

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

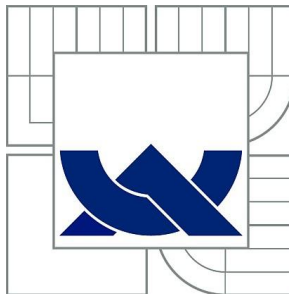
NÍZKOENERGETICKÝ GSM/GPRS MODUL PRO SENZORICKÉ
APLIKACE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

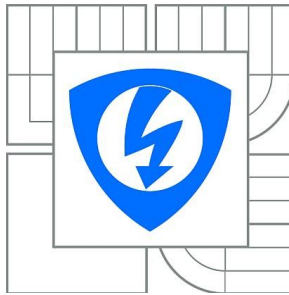
TAMÁS PÁL

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

NÍZKOENERGETICKÝ GSM/GPRS MODUL PRO SENZORICKÉ APLIKACE

LOW ENERGY GSM/GPRS MODULE FOR SENSORIC APPLICATIONS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. TAMÁS PÁL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MILAN ŠIMEK, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Telekomunikační a informační technika

Student: Bc. Tamás Pál
Ročník: 2

ID: 119560
Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Nízkoenergetický GSM/GPRS modul pro senzorické aplikace

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem diplomové práce je návrh a vývoj komunikačního nízkoenergetického modulu GSM/GPRS. Základním kritériem pro návrh bude optimalizace energetické spotřeby pomocí analýzy a výběru nízkoenergetických komponent modulu, jako je mikrokontrolér, rádiový čip a externí periférie. Komunikační modul bude disponovat analogovými a digitálními vstupy pro připojení senzorů. Modul bude napájen z akumulátoru, který bude dobíjen z vhodného solárního panelu. Výběr optimálního solárního panelu a komplexní validace a evaluace modulu v praxi bude součástí diplomové práce.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Stojmenovic I., Handbook of Sensor Networks, Wiley, ISBN:13 978-0-471-68472-5, 2005.
- [2] FARAHANI, Shahin. Zigbee Wireless Networks and Transceivers. [s.l.] : Elsevier, 2008. 329 s. ISBN 978-0-7506-8393-7

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 28.5.2014

Vedoucí práce: Ing. Milan Šimek, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:

doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tento semestrálny projekt je venovaný problematike nízkoenergetickej univerzálnej GSM/GPRS jednotky, ktorá slúži pre senzorové aplikácie. Prvá časť analyzuje vlastnosti mobilných sietí a využívanie okolitého zdroja energie. Druhá časť vysvetľuje jednotlivé časti, vlastnosti vybraných komponentov a princíp funkcie technológie pre možnú realizáciu senzorového modulu. Tretia časť popisuje návrh riešenia systému a štvrtá časť znázorňuje dosiahnuté výsledky.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Energy Micro, získanie energie, EFM32, BQ25504, SIM900, senzor, solár, GSM, GPRS, SMS, FTDI, UART, USB

ABSTRACT

This project deals with the problematics of self-powered universal GSM/GPRS module which is used for sensorical applications. The first part analyzes features of mobile networks and applying energy from the environment. The second section explains the various parts and characteristic of their associated components together with some fundamental functions of the technology for possible realization of sensoric module. The third part describes plan for system realisation and fourth parth illustrates achieved results.

KEYWORDS

Energy Micro, energy harvesting, EFM32, BQ25504, SIM900, sensor, solar, GSM, GPRS, SMS, FTDI, UART, USB

PÁL, T. *Nízkoenergetický GSM/GPRS modul pro senzorické aplikace*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 56 s., 22 s. příloh. Vedoucí diplomové práce Ing. Milan Šimek, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma *Nízkoenergetický GSM/GPRS modul pro senzorické aplikace* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

POĎAKOVANIE

Ďakujem vedúcemu diplomovej práce pánovi Ing. Milanovi Šimkovi, Ph.D. za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej diplomovej práce.

V Brne dňa

.....

(podpis autora)



Faculty of Electrical Engineering
and Communication
Brno University of Technology
Technicka 12, CZ-61600 Brno
Czech Republic
<http://www.six.feec.vutbr.cz>

PODĚKOVÁNÍ

Výzkum popsáný v této diplomové práci byl realizován v laboratořích podpořených z projektu SIX; registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operační program Výzkum a vývoj pro inovace.

Brno

.....

(podpis autora)



EVROPSKÁ UNIE
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI



OBSAH

Obsah	7
Zoznam obrázkov	10
Zoznam tabuliek	13
1 Úvod.....	14
2 Bezdrôtové senzory	16
2.1 Technológie bezdrôtových pripojení	16
2.1.1 IEEE Štandardy.....	16
2.1.2 GSM.....	17
2.1.3 GPRS	18
2.2 Získavanie energie - Energy Harvesting.....	20
2.2.1 Solárna energia	21
3 Návrh riešenia realizácie nízkoenergetického sensorového modulu	22
3.1 Základné bloky nízkoenergetického sensorového modulu.....	23
3.1.1 Nízkoenergetické mikrokontroléry EFM32.....	24
3.1.2 Použité vývojové dosky	27
3.2 Realizácia prenosu dát medzi komunikačnými blokmi systému	29
3.2.1 GSM/GPRS modul - SIM900	29
3.2.2 Prevodník UART - USB od firmy FTDI (FT232R)	31
3.3 Realizácia napájacej časti nízkoenergetického sensorového modulu.....	32
3.3.1 Solárny panel a akumulátor	34
3.4 Realizácia senzorickej časti systému	37
3.5 Vývoj softvéru	40
3.5.1 Vývojové prostredie - IDE.....	41
3.5.2 Simplicity Studio	41
4 Dosiahnuté výsledky.....	43
4.1 Firmware	43
4.1.1 Firmware pre mikrokontrolér EFM32TG840F32.....	43
4.1.2 Migrácia firmware pre nový mikrokontrolér EFM32LG880F256	47
4.2 Realizácia webového serveru a webovej stránky pre monitorovanie nameraných hodnôt.....	51

4.3	Realizácia grafického rozhrania pre ovládanie nízkoenergetického senzorového modulu pomocou počítača - GUI	53
4.4	Realizácia hardvérovej časti nízkoenergetického senzorového modulu. 60	
4.4.1	Vývojová doska pre GSM/GPRS modul SIM900	61
4.4.2	Základná doska nízkoenergetického modulu.....	62
4.5	Návrh ochranného puzdra na vytlačenie v 3D	64
4.6	Energetická spotreba modulu.....	65
5	Záver.....	70
	Použitá literatúra	71
	Zoznam používaných symbolov, veličín a skratiek.....	73
	Zoznam príloh	77
A	Návrh zariadenia	78
A.1	Schémy zapojení	78
A.2	Dosky plošných spojov – PCB	84
B	Výpočet hodnôt odporov pre bq25504	87
C	Fotografie	88
C.1	Fotografie merania	88
C.2	Fotografie prístrojov	91
D	Zoznam súčiastok	95
D.1	Zoznam súčiastok pre nízkoenergetický modul.....	95
D.2	Zoznam súčiastok pre vývojový modul SIM900	97
E	Obsah priloženého CD	99

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 2-1 Bunkový systém GSM siete	18
Obr. 2-2 Zjednodušená bloková schéma GSM a GPRS sietí podľa [5]	19
Obr. 2-3 Bloková schéma bezdrôtového systému so solárnym napájaním	21
Obr. 3-1 Návrh systému univerzálnej GPRS senzorickej jednotky a periférie	23
Obr. 3-2 Bloková schéma základnej dosky	24
Obr. 3-3 Funkčnosť snímania LESENSE podľa [10]	25
Obr. 3-4 Vývojová doska Tiny Gecko prevzaté z [12]	27
Obr. 3-5 Vývojová doska Leopard Gecko prevzaté z [18]	28
Obr. 3-6 Moduly SIM900 a konektor na SIM kartu	30
Obr. 3-7 SIM900 štruktúra TCP/IP podľa [22]	30
Obr. 3-9 Problematika nabíjania so svetelným zdrojom	32
Obr. 3-10 Závislosť výstupného napätia na vstupný bez záťaže	33
Obr. 3-11 Závislosť V/V napätí a výstupný prúd na osvetlenosť, záťaž 1,2 k Ω	33
Obr. 3-12 Zapojenie obvodu BQ25504 prevzaté z [14]	34
Obr. 3-13 V-A-P charakteristika solárneho panelu č.2	35
Obr. 3-14 V-A-P charakteristika solárneho panelu č.3 a č.4 (2x) zapojený sériovo	35
Obr. 3-15 V-A-P charakteristika solárneho panelu č.6	36
Obr. 3-16 Solárne panely č. 4, 3, 4, a 6	36
Obr. 3-17 Akumulátor Nokia BL-5B	37
Obr. 3-18 Štruktúra I2C zbernice prevzaté z [15]	38
Obr. 3-19 Chyba AD prevodníka typu Offset a Gain prevzaté z [2]	39
Obr. 3-20 Postup vývojových krokov	40
Obr. 4-1 Terminálové okno s výsledkami senzorových meraní	44
Obr. 4-2 Terminálové okno so správami prijímania a odoslania SMS	45
Obr. 4-4 Stavový diagram firmvéru pre MCU EFM32TG840F32	46
Obr. 4-5 Stavový diagram firmvéru pre MCU EFM32LG880F256	50
Obr. 4-7. GUI - uvítacia obrazovka	53
Obr. 4-8. GUI - so zapnutým terminálom (po pripojenia)	54
Obr. 4-10. GUI - okno pre lokálne meranie	56
Obr. 4-11. GUI - udalosti	57

Obr. 4-12. GUI - správa s SMS správami.....	58
Obr. 4-13. GUI - pozícia BTS stanice	59
Obr. 4-14 GUI - nastavenie.....	60
Obr. 4-16 Návrh anténnej časti od SimCom podľa [24] a vlastný návrh	62
Obr. 4-17 3D návrh puzdra - rez (uzavretá).....	65
Obr. 4-18 3D návrh puzdra - celá, otvorená	65
Obr. 4-19 Meranie spotreby prúdu LEUART a UART	66
Obr. 4-20 Meranie spotreby - senzory sú napájané zvlášť	67
Obr. 4-21 Meranie spotreby - senzory sú napájané z VMCU	67
Obr. 4-22 Meranie spotreby - senzory sú napájané z GPIO	67
Obr. 4-23 Spotreba burst rámce vývojového modulu (vľavo) a finálneho prototypu (pravo).....	68
Obr. 4-24 Dĺžka trvania burst rámcov	68
Obr. 4-25 Meranie napätia akumulátora keď sa nabíja (červená) a keď sa vybíja (modrá)	69
Obr. 5-1 Schéma zapojenia napájacej časti nízkoenergetického senzorového modulu..	78
Obr. 5-2 Schéma zapojenia EFM32LG880F256 mikrokontroléru (časť 1.)	79
Obr. 5-3 Schéma zapojenia EFM32LG880F256 mikrokontroléru (časť 2.)	80
Obr. 5-4 Schéma zapojenia SIM900 (horný časť) a FTDI (dolný časť).....	81
Obr. 5-5 Schéma zapojenia konektorov	82
Obr. 5-6 Schéma zapojenia SIM900 vývojového dosky	83
Obr. 5-7 DPS - nízkoenergetický modul, strana: TOP, 92 x 66 mm, M 1:1	84
Obr. 5-8 DPS - nízkoenergetický modul, strana: BOTTOM, 92 x 66 mm, M 1:1	84
Obr. 5-9 Osadzovací plán DPS - nízkoenergetický modul, strana: TOP.....	85
Obr. 5-10 Osadzovací plán DPS - nízkoenergetický modul, strana: BOTTOM	85
Obr. 5-11 DPS - SIM900 modul, strana: TOP, 71 x 64 mm, M 1:1.....	86
Obr. 5-12 Osadzovací plán DPS - SIM900 modul, strana: BOTTOM.....	86
Obr. 5-13 Meranie solárneho panelu č. 2 uvedené v Tab. 3-5.....	88
Obr. 5-15 Simulácia výdrži akumulátora pomocou softvéru eAbattery	90
Obr. 5-16 Vytvorená vývojová doska s Tiny Gecko	91
Obr. 5-17 Vytvorená vývojová doska s Leopard Gecko	91
Obr. 5-18 GSM/GPRS moduly: SIM300DZ a SIM900	92
Obr. 5-19 Vyskúšané solárne panely	92
Obr. 5-20 Fotografia hotovej dosky z hornej strany	93

Obr. 5-21 Fotografia hotovej dosky zo spodnej strany.....	93
Obr. 5-22 Hotový nízkoenergetický senzorový modul - otvorený	94
Obr. 5-23 Hotový nízkoenergetický senzorový modul - zatvorený.....	94

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 2-1 Parametre bezdrôtového pripojenia [4]	17
Tab. 2-2 Prenosové rýchlosti GPRS podľa kódovacej schémy podľa [6]	20
Tab. 2-3 Vlastnosti zdrojov energie z okolia podľa [8]	20
Tab. 3-1 Porovnávanie vlastností EFM32 v rôznych EM režimoch podľa [10]	25
Tab. 3-2 Porovnanie mikrokontrolérov podľa [11]	26
Tab. 3-3 Vlastnosti používaných EFM32 mikrokontrolérov podľa [17]	29
Tab. 3-4 Porovnávanie GSM/GPRS modulov	29
Tab. 3-5 Porovnávanie solárnych panelov	34
Tab. 3-6 Vlastný vybíjanie akumulátorov li-ion pri rôznych teplotách a stavu nabitia, podľa [19]	37
Tab. 3-7. Vlastnosti použitých digitálnych senzorov	40
Tab. 4-1 Signalizácia výsledkov diagnostiky	47
Tab. 4-2 Mapovanie funkcie EFM32 na svorkovnicu	64
Tab. 4-3 Použité oscilátory a ich vlastnosti	66
Tab. 5-1 Výpočet hodnôt odporov pre nastavenie prepätia a hysterézy stavu „battery good“	87
Tab. 5-2 Výpočet hodnôt odporov pre nastavenie podpätia baterky a pre MPP	87

1 ÚVOD

Vzdialený prístup k údajom v každodennom živote je stále dôležitejší z dôvodu, že nie sme schopní byť prítomní na dvoch rôznych miestach naraz. Dnešné inteligentné systémy umožňujú uskutočnenie rôznych úloh bez prítomnosti človeka. K tomu, aby taký proces bol pod kontrolou, je možné využiť rôzne komunikačné technológie. V prípade, že v teréne, kde sa nachádza inteligentný systém, nie je dostupná elektrická sieť, napájanie je možné získať z okolitého prostredia. Takto vzniknutá sústava je nízkoenergetická, snaží sa byť energeticky sebestačná, výsledky snímania ponúka na diaľku a prevádzkuje sa nezávisle. Môže byť riešením, napríklad, pre automatické meranie ľubovoľnej fyzikálnej veličiny.

V súčasnej dobe o monitorovanie vlastností terénu pomocou senzorov je rastúci záujem, ako v priemysle, tak aj pre domáce každodenné využitie. Pre také účely sú dostupné hlavne systémy, ktoré využívajú vlastnú vybudovanú sieť. Taká sieť môže byť pevne spojená káblovým vedením alebo podľa inštalácie komfortnejšou rádiovou - bezdrôtovou sieťou. Vybudovať vlastnú rádiovú sieť bolo na dlhú dobu lacnejším variantom, než využívanie komerčných možností, ako napríklad mobilná sieť s technológiou GSM/GPRS. Senzorové moduly, ktoré nepoužívajú multimediálny typ komunikácie ako audio alebo video, negenerujú vysoké množstvo prenesených dát. V dnešnej dobe, kedy už účastník platí toľko za jeden MB dát, koľko pred pár rokmi za jeden bajt, rentabilným riešením je využívať komerčné mobilné siete pre komunikácie so senzormi, než vybudovať vlastnú sieť. Preto sa už v obchode v malom množstve objavujú bezdrôtové senzorové moduly, ktoré poskytujú informácie cez siete GSM/GPRS, aby užívateľ nemusel vytvoriť vlastnú sieť, a tým môže riešiť zaradenie jeho systému do prevádzky rýchlejšie. Dnešné moduly využívajúce globálne mobilné siete, ale potrebujú externé napájanie pričom nevyužívajú obrovskú výhodu komerčných sietí, ktorou je pokrytie aj na mieste, kde nie je dostupná elektrická energia. Preto táto práca skúsi zdokonaľiť oblasť využívania bezdrôtových sietí.

Zadanie tejto práce stanovuje, aby konečná sústava bola univerzálna na snímané veličiny, podporovala rôzne senzory a vykonávala meranie samostatne. Ďalej, namerané hodnoty posielala buď na požiadanie užívateľa alebo automaticky, podľa prednastavenej hodnoty intervalov. Posielanie má byť uskutočnené pomocou mobilných sietí GSM/GPRS pre koncového užívateľa alebo na sieťové úložisko (*webserver*). Koncový produkt by mal riešiť napájanie sebestačne pomocou akumulátora nabíjaného zo solárneho panela. Aby navrhovaný modul správne fungoval, vyžaduje si splnenie dvoch podmienok - pokrytie mobilnej siete a dostatočný dopad svetla na solárny panel. Takto vzniknutý systém bude dobrou pomôckou na meranie fyzikálnych veličín na diaľku cez mobilnú sieť.

Presná úloha univerzálnosti nízkoenergetickej GSM/GPRS jednotky, vzhľadom na snímané veličiny, nie je zadefinovaná. Pojem univerzálnosť znamená, že bezdrôtový modul musí byť všestranný, pokiaľ ide o použitie senzorov. To znamená, že pripojený senzor môže byť ľubovoľný - jediné kritérium je, aby bol schopný komunikovať s digitálnym rozhraním I2C, alebo aby na výstupe poskytoval veličinu merateľnú analógovo digitálnym prevodníkom.

Meranie a spracovanie analógovým sensorom nevyžaduje zložitý systém, ale mnoho I2C sensorov vyžaduje, aby pre ich správne používanie boli vložené konfiguračné a pracovné funkcie do zdrojového kódu riadiaceho mikrokontroléru. Táto podmienka ale sensorový modul zaťažuje natoľko, že by bol užívateľsky neprijateľný. Problematiku je možné riešiť zadaním niekoľkých presných typov digitálnych (I2C) sensorov tak, aby bola pokrytá čo najväčšia plocha snímaných veličín, ako napríklad: teplota, vlhkosť, tlak, zrýchlenie, osvetlenie, snímanie plynov, zvuku, vibrácie, atď. Používateľ pred použitím modulu najprv pomocou počítača nastaví, aký typ merania potrebuje a následne pripojí vhodný snímač.

2 BEZDRÔTOVÉ SENZORY

Bezdrôtové zariadenia sú stále viac nepostrádateľnými v každodennom živote. Inteligentné prostredia predstavujú ďalší krok v evolučnom vývoji v domácom a priemyselnom automatizačnom systéme. Senzory prepojujú fyzikálny svet s digitálnym svetom tak, že zachytávajú a zisťujú javy z reálneho sveta a konvertujú ich do formy, ktorú je možné interpretovať, spracovať a uložiť.

Fenomenálne pokroky v technológiách, ako je veľmi vysoká hustota integrácie (VLSI), mikromechanické systémy (MEMS), vyvinutosť bezdrôtovej komunikácie, umožňujú stále rozširujúce použitie sensorových systémov [1]. Skupina viacerých snímačov, ktoré autonómne komunikujú medzi sebou pomocou rádiového média sa menujú bezdrôtové sensorové siete (WSN). Tieto siete sú usporiadané do topológie obsahujúcej určitý počet sensorických a riadiacich zariadení. Prvky systému vo svojej veľkosti nepresahujú rozmery dnešných mobilných telefónov, pričom poskytujú dostatočný komunikačný a výpočtový výkon pre požadované sensorické a riadiace úlohy. [2]

Využitie môže byť rozsiahle, napríklad:

- meteorologické meranie, predpoveď životného prostredia (zemetrasenie, blesky),
- systém prenášajúci dáta o stave a polohe vozidiel mestskej hromadnej dopravy,
- zber štruktúrálnej informácie o stave mostov a tunelov,
- ovládanie inteligentnej domácnosti na osvetlenie, vytápanie, multimédiá, zabezpečenie,
- systémy monitorujúce funkčnosť verejného osvetlenia. [2]

2.1 Technológie bezdrôtových pripojení

Výhody bezdrôtových sietí je možné využívať pomocou viacerých rádiových modulov. Každý má iné vlastnosti, prednosti, nevýhody, podľa ktorých je treba uvažovať, ktorý typ rádiového pripojenia je vhodný na danú aplikáciu. Vybranie správneho bezdrôtového štandardu je vždy kritický krok vo vývoji, na ktorom záleží použiteľnosť produktu. Hlavné rysy bezdrôtového pripojenia sú dosah a rýchlosť pripojenia, spotreba energie a v prípade, že komunikačná topológia nebude typu bod-bod, treba počítať aj s údajom maximálneho počtu pripojiteľných uzlov. [2]

2.1.1 IEEE Štandardy

IEEE 802.15 je štandardom pre osobnú sieť *Wireless PAN*, a je zameraný na lacnejšiu konektivitu nízko energetických zariadením v blízkosti 1 – 100 m. Rozšírená verzia je napríklad 802.15.1 s prenosovou rýchlosťou 24 Mbit/s (verzia 3.0) a s dosahom do 100 m pod názvom *Bluetooth*. Verzia 802.15.3 pod názvom *High Rate WPAN* s jej rýchlosťou 11-55 Mbit/s spĺňa požiadavky na prenos multimediálnych informácií. Príkladom konkrétneho riešenia sú UWB zariadenia. Ďalšia verzia je skupina 802.15.4 tzv. *Low Rate WPAN*, ktorá používa len dve protokolové vrstvy MAC a PHY, preto svojou jednoduchosťou a nízkou spotrebou je populárnym riešením, v prípade, keď stačí prenosová rýchlosť len niekoľko stoviek kbit/s. Do tejto skupiny patrí

napríklad Zigbee. [2], [4]

IEEE 802.11 bol zavedený v roku 1997 ako štandard pre *Wireless LAN*. Časom sa vyvinuli rôzne verzie (802.11a/b/g/n/ac), ktoré sú vhodné pre rýchle komunikácie (stovky Mbit/s) medzi počítačmi a rôznymi perifériami pod názvom Wi-Fi. Rádiový dosah WLAN siete sa pohybuje okolo sto metrov, ale v prípade priamej viditeľnosti so smerovou anténou je možné dosiahnuť až jednotky kilometrov. Hlavným nedostatkom technológie je, že aj na pokrytie malej plochy potrebuje veľkú elektrickú energiu, z čoho vyplýva, že bezdrôtový Wi-Fi modul má pomerne veľkú spotrebu. [2], [4]

IEEE 802.16 je štandard definujúce pre *Wireless MAN*. Vyplňuje medzery medzi bezdrôtovou sieťou LAN a WAN. Pracuje na kmitočtoch 2 až 66 GHz, s rýchlosťou až 70 Mbit/s. Maximálna vzdialenosť je až 50 km, ale s výrazne menšou prenosovou rýchlosťou a veľkou energickou spotrebou. [3]

Nasledujúca tabuľka Tab. 2-1 zahrnuje vlastnosti uvedeného techniky bezdrôtového pripojenia:

Tab. 2-1 Parametre bezdrôtového pripojenia [4]

Parameter	Bluetooth	Wi-Fi	ZigBee	WiMax
IEEE	802.15.1 v2	802.11b	802.15.4	802.16
Pracovný kmitočet	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz	2 - 66 GHz
Dosah	9 m	75 - 90 m	30 - 100 m	50 km
Spotreba (Tx)	60 mA	400 mA	25-35 mA	500 mA
Rýchlosť	1 Mbit/s	11 Mbit/s	250 kbit/s	70 Mbit/s
Metoda prenosu	FHSS	DSSS	DSSS	DSSS

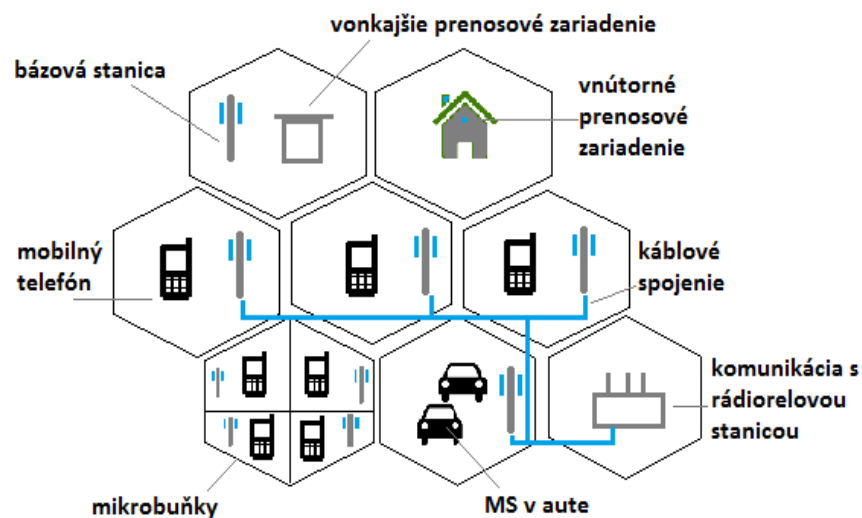
Pokrytie GSM siete v súčasnej dobe je o mnoho lepšie ako napríklad bezdrôtovej siete WIFI, Bluetooth alebo ZigBee. Túto vlastnosť využíva univerzálny GPRS bezdrôtový modul, aby dostupnosť bola zabezpečená za všetkých okolností. Napriek tomu je potrebné spomenúť, že využitie komerčného GSM siete je spoplatnené.

2.1.2 GSM

Možnosť komunikácie odkiaľkoľvek, kamkoľvek s kýmkoľvek a kedykoľvek bol vždy práním človeka [5]. Prvé kroky v telekomunikácii k mobilite pre verejnosť bola bezdrôtová telefónia, ktorá umožnila realizovať hovorové spojenie mikrotelefonov cez základňovú stanicu (BTS) za pomalého pohybu v okolí tejto stanice, do vzdialenosti desiatok a stoviek metrov, v závislosti na prostredí [5]. Samozrejme, najprv v analógovej forme, a od druhej polovice 80-tych rokov už aj vo forme digitálnej. K tomu, aby sa bezdrôtová komunikácia mohla masovo rozšíriť, bolo potrebné aby sa technika najprv vyvíjala v oblasti integrovaných obvodov - súčiastky pracujúce s vysokým kmitočtom MHz a GHz, digitálny spôsob spracovania signálu a

šifrovacej/autentizačnej techniky. [5]

Typy mobilných sietí sú pozemné a satelitné siete. GSM je globálna mobilná technológia pre poskytovanie telekomunikačných služieb, patriaca medzi systémy druhej generácie (2G), ktoré sú už plne digitálne. Oproti analógovým systémom GSM poskytuje kvalitnejšie spojenie, efektívne využíva pridelené kmitočtové pásma GSM-900 (P-GSM) a GSM-1800 (E-GSM). Súčasnú mobilnú sieť sú vystavené na základe toho, že bunka (*cell*) je časťou územného pokrytia jedným anténym systémom a určenou skupinou rádiových zdrojov. Bunky sú združované do skupiny klastorov, na ktorých je závislá kapacita siete. Príklad na rozdelenie pokrytia siete GSM má štruktúru: [5],[6]



Obr. 2-1 Bunkový systém GSM siete

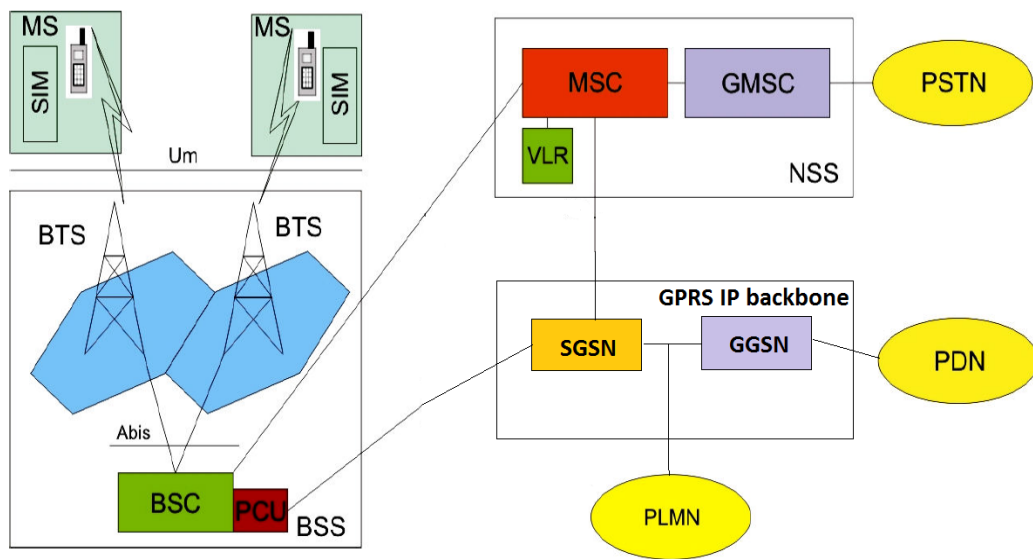
Bunka, respektíve kontrolór bázových staníc (BTS), na ktorú je mobilná stanica (MS) pripojená, vysiela mnoho informácií ako identifikátor bunky (CGI), kód BSIC a zoznam BCCH kmitočtov susedných buniek. GSM bunky sú identifikované pomocou CGI, ktorý sa skladá z niekoľkých parametrov (MCC, MNC, LAC a CI) z ktorých je možné určiť polohu mobilnej stanice metódou *Cell of Origin*. Táto metóda je ale nepresná, záleží na pokrytí plochy so základňovou stanicou, ktorá v prípade dáždnikových buniek môže mať veľkosť až 20 km. Existujú ale aj presnejšie metódy pre určovanie polohy, napríklad TA (*Timing Advance*), ktorá záleží na oneskorení signálu medzi mobilnou stanicou a BTS. Ďalej je možné spresnenie využitím metódy triangulácie, ale potrebné výpočty sú oveľa zložitejšie. Nakoľko bezdrôtový senzorový modul podľa plánu nebude podporovať GPS systém, určenie polohy pomocou GSM siete bude užitočné len v niektorej forme aplikovania. [5], [6], [7]

2.1.3 GPRS

Siete GSM boli využívané hlavne na hlasové hovory, kvôli obmedzeným možnostiam prenesenia dát. Univerzálna paketová rádiová služba (GPRS) umožňuje paketový prenos dát pomocou nespojovaného protokolu IP alebo spojovanou X.25. Jedná sa

o medzikrok medzi mobilnými sieťami 2G a 3G. Prenos dát pomocou paketov má mnoho výhod. Oproti starším službám, efektívnejšie využíva prenosové prostriedky, pretože je delená frekvenčná a časová os. [5], [6]

GPRS využíva zo siete GSM hlavne rádiovú časť. Aby bolo možné integrovať GPRS do siete GSM, bolo nutné pridať nové bloky do systému, ako sieťové uzly GSN, jednotky PCU, ktoré rozširujú funkciu BSC s paketovým prenosom, kódovacie jednotky, a ďalšie prvky. Hlasové hovory v sieti GSM prenáša z mobilných staníc (MS) do základňovej stanice (BTS), ďalej cez riadiacu jednotku (BSC) do ústredne MSC a odtiaľ napríklad do verejnej siete. V prípade prenosu dát v systéme GPRS, je zostavený podobne, ale v BSC sú pakety smerované do jednotky PCU, ktorý má za úlohu riadenie rádiových zdrojov a konverziu prichádzajúcich dátových paketov z SGSN na PCU rámec. Dolný obrázok znázorňuje GSM systém s osadenými GPRS blokmi. [5], [6]



Obr. 2-2 Zjednodušená bloková schéma GSM a GPRS sietí podľa [5]

Využívanie GPRS služieb v rámci vývoja univerzálneho sensorového modulu má význam preto, aby namerané hodnoty boli k dispozícii aj cez webové rozhranie. Pripojenie na internet je v dnešnej dobe základom každodenného života. Náklady na 1MB dát sú zlomkom ceny jednej SMS správy, a množstvo prenesených charakterov je ďaleko vyššie. Prenosová rýchlosť systému GPRS je postačujúca na komunikáciu medzi sensorovým modulom a web serverom, pričom priepustnosť závisí na počte pridelených *timeslot*-ov a na kvalite rádiového prostredia, podľa ktorého sa volí vhodná kódovacia schéma (CS). Pri používaní GPRS siete je rozumnejšie brať do úvahy tzv. užívateľskú rýchlosť, ktorá nespočíta prenosom potrebnou pre systémové bity, tým pádom vyjde nižšie číslo ukazujúce na užitočnú rýchlosť. V prípade používania CS4 (najmenej odolné voči chybám) s využitím všetkých 8 *timeslot*-ov, užívateľská rýchlosť sa rovná $16,7 * 8 = 166,6$ kbit/s. Nasledujúca tabuľka obsahuje rýchlosti GPRS siete podľa kódovacej schémy na jeden časový úsek (*timeslot*):

Tab. 2-2 Prenosové rýchlosti GPRS podľa kódovacej schémy podľa [6]

Kódovacia schéma	Prenosová rýchlosť [kbps]	Užívateľská rýchlosť [kbps]
CS-1	9,05	6,7
CS-2	13,4	10,0
CS-3	15,6	12,0
CS-4	21,4	16,7

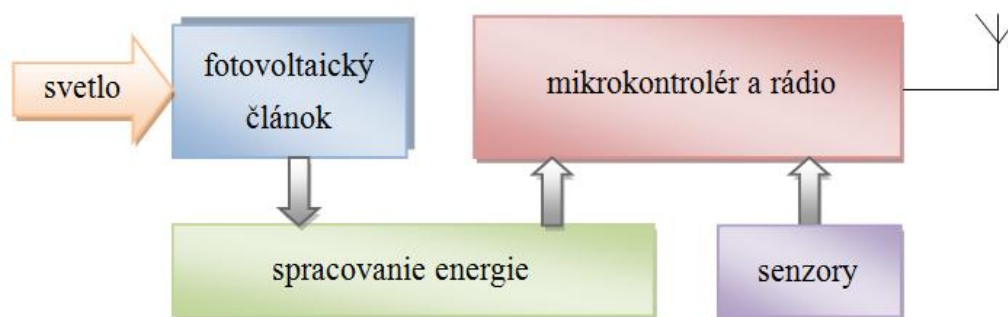
2.2 Získavanie energie - Energy Harvesting

Ak má byť aplikácia sebestačná, je potrebné získať energiu z okolitého prostredia. Túto energiu je možné akumulovať v batérii, alebo v super kondenzátore pre poskytovanie napájacieho zdroja, napríklad pre bezdrôtové zariadenie. Existuje veľa zdrojov energie v prírodnom prostredí, ako svetlo, rozdiel teplôt a mechanická vibrácia. Máme tiež mnoho zariadení, ktoré sú schopné previesť tieto zdroje energie do napätia a prúdu, ako sú fotovoltaické články, termočlánky, termoelektrické generátory (TEG), piezoelektrické a elektromagnetické generátory. Technológia získavania energie (*Energy Harvesting*) je životaschopnou možnosťou napájania pre vstavené systémy (*embedded system*), ktoré predtým nebolo možné poháňať s konvenčnými batériami. Vlastnosti rôznych prevodníkov pre získavanie energie znázorňuje nasledujúca tabuľka:

Tab. 2-3 Vlastnosti zdrojov energie z okolia podľa [8]

Zdroj energie	Impedancia	Napätie	Výstupný výkon
Svetlo	Premenná < k Ω - 10s k Ω	0.5V, DC ~ počet buniek	10 μ W-15mW
Vibrácia	Konštantná 10s k Ω - 100 k Ω	10s V, AC	1 μ W-10mW
Teplo	Konštantná 1 Ω - 100s Ω	10s mV - 10V	0,5mW-10mW (20°C krok)
RF/indukcia	Konštantná < k Ω	0.5V - 5V ~ vzdialenosť	Široký rozsah

Prípad bezdrôtového systému napájaného solárnym článkom, je vhodný typ riešenia, kde počas prevádzky získaná energia z okolitého prostredia je v priemere zhodná spotrebnou energiou systému. Tento typ zberu akumuluje energiu na dlhú dobu do vysoko kapacitnej nádoby energie, ako napríklad tenkovrstvová batéria. Táto trieda energetického systému je najviac flexibilná a vynakladá veľkú silu (*burst*) v krátkych intervaloch. Tieto systémy trávajú väčšinu času v režime spánku s nízkou spotrebou, sú vždy napájané a zbierajú energiu vždy, keď na ne dopadá dostatok svetla.



Obr. 2-3 Bloková schéma bezdrôtového systému so solárnym napájaním

2.2.1 Solárna energia

Fotovoltaické (solárne) panely generujú voľnú energiu zo svetla konvertovaním svetelnej energie na energiu elektrickú. Neobsahujú pohyblivé časti, nemajú emisiu a nepotrebujú údržbu. Fotóny, ako dopadajú na povrch z tenkých kremíkových dosiek, produkujú elektrický prúd. Jedna solárna bunka je schopná generovať asi 0,5 V. Tieto bunky je možné pripojiť sériovo, pre získavanie vyššieho potrebného napätia. Takto vzniknuté solárne moduly je možné ďalej pripojiť paralelne pre poskytovanie požadovaného prúdu. [9]

Existujú tri typy solárnych panelov. Najúčinnnejšie (15-20 %) a drahé solárne panely sú vyrobené z monokryštalickej bunky. Na výrobu takýchto solárnych článkov je potrebný veľmi čistý kremík a vyžaduje zložitý proces. Polykryštalické solárne panely sa často nazývajú multi-kryštalové. Sú o niečo lacnejšie (odpadá proces ťaženia monokryštálu) a menej účinné (14 %) ako monokryštalické typy. Bunky tvoria v priebehu tavenia rôzne veľké a orientované kryštály, čo udáva hotovému článku charakteristický vzhľad, pripadá ako rozbité sklo. Tretí typ článkov je amorfný, tie nie sú kryštály, ale tenká vrstva silikónu zloženého na báze kov alebo skla. Amorfné panely sú oveľa lacnejšie, ale účinnosť je tiež menšia než u monokryštalických. Tieto panely môžu byť vyrobené forme dlhých listov strešnej krytiny na pokrytie veľkej plochy. [9]

Fotovoltaické panely majú definovaný prevádzkový bod, ktorý poskytuje maximálny výkon. S technikou MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) je možné sledovať kde sa nachádza maximálny výkon solárneho panelu. MPPT nie je mechanický systém, aby fyzicky pohyboval modul priamo za zdrojom svetla. Jedná sa o plne elektrický systém, ktorý neustále hľadá maximálny prevádzkový bod. Použitím techniky MPPT je možné získať priemerne 10-20 % energie zo solárnych panelov. [9]

3 NÁVRH RIEŠENIA REALIZÁCIE NÍZKOENERGETICKÉHO SENOROVÉHO MODULU

Od začiatku riešenia projektu je dôraz kladený na energetickú účinnosť. S ohľadom na nízkoenergetickosť a sebestačnosť, pre realizáciu bolo nevyhnuté vybrať vhodné energeticky úsporné elektrické obvody. Finálny produkt musí obsahovať modul, ktorý je schopný komunikovať s rádio frekvenčným signálom cez sieť GSM/GPRS. Jednoznačným faktom je, že obvod komunikujúci s rádiovou vlnou má výrazne najväčšiu spotrebu energie v problematike. Kompaktnosť celého zariadenia udáva ďalší problém funkčnej realizácie bezdrôtového senzorového modulu, hlavne s ohľadom na znalosti o vlastnostiach solárnych panelov. Komplexnosť úlohy zhoršuje aj potreba univerzálnosti, ale takto vzniknutá celková problematika je predpokladom pre možný technický pokrok.

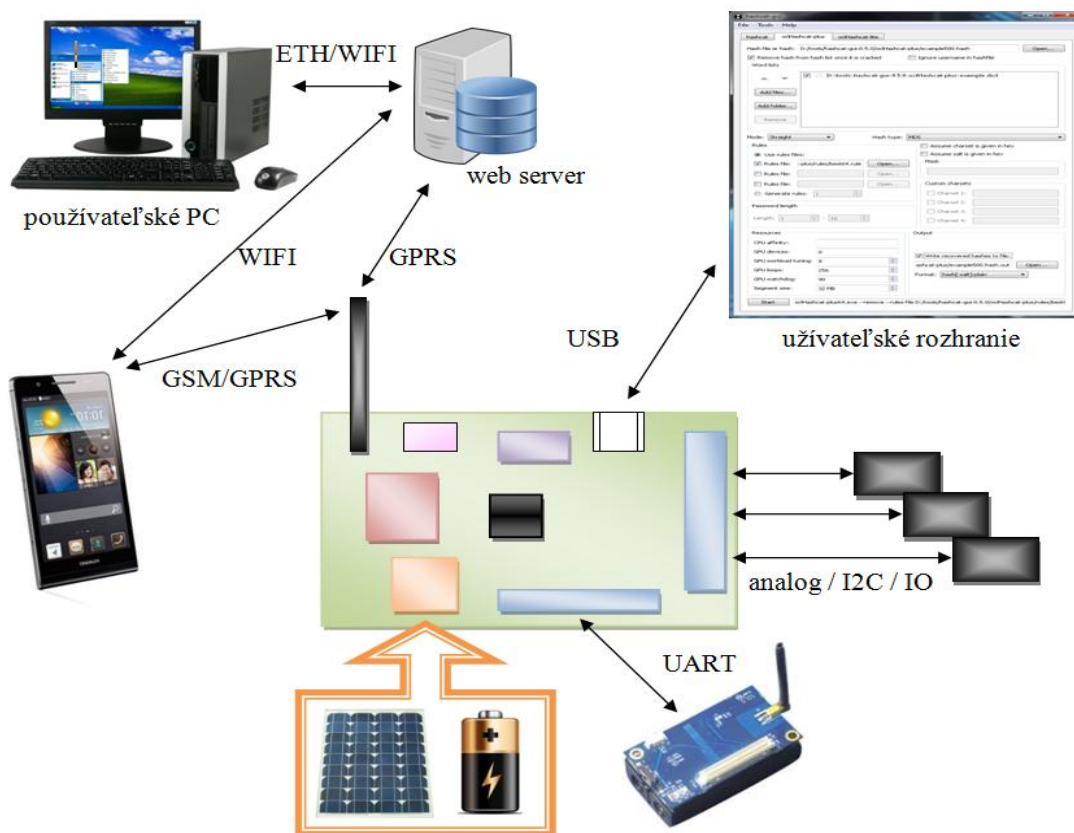
Bezdrôtová GSM/GPRS jednotka bude merať rôzne okolité fyzikálne veličiny, ktoré bude poskytovať ďalej pomocou:

- GSM - na mobilný telefón formou SMS správy,
- GPRS - na cieľovú webstránku
- Sériový Port (USB) - na počítač pre grafické užívateľské rozhranie (GUI).

V prípade poskytnutia informácií cez GSM sieť, mobilný telefón najprv pošle požiadavku vo forme SMS na senzorový modul s potrebnými parametrami, ktorými sú nutné veličiny a napríklad interval času opakovaného posielania. Nízkoenergetická jednotka bude schopná distribuovať informácie cez GPRS sieť na sieťové úložisko (*webserver*), kde pomocou internetovej stránky počítač, alebo iné šikovné zariadenie (*smartphone, tablet*) dostane možnosť sledovať namerané hodnoty. Modul bude namerané hodnoty poskytovať nie len na požiadanie, ale aj automaticky, pomocou časovača. Interval posielania bude nastaviteľný individuálne, pre všetky typy komunikačných prostriedkov (SMS, Web, GUI). Na podrobné nastavenie bude slúžiť grafické rozhranie (GUI), ktoré pomocou USB pripojenia bude môcť vyčítať a uložiť dáta do pamäte senzorového modulu. Pomocou GUI bude možnosť zadať horné a dolné hraničné parametre pre snímače. Keď snímač, na ktorom sú nastavené určité hraničné parametre vráti hodnotu, ktorá je mimo nastaveného rozsahu, modul bude posielat' výstrahu s aktuálnou mimo hraničnou hodnotou pre vybraného komunikačného zberateľa. Grafické užívateľské rozhranie ďalej bude slúžiť aj pre diagnostiku modulu ako kontrola stavu mobilnej siete, nabitia akumulátora, organizovanie SMS správ v pamäti, a na lokálne meranie.

Pre zníženie nákladov na využívanie GSM siete, bude implementovaná služba pre posielanie nameraných hodnôt na zavolanie na telefónne číslo modulu. Základnou myšlienkou funkcie je, že keď telefónne číslo, ktoré je nastavené ako komunikačný partner, zavolá číslo modulu, tak modul bez uskutočnenia hovoru rozpojí konektivitu a ako odpoveď pošle všetky namerané hodnoty. Potom za komunikáciu užívateľ bude platiť len sumu za jednu SMS správu, a preto že hovor sa neuskutoční, telefonovanie sa nezúčtuje.

Podľa pôvodného plánu základná doska modulu mala podporovať pripojenie Zigbee modulu, z ktorého bude zbierať ďalšie dáta. Implementácia komunikačnej funkcie s Zigbee modulom nie je v rámci zadania úlohy.

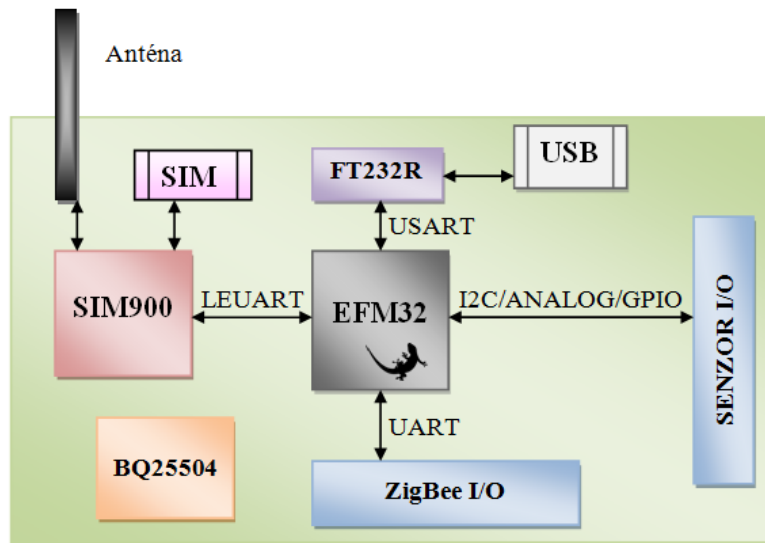


Obr. 3-1 Návrh systému univerzálnej GPRS senzorickej jednotky a periférie

3.1 Základné bloky nízkoenergetického senzorového modulu

Na začiatku vývoja bolo dôležité vybrať komponenty, z ktorých sa bude stavať riadiaca jednotka. Hlavné kritéria boli nízka energetická spotreba, rozmery a cenové náklady. Základná doska je vlastne riadiacou jednotkou celého systému uvedeného na obrázku Obr. 3-2. Za úlohu má, aby komunikovala s okolitými komponentmi, ako sú senzory, poprípade ZigBee modul, počítač pre servisný režim a koncový užívateľ cez sieť GSM/GPRS.

Hlavný riadiaci obvod je nízkoenergetický mikrokontrolér EFM32, ktorý je správcom celého systému. Spracováva informácie, ktoré prídu zo senzorov, a prepočítava ich na hodnotu zodpovedajúcu reálnej veličine pre ľahšie pochopenie človekom. Tieto prepočítané hodnoty pripraví na posielanie cez SIM900 modul do mobilnej siete. Pre testovanie a systémové nastavenie slúži obvod FT232R, ktorý komunikuje s riadiacim mikrokontrolérom cez UART. Na základnej doske sa umiestni aj špeciálny nabíjací obvod batérie BQ25504, ktorý je správcom energetického napájania a zásobovania. Nasledujúca bloková schéma návrhu základnej dosky ukazuje hlavné komponenty a typy komunikačných kanálov.



Obr. 3-2 Bloková schéma základnej dosky

3.1.1 Nízkoenergetické mikrokontroléry EFM32

EFM32 je rodina 32-bitových RISC ARM mikrokontrolérov od firmy Energy Micro, sesterskej spoločnosti Silicon Laboratories (Silicon Labs'). Energy Micro vznikla v roku 2007 a je zameraná na vyrábanie mikrokontrolérov s veľmi nízkou spotrebou energie, rádiových čipov typu SoC, a rádiových komunikačných modulov. EFM32 mikrokontroléry sú založené na procesorovom jadre typu ARM Cortex-M0 alebo M4.

Firma Energy Micro nie len tvrdí, ale skutočne aj vyrába mikrokontroléry, ktoré majú najnižšiu spotrebu elektrickej energie, a preto sú špeciálne vhodné pre aplikácie, kde je hlavný dôraz kladený na šetrenie energiou z dôvodu nízkoenergetickej. Takéto aplikácie sú napríklad vodné a plynové merania, automatizácia budov, zabezpečovacie systémy, prenosné medicínske/zábavné zariadenia. Hlavným cieľom je, aby zariadenie s EFM32 mikrokontrolérom bolo schopné čo najdlhšiu dobu nepretržite pracovať bez akéhokoľvek externého zdroja energie. Aby tie mikrokontroléry boli schopné dodržať tieto pokyny, musia spĺňať 10 požiadaviek, ktoré to zabezpečujú:

- Veľmi nízka spotreba v stave *Active Mode*. Pri frekvencii hodinového signálu 32 MHz a napájacom napätí 3 V mikrokontrolér konzumuje len 150 μA .
- Redukovaný čas spracovania. Architektúra Cortex-M bola vyvinutá pre energeticky citlivé aplikácie a má oveľa lepšiu účinnosť než 8 a 16-bitové procesory. Spracovanie je vykonané pri menšom počte hodinových signálov, ktoré redukuje čas stavu aktívneho módu.
- Mimoriadne malá spotreba v pohotovostnom režime. Stav *deep sleep* obsahuje zadržanie RAM a CPU, *power-on reset*, detekciu *brown-out*, a hodiny reálneho času (RTC) pod spotrebou energie 900 nA. V stave *shutoff*, energiu redukuje ďalej na 20 nA.
- Energeticky účinné periférie sú navrhované pre operáciu s veľmi malým odberom prúdu, ktorý umožňuje 4 krát dlhšiu životnosť batérie oproti ostatným 8-, 16-, 32-bitovým mikrokontrolérom. Napríklad *Low Energy UART* má spotrebu len 100 nA, a 12-bitový ADC prevodník konzumuje 350 μA

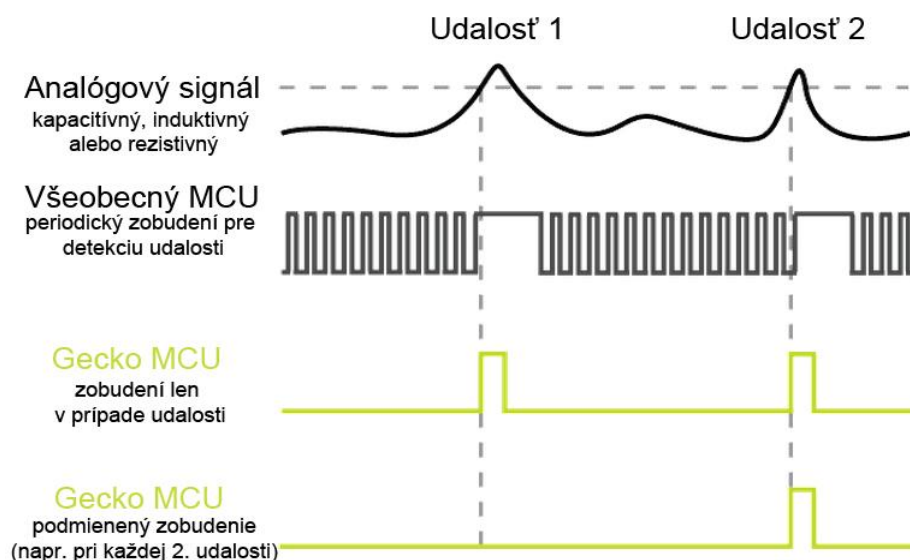
pri vzorkovacom kmitočte 1 milión vzoriek/sek

- EFM32 mikrokontroléry majú k dispozícii 5 rôznych typov energetických módov, ktoré umožňujú návrhárovi vytvoriť flexibilnú a optimalizovanú aplikáciu pre väčší výkon a dlhšiu životnosť batérie. V tabuľke vidno, aké vlastnosti majú rôzne energetické módy:

Tab. 3-1 Porovnanie vlastností EFM32 v rôznych EM režimoch podľa [10]

EFM32 / 3V	EM0 Run Mode	EM1 Sleep Mode	EM2 Deep Sleep	EM3 Stop Mode	EM4 Shutoff
Spotreba	150 μA/MHz	45 μA/MHz	0,9 μA	0,6 μA	20 nA
Doba zbudenia	-	0	2 μs	2 μs	160 μs
Zobúdzacie udalosti	každý	každý	periférie s 32 kHz	asynch IRQ, I2C,	Reset, GPIO IRQ
CPU	zapnutý	-	-	-	-
periférie	dostupný	dostupný	-	-	-
asynchrónne periférie	dostupný	dostupný	dostupný	dostupný	-
POR, BOR	zapnutý	zapnutý	zapnutý	zapnutý	zapnutý

- LESENSE - *Low Energy Sensor Interface* poskytujú nastaviteľnú kontrolu 16 externých analógových senzorov bez zahrnutia Cortex CPU. Pracuje so spotrebou 900 nA pri *deep sleep* móde pričom monitoruje rôzne typy senzorov: indukčný, kapacitný a odporový. Napríklad LESENSE je schopný inteligentne skontrolovať hodnotu snímaného senzora a prijať opatrenia cez PRS aby zobudil CPU, keď bol nastavený limit prekročený.









Obr. 3-3 Funkčnosť snímania LESENSE podľa [10]

- Periférie sú schopné pracovať autonómne, bez toho aby používali zdroje CPU.
- Veľmi krátky čas zobudenia. Čas prechodu z *deep sleep* módu do stavu aktívneho nemôžeme zanedbať u systémov s nízkou spotrebou, ktoré neustále prepínajú stavy *active* a *sleep*. EFM32 mikrokontroléry majú redukovaný čas prechodu na 2 μ s.
- *Peripheral Reflex System* (PRS) umožňuje komunikáciu jednej periférie s ostatnými, bez využitia CPU.
- Softvér Simplicity Studio zjednotí také užitočné softvérové nástroje, ako sú napríklad:
 - energyAware Profiler - ktorý ukáže okamžitú a priemernú spotrebu mikrokontroléru podľa užívateľského kódu.
 - energyAware Battery - ktorý vypočíta podľa nami napísaného kódu, ako dlho vydrží vybraný akumulátor.
 - energyAware Designer - umožňuje vybrať, ktoré periférie budú z mikrokontroléru používané, a dokáže podľa toho vygenerovať C kód.
 - Ďalšie užitočné možnosti, ako demo aplikácie, ukážkové kódy, dokumentácie a odkazy.[10]

Nasledujúca tabuľka Tab. 3-2 ukazuje dôležité hodnoty týkajúce sa dôvodov, prečo sú EFM32 mikrokontroléri energicky účinnejšie než ostatné.

Tab. 3-2 Porovnanie mikrokontrolérov podľa [11]

Výrobca / typ mikrokontroléra	Spotreba	Procesor	Čas zobudenia	Spotreba v režimu spánku	Autonómne periféria
 SILICON LABS 32-bit EFM32TG840F32	150 μ A/MHZ	Cortex M3	2 μ s	0,9 μ A	Áno
 32-bit STM32L151xx	294 μ A/MHZ	Cortex M3	8 μ s	4,5 μ A (1,9 μ A*)	Nie
 32-bit SAM4Lx	218 μ A/MHZ	Cortex M3	1,5 μ s	50,3 μ A (6,9 μ A*)	Čiastočne
 32-bit KinetisL KL0x	175 μ A/MHZ	Cortex M0	4 μ s	2,06 μ A	Nie
 TEXAS INSTRUMENTS 16-bit MSP430F543x	226 μ A/MHZ	MSP430	5 μ s	2,6 μ A	Čiastočne
 MICROCHIP 16-bit PIC24F16KA102	334 μ A/MHZ	PIC24	1 ms	0,93 μ A	Nie

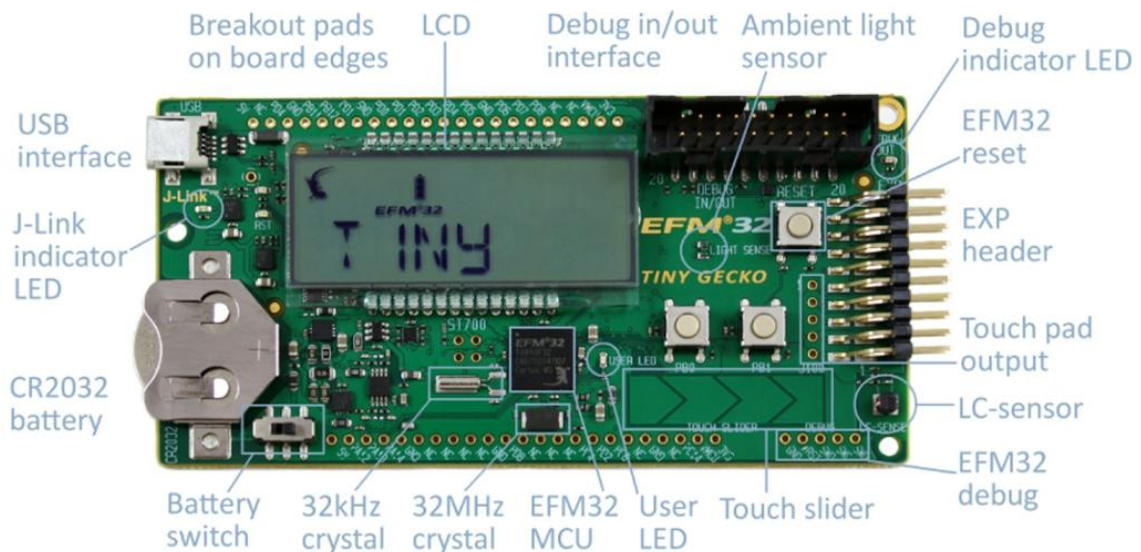
* Brown-out detekcia vypnutá

3.1.2 Použité vývojové dosky

Vývojová doska Tiny Gecko:

Aby realizáciu prototypu bolo možné začať navrhovať, bolo jednoznačné, že pre prácu je nevyhnutná vývojová doska s osadeným nízkoenergetickým mikrokontrolérom EFM32. K dispozícii bola vývojová doska Tiny Gecko, ktorá zabezpečila bližšie zoznámenie sa s možnosťami ponúkanými od firmy Energy Micro.

Tiny Gecko (EFM32TG-STK3300) je platforma pre rýchle prototypovanie veľmi nízko spotrebných aplikácií. Je na nej osadený EFM32TG840F32 MCU a mnoho ďalších periférií, ako napríklad: 160 segmentový LCD display, svetelný-, kapacitný-, a indukčný senzor, mikrotlačidlá, LED a kolíková lišta pre pripojenie externého zariadenia. [12]



Obr. 3-4 Vývojová doska Tiny Gecko prevzaté z [12]

Zariadenie obsahuje unikátnu *Advanced Energy Monitoring* (AEM) sústavu, ktorá umožňuje návrhárovi dostať plnú kontrolu nad spotrebou energie, potrebnej k aplikáciám. Osadený *on-board J-Link debugger* je užitočný pre skúmanie priebehu programu, skontrolovanie stavu registrov, hľadanie chýb a optimalizovanie softvéru.

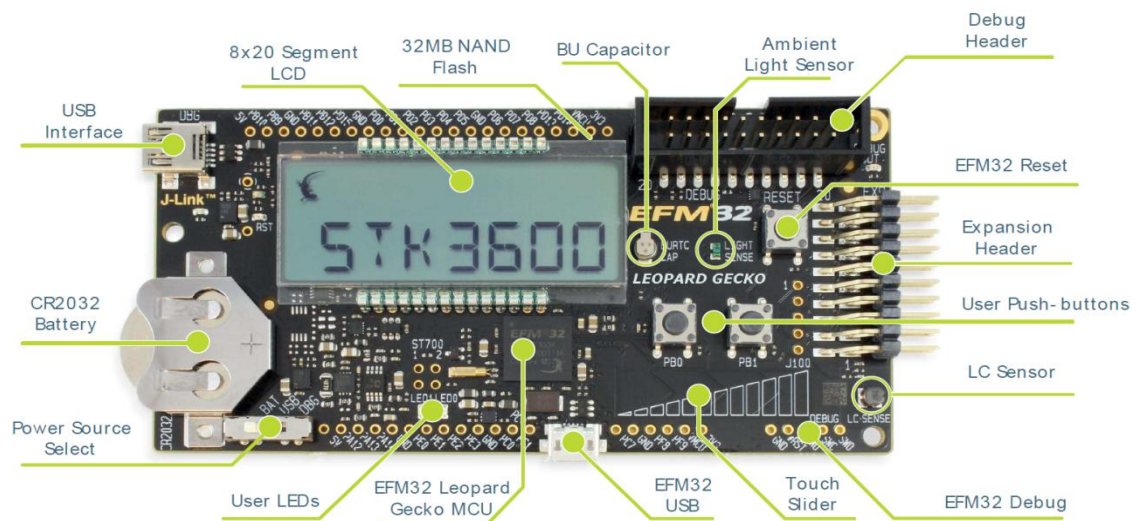
Počas vývojovej práce sa vyskytol problém, že User LED s predradeným odporom je pripojený na rovnaký výstup mikrokontroléra ako linka SCL komunikačného rozhrania I2C. Pretože linka SCL potrebuje zdvíhací odpor (*pull-up*) pri používaní protokolu I2C, zbytočný prúd pretiekol cez User LED, ktorý ovplyvnil konečnú spotrebu. Vzniknutý problém som vyriešil odstránením predradeného odporu, aby User LED bol odvtedy odpojený z linky.

Mikrokontrolér EFM32TG840F32 by mal spĺňať všetky požiadavky, ktoré sú určené pre realizáciu bezdrôtového senzora. Počas vývoja sa ale zistila jedna vlastnosť uvedeného mikrokontroléra, ktorá je nedostatočná pri tejto práci, a to je 32 kB pamäť flash. V súčasnej dobe vývoja má preložený binárny súbor 68 kB a je možné, že v budúcnosti budú implementované ďalšie funkcie, ktoré tiež budú vyžadovať miesto v pamäti flash a SRAM.

Vývojová doska Leopard Gecko:

Ako v predchádzajúcom odseku bolo uvedené, prvá vývojová doska typu Tiny Gecko nemala dostatočnú pamäť flash na ukladanie binárneho kódu pre vytvorenú aplikáciu. V ďalšom kroku bolo preto potrebné vybrať náhradu vývojovej dosky Tiny Gecko. Firma Silicon Labs našťastie ponúka široký výber vývojových dosiek, z ktorých bola vybraná vývojová doska z rodiny Leopard Gecko typ EFM32LG-STK3600, ktorá obsahuje mikrokontrolér EFM32LG990F256.

Vývojová doska Leopard Gecko oproti Tiny Gecko obsahuje navyše USB konektivitu s OTG podporou, záložný zdroj (kapacitor) pre hodinu reálneho času, pamäť 32 MB NAND Flash, ktorú je možné vypnúť keď je nepoužitá a 2 LED diódy.



Obr. 3-5 Vývojová doska Leopard Gecko prevzaté z [18]

Pri vývojovej doske Leopard Gecko už nebolo potrebné odstrániť zdvíhací odpor pred LED diódou, lebo výrobca už nespojil I2C linku s User LED vedením. Pretože túto dosku je už možné napájať aj z USB zbernice, vyskytuje sa možnosť prepnutia prepínača do stavu "USB". Z dôvodu, že u vývojovej dosky Tiny Gecko už boli implementované funkcie na komunikáciu s počítačom pomocou protokolu UART a integrovaného obvodu FTDI, samotný USB protokol by nebol využívaný. Firma Silicon Labs umožňuje, aby záujemcovia mali možnosť vyskúšať EFM mikrokontroléry a udáva možnosť objednávanie vzoriek zadarmo. Využitím tejto služby bolo možné znížiť náklady na výrobu prototypu nízkoenergetického modulu. Vybraný mikrokontrolér je EFM32LG880F256, ktorý na rozdiel od mikrokontroléru osadenému na vývojovej doske nepodporuje USB protokol (namiesto toho má viac GPIO vývodov). Okrem toho má QFP100 puzdro namiesto BGA112, a preto sa ľahšie osadí na vlastnú prototypovú dosku.

Pri porovnávaní mikrokontrolérov z rady Tiny Gecko a Leopard Gecko vidíme, že v rodine Leopard Gecko dosiahneme väčšiu pamäť, bohatší počet komunikačných periférií a schopností, ale aj, čo je nepríjemné, o niečo väčšiu spotrebu. Našťastie, to sa objaví len v aktívnom móde (EM0), pričom mikrokontrolér počas aplikácie bude väčšinou v režime spánku (EM2).

Nasledujúca tabuľka Tab. 3-3 znázorňuje hlavné rozdiely medzi mikrokontrolérmi

z rady Tiny a Leopard Gecko, ktoré boli využívané počas práce. Vybraný MCU a jeho vlastnosti sú označené zelenou farbou:

Tab. 3-3 Vlastnosti používaných EFM32 mikrokontrolérov podľa [17]

MCU	$\mu\text{A} @$ EM0/1/2	UART/USART/ LEUART	I2C/TIMER/ LETIMER	FLASH/ SRAM [kB]	GPIO
EFM32TG840	150*/51/1	-/2/1	1/2/1	32/4	56
EFM32LG880	200*/50/1,1	2/3/2	2/4/1	256/32	86
EFM32LG990	200*/50/1,1	2/3/2	2/4/1	256/32	83

* $\mu\text{A}/\text{MHz}$

3.2 Realizácia prenosu dát medzi komunikačnými blokmi systému

K tomu, aby univerzálny bezdrôtový senzorový modul bol schopný prenášať informáciu pre iné zariadenie, musí mať k dispozícii rozhranie a techniku, ktorá to umožňuje. Cieľom práce je, aby namerané senzorické hodnoty boli dostupné cez GSM/GPRS sieť, a aby parametre snímania rôznych snímačov bolo možné nastaviť cez USB rozhrania. Riešenie problematiky s komunikáciou GSM/GPRS sieť vykonáva zariadenie SIM900 a integrovaný obvod FT232R.

3.2.1 GSM/GPRS modul - SIM900

Komunikačný modul SIM900 je kompletným štvorpásmovým (*quad-band*) riešením vo forme SMT, je možné osadiť do aplikácie M2M (*Machine to Machine*) vyžadujúcej GSM/GPRS modul. Pracuje v GSM pásme 850/900/1800/1900 MHz, vhodné pre uskutočnenie volania, posielanie a prijímanie SMS správ, Fax a dáta. [21]

Súčasťou úlohy bolo nájsť vhodný GSM/GPRS modul pre komunikáciu so senzorovým modulom, ktorý má malú spotrebu, malé rozmery a čo najnižšiu cenu. Porovnanie s ostatnými komunikačnými modulmi GSM znázorňuje nasledujúca tabuľka.

Tab. 3-4 Porovnanie GSM/GPRS modulov

Názov	Pásmo [MHz]	Veľkosť [mm]	Spotreba "sleep"	Spotreba "aktív"	Cena
SimCom SIM900	850/900/1800/1900	24x24x3	1 mA	od 83 mA	380 CZK
SimCom SIM900D	850/900/1800/1900	33x33x2	1 mA	od 200 mA	420 CZK
Huawei MG232-B	850/900/1800/1900	24x24x2.95	3 mA	do 460 mA	546 CZK

Pôvodne bol potenciálne zvolený modul SIM900D, pretože má zabudovanú li-ion

nabíjaciú elektroniku, ktorá by bola užitočná na napájanie akumulátora senzorového modulu. Táto zabudovaná nabíjacia elektronika ale nie je určená na získavanie energie, a preto za nabíjaciú časť bude zodpovedná špeciálna súčiastka BQ25504, ktorá bude podrobne popísaná v nasledujúcej kapitole. Druhý dôvod nepoužívania SIM900D sú jeho rozmery. SIM900R má vyhovujúce parametre, má skoro podobnú cenu ako SIM900 ale nepodporuje pásmo 850 a 1900 MHz, čiže sa neoplatí zvoliť. Modul MG232-B od firmy Huawei má takmer vyhovujúce vlastnosti, ale cenovo sa nevypláti.

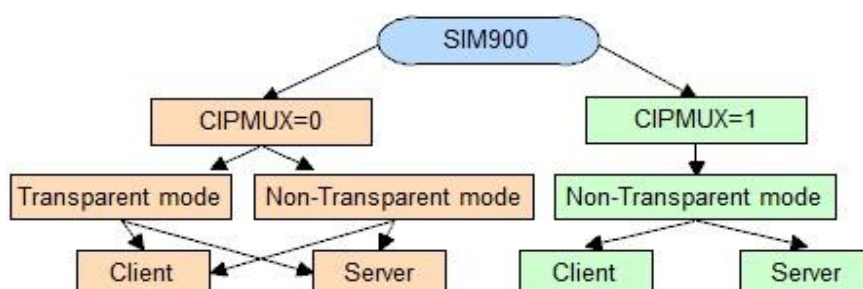
Prevedenie SMT vo veľkosti 24mm x 24mm x 3mm a 1 mA prúdová spotreba v režime spánku udáva dôvod používania SIM900 modulu. Cenovo je tiež vyhovujúci a dostupný. Komunikácia s modulom prebieha cez sériovú linku (UART) pomocou AT príkazov. Zo stavu *sleep* je možné modul zobudiť pomocou SMS správ alebo cez sériový port, tým sa dostane do stavu aktívneho, ktorý je možné využiť od odberu prúdu 83 mA. Na nasledujúcom obrázku sú viditeľné predné a zadné strany modulu SIM900 a konektor pre SIM kartu.



Obr. 3-6 Moduly SIM900 a konektor na SIM kartu

Počas vývoja bol k dispozícii vývojový modul s osadeným obvodom SIM300DZ pre bezdrôtovú komunikáciu cez mobilnú sieť. Inštrukčné AT príkazy sú väčšinou kompatibilné s verziou, ktorú používa SIM900, takže SIM300DZ bol na vyskúšanie možností a testovanie spávania sietí GSM/GPRS postačujúci, pokiaľ nebol dostupný modul SIM900.

Existujú dva spôsoby, ako je možné realizovať pripojenie typu TCP/IP s modulom SIM900, a to sú *single-* a *multi connection* módy. Keď je nastavená opcia *single*, modul je schopný pracovať v móde *transparent* a *non-transparent* a v týchto prevádzkových režimoch môže mať rolu TCP/UDP klienta alebo TCP servera. V prípade nakonfigurovania *multi connection* opcie, SIM900 umožňuje typ pripojenia len *non-transparent*, ale v tomto režime je možné otvoriť až 7 pripojení ako TCP/UDP klient, alebo TCP server. [22]



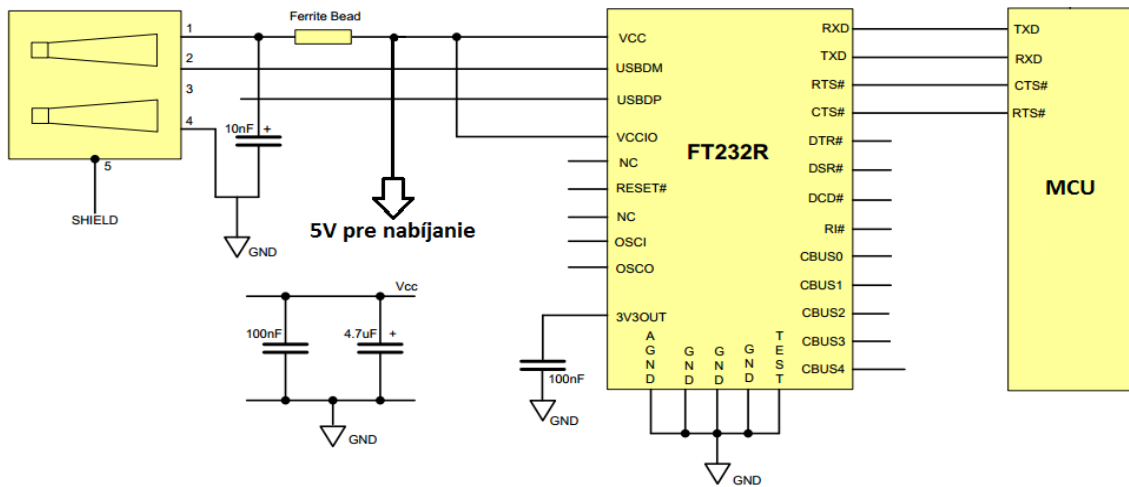
Obr. 3-7 SIM900 štruktúra TCP/IP podľa [22]

Transparentný mód je špeciálny režim, kde po vzniknutí konektivity medzi SIM900 modulom a napríklad web serverom, GPRS modul bude v systéme "prehľadný". To znamená, že jednotlivé bajty prichádzajúce zo sériového rozhrania budú priamo uložené do odchádzajúceho rámca, podobne aj v opačnom prípade, keď komunikačný modul dostane jeden rámec, posielajú bajty ďalej na UART rozhranie bez akejkoľvek zmeny.

3.2.2 Prevodník UART - USB od firmy FTDI (FT232R)

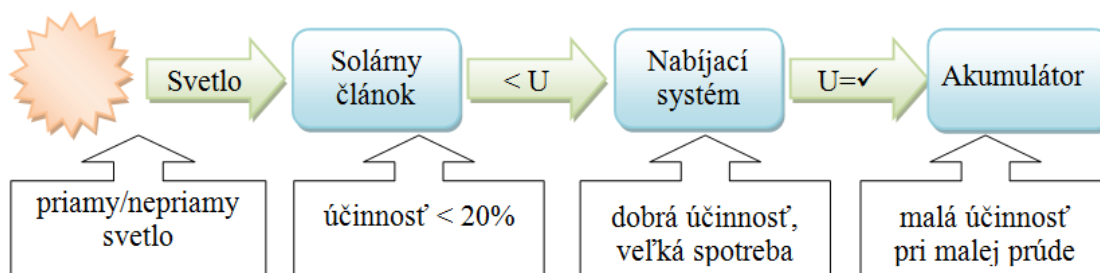
Najjednoduchšia a najrozšírenejšia možnosť komunikovať medzi počítačom a elektronickým zariadením je USB, hlavne keď je k dispozícii integrovaný obvod FT232R od firmy FTDI (Future Technology Devices International Ltd.). Riešenie zjednodušuje USB konektivitu, pretože ovládač pre FTDI obvod je zverejnený na stránke výrobcu pre všetky tri populárne operačné systémy (Windows, Mac OS, Linux). Stačí nainštalovať softvér ovládača do vybraného počítača a po pripojení, obvod bude automaticky rozpoznávaný. Prenosová rýchlosť prebieha rýchlosťou od 300 baud do 3 Mbaud na úrovni TTL, ktoré budú postačujúce na prenos dát medzi počítačom a bezdrôtovým sensorovým modulom. [13], [16]

Obvod FT232R bude napájaný USB zbernicou, tým pádom nebude mať vplyv na spotrebu z akumulátornej energie. Naopak, pripojenie na zbernicu udáva možnosť nabíjania akumulátora počas servisného režimu.



Obr. 3-8 Zapojenie obvodu FT232R podľa [13]

Bezdrôtový sensorový modul bude nízkoenergetický, a skúsi sa byť sebestačný, to znamená že požadovanú elektrickú energiu pre operáciu bude musieť sám produkovať. Získavanie energie (*energy harvesting*) začína pomocou solárneho článku, ktorý konvertuje svetelnú energiu na energiu elektrickú. Túto energiu je potrebné akumulovať pomocou nabíjacieho zariadenia, aby napájanie sensorového modulu bolo možné aj v prípade, keď na solárny článok nepadá dostatočné, či žiadne množstvo svetla. Ďalší dôvod akumulácie energie je, že solárny článok nie je schopný produkovať dostatočne veľký prúd pre GSM rádiové rozhranie ani v prípade keď naň dopadá priame svetlo zo slnka.



Obr. 3-9 Problematika nabíjania so svetelným zdrojom

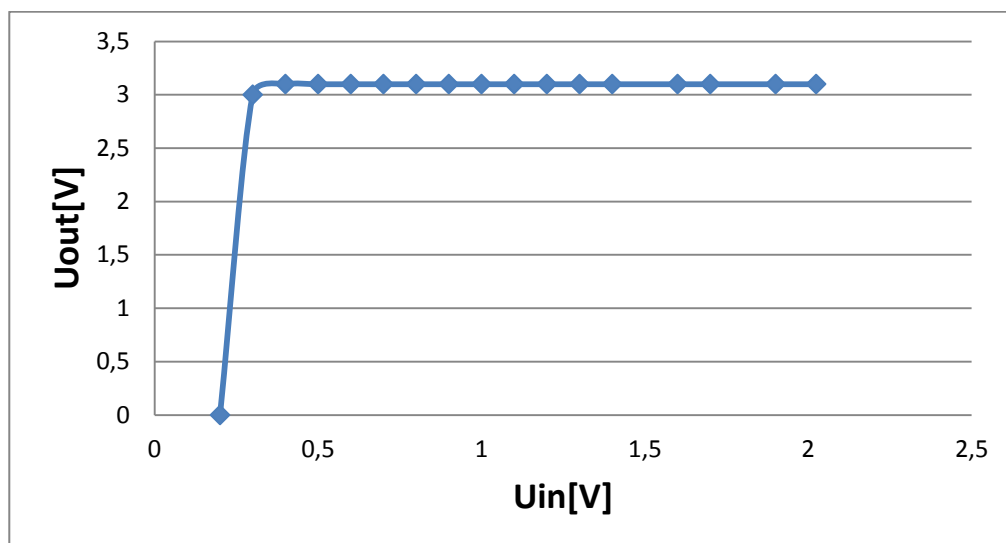
Ako je vidieť na hornom náčrte, každý element má určité nedostatky. Solárne články majú malú účinnosť, pri nedostatočnom svetle produkujú nízke napätie, ktorý nestačí na nabíjanie akumulátora. Občasné nabíjacie systémy majú postačujúcu účinnosť, a odovzdávajú presnú veľkosť napätia pre nabíjanie, ale pre samotnú činnosť potrebujú príliš veľký prúd na to, aby ich nebolo možné použiť v systéme, kde je prítomný menší solárny článok. Ďalším problémom je, že akumulátory (typicky li-ion) nie sú optimalizované pre nabíjanie takým malým prúdom, ktorý by zostal zo solárneho článku za pripojenia nabíjacieho obvodu. Tieto vlastnosti systému neumožňujú, aby na konci bolo možné nabíjať akumulátor so svetelnou energiou.

Riešenie by bolo podpora systému s výkonnejším solárnym článkom, ale to je podmienené s jeho väčším rozmerom ale bezdrôtový senzorový modul musí byť kompaktný. Jedinou možnosťou je, aby sa do problematiky vložil nabíjací obvod so zlepšenými parametrami, ktorý s ohľadom na vlastnú spotrebu musí byť takmer transparentný, aby nemárnil prúd ponúkaný solárnym panelom.

3.3 Realizácia napájacej časti nízkoenergetického senzorového modulu

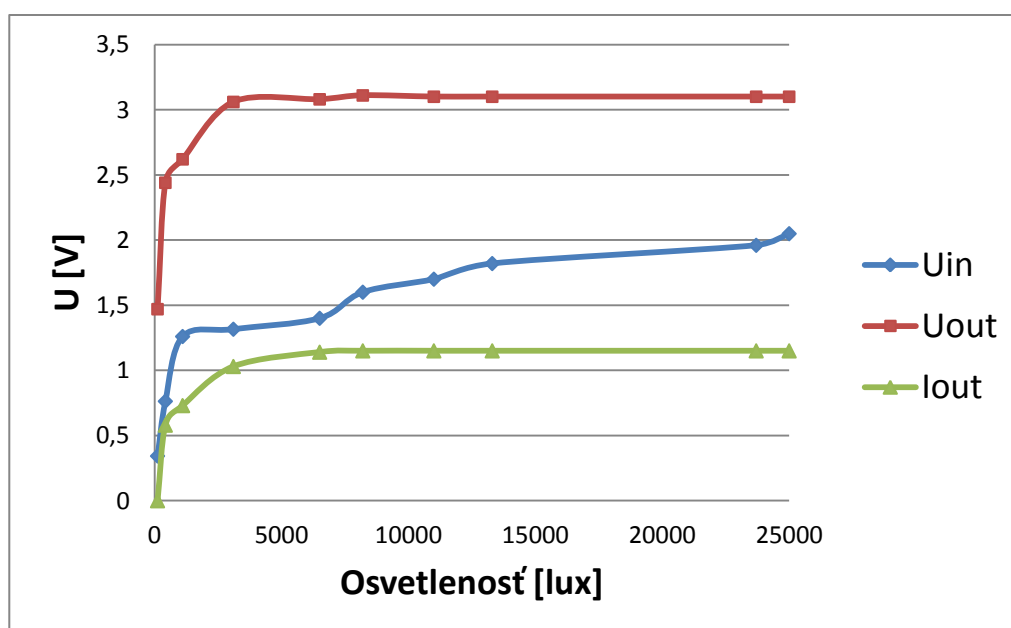
Špeciálne požiadavky spomínané v predchádzajúcej kapitole (*nano-power*) spĺňa integrovaný obvod BQ25504 vyrábaný firmou Texas Instruments. Jedná sa o správcu batérie pre aplikáciu *energy harvesting*. Produkt je špeciálne navrhnutý pre bezdrôtové senzorové siete (WSN) tak, aby bol efektívny a pracoval s μW a mW generovaným s jednosmerným zdrojom ako fotovoltaický (solar) panel alebo tepelný generátor (Peltier článok).

Nabíjacie napätie akumulátora je nastaviteľné pre dolnú hranicu (*under voltage*) a pre hornú hranicu (*over voltage*), a súčasť obsahuje ochranu pre skladovací prvok. Typ akumulátora môže byť rôznych, napríklad li-ion, li-polymer, NiMh, ale je možné použiť bežný elektrolyt kondenzátor alebo super kapacitor. Obvod pracuje s maximálnym vstupným napätím 3 V, z ktorého vytvorí maximálne 5.25V pomocou *boost* meniča (1 MHz). Zabudovaný impulzný menič je schopný nabehnúť od 330mV, a potom môže pracovať nepretržite až do dolnej hranice 80mV. Pre overenie funkčnosti *boost* konvertora bola nameraná závislosť výstupného napätia (bez záťaže) na vstupné. Vývojová doska BQ25504 bola počas merania napájaná zo solárnych panelov typu č. 3 a 4 uvedené v tabuľke Tab. 3-5, ktoré sú zapojené sériovo a boli osvetlené žiarovkou s výkonom 40W. Na obrázku 3.7 je z grafikonu vidno, že na výstupe obvodu sú 3 V, aj keď na vstupe je len 330 mV. [14]



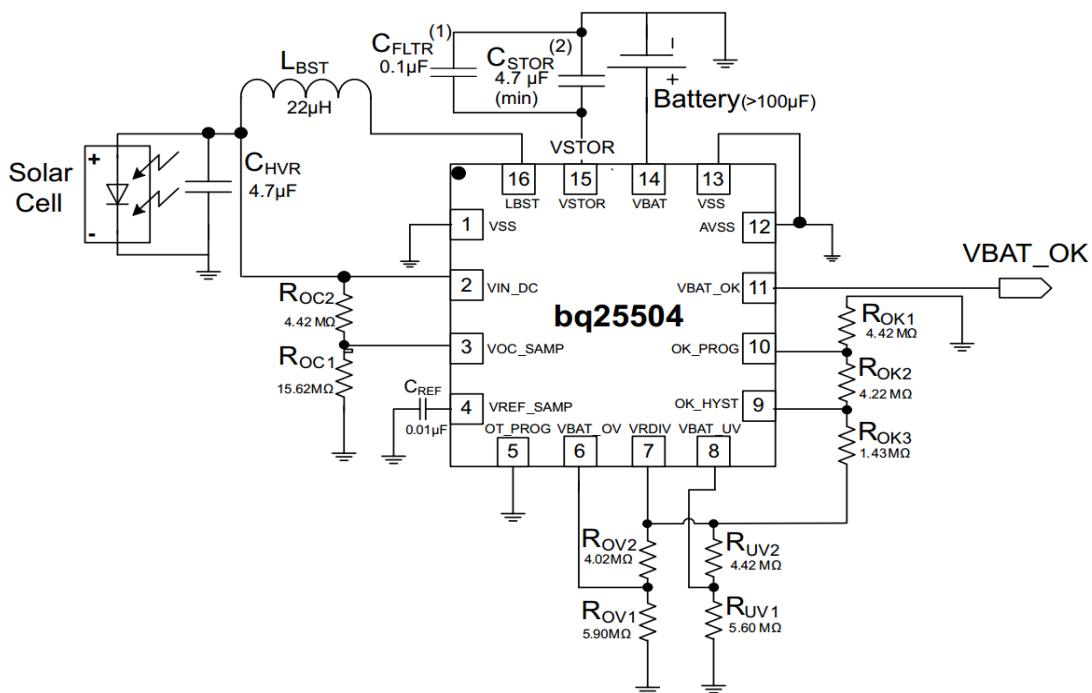
Obr. 3-10 Závislosť výstupného napätia na vstupný bez záťaže

Ďalší graf na obrázku 3-8 znázorňuje prípad, keď na výstupe je záťaž 1,2 k Ω . Obvod je tiež napájaný solárnymi panelmi č. 3 a 4 osvetlený žiarovkou 40 W. Krivky ukazujú, že pri osvetlenosti cca 500 lux obvod BQ25504 je schopný generovať 2,5 V napätie na výstupe, ktoré je už dostatočné pre mikorontrolér a nabíjanie akumulátoru.



Obr. 3-11 Závislosť V/V napätí a výstupný prúd na osvetlenosť, záťaž 1,2 k Ω

BQ25504 obsahuje programovateľné sledovanie bodu maximálneho výkonu (*Maximum Power Point Tracking* - MPPT) pre optimalizovanie prevodu energie do systému, s čo najväčšou účinnosťou. Využívaním ponúkaného signálu *Battery Good* je možné upozorniť riadiaceho mikorontroléra o stave nabitia akumulátoru. S ohľadom na proporcie, BQ25504 má typ puzdra 16 vývodový QNF v rozmeroch 3mm x 3mm. [14]



Obr. 3-12 Zapojenie obvodu BQ25504 prevzaté z [14]

3.3.1 Solárny panel a akumulátor

Energiu pre univerzálnu bezdrôtovú jednotku bude poskytovať solárny panel so svetelným zdrojom. S ohľadom na kompaktnosť, by bolo optimálne, keby celková plocha solárneho modulu mala maximálne rozmery tie isté ako finálny produkt. To bude podľa prognózy maximálne 10x7 cm.

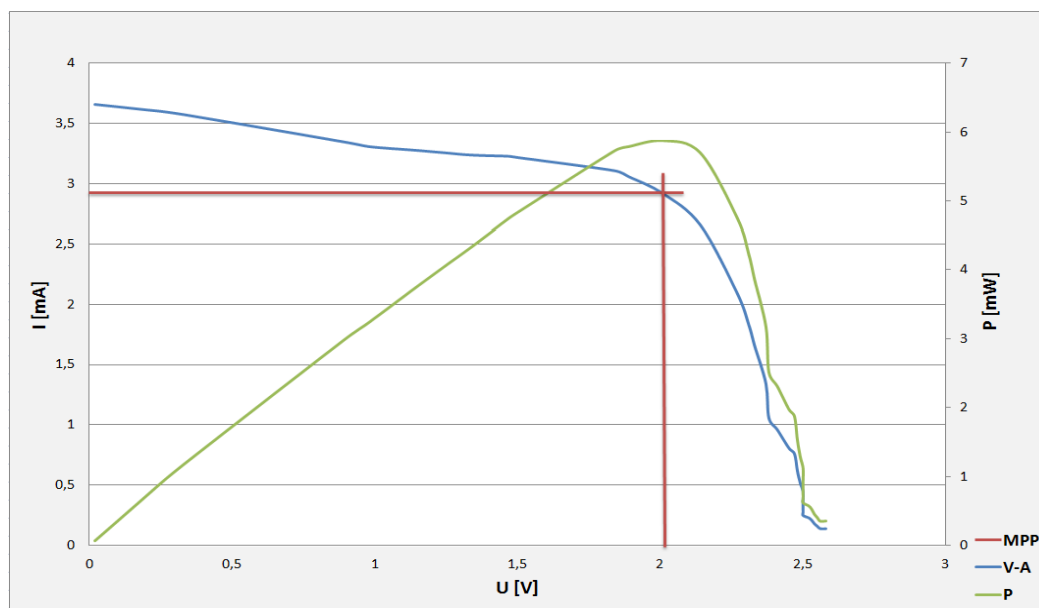
Počas vývoja bolo k dispozícii niekoľko typov solárnych panelov, z ktorých podľa zadania bolo nutné vybrať vhodný modul pre napájanie jednotky. Kritéria pre výstupné napätie solárneho modulu sú dané podľa technickej dokumentácie integrovaného obvodu BQ25504 tak, že vstupné napätie môže byť maximálne 3 V. V prípade, keď solárny modul produkuje viac, je treba redukovať napätie napríklad lineárnym stabilizátorom LDO (*Low Dropout*), aby bol obvod zachránený. Namerané hodnoty solárnych panelov, ktoré boli k dispozícii sú uvedené v nasledujúcej tabuľke:

Tab. 3-5 Porovnanie solárnych panelov

Panel č.:	1	2	3	4	5	6
U_{\max} [V]	5.84	2.68	0.58	1.09	4.23	2
I_{\max}	3.7	3.88	43.4	69.5	27.5	250
Rozmery	100x80	65x54	60x30	60x60	145x75	90x60

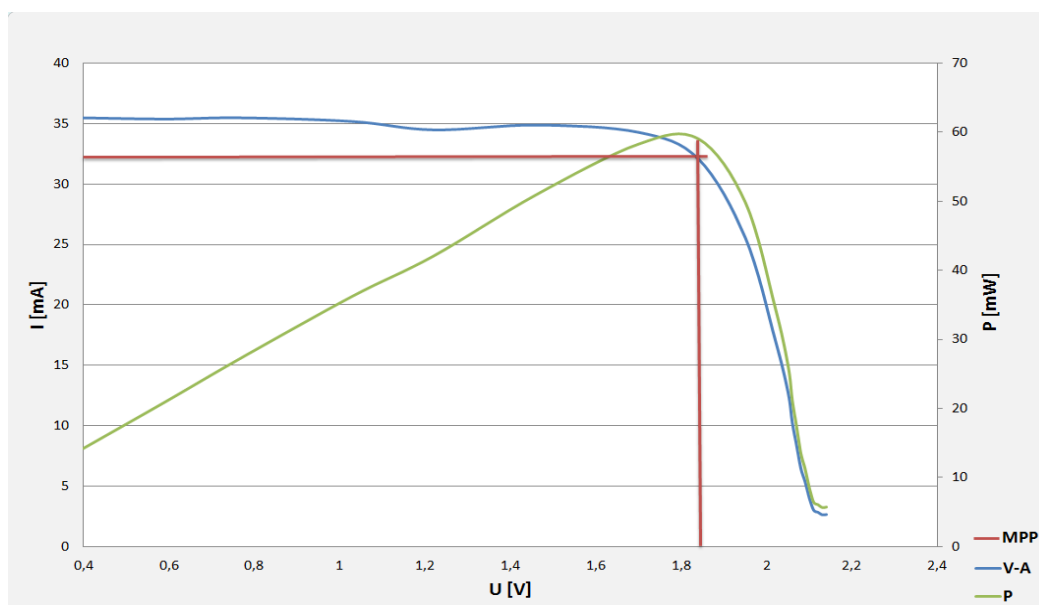
Moduly s číslom 1 a 5 majú maximálne výstupné napätie nad povoleným limitom 3 V. Vzhľadom na malý produkovaný prúd modulu a pokles napätia (*voltage drop*), vzniknutého na lineárnom stabilizátore, je regulátor LDO nevhodný. Podľa stanovených požiadaviek, sú vhodné solárne moduly uvedené v tabuľke Tab. 3-5 s číslom 2, 3, 4 a 5. Problém s modulom číslo 2 je, že produkuje malý prúd, ktorý je nepostačujúci pre

nabíjanie li-ion, li-po akumulátorov. Výsledky merania výstupnej V-A-P charakteristiky, kde bol solárny panel č. 2 osvetlený cca. 5000 lux znázorňuje graf na obrázku Obr. 3-13.



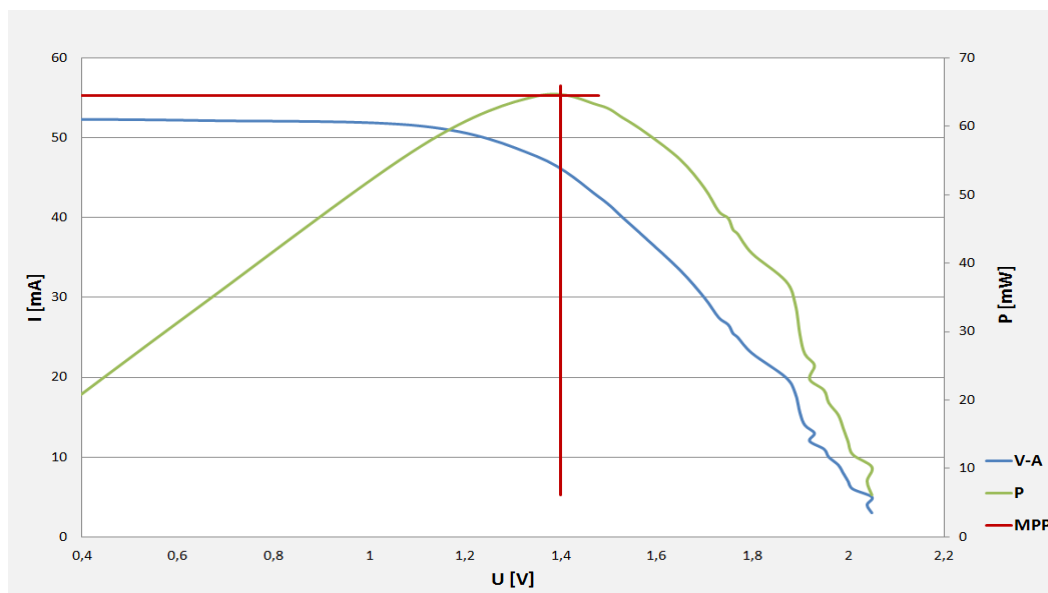
Obr. 3-13 V-A-P charakteristika solárneho panelu č.2

Naopak, moduly s číslom 3 a 4 (z ktorých sú k dispozícii dva kusy) poskytujú dostatočne veľký prúd, ale nepostačujúce napätie. Kompromisom medzi prúdom a napätím by mohlo byť sériové zapojenie modulu č. 3 a dvoch modulov č. 4. Takto vzniknutá reťaz solárnych modulov by mala poskytovať dostatočnú energiu (cca 120 mA) pre prevádzku univerzálneho sensorového modulu. Obrázok Obr. 3-14 ukazuje namerané hodnoty V-A-P charakteristiky panelového reťazca, kde MPP ukazuje bod maximálneho výkonu, ktorý je schopný hľadať aj obvod BQ25504.



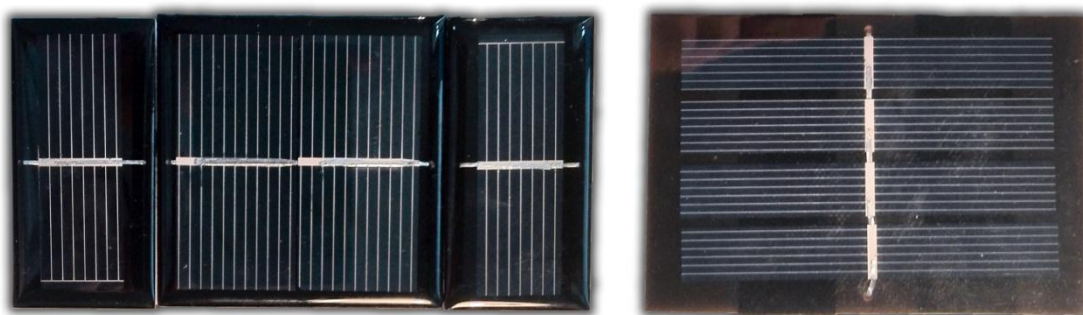
Obr. 3-14 V-A-P charakteristika solárneho panelu č.3 a č.4 (2x) zapojený sériovo

Solárna plocha z jedného panela č. 3 a z dvoch panelov č. 4 by bola 12 cm x 6 cm, ktorá je už väčšia ako plánovaný limit. Druhý dôvod nepoužitia panelového reťazca, že by obsahoval rôzne typy solárnych panelov, ktoré produkujú rozdielne veľké prúdy a tým pádom sú nekompatibilné. Avšak, posledný panel v tabuľke Tab. 3-5 má menšie rozmery a je schopný produkovať až o 100 mA väčší prúd ako spomenutý panelový reťazec. V-A-P charakteristika solárneho panelu č.6 je uvedená na obrázku Obr. 3-15.



Obr. 3-15 V-A-P charakteristika solárneho panelu č.6

Na obrázku Obr. 3-16 je viditeľné, že solárny panel č. 6 z tabuľky Tab. 3-5 je rozmerovo menší a predošlé grafikony tykajúce sa merania s panelmi ukázali, že panel č. 6 bude určite lepším výberom pre napájanie nízkoenergetického modulu a nabíjanie jeho akumulátora.



Obr. 3-16 Solárne panely č. 4, 3, 4, a 6

V mobilných zariadeniach sú väčšinou použité akumulátory typu lithium-ion, pretože spĺňajú požiadavky mobility, ako sú rozmery, váha a možnosť udržať veľkú kapacitu energie. Prvý vyskúšaný typ energetického úložiska je nabíjateľný li-ion akumulátor typu BL-5B od firmy Nokia. Nominálne napätie má 3,7 V a kapacitu 890 mAh. Podľa výrobcu akumulátor vydrží 1200 nabíjacích cyklov.



Obr. 3-17 Akumulátor Nokia BL-5B

V ideálnom prípade solárny panel č. 5 produkuje maximálny výkon 0,5 W (250 mA), vybraný akumulátor BL-5B má kapacitu 890 mAh, a je možné vypočítať, za akú dobu je schopný vybraný solárny panel nabiť akumulátor:

$$t_{\text{nabíjanie}} = \frac{Q_{\text{akumulátor}}}{I_{\text{nabíjací}}} = \frac{890 \text{ mAh}}{250 \text{ mA}} = 3,56 \text{ h} \quad (3.1)$$

Pravdou je, že vypočítaná hodnota platí len pre ideálny prípad, kde sa spočíta účinnosť nabíjacej sústavy a väčšinou solárny panel, z dôvodu, že pri nedostatočnom dopade svetla nebude schopný produkovať maximálny výkon. Podľa technickej dokumentácie [14], nabíjací obvod BQ25504, pri vstupnom prúde 100 mA má účinnosť 80 %. V takom prípade by solárny panel nabíjal baterku za 10.68 hodín. Tým pádom solárny panel č. 5 (v tabuľke 3 5 zvýraznený zelenou farbou) bude podľa vypočítaných hodnôt vhodný na nabíjanie akumulátora nízkoenergetického modulu so solárnou energiou. K výdrži batérie sa musí započítať aj vlastné vybíjanie akumulátora typu li-ion. To závisí od stavu nabitia akumulátora a na okolitej teplote.

Tab. 3-6 Vlastný vybíjanie akumulátorov li-ion pri rôznych teplotách a stavu nabitia, podľa [19]

Stav nabitia	0 °C	25 °C	60 °C
100 %	6 %	20 %	35 %
40-60 %	2 %	4 %	15 %

3.4 Realizácia senzorickej časti systému

Na komunikáciu so senzormi boli pôvodne plánované rozhrania I2C, A/D prevodník a sériová komunikácia vo forme Low Energy UART. Po malom výskume sa ukázalo, že digitálne senzory, ktoré sú navrhnuté na prevádzku s malou spotrebou, väčšinou podporujú komunikáciu I2C, a nie sériovú komunikáciu. Mikrokontroléry Tiny Gecko sú distribuované len s jedným nízko spotrebným sériovým rozhraním (LEUART), čo bolo využité na komunikáciu s GSM/GPRS modulom, ktorý má najväčší odber prúdu, čím LEUART skúsil kompenzovať spotrebu. Mikrokontroléry z rady Leopard Gecko však majú k dispozícii viac ako jedno nízkoenergetické UART rozhranie, takže na prípadné rozšírenie bude vyhradené jedno rozhranie aj pre externé senzory.

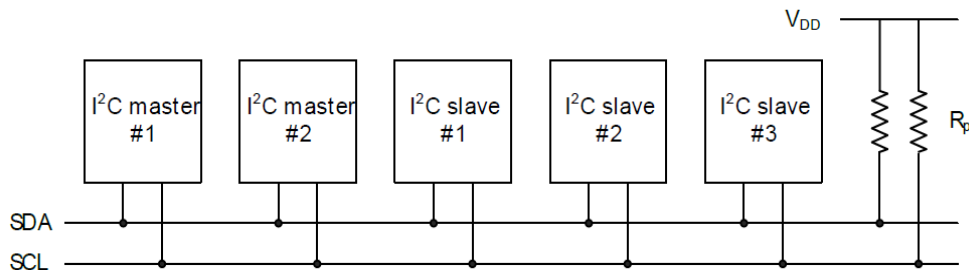
Pre analógové senzory bude k dispozícii 12-bitový A/D prevodník a v pláne je aj využitie vlastností nízko spotrebného rozhrania LESENE na rezistívne a kapacitné snímanie.

I2C:

Zbernicu *Inter-Integrated Circuit* (I2C) vyvinula firma Philips Semiconductor pre komunikáciu rôznych integrovaných obvodov na jednej DPS, pôvodne v televíznych prijímačoch. Hlavným dôvodom bolo, aby na komunikáciu využívali minimálny počet liniek. Takto vznikla dvojvodičová synchronná zbernica (TWI). Služi prevažne na pripojenie externých periférií, ako EEPROM, RTC, LCD, port expander, a rôznych digitálnych senzorov. Prenos dát prebieha na linke SDA (*Serial Data*) riadenou hodinovým signálom SCL (*Serial Clock*). Pre úspešnú komunikáciu na zbernicových linkách je potrebné pripojiť zdvíhacie odpory, ich hodnota je závislá na kapacitancii liniek a na hodinovom signále SCL. Maximálnu hodnotu je možné vypočítať pomocou vzorca, kde t_r je maximálna doba náběhu signálu (*rise-time*) a C_b je kapacitancia linky: [15], [2]

$$R_p(max) = (t_r/0.8473) \times C_b \quad (3.1)$$

Komunikačná rýchlosť pri používaní mikrokontroléru EFM32 dosahuje až 1 Mbit/s pri frekvencii hodinového signálu SCL 1 MHz (mode Fm+). Na zbernicu je možné pripojiť až 128 zariadení, ktoré môžu mať role *Slave* alebo *Master*. Štruktúru komunikačnej zbernice I2C znázorňuje nasledujúci obrázok: [15]



Obr. 3-18 Štruktúra I2C zbernice prevzaté z [15]

Každé zariadenie má 9 bitovú adresu, z toho 7 je samotná adresa, ôsmy indikuje čítanie alebo zápis (R/W) a posledný je ACK. Pomocou adresy je možné identifikovať pripojené zariadenie a napokon, mikrokontroléry EFM32 sú schopné identifikovať aj v móde EM3. Túto vlastnosť je možné využívať na rozpoznávanie, ktorý digitálny senzor bol pripojený na bezdrôtový modul. [2]

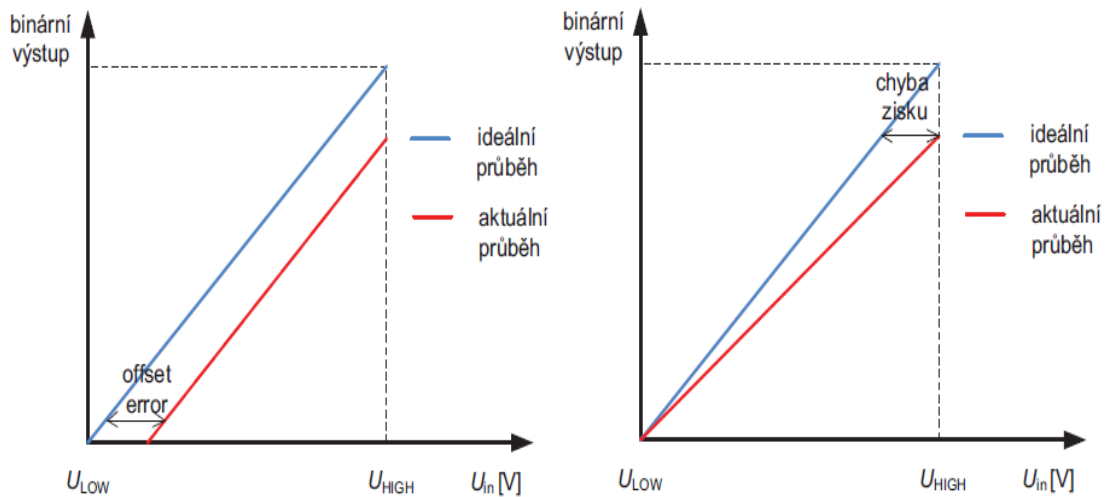
ADC:

Analógovo-digitálny prevodník je základom mnohých snímačov. Je predurčený aby konvertoval analógový signál, ktorý má za zdroj fyzikálnu veličinu (teplota, tlak, vlhkosť, rýchlosť vetra, atď.) na číslicovo spracovateľnú formu. Digitalizácia analógového signálu je popísaná tromi procesmi ako vzorkovanie, kvantovanie a kódovanie. [2]

Mikrokontroléry EFM32 používajú A/D prevodník pracujúci metódou postupnej aproximácie SAR (*Succesive Approximation Register*) s programovateľným rozlíšením 6/8/12-bit. Pri tejto metóde sa prevodník skladá z konvertoru, kontroléru a komparátoru. Integrovaný vstupný multiplexer je schopný získať analógový signál z ôsmich

externých a šiestich interných zdrojov ako napríklad zabudovaný teplomer. Pre referenčné napätie je možné vybrať napájacie napätie, 1,25 V, 2,5 V, 5 V diferenciálne napätie, alebo externé napätie. Každý externý vstup je vybavený vstupným RC filtrom. Maximálna vzorkovacia rýchlosť 1 MSPS pri 12 bitovom prevode (1,86 MSPS pri 6-bit) zabezpečuje aby minimálne 500 kHz-ový signál bolo možné digitalizovať. [20]

Pri používaní A/D prevodníka je dôležité si uvedomiť chybovosť konvertoru. Chyba nastavenia nuly (*Offset Error*) sa stane v prípade, že nulová binárna hodnota prevodníka ukazuje na nenulovú hodnotu napätia. Druhý dôvod nepresnosti je chyba zisku (*Gain Error*), ktorý je definovaný ako odchýlka posledného A/D prevodu od ideálnej charakteristiky. Chybovosť je závislá na okolitej teplote, aby meranie bolo presné, je potrebné pravidelne kalibrovať prevodník pred použitím. A/D prevodník EFM32 mikrokontroléru podporuje kalibráciu pre *offset* a *gain* chybu pomocou kalibračných registrov. Okrem týchto možností chýb existujú aj chyby nelinearity integračne (INL) a diferenciálne (DNL) [2].



Obr. 3-19 Chyba AD prevodníka typu Offset a Gain prevzaté z [2]

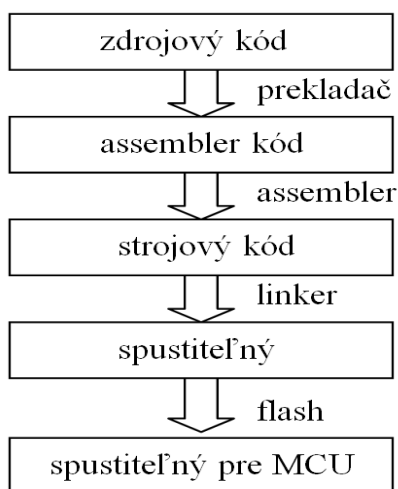
Na testovanie počas vývoja bol použitý senzor atmosférického tlaku a teploty BMP180, a senzory relatívnej vlhkosti a teploty DHT22 a SHT15. Porovnanie senzorov na meranie relatívnej vlhkosti a teploty ukázalo, že SHT15 má nielen menší rozmer, ale aj nižšiu spotrebu a je omnoho presnejší ako DHT22. V budúcnosti by bolo možné použiť namiesto SHT15 (nepodporujúci I2C protokol) ešte presnejší a energeticky úspornejší senzor SHT25 alebo lacnejšiu variantu STS21, ktorá už komunikuje s protokolom I2C. Na meranie svietivosti boli implementované funkcie na komunikáciu so senzorom BH1750. Rad senzorov ešte bude rozšírený podľa potreby meraných veličín. Tabuľka Tab. 3-7 znázorňuje vlastnosti už vyskúšaných a potenciálne použitých senzorov.

Tab. 3-7. Vlastnosti použitých digitálnych senzorov

názov	meraná veličina	rozmery [mm]	spotreba [μ A]	komunikácia	doba merania [ms]
DHT22	vlhkosť, teplota	15x25x7,7	1300-2100	digitálny	1700-2000
SHT15	vlhkosť, teplota	7,4x4,9x2,5	550-1000	digitálny	20-320
BMP180	barometer, teplota	3,6x3,8x0,93	3-650	I2C	4,5-76
BH1750	osvetlenie	3x1,8x0,75	120-190	I2C	16-180
HMC5883L	3 osový kompas	3x3x0,9	100	I2C	6

3.5 Vývoj softvéru

Niekoľko komponentov počítačových programov je potrebné pre vytvorenie nástrojového reťazca (*toolchain*), pomocou ktorého je možné z napísaného zdrojového kódu vygenerovať a nahráť strojový kód použiteľný pre mikropočítače. Dolný obrázok ukazuje na vývojové kroky:



Obr. 3-20 Postup vývojových krokov

Zdrojový kód v jazyku C sa píše v textovom editore, a uloží sa s príponou ".c". Prekladač potom konvertuje napísaný c kód na objekt ".o". Linker kombinuje objekty na spustiteľný ".out" alebo ".axf" súbor, ktorý je možné konvertovať na čistý binárny súbor nahrateľný do pamäte mikrokontroléru. Tieto kroky sú občas zabudované do vývojového prostredia (*Integrated development environment* - IDE), ktorý uľahčí prácu programátorovi. Kompilácia, nahranie programu a hľadanie chýb (*debug*) je väčšinou zlúčená pod jedným tlačidlom.

3.5.1 Vývojové prostredie - IDE

Počas doterajších prác boli vyskúšané rôzne vývojové prostredia, z ktorých každé má svoje výhody aj nedostatky. Výber najvýhodnejšieho prostredia je ale nepostrádateľný pre rýchlosť vývoja a účinnosť práce.

Rowley Crossworks:

Na prvý pohľad editor od Rowley Associates vypadá dosť náročne, ale bohužiaľ firma neumožňuje použitie softvéru bez platobnej licencie, len na dobu 30 dní. Tým pádom prostredie bolo len vyskúšané.

IAR Embedded Workbench:

K vývojovej doske TinyGecko firma Energy Micro priloží CD s vývojovým prostredím IAR EWARM. Edícia KickStart má limitáciu na veľkosť preložitelného strojového kódu na 32kb a neobsahuje súbor MISRA C odporúčanie pre tvorbu zdrojových textov v jazyku C. Napriek tomu vývoj sa začal v IAR editore, ale po napísaní a použití niekoľko stoviek riadkov kódu sa ukázalo, že IAR text editor nie je dosť inteligentný. Chýba funkcia automatického dopĺňovania (ako IntelliSense u Visual Studiu), ktorá je veľmi užitočná a zrýchľuje prácu. Ďalší nedostatok IAR editora ovplyvňuje, ak 32kb kódový limit nebude dostatočný.

Keil μ Vision:

Komerčný IDE je vyvinutý firmou ARM, veľmi sa podobá na prostredie IAR, bezplatná licencia povolí 32kB kompilácie kódu, a tiež nemá zabudovaný našepkávač.

Eclipse Indigo IDE pre C/C++, Codesourcery ARM GCC:

Eclipse je otvorené (*open source*) vývojové prostredie, nezávislé na platforme, pôvodne vyvinuté firmou IBM, dnes ho prevádzkuje Eclipse Foundation. Je bezplatne použiteľná pod licenciou EPL (*Eclipse Public License*) v prípade nekomerčného využitia. Je široko podporované, existuje rad pluginov pomocou ktorých je možné zostaviť plnohodnotné vývojové prostredie. Našťastie, firma Energy Micro vydala smernicu, ako nastaviť Eclipse pre spoluprácu s vývojovým prostredím Sourcery CodeBench Lite Edition, ktoré obsahuje GNU C/C++ prekladač, assembler, linker, knihovne a debugger. Takto postavené vývojové prostredie už neobsahuje predchádzajúce spomínané nedostatky, nemá limitáciu na veľkosť kódu a na záver aj podporuje automatické doplnenie zdrojového kódu. Jediným spomenutelným nedostatkom je, že s porovnaným editorom IAR, Eclipse generuje väčší binárny súbor aj keď je zapnutá optimalizácia na veľkosť.

3.5.2 Simplicity Studio

Firma Silicon Laboratories ponúka unikátny softvér pre zlepšenie, zjednodušenie a zrýchlenie vývoja kódu. Softvér Simplicity Studio zlučuje všetky dokumentácie o jednotlivých EFM32 obvodoch, vývojovej dosky, doporučenia, a príklad programu.

Mikrokontroléry EFM32 sú navrhnuté na úsporu energie, ale preložený a aplikovaný zdrojový kód ovplyvňuje spotrebu a tým aj výdrž batérie, čo treba optimalizovať. Našťastie Simplicity Studio ponúka užitočné nástroje na analýzu spotreby pod názvom Advanced Energy Monitoring (AEM).

EnergyAware Profiler je aplikácia, pomocou ktorej je možné v reálnom čase monitorovať, akú má samotnú spotrebu ktorákoľvek funkcia v zdrojovom kóde. Stačí vložiť do zdrojového kódu funkciu vytvorenú dodanú výrobcom, a otvoriť prekladačom vygenerovaný objekt súbor ".out". Aplikácia je schopná vykresliť grafikon spotreby od 1 nA do 100 mA a vypočíta priemernú spotrebu vo forme W a J. Nameraný priebeh je možné uložiť.

Ďalšiu možnosť ponúka energyAware Battery, ktorý umožňuje zostaviť priebeh napísaného programu s nastavenými parametrami, že kedy je ktorá periféria aktívna, v ktorom energetickom móde a na aký dlhý čas. Výsledkom nastavenia je grafikon, ktorý ukazuje, na akú prevádzkovú dobu môžeme počítať s vybraným typom batérie.

4 DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY

4.1 Firmware

Po voľbe vhodných súčiastok sa začala práca s programovaním mikrokontroléru EFM32TG840F32, osadenom na vývojovej doske Tiny Gecko STK3300. Ukážkové kódy a vynikajúca dokumentácia EFM32 systému boli dobrým základom a podporou práce. Napísané kódy pre mikrokontroléry sú v jazyku C podľa normy C99 vo vývojovom prostredí Eclipse IDE for C/C++ Developers verzie Indigo. Firma Silicon Labs pre nainštalovanie programu Simplicity Studio pridá napísané zdrojové kódy CMSIS, ktoré sú od dodávateľa nezávislé vrstvy pre ARM mikrokontroléry a zdrojové kódy Emlib, ktoré obsahujú perifériálne API pre rodiny mikrokontrolérov EFM32.

4.1.1 Firmware pre mikrokontrolér EFM32TG840F32

Najprv boli vyskúšané jednoduché funkcie na oživenie dosky, ako rôzne úlohy so vstupnými a výstupnými portmi (GPIO) a nastavenia oneskorenia s hodinou reálneho času (RTC). V ďalšom kroku bola nastavená a spustená asynchrónna sériová komunikačná linka (UART) a jej forma s nízkoenergetickou úpravou (LEUART), ktoré budú dôležitou súčasťou úlohy. Obyčajná sériová linka je používaná na výmenu informácií s počítačom pomocou USB-UART prevodníka. V pôvodnom pláne bolo zamýšľané, že LEUART bude využitý na komunikáciu s rôznymi senzormi. Z tohto dôvodu bol pripojený digitálny teplotný a vlhkosťný senzor DHT22 cez prevodník (ATmega8), aby bolo možné vyskúšať a testovať funkčnosť nízkoenergetickej asynchrónnej sériovej komunikácie. Ako ďalší snímač bol pripojený senzor atmosférického tlaku s teplotnou kompenzáciou BMP180, ktorý komunikuje cez I2C zbernicu. Z hodnôt poskytnutých senzorom je možné vypočítať aj nadmorskú výšku podľa nasledujúceho vzorca, kde p je nameraný tlak a P_0 je referenčný atmosférický tlak pri výške terénu [28]:

$$\text{nadmorská výška} = 44330 * (1 - (p/p_0)^{1/5,255}) \quad (4.1)$$

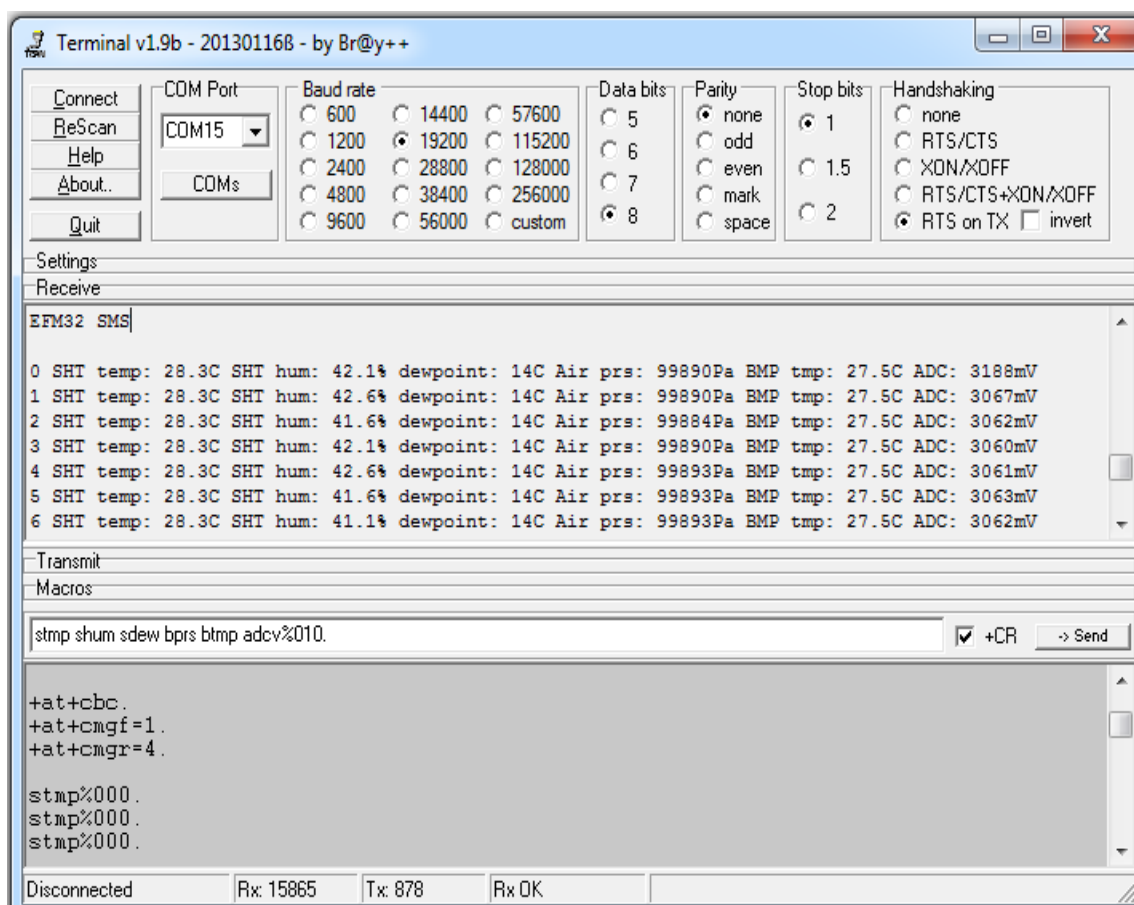
DHT22 senzor bol odstránený zo systému a namiesto toho bol zaradený energeticky úspornejší senzor SHT15 od firmy Sensirion. Ide o obvod so snímačom relatívneho vlhkosti vzduchu v rozmedzí 0 až 100 % s presnosťou 0,05 % (12 bit), ktorý má zabudovaný aj teplotný snímač. Senzor SHT15 nepodporuje I2C komunikáciu, ale má vlastný zadefinovaný protokol, s ktorým pekne demonštruje, ako je možné využívať digitálne vývody mikrokontroléru, ktoré nie sú špecifikované na konkrétny komunikačný protokol. Z údajov teploty a vlhkosti je možné vypočítať teplotu rosného bodu podľa nasledujúceho vzorca, kde RH je relatívna vlhkosť a T je teplota: [29]

$$T_d(RH, T) = 243.12x \frac{\ln(RH/100\%) + (17.62 \times T)/(243.12 + T)}{m - \ln(RH/100\%) - (17.62 \times T)/(243.12 + T)} \quad (4.2)$$

Ďalším krokom bolo oživenie A/D prevodníka pre snímanie analógových veličín. V tomto stave bol schopný senzorický modul s napísaným kódom na požiadanie poslať cez USB rozhranie hodnoty snímačov raz alebo viac krát, podľa nastaveného intervalu. AT príkazy, ktoré prišli z terminálu cez sériovú linku zo strany počítača, boli softvérovo

premostené na nízkoenergetickú sériovú linku, aby boli ďalej posielané komunikačnému SIM modulu. Ďalej do mikrokontroléru boli implementované funkcie pre komunikáciu s modulom SIM300D, vďaka čomu bol schopný poslať SMS s nameranými hodnotami na požiadanie.

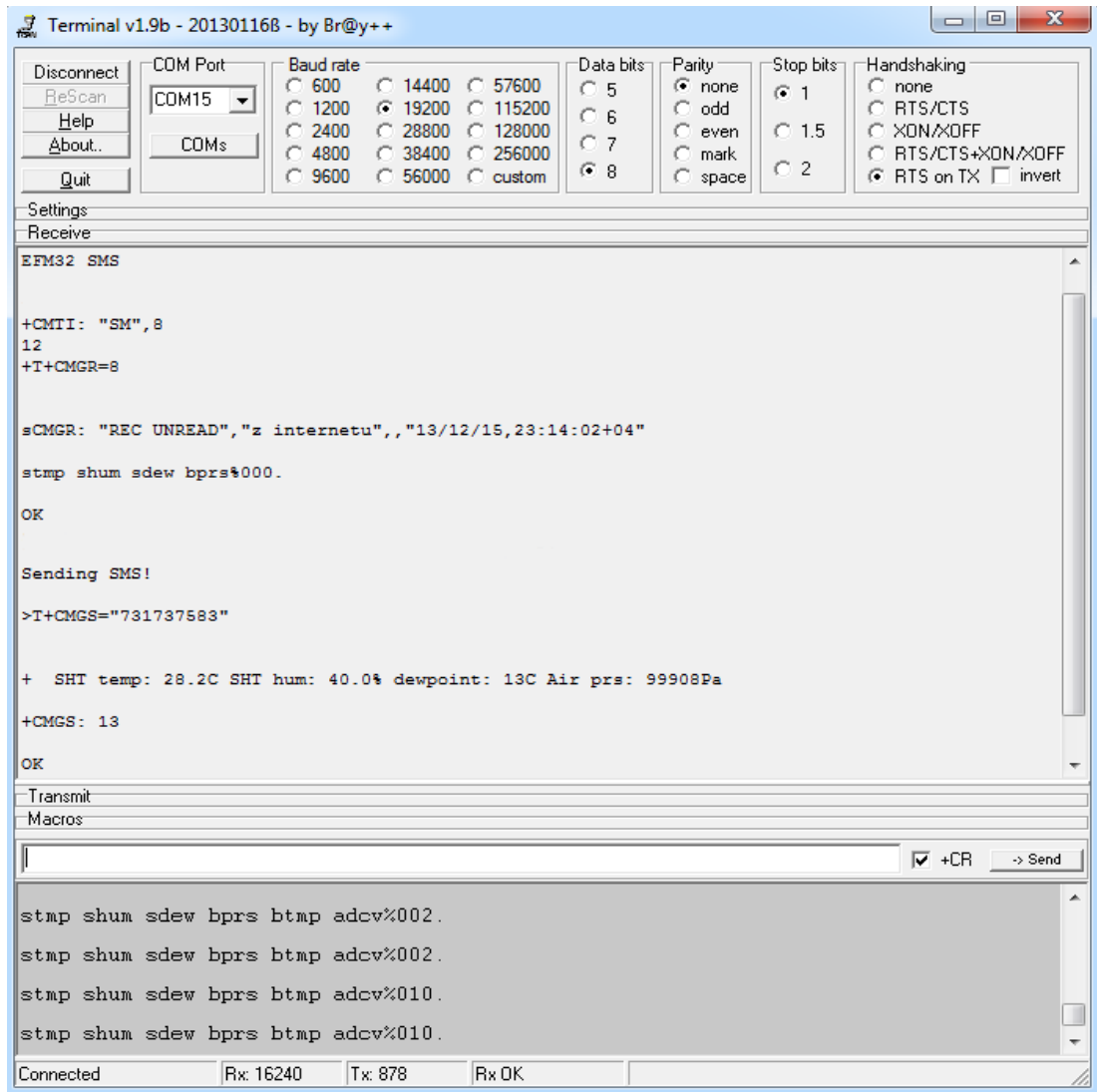
Ukážka terminálového okna na obrázku Obr. 4-1 znázorňuje výsledky merania vyššie uvedených senzorov. Interval opakovaného snímania bol nastavený na 10 sekúnd, čísla 0 - 6 na začiatku každého riadku, sú sekvenčné čísla prijímaného dátového bloku. Na odosielacom riadku je možné vidieť formu syntaxe požiadavky. Prvé písmeno ukazuje na meno senzora (s - SHT15, b - BMP180, a - A/D prevodník) a ostatné charaktery označujú merateľnú veličinu (*tmp* - *temperature*, *hum* - *humidity*, *dew* - *dewpoint*, *prs* - *pressure*, *adc* - *A/D conversion*).



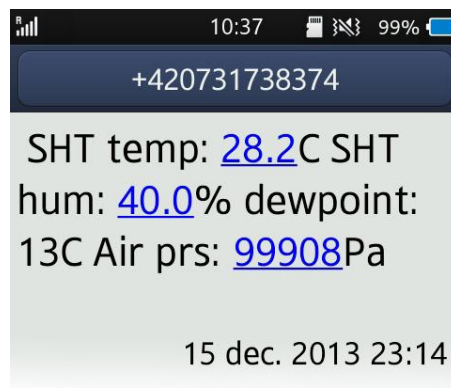
Obr. 4-1 Terminálové okno s výsledkami senzorových meraní

Ďalšie terminálové okno na obrázku Obr. 4-2 ilustruje prijímanie SMS požiadavky a posielanie SMS správy zo sensorickým modulom. Správa +CMTI: "SM",8 indikuje, že nová správa je prijatá a je uložená do ôsmeho miesta v memórii SIM karty. Číslo 12 ukazuje, kde sa nachádza v predchádzajúcom riadku číslo prijatej SMS správy. Pomocou príkazu CMGR=8 mikrokontrolér "vyčíta" správu zo SIM karty. Nasledujú informácie o SMS správe a požiadavka vo forme uvedenej v prechádzajúcom odseku. Riadok *Sending SMS!* nás jednoznačne informuje, že program vstúpil do režimu posielania. Správa +CMGS umožňuje poslať SMS správu na zadané telefónne číslo. Nasleduje samotná SMS správa s nameranými hodnotami ako odpoveď na požiadavku,

a na konci +CMGS=13 ukazuje sekvenčné číslo odoslanej SMS správy.

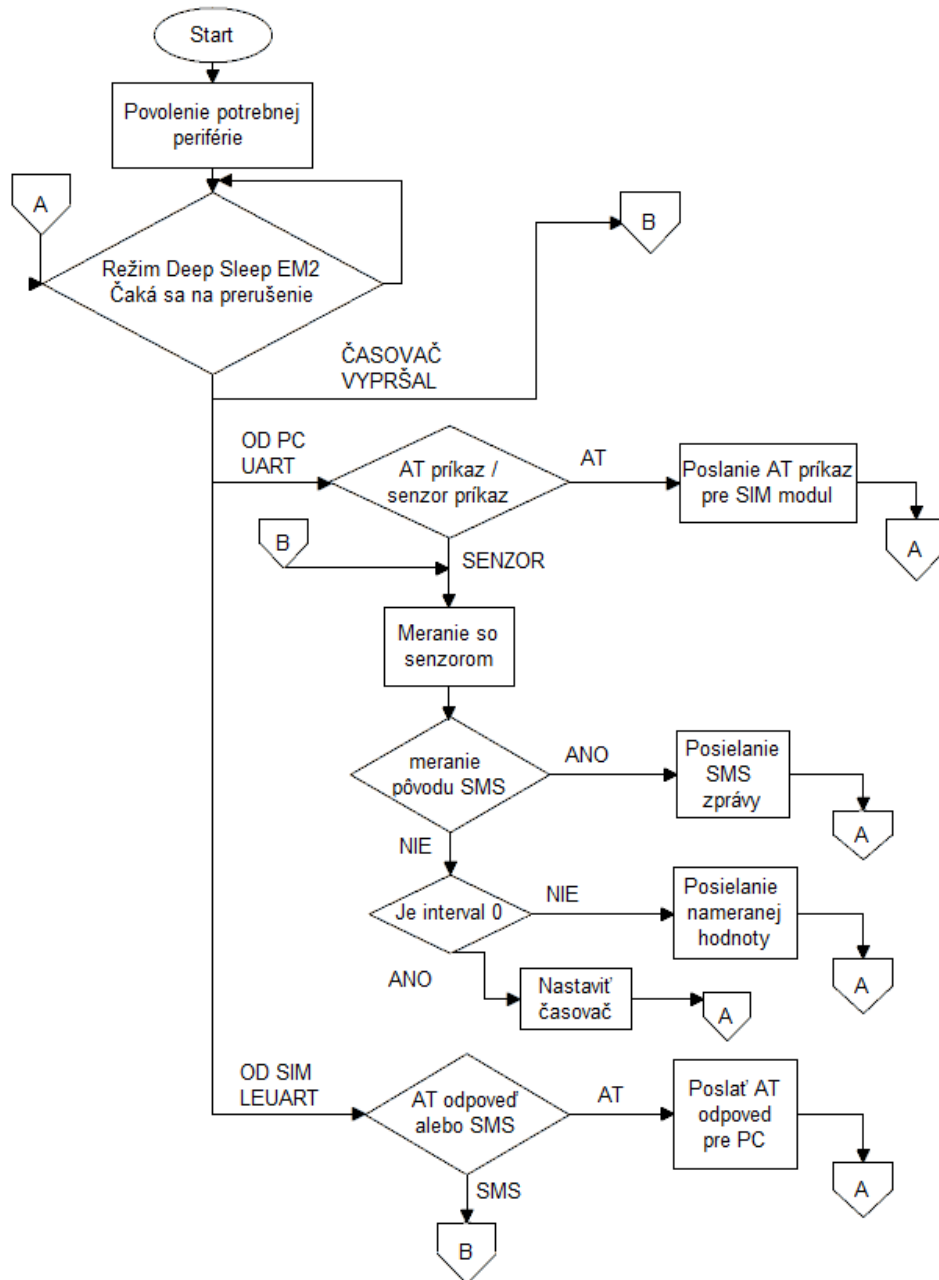


Obr. 4-2 Terminálové okno so správami prijímania a odoslania SMS



Obr. 4-3 Prijímaná SMS správa zobrazená na mobilnom telefóne

Stavový diagram napísaného testovacieho firmwéru, ktorý bol aplikovaný na vývojovú dosku Tiny Gecko je znázornený na nasledujúcom obrázku:



Obr. 4-4 Stavový diagram firmwéru pre MCU EFM32TG840F32

V tomto stave mal preložený .hex súbor veľkosť 31kB, a celková pamäť Flash v mikrokontroléri EFM32TG840F32 je 32 kB. Chýbali ešte ale funkcie pre GPRS komunikácie, aby bol modul schopný nahráť namerané senzorné informácie na webovú stránku. Napísaná aplikácia ešte neumožnila zadať a rozpoznať, či nameraná hodnota je v rámci, ktorý užívateľ zadal. Ďalej modul v tomto stave bol schopný komunikovať len s programom Terminal v1.9b, a nie s vlastným grafickým

užívateľským rozhraním, ktoré tiež potrebuje ďalšiu pamäť v mikrokontroléri.

4.1.2 Migrácia firmware pre nový mikrokontrolér EFM32LG880F256

Po prístupe k novému vývojovému modulu Leopard Gecko STK3600 sa začala migrácia firmvéru na EFM32LG880F256. Aplikácia bola písaná od začiatku modulárne, takže portovanie C kódu nebolo zložité; väčšinou stačilo zmeniť predefinované konštanty, ako napr. mená vývodových kontaktov (GPIO). O osem krát väčšia pamäť mikrokontroléru oproti prechádzajúcemu typu už umožňovala implementovať ďalšie potrebné funkcie.

Ako ďalší pripojený a sprevádzkovaný senzor bol BH1750 od firmy Rohm Semiconductor, ktorý je schopný merať okolitú osvetlenosť v rozmedzí 0 - 65000 lx s presnosťou až 1 lx. Tento snímač komunikuje pomocou štandardného I2C protokolu. Spolu s novými implementovanými senzormi, nízkoenergetický senzorový modul už je schopný merať nasledujúce hodnoty a fyzikálne veličiny:

- teplota [°C] (BMP180, SHT15)
- atmosférický tlak [Pa] (BMP180)
- hodnota terénnej výšky [m] (BMP180)
- relatívna vlhkosť vzduchu [%] (SHT15)
- hodnota rosného bodu [°C] (SHT15)
- osvetlenosť [lx] (BH17500)
- hodnota A/D prevodníka
- napätie [mV]

Nízkoenergetický modul nebude obsahovať display kvôli šetreniu s energiou a miestom, ale mal by podporovať základnú, rýchlu diagnostiku nielen cestou vzdialeného prístupu, ale aj pri priamom kontakte na mieste, kde je modul fyzicky umiestnený. K tomu ale potrebuje signalizačný prvok, ktorý bude RGB LED dióda a spínací prvok, ktorý terminuje diagnostiku. Mechanický spínač by nebol dobrým riešením, pretože senzorický modul musí byť vodotesný a bude vstavaný do puzdra. Ako riešenie je možné využiť vlastnosti kapacitného snímania, kde kapacitný snímač sa nemusí priamo kontaktovať s prstom používateľa a môže byť umiestnený za tenkou vrstvou v puzdre modulu. EFM32 mikrokontroléry podporujú nízkoenergetické snímanie kapacity (LESENSE) v režime spánku (EM2), ktoré už bola zmienené v kapitole 3.1.1 a vysvetlené na obrázku Obr. 3-3. Po dotyku dolnej - strednej časti puzdra, bude vykonaná dvojschodová diagnostika stavu nabitia baterky a pripojenia siete, ktoré bude signalizované viacfarebnou LED diódou. Najprv sa skontroluje nabitie baterky a potom sa uskutoční kontrola stavu siete, ktorá je signalizovaná modrou farbou RGB LED diódy - rôzne stavy sú rozlíšené intervalom blikania. Okrem toho RGB dióda signalizuje stav siete aj po nabehnutí systému. Baterkovú a sieťovú signalizáciu vysvetľuje tabuľka Tab. 4-1.

Tab. 4-1 Signalizácia výsledkov diagnostiky

Nabitie [%]	LED farba	Registrovaný sieť	Modrá LED
0 - 40	Červená	Žiadny	Svieti 2 s
41 - 80	Oranžová	Iný operátor	Bliká 500 ms
81 - 100	Zelená	Domáci operátor	Bliká 200 ms

Nasledovala implementácia funkcie pre komunikáciu GPRS, aby nízkoenergetický senzorový modul bol schopný nahráť namerané hodnoty na webovú stránku. V kapitole 3.2.1 bolo napísané, aké režimy TCP/IP pripojenia podporuje SIM900 modul, z ktorých na komunikáciu s webovým serverom bude využitá opcia *single/transparent/klient*, pretože komunikácia sa uskutoční len s jedným web serverom. Opciu *single* nie je potrebné nastaviť, pretože príkaz AT+CMUX je pôvodne nastavený. Pred hocijakou TCP/UDP operáciou, modul musí byť pripojený na GPRS sieť. Kontrola pripojenia sa uskutoční v nasledujúcej forme AT príkazovej fronty:

```
AT+CREG?          //vráti stav pripojenia
AT+CSQ           //vráti kvalitu signálu siete
AT+CGACT?       //vráti stav PDP kontextu
AT+CMEE=2       //povolí sa chybové hlásenie v textovej forme
AT+CGATT        //pripojí sa na GPRS službu
```

Následne sa musia použiť príkazy, ktoré naštartujú úlohu a aktivujú bezdrôtovú komunikáciu. K tomu je potrebné nastaviť názov prístupového bodu (APN) a prípadné overovacie údaje. Keď sieť akceptuje nastavené údaje, otvorí sa možnosť zistiť IP adresu SIM900 modulu.

```
AT+CSTT="apnname" //naštartuje úlohu a nastaví sa APN
AT+CIICR         //naštartuje bezdrôtovú kom. s GPRS/CSD
AT+CIFSR        //vráti lokálnu IP adresu modulu
```

V prípade, že predchádzajúce príkazy úspešne prebehli, SIM900 je pripojený na mobilnú GPRS sieť a je možné vytvoriť TCP/UDP pripojenie. K tomu je potrebné zadať IP adresu, alebo DNS adresu vzdialeného serveru a komunikačný port. Aplikácia pre nahranie senzorových hodnôt bude používať pripojenie typu TCP, pretože množstvo prenesených dát je relatívne malé (cca 100 B) a tento typ pripojenia zabezpečí doručenie správy. Keď SIM900 pošle znak ">" to znamená, že poslúcha a čaká na bajty, ktoré majú byť odoslané. Na konci zadania je potrebné poslať príkaz CTRL+Z (0x1A), aby skončil s poslúchaním a aby mohol posilať obsah vyrovnávacej pamäte naplnenej užívateľskými dátami.

```
AT+CIPSTART="TCP", "147.229.xxx.xxx", "11111" //naštartovať TCP
AT+CIPSEND      //posilať dáta cez TCP
AT+CIPSHUT     //deaktivovať GPRS PDP kontext
```

Spôsob nahrania nameraných hodnôt sa uskutoční vo forme hypertextového odkazu. Tým spôsobom sú senzorické hodnoty vstavené do odkazu, z ktorého je možné ich vyčítať ako premenné pomocou GET metódy. Webová stránka (*addmesure.php*) je vytvorená na účel získania nameraných hodnôt z hyperlinku a uloženia ich do databázy. V prípade úspešného nahrávania vráti krátky text "DB_OK".

Systém bol rozšírený plánovanou funkciou, ktorá pomocou služby CLIP rozpozná telefónne číslo volajúceho, ukončí spojenie, a keď je číslo ekvivalentné s predefinovaným číslom užívateľa, tak vo forme SMS ako odpoveď pre volajúceho posila namerané senzorické hodnoty. Ďalšia užitočná funkcia je informácia o dostupnom zostatku kreditu. Okrem toho boli implementované funkcie pre operáciu s užívateľskou schránkou v pamäti flash, aby bolo možné trvalé ukladanie nastavenia, a funkcia pre automatickú kalibráciu AD prevodníka.

V tomto stave už boli skoro všetky potrebné funkcie implementované na to, aby nízkoenergetický modul mohol splniť základné stavené požiadavky. Chýbal ale časovač, ktorý umožňuje, aby sa jednotlivé udalosti (ako automatické meranie, poslanie

SMS správy, nahrávanie hodnoty na webovú stránku, atď.) uskutočnili v nezávislom intervale. Pôvodne bol používaný RTC časovač, ktorý ale systém potrebuje na oneskorenie. Našťastie ale mikrokontroléry z rady Leopard Gecko obsahujú aj druhý RTC časovač (BURTC), a to aj s funkciou, že keď napájacie napätie poklesne pod limit postačujúci pre MCU, BURTC časovač je schopný naďalej bežať pomocou malého náhradného zdroja (napríklad superkapacitor). Uskutočnenie jednotlivých udalostí funguje tak, že po nabehnutí systému (po reštarte), MCU kontroluje či v pamäti nájde nastavenie pre časovač, keď áno (a to nie je nulové), tak BURTC začne počítať s nastaveným časovým základom a postupne sa inkrementuje. Tiež pre všetky udalosti je možné nastaviť vlastný interval uskutočnenia. V prípade, že hodnota BURTC časovača je deliteľná jedným alebo mnoho nastavenými intervalmi niektorých udalostí, tak BURTC sa zastaví a postupne sa uskutočnia úlohy definovaných udalostí.

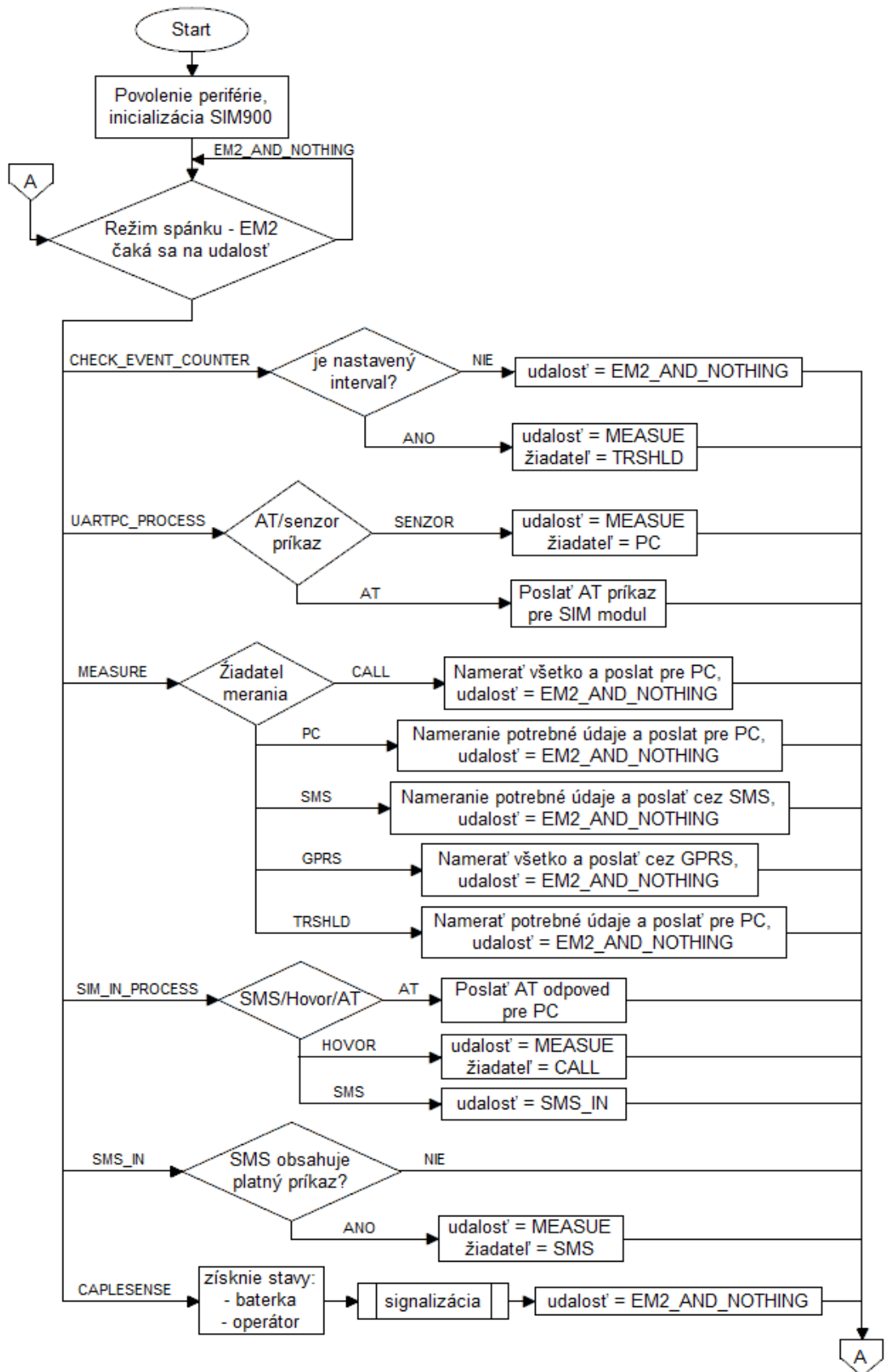
Základným skeletom v hlavnom programe *main.c* je hlavná stavová funkcia vo forme *switch/case*, ktorá je umiestnená v nekonečnom cykle *while*. Základný stav je režim spánku v móde EM2, kde mikrokontrolér šetrí energiou, sú zaostrené prerušenia a beží len BURTC časovač. Z tohto stavu systém je periodicky vyklopený do stavu kontroly možného vykonania udalosti. Okrem toho stav môže zmeniť aj prijatý rámec zo strany počítača, prijatá SMS správa alebo požadovaná diagnostika pomocou kapacitného snímača. Hlavné stavy sú nasledujúce:

- *EM2_AND_NOTHING* - režim spánku, čaká sa na udalosť
- *CHECK_EVENT_COUNTER* - periodické zobudenie pre kontrolu udalostí
- *UARTPC_PROCESS* - požadovaná komunikácia zo strany počítača
- *SIM_IN_PROCESS* - požadovaná komunikácia zo strany modulu SIM900
- *MEASURE* - stav merania senzorických veličín
- *SMS_IN* - prijatá SMS správa
- *CAPLESENSE* - diagnostika, požadovaná pomocou kapacitného snímania

Stav merania (*MEASURE*) obsahuje tiež stavovú funkciu *switch/case*, ktorý je rozdelený podľa toho, z akého komunikačného zdroja prišiel pokyn na meranie. Jednotlivé funkcie potom urobia meracie úlohy - každá sa skladá z iného textového reťazca nameraných hodnôt, ktoré budú naďalej posielané pre cieľové entity. Zdrojovou a cieľovou entitou môže byť:

- *PC* - počítač, resp. virtuálna sériová linka (terminál, GUI)
- *SMS* - mobilný telefón
- *GPRS* - web server, webová stránka
- *TRSHLD* - nastavené hraničné senzorové hodnoty (*threshold*)
- *CALL* - prichádzajúci hlasový hovor od nastaveného partnera, odpoveď je SMS

Ako už bolo uvedené v kapitole 2.1.2, nízkoenergetický modul nebude obsahovať GPS systém pre získanie aktuálnej polohy. Avšak zadanie ani nepožaduje určenie polohy modulu. Z vlastnej zvedavosti a možného využitia v budúcnosti bola implementovaná funkcia, ktorá automaticky vráti zemepisnú dĺžku (*longtitude*) a zemepisnú šírku (*latitude*) nie priamo modulu, ale pripojenej BTS stanici. Funkciu by bolo možné rozšíriť tak, aby sa po získaní polohy jednej stanice modul odpojil a pripojil sa ešte na ďalšie dve stanice. Takto by už modul poznal tri koordinačné body, z ktorých sa dá vypočítať trianguláciou poloha nízkoenergetického modulu.



Obr. 4-5 Stavový diagram firmwéru pre MCU EFM32LG880F256

Nízkoenergetický modul pre komunikáciu s grafickým užívateľským rozhraním cez USB zbernicu komunikuje pomocou krátkych príkazov. Tieto príkazy sú skrátené slová ukazujúce na úlohu, tým pádom sú ľahko zapamätateľné, avšak GUI ich pošle automaticky väčšinou na stlačenie tlačidla. Keď dorazí rámec zo sériovej linky zo strany počítača, mikrokontrolér naštartuje časovač a čaká na ukončovací charakter, ktorý ukazuje na koniec aktuálnej úlohy. V prípade, že ukončovací charakter nedorazí, napríklad z dôvodu že sa stratil na komunikačnej linke, MCU čaká, kým časovač vyprší a informuje o nepriatom charaktere. V opačnom prípade, keď na modul dorazí ukončovací charakter, tak prijaté príkazy, ako text, budú vyhodnotené, aby MCU vedel, akú úlohu má vykonať. Funkčné príkazy nízkoenergetického modulu a ich význam je nasledujúci:

- *PCCONN* - žiadosť o pripojení na počítač a posielanie aktuálneho nastavenia
- *MEAS*: - meranie vybraných senz. hodnôt a posielanie ich späť na počítač
- *MEASALL* - nameranie všetkých senz. hodnôt a posielanie ich späť na počítač
- *SMS* - nameranie vybraných senzorických hodnôt a posielanie ich formou SMS
- *GPRS* - nahranie aktuálnych senzorických hodnôt na webovú stránku
- *SIMRESET* - reštartovanie SIM900 modulu
- *FLSU* - uloženie aktuálneho nastavenia do pamäte flash (FLaSh - User)
- *FLASHERASE* - zmaže všetko z pamäti
- *CRED* - dotaz na aktuálny kreditový zostatok od operátora
- *GETPOS* - dotaz na geografickú koordináciu pripojenej BTS stanice

Pre uloženie užívateľského nastavenia do pamäte *User Flash* (ktorá sa chová ako EEPROM) je vytvorená štruktúra, ktorá triedi uložené informácie do polí s premennými dĺžkami. Tieto informácie sú vždy synchronizované po úspešnom prijatí príkazu *PCCONN* s grafickým užívateľským rozhraním. Táto funkcia zabezpečuje, aby nízkoenergetický modul bol univerzálnejší, pretože umožňuje prenositeľnosť systému na iného mobilného operátora, pripojenie na iný webový server a dynamické nastavenie intervalov pre rôzne udalosti a hodnoty pre funkciu poplachu.

4.2 Realizácia webového serveru a webovej stránky pre monitorovanie nameraných hodnôt

K tomu, aby bolo možné posielat' namerané hodnoty cez GRPS sieť, je potrebné mať prístup k webovému serveru, na ktorom beží databáza a webová stránka. V našom prípade webový server je dočasne umiestený na jednodoskovú platformu Raspberry Pi model B.

Raspberry Pi je počítač o rozmeroch základnej dosky o veľkosti zhruba platobnej karty. Edícia Model B (verzia 2) obsahuje riešenie SoC od firmy Broadcom, ktorý má jadro s procesorom ARM na takte 700 MHz a pamäť s kapacitou 512 MB. Počítač podporuje Ethernet pripojenie na internet s rýchlosťou 10/100 mbit/s cez konektor RJ-47 alebo je možné naň pripojiť WiFi perifériu cez USB rozhranie. Pre napájanie potrebuje 5 V napätie cez MicroUSB konektor a má maximálne 700 mA spotrebu. Vlastný disk na uchovávanie dát nemá, ale podporuje pripojenie disku cez USB konektor alebo akceptuje pripojenie pamäťovej karty typu SD. Pripojenie zobrazovačov podporuje cez konektory kompozitné video, HDMI a SDI.

Na počítač Raspberry Pi bola najprv nainštalovaná aktuálna verzia operačného systému Linux Raspbian a potom povolený protokol SSH, aby bola komunikácia s lokálnym počítačom bezpečnejšia. Od tohto kroku už Raspberry Pi nepotreboval naďalej zobrazovač, klávesnicu a myš, lebo všetky ostatné príkazy boli vykonané cez SSH pripojenie. Ďalším krokom bola inštalácia webového serveru Apache2 a serveru PHP5, aby bolo možné zobrazit' webovú stránku v prehliadači. Nasledovala inštalácia databázového softvéru MySQL a protokolu FTP, pre možnosť vzdialeného nahrávania súborov. V tomto stave už bol počítač Raspberry Pi hotový na vykonanie úlohy webového servera.

Webová stránka pre zobrazenie nameraných senzoričkých hodnôt bola písaná v programovacom jazyku PHP a o vzhľad sa stará značkovací jazyk HTML a mechanizmus CSS. Stránka komunikuje s databázou pomocou príkazov SQL, ktoré umožňujú vložit' (*INSERT*) alebo vyčítať (*QUERY*) hodnoty a databázové tabuľky. Vytvorená webová stránka umožňuje prihlásiť používateľa pomocou užívateľského mena a hesla, uložených v databáze. Webová stránka potom pomocou hypertextového odkazu rozpozná a uloží namerané hodnoty do databázy. Hypertextový odkaz má nasledujúcu syntaxu:

`http://147.229.212.8:11111/addmeasure.php?v1=11&v2=22&v3=33...`

Cieľová stránka (*addmeasure.php*) rozpozná, že za charakterom "?" sú premenné veličiny a pomocou metódy GET získa hodnoty jednotlivých veličín, ktoré sú separované s charakterom "&". Z toho je už jednoznačné, že napríklad premenná *v1* má hodnotu *11*. Senzorické hodnoty sa potom objavujú v tabuľke po úspešnom prihlásení na stránku.

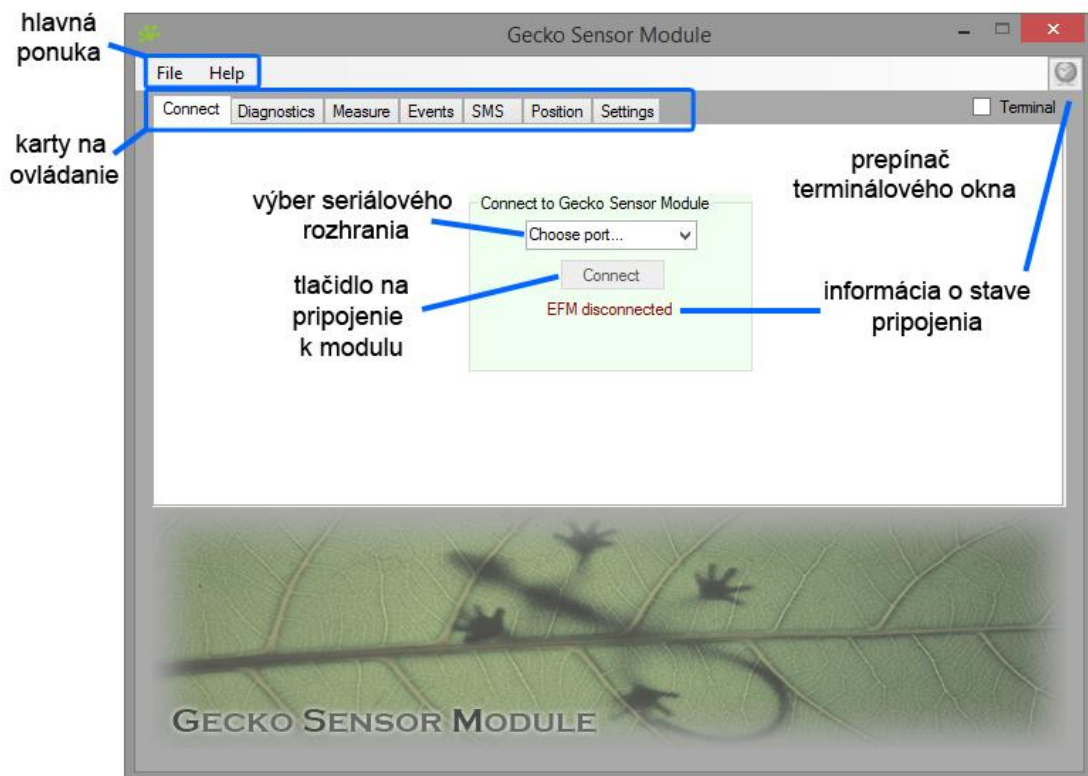
#	Temp. BMP180 [°C]	Air Pressure [Pa]	Lux [lx]	Temp. SHT15 [°C]	Humidity [%RH]	ADC1 [mV]	ADC2 [b]	Date
19	32.7	97737	636	32.7	43.7	99	79	2014-05-23 17:18:28
11	26.3	98284	183	27.6	34.1	2989	2897	2014-05-06 18:08:01
12	26.4	98287	179	27.8	34.1	2975	2885	2014-05-06 18:10:06
13	26.4	98287	187	28	34.1	2982	2891	2014-05-06 18:12:28
14	29.5	97746	358	30	47	94	74	2014-05-23 17:00:35
15	29.6	97745	358	30.1	48.1	0	24	2014-05-23 17:01:58
16	29.6	97730	346	30.2	47.1	0	33	2014-05-23 17:05:21
17	29.9	97735	546	31.4	52.9	25	49	2014-05-23 17:07:21
18	31.5	97718	640	31.9	46.7	95	73	2014-05-23 17:09:49

Obr. 4-6 Webová stránka pre zobrazenie nameraných hodnôt

4.3 Realizácia grafického rozhrania pre ovládanie nízkoenergetického sensorového modulu pomocou počítača - GUI

Na komunikáciu s nízkoenergetickým sensorovým modulom sa používa virtuálne sériové rozhranie formou USB pripojenia. Na riadenie, pre výdaj príkazov, na uloženie nastavenia a pre zobrazenie informácií by pôvodne stačilo terminálové okno (emulátor terminálu) alebo konzolová aplikácia. Pre človeka je ale komfortnejšie použiť grafické rozhranie, ktoré so svojim premyslene usporiadaným intuitívnym vzhľadom uľahčí a urýchli ovládanie sensorového modulu.

Softvér pre počítač s grafickým užívateľským rozhraním (GUI) bol vytvorený vo vývojovom prostredí (IDE) Microsoft Visual Studio 2012 Professional, v jazyku C#. Softvér Visual Studio uľahčil vypracovanie užívateľskej aplikácie, pretože podporuje inteligentného našepkávачa IntelliSense, nástroj na tvorbu GUI, integrovaný debugger a má širokú podporu a dokumentácie na stránkach Microsoft. Po zostavení grafického rozhrania a napísania vhodnej funkcie pre rôzne komponenty (tlačidlá, textové pole, ponukové lišty, atď.) je možné program spustiť a doladiť. Po spustení sa objaví okno aplikácie v nasledujúcej podobe:

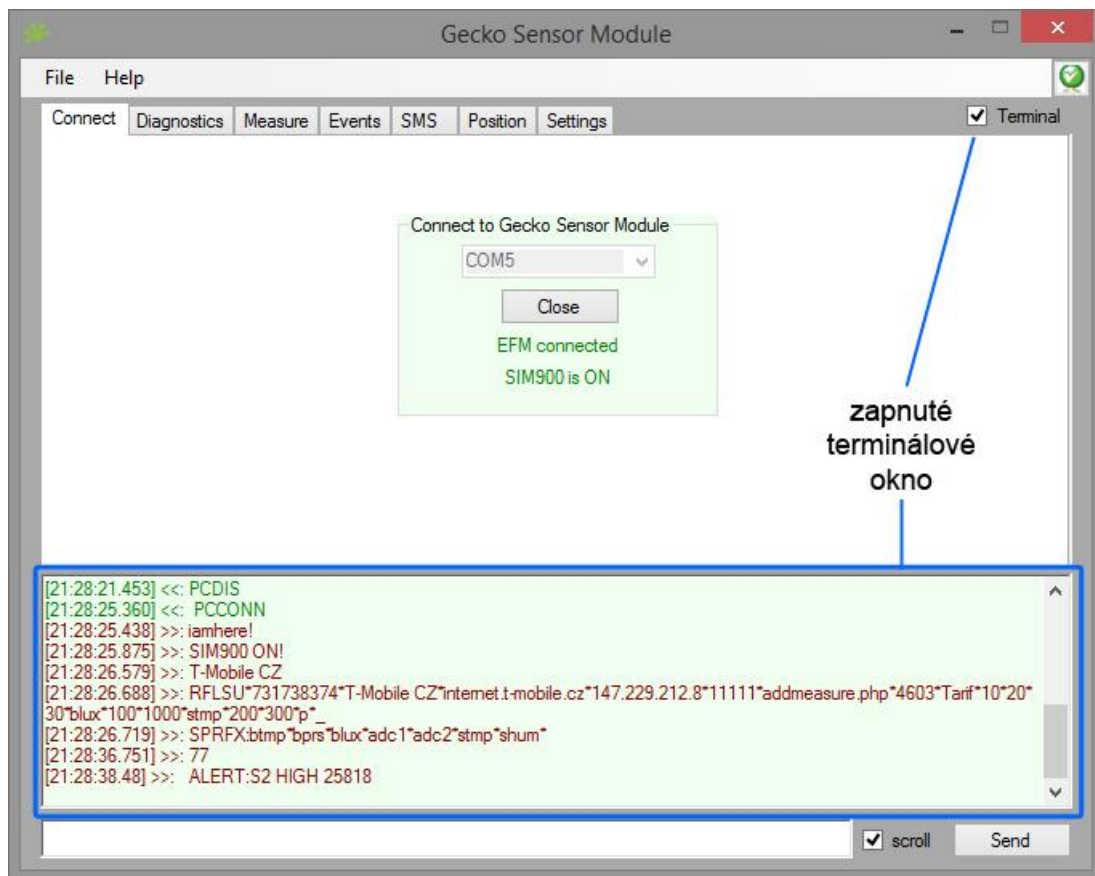


Obr. 4-7. GUI - uvítacia obrazovka

Na uvítacej obrazovke sa nachádza hlavné menu, potrebné objekty pre softvérové pripojenie sensorového modulu, dekoračný obrázok s názvom projektu, ktorý poukazuje na svetlo dopadajúce na dušu sústavy mikrokontroléra Gecko (jašterica). Hlavné menu obsahuje nasledujúce karty:

- *Connect* – pripojenie a odpojenie senzorového modulu
- *Diagnostics* – servisná diagnostika
- *Measure* – lokálne meranie
- *Events* – udalosti, poplachy, intervaly
- *SMS* – spravovanie uložených SMS správ
- *Position* – určenie polohy na mape
- *Settings* – editovanie nastavení

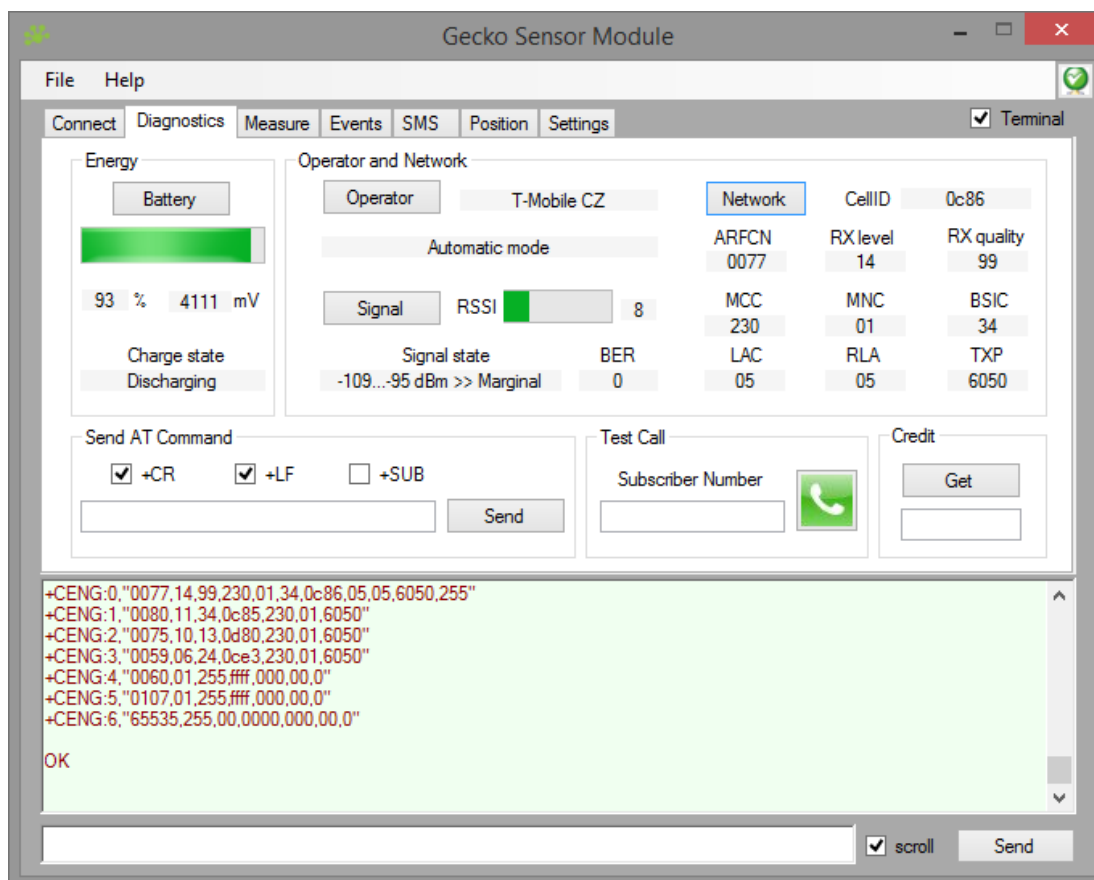
Keď je senzorový modul pripojený k počítaču, tak sa v ponukovej lište objaví identifikačný názov sériového portu (COM). Po výbere vhodného portu je možné kliknúť na softvérové tlačidlo *Connect* a po úspešnom povstaní komunikácie sa namiesto správy *EFM disconnected* (EFM odpojený) zobrazí *EFM connected* (EFM pripojený), bude vypísaný aj stav zapnutia SIM900 modulu a objaví sa možnosť odpojenia. Dovtedy je každá riadiaca jednotka na užívateľskom rozhraní v inaktívnom stave. So zaškrtnutým políčkom *Terminal* je možné prepínať medzi zobrazovaním dekoračným obrázkom a zabudovanou konzolou. Celú komunikáciu medzi senzorovým modulom a užívateľským rozhraním je možné sledovať a zaznamenať v terminále, odkiaľ je možné aj manuálne odosielať príkazy tlačidlom *Send*. Opciou *scroll* sa dá vypnúť rolovanie textu v terminálovom okne. Ako je viditeľné na obrázku Obr. 4-8, po úspešnom pripojení senzorového modulu, pošle aktuálne uložené nastavenia, aby tie boli editovateľné na karte *settings* a zoznam aktuálne nainštalovaných senzorov.



Obr. 4-8. GUI - so zapnutým terminálom (po pripojenia)

Karta *Diagnostics* slúži na rýchlu diagnostiku senzového modulu. V sekcii *Energy* je možné tlačidlom *Battery* zistiť stav akumulátora, výsledok bude zobrazený vizuálne pomocou indikátora priebehu (*progress bar*) a vypísaný textovo v percentách a mV. Časť *Operator and Network* s tlačidlom *Operator* ponúka možnosť získania identifikačného mena pripojeného operátora. Tlačidlom *Signal* je možné požiadať informáciu o výkone signálu (RSSI), ktorý bude vizualizovaný indikátorom priebehu a textovou formou dBm so slovnou nápoved'ou. Ďalšie tlačidlo v tejto sekcii je *Network*, ktoré vyžaduje, aby SIM900 modul bol nastavený do pokročilého módu (*engineering mode*), pomocou ktorého je schopný získať detailné informácie o okolitých BTS stanicach. Údaje o pripojenej stanici doplní do vhodných políčk a ostatné staničné informácie sa objavujú len v terminále. Údaje o sieti sú nasledujúce:

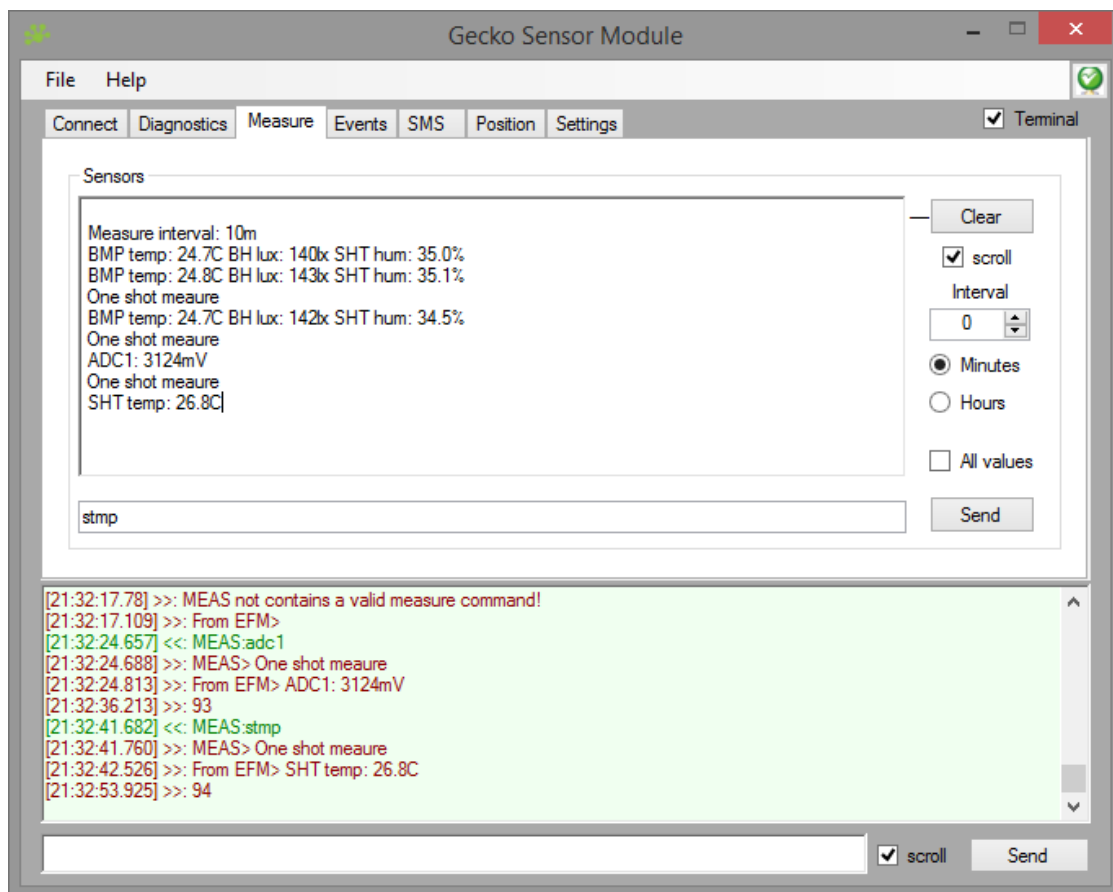
- *CellID* – unikátne identifikačné číslo BTS stanice
- *ARFNC* – absolútne číslo rádiového frekvenčného kanálu
- *RX level* – úroveň prijímaného signálu
- *RX quality* – kvalita prijímaného signálu
- *MCC* – kód krajiny
- *MNC* – kód mobilného operátora
- *BSIC* – identifikačné číslo bázovej stanice
- *LAC* – lokalizačný kód
- *RLA* – minimálna hodnota úrovne pre prístup
- *TXP* – maximálna úroveň vysielacieho výkonu



Obr. 4-9. Obr. GUI - okno diagnostiky

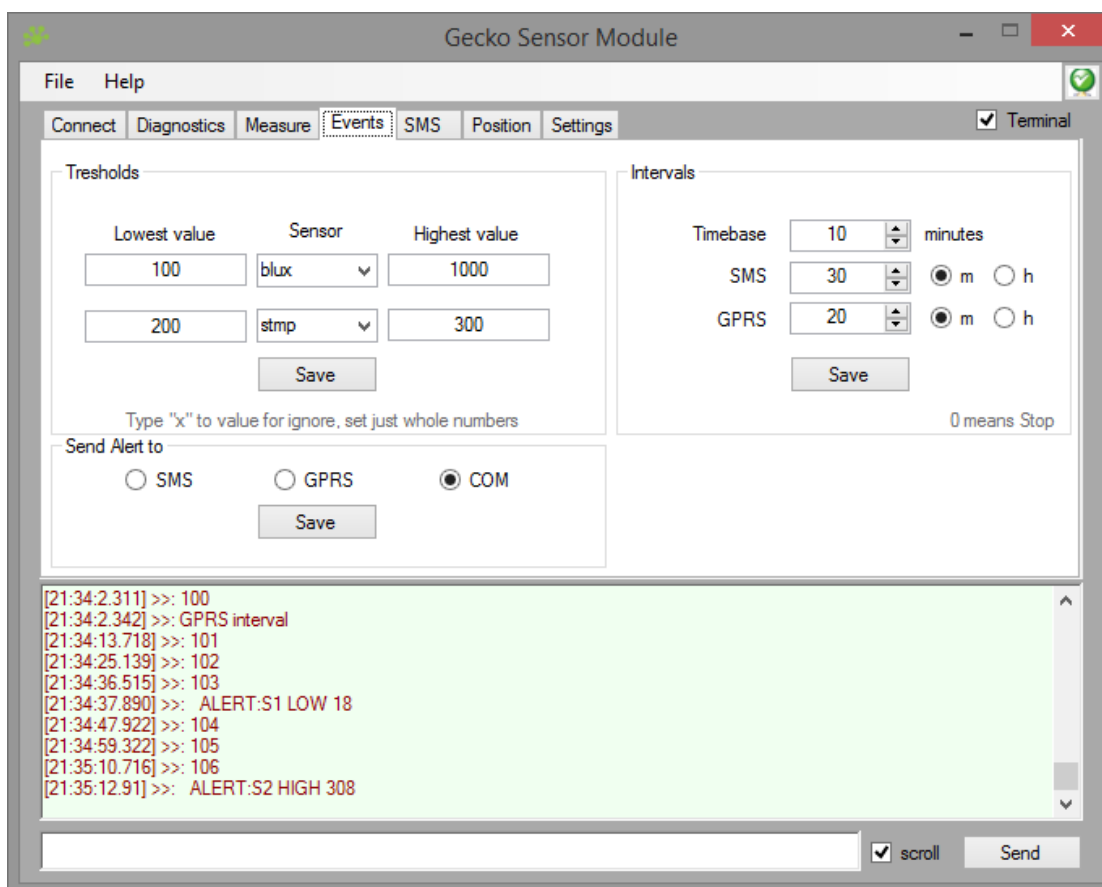
V časti *Send AT Commands* je možné poslať AT príkazy, ktoré budú automaticky presmerované na SIM900 modul a odpoveď bude vypísaná v terminálovom okne. Niektoré príkazy pre úspešné vykonávanie potrebujú špeciálne ASCII príkazy, ako *CR*, *LF* alebo *SUB* - tie voliteľne môžu byť pridané. V sekcii *Test Call* zadávaním platného telefónneho čísla je možné uskutočniť prezvonenie druhého telefónu, v prípade že mobilná sieť, operátor a SIM karta podporujú hlasové hovory. Posledná sekcia je *Credit*, pomocou ktorej je možné zistiť aktuálny zostatok týkajúci sa vloženej SIM karty.

Nasledujúca karta v softvérovom okne pod názvom *Measure* ponúka možnosť vykonania lokálneho merania so sensorovým modulom. Číslom *Interval* je možné nastaviť čas opakovaného merania s minútovým alebo hodinovým časovým základom a keď je nastavená nulová hodnota, tak sa opakovanie merania zastaví. Sensorový modul nás vždy informuje, či meranie je jednorazové (*One Shot Measure*) alebo s nastaveným intervalom bude opakované (*Measure Interval: x*). Zaškrtnuté políčko *scroll* slúži na pozastavenie alebo rolovanie výpisov v informačnom okne a tlačidlom *Clear* je možné vyprázdniť textové pole. Ďalšie políčko *All values* pošle príkaz pre získavanie všetkých sensorových hodnôt ponúkaných nízkoenergetickým modulom (ekvivalentný s príkazom *MEASALL*).



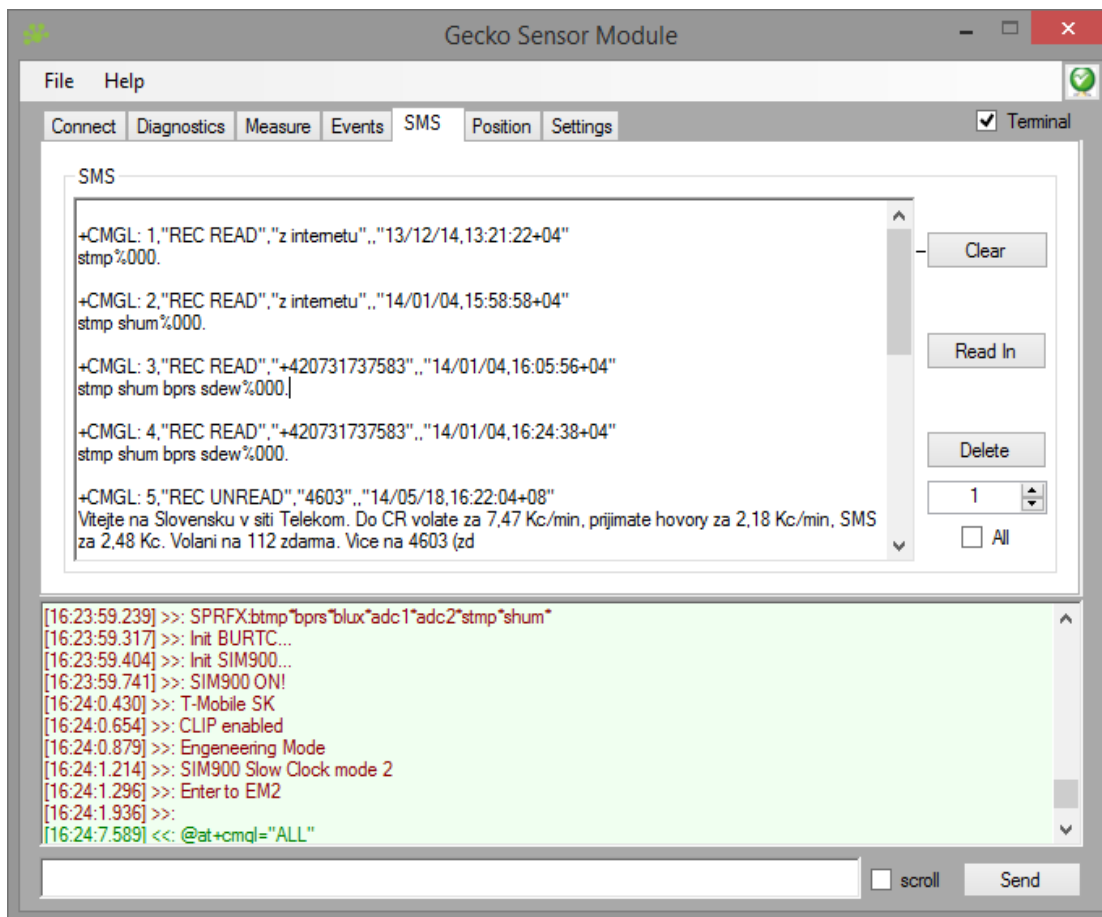
Obr. 4-10. GUI - okno pre lokálne meranie

Na nastavenie poplachu pre vybrané senzory a jeho hraničné hodnoty slúži karta na nastavenie parametrov udalostí pod názvom *Events*. Keď sa sensorový modul pripojí k užívateľskému rozhraniu, sú do zoznamu pod názvom *Sensor* aktualizované prefixy senzorov, ktoré sú dostupné na meranie. Po výbere potrebného senzoru v sekcii *Thresholds* je možné zadať dolné (*Lowest value*) a horné (*Highest value*) hraničné hodnoty a pomocou tlačidla *Save* sa uložia do pamäte mikrokontroléru. Na to, v akom intervale sa bude mikrokontrolér zobúdzat', slúži nastavenie *Timebase* v sekcii *Intervals*. Predefinovaná minimálna hodnota je 10 minút, pretože ide o nízkoenergetickú sústavu a nebolo by energeticky účinné, keby sa každú minútu musel mikrokontrolér zobudiť, zapnúť senzory, vykonať a vyhodnotiť meranie a v prípade prekročenia hraničnej hodnoty aj poslať výsledky niektorým komunikačným spôsobom. V tejto sekcii sa nachádzajú aj nastavenia posielajúcich intervalov pre SMS správu a nahrávací frekvencia informácií na webovú stránku cez GRPS služby. V poslednej bunke s názvom *Send Alert to* je možné nastaviť v akej forme má sensorový modul oznámiť poplach, ak je niektorá nastavená prahová hodnota prekročená. Keď vybraná opcia je *SMS*, tak modul nastavený ako *Timebase* pošle SMS v časovom intervale, respektíve vždy, keď sa systém zobudí a zistí že nameraná hodnota je mimo nastaveného rozsahu. Po stabilizácii nameraných hodnôt medzi hraničnými hodnotami sa poplach zastaví a ďalej systém bude posielat' informácie len podľa nastavených intervalov. Táto funkcia platí aj pre opcie *GRPS* a *COM* (počítač).



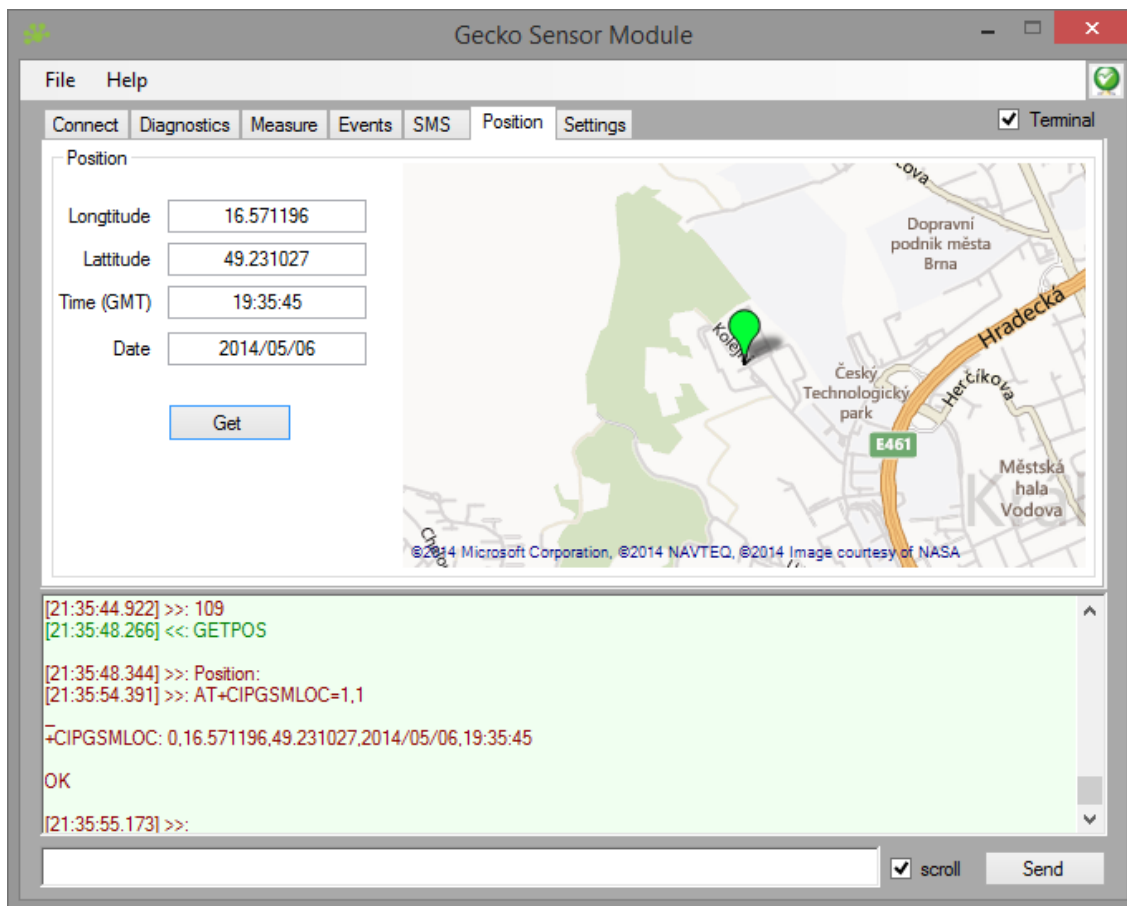
Obr. 4-11. GUI - udalosti

Karta s názvom *SMS* umožňuje čítať prijaté SMS správy pomocou tlačidla *Read In* a vymazať tlačidlom *Delete* z internej pamäte SIM900. Systém automaticky vymaže všetky SMS správy, ktoré posielal používateľ ako požiadavku informácie o senzorových hodnotách a zostatok kreditu. Existuje ale prípad, keď modul dostane informačné správy, napríklad od mobilného operátora alebo z iného telefónneho čísla, ktoré je možné skontrolovať v servisnom režime. Správy SMS z pamäte SIM900 je možné vymazať jednotlivo podľa poradového čísla alebo všetky naraz pomocou opcie *All*.



Obr. 4-12. GUI - správa s SMS správami

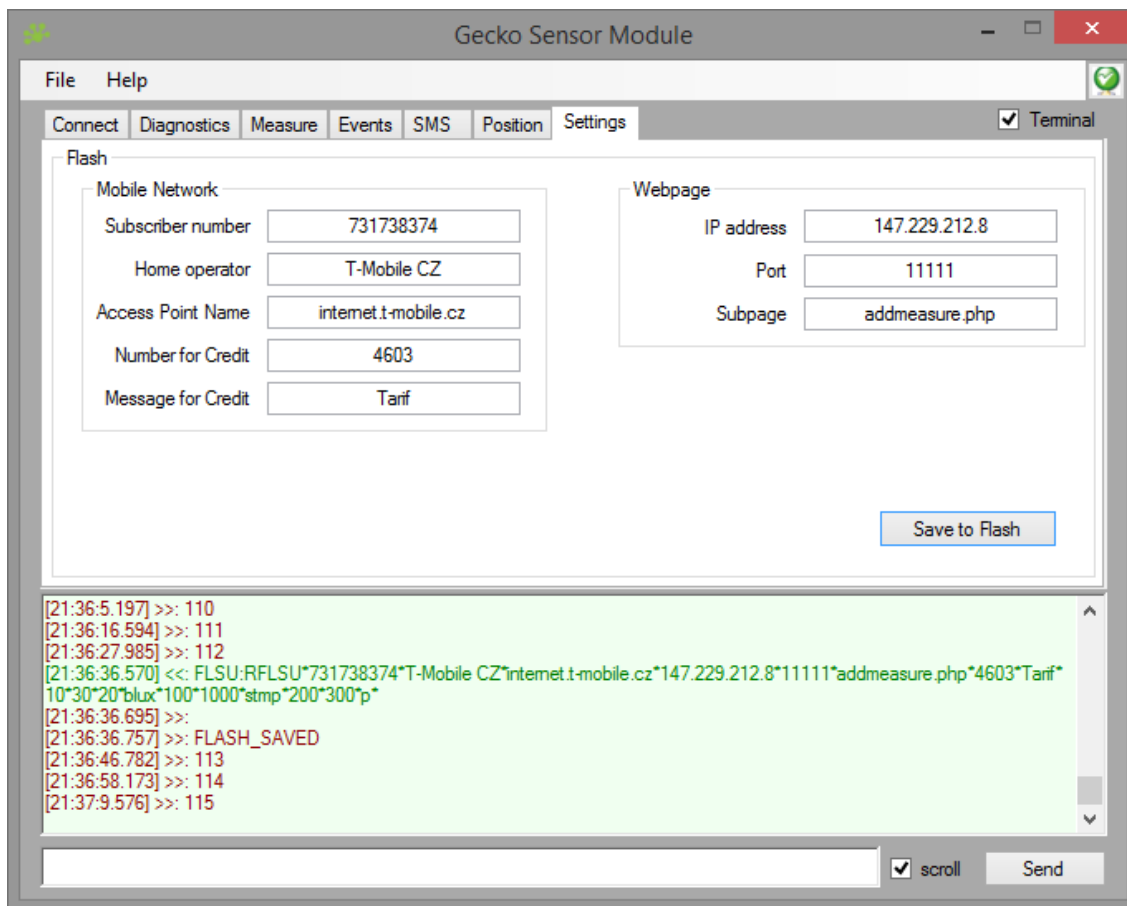
Ďalšia karta slúži na získavanie polohy modulu, ale v súčasnosti len polohy pripojenej mobilnej stanice BTS. Túto funkciu nevyžaduje zadanie tejto diplomovej práce, ale bol vyvinutá pre budúce využitie. Pomocou tejto funkcie je možné zadať príkaz SIM900 modulu, aby získal polohu pripojenej BTS stanice, pomocou GPRS siete. Výsledkom je zemepisná dĺžka (*Longitude*), zemepisná šírka (*Latitude*), presný čas (*Time*) podľa GMT a aktuálny dátum (*Date*). Pomocou zásuvného modulu (*plugin*) Gmaps na karte je zobrazená mapa, ktorá po kliknutí na tlačidlo *Get* podľa zemepisnej dĺžky a šírky je schopná ukázať bod, kde sa nachádza pripojená BTS stanica. Pravdou je, že získaný bod neukazuje na pozíciu senzorového modulu, ale pomocou tejto funkcie je možné dostať hrubý odhad, kde sa nachádza. Ďalej, pri slabom výkone siete je možné vedieť, kde sa nachádza BTS stanica a nasmerovať naň modul, aby bol signál lepší. Pre možné presnejšie vypočítanie pozície modulu bola uvedená metóda v kapitole 4.1.2.



Obr. 4-13. GUI - pozícia BTS stanice

Posledná karta pod názvom *Settings* prináša užívateľské nastavenie týkajúce sa mobilnej siete (*Mobile Network*) a webovej stránky (*Webpage*). Po pripojení modulu sú užívateľské nastavenia vždy aktualizované z pamäte mikrokontroléru a doplnené do vhodného textového poľa. Tieto nastavenia zabezpečujú, aby systém bol prenosný na inú sieť a mohol komunikovať s inou webovou stránkou bez toho, aby bolo potrebné vykonať zmeny v zdrojovom kóde mikrokontroléra a v kóde užívateľského rozhrania. Medzi možné nastavenia patrí:

- *Subscriber number* – telefónne číslo užívateľa, s ktorým má modul komunikovať
- *Home operator* – domáci operátor, ktorý má preferovať SIM900
- *Access Point Name* – meno prístupového bodu pre GRPS
- *Number for Credit* – telefónne číslo, na ktorý má poslať modul dotaz o zostatku
- *Message for Credit* – správa, ktorú modul má poslať o zostatku ako dotaz
- *IP Address* – IP adresa webového serveru, kde sa nachádza webová stránka
- *Port* – prístupový sieťový port, cez ktorý je webová stránka dosiahnutá
- *Subpage* – meno konkrétnej stránky, ktorá pridáva hodnoty do databázy



Obr. 4-14 GUI - nastavenie

Grafické užívateľské rozhranie, pod ponukou *File*, prináša možnosť uloženia zaznamenananej komunikácie do textového súboru a potom je možné súbor aj otvoriť. Pod ponuku *Help* sa nachádza našepkávač a informácie o aplikácii. Keď je senzorový modul pripojený, tak pred zatvorením softvérového okna sa objavuje informačné okno s otázkou skutočného zatvorenia a odpojenia sériového portu, aby nedošlo k nedokončenej komunikácii.

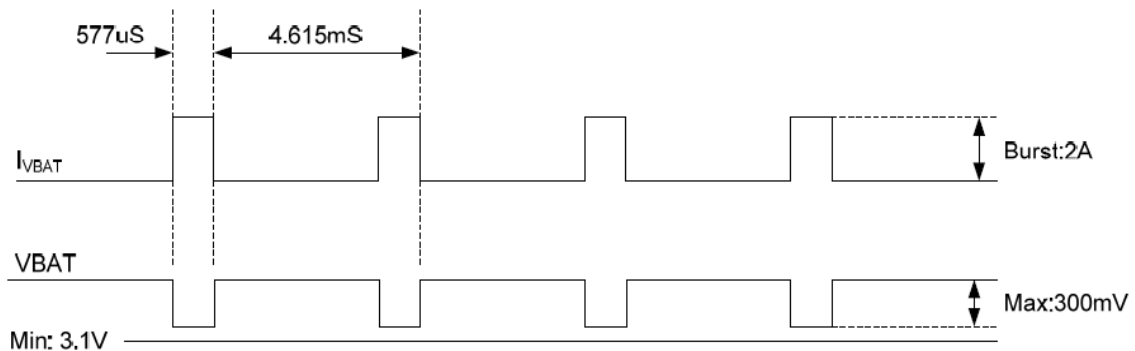
4.4 Realizácia hardvérovej časti nízkoenergetického senzorového modulu

Počas práce vo fyzickej podobe boli k dispozícii dve vývojové dosky na vyskúšanie funkčnosti mikrokontrolérov EFM32 (viz. kapitola 3.1.2) a jeden pre oboznámenie sa s GSM/GPRS modulom SIM300DZ. Tieto pomôcky boli užitočné pre vyvíjanie firmwérov, ale obsahujú zbytočné periférie a preto celá sústava (ako je vidno z obrázku v prílohe Obr. 5-18) už prekročí plánované limity. Konečný produkt ale musí byť kompaktný, a preto bolo potrebné navrhnuť vlastný hardvér, ktorý zahrňuje všetky vybrané súčiastky a komponenty o najmenších možných rozmeroch. Návrh vlastného hardvéru bol konštruovaný v programe CadSoft Eagle 6.5.0 Professional.

4.4.1 Vývojová doska pre GSM/GPRS modul SIM900

Keď už bola k dispozícii súčiastka SIM900, tak modul SIM300DZ bol zbytočný a bolo potrebné navrhnuť skúšobnú vývojovú dosku pre nový SIM900 modul. Výhodou je, že firma SimCom (výrobca modulu SIM900) má dobrú a rozsiahlu dokumentáciu s odporúčaním pre výrobu dosky plošného spoja a o prevádzkovaní modulu. Dva dôležité faktory sa musia dodržať, aby SIM900 fungoval bez problémov: prvý je kvalitné napájanie a druhý je prispôbená rádiová časť (anténa).

SIM900 bude väčšinou v režime spánku (*sleep mode*, CSCLK=2), kde spotrebuje priemerne len 1 mA, ale keď ho zobudí nejaká udalosť cez mobilnú sieť (hlasový hovor, SMS, GPRS data), tak kvôli vlastnostiam GSM siete bude musieť posielať tzv. *burst* pakety, ktoré majú spotrebu až 2 A. Tieto pakety spôsobia krátke napät'ové poklesy, ktoré musí zdroj modulu vydržať a zabezpečiť, aby napätie nekleslo pod 3,1 V, čo je dolná hraničná hodnota napätia pre funkčnosť modulu. [21]



Obr. 4-15 Prúdové skoky a napät'ové poklesy spôsobené burst paketom podľa [21]

Podľa odporúčenia výrobcu by bolo najlepšie používať Li-ion baterku, ktorá má 3,6V nominálne napätie. Takú baterku je možné priamo napojiť s minimálnou šírkou vedenia 60 mil na napájacie vývody VBAT, len sa musí ešte pripojiť čo najbližšie pri vstupe modulu odrušovací kondenzátor. [21]

Pri návrhu anténnej časti musia tiež byť dodržané určité podmienky. Charakteristická impedancia antény má byť 50 Ω . Keď anténa nie je prispôbená na vhodnú impedanciu, tak podľa odporúčenia výrobcu je možné vložiť do návrhu pred anténou prispôbovací okruh typu π . Pri návrhu skúšobnej dosky pre SIM900 boli tie ladiace súčiastky vynechané, lebo anténa ktorá bola vybraná na použitie podľa popisu bola vhodná pre GSM/GPRS a mala 50 Ω charakteristickú impedanciu. Skúsenosti ale ukázali, že anténa nespĺňa požiadavky a kvalita signálu meraného so SIM900 modulom bola slabá. Napokon, neprispôbená anténa ovplyvňuje aj spotrebu modulu, pretože GSM modul sa snaží vytvoriť kvalitnejšie spojenie s BTS stanicou a preto sa zvyšuje vysielací výkon rádiovkej časti, čo má za následok, že napät'ové poklesy budú tiež vyššie a mohli by priniesť nepríjemné vypnutie/reštartovanie modulu. [21], [24]

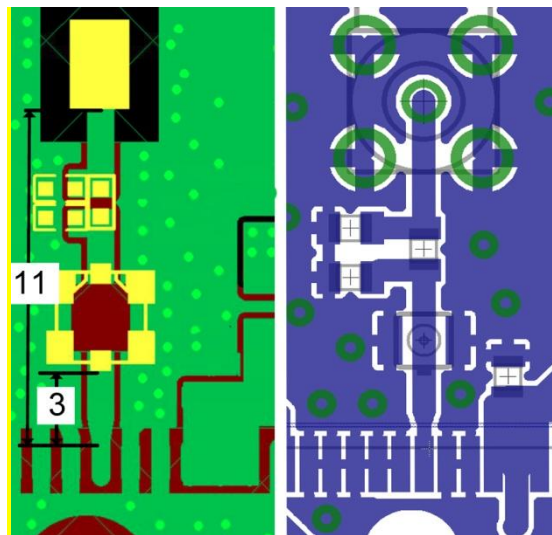
Vlastný navrhovaný samotný plošný spoj pre SIM900 modul má teda svoje nedostatky, z ktorých sa dalo dozvedieť ako lepšie navrhnuť DPS pre prototyp nízkoenergetického modulu. Medzi vlastnosti skúšobnej dosky SIM900 patrí ešte, že má vyvedené aj také vývody, ako pripojenie na mikrofón a slúchadlo, PWM, RTC, I2C a je naň pripojená LED dióda, ktorá podľa výberu môže signalizovať stavy *Netlight*

alebo *Status*. Tieto funkcie nebudú využívané u nízkoenergetického modulu a kvôli šetreniu s plochou DPS, ani nie sú vyvedené, alebo majú pripojené len testovacie body.

4.4.2 Základná doska nízkoenergetického modulu

Posledným navrhovaným hardvérom bola doska plošného spoja nízkoenergetického GSM/GPRS modulu pre senzorické aplikácie. Okrem konštrukčných skúseností získaných u vývojovej dosky SIM900 bolo treba počítať s ďalšími odporúčaniami výrobcov SimCom a Energy Micro.

Najprv boli upravené chyby, ktoré sa ukázali pri vlastnej skúšobnej vývojovej doske SIM900. K anténnej časti boli pridané kalibračné prvky (odpor, kondenzátory), aby sa dala prispôbiť impedancia antény. Podľa dokumentácie výrobcu (uvedené v použitej literatúre [23]) boli navrhované aj dĺžky a šírky ciest ktoré sú vedené k anténe. Okrem toho, v pôvodnej navrhutej Eagle súčiastke nebolo vyriešené, aby na plošnom spoji boli vyhradené plochy pod SIM900 súčiastkou, kde boli testové body pre rádiovú a digitálnu časť. V týchto miestach sa musí "orezávať" medená vrstva na plošnom spoji. Nasledujúci obrázok ukazuje, ako odporúča výrobca navrhnúť rádiovú časť a ako vypadá vlastný návrh.



Obr. 4-16 Návrh anténnej časti od SimCom podľa [24] a vlastný návrh

Pri návrhu na osadenie mikrokontroléru bolo potrebné obozretne spraviť odrušovanie na napájacie vstupy. Na tieto účely výrobca odporúča použiť vysoko kvalitné keramické kondenzátory z materiálu X5R, alebo X7R, s toleranciou $\pm 15\%$, čo najbližšie pri vstupe. Odrušovanie je potrebné hlavne pre napájanie ADC prevodníka, kde bude umiestnená aj odrušovacia cievka a 1 ohmový odpor. Vedenie kryštálových oscilátorov musí byť čo najkratšie a cesty musia byť chránené uzemnením. Výstupné napätie integrovaného obvodu BQ25504, ktorý je hlavnou napájacou súčiastkou systému, je nominálne 4,7 V, ale EFM32 mikrokontroléry pracujú s maximálnym napájacím napätím 3,3 V. Z tohto dôvodu je potrebné zapojiť napäťový regulátor (LDO), ktorý musí byť nízkoenergetický, aby nemárnil energiou sústavy. Vybraný regulátor je TPS78101, ktorý má nastaviteľné výstupné napätie a len 1 uA spotrebu. Pracovný bod nízkoenergetického regulátora je možné nastaviť pomocou odporového deliča, podľa vzorca (4-3), kde VFB je interné referenčné napätie 1,216V a R2 je možné

zvoliť napríklad 1 MΩ. Výstupné napätie regulátoru je zvolené na 3V, aby bol dostatočný pre MCU a externé periférie. [25], [27]

$$R_1 = \left(\frac{V_{OUT}}{V_{FB}} - 1 \right) \times R_2 = \left(\frac{3 V}{1,216 V} - 1 \right) \times 1 \times 10^6 = 1,467 M\Omega$$

Integrovaný obvod BQ25504 bude ťažko osaditeľný na dosku plošného spoja, pretože jeho vývody majú len 0,3 mm šírku a puzdro typu QNF16. Aby nabíjací obvod mal nízku vlastnú spotrebu, jeho odpory, ktoré majú za úlohu nastaviť pracovné body, musia mať hodnoty až mega ohmové. Pracovné body, ktoré je potreba nastaviť, sú:

- prepätie baterky - 4,109 V
- podpätie baterky - 3,598 V
- hysteréza stavu "battery good" - 3,598 V až 3,977 V
- napätie pre funkciu MPPT - 0,8 V

Výrobca ponúka aplikáciu (vo forme tabuľky v Microsoft Excel Tab. 5-1, Tab. 5-2), ktorá umožňuje vypočítať presné hodnoty jednotlivých odporov. Bohužiaľ, odpory s hodnotou nad MΩ sú ťažko dostupné, ale k tomu aby systém bol spoľahlivý a napríklad nezničil batériu, musia sa nájsť odpory s hodnotou čo najbližšie k vypočítanej. Základná doska nízkoenergetického modulu bude obsahovať odporový trimer, pre presné nastavenie bodu prepätia baterky, lebo to je najdôležitejší parameter vzhľadom na spoľahlivosť.

Posledný integrovaný obvod, ktorý má byť na doske plošného spoja, je prevodník medzi sériovým a USB rozhraním FT232R. Zapojenie tejto súčiastky nie je zvláštne, schematický návrh už bol uvedený na obrázku Obr. 3-8. Keď hotový projekt bude pripojený k USB zbernici, tak zdroj zo zbernice umožňuje nabíjať akumulátor. Nabíjací obvod ale pracuje s maximálnym vstupným napätím 3 V a preto je potrebné dosadiť napäťový regulátor (LDO), ktorý prevedie 5V napätie z zdroja USB zbernice na menšie 3 V. Vybraný regulátor napätia je TLV70225, ktorý má pevné výstupné napätie 2,5 V, je nízkoenergetický, pretože vlastnú spotrebu má len 35 uA a je možné ho zaťažiť maximálnym 300 mA prúdom. [26]

Základná doska bude obsahovať dve 10 kontaktové svorkovnice, ktoré umožňujú rýchle pripojenie jednotlivých senzorov na nízkoenergetický modul. Pre napájanie externých senzorov sú vložené do systému tranzistory, aby bolo možné pripojiť periférie s vyšším odberom prúdu. Sensorický modul cez svorkovnicou podporuje pripojenie externých periférií na široké škály funkcií ponúkané mikrokontrolérom EFM32LG880F256. Nasledujúca tabuľka Tab. 4-2 znázorňuje, ktoré vývody svorkovnice sú mapované pre jednotlivé alternatívne funkcie.

Tab. 4-2 Mapovanie funkcie EFM32 na svorkovnicu

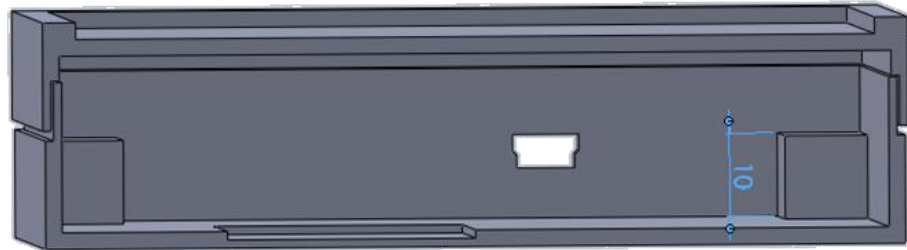
vývod	Dostupná funkcia
1	VCC, napájacie napätie, ktoré dostane aj MCU
2	GPIO PA0, I2C_1 SDA, zobudenie z EM4, TIMER0
3	GPIO PA1, I2C_1 SCL, TIMER0
4	Spínacie napätie
5	GND
6	GPIO PA6, LEUART TX, LESENSE budenie
7	GPIO PA7, LEUART RX, zobudenie z EM4
8	GND
9	GPIO PC1, počítadlo impulzov, DAC, LESENSE, ACMP
10	GPIO PC2, TIMER0, DAC, LESENSE, ACMP
11	VCC, napájacie napätie ktoré dostane aj MCU
12	GPIO PC4, I2C_2 SDA, počítadlo imp., DAC, LESENSE, ACMP
13	GPIO PC4, I2C_2 SCL, počítadlo imp., DAC, LESENSE, ACMP
14	Spínacie napätie
15	GND
16	ADC kanál 1, počítadlo impulzov, TIMER0
17	GND
18	ADC kanál 2, počítadlo impulzov, TIMER0
19	GND
20	ADC kanál 3, počítadlo impulzov, TIMER0

Pre nahranie firmveru do pamäti mikrokontroléru slúži rozhranie *Serial Wire Debugger*, cez konektor SWD. Na konektor CON_BAT sa pripojí li-ion akumulátor, na CON_SOLAR je možné pripojiť solárny panel a CON_INFO slúži na pripojenie kapacitného snímača. Modul Zigbee nebude fyzicky osadený na základnej doske, ale cez 40 pinový konektor. Na doske je ešte umiestnené interné tlačidlo RESET a dve interné LED diódy, ktoré sú užitočné počas vývoja firmvéru.

4.5 Návrh ochranného puzdra na vytlačenie v 3D

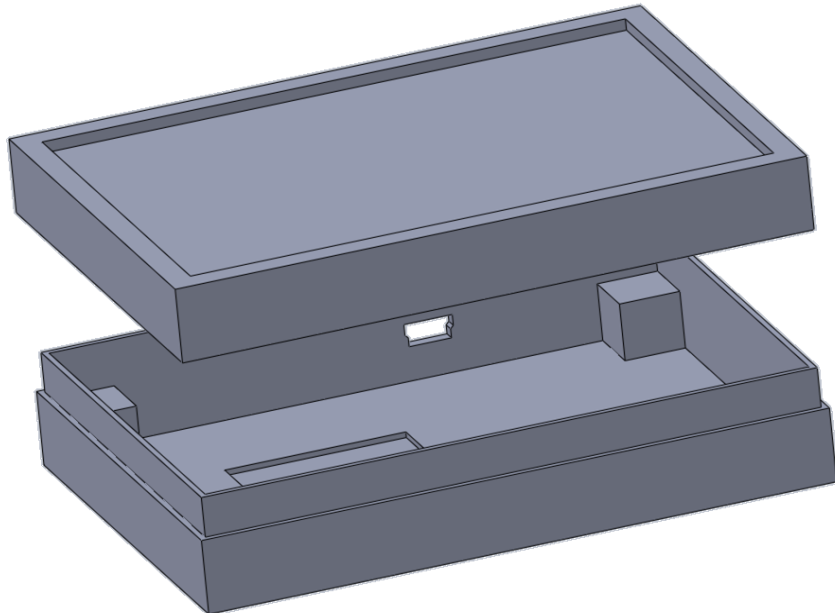
Hotový produkt musí byť kompaktný, pričom pre veľkosť sústavy sú smerodajné základná doska a solárny panel. Komerčné ochranné puzdra majú predefinované rozmery, z tohto dôvodu ich veľkosť väčšinou nepasuje pre vlastný navrhovaný produkt. Dnešné priemyselné systémy umožňujú vytlačenie produktov v trojdimenzionálnom priestore pomocou 3D tlačiarne.

Návrh bol urobený v CAD programe Solid Works 2012 od firmy Dassault Systèmes SolidWorks Corp. Koncepcia sa začala obdĺžnikom, z ktorého sa „natiahol“ hranol, postupne sa formovala najprv dolná strana puzdra a potom aj horná. Puzdro je navrhnuté tak, že stena hornej časti je zúžená smerom von a dolnej časti smerom dnu aby sa horná časť mohla nasadiť na dolnú časť. Ako je viditeľné z obrázku Obr. 4-17, keď je puzdro uzavreté, je vynechaný tenký jarok, kam je možné umiestniť gumový materiál, aby puzdro bolo viac odolné proti vode a prachu.



Obr. 4-17 3D návrh puzdra - rez (uzavretá)

Plošný spoj sa nasadí na držiaky, ktoré sú umiestnené v každom rohu. Pre solárny panel je vynechaný priestor v hornej časti, kam je ho možné usadiť. Pre kapacitný snímač je tiež vynechaný priestor na usadenie, kde je vrstva zúžená, aby snímanie bolo možné. Rozmery navrhovaného puzdra sú 104 x 74 x 26 mm.



Obr. 4-18 3D návrh puzdra - celá, otvorená

4.6 Energetická spotreba modulu

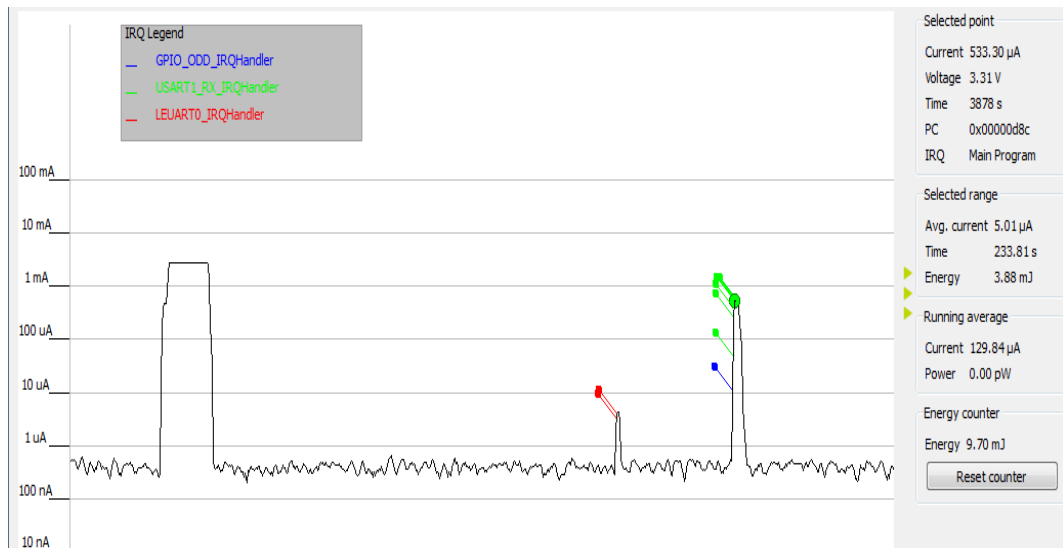
Energetická spotreba závisí na optimalizácii softvéru, preto je potrebné neustále sa snažiť čo najefektívnejšie písať zdrojový kód. Výrazné šetrenie s energiou je možné v rámci programovania pomocou ďalších možností:

- využívanie ponúkaných energetických módov (EM0 až EM4),
- výber správneho oscilátoru, efektívneho kmitočtu
- využívanie prerušenia namiesto techniky "polling",
- výber správnej periférie.

Tab. 4-3 Použité oscilátory a ich vlastnosti

Oscilátor	Typ	Frekvencia	Spotreba	Čas nábehu	Použitie
HFRCO	Interný RC	1, 7, 11, 14, 21, 28 MHz	22-106 μA	1 μs	Hlavný vf. oscilátor
LFRCO	Interný RC	32 kHz	190 nA	150 μs	Nízkoenergetické periférie
ULFRCO	Interný RC	1 kHz	-	-	Watchdog

Nasledujúci obrázok pomocou softvéru energyAware Profiler ukazuje spotrebu modulu pri naštartovaní (najväčší skok). Používa najprv nízkoenergetické asynchrónne sériové rozhranie (LEUART), a potom obyčajné sériové rozhranie (UART). LEUART používa len nízkofrekvenčný oscilátor s kmitočtom 32kHz a umožňuje plnohodnotnú UART komunikáciu (maximálne 9600 baud) v energetickom móde *deep sleep* (EM2). Prerušená sa uskutočňujú pomocou inteligentnej DMA linky. Z výsledku merania je viditeľná výrazná odlišnosť spotreby prúdu medzi LEUART (4,1 μA) a UART (533,3 μA) rozhraniami. Meranie trvalo 22 sekúnd, a počas tejto doby mal vývojový modul priemernú spotrebu prúdu 129,84 μA a 9,70 mJ.



Obr. 4-19 Meranie spotreby prúdu LEUART a UART

Na obráku 4-5 je vidieť, že keď neprebíha komunikácia, procesor má spotrebu cca. 600 nA, to znamená že je v režime *deep sleep* EM2. Okrem toho je viditeľné, že nielen rozhranie LEUART ale aj obyčajný UART je v prevádzke. V tomto stave ale nie je podporované rozpoznávanie prerušenia obyčajného rozhrania UART. Problém bol vyriešený signálom RTS (*Request To Send*), ktorý je pripojený na vstupný port mikrokontroléra a pomocou GPIO prerušenia zobudí procesor a môže začať komunikáciu. Tým pádom, je možné využívať aj štandardný UART spolu s režimom Energy Mode 2, ktorý má výrazne nižšiu spotrebu ako Energy Mode 1 (cca. 2 mA).

Nasledujúce obrázky znázorňujú tri prípady, kde bola meraná spotreba senzorického modulu počas posielania šesť ráz nameraných veličín do počítačového terminálu. Na prvom obrázku je vidieť, že keď sú senzory napájané z vlastného zdroja,

tak energyAware Profiler meria len samotnú spotrebu procesora, ktorý je priemerne 82,59 uA za dobu 39,10 počas posielania 6 dátových blokov.



Obr. 4-20 Meranie spotreby - senzory sú napájané zvlášť

Druhý prípad je, keď senzory sú napájané z výstupu, ktorý je energyAware Profiler schopný merať, a pripočíta k výslednej priemernej spotrebe 181,09 uA za 37,95 s.



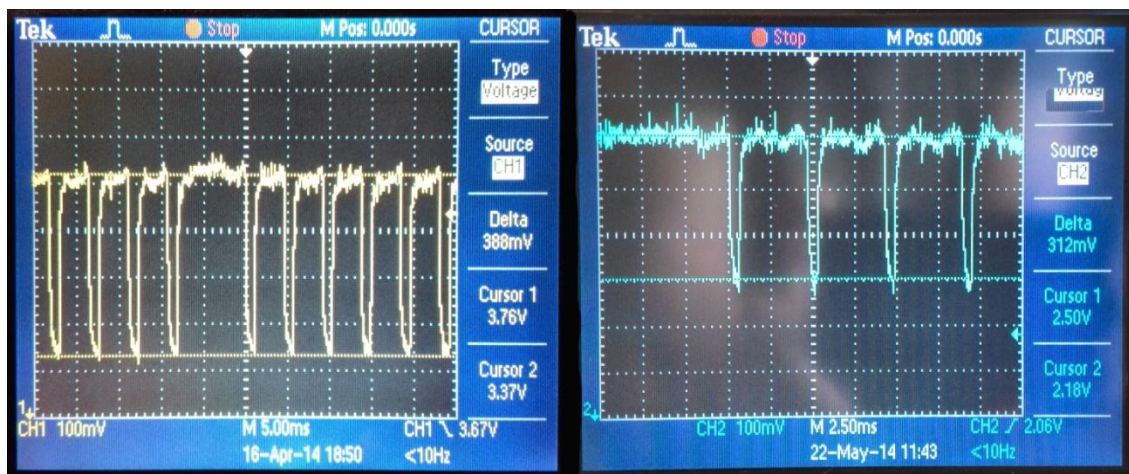
Obr. 4-21 Meranie spotreby - senzory sú napájané z VMCU

Zníženie spotreby systému bolo vykonané s optimalizáciou softvéru, kde senzory sú napájané z výstupného portu (GPIO), ktorý je zapnutý len pre požadované meranie, a na konci meranie je vypnutý. Senzory je potrebné vždy inicializovať pred meraniami (to má vplyv na čas aktívneho režimu), ale nepotrebujú prúd počas ich nepoužívania. Priemerná spotreba je 107,99 uA za 38,44 s.



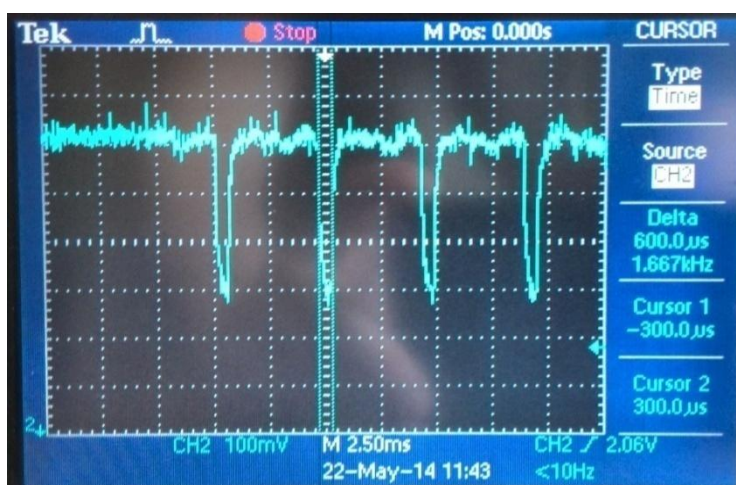
Obr. 4-22 Meranie spotreby - senzory sú napájané z GPIO

Dlhodobá spotreba EFM32 mikrokontroléru bude cca 1 μ A, a záleží na tom, koľko krát za minútu bude môcť merať. Predošlé merania ale platia len pre samotný mikrokontrolér, a nie na celú sústavu. Musí sa dopočítať ešte vlastná spotreba GSM/GPRS modulu SIM900, ktorú bohužiaľ sústava EnergyAware Profiler neumožňuje namerať, pretože má horný limit na meranie prúdu 50 mA a SIM900 môže konzumovať aj 2 A, pri rádiovej komunikácii s základňovou stanicou (*burst* rámce). Pre účel namerania spotreby SIM900 modulu, keď je aj aktívna rádiová komunikácia bola použitá Hallova sonda ACS71205B, ktorá je schopná merať prúd v rozmedzí ± 5 A. Sonda má napäťový výstup, kde sa objaví 1 A ako 185 mV. Na obrázku 27 sú zaznamenané zábery osciloskopu, kde na ľavej strane je možné vidieť spotrebu *burst* rámce vlastne navrhnutého vývojového modulu SIM900 a vpravo spotrebu finálneho prototypu nízkoenergetického GSM/GPRS modulu. Pri vývojovom module spotreba jednej *burst* rámce je 2,09 A, a pri finálnom produkte je 1,68 A, ktorý je o 410 mA menej. To znamená, že vďaka komerčnej kalibrovanej anténe, presnejšiemu návrhu a doladenému hardvéru prototypu má menšiu spotrebu.



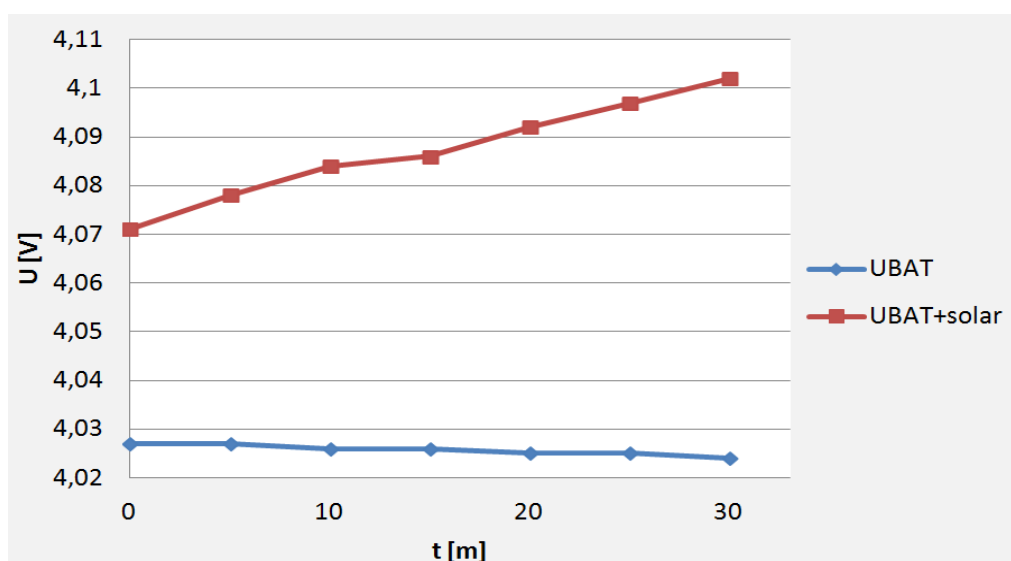
Obr. 4-23 Spotreba burst rámce vývojového modulu (vľavo) a finálneho prototypu (pravo)

Dĺžka trvania jedného *burst* rámca je podľa teórie 0,577 ms (156 bit) a to dokazuje aj záber osciloskopu na obraze Obr. 4-24, kde je možné vidieť, že delta času je 600 μ s.



Obr. 4-24 Dĺžka trvania burst rámcov

Spotreba celého systému závisí na tom, ako často s akým senzorom bude môcť nízkoenergetický senzorový modul merať (parameter *Timebase*) a koľko krát za minútu sa musí zobudiť. Ďalej v akom intervale bude musieť posielať namerané hodnoty vo forme SMS, alebo nahráť údaje na stránku pomocou GPRS (parameter *SMS* a *GPRS interval*) a aká ja kvalita signálu mobilnej siete. Rad ďalších udalostí má vplyv na spotrebu modulu, takže presné meranie ohľadom na to, či nízkoenergetická sústava je aj sebestačná nie je možné jednoznačne určiť. Obrázok Obr. 4-25 ale dokazuje, že keď k sústave je pripojený solárny panel a naň dopadá dostatočné svetlo (červená čiara), tak rýchlejšie sa nabíja akumulátor, než vybíja bez solárneho panela sám (modrá čiara). Meranie bolo vykonané počas pomerne slnečného dňa v máji od 17:00 do 17:30 pri dennej osvetlenosti priamo zo slnka cca. 40000 lux, modul poslal 1 SMS, a meranie vykonal v každom minúte so senzormi BMP180 a SHT15.



Obr. 4-25 Meranie napätia akumulátora keď sa nabíja (červená) a keď sa vybíja (modrá)

Vybíjanie akumulátora modulu bolo 3 mV za 30 minút, to znamená, že za 1 hodinu sa vybije 6 mV. Keď sa spočíta, že za jeden deň je 12 hodín tma, tak cez jednu noc akumulátor stratí 72 mV napätia. Naopak solárny panel nabíja akumulátor podľa merania 31 mV za 30 minút, takže cca. 62 mV za jednu hodinu. Experiment ukazuje, že napätie, ktoré stratí akumulátor za jednu noc, solárny panel počas nasledujúceho dňa mu to bohato vráti. Celá sústava má priemernú spotrebu 1,68 mA (MCU + LDO + SIM900) ktoré je vypočítané a simulované pomocou Energy Aware Battery softvéru. Výsledky sú viditeľné na obraze Obr. 5-15, uvedený v prílohe. Softvér povolil vybrať len akumulátor s kapacitou 675 mAh a vypočítaná výdrž simulovaného akumulátora s jedným plným nabitím vyšlo na 16 dní bez solárneho panelu.

Schopnosť sebestačnosti závisí nie len na výkone využitia funkčnosti nízkoenergetického modulu, ale aj na aktuálnom počasí (intenzita svetla zo slnka). To znamená že v zimnom období, keď sú dni kratšie a pomerný dopad svetla zo slnka je menší, možno bude treba niekoľko krát nabíjať akumulátor systému z externého zdroja. Podľa merania a testovania sa ale dá vyhlásiť konklúziu, že prototyp senzorického modulu spĺňa požiadavky na nízkoenergetickosť a je schopný ponúknuť hodnoty vzdialeného merania cez mobilnú sieť a to energeticky sebestačne.

5 ZÁVER

Cieľom tejto práce bolo realizovať nízkoenergetickú, sebestačnú senzorovú jednotku, ktorá bude poskytovať informácie cez mobilné siete GSM/GPRS. Ďalším cieľom práce bolo, aby k realizácii senzorovej jednotky boli vybrané výhradne nízkoenergetické súčiastky. Jeden z výsledkov je výber vhodného riadiaceho mikrokontroléru z rodiny EFM32, ktorý je navrhovaný hlavne na nízkoenergetické aplikácie. Na bezdrôtovú komunikáciu je používaný rádiový modul SIM900, ktorý má v aktívnom stave najvyššiu spotrebu z celého modulu z dôvodu vlastností GSM/GPRS siete. Vzhľadom na to, bolo nutné vybrať vhodné napájanie. Vybraný akumulátor s kapacitou 890 mAh umožní vydržať skoro 2 ampérovú skokovú spotrebu, ktorá vzniká z dôvodu *burst* rámca behom prenosu na rádiovom rozhraní mobilnej siete. Návrh správneho zapojenia nabíjacieho obvodu BQ25504 slúžiaceho na efektívnejšie získavanie energie z okolia a výber vhodného solárneho panela, boli ďalšou praktickou časťou diplomovej práce.

Nízkoenergetická GSM/GPRS senzorová jednotka dokáže snímať rôzne fyzikálne veličiny pomocou analógových/digitálnych senzorov. Navrhnuté grafické užívateľské rozhranie umožňuje, aby po pripojení senzorickej jednotky bol možný ľahší dohľad na funkcie, ako monitorovanie/diagnostika modulu, vykonanie merania, nastavenie poplachových udalostí, komunikácia pomocou SMS správ a nastavenie modulu. Namerané a prepočítané hodnoty na požiadanie užívateľa preposiela na počítač pomocou USB pripojenia, na mobilný telefón vo forme SMS správy cez GSM sieť, alebo na realizované webové úložisko pomocou služby GPRS. Pomocou webovej stránky je možné monitorovať všetky merania. Pre zníženie nákladov je možné zavolať na senzorový modul a ako odpoveď bude poslaná SMS správa s nameranými senzorickými hodnotami. Tým informácia pre užívateľa nevyžaduje žiadne náklady a zúčtuje sa len jedna SMS správa za odpoveď. Ďalšia forma komunikácie s nízkoenergetickým modulom sa uskutoční pomocou kapacitného snímača, ktorý umožní získať základné informácie o stave nabitia akumulátora a mobilnej siete, ktoré indikuje viacfarebnou LED diódou. Nad rámec úlohy bola implementovaná funkcia na určenie polohy senzorického modulu pomocou mobilnej siete. Podarilo sa vyhotoviť nízkoenergetický senzorový modul, ktorý podľa testovania je schopný sebestačnosti vzhľadom na spotrebu elektrickej energie a potrebuje minimálny ľudský zásah pre každodennú prevádzku.

Veľkým prínosom diplomovej práce sú získané hlbšie odborné skúsenosti z programovania v jazyku C, ktoré bude možné využiť hlavne pri vývoji vstavaných (*embedded*) systémov. Okrem jazyka C počas práce boli získané základné znalosti z programovania v jazykoch C#, PHP, MYSQL, CSS a z navrhovania konštrukčných prvkov v 3D pomocou počítača. Oboznámenie sa s mikrokontrolérmi typu ARM ukázali možnosti a výhody 32 bitových systémov. Je dobré vedieť, že obvody EFM32 sú vhodným výberom, keď si problematika vyžaduje výkonný, ale nízkoenergetický mikrokontrolér. Boli získané znalosti o systémoch mobilnej komunikácie typu GSM/GPRS a podarilo sa vyskúšať ich možnosti z iného pohľadu, ako v každodennom živote. Podarilo sa získať hlbšie znalosti z problematiky navrhovania hardvéru pre výrobu elektronických produktov, obsahujúcich hlavne SMT súčiastky. Práca s napájaním elektronických zariadení využitím energie z okolitých zdrojov bude určite prínosom v budúcnosti.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] DARGIE, Waltenege a Christian POELLABAUER. *Fundamentals of Wireless Sensor Networks: Theory and Practice: (Wireless Communications and Mobile Computing)*. United Kingdom: Wiley, 30.8.2010. ISBN 0470997656.
- [2] ŠIMEK, Milan. *Bezdrátové senzorové sítě*. Brno, 2012. Skript. Vysoké Učení Technické v Brne.
- [3] *WiMax Overview* [online]. Ljubljana, 2006 [cit. 2013-12-20]. Dostupné z: http://www.lkn.fe.uni-lj.si/Seminarji/s_omerovic.pdf. Skript. Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana.
- [4] An Introduction to ZigBee® [online]. U.S.A, 2012 [cit. 2013-11-29]. 019-0162–D. Dostupné z: http://ftp1.digi.com/support/documentation/019-0162_D.pdf.
- [5] NOVOTNÝ, Vít. *Komunikační prostředky mobilních sítí*. Brno, 2013. Skript. Vysoké Učení Technické v Brne.
- [6] SLANINA, Martin. *Moderní bezdrátová komunikace*. Brno, 2010. ISBN 978-80-214-4156-9. Skript. Vysoké Učení Technické v Brne.
- [7] Ako určit' polohu mobilného telefónu GSM. Alibaba.sk: Poznáme Odpovede [online]. 2012 [cit. 2013-11-27]. Dostupné z: <http://www.alibaba.sk/monitorovanie-vasej-polohy/item/195-ako-ur%C4%8Di%C5%A5-polohu-mobiln%C3%A9ho-telef%C3%B3nu.html>.
- [8] GRADY, Steve. ENERGY PROCESSORS FOR EH DESIGNS: High Efficiency Energy Harvesting-based Power. In: Cymbet [online]. 2011, s. 11 [cit. 2013-12-27]. Dostupné z: <http://www.cymbet.com/pdfs/Energy%20Processors%20for%20EH%20Designs.pdf>
- [9] LOMBARDY, Vince. Solar Power 101: A Practical Guide to Solar Power System Design For Homeowners. In: Engineering Mechanics [online]. 08.08.2012, s. 11 [cit. 2013-12-27]. Dostupné z: <http://www.offgridwinchester.com/Solar%20Power-101.pdf>.
- [10] Top 10 Silicon Labs 32-bit Microcontroller Technology Features. Silicon Labs [online]. [cit. 2013-11-25]. Dostupné z: <http://www.silabs.com/products/mcu/lowpower/Pages/32-bit-microcontroller-technology.aspx>
- [11] SILICON LABS. EFM32 Product Presentation: the world's most energy friendly microcontrollers. 2011.
- [12] ENERGY MICRO. EFM32 USER MANUAL: Starter Kit EFM32TG-STK3300. Initial Version. 2011.
- [13] Future Technology Devices International Limited. Ftdichip.com [online]. Version 2.10. 2010, 2010 [cit. 2013-11-17]. FT232RL - USB UART ICs. Dostupné z: http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf
- [14] Ultra Low Power Boost Converter with Battery Management for Energy Harvester Applications. Texas Instruments [online]. 2011 [cit. 2013-11-25]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/slusah0a/slusah0a.pdf>.
- [15] SILICON LABS. I2C Master and Slave Operation: AN0011 - Application Note. Revision 1.06. 2010.
- [16] PÁL, T. Čtečka RFID čipů řízená AVR mikrokontrolerem. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav telekomunikací, 2012.

37 s., 13 s. príloh. Vedúci bakalárskej práce: Ing. Pavel Šilhavý, Ph.D.

- [17] Energy Micro Product Selector [online]. 2012[cit. 2014-05-20]. Dostupné z: www.energymicro.com
- [18] USER MANUAL - Starter Kit EFM32LG-STK3600 [online]. 2013[cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.silabs.com/Support%20Documents/TechnicalDocs/efm32lg-stk3600-ug.pdf>
- [19] Elevating Self-discharge. Battery University [online]. 2011 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: http://batteryuniversity.com/learn/article/elevating_self_discharge
- [20] SILICON LABS. Analog to Digital Converter: AN0021 - Application Note. Revision 1.09. 2010.
- [21] SIM900 Hardware Design. SIMCom Wireless Solutions [online]. Shanghai, 2013[cit. 2013-12-11]. 2.04. Dostupné z: <http://wm.sim.com/upfile/201342414927f.pdf>
- [22] SIM900 TCP/IP Application Note [online]. v1.02. Shanghai, 2011-01-04[cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://wm.sim.com/upfile/2011411111755.pdf>
- [23] SIM900-TE PCB Layout & Schematic for Reference [online]. v1.02. Shanghai, 2010-03-30[cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://wm.sim.com/upfile/201055155744.pdf>
- [24] SIM900_Two-layer PCB RF Design_Application Note [online]. v1.02. Shanghai, 2012-06-15[cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://wm.sim.com/upfile/2013424145025f.pdf>
- [25] Hardware Design Considerations: AN0002 - Application Note [online]. Revision 1.35. Nydalen, 2013-08-14[cit. 2014-04-29]. Dostupné z: http://cdn.energymicro.com/dl/an/pdf/an0002_efm32_hardware_design_considerations.pdf
- [26] 300-mA, Low-IQ, Low-Dropout Regulator: TLV702xx [online]. 2010[cit. 2014-04-29]. Revision B. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tlv70225.pdf>
- [27] 150mA, Low-Dropout Regulator, Ultralow-Power, IQ 1µA with Pin-Selectable, Dual-Level Output Voltage: TPS781 Series [online]. 2008[cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps78101.pdf>
- [28] BMP180 Digital pressure sensor. Bosch Sensortec [online]. BST-BMP180-DS000-09. Germany, 2013[cit. 2014-04-08]. 2.5. Dostupné z: <http://ae-bst.resource.bosch.com/media/products/dokumente/bmp180/BST-BMP180-DS000-09.pdf>
- [29] Datasheet SHT1x (SHT10, SHT11, SHT15): Humidity and Temperature Sensor IC [online]. 2011[cit. 2014-04-10]. version 5. Dostupné z: http://www.sensirion.com/fileadmin/user_upload/customers/sensirion/Dokumente/Humidity/Sensirion_Humidity_SHT1x_Datasheet_V5.pdf
- [30] Digital 16bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC: BH1750FVI [online]. Rev.D. 2011[cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://rohms.rohm.com/en/products/databook/datasheet/ic/sensor/light/bh1750fvi-e.pdf>

ZOZNAM POUŽÍVANÝCH SYMBOLOV, VELIČÍN A SKRATIEK

<i>Značka</i>	<i>Veličina</i>	<i>Značka jednotky</i>
-	číslica binárnej sústavy	bit
C	elektrická kapacita	F
d	vzdialenosť	m
F	frekvencia	Hz
I	elektrický prúd	A
E	intenzita osvetlenia	lx
p	tlak	Pa
P	výkon	W
R	elektrický odpor	Ω
U	elektrické napätie	V
M	modulačná rýchlosť	Baud
t	čas	s

VLSI	Very-Large-Scale Integration
MEMS	Microelectromechanical Systems
WSN	Wireless Sensor Network
PAN	Personal Area Network
LAN	Local Area Network
MAN	Metropolitan Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network
UWB	Ultra-Wideband
MAC	Media Access Control
PHY	Physical layer
Wi-Fi	Wireless Fidelity
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
FHSS	Frequency-Hopping Spread Spectrum
DSSS	Direct-Sequence Spread Spectrum
GSM	Global System for Mobile, Group Spécial Mobile
GPRS	General Packet Radio Service
BTS	Base Transceiver Station
P-GSM	Primary- Global System for Mobile
E-GSM	Extended- Global System for Mobile

BCCH	Broadcast Control Channel
BSIC	Base Station Identity Code
CGI	Cell Global Identity
MCC	Mobile Country Code
MNC	Mobile Network Code
LAC	Local Area Code
SMT	Surface Mount Technology
CI	Cell Identity
TA	Timing Advance
GPS	Global Positioning System
GSN	GPRS Support Node
MSC	Mobile Switching Center
PCU	Packet Control Unit
BSC	Base Station Controller
FTDI	Future Technology Devices International
SGSN	Serving GPRS Support Node
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMSC	Gateway Mobile Switching Centre
MS	Mobile Station
QNF	Quad-Flat No-leads
I2C	Inter-Integrated Circuit
SMS	Short Message Service
CS	Coding Scheme
TEG	Thermoelectric Generator
MPPT	Maximum Power Point Tracking
USB	Universal Serial Bus
ETH	Ethernet
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
USART	Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter
LEUART	Low Energy Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
LESENSE	Low Energy Sensor Interface
RISC	Reduced Instruction Set Computing
SRAM	Static Random-Access Memory
NAND	Negated AND, Not AND
CMSIS	Cortex Microcontroller Software Interface Standard
API	Application Programming Interface
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
IP	Internet Protocol
ARM	Advanced RISC Machine, Acorn RISC Machine
SoC	System on Chip
RAM	Random Access Memory
CPU	Central Processing Unit
EM	Energy Mode
POR	Power On Reset
BOR	Brown Out Detector
IRQ	Interrupt Request
GPIO	General-Purpose Input/Output

PRS	Peripheral Reflex System
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light-Emitting Diode
DMA	Direct Memory Access
MCU	Microcontroller Unit
AEM	Advanced Energy Monitor
TWI	Two Wire Interface
SCL	Serial Data Line
SDA	Serial Clock
AT	Attention
TTL	Transistor–Transistor Logic
OS	Operating System
LDO	Low Dropout
A/D	Analog/Digital
ADC	Analog to Digital Converter
DPS	Deska Plošného Spoju
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
RTC	Real-Time Clock
BURTC	Back-Up Real Time Clock
R/W	Read/Write
RC	Resistor Capacitor
MSPS	Million Sample Per Second
INL	Integral Nonlinearity
DNL	Differential nonlinearity
IDE	Integrated Development Environment
CD	Compact Disc
MISRA C	Motor Industry Software Reliability Association C
IBM	International Business Machines
EPL	Eclipse Public License
RH	Relative Humidity
SIM	Subscriber Identity Module
PC	Personal Computer
RTS	Request To Send
GUI	Graphical User Interface
SD	Secure Digital
SSH	Secure Shell
HDMI	High Definition Multimedia Interface
DSI	Display Serial Interface
FTP	File Transfer Protokol
HTML	HyperText Markup Language
CSS	Cascading Style Sheets
SQL	Structured Query Language
ARFCN	Absolute Radio Frequency Channel Number
RXL	Receive Level
RXQ	Receive Quality
RLA	Receive Level Access Minimum
TXP	Transmith Power Maximum CCCH
CR	Carrige Return

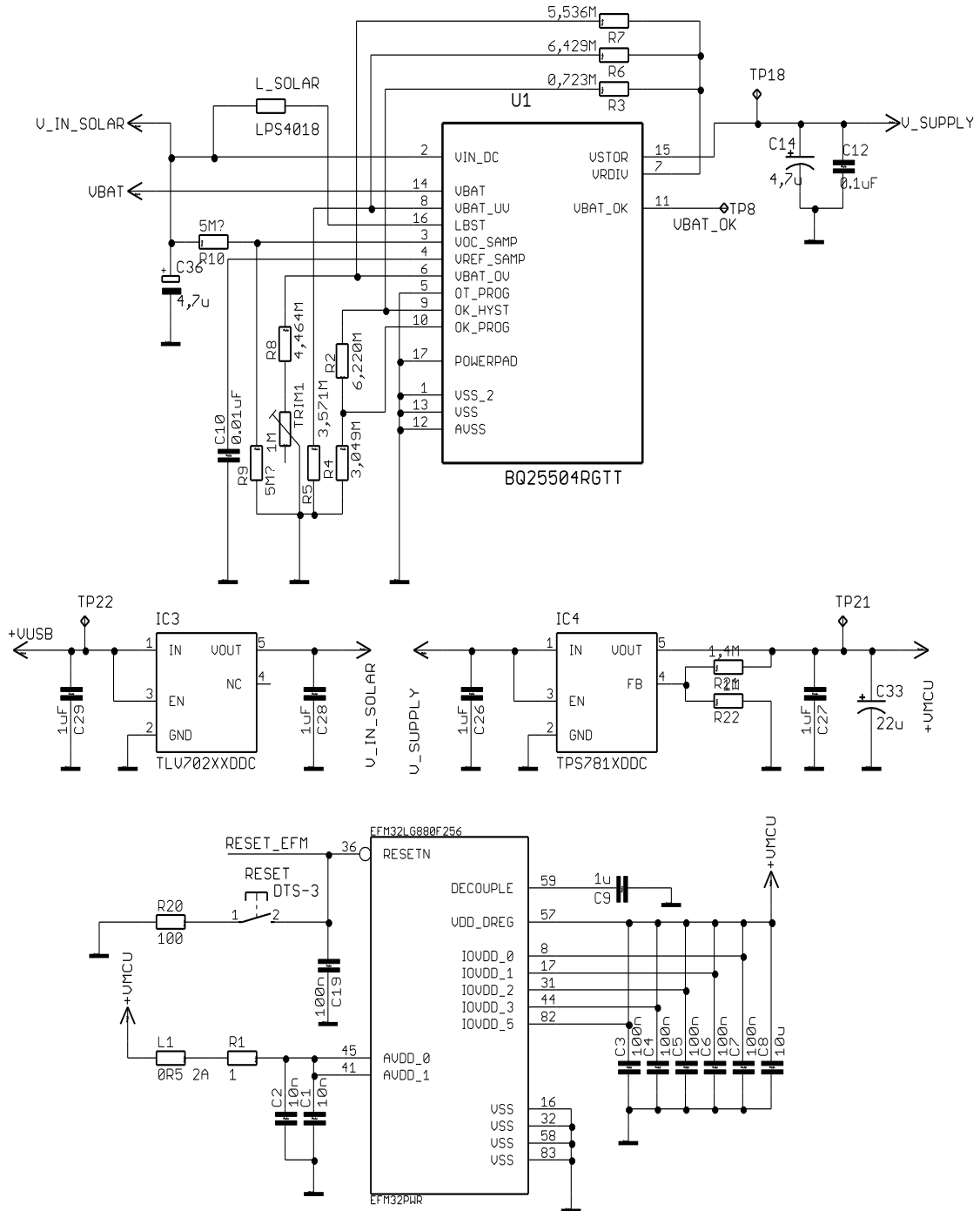
LF	Line Feed
SUB	Substitute
GMT	Greenwich Mean Time
CAD	Computer-Aided Design

ZOZNAM PRÍLOH

A	Návrh zariadenia	78
A.1	Schémy zapojení	78
A.2	Dosky plošných spojov – PCB	84
B	Výpočet hodnôt odporov pre bq25504	87
C	Fotografie	88
C.1	Fotografie merania	88
C.2	Fotografie prístrojov	91
D	Zoznam súčiastok	95
D.1	Zoznam súčiastok pre nízkoenergetický modul.....	95
D.2	Zoznam súčiastok pre vývojový modul SIM900.....	97
E	Obsah priloženého CD.....	99

A NÁVRH ZARIADENIA

A.1 Schémy zapojení



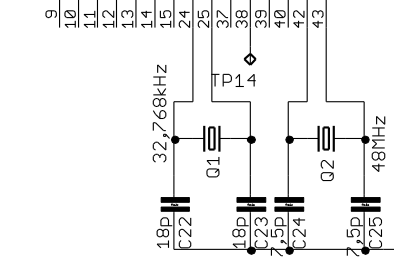
Obr. 5-1 Schéma zapojenia napájacej časti nízkoenergetického senzového modulu

SENS_I2C_1_SDA/PA0	1	PA0/EBI_A009#0,1,2/GPIO_EH14W0/12C0_SDA#0/LCD_SEG13/LCD_SEG14/PRS_CH0#0/TIM0_CC0#0,1,4
SENS_I2C_1_SCL/PA1	2	PA1/CMU_CLK#0/EBI_A010#0,1,2/I2C0_SCL#0/LCD_SEG14/PRS_CH1#0/TIM0_CC1#0,1
SENS_VDD/PA2	3	PA2/CMU_CLK#0/EBI_A011#0,1,2/ETM_T0#3/LCD_SEG15/TIM0_CC2#0,1
	4	
	5	PA3/EBI_A012#0,1,2/ETM_T0#3/LCD_SEG16/LES_ALTEX2/TIM0_COTI0#0/U0_TX#2
SENS_LEU1_TX/LES_ALTEX/PA6	6	PA4/EBI_A013#0,1,2/ETM_T0#3/LCD_SEG17/LES_ALTEX3/TIM0_COTI1#0/U0_RX#2
SENS_LEU1_RX/LES_ALTEX/PAZ	7	PA5/EBI_A014#0,1,2/ETM_T0#3/LCD_SEG18/LFS_ALTEX4/LEU1_TX#1/TIM0_COTI2#0
		PA6/EBI_A015#0,1,2/ETM_T0#3/GPIO_EH14W1/LCD_SEG19/LEU1_RX#1
	26	PA7/EBI_C01FT#0,1,2/LCD_SEG35
	27	PA8/EBI_DCLK#0,1,2/LCD_SEG36/TIM2_CC0#0
	28	PA9/EBI_OTEN#0,1,2/LCD_SEG37/TIM2_CC1#0
	29	PA10/EBI_VSNCH#0,1,2/LCD_SEG38/TIM2_CC2#0
	30	PA11/EBI_HSNCH#0,1,2/LCD_SEG39
	33	PA12/EBI_A00#0,1,2/LCD_BCAP_P/TIM2_CC0#1
	34	PA13/EBI_A01#0,1,2/LCD_BCAP_N/TIM2_CC1#1
	35	PA14/EBI_A02#0,1,2/LCD_BEXT/TIM2_CC2#1
	100	PA15/EBI_AD08#0,1,2/LCD_SEG12/TIM3_CC2#0

EFM32L6880F256

	9	PB0/EBI_A16#0,1,2/LCD_SEG32/TIM1_CC0#2
	10	PB1/EBI_A17#0,1,2/LCD_SEG33/TIM1_CC1#2
	11	PB2/EBI_A18#0,1,2/LCD_SEG34/TIM1_CC2#2
	12	PB3/EBI_A19#0,1,2/LCD_SEG620/LCD_COM4/PCNT1_S0IN#1/US2_TX#1
	13	PB4/EBI_A20#0,1,2/LCD_SEG621/LCD_COM5/PCNT1_S1IN#1/US2_RX#1
	14	PB5/EBI_A21#0,1,2/LCD_SEG622/LCD_COM6/US2_CLK#1
	15	PB6/EBI_A22#0,1,2/LCD_SEG623/LCD_COM7/US2_CS#1
	24	PB7/LFXTAL_P/TIM1_CC0#3/US0_TX#4/US1_CLK#0
	25	PB8/LFXTAL_N/TIM1_CC1#3/US0_RX#4/US1_CS#0
	37	PB9/EBI_A03#0,1,2/U1_TX#2
	38	PB10/EBI_A04#0,1,2/U1_RX#2
	39	PB11/DAC0_OUT0/OPAMP_OUT1/I2C1_SDA#1/LETTIM0_OUT0#1/TIM1_CC2#3
	40	PB12/DAC0_OUT1/OPAMP_OUT1/I2C1_SCL#1/LETTIM0_OUT1#1
	42	PB13/HFXTAL_P/LEU0_TX#1/US0_CLK#4,5
	43	PB14/HFXTAL_N/LEU0_RX#1/US0_CS#4,5

EFM32B



EFM32L6880F256

	18	INFO_SENSE
SENS_PCNT/LES/TIM0/PC1I9		PC0/ACHP0_CH0/DAC0_OUT0/TOPAMP_OUT0/TOPAMP_OUT0#1/TIM0_S0IN#2/PRS_CH2#0/TIM0_CC1#4/US0_TX#5/US1_TX#1
SENS_PCNT/LES/TIM0/PC2I0		PC1/ACHP0_CH1/DAC0_OUT0/TOPAMP_OUT0/TOPAMP_OUT0#2/PRS_CH3#0/TIM0_CC2#4/US0_RX#5/US1_RX#1
SENS_VDD/PC3	21	PC2/ACHP0_CH2/DAC0_OUT0/TOPAMP_OUT0/TOPAMP_OUT0#3/PCNT1_S0IN#0/US2_TX#0
SENS_I2C_2_SDA/LES/LETTIM/PCNT/P02	22	PC3/ACHP0_CH3/DAC0_OUT0/TOPAMP_OUT0/TOPAMP_OUT0#4/LES_CH3/TIM0_COTI1#4/US2_RX#0
SENS_I2C_2_SCL/LES/LETTIM/PCNT/P02	23	PC4/ACHP0_CH4/DAC0_OUT0/OPAMP_OUT0/EBI_A26#0,1,2/I2C1_SDA#0/LES_CH4/LETTIM0_OUT0#3/PCNT1_S0IN#0/TIM0_COTI2#4/US2_CLK#0
UART_GST/RI	56	PC5/ACHP0_CH5/DAC0_OUT0/OPAMP_OUT0/EBI_A27#0,1,2/I2C1_SCL#0/LES_CH5/LETTIM0_OUT1#3/PCNT1_S1IN#0/US2_CS#0
UART_ZIGBEE_CTS	68	PC6/ACHP0_CH6/EBI_A05#0,1,2/ETM_T0#3/US0_SDA#2/LES_CH6/LEU1_TX#0
UART_ZIGBEE_RTS	69	PC7/ACHP0_CH7/EBI_A06#0,1,2/ETM_T0#2/I2C0_SCL#2/LES_CH7/LEU1_RX#0
UART_ZIGBEE_RX	70	PC8/ACHP0_CH8/DAC0_OUT0/OPAMP_OUT0/OPAMP_OUT0#2/US0_CS#2
UART_ZIGBEE_TX	71	PC9/ACHP0_CH9/EBI_A15#0,1,2/LES_CH8/TIM2_CC0#2/US0_CLK#2
	72	PC10/ACMP1_CH2/EBI_A10#1,2/LES_CH9/TIM2_CC1#2/US0_RX#2
	73	PC11/ACMP1_CH3/EBI_A11#1,2/LES_CH10/EM4HU2/LES_CH9/TIM2_CC2#2/US0_RX#2
	74	PC12/ACMP1_CH4/CMU_CLK#0,1,2/LES_CH11/US0_TX#2
	75	PC13/ACMP1_CH5/DAC0_OUT1/TOPAMP_OUT1/TOPAMP_OUT1#1/DAC0_OUT1#2/OPAMP_OUT1#1/TIM1_CC0#0/TIM1_CC2#4/U1_RX#0
USB_PRESENCE	75	PC14/ACMP1_CH6/DAC0_OUT1#1/TOPAMP_OUT1#1/TOPAMP_OUT1#2/LES_CH13/PCNT0_S0IN#0/TIM0_COTI1#1,3/TIM1_CC1#0/U0_TX#3/US0_CS#3
		PC15/ACMP1_CH7/DAC0_OUT1#1/TOPAMP_OUT1#1/TOPAMP_OUT1#2/LES_CH14/PCNT0_S1IN#0/TIM0_COTI1#1,3/TIM1_CC1#0/U0_TX#3/US0_CS#3
		PC15/ACMP1_CH7/DAC0_OUT1#1/TOPAMP_OUT1#1/TOPAMP_OUT1#2/LES_CH15/TIM0_COTI2#1,3/TIM1_CC2#0/U0_RX#3/US0_CLK#3

EFM32C

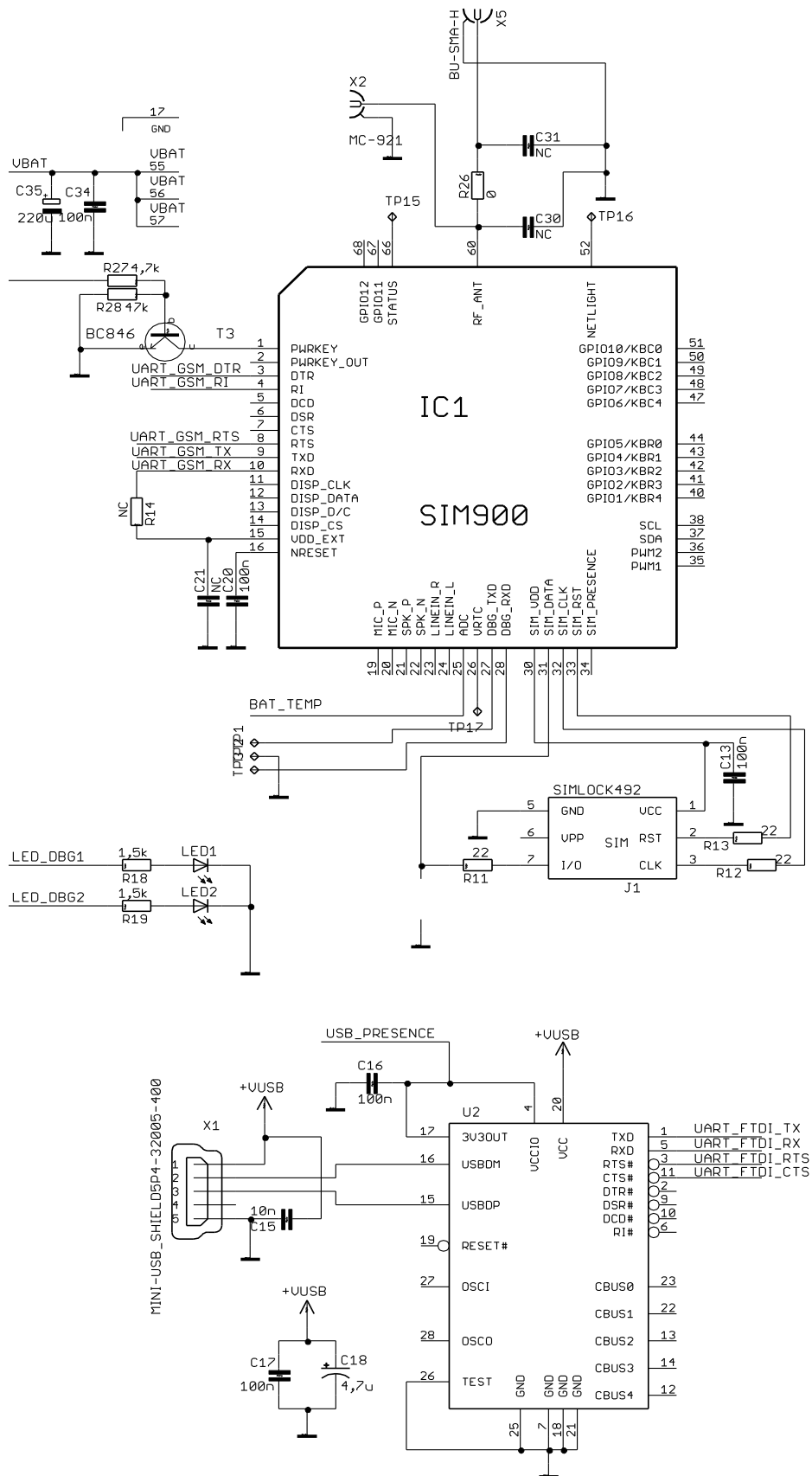
Obr. 5-2 Schéma zapojenia EFM32LG880F256 mikrokontroléru (časť 1.)

EFM32LG880F256	
16	PD0/ADC0_CH0/DAC0_OUT0ALT/OPAMP_OUT0ALT#4/DAC0_OUT2/OPAMP_OUT2#1/PCNT2_S0IN#0/US1_TX#1
47	PD1/ADC0_CH1/DAC0_OUT1ALT/OPAMP_OUT1ALT#4/DBG_S0M#2/PCNT2_S1IN#0/TIM0_CC0#3/US1_RX#1
48	PD2/ADC0_CH2/DBG_S0M#3/EBI_A27#0,1,2/TIM0_CCI#3/US1_CLK#1
49	PD3/ADC0_CH3/DAC0_N2/OPAMP_N2/ETM_T01#0,2/TIM0_CC2#3/US1_CS#1
50	PD4/ADC0_CH4/DAC0_P2/ETM_T02#0,2/LEU0_TX#0
51	PD5/ADC0_CH5/DAC0_OUT2/OPAMP_OUT2#0/ETM_T03#0,2/LEU0_RX#0
52	PD6/ACMP0_OH2/ADC0_CH6/DAC0_P1/OPAMP_P1/ETM_T00#0/12C0_SDA#1/LES_ALTEX0/LETIM0_OUT0#0/PCNT0_S0IN#3/TIM1_CC0#4/US1_RX#2
53	PD7/ACMP1_OH2/ADC0_CH7/CMU_CLK#0#2/DAC0_N1/OPAMP_N1/ETM_TCLK#0/12C0_SCL#1/LES_ALTEX1/LETIM0_OUT1#0/PCNT0_S1IN#3/TIM1_CC1#4/US1_TX#3
54	PD8/BU_VIN/CMU_CLK#1#1
88	PD9/EBI_CS0#0,1,2/LCD_SEG28
89	PD10/EBI_CS1#0,1,2/LCD_SEG29
90	PD11/EBI_CS2#0,1,2/LCD_SEG30
91	PD12/EBI_CS3#0,1,2/LCD_SEG31
EFR320	

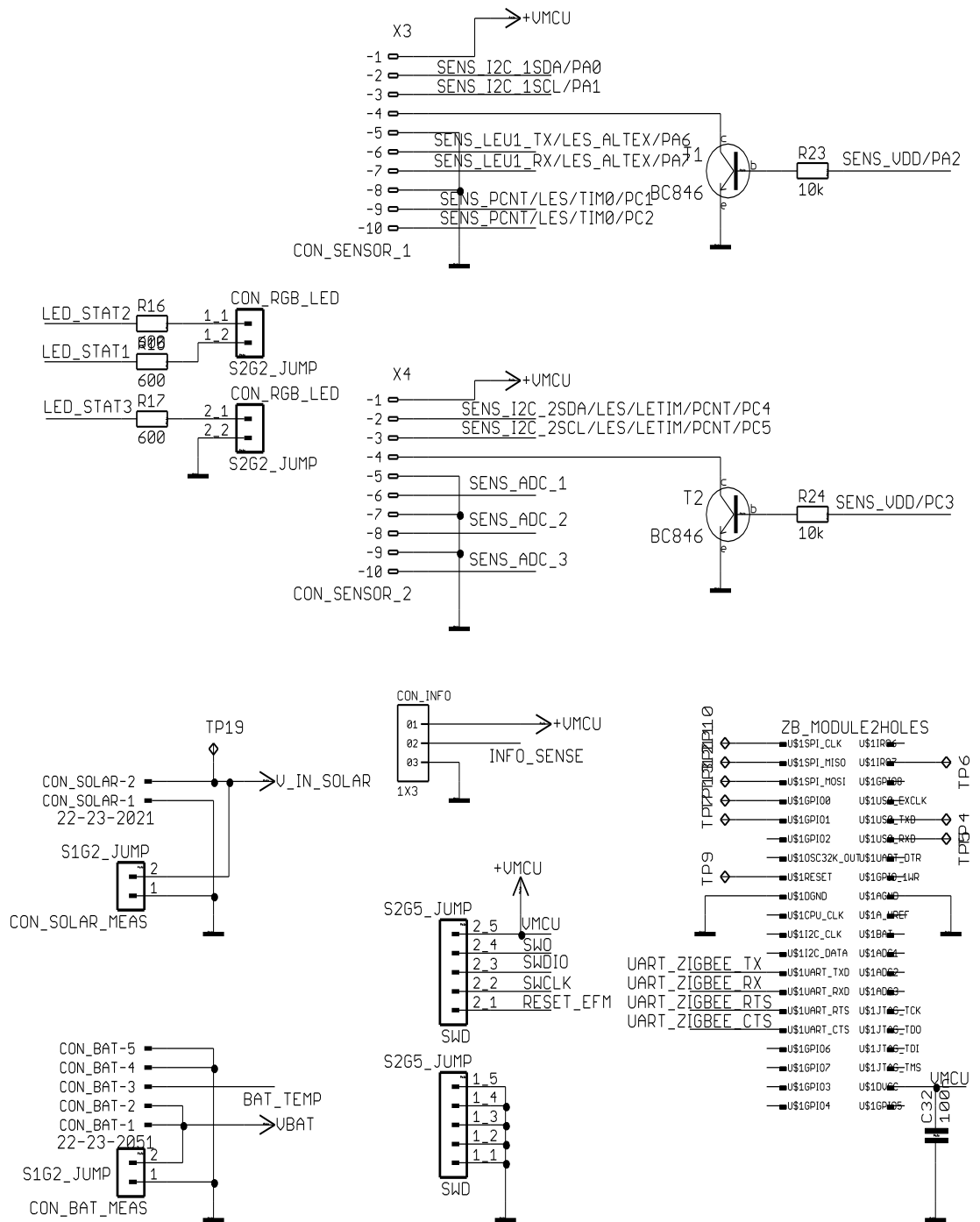
EFM32LG880F256	
60	PE0/EBI_A07#0,1,2/12C1_SDA#2/PCNT0_S0IN#1/TIM3_CC0#1/U0_TX#1
61	PE1/EBI_A08#0,1,2/12C1_SCL#2/PCNT0_S1IN#1/TIM3_CC1#1/U0_RX#1
62	PE2/ACMP0_OH1/BU_VOUT/EBI_A09#0/TIM3_CC2#1/U1_TX#3
63	PE3/ACMP1_OH1/BU_STAT/EBI_A10#0/U1_RX#3
64	PE4/EBI_A11#0,1,2/LCD_COM0/US0_CS#1
65	PE5/EBI_A12#0,1,2/LCD_COM1/US0_CLK#1
66	PE6/EBI_A13#0,1,2/LCD_COM2/US0_RX#1
67	PE7/EBI_A14#0,1,2/LCD_COM3/US0_TX#1
68	PE8/EBI_AD00#0,1,2/LCD_SEG4/PCNT2_S0IN#1/PRS_CH3#1
69	PE9/EBI_AD01#0,1,2/LCD_SEG5/PCNT2_S1IN#1
70	PE10/EBI_AD02#0,1,2/LCD_SEG6/TIM1_CC0#1/US0_TX#0
71	PE11/EBI_AD03#0,1,2/LCD_SEG7/LES_ALTEX5/TIM1_CC1#1/US0_RX#0
72	PE12/CMU_CLK1#2/EBI_AD04#0,1,2/12C0_SDA#6/LCD_SEG8/LES_ALTEX6/TIM1_CC2#1/US0_CLK#0/US0_RX#3
73	PE13/ACMP0_OH0/EBI_AD05#0,1,2/GPIO_EM4HU5/12C0_SCL#6/LCD_SEG9/LES_ALTEX7/US0_CS#0/US0_TX#3
74	PE14/EBI_AD06#0,1,2/LCD_SEG10/LEU0_TX#2/TIM3_CC0#0
75	PE15/EBI_AD07#0,1,2/LCD_SEG11/LEU0_RX#2/TIM3_CC1#0
EFR32E	

EFM32LG880F256	
76	SHCLK
77	SHDIO
78	SHO
79	PF3/EBI_ALE#0/ETM_T03#1/LCD_SEG1/PRS_CH0#1/TIM0_COTI0#2,5
80	PF4/EBI_WEN#0,2/LCD_SEG2/PRS_CH1#1/TIM0_COTI1#2,5
81	PF5/EBI_REN#0,2/LCD_SEG3/PRS_CH2#1/TIM0_COTI2#2,5
84	PF6/EBI_BL0#0,1,2/LCD_SEG24/TIM0_CC0#2/U0_TX#0
85	PF7/EBI_BL1#0,1,2/LCD_SEG25/TIM0_CC1#2/U0_RX#0
86	PF8/EBI_WEN#1/ETM_TCLK#1/LCD_SEG26/TIM0_CC2#2
87	PF9/EBI_REN#1/ETM_TDO#1/LCD_SEG27
EFR32F	

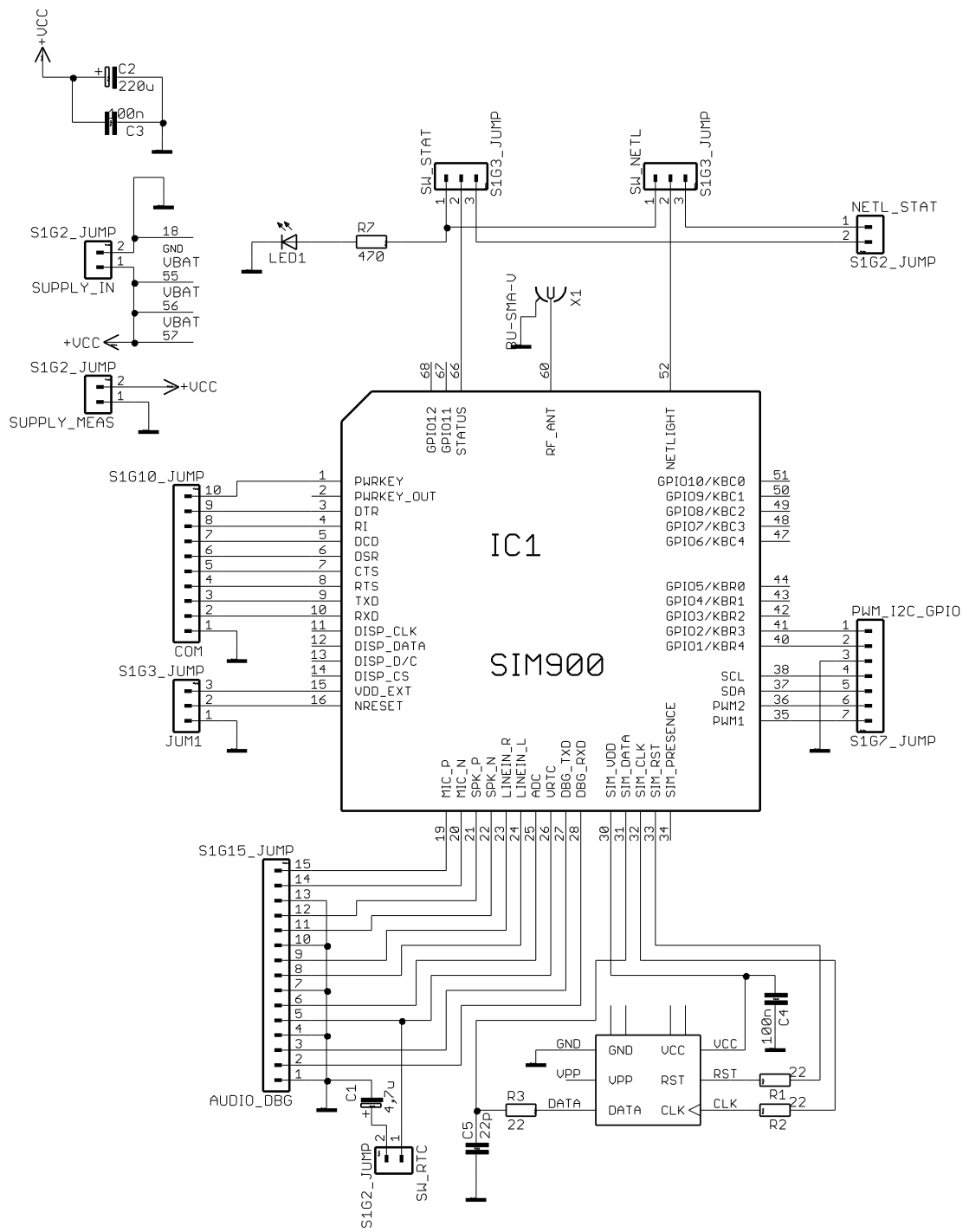
Obr. 5-3 Schéma zapojenia EFM32LG880F256 mikrokontroléru (časť 2.)



Obr. 5-4 Schéma zapojenia SIM900 (horný časť) a FTDI (dolný časť)

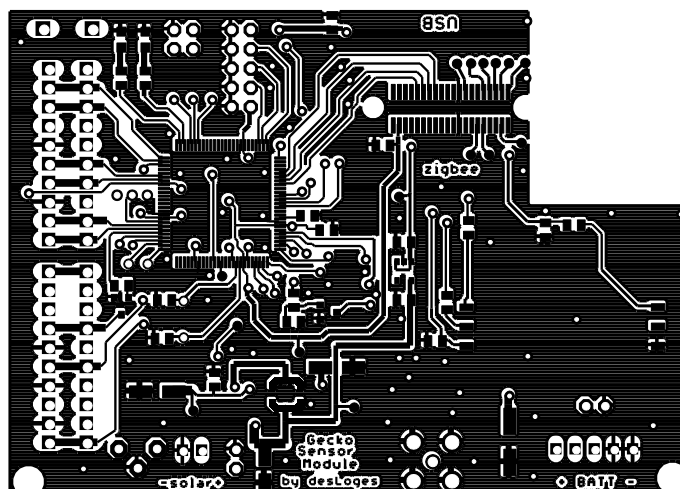


Obr. 5-5 Schéma zapojenia konektorov

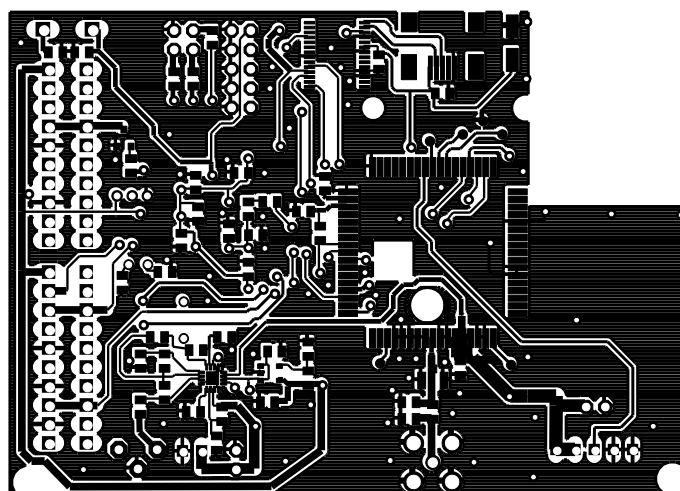


Obr. 5-6 Schéma zapojenia SIM900 vývojovej dosky

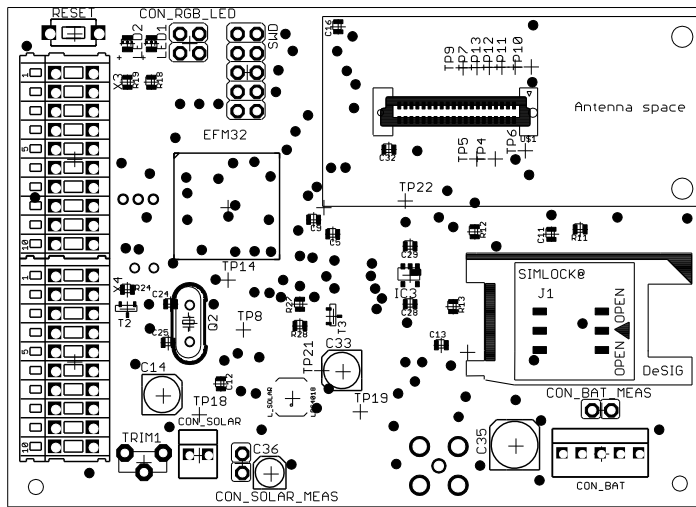
A.2 Dosky plošných spojov – PCB



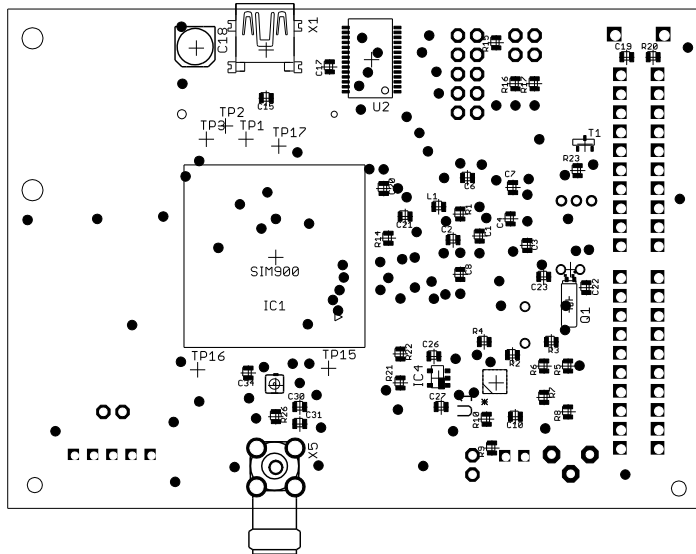
Obr. 5-7 DPS - nízkoenergetický modul, strana: TOP, 92 x 66 mm, M 1:1



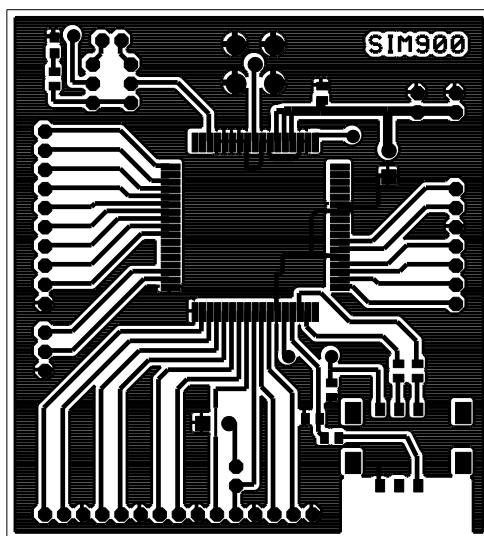
Obr. 5-8 DPS - nízkoenergetický modul, strana: BOTTOM, 92 x 66 mm,
M 1:1



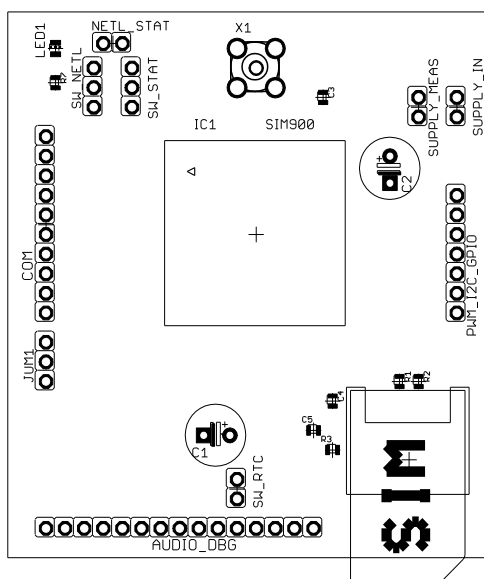
Obr. 5-9 Osadzovací plán DPS - nízkoenergetický modul, strana: TOP



Obr. 5-10 Osadzovací plán DPS - nízkoenergetický modul, strana: BOTTOM



Obr. 5-11 DPS - SIM900 modul, strana: TOP, 71 x 64 mm, M 1:1



Obr. 5-12 Osadzovací plán DPS - SIM900 modul, strana: BOTTOM

B VÝPOČET HODNÔT ODPOROV PRE BQ25504

Tab. 5-1 Výpočet hodnôt odporov pre nastavenie prepätia a hysterézy stavu „battery good“

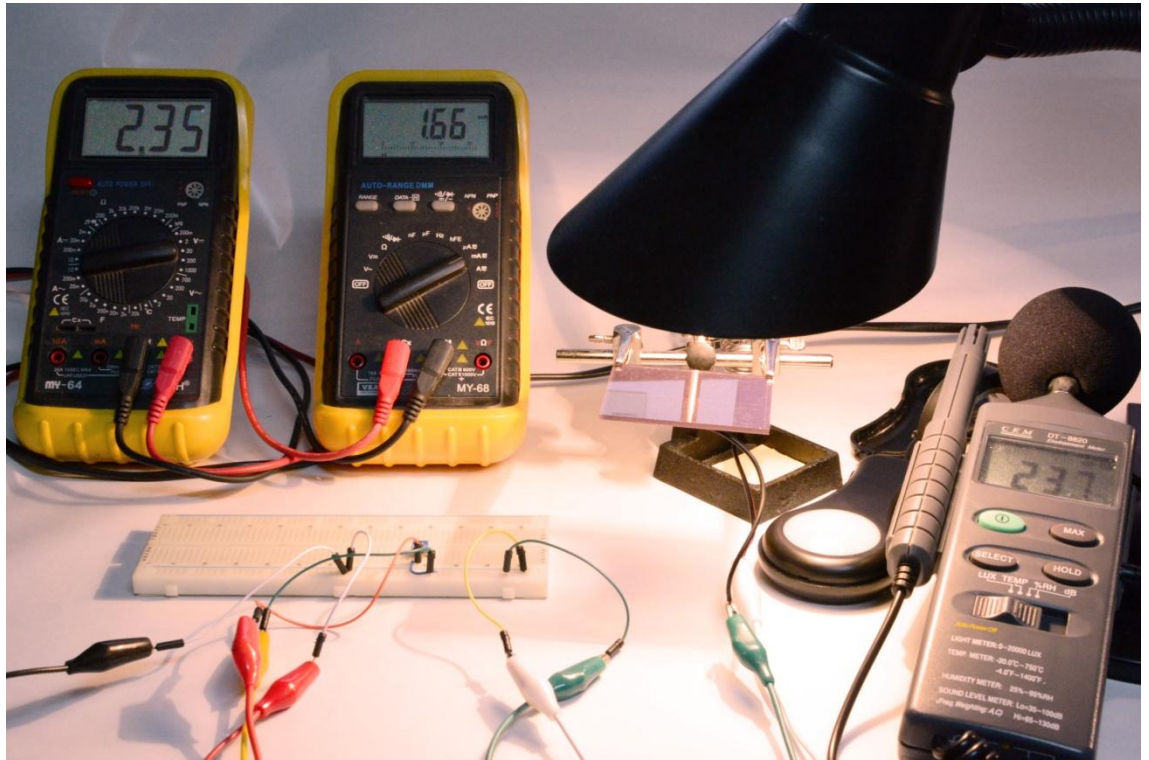
User Input	VBIAS	1,25 V							
Fixed									
	Comparator threshold for VSTOR maximum. Typically the max storage element voltage, e.g. 4.2V for Lilon battery					Comparator threshold voltages indicating when VSTOR has risen above VBAT_OK_HYS or fallen below VBAT_OK			
	$2.5V \leq VBAT_OV \leq 5.25V$					$VBAT_OV \geq VBAT_OK_HYS \geq VBAT_UV$			
Desired						RSUM ¹	10 Mohm		
Desired	RSUM ¹	10 Mohm				VBAT_OK	3,8 V	>	VBAT_UV
Desired	VBAT_OV	4,2 V				VBAT_OK_HYST	4,1 V	>	VBAT_OK
									closest 1% resistor ¹
							Exact	<	>
Computed						ROK1	3,049	3,010	3,090 Mohm
Computed	ROV1	4,464	4,420	4,530 Mohm		ROK2	6,220	6,190	6,340 Mohm
Computed	ROV2	5,536	5,490	5,620 Mohm		ROK3	0,732	0,715	0,732 Mohm
Computed	VBAT_OV					VBAT_OK			
Computed						VBAT_OK_HYST			
Selected	ROV1	4,6 Mohm				ROK1	3,3 Mohm		
Selected	ROV2	5,6 Mohm				ROK2	6,2 Mohm		
Selected						ROK3	1,3 Mohm		
Typ voltage	VBAT_OV(typ)	4,158 V		-1,02 % diff		VBAT_OK (typ)	3,598 V		-5,60 % diff
Typ voltage						VBAT_OK_HYST (typ)	4,091 V		-0,22 % diff

Tab. 5-2 Výpočet hodnôt odporov pre nastavenie podpätia baterky a pre MPP

User Input	VBIAS	1,25 V							
Fixed									
	Comparator threshold for VSTOR minimum. Typically the min storage element voltage, e.g. 2.5V for Lilon battery					Maximum power point threshold, e.g. ~0.7-0.8 of solar panel's open circuit voltage			
	$2.2V \leq VBAT_UV \leq VBAT_OV$					MPPT			
Desired						RSUM ¹	20 Mohm		
Desired	RSUM ¹	10 Mohm				VIN_DC(OC)	3,2 V		Open Circuit Volts
Desired	VBAT_UV	3,5 V				VREF_SAMP	0,8 V		MPP voltage
									closest 1% resistor ¹
							Exact	<	>
Computed						ROC1	5,000	4,990	5,110 Mohm
Computed	RUV1	3,571	3,570	3,650 Mohm		+10MEG ²	0,000	0,000	0,000 Mohm
Computed	RUV2	6,429	6,340	6,490 Mohm		ROC2	5,000	4,990	5,110 Mohm
Computed	VBAT_UV					+10MEG ²	10,000	10,000	10,000 Mohm
Computed						VREF_SAMP			
Selected	RUV1	3,5 Mohm				ROC1	10 Mohm		
Selected	RUV2	6,2 Mohm				+10MEG ²	0,000 Mohm		
Selected						ROC2	5,6 Mohm		
						+10MEG ²	10,000 Mohm		
Typ voltage	VBAT_UV(typ)	3,464 V		-1,03 % diff					
Typ voltage						VREF_SAMP	1,250 V		36,00 % diff

C FOTOGRAFIE

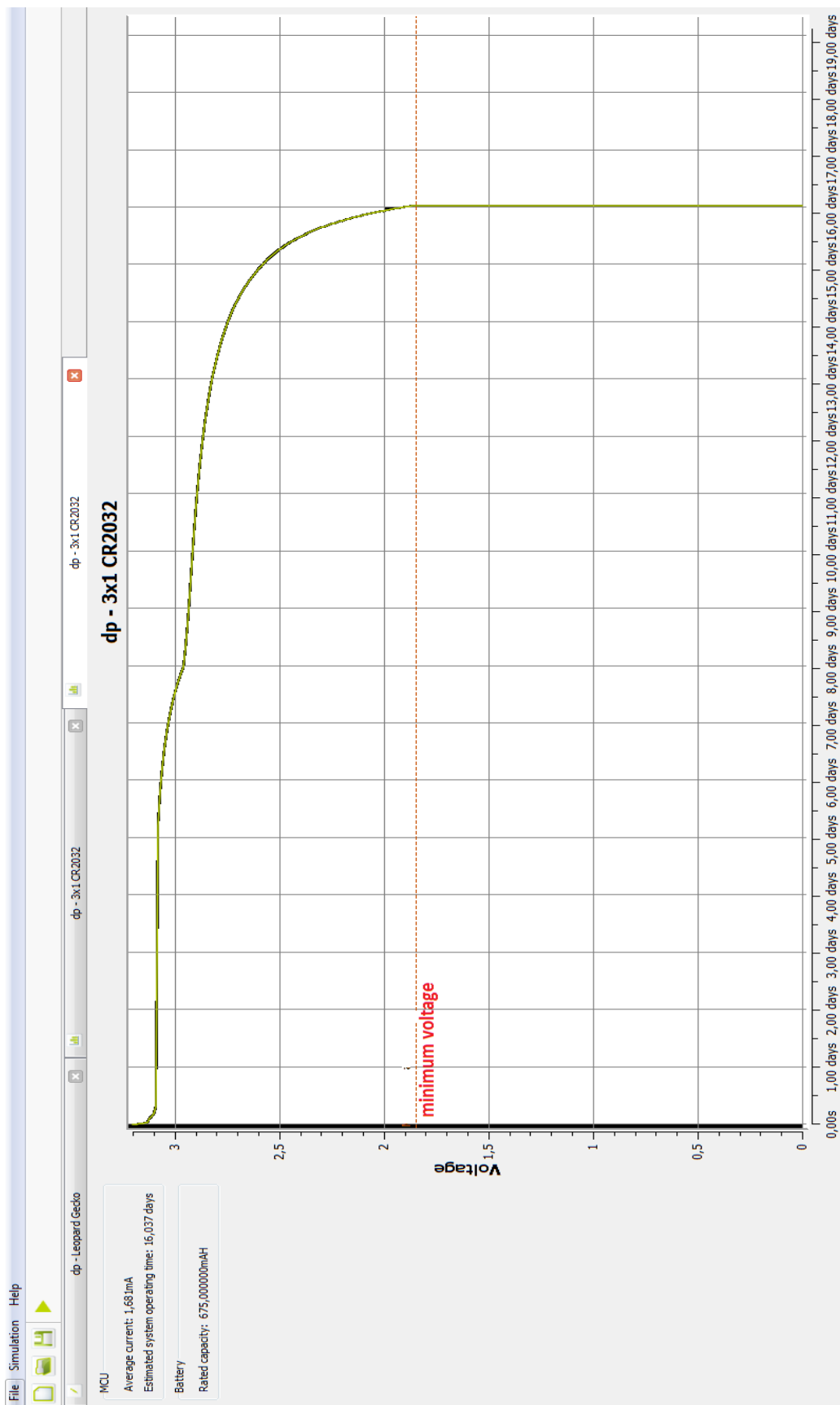
C.1 Fotografie merania



Obr. 5-13 Meranie solárneho panelu č. 2 uvedené v Tab. 3-5

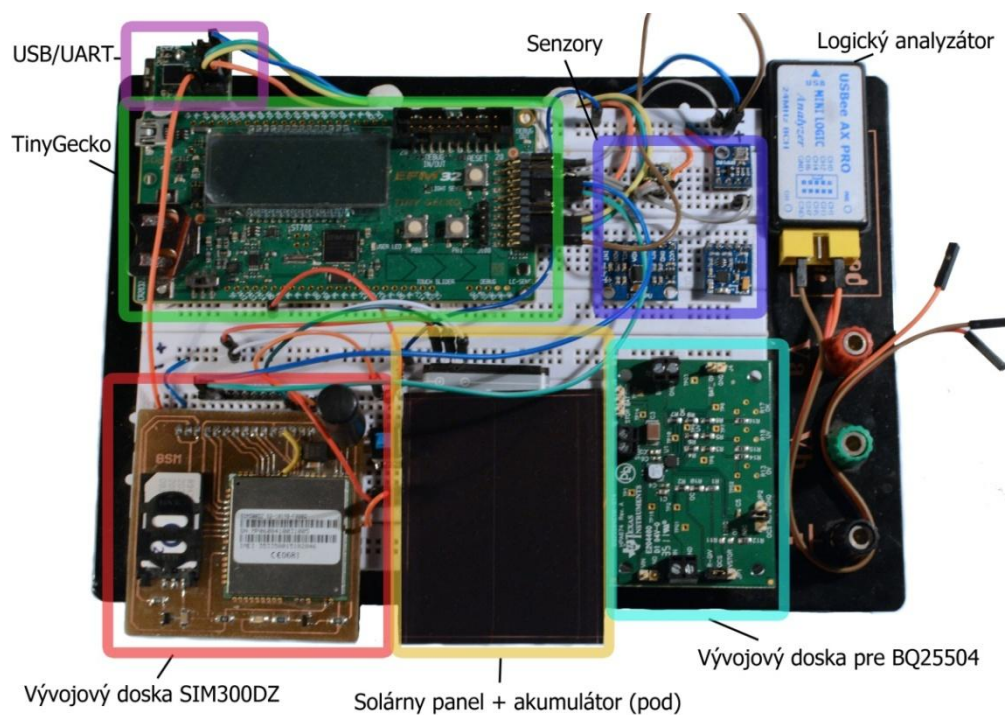


Obr. 5-14 Zachytávanie rámcov medzi MCU a SIM900 počas komunikácie s webserverom cez GPRS

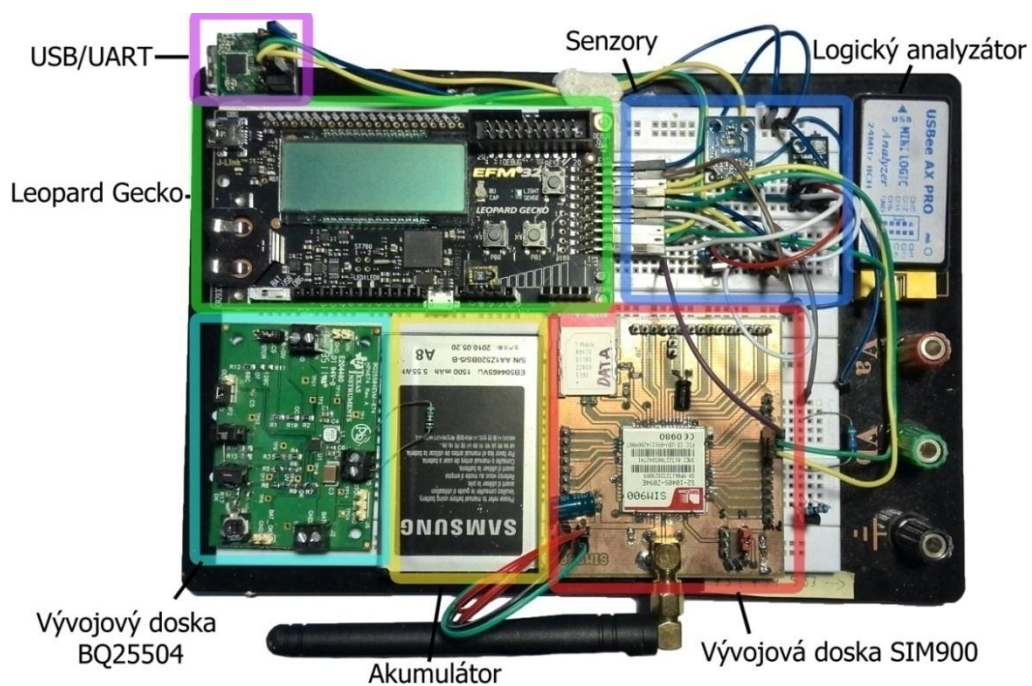


Obr. 5-15 Simulácia výdrži akumulátora pomocou softvéru eBattery

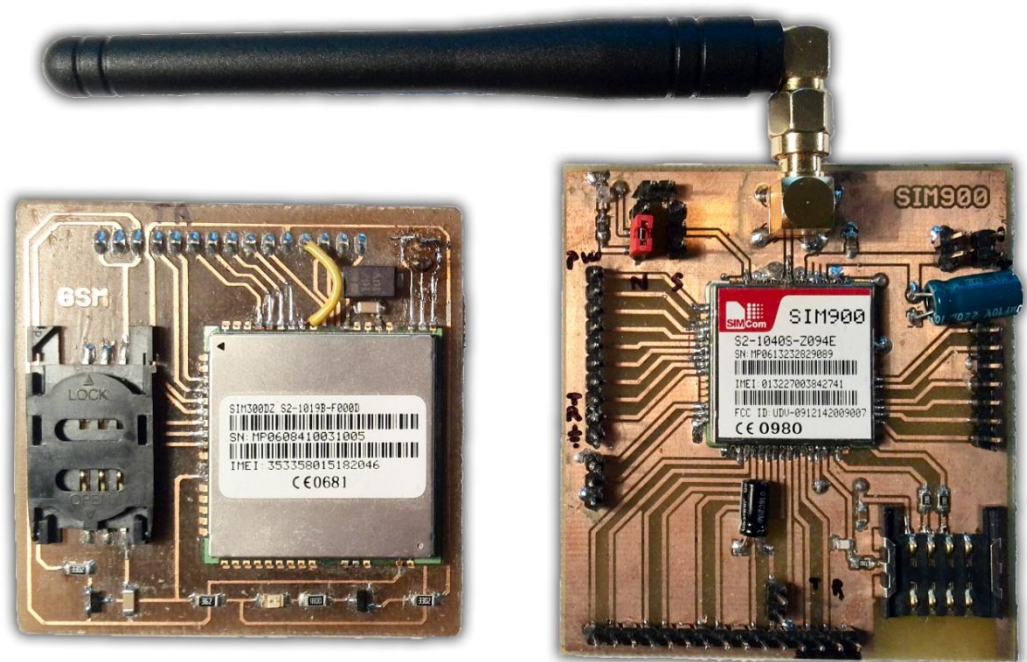
C.2 Fotografie prístrojov



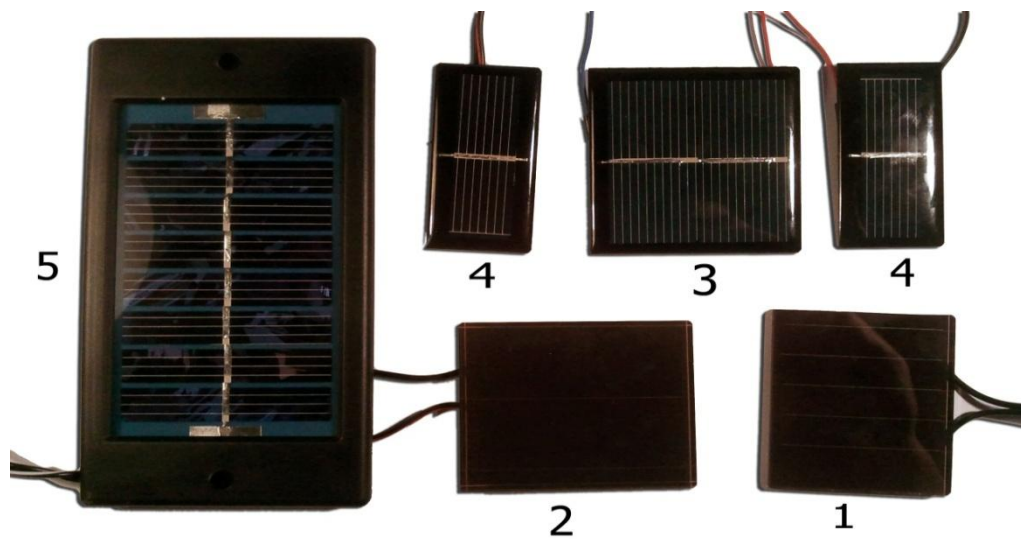
Obr. 5-16 Vytvorená vývojová doska s Tiny Gecko



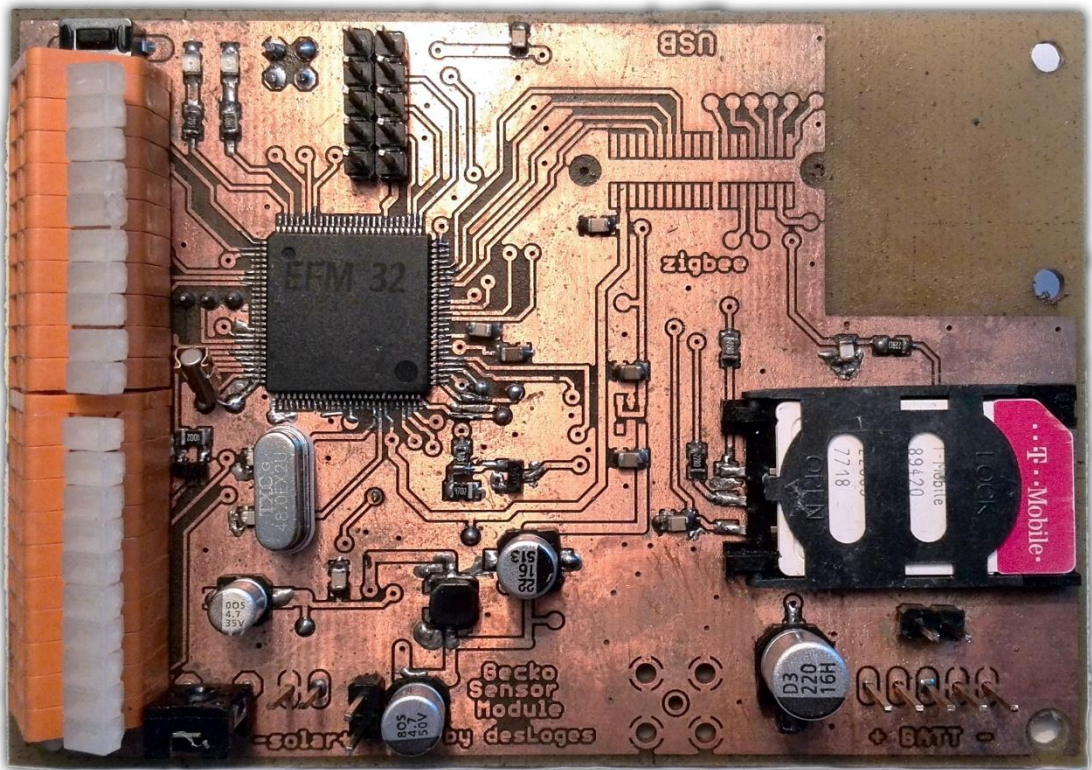
Obr. 5-17 Vytvorená vývojová doska s Leopard Gecko



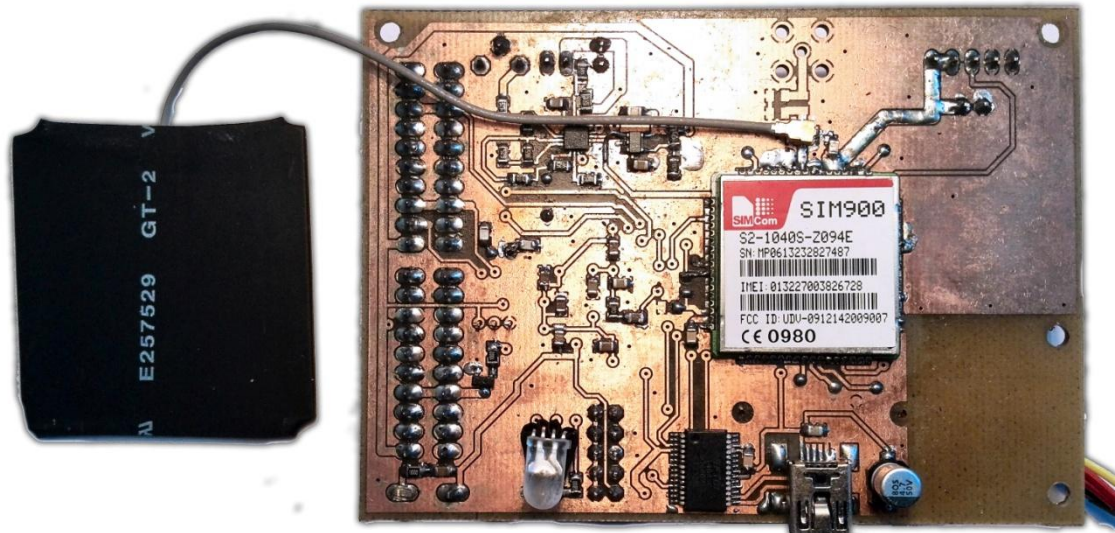
Obr. 5-18 GSM/GPRS moduly: SIM300DZ a SIM900



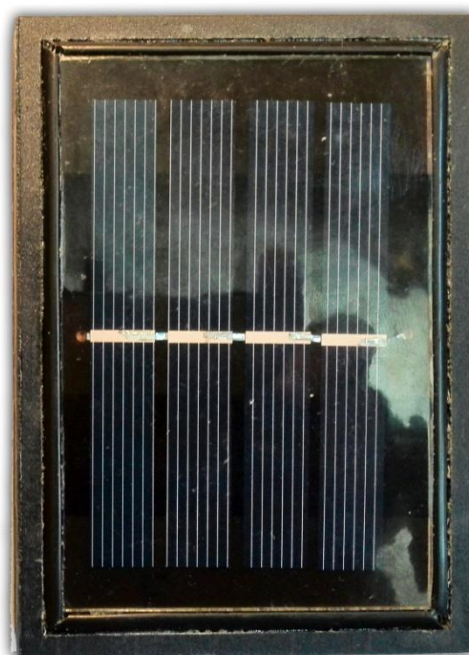
Obr. 5-19 Vyskúšané solárne panely



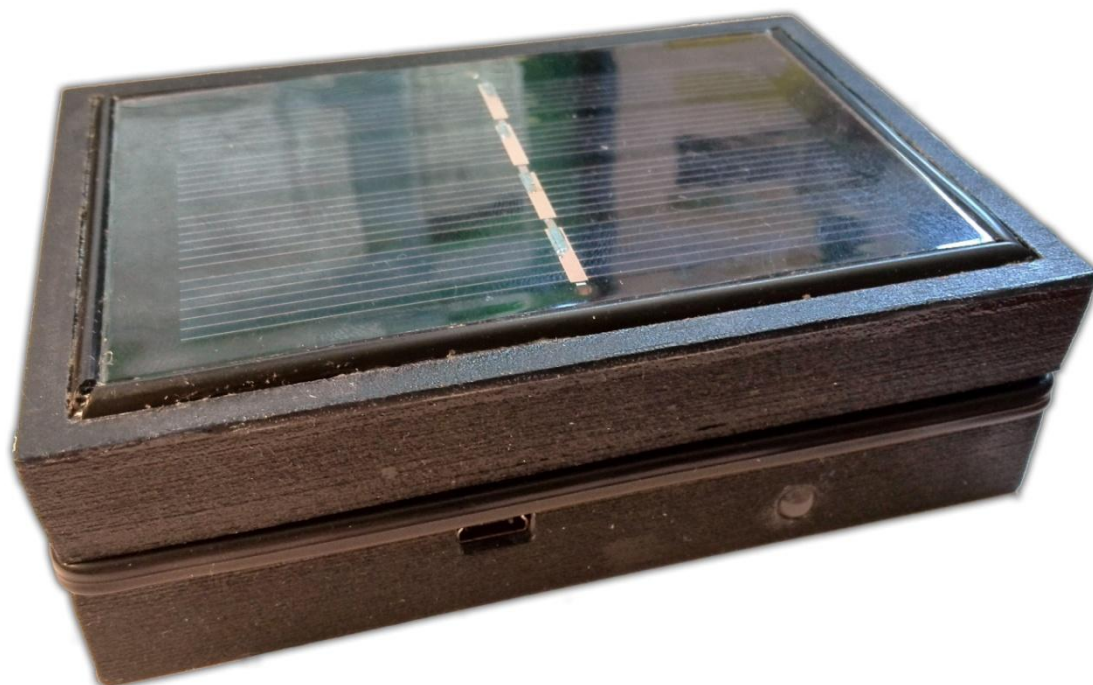
Obr. 5-20 Fotografia hotovej dosky z hornej strany



Obr. 5-21 Fotografia hotovej dosky zo spodnej strany



Obr. 5-22 Hotový nízkoenergetický senzorový modul - otvorený



Obr. 5-23 Hotový nízkoenergetický senzorový modul - zatvorený

D ZOZNAM SÚČIASTOK

D.1 Zoznam súčiastok pre nízkoenergetický modul

Part	Value	Device
C1	10n	C-KERAMIK_SMD_0805
C2	10n	C-KERAMIK_SMD_0805
C3	100n	C-KERAMIK_SMD_0805
C4	100n	C-KERAMIK_SMD_0805
C5	100n	C-KERAMIK_SMD_0805
C6	100n	C-KERAMIK_SMD_0805
C7	100n	C-KERAMIK_SMD_0805
C8	10u	C-KERAMIK_SMD_0805
C9	1u	C-KERAMIK_SMD_0805
C10	0.01uF	C-KERAMIK_SMD_0805
C11	22p	C-KERAMIK_SMD_0805
C12	0.1uF	C-KERAMIK_SMD_0805
C13	100n	C-KERAMIK_SMD_0805
C14	4,7u	CPOL-US153CLV-0505
C15	10n	C-KERAMIK_SMD_0805
C16	100n	C-KERAMIK_SMD_0805
C17	100n	C-KERAMIK_SMD_0805
C18	4,7u	CPOL-US153CLV-0505
C19	100n	C-KERAMIK_SMD_0805
C20	100n	C-KERAMIK_SMD_0805
C21	NC	C-KERAMIK_SMD_0805
C22	18p	C-KERAMIK_SMD_0805
C23	18p	C-KERAMIK_SMD_0805
C24	7,5p	C-KERAMIK_SMD_0805
C25	7,5p	C-KERAMIK_SMD_0805
C26	1uF	C-KERAMIK_SMD_0805
C27	1uF	C-KERAMIK_SMD_0805
C28	1uF	C-KERAMIK_SMD_0805
C29	1uF	C-KERAMIK_SMD_0805
C30	NC	C-KERAMIK_SMD_0805
C31	NC	C-KERAMIK_SMD_0805
C32	100n	C-KERAMIK_SMD_0805
C33	22u	CPOL-US153CLV-0505
C34	100n	C-KERAMIK_SMD_0805
C35	220u	CPOL-EU153CLV-0605
C36	4,7u	CPOL-EU153CLV-0405
CON_BAT	22-23-2051	2.54mm Center Header - 5 Pin
CON_BAT_MEAS	S1G2_JUMP	connector 2x pin

Part	Value	Device
CON_RGB_LED	S2G2_JUMP	connector
CON_SOLAR	22-23-2021	2.54mm Center Header 2 Pin
EFM32	EFM32LG880F256	Leopard MCU, 14x14mm QFP100
IC1	SIM900	SIM900
IC3	TLV702XXDDC	350mA, LDO Reg. Low-Power
IC4	TPS781XDDC	150mA, LDO Reg. Ultralow-Power, IQ 1µA
J1	SIMLOCK492	SIMLOCK492
L1	0R5 2A	R_SMD_0805
LED1	Yellow	LEDCHIP-LED0805
LED2	Yellow	LEDCHIP-LED0805
L_SOLAR	LPS4018	Shielded SMT power inductor
Q1	32,768kHz	CRYSTAL TC26H
Q2	48MHz	CRYSTAL HC49S
R1	1	R_SMD_0805
R2	6,220M	R_SMD_0805
R3	0,723M	R_SMD_0805
R4	3,049M	R_SMD_0805
R5	3,571M	R_SMD_0805
R6	6,429M	R_SMD_0805
R7	5,536M	R_SMD_0805
R8	4,464M	R_SMD_0805
R9	5M	R_SMD_0805
R10	5M	R_SMD_0805
R11	22	R_SMD_0805
R12	22	R_SMD_0805
R13	22	R_SMD_0805
R14	NC	R_SMD_0805
R15	600	R_SMD_0805
R16	600	R_SMD_0805
R17	600	R_SMD_0805
R18	1,5k	R_SMD_0805
R19	1,5k	R_SMD_0805
R20	100	R_SMD_0805
R21	1,4M	R_SMD_0805
R22	1M	R_SMD_0805
R23	10k	R_SMD_0805
R24	10k	R_SMD_0805
R26	0	R_SMD_0805
R27	4,7k	R_SMD_0805
R28	47k	R_SMD_0805
RESET	DTS-3	u-switch
SWD	S2G5_JUMP	pinlist
T1	BC846	BC846

Part	Value	Device
T3	BC846	BC846
TP2	TPB1,27	Test pad
TP3	TPB1,27	Test pad
TP4	TPB1,27	Test pad
TP5	TPB1,27	Test pad
TP6	TPB1,27	Test pad
TP7	TPB1,27	Test pad
TP8	TPB1,27	Test pad
TP9	TPB1,27	Test pad
TP10	TPB1,27	Test pad
TP11	TPB1,27	Test pad
TP12	TPB1,27	Test pad
TP13	TPB1,27	Test pad
TP14	TPB1,27	Test pad
TP15	TPB1,27	Test pad
TP16	TPB1,27	Test pad
TP17	TPB1,27	Test pad
TP18	TPB1,27	Test pad
TP19	TPB1,27	Test pad
TP21	TPB1,27	Test pad
TP22	TPB1,27	Test pad
TRIM1	1M	Trimr PT6 - 6,3mm
U\$1	ZB_MODULE2HOLES	ZB_MODULE2HOLES
U1	BQ25504RGTT	QFN50P300X300X100-17N
U2	FT232R	SSOP28DB
X1	MINI-USB_SHIELD5P4-32005-400	MINI-USB_SHIELD5P4-32005-400
X2	MC-921	COAX. CONNECTOR diam 2.1
X3	CON_SENSOR_1	Cage Clamp
X4	CON_SENSOR_2	Cage Clamp
X5	BU-SMA-H	FEMALE SMA CONNECTOR

D.2 Zoznam súčiastok pre vývojový modul SIM900

Part	Value	Device
AUDIO_DBG	S1G15_JUMP	connector 2.54mm x15
C1	4,7u	C-ELEKTROLYT_3,5
C2	220u	C-ELEKTROLYT_3,5
C3	100n	C-KERAMIK_SMD_0805
C4	100n	C-KERAMIK_SMD_0805
C5	22p	C-KERAMIK_SMD_0805
COM	S1G10_JUMP	connector 2.54mm x10
IC1	SIM900	GSM/GPRS Module
JUM1	S1G3_JUMP	connector 2.54mm x3

Part	Value	Device
LED	Green	LEDCHIP-LED0805
NETL_STAT	S1G2_JUMP	connector 2.54mm x2
PWM_I2C_GPIO	S1G7_JUMP	connector 2.54mm x7
R1	22	R_SMD_0805
R2	22	R_SMD_0805
R3	22	R_SMD_0805
R7	470	R_SMD_0805
SUPPLY_IN	S1G2_JUMP	connector 2.54mm x2
SUPPLY_MEAS	S1G2_JUMP	connector 2.54mm x2
SW_NETL	S1G3_JUMP	connector 2.54mm x3
SW_RTC	S1G2_JUMP	connector 2.54mm x2
SW_STAT	S1G3_JUMP	connector 2.54mm x3
U\$1	SCU-W0822XR-06	SCU-W0822XR-06
X1	BU-SMA-V	BU-SMA-V

E OBSAH PRILOŽENÉHO CD

- Diplomová práca v elektronickej forme
- Návrh nízkoenergetického GSM/GPRS modulu a jej komponenty v programe Eagle 6.5.0
- Softvér nízkoenergetického GSM/GPRS modulu písaný v jazyku C, v programe Eclipse Indigo
- Preložený .hex súbor - programovateľné do ARM mikrokontroléru
- GUI softvér na riadenie nízkoenergetického GSM/GPRS modulu pomocou PC, písaný v jazyku C#, v programe Microsoft Visual Studio 2012
- Preložený .exe súbor – riadiaci softvér nízkoenergetického GSM/GPRS modulu pre PC (x86)
- Webová stránka a potrebné SQL konfiguračné súbory pre databázu
- Návrh na 3D vytlačenie puzdra.
- Technická dokumentácia použitých súčiastok