



Návrh zabezpečeného systému prenosu dát v NB-IoT prostredí

Autor: Bc. DANIEL KLUKA

Autor: Ing. et Ing. PETR MUSIL

Brno, 29. 4. 2025

- Člen tímu Meteo Telcorain
- Zaoberáme sa oportunistickým snímaním mikrovlnnými spojmi - **nikto to nerobí**
- Tradičné profesionálne meteostanice môžu stáť **2 000 000 Kč**, servisovanie ďalších **500 000 Kč**
- Presné meteorologické dátá sú dôležité - monitorovanie a predpovedanie počasia
- Rozmiestnenie staníc po Brne
- <https://meteo.telcorain.cz/>



Obr. 1: Daniel Kluka weather station - DKWS.

Ciele výskumu

- Batériové napájanie + solárny panel
- Komplexné sledovanie životného prostredia
- Bezpečné a energicky efektívne riešenie
- Optimalizácia spotreby energie a dát
- Nízka cena
- Splniť vysoké štandardy profesionálnych meteostaníc
- Implementácie technológie NB-IoT v spolupráci s Vodafone CZ



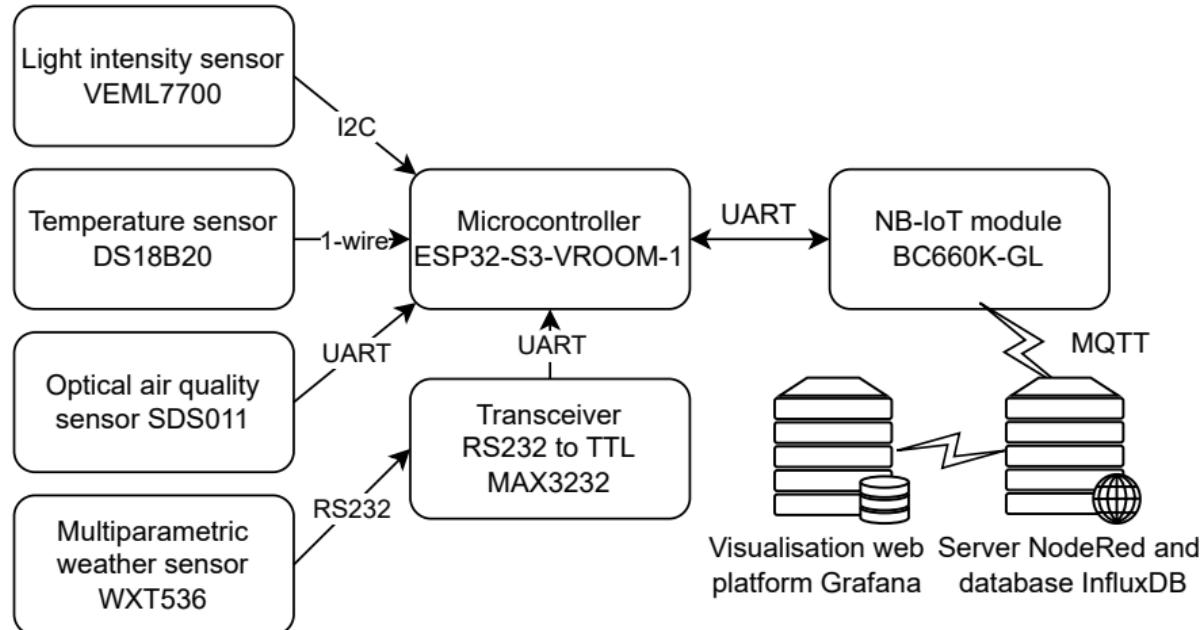
Obr. 2: Profesionálna meteostanica.

- Teplota - DS18B20
- Slnečný svit - VEML7700
- **Kvalita ovzdušia** - SDS011
- Teplota, vlhkosť, tlak, rýchlosť a smer vetra (ultrazvukový senzor), zrážky (akustický senzor) - **Vaisala WXT536** - cena 2 700€



Obr. 3: Kráľ VUT - Instagram vutnamajales.

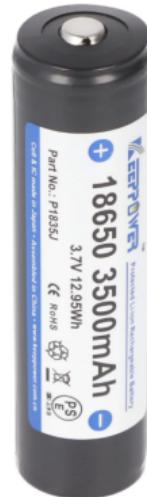
Navrhnuté riešenie



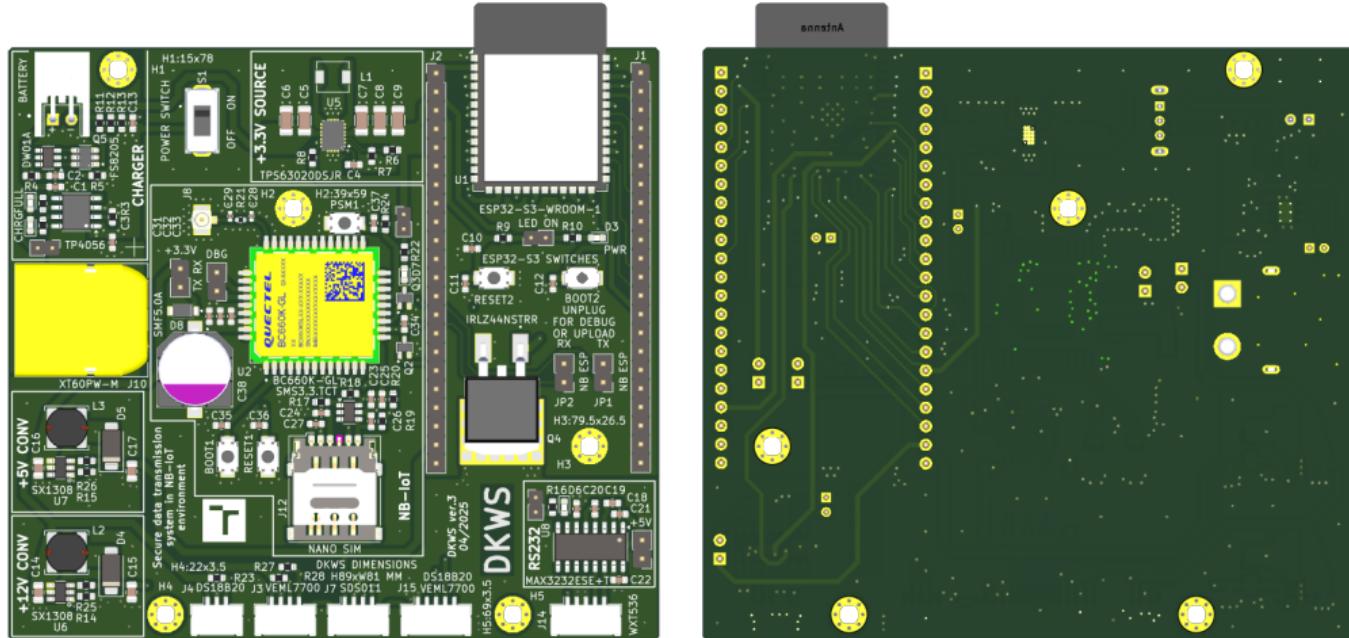
Obr. 4: Bloková schéma meteostanice DKWS.

Správa napájania batérii

- Regulátor nabíjania TP4056
- Ochrana proti podvybitiu a prepätiu batérie
- Rekondícia batérie pri nabíjaní
- Bezpečné nabíjanie - nadprúdová a skratová ochrana
- Nabíjanie konštantným prúdom alebo konštantným napätím

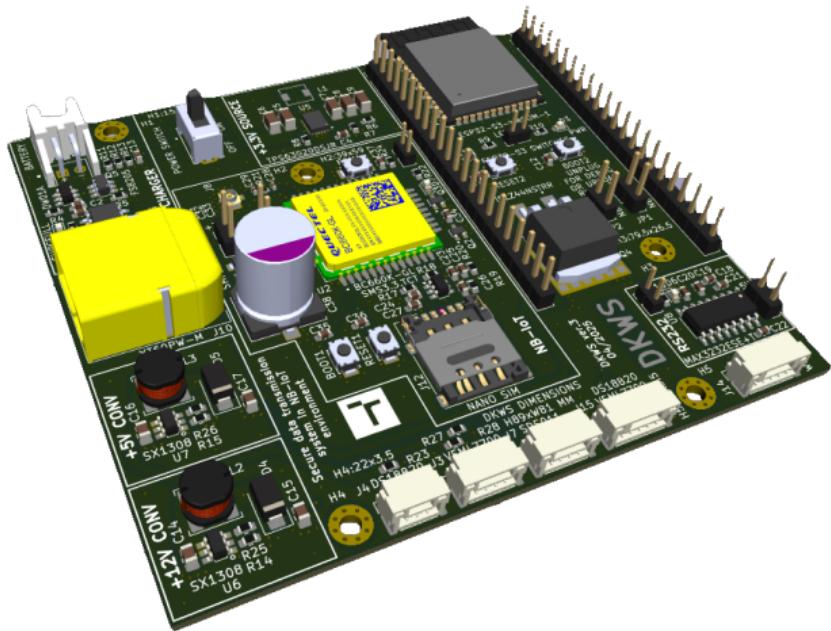


Obr. 5: Použité batérie - 2x.



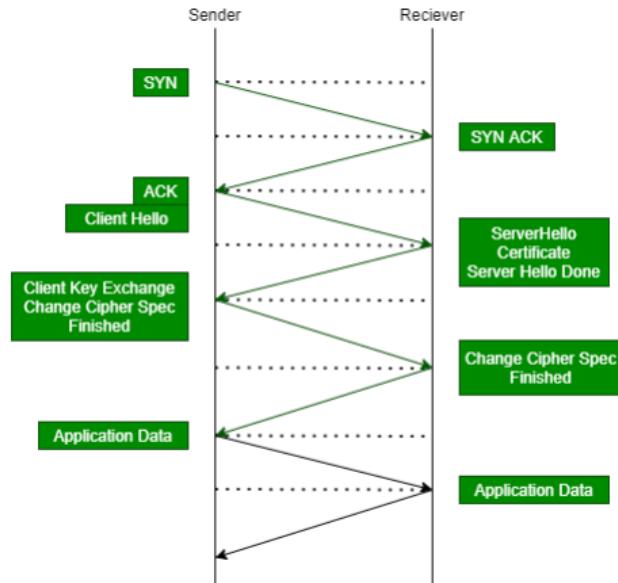
Obr. 6: DKWS DPS (89x81mm) navrhnutá podľa prototypu dosky.

Navrhnutá DPS



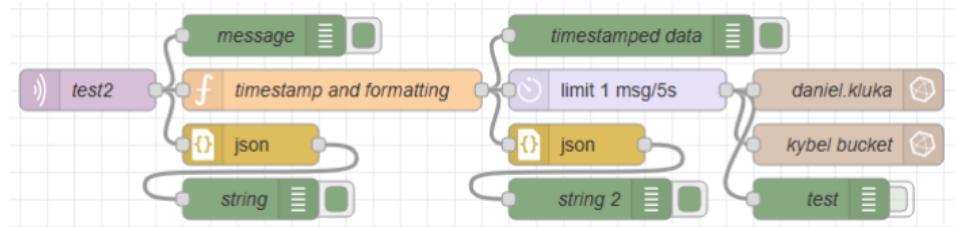
Obr. 7: Detail DKWS DPS.

- Lokálne spracovanie dát pred odoslaním
- Šifrovanie TLS - integrita a dôvernosť nameraných dát
- SW vysoká presnosť merania
- SW optimalizácia batérie a periódy merania
- Kontrola dôležitých prevádzkových dát
- Odhad nabíjacieho prúdu
- Virtuálne odpojenie senzorov a modulov



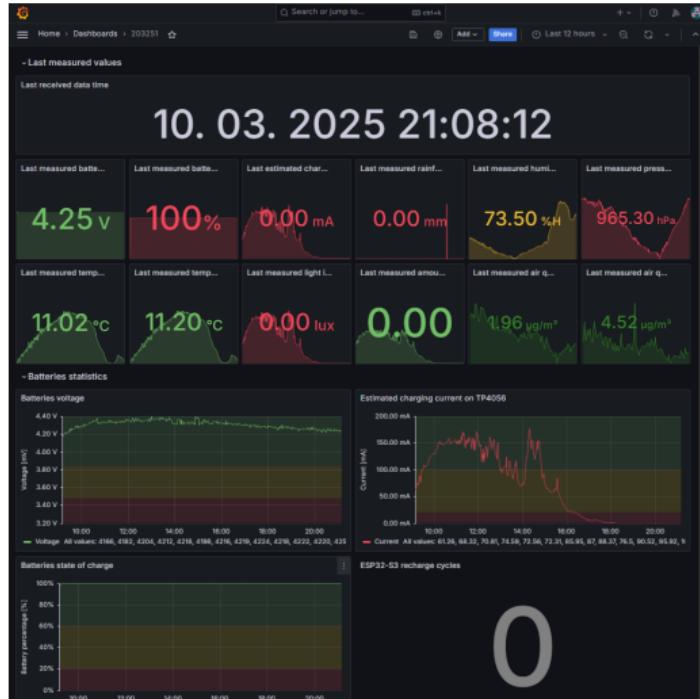
Obr. 8: TLS handshake.

- MQTT broker Mosquitto
- Správa so 6 meraniami - meteorologické veličiny a prevádzkové dátá
- Dáta sú zapísané do databázy InfluxDB a vizualizované v Grafane



Obr. 9: Node-RED flow vytvorený pre zápis dát do InfluxDB.

Node-RED, InfluxDB a Grafana



Obr. 10: Vizualizácia všetkých nameraných dát v Grafane.

Vyhodnotenie spotreby siete

| Phase | Size | Source |
|-----------------------------|--------------------|--------------------------------------|
| Random Access + RRC Setup | 200–300 B | 3GPP TS 36.331, TS 36.321 |
| NAS Attach (Request/Accept) | 300–400 B | 3GPP TS 24.301, TS 23.401 |
| PDCP + RLC + MAC headers | 50–150 B | 3GPP TS 36.323, TS 36.322, TS 36.321 |
| IP + TCP headers | 40–60 B | RFC 791, RFC 793 |
| TCP handshake + teardown | 200–300 B | GSM IoT Guide |
| MQTT CONNECT + CONNACK | 30–100 B | MQTT 3.1.1 (OASIS) |
| MQTT PUBLISH + PUBACK | 202–232 B | MQTT 3.1.1, RFC 793 |
| MQTT DISCONNECT (vol.) | 10–20 B | MQTT 3.1.1 |
| RRC Release (vol.) | ~500 B | 3GPP TS 36.331 |
| MQTT message (payload) | 182 B | – |
| Total (typical) | 1000–1500 B | – |

Tab. 1: Fázy prenosu správ MQTT v sieti NB-IoT

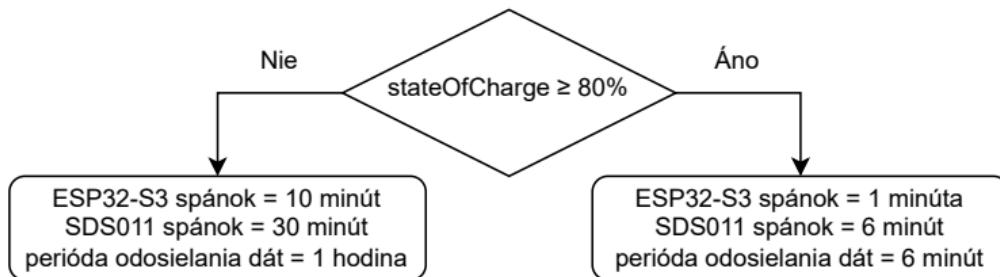
- Odosielanie každú hodinu - mesačne 720 prenosov
 - **0.47 MB** - optimálne podmienky
 - **0.81 MB** - realistiké podmienky
 - **1.15 MB** - zlé podmienky retransmisie

Vyhodnotenie spotreby siete

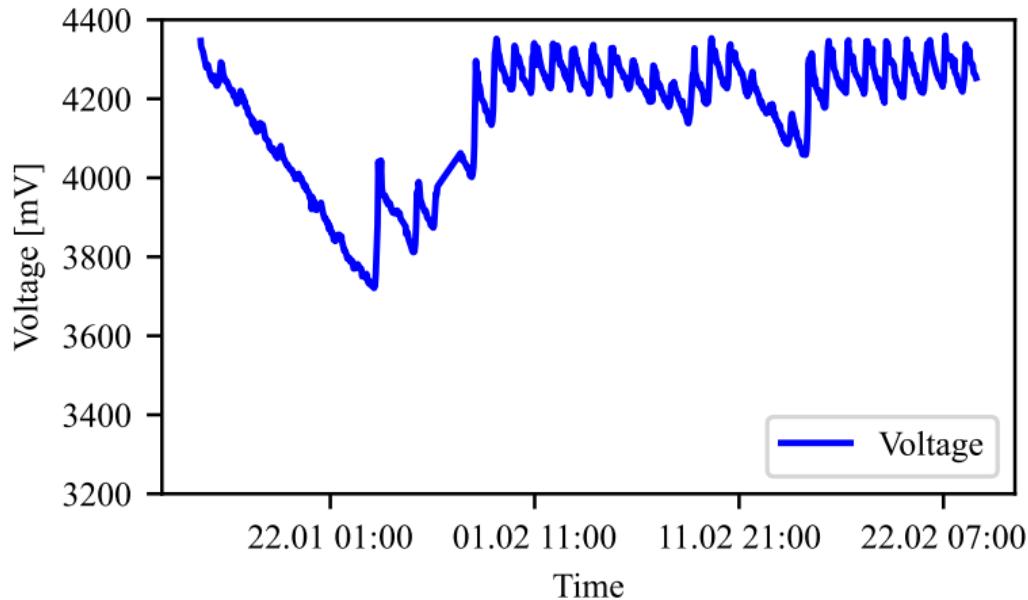
- Odosielaním **182 B** správy pri període 6 minút môže spotreba byť až **8.12 MB** mesačne
- Pôvodný prototyp odpájal kompletne BC660K-GL od napájania
- DKWS PCB disponuje upraveným napájaním BC660K-GL a táto spotreba klesá na **3.31 MB** mesačne (zredukovanie počtu signálnych procedúr)

Optimalizácia výkonu batérie

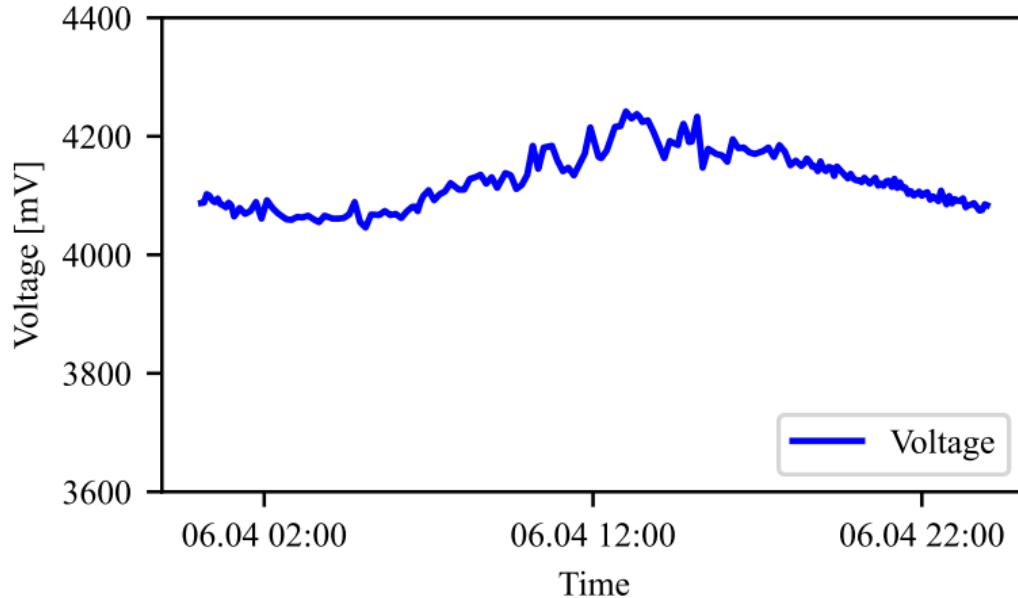
- Hlboký spánok meteostanice
- Vypínanie senzorov
- Tvrď šetriaci režim
 - Ak je batéria nabitá pod 3300 mV, ESP32-S3 preruší väčšinu činností, až pokým batéria nebude nabitá na 4020 mV
- Ľahký šetriaci režim



Obr. 11: Logika ľahkého šetriaceho režimu batérie.

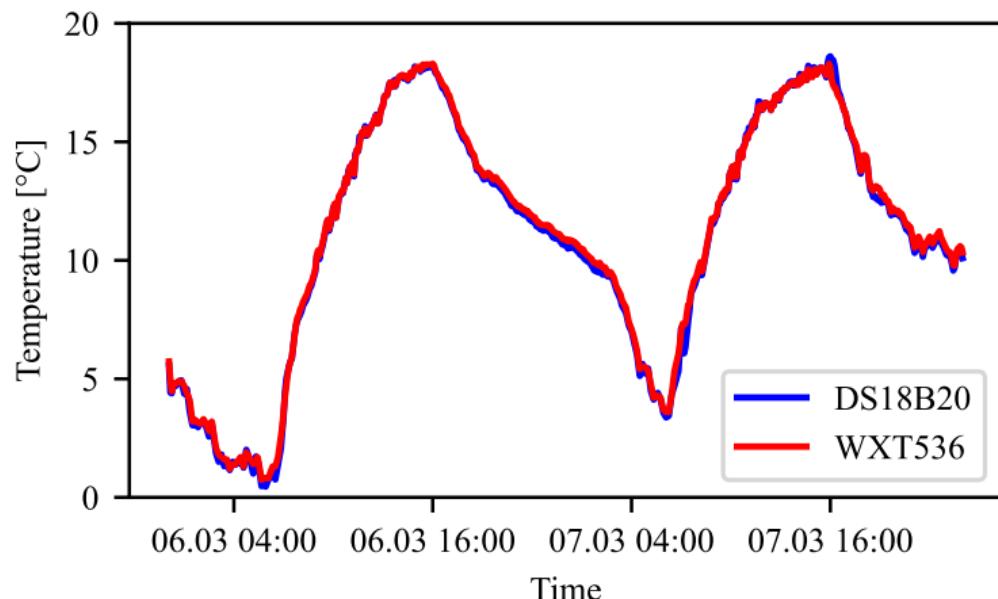


Obr. 12: Efektivita nabíjania počas zamračených (15.1.-23.1. 2025) a slnečných (23.1.-23.2. 2025) dní.



Obr. 13: Efektivita nabíjania počas dňa 6.4.2025 v časoch od 0:00 do 23:59.

- Multiparametrický senzor počasia Vaisala WXT536 (teplota, tlak, vlhkosť, zrážky, rýchlosť a smer vetra)
- Minimálne odchýlky



- Modulárne riešenie meteostanice
- Meranie meteorologických veličín a prevádzkových dát
- Optimalizovaná spotreba energie batérií a dátová spotreba siete
- Implementovaná technológia NB-IoT so šifrovaním TLS
- Vysoká presnosť a robustnosť meteostanice DKWS
- Využitie 3D tlače a antikoróznej hliníkovej+oceľovej konštrukcie
- **Cena prototypu 300 €**



Ďakujem za pozornosť!