



## **Modulární počítač náprav 4.0**

**FW01010281**

### **Funkční vzorek**

## **Komunikační modul LoRa s nezávislým zdrojem energie**

**FW01010281-V4**

## **Zpráva o dosažení výsledku**

### Autoři:

Jan Chalupa

Filip Kšica

Pavel Stachiv

Ondřej Rubeš

Zdeněk Hadaš

V Brně dne 23.12.2023

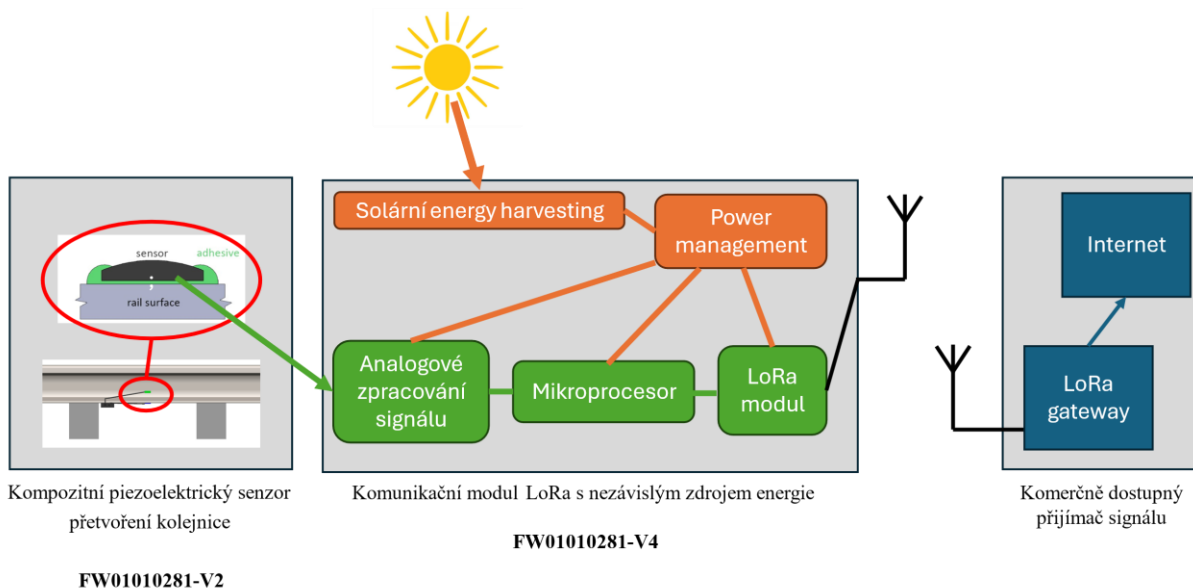
# Úvod

Na základě řešení projektu TAČR v rámci výzvy TREND 1 číslo FW01010281 s názvem Modulární počítač náprav 4.0 byl vyvinut funkční vzorek číslo FW01010281-V4 „Komunikační modul LoRa s nezávislým zdrojem energie“.

Tento výstup projektu je určen pro zpracování signálu z koleje, určení počtu projetých náprav a odeslání této hodnoty pomocí sítě LoRa do dalšího komunikačního uzlu. Jako zdroj signálu z koleje slouží již dříve vyvinutý funkční vzorek FW01010281-V2 „Kompozitní piezoelektrický senzor přetvoření kolejnice“. Následné zpracování signálu z tohoto senzoru je předmětem předkládaného funkčního vzorku.

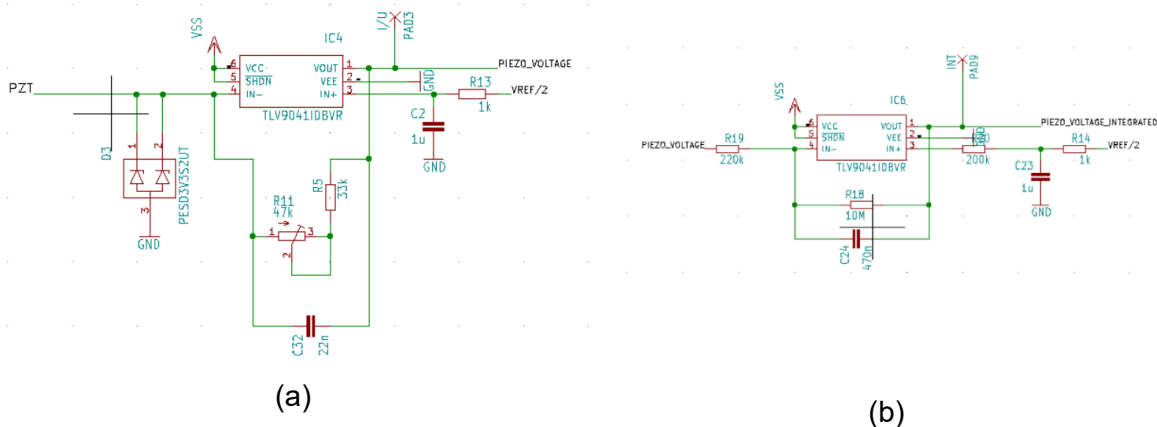
## 1. Návrh funkčního vzorku

Návrh funkčního vzorku byl založen na dlouholetých zkušenostech pracovníků na VUT v Brně v oblasti monitorování železnic pomocí chytrých snímacích prvků. Návrh funkčního vzorku se sestává z několika dílčích částí: návrh a výroba elektroniky, zpracování signálu ze senzoru, tvorba vyhodnocovacího algoritmu pro detekci náprav a realizace komunikačního rozhraní do sítě LoRa WAN. Součástí je také návrh energy harvesting systému pro napájení. Pro příjem signálu z LoRa modulu je použita standardní LoRa gateway. Blokové schéma funkčního vzorku a interagujících modulů je na Obr. 1.



Obr. 2: Blokové schéma komunikačního modulu a interagujících modulů

Pro zpracování signálu z koleje je použito na prvním místě převodníku proudu na napětí s nastavitelným zesílením. Zapojení je na Obr. 2 (a). Takové zapojení má výhodu, že nezkrusuje měřený signál a zpracovává ho v té nejvíce přirozené podobě. Pro účely vyhodnocení přítomnosti kola je dále zpracována integrovaná hodnota napětí pomocí obvodu na Obr. 2 (b). Takto zpracovaný signál má výhodu, že fyzikálně odpovídá přetvoření v místě senzoru na koleji. Signály jsou s použitím filtru typu dolní propust prvního řádu přivedeny na AD převodníky použitého mikroprocesoru DSPIC33FJ128GP802.



Obr. 3: Schéma analogového zapojení pro zpracování signálu z koleje

Funkční cyklus vypadá následovně. Zařízení je v režimu sleep, kdy analogové obvody stále fungují s klidovou spotřebou do cca 15 uA, tyto obvody obsahují zesilovače pro analogové přizpůsobení ADC převodníku mikrokontroléru a integraci signálu. Další část obsahuje člen s vysokým zesílením a usměrňovačem, který je zaveden na analogový komparátor, tento obvod funguje jako detektor příjezdícího vlaku. Při detekci blížícího se vlaku dojde k aktivaci mikrokontroléru pomocí digitálního pinu.

Následně se kontrolér přizpůsobí aktuálním úrovním na vstupech a ze dvou měřených hodnot algoritmus počítá nápravy. Vzorkovací frekvence zařízení je něco kolem 2kHz a výpočet se provádí průběžně, kdy dochází také k aktualizaci plovoucích středních hodnot signálů.

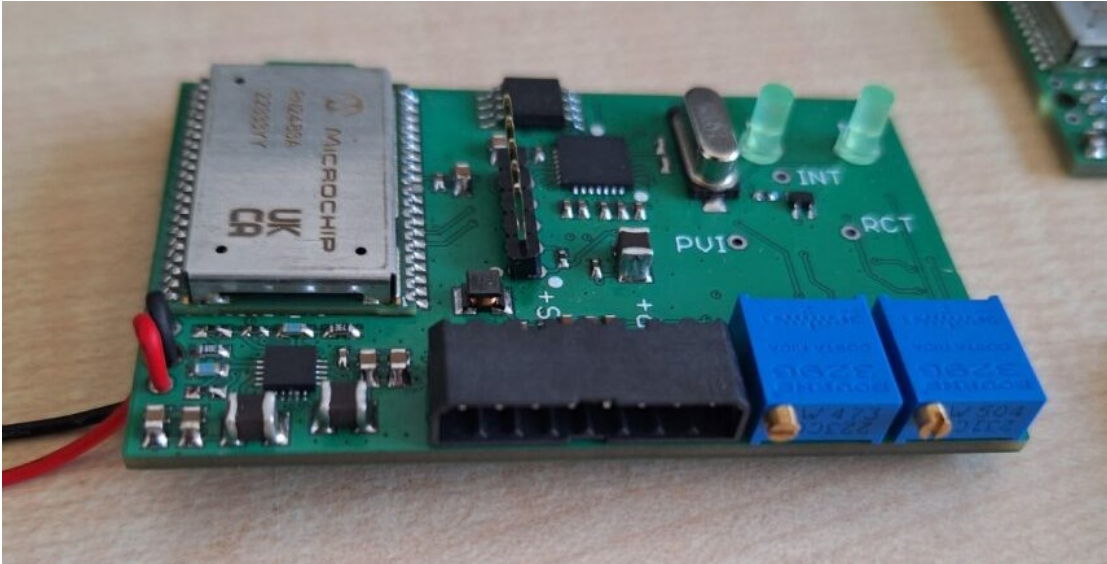
Při detekci nápravy dochází k resetování timeoutu, který je nastaven na cca 20 vteřin, jakmile tento timeout vyprší, je to považováno za ukončený průjezd vlaku, jednotka následně odešle řadu parametrů z nichž hlavní jsou:

- min max měřeného napětí a měřeného výstupu z integračního članku
- počet náprav + počet detekcí průchodů nulou
- časový údaj o délce projíždícího vlaku (první<->poslední náprava)
- celkový počet vlaků
- napětí baterie modulu

Pro napájení je v této verzi funkčního vzorku využito solárního energy harvesting, ke kterému je vytvořen potřebný power management. Zařízení obsahuje li-pol akumulátor, který je dobíjen pomocí specializovaného energy harvester obvodu. V rámci efektivity provozu je využito uspávání komunikačního modulu a procesoru v době, kdy neprojíždí žádný vlak, což je převážná část času. K probuzení je využito signálu z prvního stupně analogového zpracování. Tento signál je dále zesílen a upraven analogovými obvody, tak, že vytváří obálku usměrněného signálu a tato hodnota je následně přivedena na komparátor, kde je generován signál pro probuzení celého systému pomocí přerušení. Zde je potřeba pečlivě nastavení pro každou instalaci zvlášť, aby nedocházelo k probuzení systému zbytečně například průjezdem nákladního vozu poblíž trati, nebo naopak nedocházelo k probuzení systému až během průjezdu soupravy.

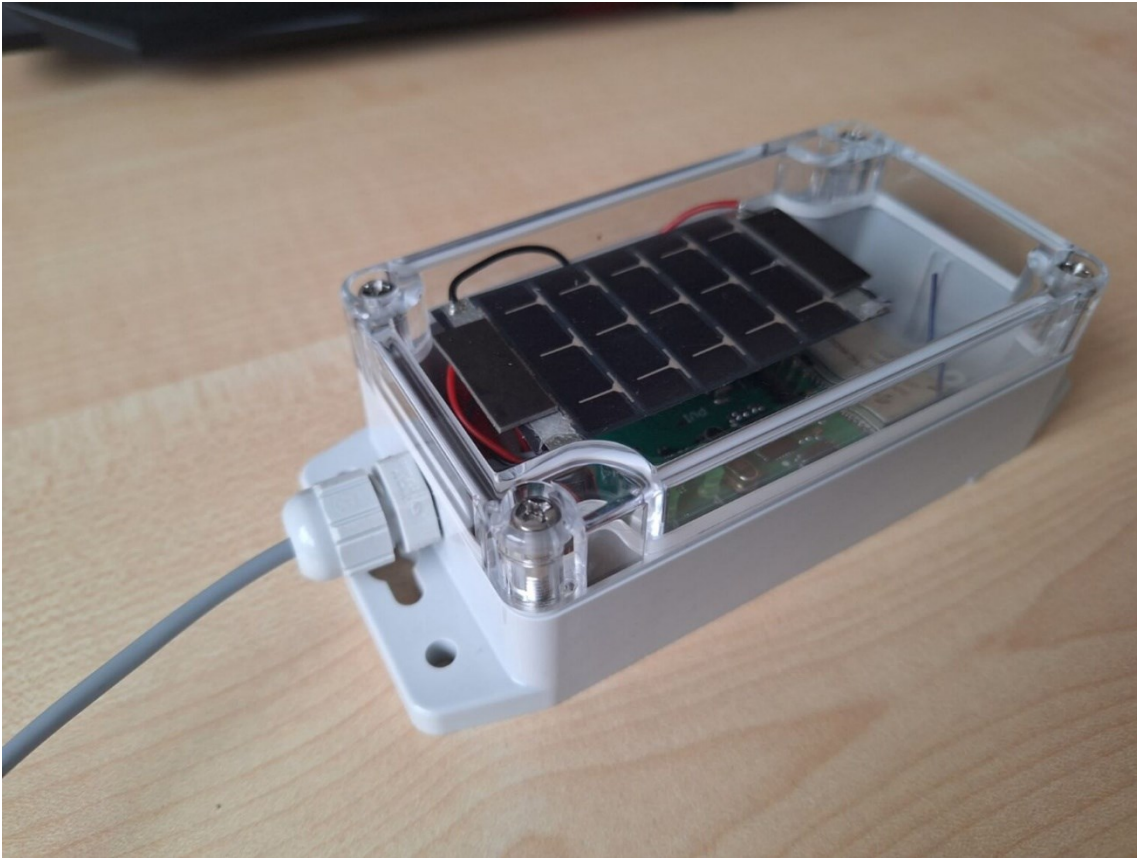
## 2. Výsledná konstrukce funkčního vzorku

Na základě návrhu v předchozí kapitole byla vyrobena čtyřvrstvá deska plošných spojů, která obsahuje jak analogové obvody pro zpracování signálu, tak mikroprocesor, power management a komunikační LoRa modul. Tuto desku včetně osazených součástek ukazuje Obr. 4.



Obr. 4: Detail osazené desky komunikačního modulu

Na základě předchozích zkušeností byla pro zapouzdření použita vodotěsná krabička, která však musí mít průhlednou horní část, pod kterou je bezprostředně umístěn solární panel. Takové řešení poskytuje dostatečné krytí proti vodě a prachu, avšak zároveň umožňuje využití energie ze slunce. Výsledný zkompletovaný komunikační modul je na Obr. 5. Taktéž bude otázkou, nakolik v provozu bude problém se zanášením původně průhledné části krabičky. Toto jsou problémy spojené spíše s vývojem finálního produktu, které jsou nad rámec rozsahu řešení funkčního vzorku.



Obr. 5: Zkompletovaný zapouzdřený komunikační modul se solárním panelem

### 3. Závěr

Na základě dosažených výsledků lze konstatovat, že ověření vlastností funkčního vzorku „Komunikační modul LoRa s nezávislým zdrojem energie“ bylo úspěšně dosaženo a výsledkem je systém, který z připojeného senzoru na kolejnici vyhodnotí počet náprav, které přes měřicí bod projeli. Naměřené hodnoty odešle bezdrátově k dalšímu zpracování. Komunikační modul je také schopen autonomního provozu bez externího napájení. Díky integrovanému obvodu pro energy harvesting je zařízení schopné dobít baterii i v případě, kdy je nepřímo osvětlen sluncem, nebo kdyby došlo k zakrytí průhledné části nečistotami.