



Výhybka 4.0

CK01000091

Funkční vzorek
Komunikační modul ve výhybce
CK01000091-V2

Autoři:

Ondřej Jeřábek

Petr Navrátil

V Prostějově dne 27. 1. 2023

Úvod

Na základě řešení projektu poskytovatele TAČR v rámci programu Doprava2020+ číslo CK01000091 s názvem Výhybka 4.0 byl vyvinut funkční vzorek číslo CK01000091-V2 "Komunikační modul ve výhybce".

1. Návrh funkčního vzorku

Komunikační modul ve výhybce

Jelikož sensory stacionárního zařízení DISC-S jsou koncipovány pro kontinuální měření v režimu relativně nízké spotřeby, nedisponují dostatečným výkonem pro pokročilé zpracovávání dat a přímý přístup do internetu. Z tohoto důvodu byl navržen komunikační modul ve výhybce (interně nazvaný Measurement concentrator), jehož primárním úkolem je získávat z těchto sensorů naměřená data, vzorky poté vyhodnotit a následně zapsat výsledek do sdílené databáze.

Přesto, že prvotní varianta předpokládá pouze základní předzpracování dat s odesláním celého datového souboru na cloudové úložiště, kde se o zpracování postará neurální síť, je třeba uvažovat i výpočetně náročnější možnost s kompletním lokálním vyhodnocením.

Z těchto požadavků vyplývá, že komunikační modul musí disponovat rozhraním pro připojení měřicích sensorů systému DISC-S, rozhraním zajišťujícím přístup k internetu a v neposlední řadě vyšším výpočetním výkonem, umožňujícím zpracovat naměřená data. To vše se musí vměstnat do relativně malého prostoru rozvaděče stacionárního zařízení DISC-S. Jelikož je celý systém koncipován jako „ostrovní“, napájený z bateriového zdroje a nabíjený solární energií, bude také jeden z požadavků zachování nízké spotřeby.

Výše uvedené úvahy proto vylučují jakýkoliv průmyslový počítač, který by byl na tyto činnosti perfektně uzpůsoben, avšak za cenu velkého příkonu v řádu desítek wattů. Výběr tedy padl na mikropočítače z rodiny Raspberry Pi.

Mikropočítač Raspberry Pi

Jedná se o malý počítač s relativně velkým výpočetním výkonem a nízkou spotřebou. Díky velké uživatelské komunitě, která se kolem něj vytvořila, je k dispozici rozsáhlá softwarová a hardwarová podpora s mnoha rozšířeními. Operační systém Linux disponuje pravidelnými nejnovějšími aktualizacemi, čímž se celé zařízení stává bezpečnější proti virům, či napadení z internetu. Přítomnost operačního systému také umožní využití vyšších programovacích jazyků, což urychlí vývoj jednotlivých softwarových komponent zpracovávajících data, nebo komunikujících s databázemi.



Obrázek 1: Mikropočítač Raspberry Pi 3A+

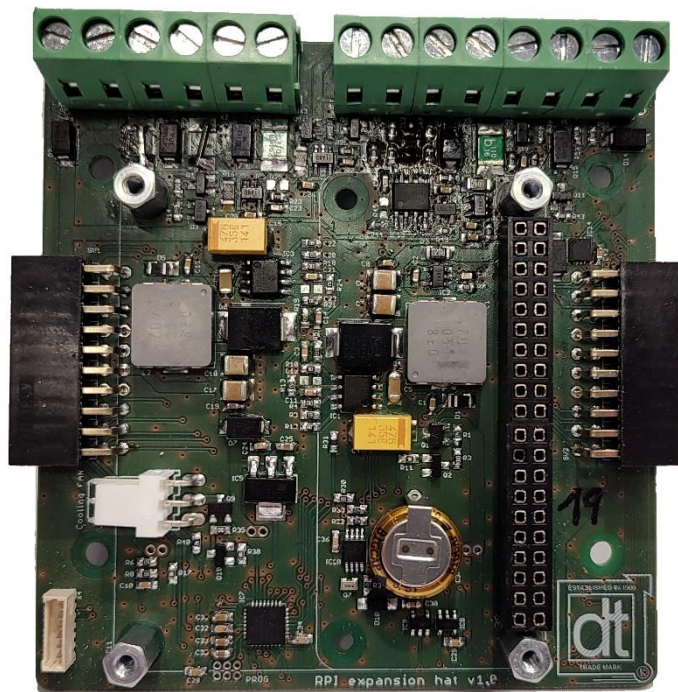
Z pohledu malých rozměrů a co nejnižší spotřeby byla vybrána varianta Raspberry Pi 3A+, viz Obrázek 1. Výhodou oproti jiným modelům je absence ethernetového portu, který, i když není využit, zvyšuje celkovou energetickou náročnost. Přítomnost jednoho plnohodnotného USB portu pak ideálně dostačuje pro připojení USB-LTE modemu k zajištění internetového spojení. Deska mikropočítače poskytuje také 40pinový GPIO port obsahující programovatelné vstupy/výstupy spolu se sériovými sběrnicemi, avšak ty nejsou pro komunikaci se sensory přímo využitelné a je třeba jej doplnit o linkové převodníky. K napájení bohužel nelze přímo využít bateriového zdroje systému DISC-S, jelikož mikropočítač vyžaduje jiné napětí, než jaké je v systému k dispozici. Proto byla navržena rozšiřující deska RPI Expansion Hat, která se stará o převod všech sběrnic a úpravu napájecích napětí.

Rozšiřující deska RPI Expansion Hat

Jak už bylo zmíněno výše, jedná se o rozšiřující desku, která se stará mimo konverzi komunikačních sběrnic, také o úpravu napájecích napětí na hodnoty vhodné pro mikropočítač a připojené sensory.

Rozšiřující deska disponuje šroubovacími svorkami k připojení vodičů viz Obrázek 2. První dvě svorky zleva jsou určeny pro přivedení napájení z baterie systému DISC-S. Následují dva univerzální napěťové výstupy. První je vypínatelný s možností měření proudu a napětím shodným s napětím baterie, druhý podporuje také jak vypínání, tak i měření proudu, avšak výstupní napětí má hodnotu 5V. Oba mohou sloužit pro napájení externích sensorů nebo jiných periférií. Další sada čtyř svorek slouží primárně pro připojení sensorů. Obsahuje vypínatelné 5V napájení s měřením výstupního napětí i proudu a dvojici signálových svorek A, B komunikační sběrnice RS485. Poslední dvě svorky jsou univerzální vstupně výstupní porty, jejichž funkci lze softwarově konfigurovat z mikropočítače. Mají 3,3V logiku, ale jsou 5V tolerantní. Mohou být využity například pro připojení externích tlačítek.

Po stranách rozšiřující desky se nacházejí sběrnice konektory. Obsahují základní sběrnice vyvedené z mikropočítače jako I2C nebo SPI spolu s několika vstupně-výstupními GPIO signály, a také napájecí větve o různých napětích. Hlavním účelem je jednoduché rozšíření o další moduly. V rámci tohoto projektu byl vytvořen rozšiřující sériový modul přidávající dvě sériové sběrnice. Jeho bližší popis lze nalézt v kapitole: *Rozšiřující sériový modul*.



Obrázek 2: Rozšiřující deska RPI Expansion Hat

Schématické zapojení rozšiřující desky lze nalézt v příloze *RPI_ExpansionHat v1.0.pdf*. Základem napájecí části je dvojice výkonných DC-DC step-down měničů, tvořených obvody ACT4533, starající se o snižování 12V napájecího napětí z baterie systému DISC-S na 5V, vhodných pro sensory a mikropočítač Raspberry Pi. Oba měniče jsou schopny dodat proud až 3,5A což je pro napájení sensorů, nebo mikropočítače naprosto dostatečné. První z měničů má na starosti pouze napájení mikropočítače a lze jej v případě potřeby vypnout. To umožní šetřit energii v době, kdy není potřeba, nebo při nízkém stavu baterie. Napájecí větev je doplněna o snímací rezistor pro měření odebraného proudu. Druhý z měničů běží trvale a jeho hlavním úkolem je snížit vstupní napětí z baterie na napětí 5V pro sensory systému DISC-S a sériový převodník na sběrnici RS485. Tato větev dále obsahuje lineární stabilizátor zajišťující 3,3V napájení pro periferie a řídicí mikrokontroler.

Řízení desky RPI Expansion Hat zajišťuje úsporný mikrokontroler. Ovládá spínání napájecích výstupů, měření proudů, vstupních i výstupních napětí a hlídá před jejich přetížením. Taktéž zapíná a v případě potřeby i vypíná mikropočítač. Veškeré naměřené informace jsou poté předávány pomocí I2C sběrnice do mikropočítače, který je může zpracovávat, případně podle potřeby uzpůsobit své chování (např. vypnutí při slabé baterii)

Mezi další důležité periferie patří hodiny reálného času (RTC). Jelikož mikropočítač neobsahuje integrovanou jednotku pro uchování aktuálního času i po vypnutí, je tento obvod doplněn na rozšiřující desce. Umožňuje mikropočítači okamžitě po zapnutí zjistit

aktuální čas bez přístupu k internetové síti. O uchování a běh RTC se stará superkondenzátor, který udrží aktuální čas po dobu minimálně 1,5 týdne. To pokryje i dlouhodobější výpadek v případě úplného vybití baterie. I přesto ale případná ztráta času nezpůsobí žádný větší problém, jelikož se jeho hodnota aktualizuje ihned po připojení k internetu.

Rozšiřující sériový modul

V návaznosti na vývoj komunikačního modulu ve výhybce byl vyvinut také sériový modul, který rozšiřuje konektivitu o další dvě sériové sběrnice. Důvodem je možné připojení sensorů s jiným typem sběrnice, popř. s jinou komunikační rychlostí na jeden obslužný mikropočítač.

Srdce sériového modulu tvoří čip SC16IS752, rozhraní, vytvářející ze sběrnice SPI dvě sériové linky. Ten je přímo připojen na SPI sběrnici mikropočítače a díky dostupným ovladačům v jádře systému Linux umožňuje softwaru přímo přistupovat k oběma linkám.

Sériové linky se dále napojují na dva převodníky. První z nich vytváří volitelně klasickou sběrnici RS485, nebo modifikovanou RS485 po napájecích vodičích (závisí na osazené variantě). Ta je poté dostupná na výstupních svorkách. Druhá se převádí na standardní sběrnici RS232, vyvedenou na interní kolíkovou lištu.

Modul má po stranách konektory identické jako na RPI Expansion Hat, díky kterým se oba propojují dohromady. Signály v konektorech jsou průchozí a umožňují připojení dalších obdobných modulů.



Obrázek 3: Rozšiřující sériový modul

2. Výsledná konstrukce funkčního vzorku

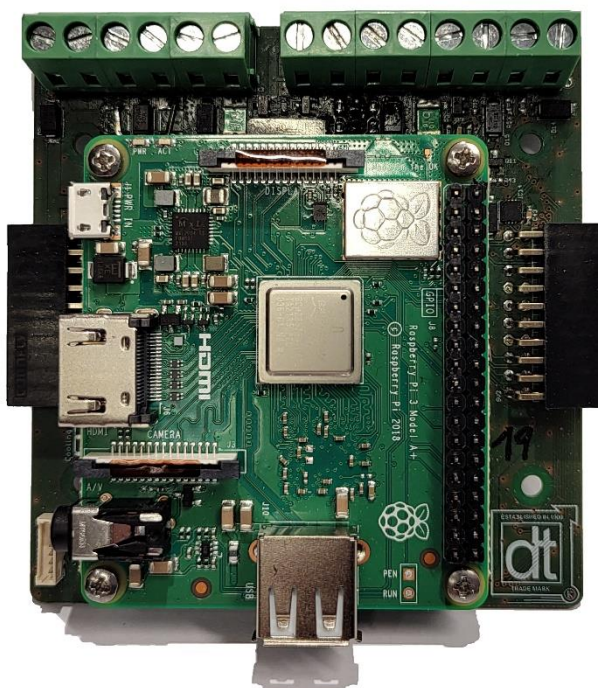
Konstrukce komunikačního modulu je řešena jako „stack“ rozšiřující desky RPI Expansion Hat s mikropočítačem Raspberry Pi 3A+. Ty společně propojuje 40pinový

signálový konektor a jsou fixovány pomocí distančních sloupků viz Obrázek 4. Tento celek byl navrhován pro vložení do krabičky KRADEX Z109, kterou lze umístit na DIN lištu, čímž umožní jednoduchou montáž do různých typů rozvaděčů společně s dalšími rozšiřujícími moduly a součástmi systému DISC-S.

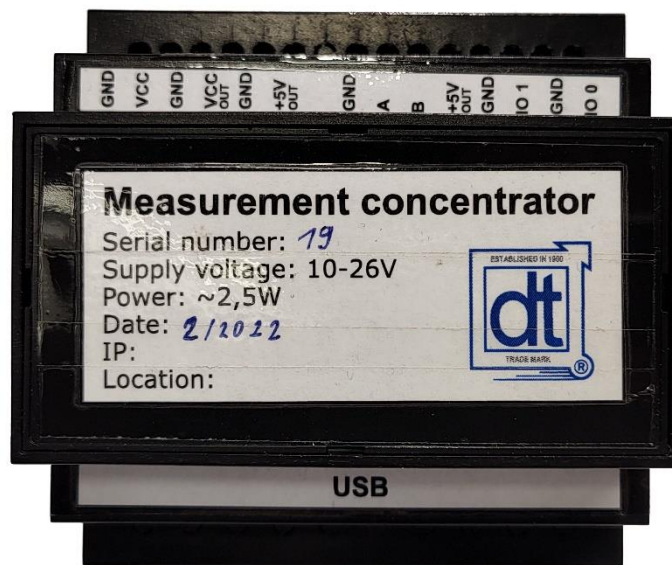
Z vrchní strany komunikačního modulu se předpokládá připojení kabelových svazků pro napájení, komunikační sběrnici a ovládání. Spodní strana obsahuje USB konektor k připojení LTE modemu zajišťující bezdrátové připojení do internetu. Pro tento účel byl zvolen model Huawei E3372, avšak není problém využít jakoukoliv jinou alternativu, případně jiný typ sítě.

Tabulka 1: Parametry komunikačního modulu

Napájecí napětí VCC	10V – 26V
Příkon (zapnuté Raspberry Pi, bez zátěže, bez LTE modemu a sensorů)	~ 1,5W
Příkon (vypnuté Raspberry Pi, bez LTE modemu a sensorů)	~ 0,2W
Výstupní proud VCC _{OUT}	max. 1A
Výstupní proud +5V _{OUT}	max. 1A
Výstupní proud RS485 +5V _{OUT}	max. 1A
Rychlost RS485	max. 1MBaud
Proudové zatížení IO0, IO1	max. 10mA
Montáž	Lišta DIN



Obrázek 4: RPI Expansion Hat s připojeným Raspberry Pi 3A+



Obrázek 5: Komunikační modul

3. Softwarová vybava

V rámci vývoje komunikačního modulu ve výhybce bylo třeba vytvořit několik softwarových nástrojů, jak pro komunikaci se sensory, tak pro správu a ovládání rozšiřující desky RPI Expansion HAT, nebo odesílání dat na vzdálené úložiště.

Packet Router

Jedná se o software napsaný v programovacím jazyce C, jehož úkolem je přeposílání datových paketů mezi jednotlivými sériovými porty, případně UDP serverem. Díky němu lze komunikovat společně s mnoha sensory na různých sběrnicích i s odlišnými přenosovými rychlostmi. Také tento nástroj hraje velice důležitou roli v případě vzdáleného přístupu, konfiguraci nebo aktualizaci softwaru sensorů, kdy zajistí spojení se vzdáleným počítačem. Spouští se automaticky po zapnutí mikropočítače.

Measurement Collector

Hlavní software zajišťující stahování naměřených dat ze sensorů, jejich kontrolu, komprimaci a uložení do souboru. Také synchronizuje aktuální čas všech zařízení na sběrnicích. Program je napsán v jazyce C z důvodu co nejvyšší datové propustnosti a podporuje vícevláknové zpracování. Pro svoji činnost spolupracuje se softwarem Packet Router, který zajistí směrování dat na správnou sběrnici, kde se cílový sensor nachází.

Measurement Sender

Program zaměřený na odesílání naměřených dat na vzdálené úložiště. V periodických intervalech kontroluje, zda byla stažena ze sensorů nová data a v kladném případě vytvoří spojení s cílovým úložištěm, na které daná data nahraje. Taktéž o nich vytvoří nový záznam v databázi pro pozdější zpracování neurální sítí. Celý program byl napsán v jazyce Python.

Telemetry Checker

Nástroj, jehož úkolem je vyčítat aktuální měřené parametry z rozšiřující desky RPI Expansion Hat. Ty poté zapisuje do souboru pro pozdější analýzu. Mezi tyto parametry patří např. vstupní napětí, odebírané proudy na výstupech, nebo teplota DC-DC měničů. Mimo jiné hlídá napětí baterie a v případě blízkosti jejího vybití přepne mikropočítač do diskrétního režimu, ve kterém ho automaticky vypíná po stažení dat ze sensorů a odeslání na server za účelem minimalizování spotřeby. Program je z důvodu jednoduchosti napsán v jazyce Python.

4. Implementace funkčního vzorku

Komunikační modul je nainstalován jako součást systému DISC-S do společného rozvaděče na DIN lištu, poblíž měřené výhybky. Díky sběrnici RS485 a rozšiřujícímu sériovému modulu může být na jeden komunikační modul připojeno více sensorů dokonce i z vyšší vzdálenosti, nebo více výhybek. Do USB portu se připojí LTE modem pro zajištění přístupu k internetu.



Obrázek 6: Instalace komunikačního modulu a sériového modulu v rozvaděči

Samotné nastavení poté spočívá v úpravě konfiguračních souborů jednotlivých programů a nahrání profilu VPN pro vzdálené připojení.

Program Packet Router vyžaduje specifikování sériových portů a jejich komunikačních rychlostí, na které jsou připojeny sensory, případně síťového UDP portu, přes který poběží komunikace s Measurement Collectorem, nebo vzdálenou správou.

Nástroj Measurement Collector ke své činnosti potřebuje definovat sériová čísla všech sensorů ze kterých budou stahována naměřená data, dále specifikovat úložné místo, a nakonec název výhybky s lokalitou k identifikaci v případě napojení více výhybek.

U Measurement Senderu je třeba zadat IP adresu s přihlašovacími údaji ke vzdálenému úložišti, databázi, nebo také cestu ke staženým datům ze sensorů. Program poté funguje automaticky.

Po instalaci a konfiguraci všech programů funguje celý systém autonomně bez zásahu uživatele. V případě potřeby umožňuje vzdálený přístup chráněný přes VPN a díky vytvořeným programům také konfiguraci, či aktualizaci softwaru v jednotlivých sensorech.

5. Závěr

V rámci programu Výhybka 4.0 se podařilo úspěšně navrhnout a sestavit komunikační modul ve výhybce. Cíle stanovené na počátku návrhu funkčního vzorku, jako jsou nízká spotřeba, dostatečný výpočetní výkon, nebo připojení k internetu byly dosaženy, což ověřila následná implementace do systému DISC-S a umístění v reálném provozu. Velkou výhodou návrhu je jeho univerzálnost, kdy jej lze volitelně rozšiřovat o další moduly, či využít v úplně odlišných systémech například jako řídicí jednotku.

Výsledkem je tedy unikátní zařízení realizující komunikaci s měřicími sensory, stahující z nich naměřená data, která dále zpracovaná odesílá na vzdálené úložiště do internetu k hlubší analýze. Tím tvoří důležitou komponentu zjednodušující a automatizující oblast monitoringu a diagnostiky výhybek.