

THE VIBRATION MEASUREMENT USING MICROCONTROLLERS

MĚŘENÍ VIBRACÍ S VYUŽITÍM MIKROKONTROLÉRŮ

Jaroslav Smutný, Dušan Janoščík, Radovan Rímský, Iunishchenko Petr
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební
Ústav železničních konstrukcí a staveb, Veveří 95, 602 00 Brno

ABSTRACT

The contribution is devoted to the issue of measuring vibrations and possibly also noise using microcontroller technology. The contribution contains a theoretical introduction to the issue, and further describes the practical hardware implementation of the measuring system, the basis of which is a suitable microcontroller. Part of the contribution is also an analysis of the appropriateness of using such a measurement technique for application specifically in the field of railway constructions and buildings. The conclusion includes recommendations for other workplaces that would like to use this method of measurement.

Keywords: Vibration, microcontroller, time domain analysis and frequency plane, identification of selected harmful phenomena, railway line.

1. INTRODUCTION

Civil engineering belongs to a group of technical fields that are characterized by a relatively conservative approach to the introduction of new procedures both in the field of design, implementation, but also management and diagnostics. However, modern times bring a number of new options that are more advantageous than traditional methods. Technological progress in the field of new materials, mathematics, electronics or software engineering makes new technologies and procedures available. This applies not only to new types of sensors, new data processing systems, but also to methods of artificial intelligence or machine learning. At the same time, it is possible to state that even though current computer technology enables advanced simulations of structures and buildings, experimental testing of both static and dynamic properties of structures is irreplaceable. In addition, experimental analysis can provide important information about the current prop-

ABSTRAKT

Příspěvek je věnován problematice měření vibrací případně i hluku pomocí technologie mikrokontrolérů. Příspěvek obsahuje teoretický úvod do problematiky, dále popisuje praktickou hardwarovou a softwarovou realizaci měřicího systému, jehož základem je vhodný mikrokontrolér. Závěr zahrnuje doporučení pro další pracoviště, které by chtěly tento způsob měření využívat. Součástí příspěvku je také rozbor vhodnosti využití takovéto techniky měření pro aplikaci konkrétně v oblasti železničních konstrukcí a staveb.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vibrace, mikrokontrolér, analýza v časové a frekvenční rovině, identifikace vybraných škodlivých jevů, železniční trať

1. ÚVOD

Stavebnictví patří ke skupině technických oborů, které se vyznačují poměrně konzervativním přístupem k zavádění nových postupů jak v oblasti projektování, realizace, ale také správy a diagnostiky. Současná doba však přináší řadu nových možností, které jsou výhodnější než tradiční metody. Technologický pokrok na poli nových materiálů, matematiky, elektroniky nebo softwarového inženýrství zpřístupňuje nové technologie a postupy. Týká se to nejen nových typů senzorů, nových systémů na zpracování dat, ale také metod umělé inteligence anebo strojového učení. Zároveň je možné konstatovat, že i když současná výpočetní technika umožňuje vyspělé simulace konstrukcí i staveb, je experimentální testování jak statických, tak dynamických vlastností konstrukcí nezastupitelné. Experimentální analýzy navíc může poskytovat důležité informace o aktuálních vlastnostech konstrukcí v průběhu jejich životního cyklu a reagovat tak na vznikající nepříznivé stavy [1].

erties of structures during their life cycle and thus react to emerging adverse conditions [1].

The dynamic behaviour of the railway track is influenced by the properties of all parts of the railway bed, i.e. the quality of the gravel bed, the type of sleepers, the quality of their padding, the properties of the fine rail material, the type of fasteners and also the quality of the body of the railway substructure. The state of the railway track is influenced by its quality and operational and construction conditions, climatic phenomena and especially by dynamic loads from the wheels of rail vehicles. Dynamic effects from moving train sets have an adverse effect on the railway track and lead to the development of defects and failures [2]. It should be noted that one of the main problems of today's railways is primarily the minimization of costs associated with track maintenance. This fact will be amplified in the Czech Republic by the gradual implementation of high-speed lines. At the same time, on the basis of knowledge of the dynamic events taking place in the railway/track, it is possible to determine appropriate measures that will lead to the minimization of maintenance costs.

Therefore, there is a need for monitoring of the railway lines and individual structural elements in order to know the ongoing dynamic phenomena, which will enable the implementation of a high-quality and economically reasonable technical solution. Among the effective tools for investigating the condition of the railway line, vibrodiagnostics, i.e. the analysis of vibrations spreading through the superstructure and substructure, supplemented by advanced signal analysis methods [3, 4], certainly belongs. The idea of implementing smart railway structures, which will inform the superordinate system automatically about their condition or changes in their condition, is also gaining ground [5, 6].

2. BRIEF INTRODUCTION TO THE PROBLEMS OF MICROCONTROLLERS

Microcontrollers are essentially a single-chip computer that can be programmed in a suitable environment for a given application. Basically, they contain a central processing unit (CPU), RAM memory (random access memory), ROM memory (read only memory) and input and output channels and buses (I/O - inputs and outputs). All these are integrated into one chip (Fig. 1). Thanks to this architecture, they are used in various devices around us. Single-chip comput-

Dynamické chování železniční koleje je ovlivněno vlastnostmi všech částí železničního svršku, tedy kvalitou šterkového lože, typem pražců, kvalitou jejich podbití, vlastnostmi drobného kolejiva, typem upevňovadel a rovněž kvalitou tělesa železničního spodku. Stav železničního svršku je ovlivňován jak jeho kvalitou, tak provozně stavebními podmínkami, klimatickými jevy a zejména pak dynamickým zatěžováním od dvojkolí kolejových vozidel. Dynamické účinky od jedoucích vlakových souprav nepříznivě působí na železniční kolej a vedou k rozvoji vad a poruch [2]. Podotkněme, že jedním z hlavních problémů dnešní železnice je především minimalizace nákladů spojených s údržbou tratí. Tato skutečnost bude umocněna v České republice postupnou realizací vysokorychlostních tratí. Přitom na základě znalostí dynamických dějů probíhajících v koleji je možné stanovit vhodná opatření, která povedou k minimalizaci nákladů na údržbu.

Objevuje se tedy potřeba na monitorování železničních tratí i jednotlivých konstrukčních prvků z důvodu znalostí probíhajících dynamických jevů, což umožní realizovat kvalitní a ekonomicky přiměřené technické řešení. Mezi efektivní nástroje zkoumání stavu železničních tratí zcela určitě náleží zejména vibrodiagnostika, tedy analýza vibrací šířících se konstrukcí železničního svršku a spodku doplněná o pokročilé metody signálové analýzy [3, 4]. Stále více se také prosazuje myšlenka realizace chytrých železničních konstrukcí, které budou o svém stavu, případně změnách svého stavu informovat nadřazený systém automaticky [5, 6].

2. STRUČNÝ ÚVOD DO PROBLEMATIKY MIKROKONTROLÉRŮ

Mikrokontroléry představují v podstatě jednočipový počítač, který lze naprogramovat ve vhodném prostředí pro danou aplikaci. V zásadě obsahují centrální procesorovou jednotku (CPU - central processing unit), paměť RAM (random access memory), paměť ROM (read only memory) a vstupní a výstupní kanály a sběrnice (I/O - vstupy a výstupy). Toto vše je integrované do jednoho čipu (Obr. 1). Díky této architektuře jsou využívány v nejrůznějších

ers, or microcontrollers, are often incorporated into many so-called embedded systems, i.e. various devices and electrical appliances, they find use in the world of transport systems, robots, video technology, etc. [7]

zařízení kolem nás. Jednočipové počítače neboli mikrokontroléry bývají zakomponovány do mnoha takzvaných embedded systémů, tedy různých zařízení a elektrospotřebičů, použití naleznou ve světě dopravních systémů, robotů, videotechniky atd. [7].

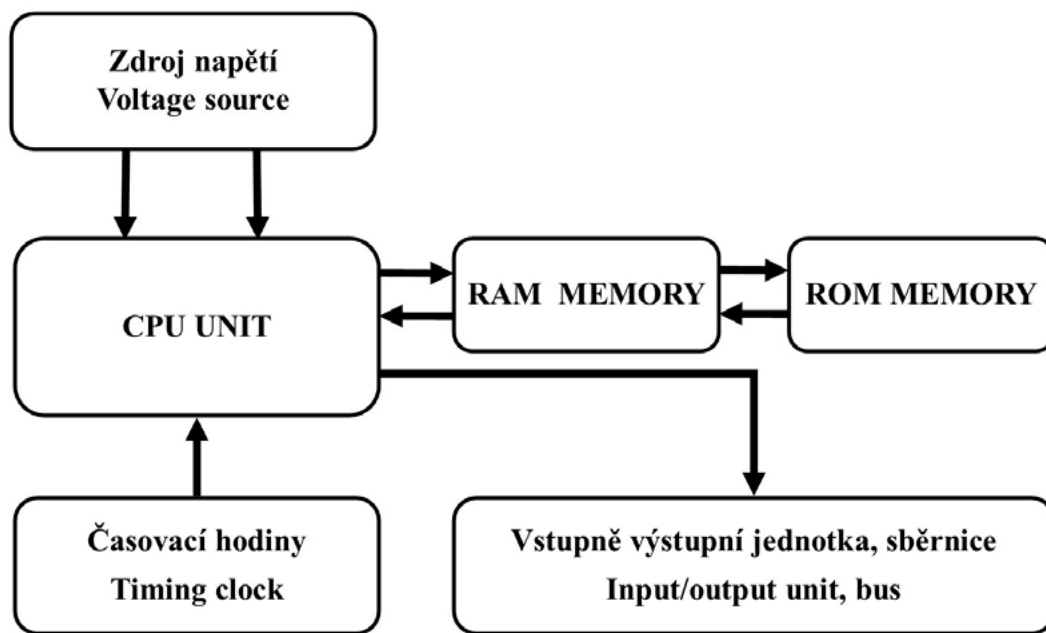


Fig. 1 The block diagram of the microcontroller

Obr. 1 Blokové schéma mikrokontroléru

They are divided into several groups, for example, according to the type of architecture, bus width, whether they have built-in memory or external memory can be connected, the instruction set, the number of input/output ports, etc. The Arduino UNO platform is very popular today. This system is a small single board microcomputer based on the ATmega328P chip, which was created to support electronics and computer science education in schools. It is an open electronic platform based on simple hardware and software, providing students with the opportunity to better understand the basic principles of electronics and programming. At the same time, it should be said that there are a number of ready-made microcontroller boards on the market, including input/output ports and means of wireless communication. The definition of the tasks to be performed by the microcontroller is specified by inserting firmware. For example, simplified versions of programming languages such as Python or C can be used to write it.

Dělí se podle do několika skupin, například podle typu architektury, šíře sběrnice, podle toho, zda mají vestavěnou paměť nebo je možné připojit i externí paměť, dále podle instrukční sady, počtu vstupně výstupních portů atd. Velmi populární je dnes platforma Arduino UNO. Tento systém představuje malý jednoduskový mikropočítač založený na čipu ATmega328P, který byl vytvořen pro podporu výuky elektroniky a informatiky ve školách. Jedná se o otevřenou elektronickou platformu, která je založena na jednoduchém hardware a software a tím poskytuje studentům možnost lépe pochopit základní principy elektroniky a programování. Současně je potřeba říci, že na trhu je celá řada hotových destiček s mikrokontroléry včetně vstupně/výstupních portů a prostředků bezdrátové komunikace. Definice úkolů, které má mikrokontrolér provádět, se zadává vkládáním firmwarového software. K jeho napsání je možné používat například zjednodušené verze programovacích jazyků jako je Python nebo C.

At the same time, there are a number of sensors that can transform measured values into

Současně existuje celá řada senzorů, které umí transformovat měřené veličiny do digitální

digital form and prepare them for transmission to a microcontroller using a standardized bus. Thus, it is very easy to create inexpensive, yet sufficiently accurate solutions for many applications.

Digital data transmission over the I²C bus is very often used (Fig. 2). This is a serial bus developed by Philips Company [8]. This bus was designed to connect low-speed peripherals to a microcontroller motherboard, embedded system or mobile phone, etc. The I²C bus uses only two signal wires, SDA (data wire) and SCL (timing and synchronization wire) for communication. This bus uses a master/slave topology. With a master/slave topology, it is guaranteed that there will be no collision in data transmission, as the master device determines which device will transmit data at any given time. A clock signal is sent to all slave devices over the serial clock line (SCL). It is therefore a synchronous communication.

The second SDA (serial data) wire is used for data transmission (both directions). There is only one master device at any given time, there can be several slave devices each with its own unique address. Since the address is 7 bits, the theoretical number of slave devices can be 2⁷, i.e. 128. It should be noted that there are various other modifications of this bus (I²S – focusing on audio devices), or other types of bus systems (for example SPI).

podobu a připravit je pro přenos do mikrokontroléru pomocí standardizované sběrnice. Lze tedy pro mnohé aplikace takto velmi snadno vytvářet levná, a přitom dostatečně přesná řešení.

Velmi často se využívá přenos digitálních dat po sběrnici I²C (Obr. 2). Jedná se o sériovou sběrnici vyvinutou firmou Philips [8]. Tato sběrnice byla navržena k připojování nízko rychlostních periférií k základní desce mikrokontroléru, vestavěnému systému nebo mobilnímu telefonu apod. Sběrnice I²C používá pro komunikaci pouze dva signálové vodiče SDA (datový vodič) a SCL (časový a synchronizační vodič). Tato sběrnice používá topologii master/slave. Při topologii master/slave je zaručeno, že nedojde ke kolizi v přenosu dat, jelikož zařízení typu master určuje, jaké zařízení bude v daný moment vysílat data. Po vodiči SCL (serial clock) se posílá všem zařízením typu slave hodinový signál. Jde tedy o synchronní komunikaci. Druhý vodič SDA (serial data) slouží k přenosu dat (oběma směry). Zařízení typu master je v daný okamžik pouze jedno, zařízení typu slave může být několik každé má svou jedinečnou adresu. Vzhledem k tomu, že adresa je 7 bitová, teoretický počet zařízení typu slave může být 2⁷, tedy 128. Je vhodné podotknout, že prakticky se používá spíše menší počet připojených digitálních periférií, cca do 16. Podotkněme, že existují různé další modifikace této sběrnice (I²S – se zaměřením na audio zařízení), případně i jiné typy sběrnicových systémů (například SPI).

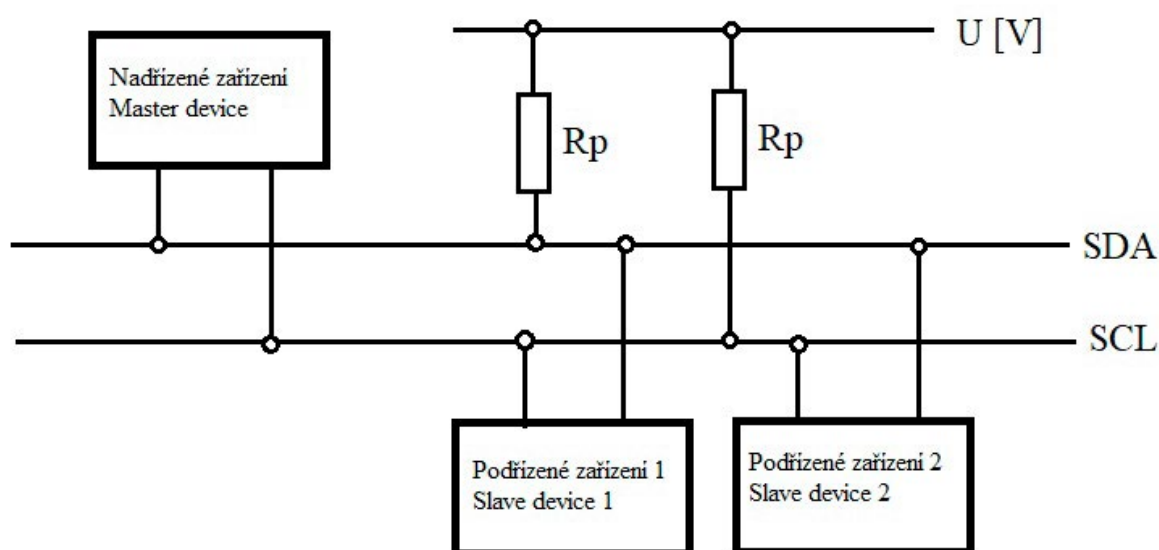


Fig. 2 The basic model of the I²C bus

Obr. 2 Základní model sběrnice I²C

3. THE DESIGNED MEASUREMENT KIT

Adverse effects and negative phenomena need to be monitored and evaluated for condition assessment and for planning economical and timely maintenance of railway lines. Negative phenomena in relation to rail transport can basically be divided into three areas, i.e. focusing on the technical condition of the train sets (especially their wheels), the railway surface and traffic safety. These are not trivial tasks. It is always necessary to take into account both the type and condition of the train sets, and especially the type and condition of the railway. A big problem is both the choice of the basic measuring technique and, in particular, the choice of sensors. In some cases, vibrodiagnostics, i.e. vibration measurement, can be a good choice.

In the next part of the paper, the design and use of a low-cost, small-scale measurement system for automatic identification of selected harmful phenomena in a railway track is presented [9]. The principle of diagnosis using the measuring module is based on the measurement of vibrations in different parts of the railway superstructure. It should be noted that the problem of identifying selected phenomena based on the vibration response from the movement of the railway set is not completely trivial, since the evaluated acceleration signal is influenced by many factors. Therefore, great emphasis was placed on the knowledge gained from the study of signals stored in the workplace database measured on various types of railway superstructure in different operating conditions over a period of about 20 years.

At the beginning of the proposal, the basic requirements for the measurement system were drawn up. These were defined as follows. The measuring set was designed as a distributed system. The maximum number of accelerometric sensors used will be eight. It will be possible to connect accelerometric sensors with different basic ranges from approx. 8g to 400g to the controller module. The sensors will communicate with the microcontroller via the I²C bus. The expected maximum measurement time was designed to be approx. 30 to 60 s. It should be noted that almost all suitable passing train sets can fit into this recording time. Before the train passes, a

3. NAVRŽENÝ MĚŘICÍ KOMPLET

Pro zjišťování stavu a pro plánování úsporné a včasné údržby železničních tratí je třeba monitorovat a hodnotit nepříznivé účinky a negativní jevy. Negativní jevy ve vztahu ke kolejové dopravě lze v podstatě rozdělit do tří oblastí, tedy s orientací na technický stav vlakových souprav (zejména jejich kol), železničního svršku a bezpečnost provozu. Nejde přitom o triviální úlohy. Vždy je potřeba brát v potaz jak typ a stav vlakových souprav, tak zejména typ a stav železničního svršku. Velkým problémem bývá jak výběr základní měřicí techniky, tak zejména volba senzorů. V některých případech může být dobrou volbou vibrodiagnostika, tedy měření vibrací.

V další části příspěvku je prezentován návrh a použití levného, malého měřicího systému pro automatickou identifikaci vybraných škodlivých jevů v koleji [9]. Princip diagnostiky s využitím měřicího modulu je založen na měření vibrací v různých částech železničního svršku. Podotkneme, že problém identifikace vybraných jevů na základě vibrační odezvy od pojezdu železniční soupravy není zcela triviální, protože hodnocený signál zrychlení je ovlivněn mnoha faktory. Proto velký důraz byl kladen na znalosti získané ze studia signálů uložených v databázi pracoviště naměřených na různých typech železničního svršku v různém provozním stavu v průběhu cca 20 let.

Na začátku návrhu byly sestaveny základní požadavky na měřicí systém. Tyto byly definovány takto. Měřicí komplet byl navržen jako distribuovaný systém. Použitý maximální počet akcelerometrických senzorů bude osm. K modulu kontroléru bude možné připojit akcelerometrické senzory s různým základním rozsahem od cca 8 g do 400 g. Sensory budou s mikrokontrolérem komunikovat přes sběrnici I²C. Předpokládaná maximální doba měření byla navržena na cca 30 až 60 s. Podotkneme, že do této doby záznamu se vejdou téměř všechny vhodné projíždějící vlakové soupravy. Před průjezdem vlaku se spustí měření na základě softwarového triggeru (změna úrovně vibrací), pak následuje měření do doby, než se vibrace sníží na nastavenou prahovou úroveň. Další možností bude ukončení měření definovaným časovým intervalem. Měřená data se po měření uloží do paměti měřicí jednotky a ve vhodný

measurement is started based on a software trigger (change in vibration level), then the measurement continues until the vibration decreases to the set threshold level. Another option will be to end the measurement at a defined time interval. After the measurement, the measured data is stored in the memory of the measuring unit and transferred to the superior system at an appropriate moment for later analysis. It will be possible to set up the measuring module using a set of commands. Approximately 30 measurements (passage of trains) are expected during one day. In the case of using several measuring units, it will be possible to send synchronization pulses from the superior system to each module that is currently measuring. The modules will have a unique address, the range of the signal in an open area for connection with the superior computer is assumed to be up to 50 m. The microcontroller board will support the possibility of sleeping for a predefined time.

The superior computer will also have a low consumption of electricity with the possibility of recharging the battery, for example in the form of solar panels. At the same time, it will be powerful enough to store data in predefined data structures and to process and evaluate data. Another prerequisite is wireless and network connectivity. Both systems must be easily programmable in an acceptable environment.

Based on the input conditions, a prototype board with an ESP32 microcontroller from the company Espressif Systems supplemented with additional circuits was selected for the creation of the measuring module (Fig. 3) [7, 8]. The chip is powerful enough, has the usual interfaces (two SPI, I²C, 2x UART, one 12-bit A/D converter) and is energy-saving, it also supports various types of sleep. The processor contains two computing cores (one can be dedicated for measurement and the other for wifi connectivity). The SRAM memory has a size of 512 KB and a flash memory of 4 MB, which is a sufficient prerequisite for saving the program and for temporary storage of measured data. The prototype board has wifi connectivity, an integrated antenna, a low-noise amplifier, a filter and a power management module.

The great advantage of this solution is therefore the simple hardware solution, as well as

okamžik se přenesou pro pozdější analýzu do nadřazeného systému. Nastavení měřícího modulu bude možné provést pomocí sady příkazů. Během jednoho dne se předpokládá cca 30 měření (průjezdu vlaků). V případě použití více měřících jednotek bude možné vysílat z nadřazeného systému synchronizační pulzy do každého modulu, který právě provádí měření. Moduly budou mít unikátní adresu, dosah signálu v otevřeném prostoru pro spojení s nadřazeným počítačem se předpokládá do 50 m. Destička mikrokontroléru bude podporovat možnost uspávání na předdefinovanou dobu.

Nadřazený počítač bude mít rovněž malou spotřebu elektrické energie s možností dobíjení baterie například formou solárních panelů. Zároveň bude dostatečně výkonný pro uložení dat do předdefinovaných datových struktur a pro zpracování a hodnocení dat. Dalším předpokladem je bezdrátová i síťová konektivita. Oba dva systémy musí být lehce programovatelné v přijatelném prostředí.

Na základě vstupních podmínek byla vybrána pro vytvoření měřícího modulu prototypová deska s mikrokontrolérem ESP32 od společnosti Espressif Systems doplněná o přídatné obvody (Obr. 3) [7, 8]. Čip je dostatečně výkonný, má obvyklá rozhraní (dvě SPI, I²S, 2x UART, jeden 12bitový A/D převodník) a je energeticky úsporný, podporuje rovněž různé druhy uspání. Procesor obsahuje dvě výpočetní jádra (jedno může být vyčleněno pro měření a druhé pro wifi konektivitu). Paměť SRAM má velikost 512 kB a flash paměť 4 MB, což je dostačující předpoklad pro uložení programu i pro přechodné ukládání naměřených dat. Prototypová deska má wifi konektivitu, dále integrovanou anténu, zesilovač s nízkým šumem, filtr a modul správy napájení.

Velkou výhodou tohoto řešení je tedy jednoduché hardwarové řešení, dále úspornost provozu snímací jednotky. Tato za určitých okolností (při vhodném počtu a délky měřených událostí za den) dle předběžného výpočtu umožní bateriový provoz i po delší dobu, řádově až desítky dní.

Podotkněme, že prezentované řešení (deska mikrokontroléru ESP32) podporuje vyspělé hospodaření s napájecí energií, tedy umožňují uspání modulu v případě neaktivních

the economy of operation of the sensing unit. Under certain circumstances (with a suitable number and length of measured events per day), according to a preliminary calculation, it allows battery operation for a longer period of time, up to tens of days.

It should be noted that the presented solution (ESP32 microcontroller board) supports advanced power management, i.e. it allows the module to be put to sleep in case of inactive inputs and wake up for measurement in case of capturing the relevant event. A lithium-polymer battery type LP523450 was chosen as the source of electrical energy for testing.

vstupů a probuzení k měření v případě zachycení příslušné události. Jako zdroj elektrické energie byla pro testování zvolena lithium-polymerová baterie typu LP523450.

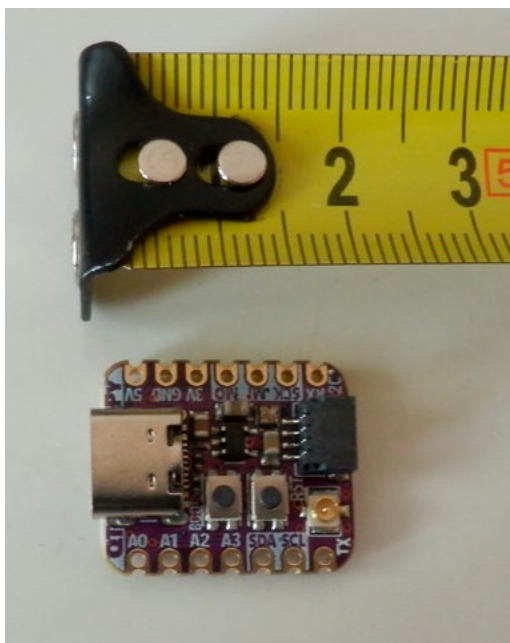


Fig. 3 The view of the ESP32 microcontroller board

Obr. 3 Pohled na destičku mikrokontroléru ESP32

MEMS three-axis accelerometric sensors were selected for vibration sensing with digital output and connection to the I²C bus. This greatly simplified the hardware solution of the measuring module. For the position on the rail, it was specifically a three-axis accelerometer H3LIS331DL from SparkFun. An accelerometer allows you to measure acceleration in configurable ranges. It supports I²C bus communication and has a 16-bit data output. It supports the option of low power consumption mode or sleep mode. It has an adjustable range of $\pm 100\text{g}/\pm 200\text{g}/\pm 400\text{g}$. An Adafruit LIS-3DH accelerometer of similar characteristics with an adjustable range of $\pm 2\text{g}/\pm 4\text{g}/\pm 8\text{g}/\pm 16\text{g}$ was chosen for the position on the sleeper or outside the rail grid. Both types enable meas-

Ke snímání vibrací byly vybrány tříosé akcelerometrické snímače typu MEMS s digitálním výstupem a s připojením na sběrnici I²C. Tím se hardwarové řešení měřicího modulu značně zjednodušilo. Pro pozici na kolejnici se konkrétně jednalo o tříosý akcelerometr H3LIS331DL od firmy SparkFun. Akcelerometr umožňuje měřit zrychlení v konfigurovatelných rozsazích. Podporuje komunikaci po sběrnici I²C, má 16 bitový datový výstup. Podporuje možnost režimu nízké spotřeby energie případně režim spánku. Disponuje nastavitelným rozsahem $\pm 100\text{ g}/\pm 200\text{ g}/\pm 400\text{ g}$. Pro pozici na pražci případně mimo kolejový rošt byl vybrán akcelerometr Adafruit LIS3DH podobných vlastností s nastavitelným rozsahem

urements in the frequency range of 0 to 2 kHz.

A Raspberry Pi 4 microcomputer was chosen as the superior collection and evaluation system with the Debian operating system. It is a powerful yet very small single board microcomputer. To power it, a power bank was designed for trial mode. Its advantage is full wireless and network connectivity as well as sufficient computing power and economical power supply (approx. 5 W). The control, database and evaluation software was created here in the Python language. The data transfer from the measuring module(s) to the Raspberry Pi computer is carried out using Wi-Fi wireless technology. The data and their calculated characteristics are stored on the Raspberry computer in the SQL database structure. From this database, the pre-processed data can be further processed or sent one level higher to the superior analysis system.

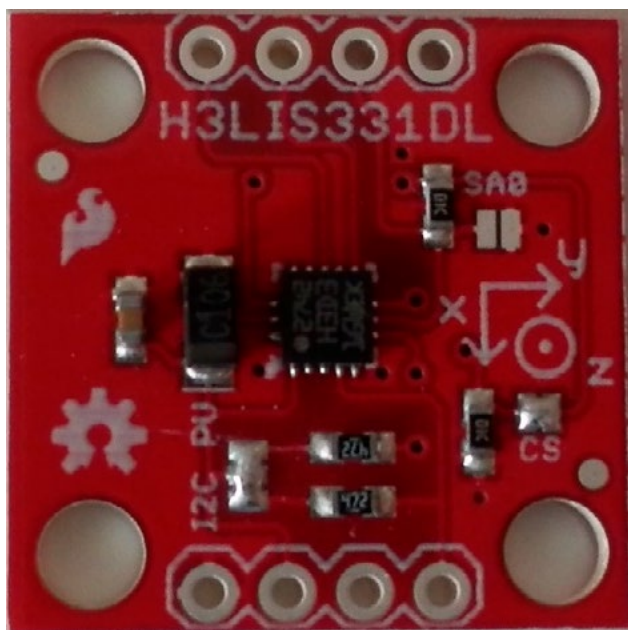


Fig. 4 The view of the H3LIS331DL accelerometer plate

Obr. 4 Pohled na destičku akcelerometru H3LIS331DL

4. THE CASE STUDY

In the next section, the application of the pro-

$\pm 2 \text{ g}/\pm 4 \text{ g}/\pm 8 \text{ g}/\pm 16 \text{ g}$. Oba dva typy umožňují měření ve frekvenčním rozsahu 0 až 2 kHz.

Jako nadřazený sběrný a hodnotící systém byl vybrán mikropočítač Raspberry Pi 4 s operačním systémem Debian. Jedná se o výkonný velmi malý jednodeskový mikropočítač. K jeho napájení byla navržena pro zkušební režim powerbanka. Jeho výhodou je plná bezdrátová i síťová konektivita i dostatečný výpočetní výkon i úsporné napájení (cca 5 W). Ovládací, databázový a hodnotící software zde byl vytvořen v jazyce Python. Přenos dat z měřicího modulu (modulů) do počítače Raspberry Pi je realizován bezdrátovou technologií typu Wifi. Data i jejich vypočítané charakteristiky se ukládají v počítači Raspberry do struktury databáze SQL. Z této databáze se předzpracovaná data mohou dále zpracovávat, případně posílat o úroveň výše do nadřazeného analyzačního systému.



Obr. 5 Pohled na destičku akcelerometru Adafruit LIS3DH

Fig. 5 The view of the Adafruit LIS3DH accelerometer board

4. PŘÍPADOVÁ STUDIE

V další části je prezentováno použití navrženého systému při zjišťování neokrouhlosti (ovalita, plošky) kol projíždějících vlakových

posed system in detecting the non-roundness (ovality, flatness) of the wheels of passing trains is presented [10, 11]. Note that this kind of faults can be detected relatively well from time and frequency parameters derived from vibration measured at the rail heel [12].

The measuring station was located north of the village Doubravice nad Svitavou in the stationing at km 189.9 on the line No. 260 Brno – Česká Třebová. The line is designed for line load class D4 and is part of the transit corridor I. The line is double-tracked, electrified with a power supply system 25kV/50 Hz. The measuring station was located in a straight section of the line, on an embankment of height 3.5 m. The longitudinal inclination of the line in the direction of the stationing is 5 ‰ (i.e. in the direction Doubravice nad Svitavou – Skalice nad Svitavou). The railway superstructure consists of UIC60 rails, Vossloh W14 baseplateless rail fastening and the transverse track supports are made of B91 S/1 concrete sleepers.

The measuring locations were chosen based on the experience gained in the same stationing in the space between the sleepers at the bottom of the left rail K1 and the right rail K2 (Fig. 6). The Raspberry Pi parent computer was attached by gluing to the odometer. It was powered by the included power bank, which was recharged by a small solar panel. A total of 45 trainsets were measured in two

souprav [10, 11]. Podotkněme, že tento druh závad lze relativně dobře detekovat z časových a frekvenčních parametrů odvozených z vibrací naměřených na patě kolejnice [12].

Měřicí stanoviště se nacházelo severně od obce Doubravice nad Svitavou ve staničení km 189,9 na trati č. 260 Brno – Česká Třebová. Trať je navržena pro traťovou třídu zatížení D4 a je součástí I. tranzitního koridoru. Trať je dvojkolejná, elektrifikovaná s napájecí soustavou 25 kV/50 Hz. Měřicí stanoviště se nacházelo v přímém úseku trati, na násypovém tělese výšky 3,5 m. Podélný sklon trati ve směru staničení je 5 ‰ (tj. ve směru Doubravice nad Svitavou – Skalice nad Svitavou). Železniční svršek je tvořen kolejnicemi UIC60, bezpodkladnicovým upevněním Vossloh W14 a příčné kolejové podpory tvoří betonové pražce B91 S/1.

Měřicí místa byla zvolena na základě získaných zkušeností ve stejném staničení v mezipražcovém prostoru na patě levé kolejnice K1 a pravé kolejnice K2 (Obr. 6). Nadřazený počítač Raspberry Pi byl uchycen lepením na kilometrovníku. Napájen byl z přiložené power banky, která byla dobíjena malým solárním panelem. Celkem bylo změřeno 45 vlakových souprav ve dvou měřicích kampaních.



measurement campaigns.

Obr. 6 Pohled na umístění snímací jednotku na kolejovém roštu

Fig. 6 The view of the positioning of the scanning unit on the rail grid

For further processing of the measured data, the software of the control computer was supplemented with the detection of the number of axles and the time of axle passage over the sensing unit and automatic diagnostics of non-round wheels. For classification of the measured data, an algorithm was built using a neural network constructed with the help of the TensorFlow library in Python [13, 14]. The following parameters calculated from the frequency interval of 10 Hz to 150 Hz were used for the detection of non-rounded wheels of the train set - RMS acceleration value, peak acceleration value, Crest factor values, peakiness, skewness, center of gravity of the area under the spectrum. These parameters were sequentially calculated in a shifting time window of width $150/f_v$ and subjected to classifier testing. Note that TensorFlow is an open source software library working with artificial neural network. It was originally developed by Google [15]. It has now been released as an open source library to facilitate the use of machine learning methods, deep learning and other statistical and predictive analytics tasks. Measured workplace data from a given section over the last 2 years was used to train the classifier.

Passages of two types of train sets were selected for the presentation of the measured data, express trains passing through the evaluated section at a speed of 140 km/h and freight trains traveling at a speed of 115 km/h. In the first case, it was a classic set with a class 380 locomotive with 6 wagons (Fig. 7), in the second a freight set with a class 363 locomotive (Fig. 8). The left part of Fig. 7 shows the measured time courses of the acceleration of the high-speed train set, and the right part presents their frequency spectra. Frequency spectra were calculated using the Multi-Taper method [16]. Note that the upper graphs represent the signal at the foot of the left rail, the lower graphs at the foot of the right rail, due to passing stationing. A comparison of the acceleration time courses on both rails shows that the maximum and minimum values are approximately the same.

The acceleration time courses are also very similar in character. By comparison, partial differences can be found, which are caused both by the condition of the surface of the

K dalšímu zpracování naměřených dat bylo softwarové vybavení řídicího počítače doplněno jednak o detekci počtu náprav a času průjezdu náprav nad snímací jednotkou a jednak o automatickou diagnostiku neokrouhlých kol. Pro klasifikaci naměřených dat byl sestaven algoritmus využívající neuronovou síť sestavenou s pomocí knihovny TensorFlow v jazyce Python [13, 14]. Pro detekci neokrouhlých kol vlakové soupravy byly využity následující parametry počítané z frekvenčního intervalu 10 Hz až 150 Hz – RMS hodnota zrychlení, špičková hodnota zrychlení, hodnoty Crest faktoru, špičkatost, šikmost, těžiště plochy pod spektrem. Tyto parametry byly postupně počítány v posouvajícím se časovém oknu o šířce $150/f_v$ a podrobeny testování klasifikátorem. Podotkněme, že TensorFlow je open source softwarová knihovna pracující s umělou neuronovou sítí. Původně byla vyvíjena společností Google [15]. Nyní je uvolněna jako open source knihovna za účelem snadného použití metod strojového učení, hlubokého učení a dalších statistických a prediktivních analytických úloh. Pro zacvičení klasifikátoru byla využita naměřená data pracoviště z daného úseku za posledních 2 roky.

K prezentaci naměřených dat byly vybrány průjezdy dvou typů vlakových souprav, rychlíkové projíždějící hodnoceným úsekem rychlostí 140 km/h a nákladní jedoucí rychlostí 115 km/h. V prvním případě se jednalo o klasickou soupravu s lokomotivou řady 380 s 6 vagóny (Obr. 7), ve druhém o nákladní soupravu s lokomotivou řady 363 (Obr. 8). V levé části Obr. 7 jsou zobrazeny naměřené časové průběhy zrychlení kmitání rychlíkové vlakové soupravy, v pravé části pak jejich frekvenční spektra. Frekvenční spektra byla vypočtena metodou Multi-Taper [16]. Podotkněme, že horní grafy reprezentují signál na patě levé kolejnice, spodní grafy na patě pravé kolejnice, vzhledem k ubíhajícímu staničení. Z porovnání časových průběhů zrychlení na obou kolejnicích je zřejmé, že maximální a minimální hodnoty jsou přibližně stejné.

Časové průběhy zrychlení jsou svým charakterem také velmi podobné. Porovnáním lze najít dílčí rozdíly, které jsou způsobeny jak stavem povrchu kolejnic a kol, tak rozdílně rozloženým zatížením, ale zejména také tím, že dvojkol v přímé koleji vykonává kromě valení i sinusový pohyb. V grafech jsou velmi dobře detekovány jednotlivé nápravy. Vypo-

rails and the wheels, as well as by the differently distributed load, but especially also by the fact that the two wheels in a straight track perform a sinusoidal movement in addition to rolling. Individual axles are very well detected in the graphs. The calculated spectra confirm the conclusions from the time plane. The spectra contain similar key components, and the spectra are also very similar. The analysis shows that the condition of the wheel surfaces is relatively good.

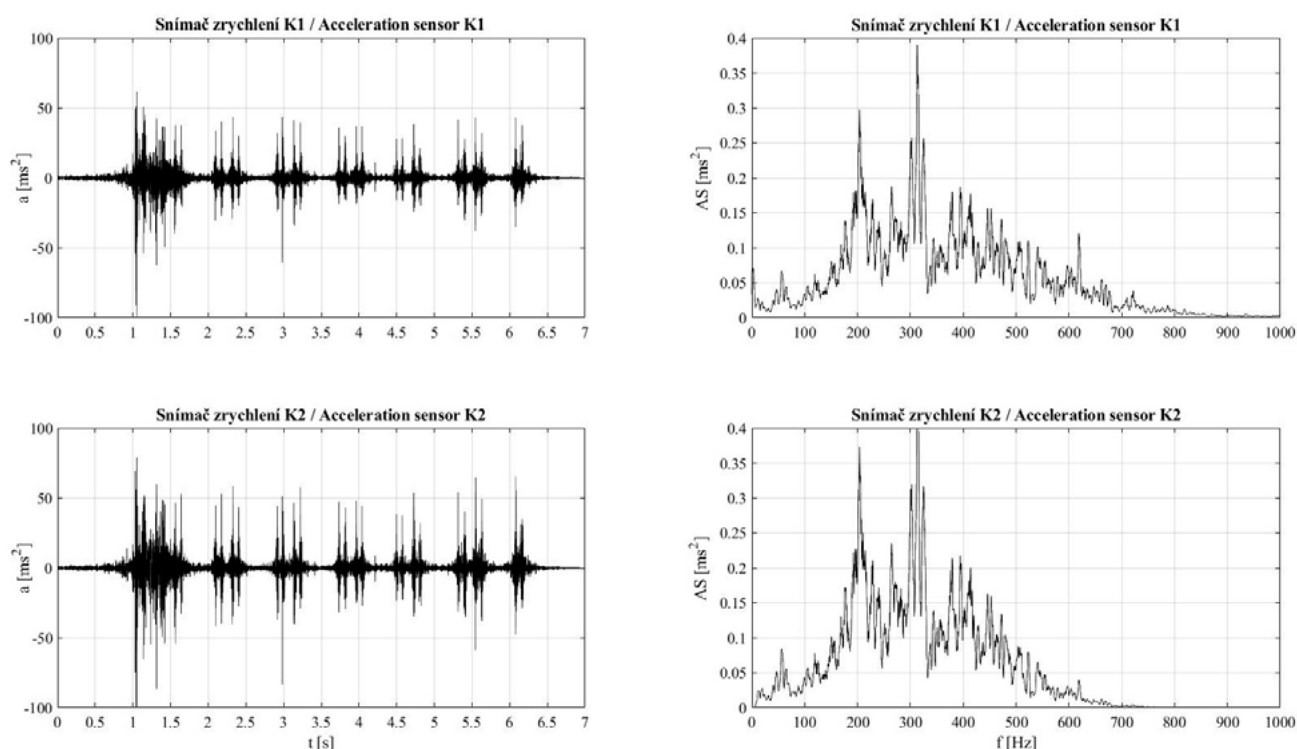
A different situation can be seen from the passage of a freight train set. The picture Fig. 8 shows only the acceleration of the oscillation and its frequency spectrum from the sensing unit K2. The first pair represents the state without data filtering, the second the state after filtering in the range of 10 Hz to 150 Hz. The ellipse in the lower left image indicates the interval in which the defect is manifested on the wheel(s) of the train set. In the frequency plane, this corresponds to the most prominent frequency peak of the spectrum.

čtená spektra potvrzují závěry z časové roviny. Spektra obsahují podobné klíčové složky, rovněž průběhy spekter jsou velmi podobné. Z analýzy vyplývá, že stav pojezdových ploch kol je relativně dobrý.

Jiná situace je vidět z průjezdu nákladní vlakové soupravy. V obrázku Obr. 8 je zobrazeno pouze zrychlení kmitání a jeho frekvenční spektrum od snímací jednotky K2. První dvojice představuje stav bez filtrace dat, druhá pak stav po filtraci v rozsahu 10 Hz až 150 Hz. Elipsou v spodním levém obrázku je označen interval, v kterém se projevuje defekt na kole/kolech vlakové soupravy. Ve frekvenční rovině tomu odpovídá nejvýznačnější frekvenční pík spektra.

Pro podrobnější analýzu bude vhodné do budoucna kolejový rošt osadit více snímacími jednotkami, autoři předpokládají použití 3 jednotek. Nicméně vyvinuté zařízení ukazuje, že je možné vibrační diagnostiku snadno realizovat touto cestou.

Rychlík, 140 km/h, kola bez vady / Express car, 140 km/h, wheels without defects



Obr. 7 Časové a frekvenční charakteristiky rychlíkové soupravy

Fig. 7 The time and frequency characteristics of the express train

Souprava nákladního vlaku, 115 km/h, kola s ploškami / Freight train set, 115 km/h, flat wheels

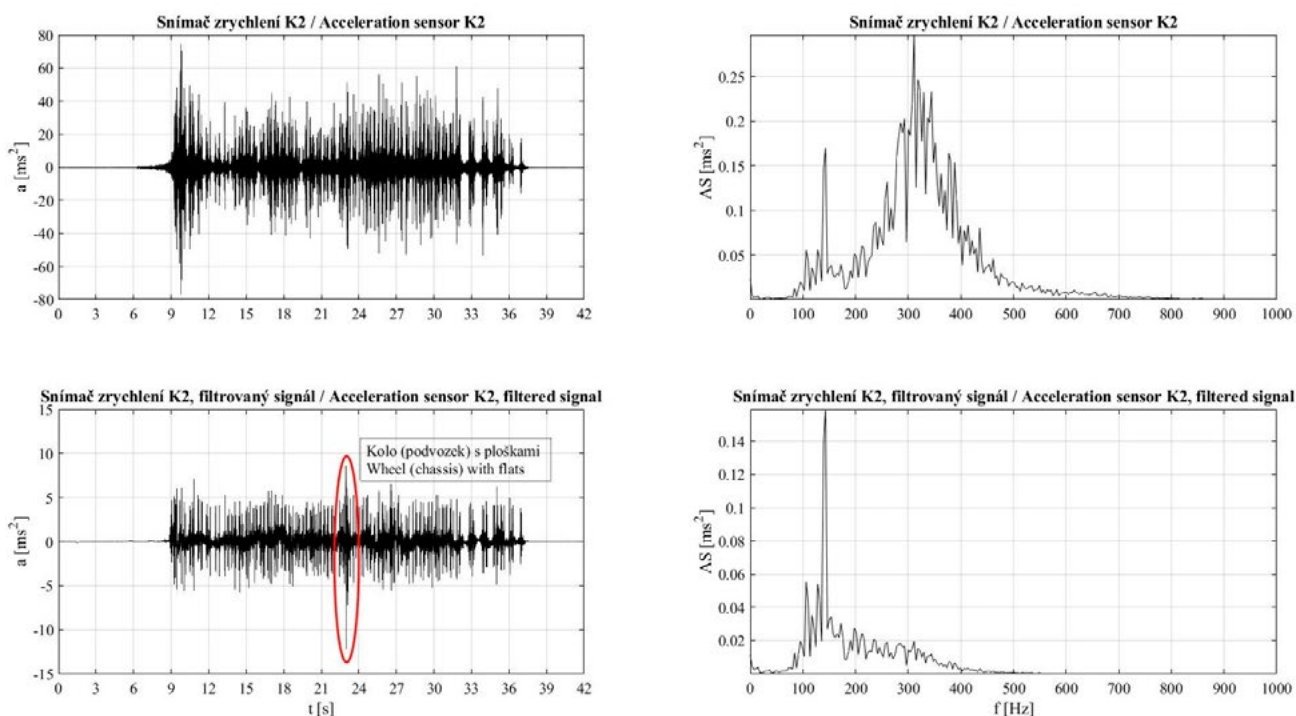


Fig. 8 The time and frequency characteristics of the freight train

Obr. 8 Časové a frekvenční charakteristiky nákladní soupravy

For a more detailed analysis, it will be appropriate to equip the rail grid with more sensing units in the future, the authors assume the use of 3 units. However, the developed device shows that it is easy to implement vibration diagnostics in this way.

5. FINAL EVALUATION AND RECOMMENDATIONS

As part of the contribution, a cheap diagnostic system in a distributive version developed at the workplace of the authors of the contribution was presented. This system was designed in such a way that its hardware design was modern, as simple as possible, cost-effective, while allowing reasonably accurate measurements of vibrations in various parts of the railway superstructure over a relatively long period of time using suitable software equipment. Other important features of the created system include variability, economical operation, wireless transmission of measured data to a small microcomputer for further processing, etc. The functionality of the system was successfully verified during the

5. ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ A DOPORUČENÍ

V rámci příspěvku byl prezentován levný diagnostický systém v distributivním provedení vyvinutý na pracovišti autorů příspěvku. Tento systém byl navržen tak, aby jeho hardwarová konstrukce byla moderní, co nejjednodušší, cenově příznivá, a přitom umožňovala rozumně přesná měření vibrací v různých částech železničního svršku po relativně dlouhou dobu pomocí vhodného softwarového vybavení. K dalším důležitým vlastnostem vytvořeného systému patří variabilita, úsporný provoz, bezdrátový přenos měřených dat do malého mikropočítače k dalšímu zpracování atd. Funkčnost systému byla úspěšně ověřena při detekci vad na kolech vlakové soupravy. Pro další měření autoři doporučují použití 3 měřících jednotek za sebou.

detection of defects on the wheels of the train set. For further measurements, the authors recommend using 3 measuring units in a row.

In the future, the project envisages a three-layer architecture, i.e. measuring modules on the track superstructure, a local computer with the possibility of basic filtering and data processing, plus a superior computer in which the measurement results from a longer section of the railway track will be stored and processed. It should be noted that the proposed architecture will find its application not only in the field of long-term monitoring of railway tracks. We believe that this low-cost diagnostic system will also be able to be operated on running trainsets. Here, the location of the acceleration sensors on the bearing housings of the trainsets is assumed. At the same time, such a system must be supplemented with a station sensor, which is not a problem.

According to the authors, it will be possible to use the created system in other areas of our interest. It always depends on the type of sensors used. In the offer of various companies, you can find, for example, small-sized microphones of the MEMS (Micro Electro Mechanical System) type. These are silicon microphones manufactured in the form of one integrated component, which contains a pressure-sensitive silicon sensing membrane directly attached to a silicon chip. At the same time, this solution also includes an integrated preamplifier and possibly other auxiliary circuits, such as various active filters to remove unwanted sound components. It should be noted that similar types of microphones work in the normal frequency range from 50 Hz to 15 kHz. For easy connection to microcontrollers, this type of sensor is supplemented with an integrated analog-to-digital converter. Thanks to this, the measurements data from such a microphone are further transmitted via a digital serial bus (e.g. I²C, I²S). The entire microphone is thus one compact component located on a small plate with connection points.

If we connect such a sensor to the presented measuring module, a simple and relatively inexpensive system for undemanding overview acoustic measurements will be created, suitable, for example, for the automatic diagnosis of various types of rotary machines, or other structures, with the possibility of using Machine Learning and Deep Learning algorithms. This

Do budoucna projekt předpokládá s třívrstvou architekturou, tedy měřicí moduly na kolejovém svršku, lokální počítač s možností základní filtrace a zpracování dat, plus nadřazený počítač, v kterém budou uloženy a zpracovány výsledky měření z delšího úseku železniční tratě. Podotkněme, že v navržené architektuře najde své uplatnění nejen v oblasti dlouhodobého monitoringu železničních tratí. Domníváme se, že tento levný diagnostický systém bude možné také provozovat na jedoucích vlakových soupravách. Zde se předpokládá umístění snímačů zrychlení na ložiskových domcích vlakových souprav. Zároveň takový systém musí být doplněn snímačem staničení, což není problém.

Vytvořený systém bude možné dle autorů používat i v jiných oblastech našeho zájmu. Vždy záleží na typu použitých senzorů. V nabídce různých firem lze najít například i rozměrově malé mikrofony typu MEMS (Micro Electro Mechanical System). Jde o křemíkové mikrofony vyráběné v provedení jedné integrované součástky, která obsahuje na tlak citlivou křemíkovou snímací membránu přímo upevněnou na křemíkový čip. Současně toto řešení zahrnuje také integrovaný předzesilovač a případně další pomocné obvody, jako například různé aktivní filtry pro odstranění nežádoucích složek zvuku. Podotkněme, že podobné typy mikrofonů pracují v běžném frekvenčním rozsahu od 50 Hz do 15 kHz. Pro snadné připojení k mikrokontrolérům je tento typ senzoru doplněn o integrovaný analogově digitální převodník. Díky tomu měřená data z takového mikrofonu jsou dále přenášena po digitální sériově sběrnici (např. I²C, I²S). Celý mikrofon je tak jedna kompaktní součástka umístěná na malé destičce s připojovacími body. Pokud připojíme takový snímač k prezentovanému měřicímu modulu, vznikne jednoduchý a relativně levný systém pro nenáročná přehledová akustická měření vhodná například pro automatickou diagnostiku různých typů rotačních strojů, případně jiných konstrukcí apod. s možností využití algoritmů Machine Learningu a Deep Learningu. Tato skutečnost umožňuje ušetřit lidské kapacity při on-line dozoru konstrukcí a strojů. Přesnost těchto algoritmů závisí na velikosti souboru dat pro učení, na kvalitě nastavení neuronové sítě a v neposlední řadě na schopnostech učitele.

Vzhledem k tomu, že mikrokontrolér ESP32 má vestavěný 12 bitový analogově digitální

fact makes it possible to save human resources during online supervision of structures and machines. The accuracy of these algorithms depends on the size of the learning dataset, the quality of the neural network setup, and last but not least, the skills of the teacher.

Since the ESP32 microcontroller has a built-in 12-bit analog-to-digital converter, the authors are considering adding a simple hardware for strain gauge measurements to the measurement module. The software of the presented measuring system is designed in a modular way, i.e. it can be extended with other parts. This fact applies especially to the Raspberry Pi microcomputer, where there is no problem to implement any analysis on the transferred data, including the involvement of machine learning methods for automatic diagnosis of structures, processes in many applications in the field of science and technology, etc.

převodník, autoři uvažují o doplnění měřícího modulu o jednoduchý hardware pro měření deformace metodou tenzometrů. Software prezentovaného měřícího systému je navržen modulárně, tedy lze ho doplňovat o další části. Tato skutečnost se týká zejména mikropočítače Raspberry Pi, kde není problém na přenesených datech realizovat jakoukoliv analýzu včetně zapojení metod strojového učení k automatické diagnostice konstrukcí, dějů při mnoha aplikacích v oblasti vědy a techniky atd.

6. REFERENCES

Smutny, J., Pazdera, L.: The Experimental Analysis of Dynamic Processes Related to Railway Transport, Monography, ISBN 978-80-7204-827-4, Academic publisher CERM: Brno, 2012.

Smutny, J., Pazdera, L.: New Techniques in Analysis of Dynamic Parameters Rail Fastening, INSIGHT, ISSN 1354-2575, 2004.

Smutny J., Pazdera L., TOMANDL V.: Assessment of dynamic parameters of rail fastenings, Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, ISSN 1335-4205, 3/2016.

Smutny J., Nohal V.: Vibration analysis in the gravel ballast by measuring stone method, Akustika, 2016, roč. 25, č. 1, s. 22-28, ISSN 1801-9064.

Janostik D., Nohal V., Smutny J.: The Continuous Monitoring of Selected Railway Structures using the Autonomous Data Logger. Communications, 2020, roč. 22, č. 2, s. 88-96. ISSN: 1335-4205.

Ramsundar B., Zadeh R. B.: TensorFlow for Deep Learning, Released March 2018, O'Reilly Media, Inc., ISBN: 9781491980453.

6. POUŽITÁ LITERATURA

Smutny, J., Pazdera, L.: The Experimental Analysis of Dynamic Processes Related to Railway Transport, Monography, ISBN 978-80-7204-827-4, Academic publisher CERM: Brno, 2012.

Smutny, J., Pazdera, L.: New Techniques in Analysis of Dynamic Parameters Rail Fastening, INSIGHT, ISSN 1354-2575, 2004.

Smutny J., Pazdera L., TOMANDL V.: Assessment of dynamic parameters of rail fastenings, Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, ISSN 1335-4205, 3/2016.

Smutny J., Nohal V.: Vibration analysis in the gravel ballast by measuring stone method, Akustika, 2016, roč. 25, č. 1, s. 22-28, ISSN 1801-9064.

Janostik D., Nohal V., Smutny J.: The Continuous Monitoring of Selected Railway Structures using the Autonomous Data Logger. Communications, 2020, roč. 22, č. 2, s. 88-96. ISSN 1335-4205.

Ramsundar B., Zadeh R. B.: TensorFlow for Deep Learning, Released March 2018, O'Reilly Media, Inc., ISBN: 9781491980453.

ESP32 Series Datasheet, Version 3.9 Espressif Systems 2022.

Valdez J., Becker J.: Understanding the I²C Bus, Application Report, SLVA704, Texas Instruments, June 2015.

Krummenacher G., Ong Ch. S., Koller S., Kobayashi S., Buhmann J.M.: Wheel Defect Detection With Machine Learning, IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS, VOL. 19, NO. 4, APRIL 2018.

Rajib A, Uzzal W., Stiharu I, Waiz A: Design and Analysis of MEMS based Accelerometer for Automatic Detection of Railway Wheel Flat, World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering Vol:3, No:5, 2009.

Zhou, C.; Gao, L.; Xiao, H.; Hou, B. Railway Wheel Flat Recognition and Precise Positioning Method Based on Multisensor Arrays. Appl. Sci. 2020, 10, 1297.

Berlin E., Laerhoven K.: Sensor Networks for railway monitoring: Detecting trains from their distributed vibration footprints, IEEE Internal conference on distributed computing in sensor system, 2014.

Gulli A., Kapoor A., Pal S.: Deep Learning with TensorFlow 2 and Keras: Regression, ConvNets, GANs, RNNs, NLP, and more with TensorFlow 2 and the Keras API, 2nd Edition, Birmingham, 2017, ISBN 978-1-83882-341-2.

Müller R., Leibundgut D., Stallaert B, Pesqueux P.: "Validation of wheel maintenance measures on the rolling stock for reduced excitation of ground vibration," Trafikverket, Borlänge, Sweden, Tech. Rep. RIVAS, SCP0-GA-2010-265754, 2013.

Geron O.: Applied Machine Learning with Scikit-Learn and Tensorflow: Concepts, Tools, and Techniques for Creating Intelligent Systems (St. Petersburg: LLC Alpha-book), 2018.

Smutny J., Janostik D., Nohal V.: Application of unconventional methods for frequency analysis. Akustika, 2020, roč. 36, č. 2, s. 26-33. ISSN: 1801-9064.

ESP32 Series Datasheet, Version 3.9 Espressif Systems 2022.

Valdez J., Becker J.: Understanding the I²C Bus, Application Report, SLVA704, Texas Instruments, June 2015.

Krummenacher G., Ong Ch. S., Koller S., Kobayashi S., Buhmann J.M.: Wheel Defect Detection With Machine Learning, IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS, VOL. 19, NO. 4, APRIL 2018.

Rajib A, Uzzal W., Stiharu I, Waiz A: Design and Analysis of MEMS based Accelerometer for Automatic Detection of Railway Wheel Flat, World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering Vol:3, No:5, 2009.

Zhou, C.; Gao, L.; Xiao, H.; Hou, B. Railway Wheel Flat Recognition and Precise Positioning Method Based on Multisensor Arrays. Appl. Sci. 2020, 10, 1297.

Berlin E., Laerhoven K.: Sensor Networks for railway monitoring: Detecting trains from their distributed vibration footprints, IEEE Internal conference on distributed computing in sensor system, 2014.

Gulli A., Kapoor A., Pal S.: Deep Learning with TensorFlow 2 and Keras: Regression, ConvNets, GANs, RNNs, NLP, and more with TensorFlow 2 and the Keras API, 2nd Edition, Birmingham, 2017, ISBN 978-1-83882-341-2.

Müller R., Leibundgut D., Stallaert B, Pesqueux P.: "Validation of wheel maintenance measures on the rolling stock for reduced excitation of ground vibration," Trafikverket, Borlänge, Sweden, Tech. Rep. RIVAS, SCP0-GA-2010-265754, 2013.

Geron O.: Applied Machine Learning with Scikit-Learn and Tensorflow: Concepts, Tools, and Techniques for Creating Intelligent Systems (St. Petersburg: LLC Alpha-book), 2018.

Smutny J., Janostik D., Nohal V.: Application of unconventional methods for frequency analysis. Akustika, 2020, roč. 36, č. 2, s. 26-33. ISSN 1801-9064.

Acknowledgements

This paper was supported by the project FAST-S-22-8011, "Diagnostic system for automatic identification of selected malicious phenomena in a railway track".



Prof. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D.

He graduated from the Faculty of Electrical Engineering, TU Brno, specialisation technology of radio and communication devices. He works as a researcher-teacher at the Department of railway constructions and structures. He

was graduated Ph.D. at the specialisation Theory of structures (Ph.D. thesis Modern Method of Noise and Vibration Analysis Applied on Railway Structures). College lecturer – 2002

Poděkování

Tento příspěvek byl podpořen projektem FAST-S-22-8011, „Diagnostický systém pro automatickou identifikaci vybraných škodlivých jevů v koleji“.

(“Time Frequency Analysis of Constructional Structures and Materials”). 2009 – Professor – Constructions and Transport Structures. He is member of Czech association for geo-information, Czech acoustic society and Time frequency user club. Within the framework of the scientific and research and pedagogical activities he devotes his activities especially to the problems of geographical information systems, the experimental analysis of structures, the analysis of noise and vibrations, the problems of applying the methods of the artificial intelligence in experimental analysis of structures, the modelling of structures etc.

e-mail: smutny.j@fce.vutbr.cz



Radovan Rímský

Is a graduate of the mechanical engineering faculty of the Technical University in Košice and the Slovak Medical University in Bratislava. He currently works in the private sector in the field of noise and vibration measurement, environmental monitoring.

At the same time, he deals with the issue of reducing the level of noise and vibrations from transport and industrial sources. At the same time, he is a doctoral student at the Faculty of Civil Engineering BUT in Brno. Here he deals with the issue of traffic acoustics.

Radovan Rímský

Je absolventem strojí fakulty Technické univerzity v Košicích a Slovenské zdravotnícké univerzity v Bratislavě. V současné době působí soukromém sektoru v oblasti měření hluku a vibrací, monitoringu životního prostředí. Současně se zabývá problematikou snižování úrovně hluku a vibrací od dopravy a průmyslových zdrojů. Zároveň je doktorandem na Fakultě stavební VUT v Brně. Zde se zabývá problematikou dopravní akustiky.



Dušan Janošík

Was born on the 26nd august 1972 in Hranice na Moravě, Czech Republic. He graduated from his master degrees at the Faculty of Civil Engineering, Brno University of technology in 1998 and specialization was railway construction. For a long time

he worked in the field of automated data processing and computer technology. He was also a computer network administrator. Currently he is studying doctoral program Civil

en- gineering. Within his studies he focuses on the problems of railway structures, geographic information systems, methods of data analysis by selected methods of artificial intelligence and wireless data transmission.



Petr Iunishchenko

Petr Iunishchenko is a graduate of Donsk State Technical University, Faculty of Civil Engineering, specialization in Construction of unique buildings and structures, construction of highways, airports and special objects. He currently works

at OHLA ŽS, a.s. Brno as a BIM coordinator. As part of his profession, he mainly deals with the issue of compiling and updating the BIM implementation plan for transport constructions. He is also an expert in database systems and processes for storing various types of measured data. At the same time, he is a doctoral student at the Faculty of Civil Engineering BUT in Brno. As part of his doctoral studies, he deals with the issue of BIM for linear constructions.

Petr Iunishchenko

Je absolventem Donská státní technické univerzity, fakulty stavební, obor Stavebnictví unikátních budov a staveb, výstavba dálnic, letišť a speciálních objektů. V současné době pracuje ve společnosti OHLA ŽS, a.s. Brno jako BIM koordinátor. V rámci své profese se zabývá zejména problematikou sestavování a aktualizaci plánu realizace BIM dopravních staveb. Dále je odborníkem na databázové systémy a procesy ukládání různých typů měřených dat. Zároveň je doktorandem na Fakultě stavební VUT v Brně. V rámci svého doktorského studia se zabývá problematikou BIM pro liniové stavby.