

**ČVUT v Praze
MagicWare s.r.o.**

FUNKČNÍ VZOREK

Variabilní multisenzorová siloměrná plošina pro záznam pohybu

TN02000067/1-V8

Autor:

doc.Ing. Kutílek Patrik Ph.D., (ČVUT v Praze)

Ing. Hejda Jan Ph.D., (ČVUT v Praze)

Ing.Lýdie Leová Ph.D., (ČVUT v Praze)

Ing. Petr Volf, Ph.D., (ČVUT v Praze)

Ing.Marek Sokol, (ČVUT v Praze)

Ing. Tomáš Novosad (MagicWare s.r.o.)

Číslo projektu: TN02000067

Identifikační číslo výsledku: TN02000067/1-V8

Typ výsledku: Gfunk

Odpovědný pracovník: doc.Ing. Kutílek Patrik Ph.D.

PRAHA, ČERVEN 2025

Jazyk výsledku: CZE

Hlavní obor: JB - Senzory, čidla, měření a regulace

Uplatněn: ANO

Název výsledku česky:

Variabilní multisenzorová siloměrná plošina pro záznam pohybu

Název výsledku anglicky:

Variable multi-sensor force platform for motion recording

Abstrakt k výsledku česky:

Funkční vzorek variabilní multisenzorové siloměrné plošiny je určen k záznamu a analýze lidského pohybu a sil působících na plošinu během pohybu, a to jak v laboratorních, tak terénních podmínkách. Systém umožňuje sběr a zpracování dynamických dat lidského pohybu prostřednictvím modulární přenosné plošiny s časově synchronizovaným záznamem ze siloměrných senzorů.

Modulární plošina je vybavena senzory založenými na tenzometrech pro měření dynamických účinků, konkrétně reakcí jednotlivých modulů plošiny. Na základě naměřených dat je možné vypočítat polohu vektoru působící síly, jeho velikost a směr, a dále získat další biomechanické parametry související s pohybem a stabilitou.

Systém podporuje variabilní konfiguraci – jednotlivé části plošiny lze mechanicky i softwarově uspořádat podle konkrétních požadavků aplikace, například pro analýzu stoje, chůze či specifických pohybových úloh. Více modulů plošiny může být propojeno do jedné časově synchronizované měřicí sestavy, což umožňuje záznam komplexních pohybových aktivit.

Přenos dat probíhá prostřednictvím standardních komunikačních rozhraní USB, což zajišťuje kompatibilitu s běžnými výpočetními systémy. Díky modularitě, přenosnosti a vícesenzorovému pojetí je zařízení vhodné pro využití v biomechanice, ergonomii, sportovní diagnostice, zdravotnictví i výzkumu lidského pohybu.

Abstrakt k výsledku anglicky:

The functional prototype of the variable multisensor force-measuring platform is designed for recording and analyzing human movement and the forces exerted on the platform during motion, both in laboratory and field conditions. The system enables the collection and processing of dynamic human movement data through a modular, portable platform with time-synchronized recordings from force sensors.

The modular platform is equipped with strain gauge-based sensors for measuring dynamic effects, specifically the reactions of the individual platform modules. Based on the measured data, it is possible to calculate the position of the force vector, its magnitude and direction, as well as other biomechanical parameters related to movement and stability.

The system supports a flexible configuration – individual parts of the platform can be arranged mechanically and via software according to the specific requirements of the application, for example for the analysis of standing, walking, or specific movement tasks.

Multiple platform modules can be connected into a single time-synchronized measurement setup, allowing the recording of complex movement activities.

Data transfer is carried out through standard USB interfaces, ensuring compatibility with common computing systems. Thanks to its modularity, portability, and multisensor design, the device is suitable for applications in biomechanics, ergonomics, sports diagnostics, healthcare, and human movement research.

Klíčová slova česky:

siloměrná plošina, modulární platforma, lidský pohyb, biomechanika, pohybová analýza

Klíčová slova anglicky:

force-measuring platform, modular platform, human movement, biomechanics, motion analysis

Vlastník výsledku:

České vysoké učení technické v Praze (IČO 68407700) - 70%,
MagicWare s.r.o. (IČO 62576836) - 30%,

Lokalizace: ČVUT v Praze

Licence: Ne

Licenční poplatek: Ne

Ekonomické parametry:

Trh aktuálně nabízí především jednoduchá zařízení pro měření jednotlivých biomechanických parametrů, například siloměrné podložky nebo samostatné senzory pohybu, případně specializované laboratoře pro analýzu chůze či stability. Tato řešení však neumožňují měřit variabilní pohybové aktivity pomocí modulárního systému siloměrných plošin a následně určit biomechanické parametry s jejich komplexní analýzou v reálném čase. Na trhu v současnosti neexistuje modulární multisenzorový systém, který by umožňoval flexibilní konfiguraci podle konkrétních pohybových úloh či terénních podmínek.

Většina komerčních zařízení je proprietární a jejich rozšíření o nové senzory či metody zpracování dat je obtížné, což omezuje možnosti jejich využití v pokročilých biomechanických studiích, sportovní diagnostice, ergonomickém návrhu pracovních prostředí nebo ve výzkumu lidského pohybu. Takové zařízení tedy není dostupné, a existuje tak prostor pro inovativní řešení.

Ekonomické přínosy vyplývají z možnosti komplexního sledování a analýzy pohybu jednotlivce, optimalizace tréninkových a pracovních zátěží, prevence poranění a zranění a zefektivnění rehabilitačních a diagnostických procesů.

Kategorie nákladů: výše nákladů ≤ 10 mil. Kč.

Popis funkčního vzorku

1. Obecný popis funkčního vzorku

Funkční vzorek představuje variabilní multisenzorovou siloměrnou plošinu určenou pro záznam a analýzu lidského pohybu a silových účinků vznikajících při interakci člověka s podložkou. Hlavním cílem systému je objektivní a časově synchronizované měření dynamických sil, rozložení zatížení a souvisejících biomechanických parametrů během různých pohybových úloh, a to jak v laboratorních, tak i v terénních podmínkách.

Systém je navržen jako modulární platforma, která umožňuje flexibilní mechanické uspořádání podle konkrétní aplikace. Jednotlivé moduly plošiny jsou osazeny silovými senzory založenými na tenzometrech, které snímají reakční síly působící na plošinu v průběhu pohybu. Na základě naměřených dat je možné vypočítat velikost a polohu působišť síly (centrum tlaku) a další parametry popisující stabilitu a dynamiku pohybu.

Funkční vzorek je koncipován jako přenosný systém. Modularita umožňuje spojování více siloměrných modulů do jedné měřicí sestavy s jednotnou časovou synchronizací, rozšíření počtu snímacích kanálů a přizpůsobení rozměrů měřené plochy požadavkům konkrétního experimentu nebo provozní aplikace.

2. Architektura systému

Architektura funkčního vzorku je rozdělena do dvou základních vrstev, které spolu úzce spolupracují: senzorické vrstvy a vrstvy zpracování dat.

A. Senzorická vrstva

Siloměrné moduly plošiny: Základ systému tvoří siloměrné moduly vybavené tenzometrickými snímači, které umožňují měření dynamických reakcí v definovaných místech pod měřeným subjektem. Každý modul pracuje jako samostatná měřicí jednotka, přičemž více modulů může být mechanicky propojeno do jedné měřicí plochy. Tato konfigurace umožňuje záznam rozložení sil v prostoru a sledování změn zatížení během pohybu, například při stoji, chůzi, přeskočích nebo specifických pohybových úlohách jako je přechod z stoje do sedu a naopak. Typ silových senzorů: tenzometrické silové snímače CPX-500 (rozsah 500 kg), Dini Argeo S.r.l., Itálie, výstupní signál senzoru $2 \text{ mV/V} \pm 0,5 \% \text{ FS}$, Kombinovaná chyba 0,05 %, Celková kombinovaná chyba senzoru $\leq 0,05 \% \text{ FS}$, krytí IP68, Bezpečné přetížení 120 % FS. Počet senzorů na realizovanou plošinu: 4 silové snímače (jeden v každém podpěrném bodě plošiny).

Realizované mechanické uspořádání funkčního vzorku variabilní multisenzorové siloměrné plošiny je navrženo jako plochý, samonosný měřicí celek, který umožňuje přesné snímání reakčních sil vznikajících při kontaktu lidského těla s měřicí plochou. Rozměrově flexibilní konstrukce je založena na principu čtyřbodového podepření nosné desky, přičemž každý podpěrný bod je osazen samostatným tenzometrickým silovým snímačem. Základní mechanické uspořádání se skládá ze tří funkčně oddělených částí:

- horní nosná deska,

- siloměrných snímačů umístěných v definovaných podpěrných bodech,
- nosných prutů zajišťujících stabilitu a tuhost sestavy.

Horní část plošiny je tvořena rovinnou nosnou deskou, která představuje vlastní měřicí plochu, na níž dochází ke kontaktu s měřeným subjektem. Deska je navržena jako dostatečně tuhá, aby při běžném provozním zatížení nedocházelo k nežádoucím lokálním deformacím, které by ovlivňovaly rozložení sil mezi jednotlivé snímače. Zároveň je však konstrukce optimalizována tak, aby přenášela zatížení co nejpřímočařeji do podpěrných bodů, kde jsou umístěny silové snímače.

Geometrie desky umožňuje její opakované použití v různých konfiguracích, přičemž je zachována rovinnost a stabilita měřicí plochy i při spojování více modulů vedle sebe. Tím je vytvořen předpoklad pro sestavení větších měřicích sestav bez negativního vlivu na kvalitu měření.

Nosná deska je mechanicky podepřena silovým snímačem CPX-500, který jsou umístěny v rohu měřicí plochy. Toto rozmístění definuje měřicí polygon a umožňuje jednoznačný výpočet polohy výslednice sil a centra tlaku (CoP) v rovině plošiny. Každý snímač je uložen mezi nosnou deskou a nosnou základnu tak, aby přenášel převážně svislou složku zatížení a byl mechanicky chráněn proti přenosu ohybových momentů. Použité snímače CPX-500 s jmenovitou kapacitou 500 kg jsou zvoleny s dostatečnou rezervou tak, aby bylo možné bezpečně měřit jak statické zatížení při stoji, tak dynamické špičky zatížení vznikající při chůzi, přeskocích nebo rychlých změnách polohy těla. Mechanické uložení snímačů respektuje jejich konstrukční provedení a zajišťuje, že zatížení je do snímačů přenášeno opakovatelným a reprodukovatelným způsobem.

Spodní část konstrukce tvoří přesně svařovaná nosná základna s pruty, která plní několik funkcí současně. Zajišťuje stabilitu a tuhost celé plošiny vůči podložce, chrání silové snímače před mechanickým poškozením a současně slouží jako konstrukční prvek pro vedení kabeláže od snímačů k datovému akvizičnímu systému. Základna kotví nosné pruty je navržena tak, aby bylo možné plošinu používat bez pevného kotvení k podlaze, což umožňuje její rychlé přemístění a instalaci v různých prostředích a v různých velikostech dle použitých rozměrů nosných prutů.

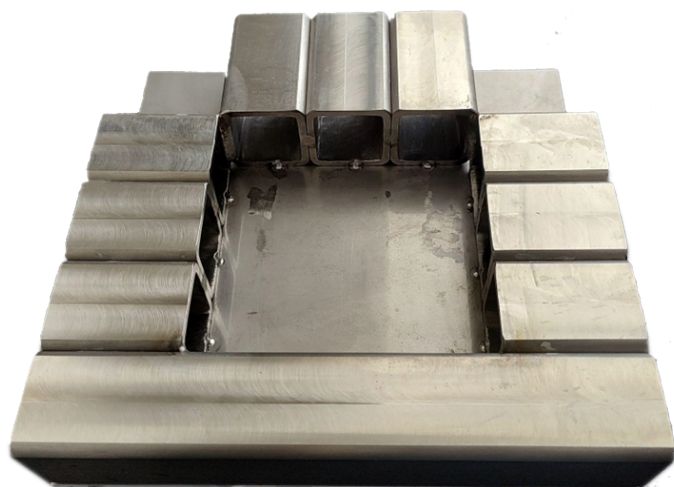
Jak je znázorněno na Obr. 1 a Obr. 2, konstrukce plošiny vychází z modulárního principu. Jednotlivé základní moduly jsou navrženy tak, aby je bylo možné mechanicky spojovat do větších sestav při zachování:

- mechanické tuhosti celého systému,
- konzistentního přenosu zatížení do jednotlivých snímačů.

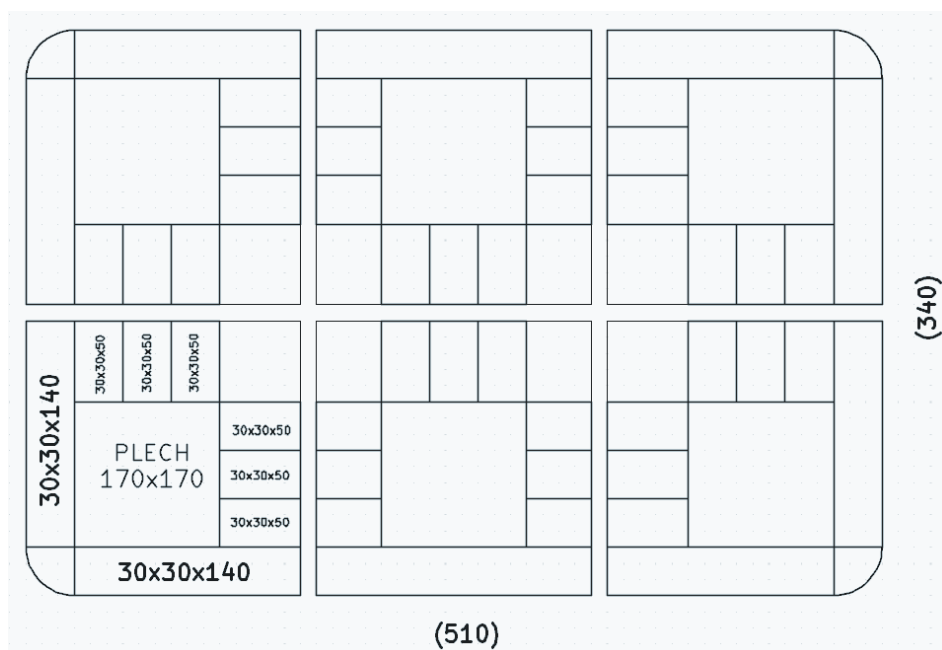
Modulární uspořádání umožňuje měnit výsledné rozměry a tvar měřicí plochy podle konkrétní aplikace, aniž by bylo nutné zasahovat do základní konstrukce jednotlivých modulů. Tento přístup je výhodný zejména při analýze různých typů pohybových úloh, které kladou rozdílné nároky na velikost a geometrii měřicí plochy.

Na Obr. 3 je prezentována realizovaná funkční konfigurace plošiny, ve které jsou použity čtyři silové snímače v základním uspořádání. Tato konfigurace představuje plně funkční siloměrnou plošinu schopnou měřit reakční síly a poskytovat vstupní data pro výpočet

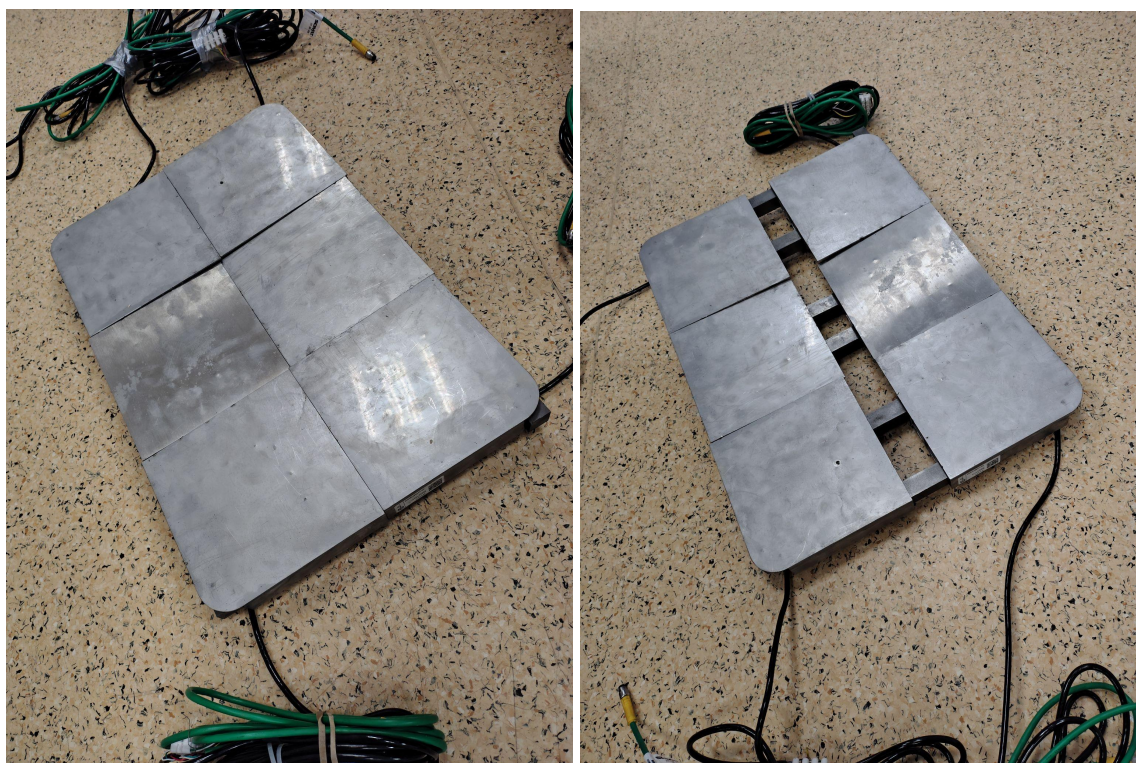
biomechanických parametrů, jako je poloha centra tlaku, velikost výslednice sil a jejich časový průběh.



Obr.1: Ukázka jeden základního modul pro sestavení rozměrově a tvarově flexibilní plošiny.



Obr.2: Schéma realizovaného modulárního uspořádání rozměrově a tvarově flexibilní plošiny.



Obr.3: Realizované modulárního uspořádání rozměrově a tvarově flexibilní plošiny s čtyřmi senzory.

Synchronizace a modularita: Jednotlivé moduly jsou časově synchronizovány, což zajišťuje konzistentní záznam dat napříč celou sestavou plošiny. Modulární přístup umožňuje variabilní uspořádání plošiny podle požadavků aplikace, a to jak z hlediska geometrie, tak počtu aktivních snímačů. Datový akviziční modul eDAQ-lite, HBM GmbH, Německo, kompaktní samostatný systém určený pro terénní měření, použitý počet měřicích kanálů 4 analogové diferenciální kanály, simultánní vzorkování všech kanálů, 24bitový A/D převodník. Přímě propojeno se standardním PC, vzorkovací frekvence do 100 kHz

Komunikační rozhraní: Přenos naměřených dat probíhá prostřednictvím standardního rozhraní USB, které zajišťuje spolehlivý a rychlý přenos dat do nadřazeného výpočetního systému. Toto řešení umožňuje kompatibilitu s běžně používanými počítači a snadnou integraci do stávajících měřicích a analytických prostředí.

B. Vrstva zpracování dat

Předzpracování a výpočet biomechanických parametrů: Vrstva zpracování dat zajišťuje časovou synchronizaci naměřených silových signálů. Na základě těchto dat jsou vypočítávány klíčové biomechanické parametry, jako je poloha centra tlaku (tzv. CoP) nebo dynamické charakteristiky pohybu jako velikost výsledné reakční síly a její maximální hodnoty v konkrétních fázích pohybu.

Analytické a vizualizační nástroje: Systém poskytuje nástroje pro vizualizaci průběhů sil v čase a prostoru a pro následnou analýzu pohybových strategií a stability. Data mohou sloužit

jako vstup pro další algoritmy nebo pro kombinaci s dalšími měřicími systémy (např. kamerové systémy nebo nositelné senzory).

3. Funkční specifikace a režimy provozu

Režim laboratorního měření: Systém je určen pro přesná laboratorní měření, kde je kladen důraz na vysokou přesnost, opakovatelnost a detailní analýzu pohybových úloh. Modulární konfigurace umožňuje přizpůsobení experimentálnímu protokolu.

Režim terénního a přenosného použití: Díky přenosné konstrukci a modulárnímu uspořádání lze funkční vzorek využít i mimo specializované laboratoře, například v terénu, sportovních zařízeních nebo provozních podmínkách. Tento režim podporuje rychlou instalaci a flexibilní nasazení.

Nastavitelnost a rozšiřitelnost: Parametry měření, konfigurace modulů i způsob zpracování dat jsou nastavitelné podle konkrétní aplikace. Systém je připraven pro budoucí rozšíření o další senzory nebo pokročilé metody zpracování dat.

4. Závěr

Funkční vzorek variabilní multisenzorové siloměrné plošiny ověřil proces návrhu, realizace a provozu modulárního systému pro záznam a analýzu lidského pohybu. Byla prokázána schopnost systému rozměrově přizpůsobovat a provádět časově synchronizovaný sběr silových dat z více modulů resp. jejich senzorů. Modularita a variabilita uspořádání představují významnou výhodu oproti běžně dostupným komerčním řešením, která jsou často konstrukčně i softwarově uzavřená. Realizovaný funkční vzorek naplňuje předpoklady pro uplatnění ve výzkumu lidského pohybu, biomechanice, ergonomii, sportovní diagnostice i zdravotnictví. Získané poznatky a technické řešení tvoří základ pro další vývoj aplikací a potenciální komerční využití v oblastech vyžadujících objektivní a flexibilní analýzu pohybových aktivit.