

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

**Posouzení vlivu zavedení systematického jízdního
řádu na kapacitu dopravní cesty trati České
Budějovice – České Velenice**

Bc. Jan Sekyra

Diplomová práce

2011

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: **2010/2011**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan SEKYRA**
Osobní číslo: **D09750**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Technologie a řízení dopravy**
Název tématu: **Posouzení vlivu zavedení systematického jízdního řádu
na kapacitu dopravní cesty trati České
Budějovice - České Velenice**
Zadávací katedra: **Katedra technologie a řízení dopravy**

Zásady pro vypracování:

Úvod

1. Analýza současného stavu infrastruktury a provozu
2. Teoretické navržení metodiky přístupu
3. Vytvoření a naplnění simulačního modelu
4. Nalezení omezujících prvků dopravní infrastruktury a nalezení vhodného řešení
5. Ověření řešení v simulačním modelu

Závěr


Rozsah grafických prací: 3-5
Rozsah pracovní zprávy: 40-50
Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

- (1) VONKA, J. - MOLKOVÁ, T. - ŠIROKÝ, J. Technologie a řízení dopravy II - GVD. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2002. 150 s. ISBN 80-7194-286-3.
- (2) HÜRLIMANN, D. Opentrack - User's manual. Zürich: IVT ETH Zürich, 2009. 110 s.
- (3) Základní dopravní dokumentace železničních stanic na trati České Budějovice - České Velenice
- (4) Interní materiály SŽDC, s.o.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Pavel Mazač**
Katedra technologie a řízení dopravy

Datum zadání diplomové práce: **1. února 2011**
Termín odevzdání diplomové práce: **23. května 2011**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.
děkan

L.S.



doc. Ing. Pavel Drdla, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 20. 05. 2011



Jan Sekyra

Na tomto místě bych chtěl poděkovat Ing. Pavlu Mazačovi za ochotu a čas, které mi věnoval při poskytování informací a rad nezbytných pro zpracování diplomové práce.

ANOTACE

Diplomová práce se zabývá možností aplikace systematického jízdního řádu na výhledový rozsah dopravy na trati České Budějovice – České Velenice a posouzením interakce stávajícího rozsahu dopravní infrastruktury a dopravního provozu. V analytické části je nastíněn historický vývoj a současný stav trati České Budějovice – České Velenice a používané metody výpočtu kapacity. V teoretické části se práce zabývá dopravním modelováním a simulací. V další části jsou nalezena slabá místa v dopravní infrastruktuře dotčené trati z hlediska kapacity dopravní cesty a navržena opatření vedoucí k jejich odstranění. V závěrečné kapitole je zhodnocen dopad navržených změn.

KLÍČOVÁ SLOVA

jízdní řád, kapacita, propustnost, modelování, simulace, OpenTrack, České Budějovice, České Velenice

TITLE

Appreciation of influence of systematic timetable implementation on capacity of railroad line České Budějovice – České Velenice.

ANNOTATION

Thesis is focused on remote controlled securing devices in Czech Republic and the optimalization of line between České Budějovice - Černý Kříž. Theoretical part consists of development of Remote controlled securing devices in Czech Republic. In the analytic part of thesis is described the current situation of line between České Budějovice - Černý Kříž. It also suggests some major updates and changes. In the final part is summarized the impact on suggested changes.

KEYWORDS

time table, capacity, thrupt, modelling, simulation, OpenTrack, České Budějovice, České Velenice,

Obsah:

ÚVOD.....	10
1 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU INFRASTRUKTURY A PROVOZU....	11
1.1 Historie trati České Budějovice – České Velenice.....	11
1.2 Stručný popis traťového úseku České Budějovice – České Velenice	13
1.3 Přehled současného a výhledového rozsahu vlakové dopravy.....	14
1.4 Současné metody výpočtu kapacity.....	16
1.4.1 Metodika dle Předpisu SŽDC (ČD) D24.....	21
1.4.2 Metodika dle Kodexu UIC 406	24
2 TEORETICKÉ NAVRŽENÍ METODIKY PŘÍSTUPU.....	28
2.1 Vstupy potřebné pro modelování	29
2.2 Modelování dopravních procesů	34
2.3 Výsledky modelování a simulace	36
3 VYTVOŘENÍ A NAPLNĚNÍ SIMULAČNÍHO MODELU	38
3.1 Zadávání infrastrukturních dat v programu OpenTrack	38
3.2 Zadávání vozidlových dat v programu OpenTrack	39
3.3 Zadávání dat o jízdních řádech v programu OpenTrack	41
4 NALEZENÍ OMEZUJÍCÍCH PRVKŮ DOPRAVNÍ INFRASTRUKTURY A NALEZENÍ VHODNÉHO ŘEŠENÍ.....	43
5 OVĚŘENÍ ŘEŠENÍ V SIMULAČNÍM MODELU.....	48
5.1 Varianta JŘ s netaktovým vedením vlaků osobní dopravy	48
5.2 Varianta JŘ s taktovým vedením většiny osobních vlaků.....	49
5.3 Varianta JŘ se striktně taktovým vedením osobních vlaků.....	51
ZÁVĚR.....	53
SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	55
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	56
SEZNAM TABULEK	57
SEZNAM ZKRATEK	57
SEZNAM PŘÍLOH	60

ÚVOD

Za posledních několik desetiletí došlo a stále dochází k vývoji a budování nových typů zabezpečovacích zařízení, neboť železniční doprava se po celou dobu své existence neustále vyvíjí. Ve snaze snižovat celkové náklady, dochází v posledních letech ke snižování počtu živé pracovní síly na železnici. Současně je neustále zdůrazňován požadavek zajištění stávající, či ještě vyšší bezpečnosti provozu. Modernizace dopravní cesty a zabezpečovacích zařízení se v současnosti týká především koridorových tratí a tratí zařazených do Transevropské železniční sítě nákladní dopravy TERFN. Do sítě TERFN byla zařazena i trať České Budějovice – České Velenice – Gmünd NÖ – Wien. Tato trať byla nedávno na českém území rekonstruována a elektrizována střídavou soustavou 25 kV s frekvencí 50 Hz. V souvislosti s dokončením rekonstrukce a elektrizace trati k 13. červnu 2010 byla změněna technologie obsluhy příhraniční oblasti a v návaznosti na tuto změnu byl spuštěn na trati České Velenice – České Budějovice taktový jízdní řád.

Cílem této práce je nalézt vhodné řešení implementace systematického jízdního řádu do podmínek posuzované trati a nalezení vztahu mezi rozsahem dopravního provozu a dopravní infrastruktury. Výsledky řešení budou poté verifikovány a validovány v simulačním modelu s použitím softwarového nástroje OpenTrack.

1 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU INFRASTRUKTURY A PROVOZU

V této kapitole autor vypracoval základní přehled o trati České Budějovice – České Velenice, který bude potřebný i pro vypracování dalších částí této diplomové práce.

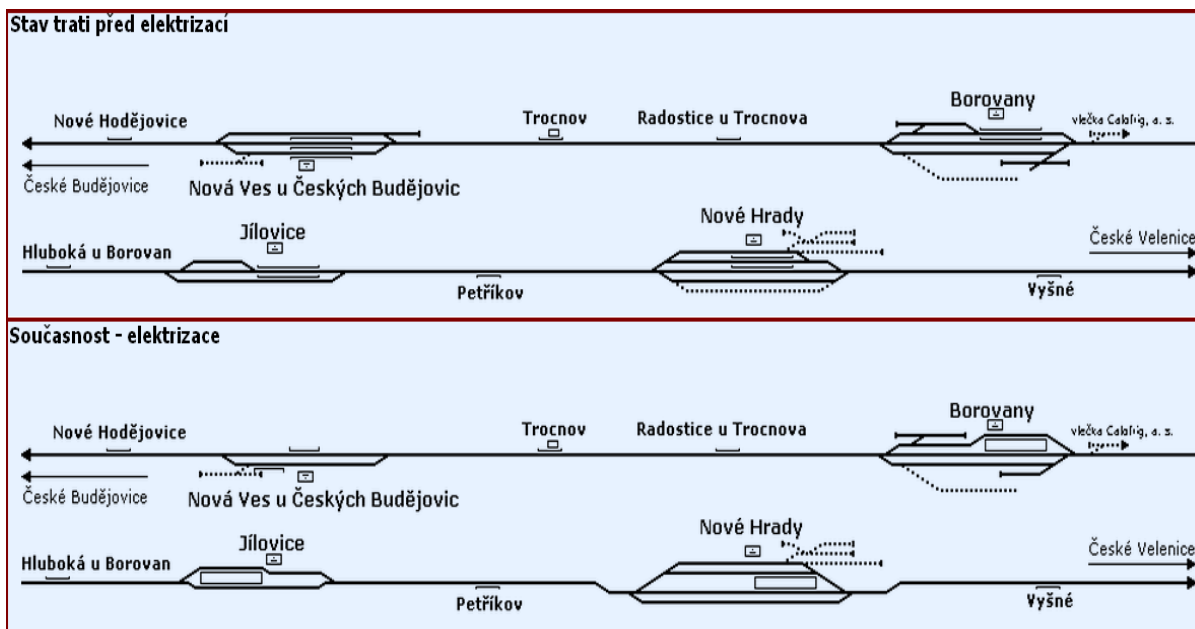
1.1 Historie trati České Budějovice – České Velenice

Trat' České Velenice – České Budějovice byla původně součástí stavby hlavní větve Dráhy císaře Františka Josefa (DcFJ) z Vídně přes Gmünd, České Budějovice a Plzeň do Chebu. Za stavbou dráhy stáli podnikatelé Lanna, Šebek a bratři Kleinové. Touto stavbou se začala utvářet páteřní železniční síť jižních a jihozápadních Čech. Na úseku DcFJ z Českých Budějovic do Českých Velenic byl veřejný provoz slavnostně zahájen 1. listopadu 1869. (1)

Již v době výstavby dráhy bylo nádraží v Českých Velenicích (tehdy pojmenované ještě Gmünd) významnou železniční stanicí. Zdejší nádraží mělo výhodnou polohu vůči výhledové železniční síti DcFJ. Proto bylo rozhodnuto o zřízení centrálních dílen právě v tehdejší Gmündu. Význam Gmündské železniční stanice ještě vzrostl v roce 1871, kdy byla dobudována odbočná větev DcFJ z Gmündu přes Třeboň, Veselí nad Lužnicí (tehdy Veselí – Mezimostí) a Tábor do Prahy. Provoz na této větvi byl zahájen 3. září 1871. Až do roku 1922 neslo nádraží název Gmünd. Po roce 1922 vzniklo z oddělené části Gmündu zvané Cmunt, skládající se ze 3 obcí s názvy Dolní Velenice, České Cejle a Jozefka město České Velenice. Název České Velenice nese nádraží s výjimkou 2. světové války dodnes. Na konci 2. světové války, přesněji 23. dubna 1945 byl českovelenický uzel velmi poškozen bombardováním. Staniční budova byla poté vystavěna již velmi stroze oproti původní honosné a mohutné staniční budově. Nejhorší úpravy se dočkalo českovelenické nádraží v oblasti zabezpečovacího zařízení (ZZ). Do bombardování byly České Velenice vybaveny jedním z nejmodernějších staničních zabezpečovacích zařízení své doby. Při obnově nádraží po náletech se přistoupilo k vybudování pouze mechanického staničního zabezpečovacího zařízení. (1)

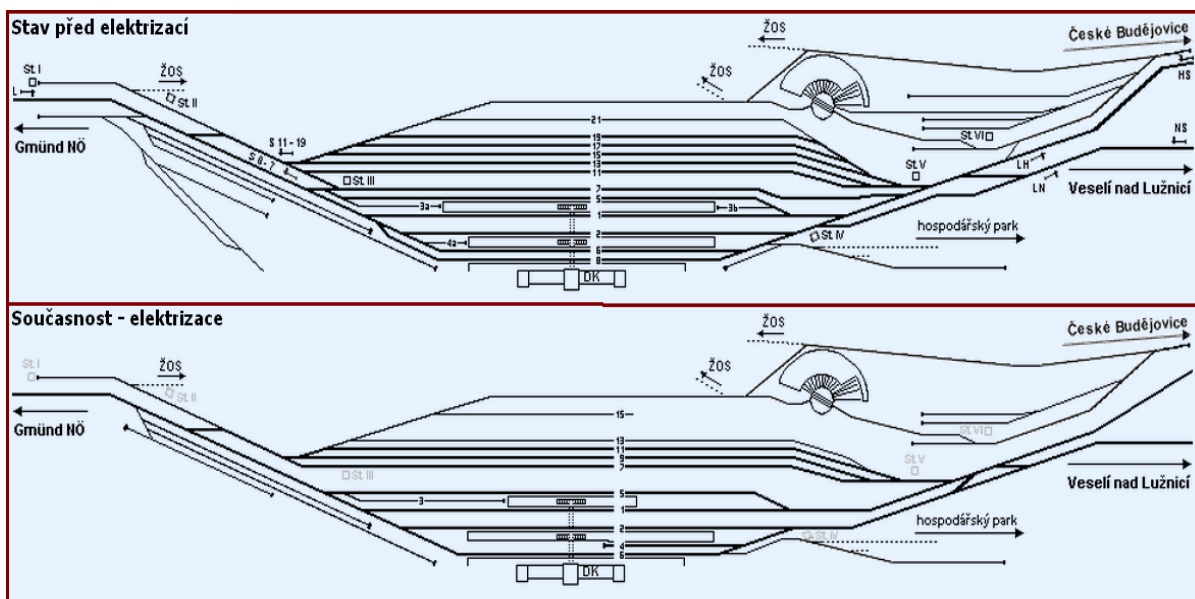
Jinak trat' přečkala do dnešních dnů bez větších stavebních zásahů. Pokud se přistoupilo k nějakým úpravám, týkalo se to většinou dopraven s kolejovým rozvětvením v souvislosti s prodlužováním užitečné délky jednotlivých dopravních kolejí. Největším stavebním zásahem bylo až do elektrizace trati zrušení dopravní koleje číslo 3 v tehdejší žst. Trocnov a zároveň změna na zastávku koncem 90. let 20. století. (1)

K výrazným změnám na trati České Budějovice – České Velenice došlo v období let 2006 – 2010. V těchto letech bylo přistoupeno k elektrizaci tratě střídavou napětovou soustavou 25 kV s frekvencí 50 Hz. Dále byla provedena změna staničních a traťových zabezpečovacích zařízení (ZZ) na ZZ 3. kategorie ovládané z jednotného obslužného pracoviště (JOP). Trať byla dálkově kabelizována a bylo umožněno dálkové ovládnutí ZZ z dispečerského pracoviště umístěného ve výpravní budově žst. České Budějovice. Přejezdy byly osazeny přejezdovým ZZ s pozitivním signálem. Vzhledem k poměrně malému počtu vlaků (především nákladní dopravy) se autorovi diplomové práce zdají vynaložené náklady až zbytečně velké. Úpravy směrových poměrů tratě byly realizovány jen v nezbytně nutném rozsahu pro dosažení maximální traťové rychlosti v místech bývalých lokálních omezení traťové rychlosti. Změny se však dočkalo kolejové schéma jednotlivých dopraven na trati (viz obrázky 1 a 2). Tato změna byla vynucena peronizací železničních stanic oboustrannými nástupišti s úroňovým přístupem. V rámci předelektrizačních úprav byla realizována výstavba nového železničního spodku a svršku, nástupišť s výškou nástupní hrany 550 mm nad temenem kolejnice a protihlukových stěn. Výměny byly opatřeny elektrickým ohřevem. V místě mimoúrovňového křížení trati se silnicí II/155 v těsné blízkosti zastávky Trocnov došlo k přibližně jednometrovému zahloubení tratě kvůli nedostatečné výšce zdejšího silničního nadjezdu. K dokončení a předání stavby došlo 13. června 2010. (1)



Obrázek 1: Znázornění kolejových schéma žst. na trati před a po elektrizaci

Zdroj: (1)



Obrázek 2: Znázornění kolejových schéma žst. České Velenice před a po elektrizaci

Zdroj: (1)

Díky provedení jednotlivých úprav bylo na trati docíleno významné úspory provozních zaměstnanců. Použitím moderního zabezpečovacího zařízení bylo dosaženo zvýšení bezpečnosti provozu. Zůstává však otázkou, zda by nebylo výhodnější investovat vynaložené prostředky místo do traťového úseku České Budějovice – České Velenice do některého jiného, více využívaného traťového úseku. Efektivnost a návratnost takovýchto investic by byla dle autora zcela jistě lepší.

1.2 Stručný popis traťového úseku České Budějovice – České Velenice

Úsek trati České Budějovice – České Velenice dlouhý 51,4 km je součástí trati Plzeň – České Budějovice – České Velenice – státní hranice s Rakouskem. Popisovaný úsek trati je jednokolejný, elektrizovaný střídavou soustavou 25 kV s frekvencí 50 Hz. Na úseku trati z Českých Budějovic do Českých Velenic se nachází 6 žst. Jsou jimi:

- České Budějovice
- Nová Ves u Českých Budějovic
- Borovany
- Jílovice
- Nové Hrady
- České Velenice

Do žst. České Budějovice jsou zaústěny též tratě České Budějovice – Praha, České Budějovice – Plzeň, České Budějovice – Volary a České Budějovice – Horní Dvořiště.

Do žst. České Velenice jsou zaústěny též tratě České Velenice – Veselí nad Lužnicí a České Velenice – Gmünd NÖ. Rozmístění zastávek v jednotlivých prostorových oddílech na trati je znázorněno v tabulce 1.

Tab. 1: Rozmístění zastávek v jednotlivých prostorových oddílech

Mezistaniční úsek	Zastávky v mezistaničním úseku
České Budějovice – Nová Ves u Českých Budějovic	Nové Hodějovice,
Nová Ves u Č. Budějovic – Borovany	Trocnov, Radostice u Trocnova.
Borovany – Jílovice	Hluboká u Borovan,
Jílovice – Nové Hrady	Petříkov,
Nové Hrady – České Velenice	Vyšné,

Zdroj: (3)

Kolejnice jsou typu S49. V řešeném úseku byla stanovena maximální traťová rychlost na úseku České Budějovice – Jílovice na 90 km/h, v úseku trati Jílovice – České Velenice na 100 km/h. Zábřezná vzdálenost je v celém popisovaném úseku trati 700 m. Traťová třída dovoleného zatížení je D3, což znamená maximální hodnoty 22,5 tuny na nápravu a 7,2 tuny na běžný ložný metr. Největší dovolená délka vlaku osobní dopavy je 90 m, u vlaku nákladní dopavy pak 580 metrů, nebo 116 náprav. V současné době je celý úsek České Budějovice (mimo) – České Velenice (mimo) obsluhován dálkově z dispečerského stanoviště v Českých Budějovicích. Organizování a provozování drážní dopavy je uskutečňováno dle předpisu SŽDC (ČD) D2. Z hlediska ZZ jsou všechny žst. na traťovém úseku vybaveny elektronickým staničním ZZ typu ESA. Jako traťové ZZ bylo na zmiňovaném úseku použito automatické hradlo AH 88 A bez oddílových návěstidel. (2)

1.3 Přehled současného a výhledového rozsahu vlakové dopavy

Rozsah vlakové dopavy byl v průběhu elektrizace tratě částečně redukován především kvůli snaze neomezovat výlukové práce na trati. Po dokončení elektrizace na české straně a částečné optimalizace na straně rakouské by měl být celkový rozsah dopavy postupně opět navyšován. Je třeba zmínit, že v průběhu elektrizace a optimalizace trati došlo ve financování veřejné regionální osobní dopavy k mnohým změnám a dále k mnohým dohodám v mezinárodní osobní dopravě, které mají zásadní vliv na objednání jednotlivých počtů spojů na trati. V nákladní dopravě je již přes dvě desetiletí znatelná stagnace železniční nákladní dopavy. V JŘ 2009/2010 byl na traťovém úseku České Velenice – České Budějovice

následující rozsah dopravy, který znázorňuje tabulka 2. V závorkách je uveden rozsah dopravy od 13. června 2010, kdy došlo k spuštění elektrického provozu na trati a zároveň ke změně jízdního řádu. Vlaky označené symbolem * jedou pouze v úseku České Velenice – Borovany a zpět.

Tab.2: Rozsah dopravy v úseku České Budějovice – České Velenice v GVD 2009/2010

Druh vlaku	Směr sudý	Směr Lichý	Celkem
R, Sp	- (-)	- (-)	- (-)
Os	11 (10)	10 (10)	21 (20)
Osobní celkem	11 (10)	10 (10)	21 (20)
Vn	- (-)	- (-)	- (-)
Nex, Rn, Sn	- (-)	- (-)	- (-)
Pn	1 (1)	2 (2)	3 (3)
Mn	1* (1*)	1* (1*)	2* (2*)
Nákladní celkem	2 (2)	3 (3)	5 (5)
Lv	- (-)	- (-)	- (-)
Celkem	13	13	26

Zdroj: (3)

Výhledově se s tratí z Českých Budějovic do Českých Velenic počítá pro vytvoření vozebního ramena České Velenice – České Budějovice – Strakonice a zpět, pro které již byly dopravcem Českými drahami, a. s. (ČD) objednány nové elektrické jednotky. Navíc v úseku České Budějovice – Borovany má být v budoucnu železniční osobní doprava součástí zamýšleného IDS. Tato integrovaná železniční doprava svou polohou v časovém období mezery mezi vlaky z/do Českých Velenic bude schopna vhodně doplňovat nabídku spojů v okolí Českých Budějovic. Vytvořený záměr může konkurovat příměstské dopravě. Dále je v osobní dálkové dopravě zamýšleno rozvinout mezistátní dálkovou dopravu v relaci České Budějovice – Vídeň a zpět až na 5 párů vlaků kategorie R nebo Sp denně. Rozsah nákladní dopravy zůstává s výjimkou jednoho páru vlaků prakticky nezměněn. Celkem se výhledově počítá s rozsahem dopravy, který je znázorněn v tabulkách číslo 3 a 4.

Tab.3: Výhledový rozsah dopravy v úseku České Budějovice – Borovany

Druh vlaku	Směr sudý	Směr Lichý	Celkem
R, Sp	5	5	10
Os	14	14	28
Osobní celkem	19	19	38
Vn	-	1	1
Nex, Rn, Sn	1	-	1
Pn	2	2	4
Mn	-	-	-
Nákladní celkem	3	3	6
Lv	-	-	-
Celkem	22	22	44

Zdroj: (2)

Tab.4: Výhledový rozsah dopravy v úseku Borovany – České Velenice

Druh vlaku	Směr sudý	Směr Lichý	Celkem
R, Sp	5	5	10
Os	8	8	16
Osobní celkem	13	13	26
Vn	-	1	1
Nex, Rn, Sn	1	-	1
Pn	2	2	4
Mn	1	1	2
Nákladní celkem	4	4	8
Lv	-	-	-
Celkem	17	17	34

Zdroj: (2)

1.4 Současné metody výpočtu kapacity

Pro analyzování současných metod výpočtu kapacity je potřebné nejprve definovat pojmy kapacita a propustná výkonnost neboli propustnost.

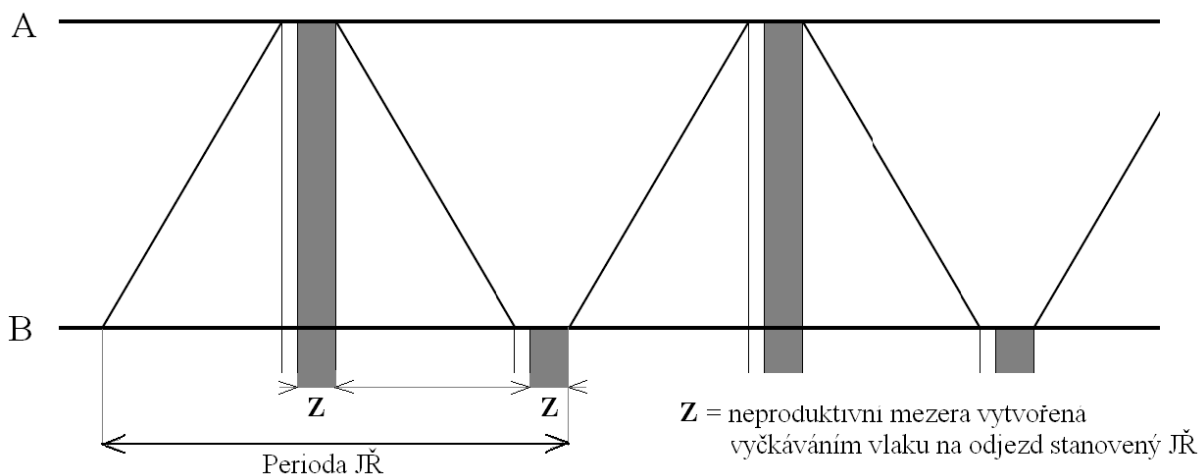
Kapacitou se obecně rozumí počet požadavků, které je možné na daném zařízení dosáhnout za určitý časový úsek při zachování požadované kvalitativní úrovně vlakové dopravy. Zároveň je třeba dodržet všechna pravidla i předpisy pro používání takovýchto zařízení. (6)

Kapacita trati je chápána jako využitelná propustnost v rámci rozvržení požadovaných tras vlaků na úseku dopravní cesty v určitém období [trasy]. Jde tedy o celkový počet uskutečnitelných (možných) vlakových tras v určeném časovém úseku, který respektuje skutečné složení vlakových proudů nebo předem známý vývoj či vlastní předpoklady provozovatele dopravní infrastruktury, a to v železničních stanicích a uzlech, na jednotlivých tratích nebo v části sítě, při zachování tržně orientované kvality. (4)

Propustná výkonnost neboli propustnost traťového úseku (trati) označuje takový rozsah vlakové dopravy, který za daného stavu a technického vybavení zařízení tratí a při zachování postupů, platných pro jejich využívání, může být na zjišťované trati za určité časové období trvale a pravidelně zvládnut. Propustnost se vyjadřuje počtem vlaků za čas v každém směru, který může být na dané trati trvale a plynule provázen zpravidla za 24 hodin. (5) Jiná definice propustnosti říká, že **propustností** se rozumí výkonnost, vyjádřená počtem vlaků za čas, kterou ještě lze na železničním zařízení dosáhnout, aniž by byla snížena požadovaná kvalita vlakové dopravy. (6)

V posledních letech vstoupily do problematiky stanovování propustné výkonnosti nové prvky v dopravní technologii související především s rozvojem převahy osobní dopravy, periodických jízdních řádů, či v souvislosti se zvyšujícími se rozdíly mezi rychlostmi jednotlivých vlaků. Všechny tyto prvky mají samozřejmě na výpočet propustné výkonnosti jistý vliv. (7)

Dříve u železniční dopravy jako takové převládala doprava nákladní. Požadavky nákladní dopravy na JŘ neměly zpravidla významnou roli. Vlaky mohly být do mezistaničního úseku vypravovány ihned po uvolnění úseku. Teorií hromadné obsluhy lze takovýto přístup charakterizovat následovně: do systému hromadné obsluhy může vstoupit požadavek bezprostředně poté, co je linka obsluhy uvolněna za současně platící podmínky, že v zásobníku vstupních požadavků je vždy nějaký požadavek k dispozici. V současnosti však tento přístup při převládající osobní dopravě neplatí. Pro osobní dopravu je charakteristická organizace dopravy bez zbytečně velkých prostoje, což nejvíce ocení zákazníci – cestující. Dochází tak ke zcela specifickým požadavkům zpravidla ve formě integrovaného taktového JŘ, na které musí výpočty kapacity reagovat. (6)



Obrázek 3: Negativní dopady periodického JŘ na kapacitu

Zdroj: autor

Právě aplikace periodických JŘ je poslední dobou problémem nabývajícím na významu. Pojem periodické JŘ zahrnuje jak intervalové JŘ, tak i taktové JŘ. U periodických JŘ dochází nepřímo k obsazení DI vlivem vázanosti odjezdů a příjezdů jednotlivých vlaků na periodu JŘ. Vyčkáváním vlaku na periodickým jízdním řádem pevně stanovený odjezd vzniká časová mezera. Tato časová mezera již není využitelná pro obsazení prvků DI jízdou jiného vlaku jak je znázorněno na obrázku 3. Jedná se tedy o takzvanou neproduktivní časovou mezera. Problém spočívá ve vyjádření a kvantifikaci takovýchto neproduktivních časových mezer pro kalkulaci těchto ztrát při výpočtu kapacity. Nicméně vyjdeme-li ze vztahu (1-1):

$$T = T_{obs} + T_{mez} \quad [\text{min}] \quad (1-1)$$

kde:

T celkový výpočetní čas [min]

T_{obs} celkový čas obsazení [min]

T_{mez} celkový čas mezer [min]

Jako celkový výpočetní čas se obvykle uvažuje 1440 minut v případě stanovování denní propustnosti a 60, 120 nebo někdy až 240 minut v případech zjišťování propustnosti v dopravní špičce.

Tento vztah lze ještě dále rozvést. Celkový čas mezer T_{mez} můžeme rozdělit na produktivní čas mezer a neproduktivní čas mezer dle vztahu (1-2).

$$T_{mez} = T_{mez}^{prod} + T_{mez}^{neprod} \quad [\text{min}] \quad (1-2)$$

kde:

T_{mez} je celkový čas mezer [min]

T_{mez}^{prod} je celkový čas produktivních mezer [min]

T_{mez}^{neprod} je celkový čas neproduktivních mezer [min]

Dosazením vztahu (1-2) do T_{mez} ve vztahu (1-1) vznikne vztah (1-3):

$$T = T_{obs} + (T_{mez}^{prod} + T_{mez}^{neprod}) \quad [\text{min}] \quad (1-3)$$

Kde:

T celkový výpočetní čas [min]

T_{obs} celkový čas obsazení [min]

T_{mez}^{prod} celkový čas produktivních mezer [min]

T_{mez}^{neprod} celkový čas neproduktivních mezer [min]

Základním problémem však zůstává, jak rozdělit celkový čas mezer na čas produktivních mezer a čas neproduktivních mezer. Lze říci, že časem produktivních mezer T_{mez}^{prod} by byl takový čas, který v součtu jízdní doby vlaku (JD) a příslušného provozního intervalu (PI), je větší než minimální mezera potřebná pro vložení dalšího dodatečného vlaku.

Přesnost stanovení výsledných hodnot závisí též na úrovni popisu dopravní infrastruktury (DI) a provozních situací. Takovéto předpoklady jsou splněny při aplikaci simulačního modelování. Simulační modely jsou schopny zohlednit širší vazby řešeného systému a zároveň podat komplexnější posouzení a zhodnocení vlastností systému, než jen počet požadavků za čas. (6)

Při určování kapacity doposud převažují analytické metody. Ty dekomponují řešení na jednotlivé dílčí části – traťový úsek a žst. Výsledné řešení tak je závislé pouze na omezujících částech DI s nevyhovujícími parametry.

U traťového úseku je údaj o počtu vlaků za výpočetní čas z matematického hlediska plně vypovídající pouze v případě rovnoběžného JŘ. Současně musí platit podmínka, že vlaky

mohou být do mezistaničního úseku vypravovány na následné mezidobí bez prostojů. V drážní dopravě lze podmínky pro rovnoběžný JŘ vytvořit pouze obtížně a zřídka, zpravidla v uzavřených dopravních systémech (např. metro), nebo na některých specifických tratích (například horské železniční systémy). (6)

V absolutní většině případů se jedná o nerovnoběžný JŘ, kdy na daném úseku je provozováno více typů vlaků širokým spektrem hnacích a přípojných vozidel. Rozdílné charakteristiky jednotlivých typů vlaků i vozidel mají za následek i jejich rozdílné jízdní doby, respektive z toho vyplývající rozdílné časy obsazení. Dalším důvodem zvětšujícím tento problém je nárůst variačního rozpětí rychlostí jednotlivých vlaků. Tyto ztráty času (vztažené k teoretické kapacitě mezistaničního úseku) jsou matematicky kvantifikovatelné pomocí rozhodného následného mezidobí pro daný sled vlaků. Problémem je, že velikost takového ztráty závisí na konkrétním sledu vlaků a jejich rychlostech. Vyjádření kapacity v celkovém pohledu, např. za čas 1440 minut, respektive počtu vlaků, které je možné ještě do JŘ doplnit, bývá v tomto případě komplikované. V grafických metodách je tento problém řešen konstrukcí maximálně zaplněného nákrešného JŘ, kdy jsou do něj vkládány tzv. univerzální trasy vlaků. Tyto trasy však samy o sobě výsledek zkreslují. (6)

U žst. jsou předmětem při zjišťování kapacity dopravní koleje a staniční zhlaví. Pro manipulační koleje se propustná výkonnost nepočítá. Princip určování kapacity je identický jako u traťového úseku, tedy stanovení mezního počtu vlaků, kterého lze ve zvoleném výpočetním období při daných podmínkách a požadované úrovni kvality dopravy dosáhnout. Posunové cesty, které způsobují obsazení dopravních kolejí a snižují tím disponibilní volnou kapacitu jsou zohledňovány prostřednictvím doby obsazení stálými manipulacemi.

Na problematiku stanovování kapacity dopravních kolejí v celkovém pohledu (např. celé žst.) je možné nahlížet jako na úlohu teorie hromadné obsluhy. V tom případě jednotlivé dopravní koleje představují paralelní linky obsluhy.

Kapacita staničních zhlaví se udává v počtu úkonů za výpočetní čas. Tyto úkony představují jak jízdy vlaků, tak i jízdy posunové. Úkon je tedy obecnou jednotkou. (6)

V současnosti se v ČR uplatňují dva přístupy na výpočet PV.

1.4.1 Metodika dle Předpisu SŽDC (ČD) D24

Prvním přístupem je metodika dle Předpisu SŽDC (ČD) D24. Tato metodika nabyla ve své základní verzi platnosti u tehdejších ČSD již 1. října 1965, nicméně se v ČR s doplňujícími úpravami používá dodnes.

Předpis dělí propustnost podle struktury vlaků, organizace dopravy a prvků sítě na propustnost:

- traťových úseků
 - teoretickou (maximální)
 - praktickou
- ŽST
 - teoretickou (maximální)
 - praktickou

Rozdíl mezi teoretickou (maximální) a praktickou propustností je v tom, že výpočet maximální propustnosti neuvažuje žádné časové ztráty. Dále se předpokládá, že zařízení, jehož propustnost je třeba stanovit, slouží výlučně činnosti, pro kterou je určeno a nezbytné technologické časy obsazení na sebe bezprostředně navazují bez sebemenších časových ztrát. Naopak výpočet praktické propustnosti uvažuje nejen s nutností údržby zařízení, popřípadě skutečností, že příslušné zařízení slouží i k vykonávání jiné činnosti, než ke které převážně slouží a je určeno. Uvažuje také časovou zálohu nutnou pro odstranění případných poruch či nepravidelností. (6)

Maximální propustnost je určena vztahem (1-5):

$$n_{\max} = \frac{T}{t_{\text{obs}}} \quad [\text{technologické operace/výpočetní čas}] \quad (1-5)$$

kde:

n_{\max} maximální propustnost [technologické operace/výpočetní čas],

T výpočetní čas [min],

t_{obs} průměrný čas obsazení potřebný k uskutečnění sledované technologické operace [min/technologické operace]

Technologickou operací je myšlena například jízda vlaku, posunová jízda atd.

Jako výpočetní čas se obvykle uvažuje 1440 minut v případě stanovování denní propustnosti a 60, 120 nebo někdy až 240 minut v případech zjišťování propustnosti v dopravní špičce.

Praktickou propustnost, vypočítanou se zřetelem k potřebné záloze lze stanovit na základě vztahu (1-6):

$$n = \frac{T - (T_{vy\dot{l}} + T_{st})}{t_{obs} + t_{dod} + t_{ru\dot{s}}} \quad [\text{technologické operace/výpočetní čas}] \quad (1-6)$$

kde:

n praktická propustná výkonnost [technologické operace/výpočetní čas],

T výpočetní čas [min],

$T_{vy\dot{l}}$ celkový čas ($T_{vy\dot{l}} = \sum t_{vy\dot{l}}$), po který je dané zařízení nebo prvek v čase T vyloučen z provozu pro předepsané prohlídky, opravy a údržbu [min],

T_{st} celkový čas stálých manipulací ($T_{st} = \sum t_{st}$), po který je dané zařízení nebo prvek obsazen v čase T jinými úkony, než ve kterých je zjišťována propustnost [min],

t_{obs} časová norma (technologický čas) obsazení daného zařízení nebo prvku jedním vlakem s průměrným časem obsazení, v nichž je počítána propustnost [min],

t_{dod} průměrný čas dodatečného obsazení, připadající na jeden vlak [min],

$t_{ru\dot{s}}$ průměrný čas z celkového času pravděpodobného vzájemného rušení jízd, vznikajícího v místech možného ohrožení z důvodů nemožnosti současných jízd na daném zařízení nebo prvku, připadající na jeden vlak [min]

Čas t_{dod} se skládá z:

- času, o který je nutné prodloužit čas obsazení daného zařízení nebo prvku proto, že jeho uvolnění zabraňuje obsazení dalšího zařízení nebo prvku,
- času na vyrovnání zpoždění z nepravidelností a poruch v dopravě

Čas $t_{ru\dot{s}}$ vzniká na zjišťovaném zařízení. Jak čas t_{dod} , tak čas $t_{ru\dot{s}}$ je obtížné vypočítat či stanovit. Dosud nejrozšířenějším způsobem jejich určení jsou doporučení, opírající

se o empiricky získané hodnoty. Při výpočtu se proto uvedené dva časy nahrazují hodnotou mezery t_{mez} dle vztahu (1-7)

$$t_{mez} = t_{dod} + t_{ruš} \quad [\text{min}] \quad (1-7)$$

kde:

t_{dod} průměrný čas dodatečného obsazení, připadající na jeden vlak [min]

$t_{ruš}$ průměrný čas z celkového času pravděpodobného vzájemného rušení jízd, vznikajícího v místech možného ohrožení z důvodů nemožnosti současných jízd na daném zařízení nebo prvku, připadající na jeden vlak [min]

Jedná se o průměrnou časovou mezeru, neboli zálohu připadající na jeden průměrný vlak, nezbytnou k odstranění eventuálních nepravidelností či poruch. Ze vztahů (1-5) a (1-6) je patrné, že propustnost bude záviset především na stanovení času obsazení t_{obs} (za předpokladu, že se výpočetní čas nebude měnit). (6)

Výsledná propustnost se určí zjištěním propustnosti všech prvků a poté vyhledáním nejnižší hodnoty propustnosti nejméně propustného prvku.

V deterministických provozních podmínkách je možné jednotlivé veličiny uváděné ve vztazích (1-5) a (1-6) poměrně snadno určit a vypočítat. Hodnoty propustnosti vypočítané na základě těchto vztahů budou představovat hodnoty reálné.

Ve stochastických podmínkách je tomu jinak. Hodnota veličiny t_{obs} ze vztahů (1-5) a (1-6), jakož i hodnoty veličin t_{dod} a $t_{ruš}$ ze vztahu (1-6) jsou veličiny náhodně proměnné. Dosazením jejich průměrných hodnot do uvedených vztahů získáme vesměs hodnotu jakéhosi orientačního odhadu. Pro přesný výpočet (přesný ve smyslu přesný na určité hladině pravděpodobnosti) se použijí metody opírající se o matematickou statistiku a počet pravděpodobnosti. Při řešení složitějších případů je pak vhodné využít metody stochastického modelování. (6)

Pro rozhodování při výpočtu propustné výkonnosti mohou být důležité i veličiny jako Koeficient využití propustnosti a Stupeň obsazení provozního zařízení.

Koeficient využití propustnosti K_{vp} definuje poměr rozsahu pravidelné dopravy k praktické propustnosti dané trati nebo provozního zařízení. Je udáván i v procentech jako stý násobek koeficientu využití – viz. vztah (1-8).

$$K_{vz} = \frac{N}{n} * 100 \quad [\%] \quad (1-8)$$

kde:

K_{vz} je koeficient využití propustnosti [%]

N je počet vlaků [vl]

n je praktická propustnost [vl]

Stupeň obsazení provozního zařízení (nebo prvku) S_o vyjadřuje poměr celkového času obsazení tohoto provozního zařízení (prvku) pravidelnou vlakovou dopravou k výpočetnímu času. Výpočetní čas je snížen o celkové časy výluk a stálých manipulací – viz vztah (1-9).

$$S_o = \frac{\sum t_{obs}}{T - (\sum t_{výl} + \sum t_{stál})} = \frac{N * t_{obs}}{T - (\sum t_{výl} + \sum t_{stál})} \quad [-] \quad (1-9)$$

kde:

S_o stupeň obsazení [-]

T výpočetní období [min]

t_{obs} čas obsazení jedním vlakem [min]

N počet vlaků [vl.]

$t_{výl}$ čas plánovaných výluk [min]

$t_{stál}$ čas stálých manipulací [min]

1.4.2 Metodika dle Kodexu UIC 406

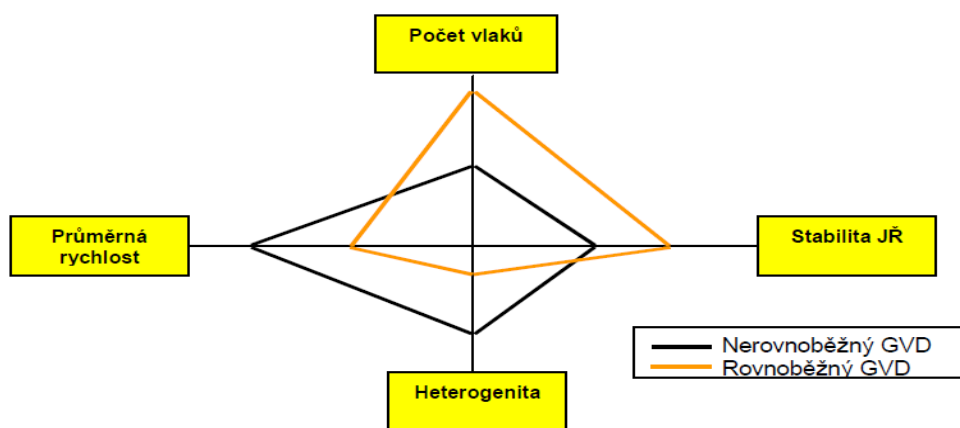
Kodex UIC 406 o kapacitě nabízí novější pohled na problematiku. Je platný od 1.6.2004 a platí pro všechny členy UIC (UIC – Mezinárodní železniční unie).

V kodexu se připouští, že kapacita jako taková vlastně neexistuje, neboť závisí na tom, jak je daná DI využívána. Základními parametry důležitými pro kapacitu jsou zde počty vlaků, průměrná rychlost, stabilita a heterogenita JŘ (viz obrázek 4 na následující straně).

Pro každý parametr vychází jedna osa ze společného bodu. Křivka představující kapacitu pak spojuje vždy konkrétní hodnoty jednotlivých parametrů. Délka této křivky představuje vlastní hodnotu kapacity.

Stanovení kapacity je i zde založeno na vyhodnocení existujícího JŘ, případně na vyhodnocení případové studie, pokud se jedná o posuzování navrhovaných tratí do budoucna.

Vlastní stanovení kapacity probíhá v metodice UIC 406 podobnými postupy jako v Předpise SŽDC (ČD) D24, a to grafickou a výpočetní metodou. Grafická metoda spočívá v kompresi navržených vlakových tras na časové odstupy podle provozních intervalů



Obrázek 4: Kapacitní bilance podle kodexu UIC 406

Zdroj: (8)

Výpočetní metoda je v případě UIC založena na výpočetních vztazích (1-10) a (1-11).

$$k = A + B + C + D \quad [\text{min}] \quad (1-10)$$

kde:

kvyužitý čas celkem [min]

Aobsazení infrastruktury [min]

Bčas mezery [min]

Cmezera pro jednokolejné tratě [min]

Drezerva času pro údržbu [min]

$$K = \frac{k * 100}{U} \quad [\%] \quad (1-11)$$

kde:

Kvyužití kapacity [%]

Uvýpočetní čas [min]

Rozdíl oproti metodice založené na předpise SŽDC (ČD) D24 je v tom, že výsledky dosažené dosazením do vztahů (1-10) a (1-11) je potřeba porovnat s určitou standardní hodnotou, která se odvíjí od typu zkoumané tratě. Ani tyto hodnoty ovšem nelze stanovit jednoznačně. Existuje mnoho dalších parametrů, které mohou tuto hodnotu ovlivnit. Jedná se o spolehlivost DI, spolehlivost vozidel, vzájemné závislosti mezi zkoumaným traťovým úsekem a úseky na zkoumaný úsek navazujícími, rozpětí jízdních dob, počet vlaků, možnosti křižování a předjíždění na zkoumaném traťovém úseku apod. Proto jsou hodnoty uvedené v tabulce 5 pouze orientační.

Tab.5: Orientační hodnoty využití kapacity pro určité typy tratí

Typ tratě	Čas špičky	Celý den	Poznámka
Speciální příměstská doprava	85%	70%	Možnost vypustit některé služby umožňuje stupeň využití s vysokou kapacitou.
Speciální vysokorychlostní trať	75%	60%	
Tratě se smíšeným provozem	75%	60%	Může být vyšší, pokud je počet vlaků malý (tj. méně než 5 vlaků za hodinu) s vysokou heterogenitou.

Zdroj: (8)

Pokud se ze vztahů (1-10) a (1-11) dosáhne hodnoty nižší, než jsou tyto hodnoty v tabulce, lze předpokládat, že daná trať má ještě využitelnou kapacitní rezervu. To ovšem musí být nutně prokázáno ještě dalšími kroky analýzy DI. Tento postup je založen na pokusu vložit požadované trasy s jejich typickými vlastnostmi do zkoumaného JŘ. Pokud

se to podaří, je třeba postup opakovat až do doby, než bude překročena, nebo alespoň dosažena orientační standardní hodnota využití kapacity, anebo pokud již nebude možné další trasu vložit. (7)

Ve výsledku lze říci že jediný dosud objektivně graficky nebo analyticky prokazatelný postup byl stanoven pro železniční síť v ČR již v metodice SŽDC (ČD) D24 a metodika UIC 406 pak je jakousi nadstavbou tohoto postupu.

2 TEORETICKÉ NAVRŽENÍ METODIKY PŘÍSTUPU

Pro teoretické navržení přístupu k posouzení vlivu zavedení systematického jízdního řádu na zkoumaném traťovém úseku budou rozhodující ukazatele týkající se propustné výkonnosti trati (PV), popřípadě kapacity.

Pro správnou implementaci vhodné metodiky přístupu je potřeba nejprve stanovit jednotlivá kritéria, která požadujeme ve výstupu popřípadě i jejich prioritu. Cílem metodiky je nalezení vhodného rozsahu a koncepce dopravního provozu na stávající infrastruktuře s ohledem na přepravní požadavky a zároveň i požadavky objednavatele.

Diplomová práce se zabývá traťovým úsekem České Budějovice – České Velenice s ohledem na změnu dopravní technologie v podobě změny z běžného JŘ na systematický JŘ.

Vytvoření samotného systematického JŘ pro zadané podmínky není až tak velký problém. Programy na podporu tvorby JŘ (v ČR např. systém SENA JŘ VT či IS KANGO) vytváří samotný JŘ ze vstupních informací, kterými jsou infrastruktura, vozidla, časové požadavky a další omezující podmínky. Problémem je ovšem prověření míry optimality vytvořeného JŘ. Teoreticky je možné podle určitých pravidel říci, že vytvořený JŘ splnil/nesplnil cíle, které byly před samotnou konstrukcí JŘ stanoveny, jako například spolehlivost, přesnost, celkové náklady na provoz, údržbu infrastruktury apod. Těmto dílčím cílům lze stanovit určitou preferenci. Z hlediska konstrukce nákrešného JŘ má klíčový vliv parametr stability JŘ a schopnost likvidace zpoždění. Nejčastějším problémem při konstrukci JŘ je idealizace podmínek. Zkonstruovaný JŘ pak sice teoreticky splňuje požadavky na něj kladené, nicméně v praxi dochází jen minimálně ke stavu, kdy vše funguje ideálně a podle předpokladů při tvorbě JŘ. (9)

Železnice jako celek je velice rozsáhlý systém se spoustou vnitřních vzájemných vazeb a propojení. Tyto vazby a propojení se týkají například:

- přípojů,
- turnusování obslužného personálu,
- oběhů vozidel,
- využívání kapacity tratí atd.

V takto rozsáhlém systému se téměř v každém okamžiku vyskytuje nějaká drobná chyba. Tato chyba se v našem konkrétním případě projevuje jako zpoždění. Odpověď na otázku, co se stane v případě zpoždění, však samotnou konstrukcí JŘ nenalezneme. Bylo by sice možné pro každý jednotlivý konkrétní případ zpoždění přepracovat jízdní řád, nicméně by to bylo značně nepraktické, časově velmi náročné a při větším počtu vlaků téměř

neproveditelné. Mnohem jednodušší a efektivnější je v takovém případě prověřit navrhovaný JŘ „nanečisto“ a dát raději prostor simulaci navrženého nákrešného JŘ.

Pomocí simulace je testován navržený teoretický JŘ. Ověřuje se jeho stabilita. Tedy to, zda a jak navržený JŘ obstojí v jednotlivých konkrétních provozních situacích a jak je JŘ schopen vyrovnat se se vzniklým zpožděním. Simulace je využívána především pro analýzu propustnosti jednotlivých zhlaví žst, samotných žst. a případně i pro jiné kritické prvky infrastruktury. S úspěchem lze simulace využít i při ověřování maximálního přípustného zatížení infrastruktury, která je již dle teoretických výpočtů plně vytižena. Simulací je pak možné dokázat, že byt' se další vlak na trať podle výpočtů již kapacitně nevejde, reálně lze ještě jeho jízdu provést. Platí samozřejmě i opačný případ, kdy se dle teoretických výpočtů vlak na trať vejde, nicméně simulací je dokázáno, že reálně zde kapacitně možné projet není (např. vlivem čekání na dobu odjezdu u systematického JŘ).(9)

2.1 Vstupy potřebné pro modelování

Pro vytvoření modelu železniční dopravy obecně potřebujeme určité vstupy. Aby model reálně pracoval a byl plně funkční, je potřeba získat přesná data, neboť kvalita a přesnost výstupů z modelování je přímo úměrná kvalitě a přesnosti vstupů. Mezi hlavní a základní vstupy patří DI, vozidla a provoz (neboli JŘ). (6)

Mezi infrastrukturní prvky patří z hlediska vytváření modelů u žst. především:

- topologie,
- polohy rozhodných prvků v kolejišti (návestidla, námezníky, nástupiště, atd.),
- typ ZZ.

U mezistaničních úseků patří mezi rozhodující vstupy:

- sklonový profil,
- směrový profil,
- trakční napájecí systém,
- typ traťového ZZ, atd. (6)

Z hlediska infrastruktury je trať Č. Budějovice – České Velenice ve velmi dobrém stavu. Všechny dopravní byly kompletně zrekonstruovány při elektrizaci. Mimo jiné bylo osazeno nové dálkově ovládané ZZ a to jak staniční, tak traťové. Osazením nových výhybek bylo možné zvýšit maximální rychlost při jízdě vedlejším směrem ve výhybkách ve všech dopravních na 50 km/h. Dovybavením některých obtížně přehledných přejezdů o světelné ZZ bylo možné zrušit několik lokálních omezení traťové rychlosti. Trať je vedena povětšinou

v rovinatém terénu, nemá tedy náročné směrové ani sklonové vedení. I proto zde v minulosti, především před vybudováním zkušebního železničního okruhu v Cerhenicích, několikrát probíhaly zkoušky nových typů železničních vozidel. Jedinou výtku týkající se infrastruktury má autor k maximální traťové rychlosti. V době konání rekonstrukce a elektrizace by stálo za zamyšlení, jak velké navýšení finanční náročnosti stavby by pomohlo zvýšit traťovou rychlost až na 120 km/h. Větší traťová rychlost by nebyla, vzhledem k používaným vozidlům jak v osobní, tak nákladní dopravě, potřeba. Bohužel při rychlosti nad 100 km/h je nutný přenos návěstí na hnací vozidlo (neboli tzv. kódování). A právě nevybavení trati tímto přenosem návěstí na hnací vozidla je hlavní překážkou zvýšení traťové rychlosti na 120 km/h.

Na následujících řádcích je popsán třetí významný vstup potřebný pro naplnění simulačních modelů a to vozidla. Rozdělení:

- hnací vozidla,
- tažená vozidla.

Hnací vozidla jsou definována jako drážní vozidla, která jsou schopna vyvíjet tažnou a případně i brzdící sílu pro pohyb a brzdění. Pro potřeby simulačních modelů potřebujeme u hnacích vozidel znát především:

- trakční charakteristiku,
- hmotnost,
- délku přes nárazníky,
- konstrukční rychlost,
- brzdící váhy,
- vozidlový odpor,
- součinitel rotujících částí.

U tažených vozidel, která nevyvíjejí tažnou sílu je nutné znát například:

- hmotnost,
- délku přes nárazníky,
- konstrukční rychlost,
- brzdící váhy,
- součinitel rotujících částí,
- vozidlový odpor.

Spojením hnacích a tažených vozidel vznikne souprava. Hodnoty jednotlivých parametrů je možné stanovit jednotlivě pro každé vozidlo zvlášť, nebo souhrnně (normativně)

pro celou soupravu. V případě souhrnného nadefinování soupravy je třeba vycházet z parametrů omezujícího vozidla. (6)



Obrázek 5: Typická souprava osobního vlaku z Č. Budějovic do Č. Velenic

Zdroj: autor

V reálném současném provozu nalezneme na českovelenické trati v osobní dopravě v současnosti pouze dva typy vozidel. Drtivá většina osobních vlaků je provázena v elektrické trakci ve složení lokomotiva řady 242 + 2 osobní vozy řady Bdt + jeden vůz řady BDs (viz obrázek 5 na předchozí straně).

Pouze jeden večerní, nebo spíše již noční pár osobních vlaků, je tvořen motorovou soupravou Regionova řady 814+914 (viz obrázek 6) z důvodu nižší frekvence cestujících. Zde však vzniká poměrně velký problém se zamýšleným zavedením striktně taktového JŘ. Motorová jednotka řady 814+914 má maximální konstrukční rychlost pouze 80 km/h. Maximální traťová rychlost je však 90 – 100 km/h. a je nutné jí u vlaků vedených elektrickou lokomotivou využívat pro dosahování potřebných jízdních dob. Dalším problémem motorové jednotky je pomalejší rozjezd na požadovanou rychlost ve srovnání s klasickými soupravami taženými elektrickou lokomotivou. Především z těchto dvou důvodů dochází u vlaků vedených motorovou jednotkou k časovým ztrátám, které je třeba zohlednit v prodloužení jízdních dob vlaku a posléze v časech příjezdu a odjezdu vlaku v zastávkách a dopravních na trati.



Obrázek 6: Motorová jednotka řady 814+914

Zdroj: autor

Dochází tak k paradoxní situaci, kdy u systematického JŘ odjíždí drtivá většina vlaků ze zastávky/dopravny ve stejnou minutu v rámci hodiny, pouze poslední vlak jede v minutu jinou. Tento problém lze dle autora vyřešit nasazením soupravy s elektrickou lokomotivou i na poslední večerní pár vlaků, nebo případně použitím vhodnějšího motorového vozu s vyšší konstrukční rychlostí a lepší trakční charakteristikou. Nabízí se například nasazení v současnosti modernizovaných motorových vozů řady 842. Tato řada má konstrukční rychlost 100 km/h a oproti soupravě 814+914 mnohem rychlejší rozjezd.

V nákladní dopravě v současné době nejčastěji spatříme na dotčené trati elektrické lokomotivy řad 210, 240 (viz obrázek 7) a 340. Bohužel nákladní doprava v posledních desetiletích na trati stagnuje a dle autora neodpovídá objemu vynaložených finančních prostředků do infrastruktury.



Obrázek 7: Dvojice lokomotiv řady 240 s nákladním vlakem

Zdroj: (11)

Třetím důležitým vstupem, který je nezbytný pro simulační modely, je provoz neboli JŘ. Pro konstrukci JŘ platí veškeré obecné zásady konstrukce JŘ. Podmínkou při konstrukci JŘ je předpoklad splnitelnosti v praxi. (6)

Z hlediska diplomové práce byly pro simulaci provozu, posouzení a zjišťování propustné výkonnosti vybraných prvků navrženy 3 varianty koncepce JŘ.

První variantou JŘ je běžný JŘ, který platil na trati do Českých Velenic až do 12. června 2010. Osobní vlaky zde jezdily bez jakékoliv svázanosti v taktu či intervalu. Každý vlak měl tudíž jinou časovou polohu příjezdu a odjezdu u každého z jednotlivých tarifních bodů na trati.

Druhou variantou JŘ navrženou ke zpracování je JŘ platný od 13. června 2010. V souvislosti s úplným dokončením stavby došlo ke změně JŘ. Na trati tak začal platit systematický JŘ. Většina vlaků začala od tohoto dne odjíždět z Českých Velenic směrem do Českých Budějovic přesně v celou hodinu (v X:00 hod.), opačným směrem se vlaky vydávají z Českých Budějovic v celou hodinu + 9 minut (v X: 09 hod). I v tomto JŘ však ještě stále existovaly dva páry osobních vlaků, které byly časově položeny mimo celohodinový takt. Dalším problémem u jednoho páru osobních vlaků bylo nasazení motorové jednotky s konstrukční rychlostí nižší než je traťová rychlost. Bylo proto nutné prodloužit

jízdní doby vlaku, čímž došlo k naprostému rozvázání dob příjezdu a odjezdu z jednotlivých stanic a zastávek na trati mezi tímto vlakem a ostatními osobními vlaky vedenými elektrickou lokomotivou.

Ve třetí variantě JŘ navrhuje autor v osobní dopravě plně taktový JŘ, který by zároveň zvýšil atraktivitu cestování vlakem pro dojíždění ze sídel na trati do Českých Budějovic a zpět. Všechny osobní vlaky tak budou odjíždět z Českých Velenic do Českých Budějovic v celou hodinu + 45 minut (v X:45 hod) i opačně v rámci hodiny ve stejný čas (z Českých Budějovic v X:18 hod). Tím dojde ke splnění základního předpokladu u systematických JŘ, tedy ke snadné zapamatovatelnosti jednotlivých časů odjezdu u cestující veřejnosti.

2.2 Modelování dopravních procesů

Jestliže jsou zajištěny veškeré vstupy do modelu, je možné přistoupit k modelování.

Modelování dopravních procesů je progresivní nástroj sloužící k převedení reálných jevů do laboratorních podmínek tak, aby na modelu bylo možno provádět experimenty za zjednodušených podmínek. Dosažené výsledky modelování charakterizují chování reálného systému. Snazší realizace experimentu je dosažena záměrným zjednodušením skutečnosti, přičemž rozhodující vlastnosti a vazby zůstávají zachovány. Modelování má význam především pro zkoumání takových provozních situací, které jsou v realitě nepřípustné nebo vyžadují neúměrné náklady. (6)

Je jasné, že vztah mezi rozsahem dopravního provozu, organizací dopravního provozu na jedné straně a rozsahem DI na straně druhé hraje v železniční dopravě klíčovou roli. Je tedy nutná optimalizace vzájemného vztahu těchto dvou faktorů. Při rozhodování o tomto vztahu je jedním z důležitých kritérií kapacita.

Dopravní modelování a simulace nalézají uplatnění při vlastním dimenzování rozsahu DI. Lze tak s předstihem stanovovat vliv rozšiřování či redukci DI. Tento vliv je možno určit pomocí velkého spektra technologických ukazatelů vystupujících z modelu. Vliv změn na DI je možné určit též na základě vypočtených výstupů modelu, například stupněm obsazení daného prvku DI. Podle těchto informací lze komplexně posoudit přínosy nebo ztráty vycházející z realizace opatření na DI. (6)

Modelování dopravy je založeno především na matematických metodách. Přestože jsou principy modelování známé poměrně dlouho, rozvoj tohoto oboru nastává až nyní v souvislosti se stále se zlepšující výpočetní technikou, popřípadě její softwarovou podporou. Díky tomuto rozvoji se metody dopravního modelování staly dostupnějšími.

Pro zkoumání dopravního provozu na zvolené DI je mnohdy efektivní využít simulační modely. Principem simulačních metod je mnohonásobné opakování nezávislých náhodných pokusů (s různými hodnotami náhodných vstupních veličin) a uvažování o skutečném chování systému (v různých podmínkách) podle porovnání jednotlivých dílčích výsledků. V terminologii železniční technologie lze toto popsat jako zkoumání hlavních charakteristik systému pomocí studia splněných JŘ za měnících se vstupů. Takového JŘ byly v daném případě splněny pouze ve virtuálních podmínkách modelu. (6)

Jelikož se dnes v prostředí provozování drážní dopravy stále více objevuje závislost na konkrétních podmínkách, jako jsou například sledy vlaků či periodický JŘ, nabízí se možnost využití simulace nejen k ověření stability navrženého JŘ, ale i k posouzení kapacity jako takové.

Prakticky se jedná jak o stanovení parametrů jedné varianty JŘ, tak o porovnání více variant JŘ navzájem. Podle posunů v hodnotách jednotlivých výstupů (v závislosti na změnách vstupů) lze sledovat citlivost změn v chování systému na vstupech.

Dá se očekávat, že pokud by bylo přistoupeno k vyhodnocení zcela náhodně zvolených variant JŘ, řešení by vyžadovalo velkou náročnost na výpočetní čas a v krajním případě by se posuzovaný model mohl stát i neřešitelným. Proto je třeba k vytváření variantních JŘ přistupovat systematicky a případně s omezením rozsahu měnících se vstupů a jejich parametrů. Lze tak vysledovat změny charakteristik systému v závislosti na změně počtu zavedených vlaků nebo změny, které nastanou při aplikaci periodického JŘ. Tím se z výpočtu sice stává heuristický algoritmus s větší odchylkou od optimálního řešení, nicméně snižující se výpočetní nároky a poskytnuté výsledky mají i tak vyšší vypovídací hodnotu než například výstupy analytických metod. (6)

Je též nutné definovat, co vlastně má být výstupem tohoto posouzení kapacity. Vyjádření jednou hodnotou počtu vlaků za časové období budou nedostačující. Takové číslo totiž není schopno zahrnout vlivy všech současných problémů, jedná se jen o jakousi zobecněnou hodnotu. Větší vypovídací schopnost může mít soubor hodnot ukazatelů, které kapacitu lépe charakterizují. Zároveň s tímto souborem hodnot ukazatelů je však třeba uvádět podmínky a předpoklady, za kterých bylo daných hodnot dosaženo. Za věrohodné posouzení kapacity odpovídající současným nárokům lze tedy očekávat komplexní posouzení situace v oblasti kapacity na dané DI. (6)

2.3 Výsledky modelování a simulace

Obecně je možné konstatovat, že po několikanásobném proběhnutí procesu simulace jednotlivých provozních scénářů či situací získáváme určité optimalizované výsledky kapacity. Po vyhodnocení jednotlivých výsledných hodnot lze dospět k závěru, že omezující prvek na zkoumaném úseku či zařízení má přebytečnou, vyčerpanou, či nedostatečnou kapacitu.

Při přebytečné kapacitě omezujícího prvku je rozsah DI příliš naddimenzován a není dostatečně využíván. Takovéto nedostatečně využití prvky DI pak generují přebytečné náklady v podobě údržby, mzdových nákladů na obsluhu aj. Tyto náklady jsou následně pro manažera DI ztrátou.

Z pohledu přidělece kapacity dopravní infrastruktury je nejvýhodnější stav, kdy kapacita omezujícího prvku je téměř vyčerpana při současném vyhovění všem požadavkům jednotlivých objednatelů kapacity dopravní cesty. V takovém případě je třeba zhodnotit důsledek potencionální další žádosti o přidělení kapacity dopravní cesty. Pokud i další potencionální žádosti může být vyhověno, není třeba podnikat další kroky. V případě zamítavého stanoviska na žádost z důvodu vyčerpané kapacity je povinností manažera infrastruktury začít realizovat kroky a postupy vedoucí k navýšení současné kapacity.

Nejobtížnější z hlediska kapacity je situace, kdy omezující prvek je kapacitně úplně vyčerpan, nicméně je po něm žádána další (již neexistující) kapacita. Zde jsou dvě možnosti řešení. První variantou je možnost odmítnutí žadatele o přidělení kapacity dopravní cesty správcem a přidělcem dopravní infrastruktury z důvodu nedostatečné kapacity dopravní cesty. Druhou a výrazně lepší možností z hlediska kapacity (i když zároveň téměř vždy i finančně náročnější možností) je aplikace opatření ke zvýšení kapacity. Tato opatření lze rozdělit na čtyři základní skupiny a to:

- provozně-organizační,
- stavebně-rekonstrukční,
- změny v oblasti ZZ,
- změny v oblasti vozového parku.

Provozně-organizační opatření spočívají ve zlepšení technologie a úrovně řízení na již existujících provozních zařízeních, aby provozní prostředky byly lépe využity a organizace dopravy byla efektivnější. Tato opatření nekladou nároky na investice a jsou realizovatelné ve velmi krátkém čase. Jejich dopad na zvýšení kapacity je však omezený. Mezi provozně-

organizační opatření patří například vhodná úprava jízdního řádu či zrychlené provázení vlaků omezujícím úsekem.

Mezi stavebně-rekonstrukční opatření jsou zahrnuty veškeré změny v technickém vybavení a stavebním uspořádání tratí, dopraven, dep, aj. Takováto opatření vyžadují náročnou technicko-ekonomickou dokumentaci a projekční přípravu. Stavebně-rekonstrukční opatření jsou finančně nákladná, časově náročná, z hlediska zvýšení kapacity však velmi účinná. Mezi stavebně-rekonstrukční opatření lze zařadit např. změnu počtu traťových kolejí či úpravy staničních zhlaví.

Změny v oblasti ZZ spočívají v zavádění moderních zařízení, která se zvýšením kapacity přinášejí zároveň i zvýšení úrovně bezpečnosti provozu a většinou i snížení tzv. živé práce. Jsou finančně nákladné a časově náročné. Jejich přínos pro zvýšení kapacity je však značný. Kromě toho dochází zpravidla v souvislosti se změnou ZZ i ke zlepšení pracovních podmínek provozních pracovníků. Zvyšují se však nároky na údržbu a kvalitu kontrolní činnosti. Mezi změny v oblasti ZZ lze uvést např. modernizaci staničního ZZ, nebo zavedení dispečerské centralizace.

Změny v oblasti vozového parku spočívají především ve zdokonalení trakčních vozidel a vozů.

Často se jednotlivé druhy opatření kombinují, neboť jednotlivá opatření jsou různě účinná a různě finančně nákladná. Vždy je potřeba znát předem rozsah změny kapacity. (6)

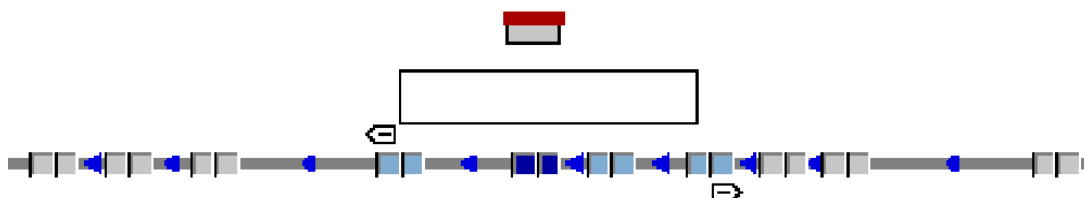
3 VYTVOŘENÍ A NAPLNĚNÍ SIMULAČNÍHO MODELU

S rozvojem výpočetní techniky došlo i k rozvoji softwarových produktů určených pro modelování železničního provozu. Simulační modely jsou specifické svojí vysokou výpočetní náročností. Proto je nutné vyvíjet takový software, který je schopen všechny dílčí procesy obsáhnout a poskytnout relevantní výstupy v přiměřeném čase. Zároveň je potřeba brát ohled na dostupný hardware. (6)

Pro ověření vypočtených výsledků kapacity byl vybrán program OpenTrack. Jedná se o simulační program, který slouží k simulacím provozu v drážní dopravě. Výstupy tohoto software se používají k řešení problematiky např. výpočtu jízdních dob, konstrukce JŘ, posuzování realizovatelnosti a stability JŘ, posouzení parametrů vozidel apod. Využití tohoto software je vhodné pro projekty týkající se právě posuzování DI. V běžné praxi se takto děje např. ve Švýcarsku, kde se tento program používá u tamních provozovatelů dráhy pro různé studie. (6)

3.1 Zadávání infrastrukturních dat v programu OpenTrack

Pro zadávání dat týkajících se infrastruktury je třeba nejprve samotný program spustit. Po spuštění programu se uživateli jako první zobrazí prázdné okno programu připravené pro práci. Vytvoření infrastruktury na pracovním listu se provádí především pomocí důležité součásti pracovního listu – tzv. toolbox/palette panelu. Jedná se o panel, z něhož vybíráme jednotlivé prvky infrastruktury a umísťujeme je na pracovní plochu pracovního listu. Prvky infrastruktury umísťujeme a propojujeme mezi sebou tak, abychom ve výsledku vytvořili funkční celek. Funkční celek je poté schopen další fáze, kterou je simulování. (9)



Obrázek 8: Zvětšené schéma modelu železniční zastávky v programu OpenTrack

Zdroj: autor s využitím (10)

Zadávání infrastruktury pro vytvoření modelu určeného zadanými podmínkami DP bylo časově nejnáročnější. Byly vytvořeny topologická schémata jednotlivých stanic a zastávek na trati se všemi důležitými infrastrukturními prvky (viz obrázek 8). Těmito prvky jsou například:

- výhybky,
- námezníky,
- návěstidla,
- nástupiště
- návěsti „konec nástupiště“

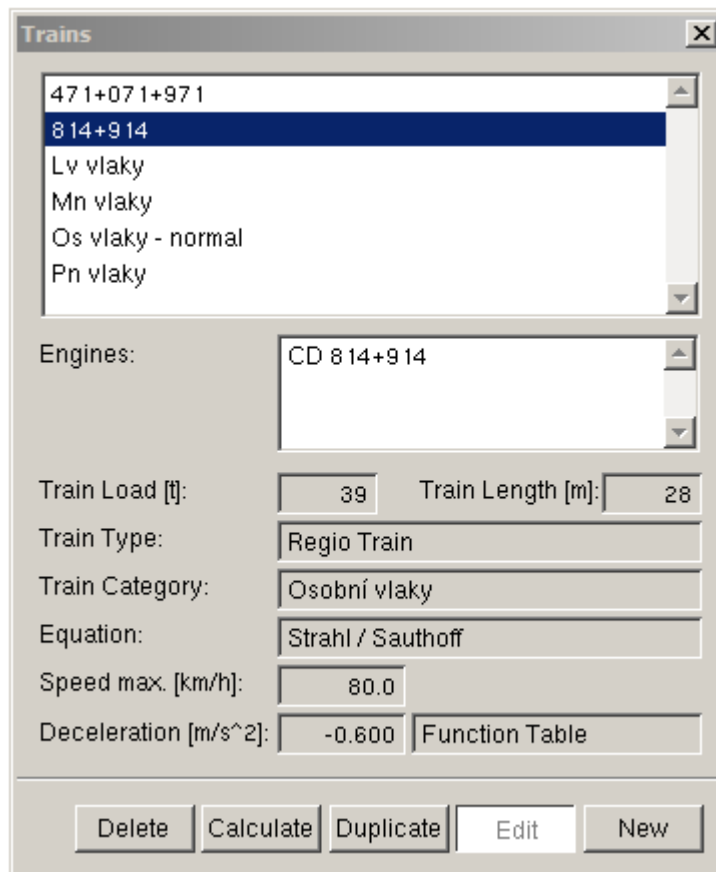
Vzhledem k tomu, že se DP nezabývá konkrétní obsluhou žst. manipulačními vlaky, byl model částečně zjednodušen tím, že byly vynechány manipulační koleje jednotlivých stanic. Koncové stanice České Velenice a České Budějovice byly vytvořeny jen se zhlavím nutným pro výpočty a provoz modelu. Jednotlivá schémata stanic byla postupně propojena schémata traťových úseků. Tato schémata byla záměrně zjednodušena jen na samotnou trať, byly tudíž vynechány odbočky tratí do Veselí nad Lužnicí v Českých Velenicích, do Horního Dvořiště v Českých Budějovicích a dnes již několik let nepoužívaná odbočka na vlečku Calofrig v Borovanech. Poté byly vytvořeny jednotlivé zastávky na širé trati. V dalším kroku autor DP vložil do modelu hodnoty jednotlivých sklonů a oblouků. V následující části týkající se vkládání infrastrukturních dat byly vytvořeny úseky s přidělenou maximální traťovou rychlostí, v žst. byly doplněny úseky, na kterých je nutné, aby vlak jel sníženou příkázanou rychlostí (tzv. „slow speed zone“). Definováním zbylých pro model nezbytných kategorií, jako např. routes či pathes bylo modelování infrastruktury dokončeno.

3.2 Zadávání vozidlových dat v programu OpenTrack

Po vytvoření infrastruktury následovalo zadání dat o jednotlivých vozidlech. Nejprve bylo třeba zjistit, jaké řady vozidel jsou na trati provozovány. Poté následovalo vytvoření těchto vozidel v okně „Trains“, které je znázorněno na obrázku 9 na následující straně. V programu OpenTrack je pro zadávání dat o jednotlivých vozidlech uzpůsobeno okno s názvem „Engines“. Pro přesnou simulační činnost programu je třeba nadefinovat u každého vozidla:

- hmotnost,
- adhezní hmotnost,
- výkon,

- odpory,
- velikosti součinitele rotujících hmot,
- napájecí systémy
- trakční charakteristiku. (9)



Obrázek 9: Okno „Trains“ pro zadávání souprav v programu OpenTrack

Zdroj: autor s využitím (10)

Pro potřeby simulace DP byly autorem zvoleny soupravy kopírující skutečný provoz, tj. soupravy skládající se u většiny osobních vlaků z lokomotivy řady 242, dvou vozů řady Bdt a jednoho vozu řady BDt. Pouze jeden pár večerních osobních vlaků je veden se soupravou 814+914. U nákladních Pn vlaků není skládán celý vlak z jednotlivých vozů. Samostatně je zadána pouze lokomotiva (u Pn vlaků řada 240 nebo 340, u Mn vlaků řada 210), poté jsou zadány souhrnné charakteristiky (celková hmotnost, celková délka, odpor, atd.). Pro modelování DP byla konkrétně u Pn vlaků zvolena celková hmotnost tažených vozidel 1150 tun a délka 450 metrů. U Mn vlaků byly zvoleny hodnoty 350 m pro délku tažených vozidel a 1250 tun pro celkovou hmotnost. Pro potřeby 3. navržené varianty JŘ (úplný takt s odjezdem všech vlaků z Č. Velenic v X:45 hod.) byla navíc vytvořena souprava elektrické jednotky 471+071+971. Čtyři tyto jednotky byly společností České dráhy, a. s.

zadány k výrobě pro Jihočeský kraj a v budoucnu se počítá s jejich provozem na osobních vlacích právě na českovelenické trati. Tím byla oblast zadávání vozidlových dat v programu OpenTrack ukončena.

3.3 Zadávání dat o jízdách v programu OpenTrack

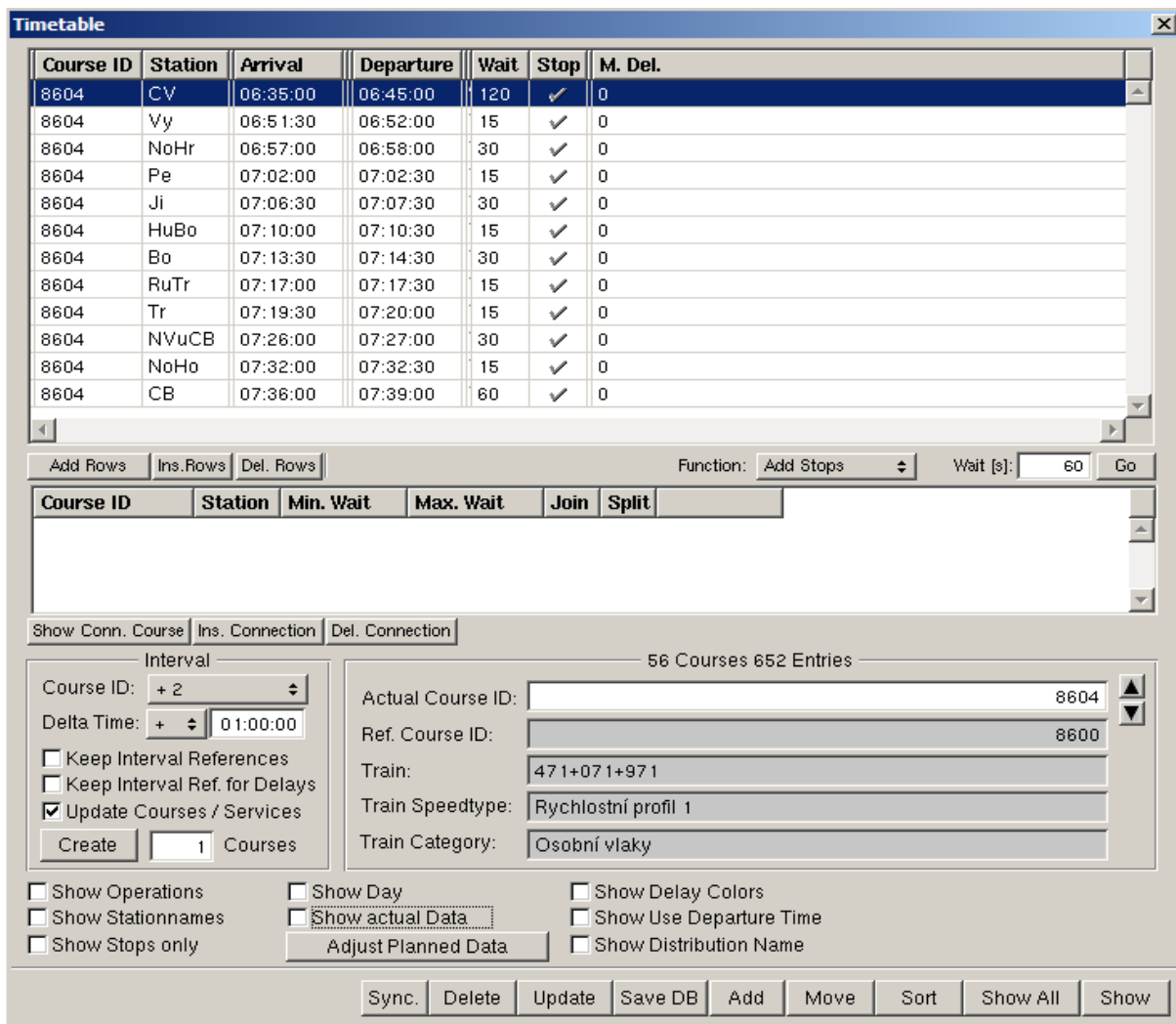
Na závěr plnění programu OpenTrack daty došlo k samotné konstrukci JŘ. Nejdříve bylo třeba vytvořit samotnou existenci vlaků. Pro existenci vlaku je nutné zadat alespoň číslo vlaku. K jednotlivým číslům vlaků je poté třeba přiřadit jejich jednotlivé „itineraries“, neboli jednotlivé scénáře jízdy. Zároveň s přiřazením itineráře vlaku musela být zvolena též priorita tohoto itineráře. V podstatě to znamená, že vlak prioritně projíždí trať podle itineráře s nejvyšší prioritou. Pokud však není možné dále podle prioritního itineráře v jízdě pokračovat, volí program itinerář s nejbližší nižší prioritou, kterou lze v daný okamžik použít.

Další podstatnou možností, kterou bylo možné u jednotlivých vlaků nastavit, je pravděpodobnost s jakou konkrétní vlak pojede včas a pravděpodobnost, že vlak bude opožděn.

V okně zadávání JŘ dominuje v horní levé části číslo vlaku a seznam dopravních bodů, kterými vlak projíždí. Dále jsou zde směrem zleva doprava kolonky:

- čas příjezdu,
- čas odjezdu, času čekání,
- zaškrtačovací okno čekání (zda vlak v daném dopravním bodě staví),
- maximální hodnota zpoždění. (viz obrázek 10)

Ve spodní pravé části tabulky se zobrazují údaje o aktuálním nastaveném čísle vlaku. V levé části se nachází důležitá část programu Opentrack, která velmi usnadňuje konstrukci vlaků. Pomocí nastavení nového čísla vlaku a zadání přesného, až sekundového přírůstku času k časům originálním lze vytvořit z jednoho vlaku kompletní celý systém. Není tak třeba vkládat a zadávat každý vlak postupně samostatně. (9)



Obrázek 10: Okno „Timetable“ pro zadávání jízdních řádů v programu OpenTrack

Zdroj: autor s využitím (10)

Autor při vytváření modelu první a druhé varianty JŘ vycházel z nákrešných JŘ trati. Pro kontrolu časů příjezdů a odjezdů jednotlivých vlaků z dopravních bodů bylo použito též sešitových JŘ. Při vytváření časové polohy vlaků u 3. varianty vycházel autor z předpokladu zvýšení atraktivity ranního dojíždění cestujících za prací a školou, popřípadě k lékaři či do obchodů v Českých Budějovicích a odpolední cesty z Českých Budějovic zpět do místa bydliště při zachování stávajícího počtu vlaků.

4 NALEZENÍ OMEZUJÍCÍCH PRVKŮ DOPRAVNÍ INFRASTRUKTURY A NALEZENÍ VHODNÉHO ŘEŠENÍ

Jak již bylo podrobněji analyzováno v úvodní části, řešená trať České Budějovice – České Velenice prošla v nedávné minulosti zásadní optimalizací spojenou s elektrizací celého úseku. Optimalizace měla na kapacitu celého traťového úseku pozitivní vliv. Především bylo na trati vybudováno nové traťové i staniční ZZ. Tím bylo možné zkrátit provozní intervaly. Dále byly provedeny rekonstrukce staničních zhlaví, dosazeny nové výhybky umožňující rychlost při jízdě ve výhybce vedlejším směrem 50 km/h. Odstraněna byla též místa lokálního omezení traťové rychlosti dosazením přejezdového ZZ, úpravou směrových poměrů aj. V neposlední řadě došlo spolu se zahájením elektrického provozu ke znatelnému zkrácení jízdních dob jednotlivých vlaků.

Tyto důvody mají pozitivní vliv na propustnost jednotlivých mezistaničních úseků a v součtu poté i celého traťového úseku. Je však naprosto jasné, že i přes veškeré navýšení kapacity zkoumané trati by při neustálém navyšování dopravního provozu některý mezistaniční úsek přestal časem kapacitně vyhovovat. Je tedy výhodné si tento omezující úsek určit a sledovat jeho vztah ke kapacitě vzhledem k jednotlivým aplikovaným JŘ či případným opatřením.

Ke stanovení omezujícího úseku autor využil metody stanovení praktické propustné výkonnosti za pomoci počtu pravděpodobnosti a matematické statistiky. Trať je při této metodě nutné rozdělit na jednotlivé mezistaniční úseky. Poté je potřeba pro každý mezistaniční úsek zvlášť stanovit kategorie vlaků (R, Os, Pn, Mn, atd.), které se v mezistaničním úseku vyskytují. Následně autor přiřadil ke každé kategorii vlaků v každém směru (sudý, lichý) počet vlaků spadající do kategorie. Poté se pro každý mezistaniční úsek vytvoří 4 tabulky sledů (lichý – lichý, sudý – lichý, lichý – sudý, sudý – sudý). Tabulka je tvořena na vodorovné i svislé ose jednotlivými kategoriemi vlaků ve stanoveném směru spolu s číslem počtu vlaků dané kategorie v daném směru. Každé okno takovéto tabulky je dále rozděleno na tři podokna (viz příloha 1). Čísla v těchto podoknech mají každá jiný význam. Levé horní podokno znamená četnost výskytu sledu vlaků $h(x, y)$, kde x a y znamenají kategorie vlaků (např. Os a Pn). Četnost výskytu sledu vlaků $h(x, y)$ lze vypočítat dle výpočetního vztahu (4-1):

$$h(x, y) = \frac{N_x * N_y}{N^2} * N = \frac{N_x * N_y}{N} \quad [-] \quad (4-1)$$

kde:

N_x	počet vlaků kategorie x	[vl.]
N_y	počet vlaků kategorie y	[vl.]
N	celkový počet vlaků	[vl.]

V levém spodním podokně nalezneme hodnotu týkající se jízdní doby a příslušného provozního intervalu konkrétního sledu. Konkrétně u sledu vlaků nestejného směru (sudý – lichý, lichý – sudý) se číselná hodnota skládá z jízdní doby prvního vlaku, provozního intervalu křižování a jízdní doby druhého vlaku jedoucího v opačném směru. U jednotlivých sledů vlaků stejného směru (sudý – sudý, lichý – lichý) nalezneme v levém spodním podokně tabulky sledů hodnotu jízdní doby prvního vlaku a hodnoty provozního intervalu následné jízdy. Toto okno tak obsahuje průměrnou dobu obsazení řešeného mezistaničního úseku konkrétním sledem.

Významově nejdůležitější číselnou hodnotou jsou údaje v pravých spodních podoknech tabulky. Jsou součinem levého horního a levého spodního podokna a znamenají celkovou dobu obsazení řešeného sledu v daném mezistaničním úseku.

Pokud sečteme všechna pravá spodní podokna tabulky, získáme celkové obsazení všech kategorií vlaků v řešeném sledu.

V posledním kroku je třeba vypočítat celkovou dobu obsazení T_{obs} řešeného mezistaničního úseku. Získáme jí sečtením celkových dob obsazení všech kategorií vlaků u všech čtyřech možných sledů v řešeném mezistaničním úseku. Pokud tuto celkovou dobu obsazení T_{obs} vydělíme celkovým počtem vlaků N v řešeném mezistaničním úseku, získáme průměrnou dobu obsazení jedním vlakem t_{obs} dle vztahu (4-2)

$$t_{obs} = \frac{T_{obs}}{N} \quad [\text{min}] \quad (4-2)$$

kde:

t_{obs}	průměrná doba obsazení jedním vlakem	[min]
T_{obs}	celková doba obsazení	[min]
N	počet vlaků	[vl.]

Pokud poté k získané celkové době obsazení T_{obs} přičteme celkovou dobu stálých manipulací a tento součet dvou hodnot naopak odečteme od celkového výpočetního času T , získáme celkový záložní čas (nazývaný též někdy celkový čas mezer) T_{mez} , jak je naznačeno ve vztahu (4-3).

$$T_{mez} = T - (T_{obs} + T_{st}) \quad (4-3)$$

kde:

T_{mez} celkový čas mezer [min]

T celkový výpočetní čas [min]

T_{obs} celkový čas obsazení [min]

T_{st} celkový čas stálých manipulací [min]

Vydělením T_{mez} celkovým počtem vlaků N získáme průměrný záložní čas (průměrný čas mezer) t_{mez} podle vztahu (4-4).

$$t_{mez} = \frac{T_{mez}}{N} \quad [\text{min}] \quad (4-4)$$

kde:

t_{mez} je průměrný čas mezer [min]

T_{mez} je celkový čas mezer [min]

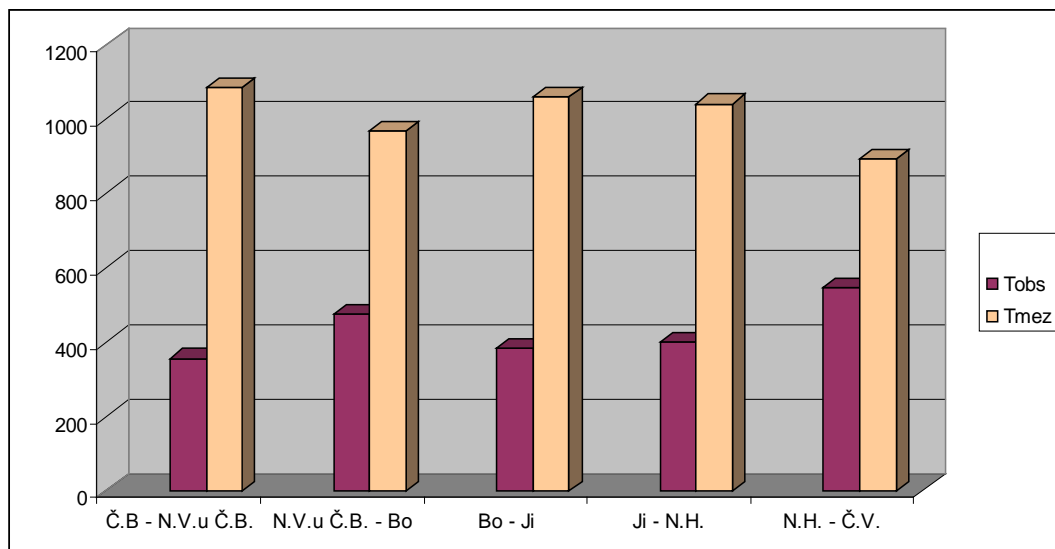
N je počet vlaků [vl.]

Po dosazení jednotlivých konkrétních hodnot do tabulek sledů, vyšly hodnoty, které jsou uvedeny v tabulce 6 a zobrazeny na obrázcích 11 a 12.

Tab.6: Výsledné hodnoty T_{obs} , T_{mez} , t_{obs} a t_{mez} pro jednotlivé mezistaniční úseky.

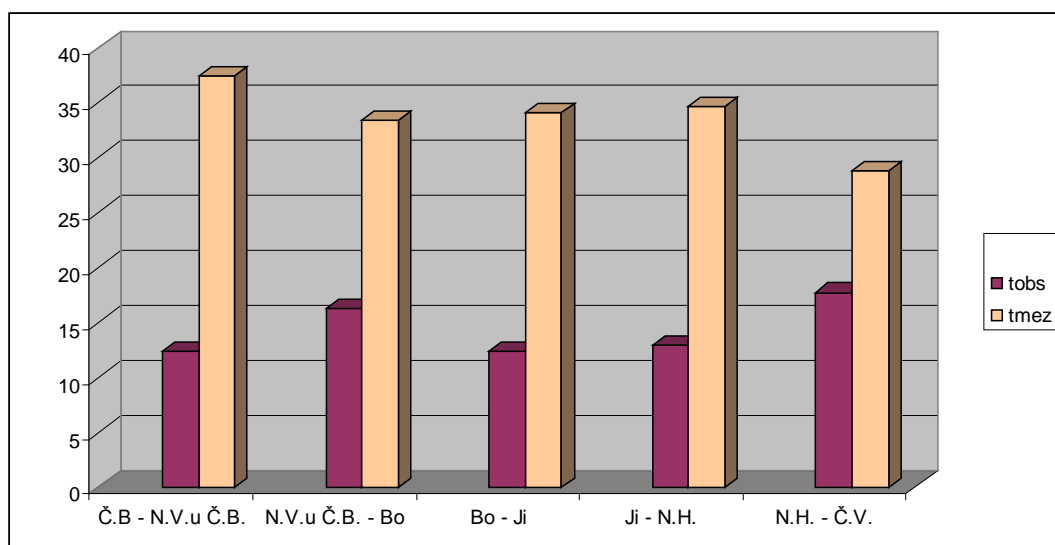
Úsek	T_{obs}	T_{mez}	t_{obs}	t_{mez}
Č.B. – N.V. u Č.B.	356	1084	12,3	37,4
N.V. u Č.B. – Bo	474	966	16,3	33,3
Bo - Jí	382	1058	12,3	34,1
Jí – N.H.	400	1040	12,9	33,6
N.H. – Č.V.	547	893	17,7	28,8

Zdroj: autor



Obrázek 11: Celková doba obsazení a celková doba mezer v minutách

Zdroj: autor



Obrázek 12: Průměrná doba obsazení a průměrná doba mezer v minutách

Zdroj: autor

Z tabulky 6 vyplývá, že v případě posuzované trati České Budějovice – České Velenice je úsekem s nejmenší propustnou výkonností mezistaniční úsek Nové Hradky – České Velenice s celkovou dobou obsazení $T_{obs} = 547$ minut, celkovou dobou mezer $T_{mez} = 893$ minut, průměrnou dobou obsazení $t_{obs} = 17,7$ minut a průměrnou dobou mezer $t_{mez} = 28,8$ minut. Pokud tyto hodnoty dosadíme do výpočetních vztahů (1-6), (1-8) z této práce, získáme pro praktickou propustnost hodnotu $n = 63$ vlaků a koeficient praktického využití $K_{vz} = 49,2$ %.

Vypočtená hodnota koeficientu praktického využití je poměrně nízká. Podle empiricky zjištěných hodnot osciluje tato hodnota u většiny tratí v ČR při běžném rozsahu provozu mezi 65 – 80 procenty. Tato fakta utvrzují autora práce v domněnce, že trať je po rekonstrukci a elektrizaci kapacitně poměrně značně naddimenzovaná a že aktuální rozsah jak osobní, tak především nákladní dopravy neodpovídá stávající dopravní infrastruktuře na zvolené trati.

Pokud by stávající vztah mezi rozsahem dopravní infrastruktury a rozsahem dopravního provozu platil dlouhodoběji v řádech let, začne postupně docházet k čím dál větší finanční i časové náročnosti údržby všech nedostatečně využitých prvků. V důsledku toho by posuzovaná trať začala být pro manažera dopravní infrastruktury stále méně výdělečná, či dokonce ztrátová z hlediska obsluhy a údržby.

Posuzovaná trať má v současné době vysoký potenciál, nicméně je nedostatečně využívána především v nákladní dopravě. Pokud by rozsah provozu nákladních vlaků na zdejší trati zůstal do budoucna nezměněn, byly by velké finanční prostředky na elektrizaci a optimalizaci dopravní infrastruktury vynaloženy dle autora práce téměř zbytečně.

Optimalizací a elektrizací trati byl však v osobní dopravě vytvořen jeden nezanedbatelný aspekt. Zkrácením jízdních dob osobních vlaků, odstraněním některých lokálních omezení traťové rychlosti a mnoha dalšími úpravami bylo docíleno současného stavu, ve kterém infrastruktura poskytuje téměř ideální podmínky pro vytvoření taktového JŘ. Většina osobních vlaků v souvislosti s dokončením stavebních a elektrizačních úprav a zavedením nové varianty JŘ skutečně začala jezdit v taktu. Stále však i v této variantě JŘ zůstalo několik vlaků, které svými dobami odjezdů z jednotlivých tarifních bodů na trati taktový JŘ nesplňují. Dle názoru autora navíc nešťastně zvolené časové polohy příjezdů a odjezdů vlaků do krajské metropole snižují atraktivitu dojíždění vlakem z jednotlivých sídel na trati do Českých Budějovic a zpět pro potenciální cestující.

Autorem této práce byl proto navržen JŘ se striktně taktovým vedením vlaků osobní dopravy. Tím je zajištěna hlavní výhoda systematických JŘ, tedy snadná zapamatovatelnost časů odjezdu, popřípadě příjezdu z jednotlivých zastávek a stanic na trati pro cestující. Časové polohy jednotlivých vlaků byly zvoleny s ohledem na zvýšení atraktivnosti železniční dopravy pro dojíždění z jednotlivých sídel na trati do krajské metropole a zpět. Společně s novými elektrickými jednotkami, které jsou již pro Jihočeský kraj zadány k výrobě by mělo dojít ke zvýšení potenciálu zkoumané trati pro osobní dopravu. U vlaků nákladní dopravy bylo snahou autora ponechání stávajících časů odjezdů z výchozích stanic, popřípadě snaha o minimální změnu časové polohy vlaků nákladní dopravy.

5 OVĚŘENÍ ŘEŠENÍ V SIMULAČNÍM MODELU

Po vytvoření a naplnění simulačního programu OpenTrack potřebnými daty byla autorem spuštěna a několikanásobně opakována simulace jednotlivých navržených variant JŘ. Po dokončení simulací byly zkoumány dosažené hodnoty a výsledky v jednotlivých výstupech programu OpenTrack. U konkrétních simulovaných variant JŘ došel autor diplomové práce k těmto závěrům:

5.1 Varianta JŘ s netaktovým vedením vlaků osobní dopravy

Po proběhnutí několikanásobně opakované simulace první varianty JŘ byly autorem práce zjištěny nestejně jízdní doby jednotlivých osobních vlaků stejného směru mezi všemi žst. a zastávkami na trati. Rozdíl až 9 minut v jízdních dobách jednotlivých vlaků je podle autora na přibližně 55 minutové době jízdy z výchozí do koncové stanice poměrně významnou položkou. Extrémem je v této variantě JŘ osobní vlak číslo 8648. Jeho jízdní dobu 49 minut na celé trati nebylo možné v simulaci odjet bez zpoždění. Krátké jízdní doby tohoto vlaku tak měly za následek zpoždění vlaku v Petříkově, Jílovicích, Hluboké u Borovan, Radostic u Trocnova, Trocnově, Nové Vsi u Českých Budějovic a v Nových Hodějovicích. Zpoždění vlaku dosáhlo maximální hodnoty 89 sekund na příjezdu do Trocnova. Nemělo však žádný vliv na provoz na trati.

Dalším zjištěným nedostatkem 1. varianty JŘ jsou poddimenzované jízdní doby osobních vlaků mezi žst. Nová Ves u Českých Budějovic, Trocnovem a Radosticemi u Trocnova. Díky tomu většina vlaků lichých čísel měla na příjezdech do Trocnova a Radostic u Trocnova zpoždění. Toto zpoždění nabývalo maximální hodnoty 47 sekund na příjezdu do zastávky Trocnov. Z následující žst. Borovany však již všechny vlaky v simulaci odjíždějí bez zpoždění.

Naopak jízdní doby všech Pn vlaků v simulaci jsou výrazně kratší, než hodnoty dosažené ze sešitového či nákrešného JŘ. Vlaky kategorie Pn tak přijíždějí do žst. většinou s náskokem. V simulaci díky těmto kratším jízdním dobám došlo k situaci, kdy Pn vlak 68822 není potřeba na zastavit v žst. Nová Ves u Českých Budějovic pro křižování s osobním vlakem 8653. Vlak je na trati poměrně výrazně rychlejší a do žst. České Budějovice tak stíhá dojet s dostatečnou časovou rezervou před odjezdem vlaku Os 8653 z této žst.

Zajímavým výsledkem simulace je též zjištění, že manipulační vlak při stávajícím stanoveném rozsahu zátěže nabírá určité malé zpoždění při rozjezdu. Toto zpoždění je však

schopen z velké části zlikvidovat zkrácením jízdní doby do následující žst. Zpoždění manipulačního vlaku v následující žst. tak dosahuje maximální hodnoty 20 sekund.

Z hlediska organizace dopravy bylo simulací zjištěno, že většina křižování probíhá při jízdách vlaků bez zpoždění v žst. Borovany a Nové Hrady. Dopravny Nová Ves u Českých Budějovic a Jílovce tak slouží většinou pouze k vyrovnávání případných nepravidelností v dopravě (viz nákrešný JŘ této varianty umístěný v deskách DP).

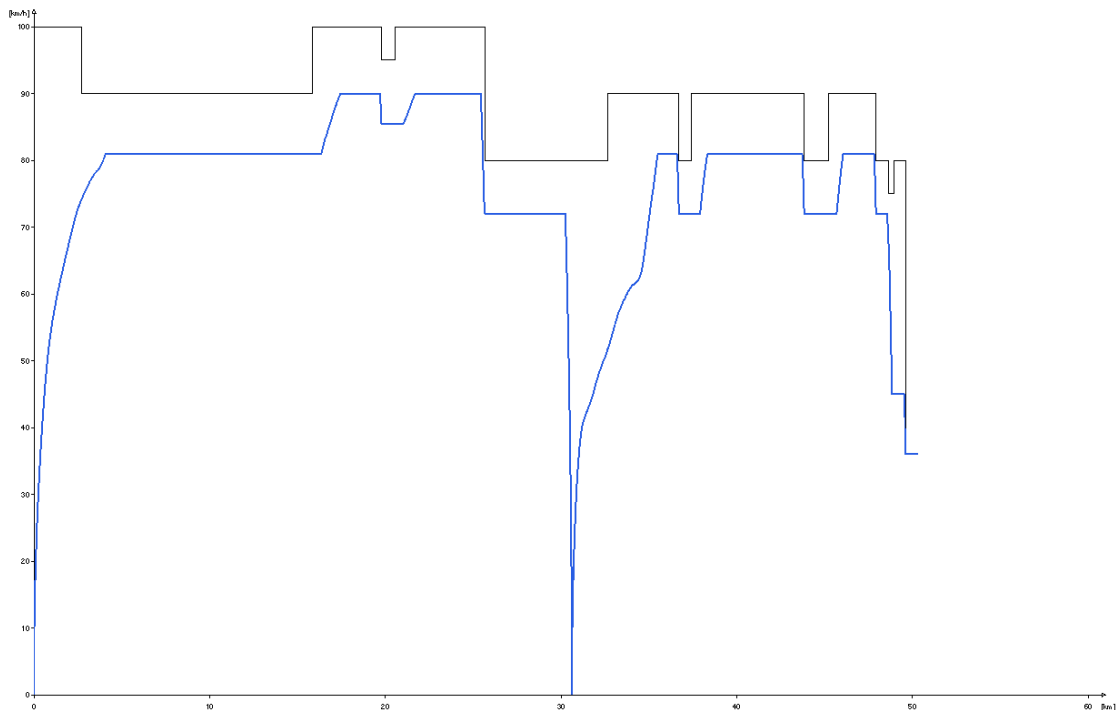
V oblasti kapacity se autor práce zabýval nejvíce zatíženým mezistaničním úsekem na trati, tj. traťovým úsekem Nové Hrady – České Velenice. Po zhodnocení výstupu programu OpenTrack, kterým je grafické zobrazení obsazení tohoto úseku jednotlivými vlaky (viz příloha 2), lze říci, že v žádném z časových období mezi dvěma po sobě následujícími celými hodinami není trať kapacitně vyčerpána. V jakékoliv části dne mezi dvěma po sobě následujícími hodinami lze tudíž v tomto traťovém úseku doplnit alespoň jeden vlak.

Autor práce umístil jako přílohu 3 obsazení staničních kolejí v žst. Borovany pro popisovanou variantu JŘ. Tuto přílohu použil jako důkaz oprávněnosti 3 dopravních kolejí ve zkoumané žst. Po většinu dne by žst. Borovany vystačila se dvěma dopravními kolejemi. Při důkladnějším prohlédnutí přílohy 3 však zjistíme, že při pobytu manipulačního vlaku Mn 88553 dochází v dopravě Borovany k současnému křižování osobních vlaků Os 8653 a Os 8656. Je proto potřeba mít ve stanici Borovany 3 dopravní koleje.

Program OpenTrack nabízí po proběhnutí simulace i celou řadu dalších výstupů, např. různé grafy závislosti jedné veličiny (např. čas, ujetá vzdálenost, rychlost) na druhé. Příkladem může být obrázek 12 na následující straně.

5.2 Varianta JŘ s taktovým vedením většiny osobních vlaků

Několikanásobná simulace u 2. navržené varianty JŘ poukázala na poddimenzování jízdních dob osobních vlaků. Vlaky sudých čísel, jedoucí do Českých Budějovic, tak nestíhají včas odjet z Vyšného, Nových Hradů, Petříkova, Jílovic a Hluboké u Borovan. Maximální zpoždění těchto vlaků dosahuje hodnoty 67 sekund na příjezdu v Petříkově. Naproti tomu vlaky lichých čísel jedoucí do Českých Velenic nestíhají časy odjezdu v Nové Vsi u Českých Budějovic, Trocnově, Radosticích u Trocnova, Borovanech, Hluboké u Borovan, Jílovicích, Petříkově. Zpoždění mají tyto vlaky i na příjezdu do Českých Velenic. Zpoždění dosahuje na trati hodnot v intervalu 34 – 65 sekund. Příjezd vlaků do Českých Velenic je opožděn o 33 sekund. Dle názoru autora práce je takováto hodnota zpoždění pro běžného cestujícího nepostřehnutelná a z provozního hlediska tudíž přijatelná.



Obrázek 13: Graf závislosti vývoje rychlosti na ujeté vzdálenosti u vlaku 68822

Zdroj: autor s využitím (10)

Pokud je osobní vlak číslo 2185 vedený motorovou jednotkou 814+914, jak je stanoveno v sešitovém JŘ, není možné dodržet na trati jízdní doby tohoto vlaku. Vlak má u všech zastávek na trati v JŘ značku „zastavuje jen na znamení, či požádání“. Při simulaci potřeby zastavit tento vlak na všech zastávkách dosahovalo zpoždění vlaku rozmezí 32 – 139 sekund. Odsimulována byla i varianta projetí zastávek Nové Hodějovice, Trocnov a Vyšné tímto vlakem. Tyto 3 zastávky mají z hlediska nástupů a výstupů cestujících dlouhodobě nejnižší hodnoty na trati, existuje tedy největší pravděpodobnost jejich projetí. Při projetí 3 zastávek na trati se zpoždění vlaku zmenšilo na přijatelnou nejvyšší hodnotu 50 sekund na příjezdu do Českých Velenic.

I v této variantě JŘ jsou jízdní doby všech Pn vlaků v simulaci výrazně kratší, než hodnoty dosažené ze sešitového či nákrešného JŘ. Vlaky kategorie Pn tak přijíždějí do žst. většinou s náskokem. U vlaku Pn 45504 docházelo k situaci, kdy tento vlak musel být v simulaci zastaven v žst. Borovany na několik sekund. Důvodem bylo čekání na uvolnění mezistaničního úseku do žst. Nová Ves u Českých Budějovic předchozím Os 2168. V reálném provozu by bylo lepší posunout odjezd vlaku nákladní dopravy z Českých Velenic (vlak během jízdy po trati nikde nestaví) o několik minut. Tím by se předešlo opotřebení brzdových špalíků nákladního vlaku a ušetřily by se náklady na energii potřebnou na zbytečný rozjezd vlaku v žst Borovany po uvolnění následujícího mezistaničního úseku.

U druhé varianty JŘ dochází na trati ke křižování vlaků při jízdách bez zpoždění pouze v Borovanech a Nových Hradech. Dopravny Nová Ves u Českých Budějovic a Jílovice tak slouží pouze jako záloha při vyrovnávání nepravidelností v provozu.

Z hlediska kapacity nejzatíženějšího mezistaničního úseku Nové Hradky – České Velenice bylo opět možné s velkou kapacitní rezervou vyhovět všem žádostem o přidělení kapacity dopravní cesty, jak je patrné z přílohy 4. Oproti předchozí variantě JŘ však dochází k poměrně výrazné změně, neboť v časovém období mezi 21.00 hod. a 22.00 hod je možné vložit případnou další vlakovou trasu jen s obtížemi.

Příloha 5 pak poukazuje na skutečnost, že žst. Borovany při variantě JŘ s taktovým vedením většiny vlaků osobní dopravy vystačí se dvěma kolejemi. To však pouze za předpokladu jízdy všech vlaků bez zpoždění, či náskoku. Proto je dobré mít i v této variantě v žst. Borovany 3 dopravní koleje. V simulaci pak dochází během dne na několik hodin k obsazení 3. dopravní koleje manipulačním vlakem během obsluhy žst. Borovany.

5.3 Varianta JŘ se striktně taktovým vedením osobních vlaků

U 3. varianty JŘ potvrdila simulace ideální rozmístění jednotlivých prvků DI pro striktně taktové vedení osobních vlaků. Při časovém formátu odjezdu vlaků v X:45 z Českých Velenic do Českých Budějovic a v X:18 z Českých Budějovic do Českých Velenic docházelo ke křižování vlaků v dopravních Nová Ves u Českých Budějovic a Nové Hradky bez jakýchkoliv prostojů osobních vlaků jednoho či druhého směru (viz nákrešný JŘ této varianty umístěný v deskách DP).

Z hlediska zachování přestupů v žst. České Budějovice nebyl posunem časových poloh a tím pádem příjezdem osobních vlaků v časovém formátu hodiny v X:36 rozváznán jediný přípoj. Naopak byla navýšena časová rezerva při případném zpoždění vlaků od Českých Velenic na zhruba 25 minut. Dalším pozitivním důsledkem tohoto posunu příjezdu vlaků je doba, která zbývá do celé hodiny, tj. 24 minut. Při odjezdu vlaků z Českých Velenic v celou hodinu (časový formát X:00) přijíždějí tyto vlaky do Českých Budějovic v X:51 hod. Při začátku zaměstnání, školy nebo různých akcí přesně v celou hodinu tak zbývá pouhých 9 minut na přesun. To je na tak velké a rozlehlé město, jakým jsou České Budějovice, málo. Při 24 minutovém času na přesun se lze dostat použitím MHD téměř do všech oblastí Českých Budějovic před celou hodinou bez větších problémů. To samé platí při jízdě opačným směrem v odpoledních hodinách. Posun času odjezdu o 9 minut z X:09 na X:18 vytváří místo pro pohodlnější dosažení nádraží z města, např. při konci pracovní

doby u velké části zaměstnání ve 14:30 hod. Pokud vezmeme v úvahu opět 24 minutovou dobu přesunu ze zaměstnání, školy, atd., vzniká ještě navíc 24 minutová rezerva. Tu je možné využít k nákupu, vyřízení potřebných záležitostí na úřadech či jinak a přesto svůj vlak stihnout. Dále by nedocházelo ke zpoždění vlaků do Českých Velenic ani při navýšení potencionálního zpoždění rychlíků z Prahy na 20 min., ke kterému v posledních letech díky přestavbě pražské trati na koridorové parametry poměrně často dochází. Díky posunu odjezdu posledního vlaku z Českých Budějovic do taktu z 22:40 hod. na 23:18 hod. by navíc vznikla nová možnost spojení Prahy s Českými Velenicemi ve večerních hodinách.

Pro zachování všech přestupních vazeb v Českých Velenicích by bylo potřeba posunout příjezdy a odjezdy vlaků z/do Vídně i Veselí nad Lužnicí u většiny vlaků o 5-8 minut. To by neměl být vážnější problém vzhledem k netaktovému vedení většiny vlaků na rakouské straně a pobytům vlaků v dopravnách na trati do Veselí nad Lužnicí. Zároveň by nedošlo k rozvázání přestupních vazeb v žst. Wien Franz – Josefs Bahnhof, ani v žst. Veselí nad Lužnicí.

Za pomocí simulace byla testována stabilita JŘ při vstupním zpoždění osobního vlaku o 5, 10, 15, 20, 25 a 30 minut. Překvapivým výsledkem pak byla likvidace jakéhokoliv zpoždění vlaků nejpozději do 1 hodiny a 3 minut od vzniku zpoždění. Je to dáno především vhodným rozmístěním dopraven na trati a možností přesunu křižování jednotlivých vlaků do sousední dopravy.

Při nahlédnutí do přílohy 6 – Obsazení traťové koleje Nové Hrady – České Velenice se striktní taktovost osobních vlaků v tomto mezistaničním úseku projevuje na první pohled ve zvoleném 4 hodinovém časovém formátu zobrazení vytvořením pomyslných 4 sloupců osobních (černých) vlaků vždy přibližně okolo celé liché hodiny. I ve 3. verzi JŘ je v omezujícím úseku trati stále velká kapacitní rezerva. Poprvé lze však konstatovat, že v období mezi dvěma celými po sobě následujícími hodinami je kapacita traťového úseku zcela vyčerpána. Do mezer mezi vlaky jedoucími v rozmezí 21. a 22. hodiny se již žádný další vlak vložit nepodaří.

Při vytvoření striktně taktového JŘ osobních vlaků došlo k opětovnému současnému využití všech 3 dopravních kolejí v žst. Borovany (viz příloha 7). Na rozdíl od 1. varianty JŘ dochází ve 3. při třetí variantě k obsazení všech třech dopravních kolejí hned dvakrát během 24 hodin a v obou dvou případech obsazují 2 dopravní koleje vlaky nákladní dopravy a pouze jeden osobní vlak.

ZÁVĚR

V úvodní části práce byla stručně nastíněna historie zkoumané trati. Poté byly krátce analyzovány jednotlivé změny související s elektrizací a optimalizací dopravní infrastruktury této trasy.

V následující části diplomové práce autor analyzoval v současnosti používané metody k výpočtu propustné výkonnosti. Těmito metodami jsou v ČR v současnosti předpis SŽDC (ČD) D24 a metodika UIC 406. Lze však říci že graficky nebo analyticky objektivně prokazatelný postup je stanoven pro železniční síť v ČR pouze v předpisu SŽDC (ČD) D24 a metodika UIC 406 pak je jen jakousi nadstavbou tohoto postupu.

Úvod třetí kapitoly této práce byl použit ke krátkému nastínění využití simulačních programů v železniční dopravě. Jako simulační program pro ověření vhodnosti implementace systematického JŘ byl vybrán softwarový produkt OpenTrack. Další část této kapitoly byla věnována krátké analýze uživatelského prostředí vybraného programu. Ve zbytku kapitoly se autor zabýval problematikou postupného naplnění simulačního programu infrastrukturními daty, vozidlovými daty a daty týkajícími se provozu tak, aby mohlo poté dojít ke spuštění samotné simulace. V modelu byly navrženy 3 varianty jízdního řádu. První variantou je jízdní řád s původním, netaktovým vedením osobních vlaků. Tato varianta JŘ platila na posuzované trati do 12.6. 2010. Druhým návrhem je JŘ s taktovým vedením většiny osobních vlaků, který byl uplatňován v období od 13.6.2010 do 11.12.2010. Autor poté navrhl 3. variantu JŘ se striktním taktovým vedením osobních vlaků. Časové polohy odjezdů osobních vlaků z Českých Velenic a Českých Budějovic byly posunuty tak, aby se zvýšila atraktivita železniční dopravy především pro dojíždění do krajské metropole.

Ve čtvrté části diplomové práce byly analytickým výpočtem stanoveny celkové a průměrné doby obsazení a celkové a průměrné doby mezer jednotlivých mezistaničních úseků na trati. Ze získaných výsledků těchto analytických výpočtů byl určen omezující úsek trati. Tímto úsekem je mezistaniční úsek Nové Hradky – České Velenice. U omezujícího mezistaničního úseku následně došlo ke stanovení praktické propustnosti n a koeficientu praktického využití K_{vz} . Vzhledem k dosaženým výsledkům bylo konstatováno značná naddimenzovanost stávající dopravní infrastruktury a potenciál úseku pro dvojnásobný rozsah provozu, než je stávající rozsah. Především ze strany nákladních dopravců je však trať v současnosti velmi málo využívána.

Závěrečná pátá část diplomové práce je rozdělena na 3 části. V každé části autor práce hodnotí každou ze 3. navržených variant JŘ samostatně. U první a druhé varianty JŘ dochází

nejprve k hodnocení nejvýznamnějších odchylek provozu simulace oproti skutečným údajům z nákrešného JŘ. U třetí autorem navržené varianty jsou hodnoceny výsledky několikanásobně opakované simulace. Následně je ve všech třech částech zhodnocen samotný provoz z hlediska jeho organizace. V poslední části každé kapitoly se zabývá dopady konkrétní varianty na kapacitu omezujícího úseku z hlediska obsazení mezistaniční koleje. U každé ze 3 variant je přidán ještě další výstup programu OpenTrack. Tím je obsazení staničních kolejí. Pro prezentaci simulací dosažených výsledků byla vybrána žst. Borovany.

Z jednotlivých zkoumaných výstupů programu OpenTrack vyplývá, že v obsazení traťové koleje jsou u všech 3 variant JŘ velké kapacitní rezervy, nicméně použitím taktového JŘ, či posléze striktně taktového JŘ se tyto kapacitní rezervy zmenšují.

Závěrem lze říci že vhodné řešení implementace systematického JŘ do podmínek posuzované trati bylo úspěšně vytvořeno. Podařilo se též nalézt vztah mezi rozsahem dopravního provozu a dopravní infrastruktury. Cíl diplomové práce tak byl splněn. Bohužel zjištěné hodnoty tohoto vztahu se při současném dopravním využití trati neblíží optimu a pokud ani v budoucnosti nedojde ke změně směrování některých přeprav na tuto trať, nedojde u posuzovaného vztahu ani k výraznému přiblížení k optimu.

SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

- (1) VLAK - SITE [online]. Poslední revize 12. 12. 2010 [cit. 2011-03-12]. Dostupné z : <<http://www.vlak.wz.cz/>>.
- (2) HÝSKOVÁ, K. *Provozní a dopravní technologie Elektrizace trati Č. Velenice – Č. Budějovice*. Interní materiály Českých drah, 2005. 45. s ISBN nemá
- (3) Knižní Jízdní řád SŽDC 2009/2010
- (4) MOJŽÍŠ, V. – MOLKOVÁ, T. *Technologie a řízení dopravy I: část železniční*. vyd. 1. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2002. 122 s. ISBN 80-7194-424-6
- (5) *Směrnice SŽDC D 24 pro zjišťování kapacity železničních tratí*. Praha: České dráhy, a. s. 40 s., účinnost od 1. 10. 1965
- (6) MOLKOVÁ, T. A KOL. *Kapacita železničních tratí*. vyd. 1. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2010. 150 s. ISBN 978-80-7395-317-1
- (7) MOJŽÍŠ, V. A KOL. *Racionalizace dopravního provozu a rozsahu dopravní infrastruktury na mimokoridorových tratích – redakčně upravená závěrečná zpráva*. Interní materiály Ministerstva dopravy ČR, 2009. 93 s. ISBN nemá
- (8) *Kodex UIC 406 – Kapacita*. 1. vyd. Paris: UIC International Union of Railways, 2004
- (9) SOJKA, M. *Simulace kritických prvků železniční infrastruktury*. Bakalářská práce, Praha: ČVUT v Praze, 2008. 57 s. ISBN nemá
- (10) HÜRLIMANN, D. *Opentrack – User´s manual*. Zürich: IVT ETH Zürich, 2009, 110 s. ISBN nemá
- (11) ŽELPAGE [online]. Poslední revize 18. 5. 2011 [cit. 2011-05-20]. Dostupné z : <<http://www.zelpage.cz/>>.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Znázornění kolejových schéma žst. na trati před a po elektrizaci	12
Obrázek 2: Znázornění kolejových schéma žst. České Velenice před a po elektrizaci	13
Obrázek 3: Negativní dopady periodického JŘ na kapacitu	18
Obrázek 4: Kapacitní bilance podle kodexu UIC 406	25
Obrázek 5: Typická souprava osobního vlaku z Č. Budějovic do Č. Velenic	31
Obrázek 6: Motorová jednotka řady 814+914	32
Obrázek 7: Dvojice lokomotiv řady 240 s nákladním vlakem	33
Obrázek 8: Zvětšené schéma modelu železniční zastávky v programu OpenTrack	38
Obrázek 9: Okno „Trains“ pro zadávání vozidlových dat v programu OpenTrack	40
Obrázek 10: Okno „Timetable“ pro zadávání jízdních řádů v programu OpenTrack	42
Obrázek 11: Celková doba obsazení a celková doba mezer v minutách	46
Obrázek 12: Průměrná doba obsazení a průměrná doba mezer v minutách	46
Obrázek 13: Graf závislosti vývoje rychlosti na ujeté vzdálenosti u vlaku 68822	50

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Rozmístění zastávek v jednotlivých prostorových oddílech	14
Tabulka 2: Rozsah dopravy v úseku České Budějovice – České Velenice v GVD 09/10	15
Tabulka 3: Výhledový rozsah dopravy v úseku České Budějovice – Borovany	16
Tabulka 4: Výhledový rozsah dopravy v úseku Borovany – České Velenice	16
Tabulka 5: Orientační hodnoty využití kapacity pro určité typy tratí	26
Tabulka 6: Výsledné hodnoty T_{obs} , T_{mez} , t_{obs} a t_{mez} pro jednotlivé mezistaniční úseky	45

SEZNAM ZKRATEK

AH	automatické hradlo
a. s.	akciová společnost
ČD	České dráhy
ČR	Česká republika
DcFJ	Dráha císaře Františka Josefa
DI	dopravní infrastruktura
DP	diplomová práce
ESA	elektronické stavědlo
Hz	Herz
hod.	hodina
IDS	integrovaný dopravní systém
IS	informační systém
JOP	jednotné obslužné pracoviště
JD	jízdní doba
JŘ	jízdní řád
km	kilometr
km/h	kilometrů za hodinu
kV	kiloVolt
Lv	lokomotivní vlak
m	metr
MHD	městská hromadná doprava
min	minuta
mm	milimetr
Mn	manipulační nákladní vlak
NÖ	Niederösterreich – dolní Rakousko
Nex	nákladní expres
Os	osobní vlak
PI	provozní interval
Pn	přestavovací nákladní vlak
PV	propustná výkonnost
R	rychlík
Rn	rychlý nákladní vlak

SENA JŘ VT	sestava nákrešného jízdního řádu výpočetní technikou
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty
Sp	spěšný osobní vlak
Sn	spěšný nákladní vlak
UIC	Unie international de chemin – Mezinárodní železniční unie
vl.	vlaků
Vn	vyrovnávkový nákladní vlak
ZZ	zabezpečovací zařízení
žst.	železniční stanice

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1: Tabulky obsazení sledy lichý – lichý, sudý – lichý, lichý – sudý, sudý - sudý
- Příloha 2: Obsazení traťové koleje Nové Hrady – České Velenice - JŘ s netaktovým vedením osobních vlaků
- Příloha 3: Obsazení staničních kolejí v žst. Borovany - JŘ s netaktovým vedením osobních vlaků
- Příloha 4: Obsazení traťové koleje Nové Hrady – České Velenice - JŘ s taktovým vedením většiny osobních vlaků
- Příloha 5: Obsazení staničních kolejí v žst. Borovany - JŘ s taktovým vedením většiny osobních vlaků
- Příloha 6: Obsazení traťové koleje Nové Hrady – České Velenice - JŘ se striktně taktovým vedením osobních vlaků
- Příloha 7: Obsazení staničních kolejí v žst. Borovany - JŘ se striktně taktovým vedením osobních vlaků

PŘÍLOHY

Příloha 1: Tabulky obsazení sledy lichý – lichý, sudý – lichý, lichý – sudý, sudý - sudý

Mezistaniční úsek České Budějovice – Nová Ves u Českých Budějovic:

t1		t2		LICHÝ				
				Os		Pn		Lv
Lichý			10		2		3	
	Os	10	3,33		0,67		1,00	
			7,50	25,00	7,50	5,00	7,50	7,50
	Pn	2	0,67		0,13		0,20	
			7,50	5,00	7,50	1,00	7,50	1,50
	Lv	3	1,00		0,20		0,30	
5,50			5,50	5,50	1,10	5,50	1,65	
celkem						53,25		

t1		t2		LICHÝ				
				Os		Pn		Lv
Sudý			10		2		3	
	Os	10	3,45		0,69		1,03	
			17,50	60,34	18,50	12,76	16,50	17,07
	Pn	1	0,34		0,07		0,10	
			18,50	6,38	19,50	1,34	17,50	1,81
	Lv	3	1,03		0,21		0,31	
17,50			18,10	16,50	3,41	16,50	5,12	
celkem						126,34		

Příloha 1: Tabulky obsazení sledy lichý – lichý, sudý – lichý, lichý – sudý, sudý - sudý

Mezistaniční úsek České Budějovice – Nová Ves u Českých Budějovic:

t1		t2		SUDÝ				
				Os		Pn		Lv
Lichý			10		1		3	
	Os	10	3,45		0,34		1,03	
			17,50	60,34	20,50	7,07	17,50	18,10
	Pn	2	0,69		0,07		0,21	
			18,50	12,76	21,50	1,48	18,50	3,83
	Lv	3	1,03		0,10		0,31	
16,50			17,07	19,50	2,02	16,50	5,12	
celkem								127,79

t1		t2		SUDÝ				
				Os		Pn		Lv
Sudý			10		1		3	
	Os	10	3,57		0,36		1,07	
			7,00	25,00	7,00	2,50	7,00	7,50
	Pn	1	0,36		0,04		0,11	
			7,50	2,68	7,50	0,27	7,50	0,80
	Lv	3	1,07		0,11		0,32	
6,50			6,96	6,50	0,70	6,50	2,09	
celkem								48,50

Příloha 1: Tabulky obsazení sledy lichý – lichý, sudý – lichý, lichý – sudý, sudý - sudý

Mezistaniční úsek Nová Ves u Českých Budějovic – Borovany:

t1		t2		LICHÝ				
				Os		Pn		Lv
Lichý			10		2		3	
	Os	10	3,33		0,67		1,00	
			10,50	35	10,5	7	10,5	10,5
	Pn	2	0,67		0,13		0,20	
			12	8	12	1,6	12	2,4
	Lv	3	1,00		0,20		0,30	
			9,5	9,5	9,5	1,9	9,5	2,85
	celkem							

t1		t2		LICHÝ				
				Os		Pn		Lv
Sudý			10		2		3	
	Os	10	3,45		0,69		1,03	
			22,00	75,86	24,00	16,55	21,50	22,24
	Pn	1	0,34		0,07		0,10	
			24,50	8,45	26,50	1,83	24,00	2,48
	Lv	3	1,03		0,21		0,31	
			22,00	22,76	24,00	4,97	21,50	6,67
	celkem							

Příloha 1: Tabulky obsazení sledy lichý – lichý, sudý – lichý, lichý – sudý, sudý - sudý

Mezistaniční úsek Nová Ves u Českých Budějovic – Borovany:

t1		t2		SUDÝ				
				Os		Pn		Lv
Lichý			10		1		3	
	Os	10	3,45		0,34		1,03	
			22,00	75,86	24,00	8,28	21,50	22,24
	Pn	2	0,69		0,07		0,21	
			24,00	16,55	26,00	1,79	23,50	4,86
	Lv	3	1,03		0,10		0,31	
21,50			22,24	23,50	2,43	21,00	6,52	
celkem								160,78

t1		t2		SUDÝ				
				Os		Pn		Lv
Sudý			10		1		3	
	Os	10	3,57		0,36		1,07	
			10,00	35,71	10,00	3,57	10,00	10,71
	Pn	1	0,36		0,04		0,11	
			12,00	4,29	12,00	0,43	12,00	1,29
	Lv	3	1,07		0,32		0,32	
9,50			10,18	9,50	3,05	9,50	3,05	
celkem								72,29

Příloha 1: Tabulky obsazení sledy lichý – lichý, sudý – lichý, lichý – sudý, sudý - sudý

Mezistaniční úsek Borovany - Jílovice:

t1		t2		LICHÝ							
				Os		Pn		Mn		Lv	
Lichý			10		2		1		3		
	Os	10	3,13		0,63		0,31		0,94		
			9,00	28,13	9,00	5,63	10,00	3,13	10,00	9,38	
	Pn	2	0,63		0,13		0,06		0,19		
			9,50	5,94	9,50	1,19	10,50	0,66	10,50	1,97	
	Mn	1	0,31		0,06		0,03		0,09		
			9,50	2,97	9,50	0,59	10,50	0,33	10,50	0,98	
	Lv	3	0,94		0,19		0,09		0,28		
			5,50	5,16	5,50	1,03	6,50	0,61	5,50	1,55	
	celkem										69,22

t1		t2		LICHÝ							
				Os		Pn		Mn		Lv	
Sudý			10		2		1		3		
	Os	10	3,23		0,65		0,32		0,97		
			17,00	54,84	18,00	11,61	18,00	5,81	14,00	13,55	
	Pn	1	0,32		0,06		0,03		0,10		
			19,00	6,13	20,00	1,29	20,50	0,66	16,50	1,60	
	Mn	1	0,32		0,06		0,03		0,10		
			19,50	6,29	20,50	1,32	20,50	0,66	16,50	1,60	
	Lv	3	0,97		0,19		0,10		0,29		
			16,50	15,97	17,50	3,39	17,50	1,69	13,50	3,92	
	celkem										130,32

Příloha 1: Tabulky obsazení sledy lichý – lichý, sudý – lichý, lichý – sudý, sudý - sudý

Mezistaniční úsek Borovany - Jílovice:

t1		t2		SUDÝ							
				Os		Pn		Mn		Lv	
Lichý			10		1		1		3		
	Os	10	3,23		0,32		0,32		0,97		
			16,50	53,23	18,50	5,97	18,50	5,97	18,50	17,90	
	Pn	2	0,65		0,06		0,06		0,19		
			18,00	11,61	20,00	1,29	20,00	1,29	20,00	3,87	
	Mn	1	0,32		0,03		0,03		0,10		
			18,00	5,81	20,00	0,65	20,00	0,65	20,00	1,94	
	Lv	3	0,97		0,10		0,10		0,29		
			14,00	13,55	16,00	1,55	16,00	1,55	13,00	3,77	
	celkem										130,58

t1		t2		SUDÝ							
				Os		Pn		Mn		Lv	
Sudý			10		1		1		3		
	Os	10	3,33		0,33		0,33		1,00		
			7,00	23,33	7,00	2,33	8,00	2,67	7,00	7,00	
	Pn	1	0,33		0,03		0,03		0,10		
			8,50	2,83	8,50	0,28	9,50	0,32	9,50	0,95	
	Mn	1	0,33		0,03		0,03		0,10		
			8,50	2,83	8,50	0,28	8,50	0,28	8,50	0,85	
	Lv	3	1,00		0,10		0,10		0,30		
			5,50	5,50	5,50	0,55	5,50	0,55	5,50	1,65	
	celkem										52,22

Příloha 1: Tabulky obsazení sledy lichý – lichý, sudý – lichý, lichý – sudý, sudý - sudý

Mezistaniční úsek Jílovice – Nové Hrady:

t1		t2		LICHÝ							
				Os		Pn		Mn		Lv	
Lichý			10		2		1		3		
	Os	10	3,13		0,63		0,31		0,94		
			8,00	25,00	8,00	5,00	8,00	2,50	8,00	7,50	
	Pn	2	0,63		0,13		0,06		0,19		
			8,50	5,31	8,50	1,06	8,50	0,53	8,50	1,59	
	Mn	1	0,31		0,06		0,03		0,09		
			10,50	3,28	10,50	0,66	10,50	0,33	10,50	0,98	
	Lv	3	0,94		0,19		0,09		0,28		
			7,50	7,03	7,50	1,41	7,50	0,70	7,50	2,11	
	celkem										65,00

t1		t2		LICHÝ							
				Os		Pn		Mn		Lv	
Sudý			10		2		1		3		
	Os	10	3,23		0,65		0,32		0,97		
			17,00	54,84	18,00	11,61	20,00	6,45	17,00	16,45	
	Pn	1	0,32		0,06		0,03		0,10		
			18,00	5,81	19,00	1,23	21,00	0,68	18,00	1,74	
	Mn	1	0,32		0,06		0,03		0,10		
			21,00	6,77	22,00	1,42	24,00	0,77	21,00	2,03	
	Lv	3	0,97		0,19		0,10		0,29		
			18,00	17,42	18,00	3,48	20,00	1,94	17,00	4,94	
	celkem										137,58

Příloha 1: Tabulky obsazení sledy lichý – lichý, sudý – lichý, lichý – sudý, sudý - sudý

Mezistaniční úsek Jílovice – Nové Hradý:

t1		t2		SUDÝ							
				Os		Pn		Mn		Lv	
Lichý			10		1		1		3		
	Os	10	3,23		0,32		0,32		0,97		
			16,00	51,61	17,00	5,48	21,00	6,77	17,00	16,45	
	Pn	2	0,65		0,06		0,06		0,19		
			17,50	11,29	18,50	1,19	22,50	1,45	18,50	3,58	
	Mn	1	0,32		0,03		0,03		0,10		
			20,00	6,45	21,00	0,68	24,00	0,77	20,00	1,94	
	Lv	3	0,97		0,10		0,10		0,29		
			17,00	16,45	18,00	1,74	21,00	2,03	17,00	4,94	
	celkem										132,84

t1		t2		SUDÝ							
				Os		Pn		Mn		Lv	
Sudý			10		1		1		3		
	Os	10	3,33		0,33		0,33		1,00		
			8,00	26,67	8,00	2,67	8,50	2,83	8,50	8,50	
	Pn	1	0,33		0,03		0,03		0,10		
			8,50	2,83	8,50	0,28	9,50	0,32	9,50	0,95	
	Mn	1	0,33		0,03		0,03		0,10		
			12,50	4,17	12,50	0,42	12,50	0,42	13,00	1,30	
	Lv	3	1,00		0,10		0,10		0,30		
			8,50	8,50	8,50	0,85	8,50	0,85	9,00	2,70	
	celkem										64,25

Příloha 1: Tabulky obsazení sledy lichý – lichý, sudý – lichý, lichý – sudý, sudý - sudý

Mezistaniční úsek Nové Hradý – České Velenice:

t1		t2		LICHÝ							
				Os		Pn		Mn		Lv	
Lichý			10		2		1		3		
	Os	10	3,13		0,63		0,31		0,94		
			11,00	34,38	11,00	6,88	11,00	3,44	11,00	10,31	
	Pn	2	0,63		0,13		0,06		0,19		
			12,50	7,81	12,50	1,56	12,50	0,78	12,50	2,34	
	Mn	1	0,31		0,06		0,03		0,09		
			14,50	4,53	14,50	0,91	14,50	0,45	14,50	1,36	
	Lv	3	0,94		0,19		0,09		0,28		
			11,50	10,78	11,50	2,16	11,50	1,08	11,50	3,23	
	celkem										92,00

t1		t2		LICHÝ							
				Os		Pn		Mn		Lv	
Sudý			10		2		1		3		
	Os	10	3,23		0,65		0,32		0,97		
			22,50	72,58	24,50	15,81	26,50	8,55	23,50	22,74	
	Pn	1	0,32		0,06		0,03		0,10		
			25,50	8,23	27,50	1,77	29,50	0,95	26,50	2,56	
	Mn	1	0,32		0,06		0,03		0,10		
			29,50	9,52	31,50	2,03	33,50	1,08	30,50	2,95	
	Lv	3	0,97		0,19		0,10		0,29		
			23,50	22,74	25,50	4,94	27,50	2,66	24,50	7,11	
	celkem										186,23

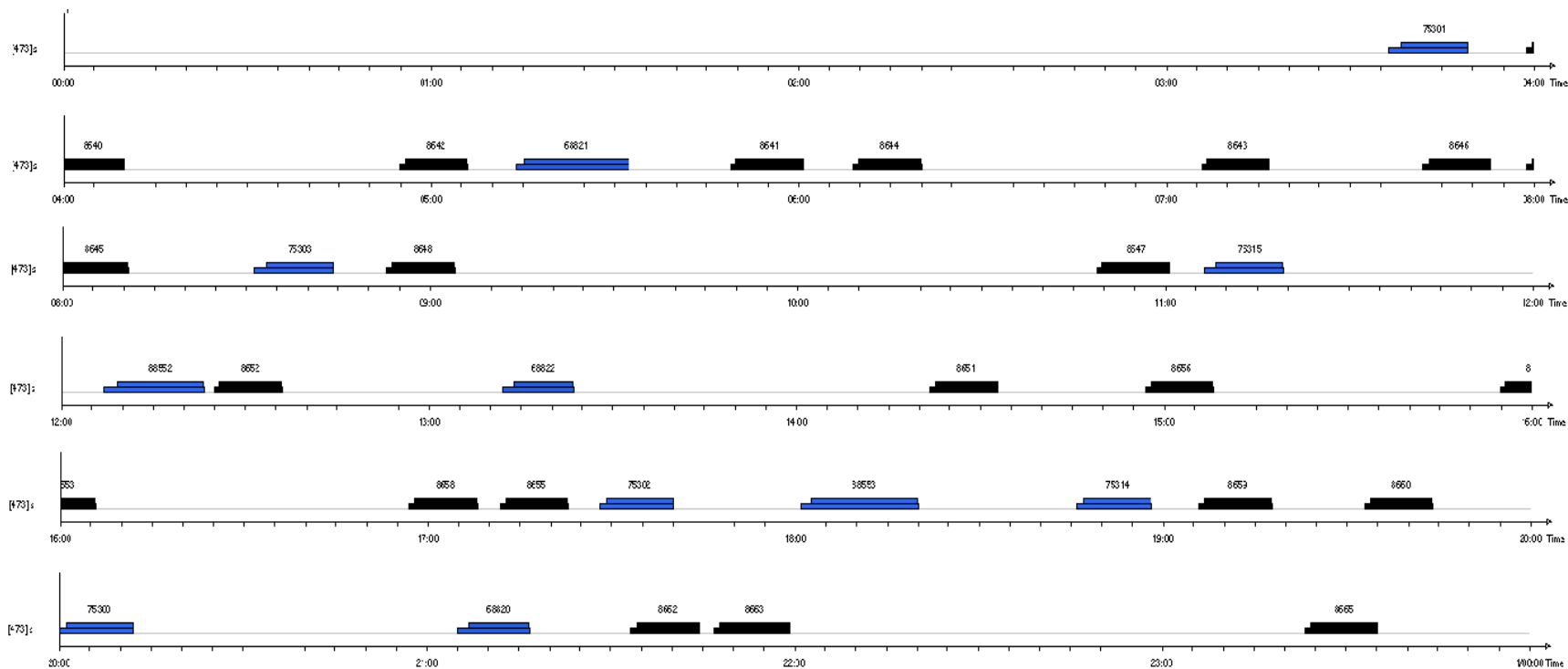
Příloha 1: Tabulky obsazení sledy lichý – lichý, sudý – lichý, lichý – sudý, sudý - sudý

Mezistaniční úsek Nové Hradý – České Velenice:

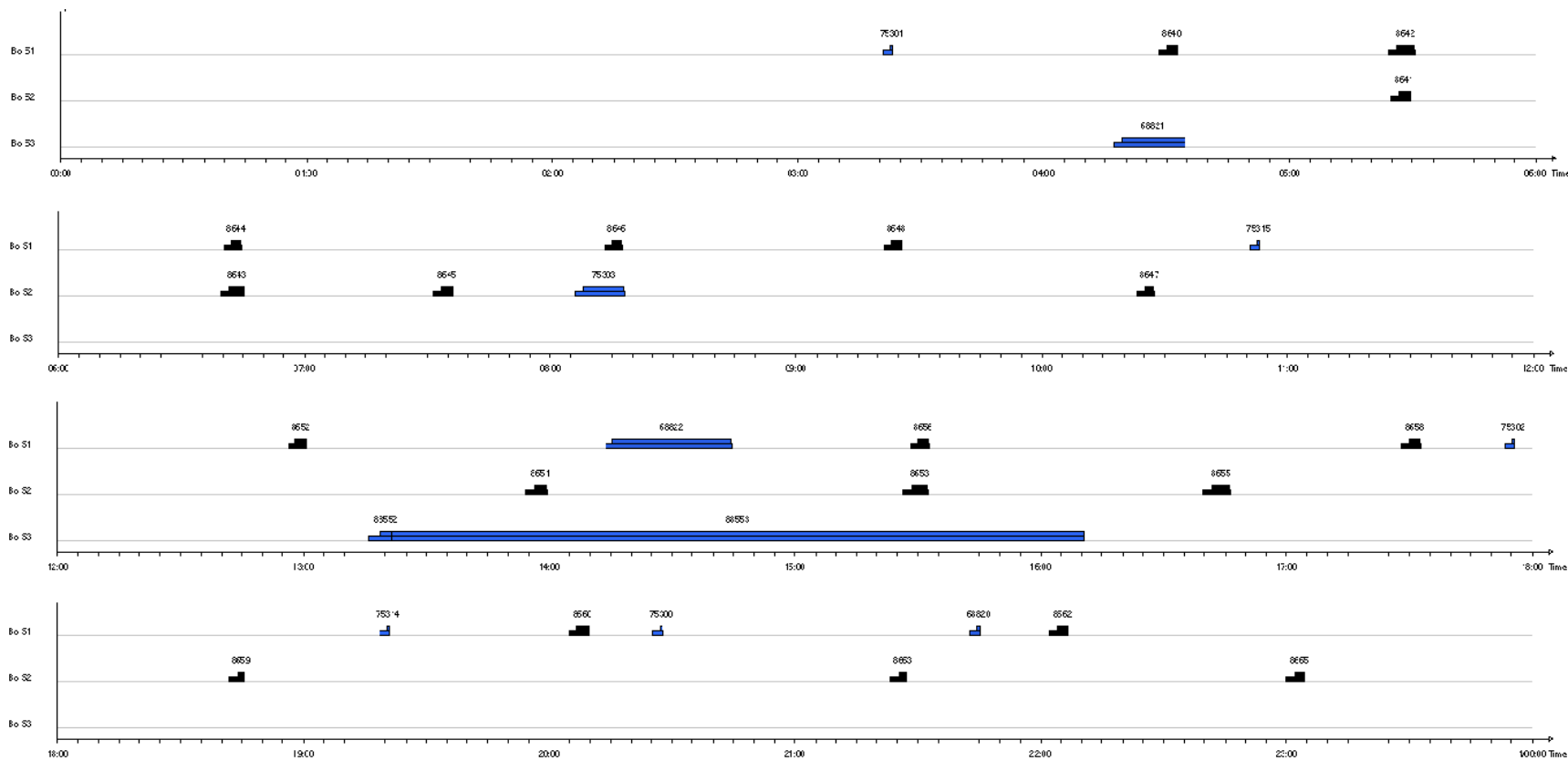
t1		t2		SUDÝ							
				Os		Pn		Mn		Lv	
Lichý			10		1		1		3		
	Os	10	3,23		0,32		0,32		0,97		
			22,50	72,58	25,50	8,23	29,50	9,52	23,50	22,74	
	Pn	2	0,65		0,06		0,06		0,19		
			24,50	15,81	27,50	1,77	31,50	2,03	25,50	4,94	
	Mn	1	0,32		0,03		0,03		0,10		
			26,50	8,55	29,50	0,95	33,50	1,08	27,50	2,66	
	Lv	3	0,97		0,10		0,10		0,29		
			23,50	22,74	26,50	2,56	30,50	2,95	24,50	7,11	
	celkem										186,23

t1		t2		SUDÝ							
				Os		Pn		Mn		Lv	
Sudý			10		1		1		3		
	Os	10	3,33		0,33		0,33		1,00		
			10,50	35,00	10,50	3,50	10,50	3,50	10,50	10,50	
	Pn	1	0,33		0,03		0,03		0,10		
			12,50	4,17	12,50	0,42	12,50	0,42	12,50	1,25	
	Mn	1	0,33		0,03		0,03		0,10		
			16,50	5,50	16,50	0,55	16,50	0,55	16,50	1,65	
	Lv	3	1,00		0,10		0,10		0,30		
			10,50	10,50	10,50	1,05	10,50	1,05	10,50	3,15	
	celkem										82,75

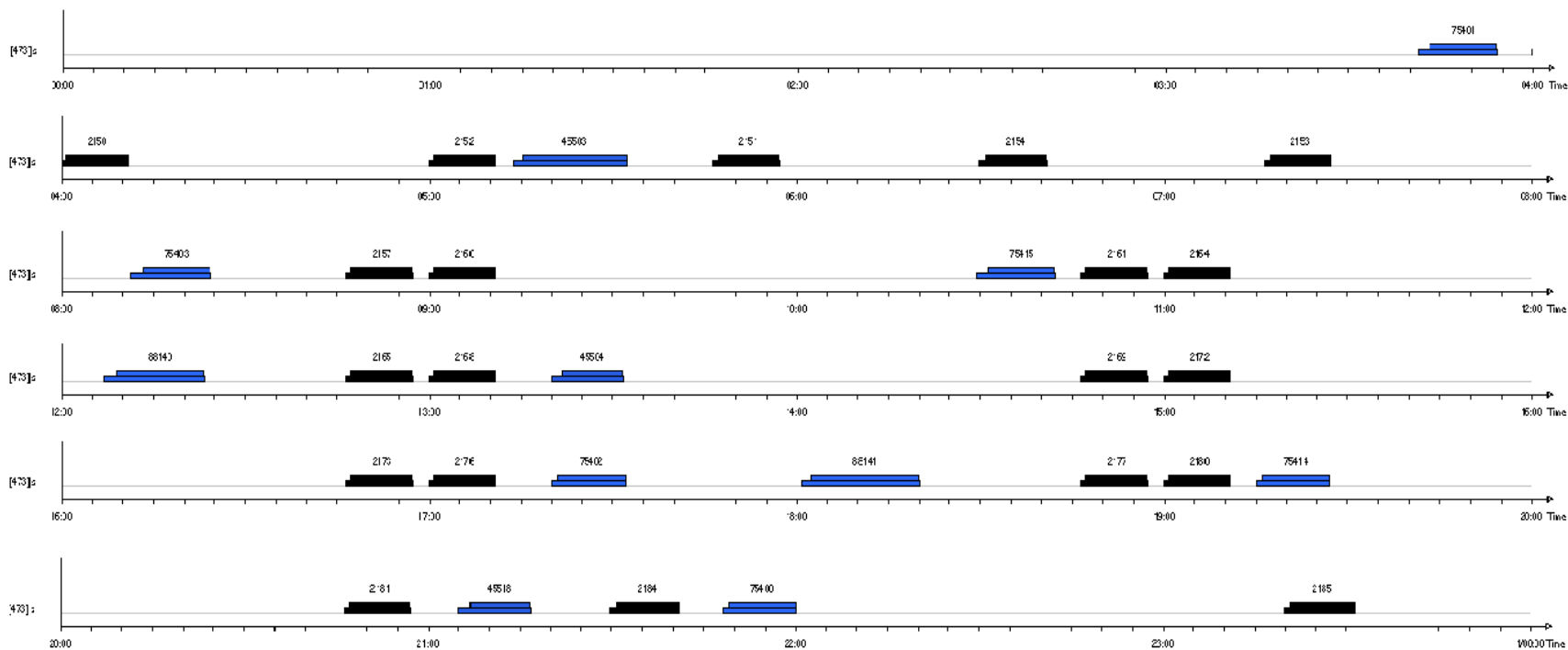
Příloha 2: Obsazení traťové koleje Nové Hrady – České Velenice - JŘ s netaktovým vedením osobních vlaků



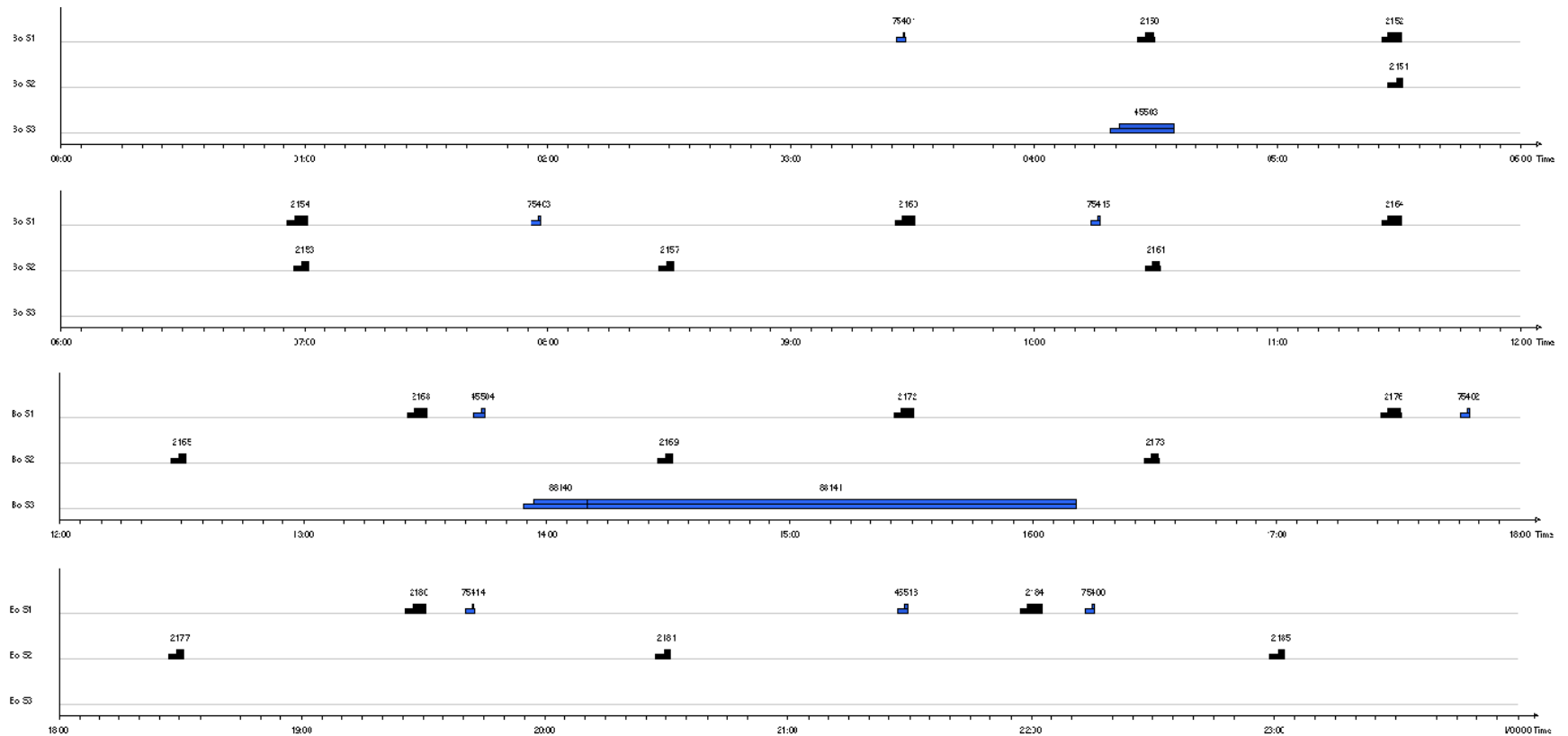
Příloha 3: Obsazení staničních kolejí v žst. Borovany - JŘ s netaktivním vedením osobních vlaků



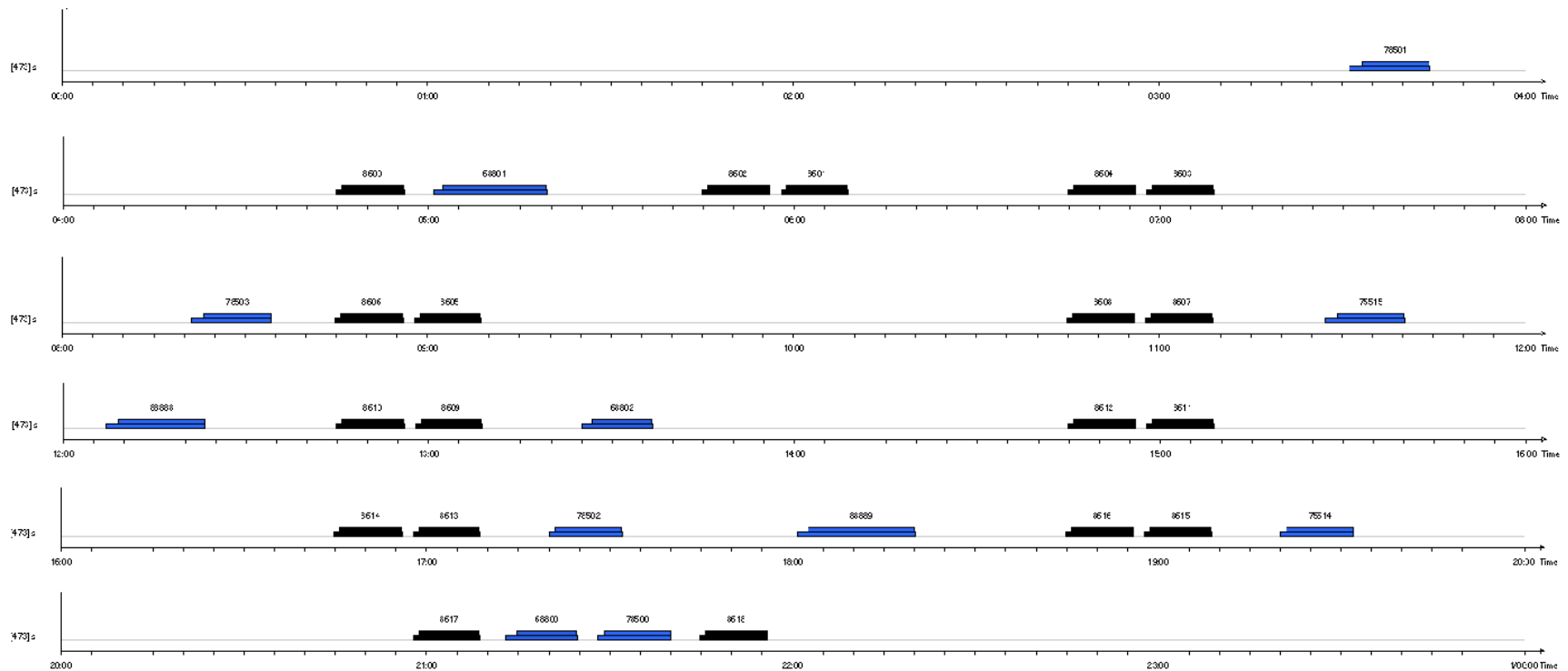
Příloha 4: Obsazení traťové koleje Nové Hradky – České Velenice - JŘ s taktovým vedením většiny osobních vlaků



Příloha 5: Obsazení staničních kolejí v žst. Borovany - JŘ s taktovým vedením většiny osobních vlaků



Příloha 6: Obsazení traťové koleje Nové Hradky – České Velenice - JŘ se striktně taktovým vedením osobních vlaků



Příloha 7: Obsazení staničních kolejí v žst. Borovany - JŘ se striktně taktovým vedením osobních vlaků

