

Vladimír Vejvoda a kolektiv
Ostře sledované vlaky

Klíčová slova: *CDS - Centrální dispečerský systém, CEVIS - Centrální vozový informační systém, EIRENE - Evropská integrovaná železniční síť, GPS - Global Positioning System (globální navigační satelitní systém), ISOŘ - Informační systém operativního řízení, TCP/IP - Transmission Control Protocol / Internet Protocol, VDS - Vlakový dispečerský systém.*

Takto nazvaly Hospodářské noviny počátkem roku 1998 informační článek věnovaný jednomu z doposud největších projektů vědy a výzkumu Ministerstva dopravy a spojů ČR. Projekt vedený pod číslem S205/210/801 se přes svůj oficiální název „*Inteligentní systém určení polohy vozidel na principu GPS pro zvýšení bezpečnosti a efektivnosti řízení pozemní dopravy*“ věnuje zejména drážním aplikacím družicové navigace. Gestorským útvarům ministerstva je proto Odbor drah a železniční dopravy.

Ukončení projektu bylo stanoveno na konec roku 2000. Vedením projektu byla na základě výsledků výběrového řízení pověřena společnost Geoinvest. Vítězné řešení navrhované touto společností se opírá o rozsáhlé zkušenosti v technologiích GPS, několikaletý výzkum GPS aplikací v prostředí ČD a zejména o bezprecedentní znalosti drážního prostředí spoluřešitelů projektu Institutu Jana Pernera, OLTISu s.r.o. a VÚŽ o.z.ČD.

V březnu roku 2001 řešitelé projektu úspěšně obhájili před hodnotitelskou komisí MDS a oponenty z ČD veškeré výsledky zkušebního provozu a prokázali splnění všech bodů zadání. Čtenáři Vědeckotechnického sborníku ČD jsou jako první seznámeni s hlavními rysy a dosaženými výsledky navrhovaného řešení.

Výstupem projektu jsou zejména schémata jednotlivých komponent hardwaru resp. prototypy vlakových lokátorů a podrobné popisy matematických formulí a algoritmů včetně zdrojových

Ing. Vladimír Vejvoda, nar. 1961. Vystudoval ČVUT, fakultu stavební, obor geodézie a kartografie. Od roku 1991 do současnosti pracuje v managementu společnosti Geoinvest, která se intenzivně zabývá aplikacemi GPS na všech úrovních (výzkum, obchod a služby GPS). Geoinvest je hlavním řešitelem projektu V+V a autor je osobou zodpovídající za kompletní řešení projektu.

textů programů, pro řadového čtenáře, byť profesně zaměřeného sborníku, s minimální vypovídající schopností. Proto jsme se zde omezili pouze na základní popisy řešení a velmi zjednodušené interpretace dosažených výsledků. Na straně druhé předpokládáme obecné povědomí o technologii GPS, a tak se tento článek vyhýbá populárně naučnému glosování známých faktů.

1. Výchozí podmínky projektu

Reálné aplikace družicových technologií v železniční dopravě i v průmyslově vyspělých státech jsou po pravdě řečeno ještě v plenkách. I v takové zemi jako je například USA, otčině GPS, kde je satelitní navigace všude přítomná více jak 10 let, údaje o poloze vlaků získané z GPS slouží pouze pro naplnění informačních systémů spojených s pohybem zboží. Obdobně jako v letecké dopravě i na železnici je nejdůležitějším kritériem integrita systému, konkrétně spolehlivost včasné detekce eventuální chyby. Za hlavní handicap GPS se považuje jeho statut- provozovatelem je Ministerstvo obrany USA, a pak samotný princip šíření signálu radiových vln, degradovaný řadou atmosférických a geomorfologických vlivů. Přesto, že Spojené státy americké zrušily 2.5.2000 úmyslné zneřádnění rádiového signálu GPS a garantují světové veřejnosti bezplatný provoz, nelze opomíjet primární – vojenské určení tohoto systému a z toho vyplývající potenciální nebezpečí pro korektní plynulý provoz. Bohužel i fyzikální vlivy, zcela nezávislé na politické situaci, nejsou úplně přesným družicovým aplikacím rovněž nakloněny.

Bez ohledu na zmíněná rizika a negativa, se současný počet používaných přijímačů GPS odhaduje na téměř čtyřicet miliónů po celém světě, z toho je 14% nasazených v dopravě. Poslední rozhodnutí americké administrativy o širším zpřístupnění GPS a v USA přijatý zákon o mobilních telefonech, vyžadující GPS zástavbu v každém mobilu, tento počet ve velmi krátké době zněkolikanásobí. GPS lobby, situovaná převážně v USA, si tak zajistila na mnoho let dopředu zlatý roh hojnosti. Pro evropský kosmický průmysl a evropské instituce představa nestravitelná. Dnešní závislost na Spojených státech v satelitní navigaci je neoddiskutovatelná a vyvolává snahu po osamostatnění. V Hi technologiích jako nikde jinde platí o to víc „kdo chvíli stál, stojí již opodál“, a tak veškeré dosavadní snahy prezentované v evropských navigačních systémech GNSS vyznívají rozpačitým dojmem potvrzujícím jen těžkopádnost politiky EU při realizaci velkých projektů. Ani nejnovější projekt GNSS Evropské unie a Evropské kosmické agentury (ESA), sympaticky nazývaný Galileo, nemá

na různých ustláno. Základní rysy systému by měly být definovány do konce roku 2000 a plná funkčnost k dispozici až kolem roku 2008. Do té doby se stanou GPS technologie korunovou záležitostí, svoji spolehlivostí a dostupností postačující pro více jak 95% potenciálních uživatelů. Proti ještě nenarozenému Galileu, které se již v samotných přípravách na realizaci potýká s nedostatkem financí a jehož záměrem je poskytování služeb na komerční bázi, tak stojí bezplatný systém s ohromným počtem funkčních aplikací. Nespornou výhodou Galilea by však měla být vyšší přesnost a spolehlivost podpořená geostacionárními satelity, pozemními pseudolity a garantovanou kompatibilitou a interoperabilitou s GPS. Zde je na místě držet Galileu všechny palce, zejména železničářské, protože v případě dosažení vytyčených parametrů Galilea přestává být představa použití satelitní navigace pro primární zabezpečovací drážní aplikace fabulací.

Přes shora uvedené pesimismus evokující argumenty mají satelitní technologie na železnici reálné šance již nyní. Zejména v systému sledování železničních zásilek, v procesu optimalizace plánování a řízení dopravy a rovněž i při zvyšování bezpečnosti a spolehlivosti provozu na regionálních tratích.

Ministerstvo dopravy ČR svým rozhodnutím zařadit satelitní technologie do seznamu projektů vědy a výzkumu posunulo Českou republiku mezi takové země jako jsou Velká Británie a Německo, kde národní dráhy EWS resp. DB seriózně zvažují nasazení GPS jako zdroj informace o poloze vlaků do drážních informačních systémů. O výsledcích britského a německého výzkumu informovali manažeři obou subjektů na mezinárodní konferenci GPS technologie v dopravě a logistice, konané v září 1999 v Londýně. Každý ze zmíněných subjektů realizuje výzkum zcela samostatně bez jakékoliv koordinace v rámci EU nebo UIC a potvrzuje tím jen fakt, že pokud evropští provozovatelé železnic chtějí využít GPS, pak nemohou počítat s podporou EU. Averse EU vůči GPS vyústila v roce 1997 ve vyhlášení projektu Telematics evropské komise DG XIII na řešení vlakového polohového lokátoru, později pojmenovaného APOLO. Zadání projektu zveřejněné na internetu požadovalo řešení zcela nezávislé na GPS. Ambiciózní plány se však v průběhu řešení paradoxně smrštily na vývoj „laciného“ GPS lokátoru evropské provenience, opatřeného navíc několika málo funkčními prvky GNSS.

Účastníci již zmíněné londýnské konference se shodli na následujících faktech. Projekt Galileo nemá doposud vyřešen ani návrh kosmického segmentu. Jeho první uživatelské segmenty (např. vlakové polohové lokátory), pokud bude vše probíhat podle plánu, spatří světlo světa nejdříve za 8 let. Do té doby je jedinou reálnou alternativou nasazení družicových technologií na železnici GPS i s jeho problematickými vlastnostmi.

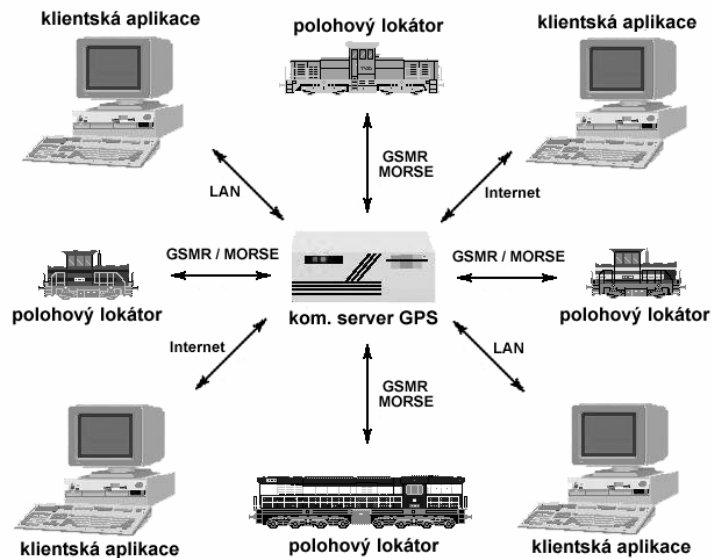
2. Základní cíle projektu stanovené zadavatelem

Zadavatel si do smlouvy zapracoval zásadní podmínku, že vynaložené finanční prostředky respektive úsilí řešitelského týmu musí směřovat k vypracování řešení, které je seriózně realizovatelné v prostředí ČD prakticky okamžitě po ukončení projektu. Výstupy projektu by měly mít povahu funkčního hardware a software, adaptovatelného bez větších obtíží do reálného drážního provozu.

Takováto kritéria předem vylučují dílčí řešení a vyžadují komplexní přístup k dané problematice formulovaný v předmětu smlouvy o dílo následujícími požadavky:

- **Vývoj vlakového polohového lokátoru na bázi GPS a inerciálního systému (INS), který určí polohu vlaku kdykoliv a kdekoliv na trati s přesností 1-2 m.**
- **Navržení a vyvinutí pozemního monitorovacího řídicího systému v režimu on-line, zajišťujícího sledování požadovaných mobilních objektů, zpětnou vazbu centra na sledované objekty a poskytování dat do navazujících řídicích, zabezpečovacích a informačních systémů. Dále uváděno jako *komunikační server GPS*.**
- **Doporučení a ověření nejvhodnější telekomunikační infrastruktury pro obousměrný přenos dat mezi vozidlem a řídicím centrem.**
- **Vypracování matematického modelu řízení vlakové a kombinované dopravy účelně využívající GPS technologie s hlavním důrazem na zvýšení integrity v souladu s potřebami dopravní politiky ČR a EU.**

Obr.1: Schéma navrhovaného řešení



2.1 Vlakový polohový lokátor

2.1.1 Základní charakteristiky

Pro zajištění požadavku určení polohy kdekoli a kdykoli na trati, tedy i v tunelech a místech bez možnosti příjmu satelitního signálu, se pouze s diferenčním GPS (DGPS) přijímačem nevystačí. Potřeba přesných souřadnic i v geomorfologicky a urbanisticky náročném prostředí vyžaduje řadu nutných přídatných komponent. Jednou z nejdůležitějších součástí navigace hned po přijímači DGPS je inerciální systém (INS). Oba způsoby určování polohy se využívají paralelně a pomocí speciálních filtračních procesů tzv. Kalmanovy filtrace se provádí analýza kvality jednotlivých měření v reálném čase se současnou syntézou prověřených dat, určených pro distribuci do dispečerského centra. Dalšími prvky lokátoru jsou odometr jako zdroj informací pro INS a dále akcelerometr, detekující prokluz kol a průjezd výhybkou. To vše je nutné řídit výkonným procesorem s jádrem reálného času.

Z výsledků vývoje vzešly 4 typy vlakových polohových lokátorů. Lokátory jsou postaveny na shodné procesorové platformě Motorola 68332 a liší se od sebe prakticky jen typem použitého GPS přijímače a INS. Základní elektronická deska s interním firmware je jednotná a umožňuje použití prakticky libovolné kombinace GPS a INS.

Hlavním komponentou pro určení polohy ve stávajících prototypch jsou OEM GPS desky od firmy Ashtech. Použité GPS přijímače s ohledem na technické parametry a cenu, reprezentují kompletní škálu komerční nabídky pro dynamické aplikace s požadavkem na vysokou přesnost. V lokátoru typu (4) je použita kombinovaná deska GPS a GLONASS. Důvodem

této implementace je plnění požadavku na GNSS. Bohužel systém GLONASS je již téměř dva roky nepoužitelný v souvislosti s absencí více jak 50 ti % satelitů.

Pro zajištění požadované přesnosti v určení polohy i v případě ztráty signálu z družic jsou lokátory vybaveny nezávislým INS. Nejvyšší přesnost byla dosažena s gyroskopem FOG od amerického výrobce KVH Industries s měřítkovým faktorem linearity < 0,5%. Pro méně přesné aplikace jsou v prototypch použity piezo čipy od firmy Murata.

Projektem požadovanou přesnost cca 2m však splňuje pouze kombinace INS FOG s GPS G12 a GG24, která je obsažena v lokátoru typu 3 resp. 4. Lokátor typu 4 pro svoji cenu a zmíněnou nekompletnost systému GLONASS není pro praktické použití na ČD vhodný. Lokátory typu 1 a 2 vyhovují jen pro méně přesné aplikace informační úrovně i když se požadované přesnosti resp. mezní chybě 2m značně přibližují.

Kombinace GPS a INS ve stávajících prototypch, včetně odhadu střední polohové chyby M_p z testovacích měření a koncové prodejní ceny lokátoru jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 1:

Typ lokátoru	Typ GPS	Počet kanálů	m_p DGPS	Typ INS	M_p	Odhad ceny*
1	Ashtech G8	8	1,5 m	Piezo	2,9 m	40.000,- Kč
2	Ashtech G12	12	0,4 m	Piezo	1,4 m	155.000,- Kč
3	Ashtech G12	12	0,4 m	FOG	0,7 m	220.000,- Kč
4	Ashtech GG24	24	0,4 m	FOG	0,7 m	350.000,- Kč

* koncová cena zahrnuje i průmyslový modul GSM Siemens A1 (A20)

Součástí polohového lokátoru je průmyslový komunikační OEM modul GSM Siemens A1 (A20). Modul A1 je určen pro veřejnou síť GSM 900 Mhz. Je schopen přenosu SMS a hlasu. Modul A20 je rozšířen o datový přenos.

Standardní funkcí lokátorů, bez ohledu na existenci modulu GSM, je interface pro rádiomodemy RACOM datové sítě MORSE.

V lokátorech je počítáno s osazením komunikačního portu pro standardizované periférie GSM R. Při přechodu na GSM R je nutné naprogramovat pouze interface. Standardní modul GSM Siemens A1/A20 se v tomto případě neosazuje, čímž se sníží koncová cena lokátorů.

Vyvinuté lokátory úspěšně absolvovaly výchozí revizi a zkoušku pro elektrické technické zařízení na kolejových hnacích vozidlech ve smyslu §47 zákona 266/1994 Sb., vyhlášky 100/95 Sb. a norem ČSN331500, 332000-4-41 a 341510.

Drážním úřadem pak byl podle §43 odst. 6 zákona o drahách povolen provoz na drážním vozidle řady 810.

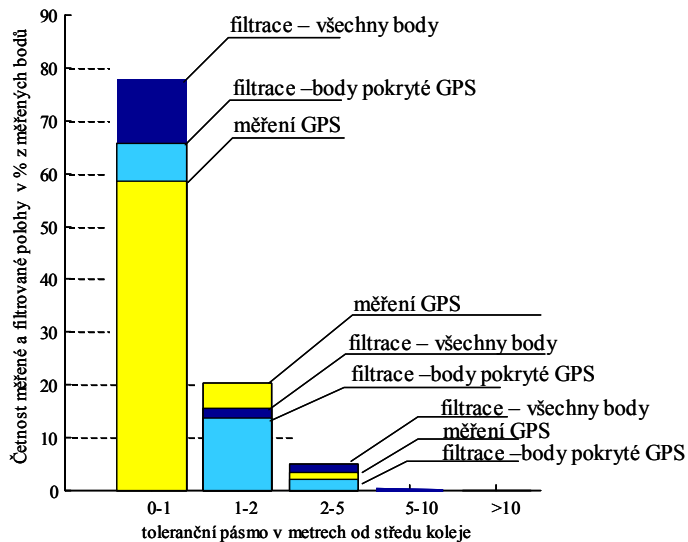
2.1.2 Testovací měření lokátorů

Testování vlakových lokátorů a tím i navržených algoritmů Kalmanova filtru probíhalo na vlečce vedoucí z nádraží Pardubice do Nemošic. Místo je pro testovací měření příhodné hned z několika důvodů. Tím hlavním je existence referenční stanice GPS pro poskytování korekcí DGPS na budově Elektroúseku ČD v těsné blízkosti vlečky. Díky tomu není nutné budovat nákladné retranslatory pro radiový přenos korekcí z velké vzdálenosti. Území, kterým vlečka prochází, disponuje hustým vegetačním porostem, hlubokým zářezem a četnými zdroji falešných odrazů a jinak rušivých elementů, je tedy velmi nepříznivé pro příjem GPS signálu, a tím mimořádně vhodné k důkladnému prověření kvality navrhovaného řešení. Na zhruba 30% úseku je GPS signál zcela nedostupný a v dalších 25% velmi nekvalitní. Testovacím drážním vozidlem byla osvědčená MUV 69. Celá osa koleje zhruba 3 kilometry dlouhého úseku je zaměřena s centimetrovou přesností a slouží jako bezchybný etalon pro zaznamenaná data.

Pro prezentaci výsledků testování uvádíme naměřená data ze dvou lokátorů typu 3.

Níže uvedené hodnoty odhadů skutečných chyb v příčném směru od osy koleje reprezentují soubor přibližně 150 000 změřených bodů, získaných z více jak 50 jízd v různém časovém období.

Obr. 2: Četnosti skutečných chyb lokátoru typu 3

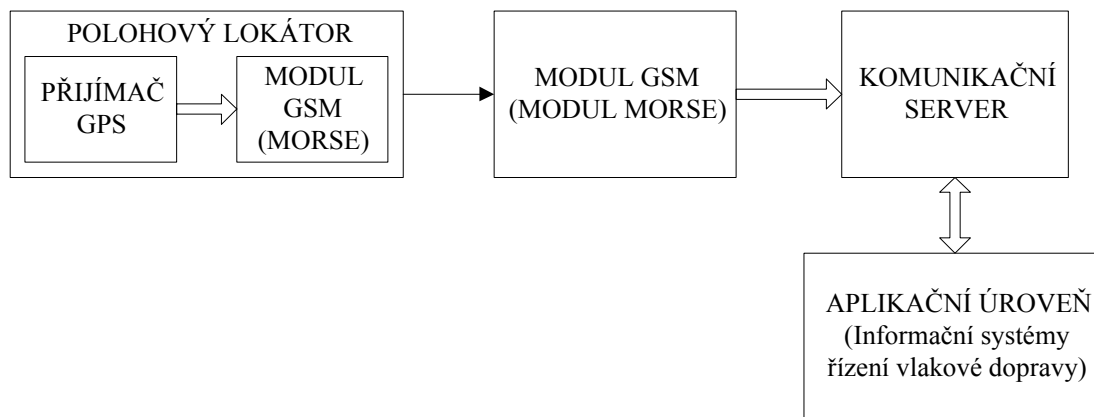


Chyby větší jak 2 metry většinou paradoxně pochází z úseků s poměrně dobrým příjmem GPS signálu ale se silným vlivem falešných odrazů odborně nazývaných multipath.

2.2 Komunikační server GPS

Komunikační server GPS je software provádějící archivaci dat předávaných vozidly do dispečerského centra na platformě Windows NT nebo unixového typu LINUX při vysoké spolehlivosti ochrany spravovaných dat vůči poruchám hardware nebo neoprávněnému zneužití. Zabezpečuje obousměrnou komunikaci mezi vozidly a dispečerským pracovištěm. Dokáže řídit cca 50 000 vozidel v reálném čase v závislosti na propustnosti komunikačních kanálů. Je přizpůsoben pro datovou a SMS komunikaci GSM (GSM R), Orbcomm a radiovou síť MORSE. Podporuje síťovou komunikaci LAN/Intranet, Internet nebo pevné a modemové propojení na GSM. Datové a komunikační struktury jsou přizpůsobeny pro obousměrnou komunikaci s drážními IS a matematickým modelem kombinované dopravy.

Obr. 3: Blokové schéma navrženého řešení



Komunikační server GPS se chová jako jednolitý program, ve skutečnosti je ale realizován jako hlavní program a sada pomocných programů (*démonů*), které unifikovaným způsobem zpřístupňují systému různé prostředky pro přenos dat.

Vzájemná komunikace mezi komponentami probíhá prostřednictvím proprietárního protokolu postaveném nad TCP/IP protokolem. Využití standardního protokolu TCP/IP jako základu pro vlastní komunikační protokol umožňuje provozovat server jako službu jak na Internetu tak i lokálních (např. firemních) Intranetech.

Komunikační server GPS je navržen tak, aby měl minimální požadavky na výkon a hardwarové parametry počítače a bylo jej tedy bylo možné používat na strojích, které poskytují i jiné služby (WWW, FTP, SMTP, POP3 atd.). V současnosti jsou k dispozici verze pro Linux a Windows NT.

2.3 Telekomunikační infrastruktura

Klíčovou částí systému sledování drážních vozidel, respektive jeho základním technickým předpokladem efektivního nasazení v železniční dopravě, je spolehlivá a provozně dostupná datová mobilní komunikace. Jedním z úkolů projektu je doporučení vhodné telekomunikační infrastruktury. S ohledem na mimořádnou důležitost problematiky a široké vazby na stávající a projektované radiové systémy na ČD a v celém evropském prostoru, musí toto doporučení zcela respektovat záměry přijaté a uskutečňované Českými drahami.

Velmi perspektivním systémem pro mobilní komunikaci v železniční dopravě, vycházející z projektů EU a potažmo ČD, je GSM-R. Jedná se o přizpůsobený standard GSM fáze 2+ potřebám drážního provozu, odborné železničářské veřejnosti známý pod označením EIRENE. Budování GSM R je velmi finančně nákladné a tak lze v ČR reálně počítat s pokrytím maximálně hlavních koridorových tratí.

System sledování drážních vozidel, tak jak je pojmán řešiteli tohoto projektu, má ale největší přínos na vedlejších tratích a proto je nutné využít buď stávající veřejné sítě GSM nebo jiné rádiodokomunikační prostředky. Bohužel tuzemský traťový radiový systém TRS, který pokrývá zhruba 32% celkové délky tratí, je vhodný pro fónickou komunikaci, nikoli pro přenos dat typu polohových souřadnic a telemetrie vozidla. Určitou alternativou pro rychlé pokrytí vedlejších tratí vyhovujícím datovým komunikačním prostředkem by mohla být datová radiová síť MORSE společnosti Racom spol. s r.o. použitá v testovacím provozu vlakového lokátoru. Plošnému nasazení systému MORSE by musel předcházet podrobný projekt hodnotící tuto síť z hlediska přenosové kapacity a finanční únosnosti z hlediska ČD.

Záměrem hlavního řešitele projektu bylo tuto část projektu v žádném případě nezanedbat a proto byla podepsána smlouva s VÚŽ o.z. ČD o spolupráci na projektu V+V. Výsledkem je vysoce fundované a aktuální zhodnocení daného stavu a reálných možností datové komunikace na tratích ČD.

Ve snaze se co nejvíce přiblížit požadavkům na GSM R je součástí vlakového polohového lokátoru průmyslový komunikační modul Siemens A1. K testování reálného provozu je pak využity veřejné sítě veškerých českých provozovatelů GSM.

Paralelně s úspěšným testováním datové a SMS služby GSM byla pro obousměrnou komunikaci použita i rádiová síť MORSE. Pro účely testovacího provozu byla zvolena trať Praha – Rudná. Trať prochází velmi členitým územím Prokopského a Dalejského údolí a z hlediska obtížnosti představuje nejnáročnější prostředí pro příjem signálu z GPS a šíření rádiových vln.

Přesto, že dané území bylo s ohledem na pokrytí GSM a MORSE vybráno zcela náhodně, nebylo nutné stávající sítě v souvislosti s projektem V+V nikterak zahušťovat.

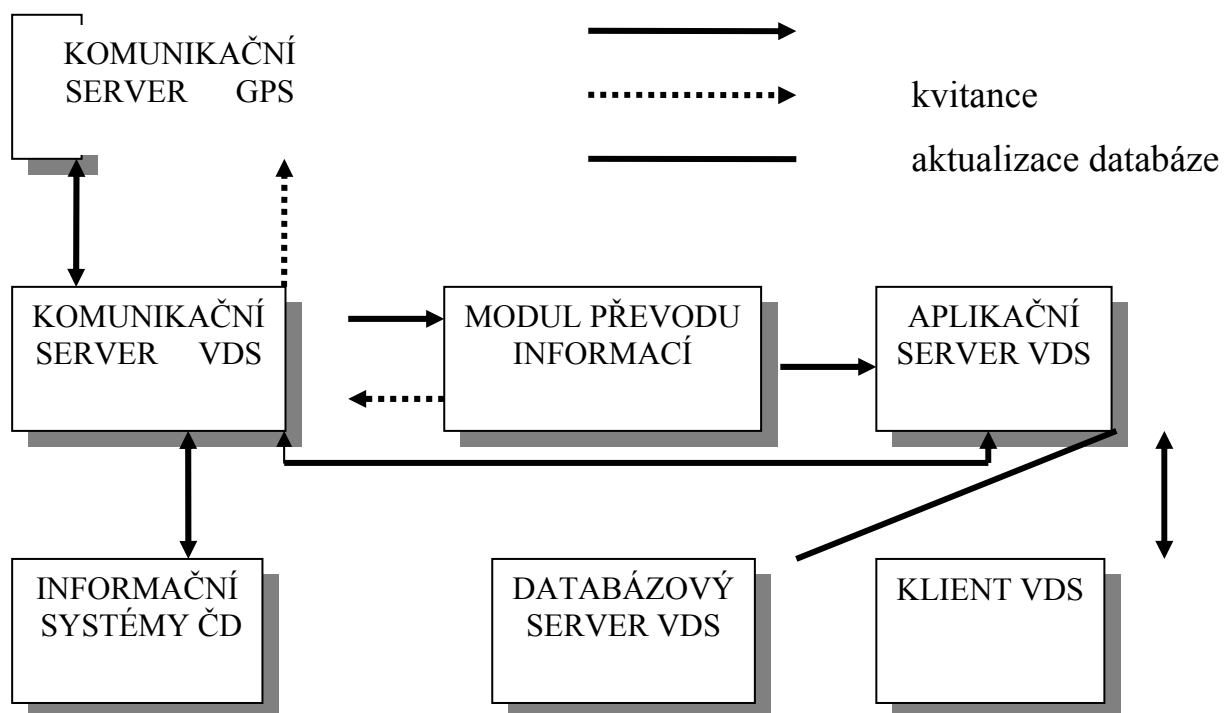
2.4 Matematický model řízení vlakové dopravy

Byl vypracován programový model využití systému GPS pro řízení vlakové dopravy a návaznosti tohoto systému na další informační systémy Českých drah (ČD). Jako systém přímo navazující na GPS byl zvolen Vlakový dispečerský systém (VDS), určený pro řízení vlakové dopravy na oblastních ředitelstvích ČD, schopný zprostředkovávat takto získané informace pro další informační systémy ČD. V průběhu řešení projektu se podařilo v podmínkách železničního provozu dostatečně otestovat části programových modulů, a to:

- převod dat ze systému GPS na zprávu určenou pro Vlakový dispečerský systém (VDS)

- komunikační server pro přenos zpráv na VDS
- přenos zpráv na VDS protokolem TCP/IP
- příjem zpráv na VDS
- kvitování zpráv VDS
- přiřazení kódu GPS k vlaku
- zobrazení zpráv z GPS na VDS s přiřazením polohy vlaku k dopravnímu bodu a staniční koleji
- vazba na další informační systémy ČD
- přenos informací získaných pomocí systému GPS z VDS pro jiné využití

Obr. 4: Schéma datových toků při použití informací z GPS v systému VDS



2.4.1 Popis datových toků a algoritmů:

- Jednotka GPS vyhodnotí dle družicových signálů svou polohu, předá ji na komunikační server GPS.
- Komunikační server GPS vytvoří na základě těchto dat zprávu 880-0 a protokolem TCP/IP odešle.
- Komunikační server VDS zprávu 880-0 přijme a předá modulu převodu informací.
- FPI (funkce převodu informací) odešle pomocí komunikačního serveru VDS kvitanci na zprávu 880-0, vyhodnotí souřadnice obsažené ve zprávě 880-0, provede přiřazení staniční koleje a vytvoří zprávu 080-0, kterou předá aplikačnímu serveru VDS (pokud souřadnice odpovídají v určitém intervalu souřadnicím dopravního bodu).

2.4.2 Přiřazení koleje

FPI začne zaznamenávat souřadnice všech zpráv jednotky GPS, jakmile se tato dostane do intervalu souřadnic dopravního bodu. V okamžiku vytvoření zprávy 080-0 provede aproximaci těchto souřadnic na staniční kolej vzhledem k známým souřadnicím několika bodů na staniční koleji.

2.4.3 Okamžik vytvoření zprávy 080-0

Příjezd – jednotka GPS se dostane do intervalu souřadnic dopravního bodu a status jízdy se změní na „stojí“.

Odjezd – jednotka GPS je v intervalu souřadnic dopravního bodu a status jízdy se změní na „jede“.

Průjezd – jednotka GPS opustí interval souřadnic dopravního bodu při nezměněném statutu jízdy.

- Aplikační server VDS zpracuje zprávu 080-0 do databáze a zprostředkuje aktualizaci databáze a informuje klienty VDS o změně dat.
- Aplikační server VDS předá pomocí komunikačního serveru zprávu 080-0 na určené další informační systémy ČD.
- Aplikační server přijímá dotazy na polohu vlaků a předává odpovědi na tyto dotazy, vše pomocí komunikačního serveru VDS.

Tabulka 2: Druhy informací z dat GPS

Název informace	Označení	Odesílatel	Příjemce
Informace o poloze vlaku dle GPS	V880-0	Kom. server GPS	Funkce převodu informací
Informace o jízdě vlaku	V080-0	Funkce převodu informací	Aplikační server VDS
Informace o jízdě vlaku – rozšířená	V080-1	Aplikační server VDS	Informační systémy ČD
Kvittance	K080-0	Aplikační server VDS	Kom. server GPS
Dotaz na pohyb vlaku	D076-3	Prostředek pro dotaz (ITCEVIS, ISOŘ, MIS, Dopravní deník, www prohlížeč, e-mail) a aplikační server VDS	Aplikační server VDS nebo Komunikační server GPS
Informace o pohybu vlaku	T076-3	Aplikační server VDS	Prostředek umožňující příjem informace (ISOŘ, ITCEVIS, MIS, deník, www prohlížeč, e-mail)

Posílání informací, kvitování a formáty zpráv se řídí standardy schválenými na ČD.

2.4.4 Základní moduly řešení využití GPS v řízení vlakové dopravy

2.4.4.1 Modul komunikace

Komunikace mezi komunikačním serverem GPS a aplikačním serverem VDS probíhá na obou stranách za pomoci komunikačního serveru VDS a modulu „Communicator“. Oba prostředky patří ke standardům ČD.

Základním komunikačním protokolem pro předávání zpráv uvnitř ČD je TCP/IP.

Komunikaci na této úrovni zastřešuje komunikační server VDS. Tento server má RPC rozhraní, které je využíváno ostatními aplikacemi. Jednou z nich je „Communicator“, který zajišťuje vyšší aplikační funkce, má stejné rozhraní jako komunikační server VDS a zároveň je jeho klientem. K němu jsou připojeny ostatní aplikace.

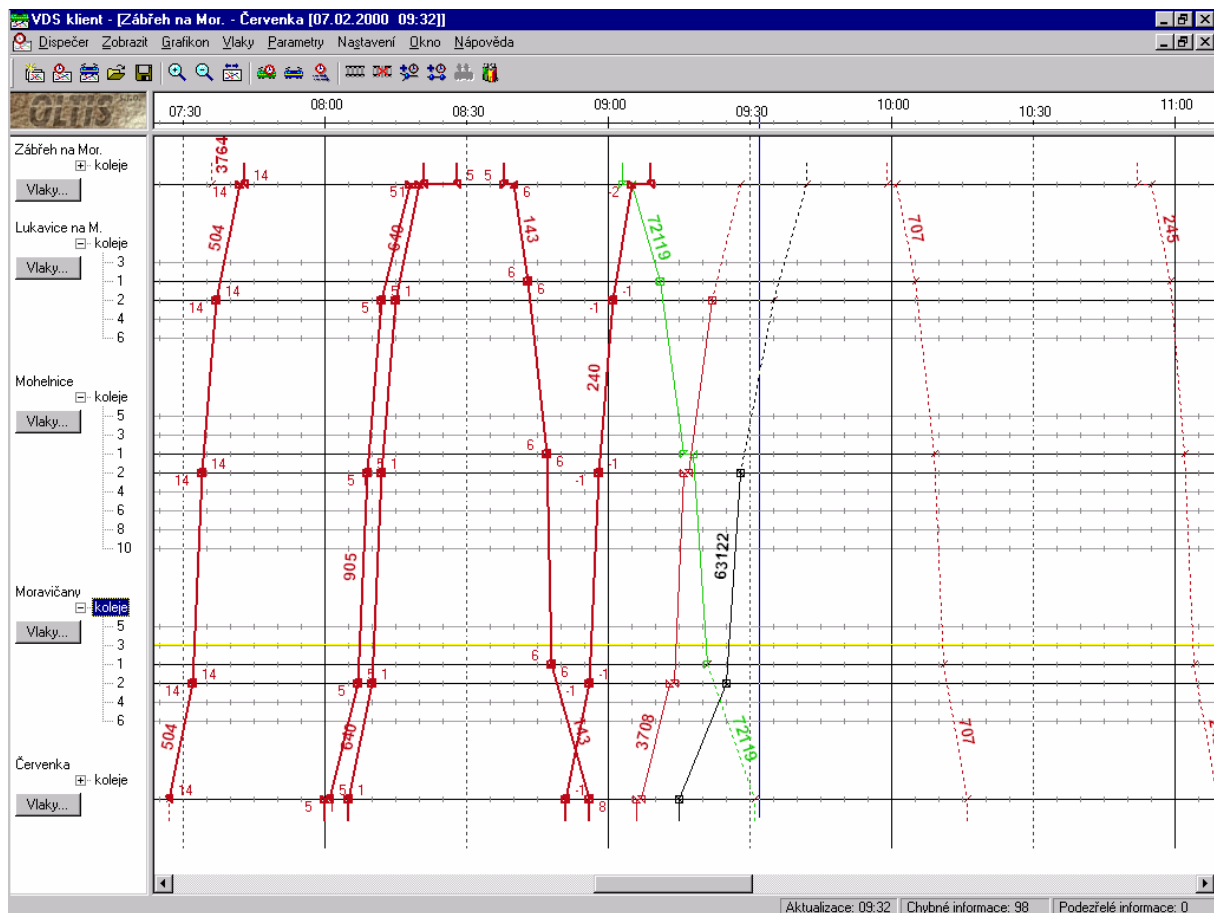
2.4.4.2 Modul elektronické mapy

Modul slouží k přiřazení zeměpisných souřadnic obsažených ve zprávě z GPS k dopravnímu bodu a ke staničení koleji v tomto bodu. Dále slouží k vyhodnocení momentu příjezdu, odjezdu či průjezdu vlaku dopravním bodem.

2.4.4.3 Grafická prezentace sledovaných objektů

Základním prvkem pro grafickou prezentaci dat je panel pro sledování polohy vlaků. Tento grafický prvek je schopen zobrazovat polohu vlaků, výluky na staničních a úsekových kolejích, přírážky a obsazení kolejí na vyznačeném dopravním úseku. Tento panel se vytyčuje v mapě železniční sítě ČD, kde jsou zobrazeny dopravní body a dopravní úseky. Umožňuje zobrazení vlaků v daném časovém okamžiku na staniční nebo traťové koleji. Pro řízení dopravy je zde zobrazeno schéma kolejiště dopravních bodů a je zde přehled o obsazení kolejí jak vlaky, tak výlukami i odstavenými vozy.

Obr. 5: Grafická prezentace v panelu



V panelu jsou zobrazeny zvolené stanice, staniční koleje, vlaky a jejich zpoždění. Graficky je znázorněno, ve kterých dopravních bodech je vlak potvrzen. Druhy vlaků jsou odlišeny barevně. Panel poskytuje přehledné zobrazení aktuální dopravní situace a přepokládané průjezdy vlaků dopravními body.

2.4.5 Vazba na další systémy

Tabulka 3: Vazba na informační systémy ČD

Systém	Směr vazby	Informace	Druh vazby
ISOŘ	ISOŘ	080-1 Jízda vlaku	Nepřetržitá
ISOŘ	VDS	F103 Plánovaný vlak	Nepřetržitá
ISOŘ	VDS	F108 Změna identifikace vlaku	Nepřetržitá
Analýza GVD	Analýza GVD	Aktualizace databáze	Nepřetržitá

Analýza GVD	VDS	Doplnění narušení GVD	Dávková
Zvláštní přepravy	Zvláštní přepravy	2.4.5.1.1.1.1 Aktualizace databáze	Nepřetržitá
CDS	CDS	080-1 Jízda vlaku	Nepřetržitá
CEVIS	CEVIS	080-1 Jízda vlaku	Nepřetržitá
ITCEVIS, MIS, Dopravní deník	VDS	080-1 Jízda vlaku	Nepřetržitá
ITCEVIS, MIS, Dopravní deník	VDS	Dotaz na polohu vlaku	Dávková
ITCEVIS, MIS, Dopravní deník	ITCEVIS, MIS, Dopravní deník	Odpověď na polohu vlaku	Dávková
ITCEVIS, MIS, Dopravní deník	ITCEVIS, MIS, Dopravní deník	Distribuce informací o poloze vlaků	Nepřetržitá

2.5 Testovací provoz

Završením projektu V+V bylo komplexní ověření navrženého systému v reálných podmínkách drážního provozu. Již koncem roku 1999 byl celý systém připraven k nasazení. Bohužel s ohledem na statut řešitelů, kteří nedisponují drážními vozidly resp. nejsou součástí struktury ČD, se počátek realizace testovacího provozu opozdil o více než 10 měsíců.

Východiskem z této situace bylo podepsání smlouvy o spolupráci mezi ČD,s.o. a Geoinvestem spol. s r.o. Ředitel odboru kolejových vozidel umožnil nasazení vlakového lokátoru na drážní motorový vůz 810 z depa Plzeň, provozní jednotka Zdice.

Dne 20.11.2000 se podařilo v souladu s § 43 odst.6 zákona o drahách získat povolení DÚ k montáži a provozu vlakového polohového lokátoru na motorovém voze 810.053-9, trať Praha – Rudná – Beroun, a to do 31.12.2001. Následně polohový lokátor úspěšně absolvoval výchozí revizi a zkoušku pro elektrické technické zařízení na kolejových hnacích vozidlech ve smyslu §47 zákona 266/1994 Sb., vyhlášky 100/95 Sb. a norem ČSN 331500, 332000-4-41 a 341510.

Trat' Praha Smíchov – Rudná byla vybrána s ohledem na mimořádně členitý skalnatý a zalesněný terén Prokopského a Dalejského údolí, kterým prochází. Toto území je z hlediska příjmu signálu GPS a komunikace GSM či MORSE velmi nepříznivé.

Pro obousměrný přenos informací se na straně jedné testovala veřejná síť GSM operátorů Eurotel a Radiomobil a na straně druhé datová komerční síť MODANET využívající systém MORSE. Korekce DGPS se přenášely pouze sítí MODANET.

Řešitelé předpokládali s ohledem na určení daného území pro rekreační účely nesouvislé pokrytí jak GSM tak i MODANETu . K překvapivému zjištění však nebylo nutné daný prostor nikterak doplnit retranslačními body. Testované území bylo pokryto na 100% což jen dokazuje mimořádnou vhodnost daných komunikačních technologií pro drážní účely zejména v souvislosti s tak nepřístupným terénem.

Námi osazený vlak projíždí danou lokalitu 6 x denně a do data 9.3.2001, ke kterému se vztahují údaje uvedené v této zprávě bylo vyhodnoceno 356 průjezdů s více jak 100 000 záznamy o poloze. Po celou tuto dobu nedošlo k sebemenšímu výpadku zařízení nebo nedoručení zpráv jak na vlak tak i z vlaku. Přesnost určení polohy je dána střední chybou $M_p=0.85m$. Ani v jednom případě nepřekročila odchylka od osy koleje mezní chybu 2m Údaje z 20 náhodných průjezdů včetně porovnání přesnosti jednotlivých průjezdů jsou uvedeny v tabulce 4.

Tabulka 4:

Průjezd	Max +	Max -	M_p	Průjezd	Max +	Max -	M_p
1	1.83	1.93	0.81	11	1.64	1.87	0.87
2	1.86	1.85	0.98	12	1.97	1.65	0.93
3	1.84	1.61	0.73	13	1.81	1.97	0.76
4	1.95	1.61	0.81	14	1.85	1.71	0.89
5	1.75	1.98	0.93	15	1.75	1.93	0.75
6	1.85	1.63	0.85	16	1.98	1.68	0.88
7	1.91	1.89	1.07	17	1.69	1.86	0.91
8	1.95	1.67	0.90	18	1.96	1.71	0.85
9	1.68	1.95	0.78	19	1.77	1.92	0.79
10	1.89	1.62	0.71	20	1.87	1.66	0.82
							$M_p=0,85$

Z výsledků dosažených v průběhu zhruba tříměsíčního testování jednoznačně vyplývá, že vyvinuté řešení splňuje ve všech parametrech zadání projektu V+V. Testováním prošel jak vlakový polohový lokátor, který s dostatečnou rezervou splňuje požadovanou mezní chybu 2m, tak i jednotlivé SW moduly Komunikační server nebo interface Vlakového dispečera, které prokázaly mimořádnou stabilitu ve 24 hodinovém denním provozu.

Rovněž navrhovaná telekomunikační infrastruktura na bázi GSM (GSM R) nebo MORSE se jednoznačně osvědčila pro potřeby drážní satelitní navigace.

Matematický model řízení vlakové dopravy byl doveden do úrovně prakticky ověřené programové aplikace integrované s informačním systémem ČD.

Matematický model kombinované dopravy byl rovněž doveden k ověřené programové aplikaci.

Stávající řešení je připraveno k okamžitému nasazení do rozsáhlejšího testovacího provozu a do následného globálního použití v prostředí ČD.

3. Zhodnocení přínosu sledování pohybu vlaků pomocí GPS

Aplikace vlakového lokátoru v systémech řízení a sledování železniční dopravy může za předpokladu síťového nasazení, nebo nasazení ve vymezených oblastech regionálního provozu být významnou podporou nové technologie řízení, využívající bezpečnostně nerelevantní informaci o aktuální poloze vlaku, nebo přepravovaného objektu.

Fiskální vyjádření přínosu vlakového lokátoru je ztíženo okolností, že není samostatně racionálně využitelnou aplikací, ale systémovým modulem aplikace procesu řízení nebo sledování objektů, provázaným s koncovým uživatelským systémem, a jeho přínos je integrální částí přínosů, dosažených tímto systémem.

Zavedením sledování pohybu vlaků pomocí systému GPS se dosáhne těchto přínosů:

- Údaje o poloze hnacího vozidla a potažmo vlaku nebudou závislé na lidském činiteli, čímž se zvýší kvalita údajů, jakož i včasnost a pravidelnost poskytování těchto údajů. Zlepší se tím řízení vlakové dopravy. Lépe se budou moci využít prostředky pro zabezpečení vlakové dopravy a zmenší se zpoždění vlaků. Tím se dosáhne zvýšení produktivity práce dopravního procesu a přepravy
- Při sledování pohybu vlaků pomocí systému GPS na tratích s řízením dopravy dle předpisu D3 odpadne nutnost telefonického potvrzování polohy vlaků. Dirigující výpravčí

bude mít neustálý přehled o poloze vlaků na trati, čímž se i sekundárně zvýší bezpečnost vlakové dopravy při zachování stávajících zabezpečovacích prvků.

- Systém sledování pohybu vlaků pomocí GPS umožňuje přenos dat na hnací vozidlo, což lze využít pro hospodárné řízení jízdy hnacího vozidla na vlaku a k úspoře energie pro jeho jízdu.
- Přenos dat na hnací vozidlo zvyšuje bezpečnost vlakové dopravy při vzniku mimořádných událostí, kterým lze zabránit včasným varováním strojvedoucího (ujetí vozů, jízdy vlaku do obsazeného oddílu atp.).
- Zvýšení atraktivnosti dopravních služeb
- Zlepšení podmínek pro služby intermodální dopravy.

4. Resumé

Současné řešení projektu respektuje jak požadavky zadavatele projektu na technickou úroveň výsledného díla, tak i omezené zdroje koncového uživatele, kterým by měly být České dráhy s.o. Z hlediska finančního krytí je nejvyšší nákladovou položkou při realizaci projektu vybudování telekomunikační infrastruktury a vybavení hnacích drážních vozidel polohovým lokátorem. Řešitelé se proto po konzultacích na MDS a GŘ ČD zaměřili na realizovatelnost projektu hledáním kompromisního řešení právě v těchto částech projektu. Polohový lokátor, tak jak je vyvinut, je téměř o řád levnější než ukazovaly prvotní propočty na počátku řešení. Přitom přesností a funkcemi vyhovuje řízení vlakové dopravy, která je stěžejním uplatněním lokátoru na železnici. Pro případná další využití GPS a ostatních satelitních technologií na železnici je nutné vypracovat další důkladné analýzy odborníky z drážního prostředí. Několikaměsíční provoz na trati Praha – Rudná potvrdil vynikající vlastnosti vyvinutého řešení.

Z hlediska technologie použití systému GPS pro řízení vlakové dopravy je možno konstatovat, že by systém mohl najít uplatnění na vedlejších tratích ČD, kde není možno zajistit pořizování a přenos informací o jízdě vlaku jiným způsobem, tj. zabezpečovacím zařízením nebo personálem stanic. Na hlavních tratích by bylo možné využít informace, které je možné získat zařízením GPS a které dnes nejsou dostupné. Jde o údaje o přesné momentální poloze vlaku, momentální rychlosti, spotřebě energie atd.

Veškeré dosažené výsledky, jako dílčí technické zprávy, zdrojové texty programů a prototypy lokátorů, jsou archivovány resp. uskladněny u hlavního řešitele projektu.

V Praze, leden 2001

Lektorovali: Ing. Bohumil Nádvorník, AŽD Praha s.r.o.

Ing. Václav Chudáček, CSc., Výzkumný ústav železniční Praha

Ing. Karel Beneš, Výzkumný ústav železniční