



## **Výhybka 4.0 CK01000091**

**Funkční vzorek  
Stacionární zařízení pro měření a sběr dat ve výhybce DISC-S  
CK01000091-V1**

**Autoři:**

Petr Navrátil  
Ondřej Jeřábek

V Prostějově dne 16. 12. 2022

# Úvod

Na základě řešení projektu poskytovatele TAČR v rámci programu Doprava2020+ číslo CK01000091 s názvem Výhybka 4.0 byl vyvinut funkční vzorek číslo CK01000091-V1 "Stacionární zařízení pro měření a sběr dat ve výhybce DISC-S".

## 1. Návrh funkčního vzorku

Návrh funkčního vzorku byl založen na základě dlouhodobého měření a sledování parametrů železničních výhybek. Na základě působení dynamických účinků v oblastech přechodu u pevných srdcovek byly vybrány vhodná místa k měření a vhodné snímače na výhybce. U výběru snímačů je kladen důraz na použití snímačů s co nejnižšími pořizovacími náklady. Rovněž bylo nutné vybudovat vhodné zařízení, které bude zajišťovat napájení pro tyto snímače a pojme i komunikační modul pro zasílání informací pro vzdálenou správu a diagnostiku. Vznikl tedy rozvaděč DISC-S (Diagnostics of Switches and Crossings - Stationary), který leží v blízkosti dané výhybky mimo průjezdný průřez.

Samotný rozvaděč DISC-S se skládá z napájecího zařízení (solárních panelů), baterie, datového a komunikačního modulu. Připojené snímače jsou umístěny v kolejové části a komunikace s nimi probíhá pomocí univerzální sběrnice 485, ke které lze připojit různé typy snímačů (zejména akcelerometrické, tenzometrické nebo indukční). Jednotlivé snímače jsou napájeny z rozvaděče DISC-S. Tento rozvaděč může sloužit pro monitoring a napájení i více než jedné výhybky v dané lokalitě. Baterie v rozvaděči je dimenzována tak, aby zařízení vydrželo napájet senzory nejméně 7 dní i při odpojení solárního panelu. Samotné snímače umístěné na kolejnici procházely pečlivým výběrem, jelikož jsou ovlivněny mnoha fyzikálními faktory. Stejně tak je nutné přihlídnout na snadnou montáž a demontáž snímačů. Z důvodů trvalého umístění snímačů je nutné zajistit i elektrickou bezpečnost vytvořených snímačů a jejich kompatibilitu se současným provozem zabezpečovacích zařízení používaných na drahách v ČR.

## 2. Výsledná konstrukce funkčního vzorku

Celý systém DISC-S sestává z několika samostatných částí. První částí jsou samotné snímače, které jsou uloženy v průjezdném průřezu na kolejnicích a pražcích u sledované výhybky. Druhou částí je část řídicí a napájecí, kterou tvoří rozvaděč DISC-S a solární panely umístěné v blízkosti rozvaděče. Samotný rozvaděč je umístěn mimo kolejiště v blízkosti dané výhybky. Solární panely slouží pro napájení a nabíjení baterie uvnitř rozvaděče. Nabíjecí obvody, včetně řídicí jednotky s komunikačním modulem jsou umístěny uvnitř rozvaděče.

Elektronika ke snímačům je vyrobena u účastníka projektu DT – Výhybkárna a strojírna, a.s. (dále jen DT) a je vložena spolu se snímačem do kovové krabičky, která je montována pomocí šroubového spoje na kovovou, případně plastovou podložku. Tato podložka je v daném místě pevně přichycena pomocí vhodného lepidla na pražec, případně kolejnici. Tímto se docílí snadné výměny snímače, aniž by byl samotný snímač posunut do jiného měřicího místa. Kabely ke snímačům jsou v trati vedeny pomocí chráničky kabelů, která je přichycena k pražci kovovými sponami. Toto uchycení je zejména z důvodu ochrany kabelů před podbíjením v dané části výhybky. Všechny kabely snímačů jsou svedeny do rozvodné krabice Mx umístěné při kraji

provozované tratě. Tato rozvodnice slouží pro větvení komunikační sběrnice a napájení z rozvaděče DISC-S.

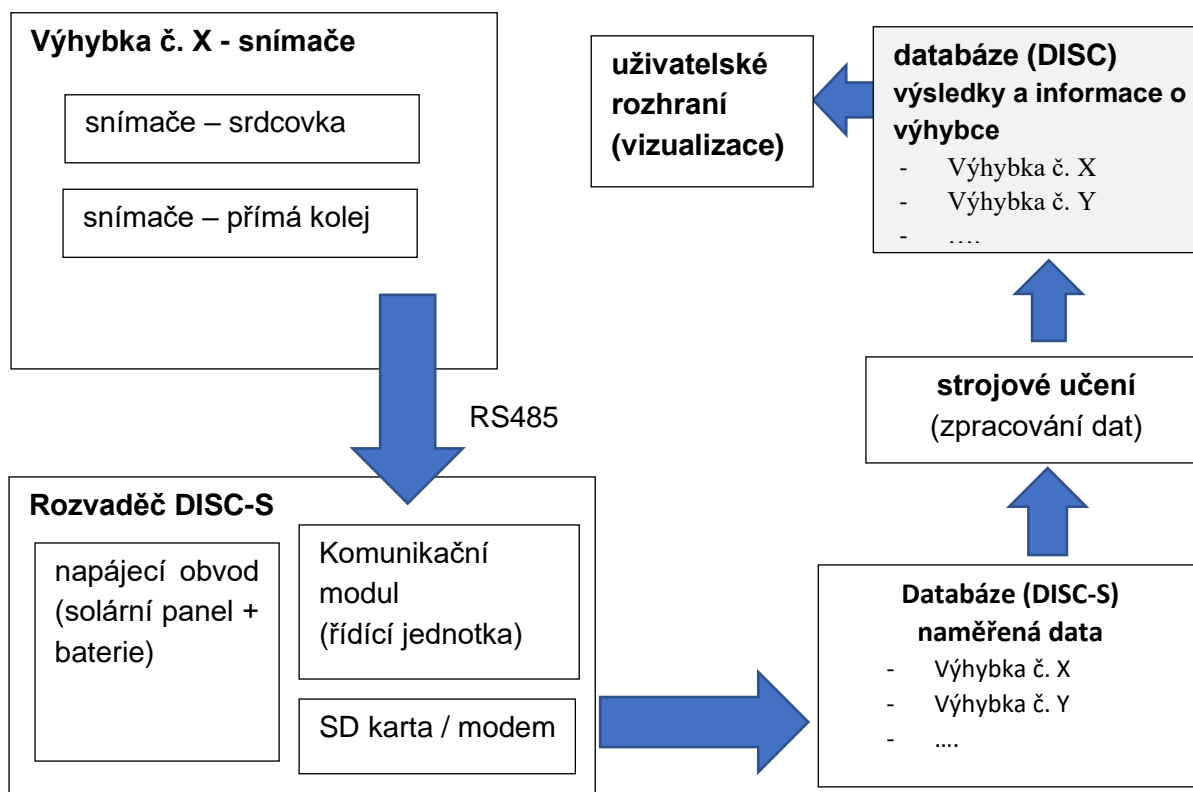
O řízení a dohled snímačů se stará komunikační modul ve výhybce, který je umístěn uvnitř rozvaděče. Pro připojení snímačů je využito sériové komunikační rozhraní RS485. Přes toto rozhraní probíhá nastavení a čtení hodnot snímačů. Základem komunikačního modulu je mikropočítač Rasperry-Pi 3A, na kterém běží operační systém Linux. Data získaná ze snímačů jsou předzpracována a odeslána na server uložený v síti DT pomocí USB LTE modemu. Samotný komunikační modul má ze všech připojených zařízení v systému nejvyšší spotřebu elektrické energie (cca 3-5 W), proto je zejména v zimních měsících při nastavených podmínkách (např. nízké napětí baterie) na danou dobu odpojen a probouzí se pouze v daných intervalech, aby proběhlo vyčtení jednotlivých snímačů a odeslání na server.

Solární panely pro tento systém dosahují výkonu až 45 W. V letních měsících je výkon dostatečný, naopak v zimních měsících je výkon panelu nižší a baterie se nemusí stíhat nabíjet. Z tohoto důvodu je nutné sledovat stav baterie a případně odpojovat při nízkém stavu napětí komunikační modul a prodloužit tak výdrž samotného zařízení. Výkonnější solární panel nebyl uvažován z důvodu vyšších rozměrů a váhy.

Kapacita olověného 12 V akumulátoru v rozvaděči je 60 Ah. Pro jeho nabíjení byl zvolen PWM solární regulátor, který má nízkou spotřebu a nezatíží tak baterii v nočních hodinách, kdy se baterie pouze vybíjí. Současně s nabíjením hlídá i životnost baterie a v případě nízkého napětí odpojí baterii a připojí zpět na výstup až při nastavené úrovni napětí.

Pro účely testování bylo vybudováno stanoviště přímo v areálu DT u výhybky na místní vlečné trati. Zde probíhalo ověřování výdrže baterie, průběh datové komunikace, funkčnost snímačů. V závěru roku 2022 se započalo s postupným nasazováním odzkoušeného vzorku na vybrané výhybky do provozované trati SŽ.

## 2.1 Schéma systému DISC-S



## 2.2 Snímače

Umístění snímačů na konkrétní výhybce vychází z certifikované metodiky *Hodnocení dynamických účinků působících na výhybky* [1]. Běžně používané snímače jsou tenzometrické a akcelerometrické. Umístění v srdcovkové části je přibližně v tloušťce hrotu srdcovky 26 a 40 mm. Snímače na kolejnici jsou rovněž doplněny snímači umístěnými na pražec.

### Akcelerometrické snímače

Jedná se o snímače pro měření zrychlení vibrací. Zachycují rychlé dynamické průběhy, proto musí být vzorkovací rychlost alespoň 10 kHz. Stejně tak je nutné vhodně zvolit měřicí rozsah akcelerometru. Akcelerometry určené na pražce jsou vhodné s rozsahem měření do +/- 200 g. Naopak pro akcelerometry umístěné na kolejnici je nutné zvolit měřicí rozsah alespoň +/- 500 g. Na základě testování jednotlivých typů cenově dostupných akcelerometrů se vybral jako vhodný typ 1osý akcelerometr od firmy TE Connectivity modelová řada 3038, která nabízí rozsahy měření od 50 g až po 6000 g. Tento typ akcelerometru neobsahuje vnitřní zesilovač a v případě přebuzení měřicího rozsahu pouze limituje naměřenou hodnotu a ihned pokračuje v měření bez saturace. Tohoto jevu využíváme především pro akcelerometry umístěné na kolejnici. Jelikož výrobce tento typ akcelerometrů nabízí pouze jako 1osý, tudíž je nutné pro měření vibrací ve více směrech umístit více akcelerometrů. Pro snímání dynamických jevů na pražci postačuje od stejného výrobce modelová řada 830M1, která nabízí stejné měřicí

rozsahy v 3osém provedení, ale s již zabudovaným zesilovačem. K těmto akcelerometrům byly navrženy desky plošných spojů, vhodné pouzdro a zhotoveno přímo v DT včetně ovládacího softwaru.



Obrázek 1: DPS 1osého snímače pro kolejnici před aplikací zalévací hmoty



Obrázek 2: Akcelerometry nalepené v trati (2x pražec + kolej)

Snímač určený pro kolejnici je zmenšený z důvodu umístění na patu kolejnice, či stojinu. Řídící elektronika pro snímač na kolejnici je umístěna na nejbližším pražci v kovové krabičce podobně jako snímače pro měření na pražci a je propojena pouze pomocí krátkého kabelu.

Umístění snímače na stojinu se provede rovněž přišroubováním na nalepenou nerezové podložku. Okolí podložky je zatěsněno proti vlhkosti pomocí tekutého kovu.

Všechny snímače splňují požadavek na elektrické oddělení, tedy elektrickou pevnost 4 kV. Rovněž není použito napájecí napětí přesahující 12 V. Stupeň krytí u použitých senzorů je IP65.



Obrázek 3: Nerezová podložka s krytkou šroubů na stojně



Obrázek 4: Snímač pro stojinu před aplikací zalévací hmotou

Technické parametry pro akcelerometry:

Napájecí napětí: 4,5 – 5,5 V DC

Výkon zařízení: 0,5 W

Stupeň krytí: IP65

Třída ochrany: 3

Délka přívodního kabelu: 5 m (s prodloužením až 55 m)

Montáž: šroubové upevnění na podložku přilepenou na pražec, kolejnici

**Tenzometrické snímače**

Pro umístění tenzometrického snímače je nutné předem vyvrtat díru o průměru 30 mm do neutrální osy koleje. Tyto snímače slouží jako trigovací senzory celého měření a budou sloužit i pro upřesnění typu vozidla, který výhybkou projel a jakým směrem. Pomocí vzdálenosti dvou senzorů se zjistí jednoduše i rychlost vozidla.



Provedení senzorů je na obrázku č. 5. Stínění v tomto případě není připojeno. Již se jedná o hotový výrobek, který je již zalit. Uvnitř senzoru jsou tenzometry zapojené do plného mostu. Výstup senzoru je realizován po sběrnici 485. Napájení tohoto senzoru je v rozsahu 10 – 30 V DC. Elektrické oddělení je zde rovněž 4 kV.



Obrázek 5: Tenzometrický snímač



Obrázek 6: Umístění tenzometrického snímače v trati

Technické parametry tenzometru:

Napájecí napětí: 10 – 30 V DC

Výkon zařízení: 0,5 W

Stupeň krytí: IP66

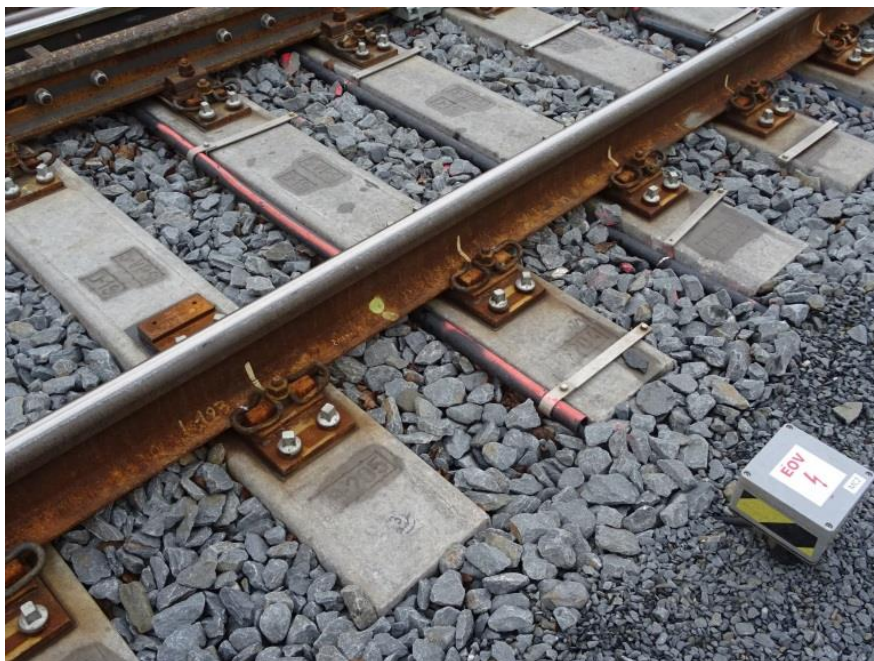
Třída ochrany: 3

Délka přívodního kabelu: 5 m (s prodloužením až 105 m)

Montáž: Do předem vyvrtaného otvoru 30 mm v neutrální ose kolejnice, mezi pražci.

## MX rozvodnice pro připojení jednotlivých senzorů

Jednotlivé snímače budou svedeny do blízké rozvodnice stejně jako je tomu u aplikací EOv, viz obrázek č. 7. Kabely od snímačů se svedou do chráničky připevněné sponami k pražci z důvodů případného podbíjení výhybky. Stupeň krytí rozvodnice se zachová použitím vhodných vývodek s krytím IP68.



Obrázek 7: Rozvodnice a chráničí trubka kabeláže snímačů

### Parametry použité rozvodnice:

Výrobce: ENSTO  
Rozměry: 160x160x91 mm  
Stupeň krytí: IP 66

## 2.3 Rozvaděč zařízení DISC-S

Rozvaděč je umístěn v blízkosti sledované výhybky. Součástí rozvaděče je samostatné napájení pomocí solárního panelu s baterií. Samotný rozvaděč je plastový od firmy ELPLAST-KPZ s krytím IP54. Rozvaděč při umístění nevyžaduje betonový základ.





Obrázek 8: Rozvaděč a solární panel pro DISC-S

Parametry – rozvaděč:

Výrobce: ELPLAST-KPZ  
 Rozměry: 500x350x390 mm  
 Umístění na soklu: 500x350x390 mm  
 Výška sestavy základu v zemi: 600 mm  
 Stupeň krytí: IP54

**Napájecí obvod v rozvaděči**

Skládá se ze solárního panelu, trakční baterie a solárního regulátoru. Solární panel je možno umístit přímo na rozvaděč, případně ve vhodné vzdálenosti od rozvaděče na samostatnou tyč pro zajištění dostatečného osvětlení. Solární regulátor a trakční baterie jsou umístěny uvnitř rozvaděče. Solární regulátor rovněž hlídá stav baterie a v případě nízké úrovně odpojí výstup a bude pouze nabíjet baterii.



Technické parametry – solární panel:

Výrobce: Victron Energy  
 Provozní napětí: 12 V DC  
 Špičkový výkon: 45 W  
 Rozměry: 425x668x25 mm  
 Stupeň krytí: IP67



#### Technické parametry – PWM solární regulátor:

Výrobce: Victron Energy  
Maximální vstupní napětí: 28 V DC (pro funkci s 12 V Baterií)  
Výstupní napětí: 11,2 až 13,8 V DC  
Výstupní proud: max 5 A

*Použitá baterie v zařízení je olověná, bezúdržbová a s kapacitou 60 Ah a napětím 12 V DC.*

### **Komunikační modul (řídící jednotka)**

Komunikační modul slouží pro vyčtení záznamů jednotlivých průjezdů ze senzorů po komunikační sběrnici a pro napájení senzorů. Naměřená data stáhne ze senzorů, předzpracuje a uloží na SD kartu. Předzpracovaná data rovněž odešle pomocí LTE modemu na server do připravené databáze. Řídící jednotka je umístěna z důvodu nižšího krytí v rozvaděčové skříni.

#### Technické parametry komunikačního modulu:

Vstupní napětí: 10 – 30 V DC  
Výstupní napětí: 5 – 30V DC  
Výkon zařízení: 5 W  
Stupeň krytí: IP20

## **2.4 Databáze DISC a DISC-S**

Spolu se získáváním dat na výhybce bylo nutné vytvořit systém pro přehledné zpracování a třídění získaných dat. Pro naměřená data ze zařízení vznikla databáze DISC-S, která obsahuje základní metadata o jednotlivých měřících záznamech.

Druhá databáze s názvem DISC obsahuje dostupné informace o měřených výhybkách, jejich parametrech a seznam známých údržbových záznamů, včetně provedených manuálních měření na výhybce. Tato databáze je i sdílena s databází pro systém DISC-M (Diagnostics of Switches and Crossings – Mobile), která slouží pro uložení dat získaných z vozidla, které výhybkou projelo. Do databáze DISC se budou následně ukládat vyhodnocená data z algoritmů strojového učení, která se zobrazí v uživatelském rozhraní a zobrazí tak stav výhybkové konstrukce.

## **3. Implementace funkčního vzorku**

Ověření vytvořených snímačů probíhalo přímo v trati provozované SŽ s porovnáním s daty získanými pomocí komerčních zakoupených snímačů a měřící ústředny. Testovací pracoviště v DT nebylo projížďeno vysokými rychlostmi, tudíž bylo nutné ověření i v trati SŽ. Ověření provozu rozvaděče a komunikace s databází byla ověřena přímo z testovacího pracoviště z DT.

S pořízováním jednotlivých dat byla zprovozněna databáze na serveru v DT, kde se budou již automatizovaně data ukládat a připravovat pro vyhodnocení pomocí strojového učení.



Po provedení těchto zkoušek bylo uděleno povolení k vložení zařízení do trati SŽ konkrétně na 4 výhybkové konstrukce do 3 lokalit. Do konce roku 2022 bylo provedeno vložení systému DISC-S na dvě měřicí místa, a to Červenka a Grygov.



Obrázek 9: Zařízení DISC-S umístěné v trati – Grygov



Obrázek 10: Zařízení DISC-S umístěné v trati - Červenka

## 4. Závěr

Na základě dosažených výsledků lze konstatovat, že ověření vlastností funkčního vzorku „Stacionární zařízení pro měření a sběr dat ve výhybce DISC-S“ bylo úspěšné a výsledkem je univerzální senzorický systém, který umožní vzdálené sledování stavu výhybkových konstrukcí. Takto získaná data poslouží k dalšímu zpracování pro algoritmy strojového učení a umožní tak včasné detekovat vady konstrukce již v samotném počátku a naplánovat tak preventivní údržbu. Získaná data rovněž poslouží pro porovnání se systémem měření na vozidle DISC-M.

## Literatura

[1] SMUTNÝ, Jaroslav, Luboš PAZDERA a Ivan VUKUŠIČ. *Hodnocení dynamických účinků působících na výhybky*. Certifikovaná metodika. Brno, 2014.