



SMART kolejnicový lepený izolovaný styk

FW10010065

Prototyp

Ambulantní SMARTLIS

FW10010065-V2

ZPRÁVA O DOSAŽENÍ VÝSLEDKU

Autoři:

Ing. Ondřej Rubeš PhD

Ing. Chalupa Jan

Ing. Černý Antonín

Ing. Hadraba Petr PhD

Lukáš Babic

Jiří Červinka

Martin Rumler

Ing. Ivo Stachiv PhD

V Brně dne 30.6.2026

1. Úvod

Tento dokument podrobně popisuje výsledek FW10010065-V2 s názvem „Ambulantní SMARTLIS“.

2. Návrh prototypu

Návrh prototypu V2 Ambulantní SMARTLIS navazuje na metodiku vývoje použitou při návrhu prototypu V1 SMARTLIS, avšak mechanická konstrukce byla významně modifikována s ohledem na požadavky ambulantní sady a způsob její instalace na železniční infrastrukturu. Základním cílem bylo vytvořit konstrukční řešení umožňující rychlou montáž, snadnou manipulaci a současně integraci senzorického systému bez negativního ovlivnění mechanické funkce spojovacího profilu.

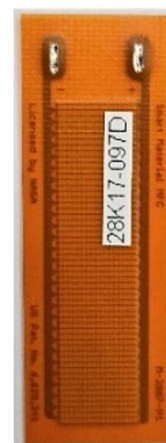
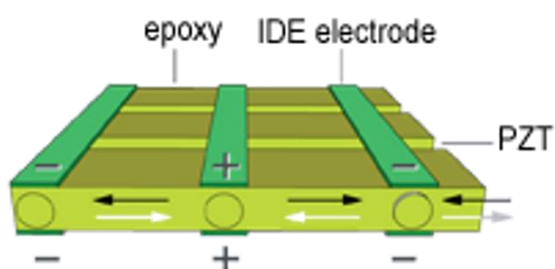
Stejně jako u prototypu V1 byly pro monitorování mechanického namáhání použity piezokompozitní senzory MFC (Obr. 1), jejichž rozmístění bylo navrženo na základě výpočtových modelů metodou konečných prvků (Obr. 2). Návrh byl zaměřen na nalezení takových pozic, ve kterých senzory poskytují vysokou citlivost na změny deformace vznikající při průjezdu kolejových vozidel a současně umožňují dlouhodobě stabilní měření. Výpočtové modelování zahrnovalo optimalizaci geometrie spojovacího profilu, rozmístění senzorů i analýzu mechanické odezvy konstrukce při provozním zatížení.

Oproti prototypu V1 bylo nutné přizpůsobit konstrukční řešení požadavkům ambulantní instalace, zejména z hlediska umístění kabeláže, ochrany senzorů a způsobu připojení vyhodnocovací a komunikační jednotky V3. Konstrukce proto obsahuje vyhrazené rozhraní pro připojení senzorického systému a je připravena pro integraci autonomní IoT jednotky zajišťující lokální vyhodnocování dat a jejich přenos do cloudového prostředí.

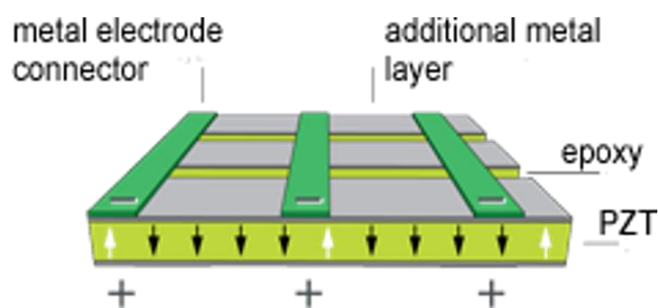
Výsledkem návrhové fáze je ambulantní senzorický systém umožňující sledování provozního zatížení, detekci zvýšených vibrací a identifikaci změn deformace souvisejících s opotřebením lepeného izolovaného styku. Navržené řešení tvoří základ pro realizaci prototypu Ambulantní SMARTLIS a jeho následné využití v rámci systému monitorování a prediktivní údržby železniční infrastruktury.

Source: Smart Material Corp.

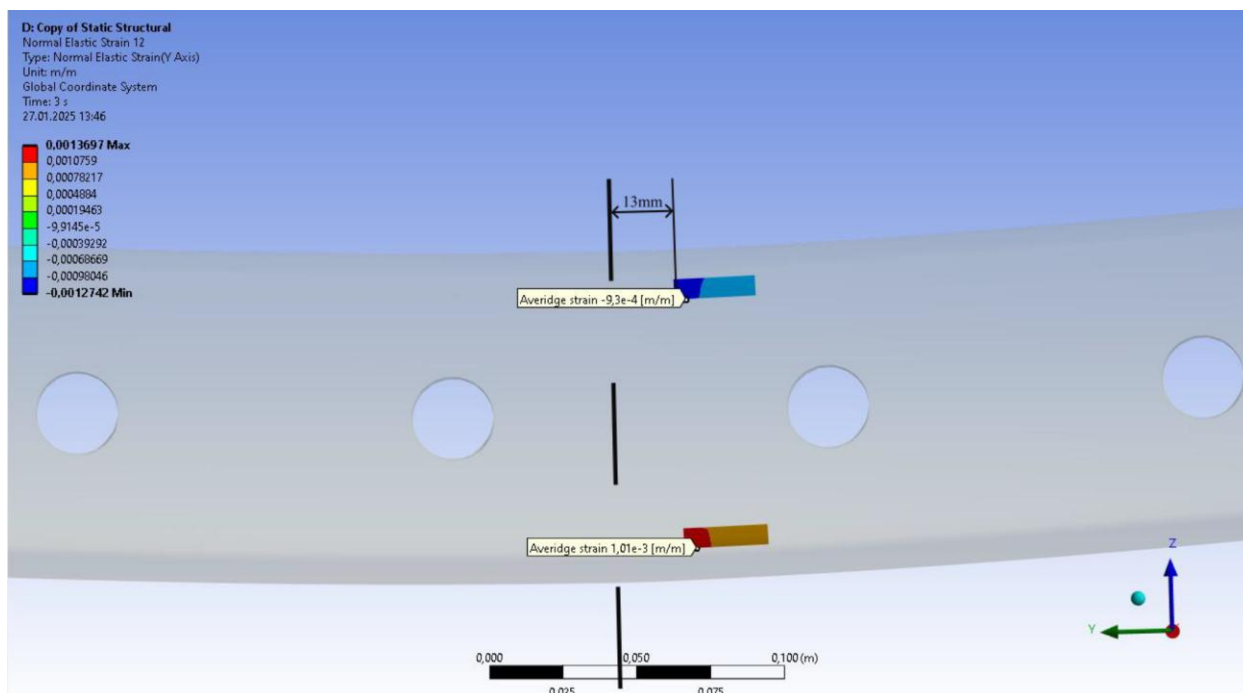
Mode d33:



Mode d31:



Obr. 1: Použité MFC senzory



Obr. 2: MKP analýza pozice MFC senzorů, ze které se vychází

3. Postup výroby

Výroba prototypu Ambulantní SMARTLIS navazovala na technologické postupy vyvinuté při realizaci prototypu V1 SMARTLIS. S ohledem na odlišnou konstrukci ambulantní sady však bylo nutné upravit rozmístění sensorických prvků, způsob vedení kabeláže i jednotlivé kroky montážního procesu. Hlavním cílem bylo zajistit spolehlivou integraci piezokompozitních MFC senzorů do konstrukce spojovacího profilu při zachování mechanické odolnosti a dlouhodobé stability měřených signálů.

Prvním krokem výroby bylo přesné umístění piezokompozitních MFC senzorů do předem definovaných pozic na povrchu spojky. Rozmístění senzorů vycházelo z výsledků výpočtového modelování a experimentální optimalizace provedené v návrhové fázi. Vlastní proces instalace senzorů na spojku je zachycen na Obr. 3.



Obr. 3: Umisťování MFC senzorů na spojku

Po osazení byly senzory mechanicky zafixovány a připraveny pro následné zalití do lepené vrstvy. Tato operace byla důležitá zejména z hlediska zachování přesné polohy senzorů během dalších technologických kroků a zajištění reprodukovatelnosti výroby. Stav připravené spojky se zafixovanými senzory je uveden na Obr. 4.



Obr. 4: MFC senzory zafixované připravené k lepení spojky

Následně bylo provedeno nanášení lepicí hmoty, která zajišťuje vytvoření pevného spojení mezi jednotlivými částmi konstrukce a současně poskytuje ochranu integrovaným sensorům. Při aplikaci lepidla bylo nutné zajistit rovnoměrné rozložení materiálu a současně minimalizovat vznik vzduchových dutin, které by mohly negativně ovlivnit mechanické vlastnosti výsledného spoje. Proces nanášení lepidla je znázorněn na Obr. 5.



Obr. 5: Nanášení lepidla na spojku

Po dokončení aplikace lepicí vrstvy následovala montáž celého spojovacího systému včetně izolačních vrstev. Během této operace byly spojeny jednotlivé konstrukční části a vytvořen kompletní funkční celek odpovídající návrhové dokumentaci ambulantního SMARTLIS. Současně byla zajištěna elektrická izolace jednotlivých částí systému při zachování požadovaných mechanických parametrů. Montáž spojky s lepidlem a izolačními vrstvami je zobrazena na Obr. 6.



Obr. 6: Montáž spojky s lepidlem a izolačními vrstvami

Poslední fází výroby bylo vytvrzování a zrání celého sestaveného systému. V průběhu této fáze dochází ke stabilizaci mechanických vlastností lepeného spoje a dosažení požadovaných parametrů pevnosti a tuhosti konstrukce. Kompletně smontovaná sestava v procesu vytvrzování je uvedena na Obr. 7.

Výsledkem výrobního procesu je funkční prototyp Ambulantní SMARTLIS s integrovanými piezokompozitními senzory připravený pro laboratorní i provozní testování a následné vyhodnocování stavu lepeného izolovaného styku.



Obr. 7: Smontovaný celek v procesu tuhnutí a zrání

4. Testování prototypu

Po dokončení výrobního procesu, vytvrzení lepeného spoje a dosažení požadovaných mechanických vlastností byl prototyp podroben závěrečným technologickým úpravám. Ty zahrnovaly očištění povrchu, kontrolu kvality provedených spojů a aplikaci ochranného povrchového nátěru zajišťujícího zvýšenou odolnost proti působení okolního prostředí a mechanickému poškození během manipulace a provozu.

Následně byl prototyp osazen mezi dvojici kolejnic a smontován do konfigurace odpovídající reálnému způsobu použití na železniční trati. Tím byl vytvořen kompletní zkušební celek umožňující ověřit jak mechanickou funkci ambulantního SMARTLIS, tak činnost integrovaného senzorického systému. Sestavený prototyp připravený pro zkoušky je uveden na Obr. 8.

Realizované testování bylo zaměřeno především na ověření správné funkce integrovaných piezokompozitních MFC senzorů, kontrolu kvality jejich zabudování do konstrukce a ověření schopnosti systému zaznamenávat deformace vznikající při zatěžování kolejnicového styku. Současně byla sledována mechanická stabilita konstrukce, kvalita lepeného spoje a funkčnost elektrického propojení senzorického systému.

Provedené zkoušky potvrdily správnou funkčnost navrženého konstrukčního řešení a připravenost prototypu k dalším experimentálním a provozním měřením. Podrobný popis metodiky zkoušek, použitých měřicích postupů a dosažených výsledků je uveden v samostatné dokumentaci věnované testování prototypu.



Obr. 8: Montáž hotového prototypu na kolejnici pro účely testování

5. Závěr

V rámci řešení projektu SMARTLIS byl úspěšně navržen, vyroben a experimentálně ověřen prototyp V2 Ambulantní SMARTLIS, představující inovované řešení ambulantní sady lepeného izolovaného styku s integrovanými piezokompozitními MFC senzory. Návrh prototypu vycházel z poznatků získaných při vývoji systému SMARTLIS a byl přizpůsoben specifickým požadavkům ambulantního provedení, zejména z hlediska konstrukce spojovacího profilu, integrace senzorického systému a budoucího připojení vyhodnocovací a komunikační jednotky.

V průběhu vývoje byly využity numerické výpočty a modelování metodou konečných prvků pro optimalizaci rozmístění senzorů a identifikaci oblastí s nejvyšší citlivostí na mechanické namáhání. Následně byla navržena a ověřena technologie výroby umožňující spolehlivou integraci senzorických prvků do konstrukce prototypu při zachování mechanických i izolačních vlastností styku.

Realizovaný výrobní proces prokázal, že navržené technologické postupy umožňují opakovatelnou výrobu funkčních vzorků s integrovanou senzorikou. Po dokončení výroby byl prototyp sestaven do konfigurace odpovídající reálnému provoznímu nasazení a podroben funkčnímu ověření. Provedené zkoušky potvrdily správnou funkčnost konstrukce i schopnost integrovaných senzorů snímat mechanickou odezvu vznikající při zatěžování kolejnicového styku.

Dosažené výsledky potvrzují technickou realizovatelnost navrženého řešení a vytvářejí základ pro jeho využití v systému monitorování stavu železniční infrastruktury. Prototyp V2 Ambulantní SMARTLIS současně představuje důležitý krok směrem k praktickému nasazení metod prediktivní údržby založených na dlouhodobém sledování provozního zatížení a změn technického stavu lepených izolovaných styků.