena. Musí odolávat velkým teplotním výkyvům (je vyžadována činnost v rozmezí -20 až 30°C), velké vlhkosti dosahující i 100%. Jako základní opatření bude aplikována redundance všech kritických částí systému tak, aby nikdy nemohlo dojít k paralyzaci celého systému. Při elektrickém návrhu bude brán maximální ohled na elektrickou bezpečnost (přepětí, pracovní podmínky, pracovní body, chlazení atd.). I proto bylo vybráno zapojení, které je ještě odolnější proti výpadku jedné z komponent řešení. Sběrnice bude řešena pomocí standardu 10/100 Mb ethernetu. Na fyzické vrstvě dochází k redundanci. Na každý modul budou umístěny dva ethernetové kontrolery. Pokud dojde k výpadku jedné větve sítě, může ještě komunikace pokračovat na druhé, jak naznačuje Obrázek 7. Výhodou je, že ethernetový konektor může obsahovat transformátor. To znamená, že jsou moduly galvanicky oddělené. V případě poruchy jednoho z MŘP je druhý schopen převzít řízení motoru a systém uvést do bezpečného stavu, jak je naznačeno v Obrázek 6 pomocí přerušované čáry. Nově bude také navrhnout systém napájení a zálohování napájení tak, aby při výpadku nemohlo dojít k samovolnému uvedení systému do bezpečného stavu.



Obrázek 7 - Redundantní zapojení pomocí ethernetu

Zdroj: (2)

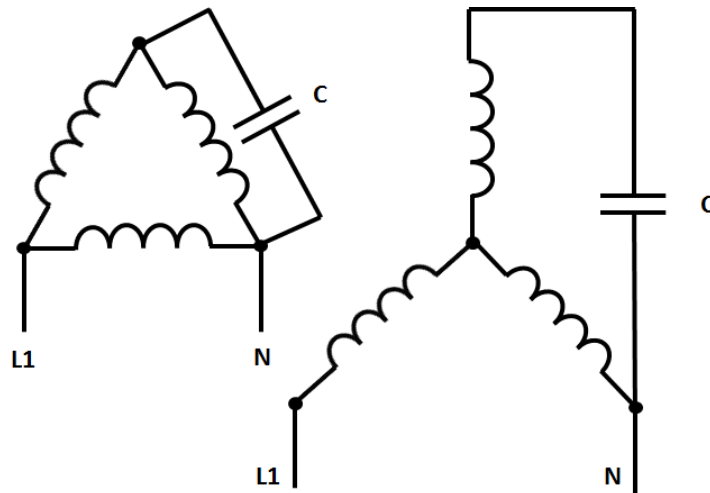
V předešlých odstavcích byly zmíněny dvě nejdůležitější vlastnosti tohoto řešení, a to spolehlivost (anglicky reliability) a modularita. Tato slova dávají první dvě slabiky názvu projektu REMOTES. Zbývající jsou odvozena z anglických slov telescope a solution (celkově tedy reliable modular telescope solution, neboli spolehlivé modulární řešení pro teleskopy).



## Napájení

Vedle architektury logické je také zapotřebí vyřešit i způsob řešení architektury napájení. Je nutné mít takové zapojení, které i při úplném výpadku bude schopné uvést systém do bezpečného stavu, tj. zaparkovat teleskop do bezpečné polohy a zavřít střechu domečku. Vzhledem k tomu, že je do domečku zavedeno třífázové napájení, které plně využívá jen motor zavírání střechy a zbytek zařízení je klasický jednofázový, nabízejí se dvě varianty přístupu. Buď budou řešeny všechny fáze, nebo bude pro motor využito některé speciální zapojení jen na jednu fázi. Do řešení musí být opět zakomponována redundance, aby se předešlo paralyzování systému vlivem výpadku. Tato vlastnost je klíčová pro celkovou spolehlivost řešení, proto bude i poměrně rozsáhlá.

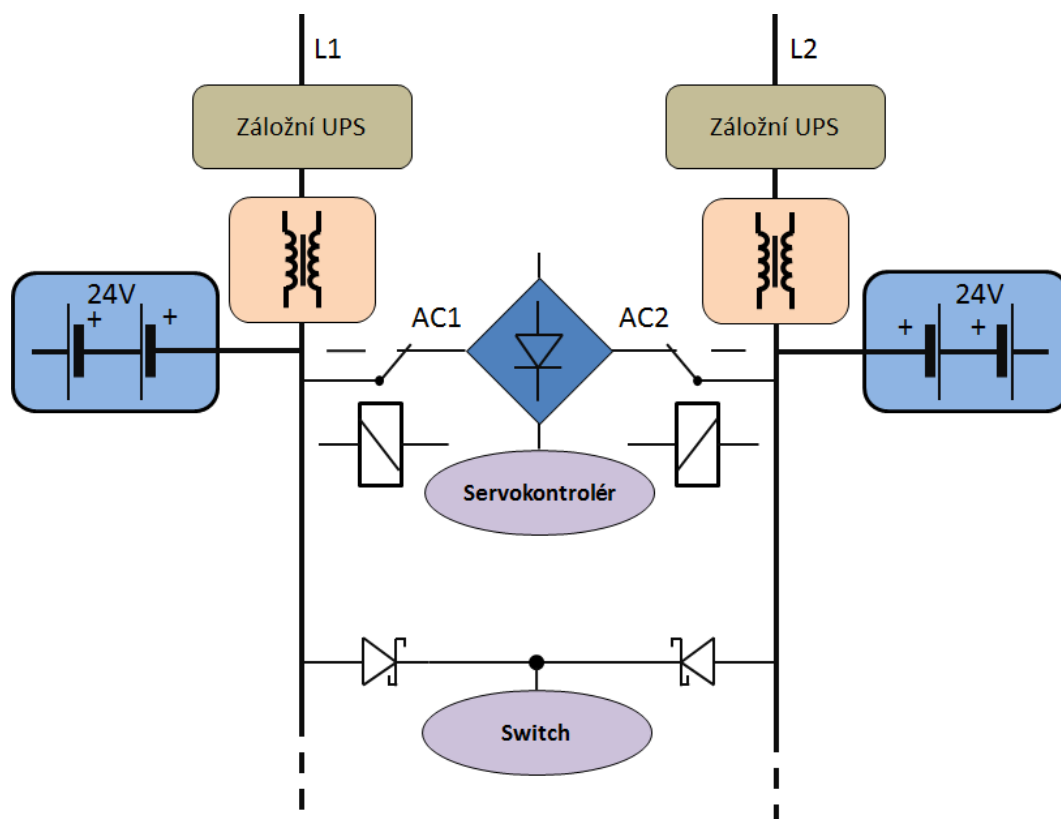
Do rekonstrukce byl, z důvodu stáří, zahrnut i rozvaděč. Budou tedy pořízeny nové jističe, ale zároveň dojde k zakomponování nových, do rekonstrukce chybějících, prvků. Značná nevýhoda spočívala v připojení zálohy pouze na jednu fázi. Vedla totiž k nemožnosti zálohovat třífázový motor střechy. Při výpadku proudu musela být střecha zavřena ručně, což je u robotického teleskopu nežádoucí. Z tohoto důvodu proběhlo porovnání mezi vlastnostmi řešení zálohy pomocí třífázového UPS a jednofázového UPS s motorem do Steinmetzova zapojení viz Obrázek 8 vlevo. Z porovnání pak vyplynulo, že třífázová UPS jsou mnohem nákladnější a nepřinášejí tolik užitku. Jednofázové UPS naproti tomu je již na místě a jednoduchost Steinmetzova zapojení mluví pro něj. Nevýhodou tohoto řešení by mohl být úbytek výkonu motoru, který by v důsledku mohl zapříčinit i nemožnost zavření střechy. Udává se, že výkon takto zapojeného motoru klesne na 60-80 % původního výkonu a jeho rozběhový moment dokonce až na 20 %. (3) Směr otáčení motoru se ovládá přepojováním jednoho vývodu kondenzátoru mezi póly, přičemž druhý zůstává zapojen na vrcholu trojúhelníku či hvězdy. Protože je použití motoru v tomto zapojení poměrně jednoduché, bylo rozhodnuto o provedení testu - při napájení z jednofázového UPS zkusit zavřít střechu. Test dopadl podle očekávání dobře. I přes mohutnou vrstvu sněhu na kolejnicích domečku a střeše se do vybytí UPS podařilo střechu otevřít a zavřít osmkrát a bez zaznamenání problému s rozběhem. Tento fakt rozhodl o tom, že vyhrálo jednofázové řešení.



Obrázek 8 - Steinmetzovo zapojení do trojúhelníku a hvězdy

Zdroj: (3)

Z hlediska spolehlivosti je použití jen jedné fáze nedostatečné, a proto bylo rozhodnuto o zálohování dvou fází. To znamená, že na místě budou dvě UPS, které budou mít na starosti každé svoji fázi. Jako základní napájecí napětí bylo určeno 24V. Operují na něm serva a jde o poměrně rozšířený standard v automatizaci, díky kterému bude poměrně snadné sehnat součástky pro naše napájení. Za UPS proto budou následovat transformátory 230/24V, které budou napájet dva do série spojené 12V akumulátory. Ty budou sloužit jako záložní zdroj energie pro serva a moduly REMOTES. Vhodné sloučení dvou větví napájení bude zajištěno pomocí Schotkyho diod. Díky nim nebude docházet k nežádoucím zpětným proudům a vzájemnému dobíjení akumulátorů. Zařízení tedy budou mít vždy dva zdroje a díky tomu bude zvýšena bezpečnost proti výpadku. Ukázka takového řešení je na Obrázek 9, kde je vidět, že z bezpečnostních důvodů jsou navíc před vlastní servokontrolér umístěna relé, která mohou v případě nutnosti odpojit serva od napájení.



Obrázek 9 - Ukázka řešení napájení systému

Zdroj: (2)

Moduly REMOTES ovšem nebudou napájeny přímo z transformátorů. V tomto případě dojde k využití dalšího standardu spojeného s ethernetem, a to takzvaného PoE (power via ethernet). Proto budou na transformátory nejdříve připojeny PoE injektory, které poté využijí volných žil ethernetového kabelu k rozvodu napájení. Tyto injektory budou opět dva. To znamená, že moduly budou mít základní napájecí napětí 24V a s největší pravděpodobností budou potřebovat měniče napětí minimálně pro mikrokontrolér, který typicky využívá 3,3V.

## 4.2 Návrh modulů

Jako první proběhla analýza připojovaných zařízení a jejich nároků na moduly, aby bylo možné kvalifikovaně odhadnout, jak velkým a rychlým mikrokontrolérem bude nutné logiku řízení a komunikace obsluhovat. Z následných informací bude vyvozeno rozhodnutí o implementaci jednotlivých bloků součástek na desky plošných spojů (PCB).

## Připojovaná zařízení

MŘP bude muset umět obsloužit velké množství připojovaných zařízení, která budou velmi náročná na komunikaci a přenos dat. Jeden z prvních požadavků je na obsluhu čidel absolutní polohy. Vybrána byla čidla od firmy LARM a.s. a to konkrétně ARC425/13PA (4) viz Obrázek 10. Toto čidlo vyžaduje 14 signálových a 2 napájecí piny. Rozšiřující informace o poloze budou získávány pomocí inkrementálního čidla od stejné firmy IRC317. (5) Toto čidlo vyžaduje připojení 6 signálů a dalších 5 napájecích či jiných 5 pinů. Bude ovládáno pomocí interpolátoru, který vyžaduje připojení 8 signálů k MCU. (6)



Obrázek 10 - Inkrementální a absolutní čidla polohy

Zdroj: (4), (5)

Dále je nutné obsloužit servokontroléry. Byly vybrány od firmy TGA drives s.r.o., konkrétně TGA – 24 – 9/20 viz Obrázek 11. (6) Ty mají možnost řízení pomocí RS-232 i RS-422. Možnost analogového řízení a přenos doplňkových informací, které se hodí pro zvýšení bezpečnosti a zvýšení robustnosti automatizace, disponují digitálními vstupy (10 pinů) a výstupy (4 piny). Dohromady potřebují servokontroléry až 30 pinů. Montáž teleskopu bude vybavena i elektromagnetem, který bude dvupolohově ovládat přítlak na šnek hodinové osy. Jeden pin bude zapotřebí pro jeho řízení a druhý pro zpětnou vazbu. Celkově by tedy šly požadavky na počet pinů nutných k obsluze až k počtu 60.



*Obrázek 11 – Servomotor*

*Zdroj: (6)*

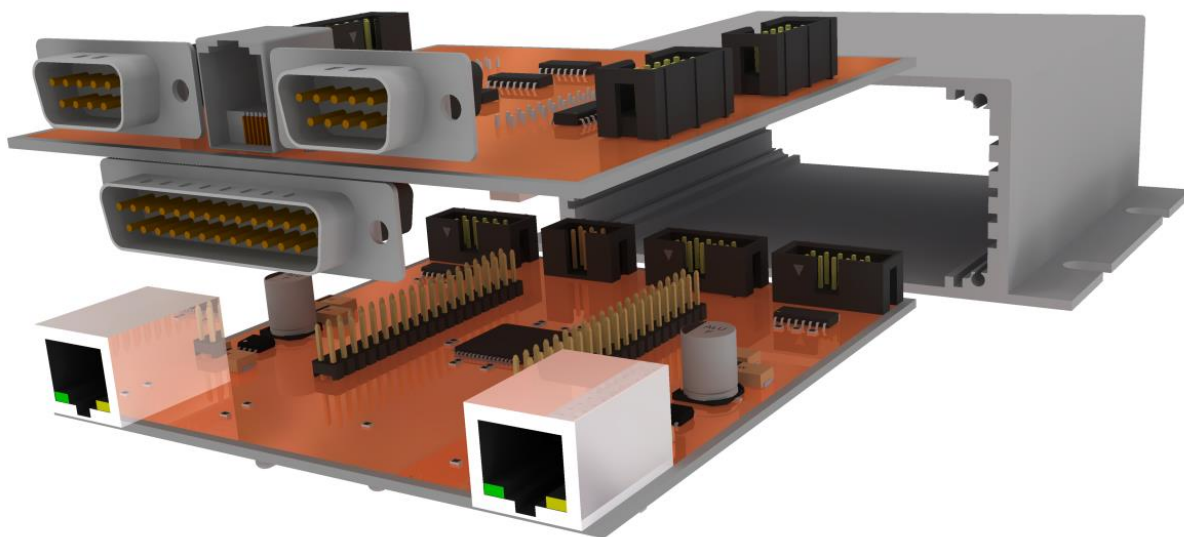
MŘD bude mít zodpovědnost za řízení pohybu a polohy střechy domečku (kopule). Pro tyto účely je počítáno se dvěma čidly ARC po šestnácti bitech (otočení kopule, otevření střechy/kopule). Dále signály na ovládání motorů. Signály k ovládání napájení zařízení a kontrolních signálů zpětné vazby alespoň pro osm zařízení (celkem tedy 16 pinů). Dalších 16 pinů bude zapotřebí pro ovládání a dohled nad napájením a jističi systému. Volitelně budou k modulu připojovány další periferie jako měření oblačnosti, celooblohová kamera, měření srážek, k tomu všemu je zapotřebí dvou portů RS-232. Celkem tedy okolo 70 pinů i s rezervami.

HŘJ musí mít port pro komunikaci s PC (RS-232) a stejně jako oba předchozí moduly dva ethernetové kontroléry. Bude se k ní rovněž připojovat taster, kterým se bude dá ručně ovládat otevírání střechy a poloha teleskopu. Tento modul bude co do HW návrhu poměrně jednoduchý a tím se odlišuje od předchozích.

### **Rozdělení do desek**

V předchozí kapitole je vidět, že připojovaných zařízení je celá řada a podle toho se i liší nároky na návrh jednotlivých modulů. Mimo odlišných požadavků na jednotlivé moduly, se ale dá najít i mnoho těch, které jsou shodné nebo velmi podobné. Všechny moduly budou potřebovat MCU a jeho obslužné součástky, také budou potřebovat dva ethernetové a RS-232/422 řadiče. V modulech budou obvody pro měření napětí a proudu pro diagnostické a bezpečnostní účely. Budou zapotřebí zdroje pro několik úrovní napětí a záložní baterie pro zachování některých dat i při úplném výpadku napájení. Moduly také mají podobné nároky na počet pinů MCU a počet součástek.

Jeví se tedy jako výhodné a nebrání tomu žádné okolnosti, oddělit části, které jsou společné a sdružit je do samostatné desky. Vznikla by tak hlavní deska, která by spojovala uvedené obvody a periferní deska, která by obsahovala obvody pro obsluhu specifických periférií. Mezi sebou pak budou propojeny standartním konektorem, jak ukazuje Obrázek 12, tak aby v případě nutnosti mohla být k hlavní desce i jiná verze periferní desky.



*Obrázek 12 - Rozdělení modulu do desek*

Takovéto spojení ovšem povede ke zhoršení signálových vlastností a ke zvýšení EM vyzařování, proto bude zapotřebí zvýšeného úsilí při návrhu tak, aby signály byly co nejkratší a vhodně proloženy zemním signálem. Bohužel tvar konektoru zvýší vyzařování i směry, které není možné jednoduše ovlivnit pomocí návrhu PCB a tak bude muset být navrženo řešení, stínění modulu jako celku. V úvahu přichází použití speciální stínící izolepy, která je méně nákladná, ale vyžaduje ruční instalaci a nezajišťuje dlouhou životnost (hrozí odlepení). Jako vhodnější řešení vychází umístění do hliníkového pouzdra, které v závislosti na šířce materiálu má velmi dobré útlumové vlastnosti a zvýší se tím i celková mechanická odolnost. Největší nevýhodou takového řešení by byla cena.

Výhod odděleného vývoje je nepřeborné množství. Z pohledu návrhu a testování jde hlavně o zjednodušení obvodového řešení. Pokud se budou oba typy desek vyvíjet odděleně, pak bude jednodušší fyzický návrh PCB. Další výhodou představuje i časová oddělitelnost obou návrhů. Díky tomu je možné navrhnout hlavní desku, odzkoušet její funkčnost a již stavět na pevných základech. Při vývoji hlavní desky vzniknou standarty, které později umožní daleko rychlejší vývoj periferní desky. Budou již známy rozměry mnoha součástek, nutné rozestupy mezi nimi, polohy spojovacích konektorů a zakázaná místa. Navíc zkušenosti členů týmu při druhém návrhu budou také vyšší a to vývoj urychlí. Také půjde použít takzvaný „prototyping“. Na hlavní desku by byla umístěna pouze prototypová verze periferní desky. Po nějaké době testování by došlo k vyhodnocení výkonu takovéto desky a navržení případných úprav. Tím by došlo ke snížení možnosti selhání v důsledku chybného návrhu některé části modulu. Neposlední výhodou představuje i možnost snadnějšího servisování takového modulu. V případě poruchy některé části modulu se jen jednoduše vymění dotyčná deska a díky tomu klesnou dodatečné náklady. Nevýhodou takového postupu by mohla být z určitého úhlu pohledu opět vyšší cena. Velká část nákladu na vývoj je vynaložena i na výrobu matrice ve firmě pro výrobu PCB. Pokud se tedy budou vyrábět takovéto matrice tři, pak nutně dojde ke zvýšení nákladů. Vzhledem k tomu, že jsou ale tyto náklady v nepřímé úměře s cenou času, který bude členy týmu na vývoji stráven, pak vychází takovýto přístup výhodněji a další výhody jej jen potvrzují.

V řešení rozdělení do desek se skrývá ještě jedna zajímavá možnost, a to spojení návrhu periferní desky MŘP a MŘD. Moduly mají podobné požadavky na počty pinů a jediný speciální obvod, který vyžaduje MŘP a MŘD ne, je obvod interpolátoru, který by v druhém případě nemusel být zapojen. Proto by došlo k zredukování vývoje jen na pouhé dvě desky, čímž by klesl nejen čas nutný na vývoj, ale díky menšímu počtu nutných nových matic i cena. Pro uživatele by to znamenalo další zjednodušení v servisu. Potřeboval by jen dvě sady rezervních desek díky zaměnitelnosti obou periferních desek.

### **Řešení signálových nároků**

Jak je vidět z předešlých kapitol, nároky na počet signálových pinů jsou značné. To ovlivňuje i výběr MCU, který musí mít dostatečný počet pinů, ale také zvyšuje nároky na frekvenci, na níž pracuje, aby stihl obsloužit periferie v co nejkratším čase. Vyšší frekvence sice zajistí rychlejší zpracování informací, které se pomocí periférií sbírají a odesílají, ale také znamená složitější návrh PCB. Musí se počítat s tím, že při vyšších frekvencích dochází k

vyššímu vyzářování a mohl by nastat problém s EMC. Je nutné daleko více dbát na oddělení analogových a digitálních spojů. I přes to je cílem projektu vyvinout co možná nejkompaktnější modul a velikost MCU velmi ovlivňuje výsledné rozměry. Proto spíše než hledat MCU s co největším počtem pinů, bude lepší vydat se cestou inženýrského postupu a pokusit se nároky na počet pinů omezit.

Nejpřirozenější řešení je sdružit signály do sériové sběrnice. Požadavky na obsluhu některých signálů nejsou tak časově náročné, a proto nebude vadit jejich pomalejší zpracování. Při vhodné velikosti registrů dojde k poměrně velké úspoře potřebných signálů. Je ovšem nutné propočítat, k jakému zpomalení dojde kvůli nutnosti sériového přesunu, aby nedošlo k příliš velkému zpomalení. MCU od firmy Atmel mají standardně několik párů bran dedikovaných pro sériový přenos, proto se bude využívat převážně jich (i když v nouzi by bylo možné využít i jiných pinů). Díky tomuto řešení lze celkem úspěšně snížit nároky na počet pinů MCU, a zároveň obsluhovat i velký počet zařízení. Tento krok je téměř nezbytný při rozdělení řešení do desek. V jiném případě by byl potřebný konektor příliš velký a muselo by dojít ke zvětšení celkového návrhu modulu.

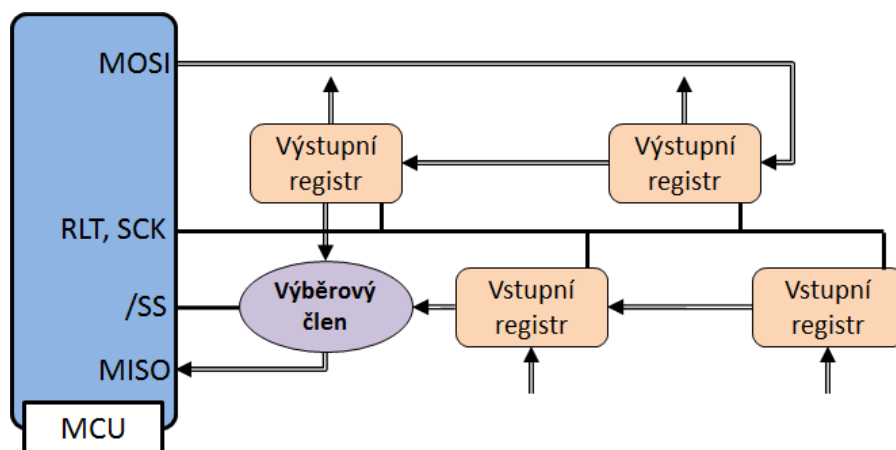
Teoretický návrh počítá s pěti signály, viz Tabulka 3

*Tabulka 3 - Signály sériové sběrnice*

Zkratka signálu	Význam
SCK	Hodinový signál
RLT	Latch signál k načtení do / registrů
/SS	Výběrový signál pro výběr zápisu či adresace
MOSI	Výstupní signál do sériového registru
MISO	Výstupní signál ze sériového registru

Jak bude vypadat sériová sběrnice, pak naznačuje Obrázek 13. Počet registrů v sérii poté rozhoduje o tom, jaká bude délka sběrnice a tudíž úspora signálů. Teoretická mez je určená logickým ziskem registrů. Výběrový člen bude sestaven z logických obvodů tak, aby pomocí jednoho signálu blokoval, resp. propouštěl, jen zvolený signál (vstupní nebo výstupní). Podle předpokladů bude zapotřebí dvou takovýchto sběrnic. Jedna bude použita pro komunikaci s pomalejšími signály na periferní desce a druhá bude zajišťovat adresaci, zápis dat a měření na hlavní desce.





Obrázek 13 - Teoretický návrh sériové sběrnice

Zdroj: (2)

### 4.3 Etapy nasazení systému

Modularita a variabilita celého řešení dovoluje zprovoznění celého systému i v poměrně rozpracovaném stavu a postupným zprovozňováním se bude dále zvyšovat spolehlivost a funkčnost. Některé rozdíly jsou jen v programovém vybavení, a tudíž jejich implementace nepředstavuje žádné investice z hlediska hardware. Systém je dokonce navržený tak, aby se případné programové změny přenesly pomocí LAN a systém tak během pár vteřin a bez jakékoliv nutnosti fyzické obsluhy na místě může získat nové funkce. To jej činí velmi dobře zpravovatelným. Je ovšem nutné udělat podrobnou analýzu požadavků, které funkce a zařízení budou zapotřebí a poté je zahrnout do vývoje PCB tak, aby byla možná pozdější implementace jen změnou firmware a nebylo potřeba znovu vyvíjet některou z desek.

Výhodou takového přístupu je postupné oživování a testování systému. Je daleko přehlednější testovat menší části kódu a odladit případné chyby. Při postupném ladění se snadněji objeví i případné chyby v návrhu PCB desek a nehrozí tak vysoké škody v důsledku např. špatně navrženého napájení. Při takovémto postupu také vznikají verze firmware, které mohou být použity i v jiných projektech, v nichž nebudou hrát roli některé z komponent tohoto systému.

#### 1. Fáze – nasazení MŘP – HA bez ARC + nasazení ovladače RTS2 s 2x RS-232

První fáze je zaměřena hlavně na co nejrychlejší nasazení systému a uvedení teleskopu do provozu. Na zprovoznění tohoto řešení bude zapotřebí jen minimum času na programování a tím pádem bude nenákladné. Otestuje se na něm, jak si jednotky poradí s reálným provozem a jak se chovají jednotlivé části obvodového řešení. Bude nasazen jen jeden modul, který

poslouží k řízení provozu servomotoru na ose hodinového úhlu v režimu hodinového stroje (pohyb rychlostí otáčení oblohy). Při tomto zapojení ještě nedojde k využití ARC, poloha bude kontrolována pomocí selsynu serva. Pohyb servomotorů se bude řídit napřímo počítačem přes ovladač RTS2 přes porty RS-232.

## **2. Fáze – nasazení MŘP – DE s ARC + upgrade MŘP HA + ARC + upgrade ovl. RTS2**

Po dokončení testování dojde k nasazení druhého modulu MŘP pro deklinaci a zprovoznění měření polohy pomocí ARC. Zde se bude vyhodnocovat přesnost a rychlost měření potřebná pro řízení pomocí ARC. Pro podporu tohoto zapojení se bude nezbytná úprava ovladače RTS2.

## **3. Fáze – upgrade FW pro MŘP – HA+DE s řízením SK + upgrade ovladače RTS2 pro ethernetovou komunikaci + přepojení sériových portů SK do MŘP**

Tato fáze se bude blížit k finální podobě systému. Kontroléry serv budou již ovládány oběma jednotkami MŘP jak v režimu hodinového stroje, tak i pomocí RS-232 a digitálních vstupů a výstupů. Mezi moduly již bude probíhat komunikace přes ethernet, která zajistí zvýšenou odolnost proti výpadku ovládání přes PC.

## **4. Fáze – Nasazení MCM + upgrade ovladače RTS2**

V této fázi dojde k podřazení modulů MŘP pod HŘJ. Ta již kompletně převezme komunikaci mezi ovládáním periferií a systémem pro řízení teleskopu (RTS2). Budou implementovány bezpečnostní protokoly pro kontrolu stavu celého systému, které budou na principu „heart beat“. Po ethernetu budou prostřednictvím HŘJ rozesílány pakety a pokud nedojde k odpovědi, lze to považovat za znamení problému. Způsob vypořádání se s poruchou bude odvozen od typu zařízení, nicméně v této fázi již bude architektura téměř kompletní a redundance tak dovolí i mnoho řešení bez významného omezení funkčnosti.

## **5. Fáze – Instalace nového rozvaděče + nasazení MŘD + upgrade FW MŘP a HŘJ + upgrade ovladače RTS2**

Do systému se zařadí i modul pro ovládání periferií domečku MŘD. Ten by ovládal i řízení napájení jednotlivých silnoproudých zařízení. V této fázi bude přepojen rozvaděč domečku tak, aby odpovídal požadavkům na zálohování a redundanci v případě poruchy nebo výpadku napájení. Bude připraveno nové zapojení pro jednofázové napájení třífázového

motoru z jedné fáze tzv. Steinmetzovo zapojení. Dále také dojde k zavedení dokonalejšího zálohování pomocí UPS.

## **6. Fáze – nasazení IRC+ upgrade FW MŘP + upgrade ovladače RTS2**

Poslední fáze se ponese v duchu takových úprav, které už jen budou vylepšovat stávající funkcionality. Dojde k nasazení inkrementálních čidel, které by měly zpřesnit měření polohy a zajistit redundanci pro případ poruchy. Přesnost by měla být dostatečná i pro použití jako guideru (oprava periodické chyby montáže). Hlavní cíl této fáze představuje programování firmware jednotek tak, aby se plně využil jejich potenciál. Bude zde také probíhat ladění bezpečnostních protokolů.

Z předchozího je jasné, že je zapotřebí pečlivě připravit hardwarovou část, aby nedošlo k potížím při uvádění systému do provozu. Následné úpravy by s největší pravděpodobností byly velmi nákladné jak po časové, tak i cenové stránce. Protože by se jen těžko zprovoznil tak komplexní systém najednou, přistoupí se k postupnému sestavování prototypu na nepájivé kontaktní desce. Na tomto prototypu se následně bude testovat funkčnost a vlastnosti zapojení. Vznikne tak prototyp hlavní desky, ale i periferní. Pro účely testování bylo rozhodnuto, že ještě před finálním nasazením periferní desky se vyvine prototyp, který se bude testovat za provozu a který poslouží ke zjištění případných nároků na výkonové součástky.

### **4.4 Návrh rozměrů modulů**

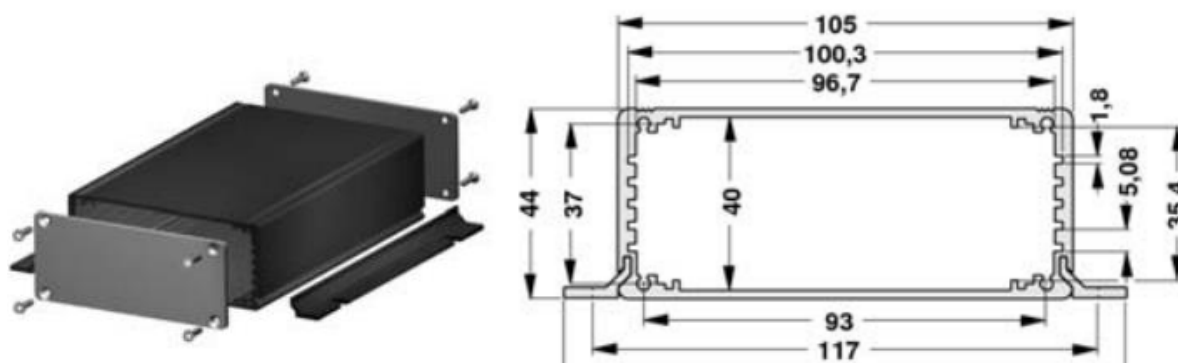
Rozměry modulu jsou ovlivněny mnoha faktory. Na jedné straně stojí požadavky kompaktnosti a praktičnosti, na druhé cena času stráveného nad vývojem a technickými parametry, které byly zvoleny. Velikost modulu razantně ovlivní počty a velikosti konektorů (mezi deskami i perifériemi). Každý modul bude obsahovat dva ethernetové konektory, dva devítipinové Canon konektory a jeden velký expanzní pětadvacetipinový konektor pro MŘP a MŘD.

Dalším důležitým faktem je rozhodnutí o rozdělení do dvou desek. Kvůli tomu bude muset být brán zřetel na kombinaci rozměrů konektorů mezi deskami, výškou součástek a rozměry krytu.

Podstatný je i počet vrstev PCB. Je jasné, že čím vyšší počet vrstev, tím jednodušší bude provedení spojů, ale každá vrstva znamená rapidní zvýšení ceny a od určitého počtu vrstev nedochází ani k zjednodušení propojení kvůli velkému počtu nutných propojek. Množství vrstev určuje typ pouzdra MCU a také počet druhů signálů (napájecí, zemnicí,

analogový, digitální), které by měly být vedeny pokud možno odděleně. Vzhledem k těmto parametrům vychází optimálně čtyřvrstvá PCB. Dvě signálové vrstvy (vnější), jedna zemnicí a jedna napájecí.

Tyto parametry musí vyhovět některému ze sériově vyráběných hliníkových krytů. Výroba na zakázku z finančních důvodů nepřichází v úvahu, proto bude dobré, aby deska měla standardizované rozměry a bylo možné jednoduše získat kryt od mnoha firem i v jiných částech světa. Jako vhodnou variantou se ukázal PCI, který stanovuje rozměry desky po čtvercích o násobcích strany 100mm. Tento standard také počítá s deskovým řešením standardními výškami konektorů. Proto závazné rozměry pro návrh byly stanoveny na 100x100mm. Vzdálenost mezi deskami je určena velikostí obvyklých ethernetových konektorů a to na 13,5mm. Těmto požadavkům plně vyhovuje kryt od firmy Fischer elektronik konkrétně TUG 05 viz Obrázek 14.



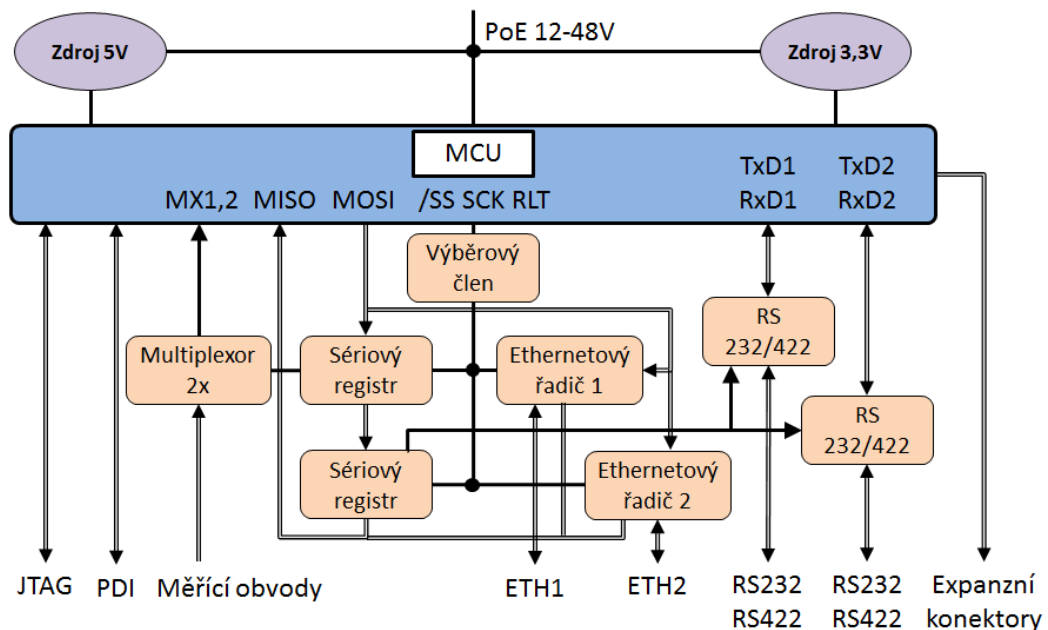
Obrázek 14 - Vzhled a rozměry krytu TUG 05

Zdroj: (8)

Pokud se vezmou zadané parametry a nakreslí se rozměry součástek do rozměru PCB, je vidět, že rozměry jsou dostačující, ale vedení spojů bude komplikované a z tohoto pohledu může dojít i k problému s nedostatkem místa na desce.

#### 4.5 Návrh hlavní desky

Před fyzickým návrhem PCB hlavní desky byly implementovány předchozí výsledky analýzy na potřebný počet signálů a připojovaných zařízení, řešení pomocí sériové sběrnice a komunikace pomocí ethernetu a RS - 232 /422. Implementace dala vzniknout první verzi elektrického zapojení, na jehož základu byly vybírány klíčové součástky (mikrokontrolér, komunikační řadiče atd.).



Obrázek 15 - První verze elektrického zapojení hlavní desky

Jak ukazuje Obrázek 15, centrální součástkou je MCU. Volba této součástky proto bude mít největší dopad na výběr a návrh obvodů ostatních součástek. Selekce probíhala na základě údajů o pinech potřebných k připojení všech periferních zařízení a zajištění interních bezpečnostních měření. Bylo rozhodnuto o použití dvou 1:8 multiplexerů, které umožní měření až šestnácti měřících bodů. Protože však jejich měření nebude zapotřebí často (několikrát za sekundu), může jejich řízení probíhat pomocí sériové sběrnice a tím dojde k velké úspoře v počtu potřebných signálů. Na MCU budou také napojeny ethernetové řadiče, které poslouží jako nástroj pro komunikaci mezi moduly. Jak je vidět z předchozího obrázku, ovládání může být opět vedeno po sériové sběrnici, protože rychlá komunikace povede do řadiče pomocí signálu MOSI. Kvůli úzkému spojení mezi sériovou sběrnici, registry a řadiči bude návrh sběrnice specifický, to znamená, že se odchýlí od standardního vzhledu. Signál /SS ponese výběrovou informaci do výběrového členu. V závislosti na stavu tohoto logického signálu se bude buď zapisovat do sériových registrů, nebo komunikovat s ethernetovými registry. V sériových registrech pak bude uložena informace, který řadič je aktivní, jaké jsou nastavení multiplexerů a který z obvodů RS-232 či RS-422 je aktivní. Pro účely programování a možnosti snadné údržby bude využito možnosti připojení MCU přes JTAG (Joint Test Action Group) a PDI (Program and Debug Interface). V rámci úspory pinů MCU budou signály těchto sběrnic a výstupů z multiplexerů sdruženy, protože funkcionalita systému nevyžaduje aktivitu všech těchto sběrnic v jeden okamžik. Veškerá snaha šetřit signály se projeví v počtu pinů expanzních konektorů, které poté budou k dispozici pro

periferie na expanzní desce. Pro tyto konektory musí být k dispozici jedna sériová sběrnice a několik signálů pro odbavení signálů z IRC a jiných periférií.

Jak již bylo řečeno v předchozích kapitolách, členové týmu měli předchozí zkušenosti s programováním a mikrokontrolerů od firmy Atmel. Proto výběr MCU pro tento projekt probíhal právě v sortimentu této firmy. Atmel nabízí velmi široký sortiment, který je rozdělen podle vybavenosti zařízení do několika základních skupin. Nejmenší mikrokontroléry nesou název ATtiny, mají 6-20 pinů a poskytují poměrně mnoho funkcí (A/D převod, pulzní šířkové řízení atd.), ale pro dané řešení jsou příliš jednoduché. ATmega jsou již komplexnější a v první fázi se zdálo, že by použitý MCU mohl být vybrán z této skupiny. Zařízení v této skupině mají až 100 pinů a umožňují připojení mnoha periférií přes různé druhy spojení, například SPI (Serial Peripheral Interface), USB (Universal Serial Bus), I2C (Inter-Integrated Circuit) atd. Pozornost však byla směřována až do skupiny ATXmega. Ta je zaměřena na extrémní výkon a nabízí ještě více možností a funkcí při vyšším výkonu než předchozí skupina. Rozhodnutí o konkrétním MCU proto padne v rámci této skupiny.

Ve skupině MCU ATXmega jsou mikrokontroléry rozděleny podle jejich vnitřní paměti a počtu pinů. Nejvyšší varianta je ATXmega A1 která má 100 pinů, ale její paměť je omezená jen na 128 KB flash a 2 KB EEPROM. Jako další je ATXmega A3, která má 64 pinů a její paměť může mít až 384 KB flash a 4 KB EEPROM. Jako nejmenší z hlediska počtu pinů (pouhých 44) se nabízí ATXmega A4. Co se ale paměti týče, je na tom stejně jako A3. Z uvedeného vyplývá, že pro výběr je klíčovým počet pinů. Jako nejvýhodnější se zdá kombinace u ATXmega A3. Z celkových 64 pinů je pro periferie použitelných 47. To dává přibližně 24 pinů pro hlavní desku a stejný počet pinů bude k dispozici na periferní desce. Finální rozhodnutí tedy padlo na ATXmega 256A3BU revize G. (9) Tento mikrokontrolér pracuje při napájecím napětí 1,6-3,6V. Optimální napětí je 3,3V. To stanovilo požadavek na výstupní napětí jednoho ze zdrojů. Ostatní elektronika pak bude pracovat při napětí 5V. (10)

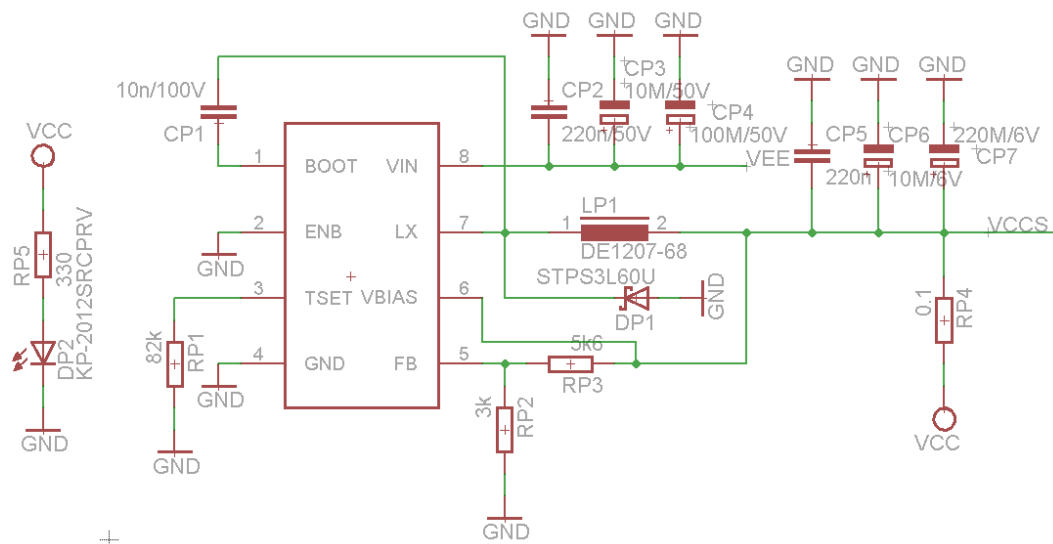
Jako zdroj se bude považovat výstup z konektoru RJ45 (11), ze kterého se bude získávat napájecí napětí PoE. To může být až 48V AC. Proto za tímto konektorem bude následovat obvod jednoduchého usměrňovače a dále se dělit do zdrojů pro další převod napětí. V našem případě se počítá se vstupním napětím 24V DC, které bude dostupné jak pro zdroje, tak i pro periferie na druhé desce. Zdroje budou spínané step-down, kvůli zajištění co nejmenšího vyzařování tepla vlivem zatížení. To skýtá úskalí ve správném návrhu, aby tento zdroj nevyzařoval EM rušení do desky ani okolí. S ohledem na cenu a výkon byl vybrán obvod od firmy Allegro konkrétně A8499. Tento obvod dovoluje nastavit výstupní napětí od 1,2-24V a výstupní proud až 1,5A.

Ethernetovou komunikace bude zajišťována dvěma obvody ENC28J60 společnosti Microchip. (12) Pro sériovou komunikaci přes RS-232 byly vybrány obvody MAX3089EESD+ (13) a pro komunikaci přes RS-422/485 MAX202EESD+ (14). Sériovou sběrnici budou zajišťovat obvody 74HC595D. Na základě takto vybraných součástek mohla být vypracována podrobná schémata včetně pomocných a ochranných součástek.

Pro lepší přehlednost došlo k rozdělení jednotlivých funkčních bloků do několika listů. To umožnilo oprostit se od detailů jiných obvodů a tím zefektivnit návrh. Každá skupina také dostala své písmeno, které měly všechny součástky za svým typovým označením. Dále následuje pořadové číslo v rámci skupiny a typu. Například skupina okolo MCU dostala označení A, proto první kondenzátor v této skupině bude mít celé označení CA1.

## **Zdroje**

Návrh obvodů zdrojů byl poměrně snadný díky dokumentaci, která k těmto regulátorům existuje. (15) Je zde velmi podrobně rozepsáno, které součástky jsou doporučeny. Vzhledem ke zvolení takových napětí, která jsou standardní, jsou v dokumentaci i doporučené hodnoty pro všechny součástky. Pro ověření funkčnosti byl celý obvod sestaven na nepájivém poli a otestován. Z měření vyplynulo, že napětí je poměrně přesně dodrženo, ale rozkmit je poměrně výrazný – až půl voltu. Výrobce ovšem uvádí, že by rozkmit neměl být větší než 50mV. Tento rozkmit byl způsoben převážně parazitními kapacitami nepájivého pole. Pro jistotu však byla zvětšena kapacita filtračních kondenzátorů. Do doporučeného zapojení byly přidány spoje pro měření napětí a proudu. To poskytuje přehled o spotřebě modulu. Nový prvek představuje i indikační LED, která informuje o výskytu výstupního napětí. Obrázek 16 pak ukazuje celé zapojení pro napájecí napětí 3,3V.



Obrázek 16 - Zapojení zdroje 3,3V

Zdroj: (15)

Zapojení pro napětí 3,3 a 5V jsou naprosto identická, rozdíl spočívá pouze v jediné součástce, a to v odporu RP2. V druhém případě je RP2 rovný 1,8kΩ místo 3kΩ. Původní návrh počítal s redundancí těchto zdrojů, ale poté co z analýzy požadavků vyplynula potřeba dvou napájecích napětí, se od redundance z prostorových důvodů muselo upustit. Zdroje budou mít specifické nároky na rozmístění součástek a obvodů jako celků, což činí požadavek na čtyři zdroje nereálným na provedení.

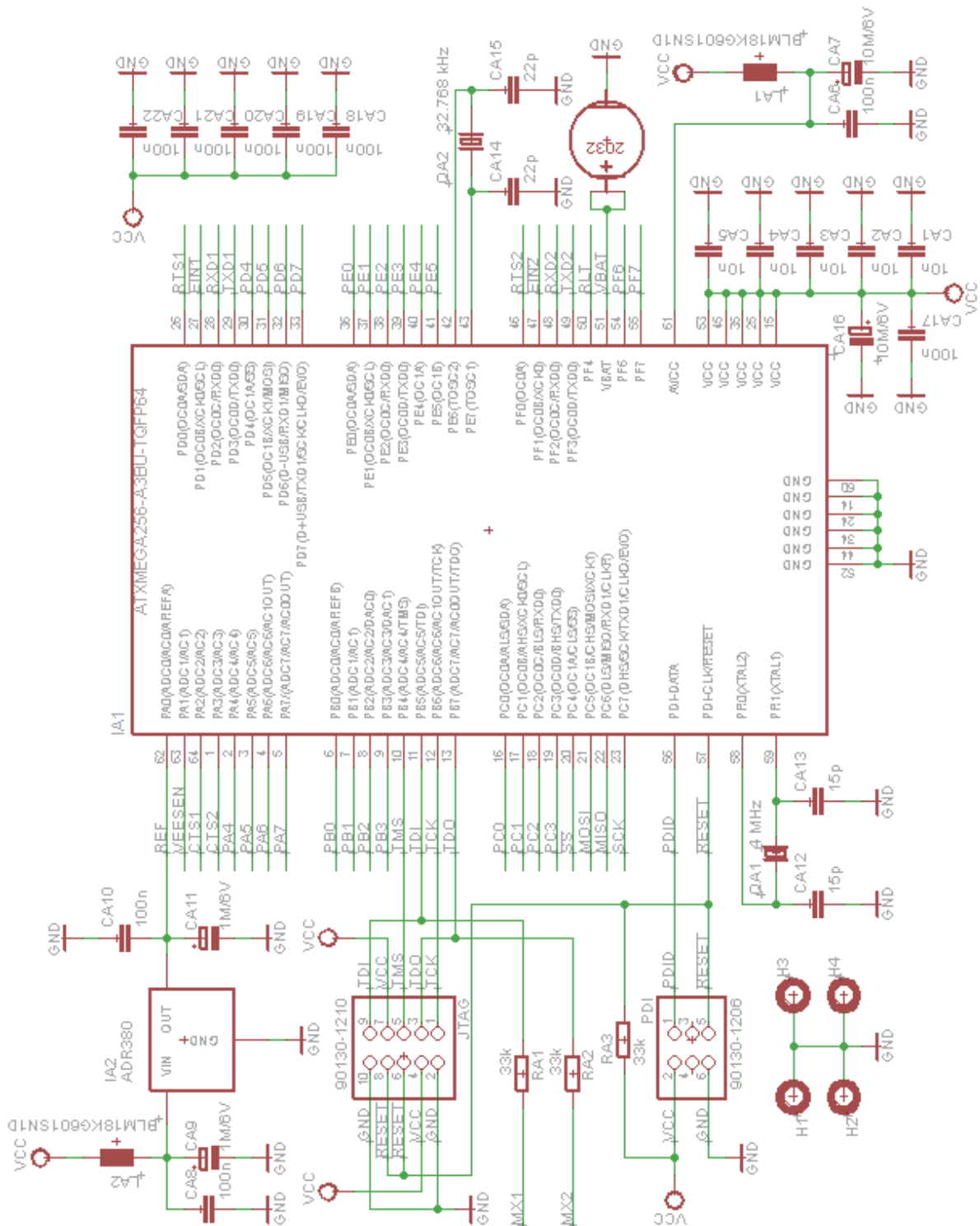
## Ethernetové řadiče

I v případě ethernetových řadičů jsme měli zapojení již předlinkované díky doporučenému zapojení v dokumentaci. Podle této dokumentace jsme vybrali vhodnou zásuvku, která již v sobě zahrnuje oddělovací transformátory konkrétně PulseJack J0006D21BNL. (11) Doporučené zapojení jsme doplnili o přepětíovou ochranu. Použity byly transily a diodové pole k zamezení ESD. Část schématu také obsahuje obvod pro zpracování vstupního napětí z PoE a spoje pro jeho měření. Tyto obvody budou kvůli redundanci v desce dvakrát a budou totožné, Obrázek 17 pak ukazuje celkové zapojení těchto obvodů. Řadič bude jednou ze součástek, která bude kvůli vysoké operační frekvenci generovat poměrně velké EM záření, proto bude při fyzickém návrhu těchto obvodů velká pozornost.





kapacitních zátěží, které jsou na mikroprocesor napojeny. Celé schéma poté znázorňuje Obrázek 18.



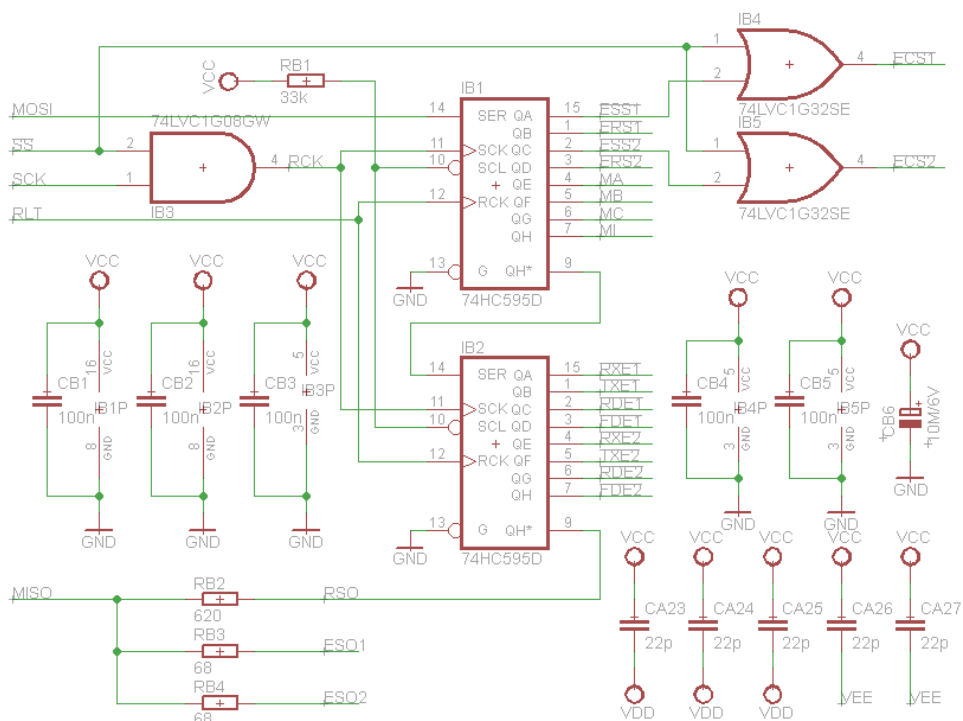
Obrázek 18 - Zapojení obvodů okolo MCU

Zdroj: (15)

Velmi důležité bylo i přiřazení signálů na piny MCU. Muselo se brát ohled jak na funkčnost jednotlivých pinů, tak i na jejich prostorovou orientaci vůči obvodům, ke kterým měl daný spoj vést. Proto již v této fázi muselo dojít k prvnímu návrhu rozmístění součástek (konektorů, zdrojů, radičů atd.). Poté již mohlo dojít ke konečnému přiřazení, tak jak je uvedeno na předchozím obrázku. Signály, které mají jen označení své brány a pořadí, jsou vyvedeny na expanzní konektor a periferní desku.

### Sériová sběrnice

Za účelem co nejlepšího využití signálů bylo rozhodnuto o sdružení do sériové sběrnice. Budou do ní zavedeny všechny „pomalé“ řídicí signály a tím se stane jednou z nejdůležitějších částí zapojení. Jako podklad pro zapojení byl použit Obrázek 15. Na něm je vidět, že z registru vystupují řídicí signály k ethernetovým kontrolérům, multiplexerům, kontrolérům sériových linek a vše je poté sloučeno do společného výstupu. K obvodu také patří výběrový člen, který bude implementovat logickou funkci výběru komunikace přes ethernet nebo zápisu do sběrnicových registrů. Obrázek 19 ukazuje zapojení segmentu sériových registrů. Rozhodovací člen je realizován pomocí logických členů a signálů z registrů v horní části schématu.



Obrázek 19 - Zapojení obvodů sériových registrů

Zdroj: (15)

Funkce výběrového členu ukazuje Tabulka 4. Pokud je signál /SS nastaven na 0, pak signál SCK funguje jako hodinový signál a ten je na výstupu hradla propsán jako RCK. Pokud je tomu u /SS naopak, je SCK hradlem blokován, zatímco je odblokován signál pro výběr ethernetového kontroléru /ECS1, který je ovládán signálem /ESS1 uloženým v paměti sériového registru. RLT slouží jako signál k přepsání informace do výstupů registrů, na logickou funkci. Nemá však žádný vliv, a proto není v tabulce uveden. To platí i pro signály MOSI a MISO .

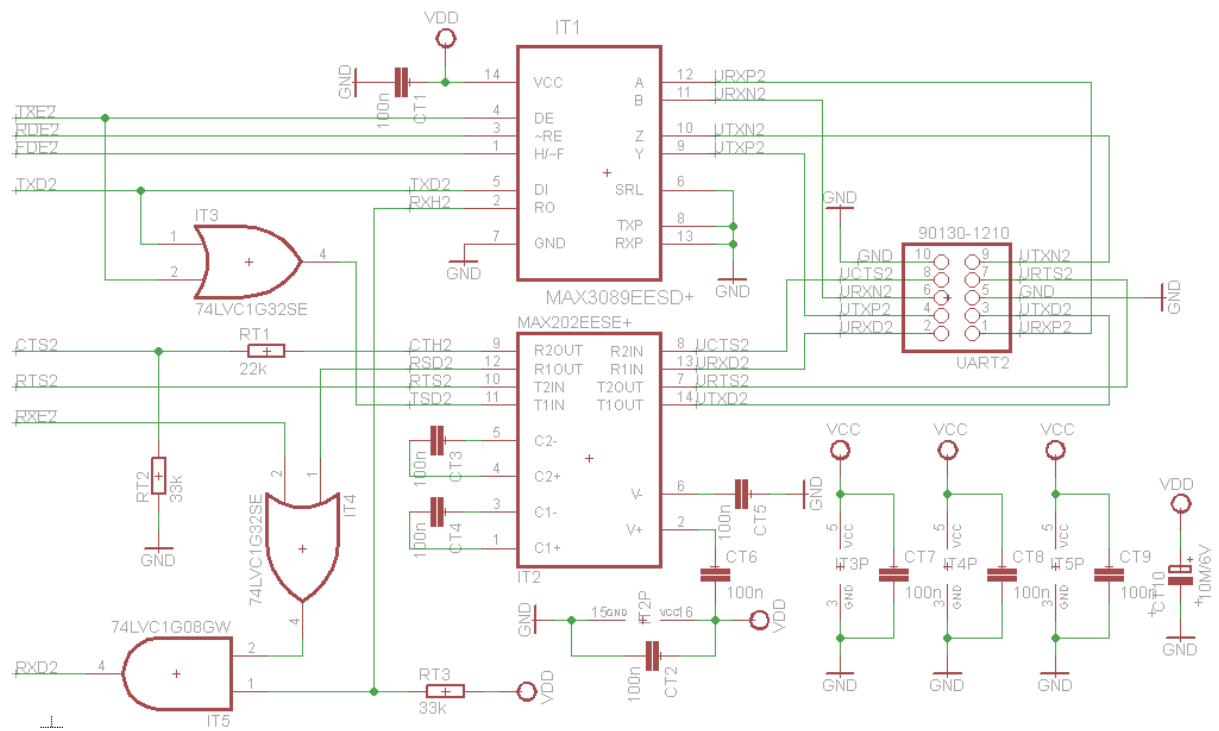
*Tabulka 4 - Logická tabulka výběrového členu*

/SS	SCK	/ESS1	RCK	/ECS1
0	0	x	0	0
0	1	x	1	0
0	0	x	0	0
0	1	x	1	0
1	x	0	1	0
1	x	1	1	1

Jako sériové registry byly vybrány integrované obvody 74HC595D (18), které umožňují plné využití návrhu. Mají osm výstupních bitů a devátý pro sériový výstup. Do řešení pak ještě byly přidány skupinové a lokální kondenzátory, stejně tak jako kondenzátory pro potlačení proudů mezi jednotlivými napájecími napětími.

### **Sériová komunikace**

Tyto obvody budou jedním z nejdůležitějších pro komunikaci se servokontroléry a jinými periferními zařízeními. Aby byla zajištěna co největší konektivita, bylo rozhodnuto o požití dvou sériových driverů, které umožňují komunikaci jak přes RS - 232, tak i přes RS - 422 / 485. Logické členy jsou použity opět jako výběrový člen, který určuje, jaký z driverů bude aktivní v komunikaci a zároveň i zajišťuje, aby se výstupy z těchto obvodů neovlivňovaly. Přesné zapojení včetně doporučených součástek je znázorněno na Obrázek 20.



Obrázek 20 - Schéma zapojení sériové komunikace

Zdroj: (15)

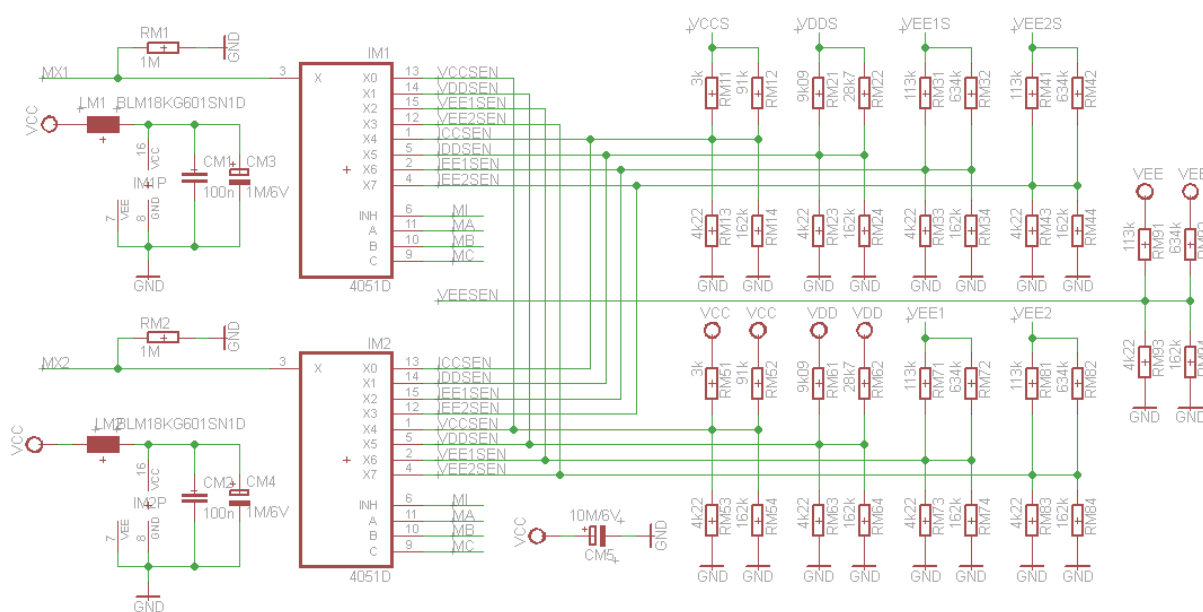
## Měřicí obvody

Měřicí obvody byly navrženy hned pro několik účelů. Jejich umístění bylo zvoleno tak, aby obsluha měla vždy přehled o napětí a proudu, tedy spotřebě. Může tak sloužit jako užitečná informace při vyhodnocení situace při poruše modulu. Zvyšuje také bezpečnost. Při nestandardním odběru proudu či přepětí mohou být díky této informaci učiněna opatření proti poškození modulů a jejich periférií. I statistická hodnota těchto dat je vysoká a může pomoci k mnohým úsporám.

Jak již bylo zmíněno, bude měřeno napětí i proud. V případě měření napětí je situace jednoduchá. V měřeném místě bude připojen odporový dělič, který je nastaven na 80 % z předpokládaného napětí, aby měl rezervu při případném přepětí. Výstup tohoto děliče je srovnáván s referencí 2,048V a na toto napětí je dělič nastaven. Měření jako takové probíhá pomocí A/D převodníků v MCU. Měření má přesnost 11 bitů a to dává rozlišení 1,6mV při měření 3,3V větve, 2,44mV při měření 5V a 11,71mV při měření 24V větve.

Měření proudu je zajištěno přes malý přesný odpor 0,1ohmu, který leží mezi dvěma měřicími místy napětí. Z pravidla se toto měření sdružuje s měřením napětí. Pak je zapotřebí jen další místo měření napětí, což vede k ušetření signálů. Co se týče odporových děličů, jsou identické s děliči pro měření napětí.

Jak již bylo řečeno, z důvodu poměrně velkého množství měřících bodů bylo rozhodnuto o jejich sdružení do multiplexerů. Rozmístění signálů je zvoleno tak, že při stejném nastavení výběrových signálů na obou multiplexerech je možné odečíst jak napětí, tak i proud protékající daným místem. Kvůli zpřesnění měření jsou oba multiplexery zapojeny symetricky, díky čemuž půjde odstranit případná nesymetrie vznikající v multiplexerech. Pro další zpřesnění, ale i rychlejší přístup k měření, bude ještě zapojeno měření vstupního napětí  $V_{EE}$  připojeno přímo na A/D převodník MCU.



Obrázek 21 - Zapojení měřících obvodů

Zdroj: (15)

## Návrh hlavní desky

Bylo rozhodnuto, že elektrické zapojení i fyzický návrh bude proveden pomocí programu Eagle. S tímto programem mají zkušenosti všichni členové týmu a umožňuje vše potřebné pro komplexní návrh vytvoření seznamu pro nákup součástek a výrobu dokumentace pro zadání výroby. Program obsahuje obsáhlou knihovnu součástek, viz Obrázek 22. Každá součástka je složena z elektrické značky, která ji reprezentuje na elektrickém schématu. Tuto součástku je možné propojit pomocí spojů nebo sběrnic a toto propojení je v druhé části programu věnovaném návrhu PCB zobrazeno jako vzdušný spoj (nepropojený spoj). Všechna propojení jsou tedy přenesena z elektrického návrhu do návrhu desky a výrazně je tak ulehčena a urychlena práce.

Name	Description
74*563	Inverting 8-bit D type LATCH
74*564	Inverting 8-bit D type FLIP FLOP
74*568	Synchronous decade COUNTER
74*573	8-bit D latch BUS DRIVER
74*574	8-bit D type FLIP FLOP bus driver
74*575	8-bit D type FLIP FLOP
74*576	Inverting 8-bit D type FLIP FLOP
74*577	Inverting 8-bit D type FLIP FLOP
74*580	Inverting 8-bit D type LATCH
74*589	8-bit SHIFT REGISTER, input latch, 3-state
74*590	8-bit binary COUNTER, output register
74*591	8-bit binary COUNTER, output register
74*592	8-bit binary COUNTER, input register
74*593	8-bit binary COUNTER, input register
74*594	8-bit SHIFT REGISTER, output latch
74*595	8-bit SHIFT REGISTER, output latch
74*596	8-bit SHIFT REGISTER, output latch, open collector
74*597	8-bit SHIFT REGISTER, input latch
74*598	8-bit SHIFT REGISTER, input latch
74*599	8-bit SHIFT REGISTER, output latch, open collector
74*604	Octal 2-input MULTIPLEXED LATCH
74*605	Octal 2-input MULTIPLEXED LATCH
74*608	MEMORY CYCLE CONTROLLER
74*620	Octal BUS TRANSCEIVER, 3-state
74*621	Octal BUS TRANSCEIVER, open collector
74*624	VOLTAGE CONTROLLED OSCILLATOR

### 74\*595

74xx-eu.lib

8-bit SHIFT REGISTER, output latch

Device	Package	Description
<a href="#">74HC595D</a>	ADD SO16	Small Outline package 150 mil
<a href="#">74HC595FK</a>	LCC20	Leadless Chip Carrier Ceramic Package
<a href="#">74HC595N</a>	DIL16	Dual In Line Package
<a href="#">74HCT595D</a>	SO16	Small Outline package 150 mil
<a href="#">74HCT595FK</a>	LCC20	Leadless Chip Carrier Ceramic Package
<a href="#">74HCT595N</a>	DIL16	Dual In Line Package
<a href="#">74LS595FK</a>	LCC20	Leadless Chip Carrier Ceramic Package
<a href="#">74LS595N</a>	DIL16	Dual In Line Package

Obrázek 22 - Ukázka knihovny programu

Důležitým nastavením jsou vlastnosti desky, kam jsou zadány údaje o tloušťce a typech materiálu vrstev, počty vrstev, ale i přiřazení významu jednotlivým vrstvám (GND, napájení, atd.). Tyto údaje budou využity zejména při zadávání výroby desky plošného spoje některému z profesionálních výrobců. Pro účely návrhu desky je podstatný jen počet vrstev a přiřazení jejich významu.

Další velkou částí programu Eagle je autorouter. Jedná se o přídatný modul, který po zadání návrhových pravidel (minimální vzdálenosti, průměry ploch, atd.) provede pomocí zvoleného algoritmu propojení součástek plošnými spoji. Algoritmem jsou brány v úvahu délky spojů, a proto je optimalizuje tak, aby byly co možná nejkratší, ale zároveň aby byly propojeny všechny součástky. V případech složitějšího návrhu se nezřídka stane, že autorouter skončí propojování ještě před propojením všech spojů, i když jde o tzv. „100%“ algoritmus. Tento projekt je již příliš složitý a s autorouterem zde není počítáno jako s řešením pro celkové propojení. Může být ovšem brán jako ukazatel kvality při návrhu rozmístění součástek. Postup takové práce pak probíhá iteračně. Jako výchozí byl vzat návrh rozmístění z Obrázek 12, kde byly uvažovány jen základní součástky a konektory. Následovalo rozmístění součástek ve skupinách a poté byly umístěny jednotlivé skupiny. Dalším krokem je spuštění autorouteru. Autorouter na konci své (několik minut dlouhé) práce ukáže, jaká je jeho procentuální úspěšnost propojení. Polohy skupin a rozteč součástek v rámci volných parametrů mohou být upraveny a postup může být opakován, dokud není dosaženo maximální úspěšnosti. V tomto bodu by mělo být ruční propojení součástek

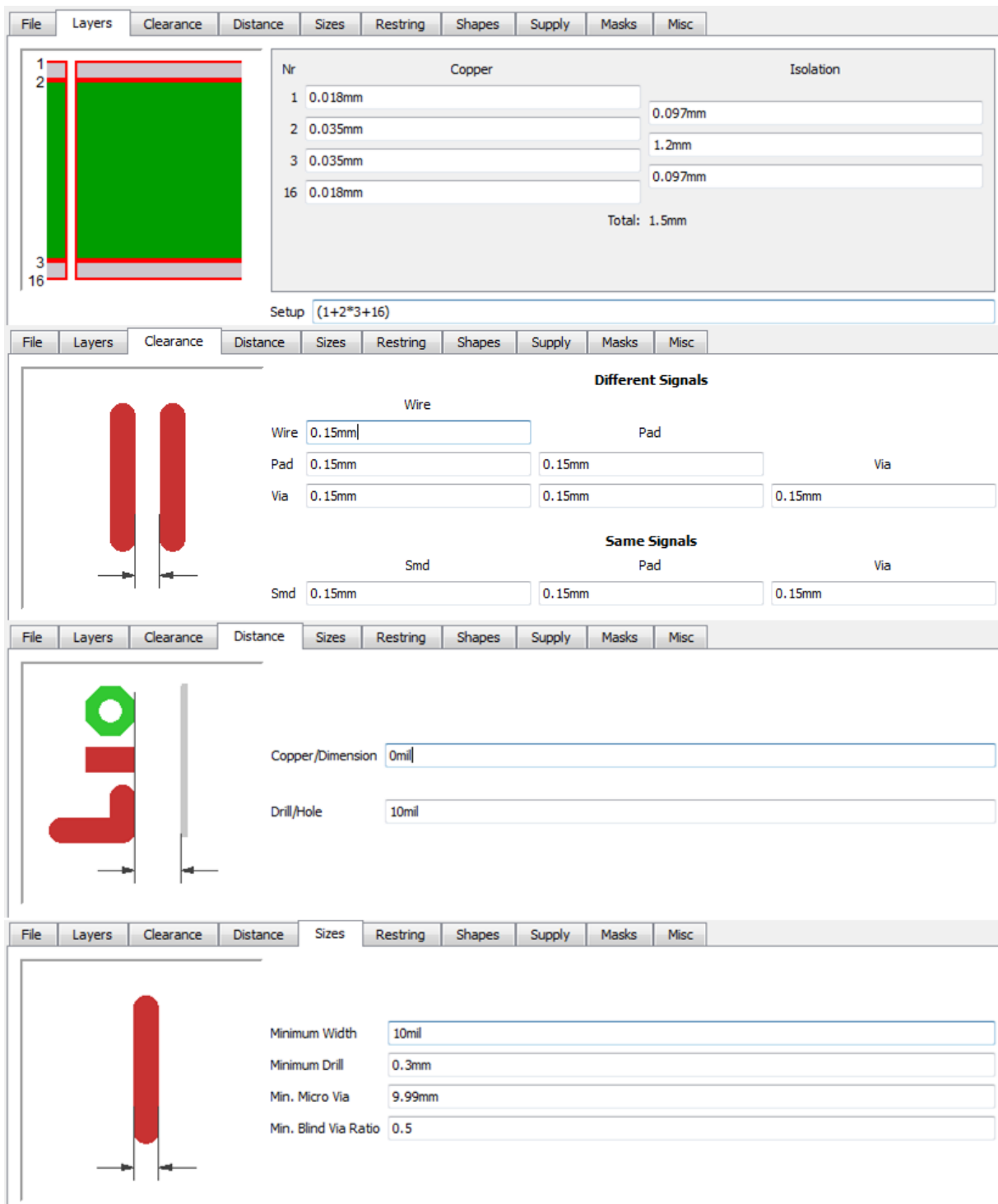
nejsnadnější. Bohužel proces rozmístění součástek je ovlivněn mnoha omezujícími parametry a možnosti alternativních umístění není mnoho, jak bude uvedeno v dalších odstavcích.

Z hlediska omezení umístění součástek má Eagle dvě speciální vrstvy, které mohou být umístěny tam, kde nelze umisťovat součástky nebo spoje. Proto byly nejdříve určeny tyto plochy. V případě omezení pro umístění součástek se jedná o plochy pod konektory a v jejich okolí, kde by to neumožňovaly vertikální rozměry součástek. Omezení pro umístění spojů je dáno převážně mechanickými prvky, pod kterými nemohou být spoje taženy.

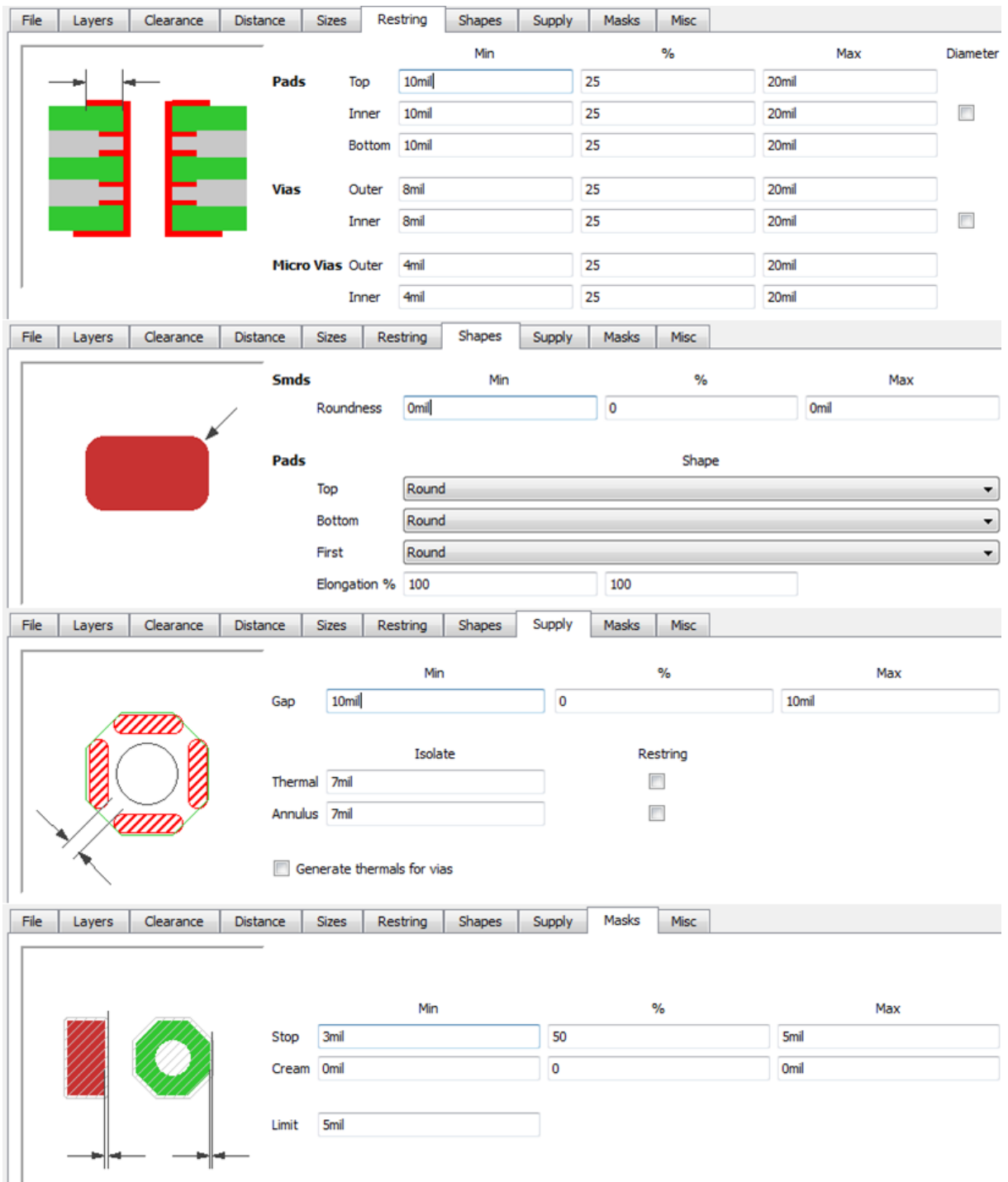
Další omezení poté vyplývají z opatření eliminovat EM vyzařování. Příkladem je krajní rámeček, který je ve všech vrstvách propojkami spojen se zemnicím signálem. Toto opatření výrazně omezuje boční vyzařování a chrání před nechtěným dotykem na napětí, který se může při manipulaci přihodit. Opatření pro omezení vyzařování může být i samotné rozvržení vrstev uvnitř desky. Všeobecně je doporučeno u čtyřvrstvé desky použít vnější vrstvy jako signálové a vnitřní jako napájecí a zemnicí. Vnitřní vrstvy pak slouží jako stínění a zlepšují odolnost proti vzájemnému ovlivňování součástek na protilehlých stranách. Doporučeno je také ohraničit analogové součástky zemnicím signálem, aby byl izolovaný od případného ovlivnění od okolních digitálních signálů. Podobný princip lze uplatnit i opačně, tedy ohradit zemním signálem všechny součástky, které budou generovat signál o vysokých frekvencích, aby ostatní nebyly ovlivněny. To platí zejména pro krystaly a obvody pulzních zdrojů. (20)

Ještě před vlastním fyzickým návrhem byly určeny normy, podle kterých se bude návrh řídit. Tyto normy určují zejména vzdálenosti mezi součástkami, velikosti ploch, ale i minimální použitelný rozměr. Všechny tyto vlastnosti se zadají do programu Eagle a při návrhu již program hlídá jejich dodržení, jak ukazuje Obrázek 23 a Obrázek 24. Tyto normy určují výrobci přesnost, která je nutná při výrobě DPS a tudíž i cenu výroby. Bylo rozhodnuto, že DPS bude vyrobena v třídě přesnosti 5. Tato třída je dostatečná pro spojení použitých součástek, ale není zbytečně náročná na přesnost umístění součástek, což by bylo plýtvání, vzhledem k tomu, že DPS bude osazována ručně, a tedy s poměrně velkými rezervami. (20)





Obrázek 23 - Normy pro návrh DPS část 1



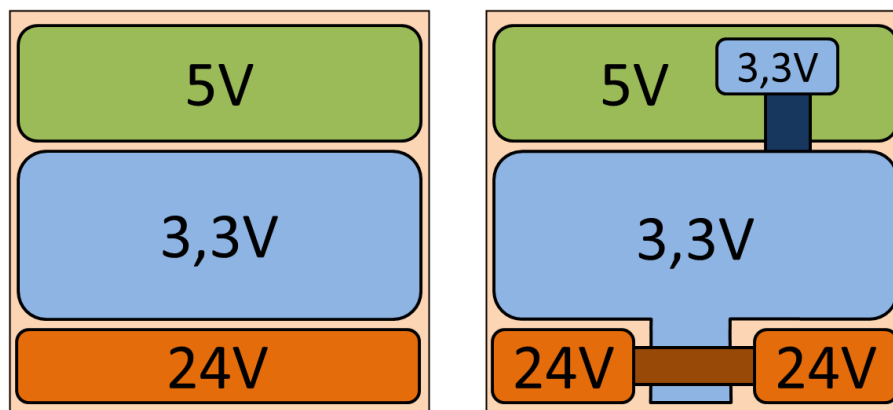
Obrázek 24 - Normy pro návrh DPS část 2

Při tvorbě elektrického schématu byly vytvořeny jednotlivé skupiny součástek, které spolu tvořily funkční bloky. Každá skupina měla vlastní list schématu, ale považovala se i za celek, který by měl být fyzicky pohromadě. To je nutné kvůli zabezpečení nejmenších možných vzdáleností součástek a tím i dynamických vlastností obvodů. Jelikož MCU obhospodaruje veškerý provoz mezi jednotlivými funkčními celky, je logické umístit jej do středu celého návrhu. V jeho nejbližším okolí by měly být umístěny konektory pro

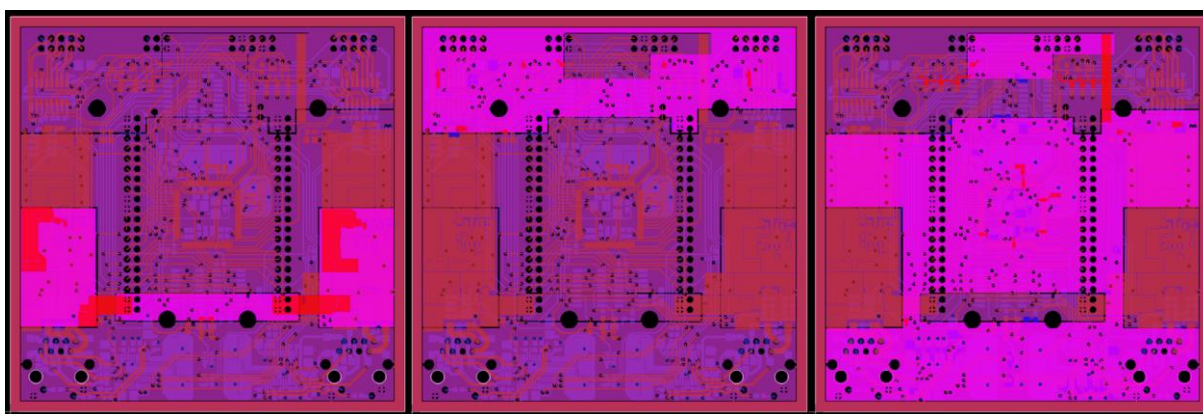
komunikaci s periferní deskou tak, aby se docílilo co nejkratších spojů, které již budou prodlouženy velikostí konektorů. Poloha konektorů ve středu desky má i opodstatnění v nutnosti sdílení několika napájecích napětí, která je nutné propojit stranově symetricky a při požadavku na co největší úsporu místa je jasné, že takové místo bude velmi blízko u MCU. Musel být nalezen kompromis v natočení MCU, aby další periferie jako sériová komunikace nebo ethernetové řadiče byly propojeny bez zbytečně prodloužených spojů. Proto bylo rozhodnuto, že rozmístění konektorů bude dodržovat smysl šíření instrukcí. Na spodní straně desky budou konektory pro ethernetovou komunikaci, u kterých budou bezprostředně umístěny kontroléry. Kvůli prostorovým dispozicím je již jasné, že budou muset být v opačné (spodní) vrstvě než konektory. Kontroléry budou přenášet data do MCU. To je převede do instrukcí pro periferní zařízení, které budou napojeny v horní části desky. Spínané zdroje budou blízko ethernetových konektorů. Kvůli omezení ovlivňování jednotlivých obvodů se budou nacházet v horní vrstvě (po stranách) a budou odděleny paralelními zemními spoji tak, aby se neovlivňovaly s vysokofrekvenčními signály sériové sběrnice a ethernetu. Obvody sériové sběrnice jsou problematické, protože ovládají mnoho obvodů a mají s nimi mnoho společných signálů. Spolu s multiplexery nekladou velké požadavky na umístění a tím umožňují určitou volnost v návrhu desky.

Velkou kapitolou byl návrh rozmístění a tvaru napájecích ploch v dané vrstvě. Požadavkem bylo přivedení všech napájecích napětí do periferních konektorů a ke všem součástkám na hlavní desce, což se ukázalo při tolika napájecích úrovních jako problematické. Proto vzniklo rozdělení součástek do sektorů podle hodnoty jejich napájecího napětí. Deska obsahovala nejvíce součástek s 3,3V napájením, proto bylo jasné, že plocha tohoto napájení bude největší. Naproti tomu součástek využívající 5V nebo 24V napětí je jen minimum. Díky tomu se vycházelo od nejjednoduššího tvaru, který se vyvíjel podle toho, jak postupoval návrh desky. Prvotní nápad byl rozložit sektory paralelně a součástky do nich umístit. Z prostorových důvodů se to však ukázalo jako nemožné. Proto se přešlo na verzi dvě, která již počítala s rozmístěním konektorů a některými ústupky proti původnímu pravidlu nevést napájecí napětí signálovou vrstvou, viz Obrázek 25. Bohužel návrh je tak komplexní, že bez tohoto ústupku by bylo druhé řešení jen přidání vrstev. Finální řešení je kompromisem mezi požadavky napájení, rozmístění součástek a efektivního propojení. Jen minimum součástek je mimo sektor svého napájení a musí k nim být napájení přivedeno spojovou vrstvou. Sektory jsou symetrické jen v prvním přiblížení. Tvar sektorů je na několika místech totiž upraven přesně podle potřeb propojení viz Obrázek 26, kde jsou světleji zobrazena jednotlivá napájecí

(fialová je vrstva napájecích napětí, modrá je spodní vrstva, červená horní spojová vrstva)  
napětí zleva do prava 24V, 5V a 3,3V.



Obrázek 25 – Postup při návrhu rozložení napájecích vrstev



Obrázek 26 - Finální podoba napájecích zón

Zdroj: (2)

Jako vhodné se ukázalo začít s fyzickým návrhem obvodů té nejsložitější součástky, tedy MCU. První byly propojeny obvody krystalů a kondenzátorů, které musejí být v těsné blízkosti vývodů. Dalším požadavkem je odstínění krystalů pomocí zemního paralelního vedení. Jako druhé v pořadí následovaly spoje vedoucí k expanzním konektorům, které jsou zapotřebí co možná nejkratší a jejich orientace je pro připojení výhodná, protože jsou orientovány jedním směrem. Tato vlastnost je klíčová, aby došlo ke křížení v rámci vrstev. Je tím zaručeno, že za poměrně jednoduchých podmínek půjde většina spojů položit.

Ethernetové kontroléry jsou vybaveny vlastním krystalem a disponují velkým počtem blokových kondenzátorů. Jejich umístění je zvoleno tak, aby co nejméně ovlivňovaly okolní součástky, ale aby byly blízko konektorů. Poměrně složité bylo propojení sdílených signálů

sériové sběrnice, která je sem zavedena. Při použití principu křížení pak propojení proběhlo relativně hladce.

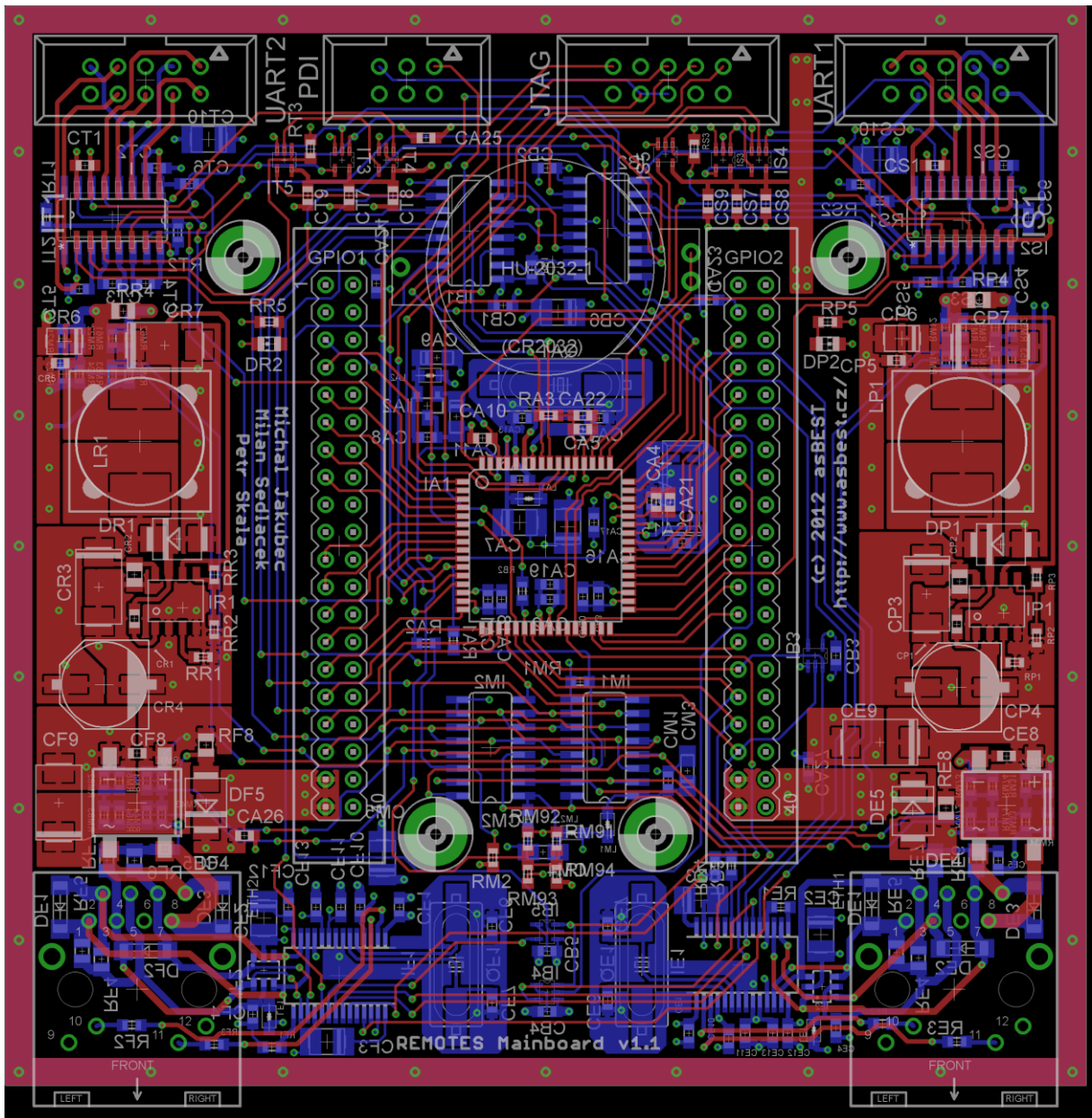
Největší pozornost byla věnována obvodům zdrojů. Ty svou pulzní povahou mohou velmi ovlivňovat činnost okolních zařízení. Proto byla obzvláště velká pozornost upřena na proudovou smyčku IR1, DR1, LR1, CR7 a GND, kde bude velké vyzařování (EM i tepelné). V tomto případě zde bylo postupováno bez kompromisu a plocha, kterou zdroje zabírají je sice značná, ale je zajištěna dobrá EM odolnost a funkčnost návrhu je již limitována jen velikostmi součástek. (16), (20)

Komunikace pomocí konektorů UART1 a UART2 je umístěna na horním konci desky a je zajištěna obvody, které jsou pro minimální vzdálenost umístěny na obou spojových vrstvách.

Sériová sběrnice a multiplexer byly obvody, které se navrhovaly jako poslední. Jejich spoje jsou v mnoha případech rozvětveny do několika směrů. Provedení tak vyžadovalo určité ústupky. Po stranách expanzních konektorů je vidět několik signálů, které jsou zavedeny do multiplexerů a ethernetových konektorů. Na tomto příkladu je patrné křížové pravidlo a sdružování do paralelních „pseudo sběrnic“. Bohužel kvůli hustotě spojů se muselo často přikročit k přemostění signálů pomocí prokovů, které snižují EM odolnost a prodlužují délku spojů. (20)

Po konečném propojení byla provedena kontrola kvůli syndromu „švýcarského sýra“. Vlivem těsně u sebe umístěných prokovů vznikají úseky, kde v zemnicí vrstvě chybí i velmi dlouhé části, které musí proud obtékat. Poté následovalo rozmístění popisků do dokumentačních vrstev, ty jsou důležité pro osazovací a servisní účely. (20)

Výsledné propojení zobrazuje Obrázek 27. Další pohledy na jednotlivé vrstvy jsou v Příloze 2.



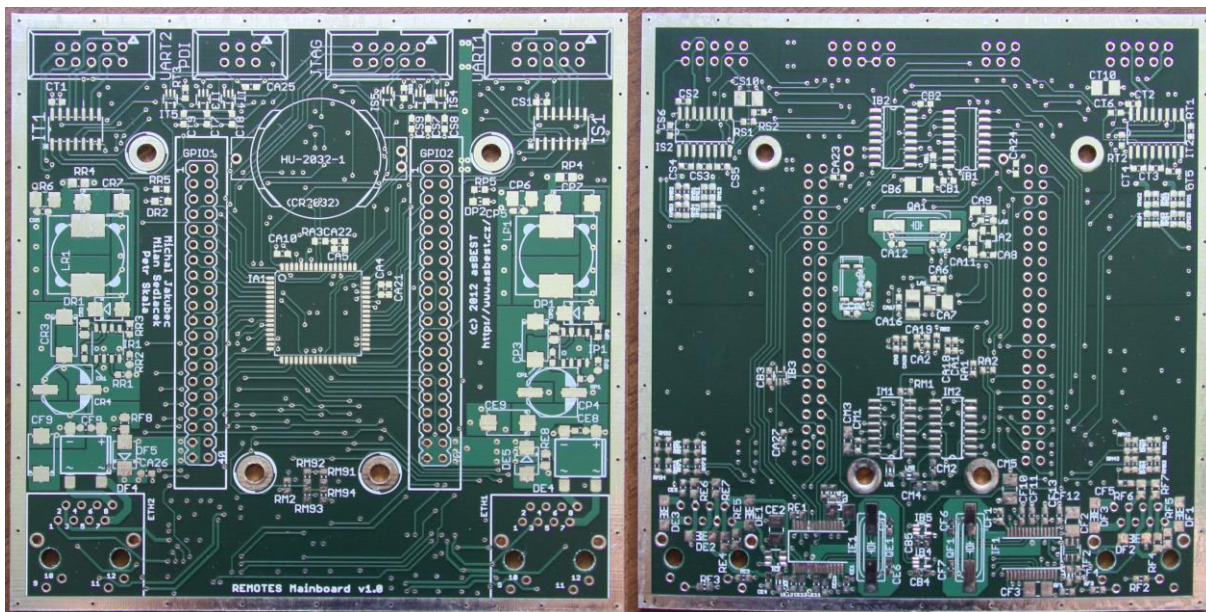
Obrázek 27 - Výsledné propojení hlavní desky

Zdroj: (2)

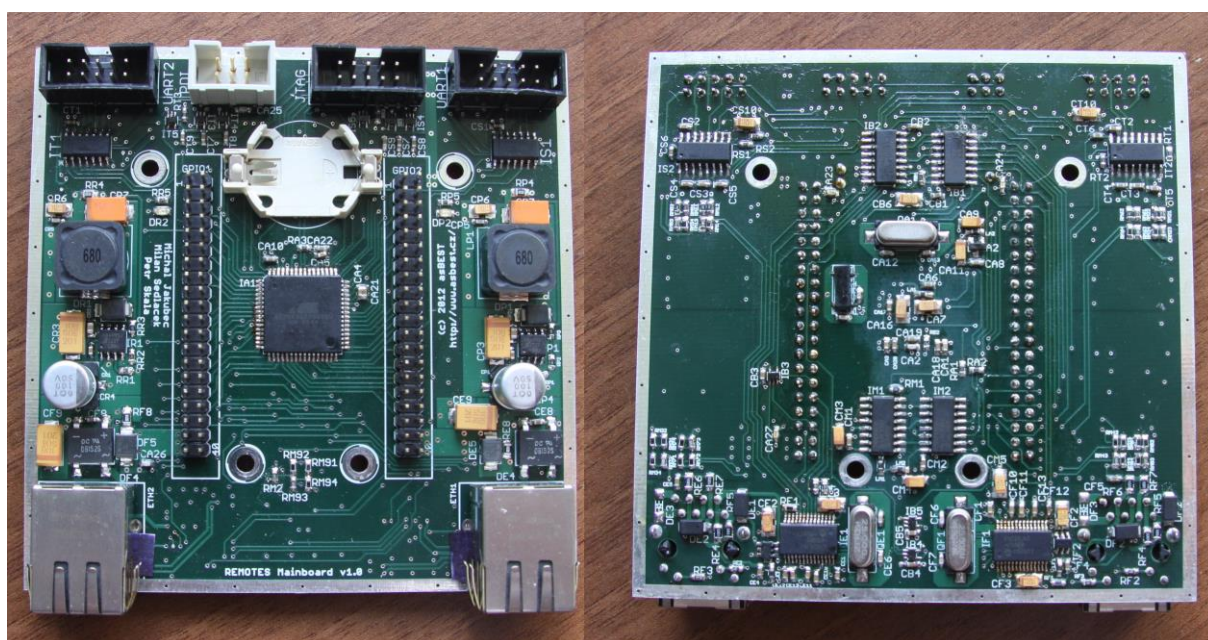
## Osazování desky

Po obdržení vyrobených PCB od firmy Pragoboard začalo osazování součástek. Náhled na neosazenou desku ukazuje Obrázek 28. Za tímto účelem byla použita horkovzdušná pájecí stanice, která je daleko vhodnější pro pájení mnoha pinových součástek, než transformátorová nebo mikro páječka. Pomocí stříkačky s širokou jehlou byla dávkována tavící pasta na pájící plošky, následovalo pečlivé umístění součástky a její pájení pomocí teplého vzduchu. Při tomto procesu mohlo dojít k pohybu součástky vlivem pnutí v tavidle, proto bylo nutné ještě

polohu součástky kontrolovat a popřípadě i korigovat. Deska obsahuje okolo 200 součástek a proces osazování jedné desky zabral téměř 8 hodin. Osazování bylo postupné. Začalo se obvody zdrojů, které se hned po jejich osazení i zkontrolovaly bez rizika případného poškození dalších obvodů. Poté pokračovalo osazování a následovalo testování zbytku desky, které zabralo okolo tří hodin. Je jasné, že tento postup je proveditelný jen u malých sérií v jednotkách kusů. Pro větší série pak bude zapotřebí tyto služby outsourcovat k jinému výrobcí. Náhled na osazenou hlavní desku ukazuje Obrázek 29.



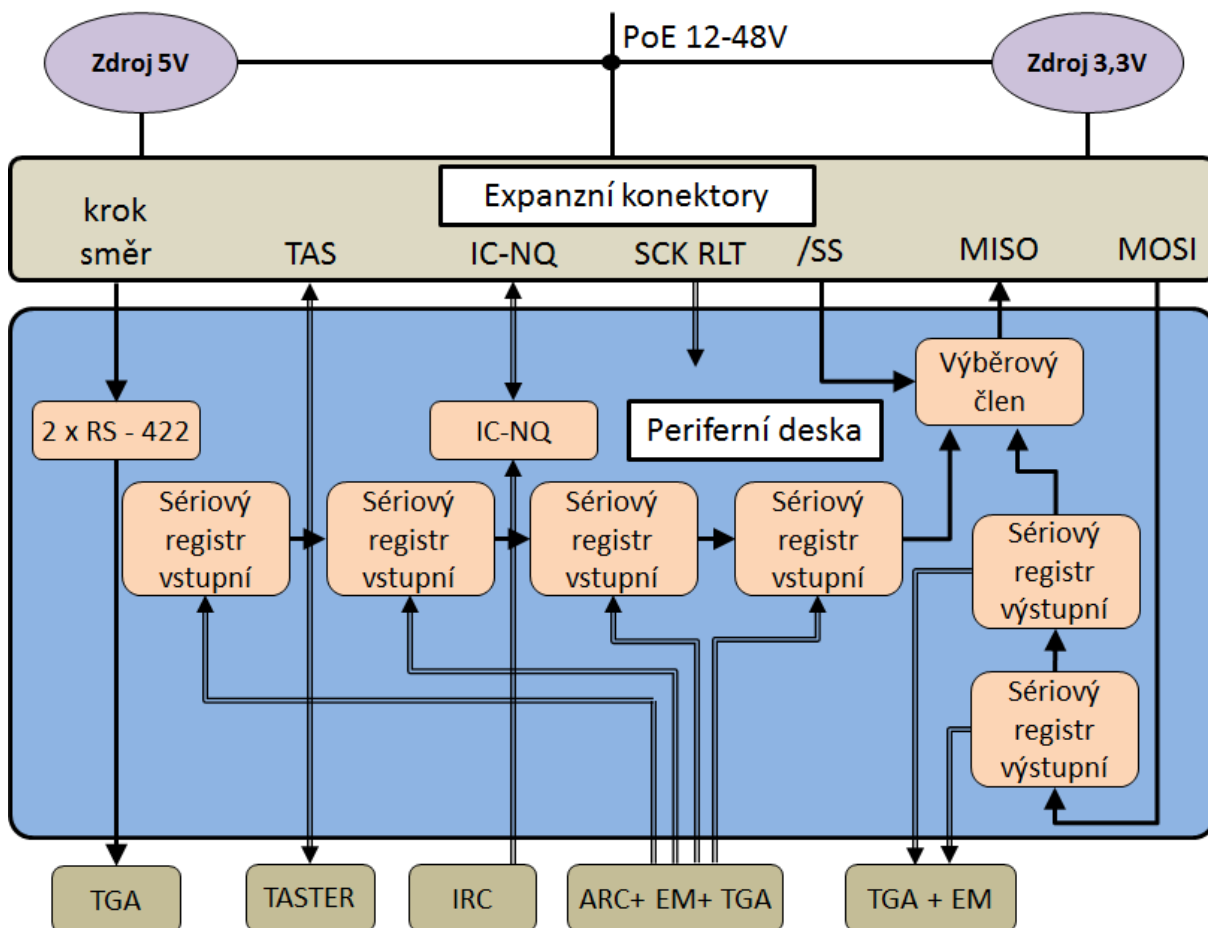
Obrázek 28 - Vyrobená a neosazená hlavní deska



Obrázek 29 - Osazená hlavní deska

## 4.6 Návrh periferní desky

Periferní deska má sdružovat požadavky pro MŘP i MŘD, jak již bylo uvedeno v kapitole 4.2. Na základě zkušeností s návrhem hlavní desky byla vypracována první verze elektrického schématu, viz Obrázek 30.



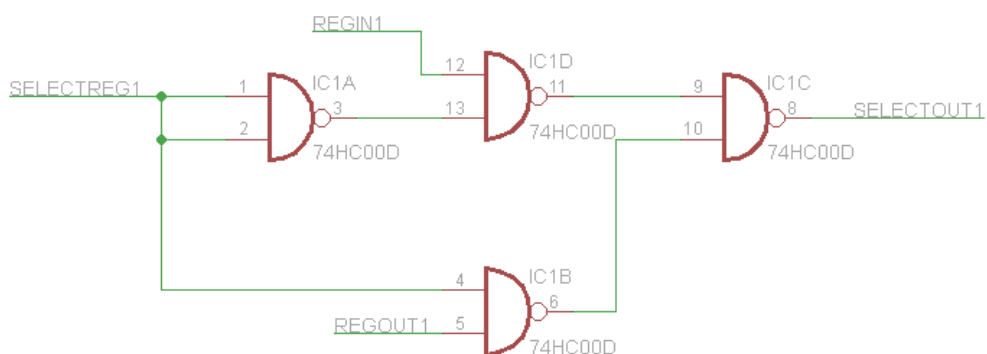
Obrázek 30 - Základní elektrické schéma periferní desky

Zdroj: (2)

Periferní deska bude s hlavní spojena pomocí expanzních konektorů, na které budou přivedeny všechny signály a napájecí napětí. Nejvíce obvodů je určeno pro sériovou sběrnici, která bude mít na periferní desce klasický vzhled. MISO a MOSI jsou signály, které přímo vstupují a vystupují do MCU a proto bude použita CMOS logika na 3,3V úrovni. Z toho vyplývá, že všechny signály musí mít převodníky na požadované úrovni. TGA+EM jsou digitální vstupy servokontroleru a elektromagnetu, které vyžadují 24V. Zatímco ARC pracují na 5V úrovni. Výstup z diferenciálních budičů je také 5V, stejně jako z IC-NQ interpolátoru.



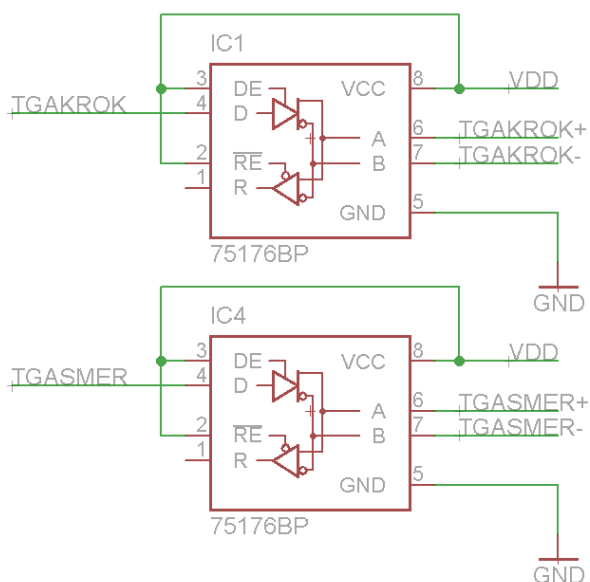
Výběrový člen bude ovládán signálem /SS, který slouží k výběru signálu ze vstupních nebo výstupních obvodů, který půjde z nebo do MCU. Půjde o skupinu logických hradel, která vytvoří požadovanou funkci. Na Obrázek 31 je signál /SS spojen se signálem SELECTREG1 další vstupní signály jsou již signály z vstupních nebo výstupních registrů. Jako výstupní registry budou použity osvědčené 74HC595D, pro vstup bude využito 74HC166.



Obrázek 31 - Návrh výběrového členu

Zdroj: (2)

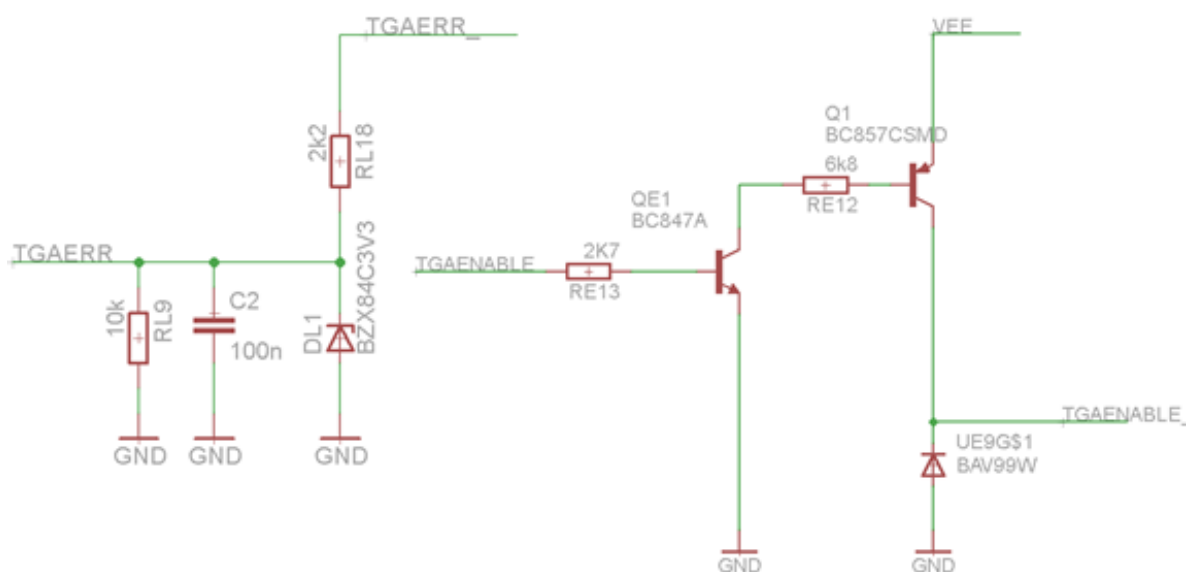
Jako diferenciální budiče budou použity obvody 75176 v doporučeném zapojení. Tyto obvody budou sloužit pro řízení servokontrolerů v módu krokového motoru.



Obrázek 32 - Zapojení budiče RS - 422/485

Zdroj: (2)

Z důvodu co nejrychlejšího nasazení, byl vyvinut prototyp periferní desky, který má omezenou funkčnost jen na několik nejzákladnějších obvodů. Na prototypu nebude plnohodnotné sériová sběrnice, jen dva vstupní registry pro vstup ARC. Dále sada vstupních (4 ze servokontroléru) a výstupních (5 do servokontroléru + 1 do elektromagnetu) obvodů pro ovládání digitálních periférií servokontrolérů, které budou připojeny přímo na MCU, a u jednoho modulu budou i RS- 422/485 budiče pro funkci hodinového stroje, viz Obrázek 32. Zapojení bude provedeno jen na pájivou desku pomocí izolovaných vodičů, viz Obrázek 38.



Obrázek 33 - Ukázka zapojení vstupního a výstupního obvodu

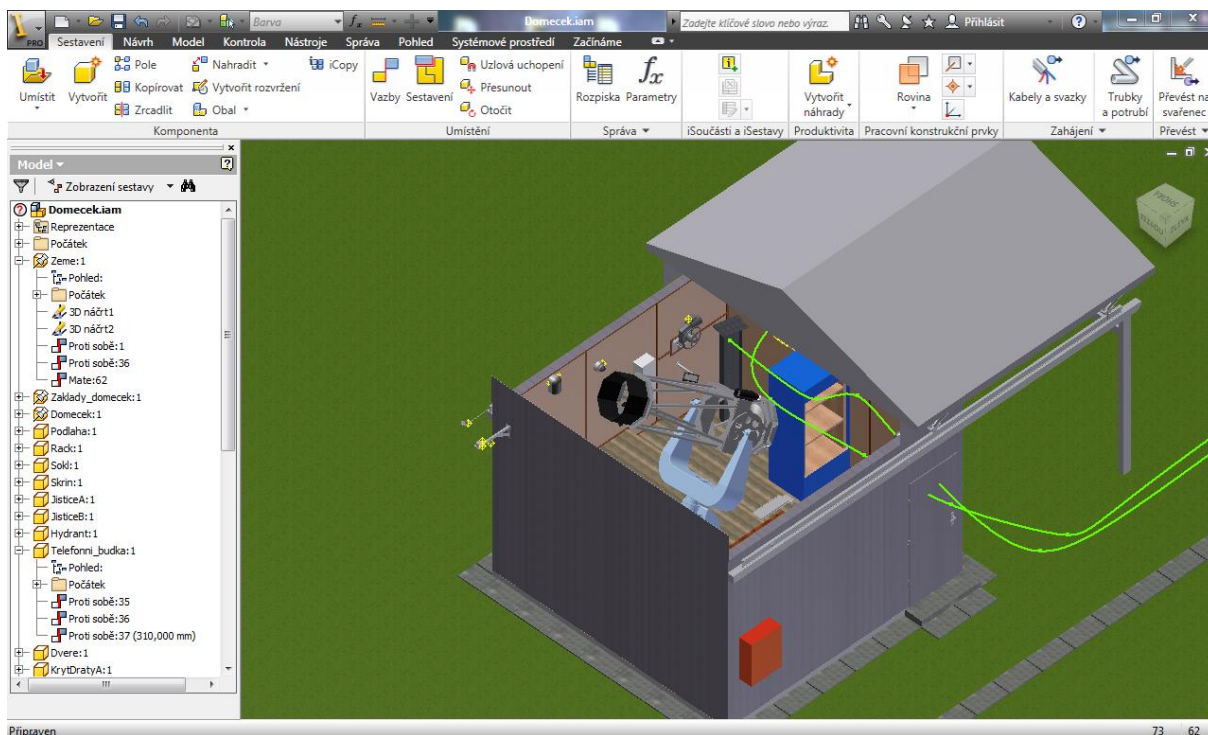
Zdroj: (2)

## 4.7 Význam a výhody 3D modelování

V dnešní době již pokročila technika modelování tak, že se stala nedílnou součástí téměř každého projektu. Byly využity zkušenosti z předmětu Návrh s podporou počítačů a pro účely prezentace teleskopu D50 vznikl 3D model celého pozorovacího stanoviště. To vše ještě před samotným projektem REMOTES. Tento model byl následně doplněn a byl použit i pro návrh některých mechanických změn.

K modelování byl použit program od firmy Autodesk, Inventor 2011 (respektive 2012). Tento program funguje na uživatelsky velice příjemném principu, kde uživatel vytváří jednotlivé součástky nejdříve v hrubých obrysech (výška, průměr atd.) a později přidává

details (otvory, zkosení). To vyžaduje i možnost jednoduchého i efektivního prohlížení součástky, které je v tomto programu přítomno viz Obrázek 34. Z těchto součástí jsou poté vytvářeny sestavy, popřípadě sestavy sestav, mezi kterými jsou nastaveny mechanické vazby (otáčení, posuv). Program umožňuje širokou škálu využití. Pokud se správně nastaví fyzikální parametry (hustota) všech prvků, pak může program být využit ke spočtení těžiště, které je v případě rychle se pohybujících teleskopů poměrně důležité. Díky nastaveným vazbám mezi jednotlivými prvky sestavy může být simulována jejich vzájemná interakce, a je možné odhalit případné nesrovnalosti. To samé platí při kontrole a návrhu prostorových dispozic. Program umožňuje intuitivní manipulaci s každou součástí sestavy, proto jde velmi jednoduše navrhovat například rozmístění konektorů nebo modulů na pozorovacím stanovišti. Dovoluje zjistit například zakázané kombinace natočení teleskopu nebo tvar obzoru.

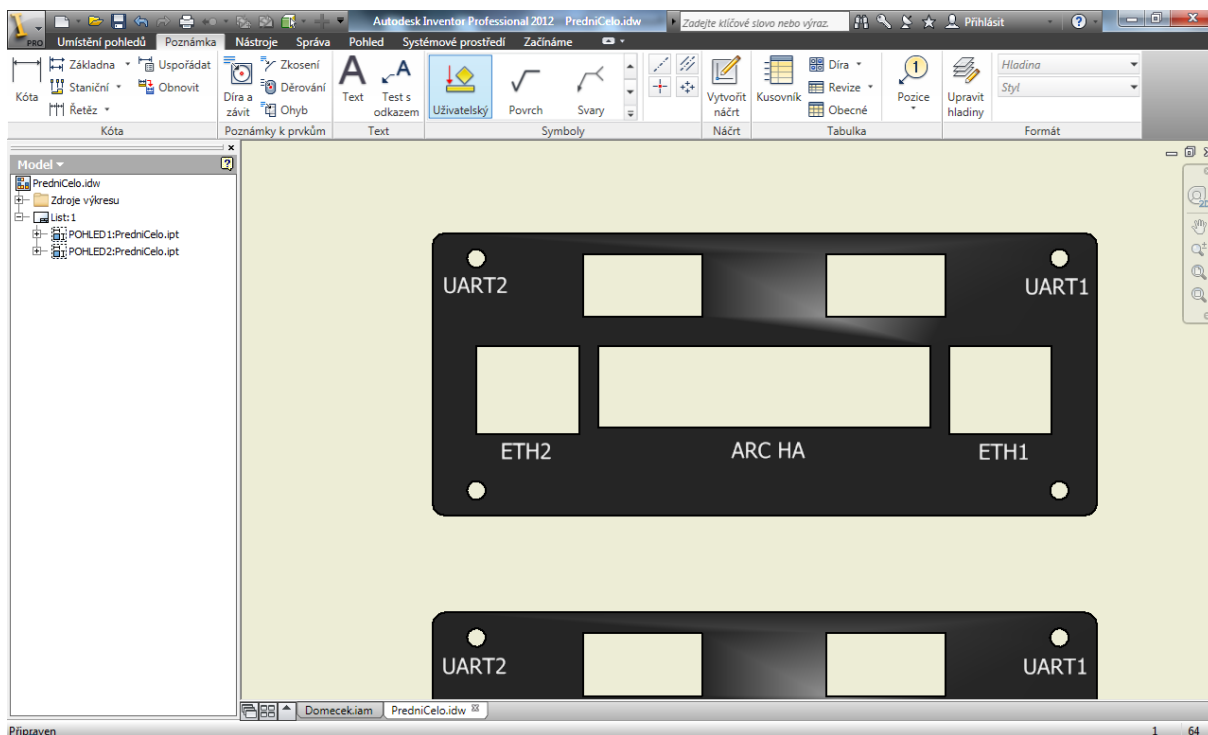


Obrázek 34 - Prostředí programu Inventor 2012

Velkou výhodou je velmi propracovaný modul sloužící k výrobě dokumentace. Ten umožňuje zvolit normu, podle které se dokumentace vytvoří a uživatel jen vybírá pohledy a detaily, které jsou zapotřebí k popisu. Poté v pohledu vybírá linie, které je zapotřebí okótovat a způsob jakým se tak stane. Na výběr jsou všechny standardní pohledy řezy, přerušení, detaily atd. Díky možnosti interaktivity s modelem je výběr pohledů jednoduchý a touto vazbou jde zajistit, aby v případě úprav byla dokumentace vždy aktuální. Tímto jsou sníženy nároky na znalosti kreslení technické dokumentace a tím urychlen proces dokumentace tak, že

i téměř úplný laik je schopný vytvořit kompletní dokumentaci za několik desítek minut. Na Obrázek 35 je například vytvořen potisk na přední čela modulů.

Dalším velkým plusem je možnost renderování obrázků a videí. Toho bylo využito nejen pro vizualizaci řešení uvnitř při poradách týmu, ale i při prezentaci na několika konferencích. Možnost zobrazit řešení ještě před jeho vytvořením se ukázala jako velmi užitečná při plánování rozmístění součástek, ale i při prezentaci ideí zadavatelům. Tým několik měsíců intenzivně pracoval jen na teoretickém návrhu a vizualizace návrhu se ukázala jako nejlepší možnost jak zdokumentovat jeho postup. Možnost vytvořit realistickou animaci se hodí i při představení projektu novému členu týmu nebo pozorovateli, možnost seznámení se s pozorovacím místem bez nutnosti být na místě je zejména u robotických teleskopů nedocenitelná výhoda.



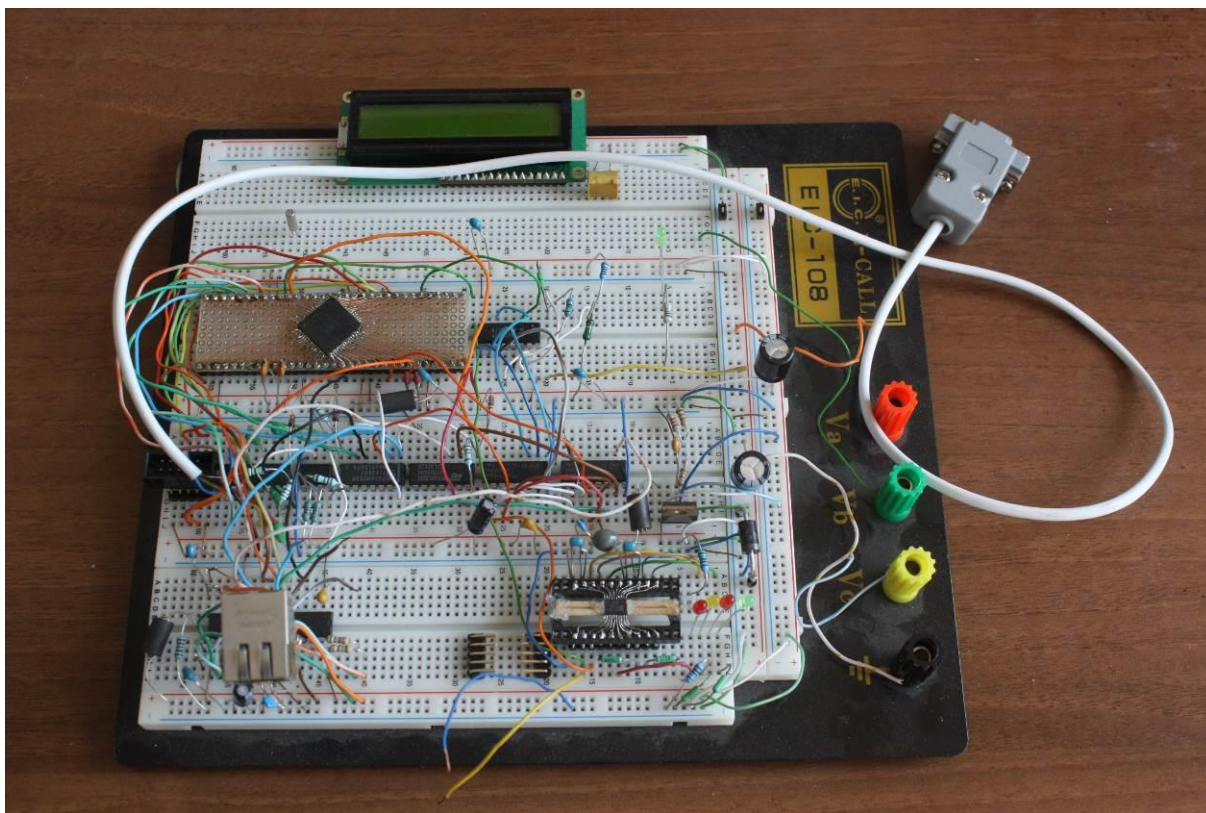
Obrázek 35 - Prostředí pro výrobu dokumentace

Modelu bude využito i při vytváření ovládací aplikace. Možnost exportovat model do VRML (Virtual Reality Modeling Language) umožňuje vizualizaci celého pozorovacího stanoviště. Tím, že uživatel uvidí skutečnou podobu dalekohledu a jeho natočení v reálném čase jen sníží šanci na chybu při ovládání vlivem lidského faktoru. Aplikace pak bude mít několik úrovní, další pak bude znázornění stavu jednotlivých modulů.

Pro další náhled možností programu jsou v Příloze 1 další obrázky všech částí pozorovacího stanoviště.

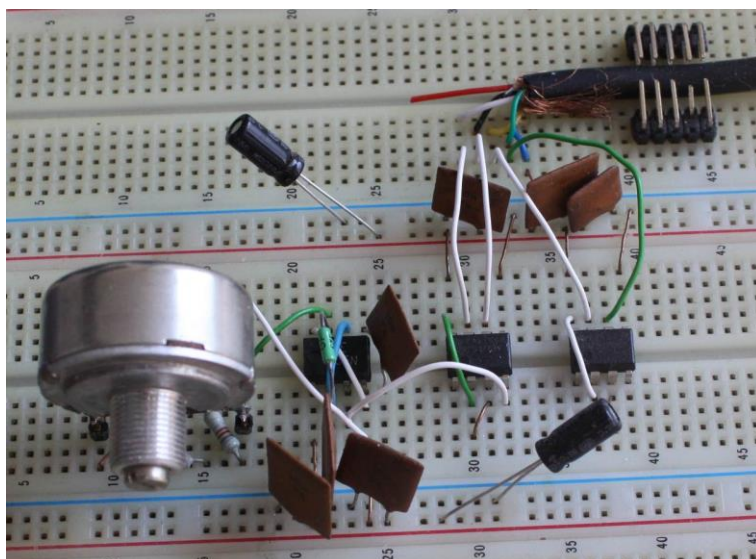
## 4.8 Testování a ověřování funkčnosti

Testování a ověřování funkčnosti probíhalo po celé délce projektu. Již v raných stádiích návrhu zapojení vznikalo několik prototypů pro ověření funkčnosti. Na takovýchto prototypch byla testována jak principiální funkčnost, to znamená funkčnost nebo nefunkčnost, tak i absolutní funkčnost ověřená měřením proudů, úbytků napětí a šumové imunity. Obrázek 36 ukazuje ranou fázi testování zapojení MŘP. MCU je zapojeno na nepájivém poli pomocí vlastnoručně vyrobeného adaptéru, stejně jako interpolátor v pravém dolním rohu. Je zde zapojena komunikace po ethernetu i sériovém kabelu. Obvody zdroje byly testovány samostatně.



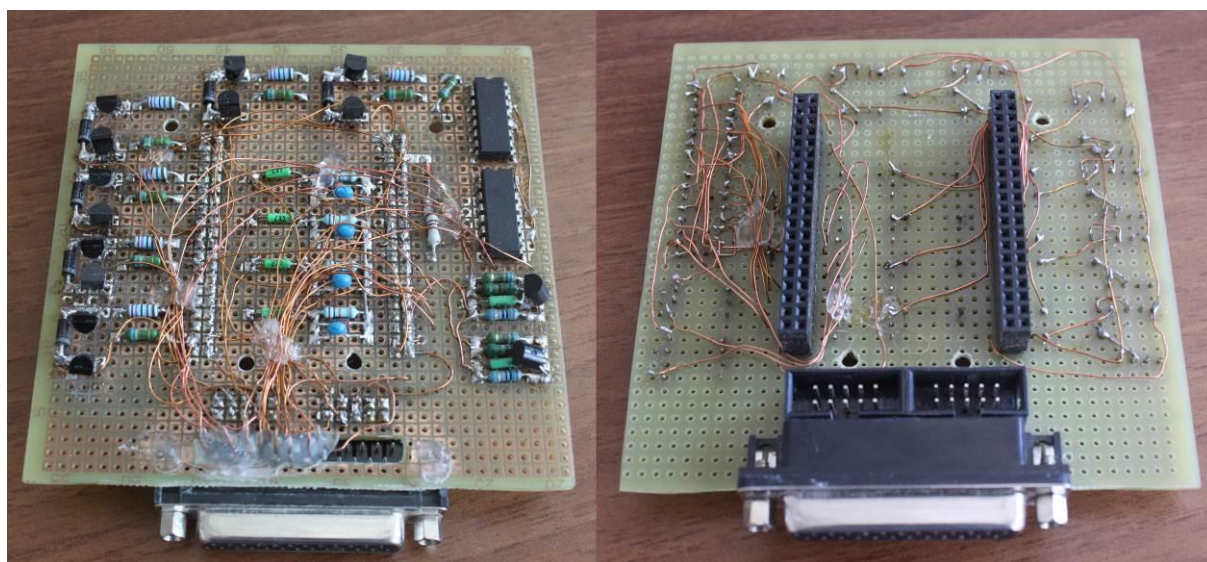
*Obrázek 36 - Prototyp zapojení hlavní desky*

Testování probíhalo na několika prototypch, například Obrázek 37 ukazuje jeden z menších prototypů pro kontrolu činnosti servomotorů v módu činnosti jako krokového motoru. Do serva jsou v tomto případě zavedeny dva páry diferenčních signálů. Jeden pár určuje směr pohybu, druhý pak frekvenci střídání své polarity určuje rychlost pohybu. Na tomto prototypu řídil frekvenci obvod NE555, v reálném použití pak bude využito jednoho pinu MCU. Na zapojení bylo odzkoušeno využití diferenčních driverů 75176. Pomocí osciloskopu byla ověřena nastavená frekvence, a průběh napětí byl po úpravě blokovacích kondenzátorů nominální.



*Obrázek 37 - Prototyp pro řízení serva v módu krokového motoru*

Dalším krokem v testování bylo sestavení prototypu periferní desky, který byl později nasazen do zkušebního provozu. Počítá se s jeho funkcí v 1. až 2. fázi nasazení systému. Na tomto prototypu byl vyzkoušen princip funkce vstupních a výstupních obvodů, měření pomocí ARC. Obrázek 38 ukazuje takovýto prototyp připraven na spojení s hlavní deskou a použití v MŘP.



*Obrázek 38 - Prototyp periferní desky MŘP DE*

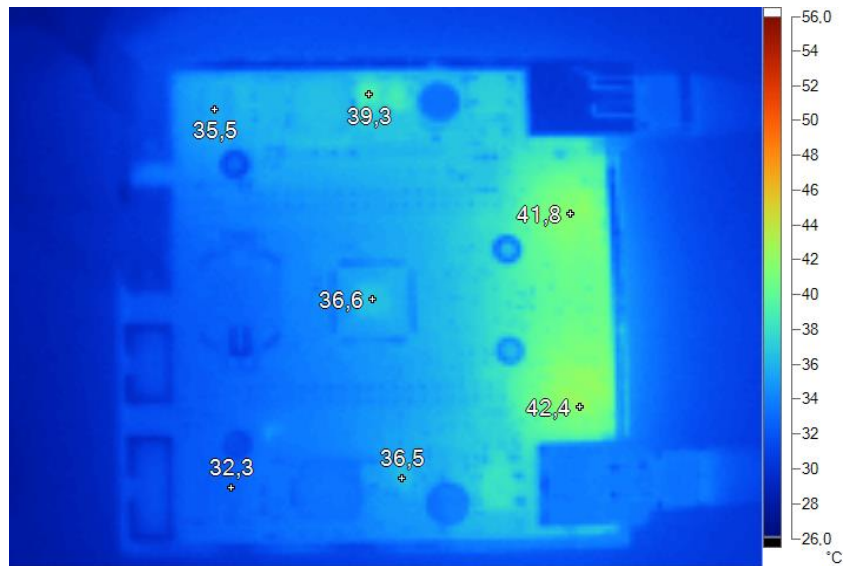
Jedním z posledních měření, které probíhalo, bylo pomocí termokamery TiR 1 od firmy Fluke, viz Obrázek 39. Tímto zařízením bylo ověřováno, zda na hlavní desce nedochází k nadměrnému zahřívání nebo zda není na desce nějaký defekt. Kamera byla nastavena na

emisivitu  $\varepsilon=0,95$ , což by mělo odpovídat téměř černému tělesu, kterým mikročipy na desce jsou.

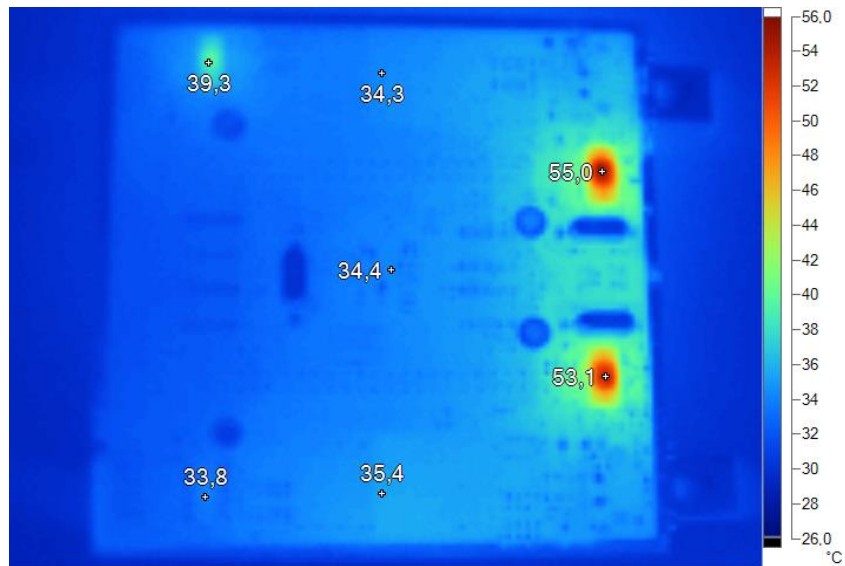


Obrázek 39 - Termokamera Fluke

Kamera odhalila poměrně velké zahřívání na obvodech ethernetových řadičů, které pro nás nebylo překvapením. Podle dokumentace může mít odběr až 100mA. Tento proud dokáže podle měření zahřát řadiče až na 55°C, viz Obrázek 41. Pracovní teplota je ale určena až na 85°C, takže k překročení povolených hodnot nedochází, ani v okolí řadičů se nenachází součástky citlivé na vysokou teplotu. Je vidět i rozdíl v zatížení podle toho, se kterým řadičem probíhá komunikace. MCU na desce má teplotu přibližně 37°C což je také v normě jak ukazuje Obrázek 40. Zdroje nejsou zatíženy stejně, 3,3V zdroj se musí potýkat s daleko větším zvlněním a to zahřeje jeho diodu až o 4°C více než v případě 5V zdroje. Jak je vidět je i celková teplota v místě 3,3V zdroje, viz Obrázek 42. Tato měření budou užitečná při určení závady z hlediska tepelného namáhání.

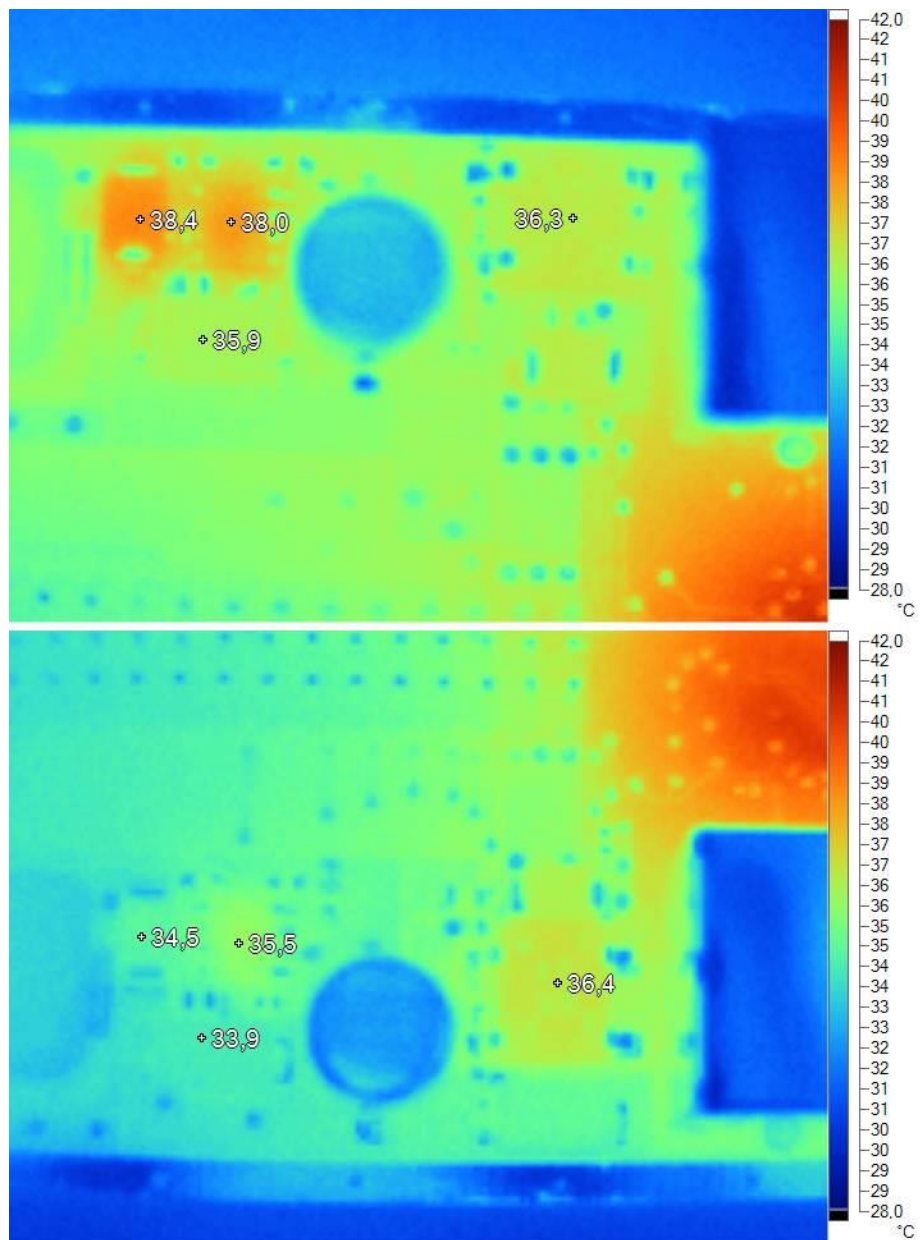


Obrázek 40 - Měření termokamerou pohled shora



Obrázek 41 - Měření termokamerou pohled zdola





Obrázek 42 - Detail měření zdrojů

## 5 Závěr

Robotický dalekohled je pro dnešní astronomy jedním z nejdůležitějších prostředků výzkumu vesmíru. Autonomita dává uživatelům robotických teleskopů velké možnosti, které jsou dnes ve špičkovém výzkumu již nezbytností. Automatizovat teleskop lze v dnešní době mnoha postupy, existují průmyslové počítače, programovatelné relé, ale i mikrokontroléry. Každá součástka dává jiné možnosti a vstupuje do procesu řízení na odlišné úrovni řízení. V projektu robotizace D50 bylo rozhodnuto jít cestou, kde bude absolutní kontrola nad veškerou komunikací a možnost ovládat zařízení na té nejnižší úrovni – tedy jednotlivé součástky. K tomuto je nejvhodnější použití mikrokontroléru, který může ovládat mnoho periferních obvodů, vyhodnocovat data ze senzorů a to vše velmi efektivně díky absolutní kontrole nad procesy.

Pro projekt robotického řízení teleskopu D50 byla navržena decentralizovaná struktura, která se skládá z několika modulů a dokáže svou robustností spolehlivě ovládat celé pozorovací stanoviště. Řešení využívá celou řadu standardů spojenou s ethernetovou komunikací, která je hlavním nástrojem pro komunikaci mezi moduly. Každý modul má své periferní obvody, které ovládá a tím je určena jeho role v systému. Velký důraz při vývoji byl kladen na modularitu celého řešení, proto nejen, že se systém skládá z modulů, ale i tyto moduly jsou tvořeny volitelnou výbavou a tím přispívají ke škálovatelnosti systému. Hlavním požadavkem, který ovlivnil celý návrh je spolehlivost, proto je v systému maximálně zapojena redundance, ta se projevila v komunikační, napájecí ale i měřící problematice.

Robotizace teleskopu D50 měla za cíl vyšší výkon, spolehlivost a bezpečnost. Díky navrženému systému již lze přesně a rychle měřit polohu teleskopu pomocí kombinace absolutního a inkrementálního měření. Přesnost a rychlost měření je dostatečná pro změření úhlu 0,1 obloukové vteřiny a to v řádu 1kHz. Takové měření dokáže plně nahradit dosavadní způsob astrometrického určení polohy, a navíc umožňuje úplně eliminovat periodickou chybu montáže. Teleskop je poháněn novými výkonnějšími servomotory umožňující pohyb až 20° za sekundu, jde tedy až o pětadvacetinásobný nárůst rychlosti. Byla upravena celá napájecí architektura tak aby při poruše jedné komponenty nedošlo k paralyzaci celého systému, místo toho dojde k vyhodnocení situace a pokud rozhodne se ve zlomcích vteřiny o uvedení celého systému do bezpečného stavu nebo pokračování v pozorování. Vyřešen byl problém se zálohováním systému, a navíc byla získána kontrola nad napájením všech silových částí pozorovacího stanoviště.

Projekt REMOTES byl prezentován na několika konferencích s mezinárodní účastí, kde se vždy setkal s pozitivní odezvou, přičemž účastníci ocenili originalitu a snadnou použitelnost, a již v průběhu vývojových prací byl zaznamenán zájem o jeho nasazení i v jiných lokalitách. S čímž bylo počítáno a řešení bylo koncipováno jako multiplatformní. Proto lze konstatovat, že projekt své cíle splnil a do budoucna bude inovován do nových verzí, které budou podporovat i přenos dat CCD kamer a jiného vědeckého vybavení, a bude využíván i v jiných v astronomických a vědeckých aplikacích.

V současné době je systém nasazen v testovacím provozu a testována je především komunikace modulu s PC a jeho dlouhodobá stabilita a chování.

## 6 Citovaná literatura

1. **Kubánek, Petr.** RTS2. [Online] [Citace: 17. 12 2012.] <http://rts2.org/>.
2. **Martin, Nekola, et al., et al.** *Robotic telescopes for high energy astrophysics in Ondřejov*. s.l. : Springer Netherlands, 2010. 0922-6435.
3. **ASU AV ČR.** Interní dokumentace. Ondřejov : autor neznámý.
4. **Mravec, Rudolf.** *Elektrické stroje a přístroje I. El. stroje*. Praha : SNTL, 1982. 04-520-82.
5. **Larm.** [Online] [Citace: 6. Srpen 2012.] [http://www.larm.cz/pages/larm\\_html\\_cz/pdf/arc400-425.pdf](http://www.larm.cz/pages/larm_html_cz/pdf/arc400-425.pdf).
6. —. Larm IRC. *Larm.* [Online] [Citace: 5. 4 2013.] [http://www.larm.cz/pages/larm\\_html\\_cz/pdf/irc307-317-327.pdf](http://www.larm.cz/pages/larm_html_cz/pdf/irc307-317-327.pdf).
7. **Haus, IC-.** IC-NQ. *IC- Haus.* [Online] [Citace: 5. 4 2013.] [http://www.ichaus.de/upload/pdf/NQC\\_datasheet\\_D2en.pdf](http://www.ichaus.de/upload/pdf/NQC_datasheet_D2en.pdf).
8. **TG drives.** TGA-24. [Online] [Citace: 4. Srpen 2012.] <http://www.tgdrives.cz/digitalni-servozezilovace/tga-24/>.
9. **Elektronik, Fischer.** TUG 05. [Online] [Citace: 5. 4 2013.]
10. **Atmel.** *xmega A3.* [Online] [Citace: 5. Leden 2012.] <http://www.atmel.com/Images/doc8068.pdf>.
11. —. Microkontrollery. [Online] [Citace: 5. 4 2013.] <http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/default.aspx>.
12. **RJ 45.** [Online] [Citace: 5. Srpen 2012.] [http://www.soselectronic.cz/a\\_info/resource/a/pdf/j0006.pdf](http://www.soselectronic.cz/a_info/resource/a/pdf/j0006.pdf).
13. **Microchip.** Ethernet controller. [Online] [Citace: 5. 4 2013.] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39662e.pdf>.
14. **Maxim.** [Online] [Citace: 5. 4 2013.] <http://www.mouser.com/ds/2/256/MAX3080E-MAX3089E-99170.pdf>.
15. —. Transievers 232. [Online] [Citace: 5. 4 2013.] <http://www.mouser.com/ds/2/256/MAX202E-MAX241E-67215.pdf>.
16. **Allegro.** A8498. [Online] [Citace: 5. Srpen 2012.] <http://www.allegromicro.com/Products/Regulators-And-Lighting/Single-Output-Regulators/A8498.aspx>.
17. **Sedláček, Milan.** *Systém robotického řízení teleskopu D50*. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2013.

18. **Allegro.** *ADR380.* [Online] [Citace: 7. Srpen 2012.] <http://www.analog.com/en/special-linear-functions/voltage-references/adr380/products/product.html>.
19. **Jedlička, Petr.** *Přehled obvodů řady TTL 7400 2. díl 74100 až 74199.* Praha : BEN, 2005. 80-7300-170-5.
20. **Vobecký, Jan a Záhlava, Vít.** *Elektronika součástky a obvody principy a příklady.* Praha : Grada, 2006. 80-247-1241-5.

## **7 Použité zkratky**

ARC – Absolute Rotation Counter

BART – Burst Alert Robotic Telescope

CCD – Charge Coupled Device

D50 – Dalekohled o průměru 50cm

EM – Electro Magnetické

EMC – Electro Magnetická kompatibilita

ESD – ElectroStatic Discharge

I2C – Inter-Integrated Circuit

INTEGRAL – INTernational Gamma-Ray Astrophysics Laboratory

IRC – Incremental Rotation Counter

JTAG – Joint Test Action Group

LAN – Local Area Network

LED – Ligh Emitting Diode

MCU – Micro Controller Unit

PCB – Printed Circuit Board

PCI – Peripheral Component Interconnect

PDI – Program and Debug Interface

PLC – Programmable Logic Controller

REMOTES – Reliable Modular Telescope Solution

RTS2 – Remote Telescope System 2. Verze

SPI – Serial Peripheral Interface

SSH – Secure SHell

UPS – Uninterruptible Power Supply

USB – Universal Serial Bus

VRML – Virtual Reality Modeling Language

## 8 Seznam obrázků

Obrázek 1 – Vzhled předchůdce teleskopu D50 .....	6
Obrázek 2 – Poloha pozorovacího domečku .....	7
Obrázek 3 – Pohled na pozorovací stanoviště .....	8
Obrázek 4 – Schéma pozorovacího stanoviště .....	8
Obrázek 5 – První verze architektury .....	12
Obrázek 6 – Výsledná architektura.....	14
Obrázek 7 - Redundantní zapojení pomocí ethernetu.....	15
Obrázek 8 - Steinmetzovo zapojení do trojúhelníku a hvězdy.....	17
Obrázek 9 - Ukázka řešení napájení systému.....	18
Obrázek 10 - Inkrementální a absolutní čidla polohy .....	19
Obrázek 11 – Servomotor .....	20
Obrázek 12 - Rozdělení modulu do desek .....	21
Obrázek 13 - Teoretický návrh sériové sběrnice .....	24
Obrázek 14 - Vzhled a rozměry krytu TUG 05 .....	27
Obrázek 15 - První verze elektrického zapojení hlavní desky .....	28
Obrázek 16 - Zapojení zdroje 3,3V .....	31
Obrázek 17 - Zapojení ethernetových řadičů .....	32
Obrázek 18 - Zapojení obvodů okolo MCU.....	33
Obrázek 19 - Zapojení obvodů sériových registrů .....	34
Obrázek 20 - Schéma zapojení sériové komunikace .....	36
Obrázek 21 - Zapojení měřících obvodů.....	37
Obrázek 22 - Ukázka knihovny programu .....	38
Obrázek 23 - Normy pro návrh DPS část 1.....	40
Obrázek 24 - Normy pro návrh DPS část 2.....	41
Obrázek 25 – Postup při návrhu rozložení napájecích vrstev .....	43
Obrázek 26 - Finální podoba napájecích zón .....	43
Obrázek 27 - Výsledné propojení hlavní desky.....	45
Obrázek 28 - Vyrobená a neosazená hlavní deska .....	46
Obrázek 29 - Osazená hlavní deska.....	46
Obrázek 30 - Základní elektrické schéma periferní desky .....	47
Obrázek 31 - Návrh výběrového členu .....	48
Obrázek 32 - Zapojení budiče RS - 422/485.....	48

Obrázek 33 - Ukázka zapojení vstupního a výstupního obvodu .....	49
Obrázek 34 - Prostředí programu Inventor 2012.....	50
Obrázek 35 - Prostředí pro výrobu dokumentace .....	51
Obrázek 36 - Prototyp zapojení hlavní desky.....	52
Obrázek 37 - Prototyp pro řízení serva v módu krokového motoru .....	53
Obrázek 38 - Prototyp periferní desky MŘP DE.....	53
Obrázek 39 - Termokamera Fluke .....	54
Obrázek 40 - Měření termokamerou pohled shora .....	55
Obrázek 41 - Měření termokamerou pohled zdola .....	55
Obrázek 42 - Detail měření zdrojů .....	56



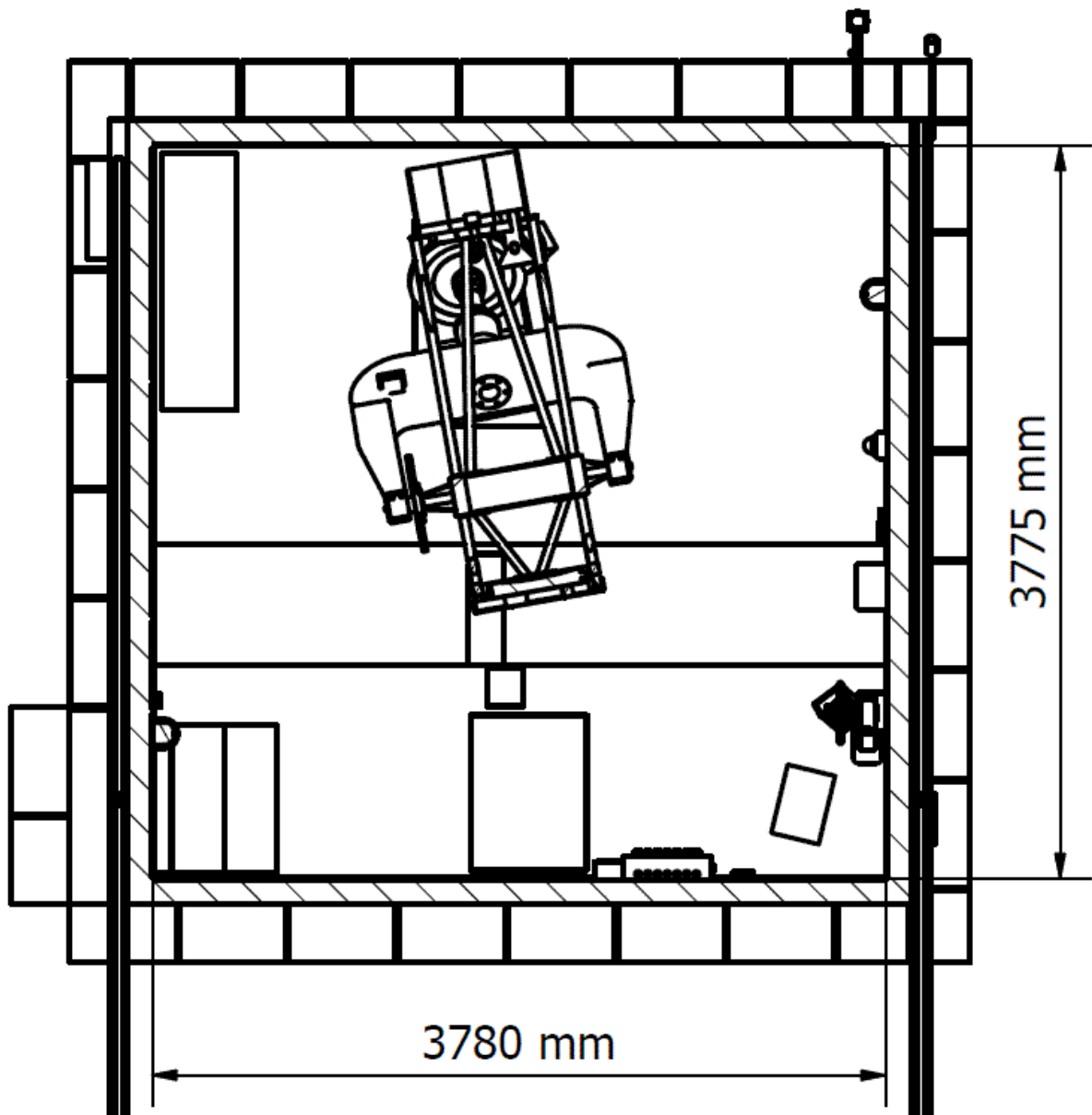
## **9 Přílohy**

Příloha 1 – Renderované obrázky pozorovacího stanoviště a modulů .....	65
Příloha 2 – Vrstvy PCB hlavní desky .....	68

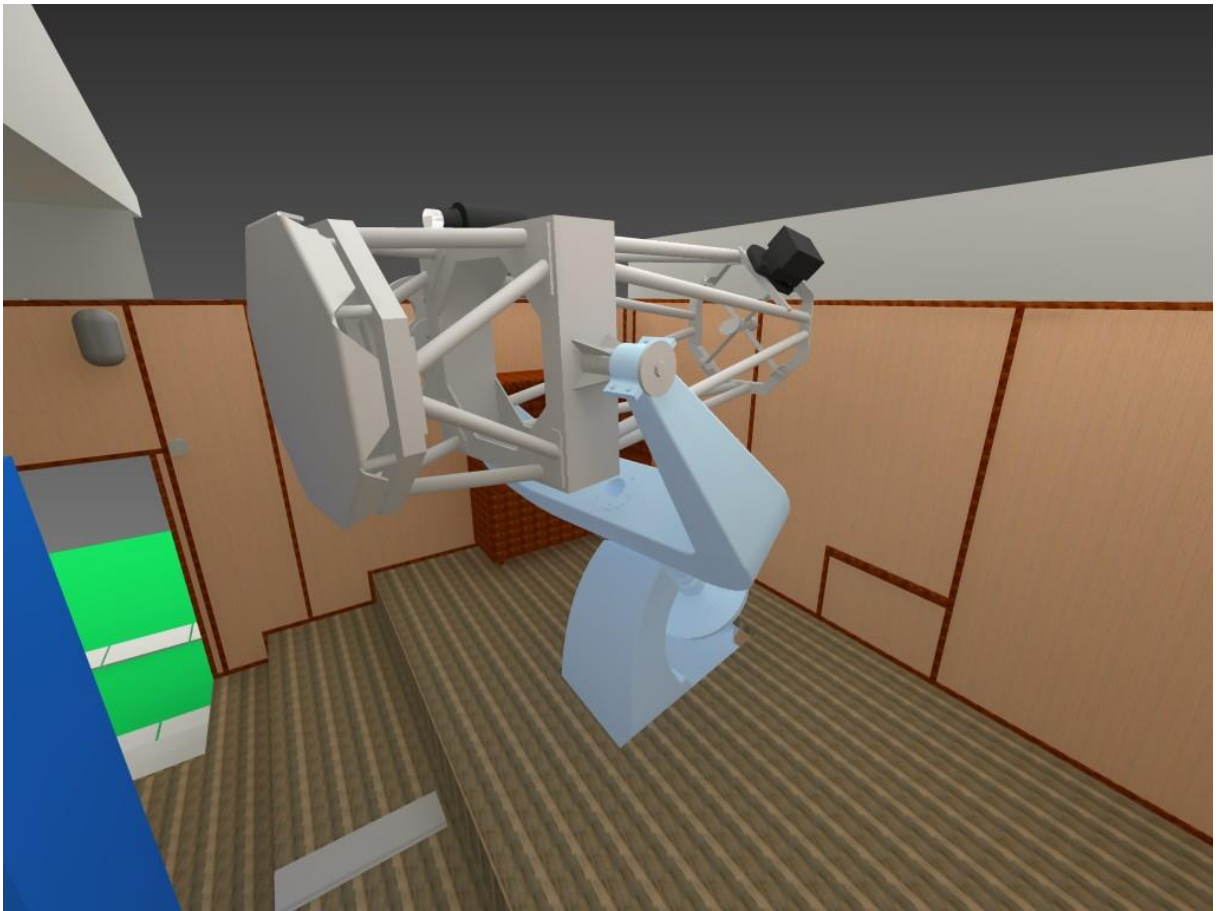
*Příloha 1 – Renderované obrázky pozorovacího stanoviště a modulů*



*Vzhled modulů*

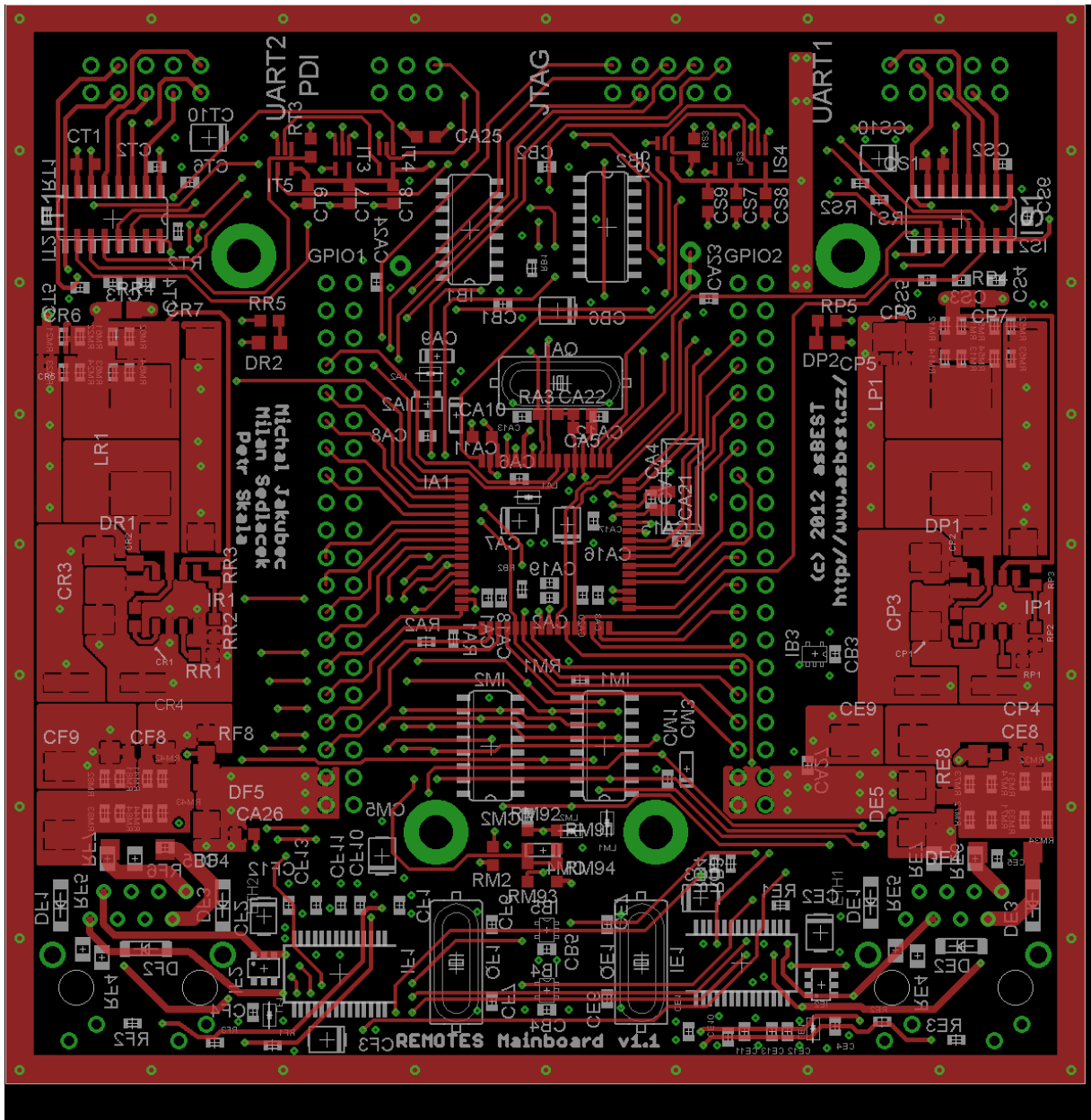


*Náhled na vytvořenou dokumentaci*

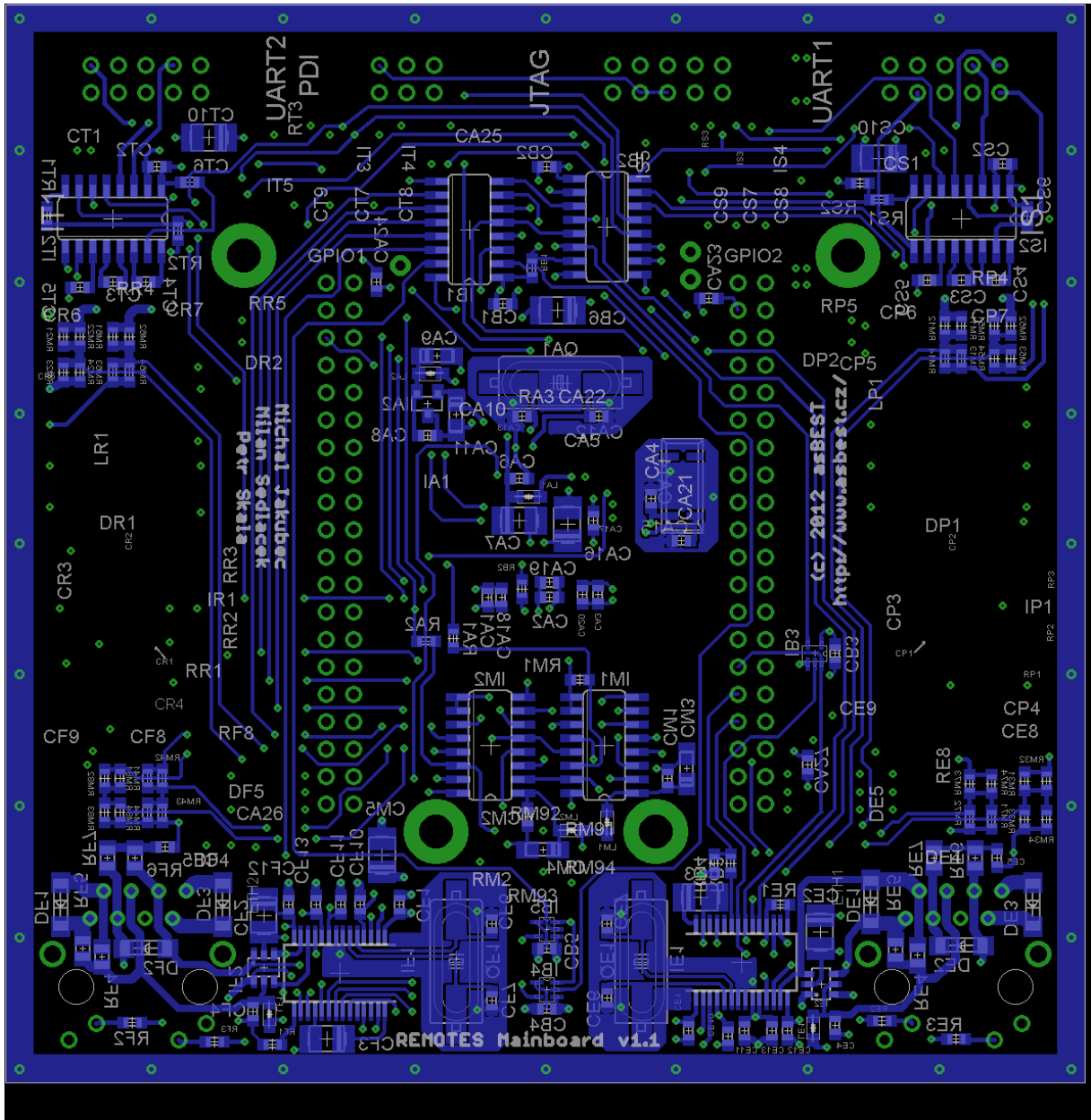


*Vnitřní pohled na pozorovací stanoviště*

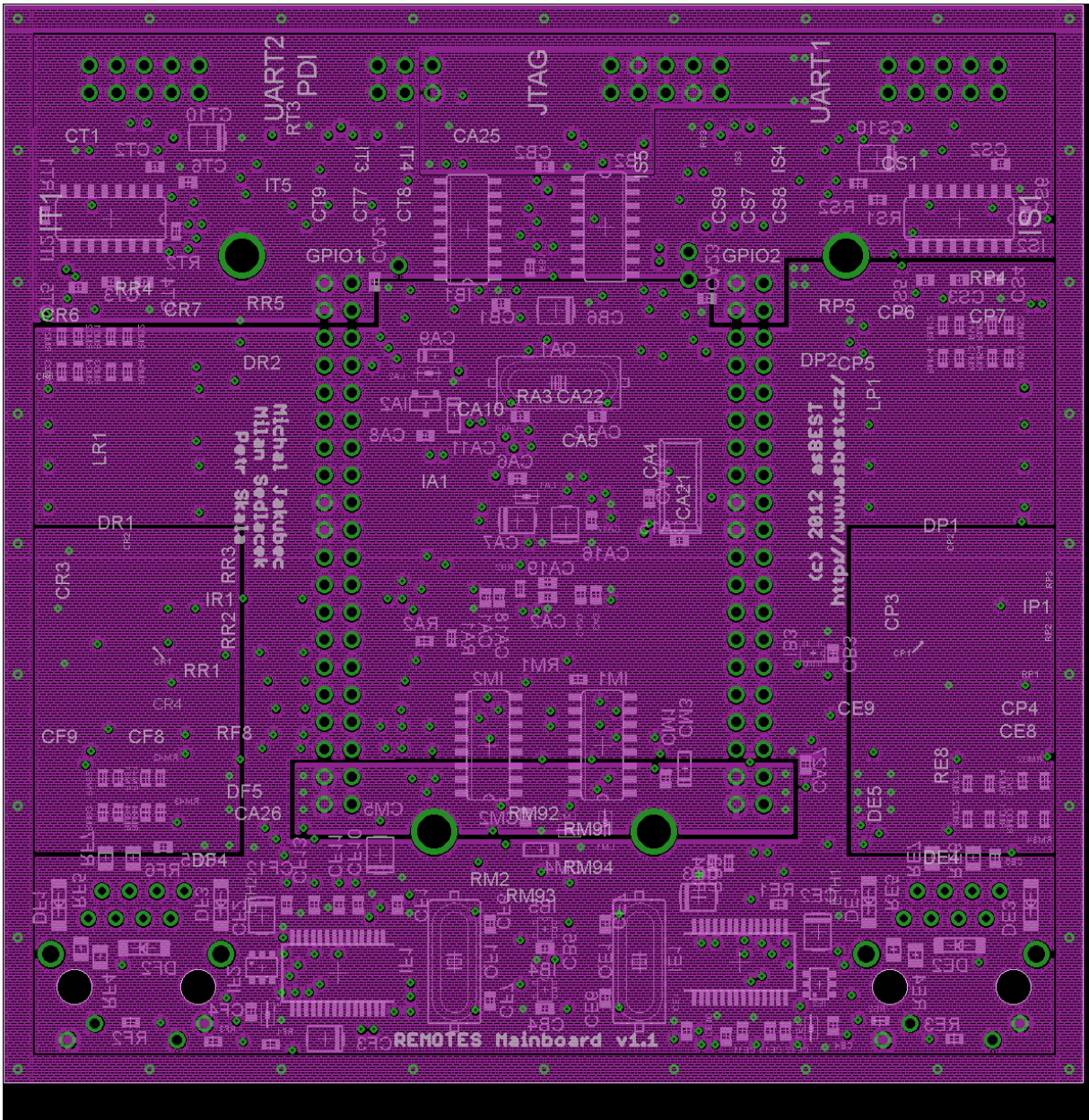
Příloha 2 – Vrstvy PCB hlavní desky



Vrstva top



*Vrstva bottom*



Vrstva pwr

