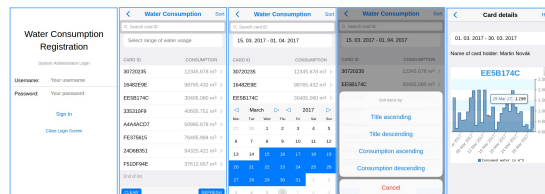
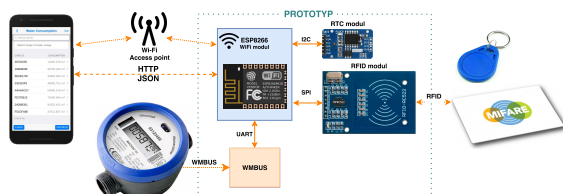


Vstavaný systém pre evidenciu spotreby vody

Tomáš Hajdík*



Abstrakt

Bakalárska práca sa zaoberá problematikou evidencie stavu bezdrôtových vodomeroch. Cieľom je návrh a implementácia funkčného prototypu vstavaného systému na báze Wi-Fi modulu ESP8266, ktorý je schopný evidovať množstvo spotrebovanej vody u jednotlivých užívateľov prostredníctvom bezdrôtového odpočtu stavu vodomera. Užívatelia majú možnosť identifikácie bezkontaktnou RFID kartou. Vstavaný systém zabezpečuje svoju dostupnosť a sprístupňuje dáta administrátorovi pomocou siete Wi-Fi. Správca interaguje so systémom pomocou mobilného telefónu a aplikácie bežiackej na module ESP8266. Práca zahŕňa návrh hardwarovej konštrukcie a taktiež implementácie softwaru pomocou jazyka C++. Výsledkom je funkčný prototyp systému, ktorý prináša nové možnosti do oblasti bezdrôtového odpočtu vodomeroch, nakoľko nevyžaduje cenovo ťažko dostupné a vysoko špecializované prístroje pre evidenciu spotreby, ale je prístupný z mobilného telefónu a tým rozširuje trh aj pre bežných spotrebiteľov.

Kľúčové slová: Evidencia spotreby vody — Vstavaný systém — ESP8266 — Wi-Fi modul — RFID — Webový server — Bezdrôtový vodomera — RTC — DS3231 — WMBUS — Framework 7

Priložené materiály: [Stiahnuteľný kód](#) — [Demonštračné obrázky](#)

*xhajdi01@stud.fit.vutbr.cz, Faculty of Information Technology, Brno University of Technology

1. Úvod

V súčasnosti nás obklopujú mnohé komplexné systémové celky, ktoré si vyžadujú presné riadenie, no zároveň od nich ľudia vyžadujú čo najväčšiu mieru jednoduchosti z pohľadu používania a ovládania. Takéto rozhranie zabezpečujú vstavané systémy, ktoré sú ako jednoúčelový prvok často vyrábané sériovo a sú úplne zabudované do konkrétneho zariadenia. Správny vstavaný systém je ten, ktorý používateľ ani nevníma a netuší, že s ním pracuje. Tak ľudom uľahčuje inak zložitú činnosť a zároveň šetrí ich drahocenný čas. Preto však vznikajú nároky na to, aby bol ľahko ovládateľný a intuitívny.

Prístroje používané pre bezdrôtovú evidenciu stavu vodomeroch sú veľmi nákladné. Využívajú ich najčastejšie iba priamo vodárenské spoločnosti pre zjedno-

dušenie činnosti odpočtu, či už v neprítomnosti klienta alebo z dôvodu obmedzeného prístupu priamo k meradlu.

Hlavným cieľom tejto práce je navrhnúť a implementovať prototyp vstavaného zariadenia a proces internej evidencie tak sprístupniť širokej verejnosti od správcov budov, ubytovacích zariadení, firemných priestorov až po poskytovateľov privátneho ubytovania či majiteľov inteligentných domácností. Tí tak budú môcť riešiť internú evidenciu vo vlastnej réžii s minimálnymi investičnými nákladmi a nákladmi spojenými s prevádzkou celého systému.

Evidenčný systém je schopný bezdrôtovo komunikovať s vodomeraom a zaznamenávať spotrebované hodnoty. Globálna použiteľnosť si vyžaduje viacero užívateľov, čím však vzniká potreba ich jednoznačnej

identifikácie. To je dôvodom využitia RFID terminálu.

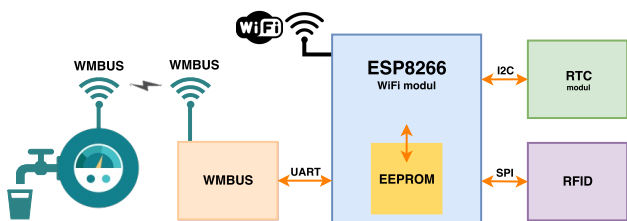
Správca systému tak bude mať možnosť jednoduchšej evidencie spotreby všetkých ľudí v systéme. Zvolený modul 32-bitový ESP8266 obsahuje Wi-Fi transceiver a zároveň je ľahko dostupný na súčasnom trhu. Tým sa stáva z neho vhodná platforma slúžiaca ako jadro celej aplikácie a zároveň umožňujúca jednoduché pripojenie mobilným telefónom. Modul taktiež obsahuje vnútornú pamäť s možnosťou využitia primárne ako úložného priestoru pre dáta, ktoré bude tento systém spracovávať, v prehľadnej forme zobrazovať a taktiež umožňovať jednoduchú filtráciu.

Čip ESP8266 bol pôvodne navrhnutý ako rozširujúce Wi-Fi SoC riešenie k rodine mikročipov Arduino a umožnil tak bezdrôtové internetové pripojenie. Práca však využíva nástroje, ktoré umožňujú pre tento modul navrhnuť vlastný firmware, čo pôvodne vôbec nebolo v zámere výrobcov tohto čipu.

Navrhnutý systém má za úlohu priniesť verejnosti nové riešenie pre evidenciu spotrebovanej vody. Kladie dôraz na jeho jednoduchú dostupnosť pomocou mobilnej platformy, užívateľsky prívetivé rozhranie, nízke finančné náklady a čo najefektívnejšie využitie zdrojov. Taktiež v neposlednom rade pri jeho návrhu zohľadňuje dĺžku prevádzky výsledného systému, keďže pri evidencii spotreby vody sa predpokladá dlhodobý chod systému.

2. Hardvérové komponenty systému

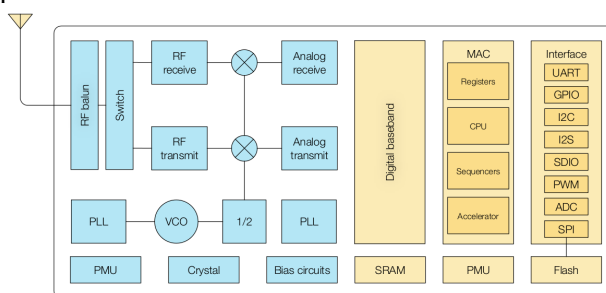
Všetky vstavané systémy pozostávajú z nejakého typu vstupov a výstupov. Vstupy do systému väčšinou zahŕňujú senzory, sondy, komunikačné signály alebo tlačidlá. Výstupy tvoria väčšinou displej, svetelné kontrolky, komunikačné signály alebo priamo zmeny fyzického sveta viď obrázok 1. Každý systém je zvyčajne unikátny, pretože má úplne odlišne definované požiadavky, ktoré sú zapríčinené kompromismi pri jeho vývoji. Medzi hlavné obmedzenia pre vstavané systémy patria nízky výpočtový výkon a malé množstvo pamäte. Požiadavky na vstavaný systém sú najmä výrobná cena, počet vyrobených jednotiek, očakávaná doba životnosti, spotreba energie a spoľahlivosť [1].



Obrázok 1. Blokový diagram vstavaného systému.

2.1 ESP8266

Modul ESP8266 je vysoko integrované Wi-Fi SoC riešenie. Kompaktný dizajn minimalizuje veľkosť PCB a taktiež minimalizuje potrebu externých súčiastok. S kompletnou a sebestačnou schopnosťou Wi-Fi pripojenia môže ESP8266 pracovať buď ako samostatná aplikácia alebo ako pridružený modul k celej rade MCU. Integrovaná vysokorýchlostná cache pomáha zvýšiť výkon systému a pomáha optimalizovať systémovú pamäť.



Obrázok 2. Diagram funkčných blokov modulu ESP8266 [2].

ESP8266 modul taktiež obsahuje okrem vstavaného Wi-Fi aj vylepšenú verziu 32-bitového procesoru Tensilica Diamond L106. Frekvencia procesoru je 80Mhz. V základe iba 20 % zásobníka má obsadená Wi-Fi, zvyšok môže byť použitý na užívateľské aplikácie. Mikroprocesor môže byť prepojený s externými senzormi a ďalšími zariadeniami cez GPIO, SPI, I2C, UART a ADC rozhrania [2].

V SoC ESP8266 neexistuje žiadna programovateľná ROM. Užívateľský program musí byť uložený v externej pamäti prístupnej cez SPI rozhranie. ESP8266 používa externú SPI Flash ROM na uloženie používateľského programu. Modul podporuje 16 MB maximálnu teoretickú kapacitu [3].

2.2 NodeMCU

Modul Node MCU je vývojový kit navrhnutý firmou NodeMCU Inc.. Ide o nízkonákladový vývojový open-source modul, ktorý je zameraný na poskytnutie jednoduchšej konfigurácie a nastavení. Je veľmi ľahko dostupný za približne 2 \$.



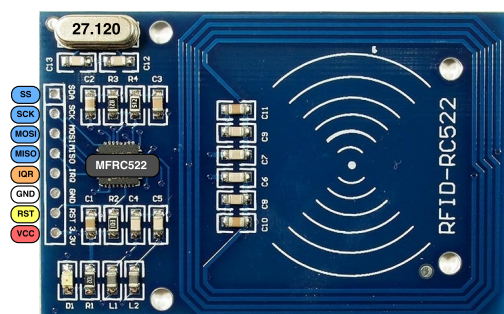
Obrázok 3. Vývojový modul Node MCU Devkit 1.0 s osadeným čipom ESP8266.

Hardvérová platforma je založená na vývojovom module ESP8266 s Lua vývojovým prostredím pre aplikácie z oblasti IoT. Ide o otvorený hardvér s ESP8266-

12E mikroprocesorom obsahujúci 32 Mbit (tj. 4 MB) pamäte Flash. Piata generácia vývojového kitu označovaná ako Devkit 1.0 vid' obrázok 3. Ponúka taktiež zabudované rozhrania ako napríklad: I2C, SPI, PWM, Wi-Fi, ADC, GPIO, UART.

2.3 MFRC522 modul

MFRC522 je bezkontaktný RFID modul obsahujúci rovnomený mikroprocesor MFRC522 vyrobený firmou NXP. Modul obsahuje komunikačné sériové rozhranie SPI vid' obrázok 4. MFRC522 podporuje všetky varianty protokolu MIFARE.



Obrázok 4. RFID MFRC522 čítačka.

Bezdrôtová komunikácia prebieha na frekvenčnom pásme 13.53 MHz. Modul pri bezkontaktnnej komunikácii využíva vyššie prenosové rýchlosti, až 848 kBd, v oboch smeroch. SPI rozhraním komunikuje rýchlosťou 10 Mbit za sekundu. V MFRC522 je použitých 8 x 64 bit vyrovnávacej pamäte typu FIFO [4].

2.4 RTC modul

DS3231 je ľahko dostupný, nízko nákladový a extrémne presný modul reálneho času. Obsahuje taktiež integrovaný kryštálový oscilátor TCXO s teplotnou korekciou. Zariadenie disponuje vstupom pre batériu, ktorá udržiava hodiny aktívne aj keď je prerušené hlavné napájanie. Integrácia kryštálového oscilátora zvyšuje dlhodobú presnosť.

Adresa a dáta sú obojsmerne sériovo prenášané cez rozhranie I2C do pripojeného mikrokontroleru. Jednotka komparátoru porovnáva stav vstupného napätia a pri detekcii výpadku napájania automaticky prepne na záložné napájanie z batérie. Obsah registra pre uloženie času a kalendára je uložený v BCD (binary-coded decimal) formáte [5].

2.5 Wireless M-Bus

Štandard WM-Bus je špecifikácia rádiový frekvenčného komunikačného spojenia medzi meracím zariadením, ako je napríklad vodomér, plynomer alebo elektromer, a zariadením na zber dát. Je definovaný európskou normou EN13757-4 z roku 2013 pre bezdrôtové meradlá. Nadväzuje na starší protokol M-Bus.

Protokol Wireless M-Bus bol navrhnutý pracovať v 868 MHz pásme, pričom jeho snahou je uľahčiť odpočet stavu meradla. V súčasnosti je zároveň veľká podpora certifikovaných WM-Bus modulov s integrovaným WM-Bus softvérom aj na strane výrobcov meracích zariadení. Meracie zariadenia podporujúce WM-Bus protokol sú stále čoraz ľahšie dostupné na súčasnom trhu [6].

3. Návrh vstavaného systému

Návrh vstavaného systému pozostáva z dvoch častí:

- **Hardvérová časť** sa venuje výberu vhodných komponentov, návrhu vzájomného zapojenia, spôsobu komunikácie ale taktiež aj spôsobu uloženia dátových štruktúr obsahujúcich informácie o evidencii a spotrebe vody.
- **Softvérová časť** sa zaoberá najmä návrhom grafického užívateľského rozhrania a jeho distribúcie prostredníctvom webového serveru a siete Wi-Fi správcovi systému priamo do jeho mobilného telefónu.

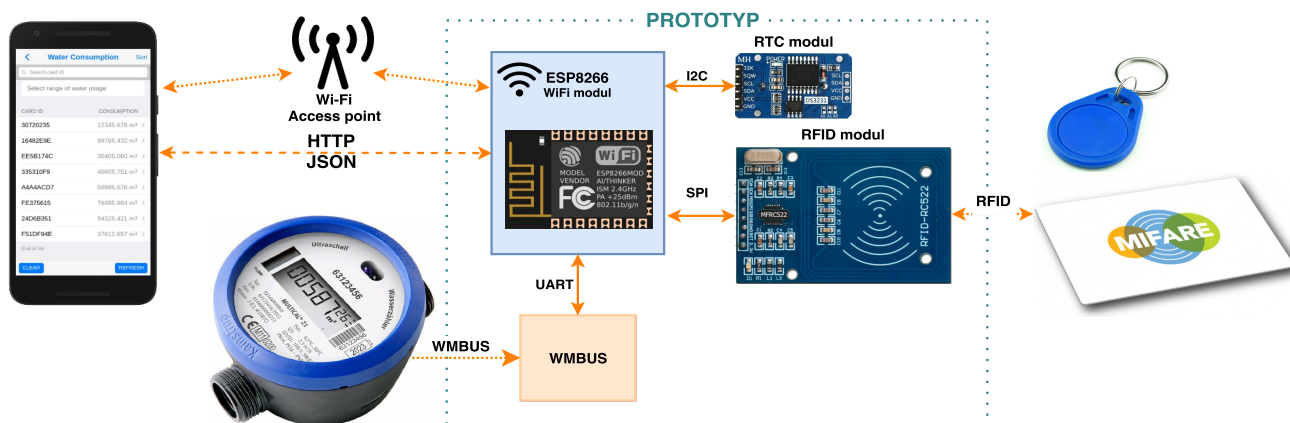
3.1 Návrh hardvéru vstavaného systému

Modul NodeMCU osadený čipom ESP8266 je vhodnou platformou, nakoľko poskytuje pripojenie Wi-Fi v rámci jedného čipu. Nakonfigurovaný je v režime "device". Modul komunikuje pomocou IPv4 protokolu na sieťovej vrstve a umožňuje šifrovanie WPA/WPA2. Po pripojení k dostupnému prístupovému bodu s využitím HTTP protokolu na aplikačnej vrstve, umožňuje zdieľanie obsahu uloženého vo Flash pamäti po lokálnej sieti. Obsahom je predovšetkým grafické užívateľské rozhranie a dáta o spotrebe užívateľov.

Potreba identifikácie užívateľov vyžaduje pripojenie RFID MFRC522 modulu. Modul RFID je k čipu pripojený pomocou sériového komunikačného protokolu SPI. Priložením identifikačnej karty sa cez rozhranie prenesú 4 bajty, ktoré jednoznačne identifikujú daného užívateľa.

Čip ESP8266 síce obsahuje integrovaný generátor hodín, no ten je z hľadiska merania reálneho času nepresný a spôsobuje odchýlku až 5 minút za mesiac (vid' str. 8 v dokumente [2]), čo je pri dlhodobej prevádzke vstavaného systému neprípustné. Preto bol zvolený modul reálneho času DS3231 poskytujúci vysokú presnosť. Ten je k čipu pripojený rozhraním I2C a poskytuje mu informáciu o aktuálnom dni.

Tým modul ESP8266 získa možnosť dáta o spotrebe vody priradiť k aktuálnemu dňu a prihlásenému užívateľovi a uložiť ich do internej pamäte. Údaje od vodomera modul ESP8266 získava cez sériové



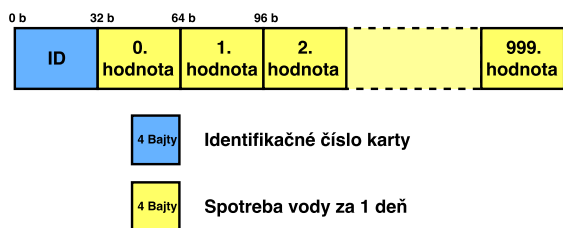
Obrázok 5. Návrh vstavaného systému s popisom jednotlivých komponentov a využitých komunikačných rozhraní.

rozhranie UART. Tým je pripojený k rádiový frekvenčnému zariadeniu ako je napríklad CC1101 podporujúce bezdrôtovú komunikáciu protokolom WMBUS. Vodoměr údaje zasiela automaticky v pravidelných časových intervaloch.

3.2 Návrh softvéru a dátových štruktúr

Softvér je vyvíjaný v prostredí Arduino IDE, ktoré je rozšírené o knižnice pre vývojový čip ESP8266 dostupné na GitHubu. Knižnice umožňujú vytvorenie webového serveru priamo v module ESP a taktiež správu interného súborového systému umiestneného vo Flash pamäti.

Dáta o spotrebe jednotlivých užívateľov sú uložené v binárnom súbore. Veľkosť súboru je limitovaná veľkosťou pamäte a veľkosťou súborov určených pre webovú aplikáciu. Pre dosiahnutie čo najväčšieho množstva evidovaných kariet s čo najväčšou dĺžkou evidovaného obdobia je súbor rozdelený na 100 sektorov usporiadaných lineárne za sebou s veľkosťou 4 004 B. Každý sektor je vyčlenený pre evidenciu spotreby vody jednej identifikačnej karty. Jednotlivé sektory obsahujú menšie bloky.



Obrázok 6. Formát jedného sektoru binárneho súboru slúžiaceho na uloženie údajov užívateľa.

Bloky majú veľkosť 4 B. Prvý blok je vyčlenený pre uloženie identifikačného čísla karty. V prípade ak obsahuje nulovú hodnotu, celý sektor sa pokladá za prázdny. Zvyšný počet blokov v jednom sektore je 1 000. Tieto bloky obsahujú údaj spotreby vody za jeden deň. Hodnota aktuálneho dňa počítaná od

1. 1. 1970 modulo 1000 je index konkrétneho bloku. Po zaplnení posledného bloku sú cyklicky prepisované staré hodnoty začiatkových blokov.

Podprogramy operujúce nad týmto binárnym súborom sú navrhnuté tak, aby pracovali s lineárnou zložitou a všetky informácie boli schopné spracovať pri jednom priechoode súborom. Z dôvodu minimalizácie počtu zápisových cyklov sú hodnoty spotreby aktívnej karty aktualizované v dočasnej štruktúre *Record*.

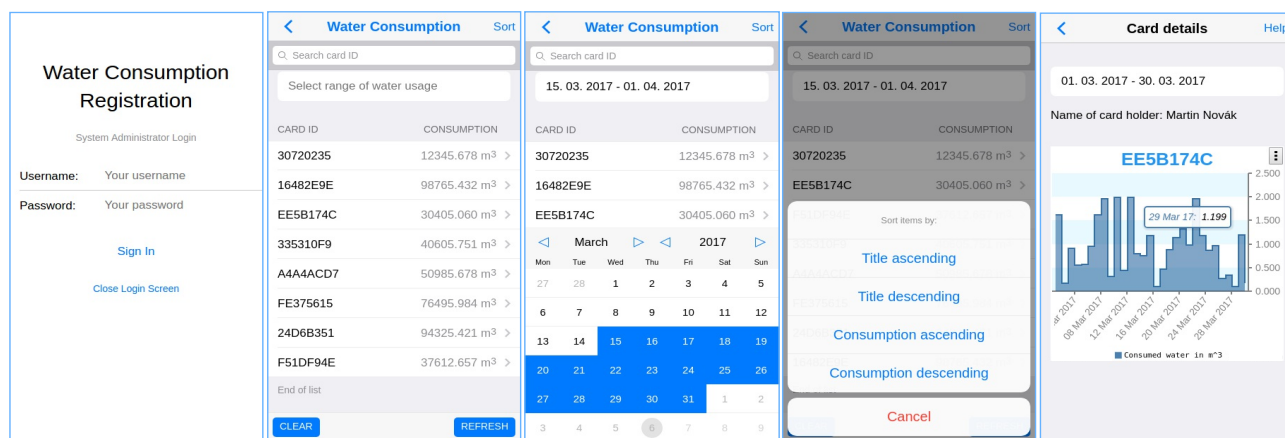
4. Implementácia systému

4.1 Softvér mikrokontroleru ESP8266

Softvér pre čip ESP je naprogramovaný v jazyku C a C++. Pri štarte systému sú najskôr inicializované rozhrania UART, SPI, I2C a taktiež interný súborový systém a RTC modul. Následne sa čip pripojí k dostupnej Wi-Fi a spustí webový server, čím sa ukončí inicializačná fáza.

Vo fáze behu softvér najskôr skontroluje, či je Wi-Fi pripojenie stále aktívne a nedošlo k jeho odpojeniu. V prípade ak áno, dôjde k opätovnému pokusu o pripojenie, čím sa zamedzí výpadku systému pri chvíľkovej nedostupnosti prístupového bodu napríklad z dôvodu straty napájania. Ak je Wi-Fi pripojenie stále aktívne, skontrolujú a obslužia sa prichádzajúce HTTP požiadavky. Obsluha je vykonávaná podprogramom, ktorý spracuje požiadavku, otvorí daný súbor v lokálnom súborovom systéme a začne súbor odosielať cez aktívne TCP spojenie.

V prípade, ak nedochádza k obsluhu žiadnej z predošlých udalostí, softvér si vyžiada od RTC modulu aktuálnu hodnotu dňa, pričom hodnota 0 zodpovedá dátumu 1. 1. 1970. Po aktualizácii časovej známky čip zaháji komunikáciu s vodomerm a zistí, či došlo k zmene počítadla na vodomeri. V prípade zmeny uloží novú hodnotu počítadla a rozdiel medzi predošlou a súčasnou hodnotou pripočíta k aktuálne evidovanej



Obrázok 7. Webová aplikácia zobrazujúca identifikačné karty a spotrebu vody za zvolené obdobie.

karte na príslušný deň označený časovou značkou.

Nakoniec softvér overí, či nedošlo k priloženiu inej užívateľskej karty. Ak je karta priložená, softvér prečíta 4 bajty reprezentujúce unikátne identifikačné číslo a porovná, či ide o inú kartu ako predošlú. Ak ide o novú kartu, softvér zapíše do Flash pamäte údaje v štruktúre `Record` načítané k predošlej karte, vyhladá novú kartu a v prípade evidencie záznamu s rovnakým identifikačným číslom, údaje o karte načíta do štruktúry `Record`. Tým, že softvér má načítanú vždy práve jednu aktívnu kartu, nedochádza k nadmernému zápisu pri aktualizácii spotreby vody do Flash pamäte, čím sa markantne zníži počet prepisov jednotlivých buniek a zvýši sa životnosť celého vstavaného systému.

4.2 Implementácia webového rozhrania

Komunikácia s mobilným zariadením prebieha pomocou HTTP protokolu. Čip ESP8266 na vyžiadanie začne odosielať webovú stránku vytvorenú vo voľne dostupnom Frameworku7¹. Ten sa špecializuje práve na mobilnú platformu. Správca systému sa musí najskôr prihlásiť pomocou mena a hesla. Súčasťou webového rozhrania je taktiež kalendár, v ktorom je možné zadať obdobie, za ktoré sa má spotreba prepočítať. Po zadaní obdobia si stránka vyžiada údaje o spotrebe všetkých evidovaných kariet v systéme. Klient odošle HTTP žiadosť s počtom dní, za ktoré sa má spotreba prepočítať spolu s údajom o poslednom dni v zvolenom rozsahu.

Server najskôr spracuje všetky karty a spočíta spotrebu za zvolené obdobie. Zo spracovaných dát sa vygeneruje súbor vo formáte JSON a ten je odoslaný späť do webového prehliadača. Súbor pozostáva z kolekcie štruktúr, pričom každá štruktúra obsahuje meno a údaj o spotrebe karty. Súbor je interpretovaný pomocou javascriptu na strane správcu a ponúka mu tak prehľad

spotreby jednotlivých kariet za zvolené obdobie.

Správca má možnosť zobraziť si okrem náhľadu aj detail karty, kde sú k dispozícii údaje o majiteľovi karty a graficky znázornená spotreba za posledných 10 dní. Správca tu má taktiež možnosť v kalendári zvoliť obdobie, za ktoré chce spotrebu prepočítať. Údaje o spotrebe sú následne vynesené do prehľadného grafu. Graf je vytvorený knižnicou CanvasJS². Hodnoty sú spracované v čípe ESP. Ten otvorí binárny súbor, vyhladá záznam pre zvolenú kartu a odošle súbor JSON obsahujúci kolekciu všetkých hodnôt spotreby.

Bezpečnosť komunikácie pokrýva predovšetkým zabezpečené Wi-Fi pripojenie pomocou štandardu IEEE 802.11i a používa zabezpečenie WPA/WPA2 PSK. Zabezpečenie sprístupnenia dát zahŕňa potreba autentifikácie správcu pomocou loginu a hesla.

5. Parametre navrhnutého riešenia

Navrhnuté riešenie je po hardvérovej stránke schopné spĺňať všetky požadované funkcie. Vstupné napájanie sa pohybuje medzi 2.5 V – 5.0 V. Rozšíriť rozsah podporovaných napätí je možné pridaním miniatúrneho stabilizátora na báze spínaného zdroja, ktorých je na trhu dostatok. Pripojenie k prístupovému bodu je stabilné. Nedostatky spojené so stratou napájania boli odstránené pridaním externej batérie.

Pre skrátenie intervalu odosielania webového rozhrania bola zvolená kompresia obsahu. Súbory sú komprimované do formátu gzip. Čas odosielania tým bol skrátený na štvrtinu. Odoslanie stránky na stranu klienta sa pohybuje medzi 3 s – 3.5 s. Veľkosť prenášaných dát bola zredukovaná z 856.7 kB na 178.4 kB.

Súbor, ktorý prenáša spotrebu na všetkých kartách, má 4.7 kB a jeho vytvorenie a spracovanie všetkých hodnôt za zvolené obdobie v ESP8266 trvá približne 550 ms. Súbor, ktorý prenáša detailný náhľad jed-

¹Verzia Frameworku7 je dostupná na stránke <https://framework7.io/>

²Knižnica CanvasJS je dostupná na stránke <http://canvasjs.com/>

nej karty, má veľkosť 7 kB. Jeho prijatie od odoslania požiadavky trvá približne 350 ms.

6. Spôsob uplatnenia zariadenia

Implementovaný prototyp je určený pre správcu bytových priestorov, ktorý tím získa možnosť jednoduchšej evidencie všetkých užívateľov. Navrhnutý prototyp vyžaduje infraštruktúru obsahujúcu inštalovaný vodomer podporujúci bezdrôtovú komunikáciu prostredníctvom protokolu WM-Bus. Taktiež vyžaduje dostupný Wi-Fi prístupový bod, prostredníctvom ktorého je možné zobrazovať spotrebu na mobilnom zariadení. Prototyp vyžaduje umiestnenie v dosahu oboch sietí a pripojenie k elektrickej sieti. V prípade výpadku prototyp disponuje napájaním zo záložného zdroja.

7. Záver

Cieľom tejto práce bolo predovšetkým navrhnuť a implementovať funkčný prototyp vstavaného systému určeného pre evidenciu spotreby vody. Systém umožňuje jeho správcovi prehľadné zobrazenie a interakciu v jeho mobilnom telefóne. Návrh pozostáva ako z hardvérovej tak aj softvétovej časti.

Systém je založený na platforme ESP8266, ktoré je vysoko integrované Wi-Fi SoC riešenie. ESP8266 pracuje ako samostatná aplikácia, čo umožňuje rýchly štart celého modulu. ESP8266 pri svojej činnosti využíva modul reálneho času a čítačku bezkontaktných kariet RFID.

Výsledný systém je navrhnutý s ohľadom na dlhodobú prevádzku, minimalizáciu počiatočných nákladov a jednoduchú réžiu. Implementované riešenie umožňuje ukladať informácie o sto užívateľoch. Navrhnutý systém disponuje informáciami o spotrebe, ktoré pokrývajú obdobie 33 mesiacov, čo je obdobie dlhé viac ako dva a pol roka s hodnotou spotreby uloženou pre každý deň.

Implementovaný prototyp prináša nové, originálne a praktické riešenie pre evidenciu spotreby vody. Zariadenie tohto zamerania sa snaží priniesť inováciu do oblastí, kde je potrebné riešiť evidenciu spotreby vody jednotlivých užívateľov vo vlastnej réžii. Zariadenie je zatiaľ navrhnuté ako informatívne meradlo. Pre komerčné využitie by si však vyžadovalo kalibračné testy a taktiež vo väčšej miere by mala byť venovaná pozornosť zabezpečeniu komunikácie a dát.

Vytvorený prototyp by mohol byť v budúcnosti rozšírený aj o prístup jednotlivých užívateľov. Tí by tak mali možnosť sami v reálnom čase sledovať vlastnú spotrebu vody s využitím napríklad možnosti notifikácie alebo nastavenie limitov spotreby. To by

mohlo pomôcť obmedziť prípadné úniky, čo by malo zároveň pozitívny dopad na životné prostredie.

Ďalším smerom je možné rozšíriť modul o výkonnejšie MCU a sprístupniť tak možnosť interakcie s evidičným systémom prostredníctvom internetu, ktorý by umožňoval pokročilejšiu filtráciu a detailnejšie zobrazenie jednotlivých období. Tým by sa toto zariadenie výraznejšie začlenilo do rýchlo sa rozrastajúcej rodiny IoT zariadení.

PodĎakovanie

Týmto by som chcel poďakovať predovšetkým vedúcemu práce Ing. Zdeňkovi Vašíčkovi, Ph.D. za jeho odborné vedenie, pomoc a cenné rady počas tvorby tejto bakalárskej práce. Taktiež by som chcel poďakovať za zapožičanie vývojových modulov.

Literatúra

- [1] Michael Barr. *Programming embedded systems in C and C++*. O'Reilly, Sebastopol, 1st ed. edition, 1999.
- [2] Espressif. *ESP8266EX Datasheet*. [Online], Verze 5.3 (2016), [rev. 2016], [cit. 2017-03-09], http://espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf.
- [3] Espressif. *ESP8266 Technical Reference*. [Online], Verze 1.2 (2016), [rev. 2016], [cit. 2017-03-09], http://espressif.com/sites/default/files/documentation/esp8266-technical_reference_en.pdf.
- [4] NXP Semiconductors, Eindhoven. *MFRC522*. [Online], Verze 3.9 (2016), [rev. 2016-04-27], [cit. 2017-03-17], https://www.nxp.com/documents/data_sheet/MFRC522.pdf.
- [5] Maxim Integrated Products, San Jose. *DS3231*. [Online], Verze 10 (2016), [rev. 2016], [cit. 2017-03-17], <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf>.
- [6] Wireless m-bus protocol software, c2016. [Online], [cit. 2017-03-18], <http://www.ti.com/tool/WMBUS#TechnicalDocuments>.