



ZÁPADOČESKÁ  
UNIVERZITA  
V PLZNI

---

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

*Katedra elektroenergetiky a ekologie*

# DIPLOMOVÁ PRÁCE

*Víceokruhové řízení vytápění bytu*

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš KUNCL**  
Osobní číslo: **E13N0008K**  
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**  
Název tématu: **Víceokruhové řízení vytápění bytu**  
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Návrh a realizace prototypu centrální jednotky a terminálu systému řízení víceokruhového vytápění obytných prostor.
2. Diskutujte potřebu vstupně-výstupních rozhraní a na tomto základě zvolte vhodný typ procesoru a dalších obvodů.
3. Diskutujte výhody a nevýhody různých způsobů komunikace terminálů s centrální jednotkou.
4. Sestavte a naprogramujte funkční model terminálu pro zvolený způsob měření a sběr dat (konstrukční návrh, dimenzování součástek, sestavení + oživení zařízení a otestování dosažených vlastností).
5. Sestavte a naprogramujte funkční model centrální jednotky se vzdáleným přístupem.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**  
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

**Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Kamil Kosturik, Ph.D.**  
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2014**  
Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2015**

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury, pramenů a dalších zdrojů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že jsem vlastníkem nebo oprávněným uživatelem licencí pro veškerý software, použitý při vytvoření a řešení této diplomové práce.

V Krupce dne 6. 5. 2015

---

Tomáš Kuncl

## PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěl poděkovat Ing. Kamilu Kosturikovi, Ph.D. za podnětné návrhy při řešení této diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat mé ženě za podporu a příkladnou trpělivost nejen při tvorbě této diplomové práce, ale v průběhu celého mého dosavadního studia.

V Krupce dne 6. 5. 2015

---

Tomáš Kuncl

## ANOTACE

Diplomová práce popisuje návrh a realizaci systému řízení vytápění bytových prostor se vzdáleným dohledem. Systém umožňuje měření teploty v osmi nezávislých zónách a na základě vyhodnocení uživatelem zadaných požadavků jsou spínány resp. vypínány ovládací ventily jednotlivých topných okruhů. Vzdálený dohled je realizován webovým serverem. V každé zóně je umístěn terminál s možností uživatelského zásahu do regulace. V diplomové práci je obsaženo kompletní hardwarové a softwarové řešení.

## KLÍČOVÁ SLOVA

ATmega, AVR, regulace teploty, 1-Wire<sup>®</sup> sběrnice, RS485, Nano SocketLAN<sup>™</sup>, vytápění

## ABSTRACT

This thesis describes the design and implementation of the management system of heating living space with remote supervision. The system allows temperature measurement in eight independent zones. Control valves of individual circuits are switched based on evaluation of user-specified requirements. The remote supervision is realized by a web server. Terminal with the user settings of the temperature regulation is in each zone. The work is contained complete hardware and software solution.

## KEY WORDS

ATmega, AVR, temperature control, 1-Wire<sup>®</sup> bus, RS485, Nano SocketLAN<sup>™</sup>, heating

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

- I<sup>2</sup>C .....sériová sběrnice vyvinutá firmou Philips Semiconductors, dnes NXP (*Inter-Integrated Circuit*)
- RS485.....standard sériové komunikace definovaný sdružením EIA (*Recommended Standard 485*)
- TWI .....z historických (licenčních) důvodů firmou Atmel jinak pojmenovaná sběrnice I<sup>2</sup>C (*Two Wire Interface*)
- SPI .....sériové rozhraní pro komunikaci mezi  $\mu$ -procesorem a ostatními integrovanými obvody (*Serial Peripheral Interface*)
- 1-Wire<sup>®</sup> .....datová jednovodičová sběrnice vyvinutá firmou Dallas Semiconductor Corp., dnes součást Maxim Integrated
- ISP .....způsob programování obvodů v sestavené aplikaci (*In System Programming*)
- RTC .....obvody pro práci s reálným časem (*Real Time Clock*)
- EEPROM.....elektronicky smazatelná paměť (*Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*)
- DPS.....*Deska s Plošnými Spoji*
- LAN .....malá/lokální počítačová síť (*Local Area Network*)
- UTP .....nestíněný kabel z kroucené dvoulinky (*Unshielded Twisted Pair*)
- UART .....asynchronní sériové komunikační rozhraní (*Universal Asynchronous Receiver and Transmitter*)



# OBSAH

1	ÚVOD .....	11
2	NÁVRH HARDWAROVÉ ČÁSTI SYSTÉMU .....	12
2.1	Komunikace mezi jednotkami v systému .....	13
2.2	Vzdálená správa regulačního systému .....	15
2.3	Návrh terminálu .....	16
2.3.1	Mikroprocesor .....	17
2.3.2	RS485 .....	18
2.3.3	Senzory prostředí .....	19
2.3.4	Stavová indikace .....	19
2.3.5	Uživatelské rozhraní .....	20
2.3.6	Vstupy pro alarm .....	21
2.3.7	Napájení terminálu .....	21
2.4	Návrh centrální jednotky .....	22
2.4.1	Mikroprocesor .....	23
2.4.2	RS485 .....	25
2.4.3	Uživatelské rozhraní .....	25
2.4.4	Ethernet modul .....	26
2.4.5	Obvod reálného času .....	27
2.4.6	Exteriérový teploměr .....	28
2.4.7	Alarmy .....	28
2.4.8	Paměť pro sběr dat .....	29
2.4.9	Ovládání výstupů .....	29
2.4.10	Napájení .....	30
3	NÁVRH SOFTWAREOVÉHO VYBAVENÍ SYSTÉMU .....	32
3.1	Definice datových struktur .....	32
3.2	Komunikační protokol .....	33
3.3	Firmware pro terminálové jednotky .....	34

3.3.1	Klávesnice .....	35
3.3.2	LCD display a LED .....	36
3.3.3	Akustický alarm.....	36
3.3.4	Senzory.....	36
<b>3.4</b>	<b>Firmware pro centrální jednotku.....</b>	<b>37</b>
3.4.1	Klávesnice a LCD displej.....	39
3.4.2	Senzor vnější teploty.....	39
3.4.3	Relé a triaky .....	39
3.4.4	Funkce reálného času.....	39
3.4.5	Ethernetový modul .....	40
3.4.6	Uchování datových řad.....	41
<b>4</b>	<b>REALIZACE FUNKČNÍHO MODELU SYSTÉMU .....</b>	<b>42</b>
4.1	Osazení desek s plošnými spoji .....	42
<b>5</b>	<b>UŽIVATELSKÝ MANUÁL.....</b>	<b>44</b>
5.1	Ovládání terminálu.....	44
5.1.1	Stavové LED.....	44
5.1.2	LCD displej.....	45
5.1.3	Nastavení bypass režimu .....	45
5.2	Ovládání centrální jednotky.....	45
5.3	Webové rozhraní pro ovládání a nastavení systému .....	46
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>50</b>
<b>7</b>	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ .....</b>	<b>51</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>54</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>55</b>

<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>56</b>
<b>A. Schéma zapojení centrální jednotky</b> .....	<b>56</b>
<b>B. Schéma zapojení terminálu</b> .....	<b>62</b>
<b>C. Výkresy desky s plošnými spoji centrální jednotky</b> .....	<b>65</b>
Strana TOP .....	65
Strana BOTTOM .....	66
Osazení strany TOP součástkami.....	67
Osazení strany BOTTOM součástkami.....	68
<b>D. Výkresy desky s plošnými spoji terminálu</b> .....	<b>69</b>
Strana TOP .....	69
Strana BOTTOM .....	69
Osazení strany TOP součástkami.....	70
Osazení strany BOTTOM součástkami.....	70
<b>E. Seznam součástek centrální jednotky (Bill of Materials)</b> .....	<b>71</b>
<b>F. Seznam součástek terminálu (Bill of Materials)</b> .....	<b>73</b>

# 1 ÚVOD

Vytvoření pocitu tepelného komfortu je základním úkolem každého otopného, nebo klimatizačního systému. Kromě fyziologických (pohlaví, věk, hmotnost,...) a psychologických (únava, stres,...) faktorů je tepelný komfort ovlivněn dvěma skupinami činitelů [1]. Činiteli osobními jsou tepelný odpor oděvu a metabolická produkce tepla, činiteli prostředí pak teplota vzduchu, střední radiální teplota, relativní vlhkost vzduchu a rychlost proudění vzduchu. Jediný z výše uvedených činitelů, teplota vzduchu, je v běžném bytě regulovatelný pomocí prostředků automatizace.

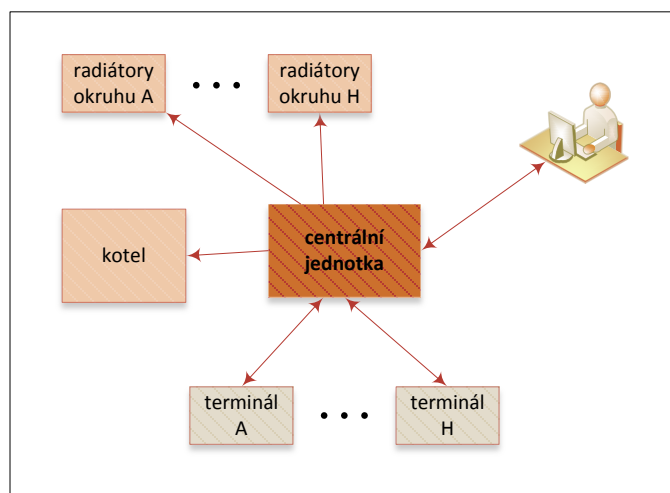
Pro vytvoření pohody domácího prostředí vznikla v rámci bakalářské práce autora centrální jednotka pro víceokruhové řízení vytápění bytu. Umožnila vytvořit každé jednotlivé místnosti vlastní teplotní profil a uspokojit tak leckdy velmi rozdílné potřeby a požadavky všech členů domácnosti. Vlastností této jednotky mělo být co možná nejjednodušší uživatelské ovládání. Bohužel nutnost uživatelských zásahů do provozních parametrů regulace pouze z jediného instalačního místa v datové rozvodné skříni uživatelský komfort výrazně snižuje. Cílem této diplomové práce je vytvoření uceleného regulačního systému, kde jádrem bude opět centrální jednotka, ovšem zjednodušené ovládání bude delegováno do každé jednotlivé místnosti pomocí terminálů a kompletní správa systému bude realizována vzdáleným dohledem.

Práce je rozdělena do čtyř částí, kdy první popisuje návrh a hardwarové řešení centrální jednotky a terminálu. V druhé části práce je nastíněno softwarové vybavení, způsob komunikace a principy algoritmů, umožňující co nejjednodušší správu a řízení regulačního systému. Vlastní realizací se zabývá třetí část a čtvrtá je uživatelským manuálem popisující způsob ovládání celého regulačního systému.

## 2 NÁVRH HARDWAROVÉ ČÁSTI SYSTÉMU

Pro vytvoření jakéhokoliv systému je nutno nejprve stanovit resp. nadefinovat jeho základní vlastnosti a účel, který má vykonávat. Pro řízení vytápění naprosté většiny běžných bytů stačí osm nezávislých okruhů, za předpokladu, že běžný byt krom kuchyně, koupelny, toalety, ložnice a obývacího pokoje nemá více než tři další obytné místnosti s požadovaným řízením teploty. Interval udržovaných teplot v každém okruhu je od bezpečnostní nezámrzné teploty cca 5°C do zhruba 35°C, což představuje rozsah s dostatečnou rezervou i pro autorovu manželku. Protože je tepelný komfort závislý krom jiného i na relativní vlhkosti vzduchu [1], musí ji být systém také schopen alespoň změřit a vizualizovat.

Nastavení a uživatelské ovládání systému musí být umožněno z libovolného počítače a nezávislé na operačním systému. Systém dále musí umožnit uživatelský zásah do přednastavených profilů přímo v regulované místnosti.



Obrázek 1 - Blokové schéma regulačního systému

Z výše uvedených požadavků vyplynulo blokové schéma celého regulačního systému (obr. 1), jeho funkční jednotky a vzájemné vazby mezi nimi. Ventily radiátorů jednotlivých okruhů jsou ovládány výkonovou částí centrální jednotky, kotel je spínán pomocí relé. Nastavení a správa systému je prováděna z počítače, nesystémové uživatelské zásahy pak prostřednictvím jednotlivých terminálů, umístěných vždy v příslušné regulované místnosti.

## 2.1 Komunikace mezi jednotkami v systému

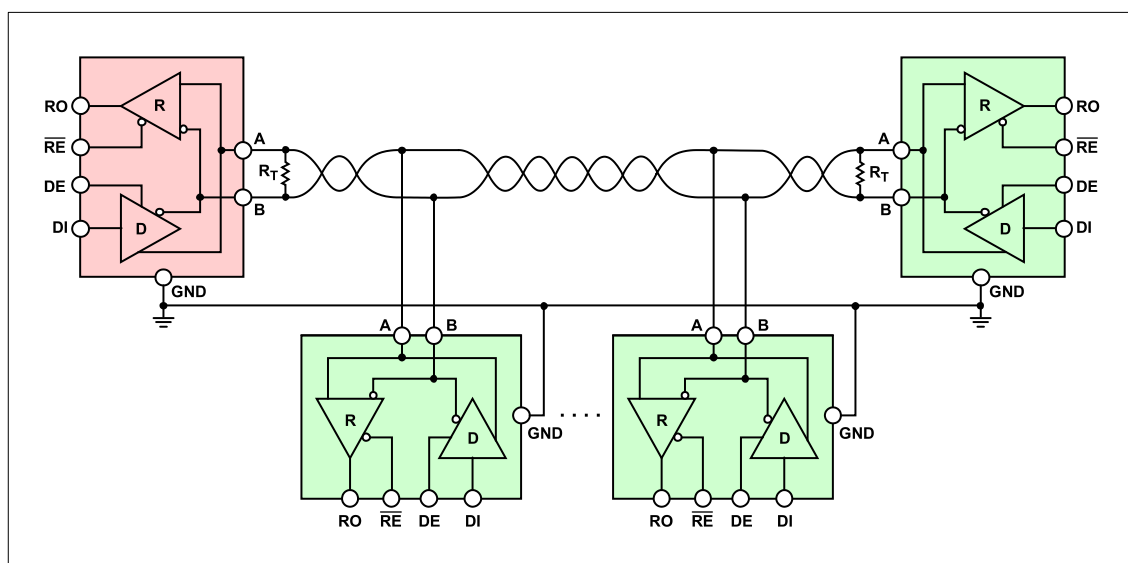
Ovládání topenářských kotlů pro běžné domácnosti (ať plynových, či elektrických) je obvykle vyvedeno na relátka jednoduchých termostatů. Komunikace tedy žádná neprobíhá, kotel je pouze v případě požadavku na vyšší teplotu vzduchu v některém z okruhů prostřednictvím relé na centrální jednotce zapnut. Zde jen musí být zohledněn případný aktivační čas pro plné otevření ventilů, který není vždy zanedbatelný.

Mezi centrální jednotkou a radiátory jednotlivých okruhů neprobíhá žádná datová komunikace, radiátory jsou pouze ovládány ventily a toto ovládání bylo zvoleno typu diskrétního, zapnuto × vypnuto (resp. otevřeno × zavřeno).

Úkoly terminálových jednotek systému jsou a) měřit parametry prostředí v místě instalace, b) informovat uživatele o změřených parametrech a aktuálním stavu systému a c) umožnit uživateli nesystémový zásah do provozního nastavení regulačního systému. To se samozřejmě již neobejde bez datové komunikace s centrální jednotkou. V zásadě jsou dvě možnosti, a to sice drátová nebo bezdrátová komunikace. Podobně jako v případě bakalářské práce je bezdrátová komunikace zavržena pro autorovu, byť nijak argumentačně doložitelnou, nechuť k dalšímu zasycení osobního prostředí elektromagnetickým zářením, které není nezbytné pro pohodlnou obsluhu regulačního systému. Dále bezdrátový provoz nutně vyžaduje provozní náklady v podobě spotřeby baterií a v neposlední řadě již je z předchozí instalace připraven strukturovaný rozvod UTP kabeláží.

Možností, jak komunikovat mezi dvěma zařízeními prostřednictvím strukturované kabeláže, je několik. Potřebný objem dat pro přenos je tak malý, že pro následující výběr nepředstavuje žádné omezení. Omezujícím faktorem již je ale délka vedení mezi jednotkami, která je v běžném bytě v řádu desítek metrů. To zcela vylučuje sběrnice typu I<sup>2</sup>C a SPI, které jsou obvykle použitelné pouze v rámci jedné DPS, maximálně do několika centimetrů. Také to vylučuje rozhraní USB a RS232, jejichž maximální délka je v řádech jednotek metrů. Komunikaci na takovou vzdálenost umožňuje sběrnice 1-Wire<sup>®</sup> firmy Maxim Integrated, ovšem za použití vlastních firemních driverů, protokolů a především vlastních zařízení (typicky teploměry, RTC, paměti atp.).

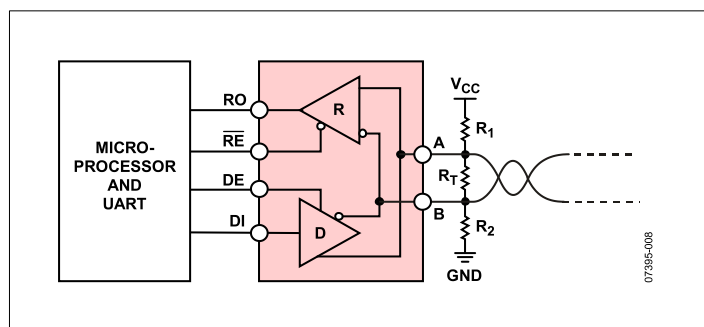
Další možností, tím spíše, je-li již instalována strukturovaná kabeláž, je využití rozhraní LAN. Ovšem cena za vystavění takového spojení je neúměrně vysoká jak na straně zařízení –  $\mu\text{P}$  + linkový budič + transformátor + konektor, tak i na straně infrastruktury v potřebě dalších devíti volných portů v domácím LAN přepínači. Vzhledem k plánovanému objemu přenosu dat by přenosový potenciál takto vybudovaného komunikačního rozhraní zůstal v podstatě zcela nevyužit.



Obrázek 2 – Struktura zapojení zařízení na sběrnici RS485 v režimu Half-Duplex, převzato z [2]

Jednoznačně nejvýhodnější pro komunikaci v rámci zamýšleného systému je tak rozhraní průmyslové sériové sběrnice typu RS485, jehož maximální kumulovaná délka je cca 1200m (4000 ft). Rychlost komunikace klesá s rozsahem instalované sběrnice, ovšem i nejnižší rychlost pro její nejdelší rozsah (100kbps @ 4000ft [2]) je pro náš systém zcela dostatečná. Protože nainstalovaná strukturovaná kabeláž má topologii hvězdy, je nutno pro sestavení sběrnice použít jeden kroucený pár (zelený) z UTP kabelu pro směr do jednotky terminálu, druhý (hnědý) pro směr z jednotky, třetí (oranžový) pro kladný pól napájení a čtvrtý (modrý) pro zem. Pro eliminaci odrazů musí být na obou koncích sběrnice zapojeny terminační odpory, obvykle o hodnotě  $120\Omega$ . Diferenční zpracování signálů, při použití krouceného páru vodičů a terminace vedení, efektivně eliminuje naindukované rušení, šumy a přeslechy, pokud nejsou překročeny limitní hodnoty souhlasného napětí.

Na sběrnici RS485 může být připojeno až 32 zařízení (s některými budiči však i více), obvykle v architektuře Master/Slave, jejíž zapojení je na obrázku 2. Každá terminálová jednotka tedy musí mít definovanou jednoznačnou identifikační



Obrázek 3 - Zapojení pro definování klidového stavu sběrnice, převzato z [2]

adresu jako slave a centrální jednotka se jako master bude cyklicky dotazovat terminálových jednotek na změřené údaje a případné zásahy do regulace. Zároveň předá data o aktuálním požadavku na teplotu příslušného okruhu. Komunikační protokol dále musí zaručit, že slave zařízení nikdy nezačne vysílat jako první, smí pouze odpovídat na dotazy, a to určené pouze jemu.

V případě nepříznivých podmínek prostředí instalace sběrnice, nebo velmi dlouhého vedení, popř. za použití nižší kvality kabelových rozvodů je nutno definovat pomocí pull-up a pull-down odporů klidové stavy na linkách sběrnice tak jak je zobrazeno na obrázku 3.

## 2.2 Vzdálená správa regulačního systému

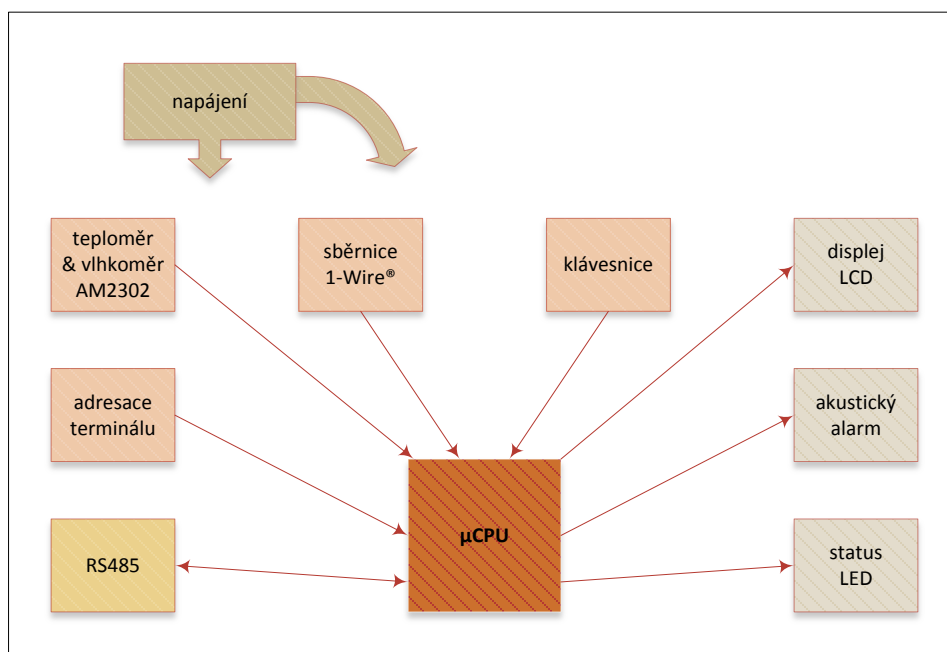
Připojit jednotku k počítači pro správu a nastavování systému lze opět několika způsoby a je potřeba některý z nich vybrat. Asi nejjednodušší je komunikovat z počítače s  $\mu$ -procesorem centrální jednotky prostřednictvím sériového rozhraní UART převedeného buď na RS232 nebo poněkud přijatelnější USB. Pominu-li jisté obtíže s připojením počítače do rozvodnice (umístěné obvykle dost daleko od stacionárního počítače), tak by hlavně bylo asi celkem obtížné (i když ne nemožné) zajistit podmínku co možná největší nezávislosti na použitém operačním systému.



Elegantní řešení se nabízí v podobě LAN modulů, které v sobě zahrnují převodník z LAN na některou ze sériových sběrnic. Asi nejširší nabídku mají firmy WIZnet Co., Ltd. a Connect One Semiconductors, Inc. Pro regulační systém zvolený modul Nano SocketLAN™ obsahuje kromě zpřístupnění LAN do  $\mu$ -procesoru centrální jednotky prostřednictvím UART rozhraní i plně konfigurovatelný webový server o velikosti 256kB. Komunikace a ovládání webového serveru se provádí pomocí tzv. AT+i™ příkazů. Drobnou výhodou může být i možnost výměny modulu za pinově kompatibilní modul Nano WiReach™, který by umožnil zpřístupnění webserveru prostřednictvím WiFi.

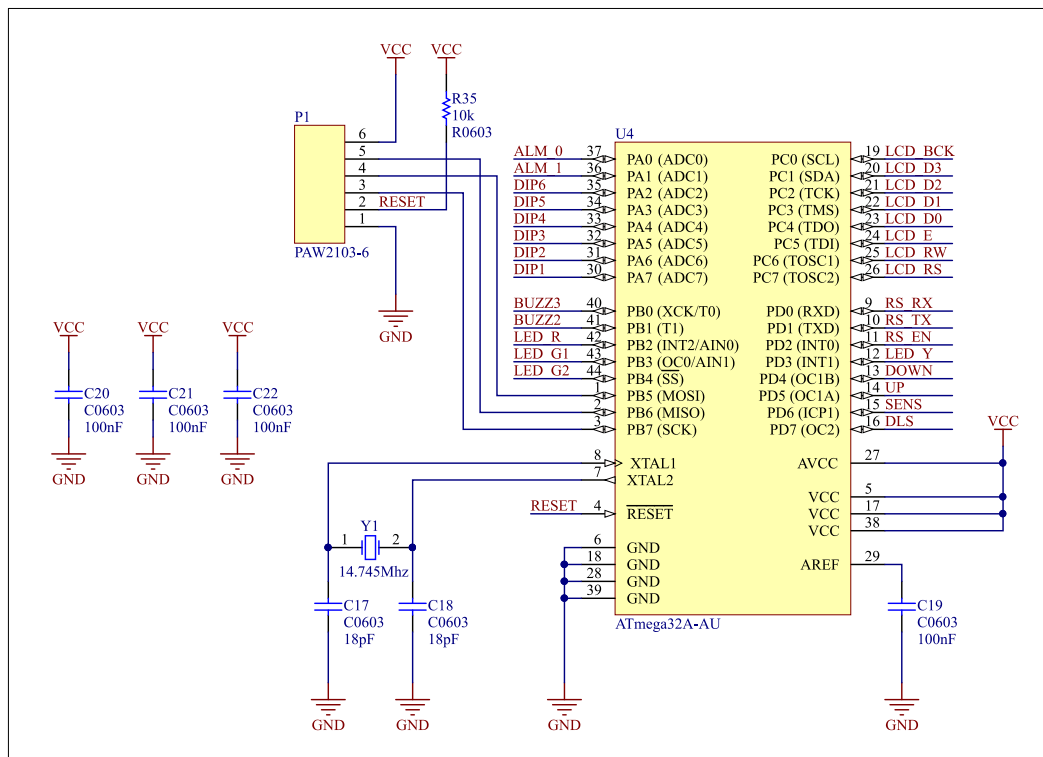
## 2.3 Návrh terminálu

Na obrázku 4 je blokové schéma zapojení jednotky terminálu. Mikroprocesor terminálu musí být schopen komunikovat s centrální jednotkou prostřednictvím sériového rozhraní UART převedeného na RS485, vyčíst údaje z požadovaných digitálních senzorů, a ovládat uživatelské rozhraní s klávesnicí, LCD displejem, LED diodami a akustickou sirénou. Dále musí mít možnost nastavení adresace pro komunikaci na sběrnici.



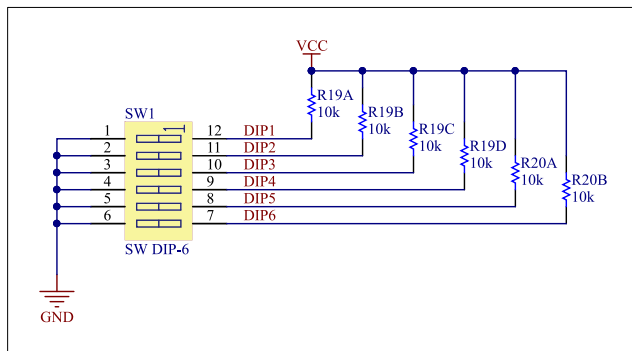
Obrázek 4 - Blokové schéma terminálu regulačního systému

### 2.3.1 Mikroprocesor



Obrázek 5 - Schéma zapojení  $\mu$ -procesoru

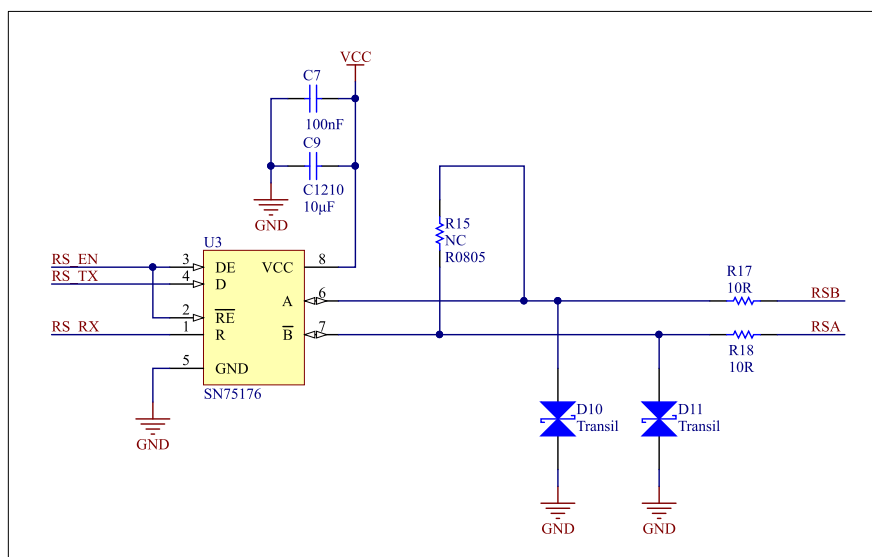
Vybrat procesor pro aplikaci je poměrně obtížná úloha vzhledem k velkému množství proměnných do úlohy vstupujících. Téměř všichni výrobci mikroprocesorů mají ve své nabídce desítky položek ve vzájemných kombinacích velikostí paměti a nejrůznějších periférií. Obvykle se vše odvíjí od ceny, a to jak procesoru, tak ale i času potřebnému k vývoji firmwaru a k tomu navázanému vývojovému prostředí a licenčním politikám různých výrobců. Vzhledem k již získaným zkušenostem a licenčně volnému vývojovému prostředí padla volba na procesory z rodiny ATmega firmy Atmel. ATmega32 má, jak název napovídá, 32kB programové paměti flash, 32 vstupně/výstupních programovatelných linek a mnoho periférií, z nichž využijí rozhraní UART pro komunikaci s centrální jednotkou, čítače pro komunikaci se senzorem AM2302 a rozhraní SPI pro ISP programování.



Obrázek 6 - Schéma zapojení přepínače DIP

Na obrázku 5 je již konkrétní zapojení  $\mu$ -procesoru. Konektor P1 je určen pro tzv. In System Programming a je připojen na piny rozhraní SPI. Pin RESET je pomocí pull-up rezistoru R35 nastaven na úroveň logické 1. Takt procesorových hodin je určen krystalem Y1, blokováný dvěma kondenzátory C17 a C18. Celočíslným dělením zvoleného kmitočtu krystalu 14,7456 MHz lze získat obvyklé frekvence pro sériovou komunikaci, např. 57,600 kHz nebo 115,200 kHz. Napájení procesoru je z hladiny  $V_{CC}$ , blokované kondenzátory C20, C21 a C22. Piny portu PA2÷PA7 jsou připojeny k přepínači DIP s pull-up odpory (obr. 6) pro nastavení adresy terminálu.

### 2.3.2 RS485

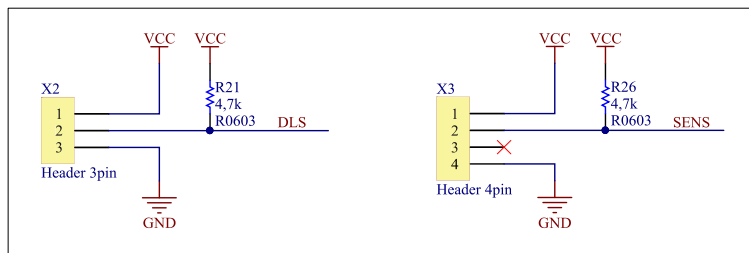


Obrázek 7 - Schéma zapojení budiče linky RS485

Obrázek 7 ukazuje zapojení konkrétního budiče komunikační linky RS485, SN75176 od firmy Texas Instruments. Ochranu před přepětím tvoří kombinace odporu R17 a transilu D10 (resp. R18 a D11). Odpor R15, standardně neosazovaný, umožní případnou terminaci sběrnice, je-li to instalačními okolnostmi vyžadáno. Pak je jeho hodnota obvykle  $120\Omega$ . Kondenzátory C7 a C9 jsou určeny k blokování napájení budiče. Signály RS\_TX a RS\_RX jsou připojeny na UART rozhraní  $\mu$ -procesoru, RS\_EN je připojen na výstupní pin a řídí směr komunikace na lince RS485. V logické nule budič naslouchá, v logické jedničce pak na sběrnici budič vysílá.

### 2.3.3 Senzory prostředí

Pro měření prostředí v místě instalace terminálu byly zvoleny dva senzory. První, digitální teploměr DS18B20 firmy Maxim Integrated, měří pouze teplo-



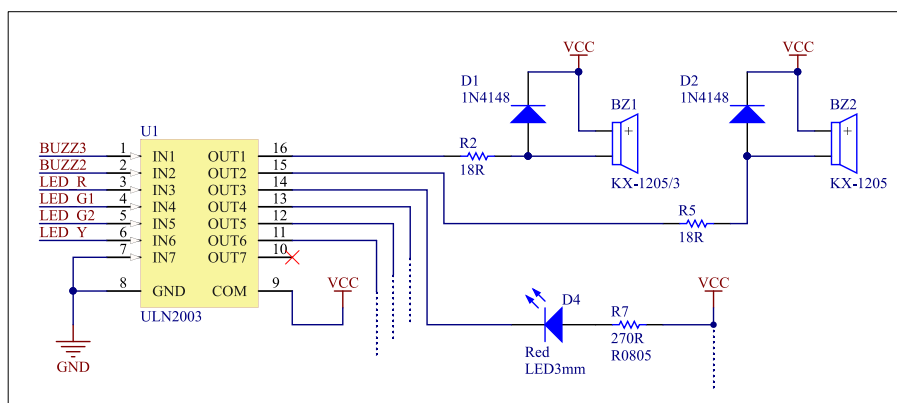
Obrázek 8 - Schéma připojení senzorů k  $\mu$ -procesoru

tu v rozlišení 9÷12 bitů s přesností  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  v rozsahu teplot  $-10^\circ\text{C}$  až  $85^\circ\text{C}$  [3]. Tento teploměr komunikuje s mikroprocesorem prostřednictvím sběrnice 1-Wire®. Protože je však senzor osazen takřka přímo na desce s plošnými spoji, odpadá nutnost použití specializovaného driveru a sběrnici lze budít přímo I/O pinem z mikroprocesoru [4]. V klidovém stavu musí být pull-up rezistorem R21 nastaven stav „sběrnice“ na logickou jedničku.

Druhým senzorem je AM2302 firmy Aosong Electronics Co., Ltd., digitální teploměr a vlhkoměr s přesností  $\pm 2\%$  RH v rozsahu 0÷99% a  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  v rozsahu  $-40\div 80^\circ\text{C}$  [5]. Komunikace se senzorem probíhá pomocí I/O pinu, a protože je při této komunikaci potřeba měřit časové délky pulsů, je výhodné připojit senzor na pin  $\mu$ -procesoru ICP1 (Input Capture Pin), napojený přes integrovaný filtr špiček a detektor hrany přímo na spouštěč registru časovače. Klidový stav I/O pinu musí být opět definován pull-up odporem R26 na logickou jedničku.

### 2.3.4 Stavová indikace

Pro indikaci různých provozních stavů je použita trojice supersvítivých 3mm LED, kdy zelená barva je z konstrukčních důvodů zdvojená. Spínání LED je pro-



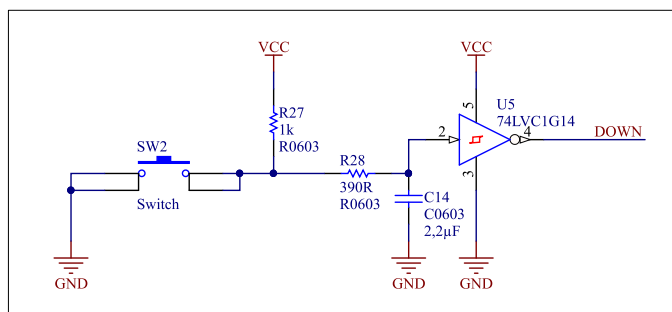
Obrázek 9 - Schéma zapojení stavových LED a akustické signalizace

střednictvím tranzistorového pole ULN2003 (U1) s proudovým omezením pro každou LED na úrovni cca 10÷15mA.

Akustická signalizace je realizována pomocí dvou 5V piezzo-akustických měničů s vlastními generátory a různým rezonančním kmitočtem (2kHz a 3kHz), opět spínaných přes tranzistorové pole U1 a s proudovým omezením odpory R2 a R5. Pro případné použití induktivních měničů je možno osadit ochranné diody D1 a D2, omezující přepětové špičky.

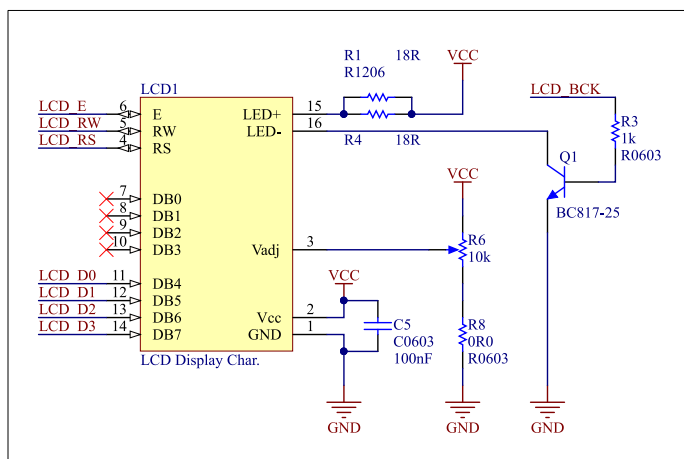
### 2.3.5 Uživatelské rozhraní

Pro ovládání terminálu jsou k dispozici pouze dvě tlačítka, označená jako UP a DOWN. Aby nebylo nutné řešit zákmity na softwarové úrovni, jsou obě tlačítka zapojena s dolnopro-



Obrázek 10 - Schéma zapojení tlačítka

puštním RC filtrem a schmittovým hradlem (obr. 10). Hodnoty pasivních prvků jsou voleny pro mezní frekvenci zhruba 50Hz ( $f_0 = \frac{1}{2\pi(R27+R28).C14}$ ), kdy je ještě propuštěn rychlejší sled stisknutí, ale kratší pulsy, považované za zákmity, již nikoliv.



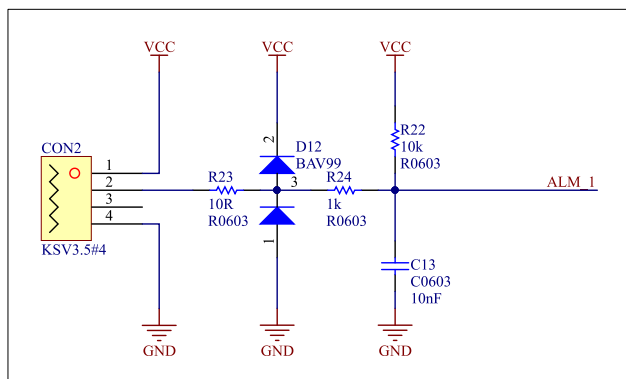
Obrázek 11 - Schéma zapojení LCD displeje

(obr. 11). Proud podsvitem je spínán PNP tranzistorem Q1 a je omezen na zhruba 60mA paralelní kombinací odporů R1 a R4. Kontrast displeje se nastaví potenciometrem R6. A nakonec nezbytný kondenzátor C5 blokující napájení LCD displeje.

Zobrazení naměřených hodnot a případně dalších údajů má na starosti znakový LCD display o osmi znacích na dvou řádcích. Zcela osvědčená koncepce řadiče HD44780 (resp. nejspíše jeho klonu) může být řízena sedmi I/O linkami z  $\mu$ -procesoru, plus osmá na případné ovládání podsvitu

### 2.3.6 Vstupy pro alarm

Protože na zvoleném procesoru zbyly dva I/O piny (signály ALM0 a ALM1), tak byly vyvedeny na konektor CON2 spolu s napájením Vcc pro případné další použití (obr. 12). Dvojitá dioda D12 s odporem R23 tvoří základní jednoduchou ochranu pinu  $\mu$ -procesoru před pře-

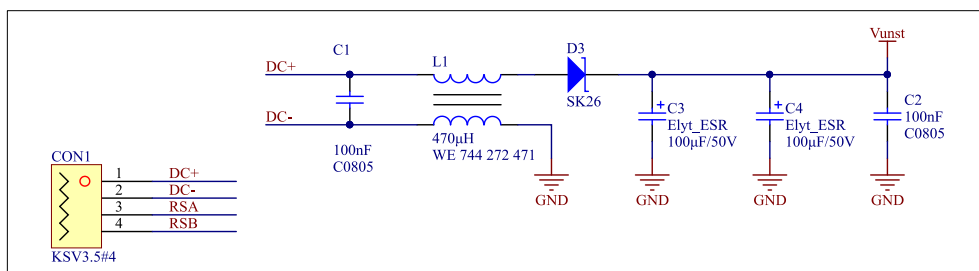


Obrázek 12 - Schéma zapojení jednoho ze vstupů

pětími, R24 a C13 jsou dolnoproputným filtrem a pull-up odpor R22 definuje klidovou napěťovou úroveň na vstupu  $\mu$ -procesoru.

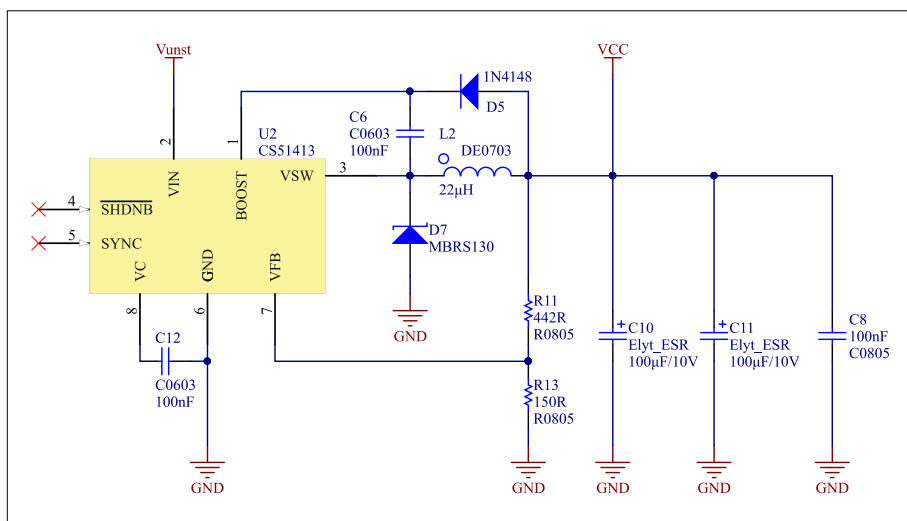
### 2.3.7 Napájení terminálu

Všechny výše uvedené komponenty terminálu vyžadují napájení pouze z jediné hladiny  $V_{CC} = 5,0V$ . Zařízení jako celek není nijak energeticky náročné, nejvyšší spotřebu bude mít se 60mA podsvit LCD displeje, budou-li zapnuty i všechny čtyři stavové LED s max. 20mA (přičemž jak je výše uvedeno, proudové omezení LED je na cca 10÷15mA, ale v této úvaze je zohledněna nejhorší, resp. nejvyšší možná zátěž) a s režijní spotřebou ostatních částí zařízení do 100mA je odhad celkové spotřeby do 250mA. Obvod CS51413, který mám k dispozici, se svým maximálním proudovým odběrem 1,5A plně vystačí i s bohatou rezervou pro případné napájení dalších externích zařízení pro ovládání vstupů ALM0 a ALM1, tak jak je uvedeno v předchozí kapitole. Maximální vstupní napětí je 40V, což vyhovuje předpokladu, že rozvod napájení pro terminály bude případně tvořen z usměrněného nestabilizovaného napětí z 24V transformátoru, určeného pro napájení ventilů radiátorů.



Obrázek 13 - Schéma zapojení filtrace a ochrany napájení terminálu

Na obrázku 13 je schéma vstupní části napájení. Proudově kompenzovaná tlumivka L1 je zde pro potlačení asymetrických rušivých proudů, dioda D3 zabránila případnému chybnému uživatelskému zapojení a přepólování napájení. Proti zapojení napájení do svorek určených pro komunikaci ochrany není. C2, C3 a C4 jsou vstupními filtračními kondenzátory pro pulsní zdroj, přičemž elektrolyty C3 a C4 musí mít snížený ekvivalentní sériový odpor (low ESR).



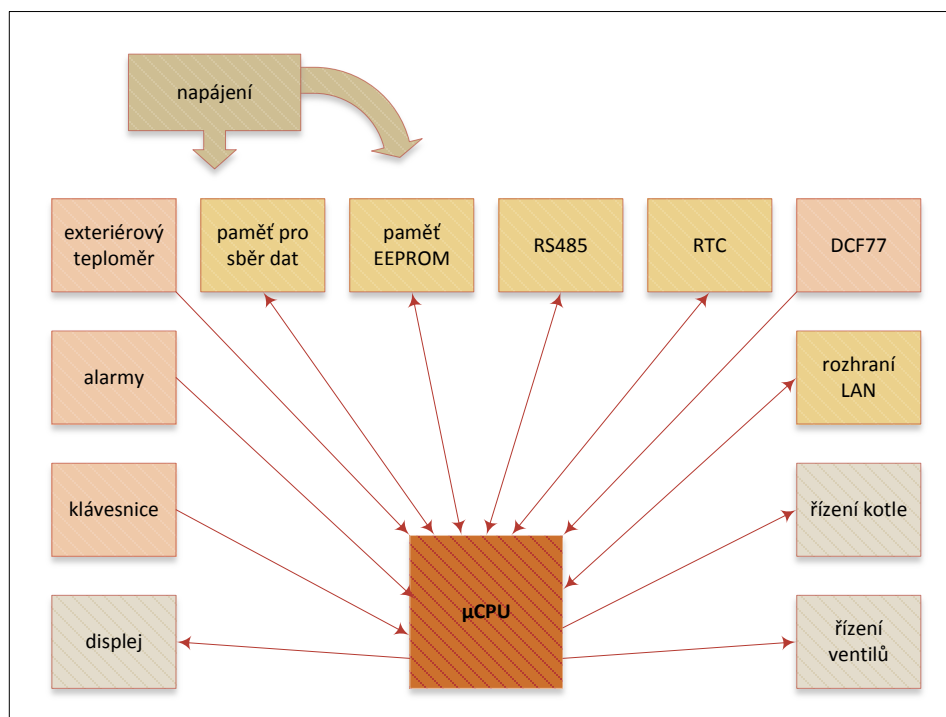
Obrázek 14 - Schéma zapojení pulsního zdroje napětí

Schéma zapojení zdroje napětí (obr. 14) vychází z doporučeného zapojení výrobce [6], výpočet pro hodnotu výstupního napětí vyplývá z odporového děliče R11 a R13, kdy na pinu  $V_{FB}$  musí být hodnota 1,270V. Pro vzájemný poměr hodnot odporů tedy platí  $R_{11} = R_{13} \cdot \left(\frac{U_{OUT}}{U_{FB}} - 1\right)$ , kde  $U_{FB} = 1,270V$ . Použité hodnoty odporů jsou kombinací výpočetního vzorce a aktuálního stavu skladových zásob zásilkové firmy TME.

## 2.4 Návrh centrální jednotky

Blokové schéma na obrázku 15 zobrazuje funkční bloky použité v návrhu centrální jednotky a vzájemné vazby mezi nimi. Stejně jako u terminálů je i u centrální jednotky komunikační rozhraní v podobě převodníku UART na RS485. Uživatelské rozhraní v podobě klávesnice a LCD displeje je zde užito pouze jako doplněk víceméně pro debug účely, hlavním způsobem, jak ovládat centrální jednotku a skrze ni i celý regulační systém, je prostřednictvím ethernetového modulu

Nano SocketLAN™. Získané údaje o aktuálních naměřených hodnotách z jednotlivých připojených terminálů na sběrnici se porovnají se zadanými údaji v paměti EEPROM a po vyhodnocení všech podmínek se promítnou do výstupních bloků řídicích kotel a ventily radiátorů. Informace o reálném čase je získána buď z internetu modulem Nano SocketLAN™, nebo z externího modulu DCF77, uložena a zálohována pak je v obvodu RTC. Paměť pro sběr dat je zamýšlené úložiště pro případné vykreslení teplotních (resp. vlhkostních) průběhů v čase, nebo



Obrázek 15 - Blokové schéma centrální jednotky regulačního systému

např. v závislosti na venkovní teplotě, zjištěné pomocí exteriérového teploměru. Poslední funkční blok, alarmy, vychází z úvahy, že pro rozlehlejší byt je užitečné mít akustický alarm (např. pro dveřní zvonek) v každé místnosti. Tato funkcionality však nemá žádný regulační význam vzhledem k měřené teplotě či vlhkosti a je pouze kosmetickým doplňkem systému.

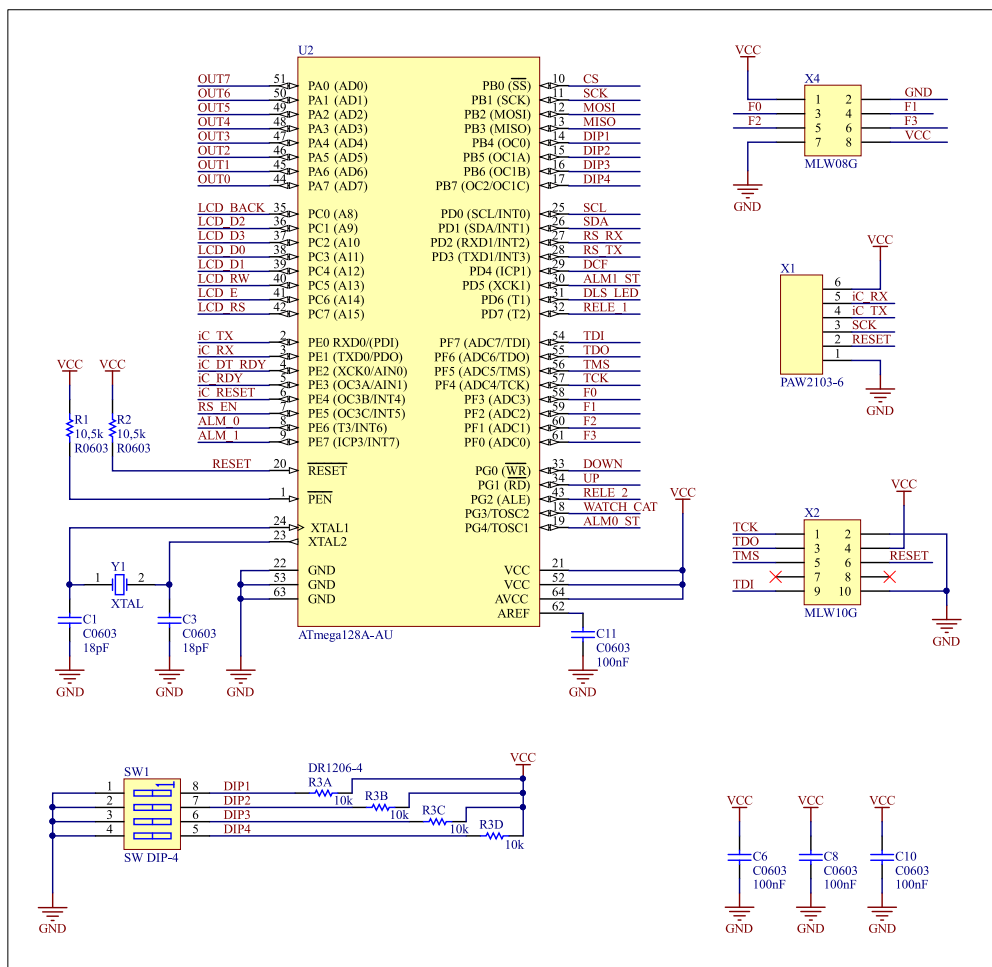
#### 2.4.1 Mikroprocesor

Kvůli stejným vývojovým prostředkům (prostředí, programátory, knihovny,...) je nanejvýš vhodné použít mikroprocesor ze stejné rodiny jako mikroprocesor terminálu, tedy Atmel ATmega. Konkrétně ATmega128, kterou mám k dispozici,



splňuje všechny požadavky, jak dostatkem I/O linek pro ovládání všech zamýšlených funkčních bloků, tak vestavěnými perifériemi pro efektivní řízení regulačního systému.

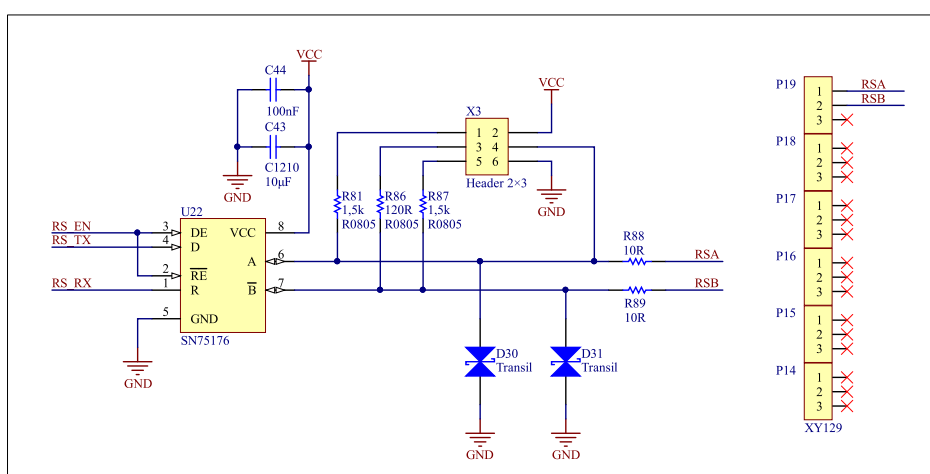
Na obrázku 16 je schéma zapojení  $\mu$ -procesoru, jehož hodinový takt je stejně jako v případě terminálu dán kmitočtem krystalu Y1 (14,7456 MHz), blokovaného dvěma kondenzátory C1 a C3. Na konektor X1 jsou vyvedeny signály pro naprogramování prostřednictvím ISP, na konektor X2 pak debugovací rozhraní JTAG. Pull-up odpory udržují piny se signály RESET a PEN v klidovém stavu v logické jedničce. Na konektoru X4 jsou nevyužité piny spolu s napájením pro případné budoucí použití. AD převodník není v této aplikaci použit, napájení  $AV_{CC}$  tak může být připojeno přímo na hladinu  $V_{CC}$ . Kondenzátory C6, C8, C10 a C11 pak blokují napájení. Přepínač SW1 s pull-up odpory je připraven pro uživatelské nastavení některých parametrů systému.



Obrázek 16 - Schéma zapojení  $\mu$ -procesoru centrální jednotky

Na centrální jednotce je využito z  $\mu$ -procesoru poněkud více vestavěných periférií než v případě terminálu. Pro uložení uživatelských dat integrovaná paměť EEPROM (o celkové velikosti 4kB [7]), pro komunikaci s terminály UART1 a pro komunikaci s modulem Nano SocketLAN™ UART0, sběrnice TWI<sup>1</sup> pro obsluhu reálného času a exteriérového teploměru a nakonec rozhraní SPI pro ukládání naměřených dat.

### 2.4.2 RS485



Obrázek 17 - Schéma zapojení rozhraní RS485 v centrální jednotce

Zapojení rozhraní RS485 (obr. 17) je v zásadě shodné se zapojením v terminále, jen je umožněno zkratospojками na jehlovém konektoru 2×3 pin připojit terminační (R86), pull-up (R81) a pull-down (R87) odpory na sběrnici, hodnoty jsou převzaty z [2]. Spojená řada nikam nezapojených konektorů slouží k vyvážení kabeláže od terminálů v rozvodné skříni, které mají fyzicky hvězdovitou topologii, ale elektrické zapojení musí mít topologii sběrnice, luxus, který si běžný komerční výrobce obvykle nemůže dovolit.

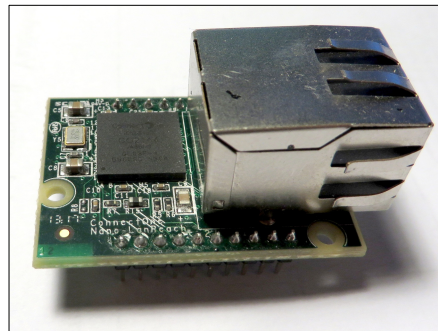
### 2.4.3 Uživatelské rozhraní

Schéma zapojení a funkcionality klávesnice (UP a DOWN) a LCD displeje jsou formálně zcela totožné jako u terminálů, popsané v kapitole 2.3.5.

<sup>1</sup> z historických (licenčních) důvodů firmou Atmel jinak pojmenovaná sběrnice I<sup>2</sup>C (Two Wire Interface)

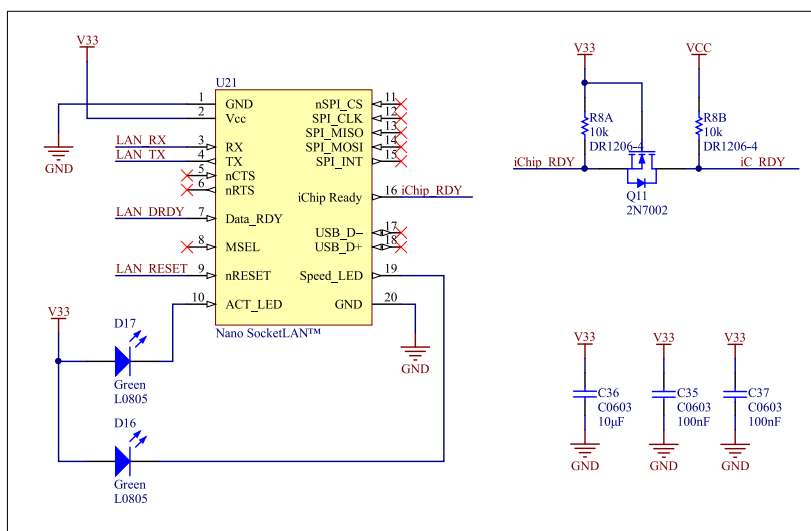
### 2.4.4 Ethernet modul

Ethernet modul Nano SocketLAN™ (obr. 19) se do aplikace připojuje dvojicí jednořadých 10-pinových konektorů, bohužel nikoliv s běžněji používanou roztečí 0,1“, ale 2,0 mm, což jej poněkud diskvalifikuje pro testování v nepájivém poli. Modul umí komunikovat s aplikací prostřednictvím tří rozhraní, UART, SPI a USB [8], nicméně



Obrázek 19 - Nano SocketLAN™

pro jakoukoliv inicializaci je primárním rozhraním pouze UART, proto SPI ani USB nebudou nijak využity. Napájecí napětí je 3,3V, což znamená nutnost převádět všechny použité komunikační signály mezi hladinami  $V_{CC}$  a  $V_{33}$ , tak jak je naznačeno na obrázku 18 pro signál iChip\_RDY. Pull-up odpory R8A a R8B drží v klidu úroveň na logické jedničce, a zároveň je tranzistor uzavřen, neboť napětí  $U_{GS} \approx 0V$ . Stáhne-li modul signál iChip\_RDY k zemi, tranzistor se otevře a zem se objeví i na signále iC\_RDY. A z druhé strany, stáhne-li  $\mu$ -procesor signál iC\_RDY z 5V k zemi, dioda v tranzistoru mezi source a drain způsobí zvětšení napětí  $U_{GS}$ , tím se tranzistor otevře a zem se promítne i na iChip\_RDY [9].



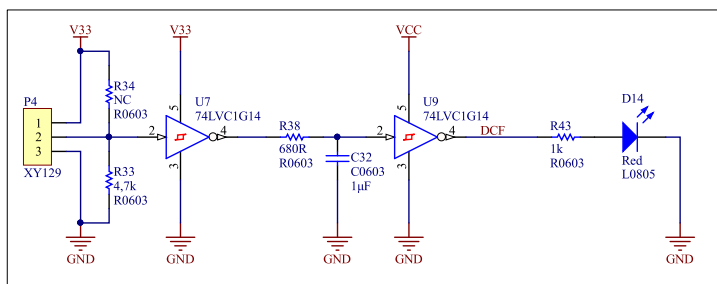
Obrázek 18 - Schéma zapojení ethernetového modulu a převodníku úrovně

LAN\_RX a LAN\_TX jsou komunikační signály rozhraní UART, LAN\_DRDY oznamuje logickou jedničkou připravená nová data z webu k přečtení  $\mu$ -procesorem. LAN\_RESET by měl při 10ms podržení v logické nule

dostat modulek z případných obtíží a iChip\_RDY oznamuje konec bootovací sekvence a připravenost modulku k práci. Stavové LED diody D16 a D17 se připojují přímo na piny modulku, kde je interně řešeno jejich proudové omezení.

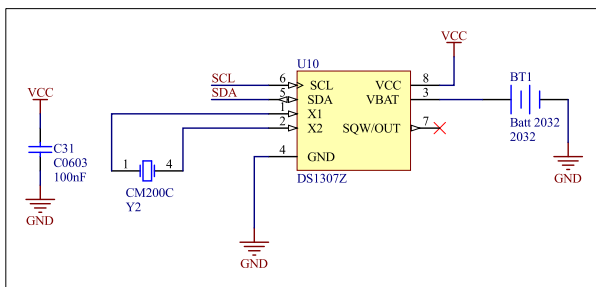
### 2.4.5 Obvod reálného času

Řízení teploty v bytě není možné bez znalosti aktuálního času. Ten lze získat několika způsoby, např. prostřednictvím GPS, DCF77, nebo NTP serverů na internetu. Přístup k NTP serverům je díky ethernetovému modulu za předpokladu, že regulační systém bude provozován v síti s přístupem do internetu. To však nemusí být samozřejmostí a proto je ponechána možnost získat otisk časového razítka i z frankfurtského vysílače DCF77. Způsob připojení a zpracování signálu z modulu pro příjem DCF77 je naznačen na obrázku 20, napájení modulu je z hladiny



Obrázek 20 - Schéma zapojení modulu pro příjem časového razítka z vysílače DCF77

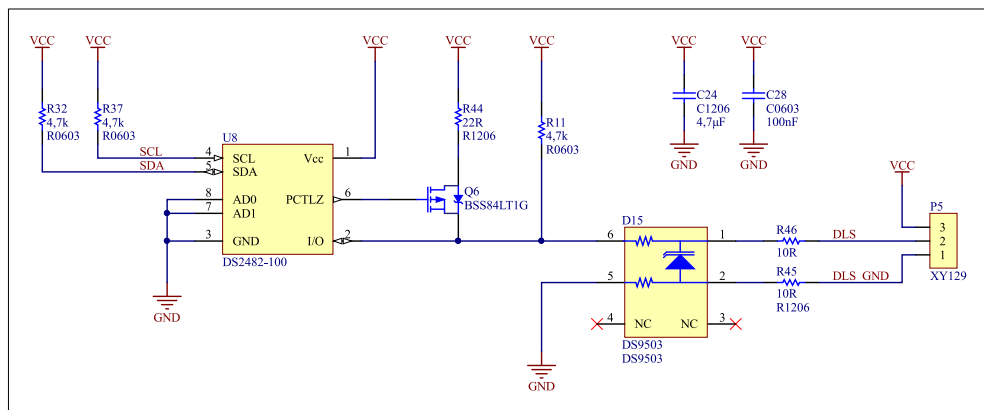
$V_{33}=3,3V$ , signál je dvěma schmittovými hradly filtrován a tvarován na pravoúhlé pulsy, které jsou poté  $\mu$ -procesorem vyhodnoceny [10]. V RTC obvodu, konkrétně DS1307 firmy Maxim Integrated je získaná informace uložena, uchovávána a automaticky zálohována pomocí baterie BT1 při výpadku napájení. Komunikace s  $\mu$ -procesorem je po sběrnici I<sup>2</sup>C. DS1307 má v sobě implementován i kalendář s přestupnými roky až do roku 2100 [11]. Stav linek na sběrnici I<sup>2</sup>C musí být v klidu nastaven na logické jedničky, což zajišťují pull-up odpory R32 a R37, které jsou zobrazeny na téže sběrnici ve schématu exteriérového senzoru na obrázku 22.



Obrázek 21 - Schéma zapojení obvodu reálného času

uložena, uchovávána a automaticky zálohována pomocí baterie BT1 při výpadku napájení. Komunikace s  $\mu$ -procesorem je po sběrnici I<sup>2</sup>C. DS1307 má v sobě implementován i kalendář s přestupnými roky až do roku 2100 [11]. Stav linek na sběrnici I<sup>2</sup>C musí být v klidu nastaven na logické jedničky, což zajišťují pull-up odpory R32 a R37, které jsou zobrazeny na téže sběrnici ve schématu exteriérového senzoru na obrázku 22.

### 2.4.6 Exteriérový teploměr

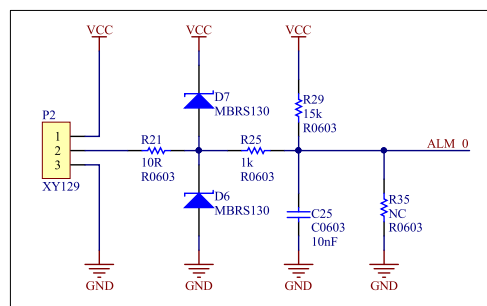


Obrázek 22 - Schéma zapojení budiče sběrnice 1-Wire®

Pro některé účinnější způsoby regulace vytápění bytových prostor je nutné znát venkovní teplotu. To umožní připojené čidlo teplotního senzoru DS18B20, ale protože je zde oproti terminálu předpoklad dlouhého vedení mimo plášť budovy, tak je použit budič 1-Wire® sběrnice DS2482-100 (U8), který komunikuje s  $\mu$ -procesorem po sběrnici I<sup>2</sup>C. Tranzistor Q6 s proud omezujícím odporem R44 mohou být použity pro posílení napájení sběrnice na extrémně dlouhých vedeních. Dioda D15 poskytuje nezbytnou ochranu proti napětovým špičkám [12]. Odpor R11 nastavuje klidovou úroveň na 1-Wire® sběrnici.

### 2.4.7 Alarmy

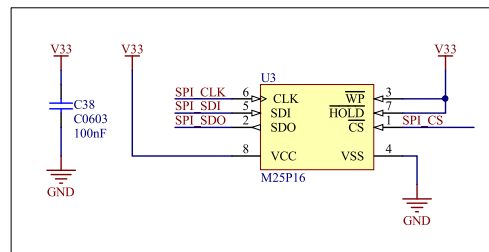
Jako doplněk byla implementována do systému akustická signalizace alarmů, reagující na dva nezávislé vstupy, zapojené dle obrázku 23. Diody D6, D7 a odpor R21 chrání vstup procesoru před přepětími, odpor R25 s kondenzátorem filtrují jehlové zákmity a odpor R29 (resp. R35) definuje klidovou úroveň na vstupu v logické jedničce (resp. v nule). Na konektor je pak spolu se signálovým vstupem vyvedeno i napájení z hladiny 5V.



Obrázek 23 - Schéma zapojení vstupů alarmů

### 2.4.8 Paměť pro sběr dat

Pro případné ukládání naměřených dat ze senzorů teploty a vlhkosti byla přidána možnost osazení flash paměti v pouzdře SO8, na schématu je konkrétní typ M25P16 firmy Micron o velikosti 16Mb, použit by se případně mohla i pinově kompatibilní N25Q032A



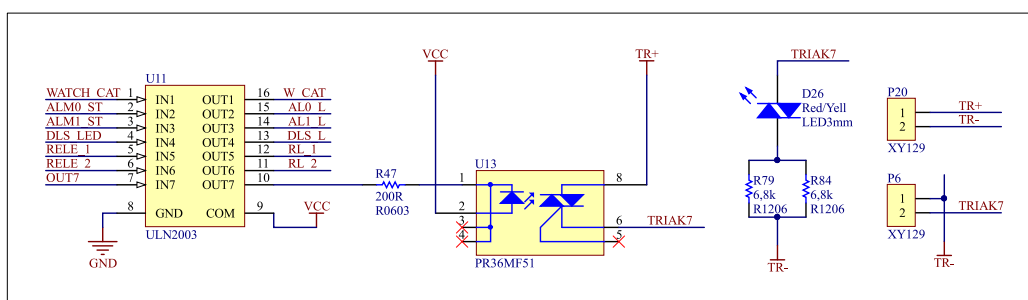
Obrázek 24 - Schéma zapojení paměti flash

stejného výrobce s dvojnásobnou kapacitou. Není problém nasbírat v podstatě libovolné množství dat a uložit je do paměti, problém je však tato data smysluplně zpracovat, a hlavně správně interpretovat...

Sériové paměti komunikují s  $\mu$ -procesory na sběrnici SPI, a protože jsou tyto paměti napájeny z hladiny 3,3V, je opět nutné všechny komunikační linky konvertovat na 5V úroveň, tak jak bylo popsáno v kapitole 2.4.4.

### 2.4.9 Ovládání výstupů

Regulační systém řídí teplotu prostředí ovládním ventilů radiátorů jednotlivých okruhů a spouštěním kotle pro ohřev otopné vody. Spínání kotle je realizováno pomocí relé s elementární logikou sepnuto=topí, rozepnuto=netopí. Druhé relé na centrální jednotce je pro případné ovládní resp. nastavení týdenního profilu ohřevu TUV. Obě relé mají k vinutí připojenu ochrannou diodu pro omezení přepětí při vypínání.



Obrázek 25 - Schéma zapojení ovládní ventilů

Ventily pro ovládní radiátorů mohou být proporcionální (0÷100%) nebo diskretní (otevřeno × zavřeno), přičemž u diskretních je další dělení na N.O. (normally open = bez proudu otevřeno) a N.C. (normally close = bez proudu uza-

vřeno). Proporcionální ventily se obvykle ovládají napětím  $0 \div 10V$ , diskretní napětím  $230V\sim$ , nebo bezpečnými  $24V$  ať střídavými či stejnosměrnými. Protože předpokládám po většinu času provozu spíše radiátory uzavřené, volím pro instalaci diskretní ventily typu N.C., ovládané bezpečným napětím  $24V\sim$ , spínané na centrální jednotce optotriaky (obr. 25).

Elektrotermická hlavice IVAR.TE 3041 (obr. 26) je pro triaky odporovou zátěží s počátečním proudem pro otevírání  $250mA$  po dobu dvou minut [12]. To je doba prodlení, kterou je nutno uvažovat při otevírání prvního ventilu před spuštěním kotle. Klidový proud pro udržení otevřeného stavu je pak  $80mA$ . Použitý spínací optotriak PR36MF51 firmy Sharp tak při dovoleném proudu  $6A$  může ovládat až 24 paralelně zapojených ventilů / termostatických hlavice. To je pro běžnou domácnost více než dostatečné.

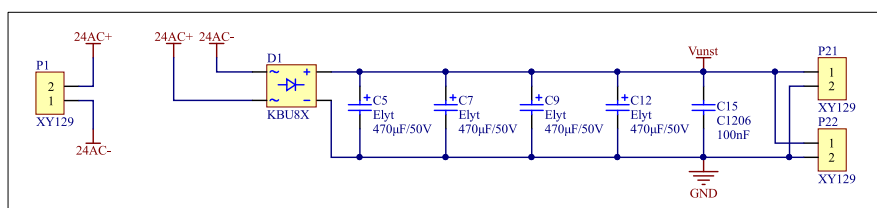


Obrázek 26 - Instalovaná termohlavice IVAR.TE 3041 v plně otevřeném stavu

Jednotlivé LED optotriaků jsou spínány signálem z  $\mu$ -procesoru pomocí tranzistorového pole (obvod ULN2003, [13]). Dopředné napětí na LED je  $V_F = 1,2V$  při proudu  $20mA$  [14], hodnota předřadného odporu je tedy  $R = \frac{V_{CC} - 1,2V}{20mA} \doteq 200\Omega$ . Každý ovládaný kanál je doplněn signalizací sepnutí dvojbarevnou  $3mm$  antiparalelní LED diodou s dopředným napětím  $V_F = 1,95V$  při  $10mA$ . Předřadný odpor bude mít hodnotu minimálně  $R = \frac{(24\sqrt{2} - 1,95)V}{10mA} \doteq 3,2k\Omega$ . Zde je však také již nutno uvažovat velikost ztrátového výkonu, který je  $P_Z = R \cdot I^2 \doteq 0,32W$ . Paralelně zapojené odpory  $6,8k\Omega$  v SMD pouzdře 1206 (max.  $0,25W$ ) tak budou dostatečně s rezervou uchlazeny.

#### 2.4.10 Napájení

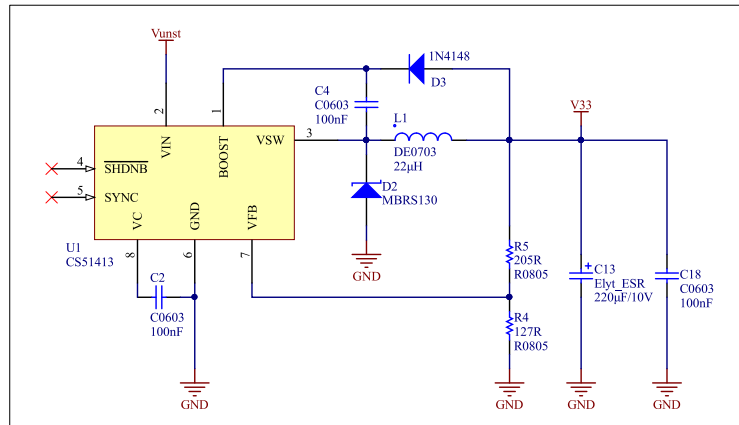
Výchozím prvkem k napájení celého regulačního systému je transformátor



Obrázek 27 - Usměrnění a filtrace vstupního napětí

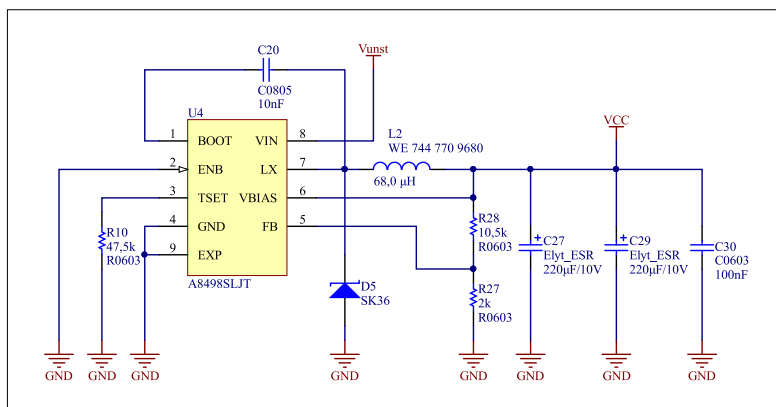
s napětím primárního vinutí 230V~ a sekundárního 24V~ pro napájení ovládacích ventilů. Toto sekundární napětí je paralelně využito i pro řídicí obvody a po usměrnění a filtraci na centrální jednotce rozvedeno k jednotlivým terminálům (obr. 27). Svorky pro vstupní napětí a pro napájení triaků nejsou interně propojeny, což umožňuje případné použití transformátorů s různým výkonem i různým sekundárním napětím.

Z návrhů dílčích částí centrální jednotky vyplynul požadavek na dvě napájecí hladiny,  $V_{CC} = 5,0V$  a  $V_{33} = 3,3V$ . Volba možných způsobů, jak stabilizovat napájecí hladiny je zde především ovlivněna dispozicí součástek. Pro proudově



Obrázek 28 - Schéma zapojení napájecí hladiny  $V_{33}$

méně náročnou hladinu  $V_{33}$  bude více než dostatečné řešení shodné jako pro jednotku terminálu, tedy pulsní zdroj založený na obvodu CS51413 (obr. 28). Samozřejmě výpočet odporů pro referenční hladinu musí být přizpůsoben, a platí základní vzorec  $R_5 = R_4 \cdot \left(\frac{U_{OUT}}{U_{FB}} - 1\right)$ , kde je opět  $U_{FB} = 1,270V$ .



Obrázek 29 - Schéma zapojení napájecí hladiny  $V_{CC}$

zapojení výrobce (obr. 29), výpočet odporového děliče pro napětovou zpětnou vazbu je pak  $R_{28} = R_{27} \cdot \left(\frac{U_{OUT}}{U_{FB}} - 1\right)$ , kde je ale  $U_{FB} = 0,80V$ .

Pro hladinu  $V_{CC}$  byl zvolen obvod A8498 firmy Allegro Microsystems, LLC s maximálním výstupním proudem 3A a maximálním vstupním napětím 50V [15]. Schéma a hodnoty součástek jsou dle doporučeného



## 3 NÁVRH SOFTWAREOVÉHO VYBAVENÍ SYSTÉMU

Softwarové vybavení systému jest složeno ze dvou firmwarů (jeden pro centrální jednotku a druhý společný pro terminály), navzájem svázaných komunikačním protokolem. Uživatelské rozhraní pro ovládání a nastavení systému je zprostředkováno webovým serverem v modulu Nano SocketLAN<sup>®</sup>, zahrnující v sobě vlastní www server a rozhraní pro komunikaci s  $\mu$ -procesorem.

Vlastní vývoj kódů pro procesory je realizován v jazyce C, ve vlastním vývojovém prostředí výrobce procesorů, firmy Atmel, Atmel Studio v6.1, poskytované k volnému použití. Vývojové prostředí je s  $\mu$ -procesorem na osazené DPS propojeno buď programovacím rozhraním ISP (terminály a centrální jednotka), nebo rozhraním JTAG (centrální jednotka) umožňující odladění programů pomocí krokování. Obojím disponuje použitý vývojový prostředek AVR Dragon<sup>™</sup>.

Protože je velikost webového serveru v modulu Nano SocketLAN<sup>®</sup> omezena na velikost 256kB, není vhodné využití žádného vývojového prostředí pro výstavbu a odladění HTML kódu, vše je nutno napsat co nejúsporněji, pod plnou kontrolou pouze pomocí textového editoru.

Všechny vytvořené zdrojové kódy jsou proloženy podrobnými komentáři popisující jednotlivé kroky algoritmů. Kompletní výpis zdrojových kódů je přílohou této práce.

### 3.1 Definice datových struktur

Pro další popis programových utilit je nutné zavést některé pojmy<sup>1</sup>. *Okruhem* je myšlena jedna zóna s vlastním terminálem snímajícím teplotu. *Intervalem* je nazýván soubor proměnných definující uživatelské nastavení (od [hh:mm], do [hh:mm], v jakých dnech [Po-Ne, Sv], pro jaké okruhy [1÷8] a teplota [°C]). V systému lze nastavit šestnáct různých intervalů. Mimo tyto intervaly lze pro každý okruh spustit *bypass režim*, který má tři parametry: délku režimu [hh:mm], teplotu [°C] a adresu příslušného okruhu [1÷8]. Délka režimu je ve formě odpočtu

---

<sup>1</sup> Přesné definice s datovými typy jednotlivých proměnných jsou uvedeny v hlavičkových souborech projektu, jejichž kompletní okomentované výpisy jsou přílohou této práce.

zbývajícího času do konce bypass režimu. Režim *Dovolená* je společný pro všechny okruhy a v aktivovaném stavu udržuje pouze defaultní teplotu. *Defaultní teplota* je teplota, která je udržována, pokud není určeno jinak (intervalem nebo bypassem).

## 3.2 Komunikační protokol

Způsob řízení sběrnice byl zvolen typu Master/Slave, kdy je centrální jednotka masterem a všech osm terminálů je v režimu slave. Master se cyklicky dotazuje každé jednotky na aktuální stav senzorů a případný uživatelský zásah do nastavení teplotního profilu. Z terminálu není možné nastavení nebo úprava teplotního profilu okruhu (=intervalu), to lze pouze z webového prohlížeče vzdáleného dohledu.

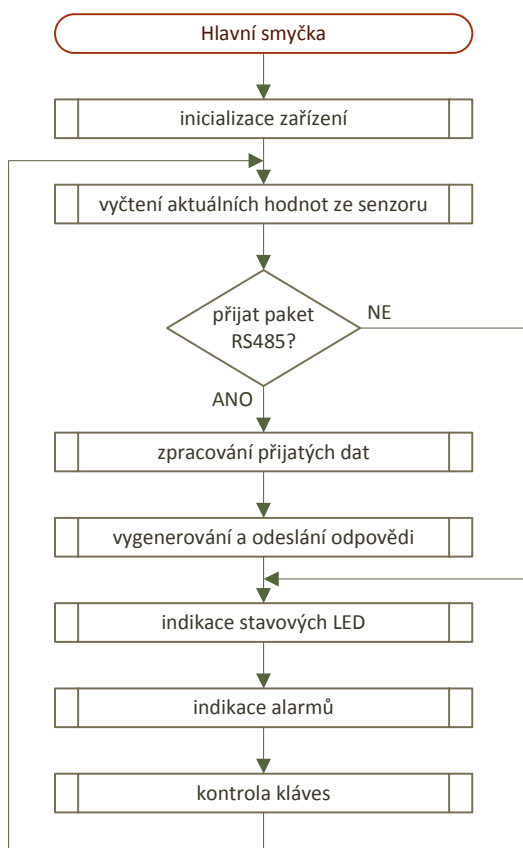
Komunikace probíhá prostřednictvím dvou typů paketů. MOSI paket (Master Output / Slave Input) je dotaz centrální jednotky směrem ke konkrétnímu terminálu a MISO paket (Master Input / Slave Output) je odpověď dotazovaného terminálu. Oba pakety mají shodnou délku 16 bytů po osmi bitech. Struktura paketů a význam jednotlivých bytů je uvedena v tabulce 1.

Tabulka 1 - Struktura MOSI a MISO paketů

#	MOSI (dotaz)	MISO (odpověď)
0	Adresa terminálu (bitová maska)	Adresa terminálu (bitová maska)
1	Rezervováno pro budoucí použití (0xFF)	Aktuální teplota ( $^1/_{10}^{\circ}\text{C}$ ) - MSB
2	Aktuální čas – hodiny (0÷23)	- LSB
3	Aktuální čas – minuty (0÷59)	Aktuální vlhkost ( $^1/_{10}^{\%}$ ) - MSB
4	Aktuální datum – den (1÷31)	- LSB
5	Aktuální datum – měsíc (1÷12)	Status / Alarmy
6	Aktuální datum – rok (0÷99)	Bypass teplota - MSB
7	Teplota požadovaná - MSB	- LSB
8	- LSB	Bypass čas – nastavení v hod. (0÷99, BCD)
9	Bypass čas, hodiny (0÷99)	Rezervováno pro budoucí použití (0xFF)
10	Bypass čas, minuty (0÷59)	Rezervováno pro budoucí použití (0xFF)
11	Triak status (ON / OFF)	Rezervováno pro budoucí použití (0xFF)
12	Alarm 0 (ON / OFF)	Rezervováno pro budoucí použití (0xFF)
13	Alarm 1 (ON / OFF)	Rezervováno pro budoucí použití (0xFF)
14	Rezervováno pro budoucí použití (0xFF)	Rezervováno pro budoucí použití (0xFF)
15	Rezervováno pro budoucí použití (0xFF)	Rezervováno pro budoucí použití (0xFF)

### 3.3 Firmware pro terminálové jednotky

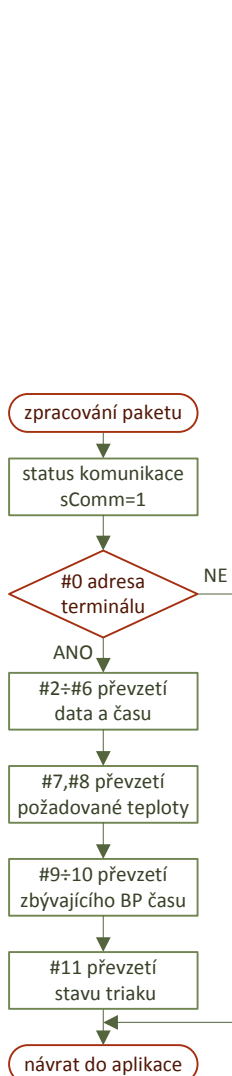
Hlavní smyčka programu se po inicializaci  $\mu$ -procesoru, kdy jsou nastaveny globální proměnné a potřebné registry do výchozích stavů, cyklicky dotazuje jednotlivých periférií na jejich aktuální stav a podle toho je generována patřičná odezva, jak je zobrazeno ve vývojovém diagramu na obrázku 30. Z pohledu systému jako celku nemají terminály žádný rozhodovací algoritmus, jednotlivé stavy se



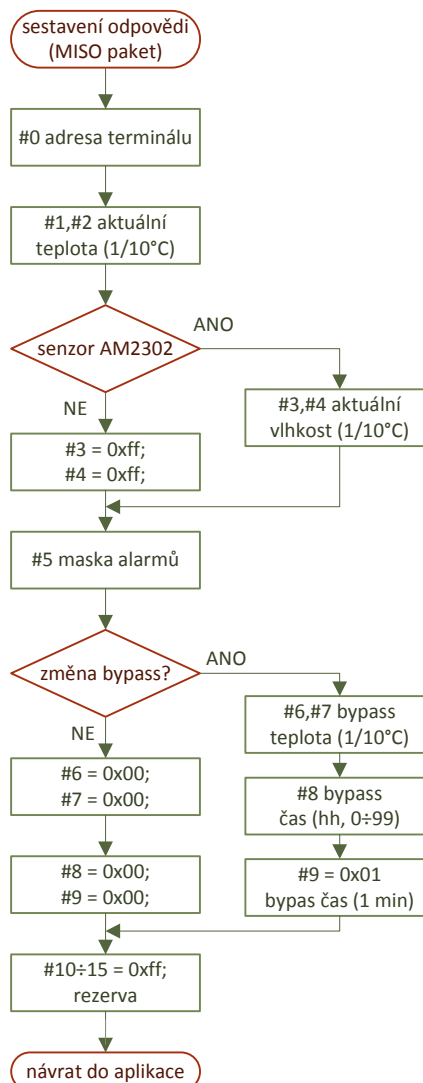
Obrázek 30 - Vývojový diagram hlavní smyčky firmwaru terminálů

pouze přejímají z paketů od centrální jednotky. Jak je patrné z vývojového diagramu na obrázku 31, nejprve se po přijetí celého paketu nastaví příznak fungující komunikace, a poté v případě správné adresy se v jednotlivých paketech vyčtou jednotlivé údaje. Vzápětí se vygeneruje paket s odpovědí (obrázek 32), ve kterém jsou centrální jednotce odeslány aktuální údaje ze senzoru a případné změny nastavení režimu bypass. Po aktualizaci údajů z paketu dotazu jsou tyto promítány

do stavových LED, kdy rozsvícená červená LED oznamuje rozpadlou komunikaci, zelená LED kopíruje stav ventilů příslušného okruhu a žlutá LED indikuje rozsvícením aktivní režim bypass.



Obrázek 31 - Vývojový diagram zpracování paketu



Obrázek 32 - Vývojový diagram sestavení paketu odpovědi

### 3.3.1 Klávesnice

Klávesnice je ovládána pouze dotazem na stav příslušného I/O pinu, protože případné zákmity jsou filtrovány již na HW úrovni. Vstupem z klávesnice se cyklicky přepínají jednotlivé obrazovky LCD displeje, stiskem obou tlačítek je aktivováno editační „menu“ bypass režimu, kdy se pouze inkrementuje (resp. dekrementuje) nejprve teplota a po vypršení timeoutu<sup>1</sup> doba trvání režimu.

<sup>1</sup> timeout je nastaven na zhruba tři vteřiny

### 3.3.2 LCD display a LED

LCD display je řízen pomocí volně šiřitelné knihovny (pod licencí GNU GPL), kterou vytvořil P. Fleury [16]. Pro usnadnění a lepší čitelnost zdrojového kódu byly vytvořeny pomocné funkce, např. pro výpis celého řádku, nebo výpis přirozeného čísla na souřadnice  $[x, y]$ .

Ovládání stavových LED diod je realizováno prostým zápisem log. 1 (resp. 0) do příslušného pinu výstupního registru.

### 3.3.3 Akustický alarm

Akustický alarm je pro jednoduchost vytvořen dvěma piezzo-akustickými měniči s vlastními generátory s různou vlastní rezonancí 2kHz a 3kHz, což (kvůli výrobním tolerancím velmi zhruba) odpovídá hudebnímu intervalu čisté kvinty. Rozezvučení jednotlivých měničů je stejně jako u LED realizováno prostým zápisem log. 1 (resp. 0) do příslušného pinu výstupního registru. Dva tóny potom dávají možnost široké škály kombinací akustických oznámení.

### 3.3.4 Senzory

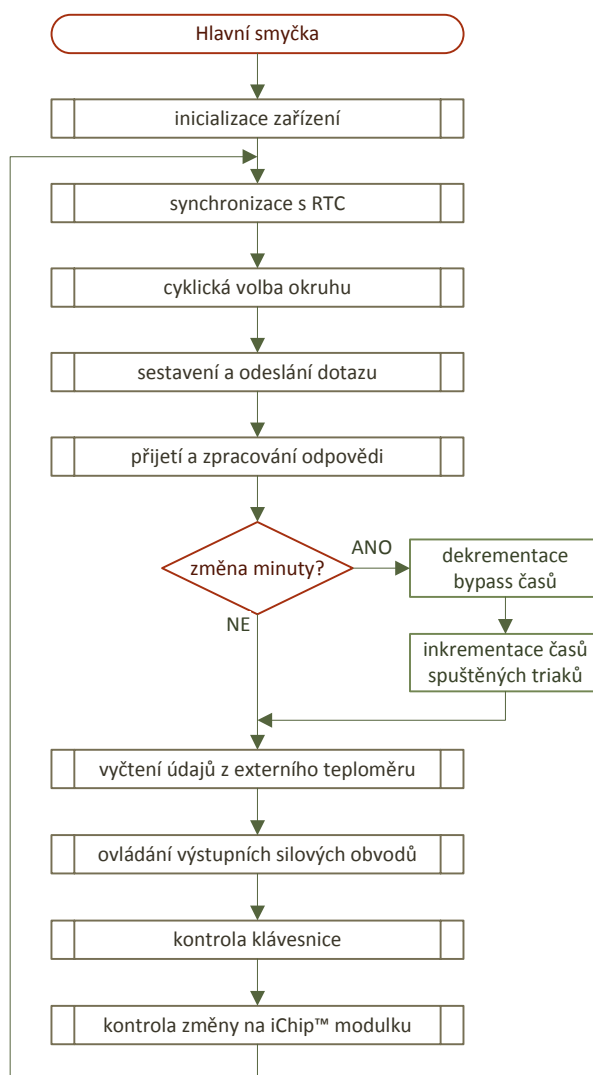
Terminál umožňuje získat údaje ze dvou různých typů senzorů, AM2302 a teploměrů připojitelných ke sběrnici 1-Wire® .

Senzor AM2302 čínské firmy AOSONG lze pořídit z internetových obchodních portálů v ceně kolem 5\$. Snímá teplotu a vlhkost s udávanou katalogovou přesností  $\pm 2\%$  RH a  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  [5]. Komunikace probíhá na jediném signálovém vodiči a využívá pevných časových intervalů mezi sestupnými hranami pro určení log. 1 (76 $\mu\text{s}$ ) a log. 0 (120 $\mu\text{s}$ ). Proto je senzor připojen na I/O pin časovače, který pomocí přerušení umožňuje přesně měřit délku intervalu. Vytvořená knihovna obsahuje tři funkce, dvě pomocné obsluhují přerušení (přetečení časovače a detekce hrany na I/O pinu) a třetí ukládá do globálních proměnných aktuální vyčtené hodnoty teploty a vlhkosti.

K vyčtení teploty ze senzoru na sběrnici 1-Wire® (nejčastěji teploměr DS18B20) je využito knihovny z projektu OpenPlayer [4] vytvořené G. M. Pareta-sem. Tento senzor je však pouze jako doplňkový a byl v podstatě využit jen při vývoji pro ověření údajů z čínského senzoru AM2302.

### 3.4 Firmware pro centrální jednotku

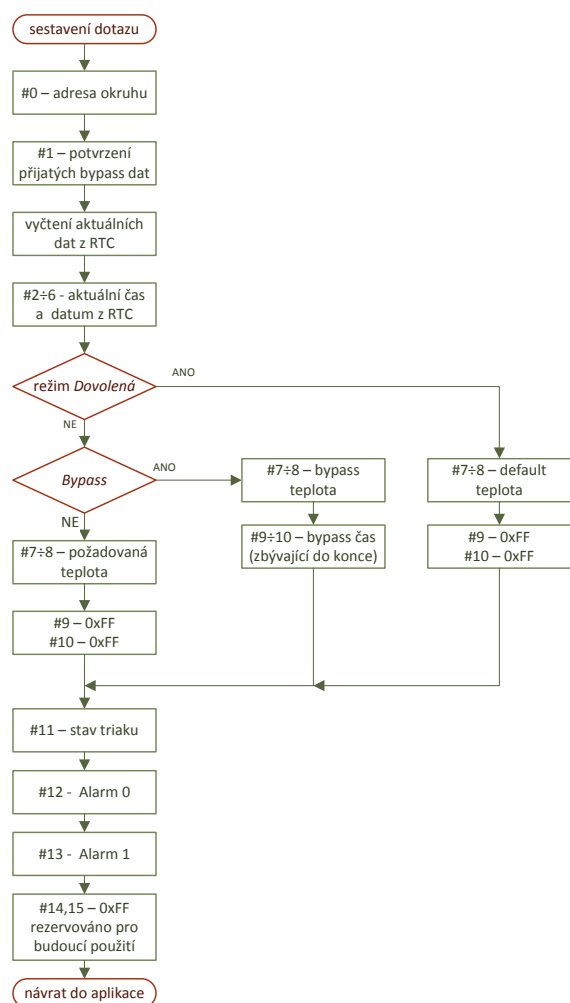
Firmware pro centrální jednotku musí zajistit tři základní úlohy, komunikaci s jednotlivými terminály, ovládání silových výstupů (včetně algoritmu pro porovnání aktuálních údajů vůči uživatelskému zadání) a zpracování uživatelského rozhraní prostřednictvím webového serveru.



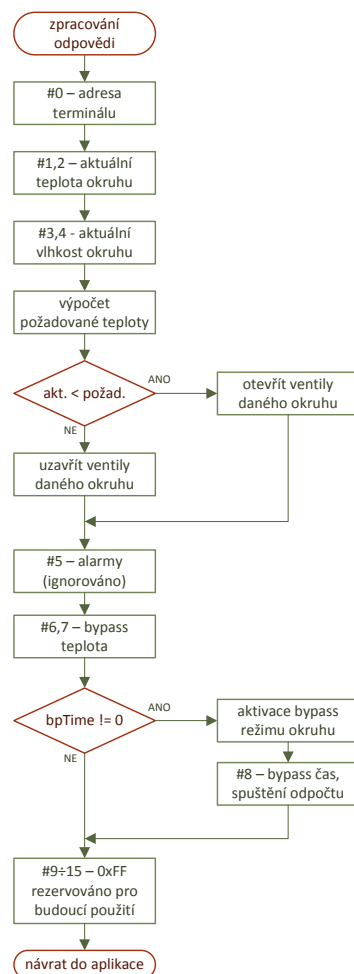
Obrázek 33 - Vývojový diagram hlavní smyčky programu centrální jednotky

Vývojový diagram hlavního programu centrální jednotky je na obrázku 33. Po nezbytné počáteční inicializaci všech proměnných a používaných rozhraní jsou v nekonečné smyčce kontrolovány změny na jednotlivých perifériích a prováděny příslušné odezvy. Po synchronizaci časové značky s RTC a volbě okruhu je vygenerován a odeslán dotaz na sběrnici RS485. Po přijetí odpovědi jsou aktuální údaje

uloženy do proměnných pro další průběžné zpracování. Při každé změně hodnoty minutového údaje v časové značce je inkrementován počet minut u všech spuštěných ventilů a dekrementován zbývající čas všech nenulových časů bypass režimů. Je-li přítomen na sběrnici 1-Wire® externí teploměr, je vyčtena jeho aktuální hodnota a zobrazena ve webovém serveru. Tyto údaje mohou být v budoucnu využity spolu s ekvitermními křivkami pro zpracování do algoritmu výpočtu požadované teploty, nyní však jsou použity především k filtrování dotazů autorovy manželky, jestli je venku zima a co si má vzít na sebe. Získané a vypočtené údaje jsou posléze promítnuty do silových výstupních obvodů. Vývojové diagramy způsobu sestavení paketu dotazu a zpracování přijaté odpovědi od terminálu jsou na obrázcích 35 a 34.



Obrázek 35 - Vývojový diagram sestavení dotazu



Obrázek 34 - Vývojový diagram zpracování odpovědi

### 3.4.1 Klávesnice a LCD displej

Klávesnice s LCD displejem je na centrální jednotce spíše pro vývojové účely pro zobrazení některých aktuálních údajů, primární způsob ovládání celého systému je přenesen do webového serveru vzdáleného dohledu umístěného v modulku Nano SocketLAN™ s procesorem označovaným jako iChip™ CO2144. Způsob ovládání klávesnice a LCD je zcela totožný jako u terminálů.

### 3.4.2 Senzor vnější teploty

Kvůli předpokladu možného dlouhého vedení připojeného senzoru venkovní teploty je ovládání sběrnice 1-Wire® oproti terminálům prostřednictvím budiče řady DS2482, komunikující s procesorem po sběrnici I<sup>2</sup>C, firmou Atmel označované jako *Byte-oriented Two-wire Serial Interface*, zkráceně TWI. Komunikace po této sběrnici je řízena knihovnou od P. Fleuryho, dostupnou na jeho webových stránkách [16]. Protože není předpoklad vícero teplotních snímačů připojených k tomuto budiči, nebylo třeba se zabývat adresací senzoru.

### 3.4.3 Relé a triaky

Spínání (resp. vypínání) triaků a relátek je realizováno po vyhodnocení aktuálních údajů času a teploty proti uživatelským požadavkům prostým zápisem logické jedničky (resp. nuly) do příslušných pinů výstupních portů.

### 3.4.4 Funkce reálného času

Pro práci s reálným časem lze využít vestavěné funkce v procesoru, nebo některý ze specializovaných obvodů. Zvolený DS1307 komunikuje po sběrnici I<sup>2</sup>C stejně jako budič 1-Wire® sběrnice a lze tak s výhodou využít již začleněnou knihovnu. Záloha aktuálních časových údajů při výpadku napájení je řešena externí baterií na hardwarové úrovni RTC obvodu [11]. Z příslušných registrů obvodu jsou pravidelně vyčítány aktuální hodnoty času a data pro výpočty požadovaných teplot v jednotlivých okruzích.

Pro aplikace tohoto typu je potřeba udržovat přesný čas přibližně v řádu minut. Synchronizace je možná několika způsoby, občasným ručním zadáním, ze signálů GPS (či obdobných systémů), z frankfurtského vysílače DCF77, nebo ser-



verů NTP. Díky používanému ethernetovému modulu, lze s výhodou použít poslední zmiňovanou možnost, ovšem pouze je-li systém instalován v síti s přístupem do internetu. Pro instalace bez přístupu k serverům NTP lze případně centrální jednotku doosadit obvody umožňující připojení modulu DCF77.

### ***3.4.5 Ethernetový modul***

Komunikace s webovým serverem v ethernetovém modulu Nano SocketLAN™ probíhá prostřednictvím asynchronního rozhraní UART bez řídicích signálů. Ovládání a vzájemná výměna dat mezi aplikací ( $\mu$ -procesor) a serverem je realizována pomocí AT+i™ příkazů.

#### ***Nastavení webového serveru***

Vytvořené webové stránky, ve kterých je použit pouze HTML, javascript a CSS, se musí pomocí aplikace výrobce modulu zkompilovat do souboru \*.img. Při kompilaci je nutné definovat maximální velikosti jednotlivých použitých proměnných. Proměnné jsou výhradně řetězce, pro vzájemnou výměnu např. číselných dat je tedy nezbytná konverze v aplikaci. Součet velikostí všech proměnných je omezen na 8kB, velikost zkompilovaného webového serveru je omezena na 256kB.

Zkompilovaný soubor \*.img je pak možné nahrát do modulku prostřednictvím servisních webových stránek modulu (<http://<ip.adresa>/ichip/>). Ovšem ani servisní ani uživatelský sever není implicitně po restartu modulku spuštěn, to je nutné provést odesláním příkazu AT+iwww. Po nahrání uživatelského serveru je tento přístupný na adrese <http://<ip.adresa>/>.

Kompletní výpis webových stránek je přílohou této práce.

#### ***Webové stránky***

Webové stránky jsou vystavěné v HTML pouze s využitím javascriptu, CSS stylů a minimem grafických prvků. Hodnoty proměnných jsou serverem vkládány na místa, kde je název proměnné uzavřen ve vlnovkách: ~nazev\_promenne~. Odesláním příkazu AT+inazev\_promenne=10°C bude po načtení stránek zobrazen na místě ~nazev\_promenne~ řetězec 10°C. Hodnotu proměnné lze změnit pomocí standardního HTML formuláře, kde její název proměnné musí být uveden v parametru name="nazev\_promenne", tentokrát však bez vlnovek. Změna

jakékoliv proměnné je indikována změnou výstupního signálu DATA\_RDY na pinu 7 do logické jedničky. Přečtením jakékoliv proměnné z modulků je signál DATA\_RDY nastaven zpět do logické nuly. Po indikaci změny nějaké proměnné ve webovém serveru lze postupným odesláním příkazu AT+iWNXT z modulků vyčíst všechny změněné proměnné, nebo se lze příkazem AT+inazev\_promenne? dotázat na hodnotu konkrétní proměnné.

### ***Synchronizace časové značky***

Posledním použitým příkazem v tomto projektu je AT+iRP8, který vrací aktuální hodnotu času a data ve formátu YYYY-MM-DDT HH:MM:SS TZD, podle normy ISO 8610 [17]. Po každém restartu se modul opakovaně dotazuje nastavených NTP serverů na aktuální značku, dokud nedostane relevantní odpověď. Do té doby vrací na všech datových a časových polích nulové hodnoty.

Protože pro systémy řídicích teplot v obytných prostorech není potřeba ani tak aktuální datum<sup>1</sup>, ale především den v týdnu, a oproti DCF77 modul Nano SocketLAN™ v časové značce den v týdnu neodesílá, bylo nutno využít pro výpočet dne v týdnu podle aktuálního data algoritmu dánského matematika Clause Tønderinga [18].

### ***3.4.6 Uchování datových řad***

Pro budoucí využití je možnost osadit centrální jednotku pamětí flash na sběrnici SPI. To by umožnilo ukládat naměřená data z vybraných okruhů v definovaných časových intervalech a následně je pak vyčíst, zpracovat a vizualizovat.

---

<sup>1</sup> Datum je využito pouze pro určení svátků, kterých je v České republice dvanáct. Pohyblivé datum Velikonoce je vypočítáváno podle algoritmu Clause Tønderinga [18].

## 4 REALIZACE FUNKČNÍHO MODELU SYSTÉMU

Pro vývojové práce na projektu bylo zvoleno prostředí Altium Designer australské firmy Altium Ltd. Na českém trhu ji zastupuje firma RE TRY s.r.o., na jejíchž webových stránkách je manuál v českém jazyce popisující práce na projektu od úplného počátku. Přestože firma Altium nabízí velmi obsáhlou knihovnu součástek různých světových výrobců, některé komponenty bylo nutno vytvořit, především ethernetový modul a LCD display s 8×2 znaky.

Protože funkční systém vyžaduje vícero terminálů, byla pro vlastní výrobu DPS vybrána firma Itead Studio, nabízející prototypovou výrobu menších DPS přímo v nákladu deseti kusů, větších DPS pak v nákladu pěti kusů. Nevýhodou je podstatně delší doručovací doba v případě autorovy neochoty příplatku za expresní přepravu do České republiky.

### 4.1 Osazení desek s plošnými spoji

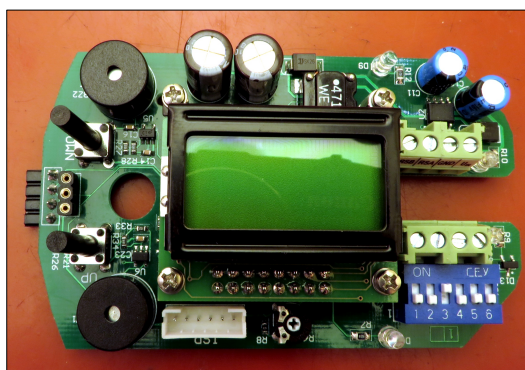
Protože bude celý systém nasazen do reálného osobního užívání, je nutné na počátku určit mechanické umístění elektronik. Centrální jednotka bude umístěna ve slaboproudé rozvodné skříni na DIN liště v modulárním systému Wieland WEB1001. Pro terminály byly zvoleny designové krabičky původně určené pro zabezpečovací a přístupové systémy a bylo nutné jim vyfrézovat otvory pro tlačítka, LCD display a oba senzory, pro DS18B20 ve víčku a pro AM2302 ve dnu krabičky. Není-li senzor DS18B20 použit, laserem vytvarovaná krycí destička jeho otvor překryje (obr. 37). Obrisy DPS terminálů jsou zcela určeny zvolenou krabičkou (obr. 36), obrys DPS centrální jednotky je dán v šířce modulárním systémem



Obrázek 36 - Terminál s připojeným čidlem AM2302

(92,5mm) a v délce počtem potřebných konektorů (obr. 38).

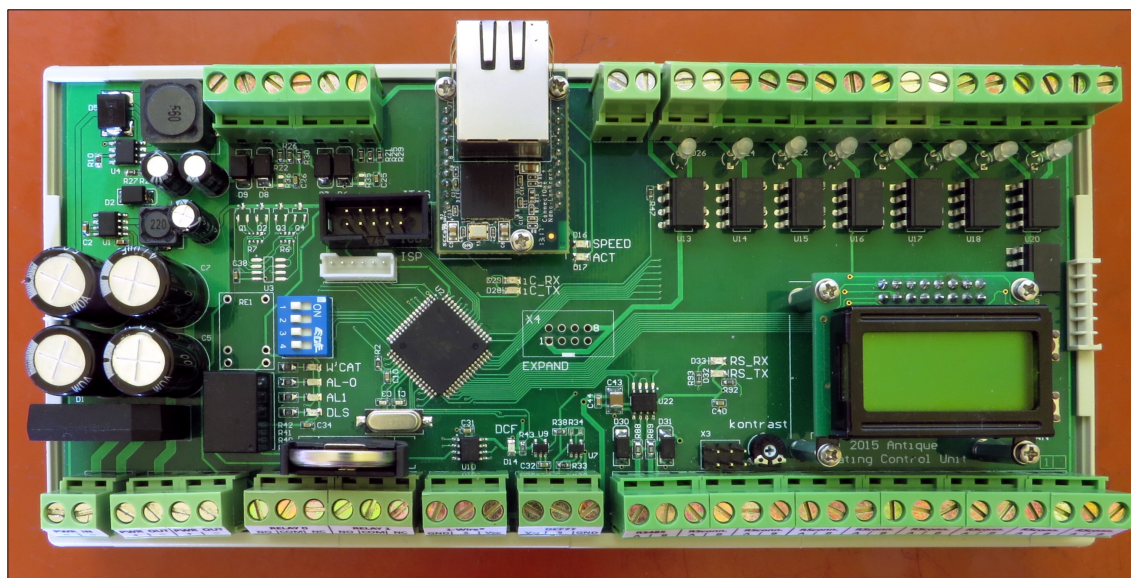
Všechny desky byly osazeny autorem ručně, nebylo tedy potřeba brát ohled na ekonomické hledisko rozmístění součástek a bylo možno využít obě strany pouze s přihlédnutím k mechanickým rozměrům komponent.



Obrázek 37 - Osazená DPS terminálu

Jako první byly na všech deskách osazeny součástky pro stabilizaci napájecích hladin. Obvod na pozici U4 centrální jednotky<sup>1</sup> je k hladině GND připojen chladič ploškou na spodní straně a bylo nutné jej pečlivě připájet horkovzdušnou pistolí. Po kontrole napájecích hladin (5,0V a 3,3V u centrální jednotky a 5,0V u terminálů) byl osazen zbytek součástek. Naprogramováním jednotlivých procesorů a nastavením kontrastu LCD displejů byl elektronikám vdechnut život a bylo možno postupně oživovat jejich jednotlivé funkční bloky.

Projekt pro Altium Designer se zdrojovými a vygenerovanými výrobními soubory je přílohou této práce.



Obrázek 38 - Osazená DPS centrální jednotky

<sup>1</sup> Obvod A8498 firmy Allegro MicroSystems Inc. [15]

## 5 UŽIVATELSKÝ MANUÁL

Systém víceokruhového vytápění bytu umožňuje udržovat zadanou teplotu v celkem osmi nezávislých prostorech / místnostech, dále v textu nazývaných jako okruhy. Ventily radiátorů každého okruhu jsou řízeny střídavým napětím 24V~ prostřednictvím výstupních triaků. Ke každému výstupnímu triaku lze připojit odporovou zátěž o celkovém maximálním odběru 6A. Nastavení typu ovládání ventilů je přepínačem SW1 na centrální jednotce (DIP1-ON ventily bez proudu otevřeno, DIP1-OFF ventily bez proudu uzavřeno)<sup>1</sup>.

### 5.1 Ovládání terminálu

Úkolem terminálu v regulačním systému je a) měření parametrů prostředí (teplota a vlhkost) v zóně umístění, b) podávat aktuální informace o naměřených údajích a parametrech systému prostřednictvím LCD displeje a c) umožnit mimo-systémový uživatelský zásah do nastavení systému (bypass režim).

#### 5.1.1 Stavové LED

Terminál používá tři uživatelské stavové LED, jejichž světlo je vyvedeno na povrch krabičky světlovody. K indikaci je použito pouze stavu svítí/nesvítí, žádné blikání s různou intenzitou nebo střídou. Červená LED svítí, pokud není navázána komunikace s centrální jednotkou po sběrnici RS485, nebo není-li zapojen ani jeden senzor. Zelené LED kopírují stav příslušného ventilu okruhu<sup>2</sup> (ventil otevřen = LED svítí, ventil uzavřen = LED nesvítí). Rozsvícená žlutá LED indikuje aktivovaný režim bypass.

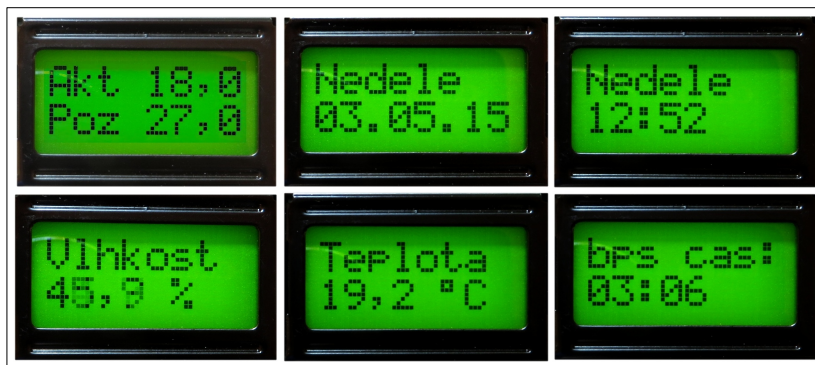
---

<sup>1</sup> DIP2,DIP3 a DIP4 jsou připraveny pro budoucí použití

<sup>2</sup> Stav otevření ventilu není nutně stav sepnutí triaku, záleží na nastavení DIP1, který logiku spínání triaků obrací

### 5.1.2 LCD displej

Ve výchozím stavu jsou na LCD displeji zobrazeny údaje o aktuální teplotě a na základě uživatelských nastavení vypočtené požadované teplotě. Stiskem tlačítka UP (resp. DOWN) se cyklicky mění na LCD displeji údaje o teplotě, vlhkosti, času, datu a zbývajícím čase bypass režimu (obr. 39).



Obrázek 39 - Obrazovky terminálu

### 5.1.3 Nastavení bypass režimu

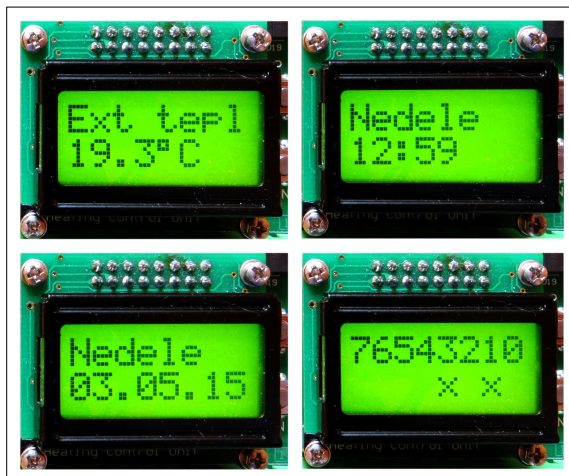
Současným stiskem obou tlačítek se aktivuje bypass režim, nejprve zadáním teploty (v krocích po  $\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$ ) a po vypršení timeoutu<sup>1</sup> zadáním doby trvání bypass režimu (v krocích po jedné hodině). Vypnutí bypass režimu se provede zadáním nuly pro dobu trvání a na zadanou teplotu pak není brán ohled.

## 5.2 Ovládání centrální jednotky

Centrální jednotka není určena k uživatelskému ovládání systému. K servisním účelům je na jednotce LCD display, zobrazující v obrazovkách aktuální teplotu externího teploměru, čas, datum a přehled komunikujících terminálů na sběrnici RS485 (obr. 40). Jednotlivé obrazovky s údaji se přepínají tlačítka UP a DOWN.

Z centrální jednotky nelze nastavit ani defaultní teplotu, ani bypass režim pro některý z okruhů.

<sup>1</sup> Timeout trvá zhruba tři vteřiny od posledního stisku tlačítka



Obrázek 40 - Obrazovky centrální jednotky

LED diody na DPS centrální jednotky indikují stavy jednotlivých periférií: [D20÷D27] stavy triaků; [D32,D33] komunikaci na sběrnici RS485; [D28,D29] komunikaci mezi  $\mu$ -procesorem a modulem Nano SocketLAN™; [D16,D17] stav připojení k LAN; [D10] připojený externí teploměr DS18B20; [D11,D12] stavy vstupů alarmů a [D13] kopíruje aktivitu wCat (obdoba nepoužitého watchdogu v  $\mu$ -procesoru).

### 5.3 Webové rozhraní pro ovládání a nastavení systému

Po připojení centrální jednotky do LAN je datová aktivita modulu indikována LED diodou ACT [D17]. Webový server pro ovládání systému je přístupný z libovolného operačního systému na libovolném prohlížeči HTML stránek<sup>1</sup>. Adresa serveru je `http://<ip.adresa.modulu>/`.

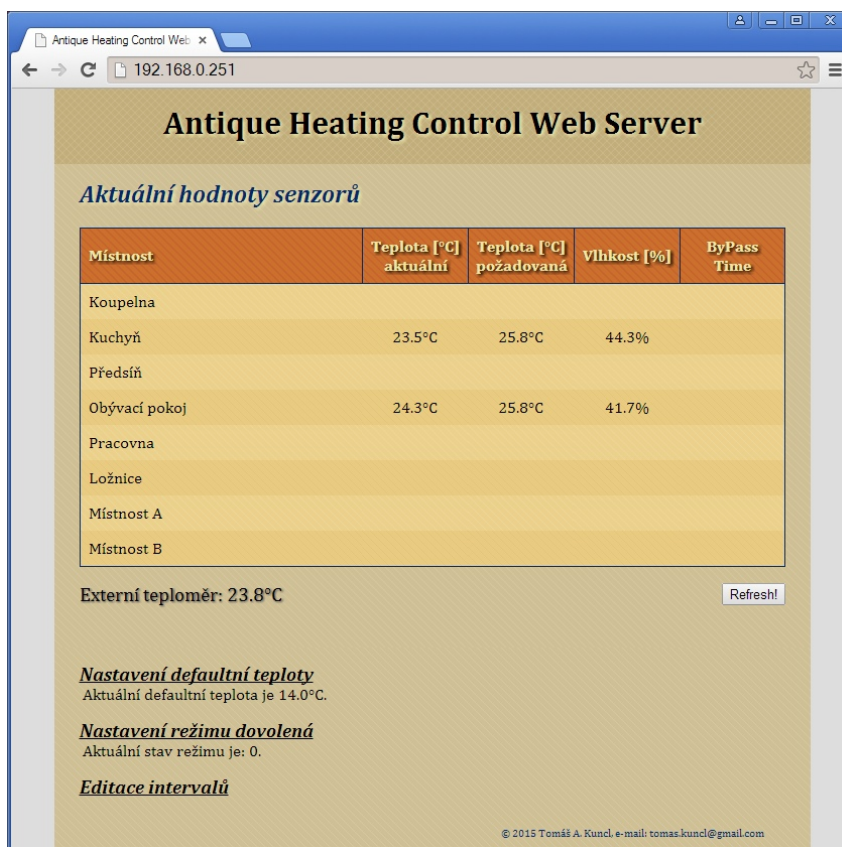
Na domovské stránce je v tabulce zobrazen přehled jednotlivých okruhů s aktuálními naměřenými hodnotami z připojených a komunikujících terminálů (obr. 41). Pod tabulkou je vypsána hodnota změřené teploty externím teploměrem, nastavená defaultní teplota a stav režimu dovolená. Klepnutím na řádek s okruhem se zobrazí stránka s možností nastavení bypass režimu (obr. 42), který je po zadání teploty a doby jeho trvání aktivován.

<sup>1</sup> „ - Vytvíváte a testujete ve Firefoxu. Všechno vypadá dobře a švihácky.

- Testujete v Safari a Opeře. Stále to vypadá dobře.

- Testujete v IE/Win; po shlédnutí výsledku spácháte harakiri.“

J. Croff, I. Lloyd, D Rubin: Mistrovství v CSS, [32]



Obrázek 42 - Domovská stránka webového rozhraní pro ovládání systému

Zbývající čas bypass režimu je pak u příslušného okruhu/místnosti zobrazen ve sloupci „ByPass Time“. Autorova nechuť k automatickým blikajícím vteřinovým reloadům/refreshům byla příčinou vložení tlačítka [Refresh!] pro aktualizaci údajů ze systému na domovské stránce <sup>1</sup>.



Obrázek 41 - Nastavení bypass režimu ve webovém rozhraní

<sup>1</sup> Automatický refresh byl přesto zachován s neobtěžujícím časováním 300s



Na obrázcích 43 a 44 jsou zobrazeny stránky pro editaci defaultní teploty a zapnutí (resp. vypnutí) režimu dovolená, přístupné po klepnutí na příslušné nadpisy na domovské stránce.



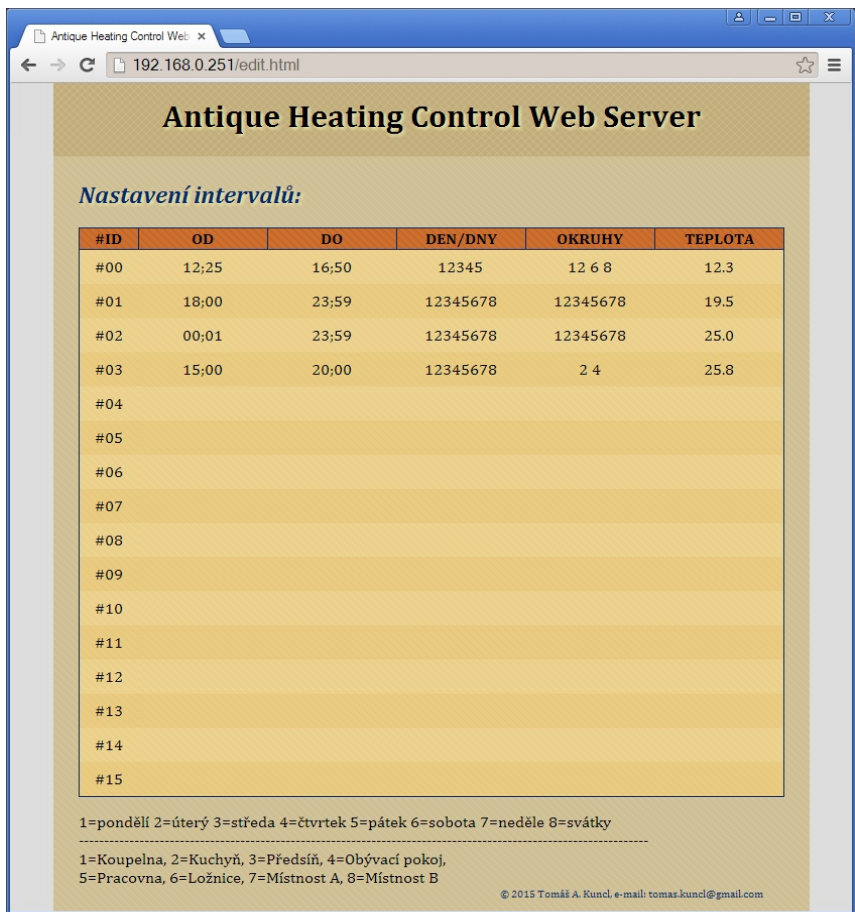
Obrázek 43 - Nastavení defaultní teploty ve webovém rozhraní



Obrázek 44 - Ovládání režimu Dovolená ve webovém prohlížeči

Přehled nastavení jednotlivých uživatelských intervalů, nutných pro smysluplný chod celého systému je na stránce přístupné po klepnutí na nadpis v domovské stránce Editace intervalů (obr. 45).

V každém ze šestnácti intervalů je definována *teplota*, čas *od* a *do* kdy je tato teplota systémem udržována, dále *dny* v týdnu, kdy je interval aktivní a nakonec *okruhy*, na které se interval aplikuje. Algoritmus výpočtu požadované teploty je nastaven tak, že nejvyšší prioritu má režim Dovolená, pak pro příslušný okruh režim bypass a nakonec nastavení v intervalu. Vícenásobné nastavení ve shodném čase a místě je řešeno principem vyšší bere, tedy v případě konfliktu je udržována nejvyšší teplota z možných platných nastavení.



Obrázek 45 - Přehled nastavení intervalů ve webovém prohlížeči

Na obrázku 46 je webová stránka s editačními poličky pro nastavení jednotlivých parametrů vybraného intervalu, přístupná po klepnutí na řádek s požadovaným intervalem.



Obrázek 46 - Nastavení parametru intervalu ve webovém rozhraní

## 6 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout, zhotovit a naprogramovat systém víceokruhového vytápění obytných prostor s koncepcí centrální jednotky a terminálů umístěných v jednotlivých obytných zónách. Návrhy schémat a DPS byly vytvořeny v prostředí Altium Designer, zdrojové kódy pro procesory v Atmel Studiu a www stránky v textovém editoru PSPad. Prostředí Altium sice disponuje rozsáhlými kontrolními mechanismy, proti lidskému faktoru jsou však někdy bezradné. Při vytváření součástky tranzistoru 2N7002 jsem díky nedůslednému studiu datasheetu zvolil sice správné pouzdro SOT23, leč s nesprávným číslováním vývodů, důsledkem čehož bylo potřeba sázet všechny tyto tranzistory převrácené a navíc ještě pootočené. V příložených výkresech je již tato chyba odstraněna. Oživení centrální jednotky i terminálů a jejich vzájemné komunikace pak již proběhlo bez problémů.

Vývoj firmwaru je dlouhodobý, v podstatě nikdy nekončící proces, reagující jak na nové požadavky, tak i na odhalené chyby v kódu, nebo hůře, v celém algoritmu. Systém v současné podobě je schopný udržovat teplotu v osmi nezávislých okruzích podle nastavení, které je plně editovatelné z webového prohlížeče. Mimo-systémové zásahy do regulace lze učinit jak z jednotlivých terminálů, tak i z webového rozhraní vzdáleného dohledu prostřednictvím režimu bypass. Jako zcela nedostatečné se (dle autorovy manželky) jeví současné zobrazení teploty z externího senzoru pouze ve webovém rozhraní vzdáleného dohledu a bude jej třeba vizualizovat i ve všech terminálech jako další obrazovku. Pro případné budoucí rozšíření lze centrální jednotku doosadit flash pamětí pro sběr, uchování a následnou vizualizaci datových řad ze senzorů.

Skutečnou podobu všech provozních vlastností a záměrů autora návrhu však ukáže až plánované nasazení systému do reálného provozu...

## 7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ

- [1] J. Pokorný (2012). *Svázání fyziologického modelu s modelem tepelného komfortu*. [Online]. Dostupné na: [http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=59360](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=59360) [cit. 19. března 2015]
- [2] H. Marais (2008, duben). *RS-485/RS-422 Circuit Implementation Guide*. [Online]. Dostupné na: [http://www.analog.com/static/imported-files/application\\_notes/AN-960.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/application_notes/AN-960.pdf) [cit. 07. února 2015]
- [3] Maxim Integrated Inc. (2008, srpen). *DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer - Datasheet*. [Online]. Dostupné na: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf> [cit. 01. února 2014]
- [4] G. M. Paretas (2007, září). *Using DS18B20 digital temperature sensor on AVR microcontrollers*. [Online]. Dostupné na: [http://teslabs.com/openplayer/docs/docs/other/ds18b20\\_pre1.pdf](http://teslabs.com/openplayer/docs/docs/other/ds18b20_pre1.pdf) [cit. 15. března 2011]
- [5] Aosong Electronics Co.,Ltd (2015, únor). *AM2302 Product manual*. [Online]. Dostupné na: <http://meteobox.tk/files/AM2302.pdf> [cit. 01. února 2015]
- [6] Semiconductor Components Industries (2013, květen). *CS51411, CS51412, CS51413, CS51414 - datasheet*. [Online]. Dostupné na: [http://www.onsemi.com/pub\\_link/Collateral/CS51411-D.PDF](http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/CS51411-D.PDF) [cit. 01. února 2015]
- [7] Atmel Corporation (2014, srpen). *Documents for ATmega128A, Datasheet Complete (rev.I)*. [Online]. Dostupné na: [http://www.atmel.com/Images/Atmel-8151-8-bit-AVR-ATmega128A\\_Datasheet.pdf](http://www.atmel.com/Images/Atmel-8151-8-bit-AVR-ATmega128A_Datasheet.pdf) [cit. 18. listopadu 2014]
- [8] Connect One Ltd. (2009, červenec). *Nano SocketLAN™ Data Sheet (ver.1.20)*. [Online]. Dostupné na: [http://www.connectone.com/wp-content/uploads/2012/05/Nano\\_Socket\\_LAN\\_DS.pdf](http://www.connectone.com/wp-content/uploads/2012/05/Nano_Socket_LAN_DS.pdf) [cit. 04. března 2014]
- [9] V. Slinták. (2011, říjen) Konverze mezi 5V a 3,3V logikou. [Online]. Dostupné na: <http://uart.cz/253/konverze-mezi-5v-a-3v-logikou/>
- [10] M. Poupa. (2002) Vše o času. [Online]. Dostupné na: <http://home.zcu.cz/~poupa/cas.html>

- [11] Maxim Integrated Inc. (2008, únor). *DS1307 I<sup>2</sup>C Real-Time Clock - datasheet*. [Online]. Dostupné na: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1307.pdf> [cit. 02. března 2013]
- [12] IVAR CS spol. s r. o. *Elektrotermická hlavice TE3041 - technický list*. [Online]. Dostupné na: [http://www.ivarcs.com/?download=/p.ivar.te3040\\_te3041/eh\\_te\\_3040-3041-3061.pdf](http://www.ivarcs.com/?download=/p.ivar.te3040_te3041/eh_te_3040-3041-3061.pdf) [cit. 19. května 2013]
- [13] Texas Instruments Inc. (2013, únor). *ULN2003A - datasheet*. [Online]. Dostupné na: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/uln2003a.pdf> [cit. 19. května 2013]
- [14] SHARP Corporation (2006, září). *PR36MF51 datasheet*. [Online]. Dostupné na: [http://sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/pr36mf51\\_e.pdf](http://sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/pr36mf51_e.pdf) [cit. 19. května 2013]
- [15] Allegro MicroSystems Inc. (2014). *A8498 - datasheet*. [Online]. Dostupné na: <http://www.allegromicro.com/~media/Files/Datasheets/A8498-Datasheet.pdf> [cit. 07. února 2015]
- [16] P. Fleury. (2006) AVR-Software. [Online]. Dostupné na: <http://homepage.hispeed.ch/peterfleury/avr-software.html>
- [17] Connect One Ltd. (2007, březen). *Nano SocketLAN<sup>TM</sup> - NTP - Theory of Operation*. [Online]. Dostupné na: [http://www.connectone.com/wp-content/uploads/2012/05/iChip-NTP-Client-Ver-1\\_01.pdf](http://www.connectone.com/wp-content/uploads/2012/05/iChip-NTP-Client-Ver-1_01.pdf) [cit. 11. října 2014]
- [18] C. Tøndering. (2014, leden) Frequently Asked Questions about Calendars. [Online]. Dostupné na: <http://www.tondering.dk/clus/calendar.html>
- [19] Maxim Integrated Inc. (2012, leden). *DS2482-100 Single-Channel 1-Wire Master*. [Online]. Dostupné na: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS2482-100.pdf> [cit. 24. března 2013]
- [20] Maxim Integrated Inc. (2009, červenec). *ESD Protection Diode with Resistors*. [Online]. Dostupné na: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS9503.pdf> [cit. 25. března 2013]
- [21] Maxim Integrated Inc. (2012). *Guidelines for Reliable Long Line 1-Wire<sup>®</sup>*. [Online]. Dostupné na: <http://pdfserv.maximintegrated.com/en/an/AN148.pdf> [cit. 25. prosince 2012]

- [22] P. Stang. (2006, říjen) Library of routines for AVR microcontollers. [Online]. Dostupné na: <http://www.amnicoll.com/avr-liberty-dox/index.html>
- [23] P. Herout, *Učebnice jazyka C*. České Budějovice: nakladatelství KOPP, 2010.
- [24] Atmel Corporation (2014, únor). *Documents for ATmega32A, Datasheet Complete (rev.E)*. [Online]. Dostupné na: [http://www.atmel.com/Images/Atmel-8155-8-bit-Microcontroller-AVR-ATmega32A\\_Datasheet.pdf](http://www.atmel.com/Images/Atmel-8155-8-bit-Microcontroller-AVR-ATmega32A_Datasheet.pdf) [cit. 18. listopadu 2014]
- [25] V. Záhlava (2013, březen). *Vlastnosti DPS*. [Online]. Dostupné na: [http://www.micro.feld.cvut.cz/home/zahlava/ppn/prednasky/vlastnosti\\_DPS.pdf](http://www.micro.feld.cvut.cz/home/zahlava/ppn/prednasky/vlastnosti_DPS.pdf) [cit. 19. února 2015]
- [26] Micron Technology, Inc. (2014, leden). *Micron M25P16 Serial Flash Embedded*. [Online]. Dostupné na: <http://www.micron.com/~media/documents/products/datasheet/nor-flash/serial-nor/m25p/m25p16.pdf> [cit. 08. února 2015]
- [27] (2011, září). *2N7002 - Product data sheet*. [Online]. Dostupné na: [http://www.nxp.com/documents/data\\_sheet/2N7002.pdf](http://www.nxp.com/documents/data_sheet/2N7002.pdf) [cit. 07. února 2015]
- [28] D. Matoušek, *Číslicová technika - základy konstruktérské praxe*. Praha: BEN - technická literatura, 2001.
- [29] Orient display Ltd. (2005, březen). *AMC2004 - datasheet*. [Online]. Dostupné na: <http://www.eio.com/admin/images/Downloads/AMC2004A.pdf> [cit. 20. srpna 2012]
- [30] RETRY s.r.o. (2012) České manuály pro Altium Designer. [Online]. Dostupné na: <http://www.edatools.cz/support/uvodad.html>
- [31] Kingbright Electronic Co, Ltd (2014, únor). *L-937EYW Bi-Color Indicator Lamp - datasheet*. [Online]. Dostupné na: [http://www.kingbright.com/attachments/file/psearch/000/00/00/L-937EYW\(Ver.13A\).pdf](http://www.kingbright.com/attachments/file/psearch/000/00/00/L-937EYW(Ver.13A).pdf) [cit. 21. února 2015]
- [32] J. Croft, I. Lloyd, and D. Rubin, *Mistrouství v CSS*. Brno, Česká republika: Computer Press, a.s., 2007.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Blokové schéma regulačního systému .....	12
Obrázek 2 – Struktura zapojení zařízení na sběrnici RS485 v režimu Half-Duplex, převzato z [2].....	14
Obrázek 3 - Zapojení pro definování klidového stavu sběrnice, převzato z [2].....	15
Obrázek 4 - Blokové schéma terminálů regulačního systému .....	16
Obrázek 5 - Schéma zapojení $\mu$ -procesoru .....	17
Obrázek 6 - Schéma zapojení přepínače DIP .....	17
Obrázek 7 - Schéma zapojení budiče linky RS485.....	18
Obrázek 8 - Schéma připojení senzorů k $\mu$ -procesoru.....	19
Obrázek 9 - Schéma zapojení stavových LED a akustické signalizace.....	19
Obrázek 10 - Schéma zapojení tlačítek.....	20
Obrázek 11 - Schéma zapojení LCD displeje.....	20
Obrázek 12 - Schéma zapojení jednoho ze vstupů.....	21
Obrázek 13 - Schéma zapojení filtrace a ochrany napájení terminálu.....	21
Obrázek 14 - Schéma zapojení pulsního zdroje napětí .....	22
Obrázek 15 - Blokové schéma centrální jednotky regulačního systému .....	23
Obrázek 16 - Schéma zapojení $\mu$ -procesoru centrální jednotky .....	24
Obrázek 17 - Schéma zapojení rozhraní RS485 v centrální jednotce .....	25
Obrázek 18 - Schéma zapojení ethernetového modulu a převodníku úrovně.....	26
Obrázek 19 - Nano SocketLAN™.....	26
Obrázek 20 - Schéma zapojení modulu pro příjem časového razítka z vysílače DCF77 .....	27
Obrázek 21 - Schéma zapojení obvodu reálného času .....	27
Obrázek 22 - Schéma zapojení budiče sběrnice 1-Wire®.....	28
Obrázek 23 - Schéma zapojení vstupů alarmů .....	28
Obrázek 24 - Schéma zapojení paměti flash .....	29
Obrázek 25 - Schéma zapojení ovládání ventilů.....	29
Obrázek 26 - Instalovaná termohlavice IVAR.TE 3041 v plně otevřeném stavu .....	30
Obrázek 27 - Usměrnění a filtrace vstupního napětí.....	30
Obrázek 28 - Schéma zapojení napájecí hladiny $V_{33}$ .....	31
Obrázek 29 - Schéma zapojení napájecí hladiny $V_{CC}$ .....	31
Obrázek 30 - Vývojový diagram hlavní smyčky firmwaru terminálů.....	34
Obrázek 31 - Vývojový diagram zpracování paketu .....	35
Obrázek 32 - Vývojový diagram sestavení paketu odpovědi.....	35
Obrázek 33 - Vývojový diagram hlavní smyčky programu centrální jednotky.....	37
Obrázek 34 - Vývojový diagram zpracování odpovědi.....	38
Obrázek 35 - Vývojový diagram sestavení dotazu .....	38
Obrázek 37 - Terminál s připojeným čidlem AM2302.....	42

Obrázek 36 - Osazená DPS terminálu.....	43
Obrázek 38 - Osazená DPS centrální jednotky .....	43
Obrázek 39 - Obrazovky terminálu .....	45
Obrázek 40 - Obrazovky centrální jednotky.....	46
Obrázek 42 - Nastavení bypass režimu ve webovém rozhraní.....	47
Obrázek 41 - Domovská stránka webového rozhraní pro ovládání systému .....	47
Obrázek 43 - Nastavení defaultní teploty ve webovém rozhraní.....	48
Obrázek 44 - Ovládání režimu Dovolena ve webovém prohlížeči.....	48
Obrázek 45 - Přehled nastavení intervalů ve webovém prohlížeči .....	49
Obrázek 46 - Nastavení parametru intervalu ve webovém rozhraní .....	49

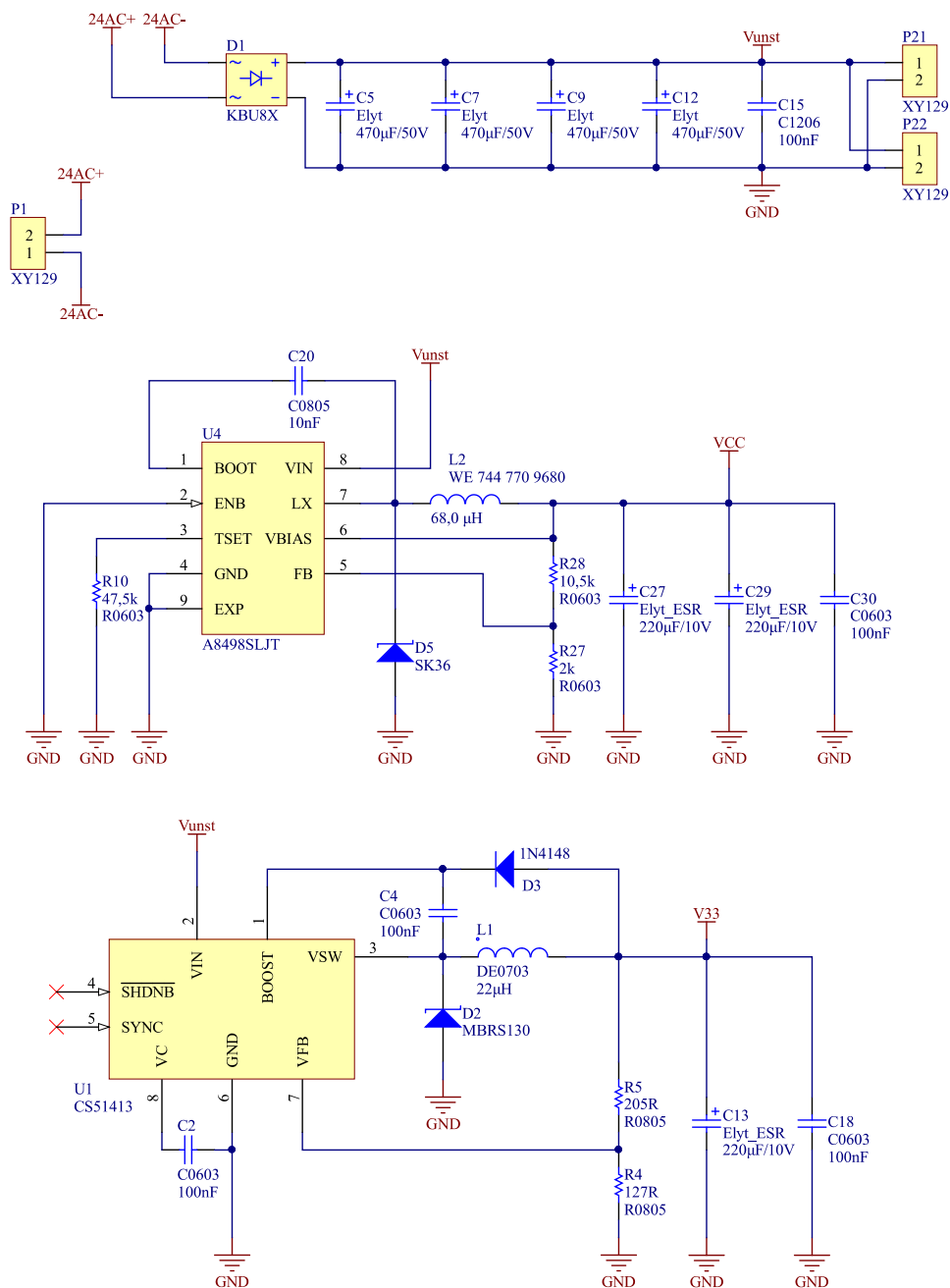
## SEZNAM TABULEK

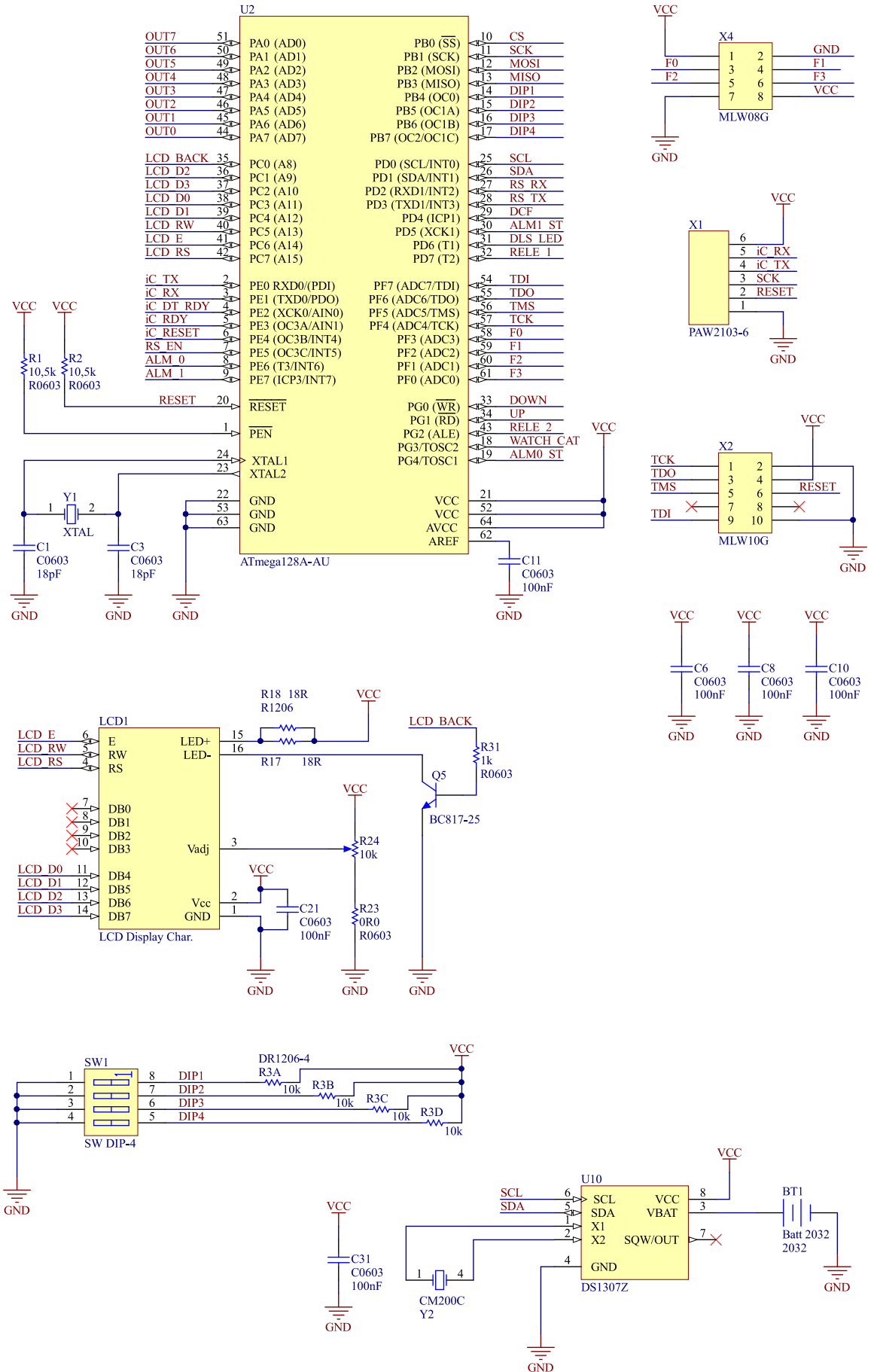
Tabulka 1 - Struktura MOSI a MISO paketů.....	33
---	----

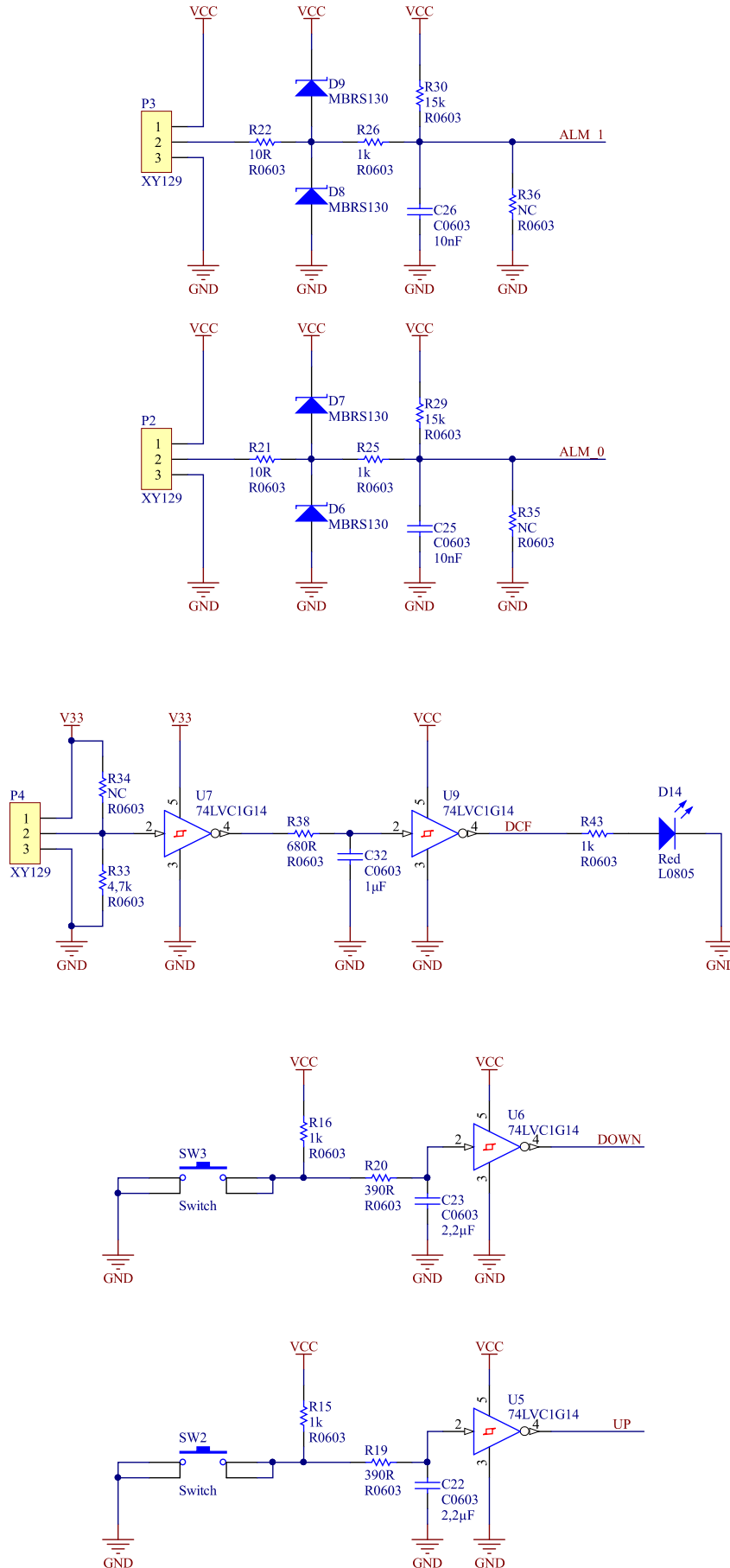


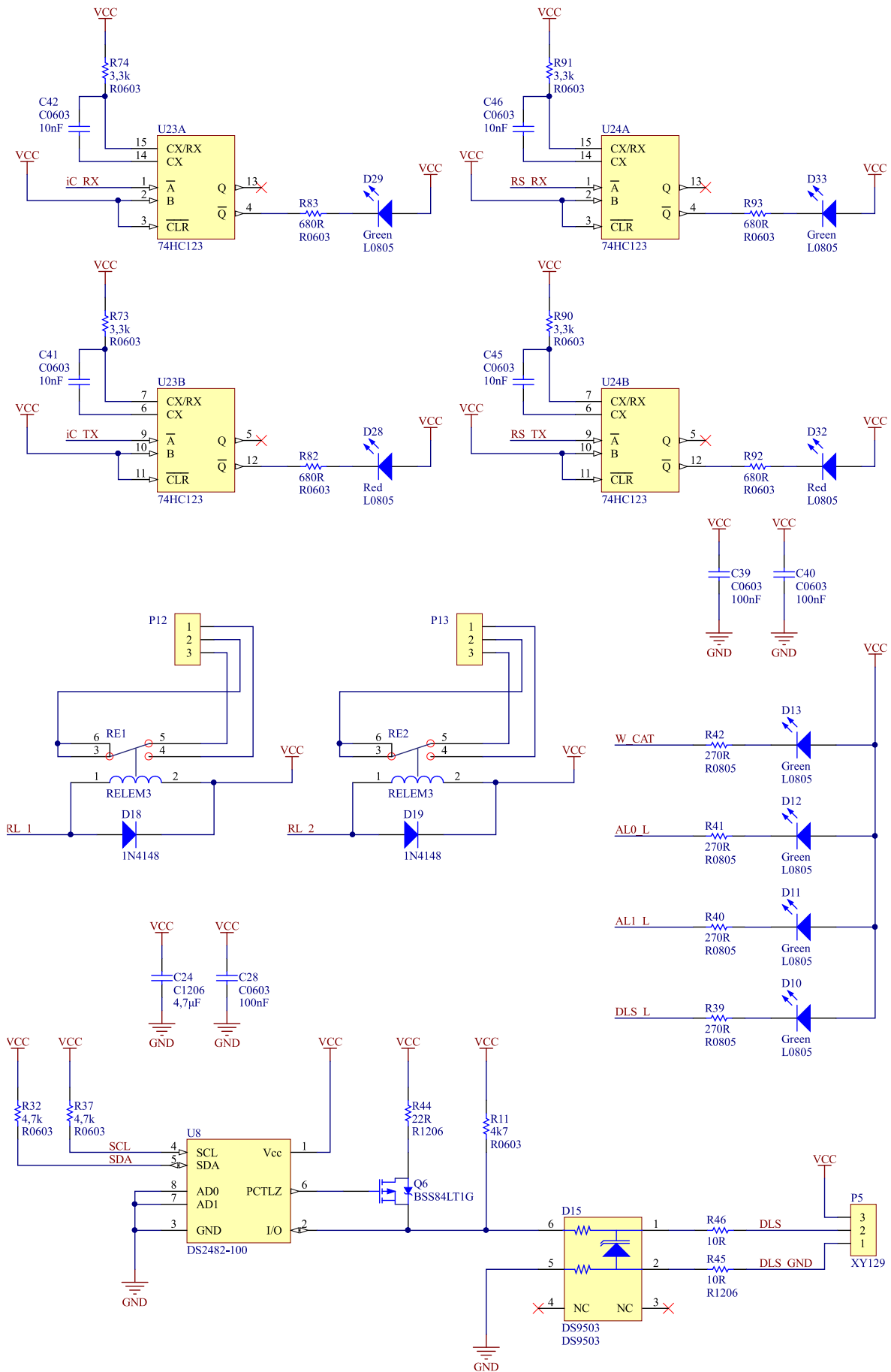
# PŘÍLOHY

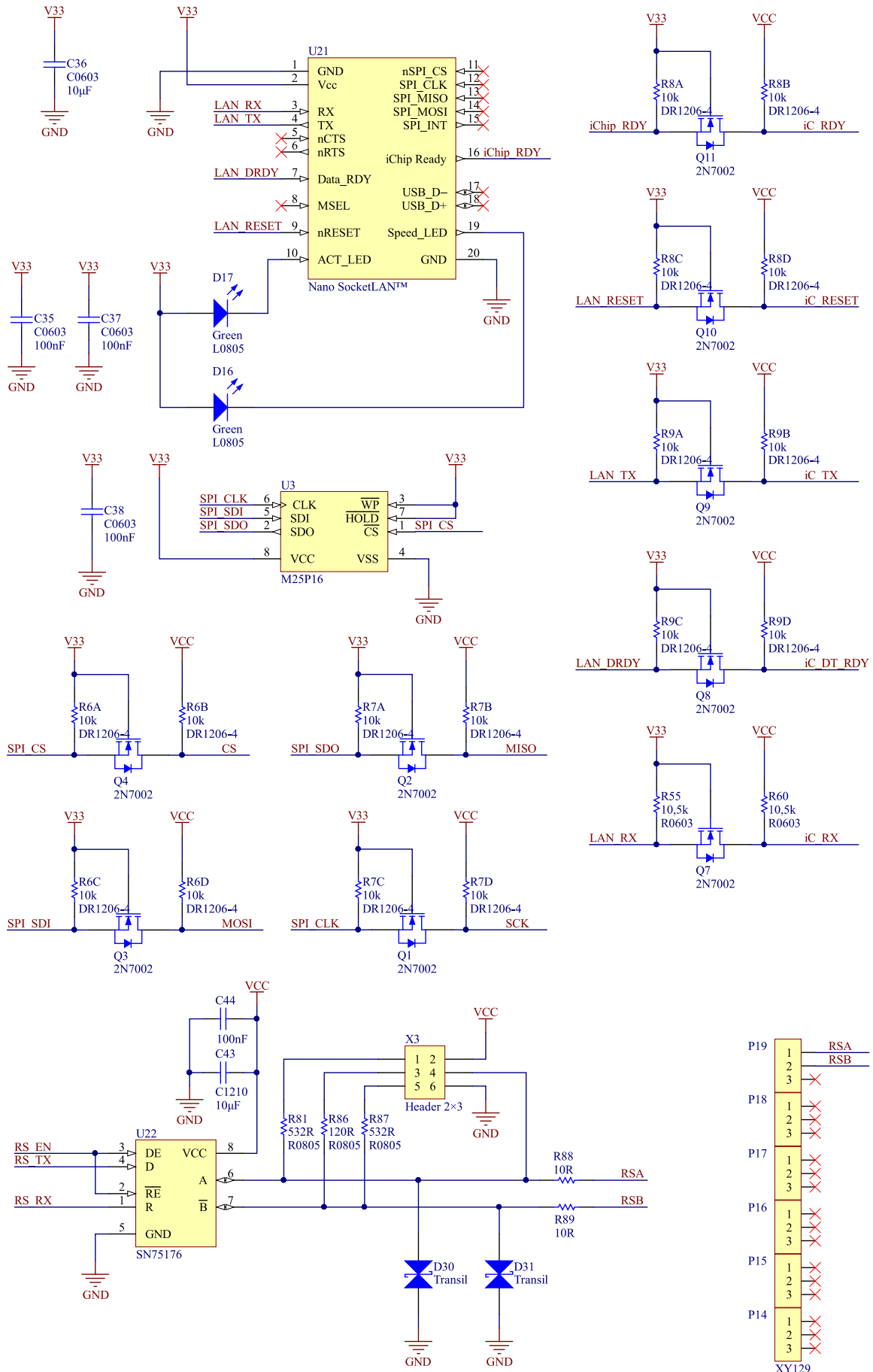
## A. Schéma zapojení centrální jednotky

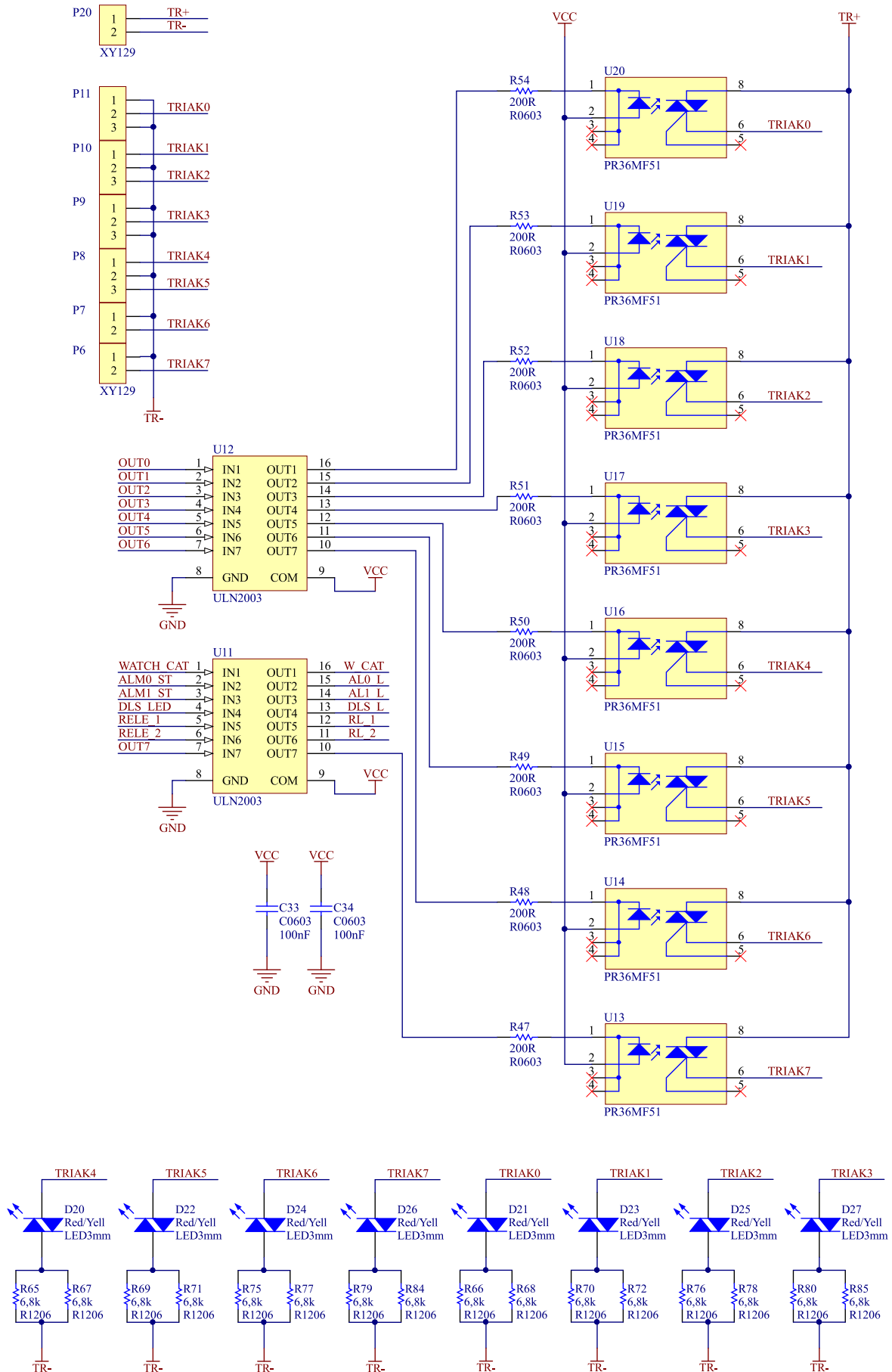




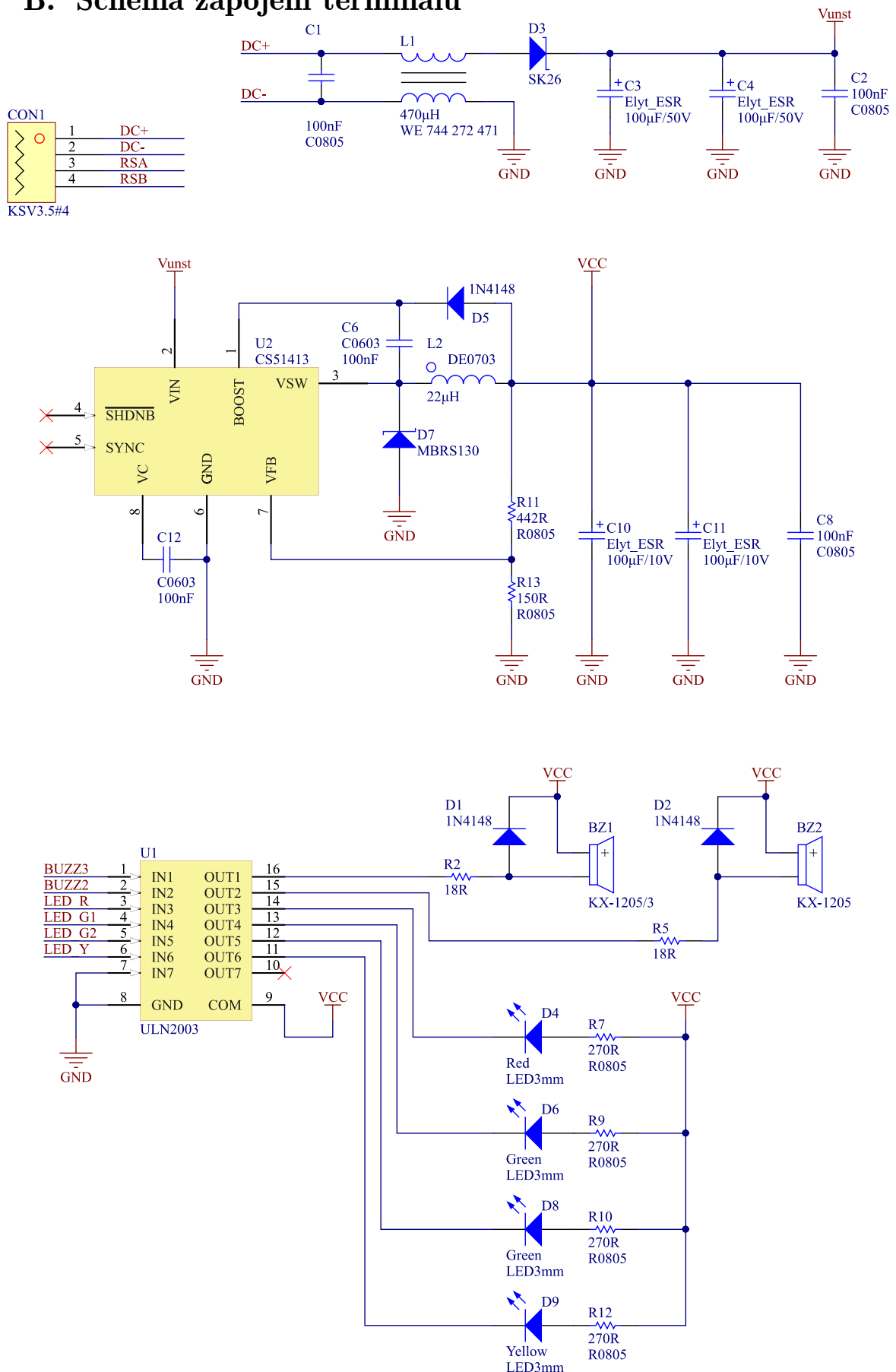


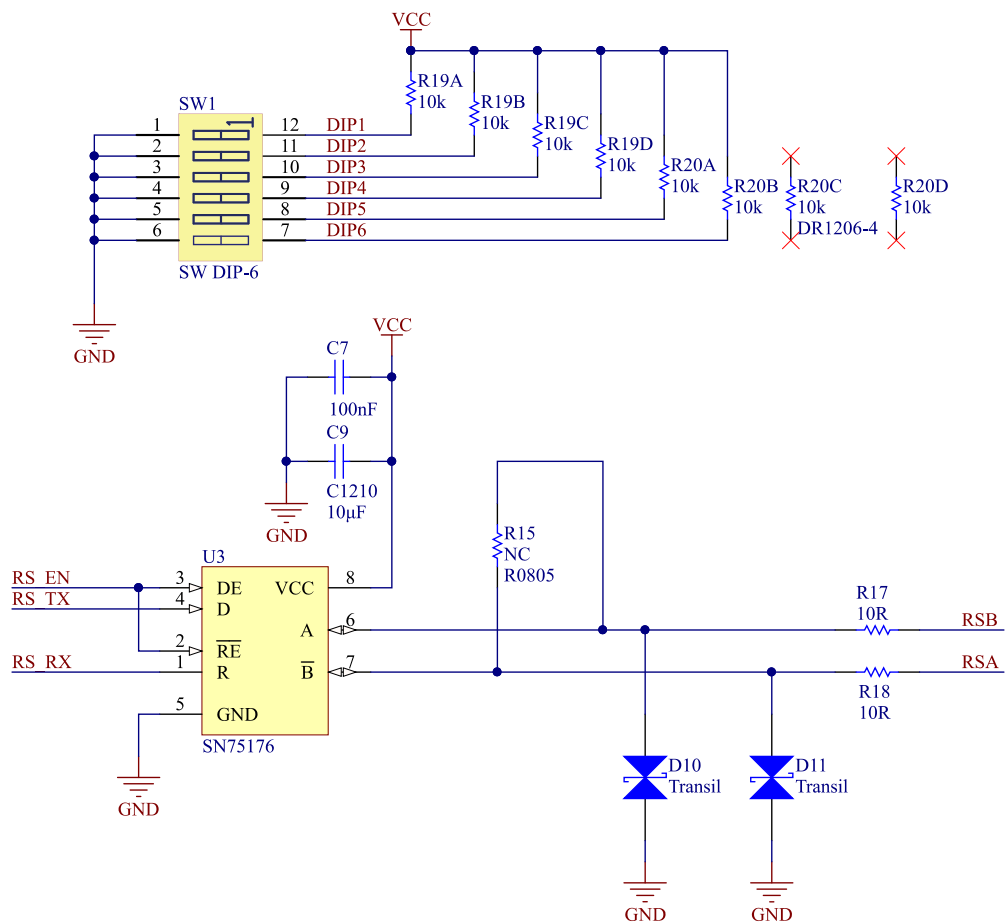
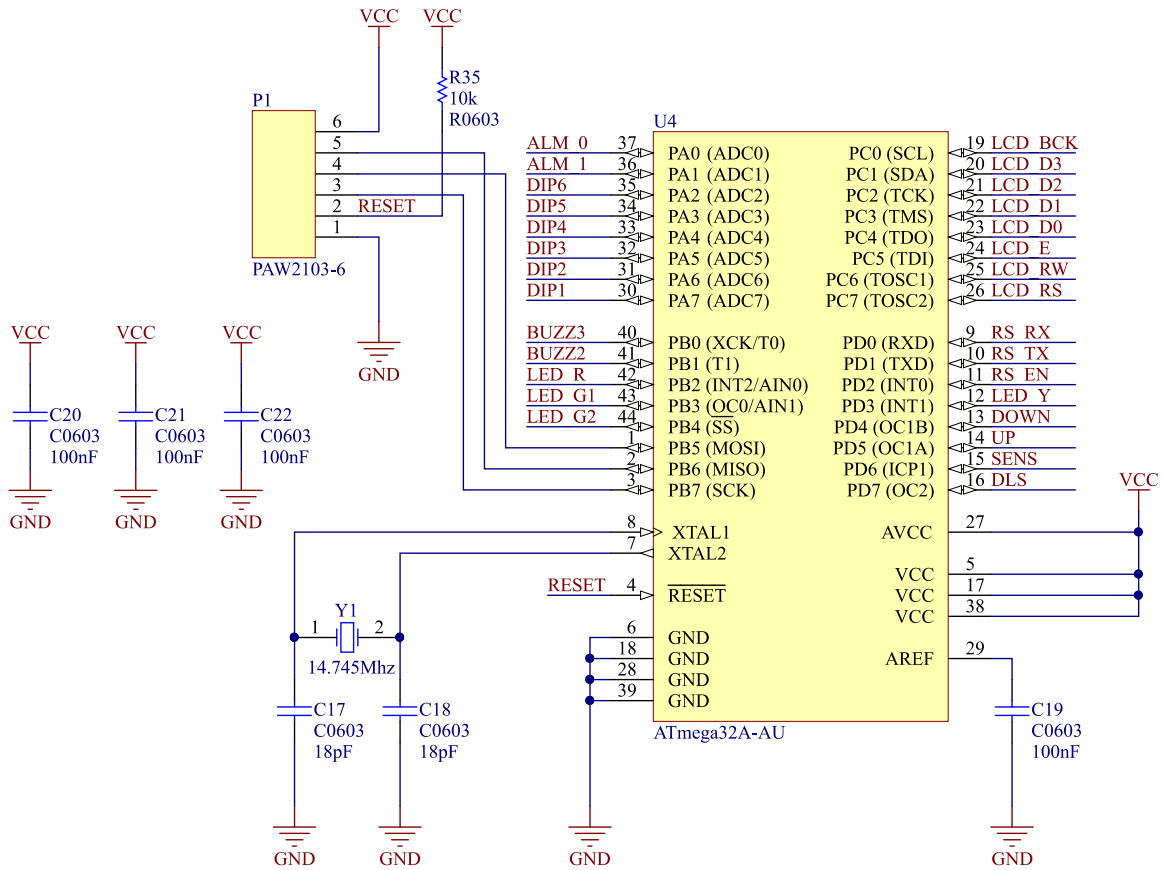




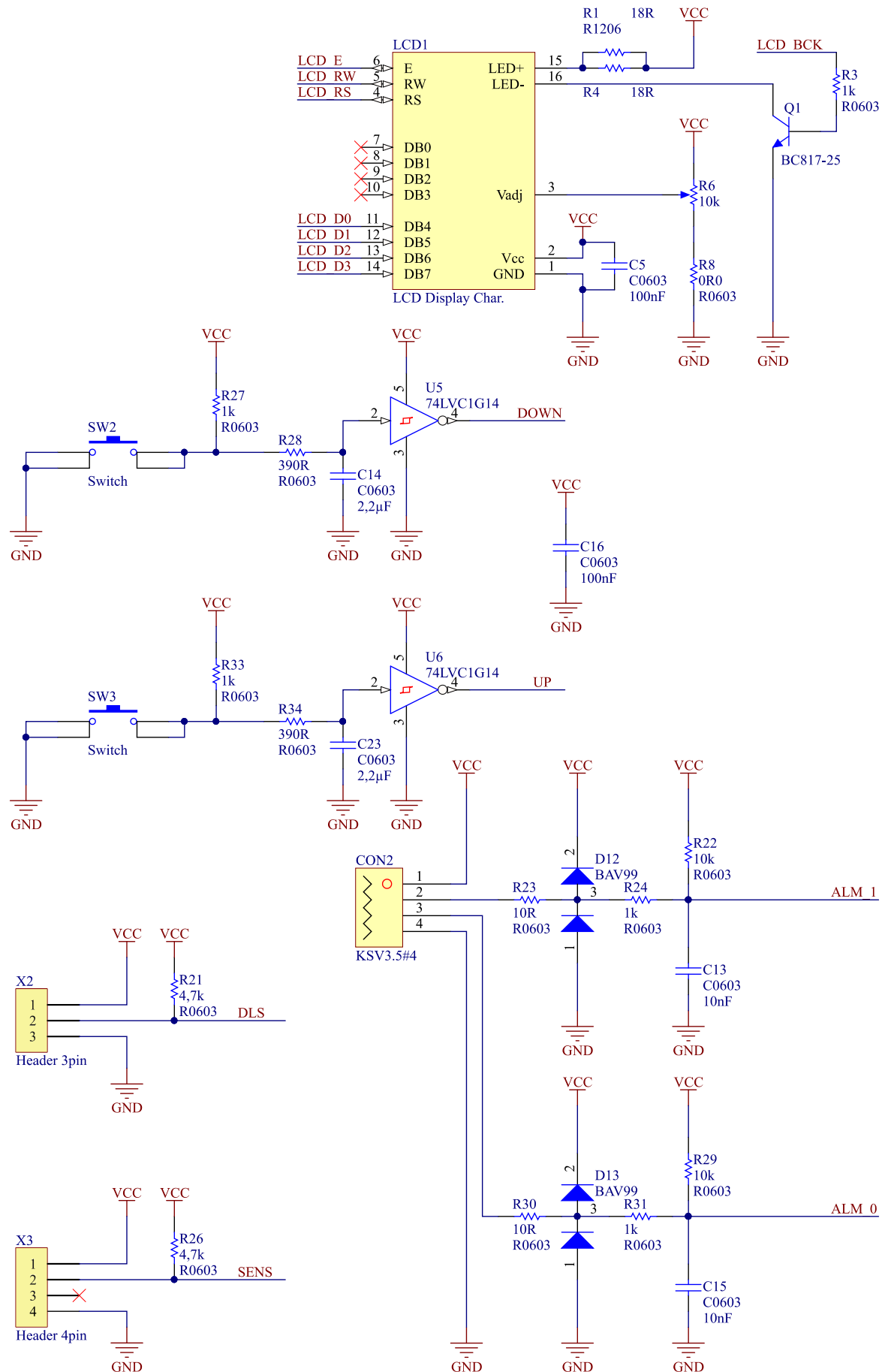


## B. Schéma zapojení terminálů





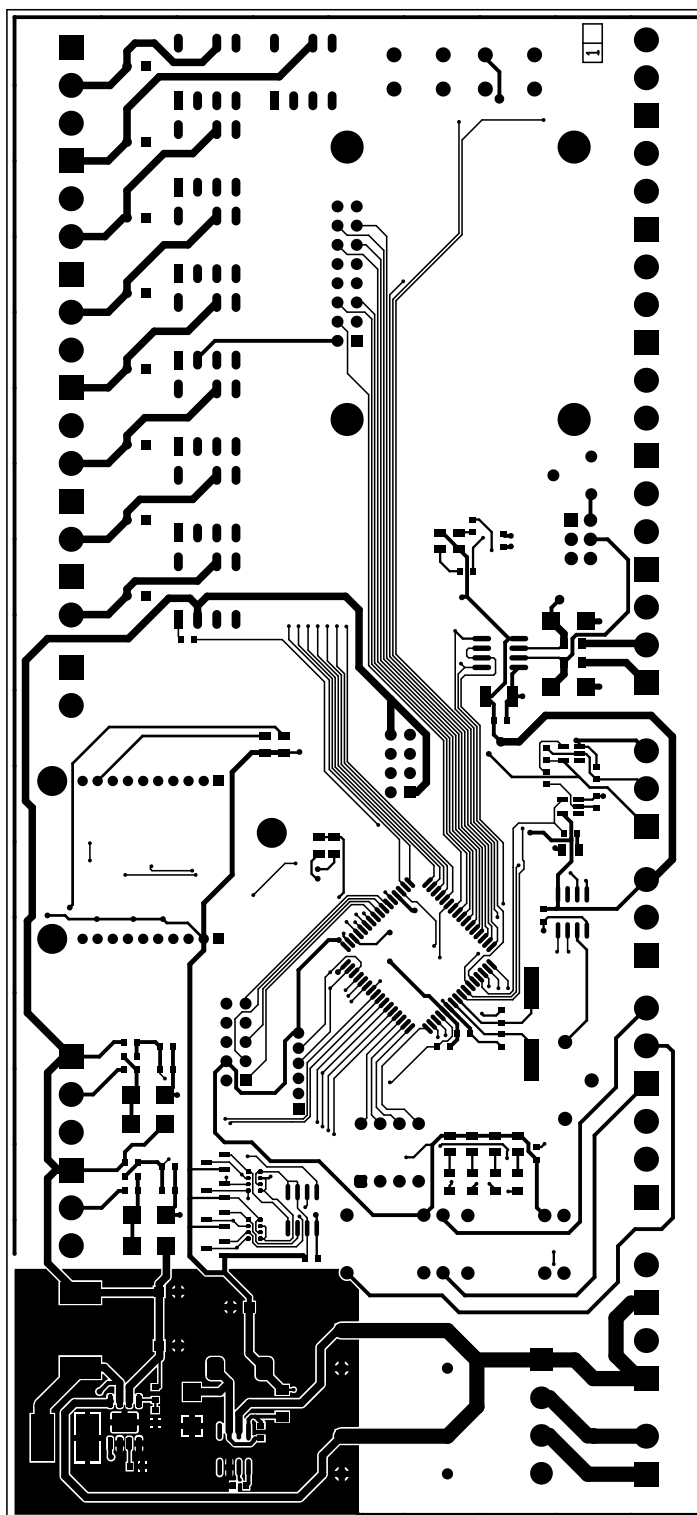




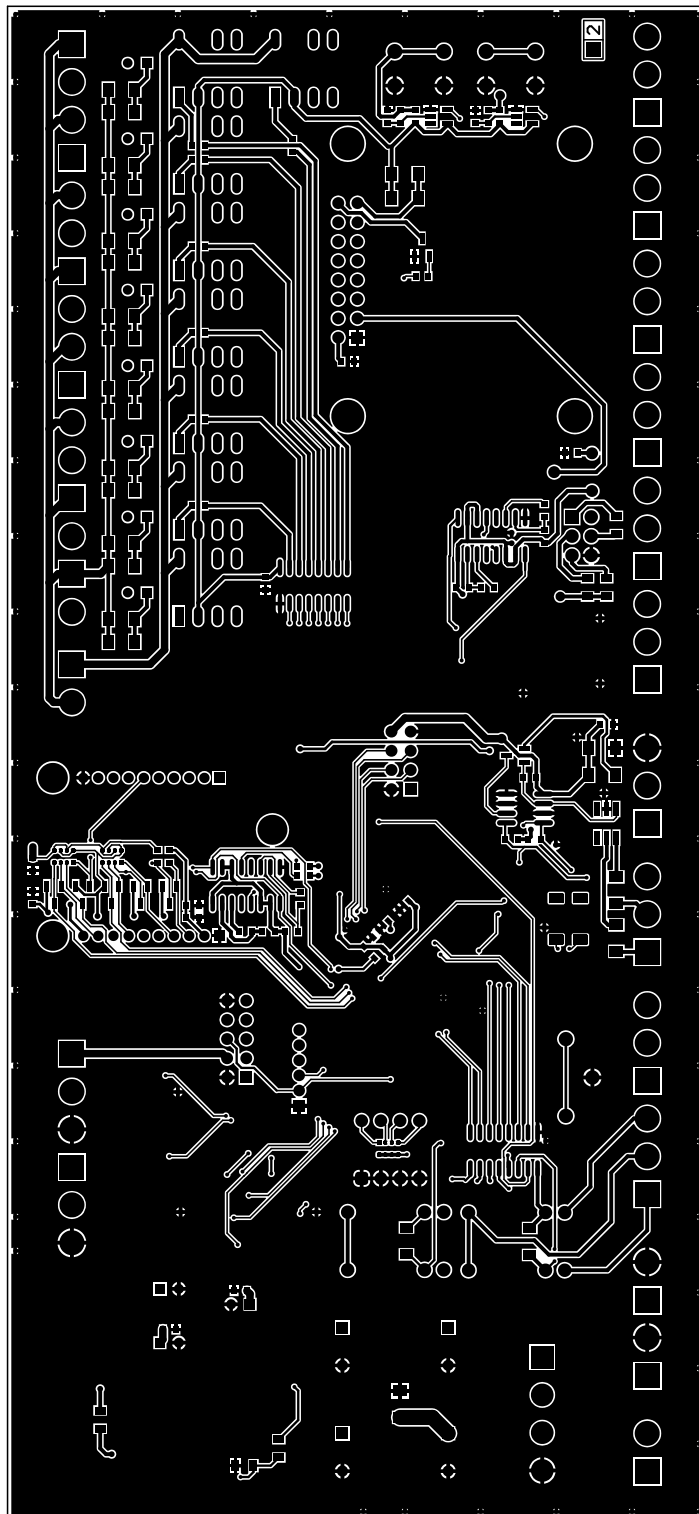
### C. Výkresy desky s plošnými spoji centrální jednotky

Rozměry desky s plošnými spoji jsou  $200 \times 92,5$  mm, všechny níže uvedené výkresy jsou v měřítku M1:1.

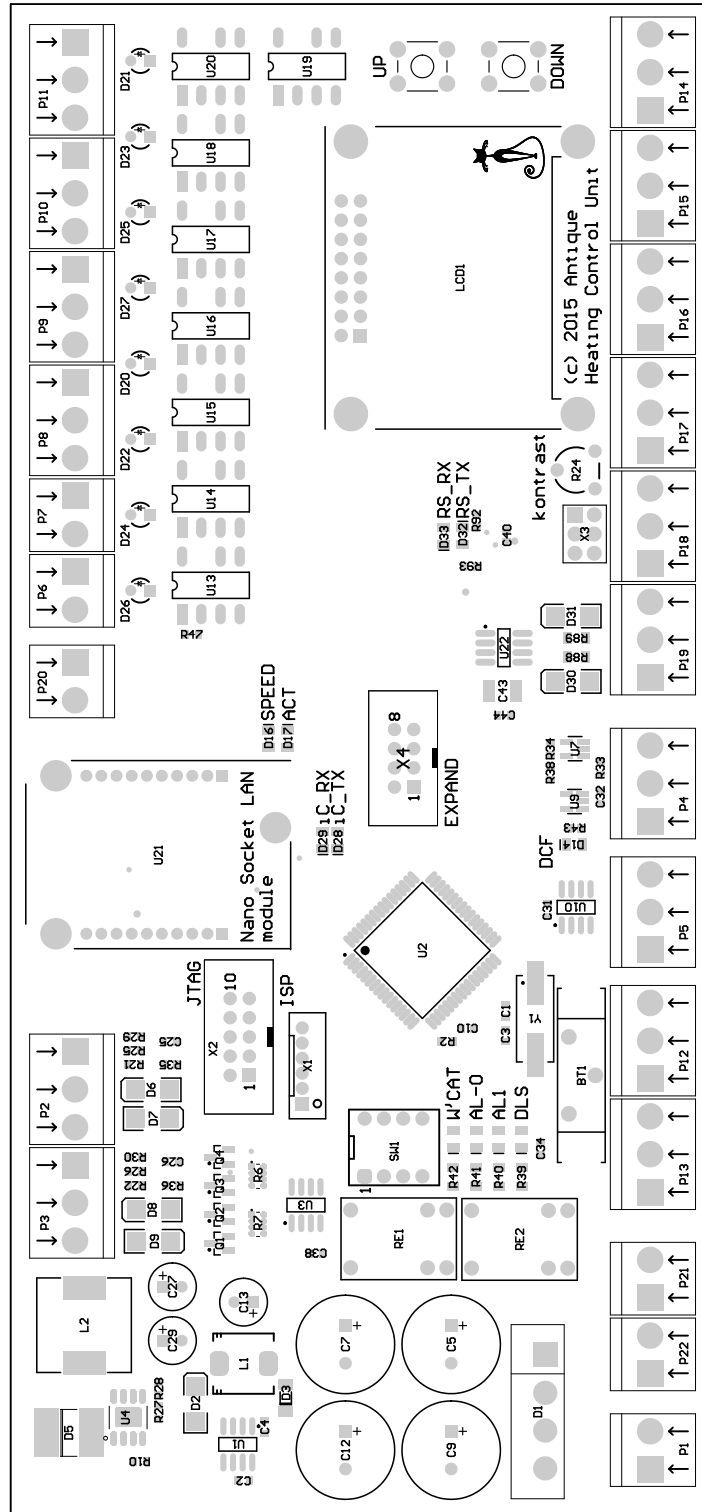
*Strana TOP*



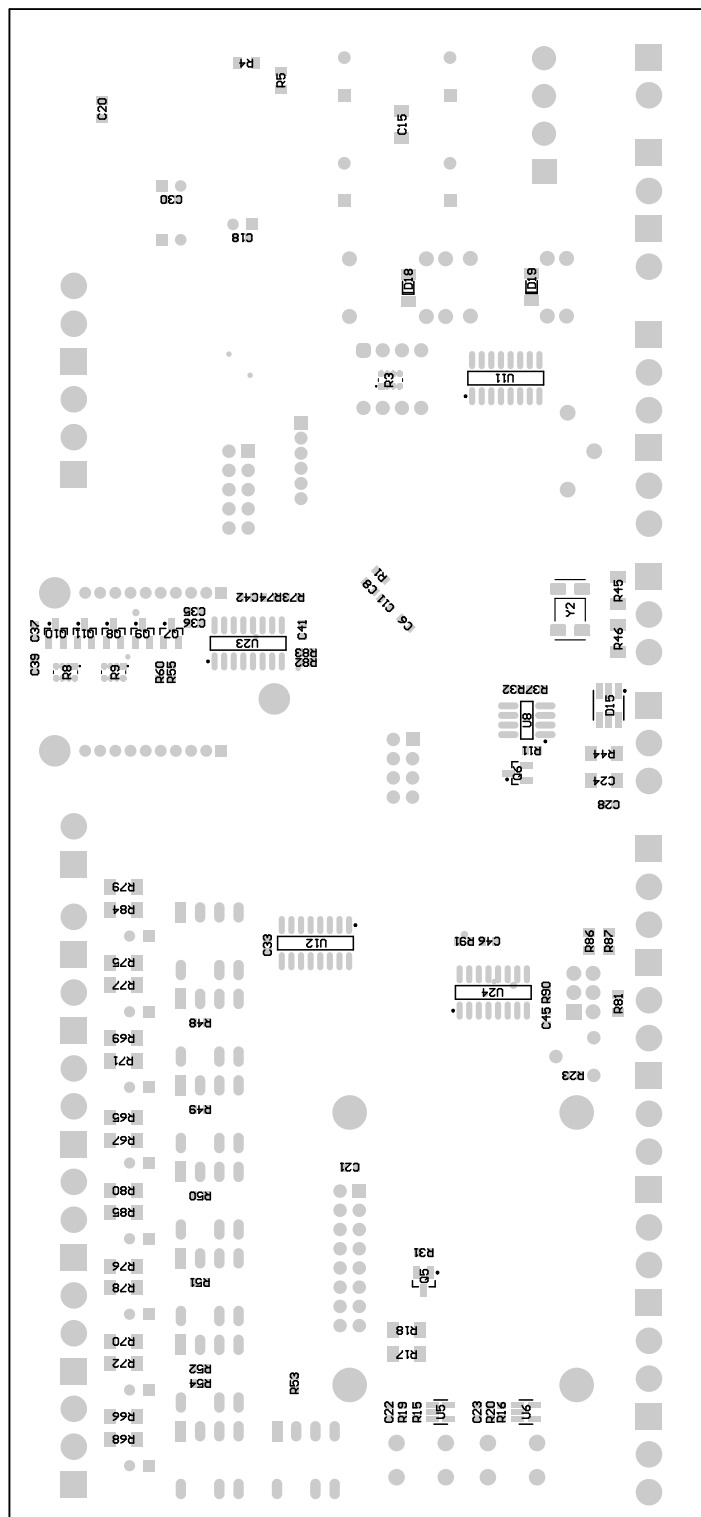
*Strana BOTTOM*



### Osazení strany TOP součástkami



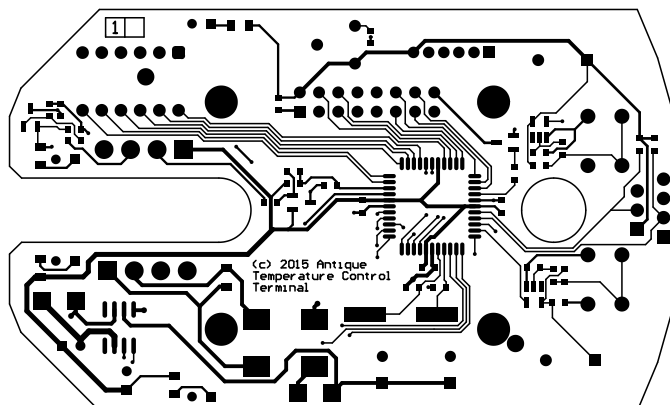
### Osazení strany *BOTTOM* součástkami



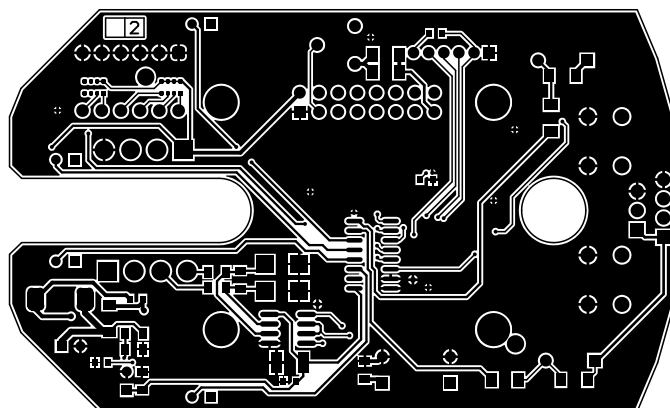
## D. Výkresy desky s plošnými spoji terminálu

Rozměry desky s plošnými spoji jsou  $88,5 \times 53$  mm, všechny uvedené výkresy jsou v měřítku M1:1.

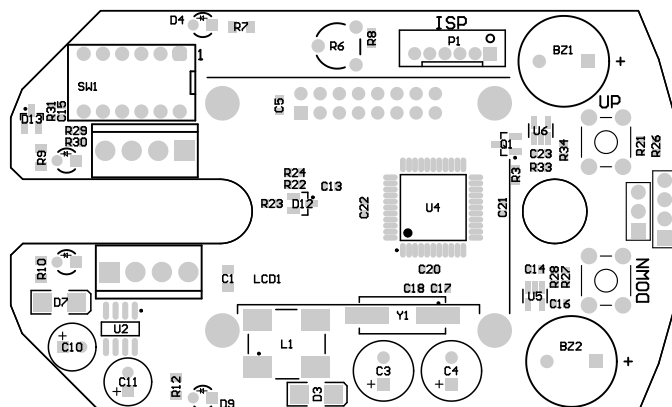
### *Strana TOP*



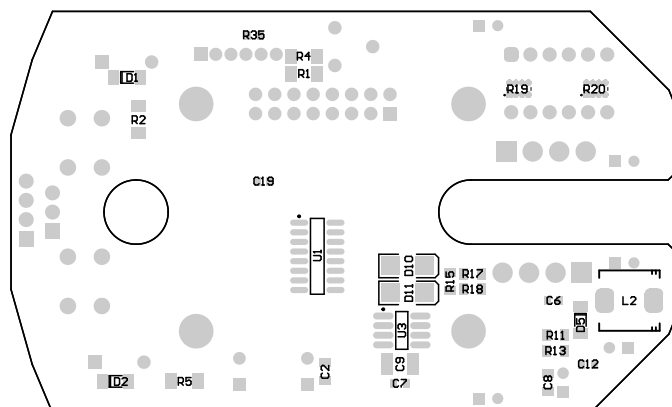
### *Strana BOTTOM*



*Osazení strany TOP součástkami*



*Osazení strany BOTTOM součástkami*



## E. Seznam součástek centrální jednotky (Bill of Materials)

Qty	Designator	Value	Footprint
1	BT1	Batt 2032	CR2032_V
2	C1, C3	18pF	SMD0603
19	C2, C4, C6, C8, C10, C11, C18, C21, C28, C30, C31, C33, C34, C35, C37, C38, C39, C40, C44	100nF	SMD0603
4	C5, C7, C9, C12	470µF/50V	CAPPR5-13x20
3	C13, C27, C29	220µF/10V	CAPPR2.5-6.3x11.5
1	C15	100nF	SMD1206
1	C20	10nF	SMD0805
2	C22, C23	2,2µF	SMD0603
1	C24	4,7µF	SMD1206
6	C25, C26, C41, C42, C45, C46	10nF	SMD0603
1	C32	1µF	SMD0603
1	C36	10µF	SMD0603
1	C43	10µF	SMD1210
1	D1	KBU8X	B250CXXXX
5	D2, D6, D7, D8, D9	MBRS130	SMB
3	D3, D18, D19	1N4148	SOD80C
1	D5	SK36	SMC/DO214AB
8	D10, D11, D12, D13, D16, D17, D29, D33	Green	LED0805
3	D14, D28, D32	Red	LED0805
1	D15	DS9503	DSO-C6/D4
8	D20, D21, D22, D23, D24, D25, D26, D27	LED3mm	LED3mm
2	D30, D31	Transil	SMB
1	L1	22 µH	DE0703
1	L2	56 µH	WE-PD XXL
1	LCD1	LCD Display Char.	LCD 8×2 char ATM0802A
6	P1, P6, P7, P20, P21, P22	XY129-2pin	CON XY129V-B_2pin
16	P2, P3, P4, P5, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19	XY129-3pin	CON XY129V-B_3pin
9	Q1, Q2, Q3, Q4, Q7, Q8, Q9, Q10, Q11	2N7002	SOT23_M
1	Q5	BC817-25	SOT-23A_M
1	Q6	BSS84LT1G	SOT23_M
6	R1, R2, R23, R28, R55, R60	10,5k	SMD0603
5	R3, R6, R7, R8, R9	10k	DR1206-4
1	R4	365R	SMD0805
1	R5	590R	SMD0805
1	R10	47,5k	SMD0603
6	R15, R16, R25, R26, R31, R43	1k	SMD0603
2	R17, R18	18R	SMD1206
2	R19, R20	390R	SMD0603



Qty	Designator	Value	Footprint
2	R21, R22	10R	SMD0603
1	R24	10k	PT-6 KV
1	R27	2k	SMD0603
2	R29, R30	15k	SMD0603
4	R11, R32, R33, R37	4,7k	SMD0603
3	R34, R35, R36	N.C.	SMD0603
5	R38, R82, R83, R92, R93	680R	SMD0603
4	R39, R40, R41, R42	270R	SMD0805
1	R44	22R	SMD1206
2	R45, R46	10R	SMD1206
8	R47, R48, R49, R50, R51, R52, R53, R54	200R	SMD0603
16	R65, R66, R67, R68, R69, R70, R71, R72, R75, R76, R77, R78, R79, R80, R84, R85	6,8k	SMD1206
4	R73, R74, R90, R91	3,3k	SMD0603
2	R81, R87	532R	SMD0805
1	R86	120R	SMD0805
2	R88, R89	10R	SMD0805
2	RE1, RE2	RELEM3	RELEM3
1	SW1	SW DIP-4	DIP4
2	SW2, SW3	Switch	Switch 6x6 mm
1	U1	CS51413	SO8_N
1	U2	ATmega128A-AU	64A_N
1	U3	M25P16	SO8_N
1	U4	A8498SLJT	LJ8-PinSOIC
4	U5, U6, U7, U9	74LVC1G14	SOT23-5
1	U8	DS2482-100	SOIC8N_M
1	U10	DS1307Z	SO8_N
2	U11, U12	ULN2003	SO16_N
8	U13, U14, U15, U16, U17, U18, U19, U20	S26MD01	DIP7
1	U21	Nano SocketLAN™	Nano SocketLAN
1	U22	SN75176	SOIC8N_M
2	U23, U24	74HC123	SO16_N
1	X1	PAW2103-6	PAW2103-6
1	X2	MLW10G	MLW10G
1	X3	Header 2x3	HDR2X3V
1	X4	MLW08G	MLW08G
1	Y1	14.7456 MHz	HC49/4H_SMX
1	Y2	32.768 kHz	CM2X0C

## F. Seznam součástek terminálu (Bill of Materials)

Qty	Designator	Value	Footprint
1	BZ1	KX-1205/3	KX-12xx
1	BZ2	KX-1205	KX-12xx
3	C1, C2, C8	100nF	SMD0805
2	C3, C4	100µF/50V	CAPPR3.5-8x12
9	C5, C6, C7, C12, C16, C19, C20, C21, C22	100nF	SMD0603
1	C9	10µF	SMD1210
2	C10, C11	220µF/10V	CAPPR2.5-6.3x11.5
2	C13, C15	10nF	SMD0603
2	C14, C23	2,2µF	SMD0603
2	C17, C18	18pF	SMD0603
2	CON1, CON2	KSV3.5#4	KSV3.5#4
3	D1, D2, D5	1N4148	SOD80C
1	D3	SK26	SMB
1	D4	red	LED3mm
2	D6, D8	green	LED3mm
1	D7	MBRS130	SMB
1	D9	yellow	LED3mm
2	D10, D11	Transil	SMB
2	D12, D13	BAV99	SOT23_M
1	L1	470µH	WE-SL5
1	L2	22µH	DE0703
1	LCD1	LCD Display Char.	LCD 8×2 char ATM0802A
1	P1	PAW2103-6	PAW2103-6
1	Q1	BC817-25	SOT-23A_M
4	R1, R2, R4, R5	18R	SMD1206
5	R3, R24, R27, R31, R33	1k	SMD0603
1	R6	10k	PT-6 KV
4	R7, R9, R10, R12	270R	SMD0805
4	R8, R22, R29, R35	10k	SMD0603
1	R11	442R	SMD0805
1	R13	150R	SMD0805
1	R15	NC	SMD0805
2	R17, R18	10R	SMD0805
2	R19, R20	10k	DR1206-4
2	R21, R26	4,7k	SMD0603
2	R23, R30	10R	SMD0603
2	R28, R34	390R	SMD0603
1	SW1	SW DIP-6	DIP6
2	SW2, SW3	Switch	Switch 6x6 mm
1	U1	ULN2003	SO16_N

Qty	Designator	Value	Footprint
1	U2	CS51413	SO8_N
1	U3	SN75176	SOIC8N_M
1	U4	ATmega32A-AU	44A_N
2	U5, U6	74LVC1G14	SOT23-5
1	X2	Header 3pin	HDR1x3V
1	X3	Header 4pin	HDR1x4V
1	Y1	14.7456 MHz	HC49/4H_SMX