

PPT-01

Měření prostorové průchodnosti tratí

ROT-HSware spol s r.o.
Mezi Mosty 176
530 03 Pardubice
www.rothsware.cz

2002-2004

Cíl projektu

Ve firmě ROT-HSware spol. s r.o. byl zpracován projekt zařízení pro měření prostorové průchodnosti dopravních cest (dále jen PPT). Navrhované zařízení využívá moderní laserové snímače s modulovaným laserovým paprskem rozmítaným pomocí rotujícího hranolu. Vlastnosti těchto laserových snímačů umožňují měření prostorové průchodnosti dopravních cest, jehož výsledkem je zjednodušený trojrozměrný popis tohoto parametru 3D. Tento uveřejněný projekt byl zpracován pro potřeby ČD a.s.

Předpokládaná koncepce

Projekt popisuje měřicí systém, kterým lze doplnit drezínu MD-1, používanou u ČD a.s. Systém pro měření prostorové průchodnosti lze však instalovat i na jiná vhodná vozidla (viz. Dvoucestné vozidlo DMV-01).

Koncepce doplnění MD-1 byla zvolena ze dvou důvodů, a to:

- potřeby určení osy koleje, kterou lze definovat na základě změřených nebo vypočtených geometrických parametrů koleje (dále jen GPK);
- finančních, neboť stávající instalace výpočetní techniky dává předpoklady pro snadné zabudování nového zařízení, včetně softwarového vybavení.

Základní požadavky na měření:

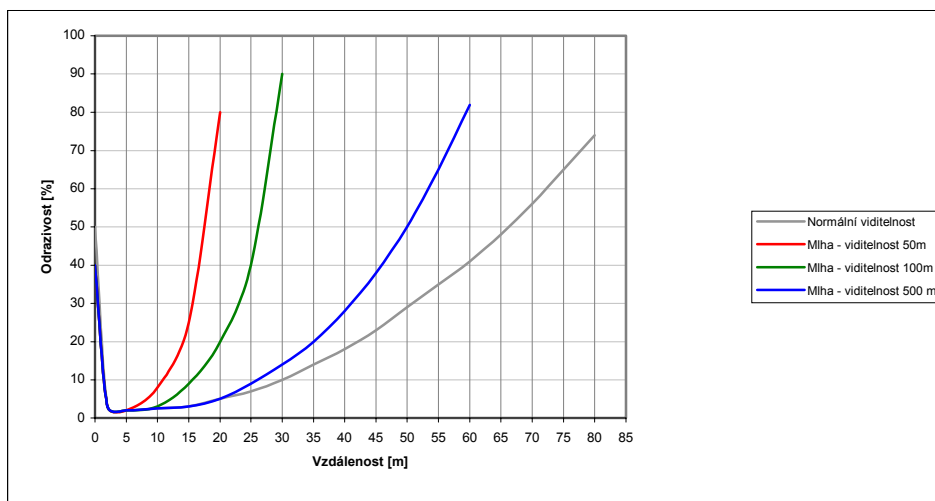
- dostatečná kapacita systému;
- měření pomocí laserových snímačů. Rychlost snímání profilu je dána požadovanou přesností - měření. Lze dosáhnout až 75-i řezů za sekundu při přesnosti měření do 20mm v příčném směru;
- stanovení osy koleje z hodnot snímačů pro GPK;
- bezpečnost pracovníků provádějící měření;
- možnost vstupu dat do Ústředního registru mimořádných zásilek (dále URMIZA);
- jednoduchost obsluhy.

Základní požadavky na zpracování dat:

- plně automatizovaná diagnostická technologie;
- vyhledávání, 3D měření, hodnocení, archivace atd.;
- zajistit výstupní informace o překážce a to i v 3D;
- zajistit prostorovou charakteristiku objektů.

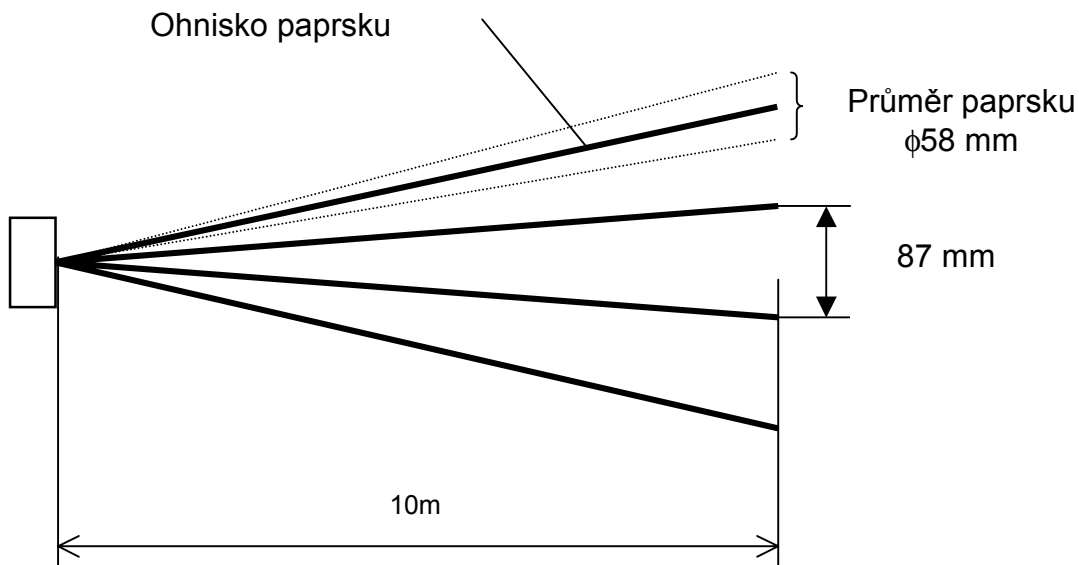
Princip měření laserového snímače

Snímač pracuje na principu rotujícího laseru. Vysílač vyšle modulovaný laserový paprsek rozmítaný pomocí rotujícího hranolu. Laserový paprsek se odrazí od měřeného objektu a vrací se zpět k přijímači. Na základě časových údajů o vyslání a přijetí laserového paprsku je vyhodnocen čas letu paprsku. Z údaje lze spočítat vzdálenost objektu, od kterého se paprsek odrazil. Laserový snímač dále poskytuje přesnou polohu rotujícího hranolu. Oba tyto údaje popisují v polárních souřadnicích profil v rovině rotujícího laseru. Měřicí rozsah snímače je do 80 m. Na měřenou vzdálenost má vliv „čistota prostředí“, jak ukazuje graf na obr.1. Při mlze s viditelností do 50 m je při odrazivosti 10% (hrubý černý povrch) měřený rozsah 10 m. Pro měření PPT je tato vzdálenost dostačující.



Obr. 1: Závislost vzdálenosti na prostředí a odrazivosti

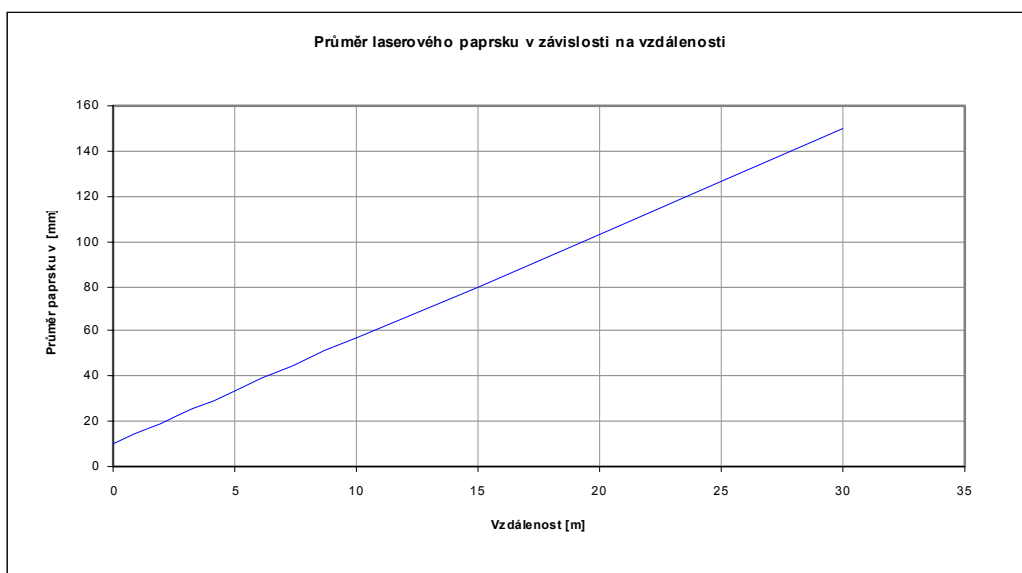
Měřený předmět může být zaměřen pouze v případě, že jeho velikost umožní odraz laserového paprsku v dostatečné intenzitě. Vysílaný laserový paprsek není 100% zaostřen a do jisté míry se rozbíhá. To zapříčiňuje kuželovitost laserového paprsku. Vzhledem k tomu, že měření není spojitě, kuželovitost měřicího paprsku nám umožňuje vykryt „hluchý prostor“ mezi jednotlivými body měření. Rozbíhavost paprsku znázorňuje obr. 2.



Obr. 2: Průběh laserového paprsku

V příčném směru jsou tedy ve vzdálenosti 10 m indikovány body po 87 mm, průměr laserového paprsku je v této vzdálenosti 58 mm. Z toho vyplývá slepé místo o průměru 29 mm. Pravděpodobnost, že takovýto předmět nebude zachycen, je takřka nulová. Se snižujícím se průměrem předmětu (kulového tvaru) se pravděpodobnost nezachycení bude zvyšovat.

Na obr. 3 je znázorněna závislost průměru paprsku na jeho vzdálenosti od snímače.

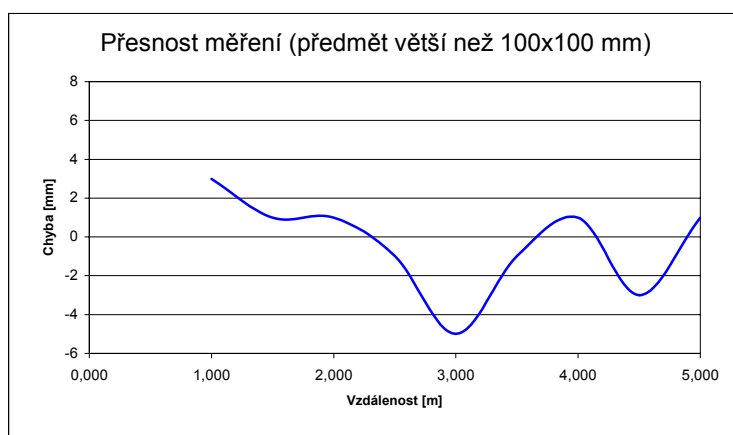


Obr. 3: Graf závislosti průměru paprsku na jeho vzdálenosti

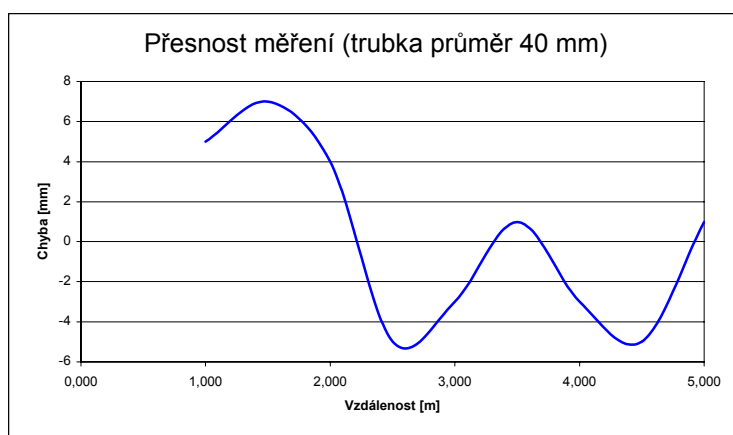
Pozn. Dále je možno použít maximální rozlišovací schopnost snímačů. Tento režim je spíše vhodný pro statické zaměření objektů v trati.

Přesnost měření a jeho opakovatelnost

U použitého snímače byla provedena zkouška na přesnost měření. Výsledky ukazují grafy obr.4, obr.5. Je patrné, že přesnost měření se pohybovala v rozmezí -5..+3mm v prvním případě a -5..+7mm. Zkoušky byly provedeny pro několik předmětů z různými vlastnostmi povrchů a různých tvarů. Maximální zjištěná odchylka je -5..+7mm



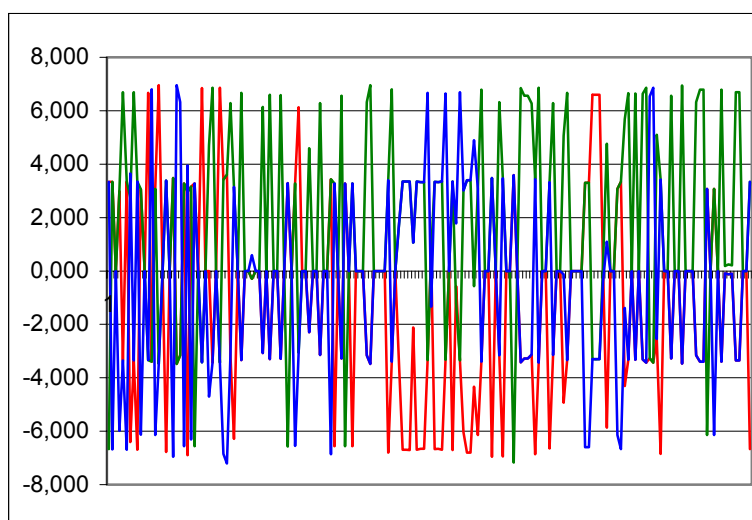
Obr. 4: Přesnost měření



Obr. 5: Přesnost měření

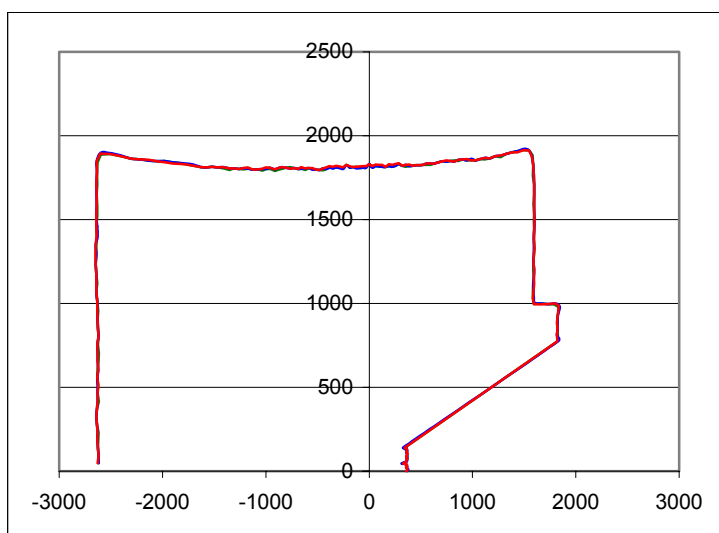
Opakovatelnost

Při zjišťování opakovatelnosti měření byl v různých časových intervalech zaměřován týž předmět. Pro míru opakovatelnosti byla porovnáována vzdálenost sobě odpovídajících bodů z různých měření. Při porovnání vzdáleností bodů jednotlivých měření byla zjištěna maximální odchylka mezi jednotlivými měřeními max. -7..+7mm. Hodnoty v grafu na obr. 6 jsou v milimetrech.



Obr. 6: Vzájemné odchylky porovnávaných měření

Tvar měřeného objektu (viz. obr. 7) při zkouškách opakovatelnosti. Souřadnicový systém je již přímo v milimetrech.



Obr. 7: Tvar měřeného objektu

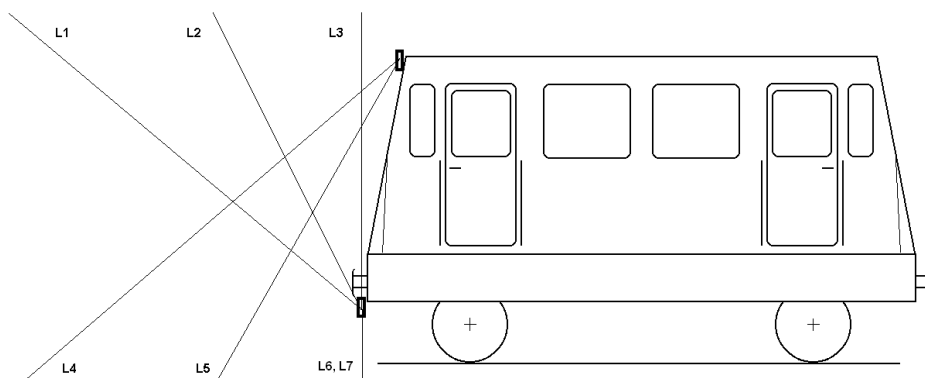
Vzhledem k provozním podmínkám je celý snímač umístěn v robustní konstrukci s krytím IP67. Dále je celé těleso laserového snímače vybaveno modulem vytápění. Tento modul o příkonu cca 140W je spínán automaticky na základě klimatických podmínek. Zabezpečuje jednak ochranu proti zamlžení a orosení průzoru laseru a také umožňuje práci systému i pod bodem mrazu.

Možnosti měřicího systému

Měření průjezdného profilu zabezpečuje trojice laserových snímačů. Každý laserový snímač pracuje v zorném úhlu 180°. Tři snímače jsou voleny z důvodu 100% vykrytí celého profilu v rozsahu 360°. Ve spoji měření se musí rozsahy jednotlivých snímačů překrývat. Vzhledem k nutnosti použití tří snímačů se dále hledalo jejich další využití. Při hledání optimální konfigurace polohy laserových snímačů bylo zjištěno, že lze tyto snímače využít na snímání tvaru šterkového lože v oblasti hlav pražců.

Takto umístěné snímače, snímají profil v normálové rovině jsou schopny produkovat 75 snímků za vteřinu. To znamená, pokud budeme uvažovat rozlišovací schopnost systému ve směru jízdy 20 mm (vzdálenost jednotlivých měřených profilů), že se vozidlo může pohybovat rychlostí do 5,4 km za hodinu. Rychlost okolo 5 km/h je pro měření však nedostatečná. Možnosti jak zvýšit rychlost měření je několik. Jedna možnost je současně měřit profil v několika normálových řezech vzájemně posunutých. Toto řešení není tak zcela vhodné a to pro vysoký počet snímačů. Například pro měření rychlostí do 30 km/h by bylo nutno použít 18 snímačů (6 normálových rovin).

Druhá možnost je měření profilu v rovině normálové a současně v rovinách skloněných, pod určitým úhlem od roviny normálové. Tuto možnost ukazuje obrázek č. 8.



Obr. 8: Možnost umístění laserových snímačů

Snímače L3, L6, L7 měří profil v normálové rovině. Snímače L1, L4 a L2, L5 měří profil v rovině skloněné od roviny normálové. Pro rychlost měření do 30 km/h musí být rovina laserů L1 a L4 skloněná o 70° od roviny normálové. Rovina laserů L2 a L5 je skloněná od normálové roviny o úhel 45°.

V průběhu jízdy jsou jednotlivá měření laserových snímačů L1, L2, L4, L5 transformována do normálové roviny. Pro transformaci je nutné znát informace o poloze a pohybu skříně vozu, o směrových poměrech koleje a převýšení koleje.

Uvedená konfigurace pouze naznačuje možné řešení. Přesný počet a nastavení jednotlivých snímačů bude upřesněno vzhledem k požadavkům zákazníka

Popis měření

Po startu začnou laserové snímače měřit profil a kontinuálně zasílat data měřicímu počítači. Vlastní data obsahují identifikační kód snímače a hlavičku dat. Proces analýzy příchozích dat spočívá ve vyhledávání hlavičky a zaváděcí struktury měřených dat. Tak je vyloučena chyba komunikace. Data jsou převedena do pravouhlého systému souřadnic a následně pomocí lineární transformace sloučena do jednoho měřeného profilu. Dále je naměřený profil postoupen filtraci pro odstranění šumů a dalších rušivých vlivů.

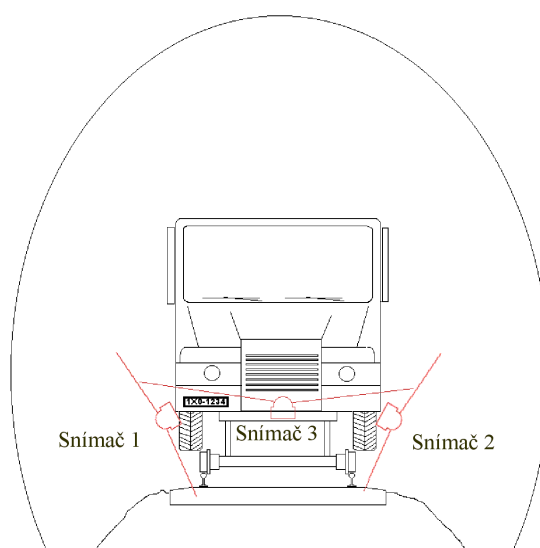
Jsou-li systémem identifikována platná data, je porovnána aktuální kilometrická poloha s požadovanou kilometrickou polohou záznamu. V případě shody podmínek jsou data předána dalšímu procesu, který je zpracuje.

Pro zpracování profilu si systém vyžádá z modulu GPK požadované parametry. Je vypočtena osa koleje, ze které se dále vypočítávají transformační koeficienty. Na základě těchto koeficientů je vypočten výsledný průjezdný profil vztažený k ose koleje.

Pro zvýšení spolehlivosti a přesnosti měření je na datech naměřeného profilu aplikován matematický algoritmus pro odstranění statistických chyb. Tento výsledný profil koreluje se skutečným profilem.

Instalace systému PPT na nosné vozidlo

Jak již bylo výše napsáno, systém lze umístit na jakékoliv drážní vozidlo. Rozmístění snímačů je tedy ilustrativní a přesné umístění a konstrukce rámu snímačů bude řešena až dle konkrétního požadavku na nosné vozidlo.



Obr. 9: Možné osazení drezíny MD1 snímači profilu

Z hlediska výpočetního systému se v projektu uvažuje o rozšíření stávajícího systému pro GPK o dva průmyslové PC s tímto určením:

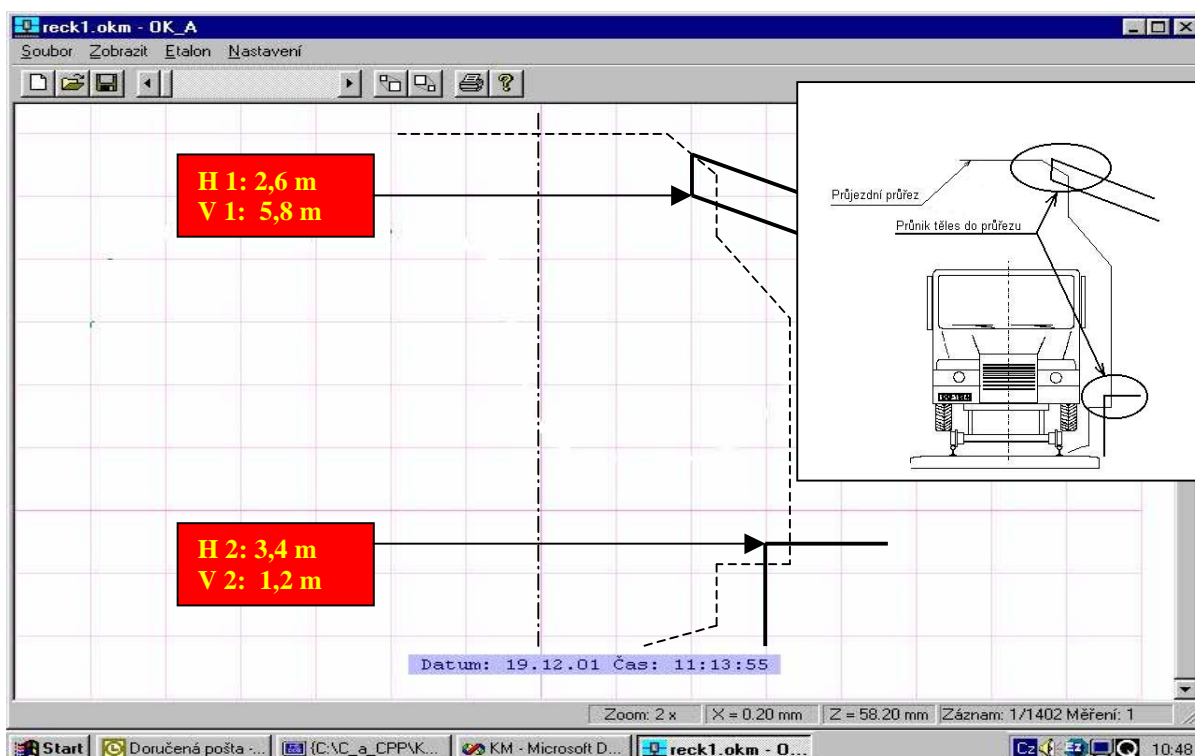
- centrální počítač, který má za úkol zabezpečit komunikaci celého systému, zadávání vstupních parametrů a vizualizaci dat, jednotné nastavení a pasportizaci dat (pomocí zaváděcích souborů), jednotný kilometrický průběh měření, zadání identifikačních značek pro všechny systémy, časovou synchronizaci měření a kompletaci měřených dat od jednotlivých systémů,
- modul PPT, který zabezpečuje komunikaci s laserovými snímači a zpracování dat.

Propojení systémů centrálního počítače s moduly GPK a PPT bude realizováno počítačovou sítí (LAN). Dále je možno centrální počítač rozšířit o modul záznamu videa. Připojená barevná videokamera snímá celkovou situaci na trati. Data jsou digitalizována, zpracována, komprimována a uložena na disk. Do vlastního videosignálu jsou vložena textová data vyjadřující kilometrickou polohu. Tento videozáznam slouží k vizuálnímu posouzení nasnímaného profilu trati. Systém lze vybavit systémem GPS pro určování polohy měřicího systému a modulem pro bezdrátový přenos dat využívající technologii GPRS.

Software pro měření PPT

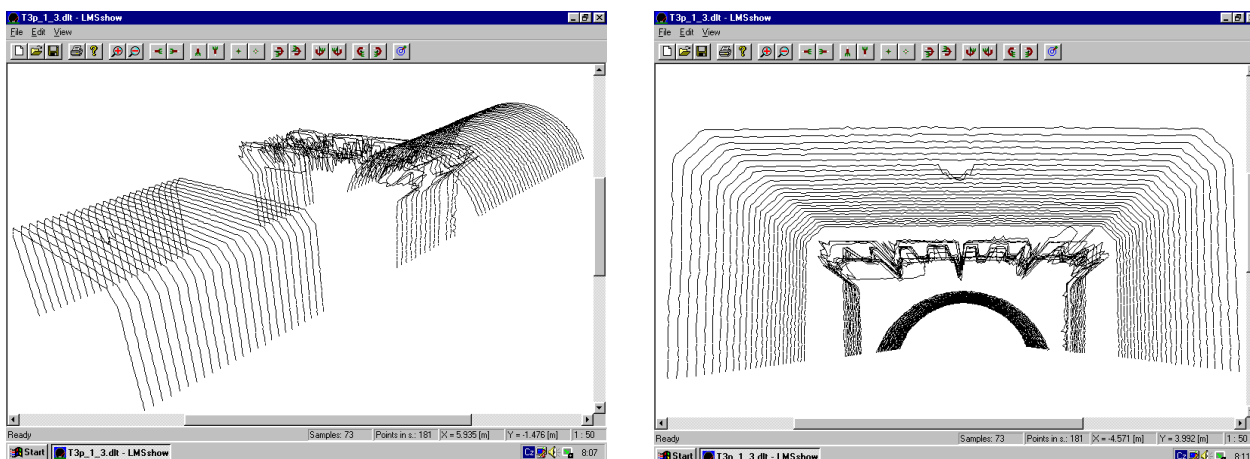
Základní měřicí program má za úkol provádět měření a výpočet konečného měřeného profilu. Program také umožňuje převzít ze systému měření GPK údaje o kilometrácii a objektech v trati. Měřicí verze tohoto programu měřená data ukládá spolu s kilometrickou polohou a provádí základní hodnocení měřeného profilu. Výsledný profil je on-line porovnáván s předem definovaným profilem a v případě průniku měřeného profilu do definovaného profilu se zobrazí varovná hláška.

Vyhodnocovací program umožňuje 3D zobrazení objektů omezujících PPT. Samozřejmě program umožňuje nové hodnocení profilu a nové hodnocení v závislosti na předem definovaném profilu. Další využití programu je při plánování tras nadměrných nákladů. Z 3D matematického popisu průjezdného profilu program umožňuje zjistit, zda zadaná vlaková souprava (včetně např. nadměrného nákladu) bude schopná za daných jízdních podmínek danou tratí projet. Pro tento výpočet bude nutné zadat základní rozměry vlakové soupravy a v případě výpočtu pro jízdu vysokou rychlostí i další parametry potřebné pro výpočet dynamického chování vlakové soupravy (např. hmotnosti, polohu těžiště, dynamické vlastnosti vozů apod.). V případě zjištění překážky bude zobrazena v 3D a budou k ní stanoveny její rozměry.



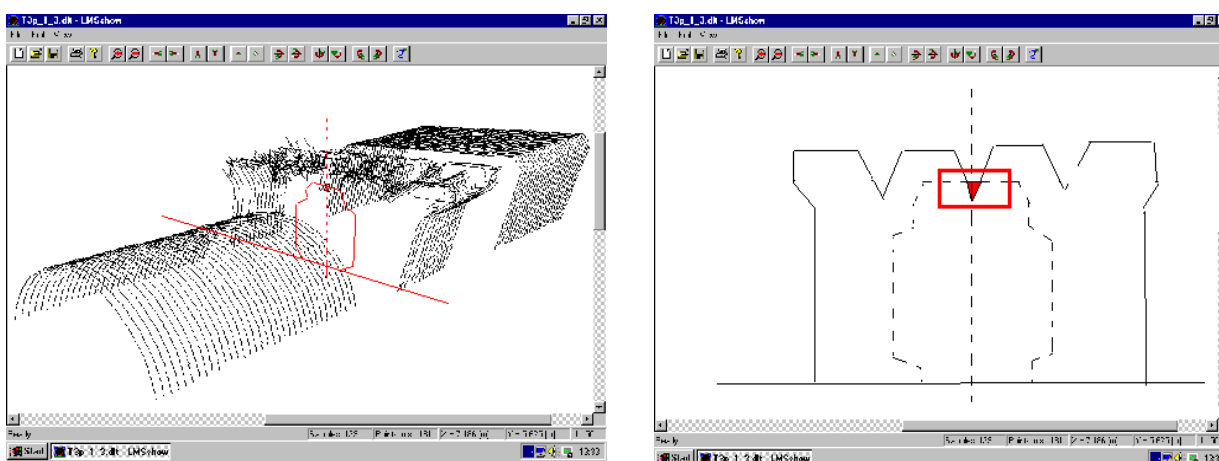
Obr. 10: Měření profilu nástupiště a vykreslení průniku do definovaného profilu

Následující obrázky znázorňují průjezd pod třemi mosty, kdy byl zachycen průnik do průjezdného profilu. Na obr. 11 jsou znázorněny obrazovky měřicího systému a průběh zaznamenaných dat. Data jsou uložena v digitální formě. Programové vybavení umožňuje plynulé 3D natáčení objektů na obrazovce monitoru.



Obr. 11: Měření profilu tří mostů

S uloženými daty lze provádět kontrolu průjezdného profilu tak, že zvolíme požadovaný typ normovaného profilu. Ten je buď ručně nebo programově posouván v zaznamenaných vzorcích profilu. Pokud je nalezen průnik, na obrazovce monitoru je vidět detailní záběr, viz. Obr. 12.



Obr. 12: Kontrola průjezdného profilu

Nalezené místo průniku je označeno červeným obdélníkem s udáním kilometrické polohy a základních údajů o průniku, jako je výška a vzdálenost od osy koleje.

Místo průniku je porovnáno s videozáznamem. Laserové snímače nerozlišují pevnou překážku od překážky, která nemá tento charakter. Jsou to především porosty keřů nebo stromů. Obsluha vyhodnocovacího programu na základě videozáznamu rozhodne, o jakou překážku se jedná. Programové vybavení zaznamená zásah obsluhy pro pozdější kontrolu



Obr. 13: Video záznam

Další funkcí programu bude možnost exportu dat ve formátu požadovaném ústředním registrem mimořádných zásilek. Funkce programu bude přizpůsobena potřebám provozovatele systému.

Technické parametry PPT

Počet laserových snímačů:	závisí na rychlosti měření
Měřicí rozsah snímače:	180°
Měřicí rozsah systému:	360°
Max. měřená vzdálenost:	80 m
Chyba snímače v obou osách:	max. ±10 mm
Doba odezvy snímače:	13 ms
Interface:	RS485/422
Napájení laserových snímačů:	24 VDC / 6 A
Napájení měřicího počítače:	230 VAC / 250 W
Pracovní teplota snímačů:	-30 .. 70°C
Klimatizace laser. snímačů:	ANO (24 VDC/6 A na jeden snímač)
Ochrana proti orosení snímačů:	ANO
Krytí laser. snímačů:	IP67
Třída laserového zářiče:	1 - nepoškozuje zrak
Odolnost proti vibracím:	15g/11ms, 10g/16ms, 10..150Hz@amplituda 0,35mm
Měřicí počítač:	Průmyslový 19" Rack Intel Pentium IV, 40GB HDD sATA, 512 MB RAM, komunikační karta RS485, LAN, monitor LCD, klávesnice

Síťové prostředky: LAN 100Mb
Kabeláž: Volena s ohledem na prostředí-průmyslové kabely
Software: Operační systém WIN

Měřicí program

Vyhodnocovací program - off-line verze

Vyhodnocovací program 3D, včetně simulace průjezdu soupravy danou tratí a exportu dat

Závěr

Závěrem je možno konstatovat, že projektovaný systém měření prostorové průchodnosti tratí pomocí laserové techniky vytváří předpoklady pro jeho nasazení nejen na tratích Českých drah. Jako největší výhody se jeví:

- kontinuální měření,
- finanční nenáročnost oproti zahraničním systémům,
- pseudo3D zobrazení průchodnosti trati,
- snadná obsluha,
- nízké provozní náklady,
- možnost vstupu dat do Ústředního registru mimořádných zásilek URMIZA.

Na pracovišti ROT-HSware spol. s r.o. byla provedena kalibrační měření pro zjištění přesnosti a spolehlivosti snímačů. Výsledky těchto zkoušek jsou pozitivní. Dále byl vytvořen měřicí program, kterým byly nasnímány skutečné profily - tunely. Program automaticky vytváří 3D model prostoru pro průjezd a umožňuje jeho natáčení včetně pohledů.