

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

EVIDENČNÍ POČÍTAČ STAVĚDLA K-2002

DIPLOMOVÁ PRÁCE

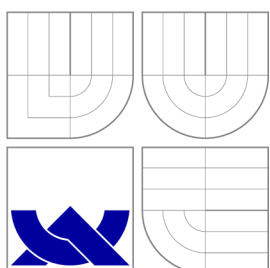
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

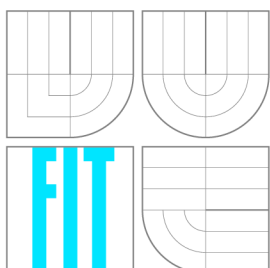
AUTHOR

Bc. JÁN KANDRIK

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

EVIDENČNÍ POČÍTAČ STAVĚDLA K-2002

TELEMATIC SHELL FOR K-2002 SIGNALBOX

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. JÁN KANDRIK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PAVEL BARTOŠ

BRNO 2011

Abstrakt

Nezbytnou složkou řízení železničního provozu se v současnosti stává jeho optimalizace a plánování. Tato práce se zabývá vytvořením nadstavby nad zabezpečovacím zařízením, která bude shromažďovat údaje ze zařízení a jiných zdrojů, tyto vizualizovat, vyhodnocovat a pomáhat obsluze v rozhodování a plánování jízdy vlaků.

Abstract

Optimization and planning have become an immense part of railway traffic control. This work is about creation of a telematic shell for a signalbox, which is dedicated to collecting, visualizing and evaluating data from the whole interlocking system for purpose of traffic flow management support.

Klíčová slova

stavědlo, železnice, vlak, grafikon, dispozice, telematika

Keywords

signalbox, railway, train, traffic diagram, dispatching, telematics

Citace

Ján Kandrik: Evidenční počítač stavědla K-2002, diplomová práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2011

Evidenční počítač stavědla K-2002

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Pavla Bartoše s využitím dostupné literatury, na kterou jsem řádně uvedl zdroje na konci textu

.....

Ján Kandrik
24. května 2011

Poděkování

Na tomto mieste by som chcel poďakovať svojmu vedúcemu za rady pri vypracovaní textu tejto práce, ľuďom z firmy Starmon s.r.o. Choceň, menovite potom Ing. Jiřímu Konečnému a Ing. Jaroslavu Mládkovi za odbornú spoluprácu, všetkým čo ma podporovali, svojej rodine a priateľke.

© Ján Kandrik, 2011.

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

1 Úvod	5
Úvod	5
2 Prostredie železničnej dopravy	7
2.1 Rozdelenie prostredia	7
2.2 Vlastnosti prostredia železničnej dopravy	8
2.2.1 Parametre trate	8
2.2.2 Parametre dopravní	9
2.2.3 Parametre vlakov	10
2.2.4 Režimy prevádzky	12
2.2.5 Zabezpečovacie zariadenie	12
2.2.6 Informačné a komunikačné systémy	13
2.2.7 Elektroenergetika	14
2.3 Technologické procesy v osobnej doprave	15
2.3.1 Rozdelenie osobných vlakov	15
2.3.2 Manipulácia s vlakom	15
2.3.3 Obmedzenia jazdy vlakov	16
2.3.4 Rušiacie vlaky	16
2.3.5 Prípoje a prípojné väzby	17
2.4 Technologické procesy v nákladnej doprave	17
2.4.1 Rozdelenie nákladných vlakov	17
2.4.2 Manipulácia s vlakom	18
2.4.3 Obmedzenia jazdy vlakov	18
2.5 Evidencia, plánovanie a organizácia dopravy	18
2.5.1 Grafikon vlakovej dopravy	18
2.5.2 Dopravní zamestnanci	19
2.5.3 Dopravný denník	20
2.5.4 Evidencia splnenej dopravy	20
2.5.5 Ostatné evidenčné pomôcky	21
2.5.6 Organizácia dopravy na jednokoľajnej trati	21
2.5.7 Organizácia dopravy na dvoj- a viackoľajnej trati	21
2.6 Normatívne prostredie	22
3 Možnosti analýzy a predikcie jazdy vlaku	23
3.1 Modelovanie prostredia železničnej dopravy	23
3.2 Dynamický model jazdy	23
3.2.1 Maximálna rýchlosť vlaku	23

3.2.2	Pohybová rovnica vlaku	24
3.2.3	Dynamika rozjazdu vlaku	25
3.2.4	Dynamika výbehu	26
3.2.5	Dynamika brzdenia vlaku	26
3.2.6	Problémy pri modelovaní dopravy	27
3.3	Dátová podpora dynamického modelu	27
3.3.1	Údaje o vlaku	27
3.3.2	Údaje o hnacom vozidle	28
3.3.3	Údaje o trati	28
3.4	Aplikácia dynamického modelu	28
3.4.1	Možnosti zlepšenia presnosti	29
3.4.2	Spôsob výpočtu	29
4	Detekcia a riešenie narušení jazdy vlaku	30
4.1	Pojem narušenia jazdy vlaku	30
4.1.1	Možné východiská pri riešení narušení	30
4.2	Detekcia narušení jazdy vlaku	31
4.3	Základné spôsoby riešenia narušení	32
4.4	Pokročilé spôsoby riešenia narušení	32
4.4.1	Narušenia ako optimalizačný problém	32
4.4.2	Fuzzy riadenie	33
4.4.3	Evolučné metódy	33
5	Analýza požiadaviek na telematickú nadstavbu	34
5.1	Stavadlo Starmon K-2002	34
5.1.1	Základný opis stavadla	34
5.1.2	Architektúra stavadla	34
5.1.3	Vyžadovaná podpora v stavadle	35
5.1.4	Napojenie systému na stavadlo	36
5.2	Komunikácia so stavadlom	37
5.2.1	Komunikačný protokol	37
5.2.2	Možnosti obojsmerného spojenia	38
5.3	Činnosti vykonávané systémom	38
5.3.1	Územné rozdelenie oblastí	38
5.4	Dátové vstupy	39
5.4.1	Režimy práce EP	39
5.4.2	Údaje preberané zo stavadla	39
5.4.3	Údaje preberané z iných systémov	40
5.4.4	Údaje zadávané obsluhou	40
5.4.5	Prepokladaní užívatelia	41
5.5	Požiadavky na architektúru systému	41
5.5.1	Distribučnosť	41
5.5.2	Zálohovanosť	42
5.5.3	Prevádzkové záznamy	42
5.6	Existujúce riešenia v oblasti plánovania dopravy	43
5.6.1	AŽD GTN4	43
5.6.2	SIEMENS ILTIS	44
5.6.3	Oltis CDS	44

6	Architektúra a návrh systému	46
6.1	Základné princípy	46
6.1.1	Účel celého systému	46
6.1.2	Reprezentácia grafikonových dát	46
6.1.3	Reprezentácia času	47
6.1.4	Dynamika dát	47
6.1.5	Časová platnosť dát	48
6.1.6	Prevádzkové záznamy	48
6.2	Architektúra	49
6.2.1	Logická architektúra	49
6.2.2	Fyzická architektúra	49
6.3	Databáza a údaje	51
6.3.1	Bezpečnostné predpoklady	51
6.3.2	Užívateľské práva	51
6.3.3	Reprezentácia sledovanej oblasti	52
6.3.4	Reprezentácia fyzických grafikonových dát	53
6.4	Špecifikácia programových jednotiek	53
6.4.1	Grafický klient	53
6.4.2	Editor grafikonu	54
6.4.3	Spojovacia služba stanovišť	54
6.4.4	Komunikačná služba - stavadlo	54
6.4.5	Komunikačná služba - operačný IS	55
6.4.6	Komunikačná služba - HAVIS	55
6.4.7	Replikátor databázy	55
6.4.8	Simulátor jazdy vlaku	55
6.4.9	Plánovač dopravy	56
6.5	Technológie	56
6.5.1	Hardware	56
6.5.2	Platformy	56
7	Implementácia telematickej nadstavby	58
7.1	Spoločné implementačné rysy	58
7.1.1	Reprezentácia času	58
7.1.2	Dátové štruktúry	58
7.2	Databáza	59
7.2.1	Reprezentácia času	59
7.3	Grafický EP klient	59
7.3.1	Dátové štruktúry pre grafikonové dáta	59
7.3.2	Databáza	60
7.3.3	Vizualizácia	60
7.3.4	Užívateľské rozhranie	61
7.3.5	Záznamy	62
7.4	Editor grafikonových dát	62
7.5	Spojovacia služba	63
7.6	Zadávací modul stavadla K-2002	63
7.7	Simulátor jazdy vlaku	63
7.7.1	Štart a príprava simulátora	63
7.7.2	Simulácia	63

7.7.3	Komunikácia plánovač-simulátor	64
7.8	Plánovač dopravy	64
7.8.1	Notifikácia zmien	64
7.8.2	Zmeny v databáze	64
7.8.3	Komunikácia s obsluhou	64
7.9	Simulátor stavadla	65
8	Testovanie	66
8.1	Testovanie grafického klienta	66
8.1.1	Testovacia oblasť	66
8.1.2	Testy užívateľského rozhrania	66
8.1.3	Funkčné testy	67
8.1.4	Testy vizualizačných algoritmov	67
8.2	Testovanie editora grafikonu	67
8.3	Testovanie simulátora jazdy	68
8.3.1	Testovanie na referenčnej oblasti	68
8.4	Testovanie plánovača dopravy	69
	Záver	70
8.5	Praktická aplikácia výsledkov práce a možnosti rozšírenia	70
8.6	Ďalšie kroky na ceste k plnej automatizácii	71
A	Vysvetlenie skratiek	75
B	Vybrané ďalšie výpočty dynamického modelu	77
B.1	Traťové odpory	77
B.1.1	Odpor sklonu	77
B.1.2	Odpor oblúka	77
B.1.3	Odpor výhybiek	77
B.1.4	Odpor tunela	78
B.2	Odpor vozidiel	78
B.3	Trakčná charakteristika	79
C	Požadované prenášané úkony zo stavadla	80
C.1	Menu kofaje - úkony spojené s číslom vlaku	80
C.2	Menu stanovišťa obsluhy – Úkony spojené s obnovením komunikácie	80
D	Komunikačný protokol stavadlo-nadstavba	81
D.1	Návrh bunky komunikačného protokolu medzi stavadlom a EP systémom	81
D.2	Priebeh komunikácie	82
E	Prehľad stanovišť v systéme EP	83
F	Schéma databázy	84
G	Úplný objektový model	85
H	Obsah CD	86

Kapitola 1

Úvod

Plynulosť patrí oddávna, spolu s bezpečnosťou, medzi hlavné pozitívne vlastnosti železničnej dopravy. Akonáhle sa vlak dá do pohybu, už sa nezastaví. Táto vlastnosť umožňuje železničnej doprave (najmä osobnej) dosahovať porovnateľné prepravné časy ako cestnej doprave aj pri nižších maximálnych rýchlostiach vlakov (a naopak maximalizovať využitie nových, rýchlych tratí). Plynulosť je tiež hlavnou podmienkou ekonomickej únosnosti železničnej dopravy. Kým na svoj pohyb spotrebuje vlak minimálne množstvo energie, energia na jeho rozjazd je obrovská a je preto nevyhnutné počty rozjazdov minimalizovať.

Železnica tiež nie sú len vlaky a koľajnice. Okrem vozidiel a dopravnej cesty je neodmysliteľnou súčasťou železnice jej riadenie. Práve prostriedky riadenia železničnej dopravy výrazne utvárajú jej bezpečnosť a plynulosť. Ešte donedávna bola hlavnou výzvou riadenia dopravy jej bezpečnosť. Tej boli podriadené všetky procesy a prakticky všetok technologický pokrok, aj na úkor plynulosti. Dnes je bezpečnosť zvládnutá, moderné elektronické stavadlá sú schopné, pri minimálnom personálnom obsadení, riadiť aj veľké úseky tých najzaťaženejších tratí. Novou orientáciou tvorcov riadiacich systémov sa tak stáva práve plynulosť. V dnešnej dobe, keď sa z ceny za prepravu stáva jeden z hlavných aspektov dopravy, je nutné prevádzku nie len zabezpečovať, ale aj optimalizovať. Jedným z hlavných, ak nie hlavným optimalizačným kritériom je práve jej plynulosť. Finálnym cieľom týchto systémov sú systémy ASJC, automatického stavania jazdných ciest, ktoré by za normálnych podmienok mali plne nahradiť výpravcov/dispečerov.

Táto diplomová práca má pre spoločnosť Starmon s.r.o. vytvoriť základ v podobe niekoľkých fundamentálnych krokov potrebných pre vybavenie stavadla Starmon K-2002 takýmito subsystémami. Samotné ASJC je síce ešte vec pomerne vzdialená, každopádne tieto časti samy o sebe podporia optimalizáciu plánovania a poslúžia zabezpečeniu plynulosti dopravy, hoc ešte s rozhodujúcim podielom ľudského faktoru. Základom je vytvorenie telematickej nadstavby, ktorá bude zo stavadla a iných informačných systémov zhromažďovať a vizualizovať údaje o jazde vlaku. Po jej vytvorení bude nasledovať analýza a tvorba prostriedkov, ktoré s pomocou zhromaždených údajov budú schopné analyzovať, ale hlavne predvídať budúci pohyb vlaku. S pomocou takto predpovedaných pohybov bude aplikácia rozšírená o možnosť detekovať kolízie v doprave, zdroje meškaní a pomôcť obsluhu tieto minimalizovať.

V teoretickej časti tejto práce bude vytvorený základný rozbor prostredia železnice, ktorý obsiahne popis relevantných zložiek, technológií a situácii. Hlavnou náplňou tejto časti bude tiež popis procesov, ku ktorým sa bude viazať činnosť telematickej nadstavby. Ďalej sa v teoretickej časti práca bude venovať odhadovaniu a predpovedaniu pohybu vlaku pomocou vytvorenia dynamického modelu, nad ktorým následne bude vykonávaná simulácia

jazdy vlaku. V neposlednom rade sa bude venovať základným spôsobom detekcie kolízií v grafikone a ich základnému odstraňovaniu.

Realizačná časť sa bude zaoberať návrhom systému a implementáciou niektorých vybraných častí. Budú identifikované špecifiká a základné požiadavky na aplikáciu a prípadné porovnanie existujúcich produktov na trhu. Návrh aplikácie bude sledovať architektúru a topológiu systému, bude navrhnutá filozofia práce systému a špecifikované jednotlivé programové časti. Implementáciou bude čiastočne sledované overenie niektorých navrhnutých vlastností. Predposledná časť sa bude venovať testovaniu niektorých dokončených častí systému. V závere budú uvedené poznatky z práce, možnosti rozšírenia a stručne rozobrané kroky, ktoré bude ešte nutné prejsť na ceste k vytvoreniu plne autonómneho ASJC systému.

Kapitola 2

Prostredie železničnej dopravy

V tejto kapitole bude definované prostredie v ktorom sa bude práca pohybovať. Prostredie bude rozdelené na jeho logické a fyzické celky, pre všetky tieto celky budú definované ich základné vlastnosti, spôsoby ich stanovovania, merania, zisťovania a definovaný ich význam z pohľadu evidencie. V tejto kapitole sú tiež definované všetky pojmy použité v ďalších častiach. Táto časť bola pripravená s využitím [10] [20] [40].

2.1 Rozdelenie prostredia

Železnicu je možné rozdeliť na dve časti [37]:

- Dopravná cesta je súbor stavieb a zariadení, ktorý umožňuje jazdu vlakov. Dopravnú cestu môžeme ďalej rozdeliť na dve časti:
 - Neživá dopravná cesta je tvorená železničným zvrškom (koľajnice, výhybky) a spodkom (mosty, tunely a ďalšie umelé stavby) a predstavuje všetky stavebné diela tvoriace súvislú dráhu pre vlaky. Môžeme ju rozdeliť na *šíru trať* a *dopravné* (stanice, výhybne, ...).
 - Živá dopravná cesta je tvorená celým riadiacim aparátom (zabezpečovacie zariadenia, pohyblivé časti výhybiek, návěstidlá, značky, výpravcovia, dispečeri a ďalší obslužný personál), ktorý zabezpečuje jazdu vlaku.
- Vlak je súbor vozidiel, ktorý sa po dopravnej ceste pohybuje. Je tvorený jedným alebo viacerými hnacími vozidlami, ktoré dopravujú buď samé seba, alebo sú za ne zapojené vozne buď prázdne, prípadne vezúce cestujúcich, resp. náklad.

Toto rozdelenie je základné, každá z týchto častí sa ďalej delí, resp. sa časti určitým spôsobom prekrývajú. Práca sa bude pohybovať v oblasti živej dopravnej cesty, ku svojej správnej činnosti však bude vyžadovať aj údaje z, resp. o ostatných oblastiach, keďže jej súčasťou bude aj model situácie na vybranej časti železničnej siete.

Donedávna bola železnica veľkým jednotným koncernom, ktorý sa autonómne staral o všetky súčasti. V súčasnej dobe sa v rámci snáh o liberalizáciu a zavedenie konkurenčného prostredia železnice umelo delia a transformujú na rôzne podniky. V zásade môžeme rozdeliť železnicu na nasledovné podniky [10]:

- **Správca infraštruktúry** - má na starosti neživú dopravnú cestu, určuje kapacitu, zostavuje grafikon a cestovné poriadky, stará sa o budovy, predpisy.

- **Spoločnosť riadiaca dopravu** - správca infraštruktúry ju poveruje správou živej dopravnej cesty, riadi a obsluhuje dopravu.
- **Dopravca** - spoločnosť prevádzkujúca vlaky (osobné, nákladné).
- **Regulátor** - určuje poplatky za dopravnú cestu, vykonáva legislatívny a technický dozor, inšpekciu, zostavuje oborové normy.

Toto rozdelenie sa potom v detailoch líši štát od štátu (v Rakúsku bola navyše vytvorená spoločnosť poskytujúca hnacie vozidlá, na Slovensku správca infraštruktúry aj riadi dopravu, v Českej republike zasa riadi dopravu národný osobný dopravca, a tak ďalej).

2.2 Vlastnosti prostredia železničnej dopravy

2.2.1 Parametre trate

Trať (šira trať) je úsek železnice medzi dopravňami. Neobsahuje žiadne koľajové rozvetvenia a nie je možné na nej meniť sled vlakov (poradie ich jazdy) [32].

Základným parametrom trate je **maximálna dovolená traťová rýchlosť**. Maximálna rýchlosť je daná konkrétnymi pomermi na trati (spravidla smerovými¹ a stavebnými²).

Z maximálnej dovolenej rýchlosti sa v prípade potreby (defekty trate, stavebná činnosť, a iné) vydáva **dočasné obmedzenie rýchlosti**, ktoré je definované hodnotou rýchlosti, umiestnením (kilometricky od - do), trvaním a spôsobom uplatňovania (platí pre všetky vlaky alebo len pre tie, ktoré sú o obmedzení informované).

Ďalším dôležitým parametrom je **sklon**. Hovoríme o tzv. *sklonových pomeroch trate*, ktoré pozostávajú z dĺžky a veľkosti jednotlivých stúpaní/klesaní na trati. Sklonové pomery sú dôležité pri počítaní a odhadovaní dynamiky vlaku, ktoré je dôležitým ukazateľom pre výpočet tzv. jazdnej doby (viď 2.5.1).

Z pohľadu osobnej dopravy je ďalej dôležitá prítomnosť a poloha **zastávok**. Zastávky sú nástupištia pre vlaky osobnej dopravy vybudované na širšej trati. V prípade jazdy osobného vlaku je tak nutné počítať s predĺžením jazdnej doby vplyvom zastavenia pre nástup a výstup cestujúcich (viď 2.3.2).

Trate môžeme klasifikovať podľa **počtu koľají** na *jednokoľajné*, resp. *dvoj- a viac-koľajné*. Medzi týmito dvoma druhmi je zásadný rozdiel v organizácii dopravy (viď 2.5). Samotný počet koľají pri viackoľajných tratiach už nie je až tak určujúci, určuje len kapacitu trate. Štvorkoľajné sú pritom často administratívne rozdelené na dve dvojkoľajné trate (napr. pre regionálnu a diaľkovú dopravu, pre nákladnú a pre osobnú dopravu), ktoré sa čiastočne odlišujú vybavením (zabezpečovacie zariadenie, prítomnosť nástupíšť na zastávkach, technický stav trate). Viac ako štvorkoľajné trate sa vyskytujú len zriedkavo.

V doprave na trati sa rozlišuje **smer jazdy**, teda to či vlak ide od začiatku trate k jej koncu, alebo naopak (začiatok trate je stanovený administratívne). Smer od začiatku trate ku jej koncu sa označuje ako *lichý*, smer od konca trate k začiatku sa označuje ako *sudý* (tieto termíny vznikli za čias ČSD a Československa, a tak aj na Slovensku sa používajú v češtine). Pri viackoľajných tratiach sa koľaje určené pre vlaky idúce v lichom smere označujú nepárnymi číslami, obdobne pre sudý smer párnymi. V prípade nepárneho počtu traťových koľají sa koľaj v strede (zdieľaná pre oba smery) označuje ako *nultá*.

¹Polomery oblúkov, trasovanie

²únosnosť trate, naklonenie oblúkov, únosnosť podložia

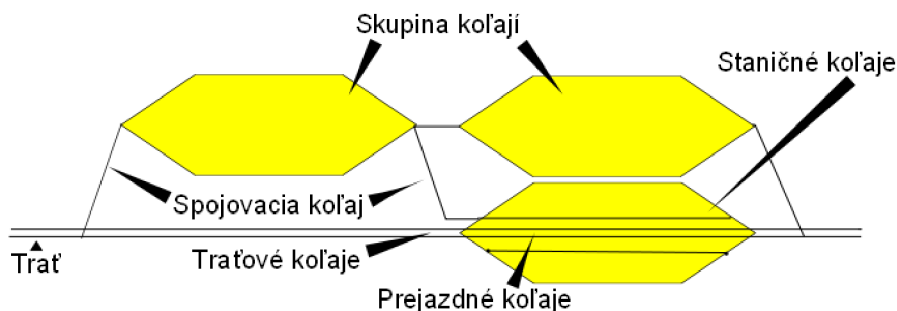
V časovom merítku je ku trati pridelená tzv. následná medzidoba. Táto medzidoba hovorí o minimálnom intervale, v ktorom je účelné poslať na trať vlaky. Dĺžka tejto medzidoby sa stanovuje podľa jazdnej doby v najväčšom z priestorových oddielov, vjazdu do ďalšej stanice a prípadne technologických časov v zabezpečovacom zariadení.

Základné parametre trate, tzn. max. rýchlosti, niektoré rozhodné vzdialenosti, kilometrické polohy jednotlivých objektov a návěstidel je možné nájsť v tabuľkách traťových pomerov (TTP) [11].

2.2.2 Parametre dopravní

Dopravne sú miestom spravidla s koľajovým rozvetvením³, ktoré umožňujú meniť sled vlakov. Dopravnými rozumieme stanice, výhybne, odbočky, nákladiská. Šíra trať je do dopravne zaústená v podobe príslušného počtu *traťových koľají*.

Stanica sa skladá zo skupín staničných koľají a zhlaví. *Staničné koľaje* slúžia pre prechod, alebo pobyt vlakov, prípadne pre presun vlakov medzi skupinami staničných koľají, ak je stanica rozdelená (väčšina staníc má len jednu skupinu). Jednotlivé skupiny sú označené podľa svojho účelu.



Obrázek 2.1: Schematický plán stanice a rozdelenie dopravných koľají

Pre každú staničnú koľaj platí všetko, čo platí pre koľaj na širšej trati. Navyše je v tomto prípade relevantná dĺžka každej staničnej koľaje v metroch, ktorá rozhoduje o tom, či sa na danú koľaj vlak zmestí alebo nie. V koľajovom rozvetvení staničných koľají rozlišujeme nasledovné druhy staničných koľají [20]:

- Dopravné koľaje - sú koľaje vybavené pre vchod vlakov a odchod vlakov z trate, resp. na trať. Týmto vybavením sa myslia príslušné prvky zabezpečovacieho zariadenia. Ďalším parametrom je prítomnosť nástupišťa.
- Prejazdné koľaje - sú dopravné koľaje so zvláštnym postavením. Priamo (bez zníženia rýchlosti) naväzujú na traťové koľaje a umožňujú prejazd vlaku cez stanicu nezníženou rýchlosťou.
- Predjazdné koľaje - sú dopravné koľaje po oboch stranách bezprostredne susediace s prejazdnými, vjazd na ne a odjazd z nich je niekedy možný vyššou rýchlosťou než na ostatné. V niektorých prípadoch sa výhradne používajú pre zastavovanie vlakov osobnej dopravy (ak pri prejazdných koľajách nie sú vybudované nástupišťa, používané najmä na modernizovaných tratiach na Slovensku) [8].

³stromovite, pomocou výhybiek stromovite do (spravidla) viacero koľají

- Manipulačné koľaje - nie sú vybavené pre vchod vlaku z trate alebo odchod vlaku na trať. Slúžia len na posun a z nášho pohľadu sú nezaujímavé.

So smerom jazdy vlaku (sudým/lichým) potom súvisí číslovanie staničných koľají. Staničné koľaje sa číslujú vzostupne od prejazdnych koľají (ktorým prislúchajú čísla jednotlivých traťových koľají) smerom ku kraju koľajiska, pričom sa rešpektuje párne/nepárne číslo krajnej prejazdnej koľaje. Číslovanie koľají vid' obrázok 2.2.



Obrázek 2.2: Rozdelenie a číslovanie koľají v stanici

Zhlavie je samotným rozvetvením koľají. Jeho usporiadanie je dôležité pre definovanie priepustnosti (koľko vlakov dokáže prejsť zhlavím súbežne) a tiež pre stanovenie rýchlosti. Zhlavie sa skladá z výhybiek, ktoré umožňujú koľaj rozvetviť na dve⁴. V tejto súvislosti je podstatné, že na jednej z týchto vetiev (v prípade tzv. symetrických výhybiek na oboch) môže vzniknúť oblúk o polomere takom, že výrazne obmedzí maximálnu rýchlosť vlaku. Základné výhybky umožňujú jazdu v priamom smere bez obmedzenia rýchlosti a v odbočnom smere rýchlosťou 40-50km/h. Na modernizovaných a vysokorýchlostných tratiach sa používajú výhybky umožňujúce jazdu odbočným smerom až do rýchlosti 160km/h. Podstatné je, že rýchlostné obmedzenie je tak závislé na určenom smere pre jazdu vlaku a nie je možné ho návestiť statickým značením. Signalizáciu skutočnej rýchlosti musí vykonávať zabezpečovacie zariadenie pomocou návestidiel, vid' 2.2.5

Z pohľadu pohybu vlaku napokon definujeme tri druhy dopravní [20]:

- **Východzia stanica** - stanica, ktorá vlak vypravuje, zostavuje a inštruuje⁵
- **Nácestná stanica** - stanica, ktorou vlak prechádza, zastavuje v nej, prípadne sa v nej s ním manipuluje
- **Cieľová stanica** - cieľová alebo obratová⁶ stanica vlaku.

2.2.3 Parametre vlakov

Vlak je pohybujúcou sa pevne spojenou skupinou (*súpravou*) koľajových vozidiel. Tieto vozidlá môžeme rozdeliť na dva najzákladnejšie druhy. Hnacie vozidlá (*rušne*) slúžia na vytváranie sily, ktorá vlak pohýňa. Vlečené vozidlá (*vozne*) nie sú poháňané, slúžia na prevoz osôb alebo nákladu. Z tohto rozdelenia dnes existujú výnimky a to spravidla v osobnej doprave (motorové vozne slúžiace aj na prevoz osôb, nedeliteľné jednotky, niektoré aj s pohonom rozdeleným na viac vozidiel⁷).

⁴Alebo 3, takéto výhybky sú však zriedkavé a dajú sa modelovať ako dve jednoduché

⁵Vystavuje preň vlakovú dokumentáciu, vrátane zadávania dát do operačného IS

⁶Vlak je v nej prečíslovaný a pokračuje/vracia sa pod iným číslom

⁷V ČR a SR napr. CityElefant alebo Pendolino

Rušne aj vozne sú rozdelené do typových skupín (*radov*) podľa parametrov, resp. výrobných sérií, avšak existujú tu určité výnimky (na základe dielčích rekonštrukcií, technického stavu a administratívnych opatrení). V prípade nákladných vozňov potom spravidla ďalej platí, že plne naložený vozeň smie ísť nižšou rýchlosťou než vozeň prázdny.

Dôležitým parametrom vlaku je *maximálna rýchlosť* – udáva najvyššiu rýchlosť, ktorú môže vlak dosiahnuť. Udaná hodnota sa (na rozdiel od maximálnej rýchlosti napr. automobilov) spravidla v prevádzke bežne dosahuje a je limitujúcim faktorom jeho dynamiky. Maximálna rýchlosť vlaku sa určuje ako najnižší z nasledovných parametrov:

- *Maximálna rýchlosť hnacieho vozidla* hovorí, do akej max. rýchlosti dokáže hnacie vozidlo vyvíjať ťažnú silu (udaná pre jednotlivé rady hnacích vozidiel)
- *Maximálna rýchlosť vozňov* zaradených vo vlaku (udaná pre jednotlivé typ vozňov zvlášť). V prípade, že sú vo vlaku radené hnacie vozidlá, ktoré ale nevyvíjajú ťažnú silu, môže byť maximálna rýchlosť vyššia ako v prvom prípade.
- *Maximálna rýchlosť vyplývajúca z maximálnej brzdnéj sily* vlaku. Zabezpečovacie zariadenie sa konštruuje tak, že predpokladá schopnosť vlaku zastaviť z traťovej rýchlosti v určitej vzdialenosti. V prípade, že toho vlak nie je schopný, smie ísť najviac takou rýchlosťou, aby na danej vzdialenosti bezpečne zastavil.
- *Maximálna rýchlosť vlaku vyplývajúca z povahy vlaku*. Napríklad niektoré osobné vlaky majú rýchlosť obmedzenú na 120km/h tak, aby bolo možné s nimi jazdiť súbežne s nákladnou dopravou. Na niektorých tratiach sú tiež zavedené obmedzenia rýchlosti v nočných hodinách tak, aby nedochádzalo k rušeniu obyvateľstva v bezprostrednej blízkosti trate.
- *Maximálna rýchlosť vyplývajúca z traťových pomerov*. Obmedzenie maximálnej traťovej rýchlosti sa môže líšiť pre jednotlivé rady hnacích vozidiel, prípadne typy vlakov. Na nedostatočne únosnom podloží môžu mať principiálne ťažšie nákladné vlaky zníženú rýchlosť oproti vlakom osobným, vlaky s naklápacou skriňou môžu oblúky prechádzať rýchlejšie ako konvenčné vlaky a pod.
- *Špecifické obmedzenie maximálnej rýchlosti*. Niektoré typy vozidiel môžu mať obmedzenú napríklad rýchlosť prejazdu výhybky odbočným smerom na 20km/h, niektoré vyššie vozidlá majú obmedzenú rýchlosť pri prejazde okolo zastrešených nástupíšť a pod.

Hmotnosť vlaku je súčtom hmotností všetkých rušňov a vozňov v súprave.

Dĺžka vlaku udáva dĺžku celej súpravy vlaku. Dĺžka súpravy je dôležitá najmä vo vzťahu k dĺžke staničných koľají (existujú vlaky dlhšie než príslušné staničné koľaje), technologickým časom (dĺžka prechodu súpravy zhlavím), nábehu účinku brzdenia (tento zohľadňovať nebudeme, je na rušňovodčovi, prípadne systéme vlakového autopilota, aby začal brzdiť včas) a dobehu účinku brzdenia (minimálny čas od zastavenia vlaku do jeho opätovného rozbehnutia).

Trakcia je udávaná u hnacieho vozidla. Jedná sa o spôsob pohonu. Rozlišujeme trakciu nezávislú (dieselový pohon či batérie) a závislú (elektrická, napájaná z trolejového alebo pozemného vedenia). Vozidlá závislej trakcie smú ísť iba na koľaje s príslušnou trakčnou výbavou, a platia pre ne obmedzenia uvedené v časti 2.2.7.

Administratívne parametre vlaku slúžia na jeho identifikáciu a určenie nefyzikálnych vlastností. Každý vlak je identifikovaný svojím číslom. Jedná sa o spravidla 5 miestne

číslo, ktoré okrem (teoreticky) unikátnej identifikácie vlaku môže vyjadrovať niektoré parametre (počiatočnú/cieľovú stanicu, smer vlaku). Smer vlaku sa spravidla vyjadruje párnosťou/nepárnosťou číslice na mieste jednotiek, párne číslo pre sudý smer, nepárne číslo pre lichý. Ďalej je vlak označený kategóriou, ktorá určuje jeho dôležitosť (viď 2.3).

2.2.4 Režimy prevádzky

Na železnici sa rozlišujú tri režimy prevádzky [6]:

- **Jazda vlaku.** Zahŕňa všetky procesy súvisiace s jazdou vlaku v stanici a medzi stanicami. V tomto režime je k dispozícii maximálne zabezpečenie jazdy. Tento režim je kľúčový z hľadiska plánovania a bude naň sústredená aj táto práca.
- **Posun.** Posunom rozumieme manipuláciu s vozidlami v rámci stanice, v extrémnom prípade aj medzi stanicami. Posun prebieha buď v bežnej železničnej stanici, prípadne v špeciálnej, tzv. vlakotvornej stanici. Posun v bežnej stanici zohľadňujeme najčastejšie ako prekážku v jazde vlaku a nemá význam ho podrobnejšie sledovať, posun v zriaďovacej stanici je potom úplne mimo rámec tejto práce. Viac informácií o posune vo vlakotvorných stanicach, vlakotvorbe a pod. je možné nájsť napríklad v knihe [20].
- **Núdzová jazda** zhrňa všetky procesy súvisiace s jazdou alebo posunom pri poruche zabezpečovacích zariadení, komunikácie, a tiež v prípade závad na dopravnej ceste či vozidlách. Optimalizácia dopravy ani zaistenie plynulosti sa nesleduje a riadenie dopravy v tomto režime je plne podriadené faktu, že už samotné zabezpečenie jazdy je spravidla týmito závadami narušené.

2.2.5 Zabezpečovacie zariadenie

Zabezpečovacie zariadenie je hlavným riadiacim systémom železničnej dopravnej cesty. S jeho pomocou personál riadenia dopravy (výpravcovia, signalisti) manipuluje so živou dopravnou cestou (viď 2.1).

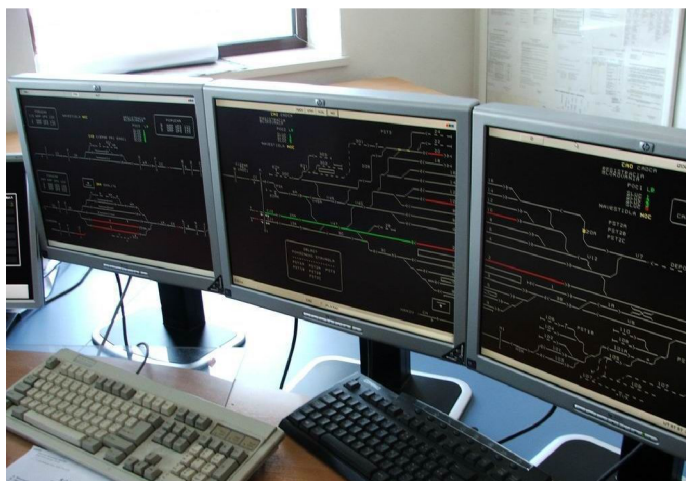
Hlavným cieľom zabezpečovacieho zariadenia je, ako bolo v úvode spomenuté, zaistenie technickej bezpečnosti železničnej dopravy. To znamená predchádzanie nehodám vplyvom chýb obsluhujúceho personálu, zlyhania technických častí resp. okolitých (poveternostných a iných) činiteľov [41]. Informačná bezpečnosť sa sleduje len z pohľadu nepopierateľnosti zodpovednosti, v obmedzenej miere integrity a riadenia prístupu ([41], definície pojmov viď [13]). Obsluha sa do systému prihlasuje spravidla kontaktnou čipovou kartou, ktorá musí byť počas práce obsluhy v príslušnom čítacom zariadení.

Vo vzťahu k širšej trati potom má zabezpečovacie zariadenie⁸ dve základné funkcie. Hlavnou je rozdelenie každej traťovej koľaje do viacerých *priestorových oddielov*, čo sú úseky trate, na ktorých sa smie za normálnych okolností nachádzať len jeden vlak⁹. Jeden vlak sa však môže nachádzať vo viacerých (spravidla však max. v dvoch) oddieloch. Ďalej je na trati dôležitá prítomnosť *banalizácie*, možnosti zabezpečenia jazdy po každej traťovej koľaji v oboch smeroch. Vzhľadom k povahe práce sa predpokladá, že zabezpečená oblasť zostáva len z banalizovaných tratí.

Vo vzťahu ku stanici je potom zabezpečovacie zariadenie (staničné ZZ – SZZ) určené na výber koľaje, na ktorú vlak príde, z ktorej odíde, riadenie posunu a podobne. To sa

⁸traťové zabezpečovacie zariadenie, skrátene TZZ

⁹Toto ale umožňuje len zabezpečenie autoblokom a k prekročeniu počtu dôjde prakticky len v prípade zastavenia dopravy



Obrázek 2.3: Ovládanie SZZ (Bombardier EbiLock 950, Žst. Čadca), zdroj: www.vlaky.net

deje zabezpečovaním tzv. *vlakovej cesty*. Vlaková cesta je taký stav všetkých prvkov živej dopravnej cesty, ktorý umožňuje bezpečný prejazd vlaku po zhlaví na obsluhu určenú koľaj. Spravidla sa najprv overuje voľnosť trate vo vlakovej ceste pomocou technických prostriedkov. Ak je trať voľná, prestavením pohyblivých častí výhybiiek sa ustanoví jazdná dráha na zamýšľanú koľaj. Napokon sa prestaví príslušné návěstidlo z návesti zakazujúcej jazdu okolo návěstidla na návěst povolujúcu, doplnenú o indikáciu rýchlosti, ktorou je možné okolo návěstidla prejsť¹⁰.

V rámci tejto práce budeme uvažovať len elektronické stavadlo, keďže k nemu bude systém pripojený. Elektronické stavadlo sa obsluhuje pomocou obslužného zadávacieho počítača, ktorý k tomuto účelu používa monitor, klávesnicu a myš¹¹.

Zabezpečovaciemu zariadeniu som sa venoval vo svojej bakalárskej práci [16], kde som sa zaoberal aj jeho návrhom a implementáciou. Z pohľadu tejto práce je dôležité, že je to práve zabezpečovacie zariadenie, ktorého prácu bude telematická nadstavba sledovať a tiež je hlavným (ale nie jediným) zdrojom informácií o stave na trati, keďže súčasťou práce zabezpečovacieho zariadenia je aj *detekcia polohy vlakov*.

Táto činnosť vyplýva z nutnosti overenia voľnosti vlakovej cesty, resp. voľnosti priestorových oddielov na trati pri práci ZZ. Tieto údaje tvoria základ toho, čo eviduje telematická nadstavba. Z pohľadu odhadu pohybu vlaku sú však tieto údaje nepresné, nakoľko poloha vlaku sa zisťuje úsekovo a presnú polohu vlaku tak poznáme len v momente jeho vjazdu do úseku a výjazdu z neho. Dĺžka úseku pritom môže byť od jednotiek metrov (v zhlaví) po 10-20 kilometrov (ak je v medzistaničnom úseku vytvorený jediný priestorový oddiel).

2.2.6 Informačné a komunikačné systémy

Informačných systémov je na železnici mnoho, z pohľadu tejto práce je dôležitý tzv. *operačný informačný systém* [37], ktorý sa zaoberá zberom dát relevantných z nášho pohľadu, teda dát o polohe a jazde vlakov (*grafikonových dát*). Vzhľadom na telematickú nadstavbu k operačnému IS môžeme vyjadriť tak, že keby sme mali celú sieť ovládanú jediným elektronickým stavadlom

¹⁰pri u nás používanej rýchlostnej návestnej sústave. Iné sústavy viď [16].

¹¹Toto rozhranie býva štandardizované, napr. u SŽDC platí norma ZTP-JOP

s telematickou nadstavbou, táto nadstavba by fakticky predstavovala operačný IS. Operačný IS sa pre dané úseky tratí plní buď z jednotlivých telematických nadstavieb automaticky, alebo sa doň zadávajú údaje ručne pomocou tzv. elektronického dopravného denníka (viď 2.5.3).

Komunikačné systémy pokrývajú takmer zásadne pozemný prenos, tzn. prenos dát v rámci dopravnej cesty. Železnice majú vybudované rozsiahle siete telefónnych a optických liniek, umožňujúcich vysokorychlostné dátové prenosy [15]. V zásade tak je možné každý systém napojiť na operačný IS a interaktívne, v reálnom čase z neho získavať, resp. doň zadávať, dáta.

Čo sa týka mobilného spojenia medzi výpravcom a rušňovodičom, je ešte stále nutné počítať s tým, že toto spojenie neexistuje. Veľká časť siete vrátane modernizovaných nekoridorových úsekov stále nie je pokrytá rádiotelefónnymi sústavami a ešte menej sa u nás nachádza digitálnych systémov, ktoré umožňujú prenos dát. Tiež vybavenosť vlakov príslušným rádiostanicami zaostáva a vo veľkej časti sa používajú obyčajné simplexové kanály 150 MHz, ktoré sú pre prenos dát v podstate nevhodné¹². [29] Pre núdzové potreby bývajú rušňovodiči vybavení služobnými mobilnými telefónmi bežnej komerčnej siete GSM.

Je teda zrejmé, že akúkoľvek aplikáciu musíme konštruovať s vedomím, že na vlak ani z vlaku nemusíme byť schopný preniesť žiadne dáta a všetky údaje o jazde vlaku je nutné len a len odhadovať.

2.2.7 Elektroenergetika

Na pohyb veľkých záťaží s plynulým rozbehom a zastavením sa historicky ukázala ako najvhodnejšia elektrická energia. Prakticky všetky hlavné železničné trate sú elektrifikované a elektrické rušne dnes dosahujú výkonu okolo 7 MW [10].

Z pohľadu dopravnej cesty predstavuje elektroenergetika jednu z najdôležitejších častí, pretože po vybudovaní dvoj- a viackoľajných tratí a zavedení moderného zabezpečovacieho zariadenia je to dnes práve elektroenergetika, ktorá predstavuje hlavné obmedzenie kapacity dopravnej cesty [5].

Železničná doprava totiž nie je z pohľadu elektroenergetiky najvhodnejším odberateľom:

- Odber je značne nerovnomerný. Kým na udržanie vlaku v jazde často netreba energiu žiadnu, pri rozjazde s plným výkonom sa prikon rušňa pohybuje až na hranici 8 MW. Keď uvážime, že vlakov môže byť na malom úseku niekoľko, vyvstala by potreba predimenzovania napájania na úroveň, ktorá nie je ekonomicky ospravedliteľná.
- V prípade použitia striedavej trakcie (dnes uznávanej ako z pohľadu železníc výhodnejšej z dôvodu menšieho počtu napájacích bodov, jalového výkonu a nákladov na údržbu) [5] sa stretá jednofázový odber (elektrizačná sústava železníc je jednofázová) s trojfázovou všeobecnou elektrizačnou sústavou. To sa rieši napájaním rôznych úsekov z rôznych fáz, čo ale znamená, že rozdiel odberu medzi týmito fázami musí byť menší než rozdiel stanovený v elektrizačnej sústave, čo sú dnes 2%.

Prípadné plánovanie dopravy by tak malo počítať aj s elektroenergetikou ako rozhodujúcim faktorom. Vzhľadom k tomu, že táto problematika ešte v súčasnej dobe nie je dostatočne preskúmaná (v súčasnej dobe sa rozbiehajú pilotné projekty merania spotreby energie vo vlakoch [40]), nebude v tejto práci ďalej rozpracovaná. Namiesto toho sa použije predpisom stanovená elektrická medzidoba, čo je pojem obdobný ako dopravná medzidoba

¹²Na ŽSR sa však používajú na prenos čísel vlakov

a hovorí o minimálnom intervale, v ktorom je účelné poselať na trať vlaky elektrickej trakcie (vlakov v nezávislej trakcii sa toto obmedzenie pochopiteľne netýka). Na tratiach vybavených autoblokom táto doba býva spravidla vyššia ako dopravná medzidoba, na ostatných tratiach v závislosti od miestnych pomerov.

2.3 Technologické procesy v osobnej doprave

Technologické procesy v osobnej doprave sú dôležité pre evidenciu, ale najmä pre plánovanie. Je podstatné podchytiť všetko, čo sa týchto procesov týka a to nie primárne z pohľadu základnej evidenčnej aplikácie, ale z pohľadu modulov pre plánovanie, ktoré prípadne musia všetky kroky konať tak, aby boli uvažované všetky tieto udalosti. Ich samotné konanie je mimo rámec tejto práce, jedným z jej cieľov je však vytvorenie prostredia, v ktorom môže vzniknúť aplikácia toto umožňujúca. Procesy tiež definujú niektoré relevantné dáta.

2.3.1 Rozdelenie osobných vlakov

Osobné vlaky delíme na jednotlivé kategórie, ktoré sú hlavným administratívnym parametrom vlaku. Rozdelenie do kategórií je spravidla dané najmä komerčne, tzn. názvy kategórií sú marketingovým nástrojom jednotlivých železničných dopravcov. Tieto kategórie sa líšia počtom zastávok, parametrami vyplývajúcimi z toho, aké sú v nich radené vozidlá (viď časť 2.2.3) a hlavne z kategórie vyplýva prednosť, akú má vlak pri riešení kolízií v dopravnej situácii. Čím vyššia kategória vlaku, tým dôležitejšie by malo byť, aby daný vlak nemeškal. V tomto smere sú výnimkou regionálne či medziregionálne vlaky, ktoré sú súčasťou rôznych integrovaných dopravných systémov (napr. IDS JMK), takéto vlaky majú potom prednosť aj pred diaľkovými vlakmi. Rozdelenie na kategórie platné v SR a ČR podľa ich prednosti je nasledovné [10]:

1. Diaľkové vlaky zvláštnych kategórií: **SuperCity**
2. Vlaky nadradeného európskeho systému: **EuroCity, EuroNight**
3. Vlaky nadradeného vnútroštátneho systému: **InterCity, Expres**
4. Medziregionálne a diaľkové vlaky základné: **Rýchlik, Zrýchlený**
5. Regionálne: **Zrýchlený osobný, Osobný, RegioExpres**
6. Zvláštne: **Charterové¹³, Súpravové¹⁴**

2.3.2 Manipulácia s vlakom

Manipulácia vo východzej a koncovej stanici sa deje v zásade cestou posunu a je z pohľadu evidencie nezaujímavá. V rámci operačného informačného systému sa zadá vlaková dokumentácia, ktorá obsahuje všetky potrebné informácie, a je možné ich z tohto IS získať. Podstatné je, aby súprava bola včas pristavená k vyhlásenému nástupištiu (v niektorých staniach sú nástupištia stanovené fixne, v iných ich možno operatívne meniť, vždy je však nutné včas informovať cestujúcich audiovizuálnym informačným systémom), opatrená všetkými náležitosťami a správne inštrudovaná.

¹³Idúce podľa potreby, napr. preprava športových fanúšikov

¹⁴Bez cestujúcich, navádzajú súpravu na vlak, s prednosťou vlaku pre ktorý idú

V cieľovej stanici je ďalej dôležité sledovať obrat vlakových náležitostí (hnacích vozidiel a súpravy). Je zrejmé, že ak je na východzí vlak naplánovaná súprava prichodiacieho vlaku, nemôže vlak odísť skôr, ako tento vlak príde a sú splnené všetky náležitosti vrátane prípadného preposunovania hnacieho vozidla na opačný koniec súpravy.

V nácestných staniách môže mať vlak pobyt buď pre nástup a výstup cestujúcich, alebo z dopravných dôvodov. Pobyt z dopravných dôvodov je len rezerva v grafikone, ktorá nemusí byť bezpodmienečne dodržaná. Významnejšie je zastavenie pre nástup a výstup cestujúcich. Vlak musí prísť na koľaj s nástupišťom a časy týchto zastavení sa inzerujú v komerčných cestovných poriadkoch, pričom vozidlo okrem výnimočných (vyznačených) prípadov nesmie opustiť nástupište pred inzerovaným časom odchodu. V prípade plánovania musí byť nástupište, na ktoré vlak príde, naplánované s dostatočnou rezervou (3-5 minút), aby naň bolo možné pomocou informačných systémov pre cestujúcich upozorniť. V staniách, ktoré sú vybavené len úrovňovým prístupom¹⁵, je tiež nutné dbať na to, aby nebol ohrozený pohyb cestujúcich. To je realizované tak, že medzi súpravou, do ktorej nastupujú cestujúci a staničnou budovou nesmie prejsť žiadny vlak.

V niektorých nácestných staniách môže prebiehať s vlakom manipulácia (odvesovanie a privesovanie vozňov, výmena rušňa, výmena rušňovodičov, ...). V takýchto prípadoch je nutné rešpektovať technologické časy na takéto manipulácie. Prehľad týchto časov je uvedený v [20]. Zmena zostavy vlaku môže mať tiež vplyv na zmenu dynamických vlastností a maximálnej rýchlosti vlaku.

2.3.3 Obmedzenia jazdy vlakov

Jazdy vlakov osobnej dopravy sa riadia pravidelným grafikonom (z dôvodu nutnej informovanosti cestujúcich o cestovnom poriadku vlaku). Obmedzenia sú definované v grafikone a menia sa max. niekoľkokrát za rok. Vlaky osobnej dopravy sa ako vlaky podľa potreby zavádzajú len vo výnimočných prípadoch. Odrieknutie jazdy pravidelného osobného vlaku je možné považovať za vyslovene mimoriadnu udalosť.

Samotné obmedzenia jazdy vlakov majú buď pozitívnu alebo negatívnu formu a dajú rozdeliť do niekoľko kategórií (použitých môže byť viac kategórií, prípadne aj všetky naraz):

- Skupinové (ide v pracovné dni, nejde v sobotu, ide vo sviatok)
- Intervalové (jazdí 1.VI. - 21.IX., nejde 24.XII-3.I.)
- Individuálne (jazdí 1.IX, nejde 24. a 31.IX)

2.3.4 Rušiace vlaky

Vo vzťahu k obmedzeniam jazdy vlakov sú špecifické tzv. rušiace vlaky. Rušiaci vlak je vlak, ku ktorého jazde sa určite vzťahuje nejaké obmedzenie s tým, že ak ide, je jeho jazdou narušená jazda vlaku iného. Narušením sa rozumie, ak by oba vlaky išli podľa cestovného poriadku, museli by sa stretnúť v mieste kde to nie je možné (napr. protismerne idúce vlaky na jednokoľajnej trati), prípadne rýchlejší vlak by musel ísť dlhší úsek za pomalším, bez možnosti ho v dopravni predbehnúť.

V takomto prípade je nutné stanoviť opatrenia v súvislosti s narušením jazdy [11]. Tieto opatrenia sú stanovené pre každý vlak zvlášť a hovoria buď o tom, že

¹⁵T.j. bez podchodu ev. nadchodu pre cestujúcich

- daný vlak počká na prejazd rušiaceho vlaku v stanovenej dopravni. Toto obmedzenie sa v jeho cestovnom poriadku ďalej nezohľadňuje a vlak pokračuje s meškáním
- daný vlak nesmie ísť, ak ide rušiaci vlak

2.3.5 Prípoje a prípojné väzby

Špecifikom osobnej železničnej dopravy je jej sieťový efekt. Na rozdiel od cestnej a leteckej, ktorá je postavená spravidla na bodových spojoch z mesta A do mesta B (tzn. výsledná ponuka spojov znamená najčastejšie priame spojenie, max. spojenie s 1 prestupom), železničná doprava je postavená na súbehu liniek, garantovanej možnosti prestupu z vlaku na vlak a výsledné spojenie môže čítať väčšie množstvo prestupov [10].

Prípojné väzby sa riadia osobitným predpisom, ktorý upravuje minimálnu dĺžku čakania na zmeškané prípoje. Tieto čakacie časy musia byť zohľadnené pri plánovaní pobytu vlaku v dopravni pre nástup a výstup cestujúcich, pričom ku každému prípoju je nutné pri plánovaní prirátavať rezervu na presun cestujúcich od vlaku k vlaku. Z tohto dôvodu je tiež napríklad vhodné aby, ak je to možné, boli oba takéto vlaky nasmerované na rovnaké ostrovné, prípadne kusé jazykové nástupište.

2.4 Technologické procesy v nákladnej doprave

2.4.1 Rozdelenie nákladných vlakov

Na rozdiel od osobnej dopravy, kategórie nákladných vlakov nie sú aplikované komerčne, ale čisto z prevádzkových potrieb. Kategórie vyjadrujú účel vlaku a používajú sa pri stanovení prednosti, fakturácie za dopravnú cestu [10] a odhade jazdných dôb. Rozdelenie kategórií platné viacmenej medzinárodne, podľa prednosti, je nasledovné¹⁶:

- Nadradený systém nákladnej dopravy: **Nákladný expres**
- Priebežné vlaky bez spracovania: **Rýchly nákladný**, **Zrýchlený nákladný**
- Priebežné vlaky so spracovaním: **Priebežný nákladný**
- Vlaky pre prevoz prázdnych vozňov: **Vyrovňávkový**
- Vlaky pre miestnu obsluhu: **Manipulačný**, **Prestavný**
- Vlaky pre prepravu rušňov: **Rušňovlak**

Manipulačné a prestavné vlaky sú určené k regionálnej obsluhu a predpokladá sa dlhý pobyt v každej nácestnej stanici, ostatné vlaky sa koncipujú ako priame spojenie východzej a cieľovej stanice, ich pobyty v nácestných staniaciach sú len z dopravných alebo technických dôvodov.

¹⁶Niektoré železnice majú kategórie výrazne zredukované, druh vlaku určuje jeho číslo

2.4.2 Manipulácia s vlakom

Pobyty nákladných vlakov sú zásadne len z dopravných alebo manipulačných dôvodov. V prípade, že má stanica viac skupín koľají, je tiež definovaná skupina do ktorej musí vlak prísť, konkrétna koľaj sa definuje málokedy. Je nutné si uvedomiť, že technologické časy v nákladnej doprave sú výrazne dlhšie, než v osobnej a preto je nutné neponechávať vlak s plánovaným pobytom na prejazdnej koľaji. Je tiež nutné v rámci možností neblokovať nástupištia pre vlaky osobnej dopravy. Vo väčšine staníc v prípade dlhších vlakov taktiež nastáva problém s obmedzeným množstvom koľají s dostatočnou dĺžkou.

2.4.3 Obmedzenia jazdy vlakov

Obmedzenia jazdy nákladných vlakov majú obrovskú varietu (základ tvoria podobné obmedzenia ako pri osobných vlakoch, sú však aplikované v ďaleko väčšej miere). Veľkou skupinou sú vlaky idúce *podľa potreby*. Takéto vlaky nemajú pevne stanovené obmedzenie, ich jazda však musí byť dopredu dopravcom oznámená. Z toho dôvodu skôr než evidovanie obmedzení je vhodné na začiatku smeny či už z IS, alebo ručne po obsluhu zisťovať, ktoré vlaky majú ísť (sú *zavedené*), a ktoré nie (sú *odrieknuté*) [10].

Aj v nákladnej doprave sa používajú rušiacie vlaky s rozdielom, že kým v osobnej doprave je častejším opatrením čakanie vlaku na rušiaci vlak v dopravni, v nákladnej sa väčšinou používa opatrenie zakazujúce jazdu vlaku súčasne s rušiacim vlakom.

2.5 Evidencia, plánovanie a organizácia dopravy

Prostredie železničnej dopravy sa oproti ostatným druhom dopravy líši najmä tým, že jeho kapacita je vo všetkých okamihoch jej priebehu obmedzená už aj z pohľadu jediného dopravcu. V ostatných spôsoboch dopravy je napr. v prípade prostredia cestnej dopravy kapacita teoreticky neobmedzená (jej preťaženie vzniká až súbehom obrovského množstva prepráv), v leteckej doprave je obmedzená v jedinom bode - na letisku. Prakticky to znamená, že vlak sa nemôže uviesť do pohybu v ľubovoľnom okamihu na základe úvahy dopravcu, resp. pohybovať sa ľubovoľne po prostredí.

Pre plánovanie dopravy je dôležité stanovenie tzv. sledu vlakov. Sled vlakov obsahuje poradie, v ktorom vlaky odchádzajú z dopravne na trať. Zo sledu vlakov vyplýva, ktorý vlak bude kde čakať na prejazd ostatných vlakov, resp. akým spôsobom budú vyriešené niektoré situácie v doprave. Je základom pre riešenie narušení grafikonu (viď kapitola o narušení jazdy).

2.5.1 Grafikon vlakovej dopravy

Grafikon vlakovej dopravy (skrátene GVD) je súborom dokumentov, ktoré slúžia pre organizáciu dopravy a podporu uvedených technologických procesov [11]. Základnými dokumentami sú zošitový cestovný poriadok a nákresný cestovný poriadok. Zošitový cestovný poriadok slúži primárne pre rušňovodičov a informuje ich o všetkých okolnostiach, ktoré musí pri jazde zvažovať (jazdné doby, rýchlosti, sklonové pomery, spôsob vypravenia vlaku, ...).

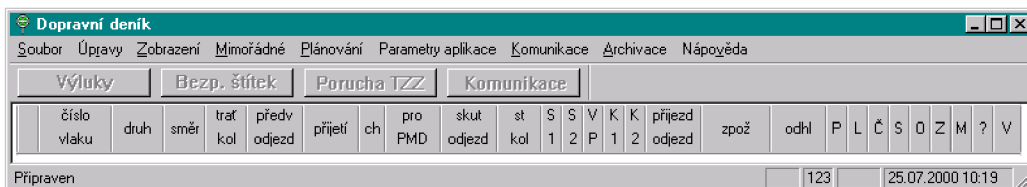
Nákresný cestovný poriadok je naopak určený pre plánovanie dopravy. Obsahuje graficky znázornený časový priebeh jazd všetkých vlakov. Sú v ňom vyznačené všetky časy pobytov vlakov, jazd vlakov, kilometrické vzdialenosti, počty dopravných koľají a vybavenosť zabezpečovacím zariadením (počty oddielov, banalizácia, ...).

2.5.3 Dopravný denník

Dopravný denník je základným evidenčným prostriedkom. Dopravný denník je veľmi podrobný výkaz o vlakoch vchádzajúcich, odchádzajúcich, resp. prechádzajúcich. Tento výkaz vedie osoba riadiaca dopravu v každej dopravni, štandardne v papierovej forme, po novom v elektronicke. Od telematickej nadstavby stavadla sa očakáva, že bude dopravnú dokumentáciu viesť elektronicke, bez zásahov obsluhy (okrem korekcie údajov) [37]. V prípade, že medzi dvomi dopravňami existuje zabezpečenie jazdy vlakov jedine formou telefonického dorozumievania, slúži dopravný denník tiež ako záznam tejto komunikácie. Elektronicke stavadlo takúto situáciu nepredpokladá, každopádne môže v prípade rozpadu komunikácie medzi časťami DOZ slúžiť ako pomôcka a náhrada papierového listu dopravného denníka (v žiadnom prípade však nesmie nahrádzať komunikáciu dopravných zamestnancov, keďže sa nejedná o zabezpečovacie zariadenie). Do dopravného denníka sú zaznačené nasledovné údaje:

- Kategória vlaku, číslo vlaku a číslo následu, smer príchodu a odchodu
- Čas predvídaného a skutočného odchodu vlaku z predchádzajúcej dopravne
- Čas príchodu a odchodu z aktuálnej dopravne
- Čas predvídaného a skutočného príchodu do nasledujúcej dopravne

Evidencia v dopravnom denníku v dopravni prebieha vždy voči dopravni predošlej a dopravni nasledujúcej. Pre každú položku sa sledujú dva stavy - *predvídaný* a *skutočný*. Predvídaný čas, spravidla odjazdu, je odhadnutý dopravným zamestnancom tak, aby boli nasledujúce dopravne včas informované. O predvídanom čase odjazdu sa informuje nasledujúca dopravňa spravidla 5 minút vopred. Skutočný čas je potom zistený fyzicky pri nastaní udalosti.



Obrázek 2.5: Dopravný denník, hlavička (elektronický) [27]

2.5.4 Evidencia splnenej dopravy

Evidenciu splnenej dopravy vykonával úsekový dispečer tím, že na šablónu rysoval grafické znázornenie splneného grafikonu (podobné ako nákrešný cestovný poriadok na obrázku 2.4). Údaje o časoch odjazdov mu poskytovali jednotliví výpravcovia v dopravniach telefonicky. V súčasnej dobe sa táto evidencia preniesla do elektronickej podoby a to buď pomocou operačného informačného systému, alebo pomocou telematických nadstavieb jednotlivých elektronicke stavadiel.

2.5.5 Ostatné evidenčné pomôcky

Ďalšie evidenčné pomôcky slúžia len na premostenie chýbajúcich vlastností starších ZZ, napr. *záznam signalistu*, *záznam postavených vlakových ciest*, *telefónny zápisník* a pre nás nie sú podstatné.

2.5.6 Organizácia dopravy na jednokoľajnej trati

Organizácia vlakov na jednokoľajnej trati, najmä ak je na nej vyššia frekvencia vlakov¹⁸, je pre obslužný personál náročnou záležitosťou. Medzi dopravňami je k dispozícii jediná koľaj, čo znamená, že vlaky sa môžu stretávať (*križovať*) len v dopravniach. Križovania je nutné prepočítavať s ohľadom na minimalizáciu straty pre oba križované vlaky. S križovaním sa spravidla počíta už v grafikone, no vplyvom meškaní môže byť vhodné ich operatívne prekladať do susedných staníc tak, aby bola časová strata vlakov minimalizovaná. Pritom je nutné rozlišovať, či má vlak v dopravni pobyt z dôvodu nástupu a výstupu cestujúcich (vtedy nie je možné s vlakom odísť z dopravne predčasne), alebo má pobyt len z dopravných dôvodov (teda samotného križovania) a je možné ho skrátiť či úplne vynechať (o čom je ale nutné informovať rušňovodiča).

2.5.7 Organizácia dopravy na dvoj- a viackoľajnej trati

Organizácia dopravy je v tomto prípade na prvý pohľad jednoduchšia. Viackoľajná trať umožňuje vyčlenenie jednej koľaje pre každý smer jazdy a tým pádom teoreticky aj plynulý sled vlakov, križovania odpadajú. Každopádne v takomto prípade často výrazne narastajú požiadavky na kapacitu trate, a v prípade hlavných tratí dochádza v súčasnej dobe až k ich preplneniu [3]. To znamená, že je nutné čo najviac stláčať interval sledu vlakov. Moderné zabezpečovacie zariadenie pre toto poskytuje podporu a s využitím trojznakového automatického bloku je možné interval medzi vlakmi skrátiť až na úroveň, ktorú umožňuje v prípade elektrifikovaných tratí elektroenergetika.

V posledných rokoch sa ale komplikuje organizácia dopravy aj na viackoľajných tratiach, a to neustálym zvyšovaním rýchlosti, ktoré sa však týka spravidla len vlakov osobnej dopravy. Rýchlosť osobných vlakov, najmä diaľkových je dnes až 160 km/h, pričom rýchlosť nákladných vlakov zostáva na cca. 80–100 km.h⁻¹ [3]. Z pohľadu teoretickej priepustnosti je diametrálne odlišné, ak idú všetky vlaky 80 km/h a ak idú niektoré vlaky 160 km.h⁻¹ [11]. V tejto chvíli je nutné začať uvažovať s tým, na ktorých miestach nechať *predísť* pomalší vlak rýchlejšim (oproti križovaniu je predchádzanie časovo výrazne náročnejšie, keďže oba vlaky sa pohybujú jedným smerom). Predchádzanie sa dá realizovať dvoma spôsobmi:

- V dopravni je pomalší vlak odstavený mimo prejazdnej koľaje a po prechode rýchlejšieho vlaku je opäť vypravený na trať. Takýto postup je použiteľný kedykoľvek, no prináša veľkú časovú stratu pre predchádzaný vlak.
- V dopravni je jeden z vlakov (ten, ktorý nezastavuje v úseku na zastávkach, alebo ten s lepšou dynamikou) prestavený na inú traťovú koľaj, vlaky sa predídu na širšej trati vplyvom rozdielnej maximálnej rýchlosti a v ďalšej dopravni je vlak vrátený na traťovú koľaj prislúchajúcu jeho smeru. Tento postup neprináša žiadnu časovú stratu (alebo len minimálnu), no vyžaduje dve voľné traťové koľaje.

¹⁸Ukázkový príklad je trať Brno hl.n. - Přerov

2.6 Normatívne prostredie

Zariadenie ako také bude podliehať súvisiacim normám so zabezpečovacím zariadením a ži-
vou dopravnou cestou. Zariadenie sa posudzuje podľa normy [25]. Na zariadenie samotné sa
podľa normy nepredpokladajú žiadne špecifické požiadavky (úroveň SIL 0). Pri zavádzaní
funkcionality ASJC, resp. obojstranného spojenia sa predpokladá posúdenie tejto komuni-
kácie podľa normy ČSN EN 50 159-1 [24] a posúdenie vnútorných komunikácií EP podľa
ČSN EN 50 159-2 [25] a software EP podľa normy ČSN EN 50 128 [23].

V Českej republike stanovuje požiadavky na podobné zariadenia Drážní úřad formou
oborových noriem TNŽ, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví
formou noriem ČSN, prípadne ČSN ISO a ČSN EN v prípade prevzatých medzinárodných
noriem a noriem európskych [33].

Národné prostredie pre prevádzku telematických systémov na Slovensku stanovuje správ-
ca železničnej infraštruktúry, štátny podnik Železnice Slovenskej Republiky (ŽSR). Norma-
tívne toto prostredie nie je fakticky nikde podchytené, vzhľadom k tomu, že ako operačný
informačný systém na ŽSR sa používa systém VDS od spoločnosti Oltis, ktorý je z veľkej
časti zhodný so systémom ISOŘ používaným u SŽDC, je možné vychádzať z normatívneho
prostredia pre Českú republiku [27].

V prípade tvorby nadstavby existujú základné dokumenty [42], [43]. O možnosti inte-
grácie úkonov do ovládacieho počítača stavadla hovorí [44]. Samotné zavádzanie sa riadi
vyhláškou SŽDC č. 34 [26] a tvorba železničných systémov sa ďalej primerane riadi normou
TNŽ 34 2620 a prípadne ďalšími [33].

V prípade Európskej únie existujú ďalej špecifikácie TSI TAF [35] a TSI TAP [36], tie
však riešia skôr integráciu operačných IS a pre implementáciu v nadstavbe by sa prejavili
najskôr v [42].

Väčšina uvedených noriem bola počas práce preštudovaná a implementácia sa nimi
riadila primeraným spôsobom. Prípadné zvláštnosti vyplývajúce z noriem budú v ďalšom
texte vyznačené.

Kapitola 3

Možnosti analýzy a predikcie jazdy vlaku

3.1 Modelovanie prostredia železničnej dopravy

Železničná doprava má, z pohľadu modelovania, jednu zásadnú výhodu. Tým, že vlak sa pohybuje po dopravnej ceste pevne (na rozdiel od napr. pohybu lietadla vo vzduchu), je možné nahradiť trojrozmerný svet jediným rozmerom – kilometrickou vzdialenosťou. Časový rozmer môžeme popisovať buď len časom, prípadne ho vzťahovať k dráhe cez zrýchlenie alebo rýchlosť. Tento prístup sa používa ako v grafikone (pri nákrešných cestovných poriadkoch, resp. je využitý aj pri vizualizácii jazdy vlakov vo vytváranej nadstavbe), tak pri popise dynamiky vlaku (viď nasledujúce state).

3.2 Dynamický model jazdy

Dynamické parametre vlakov vyjadrujú veličiny, ktoré sa v priebehu jazdy menia. Keďže sa jedná o pohyb hlavným dynamickým parametrom je jeho aktuálne zrýchlenie a . Počas jazdy vlaku je nutné rozoznávať 3 fázy, ktoré sa pravidelne striedajú.

- *Rozjazd* - vyvíjaním ťažnej sily hnacích vozidiel dochádza k zvyšovaniu rýchlosti vlaku až na požadovanú alebo maximálnu rýchlosť ($a > 0$)
- *Výbeh* - vlak sa pohybuje rovnomerne (spravidla na hranici maximálnej rýchlosti a s minimálnou hodnotou energetickej bilancie udržuje približne konštantnú rýchlosť ($a \sim 0$))
- *Brzdenie* - marením kinetickej energie vlaku v brzdách (adhézných alebo frikčných) dochádza k úmyselnému znižovaniu rýchlosti vlaku, resp. jeho zastaveniu ($a < 0$).

3.2.1 Maximálna rýchlosť vlaku

Do dynamického modelu bude tiež nepriamo vstupovať maximálna rýchlosť, a to tak, že bude priebeh dynamického modelu oriezať na svoju hodnotu tak, aby nenastalo ohrozenie bezpečnosti jazdy vlaku.

V tejto súvislosti je nutné doplniť zavedenú reprezentáciu hmotným bodom v podobe čela vlaku o ďalší hmotný bod, vyjadrujúci jeho koniec. Tento hmotný bod sa bude pohybovať v každom okamihu rovnakou rýchlosťou ako čelo vlaku a bude od neho konštantne

vzdialený o dĺžku súpravy¹. Zavedenie tohoto druhého bodu je nevyhnutné, keďže ak by sme sledovali len čelo vlaku, mohli by sme začať zrýchľovať hneď potom ako minie čelo vlaku koniec obmedzenia maximálnej rýchlosti². Taký stav je neprípustný a vlak smie začať zrýchľovať až potom, čo koniec obmedzenia max. rýchlosti minie jeho koniec.

Dynamika vlaku sa tak bude počítat vždy pre jeho čelo, avšak začiatok akcelerácie je podmienený prejazdom konca súpravy okolo konca rýchlostného obmedzenia.

3.2.2 Pohybová rovnica vlaku

Ak vlak reprezentujeme ako hmotný bod (zodpovedajúci začiatku vlaku), všetky tri fázy môžeme popísať v každom jeho bode tzv. základnou pohybovou rovnicou vlaku [20] v nasledovnom tvare:

$$10^3 \cdot (F_s - F_b) - g \cdot o_D \cdot M_D - g \cdot o_t \cdot (M_H + M_D) = 10^3 \cdot a \cdot (M_H + M_D) \cdot (1 + \rho) [N] \quad (3.1)$$

kde:

F_s	ťažná sila na spriahadle	[N]
F_b	brzdna sila merná	[N]
o_D	merný odpor dopravovaných vozidiel (vozňov)	[N.kN ⁻¹]
o_t	merný odpor traťový	[N.kN ⁻¹]
M_H	hmotnosť hnacích vozidiel	[t]
M_D	hmotnosť dopravovaných vozidiel (vozňov)	[t]
a	výsledné zrýchlenie vlaku	
ρ	súčiniteľ odporu valivých častí	[-]

ρ môžeme považovať za konštantu, udáva sa hodnota 0,065 pre celý vlak, a 0,18 pre samotné hnacie vozidlo [20]. Hodnoty M_D a M_H sú parametre vlaku (hmotnosti). Výpočty vybraných uvedených zložiek tejto rovnice sú uvedené v prílohe. Ďalšie, tu nespomenuté, výpočty sa uvádzajú spravidla na základe rôznych empirických vzťahov a sú uvedené napr. v knihe prof. Majerčáka [20].

Základná pohybová rovnica sa používa najmä v spojení s konkrétnou (najmä traťovou) koľajou, na vyjadrenie *jazdnej doby vlaku*. Jazdná doba vlaku vyjadruje čas, ktorý potrebuje vlak na prejdienie celej dĺžky tejto koľaje. Jedná sa teda o čas t_u v ktorom platí že pre prejdenú dráhu vlaku s a dĺžku úseku s_u platí

$$s(t) = \int_0^{t_u} v \, dt = \int_0^{t_u} \left(\int_0^{t_u} a(t) \, dt \right) dt = s_u \quad (3.2)$$

Po prevode do diferenciálneho tvaru:

$$s''(t) = a(t); s''(0) = a_0 \quad s'(0) = v_0 \quad (3.3)$$

Takto definovaná jazdná doba je základom konštrukcie grafikonu vlakovej dopravy (viď časť 2.5.1). Tiež je vidieť, že priebeh jazdy vlaku budeme naozaj vynášať v zásade vždy ako závislosť a a s alebo jej derivácie v a s .

¹Vzdialenosť sa v skutočnosti mení v závislosti od ťahu v spriahacom ústrojenstve vozňov, táto zmena je však vzhľadom k dĺžke zanedbateľná

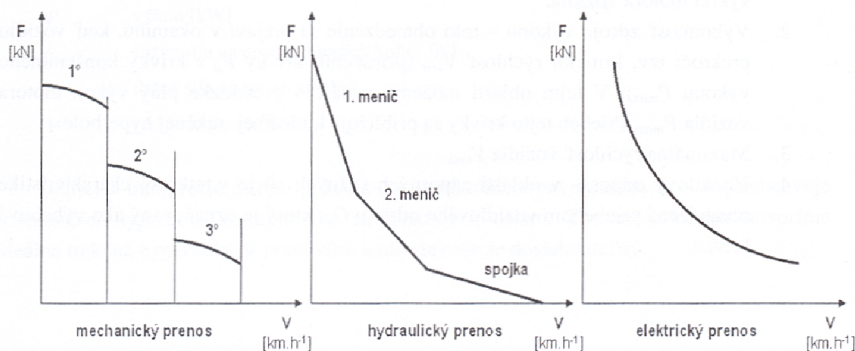
²prejde z úseku s nižšou max. rýchlosťou do úseku s vyššou max. rýchlosťou

3.2.3 Dynamika rozjazdu vlaku

Základnou hybnou silou pri rozjazde vlaku je ťažná sila vyvíjaná všetkými hnacími vozidlami v súprave. Táto sila závisí od viacerých faktorov a nie je počas celej doby rozjazdu v rozsahu rýchlostí konštantná. Ako základný vzorec pre jej výpočet uvažujeme *trakčnú hyperbolu* [20].

$$F = \frac{P \cdot 3,6}{V} [\text{kN}]; V [\text{km} \cdot \text{h}^{-1}]; P [\text{kW}] \quad (3.4)$$

Tento vzorec je však značným spôsobom idealizovaný a nezohľadňuje vlastnosti železničných vozidiel. Skutočný priebeh ťažnej sily závisí výraznou mierou od použitého spôsobu výkonu (mechanický, hydrodynamický, elektrický), od použitého spôsobu regulácie (stupňovitý, plynulý), od druhu primárneho motora (elektrická energia zo siete, batérie, dieselový agregát) atď. Maximálna využiteľnosť výkonu tiež závisí od technického stavu vozidla, stavu paliva v nádrži a prípadne dodávanom výkone do vlakového vykurovania (pri vlakoch s primárnym pohonom dieselovým agregátom). Vo všeobecnosti má každé hnacie vozidlo stanovené svoju sadu kriviek, ktoré sa súhrnne nazývajú trakčná charakteristika [20].



Obrázek 3.1: Priebehy trakčnej charakteristiky podľa prenosu výkonu [20]

Uvažovať kompletnú trakčnú charakteristiku (obrázok vid' príloha B) by bolo však príliš náročné na výpočet (kriviek pre stupňovitú reguláciu u elektrických rušňov môžu byť aj desiatky). Navyše o ich využití rozhoduje rušňovodič a nie sme schopní ho žiadnym spôsobom presne zistiť. Pre naše potreby bude však postačovať vybrať si jednu z tých kriviek a tú použiť ako odhad. Keďže zanedlho ukážeme, že najvýhodnejšie bude dynamické výpočty robiť formou dolného odhadu jazdnej doby, vezmeme jednu z tých vyšších (vhodnú krivku určíme/overíme neskôr experimentálne na reálnych grafikonových dátach). Na tejto krivke sme schopní stanoviť dve hodnoty. Hodinový a trvalý výkon. Tieto čísla hovoria o schopnosti vozidla vyvíjať daný výkon po dobu max. 60 min. Alebo trvale. Tieto hodnoty výkonu sme potom schopní použiť do rovnice 3.4 a následne z nej určiť približnú veľkosť maximálnej ťažnej sily a predpokladať, že sa rušňovodič snaží vyvinúť maximálnu ťažnú silu až do dosiahnutia max. rýchlosti.

Ťažná sila je ďalej najmä v nižších rýchlostiach limitovaná adhéznou silou $F_a = M_a \cdot g \cdot \mu$, ktorá hovorí, akú veľkú silu dokáže preniesť styk koleso–koľajnica bez toho aby došlo k jeho sklzu. Ťažná sila je potom vyjadriteľná ako $\max(F_s, F_a)$. Súčiniteľ adhézie ako maximálny prípustný pomer $F_a : M_a$ sa určuje experimentálnym vzťahom podľa Curtiusa a Knifflera

[20] ako

$$\mu = \left(161 + \frac{7500}{v + 44} \right) \cdot 10^{-3} [\text{km.h}^{-1}] \quad (3.5)$$

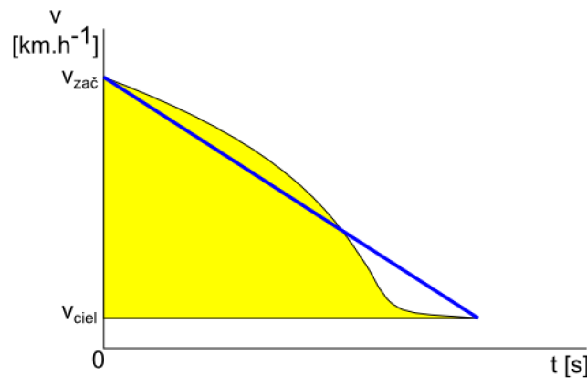
3.2.4 Dynamika výbehu

Akonáhle sa vlak dotkne maximálnej rýchlosti snaží sa ju udržať. Simulácia vtedy môže prebiehať tak, že volíme najvyššiu ťažnú silu a overujeme, či by vozidlo dokázalo zrýchlovať alebo udržať svoju rýchlosť. Ak áno ($a \geq 0$) ponechávame zrýchlenie na nule a vlak drží maximálnu rýchlosť. V opačnom prípade ($a < 0$) znižujeme rýchlosť a prechádzame do režimu ako pre rozjazd. Ako maximálnu ťažnú silu používame výpočet založený nie na hodinovom, ale na trvalom výkone.

3.2.5 Dynamika brzdienia vlaku

Pozastavme sa ešte pri brzdení. V prípade brzdienia je nutné stanoviť hraničnú krivku brzdnnej sily F_b . Táto krivka je dôležitá pre stanovenie maximálnej rýchlosti jazdy vlaku, ako aj pre samotné určenie priebehu brzdienia. Priebeh krivky je definovaný od rýchlosti vstupnej po rýchlosť cieľovú, ktorou má vlak ísť za daným miestom.

Priebeh tejto krivky sa pokúsime čo najviac zjednodušiť. Na začiatku má krivka postupný nábeh, následne pokračuje po parabolickej krivke (prekonáva kinetickú energiu $E_k = \frac{mv^2}{2}$) a na konci sa spád postupne vyrovnáva tak, aby vozidlo po dosiahnutí cieľovej rýchlosti nespomaľovalo ďalej, ale zotrvalo v cieľovej rýchlosti. Keďže nás budú opäť zaujímať až hodnoty integrálu pod touto krivkou, skúsime ju nejakým spôsobom zjednodušiť tak aby sa s ňou dalo rozumným spôsobom počítať. Fáza nábehu brzdného účinku v zásade trvá kratšie ako fáza odbrzdovania. Od nábehu až po začiatok odbrzdovania sa krivka pohybuje konkávne, v odbrzdovaní je konvexná. Môžeme sa teda pokúsiť ju bez veľkej ujmy na presnosti (na rozdiel od krivky zrýchlenia) nahradiť priamkou tak, ako je ukázané na obrázku 3.2. Takáto náhrada nefunguje pri brzdení do zastavenia, kde sa v odbrzdovacej fáze uplatní len orezanie brzdnnej sily adhéziou.



Obrázek 3.2: Priebeh rýchlosti pri konštantnej brzdnnej sile

Ako koncový bod volíme miesto so začiatkom cieľovej rýchlosti. Zostáva určiť počiatočný bod priamky. Brzdenie vlaku prebieha adhézne³. To znamená, že môžeme použiť predpo-

³Vlaky bývajú vybavené aj frikčnými elektromagnetickými brzdami, ale tie slúžia zásadne len na núdzové brzdenie

klad, že brzdná sila bude v nižších rýchlostiach podobne ako ťažná sila zhora limitovaná silou adhéznou $F_a = G_a \mu$, nad ktorej veľkosťou dochádza ku šmyku [20].

Ďalej potrebujeme určiť priebeh vo vyšších rýchlostiach. K tomuto účelu zavedieme k hmotnosti vozidla aj tzv. *brzdnú hmotnosť vozidla*. Brzdná hmotnosť principiálne nie je vzťahnutá k hmotnosti vozidla a je len parametrom brzdového systému, ktorý hovorí o tom akú hmotnosť vozidla táto brzda dokáže zastaviť na definovanej vzdialenosti pri definovanom rozhodnom klesaní. Rozhodná vzdialenosť je potom daná zvlášť pre každú trať a je uvedená v tabuľkách TTP. Ďalej zavedieme modelovú brzdnú krivku, ktorá bude spĺňať práve tieto parametre. Následne sa zložitou cestou pomocou rôznych nomogramov [20] určí vzhľadom na sklon trate požadované brzdiace percento z danej rýchlosti, pri ktorom by brzdná krivka vlaku mala zodpovedať modelovej. Nás tento postup zaujímať nebude a len vezmeme toto číslo (zodpovedá modelovej brzdnéj krivke) a dáme ho do pomeru s tzv. skutočným brzdiacim percentom (to je súčet brzdiacich hmotností skutočného vlaku, zistený personálom pri odjazde alebo zmene zostavy vlaku [20]). Následne na základe tohoto pomeru môžeme meniť strmosť krivky brzdenia.

V simulácii je pomerne obtiažne odhadnúť, kedy začať brzdiť. Ideálnym riešením, ktoré je umožnené tým, že sme brzdnú krivku nahradili priamkou je postupovať odzadu. To znamená, že pri každom obmedzení rýchlosti si spočítame priamku nahrádzajúcu maximálnu brzdnú krivku a akonáhle sa jej v simulácii vlak dotkne, budeme predpokladať, že ďalej zostupuje podľa tejto priamky. To nám umožní z rovnice 3.1 odstrániť brzdnú silu.

3.2.6 Problémy pri modelovaní dopravy

V prípade jazdy vlaku máme problémov hneď niekoľko. Ťažná aj brzdná sila je limitovaná adhéznou silou, ktorá je síce počítaná konštantne, no v skutočnosti sa mení v závislosti od počasia, ročného obdobia (v zime je trať zľadovatelá, na jar mokrá, v lete suchá, na jeseň napadá na trať lístie, ...) a ďalších mnohých faktorov. Vlastnosti vozidiel sa menia nie rad od rady, ale kus od kusa (tzn. žiadne dve súpravy nemajú priebehy brzdných kriviek úplne rovnaké, každé hnacie vozidlo má inú krivku vývoja ťažnej sily, obzvlášť pri starších no rozšírených radách hnacích vozidiel s analógovými regulátormi). A napokon, v prípade určenia priebehu vyvíjanej ťažnej sily a rýchlosti (tzn. percentuálneho predĺženia jazdnej doby) sa zatiaľ musíme snažiť aproximovať prácu človeka - rušňovodiča.

Posledný problém sa dá vyriešiť len odstránením ľudského faktora. To sa dnes na vybraných tratiach deje zavádzaním systémov automatického riadenia vlaku (ARV), u nás je to najmä systém AVV z produkcie AŽD Praha s.r.o. [1]. V prípade, že by sme mali na trati vozidlá vybavené len ARV a poznali by sme jeho algoritmy, ich integráciou by sme dokázali získať presné informácie o tom, ako bude prebiehať jazda vlaku.

Ostatné problémy sa by sa dajú riešiť doplnením senzorov, prípadne počítačových systémov, ktoré by zisťovali informácie o počasi, stave trate, stave brzd, ... Takéto riešenie však je spravidla príliš nákladné na to, aby bolo aplikované všade a preto sa musíme zaoberať často len so základnými údajmi.

3.3 Dátová podpora dynamického modelu

3.3.1 Údaje o vlaku

- *Hmotnosť* - do základnej pohybovej rovnice
- *Triedy odporu* - pre stanovenie celkového odporu vozidiel

- *Požadované brzdiace percento* - pre každý úsek zvlášť
- *Skutočné brzdiace percento* - stačí raz (resp. po každej zmene)
- *Brzdňý režim* - pre stanovenie brzdiacej hmotnosti hnacích vozidiel

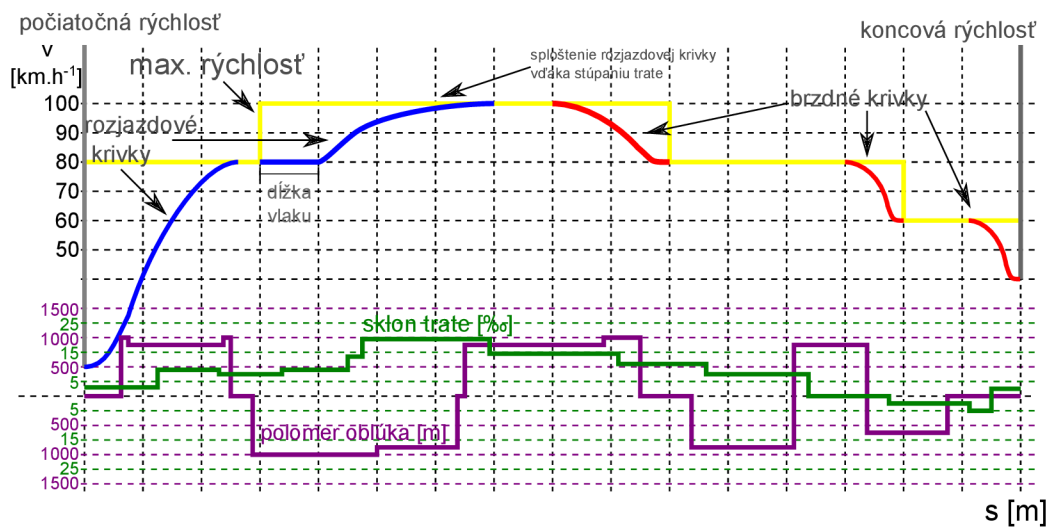
3.3.2 Údaje o hnacom vozidle

K hnaciemu vozidlu treba poznať všetky údaje, ktoré treba poznať o vlaku, navyše treba poznať brzdné hmotnosti pre všetky režimy, keďže na rozdiel od súpravy vozňov, hnacie vozidlo sa používa v súpravách s rôznymi spôsobmi brzdenia. Je tiež nutné uvažovať zapojenie elektrodynamickéj brzdy (režim R+E). Pre trakčné výpočty ďalej potrebujeme hodinový a trvalý výkon, aby sme mohli uvažovať o zrýchlení a schopnosti udržať max. rýchlosť.

Fakt, že vo vlaku môže byť radených viac hnacích vozidiel a ich pozícia môže mať vplyv na využitie adhézie, ťažnú silu, ... [10] ostatná literatúra [20] [11] v zásade ignoruje.

3.3.3 Údaje o trati

Pre výpočet odporu trate potrebujeme v každom mieste poznať sklon trate, prítomnosť a polomer oblúka a prítomnosť tunela. Pre polomery oblúkov a tunely existujú vzťahy, ktorými ich môžeme transformovať na dodatkový sklon a ten následne pričítať k sklonu trate. Následne je výsledný traťový odpor určený len číslom sklonu, čím výrazne znížime výpočtový čas. Posledným potrebným údajom je maximálna rýchlosť v mieste.



Obrázek 3.3: Priebeh rýchlosti vlaku na traťovom úseku

3.4 Aplikácia dynamického modelu

Vytvorený model je vhodné nejakým spôsobom využiť. V našom prípade budeme model využívať k stanoveniu jazdných dôb. Jazdná doba bude vzťahnutá ku koľaji tak, ako bolo zadané v časti 3.2.2.

Prečo je vlastne nutné stanovovať jazdnú dobu takýmto simulačným modelom, keď základná jazdná doba je určená v grafikone vlakovej dopravy? Problém tejto jazdnej doby

je, že je stanovená pre definované parametre vlaku a navyše je maržovaná rezervou vo veľkosti 4 až 12% [11]. Pre presnejšie plánovanie však sa však potrebujeme vysporiadať so zmenami týchto parametrov a zároveň zistiť, či pri meškaní vlak nedokáže toto meškanie skrátiť rýchlejšou či svižnejšou jazdou.

Ako hovorí časť 3.2.6, z uvedených rovníc a vzťahov nemusíme byť schopní vypočítať presnú jazdnú dobu keďže často sa počíta s idealizovanými či zovšeobecnenými experimentálnymi vzťahmi, ktoré navyše nie sú schopné postihnúť všetky výkyvy.

Čo sme ale z týchto vzorcov schopní spočítať pomerne spoľahlivo je dolná medza, tzn. ideálny prípad jazdy vlaku. Táto dolná medza nám v porovnaní s jazdnou dobou vlaku uvedenou v grafikone dáva pomerne jednoznačný pohľad či už na schopnosť vlaku dodržať jazdnú dobu (pri zmene parametrov) alebo na možnosti, ktoré má vlak v krátení. Je ale nutné určiť, nakoľko možnosť krátenia najmä pri meškaní bude schopný využiť.

3.4.1 Možnosti zlepšenia presnosti

Na stanovenie koľko bude vlak schopný krátiť je nutná širšia analýza. V rámci práce som sa diskusiou s niekoľkými rušňovodičmi snažil dospieť k stanoveniu aspoň nejakých pravidiel pre prácu rušňovodiča. Dospel som pri tom k záveru, že hoc nie je možné stanoviť ani trocha všeobecný predpis pre prácu rušňovodiča, mala by byť dodržaná v zásade jedna vlastnosť, a to stabilita. To znamená, že vlak, u ktorého rušňovodič napriek meškaniu nedokáže krátiť jazdné doby ich krátiť nebude vôbec a vlak, ktorý ich nejakým spôsobom kráti ich bude vždy krátiť približne v rovnakom pomere. Percentuálnu schopnosť krátiť tak môžeme ako odpich skúsiť z dolného odhadu počítať štatisticky na základe predošlých pohybov.

3.4.2 Spôsob výpočtu

Analytické určenie jazdnej doby t z rovnice 3.1 je pomerne náročné nehovoriac o tom, že väčšina vstupných funkcií (max. rýchlosť, sklonové ani smerové pomery) nie je hladká a mení sa skokovo. Počítanie Riemannových neurčitých integrálov a určovanie doby analytickým vzťahom tak neprichádza do úvahy.

Druhou možnosťou je numerické riešenie s pomocou simulácie. Jedná sa o spojitý simulačný systém, kde popisujeme uvedenú diferenciálnu rovnicu 3.3. V tejto súvislosti musíme vyriešiť spôsob ako simuláciu napojíme na zvyšok jazdy vlaku. Toto napojenie budeme realizovať tak, že na začiatku simulácie vhodným spôsobom stanovíme počiatkové podmienky rovnice a tiež určíme koncovú rýchlosť, ktorou obmedzíme jazdu na konci koľaje. Simuláciu potom eventuálne zopakujeme niekoľkokrát pre rôzne kombinácie týchto rýchlostí. S výhodou by šlo prípadne využiť aj predošlých kombinácii s tým, že ak dosiahneme bod v ktorom sme už boli, prestávame simulovať a použijeme krivky z predošlej simulácie.

Simulačný výpočet bude obsahovať numerickú integráciu. V tejto súvislosti je nutné s ohľadom na požadovanú presnosť vybrať integračnú metódu a stanoviť integračný krok. Rozumným rozlíšením v dĺžke jazdnej doby je interal 30 s [11]. Priemerná dĺžka medzistaničného úseku v Českej Republike je 7,3 km [3]. Rýchlosti sa na trati sa pohybujú v intervale od 40 do 160 km.h⁻¹ [10]. Pri rýchlosti 40km.h⁻¹ urazí vlak 7,3km za 657s. Za 627s by ju urazil pri rýchlosti 41,8km.h⁻¹, za 657s by ju urazil pri rýchlosti 38,2km.h⁻¹. S odhadom rýchlosti na celom úseku môžeme pohybovať ±5%. Ak ďalej uvažíme, že krivka traťovej rýchlosti nebýva spravidla príliš monotónna na jednu stranu [20], vidíme že prípadná kumulatívna chyba sa určitým spôsobom kompenzuje [2]. Môžeme tak uvažovať aj primitívne a nenáročné metódy ako je eulerova metóda [2].

Kapitola 4

Detekcia a riešenie narušení jazdy vlaku

4.1 Pojem narušenia jazdy vlaku

Narušením jazdy vlaku rozumieme akúkoľvek kolíziu jazdy vlaku s jazdou iného vlaku¹ [11]. Typickým prípadom narušenia jazdy vlaku je stav, kedy by sa mali dva protismerne križovať na jednej traťovej koľaji. Obdobne je narušením takéto stretnutie na zhlaví stanice (kolízne cesty). Ďalším prípadom narušenia je stav kedy musí byť pomalý vlak predídenný vlakom rýchlejšim, ale nie je k dispozícii ďalšia traťová koľaj a týmpádom bude následne jazdou pomalšieho vlaku zdržovaný až do ďalšej dopravne a tiež situácia keď má vlak odísť z dopravne, no predošlý vlak ešte neuvolnil traťový oddiel.

Príčiny narušenia jazdy vlaku môžeme rozoznať dvoch druhov. Plánované narušenia sú spôsobené jazdou rušiacich vlakov, grafikon s nimi počíta, je možné ich identifikovať a sú stanovené aj presné pravidlá ich riešenia. Obdobne sú vždy presne stanovené opatrenia pri obmedzení priepustnosti trate z dôvodu výluky.

Častejšie sa ale jedná o príčiny neplánované, zavinené meškaním niektorého z vlakov oproti predpísanému grafikonu. Takéto narušenia vznikajú náhodne a sú spôsobené rôznymi vplyvmi². Je nutné ich predpovedať a zachytiť čo najskôr. K tomu je potrebné čo najpresnejšie určiť jazdné doby tak, aby bolo zrejmé kde k narušeniu dôjde. To bolo cieľom predošlej kapitoly, ktorá sa tohto odhadu snaží dosiahnuť s využitím modelovania a simulácie. Významným zdrojom narušení jazdy vlaku môžu byť aj následky riešenia narušení inde, najmä ak si vyžadujú významnejšie opatrenia ako napríklad odklony vlakov na inú trať (na odklonovej trase je takýto vlak principiálne rušiacim, keďže grafikon s odklonovou trasou nijako nepočíta), prípadné meškania vlakov.

4.1.1 Možné východiská pri riešení narušení

Pri riešení narušenia jazdy vlaku je ako základný postup použiteľné pozastavenie jazdy niektorého z vlakov tak, aby mohlo dôjsť ku križovaniu alebo prebehnutiu na vhodnom mieste (predbehnutie je teda ešte možné realizovať po inej traťovej koľaji, ak je dostupná). Toto je jediný postup, ktorý nezakladá ďalšie externé náklady na riešenie narušenia a môže byť nasadzovaný automaticky. Pri riešení je smozrejme nutné dbať na jeho efektivitu (tzn.

¹Nemáme na mysli samozrejme kolíziu fyzickú, tá by viedla k nehode

²Neplánovaným narušením je aj stav, keď z dôvodu meškania rušiaceho vlaku nedôjde k narušeniu plánovanému



Obrázek 4.1: Narušení GVD pri mimoriadnosti. Autor: Richard Budín

vlak ktorý je v dopravni prvý je, pokiaľ sa dá, nutné uhnúť z prejazdnej koľaje tak, aby druhý vlak prešiel dopravaňu čo najrýchlejšie. Pri vhodnej práci všetkých zainteresovaných (dopravný personál, rušňovodiči) sa dá obstarat' tzv. „ostré“ križovanie, kedy ani jeden z vlakov nezastavuje. Takýto postup už ale vyžaduje dokonalú súhru všetkých a je aj mierne riskantný.

Ďalšie opatrenia sú už rozsiahlejšieho rázu a sú spojené s externými nákladmi. Musí ich vydať príslušná zodpovedná osoba a ich vydanie rozhodne neprislúcha žiadnemu elektronickému systému. Preto sa nimi nebudeme zaoberať. Medzi tieto opatrenia patrí [10]:

- Vedenie vlaku odklonom (po inej trase).
- Odrieknutie vlaku (buď bez náhrady, alebo pri osobnej doprave s náhradnou autobusovou dopravou)
- Zmena zastavovania vlaku (spojená s odrieknutím vlaku s častejším zastavovaním)

4.2 Detekcia narušení jazdy vlaku

Základným spôsobom detekcie narušení je v grafikone vyhľadať neprípustné situácie, ktoré by mali nastať. Všetky konflikty sa fakticky vyznačujú jednou spoločnou vlastnosťou: va vlaky sa nachádzajú na jednej traťovej koľaji a platí časové usporiadanie buď $VJAZD1 < VJAZD2 < ODJAZD1 < ODJAZD2$ alebo $VJAZD1 < VJAZD2 < ODJAZD2 < ODJAZD1$. Táto vlastnosť je daná tým, že ak by žiadne takéto usporiadanie neplatilo, vlaky by museli ísť riadne za sebou a k žiadnemu narušeniu by nemohlo dôjsť. Takisto dva vlaky idúce súčasne po iných koľajách (mimo zhlavia) nemôžu svoju jazdu narúšať. O konkrétnom narušení potom môžeme rozhodnúť podľa smeru jazdy vlakov. Pri protismerne idúcich vlakoch sa jedná o neprípustné križovanie, pri rovnakom smere ide o dobehnutie pomalšieho vlaku rýchlejšim.

Narušenia na zhlaví (za predpokladu, že sa nebudeme baviť už o ASJC) si môžeme dovoliť do určitej miery zanedbať a nechať ich vyriešiť obsluhu. V prípade podpory obsluhy stačí toto nejakým spôsobom detekovať a v najhoršom sa aspoň približne snažiť určiť kto tam bude prvý. Navyše výraznejší konflikt na zhlaví by sa časovo prejavil už aj na trati³.

³čas odjazdu bude skorší ako čas vjazdu druhého vlaku

To nám do určitej doby odľahčí databázu aj model o podrobnú reprezentáciu zhlavia (tzn. o skupiny ciest, vzájomne vylúčené cesty, pozície a počty výhybiek do traťových odporov a ďalšie záležitosti, ktorými sa zaoberá ZZ).

4.3 Základné spôsoby riešenia narušení

Tieto konflikty je nutné riešiť aj v súčasnosti a bez počítačovej podpory. Základné spôsoby riešenia konfliktov môžeme nájsť v železničných predpisoch [11]. Predpisy definujú u vlakov prednosť podľa ich kategórie. Tiež definujú, že výrazne zmeškaný vlak má dať prednosť ostatným vlakom, aby neboli zbytočne zmeškávané ďalšie vlaky. Ďalším opatrením ktorého sa môže dopravný personál zachytiť je tabuľka prípojných väzieb. Pri konvenčnom riadení trate o jednaní mimo predpisov musí rozhodnúť úsekový dispečer. Na trati s DOZZ je rozhodovanie jednoduchšie, panelový dispečer má na starosti väčší úsek trate a vďaka prehľadu, ktorý má, môže optimalizovať dopravu aj mimo rámec predpisov.

Základom riešenia narušení je stanovenie sledu vlakov. Keď sa zamyslíme nad tým, ako prebieha jazda vlakov, jediná činnosť potrebná k vyriešeniu narušenia je práve odstránenie podmienky narušenia jazdy spočívajúcej v usporiadaní príjazdov a odjazdov, teda vytvorenie takého sledu vlakov, ktorý ich neobsahuje.

4.4 Pokročilé spôsoby riešenia narušení

Základné metódy riešenia nám nemusia vždy postačovať, navyše v niektorých situáciách nemusia viesť na optimálne riešenia. Napríklad prednosť vlaku káže uprednostniť rýchlik pred osobným vlakom aj v prípade, že rýchlik by meškanie dokázal do najbližšej stanice pre nástup/výstup cestujúcich skrátiť, kým osobný vlak už nie. Je teda vhodné hľadať metódy, ktoré umožňujú vyhodnocovanie situácie v širších intenciách, než je len jednoduché posudzovanie každej situácie individuálne podľa predpisov.

V tejto práci budú prakticky použité len základné kritériá riešenia z dôvodu, že systém bude ešte po dlhú dobu slúžiť len ako podpora rozhodovania dopravného personálu a ten sa musí primárne riadiť predpismi. Navyše problematika optimalizácie dopravy a riešenia kolízií je natoľko rozsiahla (napr. v AŽD sa jej spolu s vývojom GTN venujú už viac než 10 rokov [37]), že svojim záberom ďaleko presahuje túto diplomovú prácu. Uvedieme však niektoré princípy a možnosti pokročilých metód ako ukážku možných smerov, ktorými sa vývoj systému môže ďalej uberať.

Základom dobrého spôsobu riešenia kolízií je správny odhad jazdnej doby a tým aj určenia miesta križovania. Vzhľadom k určeniu stavadla K-2002, pre ktoré systém vzniká budeme predpokladať prevádzku na jednokoľajnej a sústredíme sa viac na plánovanie križovaní ako na predbiehania vlakov

4.4.1 Narušenia ako optimalizačný problém

Ďalšou z možností je tak začať vnímať riešenie narušení ako optimalizačný problém. Optimalizačný problém definujeme kritériami, ktoré sa snažíme buďto minimalizovať, alebo maximalizovať [11]. Vhodnými kritériami sú:

- *Suma meškaní* - vhodné riešenie by sa určite malo snažiť minimalizovať dopady na sumu meškaní. Literatúra [11] navrhuje úpravu kritéria na súčin počtu meškajúcich vlakov a strednej doby, čo by malo lepšie zohľadňovať výkyvy v meškaní.

- *Počet brzdení a rozjazdov* - takisto je dobré minimalizovať spotrebovanú energiu na rozjazd

Ostatné kritériá, ktoré by mali byť zachované je možné realizovať zodpovedajúcim spôsobom ako pokutové funkcie pri ich porušení. Medzi ne patria napríklad:

- Zachovanie nástupišťa uvedeného v GVD
- Zachovanie prípojov
- Možnosť ohrozenia pohybu cestujúcich
- Využitie predpísanej traťovej koľaje pri vlaku so zastávkami
- Nestavanie vlakovej cesty len po cestové návěstidlo
- Dodržanie následných medzidôb

Na základe týchto kritérií môžeme stanoviť hodnotiacu (fitness) funkciu, ktorá nám umožní všetky riešenia porovnať a prípadne usporiadať podľa vhodnosti. Výsledkom optimalizácie potom bude jedno riešenie, prípadne paretovska fronta riešení z ktorej môžeme zvolené riešenie vybrať napríklad prioritizáciou kritéria sumy meškaní. Pri použití sumačných kritérií je možné použiť niektorú z metód matematického programovania. Podobný problém je zadaný pre lineárne programovanie. Pri lineárnom programovaní hľadáme algoritmicky, napr. pomocou simplexového algoritmu [38] v danom stavovom priestore riešenie minimum kritériálnej funkcie.

4.4.2 Fuzzy riadenie

Ďalšou z možných pokročilých variánt je použitie fuzzy regulátora, ktorý by rozhodoval o slede vlakov. Medzi fuzzy množiny môžeme zaradiť veľkosť meškania, schopnosť krátiť (negatívny rozdiel jazdnej doby v GVD a doby spočítanej simulátorom), prednosť vlaku, vzdialenosť do ďalšieho bodu v ktorom je sledované meškanie vlaku a prípadne ďalšie premenné. Fuzzy pravidlá môžu potom z tohto ohodnotenia určovať prioritu vlakov. Nevýhodou je, že oblasť v ktorej sa takéto riešenie pohybuje môže byť stále príruka.

4.4.3 Evolučné metódy

Zaujímavým v tejto oblasti by mohlo byť aj využitie evolučných metód. Plánovanie jazd vlakov je prevediteľné na problém *job-shop scheduling*, čo je jeden z tradičných problémov riešený evolučnými metódami [18]. Problém *job-shop scheduling* spočíva v plánovaní zákazkovej výroby na obmedzenom množstve strojov. Optimalizačným kritériom môže byť čas alebo efektivita strojov. Často sa tento problém definuje aj dynamicky tak, že sa niektoré stroje odstavujú kvôli poruche alebo údržbe. Redukciu optimalizácie grafikonu na problém *job-shop scheduling* môžeme vykonať tak, že ako stroje použijeme koľaje a ako zakázky vlaky, pričom žiadny stroj v postupe sa neopakuje. Ako optimalizačné kritériá použijeme čas, pričom ho môžeme doplniť dynamicky o výluky.

V prípade evolučných metód sa jedná o postupy v zásade stochastické, ktoré tým pádom nemajú presne danú dostupnosť ani čas odozvy. Vzhľadom k tomu, že stavadlo musí pracovať v reálnom čase, hoc pri plánovaní môžu byť odozvy dlhšie, je nutné nasadenie týchto metód dôsledne zväziť. Dokážu však pracovať s podstatne širšou oblasťou ako napríklad fuzzy riadenie.

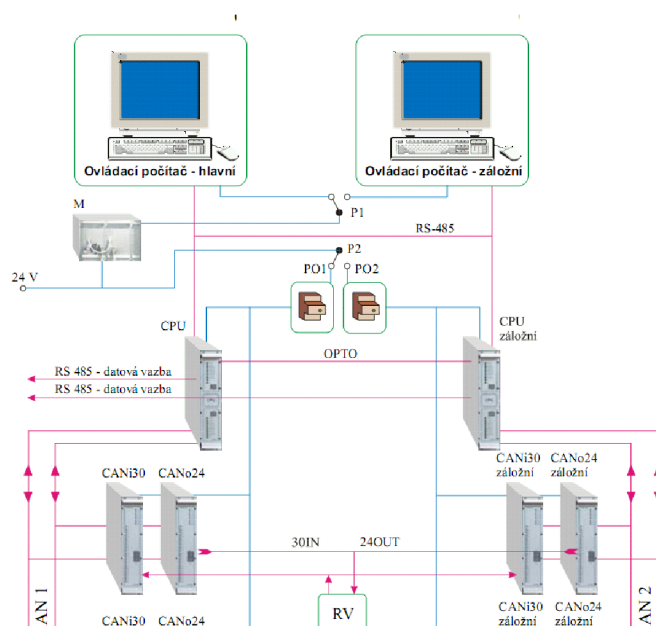
Kapitola 5

Analýza požiadaviek na telematickú nadstavbu

5.1 Stavadlo Starmon K-2002

5.1.1 Základný opis stavadla

Jedná sa o hybridné (čiastočne založené na mikroprocesorovej, čiastočne na reléovej technike) elektronické staničné zabezpečovacie zariadenie 3. kategórie TNŽ 34 2620 [22] Je určené do malých a stredne veľkých staníc s počtom výhybiek menším ako 32.



Obrázek 5.1: Nízkoúrovňová hierarchia stavadla K-2002 (cold spares)

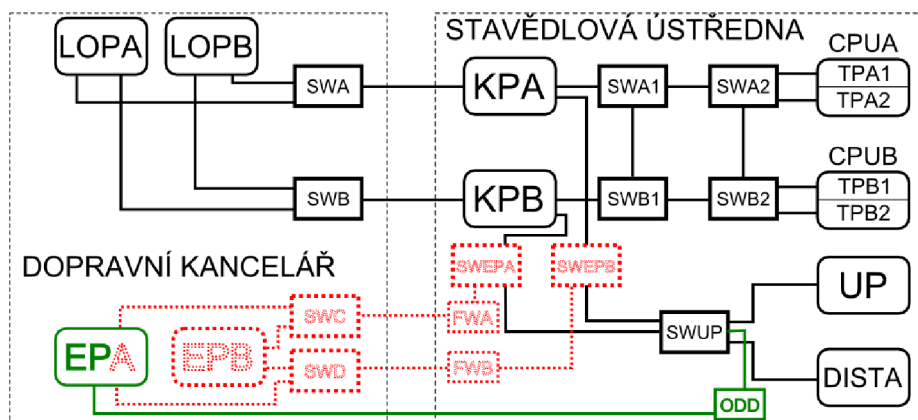
5.1.2 Architektúra stavadla

Elektronické stavadlo Starmon K-2002 sa skladá z niekoľkých úrovní. Každá úroveň je reprezentovaná príslušným hardware a využíva vlastné komunikačné prepojenia, čo je naznačené

na obrázku 5.1. V stavadle sú dve vetvy A a B, ktoré sú identické a navzájom sa zálohujú (vždy je v prevádzke len jedna vetva).

Zásadnou úrovňou je úroveň technologických počítačov. Procesorové moduly CPUA a CPUB (obsahujúce technologické počítače TPA1, TPA2, TPB1, TPB2). Technologické počítače realizujú bezpečnostné funkcie elektronického stavadla (zabezpečujú vlakové cesty, ovládajú výhybky, návestidlá, spracúvajú údaje o voľnosti traťových úsekov a prípadne obsluhujú ďalšie vonkajšie prvky či komunikujú s ostatnými zabezpečovacími systémami - traťovými a priecestnými) [16]. V každej vetve sa nachádzajú 2 počítače, ktoré pracujú paralelne a porovnaním ich práce sa koherentným spôsobom 2 z 2 zabezpečuje bezpečná práca. K technologickým počítačom sú vonkajšie prvky pripojené pomocou modulov CANi a CANo, vnútorná komunikácia prebieha po CAN zbernici. V stavadlovej ústredni tiež býva k dispozícii obslužný počítač pre údržbu UP a záznamník diagnostického systému Starmon DISTA.

Novšie verzie systému tiež navyše umožňujú jednotlivé stavadlá s využitím tzv. komunikačných počítačov spriahať do oblastí DOZ. Komunikácia s DOZ bola realizovaná vložением komunikačných počítačov (KPA, KPB). Komunikácia s ovládacími počítačmi a údržbovými počítačmi je zmenená z RS-485 na Ethernet. To je znázornené na obrázku 5.2. Okrem iného tiež môže využívať zálohovanie pomocou horúcich záloh (hot spares), bez nutnosti manuálneho prepínania na záložný okruh.



Obrázek 5.2: Vyššie úrovne K-2002 a zmeny potrebné pre pripojenie nadstavby

Počítač telematickej nadstavby, ktorý je umiestnený v dopravnej kancelárii bol v súlade s konvenciami použitými v samotnom stavadle, nazvaný *Evidenční počítač (EP)*. O celej nadstavbe budeme referovať aj ako o *Systéme EP*

5.1.3 Vyžadovaná podpora v stavadle

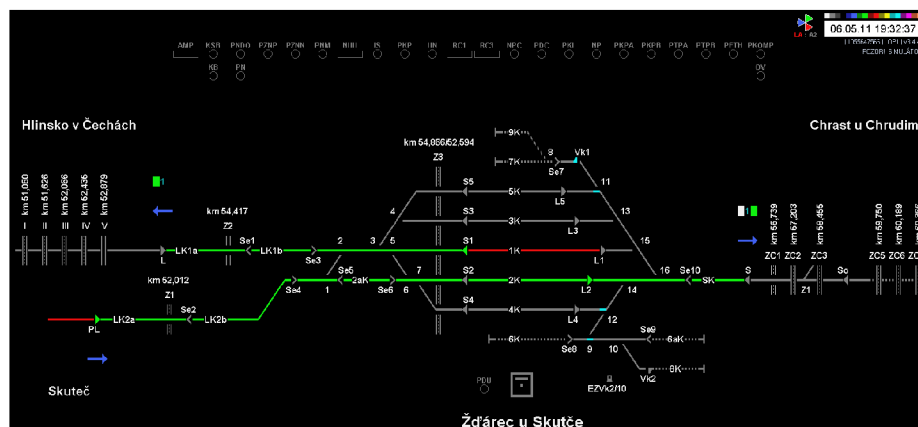
Pre činnosť telematickej nadstavby je nutné doplniť funkčnosť stavadla. Stavadlo nateraz neobsahuje podporu pre prenos čísla vlakov. Pri príprave tejto práce bolo diskutované doplnenie tejto časti do stavadla, implementácia prebieha.

Prenos čísla vlaku spočíva v tom, že okrem voľnosti koľaje a postavených jazdných ciest si stavadlo pamätá aj identifikátor (číslo vlaku), ktorý aspoň lokálne jednoznačne určuje, ktorý vlak sa v danej chvíli na danej koľaji nachádza [40]. Toto číslo vlaku je následne prenášané z koľaje na koľaj pri stavaní jazdnej cesty. Je treba ošetriť situáciu, keď dôjde k zrušeniu cesty (rozhodnúť, či číslo vlaku preniesť alebo nie) a situáciu keď dôjde k manipulácii vlaku pomocou posunu (prenos čísla bez zodpovedajúcej vlakovej cesty).



Obrázek 5.3: Ovládací počítač stavadla s prenosom čísel (SIMIS-W, DOT Trnava)

Tento prenos bude v stavadle K-2002 nateraz realizovaný mimo úrovne bezpečnej technológie, konkrétne v komunikačnom počítači, kde sú všetky potrebné dáta dostupné z dôvodu ich archivácie. Jeho programová výbava bude rozšírená o sieťové komunikovanie týchto údajov to, že tieto bude pravidelne broadcastovať do siete tak aby ich mohol prijať EP.



Obrázek 5.4: Rozhranie JOP na ovládacom počítači Starmon K-2002

Ďalšou nutnou funkciou je integrácia s ovládaním stavadla. Stavadlo sa ovláda pomocou obslužných počítačov (LOP, VOP). Toto rozhranie je nutné rozšíriť tak, aby vybrané povely do nadstavby vedel užívateľ zadať pomocou rozhrania JOP. Dôvod je ten, že v prípade vykonania operácie v EP sa táto nemá nateraz ako preniesť do stavadla, takže bude musieť tú istú operáciu tak či onak vykonať aj na obrazovke JOP, pričom navyše hrozí riziko omylu. Zoznam prenášaných úkonov vyžadovaných v stavadle je v prílohe C.

5.1.4 Napojenie systému na stavadlo

Keďže relevantná funkčnosť je umiestnená v komunikačnom počítači, EP bude pripojený k jeho výstupom. EP je k stavadlu možné pripojiť dvoma spôsobmi, znázornenými na obrázku 5.2. Základný spôsob (bez zálohovania EP, znázornený zelenou) je pripojenie do switchu SWUP prepínajúceho komunikáciu od počítačov KPA a KPB do počítača údržby a DISTA. V prípade vyvstania požiadavku na zálohovanie EP môžu byť medzi KPA, resp. KPB a SWUP zaradené switche SWEPA, resp. SWEPB, odkiaľ bude potom vedené linka do počítačov EPA

a EPB (znázornené červenou prerušovanou). Moduly FWA a FWB by slúžili na filtrovanie paketov tak aby umožňovali obojstranné napojenie EP na stavadlo. Switche SWC a SWD by riešili výpadok jedného z počítačov EP.

5.2 Komunikácia so stavadlom

Samotné elektronické stavadlo je tzv. určeným technickým zariadením v zmysle zákona o dráhach [33], keďže na jeho činnosti závisia neraz aj životy ľudí. To znamená, že musí spĺňať definované kritériá na bezpečnosť všetkých jeho súčastí, uvedené v časti 2.6. To činí zabezpečovacie zariadenie, vrátane HW a SW výbavy a zmien v ňom, zariadením veľmi nákladným.

Jedným z týchto kritérií je tzv. izolácia. Účelom izolácie je zabezpečiť systém proti či už úmyselnému alebo neúmyselnému zavlčeniu cudzích vplyvov do zariadenia. Pod neúmyselné patria vplyvy z oblasti technickej bezpečnosti¹, kde môžeme uvažovať napríklad rôzne rušenia a elektromagnetické vplyvy na jednotlivé komponenty (pôsobenie búrok, magnetického poľa v okolí vedení veľmi vysokého napätia, výkyvov napätia v el. sieti, EMC, ...) [41]. Medzi úmyselné vplyvy môžeme zaradiť incidenty z pohľadu informačnej bezpečnosti², okrem úmyselného zneužitia oprávnenou osobou (vnútorný útočník)[13], na čo zabezpečovacie zariadenie stavané nebýva.

Tomu musí byť podriadená aj komunikácia telematickej nadstavby a stavadla. V prípade, že by telematická nadstavba mala byť schopná posilať akékoľvek dáta do stavadla, musela by byť postavená bezpečnostne na jeho úroveň a sama by musela byť izolovaná od okolitého sveta. Toto je z pohľadu jej činnosti (komunikácia s ostatnými IS) nežiadúce a teda je nutné ju umiestniť mimo izolovanú oblasť.

Pripojenie EP do stavadla tak bude realizované pomocou ethernetovej linky tak, že všetky dátové vodiče budú na stavadle galvanicky izolované optoelektrickými súčiastkami pričom na linky vstupujúce do stavadla z EP budú zaťažované pull-down rezistormi, ktoré znemožnia akýkoľvek dátový prenos z EP do stavadla.

5.2.1 Komunikačný protokol

Zo spôsobu zapojenia jasne vyplýva základné obmedzenie, ktoré spočíva vo fyzickej nemožnosti poslať na stavadlo akékoľvek sieťové pakety vrátane riadiacich paketov transportnej vrstvy TCP a budeme sa tak musieť spokojiť s protokolom UDP bez akejkoľvek možnosti potvrdzovania či spoľahlivého prenosu vrátane ošetrenia tohto na aplikačnej úrovni.

Z týchto obmedzení musí vychádzať komunikačný protokol. Ako transportná vrstva bude použitý protokol UDP a všetku odolnosť je nutné zabezpečiť opakovaným vysielaním. V prípade straty môže byť užitočná funkcia opakovaného odoslania časti komunikácie, prípadne odoslanie aktuálneho stavu na všetkých koľajách/v dopravniciach. Tieto funkcie bude zadávať obsluha ručne pomocou počítača JOP na základe zobrazenej výzvy EP. Je tiež nutné zaistiť kontrolu správneho doručenia paketu pomocou bezpečnostného kódovania, predpokladá sa použitie CRC.

V základnom stave sa predpokladá vysielanie paketov periodicky tak, aby broadcastom nebola zaťažovaná sieť. Perióda musí však byť dostatočne krátka na to, aby prípadné zadanie úkonu od stavadla obsluha vnímala v podobe zmeny stavu v EP. Protokol by mal mať

¹angl. safety

²angl. security

dva základné druhy správ. Jedna, slúžiaca na prenos informácií o polohe vlaku, druhá na zaslanie informácie o zadanom úkone do stavadla.

5.2.2 Možnosti obojsmerného spojenia

V ďalších fázach sa počíta aj so zavedením obojsmerného spojenia, tzn. možnosti povelovať stavadlo z EP. Toto spojenie je nevyhnutné pre funkcionality ASJC. Vytvorenie takéhoto spojenia vyžaduje bezpečnostne preukázateľný systém identifikácie paketov v zariadení a hlavne preukázateľnú nemožnosť do zariadenia vydávať povely z režimu núdzovej jazdy, odpájanie spojenia stavadlom v prípade výskytu akejkoľvek chyby.

Po zavedení obojsmerného spojenia bude možné tiež rozšíriť možnosti Systému EP o niektoré bezpečnostne nekritické funkcie, ako zadávanie čísiel vlakov (odpadne potreba samostatného terminálu v staniciach susediacich s DOZ) alebo zmeny čísiel vlakov³ na základe grafikonu a údajov z operačného IS (zniži sa počet úkonov zadávaných obsluhou).

5.3 Činnosti vykonávané systémom

V procese evidencie a plánovania dopravy boli identifikované nasledovné činnosti, ktoré by mal Systém EP po nasadení prevziať na seba:

- Zber údajov z komunikačných počítačov stavadiel
- Vizualizácia údajov obsluhujúcemu personálu na stanovištiach
- Generovanie a práca s jednotlivými vrstvami grafikonu
- Odhad jazdných dôb s využitím simulácie
- Hľadanie a reportovanie kolízií v doprave
- Komunikácia s operačným IS
- Komunikácia s informačnými systémami pre cestujúcich (napr. systém HAVIS)
- Komunikácia s inými systémami
- Replikácia dát v rámci systému
- Interná identifikácia stanovišť a komunikačných služieb
- Výhľadovo: Odstraňovanie kolízií v doprave
- Výhľadovo: Automatická voľba jazdných ciest

5.3.1 Územné rozdelenie oblasti

Železničnú sieť môžeme z pohľadu EP rozdeliť na tri oblasti:

- *Riadená oblasť* – Oblasť pod kontrolou stavadla ku ktorému je EP pripojený a pre ktorú získava údaje zo stavadla, vykonáva evidenciu a prípadne aj plánovanie dopravy. Ďalej prípadne úseky trate po stanice bezprostredne s ňou susediace.

³V anglickej literatúre označované ako ACI - automatic code insertion

- *Informatívna oblasť* – Oblasti bezprostredne susediace s riadenou oblasťou. Pri týchto oblastiach je účelné získavať dáta z iných zdrojov (operačný IS) a poskytovať ich obsluhu pre lepší prehľad. Dáta z týchto oblastí môžu byť tiež dôležité pri stanovení podmienok pre plánovanie (počiatočné meškanie vlaku na vstupe do riadenej oblasti, situáciu mimo oblasť možno zahrnúť do plánovania dopravy).
- *Zvyšok železničnej siete* – nie je relevantný.

5.4 Dátové vstupy

5.4.1 Režimy práce EP

EP by mal byť schopný pracovať v dvoch režimoch:

- *Evidenčný režim* - v tomto režime program nepracuje s plánovaným grafikonom, ale iba eviduje a vizualizuje splnený grafikon na základe informácií získaných zo stavadla. Tento režim sa predpokladá v menších aplikáciách, ktoré nevyžadujú väčšiu spoluprácu s inými IS. V tomto režime sú nedostupné akékoľvek možnosti simulácie a plánovania dopravy. Prípadné doplňujúce údaje môžu byť získavané z iných informačných systémov.
- *Plánovací režim* - režim plnej práce, EP pracuje s internou reprezentáciou grafikonu, je dostupný plánovaný aj splnený grafikon, budúce pohyby je možné spresňovať informáciami z iných IS, je dostupné plánovanie a simulácia jazdy vlakov.

5.4.2 Údaje preberané zo stavadla

Základnými údajmi, ktoré budú nutné pre prácu systému sú údaje o pohyboch vlakov. Protokol na tieto pohyby je popísaný v samostatnej prílohe **D**. Ďalšími relevantnými dátami sú úkony pre EP zadane z ovládacieho počítača stavadla. Identifikáciu úkonov je možné nájsť v prílohe **C**.

Z pohľadu stavadla sú nám dostupné pohyby ako presuny medzi dvoma koľajami (skupinami koľají). Týmto presunom môže byť vjazd z trate do stanice, výjazd vlaku na trať, presun medzi dvoma skupinami koľají alebo iná manipulácia. Je reprezentovaný vlakovou cestou a jej jednotlivými fázami. Z pohľadu jazdných ciest sú pre telematickú nadstavu relevantné 3 časy:

- *Začiatok rozpadu jazdnej cesty* - prejazd čela vlaku okolo počiatočného návěstidla. Tento čas je časom v ktorom sa eviduje koniec pobytu vlaku na počiatočnej koľaji a začiatok obsadenia (časti) zhlavia vlakom.
- *Obsadenie cieľového obvodu* - vjazd čela vlaku na cieľovú koľaj. Od tejto doby sa eviduje začiatok pobytu vlaku na cieľovej koľaji.
- *Ukončenie rozpadu jazdnej cesty* - vjazd konca vlaku na cieľovú koľaj. Od tejto doby sa so zhlavím s voľným.

Pohyby je dôležité sledovať v správnom poradí tak, aby naozaj korešpondovali s trasou vlaku. V tomto smere máme výhodu, že vlaky sa stále (v porovnaní s komunikačnými linkami) pohybujú pomerne pomaly, a ani pre protokol bez potvrdzovania, týmpádom s možnými stratami dát, nám situáciu nebude komplikovať.

Okrem týchto údajov sa zvažuje aj zasielanie informácie o aktuálne vloženéj identifikačnej karte do čítačky PIK v obslužnom PC čipovej karte. To by umožnilo spoločnú autentifikáciu touto čipovou kartou ku stavadlu aj k systému. Táto možnosť sa ale v rámci tejto diplomovej práce neuvažuje a zatiaľ nebola nijako skúmaná či z hľadiska bezpečnosti alebo vykonateľnosti.

5.4.3 Údaje preberané z iných systémov

Zariadenie môže byť napojené na rôzne iné systémy. V evidenčnom režime môže získavať z operačného IS niektoré doplnkové údaje (celková trasa vlaku, údaje o zostave, personále, ...), ktoré následne poslúžia lepšej vizualizácii dopravy. Môže tiež čerpať údaje o pohyboch v susedných oblastiach a údaje ktoré by mohol využiť systém HAVIS. Nadstavba ale hlavne v tomto režime bude dáta za riadenú oblasť do tohoto IS zadávať.

V plánovacom režime bude rozsah čerpaných informácií z iných IS vyšší. Systém EP musí čerpať údaje potrebné pre plánovanie dopravy. Týmito údajmi sú všetky základné informácie (v rozsahu zhodné s tými, ktoré sa v riadenej oblasti získavajú zo stavadla) minimálne o vlakoch v susedných, ktoré prechádzajú do riadenej oblasti. O všetkých vlakoch začínajúcich mimo oblasť ďalej musí zistiť, blížiacich sa k riadenej oblasti, prípadne môže k vlaku so zadaným číslom z toho IS získať doplňujúce informácie. Doplnujúce informácie hovoria o parametroch vlaku a môžu byť použité pri kontrolách, ale najmä pre odhad jazdných dôb. Základnými doplňujúcimi parametrami sú:

- Hmotnosť vlaku
- Dĺžka vlaku
- Identifikácia činných hnacích vozidiel
- Dynamické parametre vlaku (triedy odporu vozidiel)
- Parametre brzdenia (skutočné brzdiace percentá a režim brzd)

Po zavedení plánovania dopravy resp. funkcionality ASJC bude nutné udržiavať takéto informácie čo najaktuálnejšie, keďže práve tieto slúžia k odhadovaniu pohybu vlaku. K tomuto účelu môže byť s výhodou použité práve toto spojenie. Pri absencii/chybe bude nutné parametre získavať od obsluhy, čo povedie na značné obmedzenie použiteľnosti celého systému.

5.4.4 Údaje zadávané obsluhou

Obsluha by pri štandardnej práci nemala do systému zadávať žiadne údaje, systém by si mal vystačiť s údajmi dostupnými zo stavadla a prípadne iných technických zdrojov. V prípade, že je požadovaná interakcia s užívateľom, mal by to systém dať najavo a žiadať len o potrebné údaje. V prípade nesúladu údajov v stavadle a v systéme potom musí na nesúlad upozorňovať do doby, než obsluha údaje neuvedie do súladu. Ďalej sa predpokladá ručné zadávanie v prípade nefunkčnosti stavadla/komunikácie so stavadlom (systém bude v tom prípade použitý ako elektronický dopravný denník). Ďalšou interakciou je vedenie zoznamu zavedených/odrieknutých vlakov.

Samostatne o interakciu bude cez klienta žiadať plánovanie dopravy ak sa vyskytne predpokladané narušenie jazdy vlaku. Toto hlásenie musí byť dostatočne výrazné (doplnené napr. zvukovou výstrahou), aby obsluha mohla hneď reagovať. Hlásenie bude obsahovať stručný popis konfliktnej situácie a výber navrhovaných riešení, pričom vybrané bude riešenie odporúčané plánovacou službou.

Samostatnou interakciou je prihlasovanie/odhlasovanie oprávnených osôb, ktoré sa bude diať loginom a heslom, prípadne výhľadovo čipovou kartou, spoločne s prihlásením na stavadlo.

Servisná interakcia bude potom zahŕňať zadávanie a zmenu grafikonov, prípadne úpravu niektorých nastavení.

5.4.5 Prepokladaní užívateľa

Základným užívateľom bude *osoba riadiaca dopravu*, ktorá pracuje s obslužným počítačom elektronického stavadla a s grafickým užívateľským rozhraním EP. Profil takéhoto užívateľa je nasledovný:

- Stredoškolské odborné vzdelanie, miestami vysokoškolské
- Potenciálne žiadne skúsenosti v práci s PC
- Potenciálne bez vzdelania technického smeru
- Je predpoklad práce v strese alebo pod tlakom
- Je predpoklad výbornej pamäte, schopnosti sústrediť sa a pozornosti k detailom
- Je schopný sa naučiť rozsiahly textový materiál a riadiť sa ním

Prispôsobenie ovládania takémuto užívateľovi by malo spočívať v poskytnutí viacerých možností ovládania. Toto ovládanie by malo byť čo najviac uniformné aj za cenu ústupkov, ktoré by inde mohli byť vnímané ako obmedzenie komfortu užívateľa. Prípadné menšie ústupky v intuitívnosti ovládania je možné kompenzovať dostatočnou dokumentáciou a oboznámením užívateľa s prácou systému. Nejedná sa o primárny pracovný prostriedok užívateľa (tým je ovládací počítač stavadla). Je predpoklad, že okrem obsluhy systému vykonáva súčasne množstvo súvisiacich činností. Z tohto dôvodu musí byť požadovaná interakcia maximálne obmedzená a systém musí vypisovať nevyhnutne minimálne množstvo upozornení, ktoré by zároveň mali byť dlhšiu dobu na očiach, keďže užívateľ nebude monitor sledovať systematicky.

Ďalším užívateľom je servisný technik. Môže sa jednať o povereného zamestnanca zákazníka, alebo pracovníka spoločnosti Starmon s.r.o. U toho užívateľa sa predpokladá dôsledné preškolenie smerom k dodávanému software a systém mu nie je nutné nijak ďalej prispôbovať.

5.5 Požiadavky na architektúru systému

5.5.1 Distribuovanosť

Distribuovanosť je podriadená stavadlu. Stavadlo obsahuje v základnej konfigurácii hlavný a záložný ovládací počítač. Oba počítače môžu zdieľať jeden počítač EP (ten je pripojený nezávisle od vetvy). Takisto je možné vybaviť časť trate, prípadne aj jednotlivé stanice

lokálnym ovládaním z iného miesta. Takéto pracovisko tiež musí obsahovať rozhranie nadstavby, pričom musí byť možnosť tieto pracoviská navzájom odovzdávať protokolom, čím by malo byť zabránené v kolíziách zadávaných grafikonových dát (ideálne by bolo odovzdanie dopravne v EP previazať s odovzdaním dopravne v stavadle).

V neposlednom rade je tiež možné vybaviť niektoré pracoviská len počítačom EP. Typickým príkladom je pracovisko vonkajšieho výpravcu, kde by dokázalo nahradiť nákladnejší monitor SZZ pričom by dokázalo poskytnúť viac informácií ako tento monitor. Tiež môže byť požadované samostatné pracovisko EP pre úsekového dispečera (ak toto nie je riešené pomocou operačného IS). Samostatné pracovisko tiež môže pri dostupnosti obojsmerného pripojenia do stavadla na zadávanie čísiel čísiel vlakov do stavadla.

5.5.2 Zálohovanosť

Telematická nadstavba nie je priamou súčasťou stavadla. To znamená, že aj v prípade jej nefunkčnosti je stavadlo schopné bezpečne fungovať. Výpadok nadstavby však bude znamenať zvýšenú záťaž pre obsluhu (v závislosti na miere integrácie nadstavby). Tento výpadok však nemôže ohroziť bezpečnosť dopravy, keďže nadstavba nepreberá žiadne bezpečnostné funkcie [41]. Toto bude platiť aj v prípade zavedenia ASJC, keďže prípadný pokus nadstavby o postavenie kolíznych ciest bude vyhodnotený a zadržaný v technologických počítačoch stavadla.

Nadstavba však musí byť schopná reflektovať požiadavky na zálohovanosť/distribučnosť stavadla. V prvej fáze, resp. nasadení stavdla v evidenčnom režime sa predpokladá jediná kópia databázy na stanovišti dispečera DOZ (tzn. výpadok komunikácie bude mať za následok znefunkčnenie celého systému). Pre rozsiahlejšie oblasti sa predpokladá samostatný databázový server, na ktorom budú bežať niektoré časovo náročné služby. V prípade potreby sa predpokladá zálohovanie niektorých častí v režime režime horúcej zálohy – hot-spares (dve vetvy systému budú bežať súčasne v prípade potreby sa automaticky prejde na druhú). Viac než zálohovanie 1:1 je dôležitejší prípadný systém lokálnych kópií databáz a z pohľadu komunikácie možnosť v prípade výpadku servera či komunikácie s využitím replikácie častí databáz obídanie chybných komunikačných liniek.

5.5.3 Prevádzkové záznamy

O každom povelu vydanom, prijatom a každom vykonanom úkone je potrebné viesť záznam v súlade s [23]. Záznam musí byť vedený tak, aby v prípade mimoriadnej udalosti mohli tieto záznamy poslúžiť vyšetrovaciemu tímu pri stanovení príčin tejto udalosti. Na záznamy sú kladené nasledovné požiadavky:

- Záznamy musia byť chránené pred zmenou dopravnými zamestnancami
- Záznamy musia byť vedené tak, aby žiadna funkčná časť systému pri rozpade komunikácie medzi časťami nezostala bez záznamu
- Záznamy musia byť pravidelne podľa stanoveného postupu archivované
- Musí byť jasne identifikovaný pôvodca každého vykonaného úkonu
- Záznamy o úkonoch obsluhy musia pôvodcu identifikovať preukázateľným spôsobom
- Zaznamenávané udalosti primerani upravujú predpisy správcu infraštruktúry a ďalšie normy

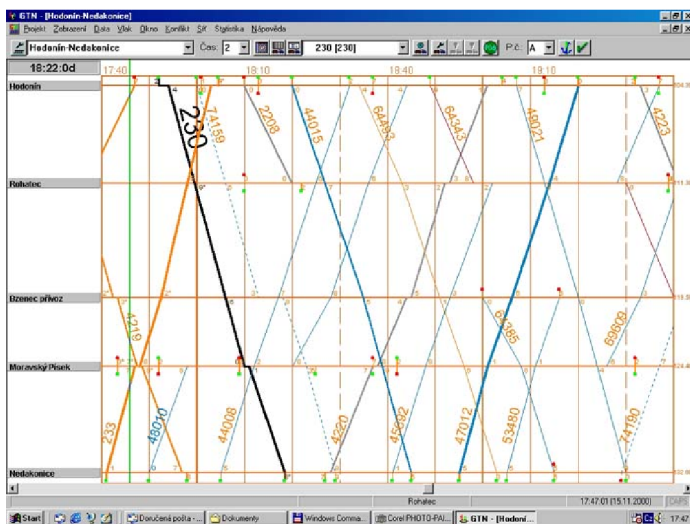
5.6 Existujúce riešenia v oblasti plánovania dopravy

Železničná doprava je odvetvím, v ktorom až donedávna platilo striktné rozdelenie na jednotlivé národné prostredia, a to na oboch stranách niekdajšej železnej opony. V súčasnej dobe sa už aj v tejto oblasti prejavujú určité znaky globalizácie, podporované aj Európskou úniou. Uvedený prehľad tak nie je zďaleka vyčerpávajúci, uvedené sú systémy, ktoré sa používajú v Českej, resp. Slovenskej republike, a mal by tejto práci postačovať. V zásade však takmer každý niekdajší národný, a časť menších výrobcov dodáva k svojmu zabezpečovaciemu zariadeniu podobnú nadstavbu (z ďalej nespomenutých uvedme napríklad Bombardier EbiScreen, Invensys (THALES) SystemaICS, Ansaldo RCC)

5.6.1 AŽD GTN4

4. generácia GTN (graficko-technologickej nadstavby) elektronického stavadla AŽD ESA svojim určením v zásade zodpovedá systému navrhovanému a implementovanému v tejto práci. Systém je určený k podpore zadávacích počítačov ESA11 prípadne DOZ1. Umožňuje tiež funkciu ASJC (automatizovaného stavania jazdnej cesty). Vstup dát do stavadla je riešený formou separátneho, tzv. bezpečného zadávacieho počítača, čo je počítač, ktorý prekladá datagramy z GTN na datagramy používané v rámci ESA. Tento počítač nemá softwarovo žiadnu možnosť ako vygenerovať paket z režimu núdzovej jazdy a prípadne sa ešte môžu pakety aj sledovať [1].

Program je implementovaný v jazyku C++ a je určený výhradne pre platformu Windows. Rozhranie je rozdelené na okná, ktoré obsahujú jednotlivé trate. Tieto okná majú potom spojené ovládanie fakticky sa takto rieši zobrazenie viacerých tratí. Zaujímavé je riešenie plánu obsadenia koľají, ktoré sa rozklikáva v splnenom grafikonu, pričom čiary splneného grafikonu plynule nadväzujú na čiary plánu obsadenia. To síce znižuje počet prepnutí rozhrania, no pre stanice s viac ako 10 koľajami je toto riešenie pomerne neprehľadné.



Obrázek 5.5: Rozhranie GTN4 [1]

Ovládanie je čiastočne integrované do zadávacieho počítača ESA. To znamená, že ponuky ovládacích prvkov v rámci JOP sú rozšírené o voľby, ktoré sa následne prenášajú na GTN. Je to spôsob, ktorým sa znižuje počet ovládacích zásahov do GTN a nutnosť využitia

klávesnice a myši určenej pre počítač GTN. Zaujímavou bola snaha použiť GTN ako súčasť ZZ po nehode v Moravanoch, keď sa pomocou GTN (hoc nie je certifikovaná na žiadnu úroveň SIL) hlásila možná strata vlaku zo stavadla (vplyvom narušenia činnosti detekčných prostriedkov) [12].

Zariadenie je tiež určené na integrovanie ďalších podporných systémov, napr. rozhrania na informačný systém pre cestujúcich, tiež dokáže spracovať výstupy senzorických kompletov ASDEK⁴.

5.6.2 SIEMENS ILTIS

Siemens ponúka dve riešenia v tejto oblasti. Prvým riešením je Vicos OCS, ktorý funguje podobne ako GTN4, avšak v o dosť väčšom merítku, používa sa na sledovanie a plánovanie dopravy na veľkých segmentoch trate. Tento systém sa však u nás nepoužíva [39].

Druhá úroveň je modul vstavaný priamo do systému ILTIS, čo je systém slúžiaci primárne ako ovládací modul DOZ (čiže sa jedná v podstate o rozšírenú JOP). Zaujímavosťou je, že celý tento systém (vrátane modulu na evidenciu a plánovanie) je pojatý ako súčasť zabezpečenej oblasti, je certifikovaný na SIL2, a je teda principiálne izolovaný. Tento modul slúži ako podpora výpravcu a spracúvajú sa doň smenové plány tak, aby sa výstup dal použiť ako základ pre ASJC [30]. Tento systém sa používa na sieti ŽSR, konkrétne na trati Bratislava - Nové Mesto nad Váhom. Na tomto pracovisku som mal možnosť exkurzie a odtiaľ vychádzajú aj poznatky k tomuto bodu.

Systém je podobne ako zvyšok ILTIS naprogramovaný v ObjectADA a využíva grafický systém Motif [30]. Je rozdelený na dve okná, prvé okno zobrazuje grafikon vlakovej dopravy, druhé okno zobrazuje záznam vydaných povelov ASJC. Funkčnosť ASJC je automatizovaná, nie však autonómna. To znamená, že systém má zadanú presnú trasu vrátane koľají a v prípade, že nie je možné v časti trasy postaviť vlakovú cestu, systém čaká. Zmenu trasy môže vykonať len obsluha, editácia sa deje grafickou formou v koľajovom pláne ILTIS. Z princípu SIL2 potom vyplýva, že všetky dáta sa do systému pripravujú priamo v jeho rámci na oddelenom pracovisku. To znamená, že všetky zmeny grafikonu sa doň musia zadávať ručne. Opačným smerom je komunikácia riešená pripojením k systému Vicos, resp. v prípade ŽSR je použitý prenos pomocou linky RS-232 na prepojovacie pracovisko, ktoré slúži ako automatický zadávací bod do operačného informačného systému Oltis VDS. Smerom do stavadla je možné po tejto linke zadávanie len čísiel vlakov [8].

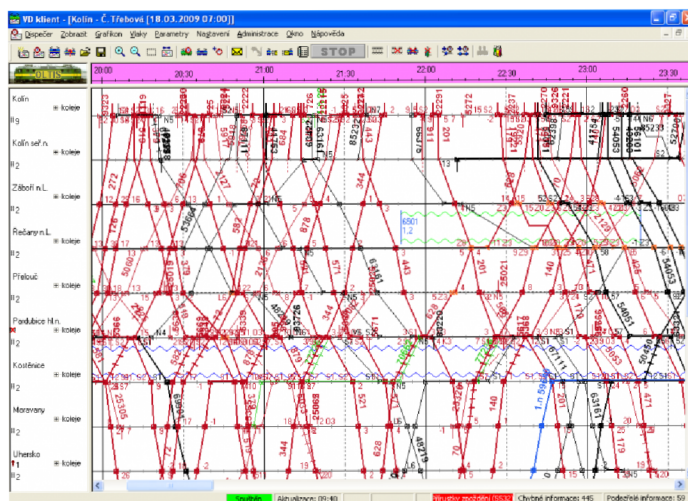
5.6.3 Oltis CDS

Určenie tohto systému je mierne odlišné od predošlých dvoch. Jedná sa o komplexný operačný informačný systém, ktorý je určený pre evidenciu dopravy a jej plánovanie v celej železničnej sieti (podobne ako Vicos OCS), avšak nie je priamo prepojený so žiadnym zabezpečovacím zariadením. Je používaný u ČD (pod marketingovým názvom ISOŘ - Informační systém operatívniho říení) a ŽSR (pod marketingovým názvom VDS - Vlakový dispečerský systém). Jeho základom je sieť zadávacích bodov, slúžiacich ako EDD (elektronický dopravný denník). V prípade, že je k dispozícii elektronické stavadlo s vlastným evidenčným systémom, je elektronický dopravný denník nahradený automatizovaným zadávacím pracoviskom, ktoré informácie z tohto systému prekladá na správy CDS. Tieto informácie sú potom komunikované prostredníctvom intranetu správcu infraštruktúry do centrálnej

⁴Slúžia na kontrolu stavu vozňov za jazdy - detekcia horkobežnosti ložísk, plochých miest na kolesách, zablokovania bŕzd

databázy a na pracoviská dispečerov, ktorí na ich základe plánujú dopravu a rozhodujú o dopravných opatreniach.

Uložené informácie sa využívajú pri fakturácii dopravnej cesty, pri analýze zmlúv o výkone vo verejnom záujme a prípadných mimoriadnostiach [10]. Aplikácia má jedno základné okno, ktoré zobrazuje buď formulár EDD, alebo splnený grafikon, podľa toho či je to zadávacie pracovisko, alebo pracovisko dispečera [27].



Obrázek 5.6: Rozhranie Oltis CDS [27]

Kapitola 6

Architektúra a návrh systému

6.1 Základné princípy

6.1.1 Účel celého systému

Ako zhrnutie predošlých kapitol uvedme, čo vlastné má celá telematická nadstavba, respektíve celý Systém EP robiť:

- V prvom rade má autonómne viesť elektronickú dopravnú dokumentáciu, to znamená elektronický dopravný denník a evidenciu splnenej dopravy. K vedeniu tejto dokumentácie má vhodným spôsobom využiť údaje získané zo stavadla a údaje získané z operačného informačného systému.
- Ďalej má autonómne zadávať informácie o pohybe vlakov v riadenej oblasti do operačného informačného systému (tzn. predávať doň grafikonové dáta zo stavadla)
- Má poskytovať výpočtovú podporu obslužnému presonálu v podobe odhadovania jazdnej doby vlaku na základe numerického modelu a napokon detekciu kolízií na základe znalosti jazdných dôb jednotlivých vlakov
- Výhľadovo poskytovať rozhranie na stavadlo v podobe zadávania čísel na hraniciach riadenej oblasti, prípadne rozhranie na zadávanie čísel z operačného informačného systému.
- Výhľadovo poskytovať rozhodovacia podporu pri riešení narušení grafikonu, riešiť kolízie autonómne a napokon automaticky za obsluhu voliť jazdné cesty tak aby sa minimalizovalo meškanie vlakov v riadenej oblasti.

6.1.2 Reprezentácia grafikonových dát

Hlavnými pracovnými dátami budú dáta o jazde vlakov (grafikonové dáta). V evidenčnom režime sa tieto dáta obstarávajú ad hoc zo stavadla, s prípadným doplnením dátami z operačného IS. Takúto úroveň môžeme nazvať fyzické dáta a tvoria najnižšiu vrstvu pre prácu s grafikonovými dátami.

V plánovacom režime je k dispozícii grafikon vlakovej dopravy, zadaný do jeho databázy. Tento grafikon je možné pripraviť ručne v nástroji ktorý je jeho súčasťou prípadne je možné ho s využitím tohoto programu importovať z iných zdrojov. Takto zadaný grafikon môžeme považovať naopak za najvyššiu vrstvu pre prácu s grafikonovými dátami.

Je nutné zabezpečiť transformáciu grafikonu na dáta s ktorými je možné pracovať. Samotná reprezentácia grafikonu je na toto nevhodná, keďže v sebe obsahuje zložitý systém obmedzení a sama o sebe môže obsahovať neurčitosti v podobe vlakov podľa potreby a narušenia v podobe rušiacich vlakov. Do systému je tak nutné vložiť medzivrstvu a pred narušením do tabuliek fyzických grafikonových dát je teda nutné transformovať ho do podoby ktorá je principiálne bezkolízna (tzn. vyriešiť všetky narušenia od rušiacich vlakov) a ktorá obsahuje len vlaky ktoré naozaj pôjdu (tzn. roztriediť vlaky na zavedené a odrieknuté).

Podobný problém riešia aj autori ostatných systémov, pričom väčšina si vyberá riešenie v podobe smenových plánov [8] [37] [27]. Smenovým plánom sa označuje rozumne malý výsek z grafikonu (mal by byť menší než 24 hodín), ktorý obsahuje vyriešené narušenia od jazdy vlakov a obsahuje len vlaky zavedené. Najčastejšie sa volí dĺžka 12 hodín (to znamená, že každý deň je pokrytý 2 plánmi). Dĺžka 12 hodín sa kryje s dĺžkou smeny dopravných zamestnancov, odtiaľ názov smenový plán.

6.1.3 Reprezentácia času

V prípade pohybu vlaku sa u každého pohybu evidujú nasledovné časy:

- Čas podľa GVD - dostupný v prípade, že je vzorom vlaku grafikon
- Čas predvídaný - odhadnutý čas, môže byť buď výsledkom buď ručného zadania, vypočítaný simulátorom alebo prevzatý z iného IS
- Čas skutočný - reálny čas, získaný buď zo stavadla alebo z iného IS, ručné zadanie sa nepripúšťa
- Korekcia času - Duálne ku skutočnému času, avšak zadaný ručne. Oddelené zadanie skutočného času je vhodné z dôvodu porovnania práce obsluhy s tým čo sa získa z technických prostriedkov (stavadlo, iné IS), tiež vhodné ako zdroj porovnania pri výpadku komunikácie. Časti kam nie sú komunikované časy napr. zo stavadla musia riešiť prácu ručným zadávaním, po obnovení spojenia je možné údaje preniesť a na základe

Tieto časové údaje sa vyplňajú postupne. Ako prvý je známy čas podľa GVD. Následne sa pri prvej vhodnej udalosti s využitím plánovacej služby a simulátora počíta čas predpokladaný. Čas skutočný a korekcia času sú duálne a zadávajú a podľa potreby. Časová korekcia má vždy prednosť pred skutočným časom zo stavadla. Obsluha môže korigovaný čas zrušiť.

6.1.4 Dynamika dát

Dáta je možné rozdeliť z pohľadu zmien na dva druhy. Statické dáta sa v bežnej prevádzke nemenia a reakciu systému na ich zmenu je možné odložiť, prípadne podmieniť až reštartom príslušných aplikácií a modulov. Medzi statické dáta patria:

- Všetky dáta o riadenej oblasti (definície dopravných bodov, koľají a oblastí). V prípade takejto zmeny musí spravidla dôjsť aj k zmene SW v stavadle a jeho následnému preskúšaniu v zmysle príslušnej normy, čo bude vyžadovať aj preskúšanie väzby EP a stavadla.

- Číselníky parametrov vlakov (kategórie, dopravcovia, hnacie vozidlá, číselník kalendárnych obmedzení). Takéto zmeny sa dejú pomerne zriedka (pri zmene grafikonu, pri zmene dát o riadenej oblasti), resp. pri urgentnej prevádzkovej potrebe si dokáže obsluhujúci personál vhodným zadáním dát poradiť aj bez ich zmeny. V takýchto prípadoch je však účelné zmenu realizovať bez reštartov.

Ako na dynamické dáta je nutné pozeráť na všetky vrstvy grafikonových dát, to znamená na grafikon a grafikonové trasy, na smenové plány a plánované trasy a najmä na fyzické dáta o plánovanej doprave.

6.1.5 Časová platnosť dát

Grafikonové dáta majú definovanú platnosť¹. Príslušné súbory dát (pre každý grafikon a pre každý smenový plán) tak musia byť označené časom začiatku a časom platnosti. Grafikonové dáta pritom môžu podliehať zmenám vyplývajúcim z procesu tvorby grafikonu prípadne mimoriadnym zmenám. Dáta smenových plánov sa môžu meniť napríklad z dôvodu časových prechodov (viď nižšie).

Pri zmene dát je nutné zachovať ich kontinuitu. To znamená, že každý súbor záznamov je najprv označený konečným termínom platnosti a zmeny sa do systému musia zanašať zásadne tak, že sa upravia konečné termíny platnosti starých záznamov a následne vkladajú nové tak, že konečný termín platnosti zodpovedá pôvodnému konečnému termínu platnosti (prípadne neskoršiemu dátumu) a termín začiatku platnosti novému konečnému termínu.

Zaujímavým z tohoto pohľadu je letný čas [19]. Letný čas sa zavádza pre potreby ekonomickej efektívizácie a prispôsobenia pracovného režimu dennému svetlu. Jeho zavedenie spočíva v tom, že v stanovený jarný deň (spravidla kocom marca) je k stredoeurópskemu času pripočítaná jedna hodina a v cca. koncom októbra zasa odpočíta. Tieto zmeny sú pre EP ako systém založený na časovej súslednosti a stanovovaní času pohybu významné. Jarný prechod môžeme síce v zásade zanedbať (v dátach sa objaví 60 min medzera a dotknuté vlaky pôjdu zmeškané), pri jesennom to tak už nebýva. Pri jesennom prechode sa 2x vyskytuje čas medzi 2:00 a 2:59 vrátane. Počas prvého výskytu ale nie je možné zastaviť dopravu a je nutné sa s týmto vysporiadať inak.

Presnosť dátumových typov v SQL aj Delphi sú jednotky milisekúnd [7]. Grafikon rozlišujeme po 30 sekundách. To znamená že máme pomerne vysokú rezervu pre zobrazenie. Navrhnutý postup riešenia preto spočíva v tom, že sa ku každému záznamu pohybu zavedie príznak `CASPRECHOD` a minutová zložka sa vydolí dvoma. Ku druhému prechodu (po zmene času) potom bude pripočítané 30 min. Takýmto spôsobom do prechodovej hodiny umiestnime dáta za celých 120 minút bez toho, aby sa porušila časová súslednosť pohybov, prípadne museli byť aplikované zložitejšie kompenzácie.

6.1.6 Prevádzkové záznamy

Prevádzkový záznam každej programovej jednotky sa bude obstarávať od každého úkonu v dvoch kópiách. Prvá kópia bude uložená v databáze a v prípade zadania do lokálnej databázy bude replikovaná do databázy centrálnej. Druhá kópia bude uložená v dátovom súbore na lokálnom pevnom disku počítača na ktorom programová jednotka beží.

¹v prípade grafikonu 1 rok, v prípade sm. plánu 12 hodín

6.2 Architektúra

6.2.1 Logická architektúra

Vychádza z činností identifikovaných v časti 5.3. Je vidieť, že väčšina činností je pomerne špecializovaná a nevyžaduje prepojenie s inými časťami iné, než je špecializovaný súbor. Väčšina činností tiež vyžaduje samostatnú prácu nezávisle na ostatných, takisto sú rozdielne ich nároky na čas. Tiež väčšina činností nevyžaduje priamu interakciu s užívateľom formou užívateľského rozhrania. Takýto spôsob práce v zásade pripomína agentný systém [34]. Každú definovanú činnosť vykonáva jeden (plánovanie, komunikácia s operačným IS) prípadne viac agentov (replikácia, iné druhy komunikácie). Agenti medzi sebou komunikujú (ukladanie získavaných dát do databázy, aktualizácia dát, atd. Pričom medzi sebou môžu aj spolupracovať (typická bude spolupráca agenta obstarávajúceho plánovanie dopravy so agentom-simulátorom, ktorý mu bude stanovovať jazdné doby). Z tohoto prístupu vychádza uvažovaná architektúra systému, kde pre každú činnosť je vyhradená oddelená programová jednotka ktorá autonómne plní definované úlohy.

S takýmto rozdelením vyvstáva potreba komunikácie aplikácii. Tá sa ale v zásade okrem pár synchronizačných prípadov obmedzuje na dáta odosielané do databázy. Snažiť sa preto podchytiť všetky zmeny vlastným komunikačným protokolom by zrejme vyžadovalo rozsiahly protokol a náročnú implementáciu servera. Ako vhodnejšie sa preto zdá byť riešenie s priamym pripojením na databázový server. V takom prípade je nutné rozdeliť všetku programovú logiku medzi klientov a databázový server. Prípadné odlišnosti uvedieme v implementačnej časti práce.

Softwarovú výbava systému EP tak môžeme rozdeliť na jednotlivé jednotky, ktoré budeme nazývať *stanovištia*. Jedno stanovište je samostatne bežiaci aplikácia (agent), ktorá nezávisle komunikuje s databázou, prípadne aj s inými stanovišťami pomocou vlastného sieťového protokolu nad TCP/IP. Stanovištia je možné rozlíšiť na

- EP klienti - klientská aplikácia s GUI slúži na interakciu s obsluhou
- automatické stanovište - neinteraktívna služba plniaca svoj účel (simulátor, plánovač, komunikačné služby).
- Replikačná služba - predáva údaje medzi databázami

Jednotlivé stanovištia boli identifikované na základe činností, ktoré budú vykonávať v tabuľke 6.1.

6.2.2 Fyzická architektúra

Uvedenú logickú architektúru je nutné namapovať na fyzické počítače. Na jednom počítači môže bežať max. 1 klient EP s interaktívnym rozhraním a 0 až n automatických stanovišť. Tieto počítače je nutné rozmiestniť tak, aby boli vhodným spôsobom rozdelené komunikačné služby.

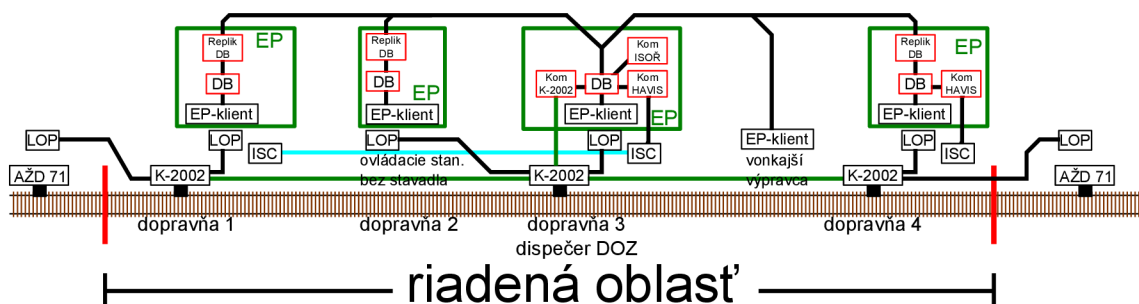
Tiež je vhodné do každého počítača, ktorý je buď napojený na nejakú externú komunikáciu, alebo je možnosť, že k nemu dorazí obsluha, umiestniť kópiu databázy tak, aby sa z ovládacích pracovísk pri prerušení komunikácie dala táto komunikácia zásobovať údajmi buď ručne (ak vypadne spojenie od zdrojov dát), prípadne aby bolo možné grafikonové dáta získavať a ukladať (a po obnovení komunikácie ich sprístupniť zvyšku systému). Lokálne databázy budú prepojené pomocou replikačných služieb, pričom fyzicky bude replikátor umiestnený na počítači s lokálnou databázou.

Stanovište	Druh	Činnosť
EP grafický klient	EP klient	Vizualizácia a zadávanie fyzických grafikonových dát obsluhou
EP editor GVD	EP klient	Tvorba, príprava, import a generovanie vyšších vrstiev grafikonových dát
Spojovacia služba	aut. stan.	Identifikácia stanovišť, kontrola prístupov do databázy, informácie o stave
Simulátor jazdy vlaku	aut. stan.	Odhad jazdných dôb (predvídaných časov) na základe dynamického modelu jazdy vlaku
Dopravný plánovač	aut. stan.	Hľadá a identifikuje kolízie v doprave
Rozhranie na stavadlo	aut. stan.	Pripojené na KP stavadla získava grafikonové dáta
Ostatné kom. služby	aut. stan.	Oddelené stanovištia pre komunikáciu s inými systémami (operačný IS, IS pre cestujúcich, ...).
Replikátor databázy	Replik. služba	Obojsmerné prepojenie databáz, prenos údajov podľa definovaných pravidiel

Tabulka 6.1: Typy stanovišť v Systéme EP

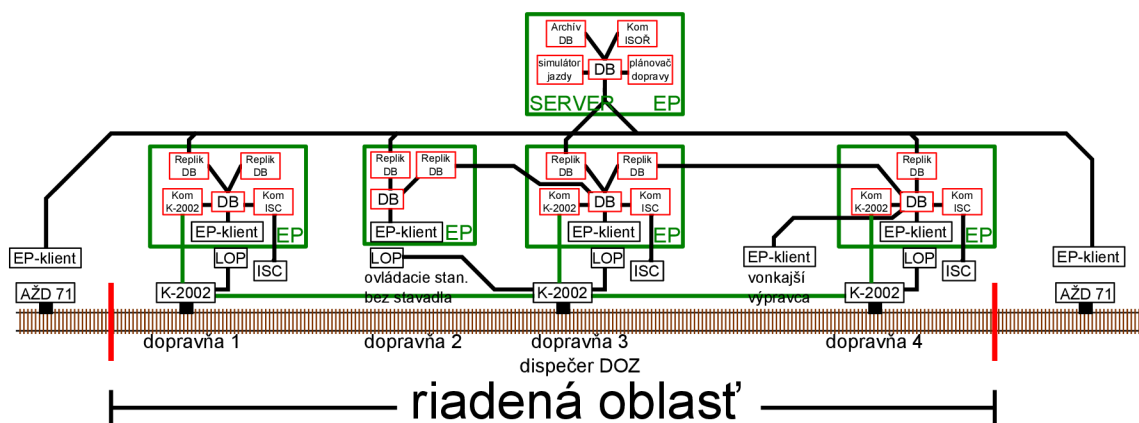
V systéme by pri použití v plánovacom režime by mal byť centrálny databázový server, ktorý bude spracúvať údaje z celej riadenej oblasti. Na tomto počítači vzhľadom k jeho predpokladanej výkonnosti je tiež možné umiestniť výpočtovo a komunikačne náročné služby simulátora a dopravného plánovača. Softwarové vybavenie všetkých identifikovaných fyzických jednotiek je uvedené v prílohe E.

Systém môže byť nasadený dvoma spôsobmi. Spočiatku sa predpokladá použitie menšieho množstva zariadení s tým, že systém bude slúžiť len v evidenčnom režime. Môže a nemusí pritom sprostredkovať informácie do iných informačných systémov. Prípadné zadávanie čísiel vlaku prebieha prostriedkami stavadla (v staniaciach susediacich s riadenou oblasťou sú na obrázku 6.1. Komunikácia s informačnými systémami pre cestujúcich môže byť jedno alebo viacbodová (pri jednobodovej následne komunikujú medzi sebou prostriedky tohoto informačného systému. Komunikácia s operačným IS by mala prebiehať vždy centralizovane, resp. prípadne zálohovane ale vždy len jednou linkou z celej riadenej oblasti naraz [42].



Obrázek 6.1: Topológia Systému EP v evidenčnom režime

V plánovacom režime (obrázok 6.2) je už plná výbava systému vrátane obojsmerného pripojenia na stavadlo. Vidíme, že systém na seba prebral zadávanie čísiel vlakov zo susedných oblastí, rozšírilo sa aj vybavenie niektorých stanovišť a bol pridaný server. Systém EP v jednotlivých staniach bol vzhľadom k replikácii databáz a pripojeniu na iné IS upravený ako autonómny (v minimálnej topológii boli všetky fyzické jednotky pripojené do centrálnej DB aby sa dalo s ich pomocou premostiť lokálny výpadok. Klienti EP v susedných staniach nemajú vlastnú databázu, keďže ich jediným účelom je oznamovanie a ručné zadávanie čísiel prichádzajúcich vlakov. V prípade rozpadu komunikácie takéto nahlasovanie musí prebiehať ručne telefonicky a identifikáciu vlakov obstará obsluha ručným zadaním do ovládacieho počítača. Skladovať dáta offline aj v týchto staniach je tak neúčelné. Obdobne v prípade dopravni kde je fyzických jednotiek viacero na pracoviskách, kde nie je k dispozícii ovládací počítač stavadla (napr. pracovisko vonkajšieho výpravcu).



Obrázok 6.2: Topológia Systému EP v plánovacom režime

6.3 Databáza a údaje

Návrh databázy vychádza z požadovaných dát zadefinovaných v predošlých kapitolách prípadne implementačných detailov doplnených počas práce na programe. Schéma databázy je v prílohe F prípadne na priloženom CD.

6.3.1 Bezpečnostné predpoklady

Žiadne zariadenie v systéme neobsahuje údaje podliehajúce v rámci systému utajeniu (okrem identifikačných údajov a prístupových hesiel). To znamená, že okrem týchto dvoch položiek nie je nutné riadiť prístup k dátam v databáze, čo sa týka prístupu na čítanie. Dôležitejšie je riadenie prístupu k databáze a to z pohľadu nepopierateľnosti zodpovednosti. Je tiež nevyhnutné udržať integritu databázy vzhľadom k častým zmenám, ktoré sa v nej budú vykonávajú.

6.3.2 Uživateľské práva

Z pohľadu prístupu je nutné rozlíšiť dve úrovne prístupu. Prístup stanovišťa a prístup užívateľa. Ak je stanovišťom klient EP, nesmie sám o sebe meniť dáta, zmenu dát môže vykonať len ak je na stanovište prihlásený používateľ a s oprávneniami príslušného používateľa.

Užívateľské práva pre stanovištia sa definujú z pohľadu dopravných bodov. Z tohto pohľadu má každý dopravný bod stanovené tri úrovne v ktorých môže stanovište (užívateľ prihlásený na klienta) pristupovať k údajom:

- *Hlavné stanovište* – Z tohto klienta smie užívateľ korigovať a mazať fyzické grafikonové údaje, môže preň vytvárať údaje plánovaného grafikonu, môže zadávanie grafikonových dát odovzdať na ľubovoľného klienta v systéme.
- *Pomocné stanovište* – Z tohto klienta smie užívateľ vykonávať úpravy, len ak mu bol daný dopravný bod odovzdaný z hlavného stanovišťa a odovzdať ho môže len späť na hlavné stanovište.
- *Zadávacie stanovište* – Len z tohto stanovišťa (automatického), alebo klienta (v prípade, že sa dáta zadávajú ručne) sa smú zadávať údaje o skutočných časoch jazdy vlakov. Stanovište môže byť k databáze pripojené buď priamo, alebo ho môže zastúpiť replikátor databázy ale len v prípade, že tieto údaje majú pôvod na určenom stanovišti/klientovi. Zadávacie stanovište je naviazané na fyzickú architektúru a nie je možné ho meniť.

Je dôležité podotknúť, že toto obmedzenie užívateľských práv slúži len na zabránenie neúmyselným konfliktom údajov. Nie je prvkom informačnej bezpečnosti a nemusí byť implementované tak, aby bol systém chránený pred úmyselným porušením týchto obmedzení. Medzi používateľmi potom môžeme rozlišovať jednotlivé užívateľské role.

- *Dopravný zamestnanec* – smie upravovať fyzické grafikonové dáta, smie generovať smenový plán, nesmie zasahovať do dát o oblasti a do dát o užívateľch
- *Pracovník údržby* – úplný prístup, nesmie však pod svojim menom zasahovať do fyzických grafikonových dát
- *Administrátor* – úplný prístup

6.3.3 Reprezentácia sledovanej oblasti

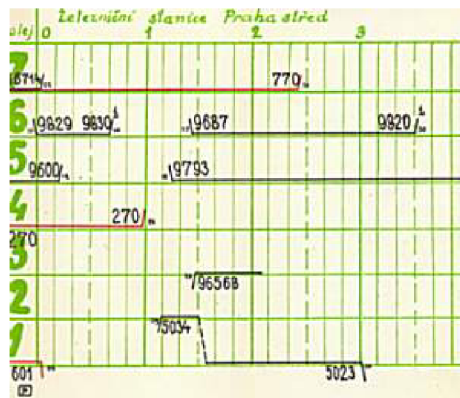
Sledovaná oblasť je v databáze reprezentovaná pomocou dopravných bodov. Dopravný bod predstavuje buď dopravňu alebo iné železničné zariadenie relevantné pre sledovanie pohybu vlakov. Dopravné body môžu byť troch tried, pričom každá má vlastnosti aj triedy predošlej. Identifikácia dopravného bodu je pomocou unikátneho čísla, ktoré prideluje príslušný operačný IS (u SŽDC sa napr. jedná o číselník Sei70 [42]).

Dopravný bod - základný bod na trati

Riadený dopravný bod - bod voči ktorému sa vzťahuje evidencia dopravy

Dopravná - doprava s koľajovým rozvetvením

Spojnicami bodov sú koľaje. Rozlišujú sa na staničné (v dopravniciach) a traťové (medzi dopravniami). Potrebné údaje sa riadia [42]. V tabuľke OBLAST sú ďalej utvorené jednotlivé podoblasti dopravných bodov tak, ako budú rozdelené na vizualizáciu. Väzba medzi dopravným bodom a oblasťou je typu $m:n$.



Obrázek 6.3: Plán obsadenia koľají, zdroj:www.masn.wz.cz

6.3.4 Reprezentácia fyzických grafikonových dát

Každý vlak je určený trojicou: *číslo vlaku*, *číslo následu*, *dátum započatia jazdy*. Každý pohyb je určený identifikátorom vlaku, ID koľaje a ID dopravného bodu (redundantné a dohľadateľné cez ID koľaje, používané pre rýchlejšiu identifikáciu záznamov danom dopravnom bode). Nepoužitím literatúrou často odporúčaných [7] [4] náhradných kľúčov sa sleduje ľahšia replikácia prípadne aktualizácia databáz po obnovení spojenia keďže dáta budú mať jeden a ten istý identifikátor vo všetkých kópiách databázy.

6.4 Špecifikácia programových jednotiek

6.4.1 Grafický klient

Grafický klient slúži primárne ako rozhranie pre obsluhu. Slúži na vizualizáciu dát, ručné zadávanie a korekciu dát, prípravu smenových plánov a generovanie plánovaného grafikonu. Vizualizácia dát je potrebná týmito spôsobmi spôsobmi:

Zobrazenie nákresného CP – Pre každú oblasť zobrazí list nákresného cestovného poriadku. Z pohľadu obsluhy by mal byť plán za celú oblasť zobrazený naraz (tzn. posun je možný len vo vodorovnom smere, po časovej ose. Keďže rozlíšenie monitora je spravidla menšie než rozlíšenie nákresného cestovného poriadku (ten sa spravidla vyhotovuje vo veľkosti A1 až A0 [11]) je možné a účelné rozdeliť väčšiu oblasť na podoblasti, ktorých zobrazenie je možné prepínať.

Zobrazenie plánu obsadenia koľají – Pre každý dopravný bod zvlášť je vhodné vyhotoviť plán obsadenia koľají. Plán obsadenia koľají ukazuje plánované pobyty jednotlivých vlakov na dopravných koľajách v stanici. Môže tiež obsahovať pohyby medzi jednotlivými dopravnými koľajami (ak sú možné).

Vizualizovaný by tiež mal byť zoznam vlakov pre danú dopravňu a prevádzkový záznam relevantnej časti systému (spravidla záznamy uložené v tej databáze, do ktorej je klient bezprostredne pripojený).

Okrem vizualizácie klient slúži tiež na zadávanie dát. Zadávané môžu byť dáta o predvídanom ojazde, o skutočnom odjazde (resp. korekciu skutočného odjazdu), môžu byť vlaky

rušené a vytvárané nové ad hoc, zavádzanie následov vlakov a prípadne môže byť z prevádzkových dôvodov menený sled niektorých pohybov. Pre jasnú identifikáciu pôvodcu sa tieto zmeny smú robiť len pod prihláseným užívateľom. Systém by tiež mal vedieť vykonať odovzdávku služby s evidenciou predpísaných úkonov s ňou spojenou.

Poslednou prácou grafického klienta je tvorba smenového plánu. Tvorba smenového plánu spočíva v skopírovaní grafikonu na príslušnú dobu do druhej tabuľky, nastavení príslušných príznakov (vlak zavedený, vlak odrieknutý) a prípadne vytvorenie niektorých následov. Príznak vlak zavedený/odrieknutý sa najprv bude generovať automaticky podľa obmedzení, následne ho obsluha môže upraviť ručne. Po vygenerovaní by mal program na základe stanovených pravidiel ošetriť plánované narušenia jazdy, prípadne upozorniť na niektoré chybné zadania. Po potvrdení obsluhou okopíruje plán do tabuľky fyzických grafikonových dát.

6.4.2 Editor grafikonu

Editor grafikonu slúži na prípravu najvyššej úrovne grafikonových dát a tiež na editáciu údajov o oblasti. Jedná sa o administratívny nástroj, ktorý nebude bežným spôsobom používaný v prevádzke. Mal by umožňovať správu dát buď ručne, alebo v prípade potreby by mal byť pripravený na import vybraných formátov ktoré bude používať v operačnom IS organizácie nasadzujúca systém, prípadne inými spôsobmi na výmenu dát.

6.4.3 Spojovacia služba stanovišť

Cieľom spojovacej služby stanovišť je overovať prístup stanovišť do centrálnej databázy a zároveň sledovať stav niektorých vybraných služieb a komunikačných liniek. V prípade pokusu o pripojenie stanovišťa do centrálnej databázy toto stanovište bude vykonávať autentizáciu a prípadne prideľovať ID. Pre prístup do lokálnej kópie databázy táto identifikácia v zásade nie je potrebná, avšak každé stanovište ju vykoná, aby bolo možné v systéme sledovať ich stav. Vzhľadom k svojej povahe (iniciálna komunikácia, prenos potenciálne dôverných údajov, ...) sa jedná o jediný systém s ktorým nebudú stanovištia komunikovať výhradne prostredníctvom databázy.

Komunikačný protokol pozostáva z dvoch fáz. V prvej fáze stanovište zašle svoje identifikačné údaje, na základe čoho zareaguje komunikačná služba odoslaním ID stanovišťa, ktorú si stanovište uloží a prípadne porovná s uloženou. V druhej fáze stanovište len načúva a spojovacia služba periodicky broadcastuje informácie o aktuálne pripojených stanovištiach a ich stave.

Prípadné zabezpečenie tohto protokolu (a prípadne veškerej komunikácie) nebude realizovať na úrovni protokolu, ale pri vyvstaní požiadavku budeme riešiť zabezpečenie na úrovni komunikácie použitím VPN [28]. VPN dokáže zapuzdriť komunikáciu, zabezpečiť ju bezpečnostným kódovaním a prípadne ju kryptovať. Toto je užitočné v prípade, že vyvstane potreba prepojiť niektoré stanovištia iným než dedikovaným spôsobom, napr. pomocou internetu.

6.4.4 Komunikačná služba - stavadlo

Rozhranie na stavadlo K-2002 má za úlohu spracúvať komunikačný protokol zo stavadla a transformovať ho na databázové dotazy, ktoré príslušným spôsobom ukladajú dáta. Na jednej strane bude mať služba UDP klienta, ktorý bude počúvať

6.4.5 Komunikačná služba - operačný IS

Komunikačná služba pre operačný IS bude závisieť od toho, aký operačný IS má zavedený príslušná zákaznícka organizácia. Vo všeobecnosti bude práca spočívať v nasledujúcich činnostiach:

- Prijímaní predhlášok o jazde vlakov blížiacich sa k riadenej oblasti
- Prijímaní súpisov vlakov za účelom získania informácií potrebných k plánovaniu
- Odosielaní všetkých požadovaných informácií za riadenú oblasť
- Prijímaní ďalších obslužných správ poskytovaných týmto IS

6.4.6 Komunikačná služba - HAVIS

Cieľom tejto služby je poskytovať informácie informačnému systému pre cestujúcich. Tento informačný systém má spravidla pripravenú vlastnú databázu vlakov osobnej dopravy vrátane všetkých relevantných dát a to aj takých, ktoré nie sú obsiahnuté v tomto systéme (radenie osobných vlakov, informácie o kurzoch priamych vozňov, tarifných podmienkach a pod.) [14] Tento informačný systém požaduje informácie o prejazde vlakov osobnej dopravy definovanými bodmi (tzv. značkami) od ktorých má odvodené spínanie príslušných hlásení alebo zmeny na svetelných tabuliach. Ďalším prijímaným údajom môže byť aktuálna veľkosť meškania tak, aby o prípadnom výraznejšom meškaní bolo možné informovať cestujúcich s dostatočným predstihom.

6.4.7 Replikátor databázy

Replikátor databázy slúži na synchronizované kopírovanie (shadow copy) databázy. Pritom použije návrhový vzor **observer** [37]. Návrhový vzor observer spočíva vo využití triggeru prípadne eventu na hrubú notifikáciu o zmene (podobne slúži napríklad v hardware prerušenie). Po aktivácii replikátor zistí (jemná notifikácia) všetky zmeny v databáze (pomocou timestampov prípadne sekvenčných čísiel).

6.4.8 Simulátor jazdy vlaku

Simulátor z návrhového poľadu pracuje pomerne jednoducho. Správa sa výhradne reaktívne (tiež využíva vzor **observer**) a na výzvu (spravidla z plánovača dopravy) obsahujúcu potrebné údaje spolu s údajmi, ktoré eviduje o úseku trate podľa dynamického modelu jazdy spočíta jazdnú dobu vlaku a vráti ju vyzývajúcej strane. V prostredí bez komunikačného protokolu môže byť výzvou synchronizácia výziev a odpovedí, avšak keďže v prostredí databázy máme k dispozícii atomický zápis vybraných hodnôt [7], môžeme túto synchronizačnú úlohu implementovať pomerne nenáročne pomocou časových značiek určujúcich okamih vyslania výzvy.

Práca simulátora vyžaduje vytvorenie podrobnejšej mapy úseku, ktorá bude obsahovať požadované údaje z kapitoly 3. Túto mapu je možné vytvoriť ako sústavu rezov, kde rezom sa myslí miesto, kde sa mení aspoň jedna z evidovaných veličín (sklonové a smerové pomery, maximálna rýchlosť).

6.4.9 Plánovač dopravy

Plánovač dopravy bude detekovať, oznamovať a prípadne riešiť narušenia jazdy vlaku. Mal by reagovať na zmeny vo fyzických grafikonových dátach. Na základe zmeny potom usudzuje, či sa táto zmena môže podpísať na jazdných dobách vlaku pri ďalšom prejazde oblasťou a ak áno, nechá spočítať simulátor jazdy vlaku nové jazdné doby. Po ich spočítaní plánovač dopravy vykoná príslušné úpravy v predvídaných časoch odchodu (do skutočných časov nezasahuje) a zistí prípadné vzniknuté kolízie. Tieto sa snaží riešiť autonómne a výsledok riešenia oznámi obsluhu formou dialógového okna na potvrdenie.

6.5 Technológie

6.5.1 Hardware

Pre klienta bol vybraný nasledovný HW:

- Bude použitý bežný počítač typu PC
- Predpokladá sa výhradne pasívne chladené PC založené na procesore Intel Atom s 1GB RAM a SSD diskom. Nie je teda možné predpokladať vysoký výkon počítača.
- Špeciálny HW bude tvorený len kartou Ethernet 802.3x, doplneným o galvanickú izoláciu s pevnosťou 500 V a na strane stavadla potom pulldown rezistormi izolujúcimi smer z EP.
- Príslušenstvom bude monitor s rozlíšením 1920x1080 (FullHD), klávesnica, myš a reproduktor (predpokladá sa zvuková signalizácia niektorých udalostí).
- Skriňa počítača bude umiestnená tak, aby nebolo možné počas prevádzky fyzicky manipulovať s PC (v trezore).

Databázový server bude realizovaný podľa dostupného a certifikovaného HW podľa potreby. Predpokladá sa viacjadrový procesor tak aby umožnil simultánny beh služieb u ktorých sa predpokladá vyššia výpočtová náročnosť (simulátor a plánovač).

6.5.2 Platformy

Čo sa týka programovacích platforiem a databázy, bolo s ohľadom na udržateľnosť a ďalšie ekonomické faktory (nutnosť investícií, dostupnosť licencií a pod.) rozhodnuté použiť platformy používané vo firme Starmon, s.r.o. a to:

- Programovací jazyk Delphi
- Kompilátor Borland Delphi 7
- Databáza Interbase/FireBird
- Operačný systém Microsoft Windows XP

Pokiaľ to situácia bude vyžadovať, bude prejdené na vyššiu verziu kompilátora Delphi. Jazyk Delphi bol zvolený ako jazyk používaný v prostredí priemyslu a s ohľadom na nutnosť budúcej certifikácie systému v procese hodnotenia bezpečnosti, keďže ako kompilovaný nemanážený jazyk bez garbage collectingu má oproti manažovaným jazykom a jazykom

vybaveným garbage collectingom výrazne menšie nároky na preukazovanie bezpečnosti odzvy.

Predpokladá sa, že minimálne spočiatku bude systém bežať na platforme Windows. V súvislosti s možným prechodom na Linux je dôležitá existencia kompilátora pre Linux (Kylux) [31].

Kapitola 7

Implementácia telematickej nadstavby

Realizačná časť práce si dáva za cieľ implementovať niektoré fundamentálne časti, ktoré poslúžia na experimentálne overenie základných konceptov. Nejedná sa o realizáciu celého systému tak ako bol navrhnutý. Každopádne vo väčšine základných prípadov by aj s pomocou implementovaných častí mohol byť systém sprevádzkovaný na jednoduchšom systéme, ako je napríklad časť trate Pardubice - Havlíčkův Brod, ktorá bola použitá ako vzorový úsek pri implementácii a prvotnom testovaní, a na ktorej sa predpokladá skúšobná prevádzka systému.

7.1 Spoločné implementačné rysy

7.1.1 Reprezentácia času

V systéme sa pracuje s reálnym časom, zpočiatku bolo uvažované zavedenie vlastného formátu celočíselných časových razítiek, napokon však bolo rozhodnuté pre použitie prostriedkou SQL, resp. Delphi (dátový typ `TDateTime`) Je zaujímavé, že implementácia času aj v pomerne vysokých verziách prostredia Delphi (napr. Delphi 7, Delphi 2006) obsahuje chyby. Bolo potrebné vo vlastnej réžii implementovať napríklad funkciu `MinutesBetween`¹, nakoľko originálna verzia v Delphi trpí zaokrúhľovacou chybou (reprezentácia času v type `TDateTime` je typ `Double`, kde celá časť sú celé dni od definovaného počiatku a desatinná časť sú sekundy od počiatku dňa).

7.1.2 Dátové štruktúry

Delphi má ďalej pomerne zvláštny prístup k dátovým štruktúram. V celom Delphi neexistuje nič ako asociatívne pole (podobné napr. `std::map` z C++) [4]. Najbližšie sa mu približuje `TObjectBucketList`, resp. `TBucketList`, ktorý ale nedokáže indexovať podľa jednoduchých typov, vyžaduje ako index buď pointer na štruktúru/ objekt, alebo objekt (a naviac nejde radiť). Druhou možnosťou sú `TStringList`, resp. `THashedStringList`, ktoré zasa vedú indexovať len pomocou reťazcov, obe možnosti v zásade využívajú tabuľky s rozptýlenými položkami (hashovacie tabuľky) a indexsekvencné vyhľadávanie.

Spoločným rysom je potom to, že tieto kontajnery nedržia informácie o type objektu a pracujú so základným typom `TObject`. Načítané objekty je tak nutné pretypovať.

¹A vôbec všetky funkcie, ktoré vracajú rozdiel dátumov

Pre indexovanie v `StringListoch` boli k niektorým objektom (vlak, pohyby) vytvorené takzvané textové identifikátory (**TID**). TID je vytvorený serializáciou identifikátora objektu tak, aby bol čo najkratší a uložitelný v stringliste spôsobom, ktorý umožní prípadné lexikografické zoradenie.

Príklad: TID pre vlak 1. násled 501 zo dňa 24.5.2010 je 201005240005011

7.2 Databáza

Je navrhnutá ako relačná databáza bez objektových prvkov. Databáza má rovnakú štruktúru vo všetkých svojich kópiách.

K implementácii programovej logiky je použité uložených procedúr. Tie sprostredkujú niektoré zmeny v databáze (typicky zmeny vo vlakoch a v pohyboch), kde majú spravidla vyššie oprávnenia ako samotní užívatelia a oprávnenosť zásahu kontrolujú vo svojom tele, menovite pri akciách obmedzených na jedno stanovište súlad čísla stanovišta, tiež možnosť odovzdávky stanovišta a nastavenie niektorých príznakov.

Implementácia časti komunikácie (keď je nutné dávať okamžite najavo nejakú akciu) je realizovaná pomocou udalostí InterBase. Základnou udalosťou je udalosť `ZmenaXX` kde `XX` je číslo stanovišta. Ostatné stanovištia majú informácie o všetkých stanovištiach a podľa čísla stanovišta si zistia o aký druh zmeny sa jedná.

V súvislosti s načítavaním grafikonových a ďalších dynamických dát do vyrovnávacích pamätí na jednotlivých klientoch bolo nutné zaviesť spôsob notifikácie o zmazaní dát. Dáta sa z databázy nemažú fyzicky, ale nastavuje sa im príznak zmazania (spravidla pole `ZMAZANE`). Inflácii databázy zabraňuje fakt, že nie sú použité náhradné kľúče, teda v prípade znovupoužitia rovnakej položky dôjde jednoducho k odstráneniu príznaku a zapísaniu nových dát.

7.2.1 Reprezentácia času

V rámci reprezentácie času vo fyzických grafikonových dátach, ktorá obsahuje 4 časové údaje by bol problém zakaždým vybrať správny časový údaj podľa pravidiel. Z tohto dôvodu bol zavedený ďalší časový údaj, čas aktuálny, ktorý obsahuje aktuálne platný časový údaj.

7.3 Grafický EP klient

7.3.1 Dátové štruktúry pre grafikonové dáta

Grafikonové dáta sa skladajú z dvoch častí, trasa identifikuje príslušný vlak a pohyby ho časovo vzťahujú k jednotlivým miestam oblasti. Vyššie vrstvy grafikonových dát sú ešte doplnené hlavičkou označujúcou platnosť dát.

Veľkou výzvou bolo vytvorenie dátových štruktúr pre uloženie grafikonových dát, tak aby bolo možné ich dostatočne rýchlo vizualizovať. Možné sú súčasne tri spôsoby prístupu k jednotlivým pohybom.

Indexovaný prístup podľa oblasti – dvojúrovňový prístup prvú úroveň tvorí koľaj, druhú úroveň tvoria hodiny. Použité sú dátové kontajnery `THashedStringList`

Sekvenčný prístup v rámci vlaku – pohyby v rámci vlakov indexované hierarchicky. Táto cesta je použitá na fyzické uloženie pohybov. Pohyby na dopravných koľajách sú indexované dvojúrovňovo ID dopravného bodu a ID koľaje

Sekvenčný prístup v rámci vlaku – vytvára sa podľa špecifických pravidiel medzi jednotlivými pohybmi

7.3.2 Databáza

Klient vytvára pri svojej práci dve databázové spojenia. Prvé spojenie je identifikované prístupovými údajmi stanovišťa, pridelenými spojovacou službou, prípadne zadanými ručne a slúži pre načítanie a zobrazovanie dát o oblasti. To umožňuje vizualizáciu údajov aj v prípade, že na stanovište nie je prihlásený obsluhujúci pracovník. Druhé spojenie je potom identifikované prístupovými údajmi aktuálne prihláseného pracovníka a umožňuje zmenu údajov.

Práca s databázou je riešená minimalistickou formou [4], tzn. údaje sa načítajú z databázy a transformujú do objektov v programe. Tým sa sleduje zrýchlenie práce programu pri vykresľovaní grafických situácií, vzhľadom k tomu, že sa jedná zásadne o textové a číselné údaje, nie je spotreba pamäti výrazná (na rozsiahlej oblasti, pri zobrazení veľkého archívneho prehľadu sa očakáva maximálne niekoľko MB dát). Keďže objektov môžu byť potenciálne stovky, musel byť vymyslený aj systém ich indexácie. Ten spočíva vo vytvorení niekoľko indexov, ktoré slúžia na výber prvkov buď podľa čísla, alebo podľa miesta, alebo podľa času, alebo podľa času a následne miesta zároveň.

7.3.3 Vizualizácia

Pri vizualizácii môžeme technicky rozlíšiť dva stavy z ktorých pri vizualizácii vychádzame.

- *Aktualizácia oblasti* – Je nutné zmeniť všetky údaje (pri zmene mierky, posune zobrazeného času, strate informačnej aktuálnosti zobrazených dát, ...).
- *Prekreslenie oblasti* – Nie je nutné meniť všetky údaje (prekreslenie na základe udalosti *Paint*, obsluha vstupných zariadení bez zmeny merítka alebo času)

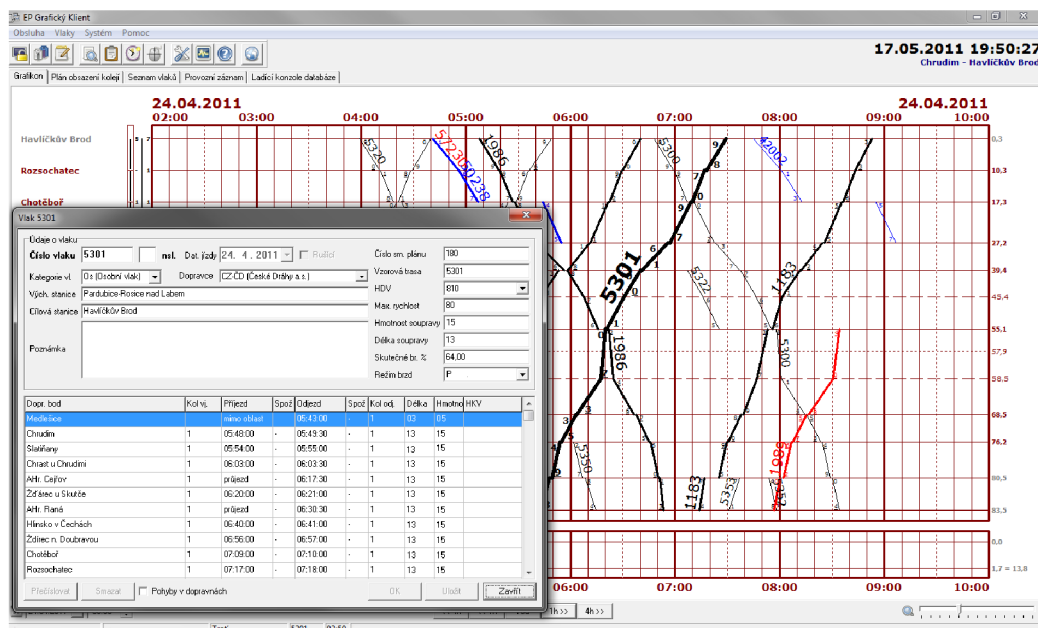
Statické údaje o oblasti (čísla počty a pozície dopravných bodov, úsekov, koľají, ...) sa z databázy načítavajú pri štarte systému. Následne sú uložené v dátových štruktúrach programu a do databázy sa pre dáta o nich už neprístupuje. Pri aktualizácii oblasti sa z dátových štruktúr vykreslí plán oblasti a tento sa uloží v štruktúre `TBitmap`. Pri prekreslení sa potom len vykreslí obsah tejto štruktúry a celé prekresľovanie neprebíha.

Aktualizácia oblasti u grafikonových dát prebieha nasledovným algoritmom:

1. Zistí čas poslednej zmeny v databáze (využíva pri tom indexovaný prístup pomocou koľaje a času)
2. Prejdením celej oblasti overí aktuálnosť uložených dát oproti tejto zmene
3. Pri zistení neaktuálnosti stiahne pohyby z databázy a dáta aktualizuje
4. Určí, ktoré pohyby budú vykreslené a uloží ich do zvláštnej dátovej štruktúry
5. Nad všetkými pohybmi v tejto štruktúre vykoná výpočet polôh začiatku a konca
6. Spočíta nad ktorými pohybmi budú zobrazené čísla vlakov

Pri prekreslení potom už postačuje len vykresliť čiary a texty z vypočítaných pozícií. Takéto prekreslenie je pomerne rýchle a keďže grafikonové dáta je nutné aktualizovať nepomerne častejšie ušetrenie sa neprejaví, naopak vykresľovanie z TBitmap sa ukázalo ako ešte viac spomaľujúce.

Čísla vlakov sa určia následne tak, že sa vlaky zoradia podľa počtu pohybov tak, aby sa najskôr prepočítavali vlaky s menším počtom vykreslených pohybov. Potom sa nad vykreslenými pohybmi v rozahu prvých 8 (stanovené experimentálne) čiar hľadá minimum čísel v aktuálne vypísanom bloku (blok je 20 minút na rovnakej koľaji). Po dosiahnutí konca alebo prejdení 8 čiar na bod sa nájdeným minimom zapíše, že sa naňom vykresľuje číslo. Ak sa nejedná o koniec, pokračuje sa, pričom sa vynechá 8 čiar od miesta kam bolo číslo zakreslené.



Obrázek 7.1: Zobrazenie GVD v grafickom klientovi

7.3.4 Uživatelské rozhranie

Uživatelské rozhranie je kompaktné, založené na štyroch základných kartách. Sleduje sa, aby ovládacie prvky zabrali minimum miesta a viac miesta bolo k dispozícii na samotné dáta (splnený grafikon, plán obsadenia, zoznam vlakov a prevádzkový záznam).

Splnený grafikon a plán obsadenia zobrazuje grafickú situáciu. K tomu využíva údaje o oblasti, ktoré sú uložené v objekte triedy `EPRadicOblasti`, ktorá obsahuje jednotlivé oblasti. Tiež má na starosti prepínanie oblastí a všetky menu s týmto súvisiace.

Objektový model GUI potom pozostáva z dvoch častí. Externá časť je tvorená objektami knižnice `VCL`², predstavujúcimi formuláre, dialógy a jednotlivé grafické prvky. Interná časť je tvorená objektami, ktoré zabezpečujú prepojenie GUI na vnútornú programovú logiku. Jedná sa o objekty predstavujúce stránky GUI, založené na triede `EPStranka`.

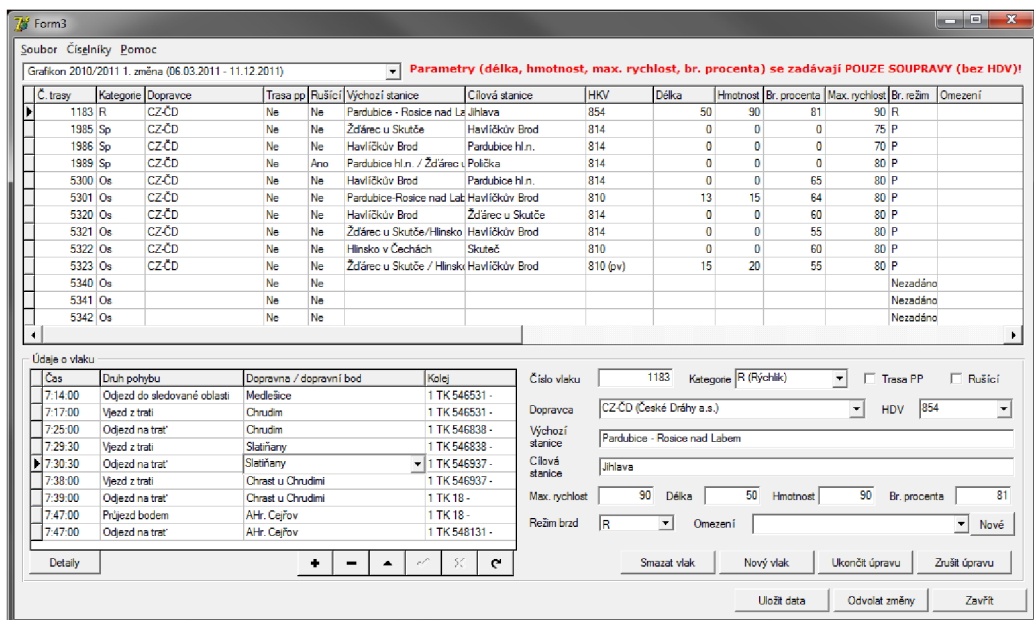
²Grafický runtime framework Borlandu, podobný Qt alebo GTK

7.3.5 Záznamy

Záznamy sa vykonávajú pomocou triedy `EPZaznamnik`, čo je služba, ktorá vedie log systému. Log sa zapisuje dvoma spôsobmi, lokálne na súbor v PC a do databázy. Základná je metóda `EPZaznamnik.ZaznamenajText`, ktorá slúži na vytvorenie záznamu. Ďalšia dôležitá metóda je `EPZaznamnik.ZaznamenajData`, ktorá umožňuje pripojiť k záznamu textový a binárny komentár. Binárny komentár môžu byť serializované objekty, prípadne iné dôležité dáta.

7.4 Editor grafikonových dát

Pre implementáciu editora grafikonu bolu použité postupy obvyklé pre rýchly vývoj informačných systémov na aplikačnej úrovni [4]. Základom je vytvorenie komponentov `TDataSet` pre načítanie užívateľských dát s ktorými sa pracuje pomocou databázových GUI komponent jazyka Delphi (tzv. Data-aware controls). Tieto postupy sú popísané v rade publikácií (pre VCL napr. [4] [21]) a nie je nutné ich ďalej rozoberať. Programová logika sa implementuje buď v odozve na udalosti alebo v uložených procedúrach na databázovom serveri.



Obrázek 7.2: Úvodná obrazovka editora grafikonových dát

Pre ilustráciu prostredia uvedieme len pokus zlepšenie interaktivity komponenty `TDBGrid` pomocou postupu z [9]. Zobrazovacie možnosti komponenty `TDBGrid` v spojení s absenciou typu `Boolean` v databázovom stroji [7] sú občas značne obmedzené. Postup spočíva vo vyhradení určitých polí ako polí len na čítanie s ručným dopočítaním hodnoty a v prípade editovania prekrytie `DBGridu` v mieste poľa príslušnou databázovou komponentou (napr. `TDBCheckBox` alebo `TDBListComboBox`). Podobné úpravy budú zrejme do budúcnosti nahradené vlastnou implementáciou niektorých komponent, prechodom na vyššiu verziu knižnice alebo úplnou zmenou programovacieho prostredia.

Počas implementácie editora vyvstala požiadavka overenia možnosti prípadného prechodu z operačného systému Windows na OS Linux. Základnou požiadavkou tohoto prechodu je zámena knižnice VCL používajúcu neprenosné WinAPI za knižnicu CLX, posta-

venú nad Qt. V knižnici CLX sa ukázal ako závažný nedostatok absencia komponent pre prácu s dátumami (`TDateTimePicker` a `TMonthCalendar`), ktoré by v prípade prechodu bolo nutné implementovať vo vlastnej réžii. Ďalej sa ukázali problémy so stabilitou niektorých dátových komponent (diskutované v kapitole 8).

7.5 Spojovacia služba

Je implementovaná ako jednoduchý sieťový (TCP) server, ktorý riadi prístup k databázi EP. Samotná komunikácia s databázou prebieha priamo, mimo server. Komunikuje so všetkými službami a grafickými EP klientami. Komunikácia je zatiaľ realizovaná ako nešifrovaná, v prípade potreby použitia internetu ako komunikačného média sa predpokladá buď použitie VPN na komunikáciu, prípadne je systém pripravený na komunikáciu s využitím SSL tunelov (v návrhu databázy je priestor pre uloženie certifikátov a podobne).

7.6 Zadávací modul stavadla K-2002

Je neinteraktívna služba bežiacia na pozadí. Po spustení vytvorí UDP spojenie nad adaptérom jednosmerného ethernetu (pre vývojové a testovacie účely je zatiaľ použitý klasický sieťový adaptér) a očakáva príchod paketov zo stavadla.

Na druhej strane vytvorí služba datábzové spojenie do databázy EP a prihlási sa u spojovacej služby, u ktorej dostane pridelené ID stanovišťa, ktoré následne používa v dotazoch.

7.7 Simulátor jazdy vlaku

7.7.1 Štart a príprava simulátora

Simulátor po svojom štarte stiahne z databázy všetky koľaje a k nim zodpovedajúce záznamy z tabuľky USEKSIM. Následne pre každú koľaj predpočíta „mapu úseku“, čo je vyjadrenie pomerov na trati. Predpočítanie spočíva v určení traťového odporu (odpor sklonu a odpor tunela sú len čísla z databázy, odpor oblúka sa spočíta podľa polomeru) pre každú časť simulovaného úseku. Údaje pre simuláciu sú uložené v štruktúre `TEPVSKmZaznam`, ktorá obsahuje *Polohu začiatok miesta*, *Polohu konca miesta*, *Maximálnu rýchlosť v danom mieste*, *sklon v danom mieste*, *parametre brzdných kriviek v danom mieste*.

7.7.2 Simulácia

Simulátor načíta z databázy parametre vlaku, a do poľa `TEPVSKmZaznam` doplní brzdné krivky. Pri počítaní brzdných kriviek simulátor postupuje odzadu a pre každé obmedzenie rýchlosti určí modelovú brzdnú krivku. Tú následne počíta po bod, kedy sa dotkne maximálnej rýchlosti. Do poľa ich zahrnie tak, že vybrané hodnoty okopíruje a vloží za ne ďalší záznam s brzdnou krivkou a platnosťou od miesta kedy vlak musí začať brzdiť po koniec krivky. Súčasne s tým upraví platnosť existujúcich položiek. Aby sa predišlo reverzovaniu polí a meneniu veľkosti, pri tomto postupe vytvára nové pole štruktúr kde sú hodnoty uložené v opačnom poradí. Pri simulácii sa pole prechádza odzadu.

Samotná simulácia potom program inicializuje premenné pre zrýchlenie a rýchlosť, prejdenú dráhu a čas na 0. Následne pre dané miesto vypočíta maximálnu ťažnú silu, vozidlové odpory (traťový odpor je známy vopred), a podľa všeobecnej pohybovej rovnice vlaku

určí veľkosť zrýchlenia. Následne numericky počíta integrál zrýchlenia (rýchlosť) a integrál rýchlosti (dráhu). Po dosiahnutí konca dráhy uloží veľkosť času.

7.7.3 Komunikácia plánovač-simulátor

Komunikácia medzi simulátorom a plánovačom prebieha pomocou úprav v tabuľke VLAK-DOBA. Pokiaľ plánovač potrebuje zistiť nejakú jazdnú dobu, vytvorí v tabuľke riadok do ktorého nastaví číslo úseku, číslo vlaku, počiatočnú a koncovú rýchlosť, či sa jedná o rozjazd z kľudu a políčko pre jazdnú dobu ponechá s hodnotou NULL. Do poľa CASZMENA vloží aktuálny dátum a vygeneruje udalosť SIM. Simulátor následne sťahuje všetky riadky ktoré majú hodnotu doby NULL a priebežne jazdu vlaku simuluje. Po ukončení zapisuje jazdnú dobu.

Synchronizácia je vyriešená pomocou dátumu v poli CASZMENA. Simulátor zapíše výsledok len pokiaľ je v ňom v momente zápisu rovnaký dátum, aký tam bol v čase, keď záznam sťahoval³. Inak dobu zahadzuje a v najbližšom kole stiahne záznam znova a znova ho odsimuluje.

7.8 Plánovač dopravy

7.8.1 Notifikácia zmien

Plánovač dopravy získava informáciu reakciou na udalosť ZmenaXX, ktorú generuje databázový trigger AFTER UPDATE tabuľky POHYB. Event sa generuje vždy keď sa zistí zmena časového údaju aktuálneho (CASAKT) v ukladanom zázname.

7.8.2 Zmeny v databáze

Funkčnosť plánovača dopravy sa odvíja okolo fronty EPPlanVlakFronta, do ktorej sa ukladajú všetky notifikácie. Po vybraní notifikácie sa zistí, či nie je nutné počítať nové jazdné doby (udalosť ZmenaXX bez zmeny predvídaného času). Ak áno, zapíše sa do tabuľky VLAKDOBA požiadavka na simulátor a konflikt sa odloží do poľa čakajúcich kolízií. Akonáhle sú spočítané jazdné doby, aktualizujú sa záznamy predvídaného času v tabuľke. Následne sa dotazom z databázy vyhľadajú kolízie. Ak sa kolízia nájde, stiahnu sa údaje o druhom vlaku potrebné na vyriešenie kolízií. Ako pravidlá na riešenie kolízií slúžia

- Kategória vlaku
- Veľkosť meškania
- Prítomnosť pobytu pre nástup a výstup

7.8.3 Komunikácia s obsluhou

Plánovač ukladá žiadosti do tabuľky KONFLIKT. Do tabuľky ukladá ID koľaje, ID dopravného bodu na priamu identifikáciu miesta a stanovišťa, druh kolízie a zoznam zainteresovaných vlakov, vrátane odporúčaného poradia. Kolízie sa riešia stanovením sledu vlakov. Na základe takto stanoveného sledu potom autonómne určí usporiadanie príjazdov a odjazdov také, aby bol sled dodržaný.

³sledovať poč. a koncové podmienky by bolo neúčelné, mohlo dôjsť k zmene v parametroch vlaku

7.9 Simulátor stavadla

Pre potreby tejto práce bol vytvorený jednoduchý software, ktorý simuluje prácu stavadla, resp. odosielanie datagramov po jednosmernom Ethernete. Tento program umožňuje jednoduché testovanie práce programu nad reálnymi dátami bez toho, aby vyžadoval pripojenie ku stavadlu či prácu v reálnom nasadení. Tento program slúži výhradne ako vývojová pomôcka a nie je určený k nasadeniu v reálnej prevádzke. Zavŕhuje sa však jeho možné použitie v podpornom programe - prezerači archivovanej dopravnej činnosti.

Program vie na základe grafikonu generovať fyzické grafikonové dáta a prípadne ich dopĺňať o meškania na vstupe. Tiež dokáže dopravu mazať. Generovanie dokáže generovať jednorázovo dopravu od zvoleného dátumu po súčasnosť alebo postupne simuluje zadávanie dát zo stanovišťa.

Kapitola 8

Testovanie

8.1 Testovanie grafického klienta

8.1.1 Testovacia oblasť

Ako riadená oblasť pre testovanie bola počas vývoja vybraná trať Pardubice-Rosice nad Labem – Havlíčkův Brod, respektíve jej úsek vybavený stavadlami K-2002. Táto trať bola vybraná hlavne pre prítomnosť stavadiel K-2002 a preto, že sa jedná o hlavnú jednokoľajnú trať, na ktorej by boli možné významnejšie prínosy zavedením podpory plánovania dopravy. Takisto práve na tejto trati najčastejšie prebieha overovacia prevádzka produktov spoločnosti Starmon s.r.o. (a je predpoklad overovacej prevádzky aj tohoto systému práve na tomto úseku).

V rámci testovania bola tiež ako susediaca oblasť spracovaná trať Ždár nad Sázavou - Kutná Hora hl.n. ktorá je na rozdiel od predošlej trate dvojkolajná a môže tak poslúžiť pri testovaní algoritmov, ktoré sú určené pre viackoľajnú prevádzku.

8.1.2 Testy užívateľského rozhrania

Počas práce bol vytvorený prototyp užívateľského rozhrania, ktorý bol skonzultovaný s pracovníkmi riadenia dopravy u ČD a ŽSR (so skúsenosťami s obsluhou systémov uvedených v časti 5.6). Celkom bolo oslovených 5 ľudí. Závěry tohto testovania boli nasledovné:

- Oslovení vyjadrili spokojnosť s navrhovaným rozhraním
- Ako výraznejšie rozšírenie aplikácie by niektorí z nich privítali nahradenie ovládania myšou, ev. aj klávesnicou pomocou dotykového displeja. V bežnej prevádzke sa nepredpokladá väčšie množstvo zásahov do práce nadstavby a myš s klávesnicou sú primárne určené na ovládanie stavadla. V tejto chvíli má obsluhujúci pracovník na stole pred sebou dve klávesnice a dve myši, pričom pridanie tretej dvojice týchto ovládacích prvkov by bolo z pohľadu komfortu obsluhy a možnosti omylu dosť otázné.
- Ďalšie dôležité rozlíšenie systému vidia vo vytvorení aplikácie na automatické vypisovanie písomných rozkazov pre vlak. Aplikácia (najmä po doplnení plánovacieho modulu) bude mať zrejme dosť údajov pre umožnenie takejto činnosti. Predpokladané doplnenie by spočívalo vo vytvorení databázy vzorov takýchto rozkazov a príslušného rozhrania.

- Vyskytli sa drobné pripomienky napr. k vyjadreniu ikon (t.č. je použitá generická sada). Tento fakt bude konzultovaný vo firme a po doladení rozhrania bude oslovený firemný grafik aby namaľoval špeciálne obrázky ikon. Boli konzultované základné tvary pre tieto ikony.
- Malo by byť doplnené prepínanie oblastí pomocou klávesnice (predpoklad kláves F1-F10). Bolo doplnené
- Bola vyslovená žiadosť o zobrazenie viacerých oblastí v jednej obrazovke. Niektoré systémy toto riešia tak, že rozdeľujú oblasť na okná, čo však prináša určité problémy v oblasti komfortu (nechcené uzavretie okna, nechcený posun okna, záber priestoru pruhmi a ohraničeniami, problémy s interaktivitou...). Bolo vyriešené tak, že oblasť ide rozdeliť pomocou prázdnych traťových úsekov bez toho, aby bolo nutné používať okná, ďalšie taby alebo podobné prostriedky.

8.1.3 Funkčné testy

Funkčné testy boli vykonávané počas vývoja pre overovanie funkčnosti jednotlivých častí programu. Vzhľadom k rozsahu testov a spôsobu reprezentácie výsledkov (zobrazenie grafického plánu na užívateľskom rozhraní) budú prezentované len výsledky niektorých testov a celkové zhodnotenie testovania. Menovite bola počas funkčného testovania testovaná nasledovná funkcionálnosť:

- Práca s neplatnými a nepresnými údajmi
- Výpadok komunikácie s databázou – bolo testované automatické prepínanie z primárnej databázy na záložnú databázu a naspäť
- Aktualizácia záznamov pri súčasnom dopisovaní ďalších záznamov iným procesom – kontrola súslednosti aktualizácií

8.1.4 Testy vizualizačných algoritmov

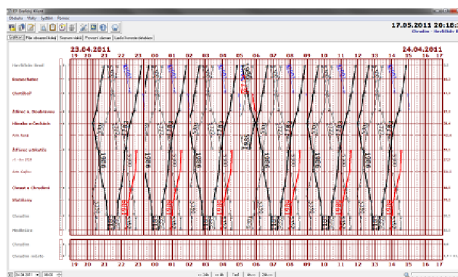
Vizualizačné algoritmy a celá implementácia klienta bola testovaná na grafikone pozostávajúcom z 8 hodinovej prevádzky v referenčnej oblasti. Počas testovania boli priebežne doladované úpravy.

Rýchlosť vizualizácie bola testovaná vygenerovaním grafikonu s až 450 vlakmi (zodpovedá záťaži najzaťaženejšej trate v ČR). Následne sa pohybom skúšala rýchlosť prekresľovania pri skrolovaní grafikonu a čas potrebný na skrolovanie. Zistené nedostatky v rýchlosti boli odstávané tak, že vo väčších mierkach nezobrazujú časy prízjazdov a odjazdov, keďže ich beztak nie je vidno.

8.2 Testovanie editora grafikonu

Editor grafikonu nebol testovaný žiadnym špeciálnym spôsobom okrem toho, že v ňom boli vytvorené všetky testovacie údaje, ktoré kedy boli použité pre testovanie iných častí programu.

Počas práce sa vyskytli problémy s chybovými hláškami výnimkz o dereferncii ukazateľa s adresou 0x0 v nasledovných situáciách:



Obrázek 8.1: Testovanie výkonnosti vizualizácie, ilustratívny obrázok

- Kliknutie do DBGridu na lookup pole ktoré nemá zobrazenú žiadnu hodnotu 2x rýchlo po sebe
- Kliknutie do DBGridu na hranicu DBDataComboBox, ak je zobrazený nad DBGridom

Hľadaniu problému bolo venované značné úsilie no napokon bolo zistené, že sa jedná o problém v DB-Aware komponentoch CLX knižnice s čím bolo hľadanie opustené a pri ďalšej práci bolo od použitia týchto zatiaľ komponent upustené a problém je negovaný použitím VCL aj v editore.

8.3 Testovanie simulátora jazdy

8.3.1 Testovanie na referenčnej oblasti

Vlak	hmotnosť	dĺžka	HDV	JD	max. krátenie	Sim. [min:s]
IC 500	300t	260m	350	7 min	1 min	5:28
IC 511	330t	286m	350	7 min	1 min	5:42
R 603	390t	338m	363	10 min	2 min	6:33
R 604	370t	320m	362	10 min	1 min	6:13
R 704	180t	156m	362	10 min	3 min	6:00
R 707	240t	208m	350	10 min	1 min	6:33
Os 3305	110t	100	363	15 min	2 min	09:32
Os 3316	80t	52m	671	15 min	4 min	6:44

Tabuľka 8.1: Výsledky testov simulátora

Simulátor jazdy bol testovaný funkčne na dátach z viaceru úsekov. Základom bolo testovanie na vzorovej oblasti (teda Pardubice - Havlíčkov Brod). Problémom je, že sa nepodarilo získať podrobnejšie údaje o smerových a sklonových pomeroch trate, dáta boli získané alternatívne s využitím mapových podkladov danej oblasti v mierke 1:50 000, resp. 1:15 000 zameraním príslušných údajov v mape, čo nemusí byť úplne presné. Pre ďalšie testovanie sa predpokladá obstaranie presnejších údajov.

Alternatívne prebiehalo testovanie s dátami pre úsek Považská Bystrica - Púchov v sieti ŽSR, kde sa podarilo obstaráť presné údaje o sklonových pomeroch a s využitím stránky [17] aj presné údaje o meškanií vlakov. Uvedená tabuľka ukazuje porovnanie jazdných dôb

z GVD doplnených o maximálny zistený záznam o krátení od začiatku platnosti grafikonu s dobami spočítanými simulátorom.

Záver z testovania je taký, že simulátor vykazuje konzistentné výsledky, má však zatiaľ tendencie byť príliš optimistický v odhade jazdnej doby. Bude nutné hľadať úpravy, ktoré povedú na ďalšie zrealnenie odhadov. Z výsledkov vidno, že chyba odhadu stúpa s počtom rozjazdov a brzdení (nezastavujúce IC majú odhad relatívne presný, rýchliky majú chybu väčšiu a osobné vlaky s dvoma zastávkami po ceste chybu pomerne neprijateľnú), priestor na upresnenie modelu je teda najmä v týchto krivkách.

8.4 Testovanie plánovača dopravy

Na plánovači prebiehali počas vývoja základné funkčné testy. Pokročilejšie testy sa z časových dôvodov realizovať nepodarilo.

Záver

V rámci tejto diplomovej práce sa podarilo analyzovať dopravnú situáciu na železnici, definovať požadované parametre pre jej správnu evidenciu a k nim spôsob ich získavania a spracovania. Ďalej sa podarilo analyzovať úkony, ktoré musí obsluhovať telematická nadstavba elektronického stavadla používaného pri diaľovom ovládaní zabezpečovacieho zariadenia, bol definovaný spôsob jej pripojenia k stavadlu, komunikácie so stavadlom a odovzdávania údajov. Bola vytvorená databáza, ktorú takýto systém bude používať k svojej činnosti a všetky obslužné a komunikačné služby a grafická klientska aplikácia používaná obsluhou k práci so systémom, vizualizáciu splneného GVD a ďalších pomôcok pri evidencii dopravy. Už samotná aplikácia jednoduchou vizualizáciou a zhromažďovaním dát dáva obsluhu lepší prehľad o situácii na trati a umožňuje jej rozhodovať sa tak aby bola zachovaná plynulosť dopravy.

Ďalej bol vytvorený simulačný model jazdy vlaku, ktorý je použiteľný na predvídanie jazdnej doby vlaku. Tento simulačný model pozostáva z dynamického modelu slúžiaceho ako kvalifikovaný spodný odhad jazdnej doby a ktorá je ďalej spresňovaný štatisticky s využitím údajov o predošlej jazde vlaku. Boli tiež identifikované narušenia v grafikone (kolízie) ku ktorým v prevádzke môže dôjsť, stanovené spôsoby ich detekcie a možné úrovne riešenia.

Táto práca mi umožnila rozšíriť si a zúžitkovať vedomosti z viacerých oblastí informačných technológií: počítačových systémov, sietí, informačných systémov, databáz, modelovania a simulácie či základov umelej inteligencie. Oblasť svojho záujmu o železniciu som si rozšíril o vedomosti z oblasti technológie dopravy a technológie jazdy vlaku pri tvorbe simulačného modelu.

Práci na tomto projekte sa chcem venovať po absolvovaní školy aj naďalej, v oblasti návrhu algoritmov pre plánovanie dopravy možno časom možno aj formou dizertačnej práce.

8.5 Praktická aplikácia výsledkov práce a možnosti rozšírenia

Možnosti praktickej aplikácie častí systému vytvoreného v rámci tejto práce je nutné vidieť v dvoch úrovniach. Prvou úrovňou je základná telematická nadstavba. Tá má v tejto chvíli realizované prakticky všetky dôležité časti a po doplnení chýbajúcej doplnkovej funkcionality, dôslednom uvedení do súladu s platnými normami (hoc tieto boli sledované už počas vývoja), náležitom otestovaní a vyladení môže byť uvedená do skúšobnej prevádzky.

Druhou rovinou je odhad jazdnej doby vlaku a systém detekcie kolízií. Oba tieto systémy boli realizované v zásade experimentálne a ako vidieť z výsledkov niektorých testov, nastúpená cesta je zrejme správna, ale k dosiahnutiu prakticky aplikovateľných výsledkov bude nutné vynaložiť ešte množstvo práce.

Možnosti ďalšieho rozšírenia spočívajú v dopracovaní častí, ktoré sa zatiaľ nestihli im-

plementovať, teda komunikácia s operačným IS, komunikácia s ostatnými informačnými systémami a v neposlednom rade replikácia databáz. Tieto časti sú esenciálne pre ďalší rozvoj aplikácie. Výzvou bude nepochybne aj samotné uvedenie systému do skúšobnej prevádzky. Po dokončení tejto úrovne práce aplikácie sa práca sústreďuje smerom k vytváraniu celkového automatického stavnia jazdných ciest.

Ako ukazujú výsledky testov, simulačný model jazdy vlaku vykazuje určité nedostatky a bude nutné ho ďalej dopĺňať a spresňovať. Veľa si v tomto smere sľubujem od nasadenia aplikácie do skúšobnej či ostrej prevádzky, čo prinesie zdroj tých oveľa presnejších a podrobnejších údajov, než ku ktorým som sa počas testovania aplikácie dostal. Po dokončení a odladení simulačného modelu bude možné pristúpiť k jeho nasadeniu do reálnej praxe v spolupráci s modelom na základnú detekciu narušení jazdy vlaku.

8.6 Ďalšie kroky na ceste k plnej automatizácii

Aby bolo možné automatizovane riadiť dopravu, je nutné uraziť ešte dlhú cestu. Prvou podmienkou je samozrejme zabezpečenie obojsmernej väzby na stavadlo. To okrem iného umožní kvalitnejší zber informácií, kde už nebude EP odkázaný pri prijímaní dát na jednosmernú linku bez akejkoľvek možnosti spoľahlivého prenosu. Bude nutné ďalej spresňovať reprezentáciu koľajiska, najmä zhlaví tak, aby bolo možné v EP modelovať celú prácu ZZ a dokázať zabezpečiť analýzu jazdy na úrovni vlakových ciest. Tiež bude nutné zabezpečiť definovanie kapacity úsekov tak, aby nemohlo dôjsť napríklad k prekročeniu kapacity stanice. Okrem odhadu jazdnej doby na trati bude ďalej nutné zaviesť odhadovanie pobytu vlaku vzhľadom na technologické časy. Následne bude nutné začať riešiť pokročilé spôsoby riešenia narušení grafikonu. Tiež bude nutné doplniť užívateľské rozhranie ako v stavadle tak v EP o potrebné funkcie, ktoré by umožňovali predpísané možnosti ovládania a konfiguráciu automatiky zo strany dopravného personálu.

Literatura

- [1] GTN, graficko–technologická nadstavba ZZ [online]. <http://www.azd.cz/produkty/systemy-pro-kolejovou-dopravu/produkty/graficko-technologicka-nastavba-gtn4>, 2009 [cit. 2010-05-02].
- [2] Bacon, D.: Euler method [online]. <http://www.csun.edu/hcmth018/EuM.html>, 2010-03-12 [cit. 2011-03-12].
- [3] Binko, M.: Úzká hrdla na železniční síti brání rozvoji železniční dopravy [online]. <http://binko.wz.cz/2007-5.pdf>, 2007 [cit. 2011-01-09].
- [4] Cantu, M.: *Mastering Delphi 7*. Almaeda: Sybex, 2003, ISBN 10-078-0694-6.
- [5] Chovanec, T.; Bartoněk, J.: Zánik jednosmernej sústavy na Slovensku: hon na čarodejnicu? [online]. <http://www.vlaky.net/zeleznice/spravy/001743-Zanik-jednosmernej-sustavy-na-Slovensku-hon-na-carodejnicu/>, 2007-04-16 [cit. 2010-12-10].
- [6] Chudáček, V.; et al: *Železniční zabezpečovací technika*. Praha: ČVUT, 2005.
- [7] Císař, P.: *InterBase/Firebird - podrobná příručka*. Brno: Compute Press, 2003, ISBN 80-7726-946-1.
- [8] Dudák, J.; Kolej, J.: Koridorové trate ŽSR, centrum riadenia dopravy Trnava. Seminár SVTS dopravy, 10 2008.
- [9] Gajić, Z.: Adding components to a DBGrid[online]. <http://delphi.about.com/od/usedbvcl/1/aa081903a.htm>, 2007 [cit. 2011-01-20].
- [10] Gašparík, J.; Blaho, P.; Lichner, D.: *Železničná dopravná prevádzka: Základy žel. prevádzky*. Žilina: EDIS, 2008, ISBN 80-8070-881-0.
- [11] Gašparík, J.; Pečený, Z.: *Grafikon vlakovej dopravy a priepustnosť sietí*. Žilina: EDIS, 2009, ISBN 80-8070-994-5.
- [12] Štěpán Handl; Miklenda, M.: Srážka vlaku Lv 72641 s vlakem Os 5011 v žst. Moravany. Zpráva o výsledcích a šetření MU [online]. http://www.dicr.cz/uploads/Zpravy/MU/MU_Moravany.pdf, 2008-09-26 [cit. 2008-09-30].
- [13] Hanáček, P.; Staudek, J.: *Bezpečnost informačních systémů*. Praha: ÚSIS, 2000, ISBN 80-238-5400-3.

- [14] HAVIS, Hlasový a vizuální informační systém [online].
<http://www.starmon.cz/cs/produkty-havis.html>, 2010 [cit. 2010-05-02].
- [15] Infrastruktura ČD-Telematika [online].
<http://www.cdt.cz/cz/infrastruktura-97/>, 2010 [cit. 2010-11-03].
- [16] Kandrik, J.: *Řídící systém pro modelovou železnici využívající FITkit*. bakalářská práce, FIT VUT, Brno, 2009.
- [17] Kohout, L.: Aktuálne meškanie vlakov na sieti ŽSR [online].
<http://poloha.vlaku.info>, 2011-05-18 [cit. 2011-05-01].
- [18] Kvasnička, V.; Pospíchal, J.; Tiňo, P.: *Evolučné algoritmy*. Bratislava: Vydavateľstvo STUBA, 2000, ISBN 80-227-1377-5.
- [19] Letní čas a zimní čas [online].
<http://www.presnycas.cz/novinky/letni-cas-a-zimni-cas-2008.html>, 2008 [cit. 2011-05-10].
- [20] Majerčák, J.; et.al.: *Železničná dopravná prevádzka: Technológia žel. staníc*. Žilina: EDIS, 2008, ISBN 80-8070-887-0.
- [21] Matoušek, D.: *C++ Builder - vývojové prostředí*. Praha: BEN, 2002, ISBN 80-7300-064-4.
- [22] *Železniční zabezpečovací zařízení. Staniční a traťové zabezpečovací zařízení. Norma TNŽ 34-2620*. Olomouc: Správa Železniční Dopravní Cesty, s.o., 2008.
- [23] *Drážní zařízení - Sdělovací a zabezpečovací systémy a systémy zpracování dat (ČSN EN 50 128) software pro drážní řídicí a ochranné systémy*. Olomouc: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [24] *Drážní zařízení - Sdělovací a zabezpečovací systémy a systémy zpracování dat (ČSN EN 50 129), část 1.: Komunikace v uzavřených přenosových systémech*. Olomouc: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [25] *Drážní zařízení - Sdělovací a zabezpečovací systémy a systémy zpracování dat (ČSN EN 50 129), část 2.: Komunikace v otevřených přenosových systémech*. Olomouc: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [26] *Směrnice SŽDC č. 34: Směrnice pro uvádění do provozu výrobků, které jsou součástí sdělovacích a zabezpečovacích zařízení a zařízení elektrotechniky a elektroenergetiky, na železniční dopravní cestě ve vlastnictví státu*. Praha: SŽDC s.o., 2007.
- [27] Oltis ISOŘ CDS - Centrální dispečerský systém[online].
<http://www.azd.cz/produkty/systemy-pro-kolejovou-dopravu/produkty/stanicni-zabezpecovaci-zarizeni/esa-11-elektronicke-stanicni-zabezpecovaci-zarizeni/>, 2009 [cit. 2010-05-02].
- [28] Průcha, O.: Vše o VPN [online]. <http://home.zcu.cz/ondrous/>, 2005 [cit. 2011-05-10].

- [29] Rádiové sítě SŽDC [online].
<http://www.szdc.cz/provozovani-drahy/radiove-site.html>, 2011 [cit. 2010-05-02].
- [30] Rowden, N.: ILTIS - The Legacy of a Successful Product. In *Ada-Europe*, 2005, s. 1–12.
- [31] Rozlog, M.: Borland RAD studio, Kylix and C++ Builder roadmap [online].
<http://edn.embarcadero.com/article/39934>, 2009-09-12 [cit. 2010-12-03].
- [32] Sedlář, J.; Balek, J.: *Železniční návěsti. Učebnice předpisu ČD D1*. Olomouc: JERID, 1998, ISBN 80-86206-02-5.
- [33] Soušek, J.; Stehlík, M.: *Zákon o drahách a železniční legislativa ES*. Olomouc: ANAG, třetí vydání, 2006, ISBN 80-7263-293-0.
- [34] Sycara, K.: Multiagent systems. *AI magazine*, ročník 19, č. 2, 1998: s. 1–12.
- [35] TSI TAF Technical specifications for Interoperability – Telematic applications for freight [online]. <http://www.uic.org/spip.php?article446>, 2010-09-13 [cit. 2011-02-09].
- [36] TSI TAP Technical specifications for Interoperability – Telematic applications for passenger [online]. <http://www.uic.org/spip.php?mot3453>, 2010-07-20 [cit. 2011-02-09].
- [37] Tavač, V.; Tavač, M.; Kršák, E.: *Architektúry distribuovaných systémov dispečerského riadenia*. Žilina: EDIS, 2009, ISBN 978-80-554-0118-8.
- [38] Vanderbei, R.: Linear Programming: Foundations and Extensions [online].
<http://www.princeton.edu/~rvdb/LPbook/>, 2009 [cit. 2011-05-10].
- [39] WWW stránky: SIEMENS mobility Schweiz.
http://www.mobility.siemens.com/mobility/en/pub/rail_solutions/rail_automation.htm.
- [40] Zahradník, J.; Rástočný, K.: *Aplikácie zabezpečovacích systémov*. Žilina: EDIS, 2006, ISBN 80-8070-546-1.
- [41] Zahradník, J.; Rástočný, K.; Kunhart, M.: *Bezpečnosť železničných zabezpečovacích systémov*. Žilina: EDIS, 2004, ISBN 80-8070-296-9.
- [42] *TP 1/2010 Z, Základní technické požadavky automatického stavění vlakových cest*. Praha: SŽDC s.o., 2010.
- [43] *TP 2/2006 ZS, Základní technické požadavky dálkového ovládání zabezpečovacího zařízení*. Praha: SŽDC s.o., 2006.
- [44] *Základní technické požadavky jednotného obslužného pracoviště*. Praha: SŽDC s.o., Čtvrté vydání, 1998.

Příloha A

Vysvetlenie skratiek

ASJC : Automatizované stavanie jazdných ciest, niekedy aj **ASVC**

DD : Dopravný denník

DK : Dopravná kancelária

ČD : České dráhy, a.s.

EN : Európska norma

EP : Evidenční počítač (K-2002) (predmet tejto práce)

ES : Elektronické stavadlo

GSM : Mobilná telefónna sieť

GSM-R : Železničná mobilná telefónna sieť

IDS JMK : Integrovaný dopravní systém Jihomoravského kraje

IS : Informačný systém

JOP : Jednotné oslužné pracovisko, rozhranie k stavadlu

KP : Komunikační počítač (K-2002)

PC : Osobný počítač

SIL : Safety integrity level, metodika hodnotenia bezpečnosti

SSL : Secured socket layer

SZZ : Staničné zabezpečovacie zariadenie

SŽDC : Správa železniční dopravní cesty, s.o.

TSI : Technické špecifikácie interoperability (EN)

TNŽ : Technická norma železníc

TP : Technologický počítač (K-2002)

TTP : Tabuľka traťových pomerov

TZZ : Traťové zabezpečovacie zariadenie

ÚP : Údržbový počítač (K-2002)

VPN : Virtual private network

ZZ : Zabezpečovacie zariadenie

ŽSR : Železnice Slovenskej republiky, š.p.

Příloha B

Vybrané ďalšie výpočty dynamického modelu

Všetky vzorce a informácie boli čerpané z [20]

B.1 Traťové odpory

B.1.1 Odpor sklonu

Odpor sklonu o_s môžeme vypočítať podľa vzťahu pre naklonenú rovinu

$$o_s = \frac{O_s}{G} = \frac{G \cdot \sin \alpha}{G} = \sin \alpha [-] \quad (\text{B.1})$$

Kde $\sin \alpha$ je uhol ktorý zvierá trať s rovinou. Pri rozumne malom uhle môžeme zaviesť substitúciu $\sin \alpha = \tan \alpha$. Ďalej ak zavedieme ako veličinu sklon s čo je prírastok výšky na 1000m dĺžky (normalizovaný pomer kratšej odvesny k dlhšej), môžeme s využitím goniometrických počtov počítať:

$$\tan \alpha = \frac{h}{l} = \frac{s'}{10^3} = s; \quad o_s = s [-] \quad (\text{B.2})$$

Vidíme, že tento odpor sme schopní spočítať bez parametrov vlaku, čo je veľmi priaznivé pre výpočty (hmotnosť vlaku je zohľadnená až v pohybovej rovnici).

B.1.2 Odpor oblúka

Odpor oblúka je možné spočítať z odstredivej sily, uvedieme ale železničnej praxi používanější spôsob pomocou experimentálne určeného vzťahu, ktorý už zahŕňa aj redukciu na prídavný sklon:

$$o_o = \frac{a}{R - b} \quad (\text{B.3})$$

Hodnoty a, b určíme z tabuľky B.1.2 (rozchod označuje vzdialenosť medzi koľajnicami):

B.1.3 Odpor výhybiek

Odpor výhybiek nateraz v ďalších výpočtoch uvažovať nebudeme, akonáhle začneme simulovať jazdu vlaku aj na zhlaví určíme ho spravidla pre každú jazdnú cestu zvlášť ako súčet

Rozchod	Polomer	a	b
1435	$> 300m$	650	55
1435	$\leq 300m$	500	30
1000		400	20
750		300	10
600		200	5

Tabulka B.1: Konštanty pre prepočet odporu oblúka

Trieda odporu	Počet osí	a	b	c
R	4	1,35	0,008	$\frac{1}{3000}$
S	2	1,9	0	$\frac{1}{2150}$
U	2	2,0	0	$\frac{1}{800}$
U	4	2,0	0	$\frac{1}{2150}$
T	2	1,7	0,003	$\frac{1}{5550}$
T	4	1,3	0	$\frac{1}{3000}$
M	2	1,5	0	$\frac{1}{1150}$
M	4	1,8	0,001	$\frac{1}{2100}$

Tabulka B.2: Konštanty pre prepočet odporu vozidiel

odporov na jednotlivých výhybkách prechádzaných odbočným smerom (α je uhol odbočenia výhybky, ktorý zistíme zo stavebnej dokumentácie):

$$o_v = 20 + 12,2\alpha \quad (\text{B.4})$$

B.1.4 Odpor tunela

Odpor tunela vzniká tým, že na obmedzenom priestore tlačí vlak vzduch pred sebou ako piest. Železničná prax na výpočty rezignovala, odpor tunela je stanovený ako prídavný sklon 2 pre jednokoľajný, resp. 1 pre dvojkolejný tunel.

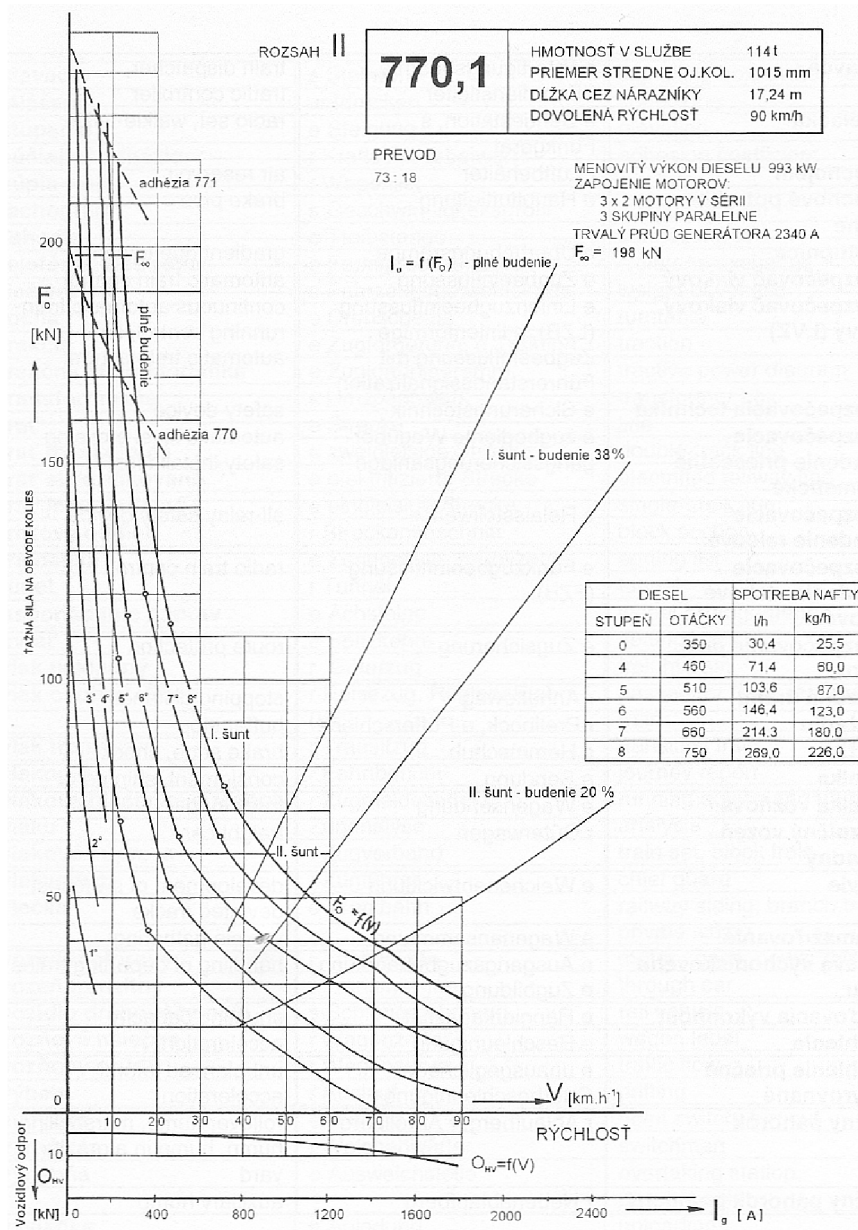
B.2 Odpor vozidiel

Odpor vozidiel môžeme skladať podľa vzorcov pre odpory ložísk, vzduchu, valivých častí, prípadne ho počítame opäť empirickým vzťahom:

$$o_d = a + b.V + c.V^2 \quad (\text{B.5})$$

Kde V je rýchlosť a a , b , c sú konštanty z tabuľky **B.2**:

B.3 Trakčná charakteristika



Obrázek B.1: Ukážka úplnej trakčnej charakteristiky [20]

Příloha C

Požadované prenášané úkony zo stavadla

Výber pojmov na doplnenie do príslušných menu rozhrania JOP na ovládacom počítači. Názvy menu zodpovedajú názvom v [44].

C.1 Menu koľaje - úkony spojené s číslom vlaku

Očíslovanie vlaku (CISV) – Vytvorí na obsadenej koľaji vlak s daným číslom

Zrušenie čísla vlaku (ZRUSV) – Zruší číslo vlaku

Zrušenie čísla s presunutím (PREV) – Zruší číslo vlaku bez zrušenia vlaku (začiatok prestavenia)

Vytvorenie čísla z presunutia (PREV) – Vytvorí číslo vlaku presunutím z iného čísla (koniec prestavenia)

Obrat vlaku (OBRV) – Zrušenie čísla vlaku kombinované s vytvorením čísla nového pre ďalšiu jazdu

Rozdelenie vlaku vľavo (ROZL) – Rozdelenie vlaku na dva (vytvorenie ďalšieho čísla vľavo)

Rozdelenie vlaku vpravo (ROZP) – Rozdelenie vlaku na dva (vytvorenie ďalšieho čísla vpravo)

Spojenie vlakov (SPOJ) – Spojenie vlakov (nové číslo možno zadať)

C.2 Menu stanovišťa obsluhy – Úkony spojené s obnovením komunikácie

Opakovanie komunikácie (OPAK) – Zopakuje komunikáciu za posledných 5 minút

Aktuálny stav (EPST) – Odoslanie aktuálneho stavu na všetkých koľajách

Příloha D

Komunikačný protokol stavadlo-nadstavba

D.1 Návrh bunky komunikačného protokolu medzi stavadlom a EP systémom

Paket UDP = max. 512B

000	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1	
001	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5	
+-----+		
000	PRZ POCET TIMESTAMP	
002		Hlavicka = 6B
004		
+-----+		
006		
008	CISLO VLAKU CISLO NASLEDU	
010	POHYB DRUH PRIZNAKY	
012	DOPRAVNY BOD ZDROJ	
014	DOPRAVNY BOD CIEL	
016	KOLAJ ZDROJ	Zaznam o pohybe = 24B
018	KOLAJ CIEL	Max. 21 zaznamov v jednom pakete
020	Rezervovane	
022	Rezervovane	
024	TIMESTAMP	
026	TIMESTAMP	
028	TIMESTAMP SEKV. CISLO	
+-----+		
	~~~~~	
+-----+		
510	CRC sucet	Patka = 2B => Dokopy rezia 8B

Hlavicka obsahuje min. 6B a je v nej trojbitový príznak:

- x00 pre bežnú prevádzku
- x01 pre prehratie komunikácie

- x10 pre informáciu o aktuálnom stave
- 1xx potom označí posledný paket vysielania

Ďalej nasleduj počet záznamov v pakete a timestamp pre kontrolu komunikácie, ktorý bude použitý aj ako synchronizácia času medzi EP systémom a stavadlom.

Jednotlivé záznamy potom obsahujú na 3B číslo vlaku, na 1B číslo následu (ev. je to možné použiť ako 1 číslo na 4 bajtoch zohľadňujúce anglické číslovanie, ...), uvedené malo by postačovať na všetky mne známe spôsoby číslovania vlakov. Ďalej sú 2B k dispozícii na druh pohybu a prípadné príznaky, ktoré označujú aktuálne vykonávaný úkon a ktoré sa budú ďalej budú špecifikovať. Zoznam úkonov je v ďalšej prílohe.

Proti pôvodným predpokladom a databáze sú použité dva dopravné body, zdrojový a cieľový, inak by sa muselo zohľadňovať, že pre niektoré pohyby (prejazd, prestavenie vlaku, ...) by museli byť vytvorené buď pohyby 2 (ktoré by museli byť vždy v rovnakom pakete), alebo by sa museli pracne dopočítavať následnosti, čím by sa stratila robustnosť. Dopravný bod je identifikovaný svojím identifikátorom a identifikátorom koľaje, 16b, resp. 32b je dost na to aby mohla mať ev. každá koľaj pridelené systémovo unikátne číslo. Presný spôsob využitia stále nie je ujasnený.

Nasleduje 32b rezervovaných na budúce použitie, ako počet náprav, prípadne nejaký ďalší identifikátor zo stavadla. Pohyb sa identifikuje timestampom a sekvenčným číslom. Timestamp zodpovedá skutočnému času pohybu tak, ako ho zaznamenalo stavadlo. Celkovo je možné v jednom pakete preniesť 21 záznamov o pohybe. Na konci je 16b CRC súčet celého paketu pre kontrolu doručenia.

Timestampy boli zvolené klasické unixové (KP, ako jediná časť stavadla, beží na OS Linux). Unixový timestamp pretečie znamienkových 32bitov v roku 2038. Neznamienkový až do roku 2106, ale musel by sa konvertovať. Z tohto dôvodu bolo priadných o 8bitov navyše, čo znamená „nekonečnú“ výdrž.

Niektoré položky v zázname sú zámerné výrazne predimenzované (timestamp, sekvenčné číslo, príznaky, 4 rezervované bajty, číslo koľaje) aby v očakávanom prípade, že sa bude systém upravovať na iné národné prostredia, bolo možné prispôsobiť protokol bez výrazných zásahov do parseru alebo uloženia. Tiež je možné riešiť prípadnú ďalšiu réžiu identifikácie paketu (zatiaľ chyba celosystémová identifikácia paketu).

## D.2 Pribeh komunikácie

- Komunikácia prebieha pomocou UDP broadcastu (z dôvodu použitia jednosmernej linky).
- Iniciátorom (vysielajúcim) je KP, ktorý v pravidelných intervaloch generuje pakety (predpoklad raz za 5 sekúnd).
- Ostatné komunikácie zadáva obsluha do LOP, EP prípadne o toto zažiada.
- Pre prípad náhodnej straty paketu sa každý pohyb vysielá 3x-5x, to znamená, že dĺžka výpadku vedúca k strate údajov o pohybe je 15s-25s. Pre odlišenie opakovane vysielaných pohybov je použitý timestamp, ktorý zodpovedá skutočnému času pohybu a sekvenčné číslo, ktoré kontroluje poradie záznamov.
- Pakety so zlým CRC sa zahadzujú
- Pakety mimo poradie (s timestampom z minulosti) sa zahadzujú



## Příloha E

# Prehľad stanovišť v systéme EP

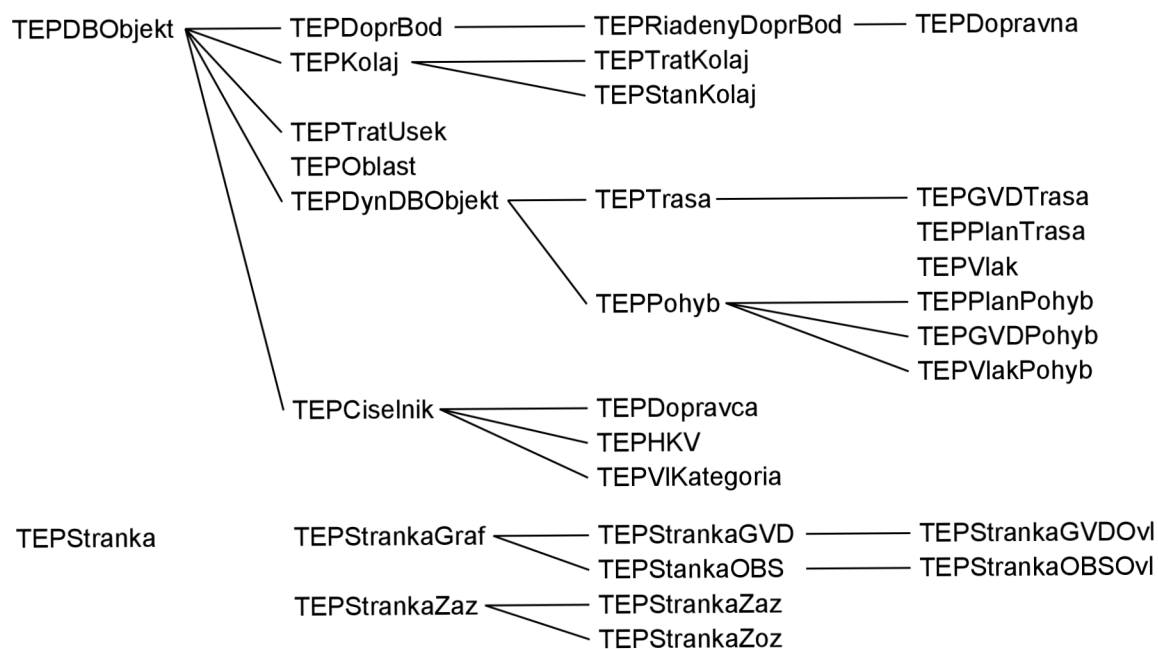
Stanovište	Umiestnenie	SW výbava
Lokálne pracovisko	DK stanice so stavadlom a pripojeným KP	EP grafický klient Lokálna kópia DB Kom. služba – stavadlo Kom. služba – IS pre cestujúcich Replikátor databázy
Lokálne pracovisko	DK stanice so stavadlom bez obsluhy + pripoj. KP	Lokálna kópia DB Kom. služba – stavadlo Kom. služba – IS pre cestujúcich Replikátor databázy
Pracovisko DOZ, pracovisko dispečera	Dispečerská miestnosť DOZ	EP grafický klient Editor GVD Lokálna kópia DB Replikátor DB Záložné pripojenie na oper. IS
Server EP	Ústredňa DOZ	Centrálna databáza Kom. služba - operačný IS Simulátor jazdy vlaku Plánovač dopravy Spojovacia služba stanovišť
Zadávací terminál	Susedná stanica	EP grafický klient
Zobraz. terminál	Vonkajší výpravca	EP grafický klient



## Příloha G

# Úplný objektový model

Sú vynechané niektoré neskôr pridané časti z plánovacieho režimu. Verzia v plnej veľkosti je priložená na CD.



# Příloha H

## Obsah CD

- `\bin\` binárne spustiteľné súbory
- `\diagrams\` niektoré diagramy
- `\dist\` distribučné archívy
- `\latex\` zdrojové kódy správy v  $\text{\LaTeX}$
- `\report\` správa vo formáte PDF
- `\src\` zdrojové kódy všetkých častí