

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY**

## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Návrh zařízení pro měření a zpracování veličin malé  
větrné elektrárny**



**Abstrakt**

Tématem bakalářské práce je návrh zařízení pro měření a zpracování veličin souvisejících s provozem malé větrné elektrárny. Zařízení je realizováno pomocí jednočipového mikropočítače řady ATmega32 s řídicím kódem, psaným v jazyce C. Navržené zařízení zajišťuje bezpečnou obsluhu a chod malé větrné elektrárny sloužící pro nabíjení automobilového akumulátoru. Součástí práce je také popis problematiky obnovitelných zdrojů elektrické energie, vzniku a využití větrné energie.

## **Abstract**

The goal of the bachelor thesis is to design a device for measuring and processing signals of a small wind turbine. The device has been realized using single-chip processor ATmega32 with ANSI C code and provides a save control of a turbine operation and charging of a car battery. Part of the thesis is also the overview of alternative energy sources, energy formation and it's usage.

## **Klíčová slova**

Alternativní zdroje energie, větrná elektrárna, malá větrná elektrárna, energie větru, mikropočítač, ATmega32, akumulátor, sd karta

## **Key words**

Alternative sources of energy, wind turbine, small wind turbine, energy of wind, microcontroller, ATmega32, battery, sd card

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

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

V Plzni dne 4.6.2014

Vojtěch Krejsa

.....

**Obsah**

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>1 ALTERNATIVNÍ ZDROJE ENERGIE</b> .....	<b>11</b>
1.1 OBECNÉ ROZDĚLENÍ .....	11
1.2 VÝHODY A NEVÝHODY .....	11
1.3 PRINCIPY ZÍSKÁVÁNÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE.....	12
<b>2 VÍTR</b> .....	<b>13</b>
2.1 VZNIK VĚTRU' .....	13
2.2 MĚŘENÍ RYCHLOSTI A SMĚRU VĚTRU.....	14
2.3 VÝKON VĚTRU .....	16
<b>3 VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY</b> .....	<b>17</b>
3.1 PRINCIP FUNKCE .....	17
3.2 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ.....	18
3.3 KONSTRUKČNÍ ČÁSTI VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN .....	19
3.3.1 <i>Mechanická část</i> .....	19
3.3.2 <i>Elektrická část</i> .....	20
3.4 MOŽNOSTI ZPRACOVÁNÍ ZÍSKANÉ ENERGIE .....	22
3.4.1 <i>Nabíjení akumulčního prvku s nezávislou sítí</i> .....	22
3.4.2 <i>Napájení rozvodné sítě</i> .....	23
3.4.3 <i>Podpora vytápění či ohřev vody</i> .....	23
3.4.4 <i>Mechanické pohony</i> .....	23
<b>4 MODEL MALÉ VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY</b> .....	<b>23</b>
4.1 POPIS A PODSTATA VYUŽITÍ MALÉ VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY .....	23
4.2 PARAMETRY ZAŘÍZENÍ.....	24
4.2.1 <i>Mechanická konstrukce</i> .....	24
4.2.2 <i>Elektrické parametry</i> .....	25
<b>5 NÁVRH ZAŘÍZENÍ PRO ZPRACOVÁNÍ ENERGIE A ŘÍZENÍ VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY</b> .....	<b>27</b>
5.1 FUNKCE ZAŘÍZENÍ.....	27
5.2 USMĚRNĚNÍ A FILTRACE GENEROVANÉHO NAPĚTÍ .....	28
5.3 VOLBA ŘÍDÍCÍHO MIKROPROCESORU.....	29
5.4 KOMUNIKACE S UŽIVATELEM PROSTŘEDNICTVÍM LCD.....	32
5.5 ZDROJ REÁLNÉHO ČASU DS1307 .....	33
5.6 MĚŘENÍ NAPĚTÍ A PROUDŮ .....	36
5.7 MĚŘENÍ OTÁČEK ROTORU .....	37
5.8 MĚŘENÍ TEPLoty .....	38
5.9 ZÁPIS HODNOT NA PAMĚŤOVOU KARTU SD .....	39
5.10 PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ .....	40
<b>6 NÁVRH DESKY PLOŠNÉHO SPOJE</b> .....	<b>42</b>



<b>7</b>	<b>PROVEDENÍ A OSAZENÍ DESKY PLOŠNÉHO SPOJE .....</b>	<b>44</b>
7.1	POSTUP VÝROBY PLOŠNÉHO SPOJE.....	44
<b>8</b>	<b>OŽIVENÍ A MĚŘENÍ NAVRŽENÉHO ZAŘÍZENÍ.....</b>	<b>47</b>
<b>9</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>48</b>
	<b>SEZNAM LITERATURY .....</b>	<b>50</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>51</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>52</b>
	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>1</b>

## Úvod

Předmětem této bakalářské práce je problematika týkající se často opomíjených, avšak neméně důležitých obnovitelných (nevyčerpatelných) zdrojů energie. Uveden je popis, obecné rozdělení a diskutované výhody a nevýhody alternativních zdrojů.

Práce je zaměřena na získávání energie z větru a její přeměnu na energii elektrickou. Popsán je charakter a vznik větrné energie, mechanická a elektrická konstrukce větrných elektráren a možnosti využití energie větru. Hlavním cílem práce je návrh zařízení pro měření a zpracování veličin malé větrné elektrárny. Podstatou pro návrh zařízení je náhrada stávajícího řídicího panelu vzniklého v rámci maturitní práce v roce 2011 (společně s modelem malé větrné elektrárny), který neposkytuje dostatek informací o veličinách souvisejících s provozem malé větrné elektrárny. Nové zařízení zajišťuje bezpečné nabíjení 12V automobilového akumulátoru bez hrozcího přebíjení, automatické spínání elektrické brzdy a odpojení zátěže od akumulátoru pro předcházení nežádoucímu podvybití akumulátoru. Mezi hlavní měřené veličiny patří nabíjecí proud, proud odebíraný zátěží z akumulátoru, napětí akumulátoru, venkovní teplota a aktuální otáčky větrného rotoru. Základem navrhovaného zařízení je jednočipový mikropočítač řady ATmega32 od společnosti ATMEL. Uživatelský interface je řešen pomocí alfanumerického LCD displeje o rozměrech 2x16 pozic a čtyř tlačítek. Měřená data jsou průběžně ukládána na SD kartu. Zařízení má rozšiřující konektor sériového rozhraní využitelný pro připojení komunikačního bezdrátového modulu (wifi, bluetooth). Uživateli je díky hlavnímu tlačítku umožněno přepínání zobrazení aktuálních hodnot. Pro další obsluhu slouží dvě postranní tlačítka.

# 1 Alternativní zdroje energie

Alternativní zdroje energie na sebe od konce 20. století váží stále více pozornosti široké veřejnosti. Tento fakt je způsoben rychle ubývajícimi zásobami vyčerpatelných zdrojů energie a bezesporu touhou po zlepšení kvality životního prostředí. Stále klesající zásoby fosilních paliv (uhlí, ropa, zemní plyn) a vysoká poptávka neúprosně zvyšují jejich ceny.

Obnovitelné (alternativní) zdroje energie a jejich využití jsou pro lidstvo známé déle, než využití fosilních paliv. V průběhu mnoha let se pouze rapidně změnila konstrukční propracovanost zařízení pro získávání energie z obnovitelných zdrojů v požadované formě.

Vstupem do Evropské unie se Česká republika zavázala v kladný vztah k rozvoji využití alternativních zdrojů energie. Podle odhadů činil podíl výroby elektrické energie z alternativních zdrojů v roce 2010 8% celkové produkce<sup>1</sup>. Se zvyšujícím se zájmem o využití alternativních zdrojů energie vzrostly možnosti výstavby zařízení a poskytované dotace.

## 1.1 Obecné rozdělení

Mezi základní alternativní zdroje energie<sup>1</sup> patří:

- Energie vody
- Energie slunečního záření
- Energie větru
- Geotermální energie
- Spalování biomasy
- Energie příboje a přílivu oceánů

## 1.2 Výhody a nevýhody

Mezi hlavní výhody alternativních zdrojů patří nevyčerpatelnost daných zdrojů energie. Alternativní zdroje se samy obnovují. Například voda tekoucí v řece je postupně odpařována působením energie slunce, energie je kumulována a po srážkách znovu ukládána do energie říčního toku. Dalším významným kladem je snižování emisí CO<sub>2</sub>.

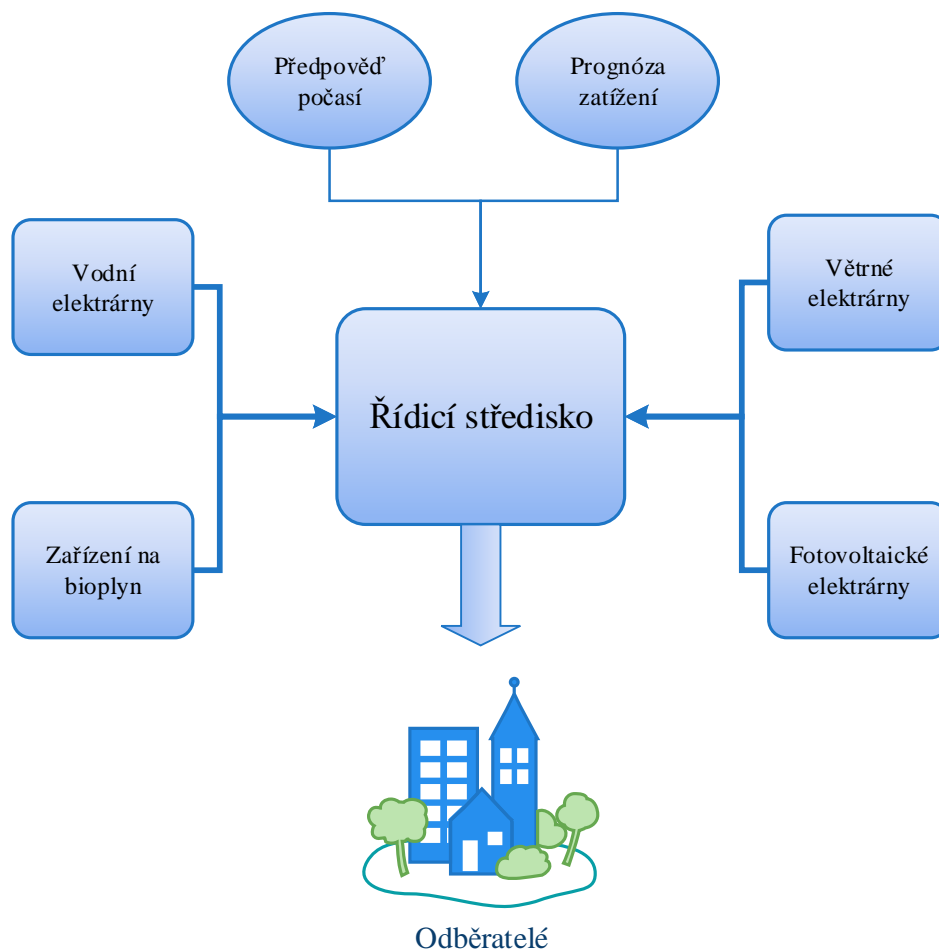
Nevýhodou některých alternativních zdrojů je především těžko předvídatelné množství vznikající energie, nestálost a výkonové kolísání (například po západu slunce přestane vát vítr)<sup>2</sup>. I přes tyto nepříznivé aspekty by podle teoretických odhadů bylo možné alternativními zdroji energie pokrýt kompletní spotřebu elektřiny. Pro takovou funkci stabilního zásobování

---

<sup>1</sup> Webová stránka: Alternativní zdroje energie

<sup>2</sup> Obnovitelné zdroje energií (2010)

energií by bylo zapotřebí velké množství různých typů obnovitelných elektráren napojených na sofistikované centrální řízení. Princip propojení takového systému ukazuje *Obr. 1*.



**Obr. 1** Princip systému pro pokrytí spotřeby obnovitelnými zdroji energie  
Zdroj: Obnovitelné zdroje energií, vlastní zpracování

### 1.3 Principy získávání elektrické energie

Principy získávání elektrické energie z dostupných obnovitelných zdrojů popisují způsoby přeměny obnovitelných energií na jinou energii, nejčastěji elektrickou. Taková zařízení se obecně označují elektrárny.

Pro získávání elektrické energie ze Slunce jsou využívány fotovoltaické systémy na bázi polykrystalického křemíku<sup>3</sup>. Účinnost takových systémů je aktuálně 10 – 20%, v laboratorních podmínkách až 25%. Často ale není prioritou zařízení přeměna na elektrickou energii. Stále častěji jsou instalovány solární termické systémy, využívající tepelnou energii dodávanou Sluncem, kterou dále předávají pro ohřev vody, nebo vzduchu.

<sup>3</sup> Obnovitelné zdroje energií (2010) - Fotovoltaika

Největší podíl mezi obnovitelnými zdroji v ČR mají vodní elektrárny<sup>4</sup>. Využívají mechanicko – elektrické přeměny. Vynikají vysokou ekologickou čistotou a možností rychlého náběhu na plný výkon. Často pracují jako doplňková zařízení pro hlavní zdroje energie (jaderné a uhelné elektrárny) a pro pokrytí okamžité energetické bilance v elektrizační soustavě. Mezi základní typy<sup>5</sup> patří průtočné, akumulární a přečerpávací vodní elektrárny. K méně častým typům vodních zařízení patří přílivové, vlnové a elektrárny poháněné mořskými proudy.

Využití energie větru je známo již po staletí<sup>6</sup>. Dnešní větrné elektrárny pracují na principu přeměny kinetické energie větru na elektrickou energii. K hlavním nevýhodám větrných elektráren bezesporu patří kolísání síly větru. Ze situace úplného bezvětří mohou nastat poryvy větru o síle několika desítek metrů za sekundu. Takové mezní stavy je nutné náležitě kontrolovat a řídit chod zařízení, aby nedošlo k jeho destrukci a ohrožení okolí.

## 2 Vítr

### 2.1 Vznik větru<sup>7,8</sup>

Vlivem Sluncem vyzařované energie dochází k neustálému ohřívání zemského povrchu. Přesto nedochází k následnému přehřátí a rozžhavení povrchu Země, protože se část získané energie vždy vyzáří ze zemského povrchu zpět do vesmíru. V oblasti rovníku zemský povrch přijímá mnohem více sluneční energie, než je tomu v oblastech pólů. Zde dochází k vyzáření většího množství energie do vzduchu, než je přijímáno od Slunce. Tento rozdíl teplot má za následek vznik rozdílu atmosférických tlaků a hustot vzduchu. Rozdílem těchto tlaků dochází k pohybu vzduchu z místa s vyšším tlakem do míst nižšího tlaku. To znamená, že teplý vzduch nad rovníkovou oblastí stoupá vzhůru a přechází směrem k pólům Země. Studený vzduch se přesouvá od pólů směrem k rovníku, odkud se ve vysokých výškách vrací zpět k pólům. Rotací zeměkoule kolem své osy působí na vzdušné vrstvy další síly. Skutečná rychlost větru, její velikost a směr jsou dány výslednicí rychlostí způsobených rozdílnými tlaky a rotací Země. Přesuny rozdílných teplot a tlaků vzduchu znázorňuje *Obr. 2*.

---

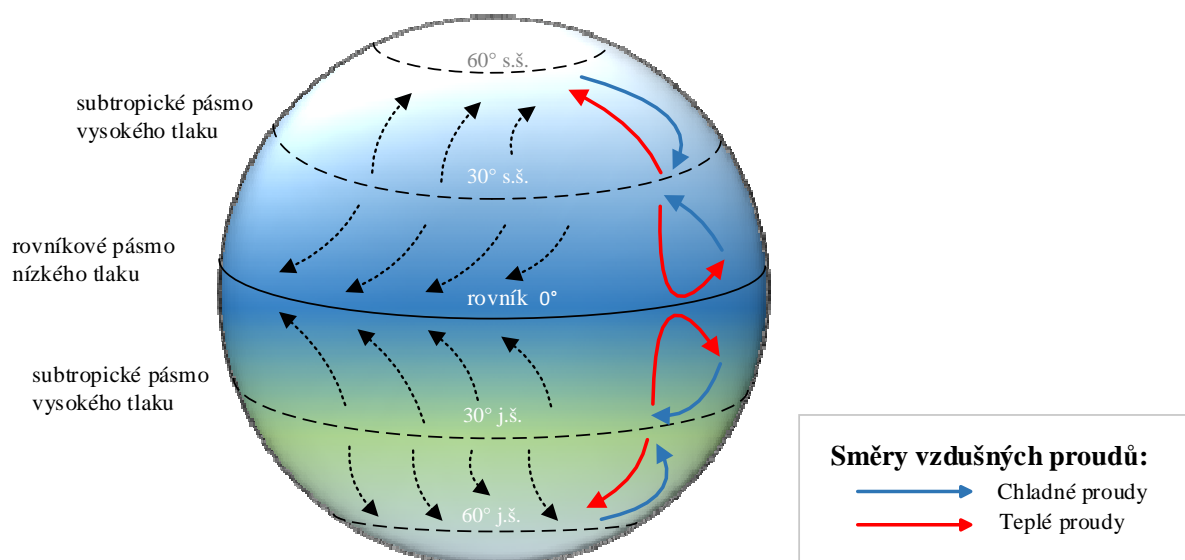
<sup>4</sup> Webová stránka: Alternativní zdroje energie – Vodní elektrárny

<sup>5</sup> Alternativní zdroje energií (2010) – Vodní elektrárny

<sup>6</sup> Větrné motory a elektrárny (1997)

<sup>7</sup> Alternativní zdroje energií (2010) – Větrné elektrárny – energie ze vzduchu

<sup>8</sup> Větrné motory a elektrárny (1997) – Vznik větru



**Obr. 2** Schéma cirkulace vzdušných proudů  
Zdroj: Obnovitelné zdroje energií (2010), Větrné motory a elektrárny (1997),  
vlastní zpracování

## 2.2 Měření rychlosti a směru větru

Měření rychlosti<sup>9</sup> a směru větru v globálním měřítku je prováděno vzájemně propojenou sítí meteorologických stanic. Mimo jiné jsou měřeny další dodatečné údaje, například měření barometrického tlaku, slunečního záření, vodních srážek a jiných. Pro korektní výsledky měření vznikly obecně dodržované standardy (např. výška měření 10 m nad zemí, nebo časové intervaly odčítání hodnot). Naměřené hodnoty jsou průměrovány. Rychlost větru je běžně udávána v metrech za sekundu [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ], směr větru v desítkách stupňů azimutu odkud vítr vane.

Pro měření směru větru jsou využívány větrné směrovky. Ta může mít podobu svislé ploché desky, popřípadě šipky se závažím na jejím hrotu. Čidlem polohy je sledováno natočení směrovky vůči známé pozici celého zařízení. V mnoha případech (například poblíž rychlostních komunikací, letišť, atd.) jsou pro hrubé posouzení směru větru vybudovány tzv. větrné pytle.

Rychlost větru lze měřit několika způsoby založenými na odlišných principech. Nejčastějším způsobem je měření pomocí anemometru. Jeho funkce je založena na měření otáček trojramenného rotoru. Konec každého z ramen je zakončen půlkulovou miskou. Do těchto misek je předávána energie větru a rotor tak poháněn. Výsledné otáčky jsou určovány měřením napětí pomocí galvanometru generovaného dynamem. Další možností měření otáček rotoru anemometru je použití čidla a měření počtu otočení za známou jednotku času.

<sup>9</sup> Větrné motory a elektrárny (1997) – Měření rychlosti a směru větru

Nevýhodou klasických miskových anemometrů je poměrně nízká citlivost na krátkodobé poryvy (změny rychlosti) větru. Tento jev je zapříčiněn setrvačností otáčejícího se rotoru.

Další možností je měření rychlosti větru založené na měření jeho dynamického tlaku. Takové rychloměry jsou vhodné pro zjišťování náhlých změn rychlosti větru. Jsou však vhodnější pro měření větších rychlostí větru, protože dynamický tlak je úměrný druhé mocnině rychlosti větru. Parametry takových měřicích přístrojů jsou vhodné pro měření krátkodobých poryvů a maximálních okamžitých rychlostí větru, které jsou důležité z hlediska dimenzování mechanických částí větrných zařízení.

Posledním principem je anemometr se žhaveným drátkem. Tento drátek je proudícím vzduchem větru úměrně ochlazován a ze změny jeho odporu přístroj určí rychlost měřeného větru.

Pro meteorologické účely je rychlost větru častí udávána ve stupních Beaufortovy stupnice. Tato historicky známá škála založená na pozorováním působení větru na okolní objekty byla hojně využívána námořnictvem již v roce 1838. Autor Francis Beafort sestavil tuto stupnici roku 1806. Konkrétní popsání situace znázorňuje *tabulka 1*.

**Tab. 1** Beaufortova stupnice rychlosti větru

Rychlost [m·s <sup>-1</sup> ]	Stupeň Beauforta	Vítr	Projev v přírodě
0 až 0,2	0	Bezvětrí	Kouř stoupá kolmo vzhůru
0,3 až 1,5	1	Vánek	Kouř stoupá podle větru
1,6 až 3,3	2	Slabý vítr	Šelestí listů stromů, mírný pohyb větrné směrovky
3,4 až 5,4	3	Mírný vítr	Listy a větvičky stromů se pohybují, slabé čerčení vodní hladiny
5,5 až 7,9	4	Dost čerstvý vítr	Pohybuje slabšími větvemi
8,0 až 10,7	5	Čerstvý vítr	Napíná větší prapory, na stojatých vodách vznikají menší vlny, pocitově nepříjemný
10,8 až 13,8	6	Silný vítr	Pohybuje silnějšími větvemi a slabšími stromy
13,9 až 17,1	7	Prudký vítr	Pohybuje bezlistými stromy, četné vlny na stojatých vodách, namáhavá chůze proti větru
17,2 až 20,7	8	Bouřlivý vítr	Láme větve stromů, značně obtížná chůze proti větru
20,8 až 24,4	9	Vichřice	Vítr působí menší škody na střeších, ulamuje bezlisté větve
24,5 až 28,4	10	Silná vichřice	Vyvrací stromy, působí škody na obydlích
28,5 až 32,6	11	Mohutná vichřice	Působí velké škody na domech a v lesích
32,7 a více	12	Orkán	Ničivé účinky

Zdroj: Větrné motory a elektrárny (1997), vlastní zpracování

## 2.3 Výkon větru

Základním vztahem pro odvození<sup>10</sup> velikosti výkonu větru je rovnice popisující energii pohybující se hmoty:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 [J, kg, m \cdot s^{-1}] \quad (1)$$

kde  $v$  je rychlost vzduchu a  $m$  je hmota. Hmotu  $m$  lze vyjádřit pomocí objemu a hustoty protékajícího vzduchu  $\rho$ :

$$m = \rho V = \rho A s [kg, kg \cdot m^{-3}, m] \quad (2)$$

kde  $A$  je plocha protékána daným proudem vzduchu,  $s$  je dráha, kterou urazí pohybující se vzduch.

Vztah mezi energií  $E$  a výkonem  $P$  za jednotku času  $t$  je dán vztahem:

$$P = \frac{E}{t} [W, J, s] \quad (3)$$

Dosazením vztahů (1) a (2) do vztahu (3) získáme:

$$P = \frac{1}{2} \frac{s}{t} \rho A v^2 [W, m, s, kg \cdot m^{-3}, m^2, m \cdot s^{-1}] \quad (4)$$

Vztah pro výpočet výkonu vzduchu protékajícího jednotkovou plochou  $A$  získáme dosazením  $v$  za  $\frac{s}{t}$  do rovnice (4):

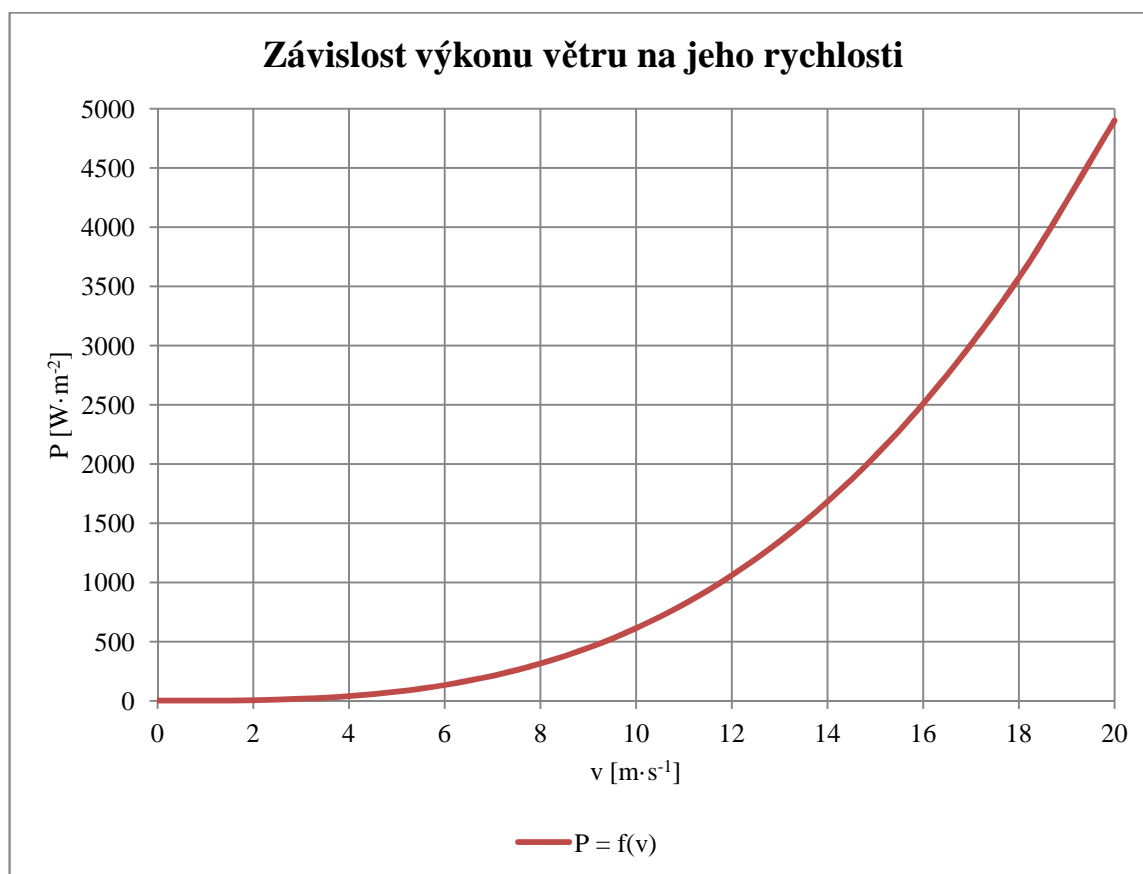
$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 [W \cdot m^{-2}, kg \cdot m^{-3}, m^2, m \cdot s^{-1}] \quad (5)$$

Ze vztahu (5) vyplývá<sup>11</sup>, že výkon protékajícího vzduchu jednotkovou plochou  $A$  [ $m^2$ ] je přímo úměrný hustotě vzduchu  $\rho$  [ $kg \cdot m^{-3}$ ] a třetí mocnině rychlosti větru  $v$  [ $m \cdot s^{-1}$ ]. Z praktického hlediska to znamená, že při nárůstu rychlosti větru na dvojnásobek původní rychlosti, vzroste výkon větru  $P$  osmkrát.

<sup>10</sup> Větrné motory a elektrárny (1997) – Energie a výkon větru

<sup>11</sup> Renewable energy (2004) – Energy and power in the wind





**Obr. 3** Graf závislosti výkonu větru proudícího jednotkovou plochou na jeho rychlosti  
Zdroj: Větrné motory a elektrárny (1997), vlastní zpracování

### 3 Větrné elektrárny

#### 3.1 Princip funkce

Větrná elektrárna je zařízení využívané pro přeměnu kinetické energie větru na mechanickou práci. Základním principem je odběr části kinetické energie větru pomocí větrného rotoru. V dnešní době patří mezi nejrozšířenější typ zařízení s větrným rotorem, jehož osa je umístěna v horizontální poloze, tedy rovnoběžně se zemí a prouděním větru. Rotorové listy kolmé na směr proudění větru kladou odpor a rozdělují proud vzduchu. Výsledný proud vzduchu proudí podél listů rotoru. Vlivem tvaru listů rotoru dochází k rozšíření průtočné plochy proudění vzduchu. V roce 1920 zjistil německý fyzik Karl Betz, že maximální výkon lze z větru získat tehdy, zabrzdíme-li jej na třetinu jeho původní rychlosti proudění. Hodnota 59,3% byla následně stanovena jako Betzův výkonnostní koeficient<sup>12</sup>, který udává maximální využitelný díl větrné energie a představuje tak účinnost větrné turbíny. Moderní větrné elektrárny jsou schopny za ideálních podmínek dosáhnout až 50% využití energie větru, kterou lze následně přeměnit na energii elektrickou.

<sup>12</sup> Obnovitelné zdroje energií (2010) – Využití větru

### 3.2 Základní rozdělení

Větrné elektrárny lze rozdělit podle několika kritérií<sup>13</sup>. Podle orientace uložení osy dělíme na větrné rotory:

- S horizontálně uloženou osou
- S vertikálně uloženou osou

Podle typu<sup>14</sup> dělíme větrné rotory pracující na:

- Odporovém principu
- Vztlakovém principu

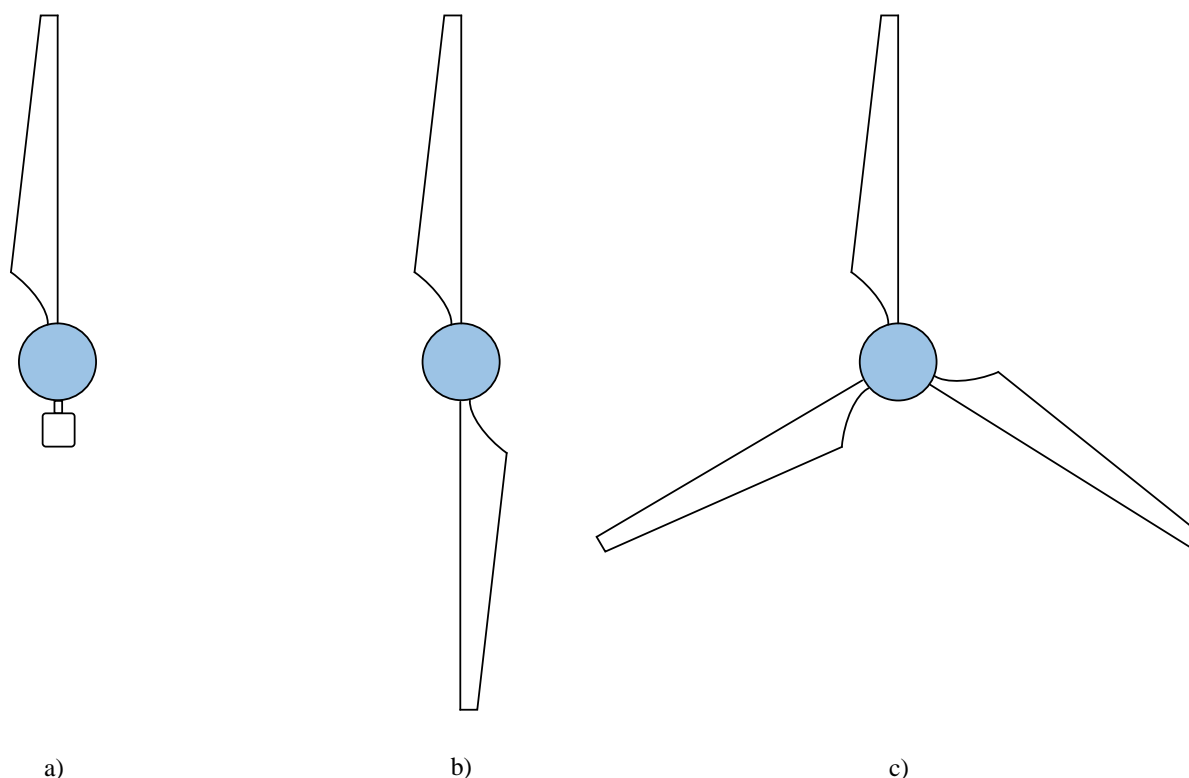
Nejznámějším rotorem s vertikálně uloženou osou otáčení pracujícím na odporovém principu je Savoniu rotor. Jeho odporová funkce je založena na vertikálně uložených plochách kladoucích proudícímu vzduchu odpor. Na stejném principu pracuje například miskový anemometr, kde jsou odporové plochy nahrazeny polokulovými miskami. Výhodou Savoniova vertikálně uloženého rotoru je absence směrovky nebo jiného natáčení zařízení ve směru větru.

V dnešní době je nejpoužívanější větrný rotor pracující na vztlakovém principu s horizontálně uloženou osou otáčení. Princip získávání energie větru je založen na aerodynamických parametrech listů rotoru. Taková zařízení je nutné vybavit směrovkou, popřípadě měřením směru větru a elektronickým natáčením celé gondoly. Na *Obr. 4* jsou znázorněny základní typy používaných rotorů pracujících na vztlakovém principu.

---

<sup>13</sup> Renewable energy (2004) – Wind turbines

<sup>14</sup> Větrné motory a elektrárny (1997) – Větrné motory



**Obr. 4** Možná uspořádání rotorových listů vztlakových větrných motorů  
 a) jednolisté s protizávažím, b) dvoulisté, c) třílisté  
 Zdroj: Větrné motory a elektrárny (1997), Renewable energy (2004), vlastní zpracování

### 3.3 Konstrukční části větrných elektráren

#### 3.3.1 Mechanická část

Mechanická konstrukce<sup>15</sup> větrné elektrárny sestává z několika základních částí.

- Základ
- Stožár
- Gondola
- Rotor

Jejich dimenzování závisí na typu zařízení, požadovaném maximálním výkonu a charakteru místa pro stavbu větrného zařízení.

Základ patří k nejdůležitějším částem větrné elektrárny. Jeho stavba či konstrukce začíná již několik týdnů až měsíců před samotnou stavbou větrného zařízení. Před započítím stavby základu musí být proveden důkladný geologický průzkum spodních vrstev zeminy v místě stavby. Z těchto údajů a parametrů větrného zařízení je základ následně dimenzován. Pro větrné elektrárny konstruované na pevnině je nejčastěji používaný masivní betonový základ.

<sup>15</sup> Webová stránka: Česká společnost pro větrnou energii (2013) – Vzdělávání

V případě výstavby větrných parků<sup>16</sup> na otevřeném moři (tzv. offshore), popřípadě v nestabilním podloží na pevnině je zařízení ukotveno na ocelových pilotech. Piloty jsou umístěny do mořského dna vyplněného drenážním podkladem.

Typ konstrukce stožáru je vybírán podle možností přepravy na místo stavby, finančních prostředků uvolněných pro stavbu a charakteru zařízení. Existují tři varianty konstrukcí stožáru. Konstrukce z ocelových trubek velkého průměru, příhradová konstrukce nebo betonová věž. Dříve byla nejpoužívanější příhradová konstrukce. Její výhodou je snadná přeprava na místo stavby. Především z estetických důvodů následovala výstavba na stožárech z ocelových trubek. Ta se však s narůstající cenou ocelových trubek a náročností na přepravu segmentů velkých rozměrů příliš neujala. Stavba betonových věží je výhodná z hlediska přepravy jednotlivých segmentů vyráběných v blízké betonárce. Pro plynulou výstavbu je důležité pouze zajištění neustálé dodávky stavebního materiálu. Standardní výška stožárů se v dnešní době pohybuje od 40 do 110m.

Gondola<sup>17</sup> je uložena otočně na nejvyšším konci stožáru. Horizontálně (rovnoběžně se zemí) do ní vstupuje hlavní rotorová hřídel, která přenáší točivý moment do převodového ústrojí. Převodové ústrojí zvyšuje otáčky pro generátor, který pohání. V případě malých rychloběžných větrných zařízení je rotorová hřídel přímo spojena s hřídelí generátoru. U velkých zařízení je gondola vybavena elektropohonem pro natáčení větrného rotoru proti směru působení větrné energie na základě údajů měření směru větru. Na výstupní hřídeli převodového ústrojí bývá umístěna mechanická bezpečnostní brzda pro bezpečné zastavení celého zařízení v případě vichřice nebo nutné servisní odstávky. Některé funkce, například natáčení lopatek, mohou být ovládány hydraulicky. V takovém případě je gondola doplněna o hydraulický okruh (čerpadlo, olejová nádrž, tlakové rozvody).

### 3.3.2 Elektrická část

Dnešní větrné elektrárny běžně dosahují výkonů až 5MW. Z hlediska náročnosti na parametry materiálů a náklady spojené s přepravou zařízení při stavbě nepřesahují výkony větrných elektráren hodnoty 10MW<sup>18</sup>.

Ve větrných elektrárnách středních a velkých výkonů se k přeměně mechanické energie na energii elektrickou nejčastěji používají vysokootáčkové asynchronní motory s kotvou nakrátko pracující v generátorickém chodu. Mezi jejich hlavní přednosti patří především

---

<sup>16</sup> Obnovitelné zdroje energií (2010) – Mořské větrné parky

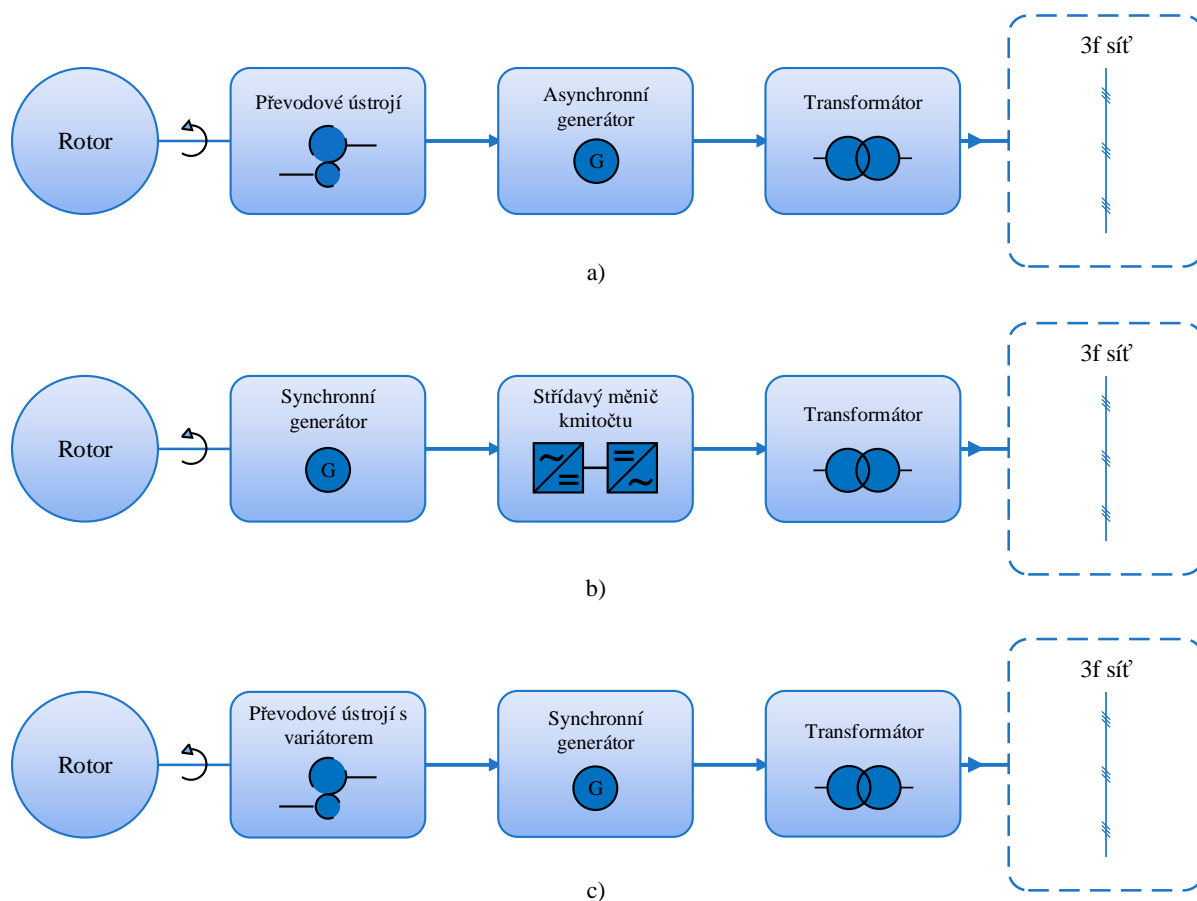
<sup>17</sup> Webová stránka: Česká společnost pro větrnou energii (2013) – Vzdělávání

<sup>18</sup> Obnovitelné zdroje energií (2010) – Větrné elektrárny propojené do sítí

nízké pořizovací náklady a jednoduchá, téměř bezporuchová konstrukce. Nevýhodou je nutnost použití převodového ústrojí a tím vzniklé ztráty.

Německý výrobce větrných elektráren Enercon<sup>19</sup> využívá synchronní generátor připojený přímo na rotorovou hřídel<sup>20</sup>. Podle rychlosti větru jsou spínány pólové dvojice rotorového vinutí. S rostoucí rychlostí větru je spínán větší počet pólů. Výstupní napětí je upravováno střídavým měničem kmitočtu na požadovaný průběh.

Zajímavým principem je využití převodovky s variátorem pro zajištění neustále konstantních otáček na hřídeli synchronního generátoru, bez ohledu na rychlost otáčení větrného rotoru. Tento princip představil český výrobce převodových ústrojí WIKOV<sup>21</sup>. Výhodou takového provedení je možnost absence střídavých měničů kmitočtu a další výkonové elektroniky.



**Obr. 5** Konstrukce mechanicko-elektrické části větrné elektrárny, a) převodové ústrojí a asynchronní generátor, b) synchronní generátor a střídavý měnič kmitočtu, c) převodové ústrojí s variátorem a synchronní generátor  
Zdroj: Větrné motory a elektrárny (1997), vlastní zpracování

<sup>19</sup> Webová stránka společnosti Enercon (2014)

<sup>20</sup> Webová stránka: Česká společnost pro větrnou energii (2013) – Vzdělávání

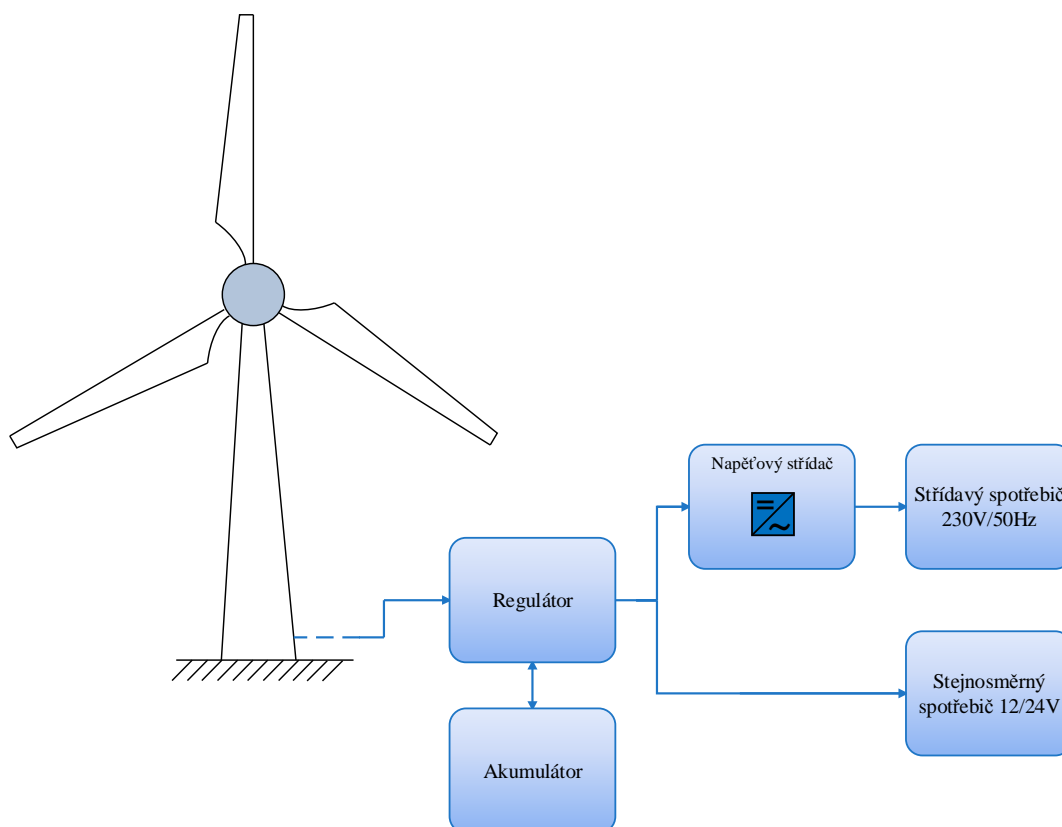
<sup>21</sup> Webová stránka společnosti Wikov (2014) – Převodovky pro energetiku

### 3.4 Možnosti zpracování získané energie

#### 3.4.1 Nabíjení akumulčního prvku s nezávislou sítí

Nabíjení akumulčního prvku, nejčastěji akumulátoru, je způsob využití elektrické energie využívaný především u malých větrných zařízení, které slouží v odlehlých oblastech k zajištění dodávky elektrické energie. Taková zařízení disponují jmenovitým výkonem zhruba do 500W s výstupním napětím 12V nebo 24V<sup>22</sup>. Bezpečné a efektivní nabíjení zajišťuje regulátor, který zároveň kontroluje a řídí chod větrného zařízení a například v případě rizikových povětrnostních podmínek připojuje brzdný mechanismus. Spotřebitel využívá akumulovanou elektrickou energii přímo v podobě stejnosměrného proudu z akumulátoru. Zařízení mohou být doplněna o napěťový střídač, který umožní uživateli odběr střídavého proudu a tudíž připojení běžných spotřebičů pro napájení napětím 230V se síťovým kmitočtem 50Hz. Blokové schéma na Obr. 6 znázorňuje uspořádání systému pro akumulaci elektrické energie s nezávislou sítí.

Nevýhodou akumulace elektrické energie je omezená životnost akumulátorů a tím pádem nevyhnutelná investice v případě výměny za nové.



**Obr. 6** Nabíjení akumulčního prvku s nezávislou sítí  
Zdroj: Malá větrná elektrárna (2006), vlastní zpracování

<sup>22</sup> Malá větrná elektrárna (2006) – Nabíječky akumulátorů

### 3.4.2 Napájení rozvodné sítě

Napájení rozvodné sítě je v České republice záležitostí především společností, které provozují velká větrná zařízení s výkony řádově MW. Pro provozovatele malých větrných elektráren o jmenovitých výkonech řádově stovky wattů jsou licence pro možnost prodeje elektrické energie jen stěží dostupné. Samotné zákony neomezují vystavěný výkon větrné elektrárny. Při stavbě větrného zařízení je nutné podle zákona o stavebním povolení pouze nahlásit stavebnímu úřadu větrná zařízení do výšky 10 metrů. Zařízení o rozměrech přesahující 10 metrovou mez již musejí splňovat mnoho dalších podmínek pro realizaci takové stavby.

### 3.4.3 Podpora vytápění či ohřev vody

Disponuje-li větrná elektrárna dostatečným výkonem, pak je možné ji využívat pro ohřev vody, nebo vytápění bytových prostor<sup>23</sup>. Do zásobníku vody je zavedené topné těleso pro přeměnu vyrobené elektrické energie na teplo. Tento způsob však není příliš účinný v kombinaci s generátory o malých jmenovitých výkonech.

### 3.4.4 Mechanické pohony

Využití mechanické energie získané z větru je historickou záležitostí. Větrná energie byla hojně využívána v mlýnech pro mletí obilí, pro pohon dílenských strojů a plašení ptactva.

## 4 Model malé větrné elektrárny

### 4.1 Popis a podstata využití malé větrné elektrárny

Projekt *Model malé větrné elektrárny* vznikl roku 2010. Hlavním cílem práce bylo navrhnout a zkonstruovat zařízení pro přeměnu kinetické energie větru na elektrickou energii a následné nabíjení akumulátorů. Podstatou stavby bylo využití zařízení pro zajištění dodávky elektrické energie v odlehlé chatové oblasti. Jedním z ovlivňujících faktorů při návrhu zařízení byla finanční dostupnost konstrukčních prvků.

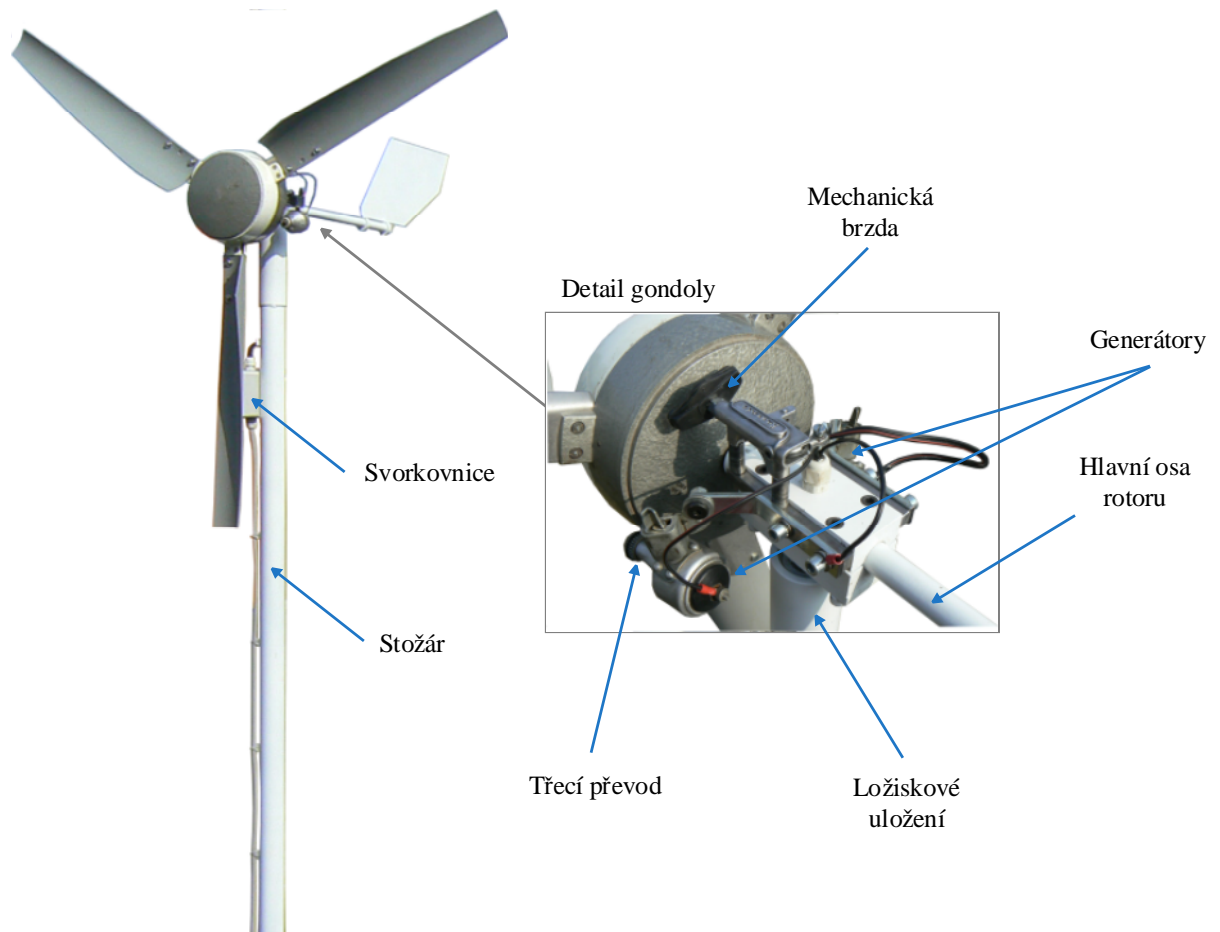
Větrná elektrárna je stále ve fázi vývoje. Od roku 2010 získala několik úprav mechanické konstrukce. Hlavním nedostatkem je absence mechanické brzdy s elektronickou obsluhou, která by byla schopna zařízení ochránit před zničením v nepříznivých povětrnostních podmínkách. Z tohoto důvodu bylo zařízení vzhledem k přihlédnutí k bezpečnosti v reálných podmínkách pouze testováno.

---

<sup>23</sup> Malá větrná elektrárna (2006) – Zařízení na podporu vytápění

## 4.2 Parametry zařízení

### 4.2.1 Mechanická konstrukce



**Obr. 7** Popis mechanické konstrukce modelu malé větrné elektrárny  
Zdroj: vlastní zpracování

Základem modelu je stožár, pro jehož konstrukci byla použita ocelová roura kruhového průřezu o vnějším průměru 49mm a tloušťkou stěny 4mm. Délka stožáru byla zvolena s ohledem na konstrukci a možnost testování v uzavřených podmínkách 1400mm.

Stabilního podstavu celého zařízení zajišťuje stojanový kříž z jackelových profilů 35x35mm, do kterých jsou nasunuty čtyři rádiusové jackelové profily 30x30mm o délce 1000mm.

Pro otáčení gondoly podle vertikální osy bylo navrženo a zhotoveno otočné ložiskové uložení. O hladký chod se starají dvě valivá kuličková ložiska radiálního typu. Ochranu před nečistotami zajišťuje zapouzdření ložisek. Dutá hřídel otočného uložení poskytuje prostor pro vedení veškeré kabeláže z gondoly do hlavního stožáru větrné elektrárny. Na jedné straně je na ose otočného uložení přivařen svěrný spoj poskytující spojení gondoly s hlavní rotorovou hřídelí. Na svěrném spoji jsou vyrobeny úchyty pro dva generátory elektrické energie.



Řízení směru obstarává směrové ocasní křídlo vyrobené z plechu tloušťky 1,5mm. Navržené rozměry a tvar křídla úměrně odpovídají celkovým rozměrům větrného zařízení.

Lopatky větrného rotoru jsou vyřezány z PVC roury o průměru 125mm. Optimální velikosti a tvaru bylo dosaženo testováním mnoha verzí. Aktuální tvar lopatek poskytuje dobrý rozběhový moment a současně dosažení vysokých rychlostí otáčení. Nevýhodou konstrukce větrných lopatek z PVC roury je nízká pevnost jednotlivých listů rotoru.

Pro přeměnu rotační energie na elektrickou energii je zařízení vybaveno dvěma generátory s permanentními magnety. Převodový systém je řešen třecím převodem mezi osami generátorů vybavenými gumovými o-kroužky a hlavou větrného rotoru.

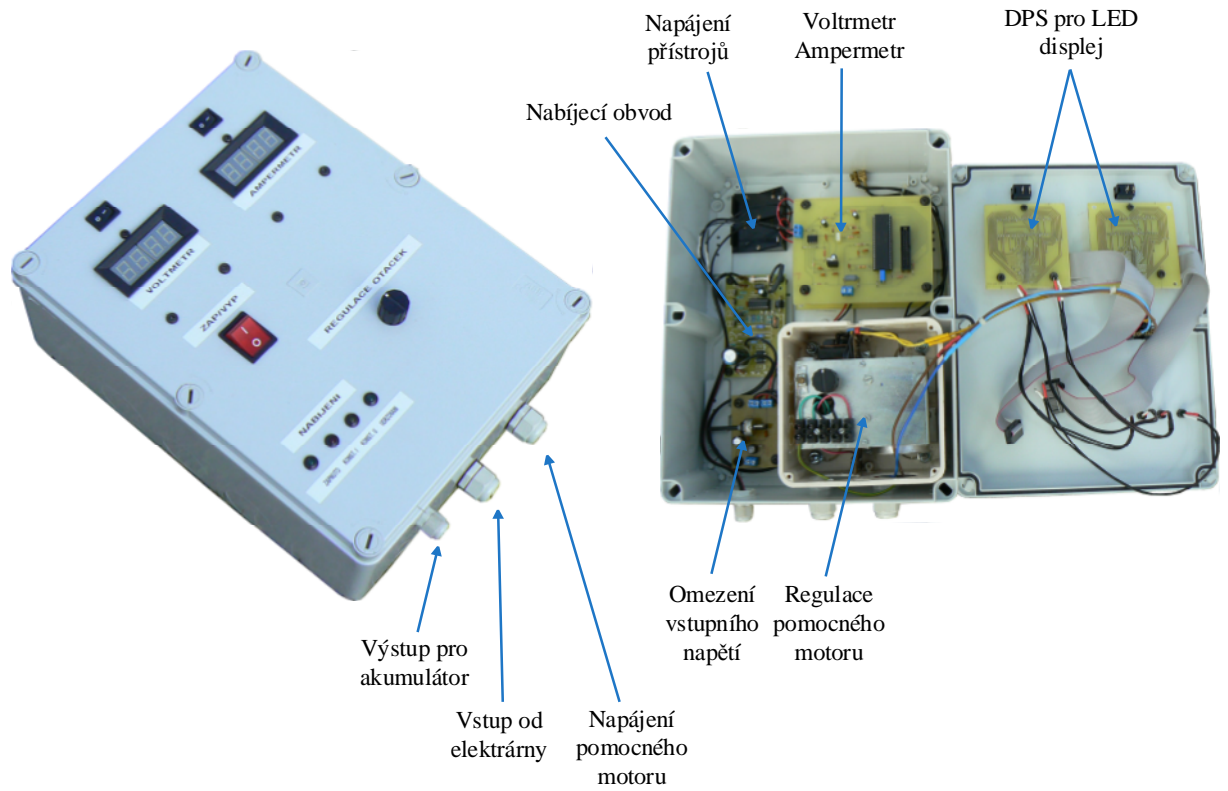
V současné době je konstrukce doplněna mechanicky ovládanou třecí brzdou pro bezpečné zastavení rotoru pro případ testování v reálných větrných podmínkách.

#### 4.2.2 Elektrické parametry

Přeměnu mechanické rotační energie na energii elektrickou zajišťují dvě cyklistická dynamy shodného typu. Ve skutečnosti se jedná o jednoduchý alternátor. Rotor je tvořen střídavě polarizovanými permanentními magnety. Stator obsahuje jednofázové vinutí. Udávané parametry generátoru jsou střídavé napětí 6V a jmenovitý výkon 3W.

V hlavě větrného rotoru je umístěn regulovatelný motor pro pohon v laboratorních podmínkách.

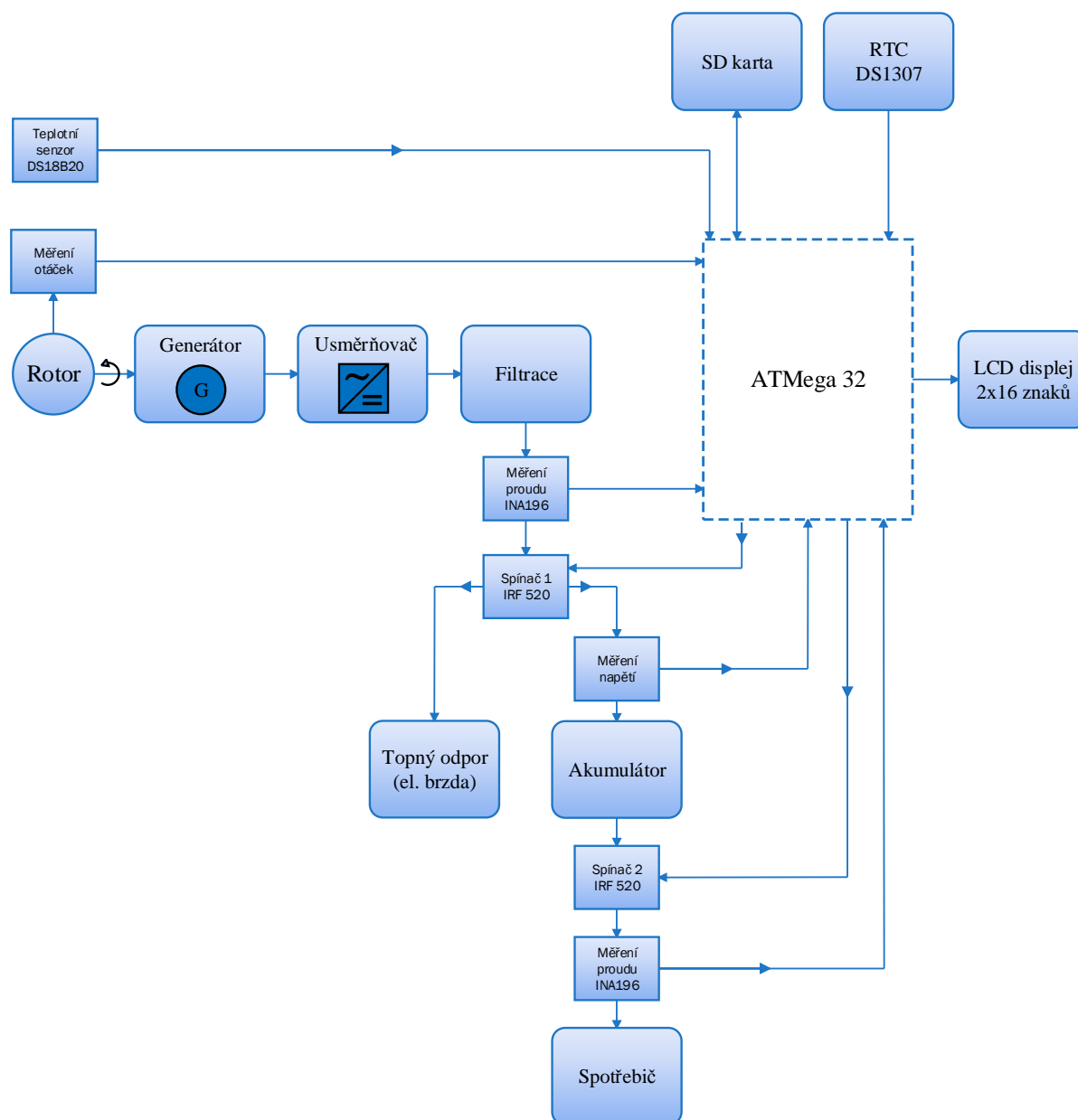
První verze obslužného řídicího obvodu není založena na použití mikroprocesorové techniky. Zařízení poskytuje údaje o velikosti aktuálně dodávaného nabíjecího napětí a proudu. Měřicí přístroje využívají funkci AD převodníku ICL7107 a zobrazují měřené hodnoty na čtyřmístný sedmsegmentový LED displej. Bezpečný chod nabíjecích cyklů obstarává inteligentní nabíječ, jehož základem je integrovaný obvod UC3906. Tento nabíjecí obvod je možné využívat pro nabíjení olovených akumulátorů 6V popř. 12V. Použitý integrovaný stabilizátor napětí řady LM78xx zajišťuje horní napěťovou mez. Celé elektronické zařízení disponuje příliš velkými rozměry a nepříliš uspokojivou funkcí.



**Obr. 8** Popis zařízení první generace pro měření a regulaci nabíjení  
**Zdroj: vlastní zpracování**

## 5 Návrh zařízení pro zpracování energie a řízení větrné elektrárny

### 5.1 Funkce zařízení



**Obr. 9** Blokové schéma navrhovaného zařízení  
Zdroj: vlastní zpracování

Hlavní úlohou navrhovaného zařízení je zajistit bezpečný chod malé větrné elektrárny za mnohdy proměnlivých povětrnostních podmínek a nabíjení 12V olověného akumulátoru bez rizika jeho přebití či hlubokého vybití. Zařízení přepíná funkci mezi dvěma režimy. Prvním je nabíjení akumulátoru, to znamená, že je všechna elektrárnou vyráběná energie odebírána akumulátorem a spotřebiči. V případě, že zařízení detekuje jeden z krajních stavů, dojde k sepnutí spínače 1 a připojení topného odporu (3R3), který slouží jako elektrická brzda.

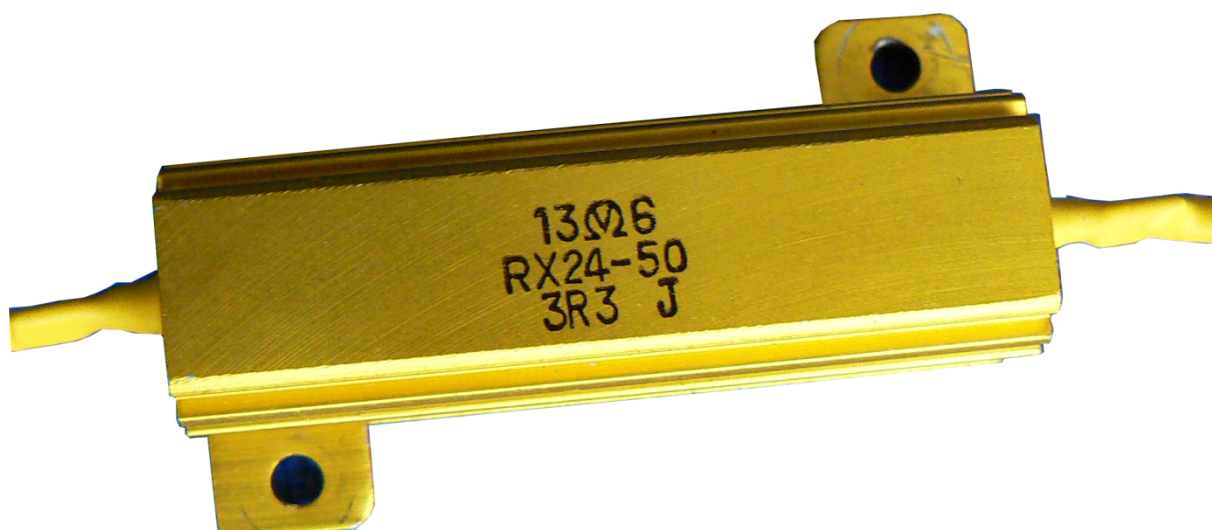
V takovém případě protéká veškerý proud přes topný odpor a větrné kolo je brzděno generátory. Krajní stavy pro spínač 1 jsou charakterizovány dvěma veličinami. Docílení napětí na akumulátoru hodnoty 13,8 V (tím je zamezeno nežádoucí přebíjení akumulátoru) a výrazný nárůst měřených otáček rotoru. Spínač 2 je za běžných podmínek sepnutý a zajišťuje tak možnost spotřebiči odebírat energii z akumulátoru. Pokud zařízení vyhodnotí pokles napětí na akumulátoru pod nebezpečnou mez vybití, dojde k automatickému odpojení zátěže. Vyhodnocení stavů a řízení obstarává jednočipový mikroprocesor ATmega32 od firmy Atmel.

Zařízení měří a zobrazuje uživateli na LCD displeji celkový proud dodávaný generátory, proud aktuálně odebíraný zátěží, napětí na akumulátoru, otáčky větrného rotoru a venkovní teplotu.

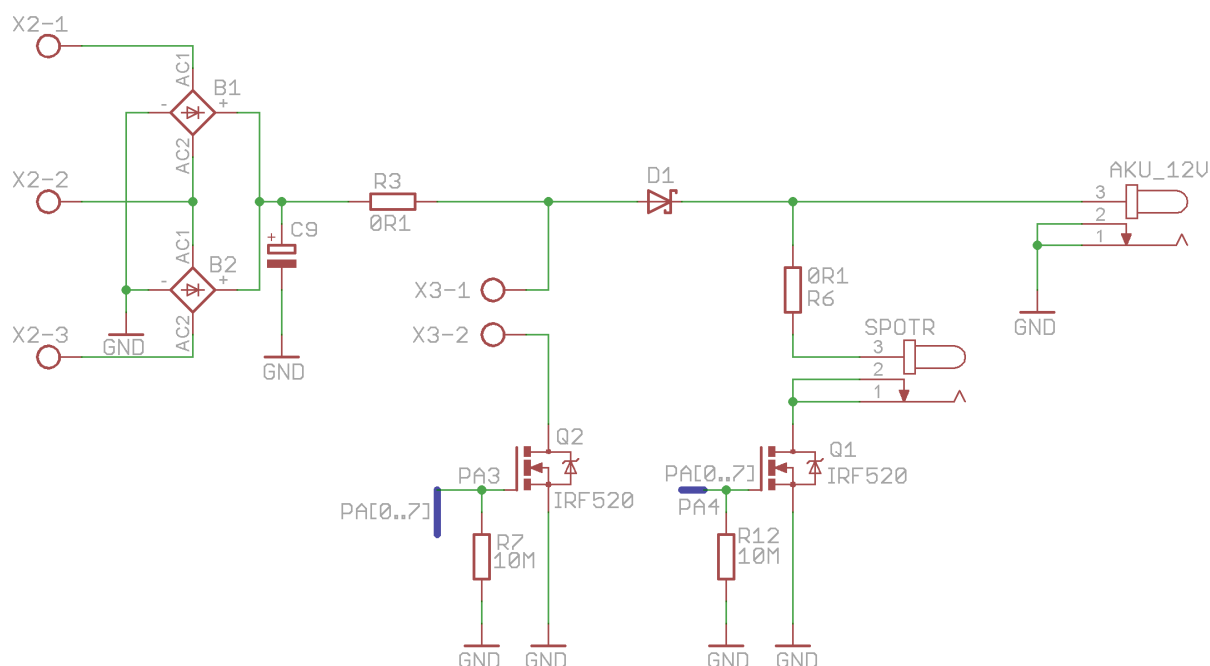
## 5.2 Usměrnění a filtrace generovaného napětí

Vodiče přivedené od generátorů jsou upevněny do svorkovnice X2 se třemi vstupy umístěné přímo na DPS. Za svorkovnicí následují usměrňovací můstky B1 a B2. Pro vyhlazení usměrněného napětí je připojen elektrolytický kondenzátor C9. Dioda D1 brání průchodu zpětného proudu z akumulátoru do zařízení v případě, že je nabíjecí proud nulový.

Svorkovnice X3 slouží pro připojení externího topného rezistoru (*obr. 10*). Ten zajišťuje v případě nutnosti funkci elektronické brzdy. Tranzistor Q2 je v takovém případě sepnutý a vede proud. Tranzistor Q1 zajišťuje případné odpojení spotřebiče od akumulátoru a tím přerušení odběru proudu.



**Obr. 10** Použitý brzdňý rezistor  
Zdroj: vlastní zpracování

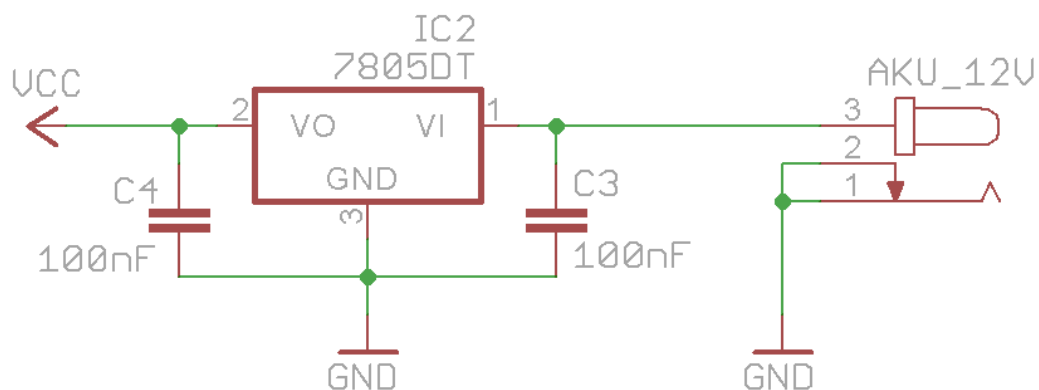


**Obr. 11** Schéma zapojení obvodu pro usměrnění a filtraci napětí  
Zdroj: vlastní zpracování

### 5.3 Volba řídicího mikroprocesoru

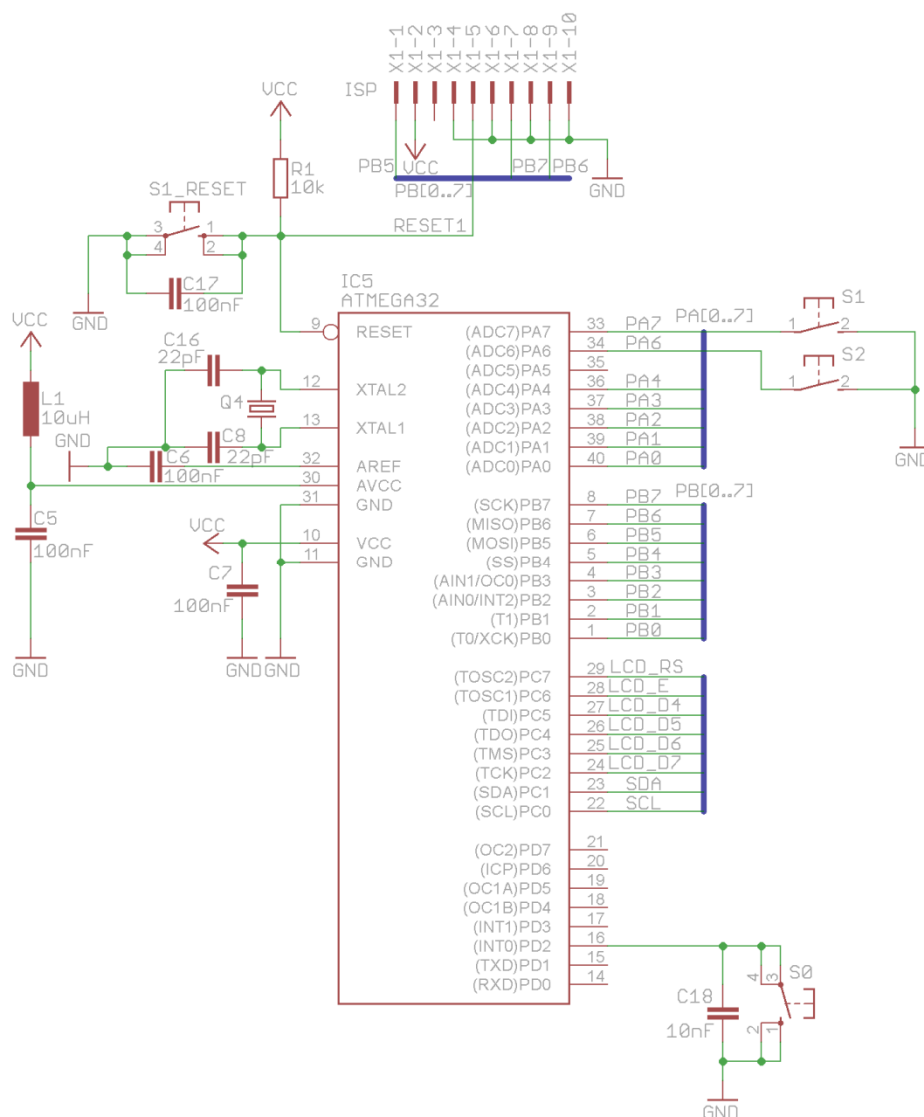
Základem zařízení pro měření a regulaci veličin malé větrné elektrárny je 8-bitový mikropočítač ATmega32<sup>24</sup> od společnosti Atmel založený na procesorové architektuře typu RISC. Mikropočítač pracuje při napájecím napětí 4,5 – 5,5V, které zajišťuje lineární stabilizátor KIA7805AF v provedení SMD. Stabilizátor v katalogovém zapojení je schopen dodávat při vstupním napětí 12V proud až 1A. Vstup stabilizátoru je připojen ke svorkám nabíjeného akumulátoru *obr. 12*, z čehož vyplývá nezávislost celého zařízení z hlediska napájení.

<sup>24</sup> Technická dokumentace ATmega 32 (2011)



**Obr. 12** Zapojení lineárního stabilizátoru KIA7805AF  
Zdroj: vlastní zpracování

Základní zapojení mikropočítače na *obr. 13* zahrnuje blokový kondenzátor 100nF na pinu VCC oproti zemi GND pro ošetření poklesů napájecího napětí. Reset mikropočítače je umožněn tlačítkem S1\_RESET, které spojí pin RESET s nulovým potenciálem GND. V klidovém stavu je pin RESET připojen přes rezistor R1 na napájecí napětí VCC.



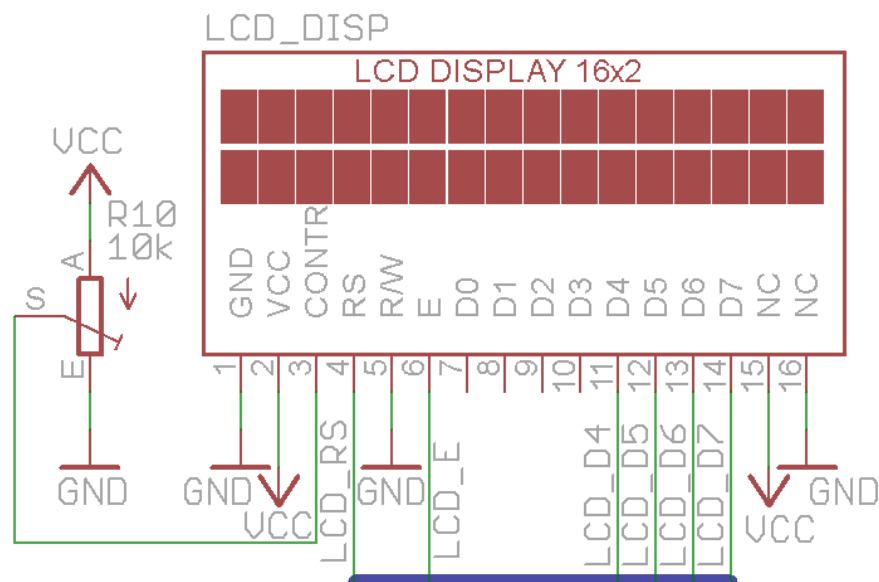
**Obr. 13** Zapojení mikroprocesoru ATmega32  
Zdroj: vlastní zpracování

ATmega32 poskytuje interní programovou paměť typu FLASH o kapacitě 32Kbyte. Vygenerovaný soubor s programovými daty typu hex je možné nahrát do paměti přes rozhraní ISP. ISP programátor je připojen na piny MISO, MOSI, SCK a RESET. Proto je na desce plošného spoje připraven dvouřadý, deseti pinový konektor pro připojení ISP programátoru.

Zařízení je pro uživatele vybaveno celkem třemi obslužnými tlačítky. Hlavní tlačítko S0 je připojeno k pinu pro externí přerušení INT0. Slouží pro přepínání jednotlivých obrazovek na LCD zobrazovači. Dvě vedlejší tlačítka S1 a S2 slouží pro nastavení aktuálních hodnot času, data a pro přechody mezi hlavními (primárními) a vedlejšími (sekundárními) obrazovkami.

## 5.4 Komunikace s uživatelem prostřednictvím LCD

Pro zobrazení aktuálních hodnot a stavů zařízení slouží alfanumerický LCD displej s rozměry 2 řádky x 16 znaků. LCD je umístěn na oddělené desce plošného spoje společně s řadičem HD44780, který je spojen s mikropočítačem pomocí šesti vodičů na piny PC2 – PC7 portu C. Kontrast displeje je možné regulovat potenciometrem R10.



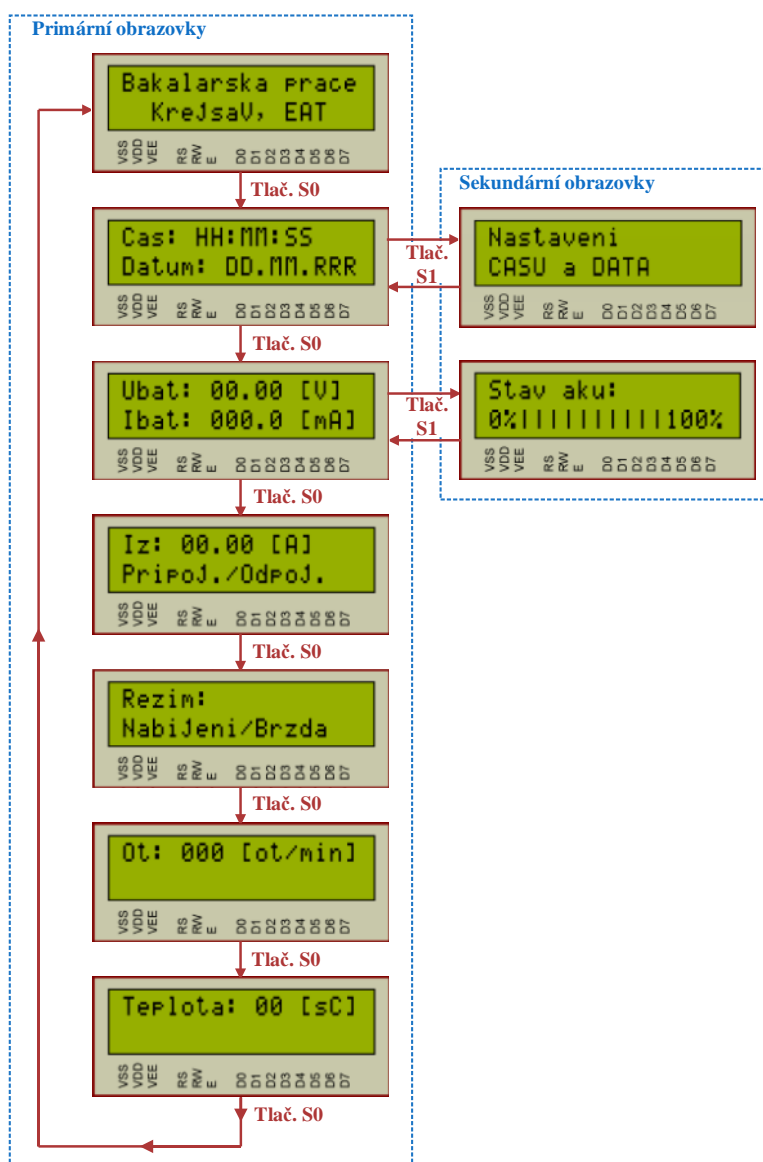
**Obr. 14** Zapojení LCD displeje  
Zdroj: vlastní zpracování

Blokové schéma na *obr. 15* znázorňuje uživateli dostupné obrazovky. Po zapnutí zařízení je zobrazena úvodní obrazovka, po které následuje 6 hlavních (primárních) obrazovek poskytující informace o hlavních veličinách. Cyklické přepínání mezi primárními obrazovkami je umožněno tlačítkem S0, které po stisku vyvolá externí přerušení, čímž je zajištěna okamžitá reakce zařízení na podnět uživatele. Tlačítkem S1 je možné přecházet na příslušné vedlejší obrazovky poskytující vedlejší informace a možnost nastavení času a data.

Úvodní obrazovka je následována zobrazením aktuálního času a data. Odtud je možné po stisku tlačítka S1 přejít do nastavení počátečních hodnot.

Dalšími stisky tlačítka S0 dojde nejprve k zobrazení aktuálního napětí akumulátoru a nabíjecího proudu, dále proudu odebíraného zátěží a aktuální stav zátěže – připojeno/odpojeno. V pořadí pátá hlavní obrazovka informuje o právě probíhajícím režimu zařízení – nabíjení/brzda. Poslední dvě obrazovky zobrazují aktuální otáčky větrného rotoru a teplotu okolí.





Obr. 15 Blokové schéma obrazovek LCD displeje s popisem tlačítek  
Zdroj: vlastní zpracování

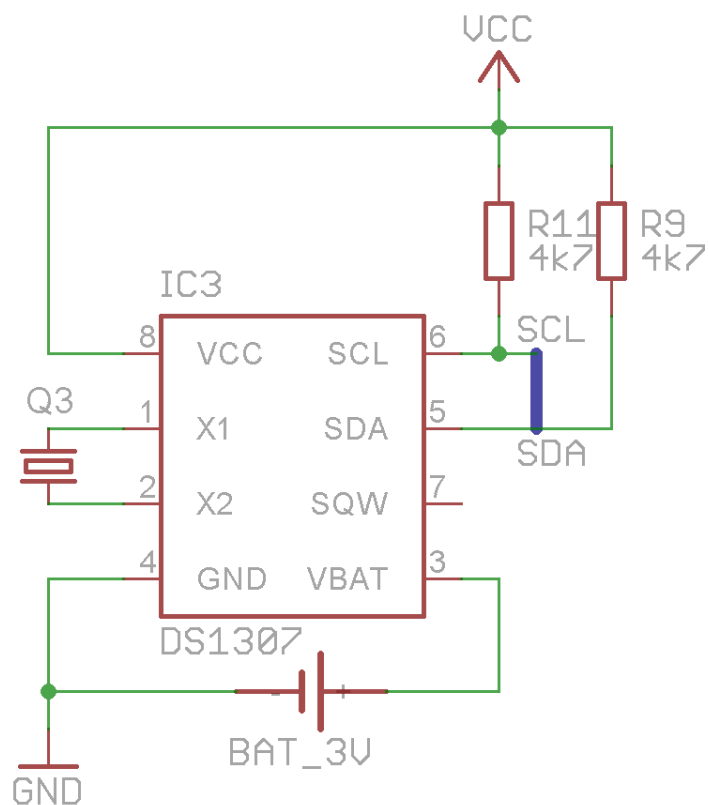
## 5.5 Zdroj reálného času DS1307<sup>25</sup>

Pro zajištění přesných hodnot reálného času a data je zařízení vybaveno zdrojem reálného času DS1307 od výrobce Maxim Integrated. Integrovaný obvod poskytuje informaci o aktuálním času a datu v podobě hodin, minut a sekund s možností volby mezi 12 a 24 hodinovým formátem zobrazení, dále den v týdnu, den měsíce, měsíc a aktuální rok. Přesný kmitočet pro běh hodin získává obvod z externího krystalového oscilátoru s hodnotou kmitočtu 32,768 kHz.

Výhodou obvodu je možnost připojení 3V lithiové baterie typu CR2032, která zajišťuje udržení informace nastavených hodnot i po výpadku hlavního napájení VCC. V případě, že

<sup>25</sup> Technická dokumentace DS1307 (2008)

napájecí napětí obvodu VCC klesne pod hodnotu napětí VBAT, přejde obvod do režimu nízkého odběru proudu a napájení probíhá z externí baterie. V opačném případě, je-li obvod napájen z baterie a rozpozná napájecí napětí VCC větší než napětí VBAT+0,2V, přejde zpět do režimu napájení napětím VCC.



**Obr. 16** Zapojení zdroje reálného času DS1307  
Zdroj: vlastní zpracování

Komunikace s mikropočítačem probíhá po dvou vodičovém rozhraní TWI (Two-wire Serial Interface Bus). Jeden vodič je připojen na pin SCL, poskytující nepřetržitý zdroj hodinového signálu a druhý, datový vodič na pin SDA. Oba vodiče jsou přes rezistory 4,7kΩ připojeny k napětí +5V. Zařízení DS1307 pracuje v režimu Slave.

Samotná komunikace sestává z několika kroků a vždy začíná vysláním podmínky START. Za touto podmínkou následuje sedmibitová adresa zařízení, která je pro DS1307 pevně stanovena na hodnotu 1101000. Následující osmý bit obsahuje informaci o režimu komunikace, tedy čtení (log 1), nebo zápis (log 0). V případě úspěšného navázání spojení vrací zařízení typu Slave potvrzující bit (acknowledge) na datovou sběrnici SDA. Následně je důležité nastavit ukazatel na místo paměti v zařízení Slave, odkud bude probíhat čtení, popřípadě kam bude směřován zápis například aktuálních hodnot času a data. *Tabulka 2* znázorňuje rozložení adres a významy jednotlivých bitů datového registru paměti obvodu DS1307.

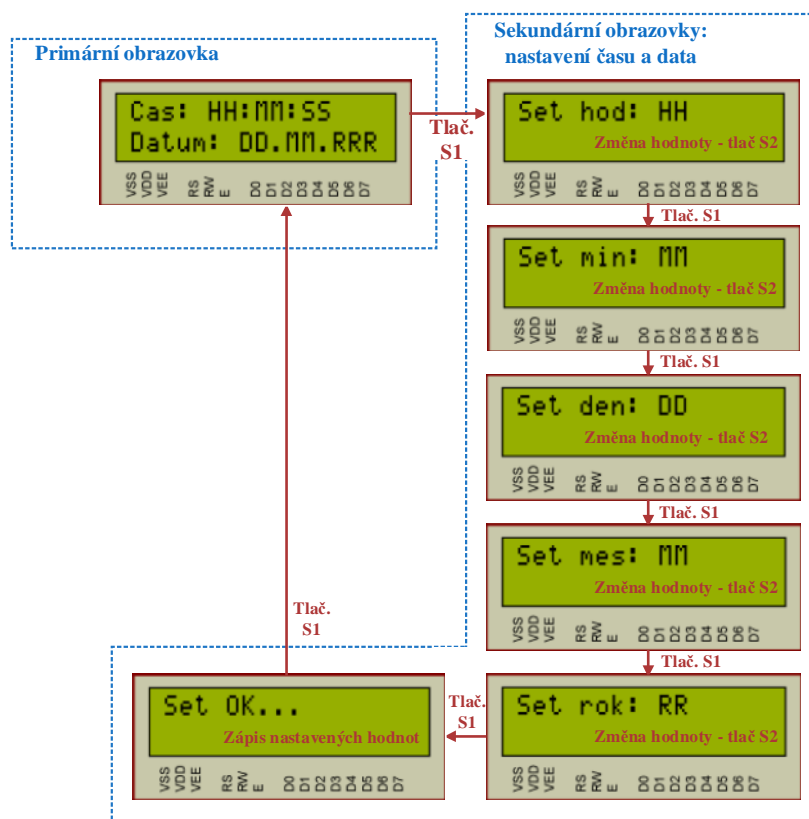
**Tab. 2** Popis registrů času a data obvodu DS1307

ADRESA	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0	VÝZNAM	ROZSAH
00h	CH	Desítky - sekundy			Jednotky - sekundy				Sekundy	00 – 59
01h	0	Desítky - minuty			Jednotky - minuty				Minuty	00 – 59
02h	0	12	Des. hod	Des. hod	Jednotky - hodiny			Hodiny	1 – 12 +AM/PM 00 - 23	
		24	PM/AM							
03h	0	0	0	0	0	Den		Den	01 – 07	
04h	0	0	Des. datum		Jednotky - datum			Datum	01 – 31	
05h	0	0	0	Des. měsíc	Jednotky - měsíc			Měsíc	01 – 12	
06h	Desítky - rok			Jednotky - rok			Rok	00 – 99		

Zdroj: Technická dokumentace DS1307 (2008), vlastní zpracování

Jednotlivé bajty posílané po datové sběrnici jsou vždy odděleny potvrzujícím devátým bitem (acknowledge). Ukončení komunikace je provedeno vysláním podmínky STOP. Jednotlivé přijímané oddíly dat jsou ukládány do datové struktury a dále zpracovávány.

Nastavení aktuálního času a data uživatelem probíhá v několika postupných krocích, jak ukazuje blokové schéma na obr. 17.



**Obr. 17** Postup nastavení aktuálních hodnot času a data obvodu DS1307

## 5.6 Měření napětí a proudů

Mikroočítač ATmega 32<sup>26</sup> disponuje osmikanálovým AD převodníkem s rozlišením 10 bitů. Rozsah vstupního napětí převodníku může být 0 – VCC.

Zařízení měří napětí nabíjeného akumulátoru, nabíjecí proud akumulátoru a proud odebíraný spotřebiči. Byly použity 3 kanály AD převodníku na pinech PA0, PA1, PA2. Pro zjednodušení aplikace je využíván zdroj interní reference napětí 2,56V. V případě použití interní reference  $U_{ref} = 2,56V$  je rozsah vstupních hodnot AD převodníku 0 –  $U_{ref}$ .

Rozsah měřeného napětí akumulátoru je 0 – 14V. Pro snížení napětí je použit napěťový dělič z rezistorů  $R4 = 82k\Omega \pm 1\%$  a  $R5 = 18k\Omega \pm 1\%$ .

$$U_{ADCmax} = \frac{R5}{R4 + R5} \cdot U_{BAT} = \frac{18}{82 + 18} \cdot 14 = 2,52 [V] \quad (6)$$

Jak vyplývá ze vztahu (6), nabývá maximální vstupní napětí AD převodníku hodnoty 2,52V. Výslednou hodnotu převodu je možné zjistit ze vztahu (7) uvedeného v katalogu mikroočítače. Tato hodnota je následně přepočítána obslužným programem pro zobrazení skutečné hodnoty napětí.

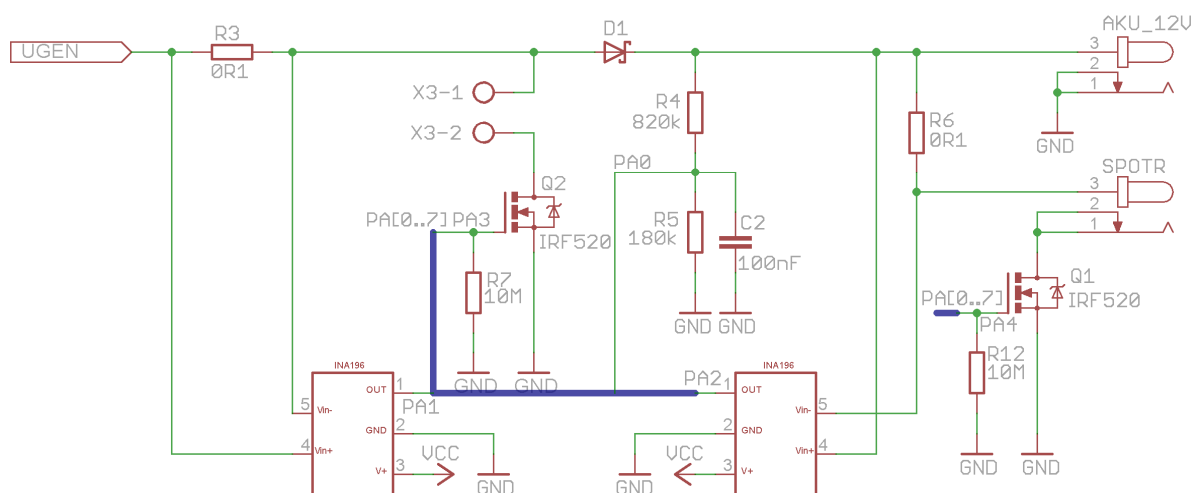
$$ADC = \frac{U \cdot U_{ref}}{2^n} [-] \quad (7)$$

Pro měření nabíjecího proudu a proudu odebíraného spotřebičem jsou použity integrované obvody INA196. Jedná se o převodník napětí-napětí s poměrem zesílení 20V/1V od společnosti Texas Instruments. Obvod snímá úbytek napětí vzniklý průchodem proudu na rezistorech R3 (pro nabíjecí proud) a R6 (pro odebíraný proud) o velikosti 0,1Ω. Výstupem obvodu je zesílené napětí přivedené na vstupní pin AD převodníku.

Vzhledem k maximálnímu proudu dodávanému generátory je nabíjecí proud přepočítáván a zobrazován v jednotkách mA, proud odebíraný spotřebičem potom v Ampérech. Měřicí rozsahy obou A-metrů odpovídají zhruba 0 – 1,2A za předpokladu splnění podmínky maximálního vstupního napětí AD převodníku 2,56V.

Schéma zapojení měřících obvodů je na *obr. 18*. Unipolární tranzistor Q2 slouží k připojení elektronické brzdy, tranzistor Q1 pro odpojení spotřebiče. Ochranu proti zpětnému proudu v případě nulového nabíjecího proudu zajišťuje Schottkyho dioda připojená na kladnou svorku akumulátoru.

<sup>26</sup> Technická dokumentace ATmega 32 (2011)



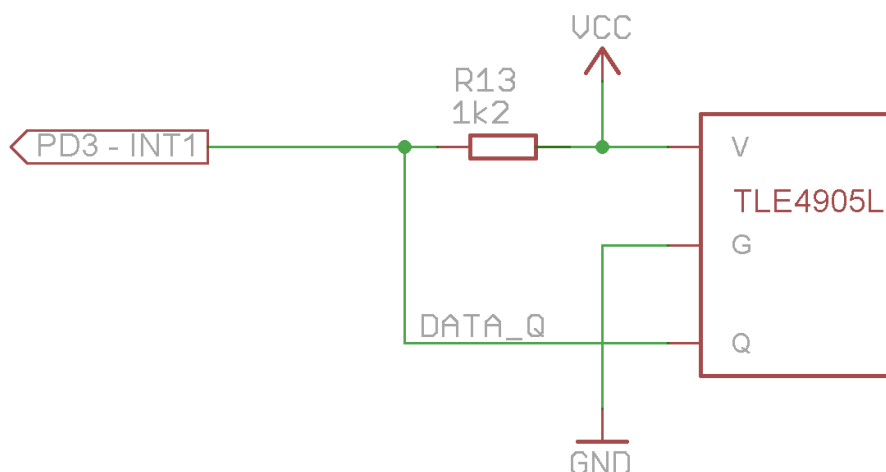
**Obr. 18** Schéma zapojení obvodu pro měření napětí a proudů  
Zdroj: vlastní zpracování

## 5.7 Měření otáček rotoru

Otáčky rotoru jsou snímány Hallovým senzorem TLE4905L umístěným v montážní krabici přímo na gondole větrné elektrárny. Na rotoru jsou proti sobě umístěny dva budící neodymové magnety *obr. 20*.

V případě<sup>27</sup>, že je hallův senzor v nevybuzeném stavu, je na jeho výstupu logická 1. Vlivem vybuzení senzoru magnetickým polem je uvnitř sondy indukováno napětí, které po zesílení překloupí Schmittův klopný obvod a sepnutím tranzistoru propojí výstupní pin Q se zemí. Tím se změní stav na výstupu Q na log. 0.

Obvod je vybaven interní ochrannou diodou proti záměně polarity napájecího napětí.



**Obr. 19** Schéma zapojení hallový sondy TLE4905L  
Zdroj: vlastní zpracování

Výstup Hallový sondy je přiveden na pin PD3, který pracuje v režimu externího přerušování (INT1). Přerušování je spouštěno reakcí na sestupnou hranu signálu. Obslužný program

<sup>27</sup> Technická dokumentace TLE4905L (1997)

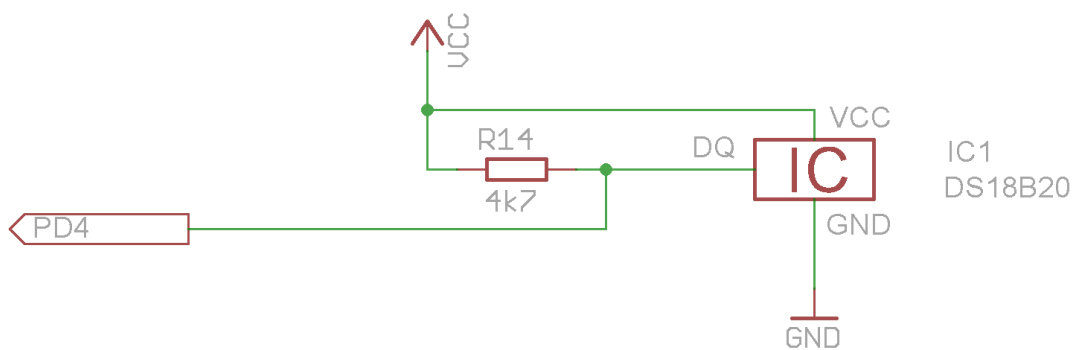
mikropočítače při každém přerušení inkrementuje pomocnou proměnnou a načtený výsledek každou sekundu přepočítá na počet otáčky za minutu. Jedné otáčky rotoru o  $360^\circ$  odpovídají dva impulzy.



**Obr. 20** Použité neodymové magnety  
Zdroj: vlastní zpracování

## 5.8 Měření teploty

Doplňkovou informací, kterou zařízení poskytuje je měření venkovní teploty na gondole větrné elektrárny. Informaci o aktuální teplotě poskytuje číslicové teplotní čidlo DS18B20 od firmy Maxim integrated<sup>28</sup>. Čidlo s rozsahem teplot od  $-55^\circ\text{C}$  do  $+125^\circ\text{C}$  komunikuje s mikropočítačem prostřednictvím sběrnice 1-Wire navrženou společností Dallas Semiconductor.



**Obr. 21** Schéma zapojení číslicového teplotního čidla DS18B20  
Zdroj: Technická dokumentace DS18B20, vlastní zpracování

<sup>28</sup> Technická dokumentace DS18B20 (2008)

## 5.9 Zápisy hodnot na paměťovou kartu SD

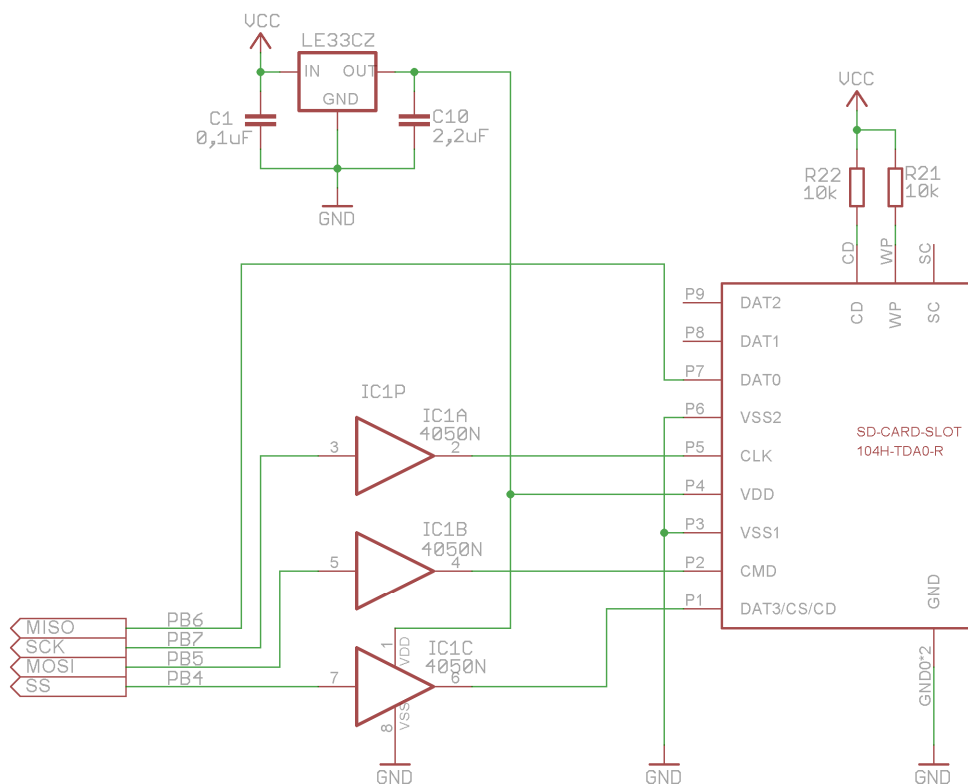
Pro možnost záznamu měřených dat je zařízení vybaveno slotem pro SD kartu. Komunikace s kartou probíhá prostřednictvím rozhraní SPI (MISO, MOSI, SCK, SS). Úrovně pracovního napětí SD karty jsou maximálně 3,3V. Tuto úroveň zajišťuje budič HEF4050B napájený napětím 3,3V, které dodává stabilizátor LE33CZ v katalogovém zapojení.

SD karta pracuje se souborovým systémem FAT. Data jsou ukládána do předem vytvořeného textového souboru data.txt. Formát uložených dat byl zvolen typu CSV. Jednotlivá data jsou tedy oddělena středníky. Pro odlišení jednotlivých dat je na počátku souboru vytvořena hlavička s názvy ukládaných veličin.

Formát textového souboru je následující:

Datum;	Čas;	Inab[mA];	Ubat[V];	Otáčky [ot/min];
DD.MM.RR;	HH:MM;	0000;	00,00;	000;
DD.MM.RR;	HH:MM;	0000;	00,00;	000;

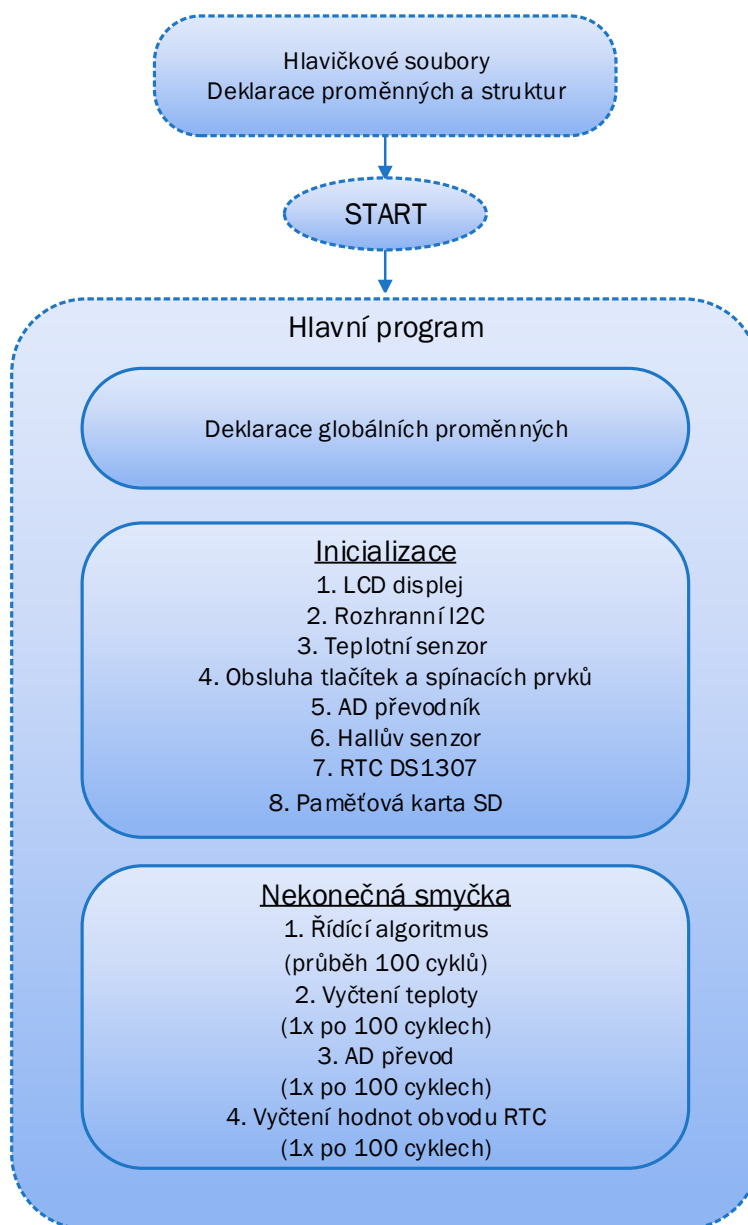
Plánována je možnost nastavení uživatelem, která z dat požaduje ukládat k archivaci a následné analýze v osobním počítači. Díky souboru CSV je možné snadno importovat uložená data do tabulkového editoru EXCEL a zde analyzovat data v podobě grafických průběhů.



**Obr. 22** Schéma zapojení paměťové karty  
Zdroj: vlastní zpracování

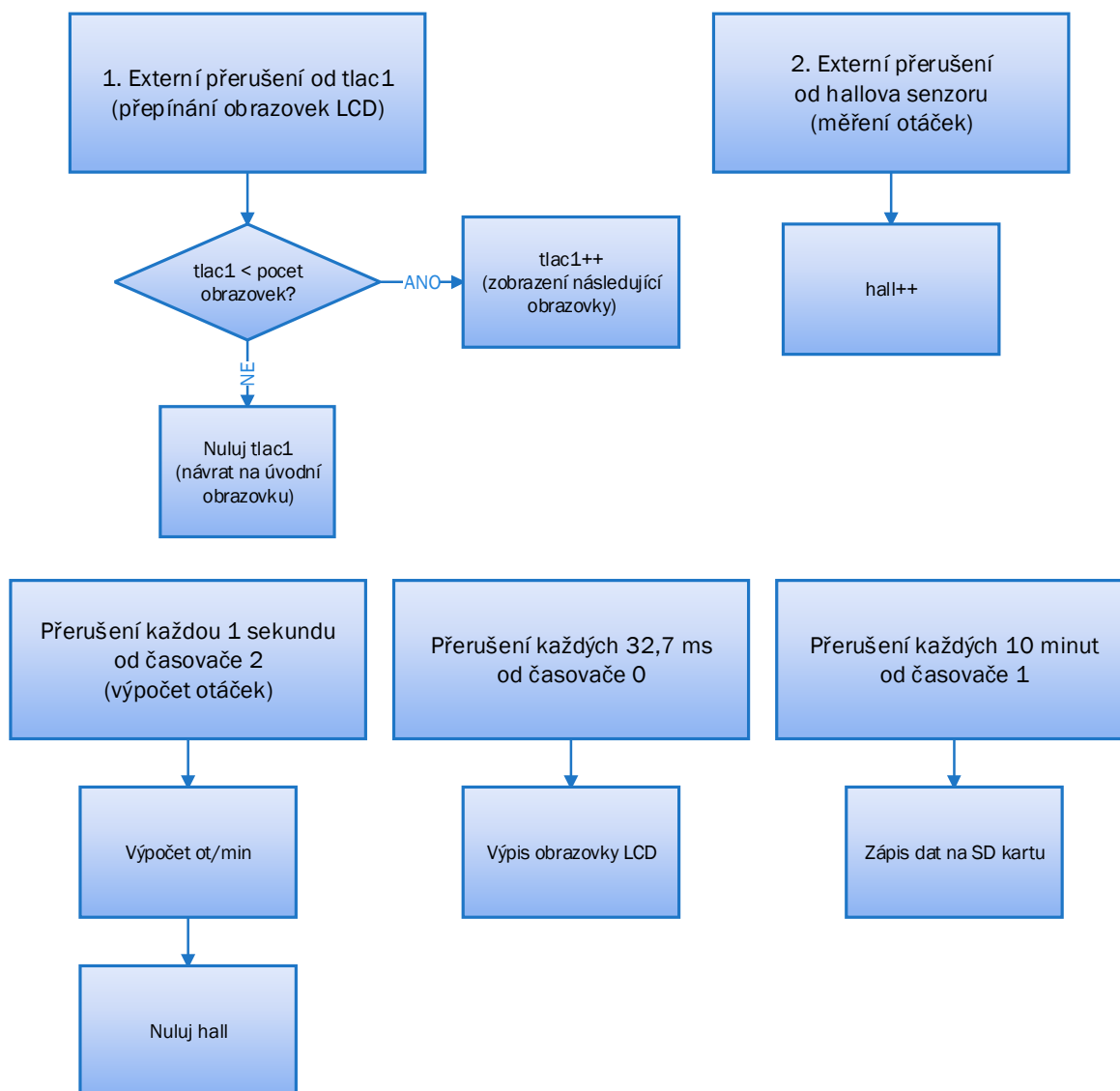
## 5.10 Programové vybavení

Zdrojový kód pro obsluhu mikrokontroléru byl napsán ve vývojovém prostředí Atmel Studio verze 6.1. Kompletní kód je uložen na přiloženém disku, včetně přeloženého souboru hex. Na obr. 23 je znázorněna struktura hlavní části programu. Následující obrázek pak zobrazuje jednotlivé části pro externí přerušení a přerušení od časovačů.



**Obr. 23** Základní struktura obslužného programu  
**Zdroj: vlastní zpracování**

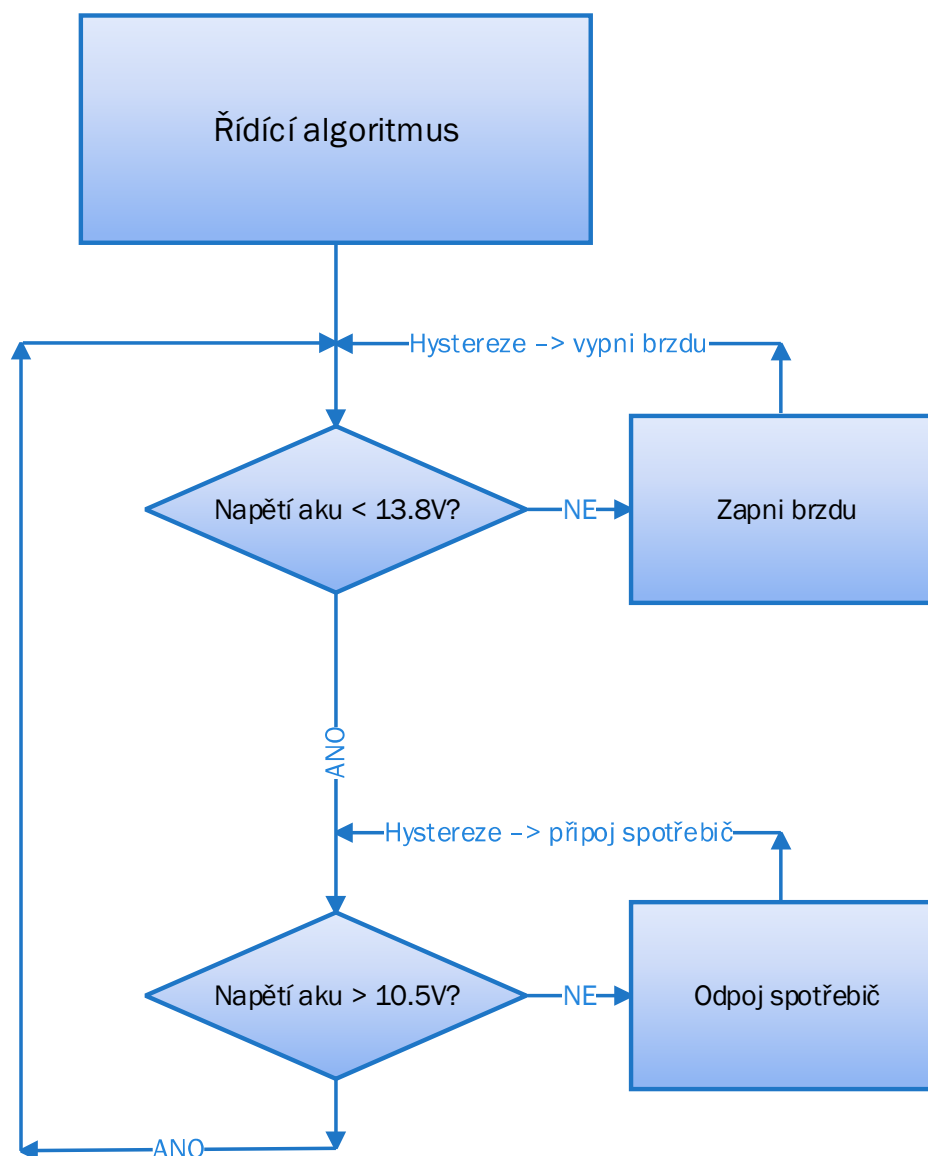




**Obr. 24** Vývojové diagramy použitých přerušení  
Zdroj: vlastní zpracování

Na *obr. 25* je znázorněn vývojový diagram řídicího algoritmu pro spínání elektrické brzdy. Dosáhne-li v průběhu nabíjení napětí akumulátoru hodnoty vyšší, než 13,8V dojde k sepnutí elektrické brzdy. Tím je zajištěna ochrana proti přebití akumulátoru. Brzda je díky hysterezi odpojena až při poklesu napětí na hodnotu 13,2V. Tím je zajištěno, aby nedocházelo při okamžitém poklesu napětí k vypnutí brzdy.

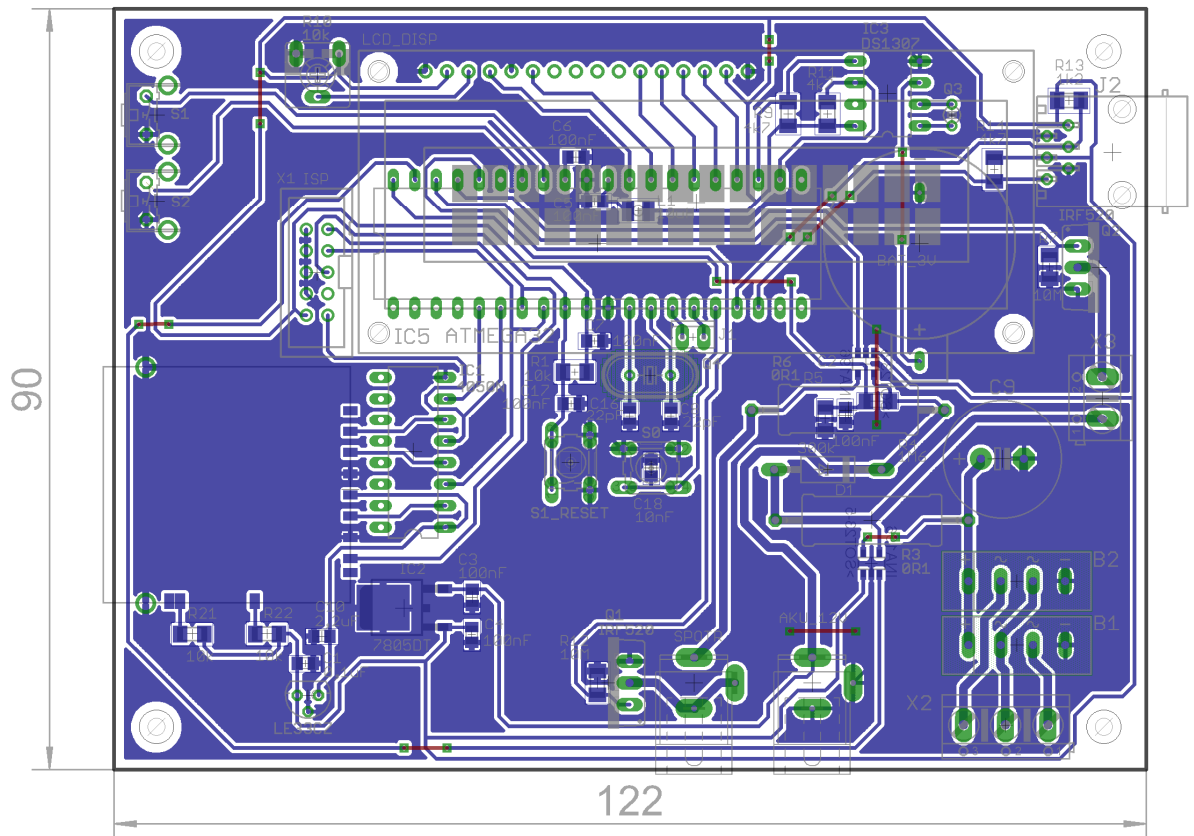
V případě, že poklesne napětí akumulátoru pod 10,5V, pak se automaticky odpojí veškeré připojené spotřebiče. Následovné připojení je uskutečněno až po dosažení 12V.



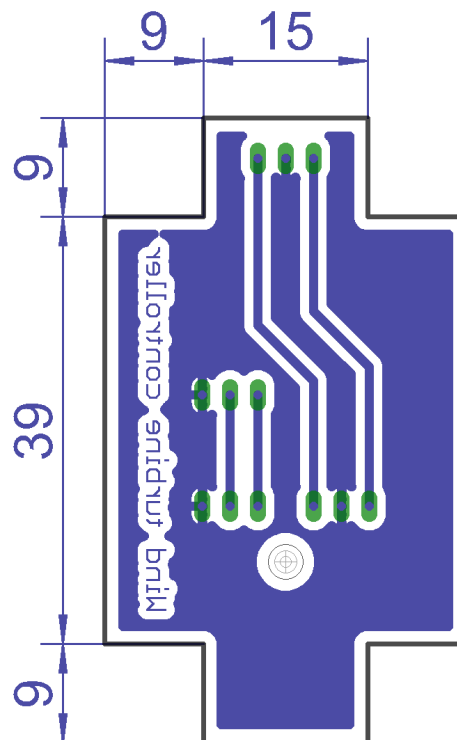
**Obr. 25** Blokový diagram řídicího algoritmu  
Zdroj: vlastní zpracování

## 6 Návrh desky plošného spoje

Schéma zapojení a návrh DPS bylo provedeno v prostředí návrhového programu EAGLE. Ve schématu jsou pro zpřehlednění zapojení použity sběrnice (modře). Celé schéma (viz přílohy) sestává ze dvou propojených listů. První znázorňuje napájecí (silovou) část zařízení, na druhé je zapojen mikropočítač s dalšími periferiemi. Deska plošného spoje byla navrhována jako jednostranný plošný spoj pro usnadnění následné výroby. Šířka signálových cest je 16 mil (0,4064 mm), silové jsou široké 39,3 mil (1 mm). Pro zvýšení kvality plošného spoje byla využita funkce rozlití mědi (polygon) s potenciálem GND.



**Obr. 26** Navržená deska hlavního plošného spoje  
Zdroj: vlastní zpracování

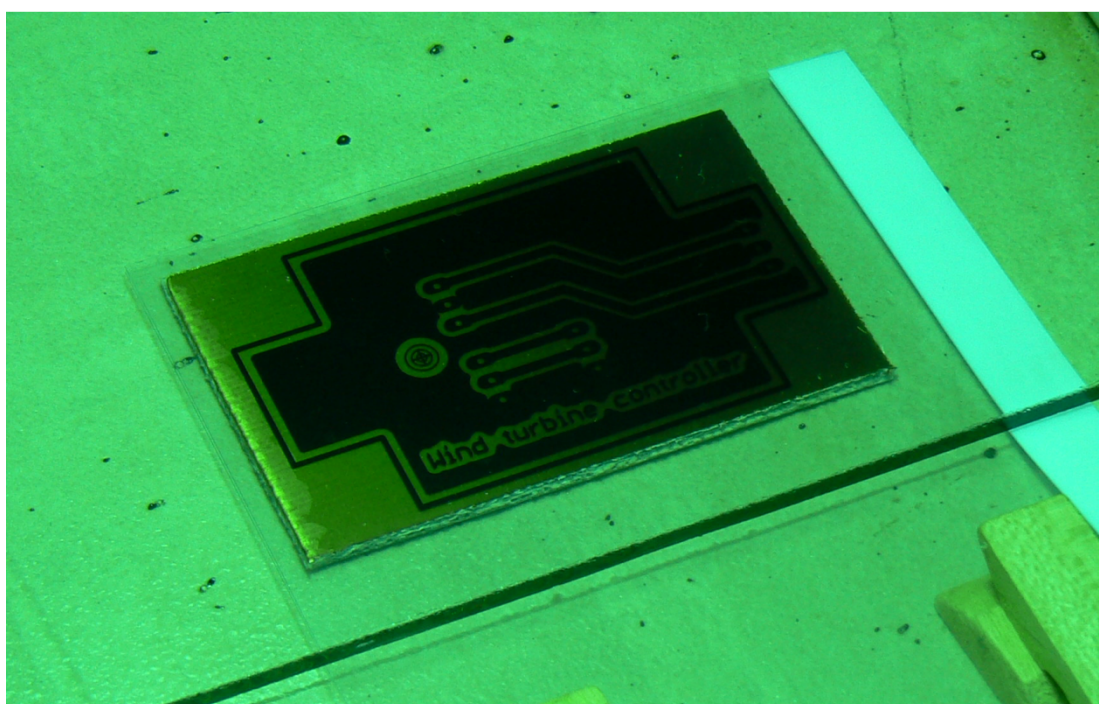


**Obr. 27** Navržená deska plošného spoje pro měření otáček a teploty na gondole  
Zdroj: vlastní zpracování

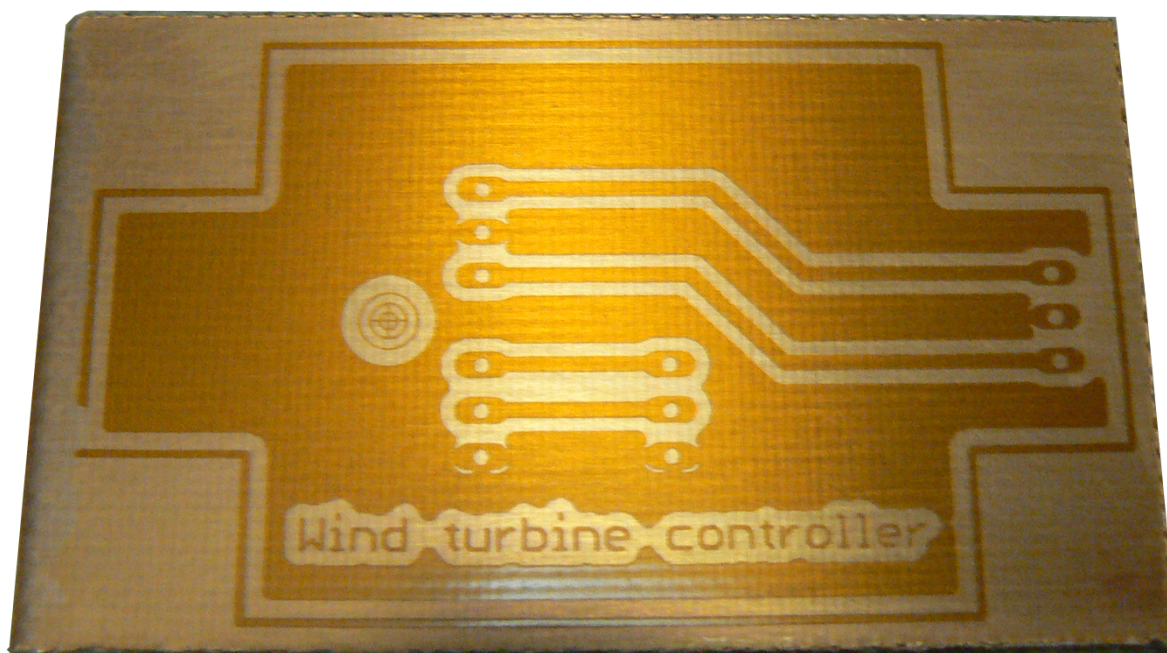
## 7 Provedení a osazení desky plošného spoje

Deska plošného spoje byla vyrobena fotocestou v domácích podmínkách. Pro první úpravu rozměru DPS bylo použito pákových nůžek. Finálního tvaru bylo dosaženo pilováním, popřípadě řezáním lupínkovou pilou. Předloha pro osvit desky s předem nanesenou světlocitlivou emulzí byla tištěna na transparentní folie pro inkoustový tisk. Následný osvit zajistila UV lampa ze vzdálenosti 20 cm po dobu cca. 15 minut. V další fázi byl plošný spoj omýván v roztoku chemické vývojky (hydroxid sodný). Pro samotné leptání byl použit chlorid železitý.

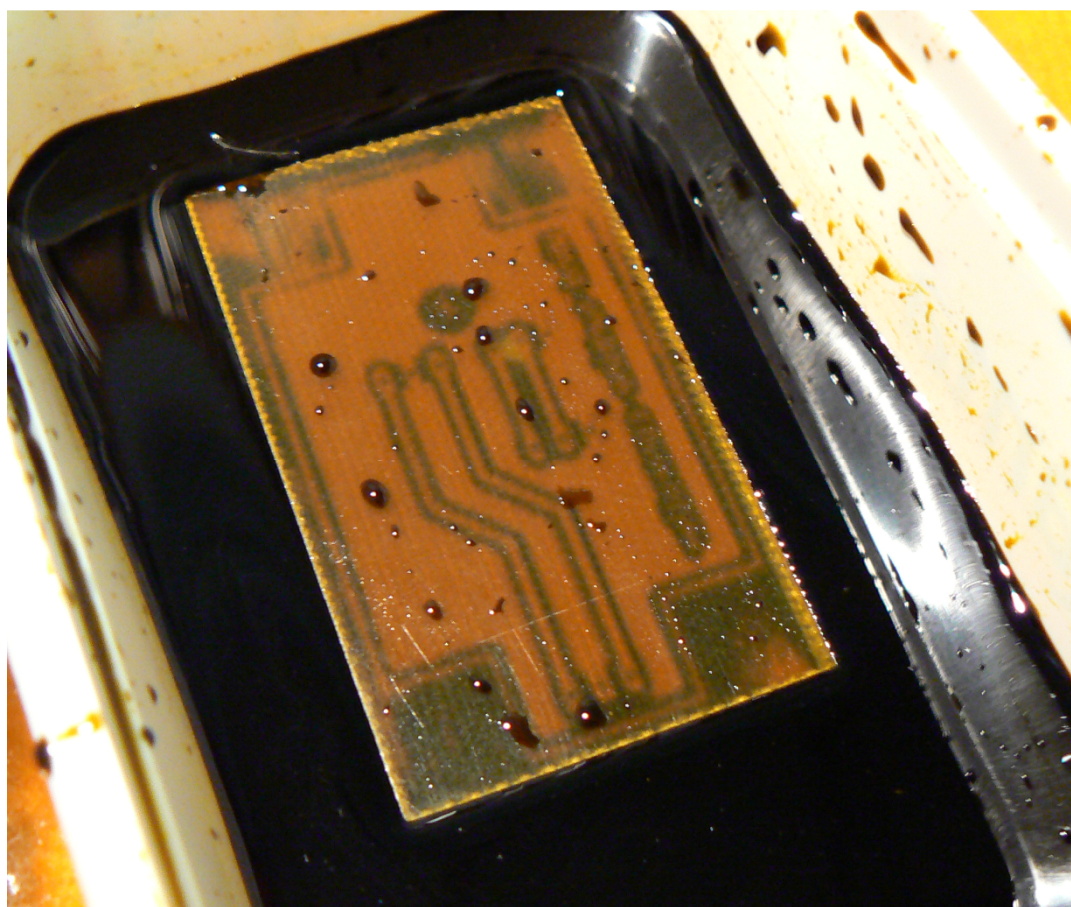
### 7.1 Postup výroby plošného spoje



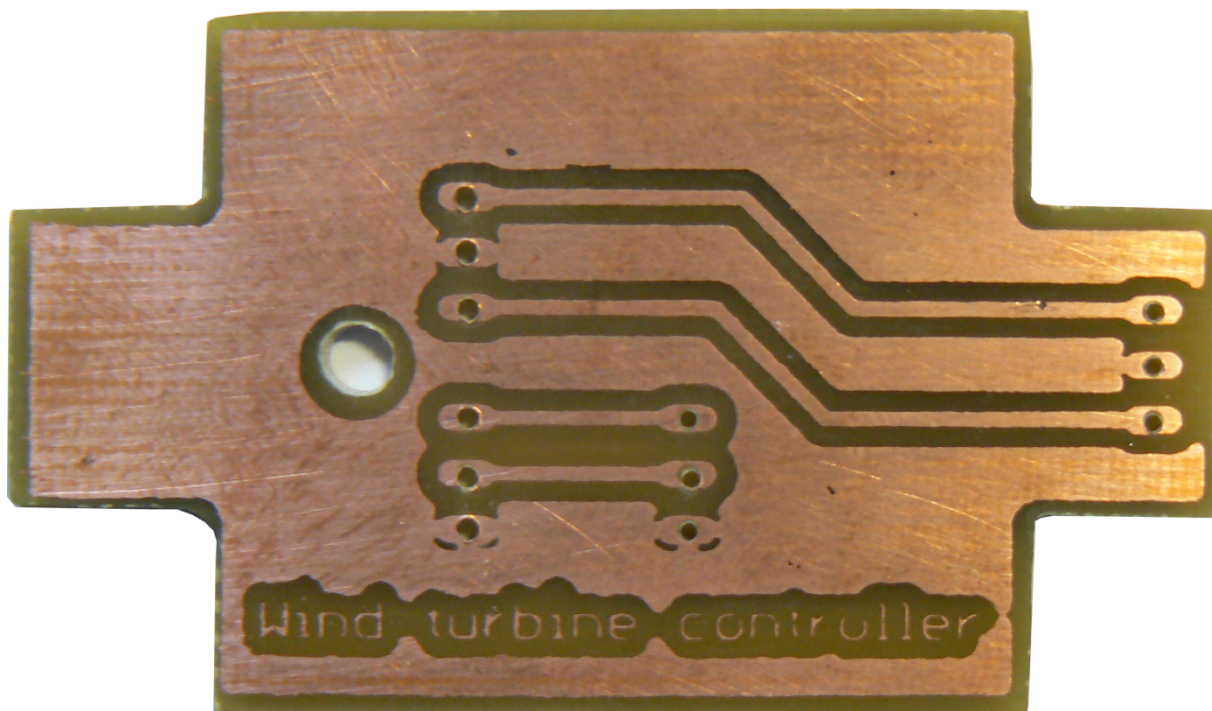
**Obr. 28** Osvit desky plošného spoje  
Zdroj: vlastní zpracování



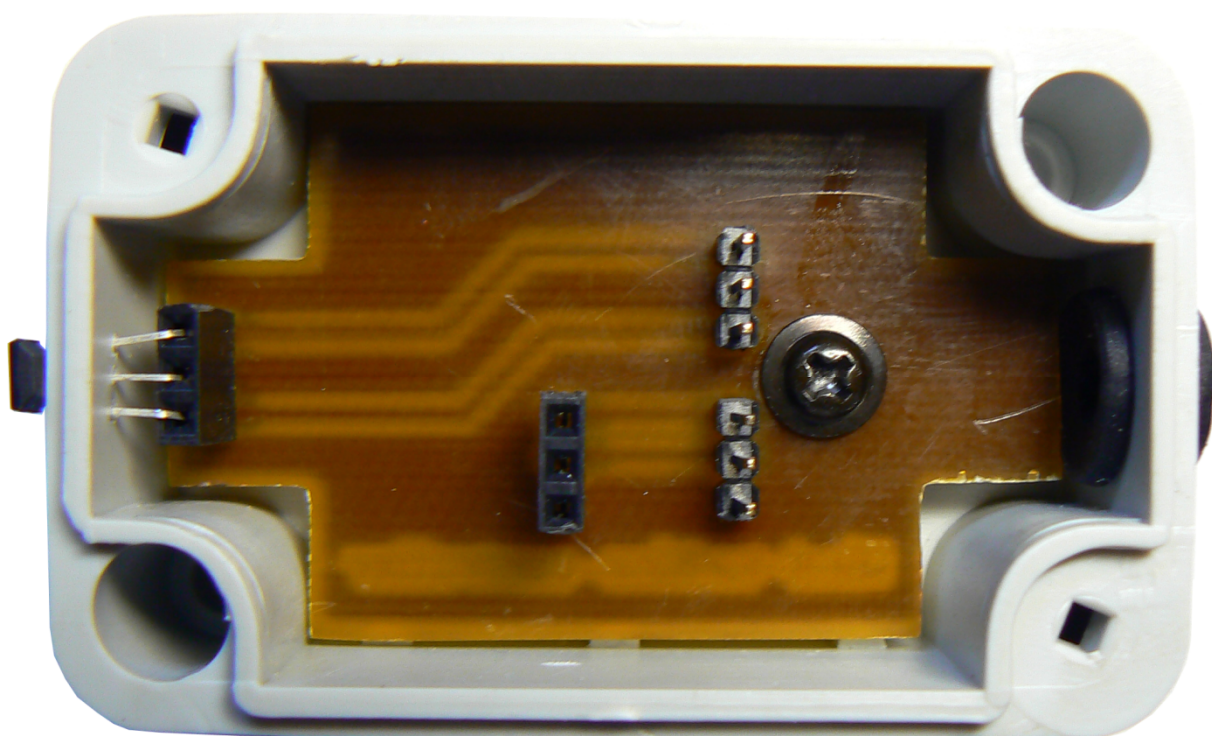
**Obr. 29** Omytá deska plošného spoje připravená k leptání  
Zdroj: vlastní zpracování



**Obr. 30** Leptání plošného spoje v roztoku chloridu železitého  
Zdroj: vlastní zpracování



**Obr. 31** Vyvrtaná deska plošného spoje připravená k osazení  
Zdroj: vlastní zpracování



**Obr. 32** Osazený plošný spoj uchycený do montážní krabice  
Zdroj: vlastní zpracování

## 8 Oživení a měření navrženého zařízení

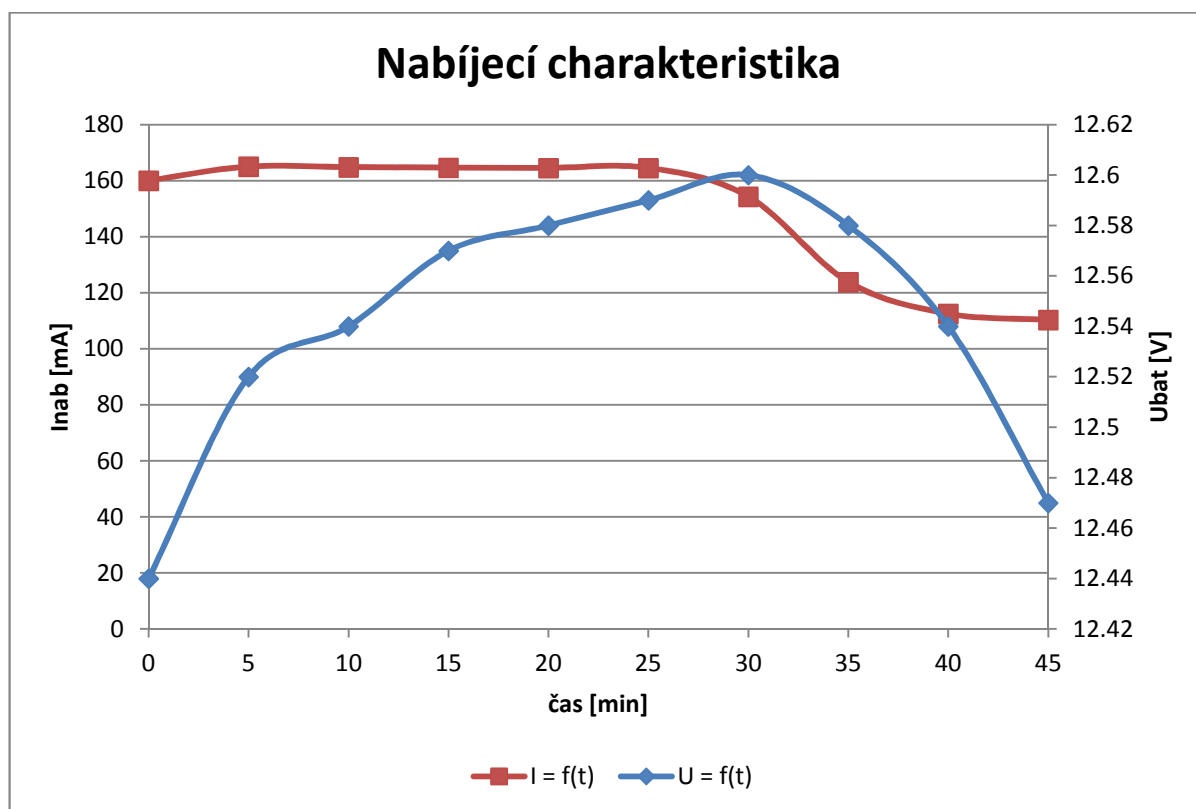
Při ožívování a následném testování byla ověřena správná funkce celého zařízení. Tato část práce zároveň odhalila konkrétní nedostatky.

Samotné oživení zařízení probíhalo bez větších komplikací. Na některých místech bylo nutné proškrábání izolačních mezer desky plošného spoje. Použitá vývodová pouzdra integrovaných obvodů umožnila využití patič. Po osazení byl nejprve zkontrolován rozvod napájení pro jednotlivé obvody. Až poté byly vloženy integrované součástky a prostřednictvím rozhraní ISP naprogramován mikropočítač.

Testování elektrárny s připojeným zařízením v reálných podmínkách odhalilo, že elektronická brzda nedisponuje potřebným brzdícím momentem, aby bylo větrné kolo dostatečně chráněno v případě nepříznivých povětrnostních podmínek. I v případě dostatečného přibrzdění generátorů by docházelo k prokluzu na místě třecího převodu. Z toho plyne, že použitá elektronická brzda v podobě topného rezistoru je vhodná spíše pro zajištění ochrany nabíjeného akumulátoru, tedy odvedení generované energie ve vhodný okamžik. Z tohoto důvodu není doposud bezpečné instalovat takové větrné zařízení v obydlené oblasti, kde by mohlo dojít ke zranění například úlomkem větrného listu.

Další nespornou nevýhodou této malé větrné elektrárny je již v předchozím textu zmiňovaný nízký výkon použitých generátorů. Při měření nabíjecí charakteristiky v laboratorních podmínkách docházelo k přehřívání obou generátorů, které tak ztrácely výkon. Tento jev byl pozorován zhruba po 30ti minutách nabíjení proudem asi 160 mA. Hnací motor poháněl zařízení v počátku měření rychlostí 400 ot/min. Počáteční napětí akumulátoru s připojeným zařízením bylo 12 V. S přehřátím generátorů došlo k výraznému poklesu nabíjecího proudu až na 110 mA po 45 minutách nabíjení. Za tohoto stavu bylo nabíjení ukončeno, aby nedošlo ke zničení generátorů. Průběh měření je zobrazen na *obr. 31*.

Závažným недостатkem konstrukce zařízení je nemožnost vypnutí zobrazovacího LCD displeje, který zbytečně zvyšuje odběr proudu celku i v případě, že zařízení není využíváno. Řešením by bylo doplnění zapojení o spínací tranzistor, díky němuž by bylo možné displej zcela vypnout.



Obr. 33 Změřená nabíjecí charakteristika

Zdroj: vlastní zpracování

## 9 Závěr

Předmětem bakalářské práce bylo navrhnout a zrealizovat zařízení pro měření a zpracování veličin malé větrné elektrárny. Cílem bylo ověřit, zda je v této aplikaci vhodné využití mikropočítačové techniky.

Již návrh zařízení ukázal velké výhody použití mikropočítače. Oproti původní verzi analogově řešeného zařízení došlo k velké úspoře co do rozměrů finálního zařízení. I přes výrazné zmenšení rozměrů poskytuje nové zařízení mnohem více funkcí v porovnání s předchozí verzí. Mikropočítač ATmega32 disponuje 40 pinovým pouzdrem a velkým množstvím interních periferních obvodů.

Hlavním požadavkem na navrhované zařízení bylo zajistit nabíjení 12V olověného auto akumulátoru. Za velmi příznivých povětrnostních podmínek, tedy silného větru, dosahoval nabíjecí proud až 600 mA. Při této hodnotě proudu se rotor větrného zařízení otáčel rychlostí až 800 ot/min. V laboratorních podmínkách, tedy při pohonu větrného kola elektromotorem byl akumulátor nabíjen proudem až 200 mA při rychlosti 350 – 400 otáček za minutu.

Ochranu nabíjeného akumulátoru proti přebíjení obstarává řídicí algoritmus, který v případě dosažení hodnoty napětí na akumulátoru 13,8V odpojí nabíjený akumulátor a sepne tak elektronickou brzdu v podobě topného rezistoru. V případě, že poklesne napětí



akumulátoru pod 10,5V, dojde k odpojení připojených spotřebičů, a tudíž zamezení nežádoucímu podvybití akumulátoru.

Uživateli je umožněno na displeji sledovat hodnoty nabíjecího proudu, aktuálního napětí akumulátoru a jeho stavu nabití a proud odebíraný připojenými spotřebiči. Za dodatečné informace lze označit otáčky rotoru, venkovní teplotu na gondole elektrárny a aktuální datum a čas. Pro zpětnou časovou analýzu dat je uživateli umožněno prostřednictvím paměťové karty přenést data uložená v textovém souboru do osobního počítače. Díky souborové struktuře CSV lze snadno importovat data do tabulkového editoru EXCEL.

Čidla pro měření otáček a venkovní teploty jsou osazena na plošném spoji, který je umístěn ve vodotěsné plastové krabici. Tento celek je následně umístěn na gondolu větrného zařízení. Kabel propojující krabici na gondole s hlavním zařízením je interně veden stožárem větrné elektrárny. Toto spojení je spolehlivě funkční v rámci desítek metrů. V případě, že by byl hlavní řídicí obvod vzdálen řádově stovky metrů od větrné elektrárny, bylo by nutné doplnění mikroprocesoru na gondolu elektrárny a popřípadě posílení komunikačních úrovní.

Pro možnost dalšího vývoje a rozšíření je na desce plošného spoje vyveden rozšiřující konektor sériové komunikace pro připojení bezdrátových modulů (wifi, bluetooth). Prostřednictvím mobilního telefonu, nebo osobního počítače by se uživatel mohl v reálném čase spojit se zařízením a sledovat tak aktuální veličiny.

Plánované možnosti využití větrného zařízení spočívají v zajištění elektrické energie v oblastech, kde není zaveden stálý zdroj elektrické energie. Tento případ se týká například zahrad a chatových oblastí (základní osvětlení) v odlehlých lokalitách. Podmínkou pro spolehlivou funkci ale stále zůstává nutnost terénu bez výrazných překážek, které by ovlivňovaly proudění větru a způsobovaly tak větrné víry.

V rámci dalšího studia bych rád provedl úpravu konstrukce větrné elektrárny. Nynější generátory by mohly být nahrazeny buzeným automobilovým alternátorem. Mikroprocesorem řízené zařízení by měnilo velikost budícího proudu podle aktuální síly větru.

Díky této bakalářské práci jsem se zdokonalil v práci s vývojovým prostředím Eagle a nabyl bohatých zkušeností s mikroprocesorovou technikou a programováním.

## Seznam literatury

- [1] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010, 296 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [2] HALLENGA, Uwe. *Malá větrná elektrárna: návod ke stavbě s konstrukčními výkresy*. 2. přepr. a rozš. vyd. Ostrava,: HEL, 2006, 95 s. ISBN 80-861-6727-5.
- [3] Ing. Václav RYCHETNÍK, CSc., prof. Ing. Jiří PAVELKA, DrSc., doc. Ing. Josef JANOUŠEK, CSc. *Větrné motory a elektrárny*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1997, 199 s. ISBN 80-01-01563-7.
- [4] BOYLE, Godfrey. *Renewable energy: Power for a sustainable future*. 2nd ed. New York: Oxford University Press in association with the Open University, c2004, xi, 452 p. ISBN 01-992-6178-4.
- [5] Alternativní zdroje energie. *Alternativní zdroje energie* [online]. datum vydání neuvedeno [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: <http://www.alternativni-zdroje.cz/>
- [6] Alternativní zdroje energie. *Alternativní zdroje energie* [online]. datum vydání neuvedeno [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: <http://www.alternativni-zdroje.cz/vodni-geotermalni-energie.htm>
- [7] Česká společnost pro větrnou energii. *Česká společnost pro větrnou energii: Vzdělání* [online]. 2013 [cit. 2014-03-12]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/cz/detail-kategorie/z-ceho-se-sklada-vetrna-elektrarna/82>
- [8] ENERCON: ENERGIE FÜR DIE WELT. *ENERCON* [online]. 2014 [cit. 2014-03-15]. Dostupné z: <http://www.enercon.de/de-de/antriebssystem.htm>
- [9] WIKOV. WIKOV HOLDING. *WIKOV* [online]. 2014 [cit. 2014-03-15]. Dostupné z: <http://www.wikov.cz/cz/?a1>
- [10] ATmega32. *Atmel Corporation* [online]. 2011 [cit. 2014-03-05]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/images/doc2503.pdf>
- [11] RTC DS1307. *Maxim Integrated* [online]. 2008 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1307.pdf>
- [12] TLE4905L. *Opendcc* [online]. 1997 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: [http://www.opendcc.org/s88/s88\\_magnet/Hallsensor\\_Siemens\\_TLE4905L.pdf](http://www.opendcc.org/s88/s88_magnet/Hallsensor_Siemens_TLE4905L.pdf)
- [13] DS18B20. *Maxim Integrated* [online]. 2008 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>

## Seznam obrázků

OBR. 1 PRINCIP SYSTÉMU PRO POKRYTÍ SPOTŘEBY OBNOVITELNÝMI ZDROJI ENERGIE .....	12
OBR. 2 SCHÉMA CÍRKULACE VZDUŠNÝCH PROUDŮ .....	14
OBR. 3 GRAF ZÁVISLOSTI VÝKONU VĚTRU PROUDÍCÍHO JEDNOTKOVOU PLOCHOU NA JEHO RYCHLOSTI.....	17
OBR. 4 MOŽNÁ USPOŘÁDÁNÍ ROTOROVÝCH LISTŮ VZTLAKOVÝCH VĚTRNÝCH MOTORŮ .....	19
OBR. 5 KONSTRUKCE MECHANICKO-ELEKTRICKÉ ČÁSTI VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY,.....	21
OBR. 6 NABÍJENÍ AKUMULAČNÍHO PRVKU S NEZÁVISLOU SÍTÍ .....	22
OBR. 7 POPIS MECHANICKÉ KONSTRUKCE MODELU MALÉ VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY .....	24
OBR. 8 POPIS ZAŘÍZENÍ PRVNÍ GENERACE PRO MĚŘENÍ A REGULACI NABÍJENÍ .....	26
OBR. 9 BLOKOVÉ SCHÉMA NAVRHOVANÉHO ZAŘÍZENÍ .....	27
OBR. 10 POUŽITÝ BRZDNÝ REZISTOR .....	28
OBR. 11 SCHÉMA ZAPOJENÍ OBVODU PRO USMĚRNĚNÍ A FILTRACI NAPĚTÍ.....	29
OBR. 12 ZAPOJENÍ LINEÁRNÍHO STABILIZÁTORU KIA7805AF .....	30
OBR. 13 ZAPOJENÍ MIKROPOČÍTAČE ATMEGA32 .....	31
OBR. 14 ZAPOJENÍ LCD DISPLEJE .....	32
OBR. 15 BLOKOVÉ SCHÉMA OBRAZOVEK LCD DISPLEJE S POPISEM TLAČÍTEK .....	33
OBR. 16 ZAPOJENÍ ZDROJE REÁLNÉHO ČASU DS1307 .....	34
OBR. 17 POSTUP NASTAVENÍ AKTUÁLNÍCH HODNOT ČASU A DATA OBVODU DS1307.....	35
OBR. 18 SCHÉMA ZAPOJENÍ OBVODU PRO MĚŘENÍ NAPĚTÍ A PROUDŮ .....	37
OBR. 19 SCHÉMA ZAPOJENÍ HALLOVY SONDY TLE4905L .....	37
OBR. 20 POUŽITÉ NEODYMOVÉ MAGNETY .....	38
OBR. 21 SCHÉMA ZAPOJENÍ ČÍSLICOVÉHO TEPLTNÍHO ČIDLA DS18B20 .....	38
OBR. 22 SCHÉMA ZAPOJENÍ PAMĚŤOVÉ KARTY .....	39
OBR. 23 ZÁKLADNÍ STRUKTURA OBSLUŽNÉHO PROGRAMU .....	40
OBR. 24 VÝVOJOVÉ DIAGRAMY POUŽITÝCH PŘERUŠENÍ .....	41
OBR. 25 BLOKOVÝ DIAGRAM ŘÍDÍCÍHO ALGORITMU .....	42
OBR. 26 NAVRŽENÁ DESKA HLAVNÍHO PLOŠNÉHO SPOJE.....	43
OBR. 27 NAVRŽENÁ DESKA PLOŠNÉHO SPOJE PRO MĚŘENÍ OTÁČEK A TEPLoty NA GONDOLÉ ...	43
OBR. 28 OSVIT DESKY PLOŠNÉHO SPOJE .....	44
OBR. 29 OMYTÁ DESKA PLOŠNÉHO SPOJE PŘIPRAVENÁ K LEPTÁNÍ .....	45
OBR. 30 LEPTÁNÍ PLOŠNÉHO SPOJE V ROZTOKU CHLORIDU ŽELEZITÉHO.....	45
OBR. 31 VYVRTANÁ DESKA PLOŠNÉHO SPOJE PŘIPRAVENÁ K OSAZENÍ.....	46

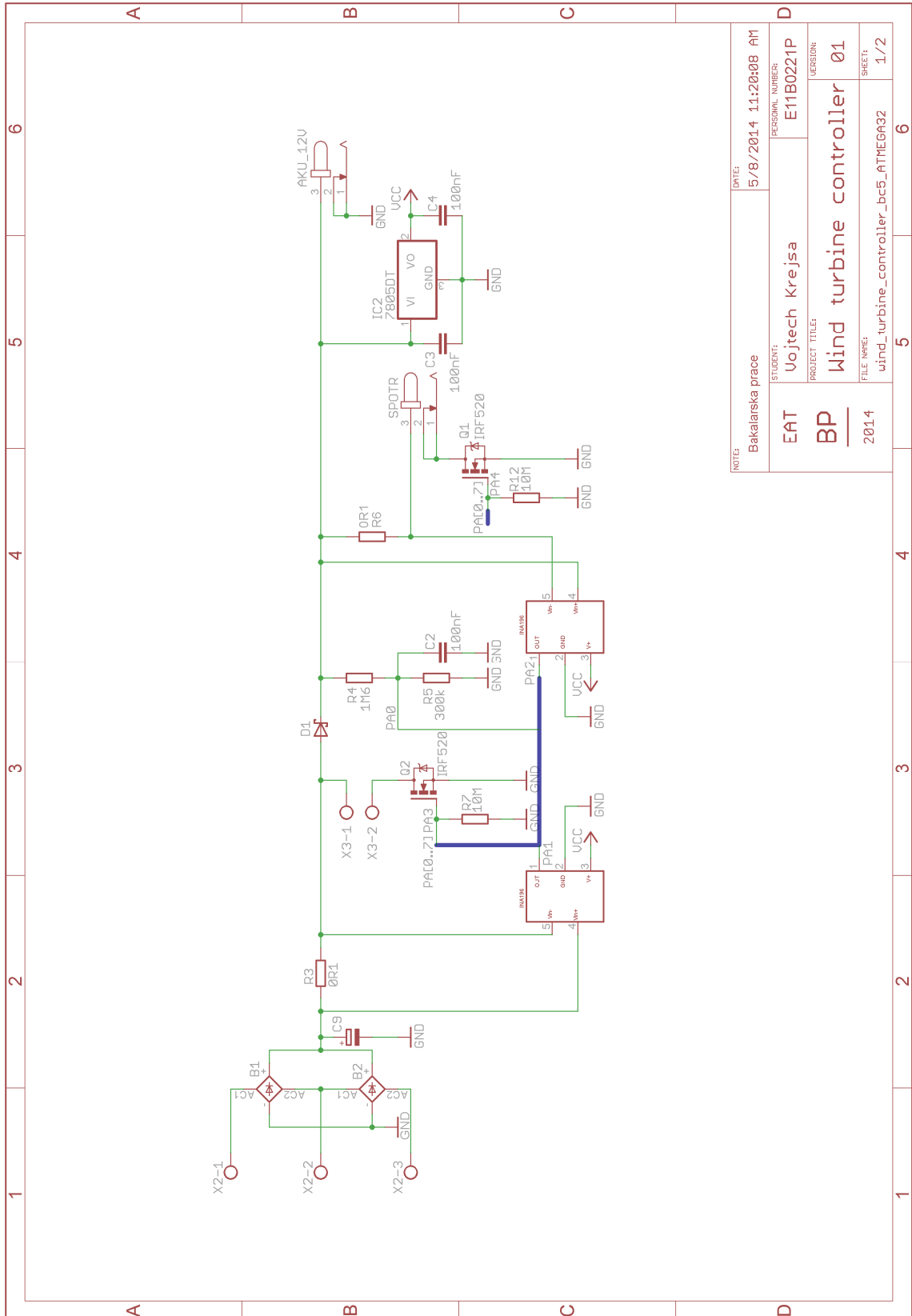
OBR. 32 OSAZENÝ PLOŠNÝ SPOJ UCHYCENÝ DO MONTÁŽNÍ KRABICE .....	46
OBR. 33 ZMĚŘENÁ NABÍJECÍ CHARAKTERISTIKA.....	48

## **Seznam tabulek**

TAB. 1 BEAUFORTOVA STUPNICE RYCHLOSTI VĚTRU .....	15
TAB. 2 POPIS REGISTRŮ ČASU A DATA OBVODU DS1307.....	35

# Přílohy

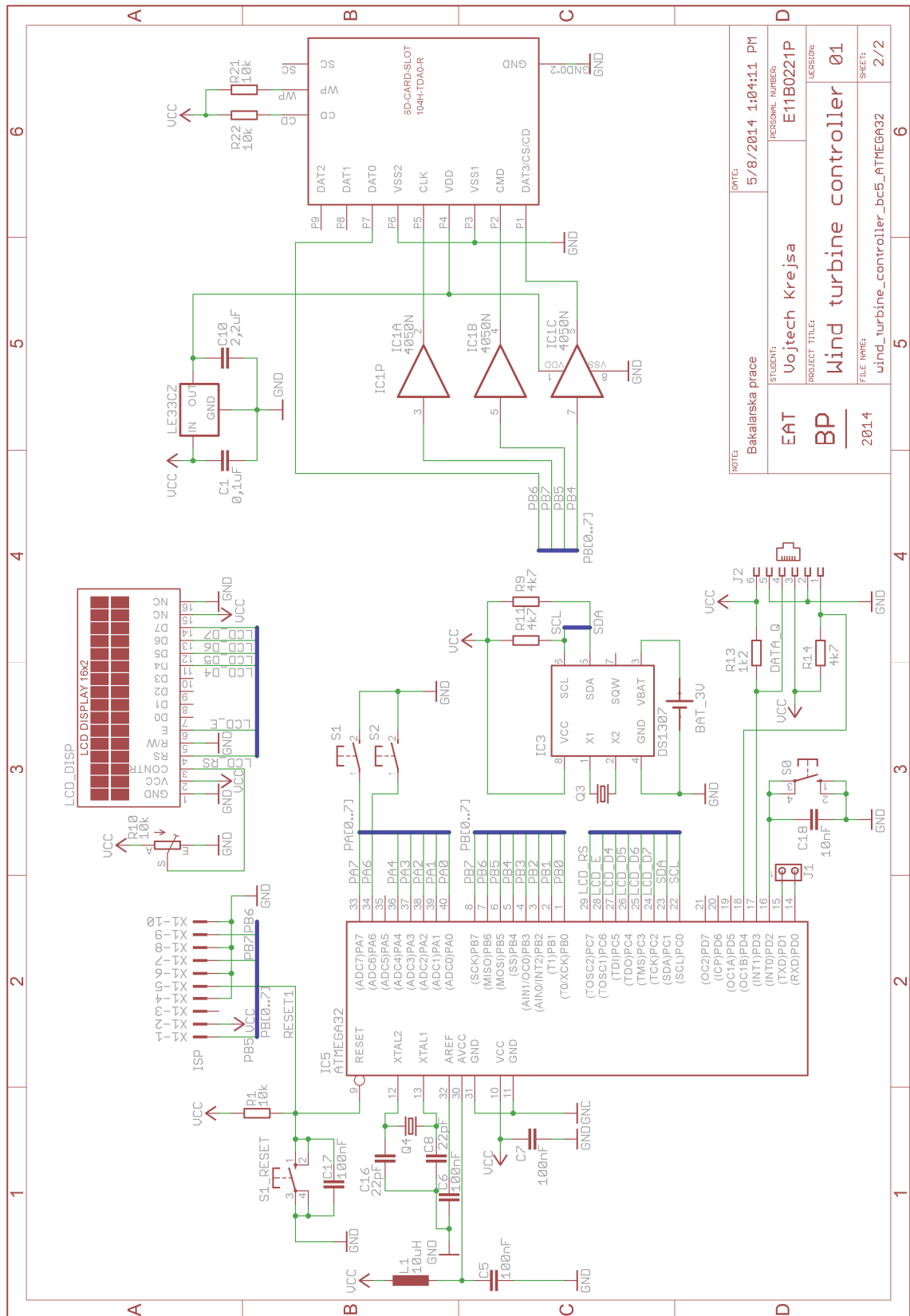
## Příloha 1



NOTES:	Bakalarska prace	DATE:	5/8/2014 11:20:08 AM
		PERSONAL NUMBER:	E11B0221P
		PROJECT TITLE:	Wind turbine controller 01
		FILE NAME:	wind_turbine_controller_bc5_ATMEGA32
		VERSION:	1/2
		SHEET:	1/2

Obr. 1 Schéma zapojení silové části zařízení

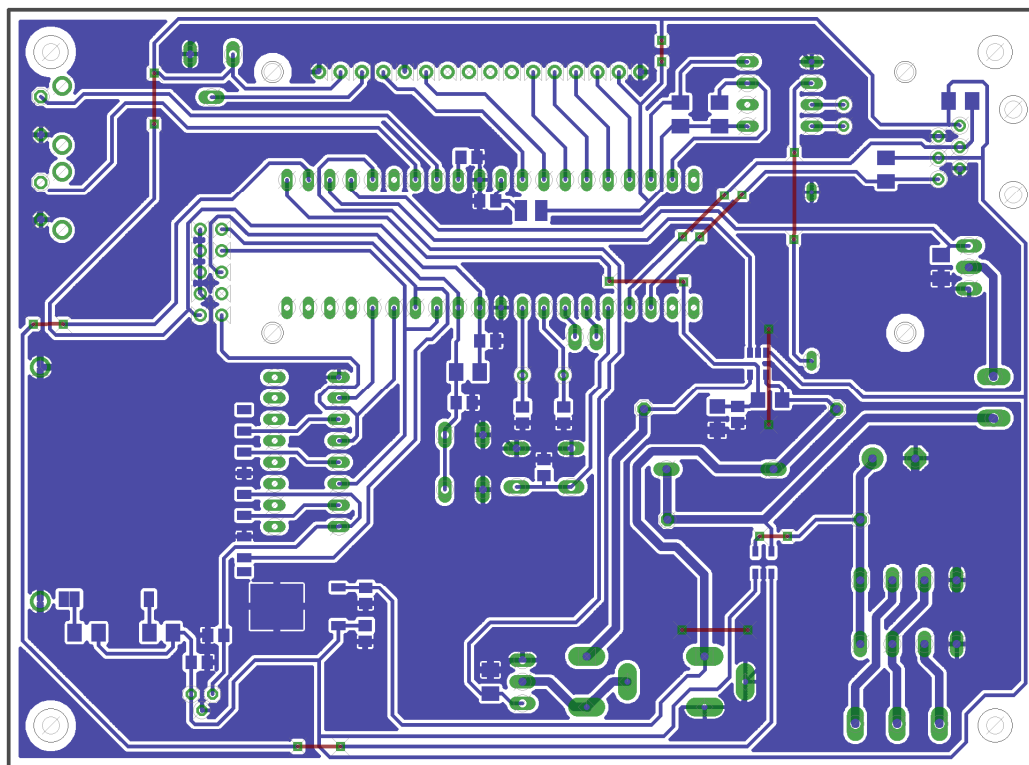
Příloha 2



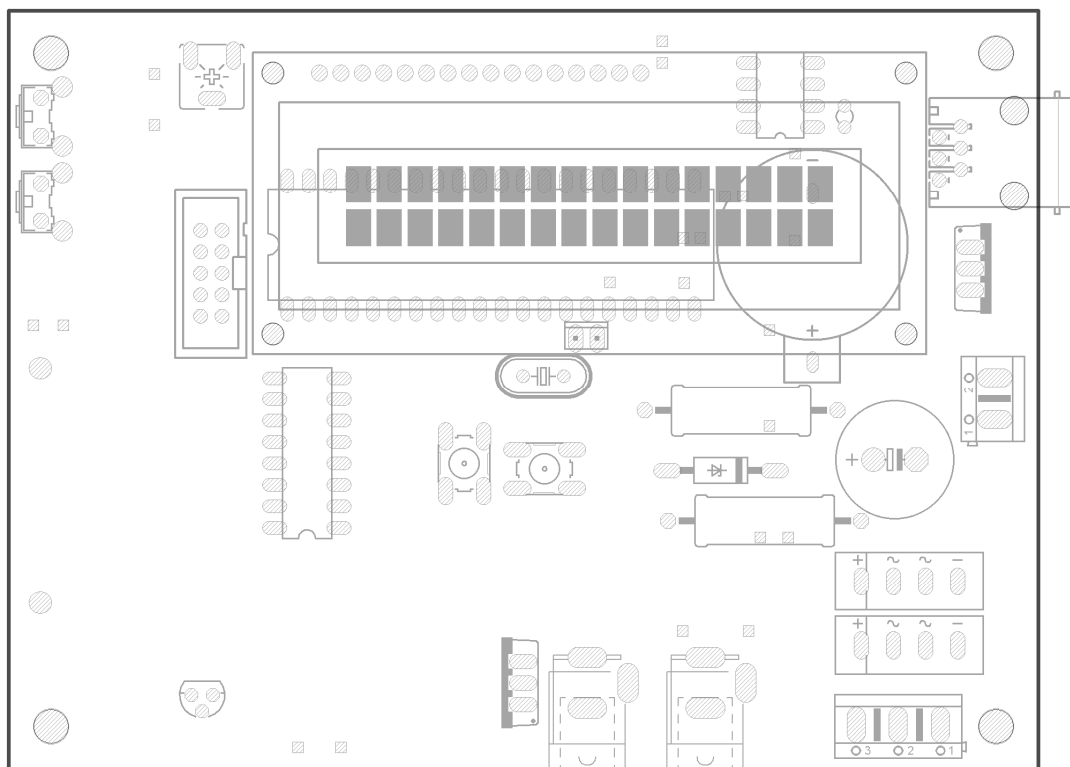
DATE:	5/8/2014 1:04:11 PM
PERSONAL NUMBER:	E11B0221P
STUDENT:	Uojtech Krejsa
PROJECT TITLE:	Wind turbine controller 01
VERSION:	1
FILE NAME:	wind_turbine_controller_bc5_ATMEGA32
DATE:	2014
VERSION:	2/2
SHEET:	6

Obr. 2 Schéma zapojení mikropočítače s periferiemi

**Příloha 3**

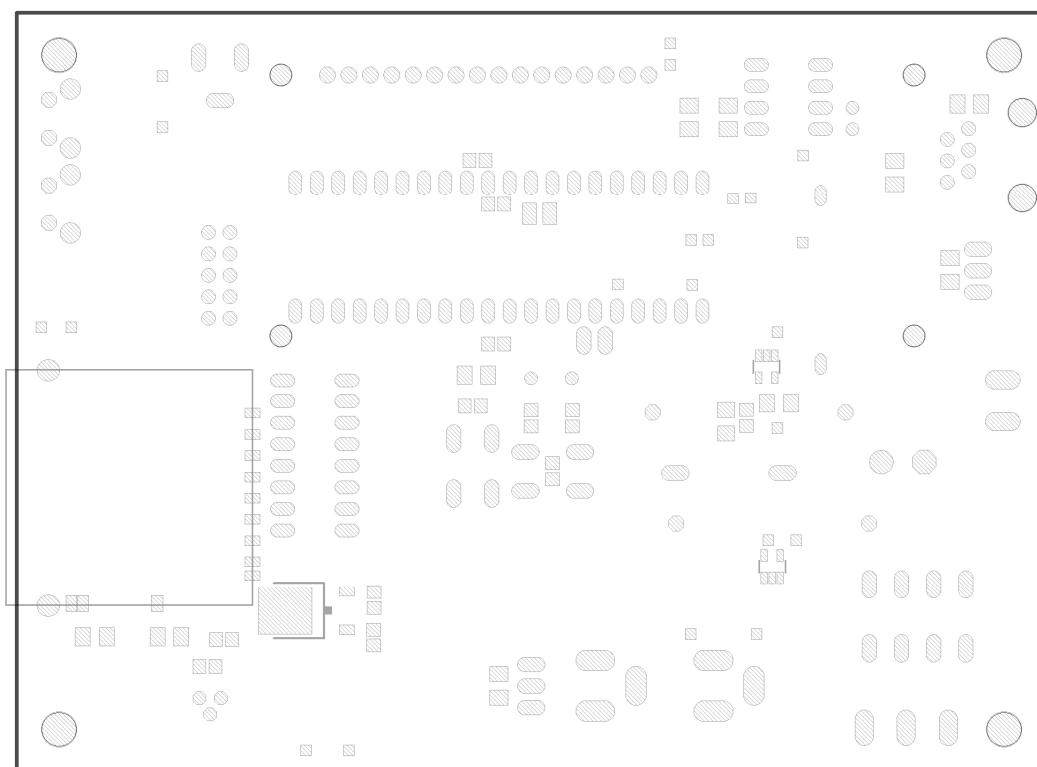


**Obr. 3** Návrh desky plošného spoje

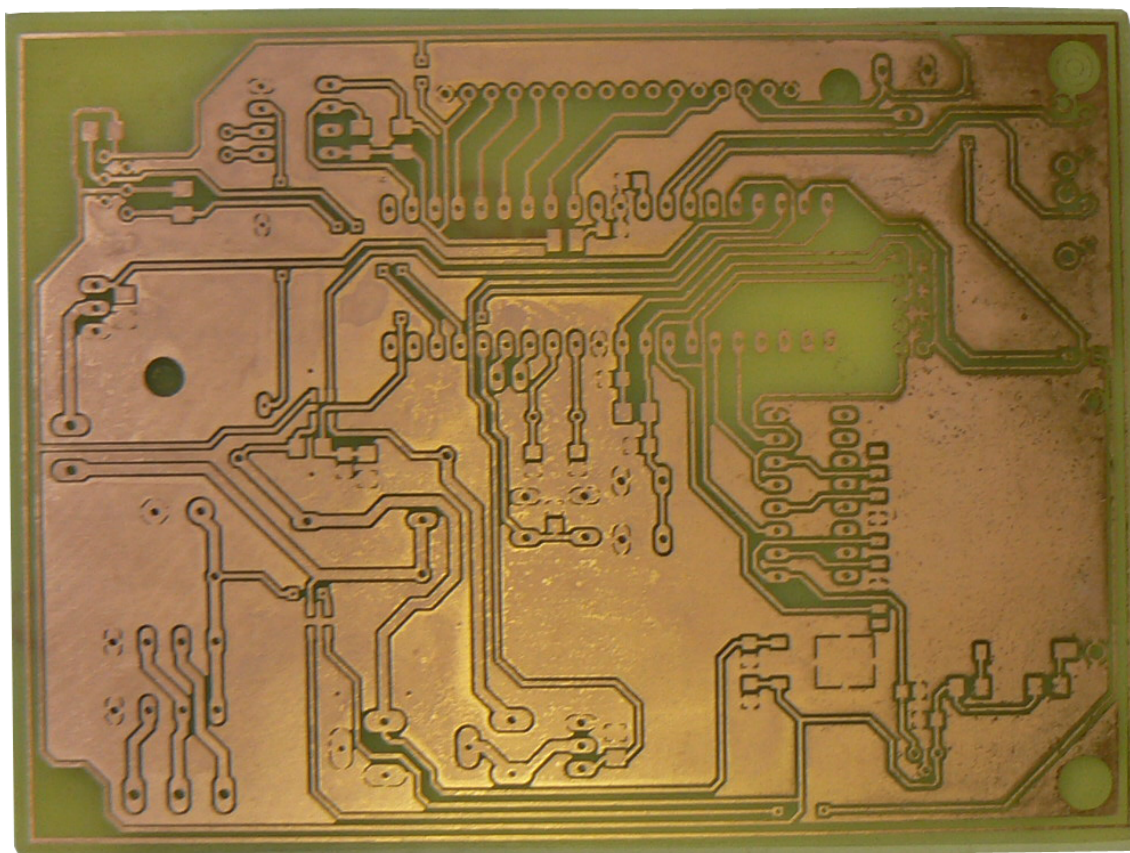


**Obr. 4** Osazovací výkres - pohled shora

**Příloha 4**



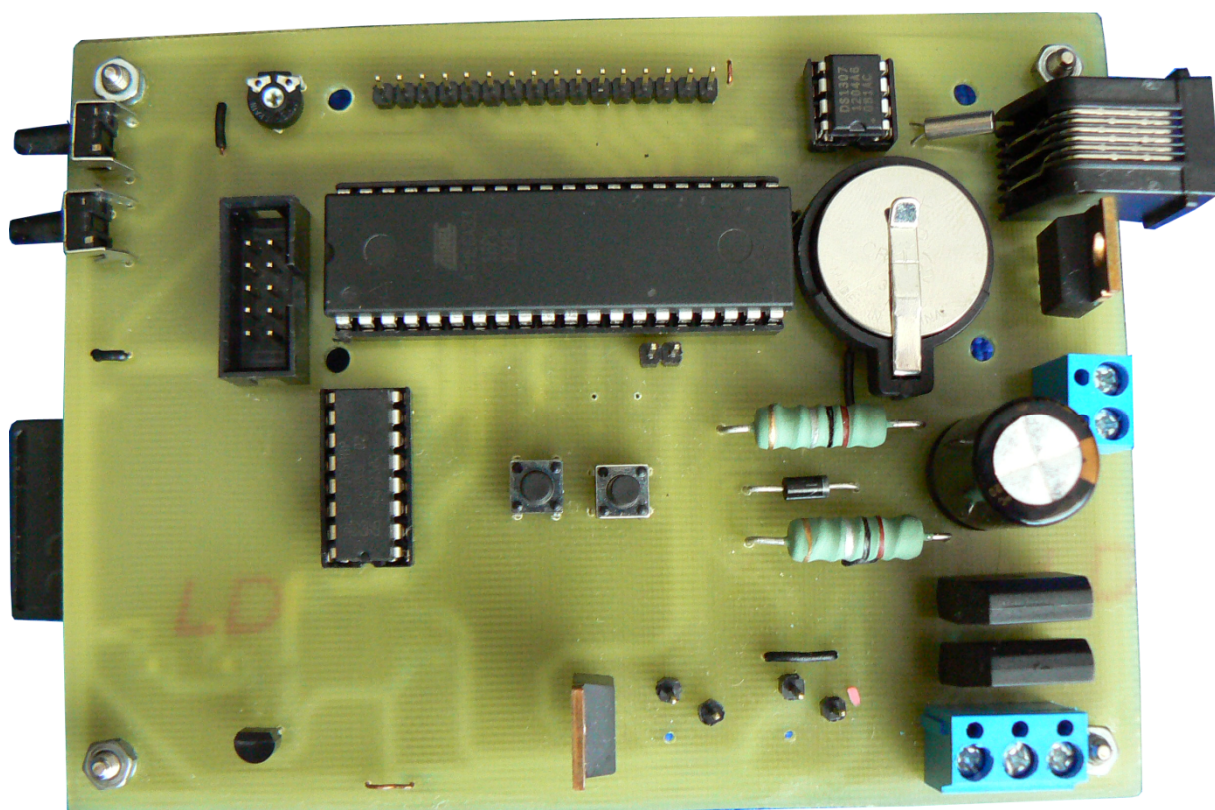
**Obr. 5** Osazovací výkres - pohled zespoda



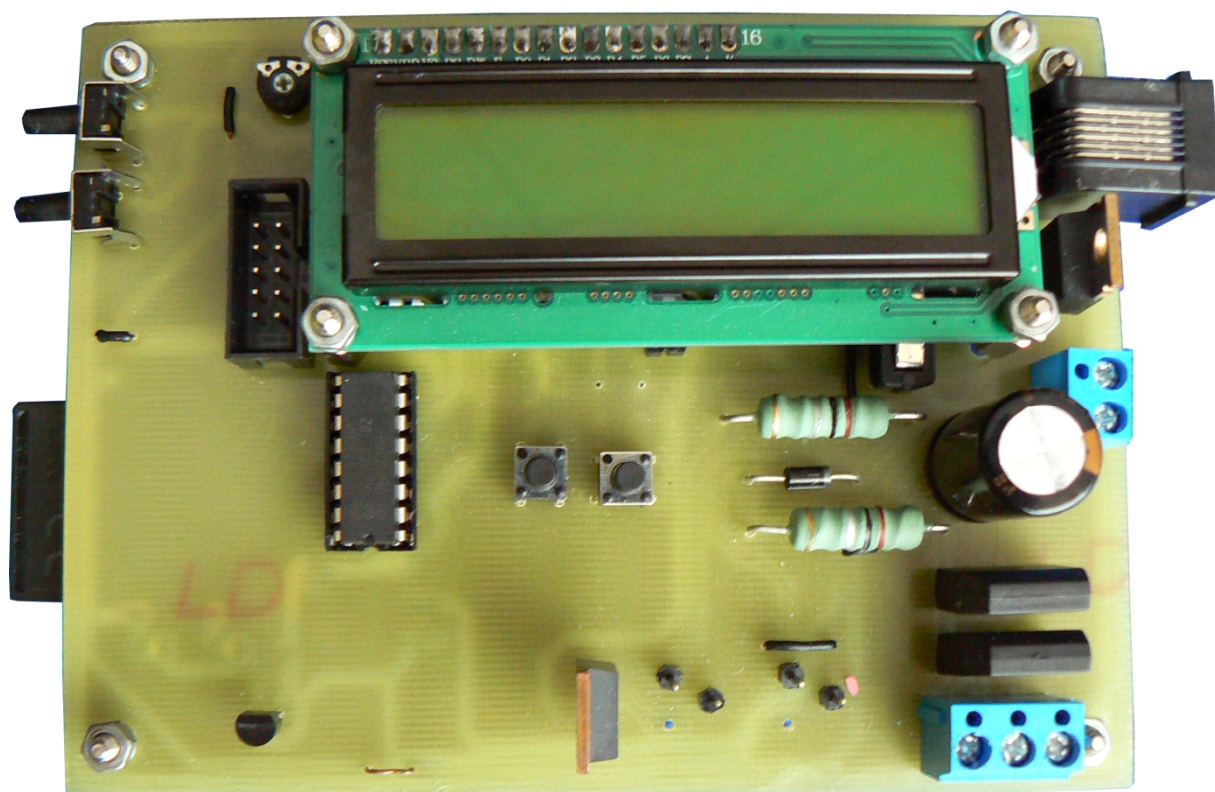
**Obr. 6** Deska hlavního plošného spoje připravená k vrtání a osazení



Příloha 5

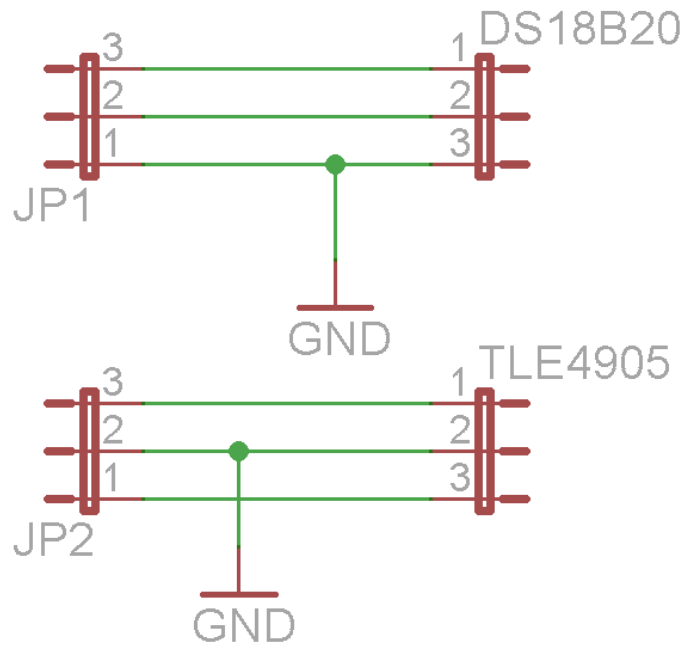


Obr. 7 Osazená deska plošného spoje bez nasazeného LCD displeje

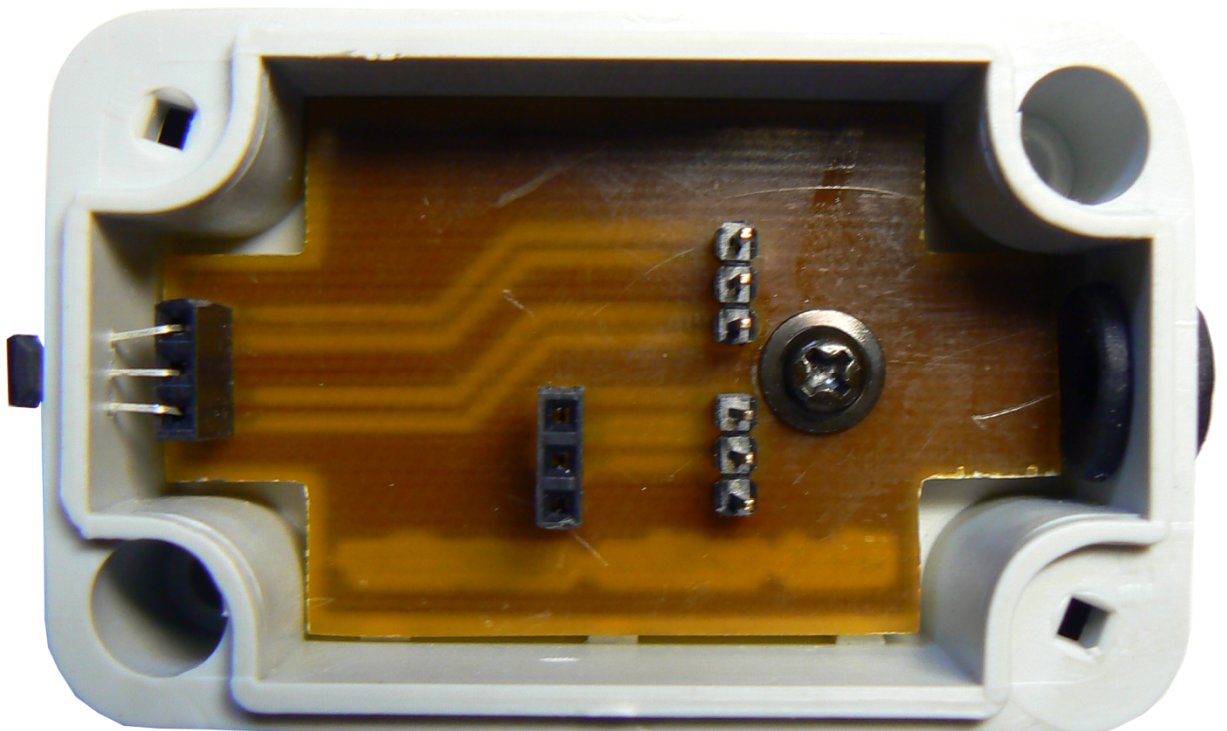


Obr. 8 Osazená deska plošné spoje s LCD displejem

**Příloha 6**



**Obr. 9** Schéma zapojení obvodu pro zapojení čidla teploty a hallový sondy na gondole



**Obr. 10** Osazená deska plošného spoje v krabici pro umístění na gondolu

Příloha 7



Obr. 11 Finální podoba zařízení pro měření a zpracování veličin malé větrné elektrárny, pohled shora



Obr. 12 Finální podoba zařízení pro měření a zpracování veličin malé větrné elektrárny

## Příloha 8



**Obr. 13** Větrná elektrárna v otevřeném prostoru během testovacího dnu