

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Návrh provozně-organizačních opatření  
ke zefektivnění technologie provozu vlaků

Diplomová práce

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Akademický rok: 2024/2025

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš Novotný**  
Osobní číslo: **D23467**  
Studijní program: **N1041A040008 Technologie a management v dopravě**  
Specializace: **Technologie a řízení dopravy**  
Téma práce: **Návrh provozně-organizačních opatření ke zefektivnění technologie provozu vlaků**  
Zadávací katedra: **Katedra technologie a řízení dopravy**

## Zásady pro vypracování

V diplomové práci budou řešena opatření vedoucí ke zefektivnění technologie provozu vlaků.  
Diplomová práce bude obsahovat:

- analýzu současného stavu,
- možnosti zvýšení efektivity technologie provozu,
- případovou studii,
- provozně-ekonomické zhodnocení.

Rozsah pracovní zprávy: **50-60**  
Rozsah grafických prací: **5-6**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

dle pokynů vedoucího práce

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Vojtek, PhD.**  
Katedra technologie a řízení dopravy

Datum zadání diplomové práce: **24. února 2025**  
Termín odevzdání diplomové práce: **7. května 2025**

L.S.

---

**doc. Ing. Ladislav Řoutil, Ph.D.**  
děkan

---

**doc. Ing. Jaromír Široký, Ph.D.**  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 25. února 2025

Prohlašuji:

Práci s názvem **Návrh provozně-organizačních opatření ke zefektivnění technologie provozu vlaků** 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., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, 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.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 6. května 2025

Bc. Lukáš Novotný v. r.

Touto cestou bych rád poděkoval svým rodičům za podporu při studiu na Dopravní fakultě Jana Pernera v Pardubicích. Dále bych chtěl poděkovat především vedoucímu své diplomové práce panu Ing. Martinu Vojtkovi, PhD. za ochotu, obětavost, vstřícnost a cenné rady nejen při konzultacích spojených s touto diplomovou prací. Poděkování patří také všem, kteří mi byli nápomocni při tvorbě této práce i při celém studiu.

## **ANOTACE**

Přestože je snahou provozovat železniční dopravu co nejefektivněji, stále existují situace, kde je prostor pro zlepšení. Cílem této práce je prostřednictvím návrhů provozně-organizačních opatření snížit negativní dopady zpoždění na provoz a tím přispět ke zvýšení efektivity železniční dopravy. Na základě měření zpoždění z reálného provozu je sestaven matematický model pro sledování přenosu a kumulace časových nepravidelností na fiktivní modelové trati. Empirická simulace je následně užita na trati číslo 240 z Brna do Jihlavy, kde je vytvořena řada modelových variant prezentující zpoždění provozu. Výsledky simulací jsou podkladem k vytvoření návrhů pro efektivnější organizaci dopravy. Závěrem jsou navržená opatření podrobena provozně-ekonomickému hodnocení, které slouží k jejich verifikaci.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

odjezd vlaku, zpoždění, empirická simulace, nákrešný jízdní řád, trať Brno – Jihlava

## **TITLE**

Proposal for operational and organisational measures to improve the efficiency of train operation technology

## **ANNOTATION**

Although the aim is to operate rail transport as efficiently as possible, there are still situations, where there is room for improvement. The aim of this thesis is to reduce the negative impact of delays on operations by proposing operational and organisational measures and thus contribute to increasing the efficiency of rail transport. Based on delay measurements from real traffic, a mathematical model is constructed to monitor the transmission and accumulation of time irregularities on a fictitious model line. The empirical simulation is then used on the line number 240 from Brno to Jihlava, where several model variants presenting traffic delays are created. The results of the simulations are the basis for the development of proposals for more efficient traffic organisation. Finally, the proposed measures are subjected to an operational and economic evaluation to verify them.

## **KEYWORDS**

train departure, delay, empirical simulation, timetable, railway line Brno – Jihlava

# OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ .....	8
SEZNAM TABULEK.....	9
SEZNAM ZKRATEK.....	10
ÚVOD .....	11
1 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU .....	12
1.1 Manažeři infrastruktury .....	13
1.2 Plánování a řízení železničního provozu na síti SŽ.....	17
1.3 Vyhodnocování efektivity provozu .....	22
1.4 Situace s časovou ztrátou v jízdě vlaku .....	24
2 SBĚR DAT A JEJICH APLIKACE V SIMULACI.....	30
2.1 Měření a analýza zpoždění vlaků při odjezdu .....	32
2.2 Empirická simulace.....	38
2.3 Simulace přenosu zpoždění .....	41
2.4 Simulace velikosti a růstu zpoždění.....	52
3 IMPLEMENTOVÁNÍ SIMULACE V REÁLNÉM PROVOZU.....	60
3.1 Možnosti aplikace simulace pro plánování provozu.....	60
3.2 Možnosti aplikace simulace pro operativní řízení provozu .....	61
3.3 Vyhodnocení simulace a návrhy zlepšujících opatření.....	77
4 PROVOZNĚ-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	84
4.1 Metodika SFDI .....	85
4.2 Metodika Ricardo-AEA.....	87
4.3 Srovnání metodik a stanovení výsledných úspor.....	88
ZÁVĚR .....	90
SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ .....	91
SEZNAM PŘÍLOH.....	94

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Efekt navedení vlaku do bezkonfliktní trasy .....	25
Obrázek 2 Graf četnosti měření v závislosti na denní době.....	33
Obrázek 3 Graf četnosti měření v závislosti na dni v týdnu .....	33
Obrázek 4 Zpoždění měřených vlaků .....	34
Obrázek 5 Schéma fiktivní trati .....	39
Obrázek 6 Provozní koncept na fiktivní trati .....	40
Obrázek 7 Princip užití duplicitních vlaků pro simulaci zpoždění .....	42
Obrázek 8 Závislost zpoždění na poloze dopravní při křižování dvou vlaků .....	48
Obrázek 9 Závislost zpoždění na poloze dopravní při křižování tří vlaků.....	48
Obrázek 10 Závislost zpoždění na velikosti sledu vlaků .....	49
Obrázek 11 Závislost celkového zpoždění na přepočteném k jednomu vlaku .....	52
Obrázek 12 Závislost zpoždění n-tého vlaku na poloze dopravní určené pro křižování ....	55
Obrázek 13 Krok zpoždění v závislosti na stanici křižování .....	56
Obrázek 14 Krok zpoždění v závislosti na stanici křižování – rozšířený model .....	57
Obrázek 15 Závislost výše hodnoty zpoždění na poloze stanice a pořadí vlaku .....	59
Obrázek 16 Konflikt řešený v simulaci verze 3 .....	65
Obrázek 17 Vývojový diagram verze 13 .....	68
Obrázek 18 Vývojový diagram verze 15 .....	70
Obrázek 19 Vývojový diagram verze 23 .....	72
Obrázek 20 Vývojový diagram verze 25 .....	75
Obrázek 21 Nákresný jízdní řád tratě Horní Lideč – Bylnice.....	82
Obrázek 22 Nákresný jízdní řád tratě Komárno – Bratislava-Nové Mesto .....	83

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Provozovatelé drah celostátních a regionálních.....	16
Tabulka 2 Podrobnosti o drahách celostátních a regionálních.....	16
Tabulka 3 Parametry měření .....	32
Tabulka 4 Medián doby trvání úkonů spojených s odjezdem vlaku.....	35
Tabulka 5 Doba trvání úkonů při rozlišení typu soupravy.....	35
Tabulka 6 Doba trvání úkonů se zohledněním složek úkonů .....	36
Tabulka 7 Doba trvání úkonů soupravy se zohledněním návštěvní Souhlasu k odjezdu ....	37
Tabulka 8 Přehled variant křížování v simulaci.....	43
Tabulka 9 Simulace 01x01 .....	45
Tabulka 10 Přepočtené zpoždění pro jednotlivé varianty simulace.....	46
Tabulka 11 Zpoždění v jednotlivých dopravnách na trati v závislosti na jejich poloze .....	54
Tabulka 12 Kroky zpoždění pro jednotlivé stanice na rozšířené modelové trati.....	57
Tabulka 13 Zpoždění v simulaci na trati 240.....	78
Tabulka 14 Porovnání zpoždění při využití koeficientů .....	79
Tabulka 15 Hodnota času podle metodiky SFDI.....	85
Tabulka 16 Ekonomické zhodnocení podle metodiky SFDI .....	86
Tabulka 17 Ekonomické zhodnocení podle metodiky Ricardo-AEA.....	88
Tabulka 18 Porovnání hodnot úspor .....	89

## SEZNAM ZKRATEK

AŽD	Automatizace železniční dopravy
ČD	České dráhy
ČR	Česká republika
ČSD	Československé státní dráhy
EU	Evropská unie
GVD	Grafikon vlakové dopravy
KŽC	KŽC Doprava
Os	Osobní vlak
oshod	Osobohodina
PDV	PDV Railway
PIK	Provozní interval křižování
PKPC	PKP CARGO INTERNATIONAL
R	Rychlík
SART	SART – Stavby a rekonstrukce
SFDI	Státní fond dopravní infrastruktury
SOÚD	Svazek obcí údolí Desné
Sp	Spěšný vlak
SÚD	Správa úzkokolejných drah
SŽ	Správa železnic
SŽ D1	Dopravní a návěstní předpis pro tratě nevybavené evropským vlakovým zabezpečovačem
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty

# ÚVOD

Dojíždění vlakem je každodenní realitou pro tisíce lidí, kteří se potřebují dostat do práce, školy nebo za volnočasovými aktivitami. Železniční doprava je obecně považována za ekologickou, pohodlnou a efektivní alternativu k individuální automobilové dopravě. Nicméně cestující se často potýkají s nepříjemnými zpožděními, která mohou narušit jejich časový harmonogram a způsobit značné komplikace.

Zpoždění vlaků může mít různé příčiny, mezi něž patří technické problémy, poruchy na trati, nepříznivé počasí, výluky spojené s opravami infrastruktury či lidské chyby. Významným faktorem bývá i přetížení železniční sítě, kdy hustý provoz způsobuje kumulativní zpoždění.

Dopady zpoždění jsou různé a zahrnují nejen osobní nepohodlí, ale i ekonomické ztráty. Zmeškání pracovních schůzek, přednášek nebo jiných důležitých událostí může mít negativní důsledky pro jednotlivce i zaměstnavatele. Kromě toho dlouhá čekání na opožděné spoje přispívají ke stresu a nespokojenosti cestujících, což může vést ke snižování důvěry v železniční dopravu jako spolehlivý dopravní prostředek.

Řešení tohoto problému zahrnuje několik opatření, včetně modernizace železniční infrastruktury, zlepšení údržby vlakových souprav a zavedení pokročilých systémů řízení dopravy. Důležitou roli hraje také lepší komunikace mezi dopravci a cestujícími. Digitalizace a automatizace procesů mohou přispět k vyšší efektivitě a snížení četnosti výpadků v jízdním řádu. I přes uvedené překážky zůstává železniční doprava jedním z klíčových pilířů veřejné dopravy. Investice do jejího rozvoje a optimalizace provozu jsou zásadní pro zajištění spolehlivé a komfortní přepravy pro každodenní dojíždějící i příležitostné cestující.

Tato práce se bude zabývat zlepšením procesů při tvorbě jízdního řádu a s tím spojenými provozně-organizačními opatřeními.

**Cílem diplomové práce je zefektivnit provozní technologii vlaků prostřednictvím ověření na fiktivní modelové trati a následné aplikace do reálného provozu. K naplnění tohoto cíle je nezbytné identifikovat příčiny provozního zpoždění, zejména dobu trvání úkonů spojených s odjezdem vlaku, implementovat tyto poznatky do simulace, analyzovat růst a šíření zpoždění a na základě výsledků navrhnout opatření ke snížení jeho rozsahu i dopadů.**

# 1 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU

Základním cílem všech subjektů podílejících se na provozování dráhy a drážní dopravy je přeprava cestujících, či zboží z místa A do místa B. Samotná přeprava je však pouze špičkou ledovce celého procesu. Za tím, že se rozjedou kola lokomotivy stojí mnoho pracovníků drah. Dovézt cestující a zboží bezpečně a včas do jejich cílové je meritem věci, kterého chceme dosáhnout. Přeprava nákladních vlaků není z pohledu zákaznického servisu natolik náročná. Uhlí či obilí z opožděného nákladního vlaku si asi bude jen těžko stěžovat na absenci internetového připojení. Opačná situace však nastává u vlaků osobních přepravy. S příchodem stále dostupnější individuální automobilové dopravy musí železnice upevňovat svoje postavení na trhu a pokoušet se nejen být konkurenceschopná, ba dokonce porazit ostatní druhy dopravy.

Od roku 1839, kdy přijel na naše území první vlak v podobě, jaké známe dnes<sup>1</sup> se cestování změnilo k nepoznání. (1) Cesta vlakem už není důležitou životní událostí, u které muselo být přítomno několik zástupců vaší rodiny a vy jste se tak mohli podívat dále než za hranice známé krajiny. Cesta vlakem dnes zevšedněla a u mnoha lidí patří k denní rutině. Denně stráví méně, či více času dojížděním za prací, školou a dalšími aktivitami. A protože už nejezdí vlaky mezi Vídní a Brnem jednou denně, ale jednou za dvě hodiny, musela dráha projít značnou modernizací. K nepoznání se změnila nejen drážní vozidla a infrastruktura, ale také plánovací procesy při tvorbě vlakové dopravy. Nároky na dopravu se mění a je nutné na ně reagovat.

S ohledem na stále modernější zařízení už cestující nevnímají bezpečnou přepravu jako cokoli jiného než samozřejmost. Problémem, který však řeší mnohem častěji je zpoždění. Pokud už zvolí vlak jako jejich způsob přepravy, chtějí být ve svém cíli včas. Stejně jako u bezpečnosti se i při tvorbě jízdních řádů a operativním řízení dopravy vyvíjí maximální úsilí ke stavu spokojenosti našeho zákazníka – cestujícího. Jízdní řád se plánuje s dostatečným předstihem a při jeho tvorbě se užívá mnoha výpočtů a softwaru pro zajištění plynulého provozu. Pro veškeré činnosti na dráze je zpracován předpis, který nám má pomáhat, jak má konkrétní aktivita vypadat, aby každý jeden díl skládačky vytvořil dohromady funkční celek. Avšak, čeho je moc, toho je příliš. A stejně jako nám rostou počty vlaků a přepravených cestujících, roste nám počet předpisů, jejich změn, gestorských výkladů k nim a z provozování dráhy a drážní dopravy se stává organizovaný chaos, kde vše, ale vlastně nic nemá svůj řád.

---

<sup>1</sup> První vlak přijel na území dnešní České republiky již v roce 1827 do Českých Budějovic, tehdy se však jednalo o koněspřežnou dráhu. (2) Roku 1839 přijel do Brna vlak tažený strojem, nikoliv zvířetem, a to parní lokomotivou.

## 1.1 Manažeři infrastruktury

Od dob Rakouska-Uherska prošla dráha četnými změnami a jednou z mnoha odlišností je jistě změna organizační struktury ve vztahu k vlastnictví, provozování dráhy, drážní dopravy a dalších činností. Zprvu si každá dráha vše zajišťovala sama, skokem v historii přejdeme do éry jednotné dráhy Československých státních drah (dále jen ČSD) a Českých drah, a.s. (dále jen ČD) až do nultých let 21. století, kdy přichází implementace čtvrtého železničního balíčku. Ten mimo jiné pojednával o rozdělení dopravce a manažera infrastruktury na dva samostatné subjekty. První z nich má v gesci provozování drážní dopravy, druhý z nich zajištění provozování, provozuschopnost, modernizaci a rozvoj železniční dopravní cesty (infrastruktury). Taktéž přiděluje kapacitu dopravní cesty na drahách regionálních a celostátních ve vlastnictví České republiky. V současné době (2025) je v České republice celkem osm provozovatelů takových drah.

### Správa železnic, státní organizace

Zde se začíná psát historie společnosti Správa železniční dopravní cesty, státní organizace (dále jen SŽDC). Ta v průběhu let nejprve vykonávala pouze správu a údržbu drah, ale neprovozovala je. Otěže v podobě provozování dráhy převzala od Českých drah (dále jen ČD) až později, od srpna roku 2008. O dvanáct let později prošla společnost rebrandingem (změnou obchodní značky) za účelem většího povědomí o této společnosti a vešel v platnost nový název Správa železnic, státní organizace (dále jen SŽ). (3) Některé převody majetků mezi Českými drahami a Správou železnic nejsou dodnes vyřízeny, to však na samotný chod organizace nemá vliv a není to předmětem této diplomové práce. Správa železnic momentálně (2025) provozuje 9 349 km tratí. (4)

Kromě Správy železnic operuje na české železniční síti několik dalších manažerů infrastruktury. Na drahách regionálních a celostátních je jich kromě výše uvedené Správy železnic sedm. (5)

### AŽD Praha, s.r.o.

AŽD Praha s.r.o. (dále jen AŽD) je soukromá obchodní společnost zabývající se zejména vývojem a výrobou sdělovací, zabezpečovací a signalizační techniky pro drážní dopravu, světelných signalizačních zařízení pro silniční dopravu a množstvím dalších doplňkových a souvisejících činností. Do výčtu manažerů infrastruktury se dostala díky nákupu dvou železničních tratí. Za 10,7 milionů Kč společnost v roce 2016 od státu odkoupila tratě

Dolní Bousov – Kopidlno a Čížkovice – Obrnice. (6) Obě tratě v současnosti fungují jako testovací polygon pro nově vyvíjené zabezpečovací systémy. Z Dolního Bousova do Kopidlna jezdí první autonomní vlak s cestujícími v Evropě a je provozován na komerční riziko dopravce. Na druhé ze zmiňovaných tratí je objednávana a provozována osobní doprava.

### **České dráhy, a.s.**

Ačkoliv se může zdát zvláštní, když o pár řádků výše bylo popsáno, jak České dráhy o svoje dráhy přišly převedením pod Správu železnic (tehdy Správu železniční dopravní cesty), každé pravidlo má svou potvrzující výjimku. Tou je v tomto případě kolejiště na Odstavném nádraží Praha jih a v děčínském lokomotivním depu. (5) V provozních a údržbových zázemích Českých drah z podstaty věci stejně osobní doprava provozována není, tudíž bylo nejjednodušším řešením nechat tyto kolejové celky původnímu provozovateli.

### **KŽC Doprava, s.r.o.**

KŽC Doprava, s.r.o. (dále jen KŽC) je dopravní společnost založená v lednu 2006. Provozuje zvláštní historické osobní vlaky se zaměřením převážně na tratě bez pravidelné dopravy, včetně vleček a pravidelnou osobní železniční dopravu turistického charakteru, zejména s historickými motorovými vozy z 50. a 60. let 20. století. Od roku 2009 je společnost vlastníkem a provozovatelem muzeální trati Česká Kamenice – Kamenický Šenov. Na 5 km dlouhé trati zajišťuje dopravu výletního charakteru s historickým motorovým vozem. (7)

### **PDV RAILWAY, a.s.**

PDV Railway, a.s. (dále jen PDV) je soukromou akciovou společností specializující se na provozování drah. V roce 1997 začala provozovat regionální dráhu na trati Trutnov – Svoboda nad Úpou a o rok později na trati Sokolov – Kraslice. Celková délka tratí dosahuje 34,6 km. Obě tratě má společnost pouze v pronájmu. (8)

### **PKP CARGO INTERNATIONAL a.s.**

Společnost PKP Cargo, a.s. International (dále jen PKPC) provozuje pronajatou železniční trať Milotice nad Opavou – Vrbno pod Pradědem. Dále také vlastní rozsáhlou vlečkovou síť na Ostravsku, která slouží zejména k propojení jednotlivých černouhelných dolů v rámci Ostravsko-karvinské uhelné pánve. Mezi tyto vlečky patří např. Báňská dráha či někdejší Košicko-bohumínská dráha v úseku Louky nad Olší – Bohumín. Zde však osobní doprava není provozována (9)

### **SART – stavby a rekonstrukce a.s.**

Dalším subjektem je SART – stavby a rekonstrukce, akciová společnost (dále jen SART) se sídlem v Šumperku. Zabývá se provozováním železničních drah, dopravním stavitelstvím, kovovýrobou a opravami mechanizace pro traťové hospodářství. Na objednávku Svazku obcí údolí Desné (dále jen SOÚD) je od roku 2005 provozovatelem Železnice Desná, což je obchodní název pro trať Šumperk – Kouty nad Desnou a tříkilometrovou odbočku Petrov nad Desnou – Sobotín (10)

### **Správa úzkokolejných drah s.r.o.**

Posledním provozovatelem je Správa úzkokolejných drah s.r.o. (dále jen SÚD), která má v gesci úzkokolejné trať Jindřichův Hradec – Obrataň a Jindřichův Hradec – Nová Bystřice. Jedná se o dceřinou firmu společnosti Jindřichohradecké místní dráhy, která zde provozovala osobní i nákladní dopravu. V současné době (2025) zde není doprava provozována a další osud trati je nejistý. (11)

Kromě Správy železnic (a částečně Českých drah) se však u všech provozovatelů vždy jedná pouze o provozování jednotlivých regionálních tratí v délkách nižších desítek kilometrů. Z celkových přibližně deseti tisíc kilometrů železničních tratí v České republice jich Správa železnic provozuje drtivou většinu. Podrobné hodnoty včetně podílu na tratích s objednanou osobní dopravou jsou vypsány v tabulce jedna na další straně. Z hodnot v tabulce jedna je patrné, že podíl provozovatelů drah celostátních a regionálních vyjma Správy železnic je marginální.

Všechny výše uvedené subjekty jsou provozovateli drah celostátních a regionálních. Ne všechny dráhy však přešly pod soukromého provozovatele v souvislosti s jejím prodejem. Z toho vyplývá, že část provozovatelů dráhy vlastní a část ne. Někteří provozovatelé převzali otěže správy dráhy dávno před uvedením již zmiňovaného železničního balíčku a vlastnictví dráhy tedy zůstalo státu. V neposlední řadě je třeba zajistit spravedlivé přidělování kapacity dráhy. U drah s objednanou osobní dopravou je dále nutné řešit tvorbu jízdního řádu pro cestující. Vlastnictví, provozování, přidělování kapacity dráhy a tvorby jízdního řádu jednotlivých drah je popsáno v tabulce dva na další straně.

Tabulka 1 Provozovatelé drah celostátních a regionálních

Provozovatel	Celková délka tratí	Z toho s osobní dopravou	Podíl na tratích s osobní dopravou
	[km]	[km]	[%]
AŽD Praha, s.r.o.	57	35	0,4
České dráhy, a.s.	5	0	-
KŽC Doprava, s.r.o.	5	5 <sup>2</sup>	0,1
PDV RAILWAY, a.s.	35	35	0,4
PKP CARGO INTERNATIONAL a.s.	55 <sup>3</sup>	21	0,2
SART – stavby a rekonstrukce a.s.	25	25	0,3
Správa úzkokolejných drah s.r.o.	77	0	-
SŽ	9 349	~8 500 <sup>4</sup>	98,6
Celkem	9 904	8 616	100,0

Zdroj: autor s využitím (4, 6, 7, 8, 9, 10, 11)

Tabulka 2 Podrobnosti o drahách celostátních a regionálních

Trať	Vlastník	Provozovatel	Přídělcce kapacity	Konstruktor jízdního řádu
Dolní Bousov – Kopidlno	AŽD	AŽD	SŽ	SŽ
Čížkovice – Obrnice	AŽD	AŽD	SŽ	SŽ
Odstavné nádraží Praha jih atd.	ČD	ČD	-	-
Česká Kamenice – Kamenický Šenov	KŽC	KŽC	-	-
Sokolov – Kraslice	ČR	PDV	SŽ	PDV
Trutnov – Svoboda nad Úpou	ČR	PDV	SŽ	PDV
Milotice – Vrbno pod Pradědem	ČR	PKPC	SŽ	PKPC
Šumperk – Kouty nad Desnou	SOÚD	SART	SART	SART
Petrov nad Desnou – Sobotín	SOÚD	SART	SART	SART
Jindřichův Hradec – Obrataň	? <sup>5</sup>	SÚD	SÚD	SÚD
Jindřichův Hradec – Nová Bystřice	? <sup>5</sup>	SÚD	SÚD	SÚD
Zbylé dráhy celostátní a regionální	ČR	SŽ	SŽ	SŽ

Zdroj: autor

<sup>2</sup> Pouze výletní vlaky.

<sup>3</sup> Přibližná hodnota, celková provozovaná síť dosahuje přibližně 350 km, většina je však vedena jako vlečky.

<sup>4</sup> Přesná hodnota není veřejně dostupná.

<sup>5</sup> Vlastník není známý z důvodu insolvenčního řízení.

## 1.2 Plánování a řízení železničního provozu na síti SŽ

Přes moravskou metropoli už nejezdí denně jeden pár vlaků, jako za dob Rakouska-Uherska, nýbrž párů 335 a ke tvorbě a realizaci jízdního řádu již nestačí obyčejná tužka a papír. (12) Veškeré procesy je potřeba řešit komplexněji a je v nich zainteresováno mnoho subjektů. Tvorba jízdního řádu na železnici, odborně nazývaného jako grafikon vlakové dopravy (dále jen GVD), je složitý proces, který zahrnuje plánování pohybu vlaků na železniční síti s cílem nejlépe využít kapacitu a propustnost tratí, zajistit efektivní provoz a splnit požadavky objednavatelů, dopravců i cestujících. Tento proces zahrnuje několik klíčových fází, které musí zohlednit infrastrukturní omezení, požadavky na (taktový) jízdní řád a v neposlední řadě také interoperabilitu s ostatními druhy dopravy.

### Tvorba grafikonu vlakové dopravy

Před samotným sestavením grafikonu je nutné provést analýzu dostupné železniční infrastruktury, která zahrnuje počet, kapacitu tratí, druh dopravních bodů a typ staničního i traťového zabezpečovacího zařízení. Dále se zohledňují další technické parametry tratí, jako maximální rychlosti, sklonové poměry a propustnost jednotlivých úseků.

Železniční dopravci a objednavatelé předkládají své požadavky na trasy manažerům infrastruktury a časové „sloty“ pro jednotlivé vlaky, a to jak v osobní, tak v nákladní dopravě. Tyto požadavky jsou následně vyhodnocovány s ohledem na kapacitní možnosti tratí a existující omezení. V případě osobní dopravy se přihlíží k návaznosti spojů a přestupním možnostem, zatímco v nákladní dopravě hrají roli faktory jako efektivní využití lokomotiv, vozů nebo specifické požadavky na přepravu zboží.

Na základě získaných dat se sestavuje grafikon vlakové dopravy, který vizuálně znázorňuje časovou polohu jednotlivých vlaků na síti. Využívají se k tomu specializované softwarové nástroje, které umožňují modelovat různé varianty provozu a vyhledávat ideální řešení. Při konstrukci se uplatňují pravidla pro dobu následného mezidobí mezi vlaky, jejich přejíždění na dvoukolejných tratích, nutnost a případná délka křižování na jednokolejných tratích a další faktory ovlivňující provozní spolehlivost.

Po sestavení návrhu jízdního řádu následují úpravy, při nichž se hledají řešení pro zvýšení efektivity provozu. Provádějí se simulace různých scénářů, včetně provozních výluk nebo mimořádných situací, aby bylo možné předem odhalit možné problémy. V případě potřeby dochází k úpravám grafikonu, aby bylo zajištěno plynulé fungování železničního provozu.

Po finálním schválení je jízdní řád zveřejněn pro cestující a dopravce. Veřejný jízdní řád obsahuje základní informace o časech odjezdů a příjezdů vlaků, zatímco interní verze obsahuje podrobnější údaje, například o trase, použitých soupravách nebo personálním zabezpečení.

Během platnosti jízdního řádu probíhá jeho průběžné vyhodnocování. Sledují se odchylky od plánovaného provozu a jejich příčiny, čímž se získávají podklady pro případné úpravy grafikonu v průběhu platnosti nebo pro návrh nového jízdního řádu v dalším období.

Tvorba jízdního řádu je klíčovým procesem pro efektivní fungování železniční dopravy. Vyžaduje úzkou spolupráci mezi správcem infrastruktury, dopravci a dalšími zainteresovanými subjekty s cílem zajistit spolehlivý, bezpečný a efektivní provoz železniční sítě.

Aby bylo možné takto komplexní soubor činností vykonávat jednotně, disponuje dominantní manažer infrastruktury v České republice – Správa železnic několika závaznými předpisy, které popisují postup sestavování grafikonu vlakové dopravy. Ostatní provozovatelé z logiky své velikosti nemají tolik propracovaný systém žádostí o kapacitu dráhy a tvorbu jízdního řádu. V této diplomované práci se tudíž, zcela logicky, bude rozebírat a řešit stav pouze na drahách Správy železnic. Pro uvedení čtenáře do kontextu problematiky jsou níže popsány některé podstatné dokumenty a informační systémy využívající se při plánování vlakové dopravy.

## **Směrnice SŽ SM069 – Směrnice pro tvorbu jízdního řádu a přidělování a využívání kapacity dráhy**

Při tvorbě jízdních řádů využívá zejména směrnici SŽ SM069 – Směrnice pro tvorbu jízdního řádu a přidělování a využívání kapacity dráhy. Tento dokument stanovuje postupy a pravidla pro sestavování ročního jízdního řádu, grafikonu vlakové dopravy a jejich změn na všech železničních tratích provozovaných Správou železnic.

Směrnice pro tvorbu jízdního řádu a přidělování a využívání kapacity dráhy definuje pravidla pro podávání, příjem a zpracování žádostí o kapacitu dráhy, konstrukci jízdních řádů a přiděl kapacity dráhy, a to jak pro oblast sestavy ročního jízdního řádu a jeho změn, tak pro oblast sestavy jízdních řádů a přidělu kapacity dráhy v režimu ad hoc. Ustanovení této směrnice platí pro všechny tratě kategorie celostátní nebo regionální dráhy, které jsou provozovány státní organizací Správa železnic (dále jen SŽ) nebo na kterých SŽ plní funkci přidělece kapacity. Dále platí úměrně na tratích, kde SŽ konstruuje jízdní řád na základě smluvního vztahu.

Směrnice slouží pro stanovení postupu při administraci žádostí o kapacitu dráhy a přidělení vlakové trasy a při projednání jízd vlaků. Směrnice rozpracovává zásady stanovené legislativními dokumenty a vnitřními předpisy.

Dodržování ustanovení této směrnice je závazné pro každého zaměstnance Správy železnic, který se podílí na tvorbě nebo zpracování žádostí o kapacitu dráhy, konstrukci jízdních řádů a přidělu kapacity, přičemž zaměstnancem SŽ se rozumí odborně způsobilá osoba, která je se SŽ v pracovněprávním vztahu podle právního předpisu. (13)

Přístup k těmto a dalším vnitřním předpisům Správy železnic je z povahy věci závaznosti i pro dopravce přístupné na portále provozování dráhy.

### **Směrnice SŽDC č. 104 – Provozní intervaly a následná mezidobí**

Dalším stěžejním dokumentem je směrnice SŽDC č. 104 – Provozní intervaly a následná mezidobí. Její základní účel je opět popsán v záhlaví samotné směrnice.

Směrnice „Provozní intervaly a následná mezidobí“ doplňuje a rozvádí ustanovení základních předpisů Správy železnic, t.č. Správy železniční dopravní cesty, státní organizace (dále jen SŽDC) v oblasti provozních intervalů a následných mezidobí. Směrnice obsahuje zásady a závazná ustanovení, kterými je nutno se řídit při výpočtu a využívání těchto technologických dob.

Provozní intervaly a následná mezidobí patří mezi základní normy grafikonu vlakové dopravy. Znalost a dodržování provozních intervalů a následných mezidobí patří mezi základní předpoklady pro efektivní řízení jízd vlaků a pro zajištění bezpečnosti při vjezdech, odjezdech a průjezdech vlaků, se zřetelem k ustanovením základních předpisů a základní dopravní dokumentace.

Provozní intervaly a následná mezidobí mají tyto hlavní oblasti uplatnění: sestava grafikonu vlakové dopravy (např. ročního, výlukového), – zpracování dokumentace k rekonstrukčním, racionalizačním a modernizačním opatřením, řízení jízd vlaků provozními zaměstnanci a výpočty propustnosti železničních tratí a stanic.

Provozní intervaly a následná mezidobí musí být stanoveny co nejpřesněji. Nesprávně stanovené krátké normy mohou být příčinou nestability jízdního řádu a narušení plynulosti vlakové dopravy. Naopak dlouhé normy nedovolí plné využití technických zařízení a snižují jejich propustnost.

Dodržování správně stanovených provozních intervalů a následných mezidobí zaručuje eliminaci vzájemného narušování jízd vlaků. Při dodržování předpokládané technologie jízdy, vlaky nejsou zastavovány či zpomalovány u návěstidel a pobyty vlaků nejsou prodlužovány nad úroveň své stanovené hodnoty. (14)

## **Směrnice SŽDC SM124 – Zjišťování kapacity dráhy**

Směrnice SŽDC SM124 pojednávající o zjišťování kapacity dráhy, byla vydána v roce 2019 Správou železnic jako náhrada za předchozí předpis ČSD D24 z roku 1965. Tato směrnice stanovuje metodiku pro určování kapacity různých částí železniční infrastruktury, včetně traťových kolejí, zhlaví a kolejových skupin. Jejím cílem je poskytnout nástroje pro kvantifikaci schopnosti železniční sítě realizovat určitý dopravní výkon při zachování požadované kvality.

Směrnice definuje základní pojmy, jako je kapacita, která je chápána jako schopnost realizovat určitý dopravní výkon v určité kvalitě. Dále zavádí ukazatele kapacity, mezi které patří propustnost, využití propustnosti, stupeň obsazení, koeficient koliznosti, čekání, pravděpodobnost čekání a přírůstek zpoždění. Tyto ukazatele umožňují detailní analýzu a hodnocení kapacity jednotlivých prvků železniční sítě.

Pro zjišťování kapacity popisuje různé metody, včetně analytických postupů a simulací. Analytické metody se zaměřují na výpočty založené na teoretických modelech, zatímco simulace umožňují detailnější zkoumání provozních scénářů a jejich dopadu na kapacitu. Tyto metody jsou aplikovány na různé části infrastruktury, jako jsou traťové koleje, zhlaví a kolejové skupiny, s cílem získat komplexní přehled o kapacitních možnostech a omezeních železniční sítě. (15)

Správa železnic má pro plánování dopravy, jako přiděl kapacity, konstrukci jízdních řádů a organizaci provozu propracovanou také softwarovou základnu. Digitální tok dat původně začal mezi manažerem infrastruktury a dopravcem. S ohledem na digitalizaci našeho světa a stoupajícími nároky na dostupnost informací se však síť uživatelů všemožných softwarových systémů rozrostla. Dnes jsou jejími uživateli i objednavatelé, organizátoři integrovaných dopravních systémů, nebo cestujících. Tato práce je však zaměřena na systémy manažera infrastruktury, neboť právě ty jsou klíčové při organizaci a řízení provozu. Každý informační systém má dané své konkrétní využití, pro plánování provozu do budoucna, plánování s krátkým časovým předstihem, nebo operativní řízení provozu v aktuálním čase.

## **Informační systém KANGO**

Jako první si uveďme specializovaný software KANGO (Konstrukce a Aktualizace Nového Grafikonu vlakové dopravy a Oběhů), který stal na prvním počátku automatizovaného sběru a toku dat při tvorbě jízdního řádu. Jedná se o provozní aplikaci zajišťující zpracování žádostí žadatelů do ročního jízdního řádu, datový popis sítě pro potřebu řízení provozu, správu číselníku dopravních bodů, tvorbu služební pomůcky „Tabulky traťových poměrů“, zpracování dopravně-technologických studií, výpočty vlakové dynamiky a energetické výpočty, výpočty

provozních intervalů a následných mezidobí a zjišťování dostupné kapacity dráhy. Správa železnic jej používá ke komplexní tvorbě ročního jízdního řádu a plánovaných změn na základě všech výše popsaných činností.

Vývoj systému KANGO pro České dráhy začal v roce 2006, kdy tato společnost ještě zastávala roli provozovatele dráhy. Během vývoje tuto funkci převzala SŽDC (dnes Správa železnic). Systém se rozdělil na dvě části, ale modul pro zadávání požadavků na trasy vlaků zůstal společný pro obě organizace. Na konci roku 2010 byl systém uveden do rutinního provozu. Ostatní dopravci své objednávky předávali pracovníkům provozovatele dráhy, kteří je ručně zapisovali do KANGO.

Pro zajištění interoperability s informačními systémy dopravců a splnění podmínek Evropské unie bylo nutné vyvinout nové datové rozhraní a upravit modul pro zadávání tras vlaků. Proto byl v roce 2013 zahájen vývoj směřující k rozdělení systémů Správy železnic a Českých drah na dva samostatné prvky. Bylo vytvořeno datové rozhraní, které umožňuje komunikaci mezi informačním systémem dopravce a provozovatele dráhy pomocí standardizovaných zpráv podle TSI ve formátu XML. (16)

### **Informační systém KADR**

Provozní aplikace KADR (KApacita DRáhy) je informační systém Správy železnic, který slouží k podávání a zpracování žádostí o přidělení kapacity dráhy, tedy tras vlaků, ze strany dopravců u požadavků mimo roční jízdní řád. Dopravci prostřednictvím této aplikace předkládají své požadavky na trasy vlaků, které jsou následně vyhodnocovány a schvalovány provozovatelem dráhy. Aplikace KADR je součástí Informačního systému operativního řízení (ISOŘ) a umožňuje efektivní plánování a koordinaci železniční dopravy. Pro její používání je nutné přihlášení, přičemž přístup mají nejen dopravci, ale na základě smluvního ujednání i vybrané orgány státní správy, jako je Celní správa, Drážní úřad či Policie České republiky. Pro uživatele je k dispozici nápověda a zjednodušený popis ovládání aplikace, který usnadňuje tvorbu a podání žádostí o trasy vlaků.

### **Informační systém operativního řízení**

Informační systém operativního řízení, zkráceně ISOŘ, je klíčovým nástrojem Správy železnic pro efektivní organizaci a řízení železniční dopravy v České republice. První verze ISOŘ byla uvedena do provozu před více než dvaceti lety. V roce 2015 byla implementována nová generace tohoto systému, která přinesla modernizaci a rozšíření funkcionalit. (17) Jeho hlavním účelem je poskytovat dispečerům aktuální informace o pohybu

vlaků a umožnit operativní zásahy do provozu. Hlavními funkcemi informačního systému operativního řízení jsou:

- Sledování vlaků v reálném čase: Dispečeri a výpravčí mohou monitorovat polohu a stav jednotlivých vlaků, což umožňuje rychlé reakce na případné provozní situace.
- Zpracování žádostí o kapacitu dráhy: Prostřednictvím modulu KADR mohou dopravci podávat žádosti o přidělení tras pro své vlaky, které jsou následně vyhodnocovány a schvalovány.
- Komunikace s dalšími systémy: ISOR je propojen s dalšími aplikacemi, jako je například COMPOST, který slouží k přijímání informací o složení vlaků od dopravců a jejich následnému zpracování.

Informační systém operativního řízení je tedy komplexním nástrojem, který zajišťuje plynulý a efektivní provoz železniční dopravy, podporuje komunikaci mezi dopravci a provozovatelem dráhy a umožňuje rychlé řešení provozních situací.

### **1.3 Vyhodnocování efektivity provozu**

Ke tvorbě jízdního řádu a organizaci provozu, jak již bylo popsáno výše, se používá mnoho nástrojů. Aby se však zamezilo opakujícím se chybám v plánování a řízení provozu, je nutné sestavit také soubor kontrolních činností. Hodnocení provozu zahrnuje provozní, ekonomické a kvalitativní aspekty, které ovlivňují plynulost a spolehlivost železniční dopravy.

Mezi nejdůležitější ukazatele efektivity provozu patří zpoždění vlaků. Správa železnic tedy sleduje přesnost dodržování jízdního řádu a analyzuje důvody zpoždění vlaků. Tento aspekt se hodnotí na základě průměrného zpoždění vlaků, podílu vlaků dojíždějících včas, četnosti a délky výluk a analýzy příčin zpoždění podle metodického pokynu SŽ D7/MP1, který stanovuje systém kódů narušení jízdního řádu, což umožňuje identifikaci odpovědných subjektů.

Podstatné je také efektivní využití železniční infrastruktury. Správa železnic proto vyhodnocuje míru vytížení tratí (poměr využití kapacity k maximální možné kapacitě), počet přidělených tras dopravcům v porovnání se skutečně využitými trasami a propustnost uzlových bodů (stanic a koridorových úseků).

U ekonomické efektivity provozu je vyhodnocována nákladovost provozu a investic do infrastruktury. Důležité ukazatele zahrnují jednotkové náklady na údržbu tratí, efektivitu využití finančních prostředků na modernizace a opravy, výnosy z poplatků za použití dopravní cesty od dopravců a náklady na provoz dispečerských a řídicích systémů.

Na základě analýz efektivity provozu Správa železnic implementuje opatření ke zlepšení jako například zavádění jednotného evropského vlakového zabezpečovače ETCS na hlavních koridorech, což napomáhá digitalizaci řízení provozu a automatizovanému plánování a řízení tras vlaků pro ideální využití kapacity tratí.

V rámci budoucích inovací Správa železnic plánuje nasazení umělé inteligence pro optimalizaci řízení provozu. Pomocí IoT senzorů<sup>6</sup> provádí plně automatizované sbírání dat o stavu infrastruktury. Ze zjištěných údajů Správa železnic vyhodnocuje efektivitu provozu na základě provozních, ekonomických a kvalitativních ukazatelů, přičemž využívá moderní digitální systémy a statistickou analýzu. Díky těmto metodám může optimalizovat železniční dopravu, zvyšovat spolehlivost infrastruktury a minimalizovat zpoždění. Neustálý vývoj směrem k digitalizaci, automatizaci a prediktivní údržbě umožní další zlepšení efektivity železničního provozu v České republice.

### **SŽ D7/MP1 – Metodický pokyn náměstka generálního ředitele pro řízení provozu k použití kódů narušení jízdního řádu při zdůvodnění zpoždění vlaku**

Metodický pokyn SŽ D7/MP1 byl uveden v platnost 30. listopadu 2021. Hlavním důvodem jeho vzniku je implementace jednotného systému používání kódů narušení jízdního řádu pro zdůvodnění zpoždění vlaků. Tento systém je klíčový pro zavedení sankčního mechanismu mezi Správou železnic jako provozovatelem dráhy a dopravci. Cílem dokumentu je zajistit přesné a objektivní vyhodnocování příčin zpoždění vlaků, aby bylo možné jednoznačně určit odpovědnost jednotlivých subjektů (provozovatele dráhy, dopravce nebo třetích stran) a tím zajistit spravedlivé rozdělení finančních sankcí a dalších opatření. Dokument obsahuje podrobná pravidla pro zadávání kódů narušení jízdního řádu do informačního systému. Provozním zaměstnancům je vysvětlen způsob používání kódů narušení jízdního řádu, jsou popsána obecná pravidla pro přiřazování kódů a podrobné vysvětlení jednotlivých kódů a jejich kategorizace podle odpovědnosti. Pro snazší rozklíčování situace jsou v dokumentu uvedeny příklady vzorových situací – ukázkové případy aplikace kódů. Každý kód je složen z písmena a číslice, přičemž písmeno udává viníka vzniku zpoždění a číslice typ situace zodpovědné za tvorbu zpoždění.

---

<sup>6</sup> IoT senzory se rozumí inteligentní síť propojených objektů, která monitoruje stav vozidel a infrastruktury v reálném čase, čímž je umožněna efektivnější prediktivní údržba. Tyto prvky umějí oboustranně komunikovat se specializovanými informačními systémy.

Vyhodnocování narušení jízdního řádu je založeno na třech hlavních kategoriích odpovědnosti:

- Provozovatel dráhy (SŽ) – zahrnuje například chyby v řízení provozu a plánování jízdního řádu (kód Dx), problémy s infrastrukturou jako jsou závady na zabezpečovacím zařízení, trakčním vedení, železničním svršku (kód Zx), a vliv plánovaných i mimořádných výluk (kód Sx)
- Dopravce – odpovědnost za zpoždění je přisuzována v případech prodlužování pobytu vlaku z důvodu zvýšené frekvence cestujících, nakládky a vykládky zboží, či administrativních pochybení (kód Kx) a z důvodu nedodržení plánovaného řazení vlaku mající za vliv zpoždění vlaku nebo technických závad vozidel (kód Vx).
- Ostatní a sekundární důvody – zahrnují změny křižování a sledu vlaků na základě již vzniklého zpoždění, obrat již dříve zpožděné soupravy, mimořádné události, povětrnostní vlivy, zásahy integrovaného záchranného systému nebo stávky (kód Ox) a zpoždění vzniklé na dráze jiného provozovatele, nebo dopravce (kód Xx).

Každý incident je nutné zdůvodnit přidělením konkrétního kódu, přičemž některé kódy jsou přidávány automaticky informačním systémem. Metodický pokyn zajišťuje standardizaci procesu přiřazování kódů a jejich jednotné používání napříč celým systémem železniční dopravy. Tím je dosaženo vyšší transparentnosti, objektivity a efektivity v řízení provozu. Zaměstnanci Správy železnic mají povinnost ovládat metodiku v rozsahu své odborné způsobilosti. Dopravci jsou povinni důsledně evidovat a reportovat důvody zpoždění. Dispečeri provádějí kontrolu a analýzu zadávaných kódů, čímž se minimalizuje chybovost a zajišťuje správnost údajů v informačním systému. (18) V případě sporu mezi Správou železnic a dopravcem v důsledku chybného stanovení kódu je situace posouzena nezávislým odborníkem z Dopravní fakulty Jana Pernera Univerzity Pardubice.

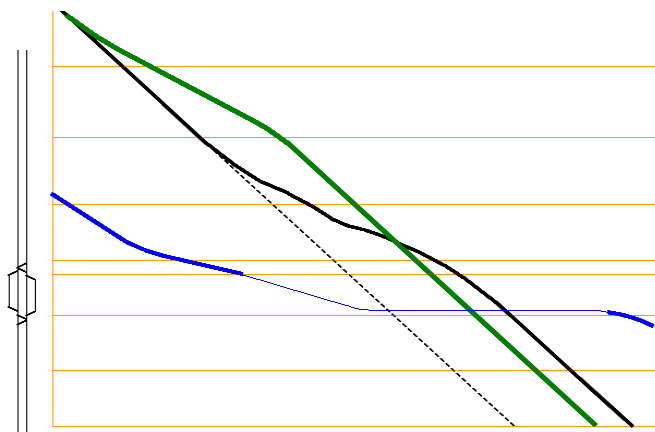
#### **1.4 Situace s časovou ztrátou v jízdě vlaku**

Předmětem této diplomové práce je návrh provozně-organizačních opatření ke zefektivnění technologie provozu vlaků. Tomu však předchází analýza současného stavu. Výše bylo popsáno organizační uspořádání současné železnice, základní technologické procesy, jejich softwarová základna a metodika vyhodnocování efektivity provozu. Pro tvorbu konkrétních opatření je však nutné pracovat s velice podrobnými daty řešící vždy jednu konkrétní z mnoha různorodých činností spojených s organizací a řízením provozu. S ohledem na snahu maximální přesnosti provozu jsou investovány horentní finanční sumy do zefektivnění provozu a eliminace i nižších hodnot zpoždění.

## Předjíždění vlaků

Příkladem je možno uvést systém navádění vlaků na cílovou časovou polohu od společnosti AŽD. Je součástí automatizovaného vedení vlaků (česky AVV, dnes častěji ATO z anglického automatic train operation), jehož cílem je upravit jízdu vlaku tak, aby dorazil do stanovených bodů trasy v přesně určených časech. Tento systém využívá pokročilé technologie, jako je evropský zabezpečovací systém ETCS, a umožňuje dynamicky upravovat jízdní profil vlaku s ohledem na aktuální dopravní situaci a energetickou efektivitu. Tímto způsobem přispívá k plynulejšímu provozu, snižuje spotřebu energie a zvyšuje přesnost dodržování jízdního řádu.

Využití tohoto systému je patrné z obrázku číslo jedna. Dva vlaky jedou po shodné koleji stejným směrem. Zpožděný pomalejší první vlak (vyznačen modře) má být předjet rychlejším druhým vlakem. Zeleně je vyznačen při využití navedení do cílové časové polohy, černě bez tohoto systému. Princip navádění vlaků do bezkonfliktních tras spočívá v myšlence, že pokud je včas řízeně opožděn druhý vlak, může tento dosáhnout cíle dříve. Zároveň dojde k úspoře trakční energie, neboť druhý vlak nemusel zastavit či výrazně zpomalit u hlavního návestidla. (19)



Obrázek 1 Efekt navedení vlaku do bezkonfliktní trasy

Zdroj: (19)

Optimalizace tras přispívají ke snížení spotřeby energie a paliva, protože vlaky mohou být vedeny efektivnějšími trasami a s plynulejší regulací rychlosti. Navíc se snižuje opotřebení infrastruktury, protože dochází k menšímu počtu zbytečných zastavení a rozjezdů. Zároveň lze efektivněji využívat kapacitu infrastruktury. Díky lepšímu využití dostupných tras je možné přepravovat více vlaků bez nutnosti budování nové infrastruktury. Implementace tohoto systému do provozu jednoznačně přináší časové i energetické úspory. Z toho samozřejmě plynou i úspory finanční. Investice do jednotného evropského zabezpečovače však dosahují miliard českých korun. Převyšší tak uspořené náklady vynaložené investice?

## Výprava vlaku úkony spojené s jeho odjezdem

Jednou z mnoha dalších situací, kdy dochází k časovým, a tudíž i finančním ztrátám, je výprava vlaku a úkony spojené s jeho odjezdem. Každý vlak, který zastaví potřebuje obdržet informaci, že již může pokračovat v jízdě. Tu může dostat od způsobilého zaměstnance drah, návštěidla nebo i kombinace obojího. Když se řekne výprava vlaku, každý si nejspíš vybaví výpravčího v červené čepici, jak pokyne výpravkou a vlak se dává do pohybu. Realita provozu, ale není tak prostá, jak by se mohlo zdát.

Každý vlak jedoucí na infrastrukturu Správy železnic se musí řídit jejími předpisy. Alfou a omegou je jistě předpis SŽ D1 ČÁST PRVNÍ – Dopravní a návěstní předpis pro tratě nevybavené evropským vlakovým zabezpečovačem. Během historie železniční dopravy mnohokrát změnil svůj název, ale jeho podstata zůstala stále stejná. Obsahuje základní odborné pojmy, popisuje organizaci a řízení provozu. Jeho červené desky mají předznamenávat důležitost a lidově se říká, že jsou prolity krví. Jedno jeho porušení může znamenat fatální následky. Vypravení vlaku z dopravní bychom také mohli nazvat jednou z nejrizikovějších činností, protože tím mu garantujeme bezpečnou další jízdu. Tato práce však nemá budit strastiplné dojmy nebo být železniční odnoží slavného seriálu letecké katastrofy. Je ale nutné ve změti desítek a stovek různých předpisů a nařízení zdůraznit významnost toho s číslem jedna.

Co se týče pravidel od manažera infrastruktury, zde je vše poměrně jasné. Odlišná situace však nastává u dopravců. Všichni dopravci působící na železniční síti Správy železnic mají povinnost zpracovávat a udržovat své vlastní interní předpisy, které vycházejí z platných legislativních a provozních norem. Tyto předpisy upravují specifické postupy, odpovědnosti a bezpečnostní opatření při provozování železniční dopravy. Každý dopravce je odpovědný za jejich tvorbu, schválení a pravidelnou aktualizaci tak, aby byly v souladu s obecně závaznými právními předpisy, jako je zákon o drahách, vyhlášky Ministerstva dopravy a technické normy Evropské unie. Tento systém umožňuje dopravcům přizpůsobit své provozní standardy konkrétním podmínkám a technologickému vybavení jejich vozidel. Interní předpisy doplňují jednotné předpisy Správy železnic, které se týkají provozu na celostátní i regionální železniční síti a zajišťují tak kompatibilitu jednotlivých dopravců se systémem řízení provozu. Dopravci musí zaručit, že nebudou ohroženy zásady bezpečnosti a plynulosti železniční dopravy v rámci celé sítě.

Co je však na papíře, nemusí být v provozu. Předpisy dopravců nesmějí být v rozporu s předpisy manažera infrastruktury, takové situace ale nastávají. Nejedná se sice o žádné závažné problémy, ale i drobné odchylky mohou ovlivnit celkovou efektivitu provozu a rozbít jednotlivé dílky skládačky, která dohromady dává bezpečnou, rychlou a atraktivní železniční dopravu. Pro účely této diplomové práce byly zkoumány předpisy dopravců České dráhy, Leo Express, Arriva vlaky a Správa železnic.

Podle předpisu SŽ D1, článku 329, odstavce 1 „Žádný vlak nesmí odjet ze stanice (projet ve stanici) bez výpravy. Výpravu vlaku provádí výpravčí podle ustanovení této kapitoly.“ a podle odstavce 2 „Výprava vlaků ve stanicích obsazených výpravčím se může uskutečnit:

- a) návěstí hlavního návěstidla, dovolující jízdu vlaku nebo
- b) návěstí Odjezd, danou výpravčím nebo
- c) ústním rozkazem (v případě poruchy výpravky) nebo
- d) telekomunikačním zařízením nebo
- e) písemným rozkazem“

Provozně organizační předpis dopravce Leo Express (LE-POP) se však neshoduje ani v tomto základním pojmu. Podle článku 6, odstavce 12 „Za výpravu vlaku zodpovídá celá posádka vlaku...“ a podle odstavce 13 „Výpravu vlaku, tedy proces připravenosti vlaku k odjezdu, v České republice zahajuje strojvedoucí, a to 3 možnými způsoby:

- dvojitým gongem palubního rozhlasu dovnitř i ven (umožňuje-li to vybavení vozidla)
- jedním krátkým a jedním dlouhým zvukem lokomotivní houkačky nebo píšťalky
- vzpažením ruky šikmo vzhůru z okna stanoviště strojvedoucího (v noci nebo za snížené viditelnosti bílým světlem)“

V předpisech dalších zkoumaných dopravců není o výpravě ani zmínky. Ve vyhlášce č. 173/1995 Sb. Ministerstva dopravy, kterou se vydává dopravní řád drah je však v příloze 1, části I. a odstavci 6 uvedeno, že „Vypravuje-li vlak osoba, tvořící doprovod vlaku, používá se jen zvuková návěst, kterou dává jako první osoba, řídící ostatní osoby doprovodu vlaku těmto osobám, které mohou návěst opakovat. Otázkou tedy je, jaké názvosloví má být posuzováno za správné v souladu se všemi právními rámci. Tuto odchylku má za následek zavedení dálkového řízení stanic bez místní obsluhy výpravčím. Výpravu všech vlaků tak již nemohl zahájit výpravčí a bylo nutné tyto změny právně ošetřit.

Výpravě vlaku předchází úkony spojené s jeho odjezdem, které si dopravci také mohou částečně přizpůsobit podle svých potřeb. Pro eliminaci záměny je v příloze 1 zmiňované vyhlášky znázorněna podoba základních návěstí. Při odjezdu se vlaku se jedná o následující:

- Návěst Výzva k pohotovosti, dávaná výpravkou ve vodorovné poloze kolmo ke koleji a návěstním znakem k zemi, za snížené viditelnosti zeleným světlem, vodorovně pohybovaným ve výši ramen, nebo návěstní píšťalkou jedním krátkým a jedním dlouhým zvukem<sup>7</sup>; tuto návěst dává osoba, řídící drážní dopravu směrem k doprovodu vlaku. Vypravuje-li vlak osoba, tvořící doprovod vlaku, používá se jen zvuková návěst, kterou dává jako první osoba, řídící ostatní osoby doprovodu vlaku těmto osobám, které mohou návěst opakovat.
- Návěst Pohotovi k odjezdu, dávaná kratšími vodorovnými pohyby předloktím vzpažené ruky, za snížené viditelnosti krátkými vodorovnými pohyby ruční svítilny s bílým světlem předloktím vzpažené ruky. Návěst dávají osoby vlakového doprovodu od konce vlaku postupně až k osobě, řídící vlakový doprovod, popř. k první osobě vlakového doprovodu na čele vlaku.
- Návěst Souhlas k odjezdu, dávaná opakovaným opisováním písmene T rukou, za snížené viditelnosti opakovaným opisováním písmene T svítilnou s bílým světlem; návěst dává osoba, řídící vlakový doprovod nebo první osoba vlakového doprovodu na čele vlaku osobě, řídící drážní dopravu, popřípadě osobě, řídící drážní vozidlo, jakmile obdrží návěst Pohotovi k odjezdu a u vlaku s přepravou cestujících je spolehlivě ukončen výstup a nástup cestujících.

Návěst Výzva k pohotovosti bývá zejména k eliminaci akustického smogu nahrazována návěstí Výzva strojvedoucího. Ta však nevychází ze zákona o drahách a aktuálně ji můžeme nalézt v předpisech dopravců České Dráhy a Arriva vlaky.

- Podle předpisu pro provozování drážní dopravy dopravce České dráhy (ČD D2), odstavce 252, Návěst Výzva strojvedoucího (opisování písmene V dlaní [denní návěst] nebo ruční svítilnou s bílým světlem [noční návěst]) dává strojvedoucí vedoucího vozidla vlaku a vyzývá členy doprovodu vlaku k oznámení připravenosti vlaku k odjezdu. Tuto návěst dává strojvedoucí z bočního okna nebo bočních dveří stanoviště strojvedoucího na příslušné straně.
- Podle předpisu pro provozování drážní dopravy dopravce Arriva vlaky (PD 01) Návěst Výzva strojvedoucího (opisování písmene V dlaní [denní návěst] nebo ruční svítilnou s bílým světlem [noční návěst]) dává strojvedoucí vedoucího hnacího vozidla a vyzývá členy doprovodu vlaku k oznámení připravenosti vlaku k odjezdu.

---

<sup>7</sup> Podle současných předpisů Správy železnic výpravčí tuto návěst při výpravě vlaku neuvádí.

Po splnění všech výše zmiňovaných úkonů je vlak připraven k odjezdu a je možné uvést jej do pohybu. Špatné vyložení nadřazených právních norem může mít za následek chybnou technologii odbavení vlaku při jeho odjezdu.

## **Čas odjezdu vlaku**

Při tvorbě grafikonu vlakové dopravy se sestavuje jízdní řád s přesností na půlminuty, jsou v něm zohledňovány jízdní doby, provozní intervaly a další dílčí časové složky. Pro cestující je vydáván ve zjednodušené formě se zaokrouhlením na celé minuty. Podle směrnice SŽDC č. 104 se odjezdem vlaku rozumí okamžik, kdy se vlak uvede do pohybu. Pro cestující se odjezdem rozumí časový údaj v jízdním řádu. Kdy má ale cestující poslední možnost do vlaku nastoupit? Má být ještě jednu sekundu před odjezdem otevřen pro umožnění nástupu cestujících, nebo již má být vlak připraven k odjezdu? Klíčovou roli zde tvoří úkony spojené s odjezdem vlaku. Délka jejich trvání vytváří časový rozdíl mezi uzavřením vlaku pro výstup a nástup cestujících a samotným odjezdem vlaku.

Do prosince roku 2024 tyto úkony vytvářely rozkol mezi odjezdem pro cestující a skutečným odjezdem. Podle tehdy platného předpisu pro provozování drážní dopravy dopravce České dráhy (ČD D2) byl postup popsán následovně: „Strojvedoucí vedoucího hnacího vozidla dá nejdříve v době pravidelného odjezdu návěst Výzva k pohotovosti, ...“ z čehož jednoznačně vyplývá, že úkony spojené s odjezdem vlaku časově kolidovaly s časovou složkou započítanou pro jízdu vlaku po jeho odjezdu.

Správa železnic si však byla problému vědoma a od nového jízdního řádu pro rok 2025 vydala nové technologické opatření s názvem „odjezd v sekundě nula“. Je závazné pro všechny osobní dopravce a v praxi umožňuje odbavit vlak tak, aby mohl odjet hned v první sekundě stanovené minuty odjezdu. Příprava vlaku k odjezdu tedy začne o něco dříve a nebude už možné dobíhat na poslední chvíli. Správa železnic se při tvorbě této metodiky inspirovala u manažerů infrastruktury v okolních zemích a od změny si slibuje zvýšení dochvilnosti spojů. (20)

Nově je tedy zmiňovaný předpis dopravce České dráhy upraven do podoby: „Strojvedoucí vedoucího vozidla vlaku je povinen zahájit úkony před pravidelným odjezdem vlaku tak včas, aby mohl vlak uvést do pohybu v čase pravidelného odjezdu vlaku. Návěst Výzva strojvedoucího nebo Výzva k pohotovosti smí dát nejdříve 20 sekund před časem pravidelného odjezdu vlaku při zhodnocení technologického času uzavírání nástupních dveří dle použitého systému ovládání nástupních dveří na vlaku...“. Ostatní zkoumaní dopravci (Arriva vlaky, Leo Express a Správa železnic) tuto změnu ve svých předpisech nijak nereflektovali. Vzhledem k dominantnímu zastoupení vlaků ČD je však změna předpisu tohoto dopravce velmi podstatná.

## 2 SBĚR DAT A JEJICH APLIKACE V SIMULACI

Z analýzy současného stavu vyplývá, že Správa železnic využívá rozsáhlý soubor předpisů, pokynů a specializovaných softwarových nástrojů pro organizaci železničního provozu a tvorbu jízdních řádů. Tyto systémy zahrnují například provozní aplikace pro tvorbu grafikonu vlakové dopravy, plánování kapacity tratí či řízení provozu v reálném čase. Cílem je zajistit co nejefektivnější a nejbezpečnější provoz na železniční síti. Současně s tím musí Správa železnic respektovat legislativní požadavky a technické normy, které se pravidelně aktualizují s ohledem na evropské i národní předpisy.

V praxi však dochází k situacím, kdy se interní předpisy jednotlivých dopravců dostávají do rozporu s podmínkami Správy železnic, což může vést ke zmatkům v organizaci provozu. Každý dopravce má vlastní provozní standardy, software a pracovní postupy, které ne vždy dokonale korespondují s jednotnými pravidly manažera infrastruktury. To se projevuje například při úkonech spojených s odjezdem vlaku, výpravou vlaku, dodržováním jízdního řádu a následném vyhodnocování zpoždění. Harmonizace předpisů a integrace systémů proto zůstává dlouhodobou výzvou pro celý železniční sektor

### **Faktory ovlivňující délku pobytu vlaku**

Zpoždění vznikající během pobytu vlaku ve stanici představuje významný faktor narušující plynulost železniční dopravy. Ve srovnání se zpožděním vzniklým na trati je často způsobeno interakcí cestujících, organizačních procesů pro odbavování, nebo i technického stavu vozidla.

Jedním z nejčastějších faktorů je zvýšená frekvence výstupu a nástupu cestujících, ke které dochází zejména v ranní a odpolední špičce, při návalech turistů, nebo v případě mimořádných událostí. Zpoždění může způsobit samotný pohyb cestujících, zejména u vozů s úzkými nástupními dveřmi, u starších vozidel nebo u vlaků s vysokým obsazením, či schody.

Specifickým jevem je nakládka a vykládka jízdních kol. Tento proces je náročnější nejen časově, ale i prostorově – cyklisté často manipulují s koly ve stísněných podmínkách, což může zpomalit pohyb ostatních cestujících. V některých případech navíc vlakový doprovod asistuje s nakládkou, čímž dochází k dalšímu zpoždění. Význam tohoto faktoru stoupá zejména na regionálních a turisticky vyhledávaných tratích, zejména v jarním a letním období.

Dalším důvodem zpoždění bývá čekání na dobíhající cestující, kteří se dostavují na nástupiště až na poslední chvíli. Personál vlaku v některých případech na cestující čeká, což vede ke zpožděnému odjezdu, zejména pokud se jedná o větší skupinu nebo o významný přestupní uzel. Ačkoli se v těchto případech jedná často jen o krátké zdržení, akumulace takových situací ve větších stanicích může výrazně ovlivnit návaznost jízdního řádu.

Dopravní úkony související s přípravou k odjezdu vlaku představují další potenciální příčinu zpoždění. Každý dopravce má své vlastní technologické postupy, lišící se počtem členů vlakového doprovodu, typem soupravy a dalších faktorů. V neposlední řadě je třeba zohlednit dispozice dopravce. Mezi tyto potřeby patří například výměna vlakové čety, strojvedoucích nebo komunikace s dispečinkem.

Závažnějším faktorem je výskyt technických komplikací na vozidle. Nejčastěji se jedná o problémy s dveřními systémy, selhání trakce, poruchu informačního systému, problémy s řízením nebo závady na brzdách. Tyto komplikace se často projevují až po zastavení ve stanici, kdy se vlakový personál snaží problém identifikovat a odstranit.

Nepříznivé počasí tvoří přirozenou komplikaci provozu, která se ve stanicích projevuje například sníženou pohyblivostí cestujících, namrzlými nástupišti nebo výhybkami. Sníh a led mohou navíc omezit funkčnost zabezpečovacího zařízení, čímž se prodlužuje čas potřebný pro přistavení vlakové soupravy, odbavení cestujících i samotný odjezd.

Významným faktorem bývá rovněž čekání na přípojné spoje. V uzlových stanicích dochází často k řízenému zpoždění odjíždějícího vlaku, aby byl umožněn přestup cestujících z navazujícího spoje.

Doplňkově lze zmínit také personální a organizační nedostatky, například pozdní příchod vlakového personálu, špatnou komunikaci mezi dispečinkem a staničním zaměstnancem, nebo nevhodně nastavený jízdní řád, který neodpovídá reálné potřebě času k výměně cestujících nebo provedení provozních úkonů. V některých případech je zpoždění způsobeno i nedostatkem infrastruktury, například při kolizním průjezdu více vlaků jednou stanicí nebo při omezené kapacitě nástupišť a kolejí.

Z uvedeného vyplývá, že zpoždění ve stanicích je výsledkem souhry více různorodých vlivů – od lidského faktoru přes technické problémy až po klimatické podmínky a systémová nastavení. Pro účely této diplomové práce bylo zkoumáno zpoždění vzniklé dopravními úkony spojenými s odjezdem vlaku (výpravou vlaku). Pro konkrétní identifikaci zpoždění bylo provedeno rozsáhlé měření.

## 2.1 Měření a analýza zpoždění vlaků při odjezdu

Vzhledem k odlišným výkladům právních norem zabývajících se touto problematikou nelze jednoznačně určit přesné odborné názvosloví pro konkrétní úkony. Pro účely této diplomové práce je autorem pro eliminaci nejednoznačnosti určena jednoznačná identifikace pojmů.

Výprava vlaku: úkon, při kterém je vlaku dávana návěst odjezd (výpravčím, návěstidlem).

Úkony spojené s odjezdem vlaku: soubor technologických opatření (návěstí) vykonávaných zaměstnanci dopravce s cílem připravit vlak k odjezdu.

Odjezd vlaku: okamžik, kdy se vlak po výstupu a nástupu cestujících uvede do pohybu.

Pro zjištění délky trvání úkonů spojených s odjezdem byla autorem provedena série měření, mající za cíl stanovit obecnou dobu trvání této časové složky a podmínky pro její započítání do jízdního řádu. Celkem bylo provedeno čtrnáct měření v celkové délce přibližně 80 hodin. Za tu dobu bylo zkoumání podrobena celkem 180 vlaků ve čtyřech stanicích. Pro měření byly zvoleny stanice Kralice nad Oslavou, Náměšť nad Oslavou, Rapotice (všechny na trati 240 z Brna do Jihlavy) a Pardubice hlavní nádraží (na trati 010 z Prahy do České Třebové). Podrobnosti o měření jsou patrné z tabulky číslo tři.

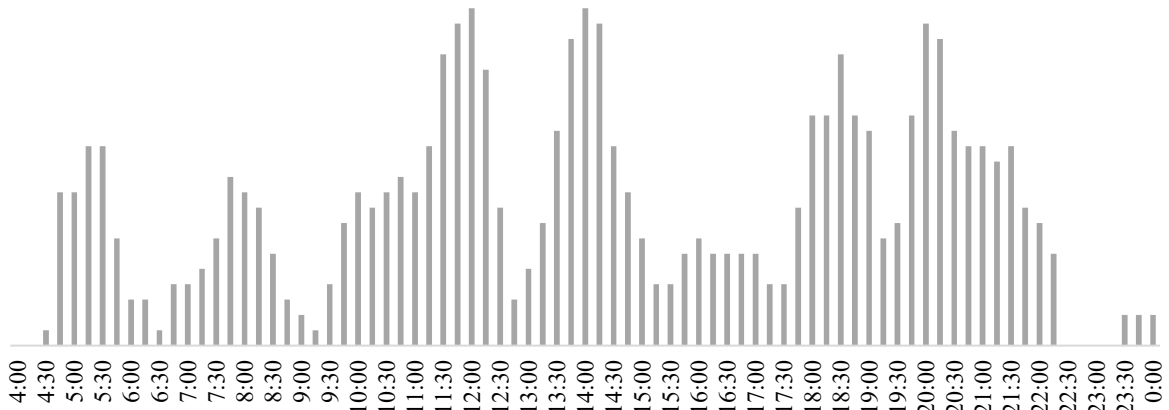
Tabulka 3 Parametry měření

	Kralice nad Oslavou	Náměšť nad Oslavou	Pardubice hlavní nádraží	Rapotice	Celkem
Počet měření	2	9	2	1	14
Počet měřených vlaků	25	115	35	5	180
Počet hodin měření [h]	16	56	3	5	80
Počet vlaků kategorie Os	25	91	12	5	133
Počet vlaků kategorie Sp	-	2	2	-	4
Počet vlaků kategorie R	-	22	6	-	28
Počet vlaků kategorie Ex	-	-	15	-	15

Zdroj: autor

Pro relevantnost měření je nezbytný kontinuální sběr dat po celou dobu denního provozu a napříč všemi dny v týdnu. Průběžné monitorování umožňuje nejen přesné vyhodnocení, ale také identifikaci vzorců chování vlaků v různých podmínkách, jako je rozdílné vytížení souprav cestujícími v závislosti na denní době, dne v týdnu, nebo další aspekty související s denní dobou, jako mohou být například odlišné světelné podmínky (snížená / nesnížená viditelnost). Graf na obrázku číslo dva znázorňuje denní dobu měření vlaků v půlhodinových

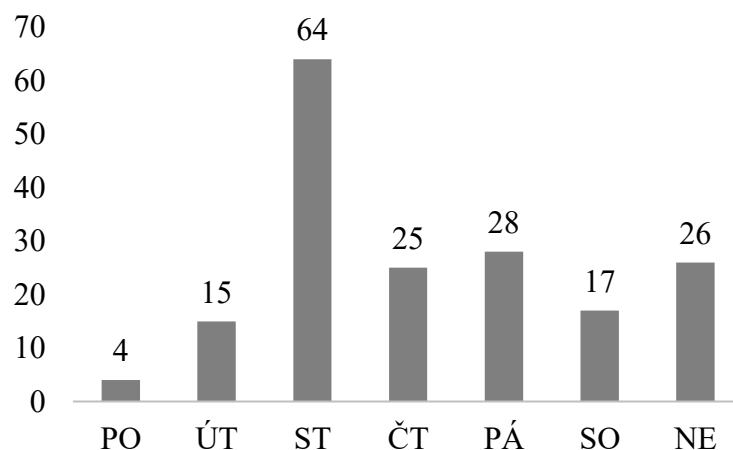
intervalech. Na ose x je vyznačena doba měření a osa y představuje počet měřených vlaků. Nejvyšší intenzita měření byla ve třech obdobích – v ranní špičce, v dopoledním a večerním sedle.



Obrázek 2 Graf četnosti měření v závislosti na denní době

Zdroj: autor

Na obrázku tři je graficky znázorněn počet měření provedených v jednotlivých dnech týdne, což může být důležité pro posouzení reprezentativnosti dat. Je patrné, že nejvíce měření bylo provedeno ve středu, kdy jejich počet výrazně převyšuje ostatní dny. Uprostřed týdne se předpokládají nejmenší odchylky ve frekvenci cestujících. Naopak na začátku týdne, v pondělí a úterý, byl počet měření relativně nízký. Po středečním vrcholu došlo k poklesu, přičemž ve čtvrtek a pátek se hodnoty ustálily na střední úrovni. O víkendu, zejména v sobotu, byl počet měření nižší, ale v neděli opět mírně vzrostl.



Obrázek 3 Graf četnosti měření v závislosti na dni v týdnu

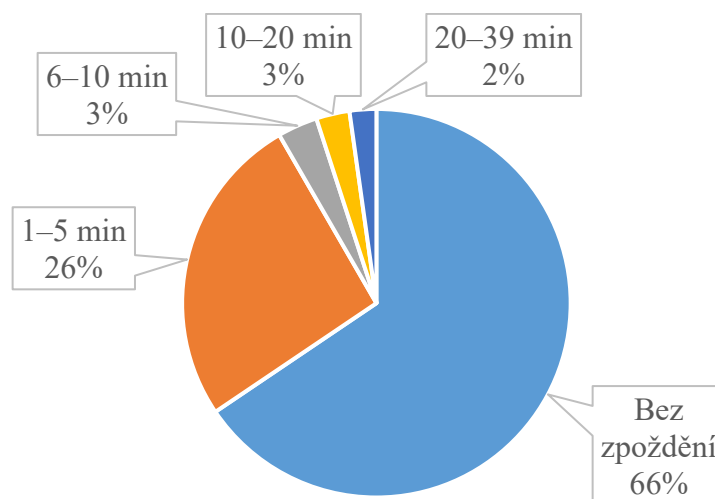
Zdroj: autor

Cílem měření je získat relevantní data pro možné zefektivnění plánování jízdního řádu při úkonech spojených s odjezdem vlaku a jeho odjezdem. Pro vyhodnocování měřených hodnot je výhodnější používat funkci medián oproti funkci průměr, protože medián je odolnější vůči extrémním hodnotám. Při porovnávání různých časových období je medián spolehlivější, neboť jeho hodnota se méně mění při přidání několika extrémních měřeních. Pokud chceme analyzovat celkový dopad zpoždění na systém (např. kolik minut zpoždění se nasčítá za celý den), může být průměr stále užitečný, ale pro reprezentaci běžné situace je medián vhodnější. Výrazně vysoká zpoždění se mohou vyskytnout například z důvodu mimořádné události, nebo poruchy hnacího vozidla, to může mít při použití funkce průměr za následek zkreslení výsledku.

Obsahem měření byla výše zpoždění vlaku, doba trvání úkonů vlakové čety, složení vlaku, typová řada vozidla, ze které byla návštěžena návštěv Souhlas k odjezdu a počet členů vlakového doprovodu. Všechny následující složky budou následně rozebrány pro vyhodnocení jejich vlivu na vznik zpoždění vlaku.

### Zpoždění měřených vlaků

Při zkoumání zpoždění všech vlaků došlo k odchylce oproti jízdnímu řádu v 62 případech (ze 180 měřených vlaků). Ve 47 případech se jednalo o zpoždění do výše pěti minut. Maximální naměřené zpoždění se vyšplhalo na 39 minut. Podrobné hodnoty zpoždění jsou graficky znázorněny na obrázku číslo čtyři.



Obrázek 4 Zpoždění měřených vlaků

Zdroj: autor

Medián zpoždění vychází jako nulový, z toho důvodu není tento aspekt podroben ke zkoumání dalšího vlivu na zpoždění vlaku při úkonech spojených s jeho odjezdem.

## Úkony vlakového doprovodu obecně

Pro obecné určení hodnot nejsou uvažovány odchylky a rozdíly vzniklé odlišným řazením vlaků. Celkové hodnoty jsou rozděleny pouze podle stanic měření. Vzhledem k podobné povaze stanic Kralice nad Oslavou, Náměšť nad Oslavou a Rapotice jsou sloučeny do jedné vyhodnocovací skupiny. Mediány dob trvání úkonů naměřených hodnot jsou zobrazeny v tabulce číslo čtyři.

Tabulka 4 Medián doby trvání úkonů spojených s odjezdem vlaku

Medián doby trvání úkonů spojených s odjezdem vlaku	
Ve zkoumaných stanicích na trati 240	16 s
Ve stanici Pardubice hlavní nádraží	19 s
Sumárně ve všech stanicích	16 s

Zdroj: autor

Měření provedená ve stanici Pardubice hlavní nádraží mají výrazně vyšší hodnoty oproti zbylým zkoumaným stanicím. Za důsledek je tomu přisuzován vyšší poměr vlaků dálkové dopravy oproti vlakům osobním, což je patrné z tabulky tři (parametry měření).

## Úkony vlakového doprovodu se zohledněním typu vlakové soupravy

Pro podrobnější výsledky je však nutné rozlišovat typy vozidel, ze kterých je složena souprava měřeného vlaku. Pro účely této práce byly vlaky rozděleny do dvou následujících kategorií:

- Vlaky s osobními vozy klasické stavby
- Motorové jednotky

Toto rozdělení je podstatné z důvodu odlišné technologie úkonů spojených s odjezdem vlaku, což má ve výsledku za následek také odlišnosti ve výši zpoždování vlaků. V tabulce pět jsou zobrazeny naměřené hodnoty.

Tabulka 5 Doba trvání úkonů při rozlišení typu soupravy

Medián doby trvání úkonů spojených s odjezdem vlaku při rozlišení typu soupravy	
Vlaky s osobními vozy klasické stavby	17 s
Motorové jednotky	16 s

Zdroj: autor

Vyšší hodnoty u vlaků s osobními vozy klasické stavby plynou ze starší technologie systému uzavírání dveří a kontrolou nástupních prostor před uvedením vlaku do pohybu.

## Úkony vlakového doprovodu se zohledněním složek úkonů

Měřeny byly dvě základní složky těchto úkonů, a to:

- Doba trvání od výzvy k pohotovosti (výzvy strojvedoucího) po souhlas k odjezdu (označena jako doba „V–T“)
- Doba trvání od souhlasu k odjezdu po uvedení vlaku do pohybu (označena jako doba „T–O“)

Jednotlivé složky lze z podstaty podoby úkonů rozdělit také na „lidskou“ a „technickou“ složku. Rozdělení vyplývá z odlišné podoby provádění úkonů spojených s odjezdem vlaku. Naměřené hodnoty jsou zobrazené v tabulce šest.

Tabulka 6 Doba trvání úkonů se zohledněním složek úkonů

Medián doby trvání úkonů spojených s odjezdem vlaku se zohledněním složek úkonů		
Úkon	V–T	T–O
Vlaky s osobními vozy klasické stavby	11 s	6 s
Motorové jednotky	2 s	14 s
Sumárně všechny vlaky	3 s	13 s

Zdroj: autor

U vlaků s osobními vozy klasické stavby s předsvunými, nebo otočně-skládacími dveřmi dosahuje první složka vyšších hodnot, protože po obdržení výzvy od strojvedoucího musí vlakový doprovod uzavřít dveře soupravy, přesvědčit se o jejich uzavření a až poté dát strojvedoucímu souhlas k odjezdu. Druhá složka s nižší časovou hodnotou obnáší pouze dobu nutnou k odbrzdění vlaku před uvedením do pohybu.

Vlaky vedené motorovými jednotkami mají první časovou složku nižší, a to z toho důvodu, že po výzvě strojvedoucího (k pohotovosti) vlaková četa (pokud je ukončen výstup a nástup cestujících) ihned dává souhlas k odjezdu. Čas potřebný k zavření dveří a odbrzdění je sumárně zahrnut ve druhé časové složce.

## Úkony vlakového doprovodu se zohledněním návštěvní Souhlasu k odjezdu

Nejpodrobnější hodnoty měření vycházejí z dat, které zohledňují veškeré atributy popsány výše, a k tomu i typ vozu, ze kterého byla vlakovou četou dána návštěva Souhlasu k odjezdu. Zkoumáním tohoto faktoru lze jednoznačně přidělit dobu trvání úkonů spojených s odjezdem vlaku ke konkrétnímu řazení vlaku a zohlednit tak započítanou délku trvání při tvorbě jízdního řádu. Tabulka sedm přináší přehled délky trvání jednotlivých složek s ohledem na typ vozu, ze kterého vlaková četa udělila Souhlas k odjezdu. Vozem řady „A“ je pro zjednodušení a zefektivnění metodiky měření představován vůz klasické stavby s předsvunými dveřmi. Vozem řady „B“ se rozumí vůz s otočně-skládacími dveřmi staršího typu.

Tabulka 7 Doba trvání úkonů soupravy se zohledněním návěštění Souhlasu k odjezdu

Medián doby trvání úkonů spojených s odjezdem vlaku se zohledněním návěštění Souhlasu k odjezdu			
Vůz	V-T	T-O	Celkem
A	12 s	6 s	18 s
B	9 s	8 s	17 s
054	2,5 s	12,5 s	15 s
440	2 s	10 s	12 s
480	6,5 s	8,5 s	15 s
660	2 s	12 s	14 s
814	2 s	10,5 s	12,5 s
841	1 s	19 s	20 s
843	3 s	13 s	16 s
847	2 s	15 s	17 s
854	2 s	15 s	17 s
914	2 s	11,5 s	13,5 s
945	2 s	24 s	26 s
954	2 s	19 s	21 s

Zdroj: autor

Výše uvedená data potvrzují, že vlaky s osobními vozy klasické stavby mají první zkoumanou složku delší a druhou kratší. U vlaků vedených motorovými jednotkami je tato tendence opačná. Takto podrobná data lze uplatnit při plánování jízdního řádu. Jejich zanesením do specializovaných softwarů jako KANGO, KADR a ISOŘ je možné zefektivnit železniční provoz. Při plánování ročního grafikonu vlakové dopravy lze podle plánovaného řazení souprav zanést přesné zpoždění způsobené úkony spojenými s odjezdem vlaku a eliminovat tak nepravidelnosti v provozu. Při operativní změně by systém ISOŘ upravil křivku jízdy vlaku na online listu nákresného jízdního řádu a pracovníci řízení provozu by tak byli informováni o změně jízdních dob vlaku.

Měřením byl zjištěn medián hodnot úkonů spojených s odjezdem vlaku ve výši;

$$t_{ux} = 16 \text{ s}$$

Pro potřeby konstrukce jízdních řádů a kompatibility s aktuálním systémem (soulad s předpisy i technické požadavky aplikací) byla hodnota zaokrouhlena na nejbližší celou desetinu minuty, což představuje hodnota;

$$t_u = 0,3 \text{ min}$$

## 2.2 Empirická simulace

Empirická simulace představuje specifický přístup k modelování systému, který se opírá o reálně naměřená data a jejich využití při vytváření simulačního modelu. Na rozdíl od čistě teoretických nebo analytických modelů, které často vycházejí z ideálních předpokladů, se empirická simulace snaží napodobit skutečné chování systému co nejděleji, na základě pozorovaných a zaznamenaných jevů. Tento přístup je zvláště vhodný v oblastech, kde je obtížné či nemožné přesně popsat komplexní interakce pomocí klasických matematických modelů.

V kontextu této práce byla empirická simulace využita pro analýzu zpoždění vlaků ve stanicích z důvodu úkonů spojených s jejich odjezdy. Základem simulace jsou reálná naměřená data z provozu zaznamenávaná ve vybraných stanicích v průběhu několika týdnů běžného provozu.

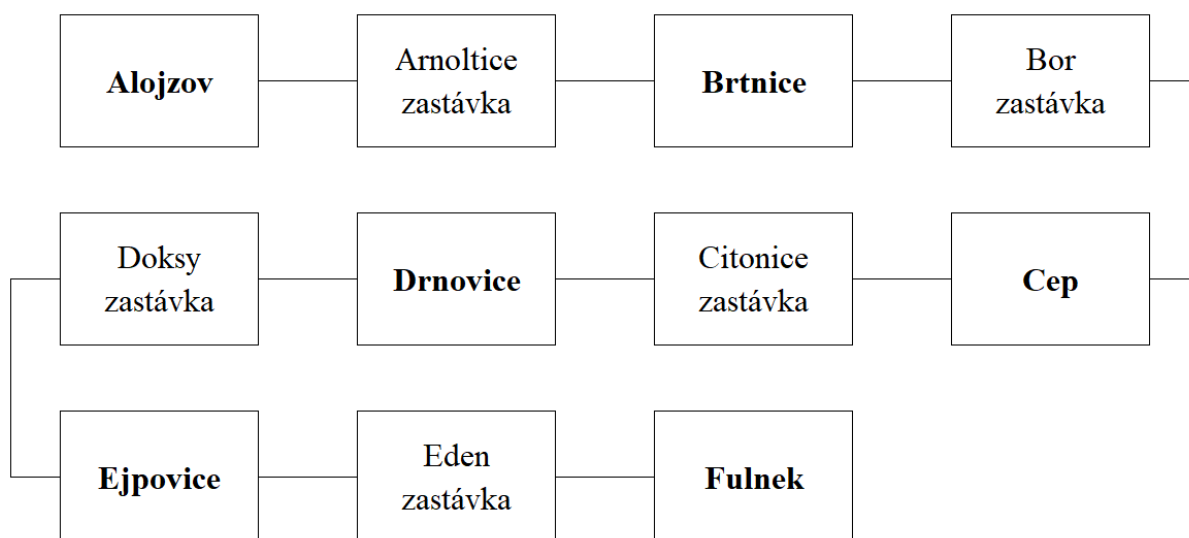
Získaná empirická data byla následně převedena do simulačního prostředí, které je reprezentováno fiktivně vytvořenou železniční tratí. Tato trať byla navržena tak, aby umožňovala sledování reakce systému na různé vstupní podmínky a konfigurace. Cílem nebylo přesné napodobení konkrétní existující tratě, ale vytvoření univerzálního modelu, na kterém bylo možné testovat dopad reálných zpoždění v různých scénářích provozu.

Empirická simulace v tomto případě umožňuje pozorovat, jakým způsobem se zpoždění šíří po trati, jak reagují následující vlaky a jaké jsou potenciální důsledky kumulace jednotlivých zpoždění. Pomocí různých stavů simulace bylo možné identifikovat kritické body infrastruktury i provozního plánování, které jsou nejvíce náchylné ke zpožděním.

Výhodou tohoto přístupu je vysoká relevance výsledků pro reálný provoz, neboť vstupní hodnoty vycházejí ze skutečné praxe, nikoli pouze z hypotetických odhadů.

### **Fiktivní trať**

Pro účely empirické simulace byla vytvořena fiktivní železniční trať, která slouží jako univerzální model pro testování vlivů zpoždění vznikajících ve stanicích. Trať byla navržena tak, aby zachovala jednoduchost a zároveň umožnila sledovat šíření zpoždění. Fiktivní trať zahrnuje celkem šest hlavních stanic, označených písmeny A, B, C, D, E a F. Mezi každou dvojicí těchto stanic se nachází vždy jedna mezilehlá zastávka označená jako Az, Bz, Cz, Dz a Ez. Pro memotechnické účely byla každá stanice a zastávka pojmenována, a to v souladu se zachováním prvního písmene představující pozici na trati. Na obrázku pět je přehledné znázornění trati.



Obrázek 5 Schéma fiktivní trati

Zdroj: autor

Všechny úseky mezi jednotlivými body (stanice ↔ zastávka nebo zastávka ↔ stanice) mají shodnou jízdní dobu 4 minuty za standardních provozních podmínek. Tím je zajištěna symetrie modelu, která umožňuje lepší porovnávání a analýzu různých scénářů. Celková teoretická jízdní doba mezi výchozí stanicí Alojzov a cílovou stanicí Fulnek bez pobytů a zohlednění zpoždění tak činí 40 minut (10 úseků · 4 minuty). V železničních stanicích lze křížovat, měnit pořadí a sled vlaků, provozní interval křížování (dále jen PIK) byl ve všech stanicích shodně stanoven na jednu minutu.

### Provozní koncept

Fiktivní trať byla navržena nejen po stránce infrastruktury, ale také po stránce provozního konceptu. Cílem bylo vytvořit konzistentní a stabilní model železničního provozu, který umožňuje analyzovat dopady jednotlivých zpoždění. Základem provozního konceptu je pravidelný takt osobních vlaků, které mají identické řazení i jízdní řád. Všechny vlaky na trati jsou tedy vedeny jako osobní, které obsluhují všechny stanice i zastávky na trati.

Jízdní řád uvažuje vlaky v pravidelném intervalu 21 minut, zajišťuje křížování ve všech stanicích na trati a polohy vlaků jsou upraveny tak, aby byl jízdní řád symetrický. Všechny křížující vlaky mají v dotčených stanicích shodný čas příjezdu a odjezdu. Tento interval je zároveň dostatečný pro přiměřené zaplnění kapacity trati za účelem zkoumání. Vzhledem k predikci výraznější výměny cestujících a k vyššímu riziku vzniku zpoždění, například vlivem dobíhajících cestujících, výstupu většího počtu osob, manipulace s koly a pro eliminaci zpoždění z důvodu křížování, je u všech vlaků ve stanicích pobyt dvě minuty.

Naproti tomu mezilehlé zastávky jsou obslouženy bez delšího zdržování s plánovaným pobytem půl minuty. Předpokládá se zde rychlé zastavení s minimální výměnou cestujících, bez výrazných provozních zásahů.

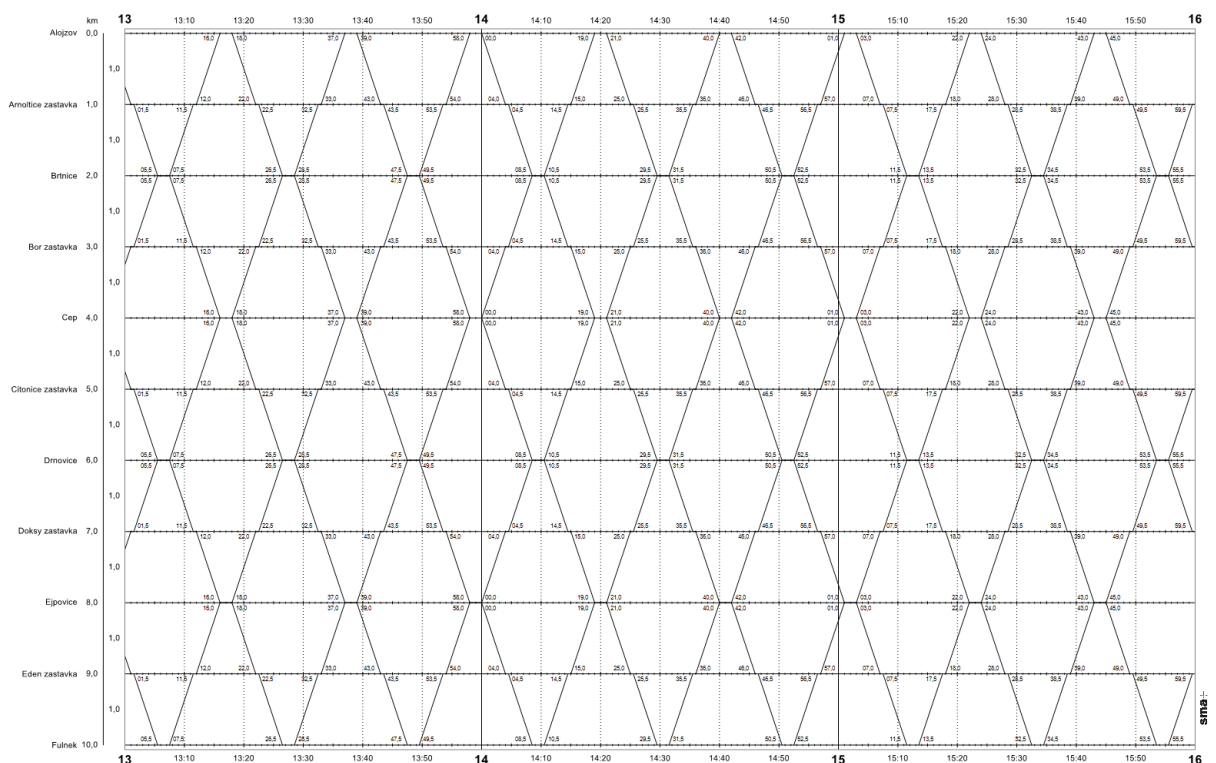
Tyto časy byly zvoleny tak, aby reflektovaly realistické poměry běžné v regionální železniční dopravě a zároveň poskytly prostor pro pozorování dopadu mírných zpoždění.

Při zohlednění jízdních dob a stanovených dob pobytu činí ideální celková doba jízdy vlaku z výchozí stanice A do cílové stanice F celkem 50,5 minuty.

- 10 traťových úseků · 4 minuty = 40 minut
- 4 nácestné stanice · 2 minuty = 8 minut
- 5 zastávek · 0,5 minuty = 2,5 minuty

Celkem tedy  $40 + 8 + 2,5 = 50,5$  minuty

Tato struktura umožňuje sledovat zpoždění v čase i prostoru a poskytuje dostatečný rámec pro modelování jejich dopadu na celý provozní takt. Při pravidelném intervalu 21 minut lze rovněž analyzovat interakce mezi více vlaky na trati, především v případě narušení plynulosti jízdy a vzniku provozních konfliktů. Provozní koncept je formou nákrešného jízdního řádu znázorněn na obrázku číslo šest.



Obrázek 6 Provozní koncept na fiktivní trati

Zdroj: autor

## 2.3 Simulace přenosu zpoždění

Za účelem analýzy šíření zpoždění mezi jednotlivými vlaky na fiktivní železniční trati byl v rámci práce zvolen specifický simulační přístup, který umožňuje porovnat ideální provozní stav s provozem narušeným drobným, avšak systematicky se opakujícím zpožděním. Tento přístup vychází ze snahy simulovat reálné podmínky běžného provozu, kdy zpoždění nevzniká skokově, ale kumulativně v důsledku malých odchylek v časech zastavení, způsobených především interakcí s cestujícími.

V nákresem jízdním řádu byl proto ke každému vlaku, který byl součástí modelového provozního konceptu, přiřazen duplicitní vlak, označený červenou barvou. Tento duplicitní vlak má identickou trasu, jízdní dobu i místa zastavení jako jeho původní protějšek, avšak byl zatížen systematickým zpožděním při každém zastavení. Zpoždění bylo aplikováno při každém plánovaném zastavení za účelem výměny cestujících – tedy ve všech stanicích i zastávkách, kde probíhá nástup a výstup osob.

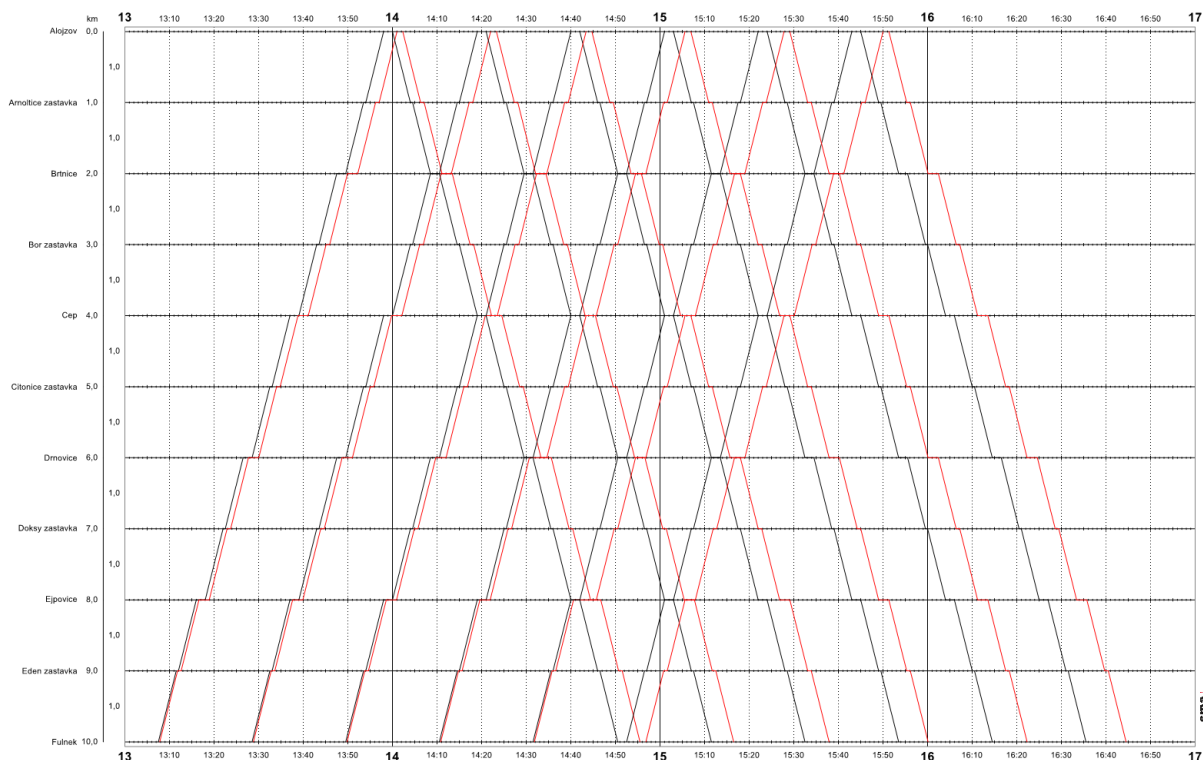
Konkrétní hodnota tohoto zpoždění činila 0,3 minuty (tj. 18 sekund) na jedno zastavení. Tato hodnota byla zvolena na základě reálných měření v provozu, jež jsou popsána výše. V rámci měření bylo zjištěno, že při průměrné výměně cestujících dojde ke zdržení oproti teoretické době pobytu právě o přibližně 0,3 minuty.

Simulace byla provedena v časovém úseku přibližně od 14 do 16 hodiny, tedy v období odpolední dopravní špičky. To v případě fiktivní modelové trati nemá nějak zásadní vliv, neboť provoz je zde simulovaný, časové období však bylo určeno z důvodu predikce nejvyššího počtu vlaků pro případné zkoumání na reálné trati.

Použitím červených vlaků jako variace původních vlaků s drobným zpožděním bylo možné podrobně sledovat dopad kumulace jednotlivých odchylek na celkovou strukturu provozu. Vzhledem k tomu, že jízdní řád na modelové trati je sestaven v pravidelném taktu a vlaky jezdí ve fixních intervalech, je možné porovnat vývoj zpoždění mezi jednotlivými spoji, analyzovat jeho přenos do následujících stanic a vyhodnotit místa, kde dochází k nejvýraznějšímu narušení provozní stability.

Zvláštní pozornost je věnována dopravním bodům, kde dochází ke křižování vlaků, neboť právě zde může i drobné zpoždění jednoho vlaku způsobit řetězovou reakci v podobě sekundárního zpoždění dalších vlaků. Díky zavedení červených vlaků je možné tato riziková místa přesně identifikovat a dále navrhnout opatření vedoucí k jejich eliminaci či zmírnění negativních dopadů na pravidelnost dopravy.

Základní provozní koncept v části odpolední špičky včetně zpožděních vlaků je zobrazen formou nákrešného jízdního řádu na obrázku číslo sedm.



Obrázek 7 Princip užití duplicitních vlaků pro simulaci zpoždění

Zdroj: autor

### Metodika měření

V rámci této části simulace byl do modelové tratě zaveden jeden referenční vlak, který simuloval standardní osobní vlak ve směru z výchozí stanice A do cílové stanice F. K němu byl vytvořen duplicitní „červený“ zpožděný vlak. Tento vlak byl následně podrobován systematickému křižování s protijedoucími vlaky, a to ve vícestupňovém schématu.

V první fázi simulace byl referenční vlak křižován pouze s jedním protijedoucím vlakem (opět včetně zpožděného dvojčete), přičemž místo křižování bylo měněno – konkrétně se jednalo o simulace s křižováním postupně ve stanicích A, B, C, D, E a F. Tímto způsobem bylo možné sledovat, jak poloha křižovacího bodu ovlivňuje plynulost jízdy a kde vzniká nejvyšší zpoždění. Následně byl model rozšířen o křižování se dvěma protijedoucími vlaky, které byly rozmístěny do různých dopravních bodů tak, aby bylo možné vyhodnotit vliv kombinace více křižování v různých úsecích trati.

Tento postup byl dále rozšířen na tři, čtyři, pět a šest protijedoucích vlaků, čímž došlo k postupnému zatěžování modelové tratě rostoucím počtem protisměrných vlaků. Každý ze scénářů byl testován ve všech možných variantách rozmístění křižování. Simulace byly konstruovány tak, aby byla zajištěna srovnatelnost výsledků mezi jednotlivými variantami. Tím bylo dosaženo podmínek, které se co nejvíce blíží reálnému provozu na regionální jednokolejně trati s omezeným počtem bodů s možností křižování. Přehled všech variant křižování pro jednotlivé varianty simulace je znázorněn v tabulce číslo osm.

Tabulka 8 Přehled variant křižování v simulaci

	1 x 1 vlak	1 x 2 vlaky					
Křižování ve stanicích	A						
	B	AB					
	C	AC	BC				
	D	AD	BD	CD			
	E	AE	BE	CE	DE		
	F	AF	BF	CF	DF	EF	
	1 x 3 vlaky				1 x 4 vlaky		
Křižování ve stanicích	ABC						
	ABD						
	ABE						
	ABF						
	ACD	BCD				ABCD	
	ACE	BCE				ABCE	
	ACF	BCF				ABCF	
	ADE	BDE				ACDE	
	ADF	BDF	CDE			ACDF	BCDE
	AEF	BEF	CDF	DEF		ADEF	BCDF
	1 x 5 vlaků				1 x 6 vlaků		
Křižování ve stanicích	ABCDE						
	ABCDF						
	ACDEF						
	BCDEF				ABCDEF		

Zdroj: autor

Celkem bylo provedeno 54 iterací simulace, aby byly prozkoumány všechny přípustné varianty křižování právě jedenkrát. Nákrešné jízdní řády všech verzí simulace jsou v příloze A této práce.

## Datové výstupy simulace

V rámci každého simulačního běhu byly systematicky zaznamenávány důležité provozní parametry, které umožnily následné kvantitativní vyhodnocení vlivu křižování a zastavování pro výstup a nástup cestujících na vznik zpoždění. Ke každé jednotlivé variantě simulace byla vždy přiřazena informace o konkrétní stanici, v níž docházelo ke křižování sledovaného vlaku s protijedoucím vlakem. Pro účely identifikace byly všechny vlaky označeny čísly, obdobně jako v reálném provozu. Společně s tím byly evidovány časové složky všech vlaků, které se na křižování podílely, včetně jejich směru jízdy, časové polohy v síti a role v rámci dané simulace, tj. zda šlo o vlak referenční, čekající na křižování nebo zpožďující, případně zda byl vlak kombinací zmiňovaných typů.

Dále bylo u každého simulovaného vlaku zaznamenáno eventuální zpoždění vzniklé v důsledku nutnosti čekání na protijedoucí vlak při křižování. K této složce zpoždění byla vždy přičtena fixní časová hodnota zpoždění ( $0,3 \text{ min} \cdot \text{počet zastavení}$ ) způsobeného úkony souvisejícími s odjezdem vlaku. Tato hodnota byla ve všech variantách simulace konstantní a představovala reálné zpoždění při odjezdu ze stanice, nezávislé na křižování, případně při odjezdu ze zastávky na širé trati.

Na základě těchto údajů bylo možné u každého spoje přesně vypočítat celkové zpoždění vzniklé v průběhu simulace, jako součet výše zmíněných složek. Následně bylo v každé variantě provedeno sčítání zpoždění za všechny vlaky v modelu, čímž byl získán celkový objem zpoždění v dané simulaci. Tento údaj umožnil zhodnotit globální dopad konkrétního křižovacího scénáře na celkovou stabilitu provozu.

Pro účely srovnání a zajištění srovnatelnosti mezi jednotlivými variantami simulace bylo nakonec provedeno přepočítání celkového zpoždění na hodnotu jednoho vlaku, a to ve formě aritmetického průměru ze všech vlaků zapojených do konkrétní simulace. Tento přepočet umožnil získat normalizovaný ukazatel výkonnosti jednotlivých variant a sloužil jako klíčové kritérium pro následné hodnocení efektivity a robustnosti provozního konceptu z hlediska šíření zpoždění. V tabulce číslo devět je vše popsáno názorně zobrazeno na příkladu simulace 01x01, tj. jeden vlak se křižuje s jedním vlakem. Tato verze simulace má 6 variant, které představují postupné posouvání křižování ve všech šesti stanicích na trati.

Tabulka 9 Simulace 01x01

Verze simulace	Stanice křižování	Křižují vlaky číslo	Zpoždění křižováním [min]	Zpoždění úkony [min]	Celkové zpoždění jednoho vlaku [min]	Celkové zpoždění všech vlaků [min]	Zpoždění přepočtené na jeden vlak [min]
01x01A	Alojzov	1	2	3	5	8	4
		0	0	3	3		
01x01B	Brtnice	1	0	3	3	6,8	3,4
		2	0,8	3	3,8		
01x01C	Cep	1	0	3	3	6	3
		4	0	3	3		
01x01D	Drnovice	1	0	3	3	6	3
		6	0	3	3		
01x01E	Ejповice	1	0	3	3	6,8	3,4
		8	0,8	3	3,8		
01x01F	Fulnek	1	0	3	3	8	4
		10	2	3	5		

Zdroj: autor

Podrobné výsledky dalších variant simulace jsou k nalezení v příloze B. Přehled výsledků všech simulovaných variant je uveden v souhrnné tabulce číslo deset níže. Každý řádek tabulky představuje jednu konkrétní simulační variantu, ve které byl referenční vlak křižován s jedním až šesti protijedoucími vlaky, a to v různých dopravních modelové trati. U každé varianty je uvedena průměrná hodnota zpoždění na jeden vlak v minutách, která vznikla jako aritmetický průměr z celkového zpoždění všech vlaků zapojených do dané simulace. Tato tabulka slouží jako klíčový podklad pro srovnávací analýzu, která umožňuje identifikovat nejvýhodnější, a naopak nejkritičtější varianty z hlediska provozní spolehlivosti a šíření zpoždění v síti.

Tabulka 10 Přepočtené zpoždění pro jednotlivé varianty simulace

Verze simulace	Zpoždění přepočtené na jeden vlak [min]	Verze simulace	Zpoždění přepočtené na jeden vlak [min]	Verze simulace	Zpoždění přepočtené na jeden vlak [min]
01x01A	4,0	01x02DE	3,3	01x03BEF	4,3
01x01B	3,4	01x02DF	3,7	01x03CDE	3,2
01x01C	3,0	01x02EF	3,7	01x03CDF	3,5
01x01D	3,0	01x03ABC	3,6	01x03DEF	3,7
01x01E	3,4	01x03ABD	3,9	01x04ABCD	3,8
01x01F	4,0	01x03ABE	4,2	01x04ABCE	4,0
01x02AB	3,7	01x03ABF	4,5	01x04ABCF	4,3
01x02AC	3,8	01x03ACD	4,0	01x04ACDE	4,4
01x02AD	4,2	01x03ACE	4,3	01x04ACDF	4,6
01x02AE	4,6	01x03ACF	4,6	01x04ADEF	5,1
01x02AF	5,0	01x03ADE	4,6	01x04BCDE	3,6
01x02BC	3,3	01x03ADF	4,9	01x04BCDF	3,8
01x02BD	3,4	01x03AEF	5,2	01x04CDEF	3,6
01x02BE	3,8	01x03BCD	3,3	01x05ABCDE	4,1
01x02BF	4,2	01x03BCE	3,6	01x05ABCDF	4,3
01x02CD	3,0	01x03BCF	3,9	01x05ACDEF	4,8
01x02CE	3,3	01x03BDE	3,7	01x05BCDEF	3,9
01x02CF	3,7	01x03BDF	4,0	01x06ABCDEF	4,5

Zdroj: autor

### Faktické výstupy simulace

Po dokončení všech simulačních běhů byla provedena komplexní analýza získaných dat, která měla za cíl identifikovat obecné zákonitosti týkající se vzniku, šíření a velikosti zpoždění v závislosti na provozních parametrech, především na počtu a poloze křižování vlaků. Vyhodnocení probíhalo jak na úrovni jednotlivých scénářů, tak ve formě srovnávací analýzy mezi skupinami variant s podobnými strukturálními charakteristikami. Analýza byla zaměřena na hodnoty celkového i průměrného zpoždění vlaků, a na vztahy mezi jejich výší a vstupními podmínkami simulace. Pro relevantní porovnání však bylo následně pracováno s hodnotami zpoždění přepočtenými na jeden vlak.

Na základě této analýzy bylo možné formulovat několik obecných faktů, které se opakovaly napříč různými variantami a vykazovaly výraznou statistickou konzistenci. Prvním zásadním poznatkem bylo, že křižování vlaků v krajních dopravních trati (na fiktivní trati stanice A a F) generuje obecně vyšší zpoždění, než když dochází ke křižování v centrální části trati. Dále se ukázalo, že s rostoucím následným mezidobím křižujících vlaků narůstá výsledné zpoždění – tedy čím později se protijedoucí vlak v simulaci objevuje, tím větší akumulaci celkového i přepočteného zpoždění to způsobuje.

Analýza zároveň odhalila, že poloha dopravní, ve které dochází ke křižování má větší vliv na vznik zpoždění než výše sledu vlaků. Jinými slovy, křižování blíže krajům trati je provozně méně výhodné i tehdy, pokud se počet křižujících vlaků nemění.

Zároveň platí, že větší sled první dvojice zpožďujících vlaků má větší dopad na výsledné zpoždění než vyšší sled druhé dvojice vlaků, čímž se potvrzuje, že pořadí a okamžik vzniku zpoždění hrají důležitější roli než prostá výše následného mezidobí vlaků.

Dále bylo identifikováno, že pokud je u zkoumaných vlaků shodná vzdálenost dopravní s křižováním od kraje trati i velikost sledu vlaků, rozhoduje výše prvního sledu. Pořadí sledů vlaků, tedy kdy křižující vlaky vstupují do modelu, může být v některých případech vliv na vzniklé zpoždění.

S tím úzce souvisí i zjištění, že časová poloha prvního zpožďujícího se vlaku ovlivňuje chování celého systému a jeho schopnost absorbovat nebo přenášet zpoždění dále.

Tato klíčová zjištění představují základ pro hlubší interpretaci provozního chování systému, která bude dále rozvedena v navazujících částech práce. V jednotlivých podkapitolách se podrobněji zaměříme na kvantitativní vyhodnocení každého z uvedených jevů a jejich vzájemné souvislosti v rámci celkového provozního modelu.

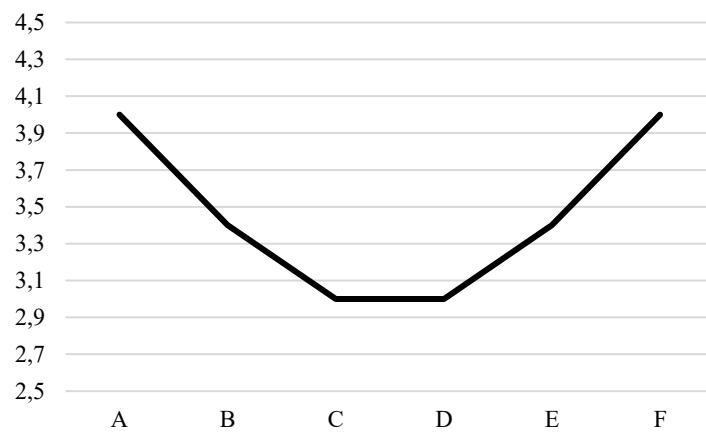
## **Vliv zpoždění na polohu dopravní**

Jedním z nejvýraznějších zjištění simulační analýzy byl fakt, že křižování vlaků v krajních dopravních, generuje statisticky vyšší zpoždění než křižování uskutečněné ve střední části trati. Tento jev byl zjištěn na základě vyhodnocení výsledků všech 54 simulovaných variant, přičemž bylo sledováno přepočtené průměrné zpoždění na jeden vlak ve vztahu k poloze křižování.

Pokud byla získaná data vykreslena jako funkce závislosti zpoždění na poloze dopravní, vykazovala průběh charakteristický pro parabolu. Průběh této funkce začínal na vyšších hodnotách zpoždění u křižování v krajních bodech trati, poté klesal směrem ke střední části tratě, kde dosahoval svého minima, a následně opět stoupal při návratu k opačnému konci trati.

Tento tvar průběhu lze interpretovat jako důkaz toho, že krajní křižování je z hlediska provozní efektivity nevýhodné, zatímco křižování přibližně uprostřed trasy umožňuje efektivnější rozložení vzájemných závislostí vlaků a menší kumulaci zpoždění.

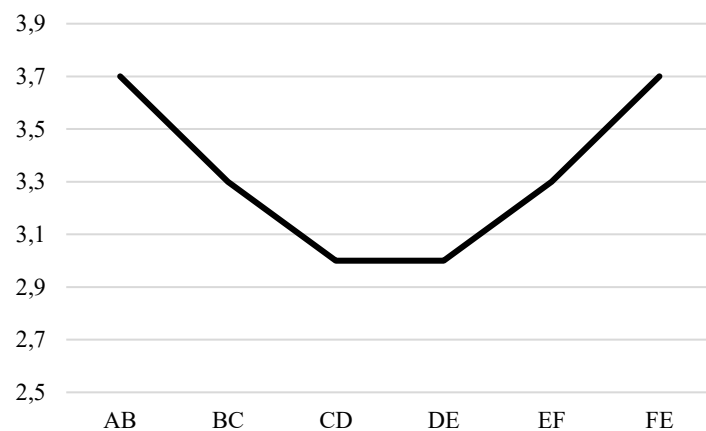
Pokud křižování probíhá v krajních dopravních, je vlak ještě před výjezdem z výchozí stanice zpožděn čekáním na protijedoucí vlak. Ten jej zpozdí nejvyšší možnou hodnotou zpoždění, neboť během doby své jízdy odbavil všech „n“ dopravních bodů na trati a nasbíral tak „ $n \cdot 0,3$  minut“ zpoždění. Oproti tomu poloha křižování blíže středu trati umožňuje rozprostřít provozní odchylky obou vlaků obdobně, a tím dochází k menšímu vzájemnému ovlivňování vlaků. Na obrázcích číslo osm a devět je graficky znázorněn průběh funkce závislosti zpoždění na poloze dopravní. První z dvojice grafů představuje křižování dvou vlaků v jedné z dopravní na trati.



Obrázek 8 Závislost zpoždění na poloze dopravní při křižování dvou vlaků

Zdroj: autor

Druhý graf verifikuje tvrzení, neboť při křižování tří vlaků ve dvou stanicích má funkce obdobnou tendenci jako u předchozího příkladu



Obrázek 9 Závislost zpoždění na poloze dopravní při křižování tří vlaků

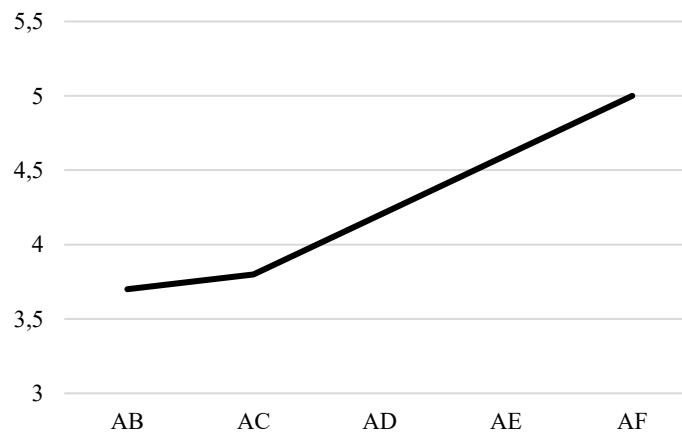
Zdroj: autor

## Význam sledu vlaků s ohledem na výši zpoždění

Druhé významné zjištění vyplývající ze simulační analýzy se týká vztahu mezi délkou sledu křižujících vlaků a výsledným zpožděním. Z provedených variant jednoznačně vyplývá, že s rostoucím mezidobím (sledem), tj. časovým rozstupem mezi dvěma křižujícími vlaky jedoucí proti referenčnímu vlaku, dochází ke zvyšování průměrného zpoždění. Tento jev byl pozorován konzistentně napříč různými polohami křižovacích stanic i různými počty protijedoucích vlaků.

Zpoždění způsobené křižováním závisí nejen na samotné nutnosti čekat na křižující vlak, ale rovněž na tom, kdy tento protijedoucí vlak dorazí. Pokud je křižující vlak vypraven ve sledu výrazně později (např. s odstupem několika desítek minut), pak musí referenční vlak čekat na křižování v dopravně delší dobu. Naopak, pokud křižující vlak dorazí těsně před nebo současně, zpoždění je minimální. Tato závislost má přímý lineární až exponenciální charakter: čím delší sled, tím větší zpoždění vzniká.

Tento jev lze vysvětlit i z hlediska využití kapacity trati. Větší sled znamená, že dopravná zůstává déle blokována pro čekající vlak, čímž se narušuje nejen jeho jízdní řád, ale i plynulost následujících vlaků v systému. Navíc, čím delší čekání je vyžadováno, tím méně prostoru zůstává pro přirozenou kompenzaci zpoždění v následujících úsecích trasy. Závislost výše přepočteného zpoždění na velikosti sledu vlaků na je znázorněn na obrázku deset.



Obrázek 10 Závislost zpoždění na velikosti sledu vlaků

Zdroj: autor

## **Váha kritérií polohy dopravní vůči velikosti sledu vlaků**

V rámci komplexního vyhodnocení simulací bylo rovněž zjištěno, že vliv polohy dopravní s křižováním má na výsledné zpoždění větší dopad než samotný časový sled křižujících vlaků. Toto zjištění vychází z přímého porovnání variant, které měly shodný počet křižování, shodnou velikost sledu vlaků, ale lišily se právě místem, kde křižování probíhalo.

Tento fakt nebyl pouze obecně odvozen z průběhu zpoždění v jednotlivých variantách, ale byl prokázán simulačních scénářů 01x02AB a 01x02CD

V obou těchto variantách byl sled křižujících vlaků shodný – vždy roven jedné stanici, takže z hlediska časového rozestupu mezi spoji panovala identická situace. Rozdíl mezi oběma případy spočíval výhradně v poloze dopravní s křižováním vůči krajům modelové trati. V první variantě (01x02AB) docházelo ke křižování ve stanicích A a B, tedy v těsném sousedství krajního bodu trati – dopravní zde byly vzdálené od krajů v poměru 0 + 1. Výsledkem této varianty bylo průměrné zpoždění +3,7 minuty na vlak.

Oproti tomu ve variantě 01x02CD docházelo ke křižování ve střední části trati, konkrétně ve stanicích C a D, které jsou od obou konců sítě vzdálené 2 + 2 stanice. I přes shodný sled vlaků zde bylo výsledné průměrné zpoždění pouze +3,0 minuty na vlak, tedy o 0,7 minuty nižší než v krajní variantě. Nákrese jízdní řády jednotlivých variant simulace jsou v příloze A, číselné hodnoty zpoždění v příloze B.

## **Vliv sledu první a druhé dvojice vlaků na vznik zpoždění**

Další významné zjištění, které vyplynulo ze simulace, se týká rozdílu vlivu sledu první a druhé dvojice vlaků na vznik zpoždění. Z porovnání variant s více křižováními bylo patrné, že vyšší hodnota sledu první dvojice vlaků má na výsledné zpoždění větší dopad než odpovídající velikost sledu u dvojice druhé.

Toto tvrzení bylo potvrzeno na základě výsledků variant simulace 01x03ABF a 01x03AEF. Obě varianty mají shodnou polohu dopravní určených ke křižování, vždy obě krajní a jednu dopravní vzdálenou jednu stanicí od kraje trati. Rozdíl spočívá v pořadí, ve kterém dochází ke křižování s jednotlivými dvojicemi vlaků.

V případě varianty 01x03ABF dochází k prvnímu křižování s kratším sledem prvních dvou vlaků (křižování ve dvou po sobě jdoucích stanicích A a B). Výsledné průměrné zpoždění na jeden vlak činilo +4,5 minuty. Oproti tomu v případě varianty 01x03AEF, kde byl menší sled aplikován až u druhé dvojice vlaků (dopravní E a F), bylo výsledné zpoždění +5,2 minuty.

Z těchto dat vyplývá, že větší sled v časově rané fázi trasy způsobuje delší čekání vlaku ve stanici, protože zdržení vzniká v okamžiku, kdy má vlak před sebou ještě velkou část trasy. To následně omezuje možnosti dohánění zpoždění a zvyšuje pravděpodobnost jeho přenosu na další úseky nebo spoje. Naproti tomu, pokud k většímu sledu dochází až u druhé dvojice vlaků, zpoždění vzniká později a jeho efekt je částečně omezen menším prostorem pro šíření. Nákrešné jízdní řády jednotlivých variant simulace jsou v příloze A, číselné hodnoty zpoždění v příloze B.

### **Význam časového okamžiku vzniku prvního zpoždění**

Při hlubší analýze simulací bylo zjištěno, že i při naprosto shodných provozních parametrech, tedy při stejné poloze dopraven s křížováním, stejné hodnotě sledů vlaků a identické výši prvního sledu, může na výsledné zpoždění výrazně působit i časová pozice zpoždění prvního vlaku v rámci trasy. Jinými slovy, nezáleží pouze na tom, jaké zpoždění vznikne, ale i na tom, kdy vznikne.

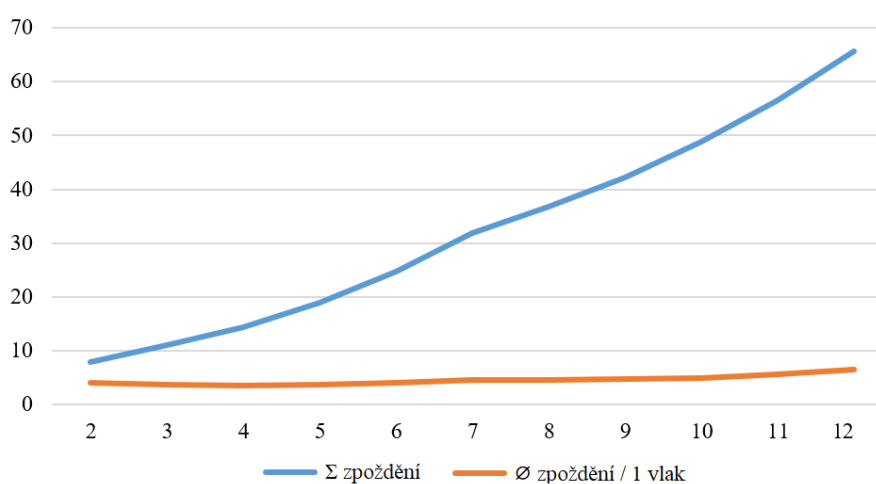
Tento jev byl konkrétně doložen porovnáním variant 01x04ABCD a 01x04CDEF, které měly zcela identickou strukturu křížování. V obou případech se jednalo o čtyři po sobě jdoucí dopravní, tudíž sledy všech vlaků odpovídaly hodnotě jedna (tedy souhrnně 1+1+1+1). Také poloha dopraven s křížováním od krajů trati byla v obou variantách srovnatelná. Rozdíl spočíval pouze v časovém okamžiku, kdy ke zpoždění docházelo – zatímco ve variantě ABCD docházelo ke zpoždění dříve (křížování již od stanice A), ve variantě CDEF vznikala zdržení až v pozdější fázi jízdy.

Výsledky ukázaly, že průměrné zpoždění na jeden vlak činilo +3,8 minuty u varianty ABCD a +3,6 minuty u varianty CDEF, přestože všechny ostatní vstupní podmínky byly formálně identické. Tento rozdíl potvrzuje, že čas vzniku prvního zpoždění má na výslednou provozní odchylku zásadní vliv. Pokud vlak narazí na zpoždění již v rané fázi jízdy, má toto zpoždění delší dobu na to, aby se projevilo a přenášelo do dalších částí trasy. Naproti tomu zpoždění vzniklé až v závěru jízdy má omezený prostor pro další eskalaci. Nákrešné jízdní řády jednotlivých variant simulace jsou v příloze A, číselné hodnoty zpoždění v příloze B.

### **Vliv počtu vlaků v systému na celkové zpoždění**

Zcela přirozeným, avšak analyticky potvrzeným zjištěním simulačního vyhodnocení je fakt, že zvyšující se počet vlaků v systému vede ke zvyšování celkového zpoždění. S růstem počtu vlaků dochází k větší míře interakce mezi nimi, častějším křížováním a vyššímu zatížení infrastruktury, což přirozeně zvyšuje pravděpodobnost provozních konfliktů.

Tento vztah je vyobrazen na obrázku číslo jedenáct. Osa x představuje počet vlaků v simulaci a osa y výši zpoždění v minutách. Graf obsahuje dvě spojnicové křivky, které vyjadřují průběh funkce celkového zpoždění všech vlaků v rámci jedné simulační varianty (v minutách), zatímco druhá vyjadřuje přepočtené průměrné zpoždění na jeden vlak. Z průběhu obou křivek je patrné, že s rostoucím počtem vlaků v systému celkové zpoždění nárůstově roste, a to zhruba lineárně až kvadraticky v závislosti na konkrétní konfiguraci. Tento vývoj je logickým důsledkem kumulace drobných provozních odchylek, které se při vyšší hustotě provozu násobí a ztěžují možnosti přirozené kompenzace.



Obrázek 11 Závislost celkového zpoždění na přepočteném k jednomu vlaku

Zdroj: autor

Zároveň je však zřejmé, že průměrné zpoždění na jeden vlak roste mírnějším tempem, což naznačuje, že jednotlivé spoje si nezhoršují pravidelnost proporcionálně s přidáváním dalších vlaků, ale že důsledky vyšší hustoty provozu se koncentrují spíše do systémového nárůstu celkového zatížení sítě. Tento rozdíl mezi absolutní a relativní veličinou dobře vystihuje, že problémem není pouze samotné zpoždění jednotlivých spojů, ale celková kumulace dopadů na celý systém, která může při překročení určité meze začít ovlivňovat i provozní robustnost a stabilitu jízdního řádu.

## 2.4 Simulace velikosti a růstu zpoždění

Na základě provedené simulace přenosu zpoždění bylo možné vyhodnotit výši zpoždění vznikajících v různých provozních scénářích a současně identifikovat klíčové faktory, které ovlivňují míru narušení plynulosti provozu. Z analýzy vyplynula celá řada faktů týkajících se vlivu místa a času křižování, sledu vlaků, přičemž se potvrdilo, že nejen počet křižování, ale zejména poloha dopraven s křižováním, sled vlaků a pořadí vzniku zpoždění mají zásadní

vliv na výsledné hodnoty zpoždění. Simulace tak umožnila přesně určit, kde, kdy a proč vzniká největší provozní zdržení.

Na tuto simulaci však bylo nutné navázat dalším pozorováním, které mělo za účel zjistit normovanou velikost a růst zpoždění. Byla provedena samostatná analýza zaměřená na výši zpoždění a jeho krok, tedy na sledování, s jakým krokem stoupá výše zpoždění v čase v závislosti na místě křižování vlaků. Pro tento účel byla využita shodná fiktivní trať jako v předchozích simulačních scénářích, přičemž struktura jízdního řádu, délky úseků a veškeré další prvky provozu zůstaly zachovány. Změna oproti předchozím modelům spočívala v tom, že počet křižování byl omezen pouze na tři předem definované varianty, a to cílem izolovat a přesněji sledovat vliv umístění stanic křižování na růst zpoždění. Konkrétně byly v simulaci testovány tři varianty provozního konceptu:

- Křižování výhradně ve stanicích A a F (tedy na krajních bodech trati)
- Křižování ve stanicích B a E (přibližně ve třetinách trasy)
- Křižování ve stanicích C a D (ve střední části trati)

Ve všech těchto variantách byl referenční vlak opět křižován s odpovídajícím počtem protijedoucích vlaků. Rozmístění stanic křižování bylo v každé variantě symetrické, aby bylo možné sledovat rozdíly vyplývající čistě z jejich pozice na trase, nikoliv z nerovnoměrného zatížení sítě.

Zkoumanými prvky v simulaci byly tzv. duplicitní červené vlaky, které byly do každé varianty opět zařazeny jako paralelní obrazy základních vlaků. Tyto červené vlaky měly identický jízdní řád jako ostatní spoje, avšak na rozdíl od nich byly záměrně zatíženy drobnějším provozním zpožděním vznikajícím při každém zastavení z důvodu výměny cestujících. Při každém zastavení pro výstup a nástup cestujících, byl stejně jako u předchozí simulace, pobyt prodloužen o 0,3 minuty (tj. 18 sekund).

Sledování zpožděných červených vlaků umožňuje analýzu kroku zpoždění v závislosti na poloze křižování. V každé ze tří variant bylo vyhodnoceno, jak se drobné zpoždění kumuluje, zda dochází ke zhoršení pravidelnosti v čase, a jak je ovlivňuje jednotlivé rozmístění křižování. Výsledky těchto simulací byly následně porovnávány nejen mezi sebou, ale také s hodnotami z předchozí části studie.

## Datové výstupy simulace

Výsledky ukázaly, že největší zpoždění i nejvyšší krok zpoždění vzniká při křižování ve stanicích A a F, což koresponduje s výsledky předchozí simulace. V tomto případě bylo průměrné zpoždění stanoveno na 2 minuty, přičemž krok zpoždění odpovídal hodnotě  $\frac{8}{10}$  minut, což znamená, že téměř každý další vlak v sérii vykazuje zpoždění vyšší o 0,8 minuty. Tento vývoj indikuje rychlou kumulaci provozních odchylek, která je pro stanice s krajními polohami typická. Naproti tomu ve variantě BE, která představuje křižování přibližně v první a třetí třetině tratě, bylo dosaženo zpoždění 0,8 minuty s krokem zpoždění  $\frac{8}{15}$  minut, což značí mnohem mírnější nárůst zpoždění v čase (0,533 minut). Nejlepší výsledky byly dosaženy při křižování ve stanicích C a D, tedy ve středu trati. Zde nebylo zaznamenáno žádné významné kumulované zpoždění, což svědčí o maximální provozní stabilitě této varianty.

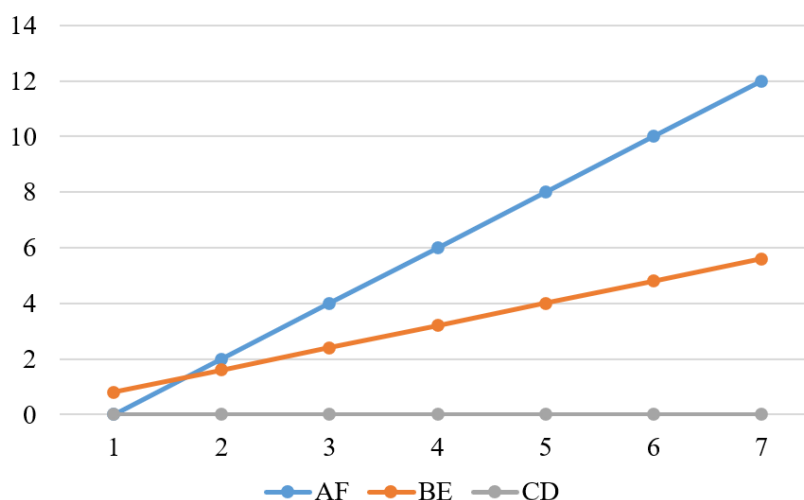
V tabulce jedenáct jsou uvedeny konkrétní hodnoty zpoždění pro jednotlivé varianty spolu s odpovídajícími stanicemi křižování.

Tabulka 11 Zpoždění v jednotlivých dopravních na trati v závislosti na jejich poloze

	Křižování ve stanicích		
	AF	BE	CD
Výše zpoždění [min]	0	0,8	0
	2	1,6	0
	4	2,4	0
	6	3,2	0
	8	4	0
	10	4,8	0
	12	5,6	0

Zdroj: autor

Kromě tabulkového zobrazení byly výsledky vizualizovány také formou grafu na obrázku dvanáct. Pomocí spojnic jsou znázorněny vývoje zpoždění (osa y v minutách) pro varianty AF, BE a CD v závislosti na n-tém vlaku v pořadí (osa x).



Obrázek 12 Závislost zpoždění n-tého vlaku na poloze dopravní určené pro křižování

Zdroj: autor

Na základě zjištěných hodnot byla provedena extrapolace kroků zpoždění pro další stanice na trati. Tento výpočet vycházel z již dříve známých empirických hodnot zpoždění při křižování ve stanicích A a F (0,8 minuty) a B a E (0,533 minuty), které byly identifikovány jako referenční body. Na jejich základě bylo možné pomocí jednoduchého extrapoláčnického matematického modelu odhadnout pravděpodobnou velikost kroku zpoždění také pro další, na fiktivní trati neexistující stanice.

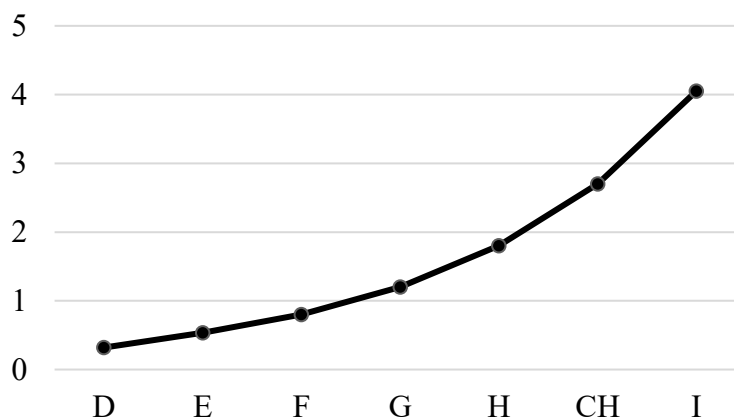
Pomocí tohoto postupu byly určeny následující hodnoty kroků zpoždění:

- Stanice C a D: 0,32 minuty<sup>8</sup>
- Stanice G: 1,2 minuty
- Stanice H: 1,8 minuty
- Stanice CH: 2,7 minuty
- Stanice I: 4,05 minuty

Tyto hodnoty byly získány na základě odhadového modelu nelineární závislosti mezi vzdáleností od ideální polohy křižování a nárůstem zpoždění. Z dostupných dat bylo patrné, že závislost není lineární – zpoždění roste s větší strmostí, čím více se křižování vlaků nachází v krajních částech tratě. Výsledek naznačuje, že růst kroku zpoždění při posunu směrem ke krajům trati je statisticky konzistentní s předchozími simulačními výsledky.

<sup>8</sup> Stanice C a D se na fiktivní trati nacházejí, z důvodu nulového navýšení výše zpoždění vlivem vzájemného ovlivnění protijedoucích vlaků, ale bylo nutné určit hodnotu kroku extrapoláčnickým matematickým modelem

Obrázek číslo třináct graficky znázorňuje krok zpoždění v závislosti na stanici křižování. Jasně ukazuje, že zpoždění narůstá nejen v absolutních hodnotách, ale také s rostoucí strmostí směrem ke krajním dopravnám.



Obrázek 13 Krok zpoždění v závislosti na stanici křižování

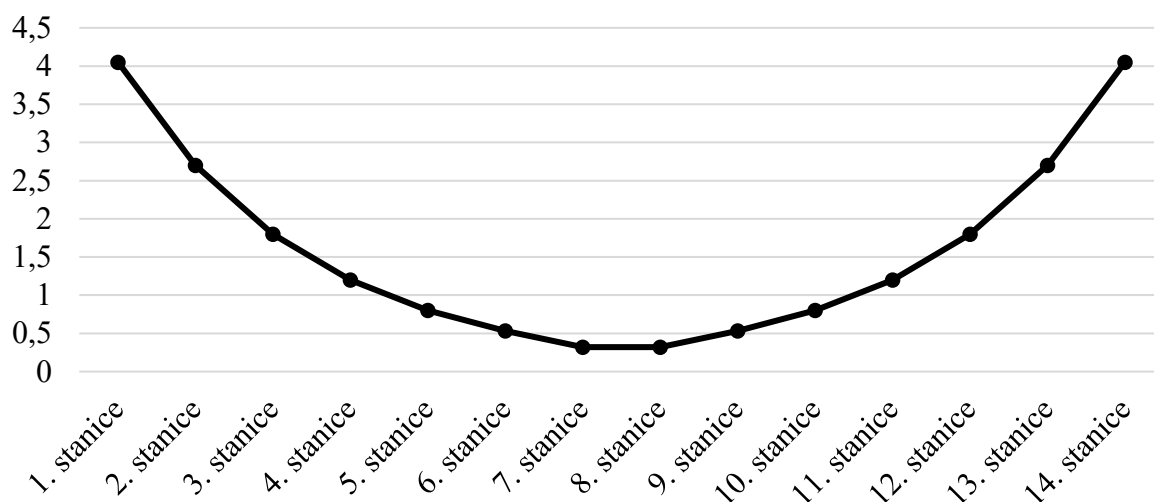
Zdroj: autor

Odhadnuté hodnoty kroků zpoždění poskytují užitečný rámec pro rozhodování o vhodnosti křižování v konkrétních dopravnách, aniž by bylo nutné opakovaně realizovat náročné simulační výpočty. Tento výpočet tak rozšiřuje dříve získané simulační poznatky a poskytuje praktické rozšíření analytických výsledků o předpokládané chování systému v dalších bodech trati, čímž přispívá ke komplexnějšímu pochopení vztahu mezi polohou křižování a akumulací zpoždění.

Dosavadní užití extrapolace bylo zaměřeno na jednu polovinu trati ve směru od středu k jedné krajní stanici. Pro potřeby celkové analýzy růstu zpoždění byl graf rozšířen také o druhou polovinu, a to tak, aby výsledný průběh byl osově symetrický vůči středu tratě. Tato úprava vychází z předpokladu, že infrastruktura i struktura provozu jsou symetrické, a že z hlediska modelu lze předpokládat obdobné chování zpoždění i v opačném směru.

Výsledkem je čtrnáctibodová posloupnost hodnot kroků zpoždění, ve které je možné sledovat, jak se tato veličina mění při posunu od krajní stanice směrem ke středu, a následně zpět ke druhému kraji. Nejvyšší hodnoty byly identifikovány na krajních bodech (1. a 14. stanice), kde krok zpoždění dosahuje 4,05 minuty, a dále plynule klesají přes hodnoty 2,7 – 1,8 – 1,2 – 0,8 – 0,533 až po minimum 0,32 minuty ve středních bodech (7. a 8. stanice). Poté se tento trend opakuje zrcadlově, což potvrzuje předpokládaný parabolický průběh nárůstu zpoždění směrem ke krajům.

Graf na obrázku číslo čtrnáct poskytuje kompletní přehled o prostorové distribuci kroku zpoždění a jasně dokládá, že nejnižší kroky zpoždění se vyskytují v centrální části trati, zatímco krajní dopravní vykazují výrazný nárůst kroku zpoždění.



Obrázek 14 Krok zpoždění v závislosti na stanici křižování – rozšířený model

Zdroj: autor

V tabulce číslo dvanáct jsou vypsány hodnoty kroků zpoždění pro jednotlivé stanice na rozšířené modelové trati, které byly vstupem pro graf na obrázku číslo čtrnáct.

Tabulka 12 Kroky zpoždění pro jednotlivé stanice na rozšířené modelové trati

Stanice	Krok zpoždění [min]	Stanice	Krok zpoždění [min]
1. stanice	4,05	8. stanice	0,32
2. stanice	2,70	9. stanice	0,53
3. stanice	1,80	10. stanice	0,80
4. stanice	1,20	11. stanice	1,20
5. stanice	0,80	12. stanice	1,80
6. stanice	0,53	13. stanice	2,70
7. stanice	0,32	14. stanice	4,05

Zdroj: autor

Na základě provedené analýzy zpoždění a extrapolovaných hodnot kroků zpoždění byla sestavena matematická rovnice, která umožňuje výpočet nejzazšího možného času odjezdu vlaku ze stanice, kde dochází ke křižování s protijedoucím vlakem. Tato rovnice byla vytvořena pro potřeby simulace tzv. „červených vlaků“, tedy obrazů původních vlaků zatížených provozním zpožděním, vznikajícím při každém zastavení pro výstup a nástup cestujících a případných dalších odchylek od jízdního řádu z důvodu již proběhlých křižování.

Výsledný vzorec umožňuje stanovit časový okamžik, po jehož uplynutí je možné vykonat odjezd vlaku. Vzorec vychází z několika proměnných, které zohledňují kritéria trasy vlaků, parametry stanice a další. Mezi tyto proměnné patří:

Nejzazší čas odjezdu	$T_{ODJ}$
Doba zpoždění zapříčiněná úkony spojenými s odjezdem vlaku	$t_u$
Počet zastavení pro výstup a nástup cestujících od výchozí stanice 1. vlaku	$n_{z1}$
Počet zastavení pro výstup a nástup cestujících od výchozí stanice 2. vlaku	$n_{z2}$
PIK v řešené stanici	$t_{PIK}$
Doba mezi příjezdem 1. vlaku a odjezdem 2. vlaku podle jízdního řádu	$t_{p0}$
Délka pobytu 2. vlaku	$t_{p2}$
Krok zpoždění řešené stanice	$k_z$
Pro n-tý vlak	$n_v$

Z hlediska výpočtu jsou rozlišeny dvě varianty podle vztahu mezi počtem předchozích zastavení u prvního a druhého vlaku:

Pro případ, kdy má 1. vlak více zastavení pro výstup a nástup cestujících než 2. vlak (pro  $n_{z1} \geq n_{z2}$ ), je vzorec definován následovně:

$$T_{ODJ} = ((t_u \cdot (n_{z1} - n_{z2})) - t_{PIK} + t_{p0}) + t_{p2} + k_z \cdot n_v - k_z$$

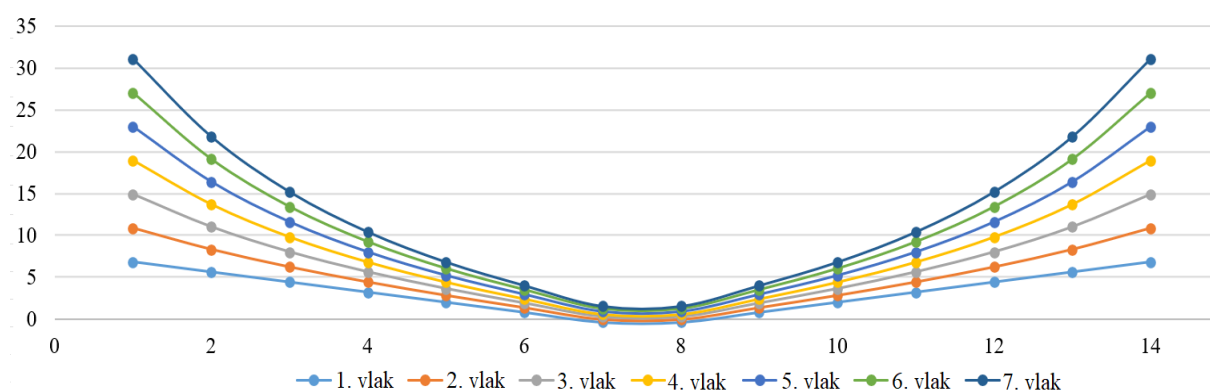
Pro případ, kdy má 2. vlak více zastavení pro výstup a nástup cestujících než 1. vlak (pro  $n_{z1} < n_{z2}$ ), je vzorec definován následovně:

$$T_{ODJ} = ((t_u \cdot (n_{z2} - n_{z1})) - t_{PIK} + t_{p0}) + t_{p2} + k_z \cdot n_v - k_z$$

Rovnice je postavena tak, aby zohlednila časovou odchylku v předchozím pohybu obou vlaků, přičemž rozdíl v počtu zastavení ovlivňuje rozdíl v provozním zpoždění. Hodnota  $t_u$  násobená rozdílem zastavení vyjadřuje rozdíl zpoždění, které jeden vlak nahromadil navíc oproti druhému. Odečtením provozního intervalu křižování  $t_{PIK}$  a přičtením doby trvání mezi příjezdem prvního vlaku a odjezdem druhého vlaku podle jízdního řádu se vytvoří základní časový rámec potřebný pro technologické uskutečnění křižování. Přičtení složky  $t_{p2}$  se zohlední délka pobytu druhého vlaku podle jízdního řádu. Koncová část vzorce s proměnnými  $k_z$  a  $n_v$  řeší růst zpoždění v čase. Díky předchozím matematickým operacím je možné zohlednit krok zpoždění, který je představován vypočtenou hodnotou pro konkrétní stanici podle její polohy z tabulky číslo dvanáct a určit tak hodnotu pro n-tý vlak v pořadí křižování řešené stanice.

Na základě dříve všech zjištěných hodnot kroků zpoždění pro jednotlivé stanice a s využitím matematického modelu umožňujícího výpočet absolutní hodnoty zpoždění v závislosti na provozních parametrech bylo možné sestavit vizuální nástroj pro znázornění růstu zpoždění. Konkrétně byl vytvořen graf, který ukazuje vývoj zpoždění ve vztahu k pořadí vlaku (n-tý vlak v pořadí) při zachování specifických vlastností dané stanice, především jejího kroku zpoždění, který je odvozen z její polohy v rámci tratě.

Graf na obrázku patnáct zviditelňuje, jak se zpoždění kumuluje s každým dalším vlakem v systému, a jak tento nárůst zrychluje nebo zpomaluje v závislosti na n-tém vlaku v pořadí a poloze stanice. Na ose x je vyneseno pořadí stanice na trati (stejně jako u obrázku čtrnáct a tabulky dvanáct), osa y představuje výši zpoždění v minutách. Každá jednotlivá spojnice grafu představuje n-tý vlak v pořadí.



Obrázek 15 Závislost výše hodnoty zpoždění na poloze stanice a pořadí vlaku

Zdroj: autor

Hodnoty zpoždění, které byly v rámci simulace namodelovány pro krajní kombinace, jako například při křižování v první stanici s vlakem se sedmém pořadí, dosahují velmi vysokých absolutních hodnot. Tyto extrémní výsledky však nepředstavují chybu výpočtu ani modelu, nýbrž odpovídají matematické logice kumulace zpoždění v systému s rostoucím krokem a počtem vlaků. Je však nutné podotknout, že jde o idealizovaný simulační model, ve kterém nejsou zohledněny určité praktické provozní limity, jako je nepravidelnost provozu, asymetričnost trati nebo dispečerské zásahy. V reálných provozních podmínkách by takového zpoždění nebylo vůbec možné dosáhnout, nebo by bylo eliminováno již mnohem dříve při nižších hodnotách. Výsledky proto slouží primárně k analytickému pochopení šíření zpoždění a nikoli jako přímá predikce provozní reality.

### 3 IMPLEMENTOVÁNÍ SIMULACE V REÁLNÉM PROVOZU

Výsledky provedené simulace přenosu a kumulace zpoždění vlaků mají velký potenciál pro implementaci v reálném železničním provozu. Díky znalosti vzorců šíření zpoždění, vlivu polohy křižování, hodnot kroků zpoždění a jejich vztahu k pořadí vlaků v jízdním řádu lze simulaci využít k praktickému rozhodování při plánování i operativním řízení železničního provozu. Modelování umožňuje předem identifikovat kritická místa s vyšší pravděpodobností vzniku a šíření zpoždění, na základě čehož lze zajistit vyšší provozní spolehlivost celé sítě.

#### 3.1 Možnosti aplikace simulace pro plánování provozu

V oblasti plánování dokáže být simulace dobrým pomocníkem v rámci tvorby jízdního řádu. S její pomocí lze vylepšit rozmístění křižování napříč tratí, navrhovat stabilnější jízdní řády a testovat různé provozní scénáře ještě před jejich zavedením. Na základě analýzy kroků zpoždění a chování systému při různých konfiguracích je možné navrhnout takové provozní uspořádání, které minimalizuje riziko šíření zpoždění a zvyšuje odolnost vůči běžným provozním odchylkám.

Jedním z hlavních využití je optimalizace rozmístění stanic, ve kterých bude podle jízdního řádu docházet ke křižování. Zjištění, že krajní polohy křižování generují vyšší zpoždění, ukazuje, že stanice pro křižování by měly být primárně situovány do středních částí tratí, kde krok zpoždění dosahuje nejnižších hodnot. Při návrhu jízdního řádu je tedy vhodné umisťovat křižování do těchto oblastí a minimalizovat křižování v blízkosti krajních bodů tratě.

Další oblastí, kde lze simulaci prakticky využít, je nastavení délek pobytů ve stanicích. Na základě hodnot kroků zpoždění je možné cíleně prodloužit pobyty v místech, kde je vyšší riziko kumulace provozních odchylek. Například v dopravnách s vyšším krokem zpoždění by měly být pobyty navrženy delší, aby vlaky měly větší rezervu pro vyrovnání drobných zpoždění bez přenosu do dalších úseků. Naopak v místech s nízkým krokem zpoždění lze pobyty zkrátit, aniž by byl ohrožena plynulost provozu.

Simulace také umožňuje kvalifikovaněji rozhodnout o umístění přípojů. Pokud má být ve stanici realizován přípoj mezi vlakem a autobusem (integrovaného dopravního systému), je výhodné vybírat takovou dopravnu, kde je nízký krok zpoždění, a tedy vysoká pravděpodobnost zachování přesnosti příjezdu a odjezdu. Přípoje realizované v dopravnách s vysokým rizikem zpoždění jsou náchylnější ke ztrátě návaznosti, což negativně ovlivňuje celkovou spolehlivost dopravní obslužnosti.

Při plánování provozu však nesmíme opomíjet ani infrastrukturní souvislosti. Výsledky analýz umožňují identifikovat stanice a úseky, kde je modernizace infrastruktury nejefektivnější. Například v dopravních s vyšším krokem zpoždění může být vhodné modernizovat zabezpečovací zařízení, nebo u nejvíce zatížených úseků zvážit zdvoukolejnění. Tyto zásahy přímo přispívají ke snížení míry přenášeného zpoždění a umožňují pružnější organizaci provozu i při vyšší frekvenci spojů.

Významný přínos má také pro strategické plánování dopravní obslužnosti. Pomocí modelu lze testovat kapacitní zatížení trati při zavádění nových vlaků nebo změnách taktu, a tím zabránit destabilizaci provozu ještě před zavedením změn do praxe.

### **3.2 Možnosti aplikace simulace pro operativní řízení provozu**

V oblasti operativního řízení může simulace sloužit jako nástroj predikce budoucího vývoje zpoždění a tím podpořit rychlá rozhodnutí dispečerů a výpravčích v případě běžných provozních odchylek i mimořádností. Jedním z hlavních přínosů simulace je možnost rychlého vyhodnocení důsledků jednotlivých rozhodnutí. Například při vzniklém zpoždění vlaku lze pomocí simulačního modelu určit, kam by bylo nejvýhodnější přesunout křižování, aby nedošlo k dominovému efektu a šíření zpoždění na další vlaky. Simulace rovněž umožňuje porovnávat různé varianty dispečerských zásahů (např. změnu pořadí vlaků, prodloužení pobytu ve stanici, rozvázání přípoje) a vybrat tu, která je v dané situaci systémově nejefektivnější.

Zejména u tratí s hustým taktovým provozem a nízkou mírou provozní rezervy může simulace sloužit jako rozhodovací podpora pro udržení stability a plynulosti dopravy. Díky tomu, že model zahrnuje i časovou dynamiku zpoždění, lze efektivně odhadnout rizika přenosu zpoždění v čase a připravit odpovídající reakce dříve, než dojde ke kritickému narušení provozu.

Kromě aktuálního řízení provozu může simulace sloužit také jako nástroj pro školení dispečerů a operátorů, kteří si na základě modelových situací mohou vyzkoušet reakce na různé mimořádnosti a pochopit dlouhodobé důsledky krátkodobých rozhodnutí.

#### **Železniční trať č. 240 Brno – Jihlava**

Pro aplikaci výsledků simulace do praktického prostředí byla zvolena trať číslo 240 z Brna do Jihlavy, a to z několika důvodů. Jedná se o trať s různorodou infrastrukturou, rozdílnými délkami mezistaničních úseků a proměnlivou intenzitou provozu, a právě provozní pestrost z ní činí vhodný modelový případ pro testování dopadů křižování, přenosu zpoždění a návrhu

zlepšujících opatření. Druhým důvodem výběru je skutečnost, že se autor této trati věnoval již ve své bakalářské práci, kde byly zpracovány alternativní možnosti jízdního řádu. Na tyto poznatky nyní diplomová práce navazuje rozšířenou simulační metodikou a hlubší analytickou interpretací výsledků.

Železniční trať č. 240 Brno – Jihlava je celostátní dráhou provozovanou Správou železnic. Jedná se o trať regionálního až nadregionálního významu, jejímž charakteristickým rysem je velká infrastrukturní různorodost, jak po stránce technického vybavení, tak provozních parametrů. Celková délka tratě činí přibližně 104 km. Trať začíná v železniční stanici Brno hlavní nádraží a pokračuje přes Zastávku u Brna, Náměšť nad Oslavou, Třebíč a další stanice až do Jihlavy, přičemž v některých úsecích sleduje trasu dálnice D1 a silnice I/23.

Úsek mezi Brnem a Zastávkou u Brna je v současnosti jediným dvoukolejným (vyjma úseku Brno hlavní nádraží – Brno-Horní Heršpice, kde je v souběhu s tratí 251) a elektrifikovaným úsekem na celé trati. Je vybaven moderním elektronickým zabezpečovacím zařízením s dálkovým řízením provozu a nově zřízenými zastávkami (např. Brno-Starý Lískovec, Ostopovice). Tento úsek prošel kompletní modernizací, včetně zavedení automatického bloku a výstavby mimoúrovňových přístupů na nástupiště. V budoucnu se zde plánuje spuštění jednotného evropského zabezpečovače ETCS. Elektrifikovaná část trati činí přibližně 24 km.

Mezi Zastávkou u Brna a Jihlavou je trať jednokolejná a neelektrifikovaná, často s nižší traťovou rychlostí a zastaralými typy zabezpečovacího zařízení. V některých úsecích je provoz řízen telefonickým dorozumíváním (např. Krahulov – Okříšky), nebo jsou stále používány elektromechanická či reléová staniční zabezpečovací zařízení. Právě v těchto úsecích naráží infrastruktura na své kapacitní limity, což snižuje spolehlivost provozu na celé trati.

Důležitými dopravními body vyjma počáteční a koncové stanice je například Třebíč, okresní město a důležitý dopravní uzel Kraje Vysočina. Železniční stanici přiléhá terminál regionální i městské autobusové dopravy. Významné jsou rovněž stanice Zastávka u Brna, která slouží jako přestupní terminál mezi železniční a autobusovou dopravou, nebo Okříšky, kde dochází k propojení s tratí č. 241 ve směru na Znojmo nebo stanice Studenec, kde se odděluje trať č. 257 do Velkého Meziříčí a Křižanova. (21)

### **Simulační modely**

V rámci aplikace simulační metodiky byly vytvořeny a analyzovány dva modely provozu, které vycházejí z jízdního řádu na trati 240 Brno – Jihlava zpracovaným v bakalářské práci autora. Pro účely simulace byla analyzováno časové období od 14 do 17 hodin,

kteře představuje vrchol dopravní špičky, tedy dobu s nejvyšší hustotou vlakového provozu, kdy dochází k nejčastějšímu křižování a nejvyššímu zatížení infrastruktury. Právě tato časová okna jsou pro simulaci nejvhodnější, protože umožňují dobře pozorovat vznik provozních konfliktů.

Pro účely analýzy byly všechny vlaky z původního jízdního řádu zduplikovány přidáním z této práce již známých tzv. „červených“ vlaků, což jsou vlaky se shodným trasováním, které však reprezentují zpožděné verze reálných vlaků. U každého zastavení dochází u těchto vlaků k systémovému zpoždění, jehož velikost byla stanovena na základě předchozích měření, což následně generuje zpoždění při křižování a sledu vlaků.

Pro možnost objektivního porovnání mezi variantami a vyhodnocení výhodnosti jednotlivých variant je u každé vypočtena celková hodnota zpoždění všech vlaků v simulaci. Pro účely porovnání byla vypočtena také průměrná hodnota zpoždění jednoho vlaku. Na praktickém příkladu simulace byl užit průměr místo mediánu, jako tomu bylo u měření úkonů spojených s odjezdem vlaku, protože simulace nezahrnuje extrémní výkyvy jako například několikahodinová zpoždění z důvodu poruchy hnacího vozidla, přírodních vlivů apod. Naopak citlivost na vyšší zpoždění je zde výhodnější pro ilustrativnější rozlišení výše zpoždění mezi variantami. Veškeré hodnoty zpoždění jsou vztaženy k poslední stanici každého jednoho vlaku v konkrétním simulačním modelu.

Simulace označené „X.0“ představují modely pro plánování provozu, které mohou být ovlivněny umělými vstupními odchylkami. Tyto verze simulací se dále již nevětví.

Simulace označené „X.n+1“ představují modely pro operativní řízení provozu, které zpravidla bývají ovlivněny umělými vstupními odchylkami. Tyto verze simulací se větví na několik variant řešení.

Pro další zpřehlednění jednotlivých variant jsou simulace modelů označeny následovně:

- Brno – Jihlava označeny číselnou řadou 1–9
- Třebíč – Jihlava označeny číselnou řadou 11–19
- Zastávka u Brna – Třebíč označeny číselnou řadou 21–29

Verze simulací, které mají za číselným označením příznak „a“ značí experimentální varianty modelu s alternací odjezdu vlaku. Uvažují tedy i některých vlaků s povolením odjezdu již v čase příjezdu do dané stanice.

Nejsložitější simulace jsou pro zpřehlednění větvění jednotlivých verzí doplněny vývojovými diagramy. Nákrešné jízdní řády jednotlivých verzí simulace zařazeny do přílohy C.

### **Simulační model 1.0**

Základní simulační model verze 1.0 představuje výchozí variantu analýzy, která je aplikována na celý úsek tratě 240 z Brna do Jihlavy. Tato simulace modeluje standardní provozní situaci, ve které všechny vlaky vstupují do systému bez počátečního zpoždění, a jediné provozní odchylky vznikají vlivem zpoždění způsobeného úkony spojenými s odjezdem vlaku. Hodnota těchto zpoždění, aplikovaných při každém zastavení za účelem výstupu a nástupu cestujících, vychází z empirického měření provedeného samotným autorem. Simulace tak umožňuje sledovat, jak se i relativně malé provozní ztráty, které vznikají opakovaně a kumulativně, projevují na celkové stabilitě systému. Model 1.0 zároveň poskytuje referenční základ pro následné varianty, které již pracují se vstupním zpožděním nebo mimořádnými zásahy, a slouží tak k vyhodnocení přirozeného dynamického chování systému bez vnějších vlivů. Celkové zpoždění v této verzi činí 94,4 minut, což při 36 vlacích generuje zpoždění průměrně 2,62 minut na jeden vlak.

### **Simulační model 2.0**

Druhý model navazuje na první verzi a rozšiřuje ji o vlivy provozního zpoždění. Všechny vlaky tedy do systému vstupují již se zpožděním, které vzniklo podle mechanismů modelovaných ve verzi 1.0. Tímto způsobem je možné pozorovat šíření a růst zpoždění v čase a prostoru a kvantifikovat, jaký vliv má úvodní provozní nerovnováha na vývoj celého systému.

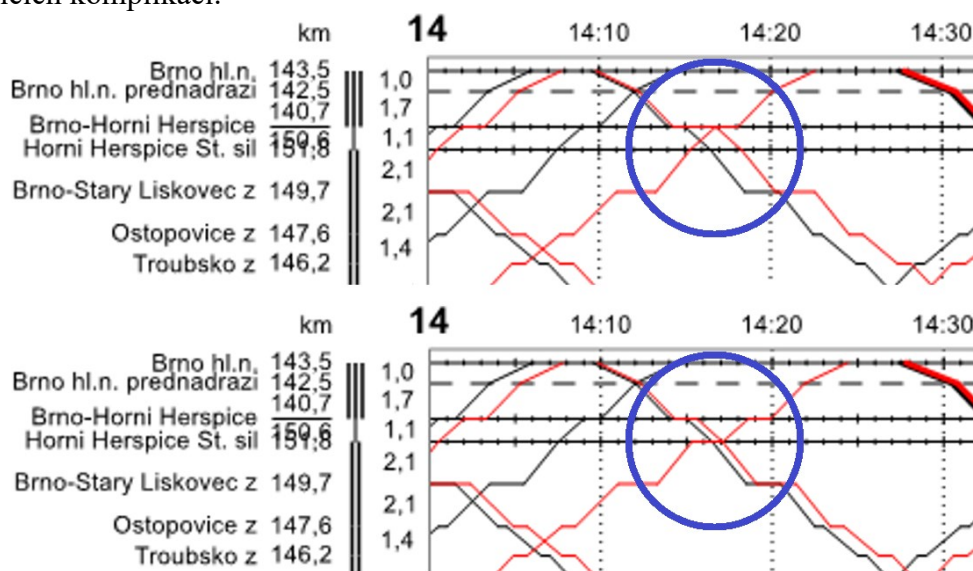
Takto definované modely umožňují srovnat teoreticky ideální stav s realistickým provozním scénářem, a poskytnout cenné poznatky o přenositelných důsledcích běžných provozních zdržení na celkovou stabilitu železniční dopravy na dané trati. Zpoždění v této verzi dosáhlo celkové hodnoty 99,9 minut. Průměrné zpoždění na jeden ze 36 vlaků tak dosahuje hodnoty 2,78 minut.

### **Simulační model 3.0**

Za účelem hlubšího zkoumání byla vytvořena simulační verze 3.0, která navazuje na základní model verze 1.0, avšak zavádí do systému fiktivní provozní odchylku. Cílem této varianty bylo otestovat, jaký dopad má časové předsunutí vlaků o jednu dvouhodinovou periodu na celkovou provozní stabilitu a zpoždění. Konkrétně jsou ve verzi 3.0 všechny vlaky z verze 1.0 posunuty o dvě hodiny zpět, čímž je vygenerována fiktivní prodloužená odpolední špička. V důsledku aplikace zmiňovaných opatření celkové zpoždění všech vlaků dosáhlo 138,6 minut. Průměrně se jedná o zpoždění 3,85 minut na jeden vlak (při celkovém počtu 36 vlaků).

### Simulační modely 3.X

Pro ilustraci možností využití simulace v rámci operativního řízení provozu byly vytvořeny verze 3.1.1, 3.1.2, 3.1.2a, 3.2.1 a 3.2.2. Vznikly jako nastavbové varianty simulační verze 3.0, která reprezentuje provozní situaci s posunutými vlaky – tedy model s fiktivně prodlouženou odpolední dopravní špičkou. Těchto pět verzí slouží jako modelové příklady možných dispečerských zásahů, jimiž lze reagovat na nepravidelnosti v provozu. Každá z nich testuje jiný způsob, jak lze systém stabilizovat úpravou některých klíčových parametrů, zejména polohy křižování a sled vlaků. Počátečním konfliktem je křižování osobních vlaků ve stanici Brno-Horní Heršpice v XX:17 hodin, který je znázorněn na obrázku číslo šestnáct. V následujících variantách je vytvořeno několik alternativních řešení této situací z toho vyplývajících komplikací.



Obrázek 16 Konflikt řešený v simulaci verze 3

Zdroj: autor

#### Simulační model 3.1.1

V této verzi simulace byl zkoumán postup při křižování v Brně-Horních Heršpicích odporující předpisům Správy železnic pro operativní řízení dopravy. Namísto zpožděného vlaku byl v jízdě upřednostněn vlak jedoucí včas, tj. vlak jedoucí z Brna. Křižování tedy bylo přeloženo ze samotné stanice do dopravny Horní Heršpice zhlaví Státní silnice. Důsledkem tohoto opatření je eliminováno zpoždění spěšného vlaku (v sudých hodinách), nebo rychlíku (v lichých hodinách) z důvodu nedejetí osobního vlaku mezi Rosicemi a Zastávkou u Brna nastávající přibližně v XX:49 hodin. Žádné další křižování nebylo přeloženo do jiné dopravny. Celková hodnota zpoždění této varianty činí 118,1 minut, což při počtu 36 vlaků generuje průměrné zpoždění 3,28 minut na jeden vlak.

### **Simulační model 3.1.2**

Tento simulační model navazuje na verzi 3.1 s upřednostněním vlaku jedoucího včas před vlakem zpožděnějším ve stanici Brno-Horní Heršpice. Rozdílné řešení však nastává při posouzení křižování spěšného vlaku s protijedoucím rychlíkem v 15:01 ve stanici Rapotice. Vzhledem k časové úspoře zpoždění spěšného vlaku bylo po vzoru Horních Heršpic přistoupeno ke křižování s upřednostněním vlaku jedoucího včas, a bylo tedy přeloženo do stanice Kralice nad Oslavou. Toto opatření má za důsledek další zpoždění protijedoucího rychlíku a následně i osobního vlaku výchozího ze stanice Zastávka u Brna, který musel vyčkat na jízdu ve sledu. Úspora času pro rychlík z Brna do Jihlavy s časem odjezdu v 15:25 při průjezdu Zastávkou u Brna ale přinesla opačný efekt. V důsledku úspory došlo k dřívějšímu příjezdu tohoto vlaku do stanice Bransouze. Následné čekání na protijedoucí osobní vlak a rozjíždění se po zastavení vygenerovalo další zpoždění. Celkové zpoždění této varianty simulace je 130,4 minut. Průměr na jeden ze 36 vlaků činí 3,62 minut.

### **Simulační model 3.1.2a**

Verze 3.1.2a je speciální podverzí svého obrazu 3.1.2. Za účelem snížení zpoždění byl u spěšných vlaků ve stanici Náměšť nad Oslavou umožněn odjezd vlaku v čase příjezdu, čímž bylo dosaženo celkové úspory 3,8 minuty na 126,6 minut. Průměrné zpoždění na jeden vlak kleslo na 3,54 minut.

### **Simulační model 3.2.1**

V této verzi bylo křižování osobních vlaků ve stanici Brno-Horní Heršpice provedeno v souladu s předpisy Správy železnic. Upřednostněn byl vlak s větším zpožděním jedoucí do Brna a poloha křižování zůstala zachována. Osobní vlak se v důsledku čekání na protijedoucí dostal mezi Rosicemi a Zastávkou u Brna do kolize s trasou rychlíku jedoucího ve sledu. Z toho důvodu byl rychlík ze stanice Střelice vypraven proti správnému směru a osobní vlak vyčkal jeho příjezdu v zastávce Tetčice. Po předjetí ve stanici Tetčice-Bobrava pokračoval zpožděný osobní vlak ve sledu za rychlíkem. Úspora zpoždění rychlíku však nese stejné negativum jako u verze 3.2 v souvislosti s křižováním ve stanici Bransouze. Tato varianta vygenerovala celkové zpoždění 142,9 minut. Průměrné zpoždění na jeden vlak činí 3,97 minut.

### **Simulační model 3.2.2**

Tato verze simulace navazuje na předchozí variantu 3.3. Křižování osobních vlaků v Horních Heršpicích zůstává v souladu s předpisy. Rozdílem je řešení situace nedostatečného následného mezidobí mezi osobním vlakem a rychlíkem při příjezdu do stanice Zastávka u Brna. Rychlík je ze stanice Střelice vypraven proti správnému směru až do Zastávky, kde na jeho příjezd čeká protijedoucí osobní vlak. Výše jeho zpoždění následně negativně ovlivňuje spěšný vlak jedoucí ze Střelice, který je zpoždován jeho jízdou. Urychlení průjezdu rychlíku stanicí Zastávka u Brna vytvoří stejnou negativní externalitu při křižování ve stanici Bransouze jako u variant 3.2 a 3.3. Celkové zpoždění této varianty oproti předchozí stouplo na rovných 150 minut, v průměru vzhledem k jednomu vlaku na 4,17 minut.

### **Simulační model 4.0**

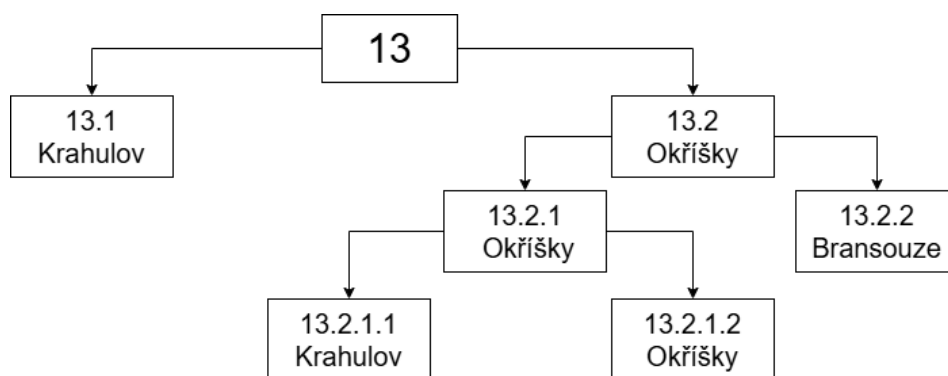
Čtvrtá verze simulace byla vytvořena pro celý úsek Brno – Jihlava a slouží k vyhodnocení chování systému v situaci, kdy do něj všechny vlaky vstupují již se vstupním zpožděním +5 minut. Tento model simuluje provozní situaci, která odpovídá například stavu po mimořádnosti, výlukovém omezení nebo zpožděném příjezdu více přípojných vlaků do uzlu Brno, kdy dochází k plošnému narušení jízdního řádu. Cílem bylo zjistit, jak se systém zachová při rovnoměrně rozprostřeném úvodním zpoždění – zda dojde k jeho postupnému utlumení, stabilizaci nebo naopak k další akumulaci zpoždění v důsledku interakcí mezi vlaky, zejména při křižování.

### **Simulační modely 11.0 a 12.0**

Pro detailnější analýzu dopadů provozního zpoždění na konkrétní části tratě byly vytvořeny simulační verze 11.0 a 12.0, které se zaměřují výhradně na úsek Třebíč – Jihlava. Tento úsek byl zvolen z důvodu charakteristické náchylnosti ke zpožděním v souvislosti s vysokým stupněm obsazení mezistaničních úseků ve špičkových obdobích. Ve verzi 11.0 vstupují všechny vlaky do systému bez zpoždění, čímž je vytvořen referenční základ pro srovnání. Zpoždění vlaků v této verzi dosahuje 36,5 minut v součtu a 3,04 v průměru na jeden vlak. Naproti tomu ve verzi 12.0 vstupují vlaky do systému taktéž bez zpoždění, avšak s jednou klíčovou výjimkou – první osobní vlak vstupující do simulace je zpožděn o 5 minut. Tato varianta umožňuje pozorovat, jak se toto jedno počáteční zpoždění šíří systémem, jak ovlivňuje následná křižování. Kvůli vlaku vstupujícímu do simulace se zpožděním celkové zpoždění všech vlaků stoupá na 69,5 min, průměrně na jeden vlak se jedná o hodnotu 5,79 minut.

## Simulační modely 13.X

Simulační řada 13.X zahrnuje několik verzí modelu, které vycházejí ze základní simulace 11.0, avšak rozšiřují ji o specifický provozní zásah – zpoždění 10 minut u prvního vlaku vstupujícího do simulace. Tato uměle zavedená odchylka umožňuje sledovat, jaký efekt má výraznější počáteční zpoždění na průběh provozu v úseku Třebíč – Jihlava, a jakým způsobem se toto zpoždění přenáší na další vlaky. Jednotlivé varianty v rámci řady 13.X, tedy 13.1, 13.2.1.1, 13.2.1.2 a 13.2.2, představují následné dispečerské reakce na konfliktní situace, které v systému v důsledku tohoto zpoždění vznikají. Každá z těchto verzí se snaží různým způsobem řešit nabalující se provozní konflikty přesunem křižování, pořadí vlaků nebo úpravou pobytů. Pro lepší přehlednost je na obrázku číslo sedmnáct znázorněn vývojový diagram větvení jednotlivých verzí řešení. U každé verze je uveden název stanice, do které stanice bylo přesunuto křižování vlaků.



Obrázek 17 Vývojový diagram verze 13

Zdroj: autor

### Simulační model 13.1

Tato verze modelu pracuje s křižováním zpožděného osobního vlaku s protijedoucím rychlíkem v souladu s pravidlem, kdy vlak nižší kategorie čeká na příjezd vlaku vyšší kategorie. V důsledku křižování však jeho zpoždění dosahuje takové hodnoty, že zpozdí rychlík jedoucí ve sledu za ním do Jihlavy. Vysoké zpoždění má negativní vliv i na další vlaky jedoucí v opačném i stejném směru a generuje u nich zpoždění až v nižších desítkách minut. Celkové zpoždění této varianty dosahuje hodnoty 84,8 minut, průměrné přepočtené na 1 z 12 vlaků v simulaci 7,07 minut.

### **Simulační model 13.2.1.1**

Na rozdíl od předchozí verze je v tomto modelu křižování přeloženo do stanice Okříšky. Uplatňuje se zde pravidlo, kdy má zpožděnější vlak přednost v jízdě před vlakem jedoucím včas. A to i přes fakt, že čekající vlak je vlakem vyšší kategorie. Zpoždění generující zpoždění dalších vlaků vytvoří konflikt mezi stanicemi Okříšky a Bransouze, který je řešen zachováním křižování ve stanici Okříšky. Jako první tedy jede v souladu s předpisy zpožděnější vlak. Následně vlivem dominového efektu dochází ke konfliktu mezi stanicemi Krahulov a Okříšky. Další postup byl totožný s předchozím konfliktem, tj. stanice křižování byla zachována a upřednostněn byl vlak s vyšším zpožděním. Celková hodnota zpoždění této varianty je 129,3 minut, což při přepočtu na jeden vlak odpovídá zpoždění ve výši 10,78 minut.

### **Simulační model 13.2.1.2**

Tento model vychází z předchozí verze 13.2.1.1 a shoduje se s uskutečněnými opatřeními až do konfliktu mezi stanicemi Krahulov a Okříšky po šestnácté hodině. Křižování je oproti jízdě včas přeloženo do stanice Okříšky, jako první tedy jede vlak jedoucí včas, zpožděnější vlak čeká. Vlivem vysokého zpoždění je nutné zpožděný osobní vlak předjet rychlíkem jedoucím ve sledu. Osobní vlak tedy v Okříškách nejprve čeká na protijedoucí osobní vlak a následně na uvolnění traťového úseku po rychlíku. Zpoždění vlaků v této verzi dosahuje ještě vyšších hodnot, celkově se jedná o 146,6 minut, průměrně o 12,22 minut.

### **Simulační model 13.2.2**

V této verzi simulace se vracíme ke konfliktu mezi stanicemi Okříšky a Bransouze. Křižování je přeloženo do druhé ze zmiňovaných stanic a upřednostněn je tak vlak jedoucí včas. Již tou dobou zpožděný vlak je opožděn o dalších 11,5 minut, ve své další jízdě ale už nemá vliv na žádné další vlaky. Celkové zpoždění v této variantě je mnohem nižší než u předchozích variant a dosahuje hodnoty „pouze“ 96,2 minut, průměrně tedy 8,02 minut.

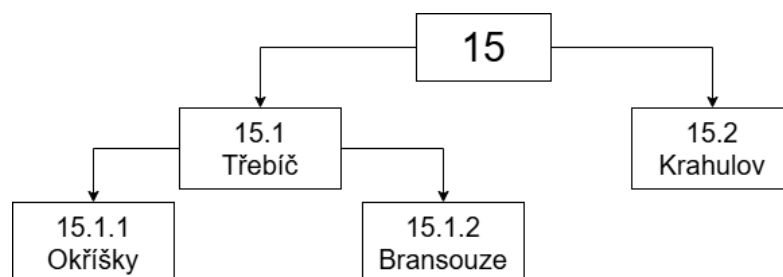
### **Simulační model 14.0**

Simulační verze 14.0 vychází z modelu 12.0, který analyzuje provozní situaci na úseku Třebíč – Jihlava za podmínky, že všechny vlaky vstupují do systému bez zpoždění, s výjimkou jednoho osobního vlaku, jenž má vstupní zpoždění +5 minut. Ve verzi 14.0 je místo osobního vlaku zpožděný rychlík, přičemž ostatní parametry zůstaly zachovány. Cílem této varianty bylo ověřit, jaký vliv má kategorie vlaku na šíření zpoždění v systému, zejména vzhledem k rozdílům v délce pobytů, frekvenci zastavení a případné provozní preferenci. Tato modifikace umožňuje

zhodnotit, zda má zpožděný rychlík tendenci ovlivnit provozní stabilitu jiným způsobem než osobní vlak, a zda vyvolává jiné konflikty v jízdním řádu, například s ohledem na předjíždění nebo křižování s osobními vlaky.

### Simulační modely 15.X

Simulační řada 15.X, zahrnující verze 15.1.1, 15.1.2 a 15.2, navazuje na model 14.0, oproti předchozí verzi je však první vlak zatížen počátečním zpožděním 10 minut. Jednotlivé varianty nejsou natolik větveny jako u předchozí simulační řady 13.X. Řešeny jsou pouze konflikty ve dvou mezistaničních úsecích, a to konkrétně Třebíč – Krahumlov a Okříšky – Bransouze. Vývojový diagram pro lepší přehlednost je na obrázku osmnáct.



Obrázek 18 Vývojový diagram verze 15

Zdroj: autor

#### Simulační model 15.1.1

V této verzi simulačního modelu je konflikt mezi stanicemi Třebíč a Krahumlov řešen standardně. Při křižování dvou rychlíků má přednost vlak zpožděnější, křižování se tak oproti jízdnímu řádu nepřesouvá. Druhý konflikt, který nastává mezi stanicemi Okříšky a Bransouze je řešen taktéž v souladu s předpisy. Přednostně jede zpožděnější ze dvojice osobních vlaků. Zpoždění všech vlaků u této verze simulace dosahuje celkem 144,70 minut, průměrně na jeden vlak 12,06 minut.

#### Simulační model 15.1.2

Tato verze modelu vychází ze simulace 15.1.1, kde jsou rychlíky křižovány v Třebíči. Rozdílné je řešení druhého konfliktu, kdy je upřednostněn vlak jedoucí včas a křižování je tedy přeloženo do stanice Bransouze. Vlak jedoucí do Třebíče i přes velmi velké zpoždění dále negativně neovlivňuje další vlaky. Celkem jsou vlaky zpožděny o 97 minut, průměrně o 8,08.

## **Simulační model 15.2**

U této verze je hned první křižování (rychlík a rychlík) přeloženo do stanice Krahulov. Vlak jedoucí do Jihlavy tedy projíždí bez dalšího zdržení a čeká zpožděný vlak. Celkové zpoždění všech vlaků díky takovému zásahu klesá o přibližně o třetinu na hodnotu 62 minut, průměrně je každý vlak opožděn o 5,17 minut.

## **Simulační modely 21.0 a 22.0**

Pro účely detailnější analýzy dopadů zpoždění v konkrétní části tratě byly vytvořeny simulační verze 21.0 a 22.0, které se zaměřují výhradně na úsek Zastávka u Brna – Třebíč. Tento úsek byl zvolen rovněž pro vysoký stupeň obsazení, zároveň ním projíždějí všechny kategorie osobních vlaků jedoucích na zkoumané trati. Verze 21.0 představuje základní model, ve kterém všechny vlaky vstupují do simulace bez zpoždění, čímž slouží jako referenční scénář pro hodnocení vlivu provozní nepravidelnosti. Vlaky zde dosahují celkového zpoždění 30,6 minut a průměrného zpoždění 2,19 minut.

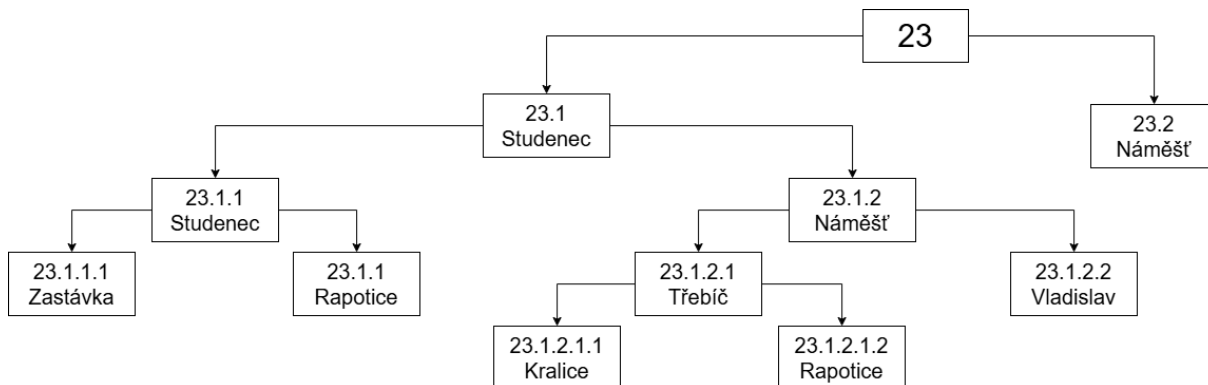
Naproti tomu ve verzi 22.0 je zachován včasný příjezd všech vlaků s výjimkou prvního osobního vlaku, který vstupuje do systému se zpožděním +5 minut. Cílem této úpravy bylo simulovat běžnou provozní situaci, kdy dojde k opožděnému výjezdu spoje z uzlového bodu, a sledovat, jak se toto zpoždění promítne do dalších křižování a vzájemných interakcí vlaků v úseku. Zpoždění všech vlaků se zde akumulovalo na hodnotu 47,6 minut. Každý jeden vlak je průměrně opožděn o 3,4 minuty.

## **Simulační modely 23.X**

Simulační řada 23.X zahrnuje soubor variant, které vycházejí ze základní simulace 22.0, avšak s modifikací, kdy první osobní vlak vstupuje do systému se zpožděním +10 minut. Cílem těchto variant je detailně sledovat, jak se toto zpoždění postupně přenáší systémem a vyvolává konflikty v jízdním řádu, a zároveň testovat různé způsoby, jak na ně reagovat. Jednotlivé verze simulace 23.1.1.1, 23.1.1.2, 23.1.2.1.1, 23.1.2.1.2, 23.1.2.2 a 23.2 systematicky řeší vznikající konfliktní situace, které se v důsledku zpoždění řetězí v různých úsecích trati.

Konflikty v těchto simulacích postupně vznikají v důsledku nestihnutého křižování nebo nedodržení časového sledu mezi vlaky, konkrétně v mezistaničních úsecích Náměšť – Studenec, znovu mezi Náměští – Studencem s vlivem předchozího křižování právě ve Studenci, dále v úseku Zastávka – Rapotice, a také mezi stanicemi Třebíč – Vladislav a Rapotice – Kralice nad Oslavou. Každá verze simuluje různou variantu dispečerského zásahu, jako je například změna křižování, přehodnocení sledu vlaků nebo přenesení provozního zpoždění na jiný spoj.

Tato simulační řada slouží jako modelový příklad toho, jak může jedno významnější zpoždění generovat komplexní řetězec provozních komplikací a jak lze pomocí simulace vyhodnotit, která zásahová strategie je z hlediska stabilizace systému nejefektivnější. Vývojový diagram větvení verze 23 je znázorněn na obrázku číslo devatenáct.



Obrázek 19 Vývojový diagram verze 23

Zdroj: autor

### Simulační model 23.1.1.1

První z verzí této řady se zabývá dvojicí křižování ve stanici Studenec, přičemž jedno je zde pravidelně uskutečňováno podle jízdního řádu a druhé je zde přeložené ze stanice Náměšť nad Oslavou kvůli snaze eliminovat zpoždění. Osobní vlaky zde křižují pravidelně a zpožděný vlak směr Třebíč jede prioritně. Druhé, přeložené křižování, zvýhodňuje rychlík, který je upřednostněn před čekajícím zpožděným osobním vlakem směr Náměšť. Třetí konflikt nastává v úseku mezi stanicemi Zastávka u Brna a Rapotice. V této verzi simulace se ctí přednost zpožděnějšího vlaku a křižování tedy probíhá v Zastávce u Brna, ačkoliv na něj čeká spěšný vlak. Ten následně zpozdí ještě protijedoucí rychlík. Zpoždění vlaků v této verzi dosahuje celkem 62,70 minut, průměrně 4,48 minut na jeden ze čtrnácti vlaků.

### Simulační model 23.1.1.2

V této verzi simulace je zopakován postup dvojího křižování ve stanici Studenec. Rozdíl přichází ve třetím konfliktu, kde je upřednostněn vlak vyšší kategorie. Osobní vlak čeká ve stanici Rapotice nejen na protijedoucí spěšný vlak, ale následně jej také předjíždí rychlík jedoucí stejným směrem. Osobní vlak tedy může pokračovat až po uvolnění oddílu před automatickým hradlem Příbram na Moravě. Celkové zpoždění vlaků zde vyšplhalo na 104,4 minut, průměrné poté na 7,46 minut.

### **Simulační model 23.1.2.1.1**

Tato verze simulace zachovává nejen křižování osobních vlaků ve stanici Studenec, ale také plánované křižování osobního vlaku s rychlíkem ve stanici Náměšť nad Oslavou. Vlak vyšší kategorie tak dává přednost zpožděnějšímu vlaku. Třetím řešením konfliktem je zachování křižování rychlíků ve stanici Třebíč. Opět má prioritu zpožděnější vlak, tj. rychlík mířící k Třebíči. Posledním řešeným konfliktem je křižování spěšného vlaku s rychlíkem, které je vzhledem k ke zpoždění druhého ze zmiňovaných vlaků přeloženo ze stanice Rapotice do stanice Kralice nad Oslavou. Oba vlaky by v obou dopravních vhodných ke křižování zastavily pouze z dopravních důvodů. Zpoždění vlaků zde klesá téměř o polovinu na 57,3 minut celkově a 4,09 průměrně.

### **Simulační model 23.1.2.1.2**

U této verze modelu je zachován koncept přednosti vlaků s vyššími hodnotami zpoždění, z čehož vyplývá křižování ve stanicích Studenec, Náměšť nad Oslavou a Třebíč. Rozhodným konfliktem je zde křižování spěšného vlaku a rychlíku, které je zachováno ve stanici Rapotice a opět je upřednostněn vlak jedoucí opožděně (rychlík). Celkem se v této variantě vlaky zpozdí rovnou jednu hodinu, průměrně poté o 4,29 minut.

### **Simulační model 23.1.2.2**

Tento model opět pracuje s prioritou zpožděnějších vlaků u prvních dvou konfliktů v simulaci. Odlišný postup nastává při křižování rychlíků, které je přeloženo ze stanice Třebíč do stanice Vladislav. Díky upřednostnění vlaku jedoucího včas (od Třebíče) zpoždění všech vlaků mírně klesá na 54,1 minut, průměrně poté na 3,86 minut.

### **Simulační model 23.2**

Poslední zkoumaná verze série 23 jako jediná řeší první křižování přeložením do stanice Náměšť nad Oslavou a upřednostní tak osobní vlak jedoucí včas. Čekající zpožděný osobní vlak směr Třebíč následně pouští ještě rychlík jedoucí stejným směrem. Celkové zpoždění je podobné jako u předchozí verze a dosahuje hodnoty 54,9 minut. Průměrně je každý vlak zpožděn o 3,92 minut.

### **Simulační model 24.1**

Simulační verze 24.1 je zaměřena na úsek Zastávka u Brna – Třebíč a představuje modelovou situaci, ve které všechny vlaky vstupují do systému bez zpoždění, s výjimkou

prvního rychlíku, jenž je zatížen počátečním zpožděním +10 minut. Tento scénář byl navržen k posouzení vlivu výraznější odchylky u dálkového vlaku vyšší kategorie. Navzdory zdánlivě vysoké hodnotě zpoždění se však v průběhu simulace ukázalo, že díky dostatečné časové rezervě v jízdním řádu – konkrétně delšímu plánovanému pobytu osobního vlaku, který se s rychlíkem křížuje – došlo k částečné absorpci tohoto zpoždění. V důsledku toho se jeho opoždění se ve výsledku projevilo v systému pouze jako kdyby vstupní zpoždění dosahovalo přibližně +5 minut. Křížování zde probíhá standardně bez nutnosti větších zásahů a hodnota zpoždění všech vlaků dosahuje 46,7 minut. Průměrné zpoždění pro jeden ze čtrnácti vlaků dosahuje výše 3,34 minut.

### **Simulační model 24.2a**

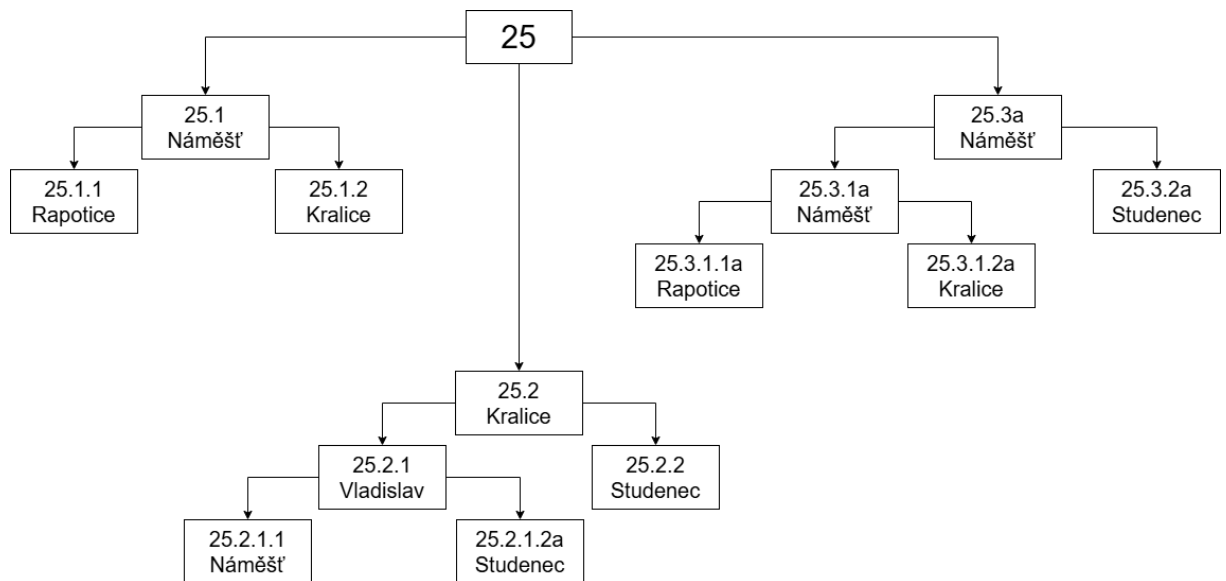
V této verzi simulace proběhl pokus s alternací odjezdu vlaku, a to v podobě upřednostnění osobního vlaku před rychlíkem. Místo čekání na protijedoucí rychlík, osobní vlak odjel již v čase příjezdu do další dopravní (Kralice nad Oslavou), kam bylo přeloženo křížování. Zpoždění u této alternativní varianty dosáhlo 50,2 minut pro všechny vlaky a 3,59 minut u jednoho vlaku.

### **Simulační modely 25.X**

Simulační řada 25.X, zahrnující verze 25.1.1, 25.1.2, 25.2.1.1, 25.2.1.2a, 25.2.2, 25.3.1.1a, 25.3.1.2a a 25.3.2a, navazuje na výchozí model 24.0, v němž byl zkoumán provozní úsek Zastávka u Brna – Třebíč. Oproti předchozí simulaci, kde první rychlík vstupoval do systému se zpožděním +10 minut, pracují verze řady 25.X se zvýšeným zpožděním rychlíku o 15 minut. I v tomto případě však dochází k částečné eliminaci zpoždění díky časové rezervě v podobě prodlouženého pobytu osobního vlaku, který s rychlíkem křížuje. Výsledkem je, že do systému se zpoždění fakticky promítá přibližně jako +10 minut.

Jednotlivé varianty této simulační řady dále řeší konflikty v jízdním řádu, které se postupně nabalují v důsledku úvodního zpoždění, přičemž se jedná zejména o situace mající zárodek v souvislosti s křížováním ve stanicích Náměšť nad Oslavou a Kralice nad Oslavou. Zvláštní pozornost je ve verzích 25.2 a 25.3 věnována také variantám s příznakem „a“, kde je umožněn odjezd vlaku již v čase příjezdu. Následkem takových zásahů však dochází k dominovému efektu, kdy se konflikty přenášejí na další vlaky, čímž vzniká potřeba dalších dispečerských rozhodnutí.

Tato rozsáhlá simulační řada slouží jako modelová reprezentace komplexního narušení provozu, kde se z jediného opožděného rychlíku může řetězit celá série časových konfliktů. Na obrázku dvacet je znázorněn její vývojový diagram.



Obrázek 20 Vývojový diagram verze 25

Zdroj: autor

### Simulační model 25.1.1

První rozhodovací problém v této verzi nastává při křižování zpožděného rychlíku s protijedoucím osobním vlakem ve stanici Náměšť nad Oslavou. Situace je však vyřešena standardním způsobem a vlak nižší kategorie čeká na zpožděnější vlak vyšší kategorie. Druhý konflikt nastává mezi stanicemi Rapotice a Kralice nad Oslavou, kde je třeba křižovat spěšný vlak s rychlíkem. Problém je vyřešen obdobně jako při předchozí situaci, je upřednostněn vlak vyšší kategorie s větším zpožděním. Zpoždění vlaků dosahuje 60,8 minuty, průměrně se jedná o 4,34 minut.

### Simulační model 25.1.2

Počáteční křižování tohoto modelu zůstává shodné jako v předchozí verzi, tj. osobní vlak čeká ve stanici Náměšť nad Oslavou. Rozdílný postup však byl vyhodnocen u druhého křižování. Spěšný vlak je upřednostněn, a rychlík na něj čeká ve stanici Kralice nad Oslavou. Zpoždění vlaků v této verzi dosahuje téměř identických časových hodnot, a to konkrétně 60,7 minut pro všechny vlaky a 4,34 minut pro jeden.

### **Simulační model 25.2.1.1**

Za účelem zkoumání vlivů nestandardních opatření byl v této verzi upřednostněn osobní vlak před rychlíkem a jejich vzájemné křižování tak bylo přeloženo do stanice Kralice nad Oslavou. Zpožděný rychlík byl následně ve stanici Vladislav upřednostněn před protijedoucím vlakem stejné kategorie. Posledním řešeným konfliktem v této verzi simulace bylo křižování rychlíku jedoucího od Třebíče s osobním vlakem do Třebíče, které bylo podle plánu zachováno ve stanici Náměšť nad Oslavou. Celkové zpoždění vlaků dosáhlo 62,9 minut, průměrné zpoždění dosáhlo 4,49 minut.

### **Simulační model 25.2.1.2a**

V této verzi simulace byly zachovány polohy křižování ve stanicích Kralice nad Oslavou a Vladislav jako u předchozí varianty. Odlišně ale byla vyhodnocena situace třetího křižování, kdy byl u osobního použit alternativní odjezd v čase příjezdu (v tomto případě ihned po uplynutí nezbytného pobytu) a křižování bylo přeloženo do stanice Studenec. Zpoždění ale kvůli tomuto opatření stoupl na 67,8 minut sumárně a 4,84 minut průměrně.

### **Simulační model 25.2.2**

Tato verze simulace je de facto opakem verzi 25.2.1.1, protože první dvě řešená křižování byla přeložena a v obou případech tak upřednostněny vlak jedoucí včas. Křižování z Náměště nad Oslavou bylo přeloženo do Kralic nad Oslavou, a křižování z Vladislavi bylo přeloženo do Studence. Třetí konflikt zde již nenastává. Zpoždění vlaků v této variantě však oproti zmiňované variantě mírně stoupl na celkových 63,5 minut a průměrných 4,54 minut.

### **Simulační model 25.3.1.1a**

Následující verze jsou zaměřeny na časové zvýhodnění vlaku formou možnosti odjezdu již v čase příjezdu. Osobní vlak je místo čekání v Náměšti nad Oslavou vypraven dříve, a křižování s protijedoucím rychlíkem tak proběhne až ve stanici Kralice nad Oslavou. Vlivem aplikace tohoto opatření není rychlík nijak zpožděn. Dále nastává konflikt mezi osobním vlakem a rychlíkem, který je vyřešen křižováním podle plánu ve stanici Náměšť nad Oslavou. Posledním křižováním s nutností zásahu v této verzi je konflikt mezi spěšným vlakem a rychlíkem ve stanici Rapotice. Zde je opět křižováno bez změny stanice. Celkové zpoždění stoupl na 66,3 minut pro všechny vlaky a 4,74 minut pro jeden vlak.

### **Simulační model 25.3.1.2a**

Další model verze 25 vychází z předchozí zmiňované simulace. Zůstává uspišený odjezd osobního vlaku a křižování dalšího protijedoucího vlaku s rychlíkem ve stanici Náměšť nad Oslavou. Změna nastává mezi stanicemi Rapotice a Kralice nad Oslavou, kde je upřednostněn spěšný vlak jedoucí s náskokem před zpožděným rychlíkem. Díky tomuto alternativnímu opatření klesá celkové zpoždění na 55,8 minut a průměrné na 3,99 minut.

### **Simulační model 25.3.2a**

Poslední varianta řeší křižování ve třech stanicích, přičemž vždy upřednostní vlaky jedoucí před pravidelným časem odjezdu. Poprvé se jedná o osobní vlak jedoucí z Náměště nad Oslavou do Kralic nad Oslavou, podruhé o spěšný vlak jedoucí z Rapotic do Kralic nad Oslavou. Změnou je v této variantě upřednostnění také osobního vlaku před rychlíkem a s tím spojený přesun křižování ze stanice Náměšť nad Oslavou do stanice Studenec. Celkové zpoždění zde ještě kleslo, a to na celkových 54,8 minut a průměrných 3,91 minut.

## **3.3 Vyhodnocení simulace a návrhy zlepšujících opatření**

Cílem vyhodnocení simulace aplikované na trati z Brna do Jihlavy je získat přehled o rozsahu zpoždění, které v jednotlivých variantách vzniká. U každé varianty bylo vyčísleno celkové zpoždění všech vlaků i průměrné zpoždění jednoho vlaku. Výsledky byly rozčleněny podle kategorií vlaků – osobních (Os), spěšných (Sp) a rychlíků (R).

Toto vyhodnocení představuje analytický podklad pro následné provozně-ekonomické zhodnocení. Na základě zjištěných hodnot bude možné přepočítat časové ztráty způsobené zpožděními na finanční hodnotu, a tím posoudit efektivitu jednotlivých opatření navržených v simulaci. Díky podrobnému členění podle kategorií vlaků bude možné zohlednit rozdílnou ekonomickou hodnotu času. Podrobné hodnoty zpoždění v minutách dle jednotlivých variant a kategorií vlaků jsou zobrazeny v tabulce číslo třináct na další straně.

Tabulka 13 Zpoždění v simulaci na trati 240

Verze simulace	$\Sigma$ vlaků Os	$\Sigma$ zpož. vlaků Os	$\emptyset$ zpož. vlaku Os	$\Sigma$ vlaků Sp	$\Sigma$ zpož. vlaků Sp	$\emptyset$ zpož. vlaku Sp	$\Sigma$ vlaků R	$\Sigma$ zpož. vlaků R	$\emptyset$ zpož. vlaku R	$\Sigma$ vlaků	$\Sigma$ zpož.	$\emptyset$ zpož.
1.0	25	78,5	3,14	7	6,1	0,87	4	9,8	2,45	36	94,4	2,62
2.0	25	81,7	3,27	7	6,1	0,87	4	12,1	3,03	36	99,9	2,78
3.0	25	115,1	4,60	7	8,4	1,20	4	15,1	3,78	36	138,6	3,85
3.1.1	25	93,7	3,75	7	8,4	1,20	4	16,0	4,00	36	118,1	3,28
3.1.2	25	103,6	4,14	7	6,3	0,90	4	20,5	5,13	36	130,4	3,62
3.1.2a	25	103,6	4,14	7	3,5	0,50	4	20,5	5,13	36	127,6	3,54
3.2.1	25	119,1	4,76	7	8,4	1,20	4	15,4	3,85	36	142,9	3,97
3.2.2	25	122,9	4,92	7	11,7	1,67	4	15,4	3,85	36	150,0	4,17
4.0	25	130,7	5,23	7	7,7	1,10	4	26,0	6,50	36	164,4	4,57
11.0	8	28,9	3,61				4	7,6	1,90	12	36,5	3,04
12.0	8	52,6	6,58				4	16,9	4,23	12	69,5	5,79
13.1	8	71,5	8,94				4	13,3	3,33	12	84,8	7,07
13.2.1.1	8	92,4	11,55				4	36,9	9,23	12	129,3	10,78
13.2.1.2	8	108,0	13,50				4	38,6	9,65	12	146,6	12,22
13.2.2	8	58,4	7,30				4	37,8	9,45	12	96,2	8,02
14.0	8	55,9	6,99				4	21,6	5,40	12	77,5	6,46
15.1.1	8	109,7	13,71				4	35,0	8,75	12	144,7	12,06
15.1.2	8	68,4	8,55				4	28,6	7,15	12	97,0	8,08
15.2	8	38,6	4,83				4	23,4	5,85	12	62,0	5,17
21.0	8	22,1	2,76	2	3,1	1,55	4	5,4	1,35	14	30,6	2,19
22.0	8	32,4	4,05	2	5,0	2,50	4	10,2	2,55	14	47,6	3,40
23.1.1.1	8	46,5	5,81	2	5,7	2,85	4	10,5	2,63	14	62,7	4,48
23.1.1.2	8	81,5	10,19	2	9,3	4,65	4	13,6	3,40	14	104,4	7,46
23.1.2.1.1	8	36,4	4,55	2	2,7	1,35	4	18,2	4,55	14	57,3	4,09
23.1.2.1.2	8	36,4	4,55	2	7,6	3,80	4	16,0	4,00	14	60,0	4,29
23.1.2.2	8	33,3	4,16	2	3,1	1,55	4	17,7	4,43	14	54,1	3,86
23.2	8	47,2	5,90	2	3,7	1,85	4	6,0	1,50	14	54,9	3,92
24.1	8	24,9	3,11	2	3,1	1,55	4	18,7	4,68	14	46,7	3,34
24.2a	8	23,2	2,90	2	5,5	2,75	4	21,5	5,38	14	50,2	3,59
25.1.1	8	31,4	3,93	2	6,3	3,15	4	23,1	5,78	14	60,8	4,34
25.1.2	8	31,4	3,93	2	0,8	0,40	4	26,6	6,65	14	58,8	4,20
25.2.1.1	8	27,2	3,40	2	3,3	1,65	4	32,4	8,10	14	62,9	4,49
25.2.1.2a	8	30,2	3,78	2	4,0	2,00	4	33,6	8,40	14	67,8	4,84
25.2.2	8	25,7	3,21	2	3,1	1,55	4	34,7	8,68	14	63,5	4,54
25.3.1.1a	8	24,8	3,10	2	7,0	3,50	4	34,5	8,63	14	66,3	4,74
25.3.1.2a	8	25,8	3,23	2	0,8	0,40	4	27,3	6,83	14	53,9	3,85
25.3.2a	8	23,2	2,90	2	2,5	1,25	4	28,9	7,23	14	54,6	3,90

Zdroj: autor

## Priorita kategorie vlaků

Pro zpřesnění vyhodnocení výsledků simulací bylo přistoupeno k váženému průměru. Zpoždění jednotlivých vlaků je násobeno koeficienty odrážejícími důležitost dané kategorie vlaku v rámci dopravního systému. Tyto koeficienty byly převzaty z diplomové práce s názvem „Krátkodobá predikce organizace jízd na dvoukolejně trati při výlukách s podporou simulace“ od Ing. Lukáše Křížana vypracované na Dopravní fakultě Jana Pernera. (22) Díky nim je možné lépe zohlednit rozdílný význam zpoždění například u rychlíku oproti osobnímu vlaku. Aplikací váženého průměru je možné získat realističtější obraz dopadu zpoždění na systém osobní železniční dopravy a výsledky tak lépe využít pro následné provozně-ekonomické hodnocení. Koeficienty důležitosti kategorie vlaku jsou následující:

- Rychlíky 7,60
- Spěšné vlaky 6,43
- Osobní vlaky 5,85

Srovnání pořadí výhodnosti jednotlivých verzí simulace před a po korekci hodnot zpoždění v minutách pomocí koeficientů je přehledně znázorněno v tabulce číslo čtrnáct.

Tabulka 14 Porovnání zpoždění při využití koeficientů

Verze simulace	Před korekcí		Po korekci		Verze simulace	Před korekcí		Po korekci	
	Ø zpoždění	Pořadí verze	Ø zpoždění	Pořadí verze		Ø zpoždění	Pořadí verze	Ø zpoždění	Pořadí verze
1.0	2,62		2,58		21.0	2,19		1,72	
2.0	2,78		2,39		22.0	3,40		2,57	
3.0	3,85	4.	3,35	4.	23.1.1.1	4,48	5.	3,54	5.
<b>3.1.1</b>	<b>3,28</b>	<b>1.</b>	<b>2,79</b>	<b>1.</b>	23.1.1.2	7,46	6.	6,11	6.
3.1.2	3,62	3.	3,01	3.	23.1.2.1.1	4,09	3.	2,76	2.
3.1.2a	3,54	2.	2,93	2.	23.1.2.1.2	4,29	4.	3,08	3.
3.2.1	3,97	5.	3,46	5.	<b>23.1.2.2</b>	<b>3,86</b>	<b>1.</b>	<b>2,58</b>	<b>1.</b>
3.2.2	4,17	6.	3,65	6.	23.2	3,92	2.	3,40	4.
4.0	4,57		3,79		<b>24.1</b>	<b>3,34</b>	<b>1.</b>	<b>2,05</b>	<b>1.</b>
11.0	3,04		2,29		24.2a	3,59	2.	2,14	2.
12.0	5,79		4,20		25.1.1	4,34	4.	2,75	8.
<b>13.1</b>	<b>7,07</b>	<b>1.</b>	<b>5,59</b>	<b>2.</b>	25.1.2	4,20	3.	2,39	5.
13.2.1.1	10,78	3.	7,48	3.	25.2.1.1	4,49	5.	2,36	4.
13.2.1.2	12,22	4.	8,68	4.	25.2.1.2a	4,84	8.	2,62	7.
<b>13.2.2</b>	<b>8,02</b>	<b>2.</b>	<b>4,92</b>	<b>1.</b>	25.2.2	4,54	6.	2,28	3.
14.0	6,46		4,52		25.3.1.1a	4,74	7.	2,49	6.
15.1.1	12,06	3.	8,77	3.	<b>25.3.1.2a</b>	<b>3,85</b>	<b>1.</b>	<b>2,04</b>	<b>2.</b>
15.1.2	8,08	2.	5,55	2.	<b>25.3.2a</b>	<b>3,90</b>	<b>2.</b>	<b>2,01</b>	<b>1.</b>
<b>15.2</b>	<b>5,17</b>	<b>1.</b>	<b>3,23</b>	<b>1.</b>					

Zdroj: autor

Na základě provedených simulačních scénářů lze konstatovat, že v některých provozních situacích může být z hlediska minimalizace celkového zpoždění systému výhodnější rozhodovat o přednosti vlaků v rozporu s ustanoveními předpisu „SŽ D1 ČÁST PRVNÍ Dopravní a návěstní předpis pro tratě nevybavené evropským vlakovým zabezpečovačem“, konkrétně Kapitoly VIII, Dílu 5, článku 252. Tento článek stanovuje závazné pořadí přednosti vlaků podle kategorie, seřazeno dle priority: rychlík, spěšný vlak, osobní vlak. V případě shodné kategorie dle míry zpoždění – přednost má vlak se zpožděním, následuje vlak jedoucí včas a poté vlak s náskokem. Simulace však ukázaly, že bez ohledu na formální pravidla může docházet k paradoxním situacím, kdy aplikace tohoto ustanovení zvyšuje celkové systémové zpoždění. Konkrétní příklady lze nalézt v několika verzích simulací.

### **Upřednostnění vlaku jedoucího včas**

Ve verzi 3.1.1 je upřednostněn méně zpožděný z dvojice osobních vlaků křižující ve stanici Brno-Horní Heršpice. Přesunutím křižování do dopravní Horní Heršpice-zhlaví státní silnice se eliminovalo čekání vlaku jedoucího do Třebíče, které by jinak vyústilo v navazující konflikty. Verze 3.2.2 představující nejpravděpodobnější scénář předpisového rozhodování se umístila až na posledním šestém místě.

Významným případem je i verze 15.2, v níž zpožděný rychlík čeká ve stanici Krahulov na průjezd včas jedoucího rychlíku z opačného směru. I přesto, že by měl mít dle předpisu přednost zpožděný vlak, tato volba vedla ke snížení celkového zpoždění v síti a eliminaci pozdějších konfliktů. Scénář 15.1.1, který byl nejspíše realitou se umístil až na posledním místě.

### **Upřednostnění vlaku nižší kategorie**

Ve verzi 13.2.2 má zpožděný osobní vlak přednost před včas jedoucím rychlíkem ve stanici Okříšky. V téže verzi byl navíc včas jedoucí osobní vlak ve stanici Bransouze upřednostněn před zpožděným osobním vlakem, čímž se omezil dominový efekt šíření zpoždění. Verze 13.1 představující pravděpodobnou podobu řešení konfliktů v souladu s předpisy, se sice tentokrát neumístila na posledním místě, přesto není nejlepší.

Všechny tyto situace ukazují, že aplikace pořadí dle předpisu bez ohledu na aktuální kontext může vést k eskalaci zpoždění, zatímco jeho operativní modifikace podle lokální situace umožňuje udržet vyšší plynulost provozu.

Teoretickým podkladem tohoto závěru je fiktivní model trati, kde bylo simulováno šíření zpoždění v závislosti na poloze křižování. Výsledky ukázaly, že křižování v krajních částech tratě má větší tendenci k eskalaci zpoždění, zatímco pokud křižování proběhne blíže ke středu tratě, systém zůstává stabilnější. Výše zmiňované modely simulace jsou toho praktickým důkazem, protože ke zmiňovaným křižováním dochází v krajních stanicích tratě.

### **Alternativní odjezdu vlaku**

Výše zmiňované opatření s upřednostněním vlaku nižší kategorie nebo nižšího zpoždění může být doplněno o alternativní odjezd vlaku. Buďto uplatněním odjezdu v čase příjezdu, případně ještě dříve. V simulaci verze 25 byla testována aplikace tohoto opatření v několika stanicích. Překvapujícím výsledkem bylo, že se opatření jeví jako vhodné hned u dvou verzí, a to „25.3.1.2a“ a „25.3.2a“. Druhá ze zmíněných byla nakonec vyhodnocena jako nejvýhodnější. Prvním případem je vypravení osobního vlaku ze stanice Náměšť nad Oslavou směr Kralice nad Oslavou ihned po uplynutí nezbytné doby pro výstup a nástup cestujících (zde dvě minuty). V následující stanici ani nedochází ke zpoždění protijedoucího zpožděného rychlíku. Podobné opatření je uplatněno na osobní vlak jedoucí z Náměšti opačným směrem. V kombinaci s dalšími výše uváděnými opatřeními, jako například upřednostněním vlaku jedoucího včas se snížil dopad zpoždění na minimum. Varianta s organizací provozu plně v souladu s předpisem SŽ D1 (25.1.1) se umístila na poslední osmé příčce a ze všech zkoumaných verzí tak dopadla nejhůře.

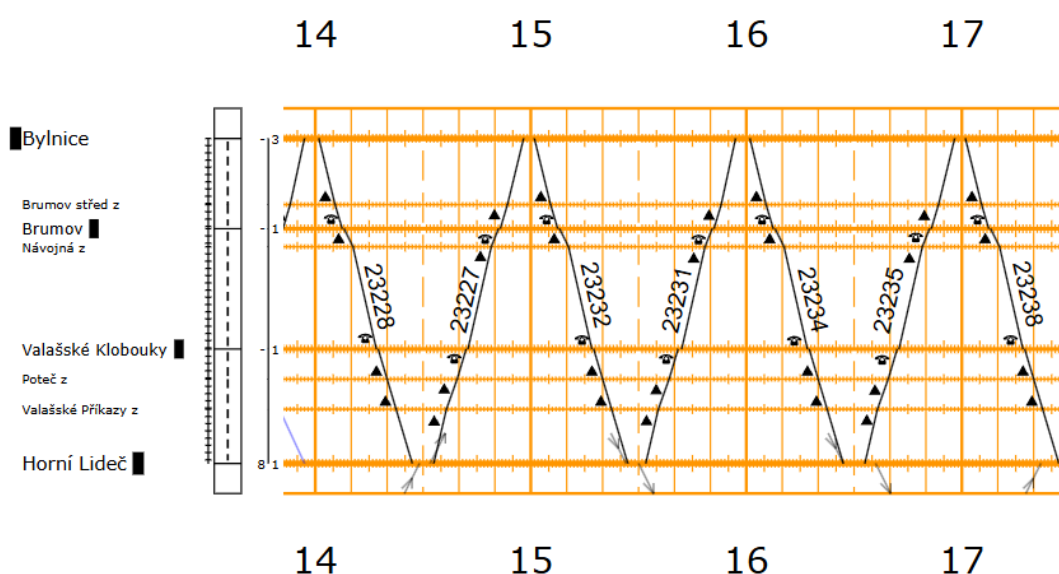
Z toho plyne, že v konkrétních případech se může více vyplatit upřednostnit vlak s nižší kategorií nebo s menším zpožděním, pokud to přinese celkové snížení provozního zpoždění. Zejména v případech, kdy vlak opouští stanici bez návazností se může vyplatit jeho odjezd mírně uspíšit. Takový zásah může významně snížit kumulaci zpoždění v mezistaničních úsecích, případně umožnit včasnější křižování s protijedoucími vlaky a tím zlepšit celkovou plynulost provozu. Takový přístup ovšem předpokládá aktivní zapojení operativního řízení provozu a schopnost dispečerů pracovat s aktuální provozní predikcí.

Tato opatření se ukazují jako přínosná zejména v úsecích s nízkou propustností nebo u trati s jednoduchým traťovým uspořádáním, kde každé zdržení může způsobit dominový efekt. Simulace prokázaly, že i několikaminutový posun odjezdu před pravidelným časem může vést k eliminaci následných konfliktů a výrazně snížit průměrné i celkové zpoždění v celé simulaci. V kombinaci s operativní úpravou předností vlaků se tak jedná o efektivní nástroj, který může být při vhodném plánování a dispečerském rozhodování využit ke zlepšení kvality a spolehlivosti železniční dopravy.

## Implementace na další tratě

Možnosti praktické aplikace navržených optimalizačních opatření, která vycházejí ze simulací zpoždění vlaků na základě analýzy vlivu polohy křižování a sledů vlaků, se neomezují pouze na trať Brno–Jihlava. Podobná opatření by bylo možné aplikovat také na dalších tratích. Zejména na těch jednokolejných s vysokou hustotou provozu, kde lze očekávat významný vliv křižování na šíření zpoždění.

Jedním takovým příkladem je trať Horní Lideč – Bylnice, kde se křižování vlaků aktuálně odehrává v krajní stanici Bylnice. Výřez nákrešného jízdního řádu je uveden na obrázku číslo dvacet jedna.

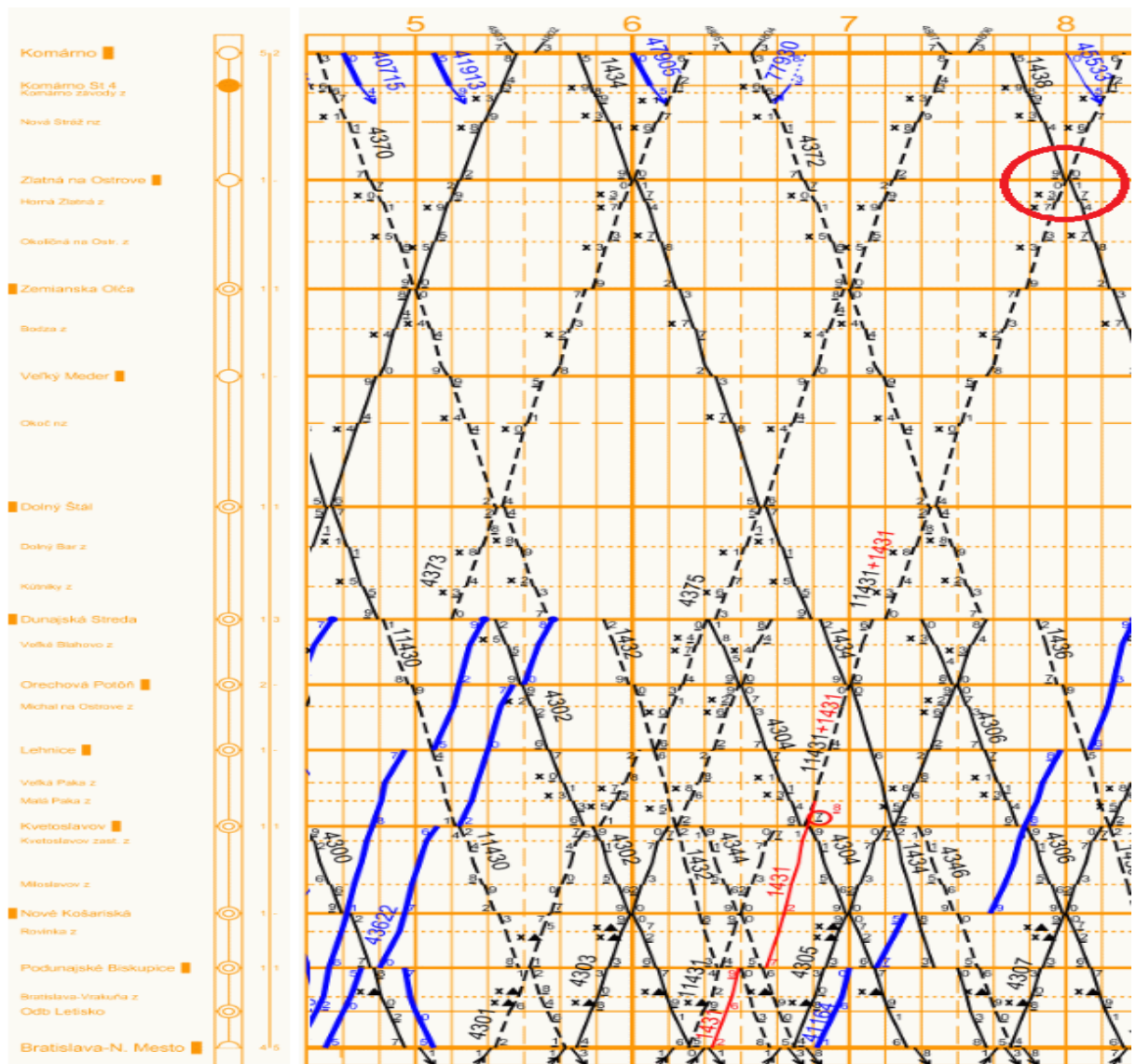


Obrázek 21 Nákrešný jízdní řád tratě Horní Lideč – Bylnice

Zdroj: (23)

Tento způsob organizace provozu způsobuje, že případné zpoždění se může velmi snadno a rychle přenášet napříč celou tratí bez možnosti jeho absorpce. Pomocí vzorce uvedeného na straně 58 lze vypočítat, že při zohlednění zpoždění způsobené úkony spojenými s odjezdem vlaku a provozních intervalů, odjede vlak z Bylnice do Horní Lideče nejméně o 0,1 minutu později. Tato hodnota však neobsahuje žádné další provozní zpoždění. Přesunutí místa křižování do stanice blíže středu trati by mohlo zpoždění eliminovat, a tím zlepšit celkovou provozní stabilitu.

Podobně by bylo vhodné zaměřit se na trať Komárno – Bratislava-Nové Mesto, kde zejména v ranní špičce dochází k intenzivnímu provozu osobních vlaků, které se navzájem křižují ve všech stanicích na trati. V takto hustém provozním modelu se jakékoli drobné zpoždění rychle přenáší a kumuluje, čímž vznikají výrazné provozní komplikace. Výřez nákrešného jízdního řádu je uveden na obrázku číslo dvacet dva.



Obrázek 22 Nákrasný jízdní řád tratě Komárno – Bratislava-Nové Mesto

Zdroj: (24)

Zvýrazněné křižování ve stanici Zlatná na Ostrove bylo podrobeno stejnému výpočtu přenosu zpoždění jako u předchozí trati. Zde však bylo zjištěno, že vlak jedoucí z Komárna do Bratislavy by byl na odjezdu ze stanice opožděn o 9,4 minuty. Taková výše zpoždění již není zanedbatelná a vyzývá k úpravě provozního konceptu. Vzhledem k počtu vlaků na trati nelze zpoždění eliminovat přeložením křižování. Zde by se tedy vyplatilo provést investice do infrastruktury a část tratě zdvoukolejnit nebo alespoň doplnit další místa ke křižování vlaků.

Přestože by aplikace těchto opatření na zmíněných tratích mohla přinést značný přínos v oblasti provozní spolehlivosti a efektivity, z důvodu omezeného rozsahu diplomové práce již nebylo možné tuto analýzu detailněji rozpracovat a zahrnout do finálního znění. Přesto jsou tyto tratě uváděny jako příklad pro další možný směr rozvoje výzkumu a praktického využití navržené metodiky.

## 4 PROVOZNĚ-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Závěrečnou kapitolou této diplomové práce je provozně-ekonomické zhodnocení navržených opatření, které doplňuje předchozí simulační analýzy o praktický dopad v měřitelných ekonomických veličinách. Smyslem této části je kvantifikovat přínosy vybraných organizačních a infrastrukturních zásahů, které byly ověřovány v jednotlivých simulačních scénářích, a vyjádřit jejich hodnotu ve finančním ekvivalentu, především prostřednictvím úspor času cestujících.

Čas cestujících je v dopravním plánování i hodnocení investic jednou z klíčových veličin, která se běžně přepočítává na peníze. V rámci této práce budou využity dvě odlišné metodiky pro oceňování hodnoty času cestujících. Tyto metodiky představují běžně používané přístupy v českém i evropském prostředí a umožňují porovnat výsledky z různých úhlů pohledu. Z hlediska národního dopravního plánování, tak i v širším evropském kontextu.

První je česká metodika, vycházející z podkladů Státního fondu dopravní infrastruktury (dále jen SFDI). Tato metodika je primárně určena pro hodnocení efektivity dopravních staveb a provozních změn v rámci České republiky a bývá často uplatňována v projektové dokumentaci, při tvorbě studií proveditelnosti nebo při rozhodování o finanční podpoře infrastrukturních projektů. Hodnota času je zde stanovena na základě průměrné mzdy a dalších socioekonomických ukazatelů typických pro české prostředí. V této práci bude z této metodiky vycházet výpočet přínosů navržených změn v železničním provozu na trati 240 v přepočtu na finanční úspory času cestujících podle druhu dopravy a účelu cesty (pracovní vs. volnočasová).

Druhou zvolenou metodikou je evropská metodika vypracovaná společností Ricardo-AEA pro Evropskou komisi, konkrétně v rámci dokumentu „Handbook on the External Costs of Transport“. Tato metodika slouží pro hodnocení dopravních projektů v evropském měřítku. Výhodou této metodiky je její mezinárodní srovnatelnost. Hodnota času je zde kalkulována s ohledem na celoevropské průměry.

Použitím dvou metodik bude možné porovnat výstupy simulace z různých perspektiv. Tento přístup posiluje validitu hodnocení a umožňuje komplexnější interpretaci výsledků, které mohou být následně využity při plánování dalších kroků jak na úrovni provozního řízení, tak i při rozhodování o investicích do infrastruktury.

Ekonomickému posouzení budou podrobeny varianty simulací, které zahrnují navržená zlepšující opatření. Jako referenční základ pro srovnání poslouží odpovídající verze bez implementace těchto opatření.

## 4.1 Metodika SFDI

Jako první bude práce vycházet z rezortní metodiky pro hodnocení ekonomické efektivity projektů dopravních staveb z roku 2017, která byla aktualizována Ministerstvem dopravy v červnu 2023. Tato metodika představuje oficiální rámec pro ekonomické posuzování dopravních projektů v České republice a je využívána zejména při hodnocení projektů financovaných ze státního rozpočtu nebo evropských fondů. Obsahuje detailní postupy pro kvantifikaci přínosů a nákladů jednotlivých opatření, včetně ocenění časových úspor, environmentálních dopadů i provozních nákladů. V této práci bude z metodiky užitá hodnota času cestujících pro převod časových úspor vyplývajících ze simulací do finanční. V tabulce číslo patnáct níže jsou zobrazeny konkrétní hodnoty času cestujících v českých korunách za osobohodinu (dále jen oshod) v závislosti na druhu cesty a kategorii vlaku.

Tabulka 15 Hodnota času podle metodiky SFDI

	Typ cesty	Kč/oshod	Poměr cest		Kategorie vlaků
	Pracovní čas	481,70 Kč	0,1	0,1	Os + Sp + R
Nepracovní čas	Krátká dojíždka	233,92 Kč	0,9	0,225	Os + Sp
	Dlouhá dojíždka	300,23 Kč		0,225	R
	Ostatní – krátká vzdálenost	196,08 Kč		0,225	Os + Sp
	Ostatní – dlouhá vzdálenost	251,41 Kč		0,225	R

Zdroj: (25)

V případě osobní dopravy se při odhadu struktury cest předpokládá, že do kategorie krátkých cest – zahrnující dojíždku a ostatní krátké přesuny – spadá především příměstská doprava, zatímco do kategorie dlouhých cest patří doprava dálková. Poměr pracovních a nepracovních cest je odhadován na 10 % ku 90 %, přičemž při absenci konkrétních dat z přepravní prognózy nebo dopravního modelu lze zjednodušeně předpokládat, že krátké cesty se rovnoměrně dělí mezi pracovní (dojíždku) a ostatní účely, tedy přibližně v poměru 50:50. Tento předpoklad umožňuje přibližnou kategorizaci přepravních proudů pro účely ekonomického hodnocení dopravních opatření. (25)

Při použití této metodiky výpočtu byly záměrně využity neupravené hodnoty zpoždění, tedy bez aplikace dodatečných korekčních koeficientů. Důvodem je skutečnost, že daná metodika již sama zohledňuje odlišnou důležitost jednotlivých kategorií vlaků prostřednictvím vlastních vah a priorit. Tento přístup vede k odlišnému hodnocení některých variant, užití dvojích koeficientů by ale mělo za důsledek zkreslení výsledků.

Výpočet celkových nákladů na jednu verzi simulace byl proveden pomocí součtového vzorce, který zohledňuje přínos jednotlivých typů cest podle jejich specifických parametrů. Pro každý typ cesty byly náklady stanoveny jako součin celkové doby zpoždění, hodnoty osobohodiny cestujícího, koeficientu poměru cest a průměrného počtu cestujících ve vlaku. Náklady vypočtené v této práci uvažují průměrné obsazení vlaku 85 cestujícími. Výsledné náklady jednotlivých typů cest byly následně sečteny, čímž byl získán celkový náklad vztahující se ke zvolené verzi simulace.

Celkové náklady na verzi simulace podle metodiky SFDI	$C_{SFDI}$
Počet typů cesty	$n$
Celková doba zpoždění bez korekce pro i-tý typ cesty v minutách	$t_{zp,i}$
Hodnota osobohodiny cestujícího pro i-tý typ cesty v Kč/h	$c_{oshod,i}$
Koeficient poměru cest pro i-tý typ cesty	$k_{pc,i}$
Průměrný počet cestujících ve vlaku v dané verzi	$n_c$

$$C_{SFDI} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{t_{zp,i}}{60} \cdot c_{oshod,i} \cdot k_{pc,i} \right) \cdot n_c$$

Ekonomické zhodnocení zkoumaných variant dle metodiky SFDI je znázorněno v tabulce číslo šestnáct.

Tabulka 16 Ekonomické zhodnocení podle metodiky SFDI

	Verze simulace	Náklady	Verze simulace	Náklady
S opatřeními	3.1.1	24 866,69 Kč	15.2	13 636,09 Kč
Bez opatření	3.2.2	31 392,60 Kč	15.1.1	31 064,44 Kč
	Úspora	6 525,91 Kč 20,79 %	Úspora	17 428,35 Kč 56,10 %
S opatřeními	13.2.2	21 465,39 Kč	25.3.2a	12 330,09 Kč
Bez opatření	13.1	17 925,40 Kč	25.1.1	13 378,09 Kč
	Úspora	-3 539,99 Kč -19,75 %	Úspora	1 048,00 Kč 7,83 %
<b>Průměrná úspora</b>			<b>5 365,57 Kč</b> <b>16,24 %</b>	

Zdroj: autor

Ve většině případů bylo dosaženo finanční úspory, přičemž nejvyšší úspora činila 17 428,35 Kč, což odpovídá 56,10 % ve prospěch verze 15.2 oproti 15.1.1. Naopak simulace verze 13 s implementovanými opatřeními vychází z této perspektivy jako nákladnější. Jedná se však o důsledek odlišné metodiky stanovení důležitosti vlakových kategorií, nikoliv o reálné zhoršení provozní situace. Průměrná úspora napříč všemi porovnávanými dvojicemi dosáhla 5 365,57 Kč, což představuje průměrné zlepšení o 16,24 %.

## 4.2 Metodika Ricardo-AEA

Druhou použitou metodikou pro ekonomické zhodnocení časových úspor bude evropská metodika vypracovaná společností Ricardo-AEA pro Evropskou komisi. Tato metodika je uplatňována pro analýzy dopravních projektů v nadnárodním kontextu a poskytuje rámec pro oceňování času podle druhu dopravy. Pro železniční dopravu jsou v ní stanoveny dvě základní hodnoty – nákladová cena času (factor cost) ve výši 56,91 EUR za osobohodinu a tržní cena času (market price) ve výši 68,81 EUR za osobohodinu. Po přepočtu podle aktuálního kurzu odpovídají tyto hodnoty 1 421,15 Kč a 1 718,31 Kč. (26)

V této práci bude pro výpočet přínosů navržených opatření využita tržní hodnota času, protože lépe reflektuje skutečný ekonomický přínos pro společnost a cestující, nikoliv pouze interní náklady dopravce. Tržní hodnota času vyjadřuje, kolik je společnost ochotna za úsporu času zaplatit na volném trhu, a proto představuje vhodnější nástroj pro vyčíslení celkových přínosů opatření v osobní dopravě. Tímto způsobem bude možné porovnat výsledky obou metodik a poskytnout vícestranný pohled na efektivitu navržených zásahů.

Výpočet celkových nákladů na jednu verzi simulace byl oproti předchozí metodice proveden jednodušším vzorcem, protože nezohledňuje typ cesty. Tato metodika navíc pracuje s hodnotami zpoždění upravenými koeficienty podle kategorie vlaku, které byly použity již v kapitole 3.3. Náklady stanoveny jako součin celkové doby zpoždění s korekcí, hodnoty osobohodiny cestujícího a průměrného počtu cestujících ve vlaku. Náklady vypočtené v této práci uvažují průměrné obsazení vlaku 85 cestujícími.

Celkové náklady na verzi simulace podle metodiky Ricardo-AEA	$C_{AEA}$
Celková doba zpoždění s korekcí v minutách	$t_{zpk}$
Hodnota osobohodiny cestujícího pro cesty v Kč/h	$C_{oshod}$
Průměrný počet cestujících ve vlaku	$n_c$

$$C_{AEA} = \frac{t_{zpk}}{60} \cdot C_{oshod} \cdot n_c$$

Ekonomické zhodnocení zkoumaných variant dle metodiky Ricardo je znázorněno v tabulce číslo sedmnáct.

Tabulka 17 Ekonomické zhodnocení podle metodiky Ricardo-AEA

	Verze simulace	Náklady	Verze simulace	Náklady
S opatřeními	3.1.1	244 400,96 Kč	15.2	471 762,01 Kč
Bez opatření	3.2.2	533 105,68 Kč	15.1.1	1 280 914,19 Kč
	Úspora	288 704,72 Kč 54,16 %	Úspora	809 152,18 Kč 63,17 %
S opatřeními	13.2.2	718 597,24 Kč	25.3.2a	293 573,26 Kč
Bez opatření	13.1	816 455,00 Kč	25.1.1	401 654,96 Kč
	Úspora	97 857,75 Kč 11,99 %	Úspora	108 081,70 Kč 26,91 %
<b>Průměrná úspora</b>			<b>325 949,09 Kč</b> <b>39,05 %</b>	

Zdroj: autor

Při použití této metodiky došlo díky užití hodnot zpoždění s korekcí k finanční úspoře u všech zkoumaných verzí simulace. Nejvyšší úspora byla opět rozdílem mezi verzemi 15.1.1 a 15.2 a činila 809 152,18 Kč, tj. 63,17 %. Průměrná úspora napříč všemi porovnávanými dvojicemi dosáhla 325 949,09 Kč, což představuje průměrné zlepšení o 39,05 %.

### 4.3 Srovnání metodik a stanovení výsledných úspor

Z výše uvedeného je na první pohled patrné, že metodiky SFDI a Ricardo-ARA se výrazně liší ve finančním ohodnocení zpoždění cestujících. Česká metodika od SFDI vychází z komplikovanějšího výpočtu, kdy jsou rozlišovány typy cest do pěti kategorií. Protože si metodika sama rovněž určuje priority vlaků dle kategorie, jsou užití hodnoty původního zjištěného zpoždění bez korekce. Díky tomu reflektuje lépe reálné chování a dopady na cestující. Výpočty dle SFDI poskytují sofistikovanější, ale zároveň náročnější modelování výsledků.

Naopak metodika Ricardo-ARA používá jednodušší vzorec a pracuje již s upravenými hodnotami zpoždění. Díky tomu srovnává skutečně nejlepší verzi s původním řešením a žádná z variant nevychází záporně. Kromě toho využívá výrazně vyšší hodnotu osobohodiny, čímž se liší i absolutní výsledky. To vede k diametrálně odlišným výsledkům ve srovnání s metodikou SFDI.

Pro účely vyhodnocení byly výsledky těchto dvou metodik přepočteny na 20 pracovních dní, aby bylo možné získat reprezentativnější měsíční hodnotu společenských nákladů zpoždění. Přehled úspor je zobrazen v tabulce číslo osmnáct.

Tabulka 18 Porovnání hodnot úspor

	Úspora	Za den	Za pracovní měsíc
SFDI	16,24%	5 365,57 Kč	107 311,40 Kč
Ricardo-AEA	39,05%	325 949,09 Kč	6 518 981,80 Kč

Zdroj: autor

Podle metodiky SFDI činí úspora 16,24 %, vyšších hodnot dosahuje výpočet dle metodiky Ricardo-AEA, kde je úspora až 39,05 %. Výsledky byly následně zanesené do grafu na obrázku číslo dvacet tři, který přehledně ukazuje rozdíly mezi metodikami.

Metodika SFDI zohledňuje hodnotu času v kontextu českého prostředí, a proto při aplikaci zlepšujících opatření vykazuje výrazně nižší finanční úspory. Naopak metodika Ricardo-AEA predikuje podstatně vyšší ekonomické přínosy implementovaných změn, a to právě proto, že reflektuje náklady v evropském měřítku.

Závěrem lze konstatovat, že zavedení analyzovaných opatření má opodstatnění a přináší měřitelný přínos jak z hlediska snížení společenských nákladů způsobených zpožděním, tak z pohledu celkové efektivity provozu. Simulační modely ukázaly, že ve většině případů vedou tato opatření k významným úsporám, a to i při zohlednění rozdílných metodik výpočtu. Přestože se absolutní hodnoty liší v závislosti na použité metodice, trend poklesu nákladů zůstává konzistentní, což potvrzuje, že aplikace těchto opatření je ekonomicky i systémově smysluplná.

## ZÁVĚR

Tato práce se zabývala komplexní analýzou zpoždění v železniční dopravě, jeho simulací a vyhodnocením možných provozně-organizačních opatření ke zlepšení efektivity provozu. Analytická část práce slouží jako teoretický a kontextový základ pro další kapitoly. Popisuje systém plánování a řízení provozu, včetně tvorby jízdních řádů a dispečerského řízení. Dále shrnuje metody hodnocení provozní efektivity, které uzavírá přehledem problematiky časových ztrát během jízdy vlaků, čímž přirozeně navazuje na hlavní téma práce.

Pro potřeby empirické simulace byla provedena série měření zpoždění vzniklého úkony souvisejícími s odjezdem vlaku. Na základě dat z reálného provozu byly vytvořeny simulační modely, které umožnily sledovat chování zpoždění v různých provozních situacích a identifikovat kritická místa z hlediska šíření a kumulace zpoždění. Modely byly dále využity k testování variantních řešení, přičemž výsledky byly porovnávány jak z provozního, tak z ekonomického hlediska.

Simulace prokázaly, že i relativně jednoduchá opatření, jako změna pořadí vlaků, úprava času odjezdu, přeložení křižování do jiné dopravní, či změna priority vlaku, mohou výrazně přispět ke zmenšení výsledného zpoždění v síti. Vzhledem ke komplikovanosti systému však nelze matematickým výpočtem jednoznačně definovat za jakých okolností je vhodné použít konkrétní opatření. Dobrým pomocníkem pro zaměstnance organizující drážní dopravu by však byla matematická simulace zobrazující konflikty a kumulaci zpoždění. Pomocí zobrazení alternativní predikované reality by mohla být efektivněji organizována drážní doprava.

Tyto změny vedou nejen ke zlepšení přesnosti dopravy, ale také k významným úsporám ve společenských nákladech, které byly vyčísleny dvěma metodikami: SFDI a Ricardo-AEA. Ačkoliv tyto přístupy se výrazně liší ve výpočtech, oba potvrzují pozitivní vliv navržených opatření. Výsledky ukazují, že úspory se pohybují v rozmezí 16 až 39 % podle použité metodiky. Dosažením úspor se potvrzuje, že implementace těchto opatření má smysl nejen z hlediska kvality dopravy, ale i z pohledu efektivního nakládání s veřejnými prostředky.

**V diplomové práci se podařilo navrhnout konkrétní provozně-organizační opatření vedoucí ke zefektivnění technologie provozu vlaků, čímž byl naplněn hlavní cíl práce. Nad rámec toho byla vytvořena i simulace, kterou lze dále využít jako podpůrný nástroj při plánování a řízení železničního provozu.**

## SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

- (1) SCHREIER, Pavel. Příběhy z dějin našich drah. Praha: Mladá fronta, 2009. Kapitola S lokomotivou napříč Moravou, s. 50.
- (2) SCHREIER, Pavel. Příběhy z dějin našich drah. Praha: Mladá fronta, 2009. Kapitola Kůň jako začátek, s. 13.
- (3) *Základní údaje.* Online. Správa železnic. 2025. Dostupné z: <https://www.spravazeleznic.cz/o-nas/vse-o-sprave-zeleznic/zakladni-udaje>. [cit. 2025-02-25].
- (4) *Základní charakteristika železniční sítě.* Online. Správa železnic. 2025. Dostupné z: <https://www.spravazeleznic.cz/o-nas/vse-o-sprave-zeleznic/zeleznice-cr/zeleznicni-sit-v-cr>. [cit. 2025-02-25].
- (5) *Seznamy a přehledy.* Online. Drážní úřad. 2025. Dostupné z: [https://du.gov.cz/informace-pro-verejnost/seznamy-a-prehledy/?utm\\_source=chatgpt.com](https://du.gov.cz/informace-pro-verejnost/seznamy-a-prehledy/?utm_source=chatgpt.com). [cit. 2025-02-25].
- (6) *Stát prodává první nevyužívané lokálky. Za cenu čtyř přejezdů.* Online. IDnes.cz. 2016. Dostupné z: [https://www.idnes.cz/ekonomika/doprava/stat-proda-dve-regionalni-trate-za-11-milionu.A160130\\_231018\\_eko-doprava\\_suj](https://www.idnes.cz/ekonomika/doprava/stat-proda-dve-regionalni-trate-za-11-milionu.A160130_231018_eko-doprava_suj). [cit. 2025-03-01].
- (7) *Sklářská lokálka Šenovka.* Online. KŽC. 2025. Dostupné z: [https://www.kzc.cz/?sekce=sklarska\\_lokalka\\_senovka](https://www.kzc.cz/?sekce=sklarska_lokalka_senovka). [cit. 2025-03-02].
- (8) *společnosti.* Online. PDV RAILWAY. 2025. Dostupné z: <https://pdvr.cz/o-spolecnosti>. [cit. 2025-03-02].
- (9) *Provozování drah.* Online. PKP CARGO INTERNATIONAL. 2025. Dostupné z: <https://www.pkpcargointernational.com/co-delame/provozovani-drah>. [cit. 2025-03-02].
- (10) *Hlavní činnost.* Online. SART-stavby a rekonstrukce. 2025. Dostupné z: <http://www.sart.cz/hlavni-cinnost/>. [cit. 2025-03-02].
- (11) *Prohlášení o dráze regionální SÚD.* Online. Taktici.cz, s.r.o. 2025. Dostupné z: <https://taktici.cz/pridelce/prohlaseni-jindrichohradecke-uzkokolejky/>. [cit. 2025-03-02].

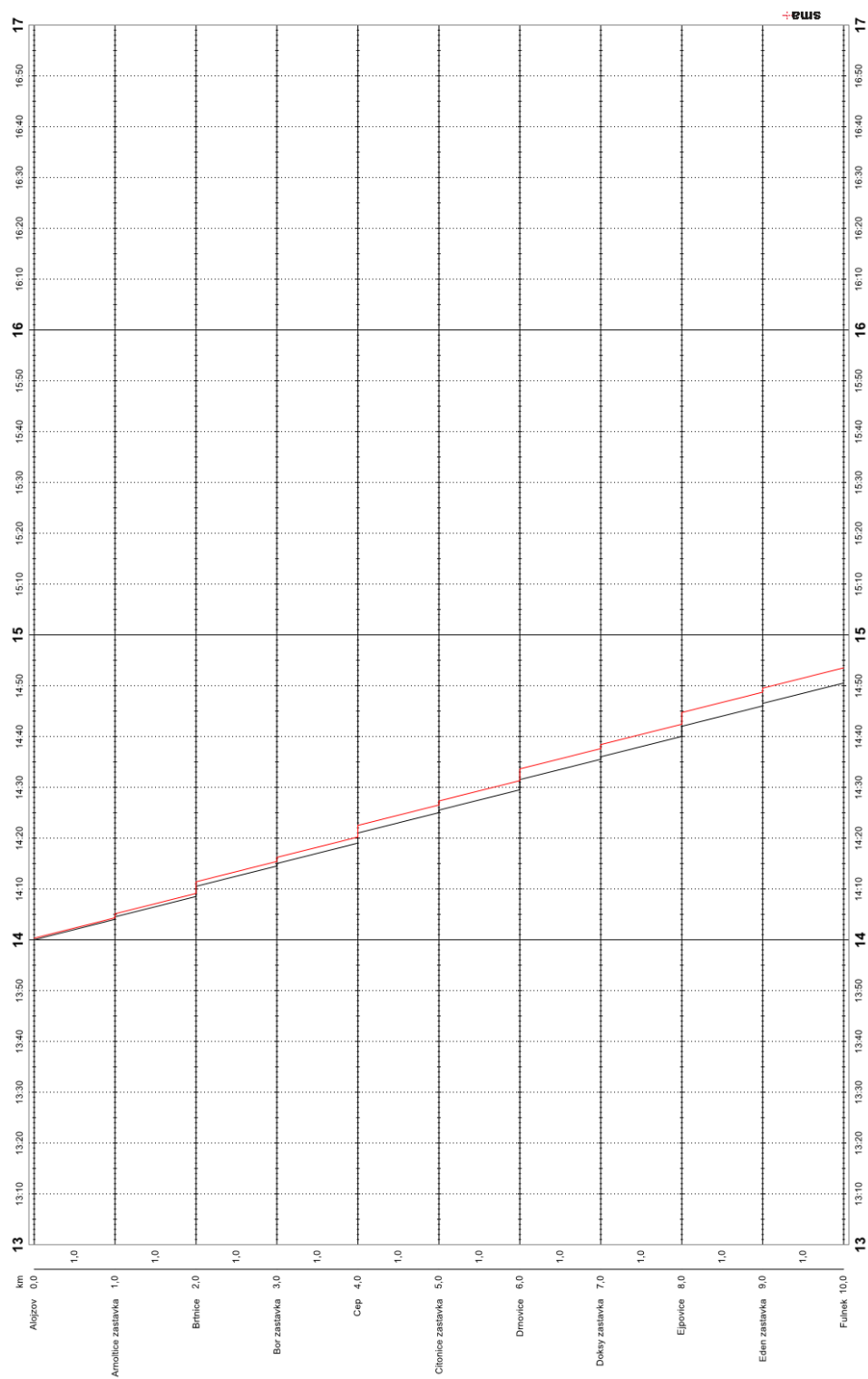
- (12) *Brněnským hlavním nádražím projede od 15.prosince 670 vlaků denně*. Online. Brněnská Drbna. 2019. Dostupné z: [https://brnenska.drbrna.cz/zpravy/doprava/16006-brnenskym-hlavnim-nadrazim-projede-od-15prosince-670-vlaku-denne.html?utm\\_source=chatgpt.com](https://brnenska.drbrna.cz/zpravy/doprava/16006-brnenskym-hlavnim-nadrazim-projede-od-15prosince-670-vlaku-denne.html?utm_source=chatgpt.com). [cit. 2025-02-25].
- (13) *SŽ SM069 – Směrnice pro tvorbu jízdního řádu a přidělování a využívání kapacity dráhy*. Praha: Správa železnic, 2024.
- (14) *SMĚRNICE SŽDC Č. 104 – Provozní intervaly a následná mezidobí*. Praha: Správa železniční dopravní cesty, 2013.
- (15) KRÝŽE, Pavel. *Nová metodika zjišťování kapacity dráhy*. Vědeckotechnický sborník Správy železnic, státní organizace č. 3/2020. Praha: Správa železnic, státní organizace, 2020. ISSN 2694-9172.
- (16) GREINER, Karel. *Systém tvorby ročního jízdního řádu provozovatele dráhy v podmínkách evropské unie*. Perner's Contacts. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2020. eISSN 1801-674X.
- (17) *OLTIS Group dokončil implementaci nové generace ISOŘ*. Online. OLTIS group. 2015. Dostupné z: [https://www.oltis.cz/oltis-group-dokoncil-implementaci-nove-generace-isor/?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.oltis.cz/oltis-group-dokoncil-implementaci-nove-generace-isor/?utm_source=chatgpt.com). [cit. 2025-03-26].
- (18) *SŽ D7/MP1 – Metodický pokyn náměstka generálního ředitele pro řízení provozu k použití kódů narušení jízdního řádu při zdůvodnění zpoždění vlaku*. Praha: Správa železnic, 2021.
- (19) VICHEREK, Tomáš. *Navádění vlaků do bezkonfliktních tras*. Vědeckotechnický sborník ČD č. 31/2011. Praha: České dráhy, 2011.
- (20) *Nenápadná velká změna na železnici. Vlak může v neděli odjet „v sekundě nula“*. Online. Zdopravy.cz. 2024. Dostupné z: <https://zdopravy.cz/nenapadna-velka-zmena-na-zeleznici-vlak-muze-v-nedeli-odjet-v-sekunde-nula-230155/>. [cit. 2025-04-01].
- (21) NOVOTNÝ, Lukáš. *Možnosti zlepšení dopravní obslužnosti na železniční trati Brno – Jihlava*. Online, bakalářská práce. Pardubice: 2023. Dostupné z: <https://hdl.handle.net/10195/81819>. [cit. 2025-04-24].

- (22) KŘÍŽAN, Lukáš. *Krátkodobá predikce organizace jízd na dvoukolejné trati při výlukách s podporou simulace*. Online. Diplomová práce. Pardubice: Univerzita Pardubice: 2024. Dostupné z: <https://theses.cz/id/wgqqma/>. [cit. 2025-05-04].
- (23) Nákrešný jízdní řád 304-4. *Pomůcky GVD 2024/2025* [online]. © 2024 Správa železnic [cit. 2025-05-04]. Dostupné z: <https://provoz.spravazeleznic.cz/Portal/Show.aspx?oid=2252257>.
- (24) Nákrešný jízdní řád 124 A. *Pomůcky GVD 2024/2025* [online]. © 2024 Železnice slovenskej republiky [cit. 2025-05-04]. Dostupné z: <https://tis.zsr.sk/pogvd/data/ncp/png/124/index.html>
- (25) STÁTNI FOND DOPRAVNÍ INFRASTRUKTURY. *Rezortní metodika pro hodnocení ekonomické efektivnosti projektů dopravních staveb*. Online. Praha: 2023. Dostupné z: <https://sfdi.gov.cz/wp-content/uploads/2024/06/2023-rezortni-metodika-textova-cast.pdf>. [cit. 2024-05-04].
- (26) RICARDO-AEA. *Update of the Handbook on External Costs of Transport*. Online. Londýn: 2014. Dostupné z: <https://transport.ec.europa.eu/system/files/2016-09/2014-handbook-external-costs-transport.pdf> [cit. 2024-05-04].

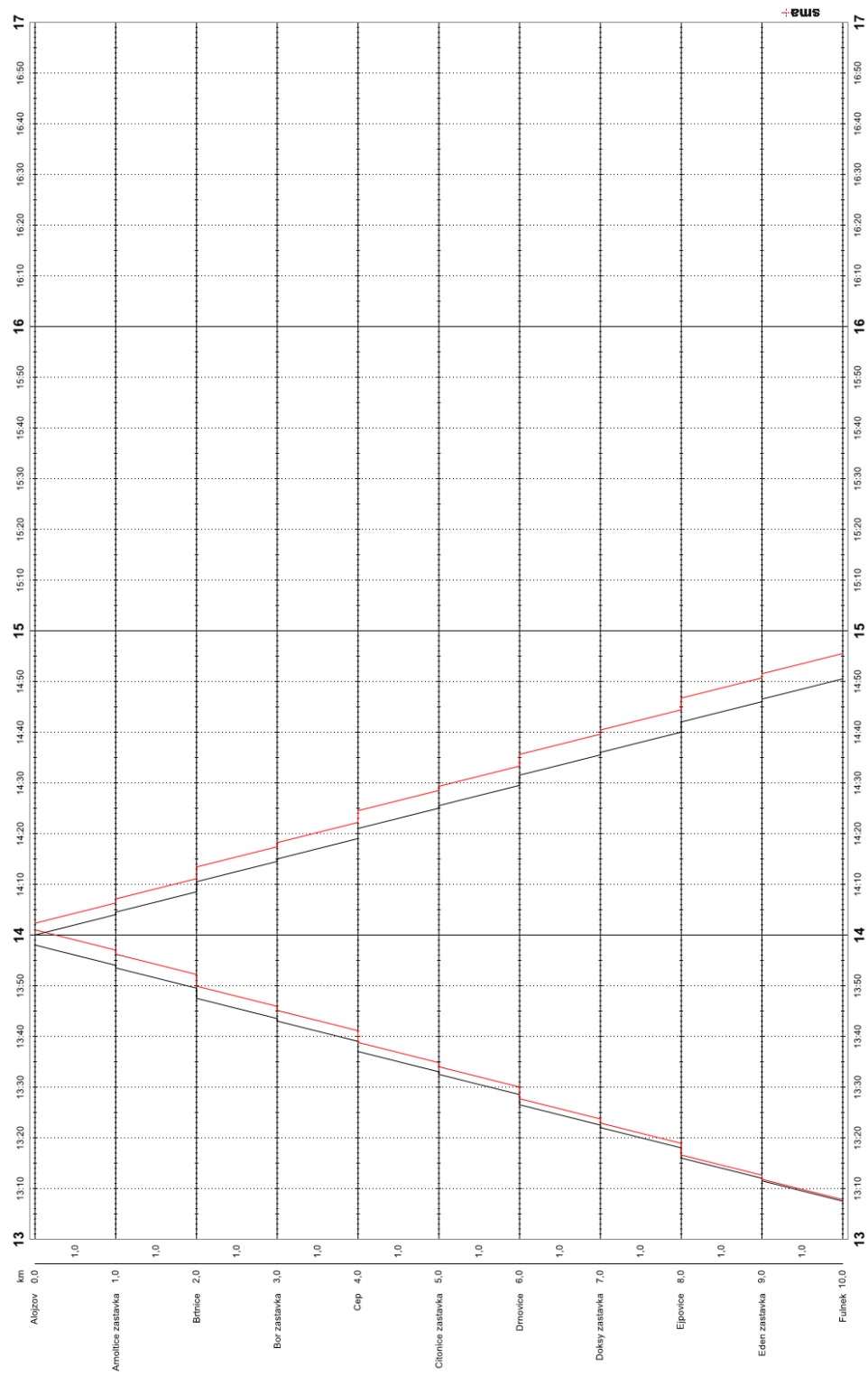
## SEZNAM PŘÍLOH

- A. Nákrešné jízdní řády simulace přenosu zpoždění
- B. Výsledky měření simulace přenosu zpoždění
- C. Nákrešné jízdní řády simulace na trati 240

## A. Nákresné jízdní řády simulace přenosu zpoždění

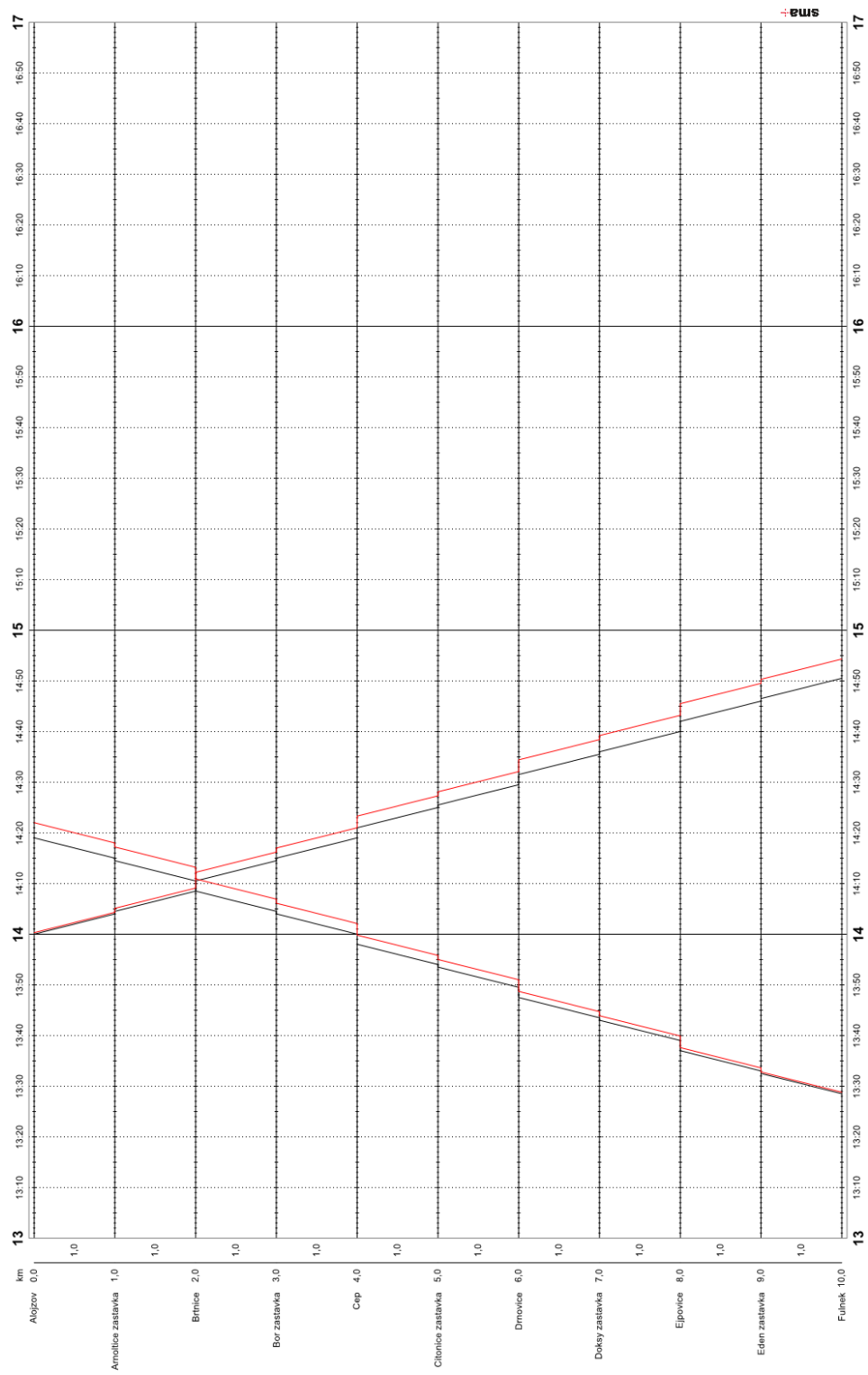


Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x00 (pouze referenční vlak)



Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x01A

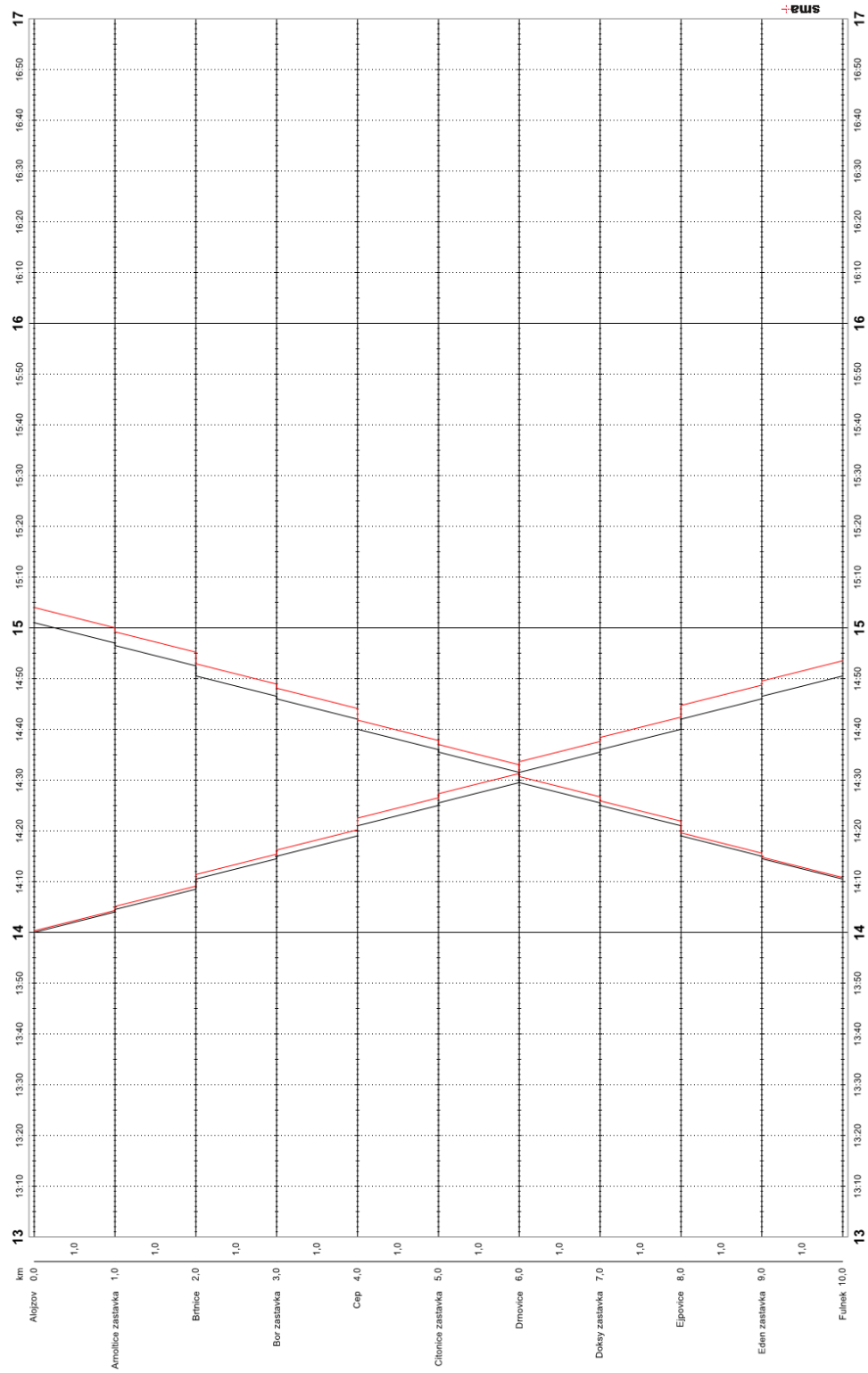
Zdroj: autor



Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x01B

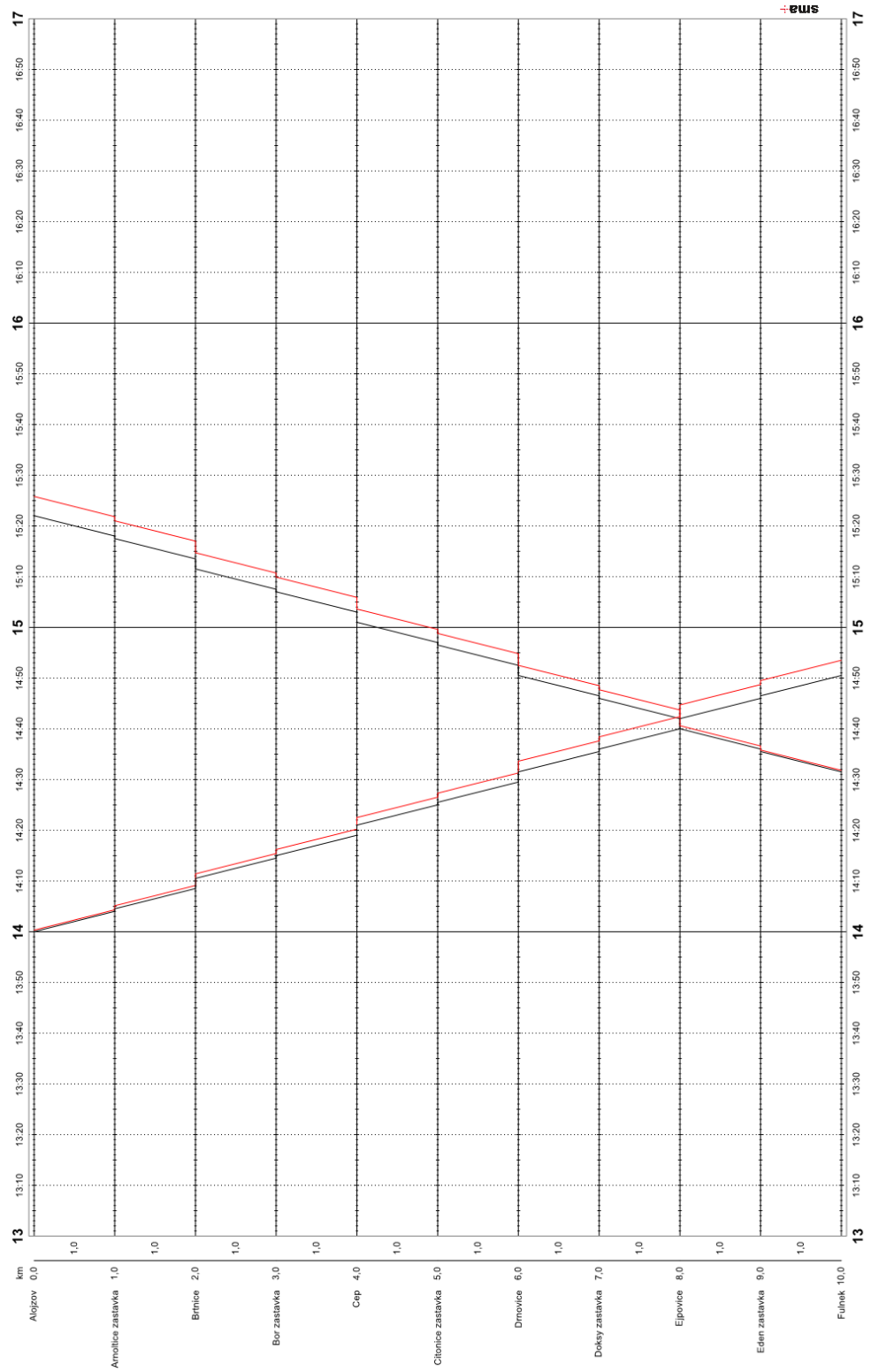
Zdroj: autor





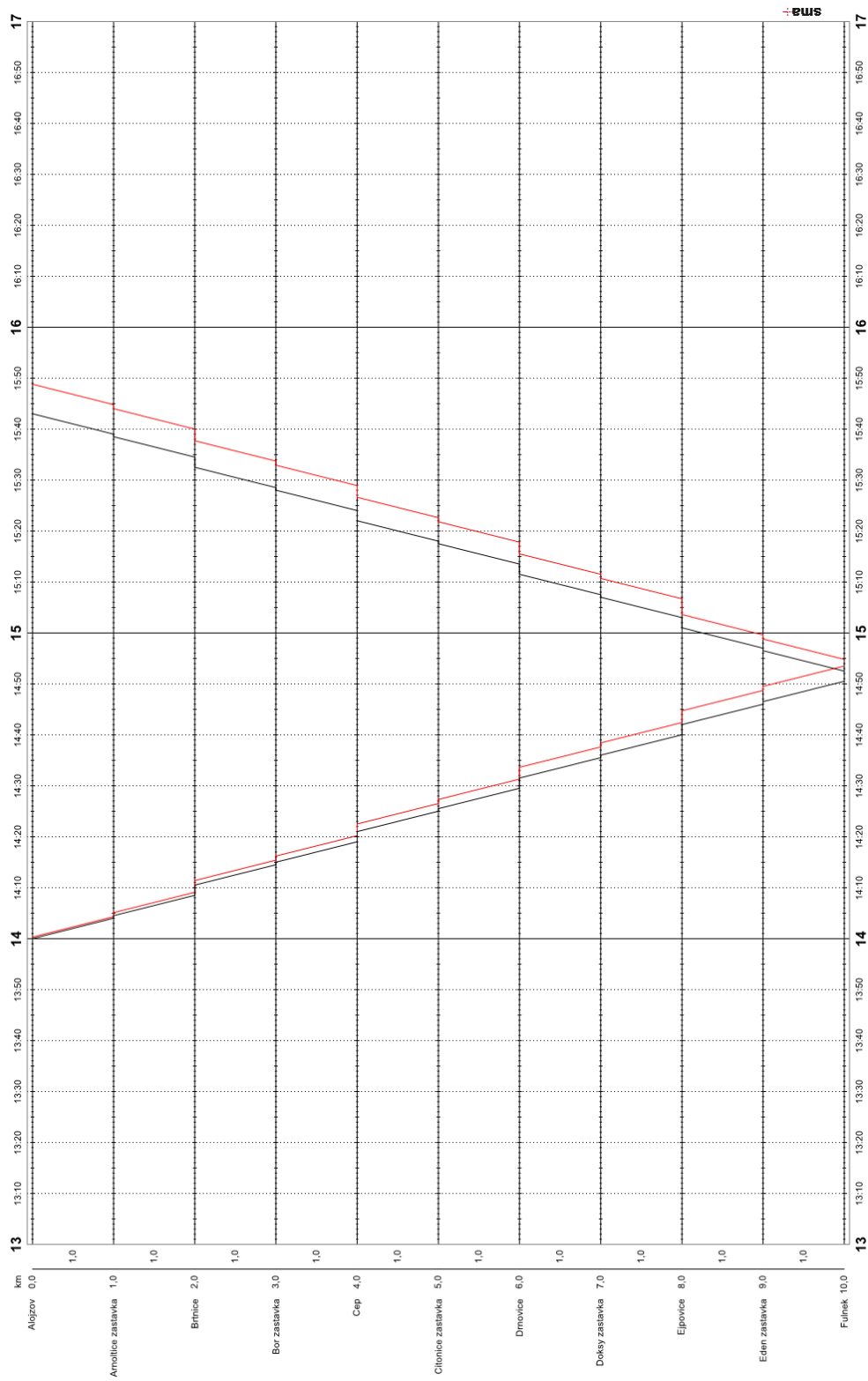
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x01D

Zdroj: autor



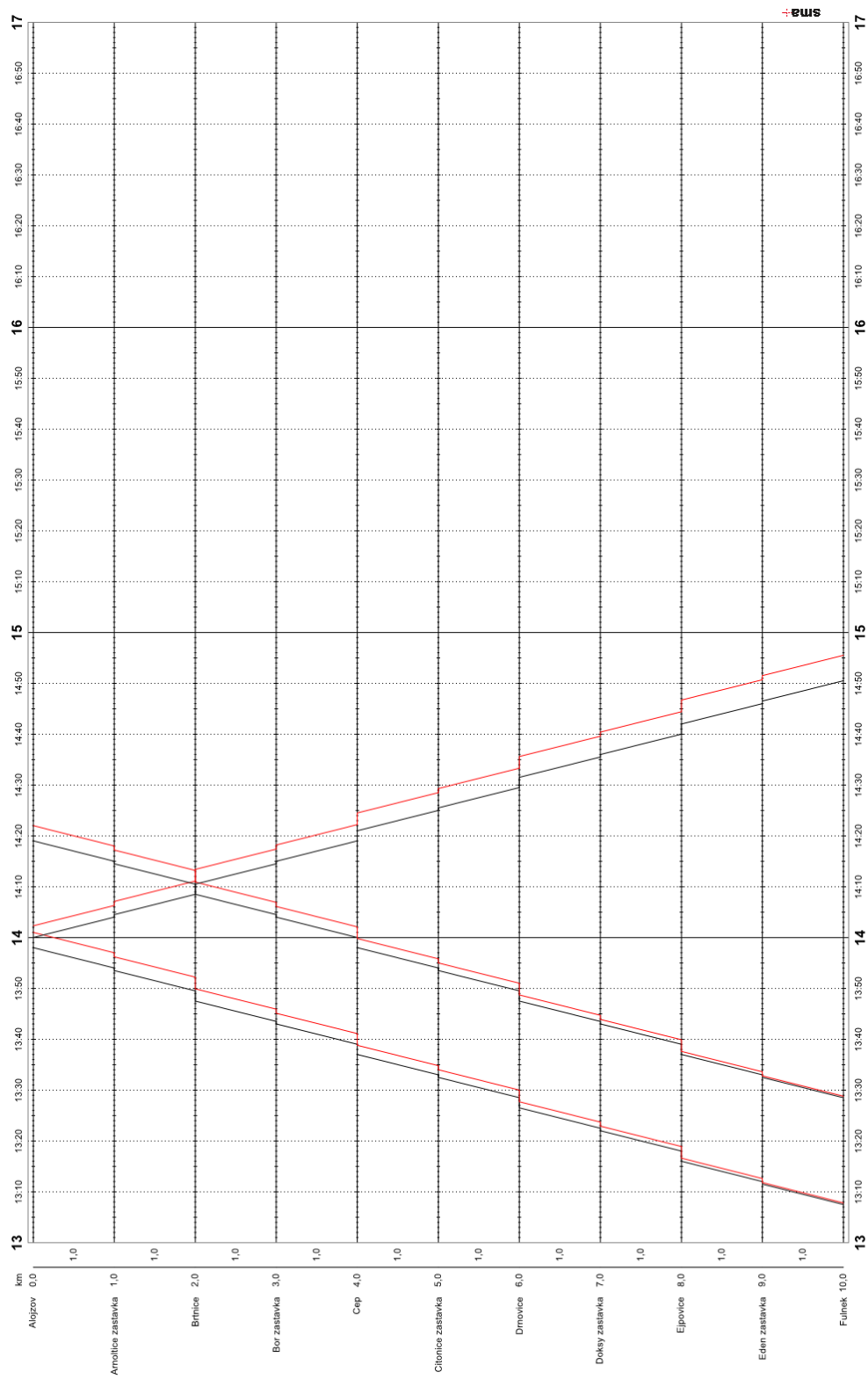
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x01E

Zdroj: autor



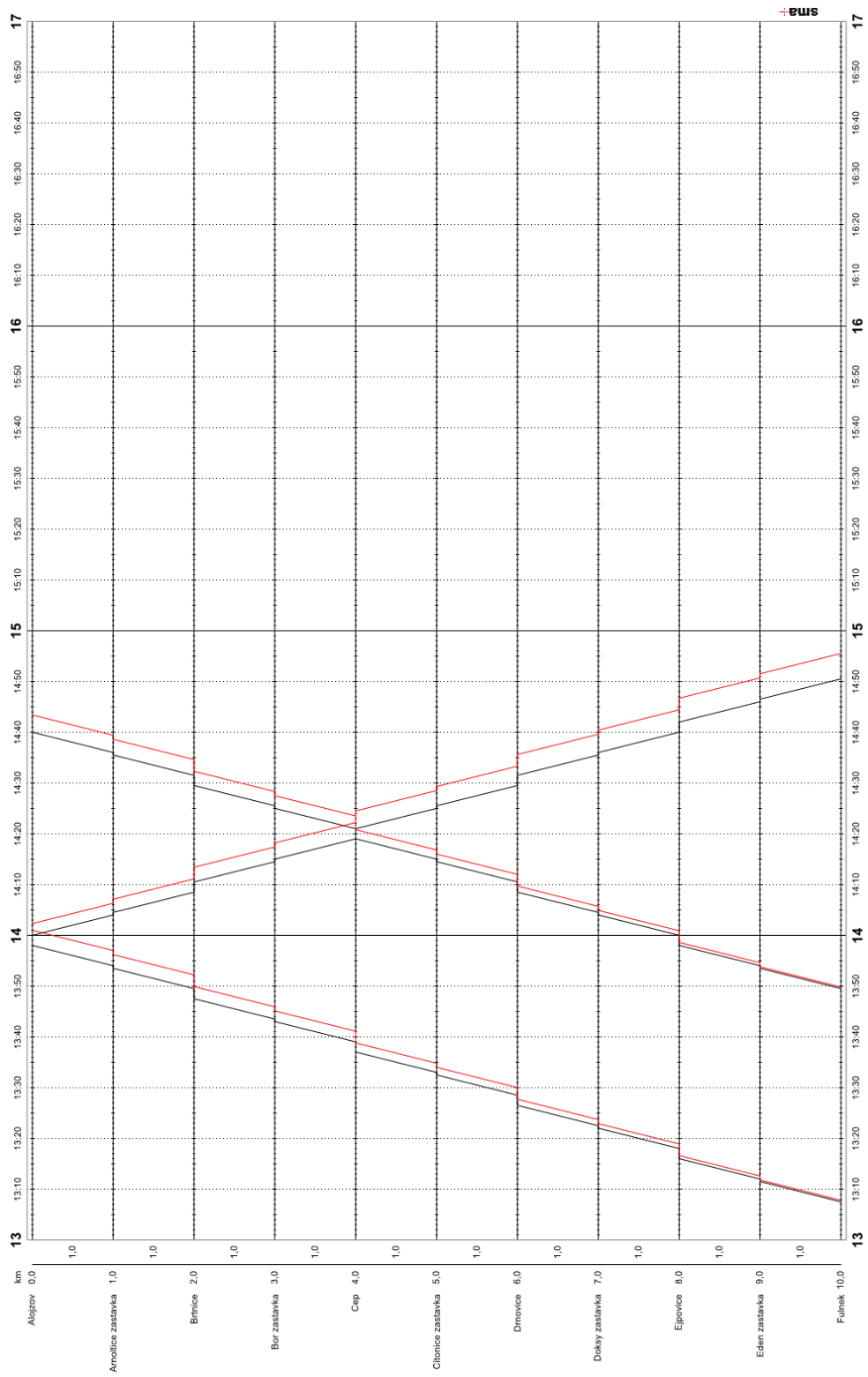
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x01F

Zdroj: autor



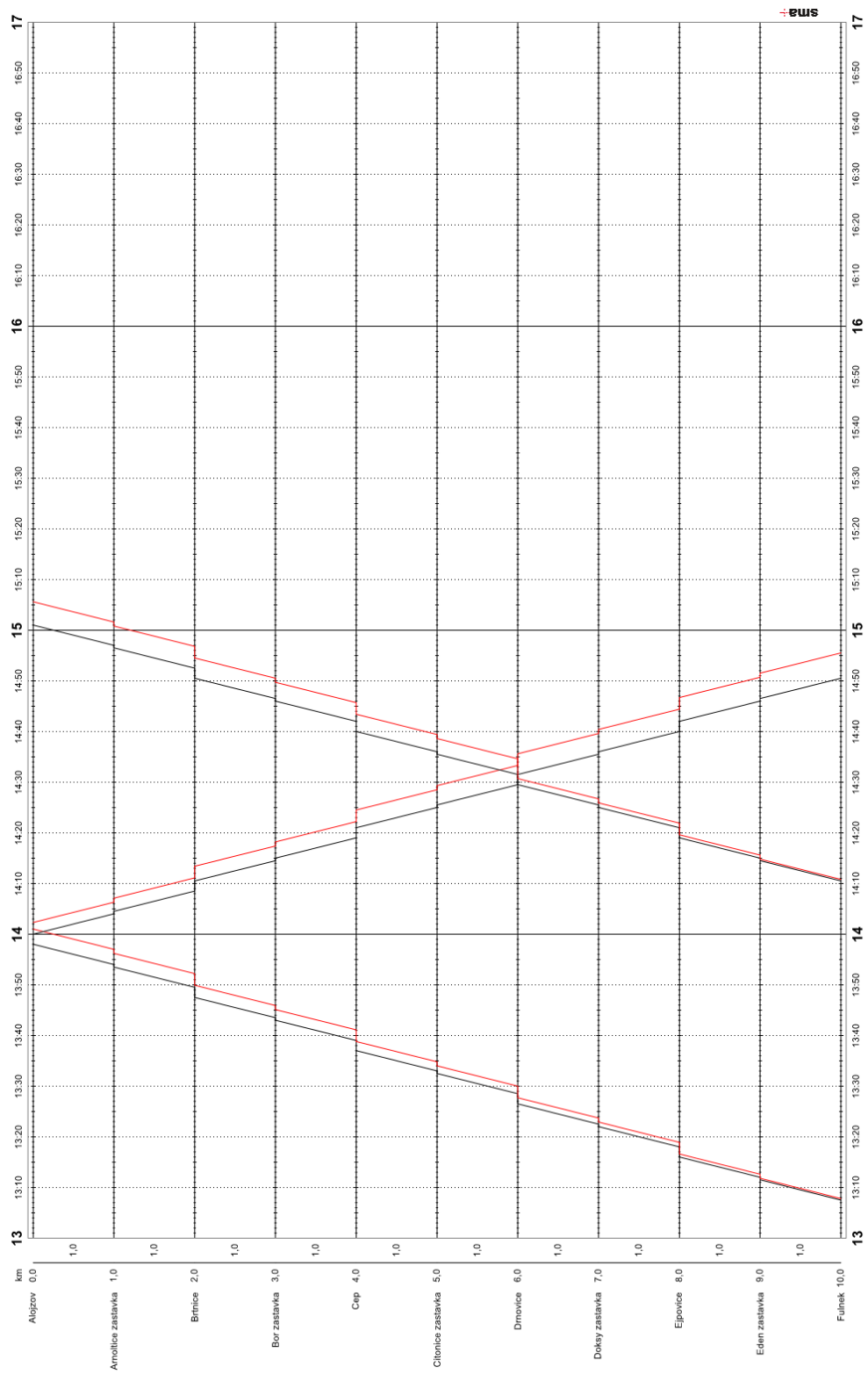
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x02AB

Zdroj: autor



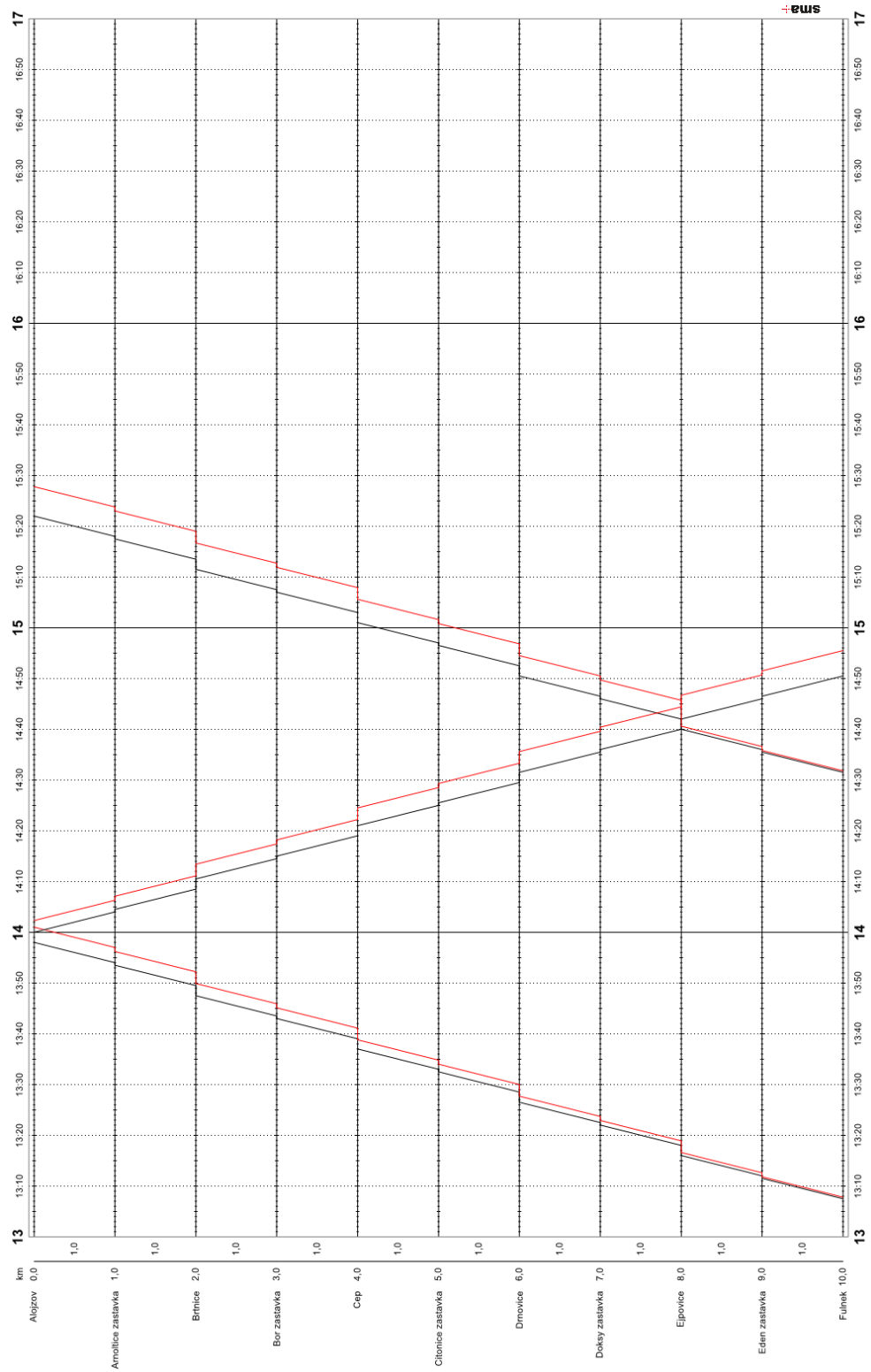
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x02AC

Zdroj: autor



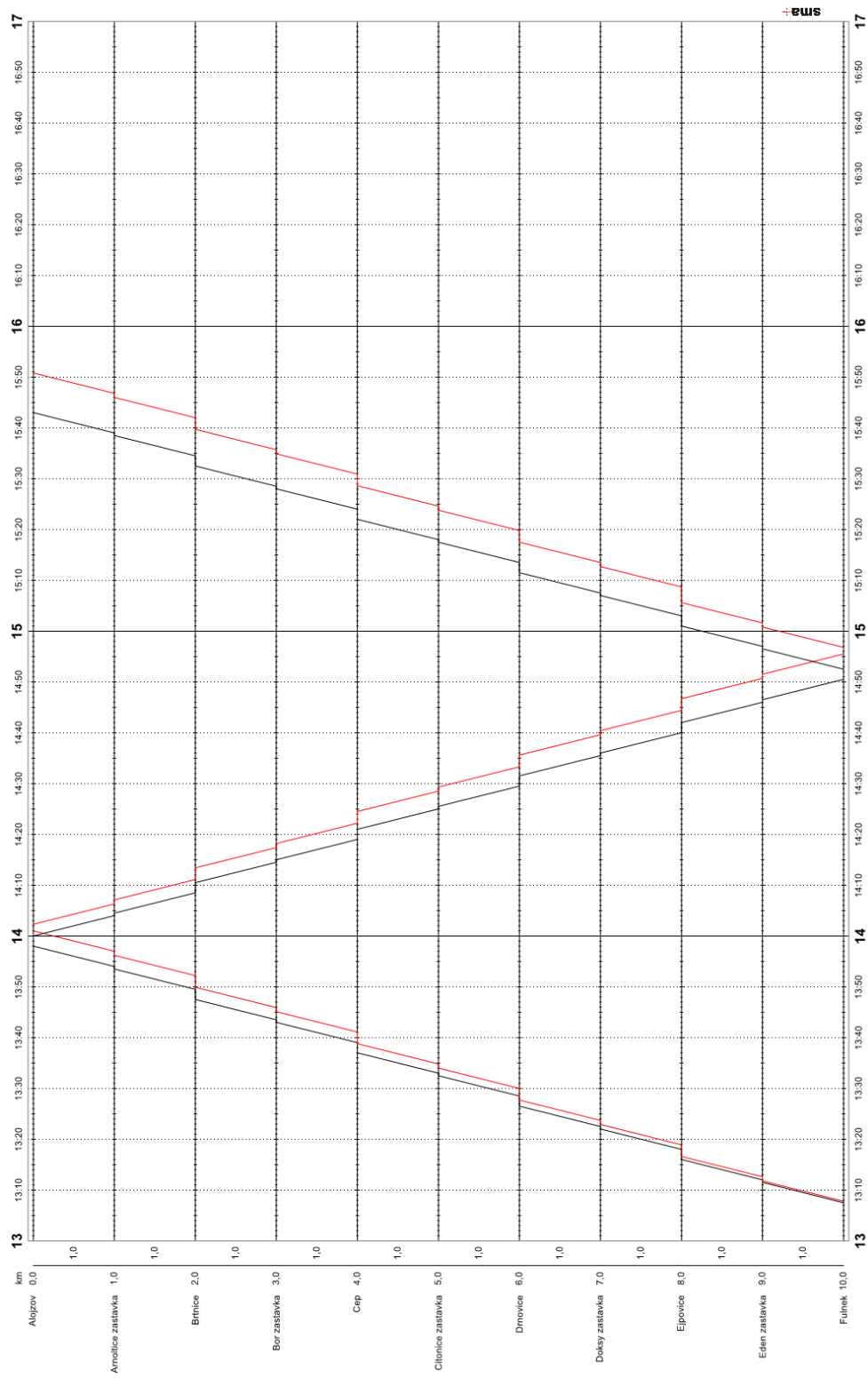
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x02AD

Zdroj: autor



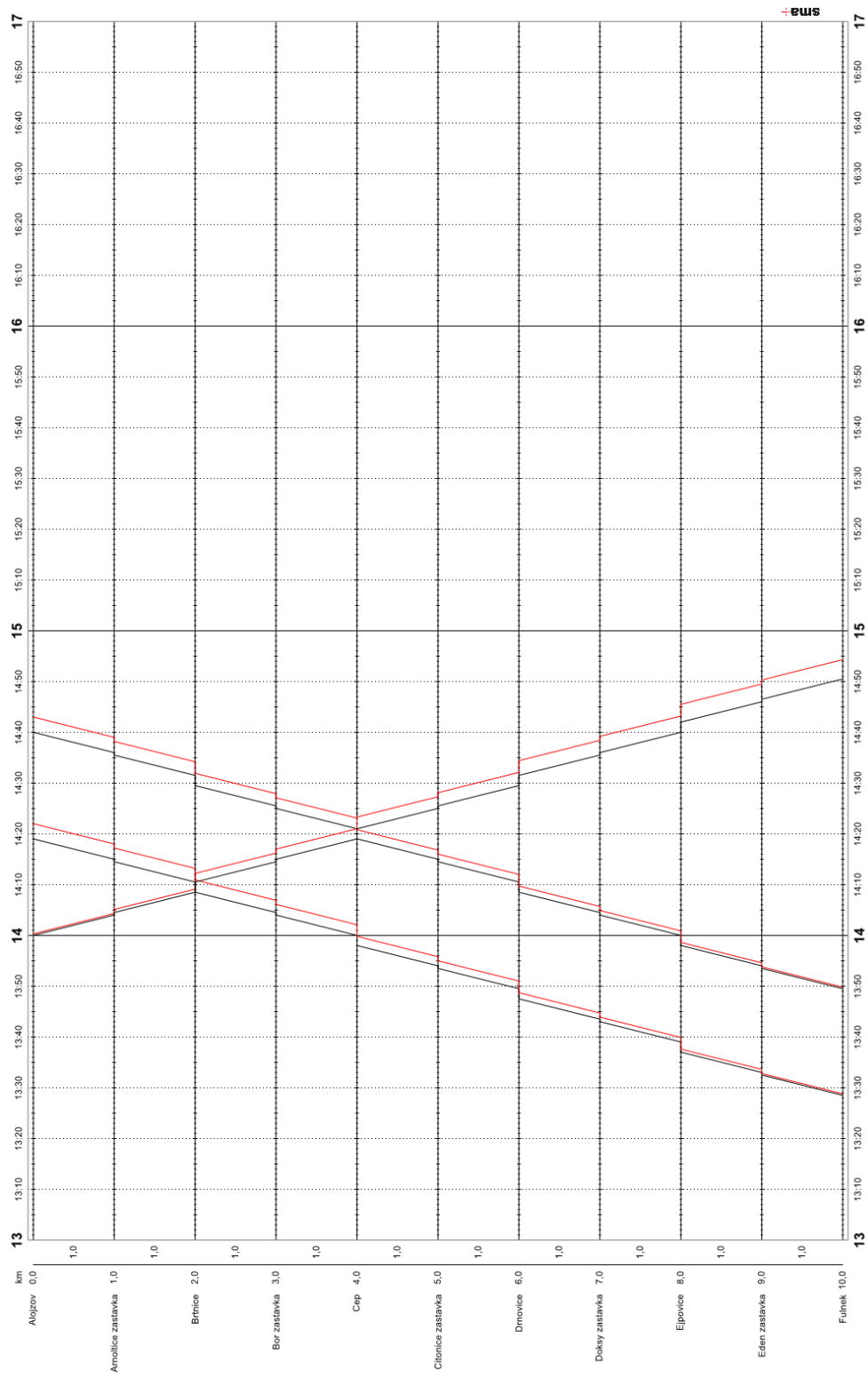
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x02AE

Zdroj: autor



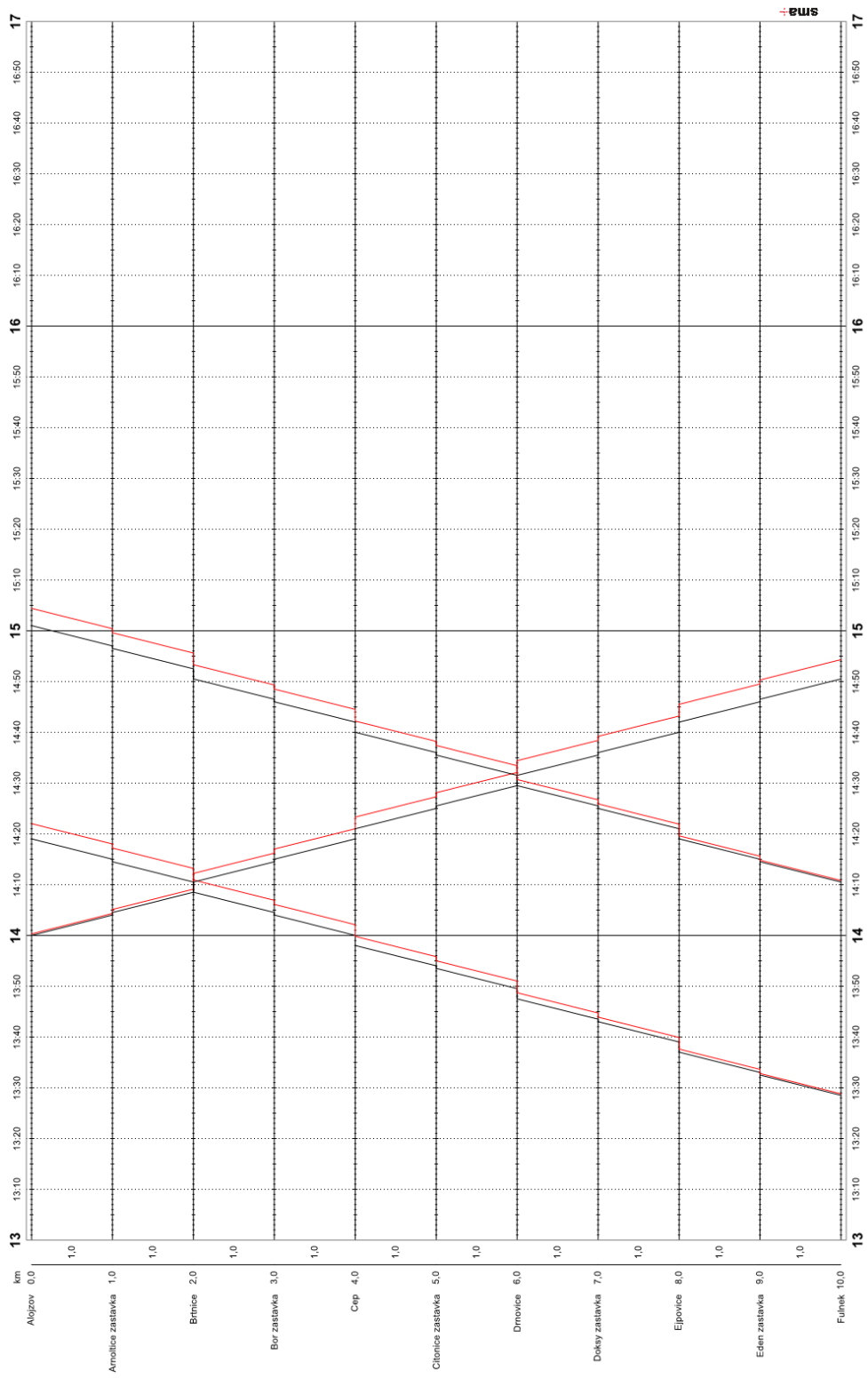
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x02AF

Zdroj: autor



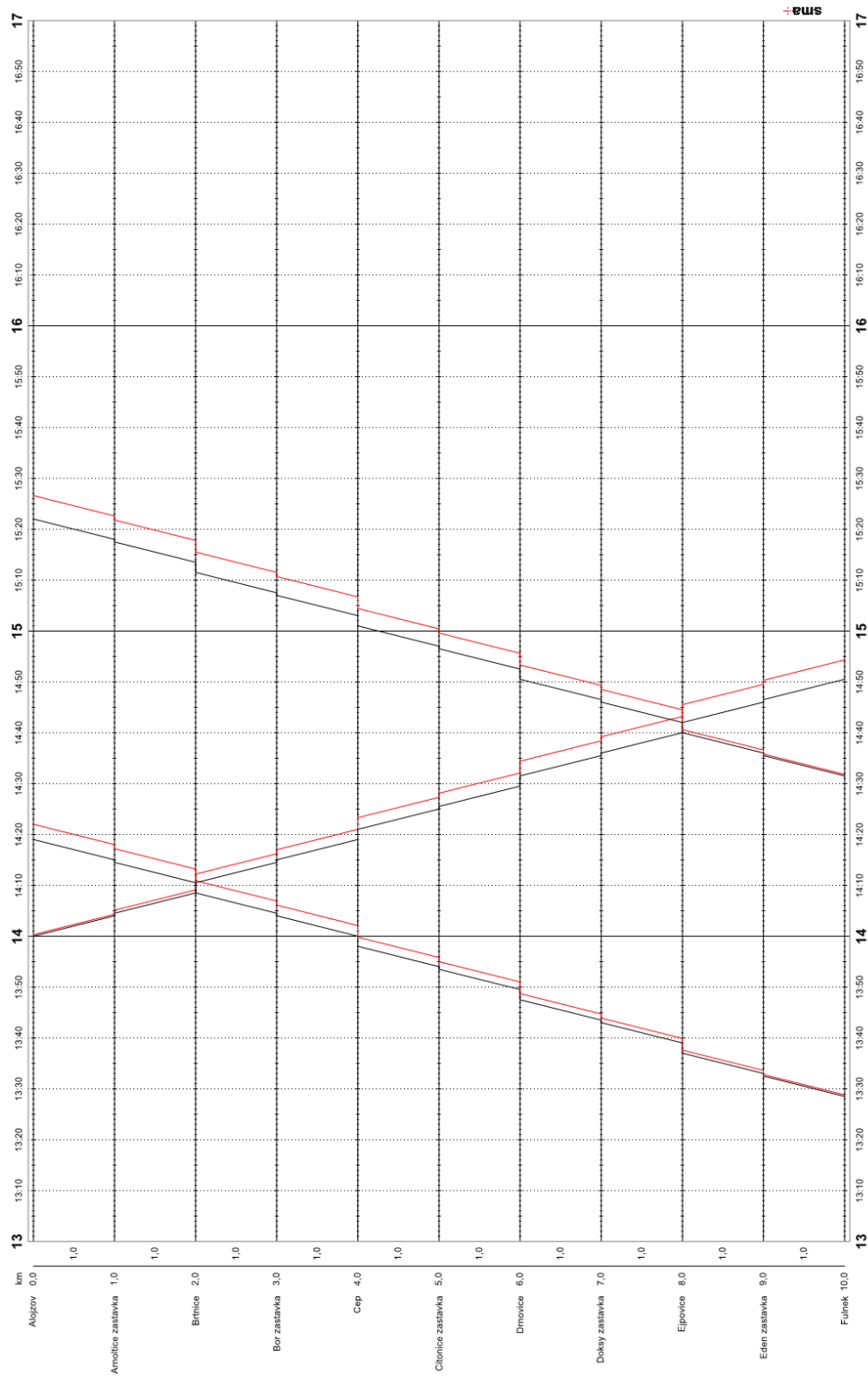
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x02BC

Zdroj: autor



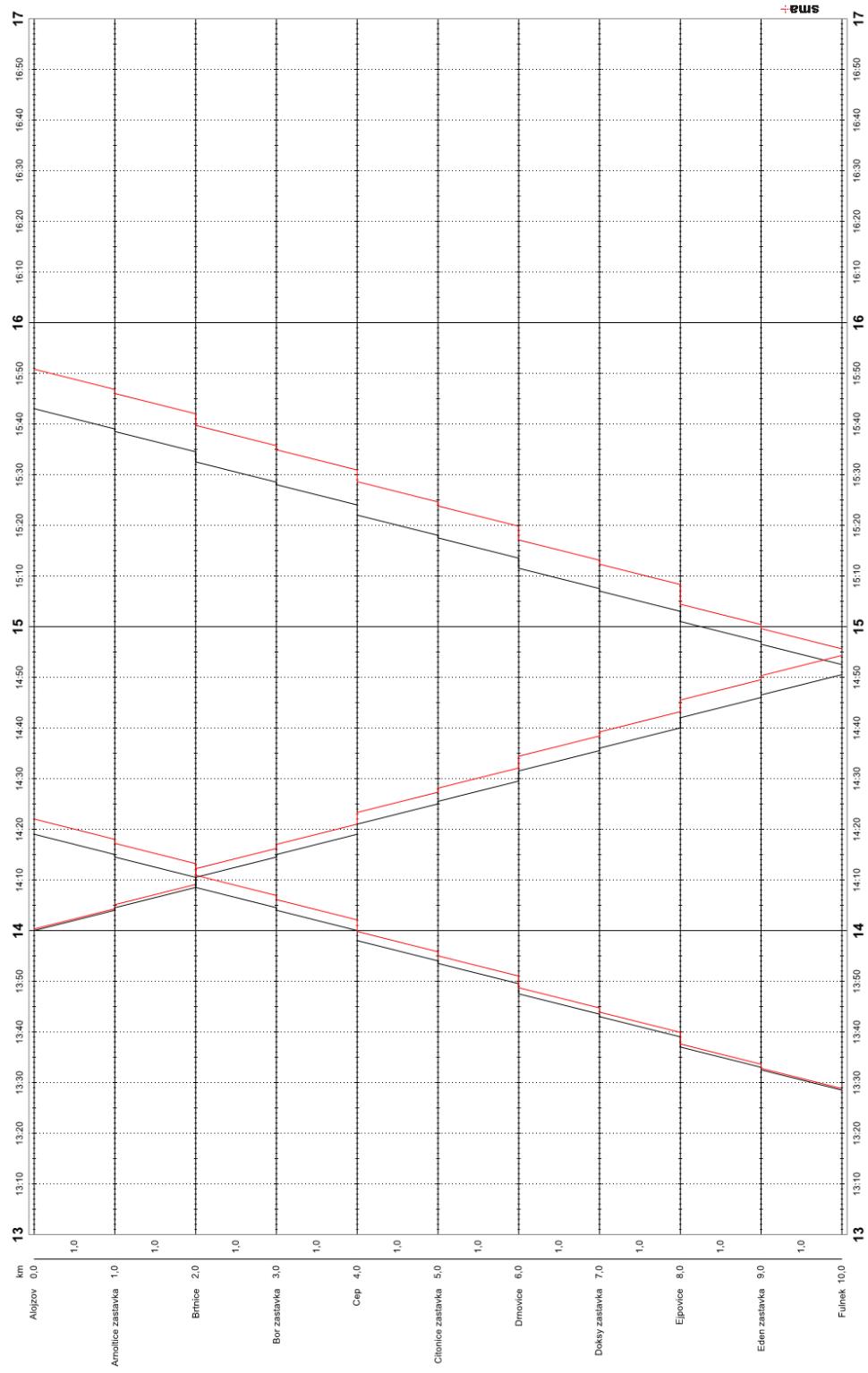
Nákrasný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x02BD

Zdroj: autor



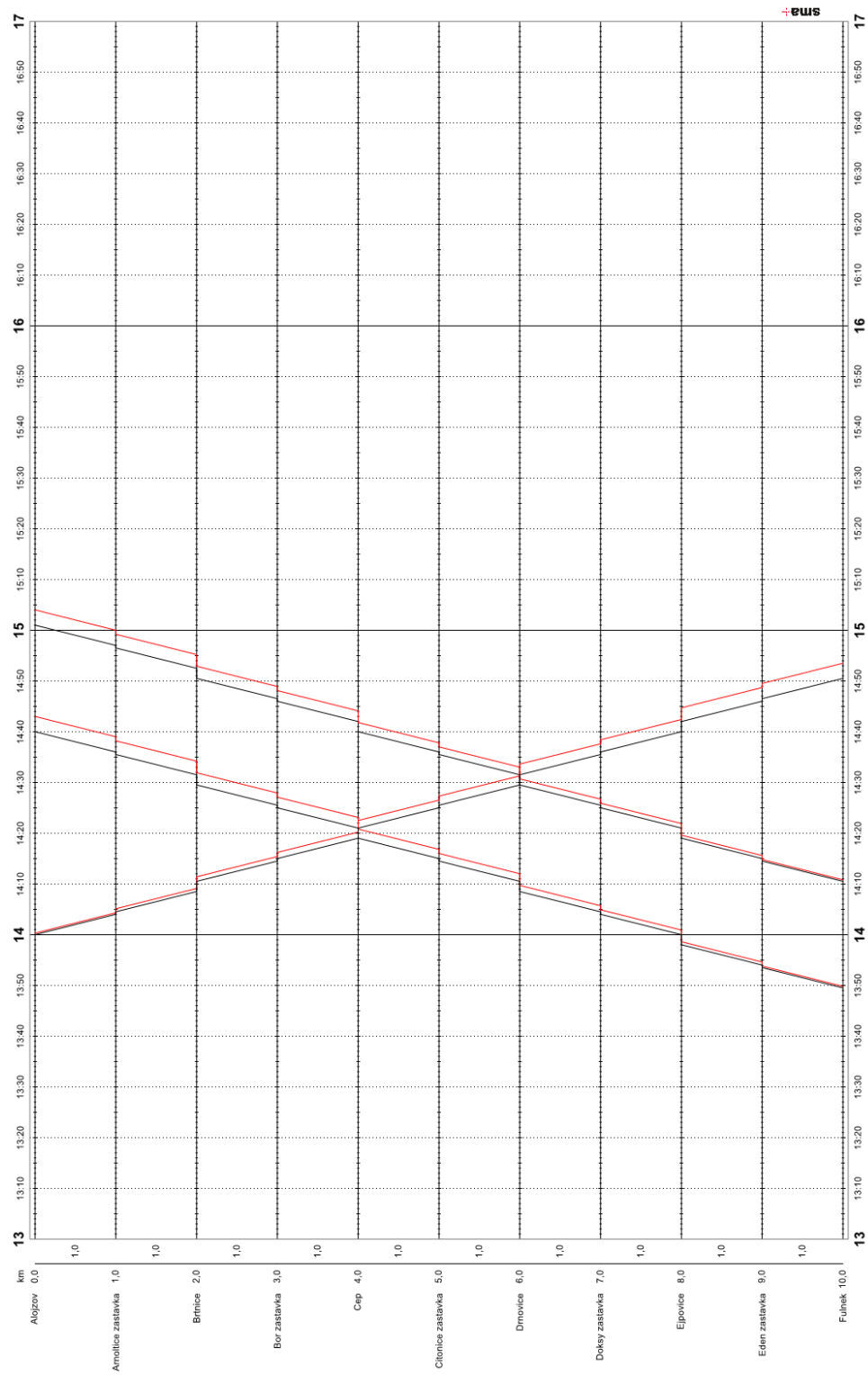
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x02BE

Zdroj: autor



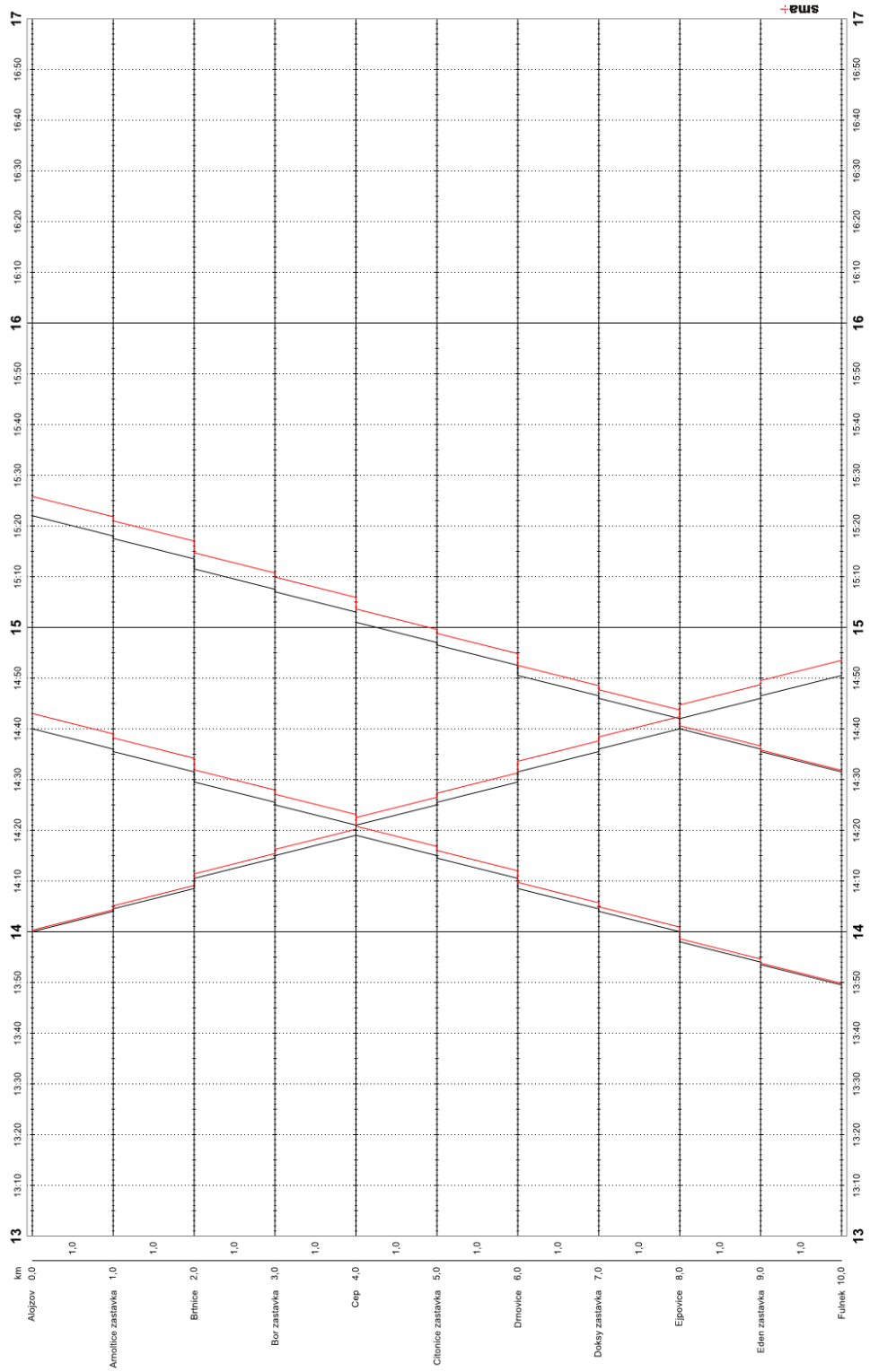
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x02BF

Zdroj: autor



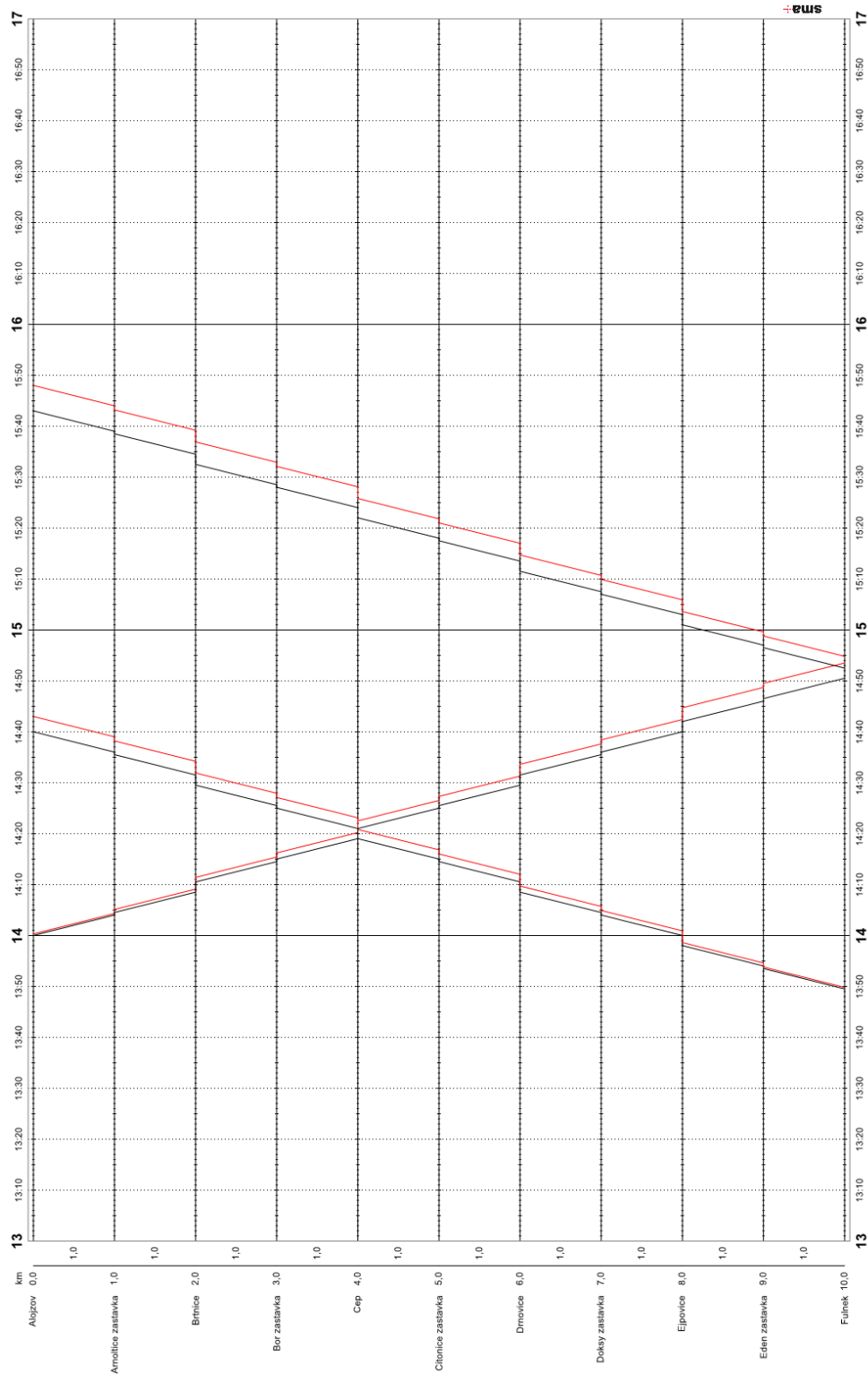
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x02CD

Zdroj: autor



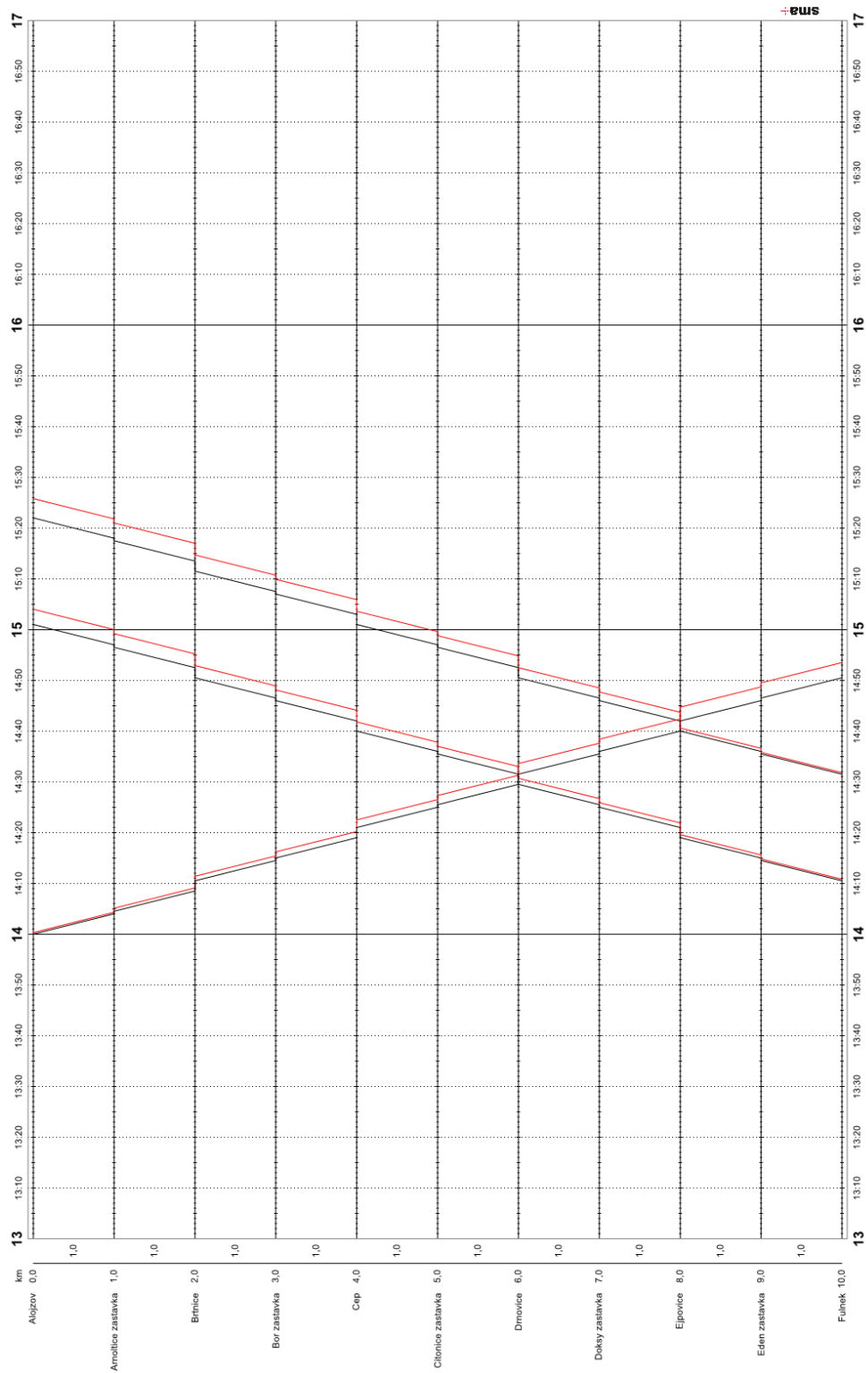
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x02CE

Zdroj: autor



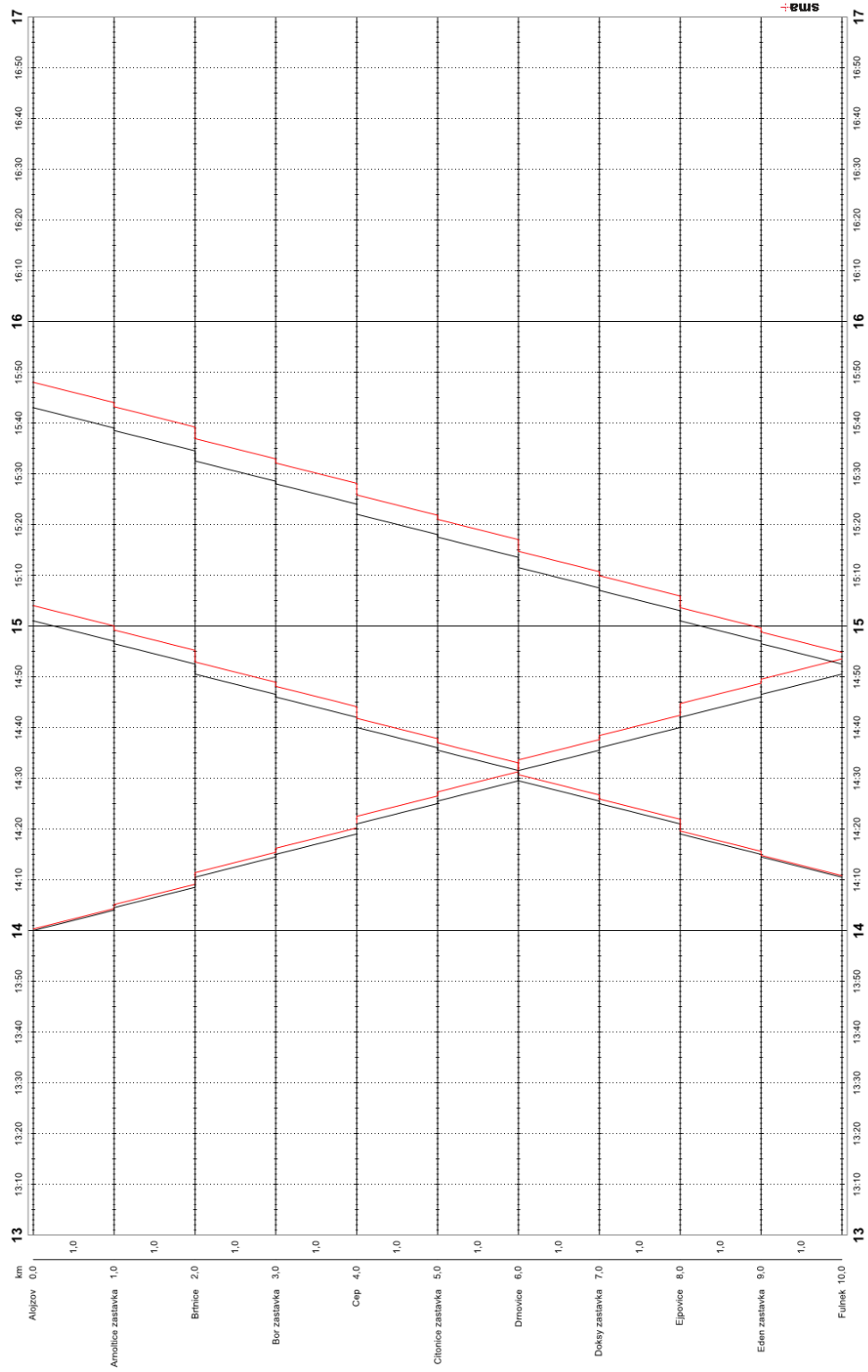
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x02CF

Zdroj: autor



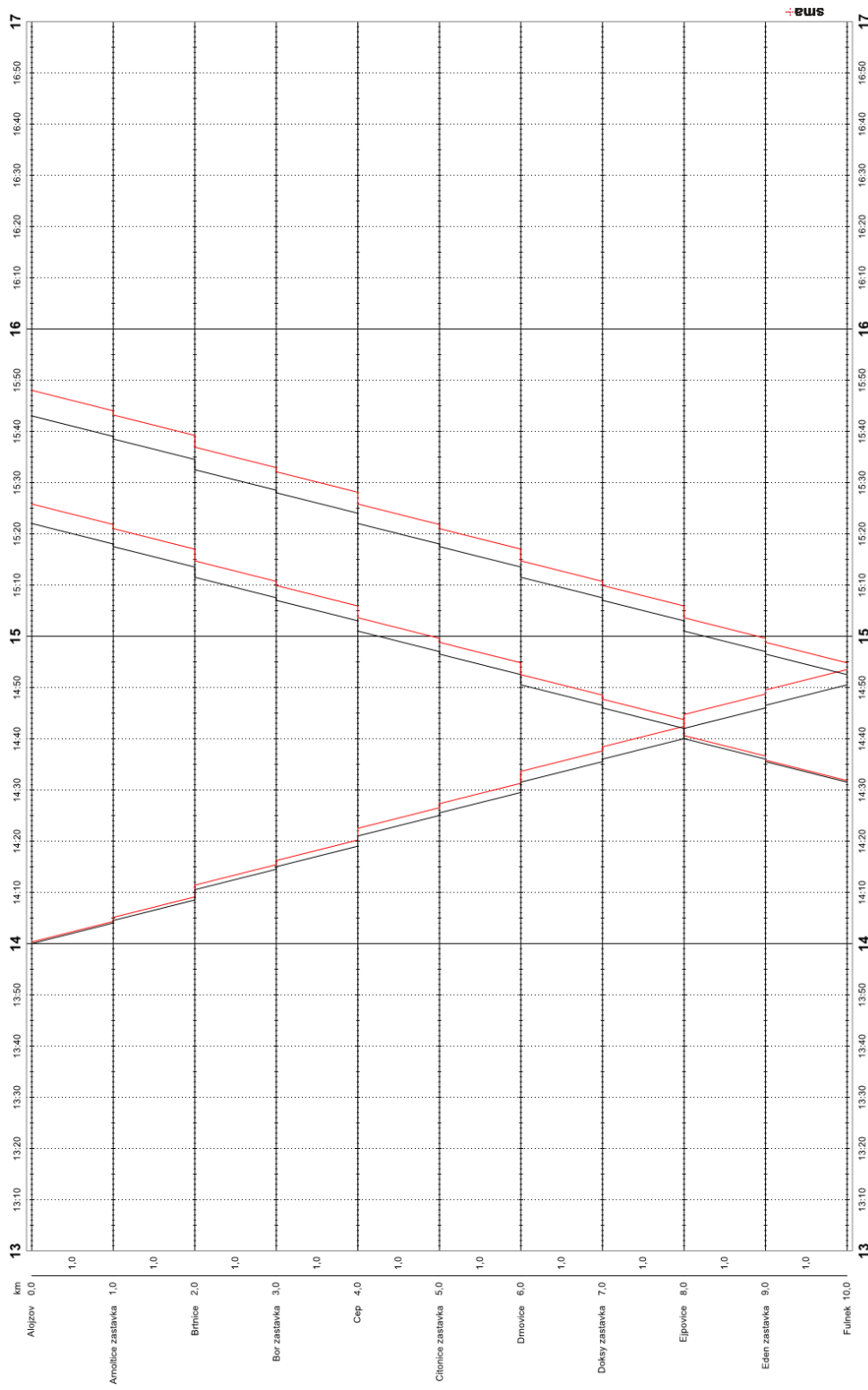
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x02DE

Zdroj: autor



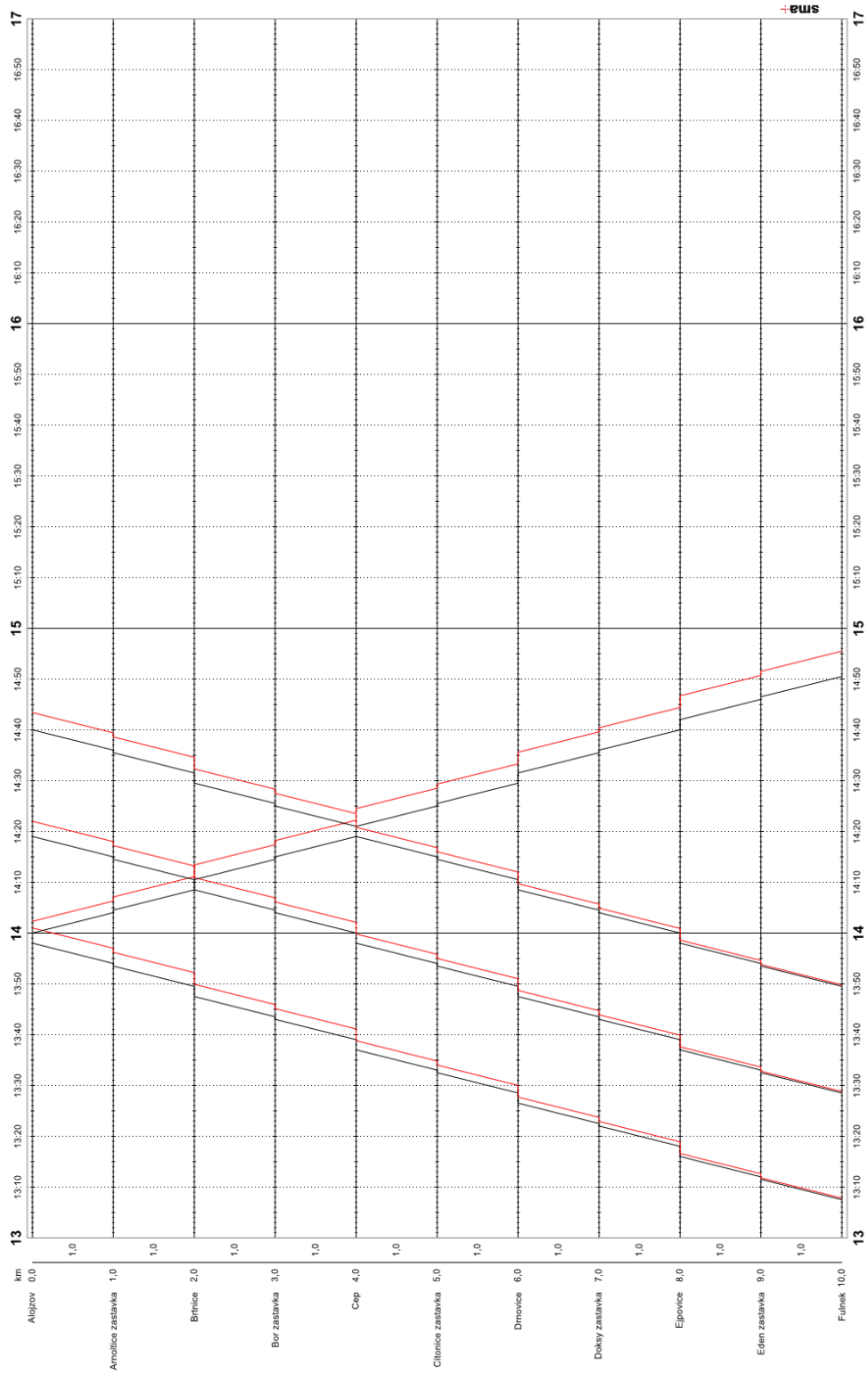
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x02DF

Zdroj: autor



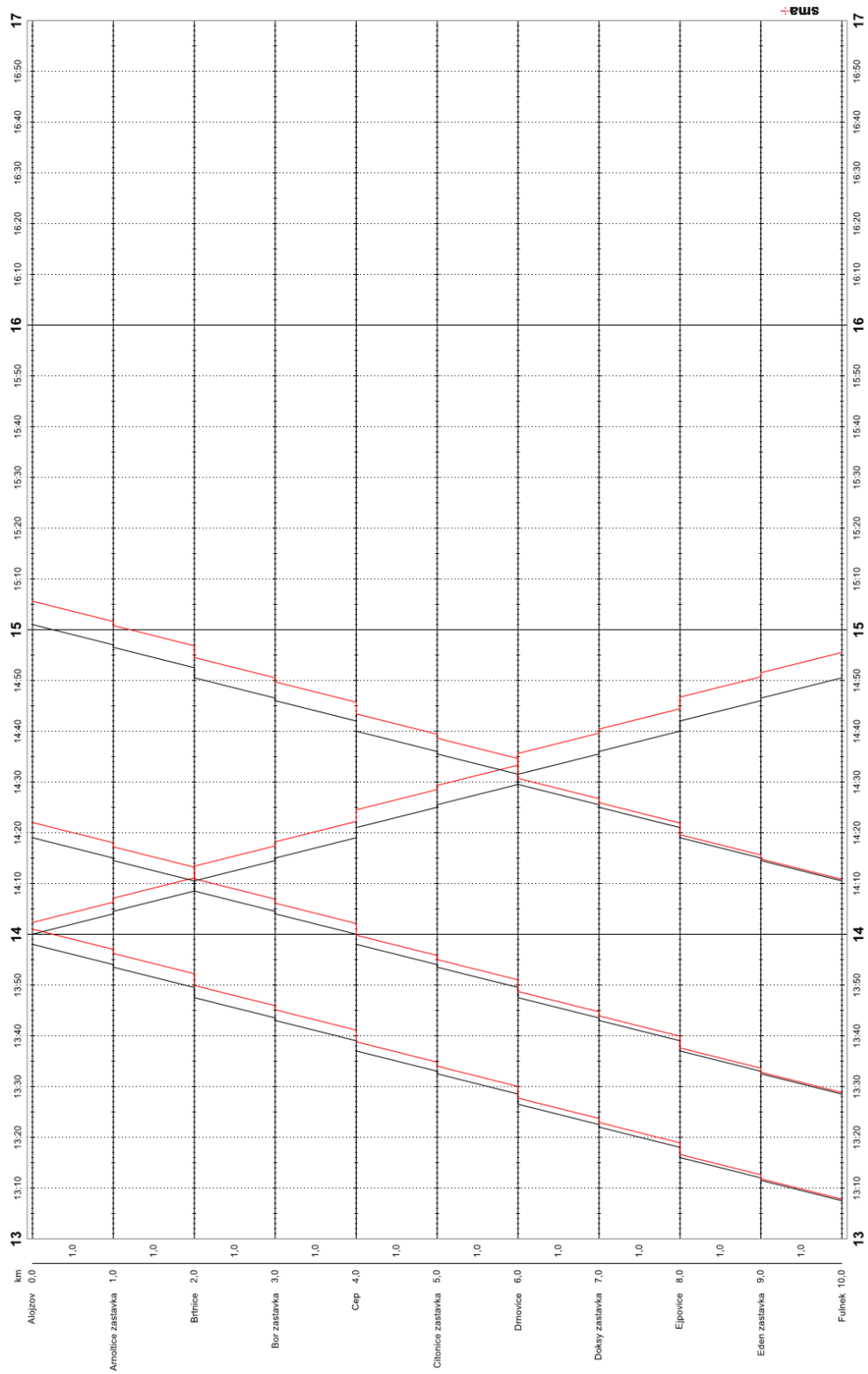
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x02EF

Zdroj: autor



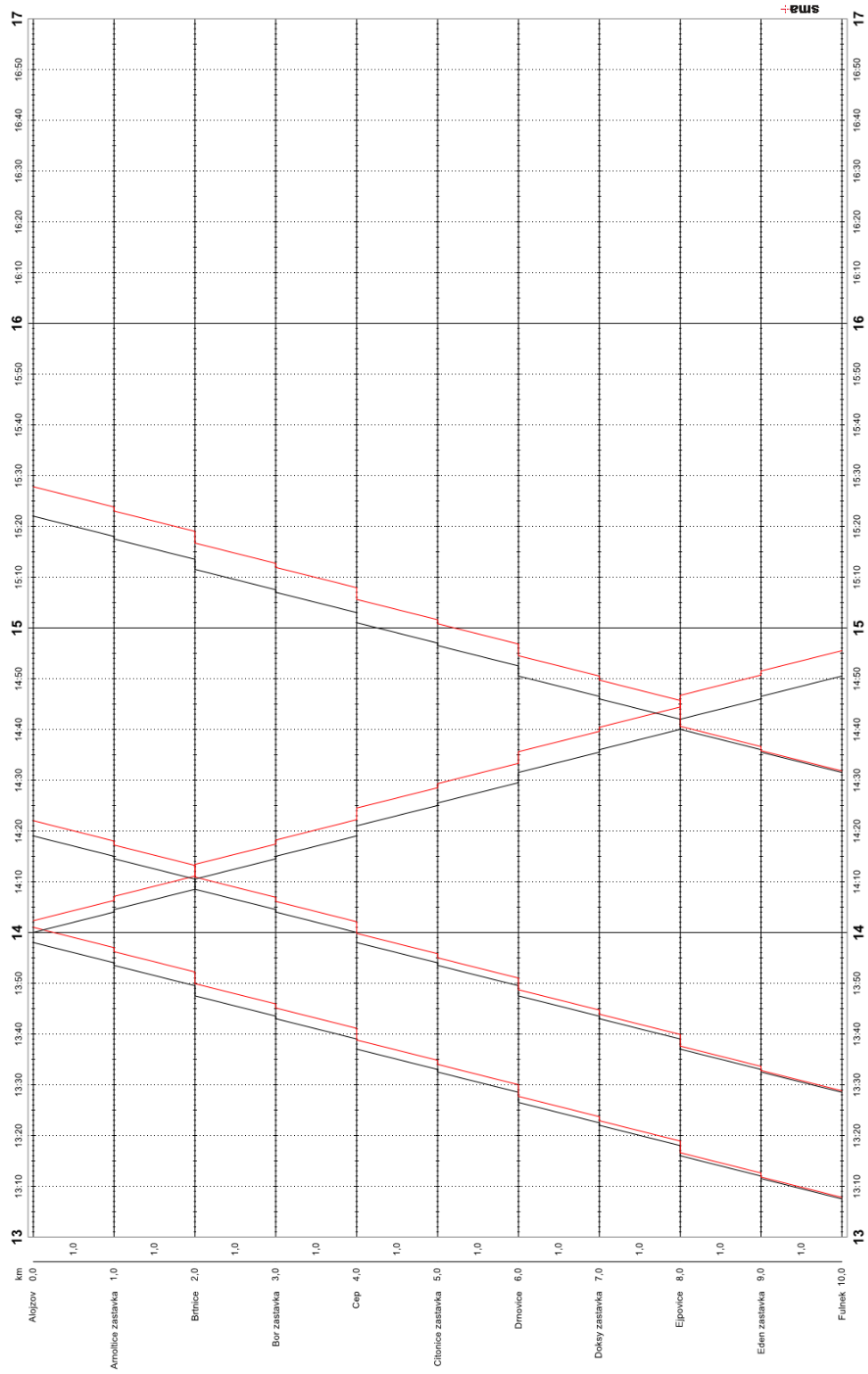
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x03ABC

Zdroj: autor



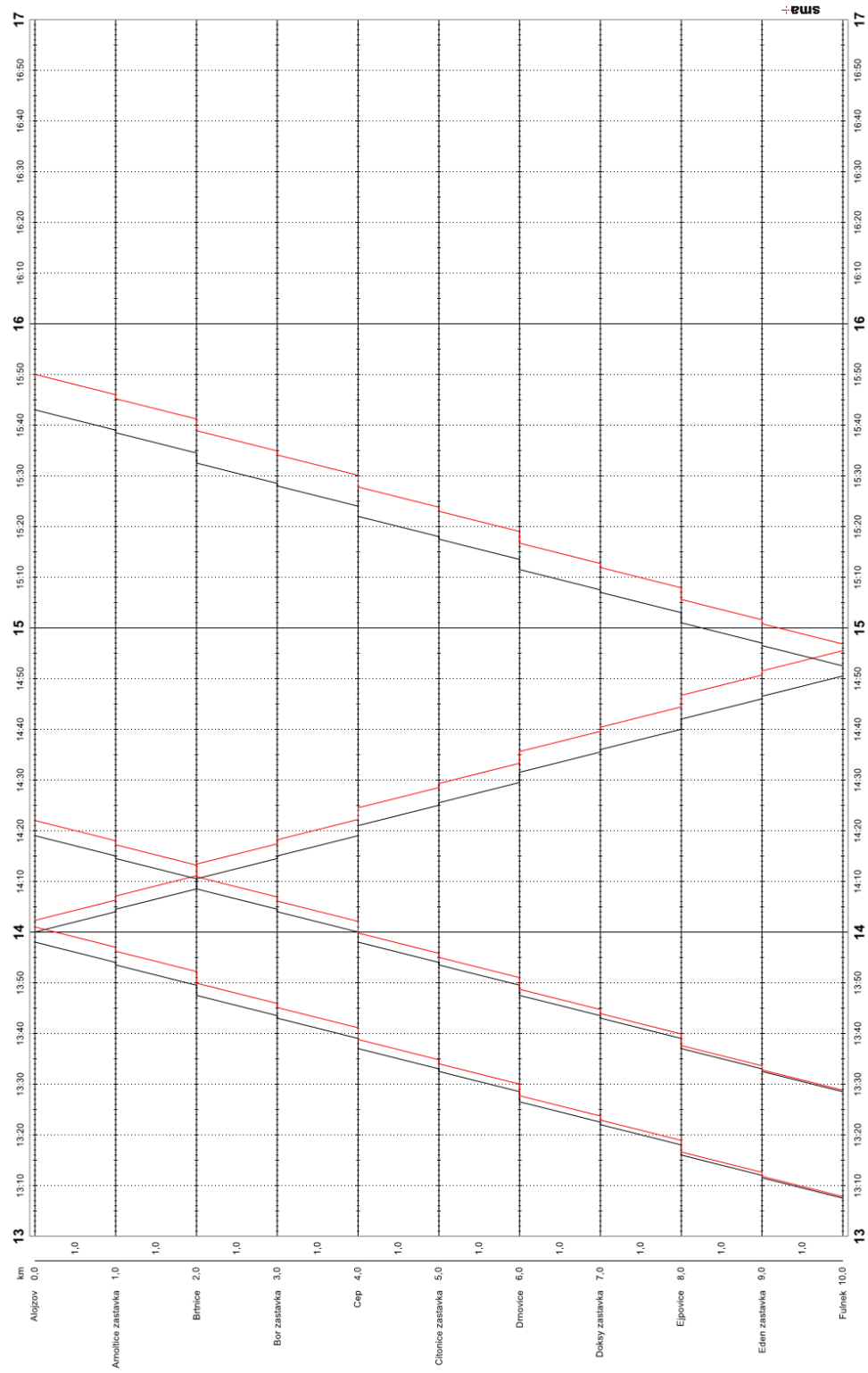
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x03ABD

Zdroj: autor



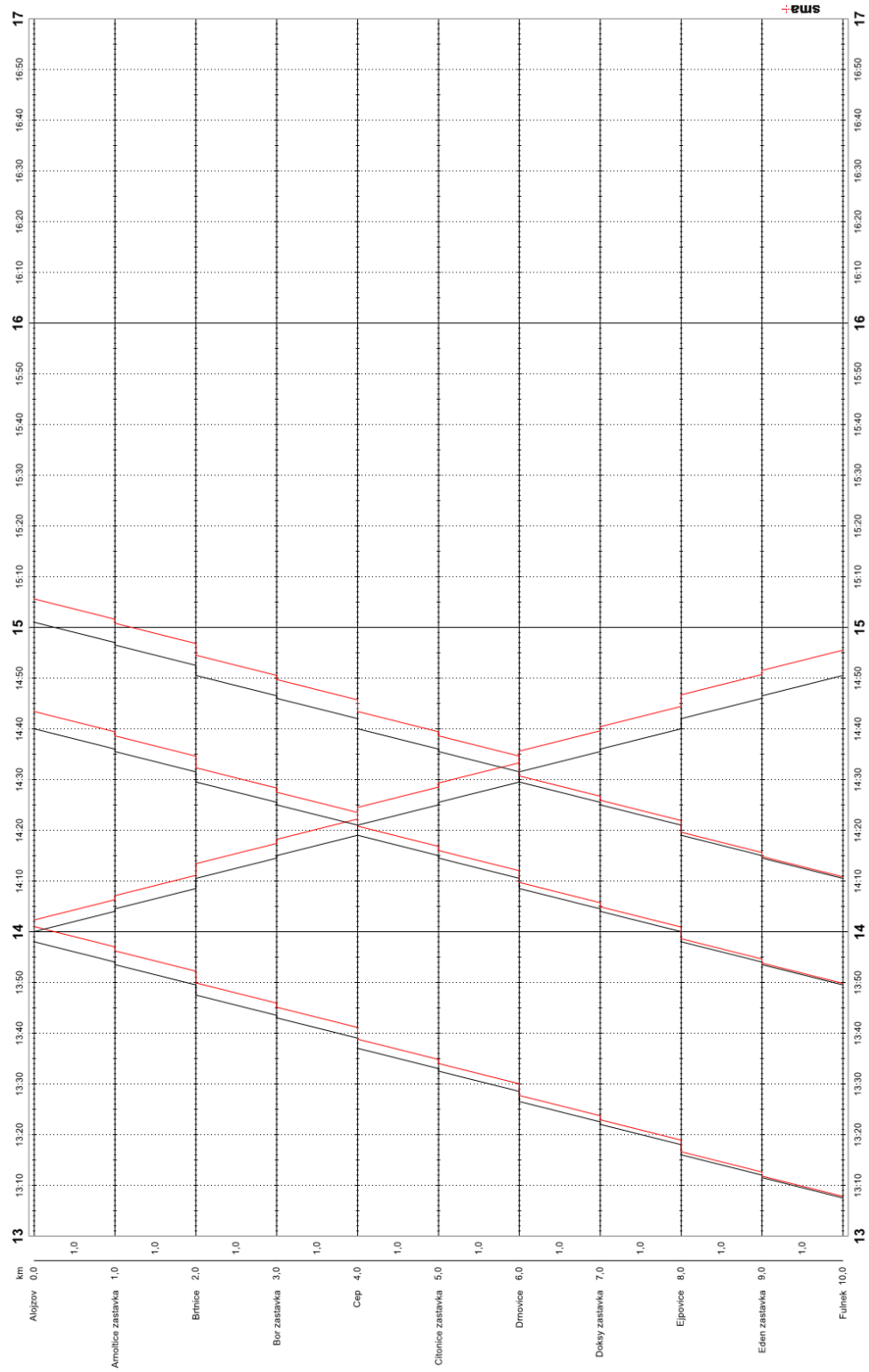
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x03ABE

Zdroj: autor



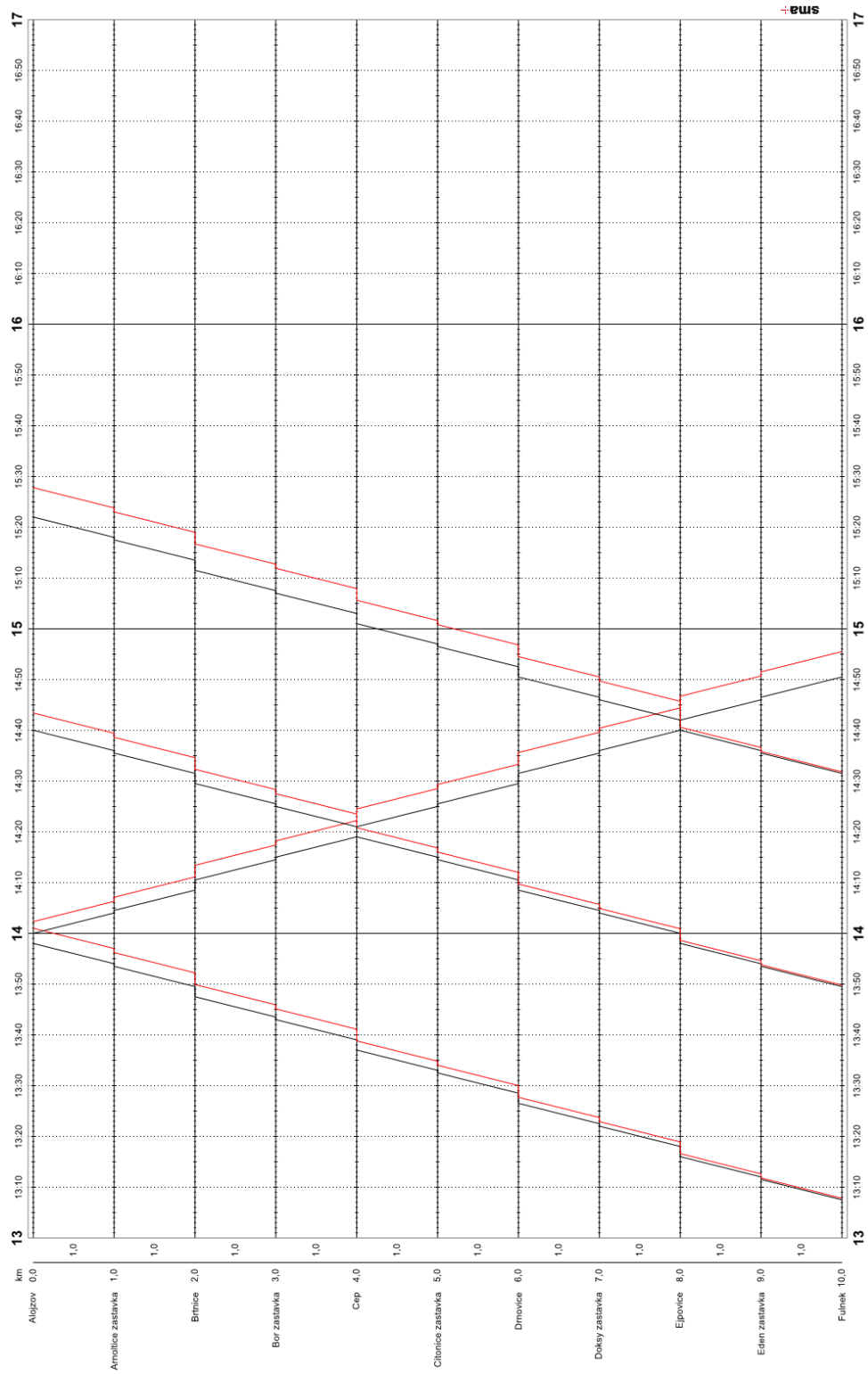
Nakresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x03ABF

Zdroj: autor



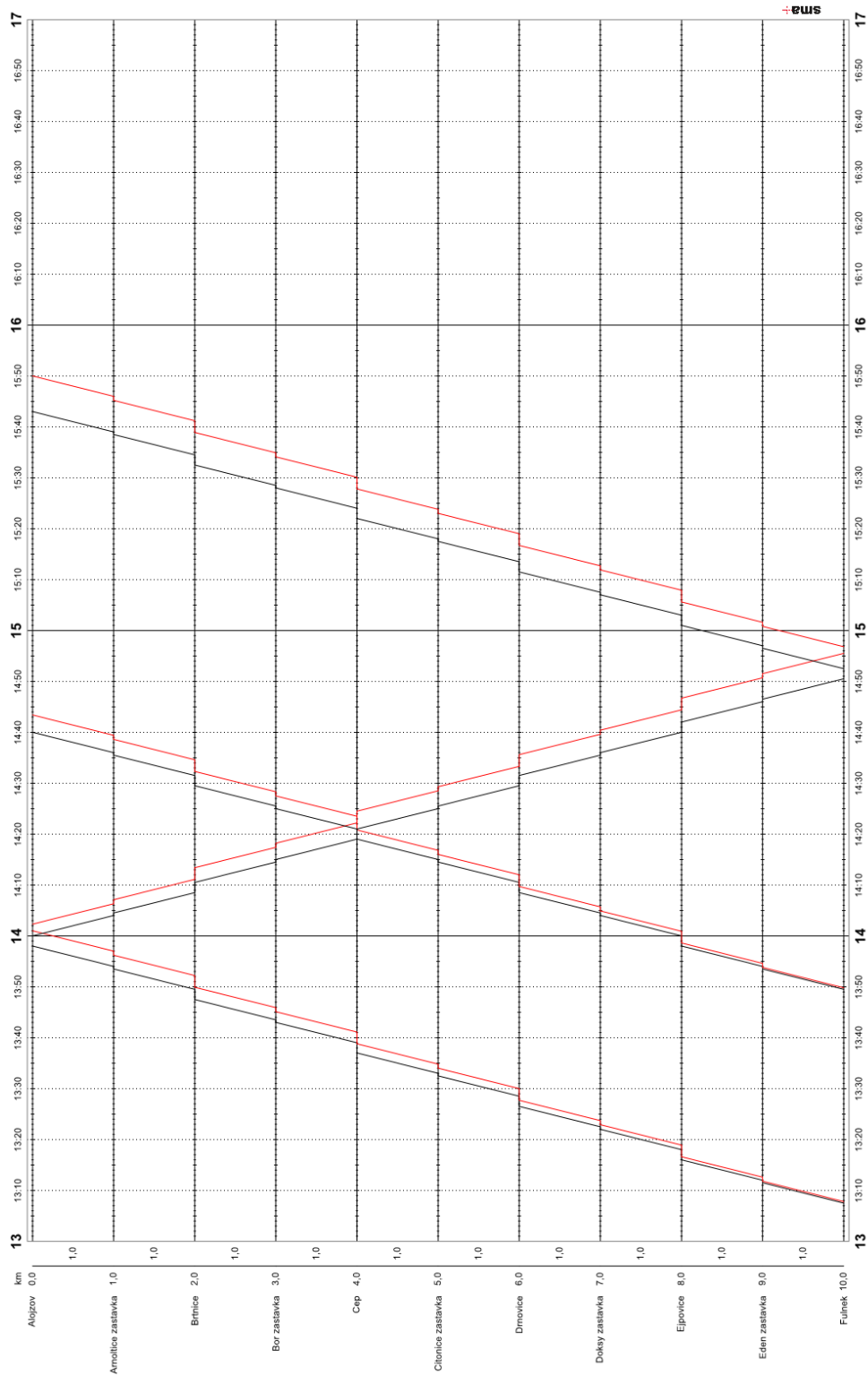
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x03ACD

Zdroj: autor



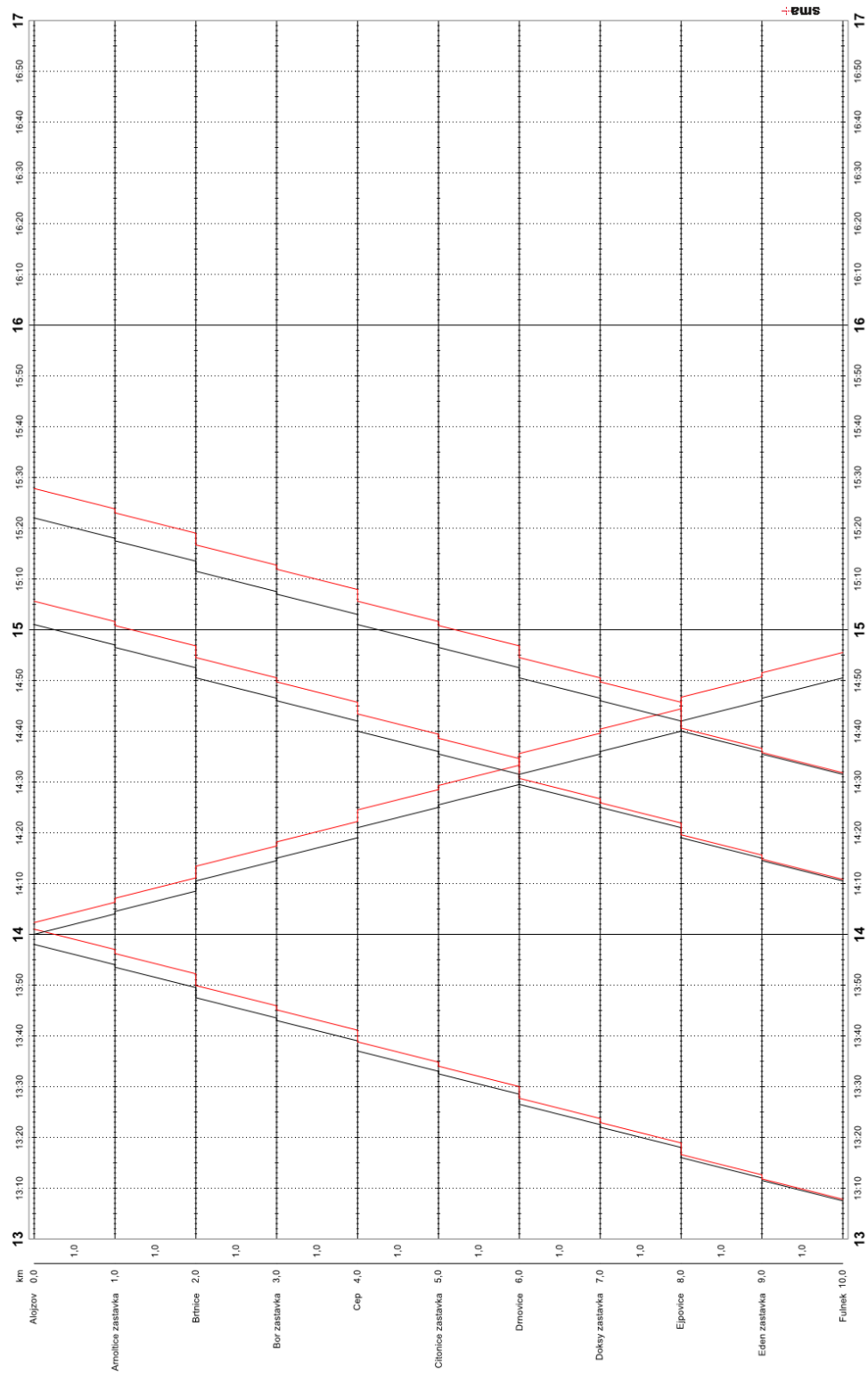
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x03ACE

Zdroj: autor



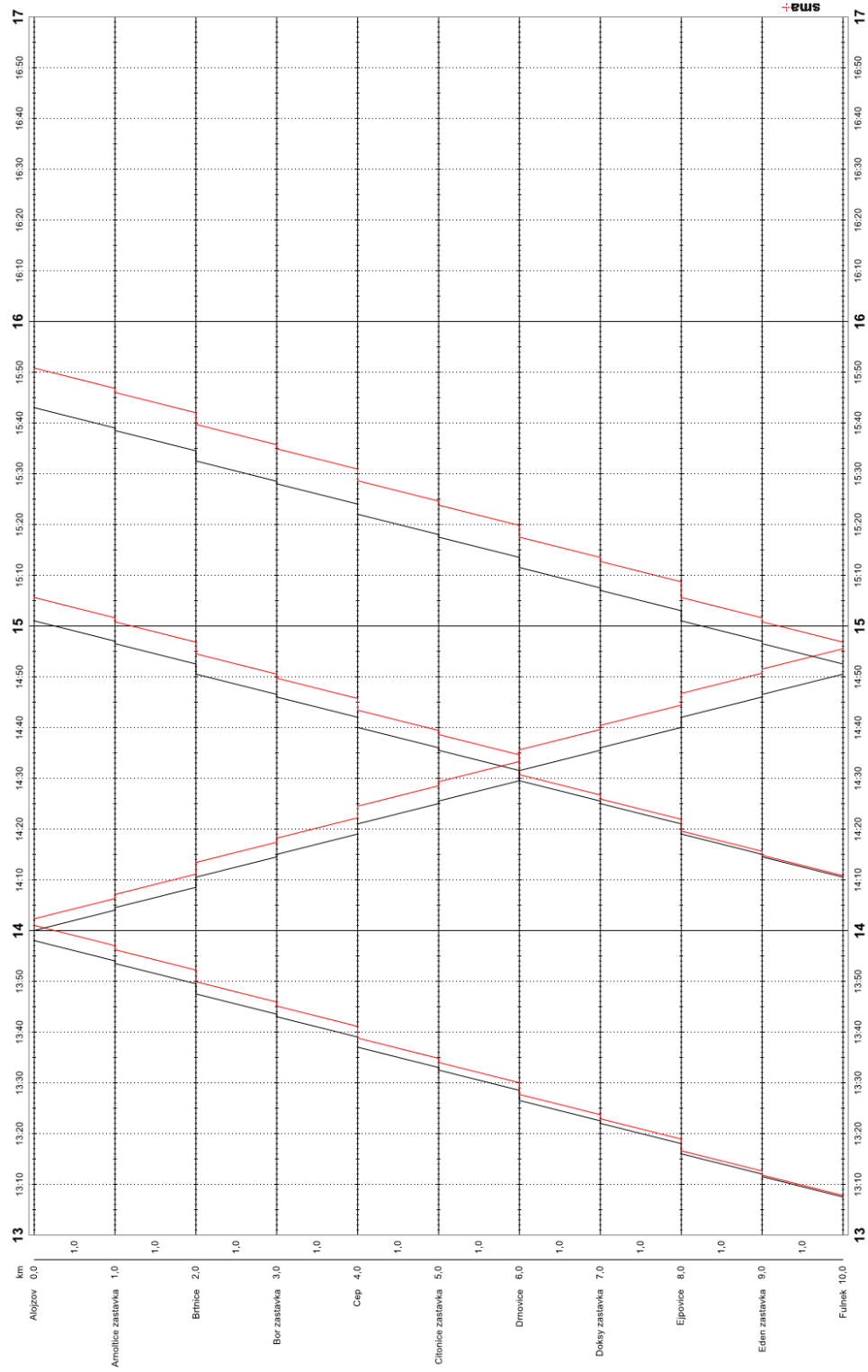
Nakresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x03ACF

Zdroj: autor



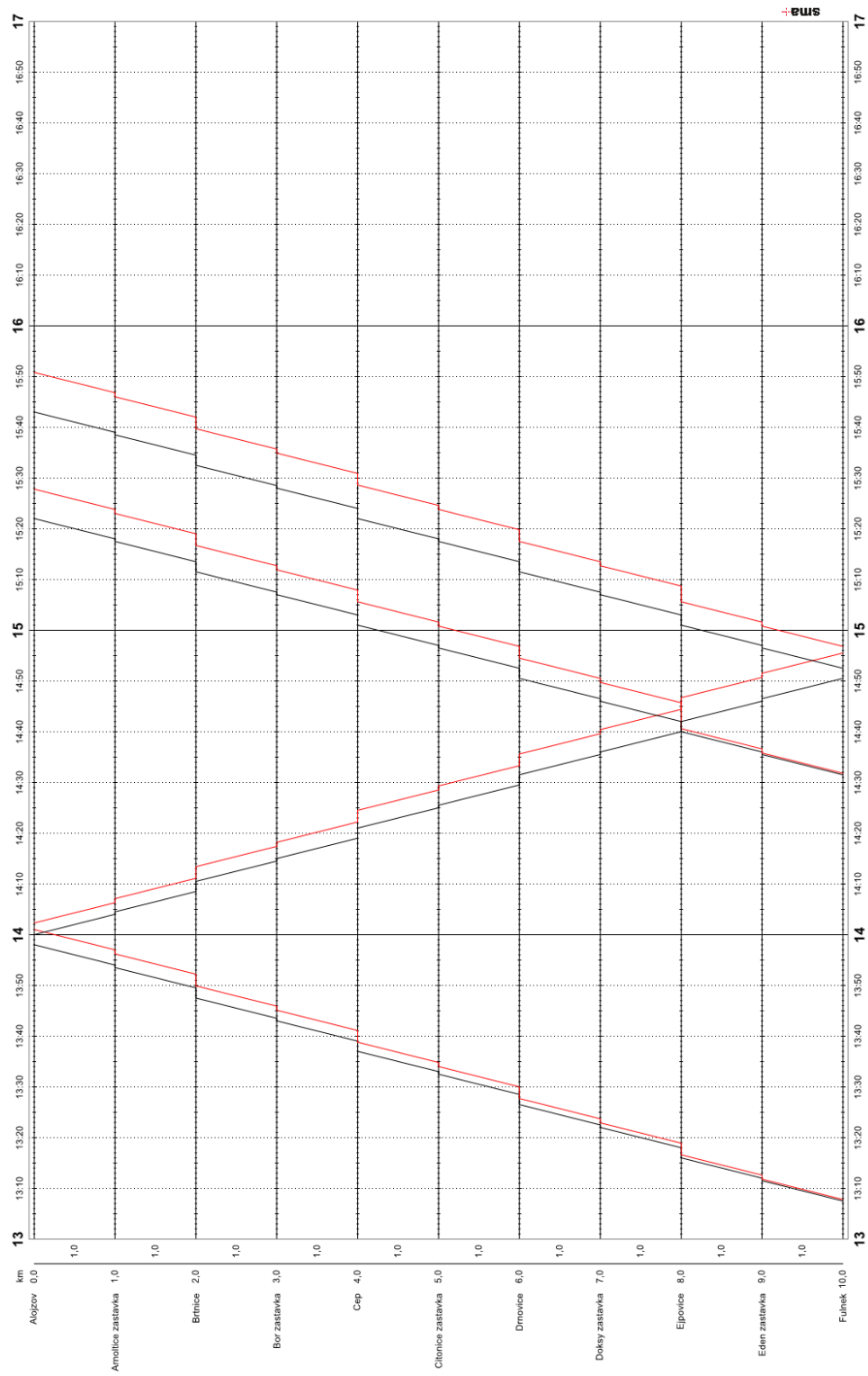
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x03ADE

Zdroj: autor



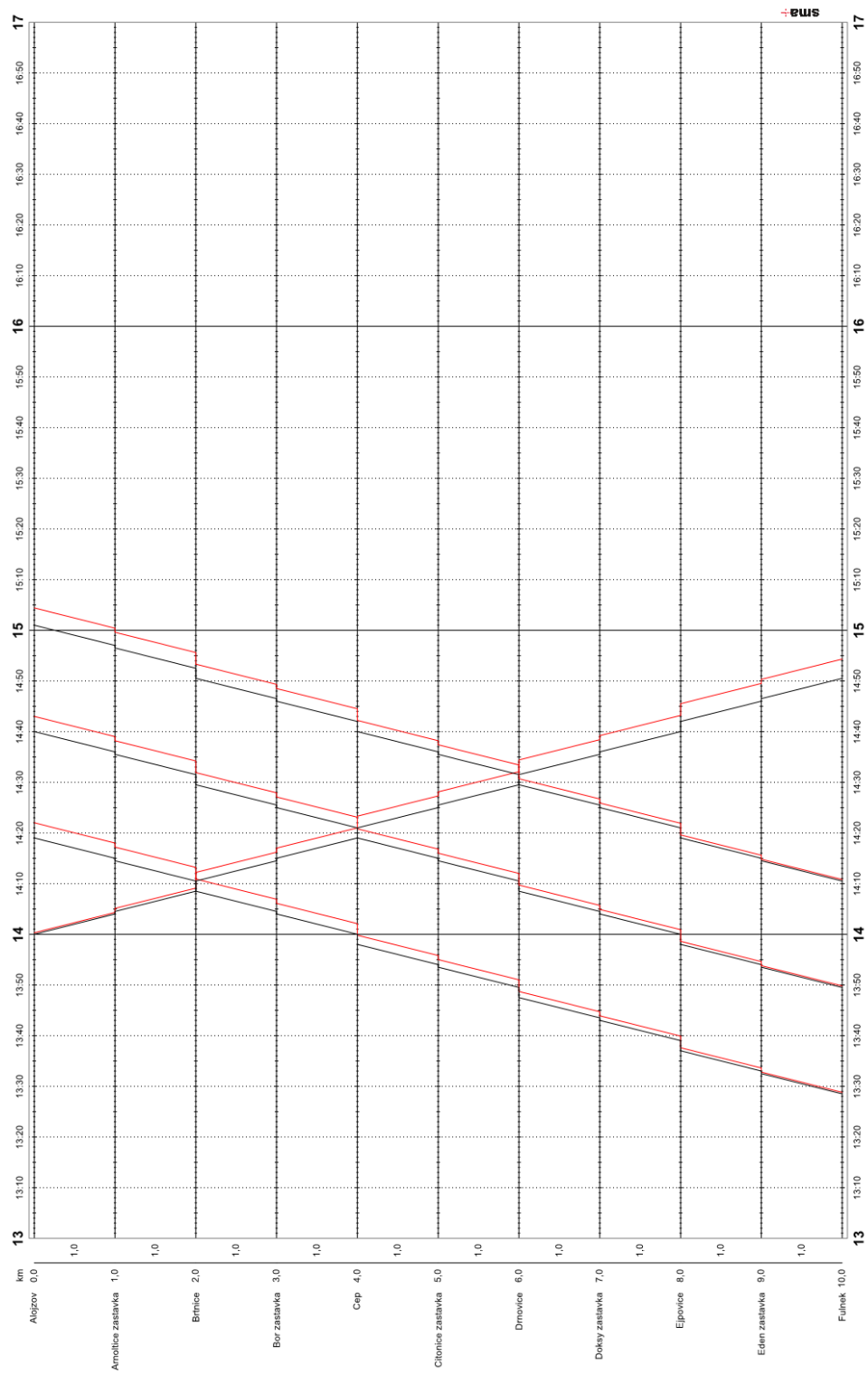
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x03ADF

Zdroj: autor



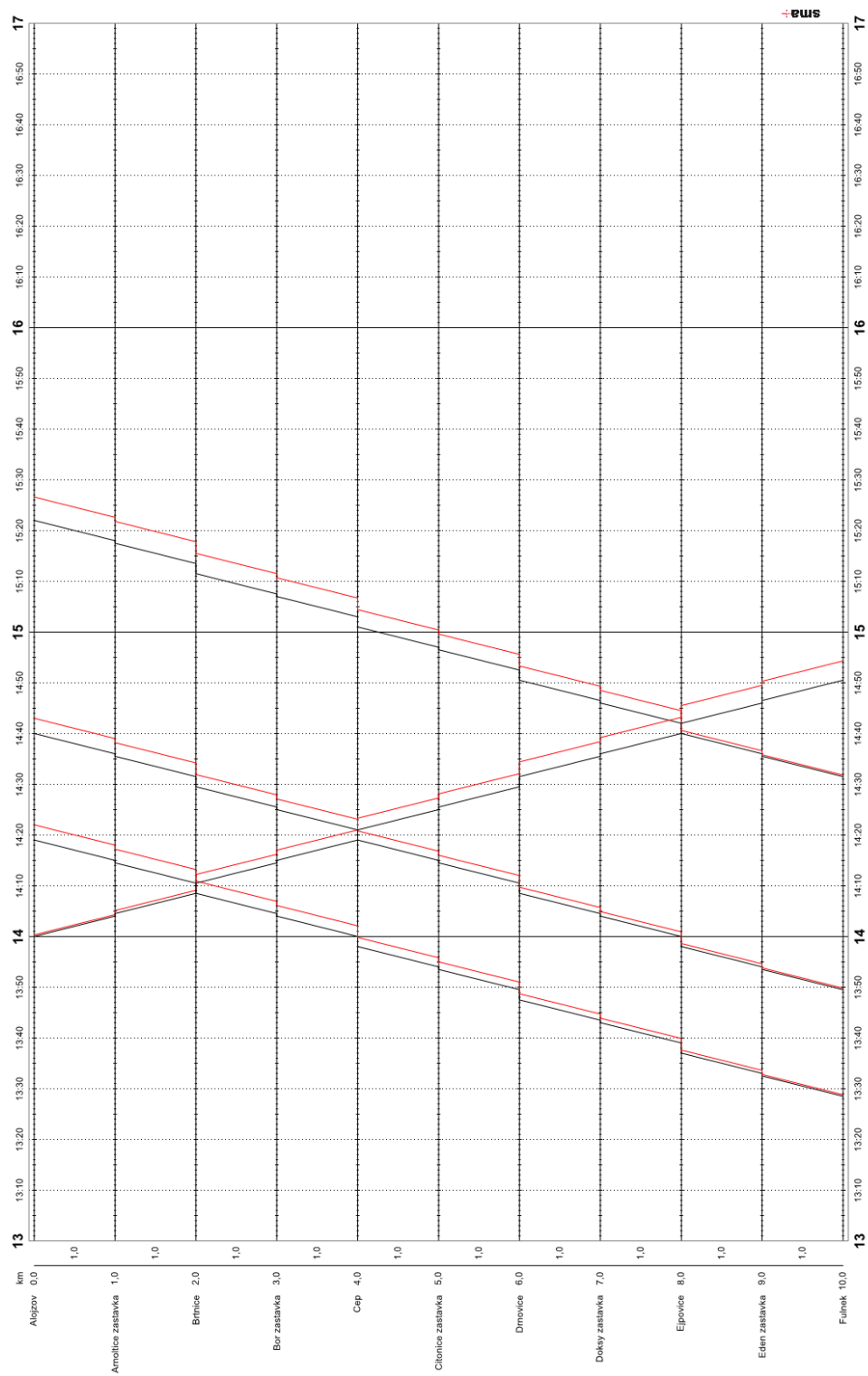
Nakresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x03AEF

Zdroj: autor



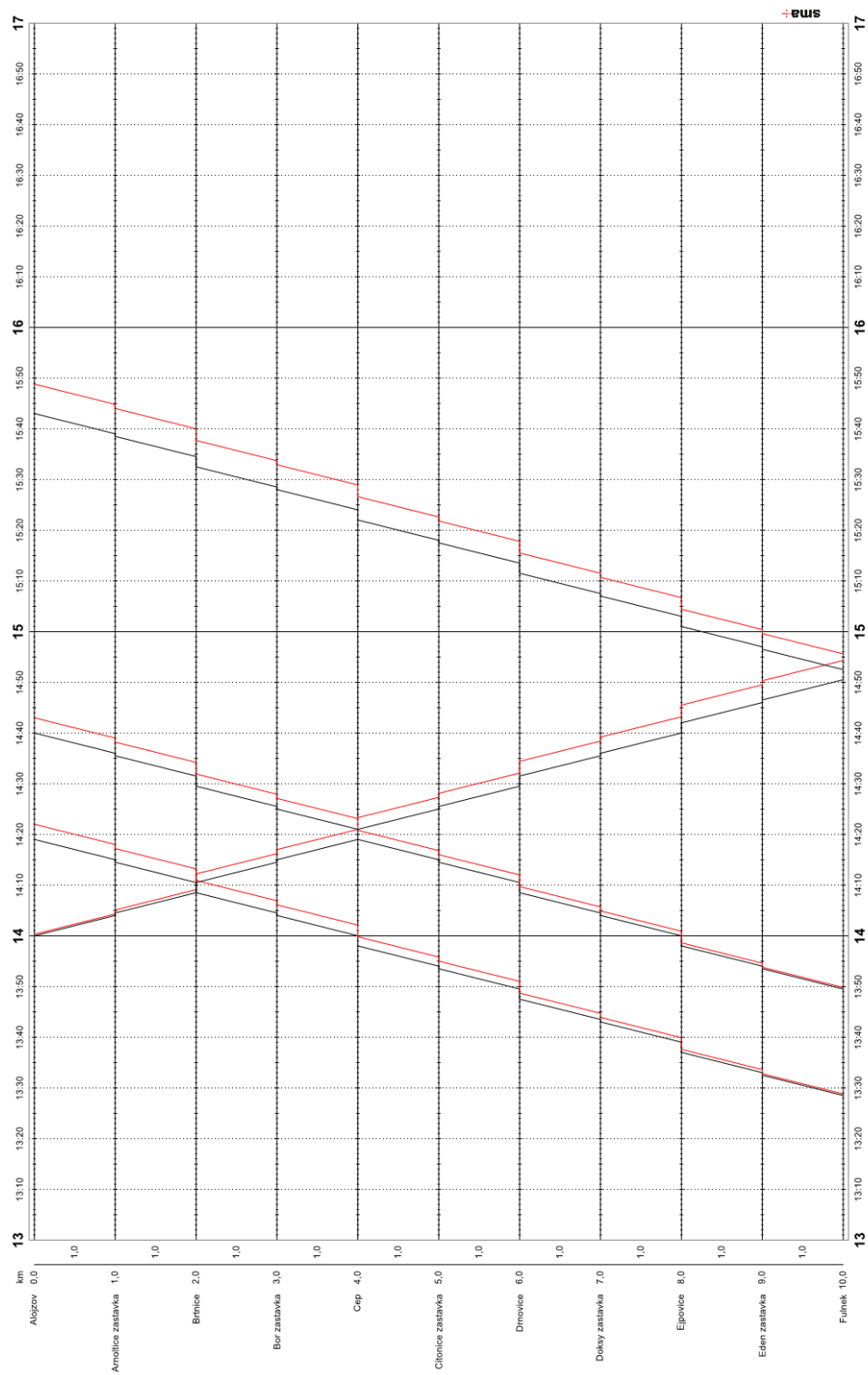
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x03BCD

Zdroj: autor



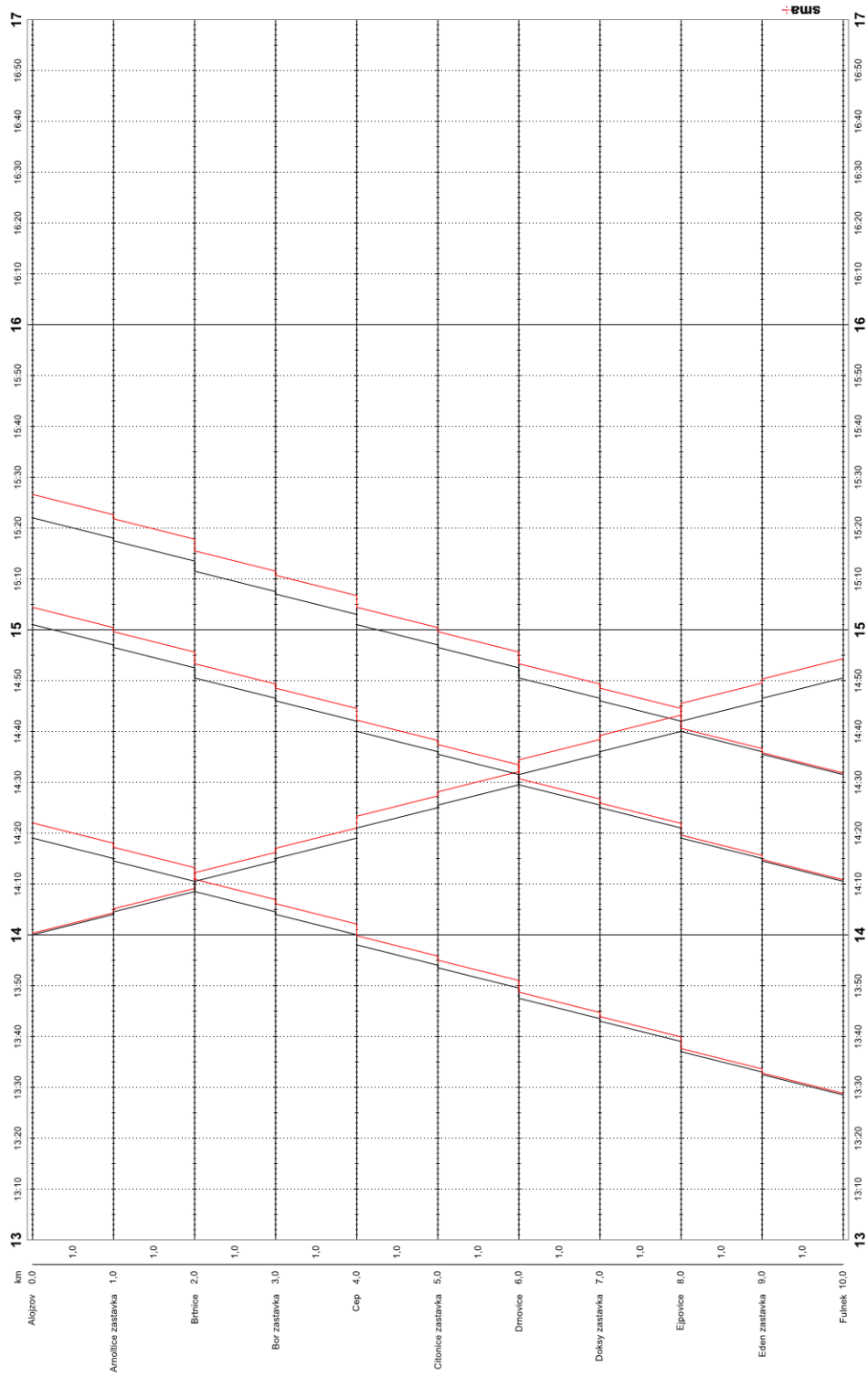
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x03BCE

Zdroj: autor



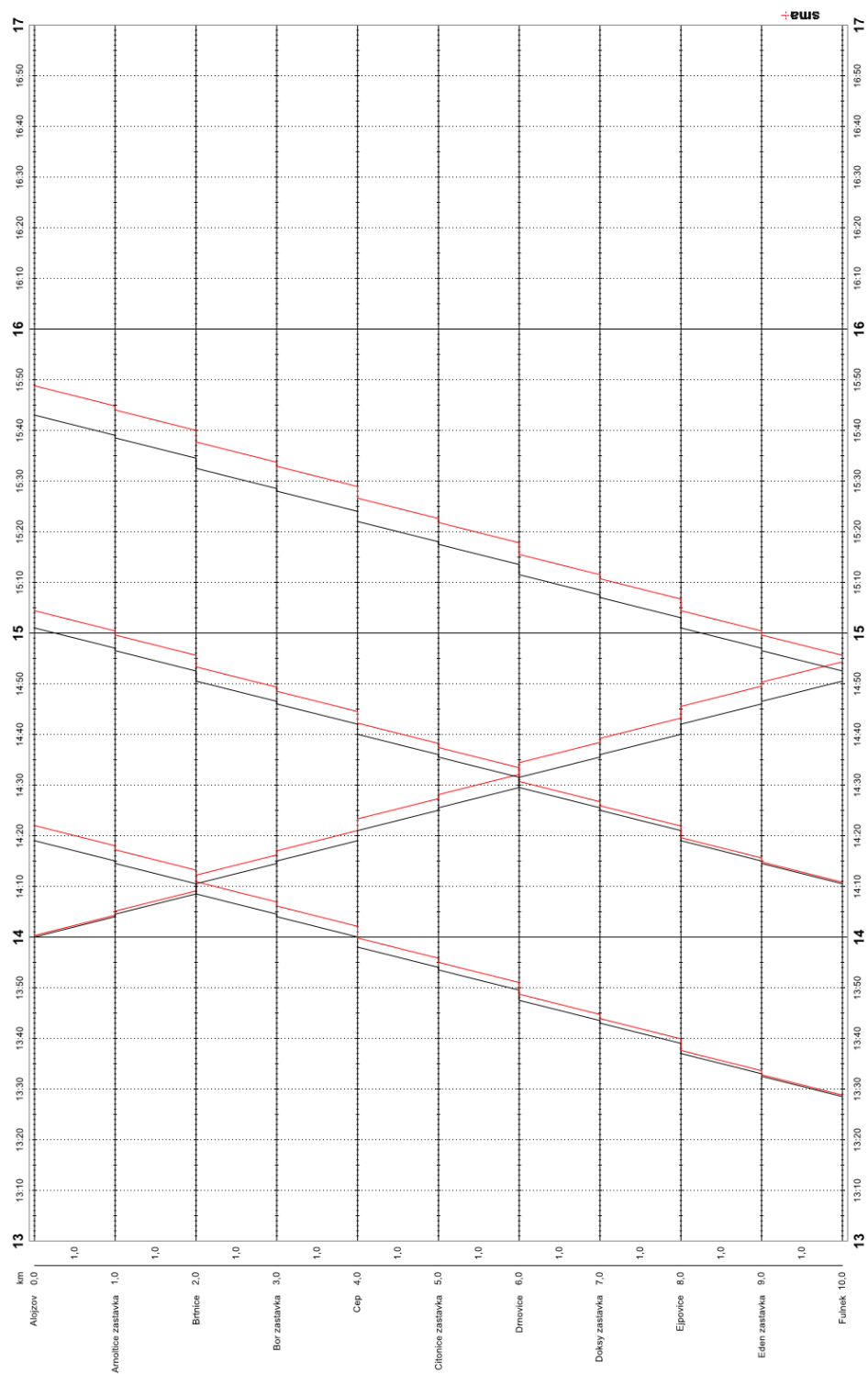
Nakresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x03BCF

Zdroj: autor



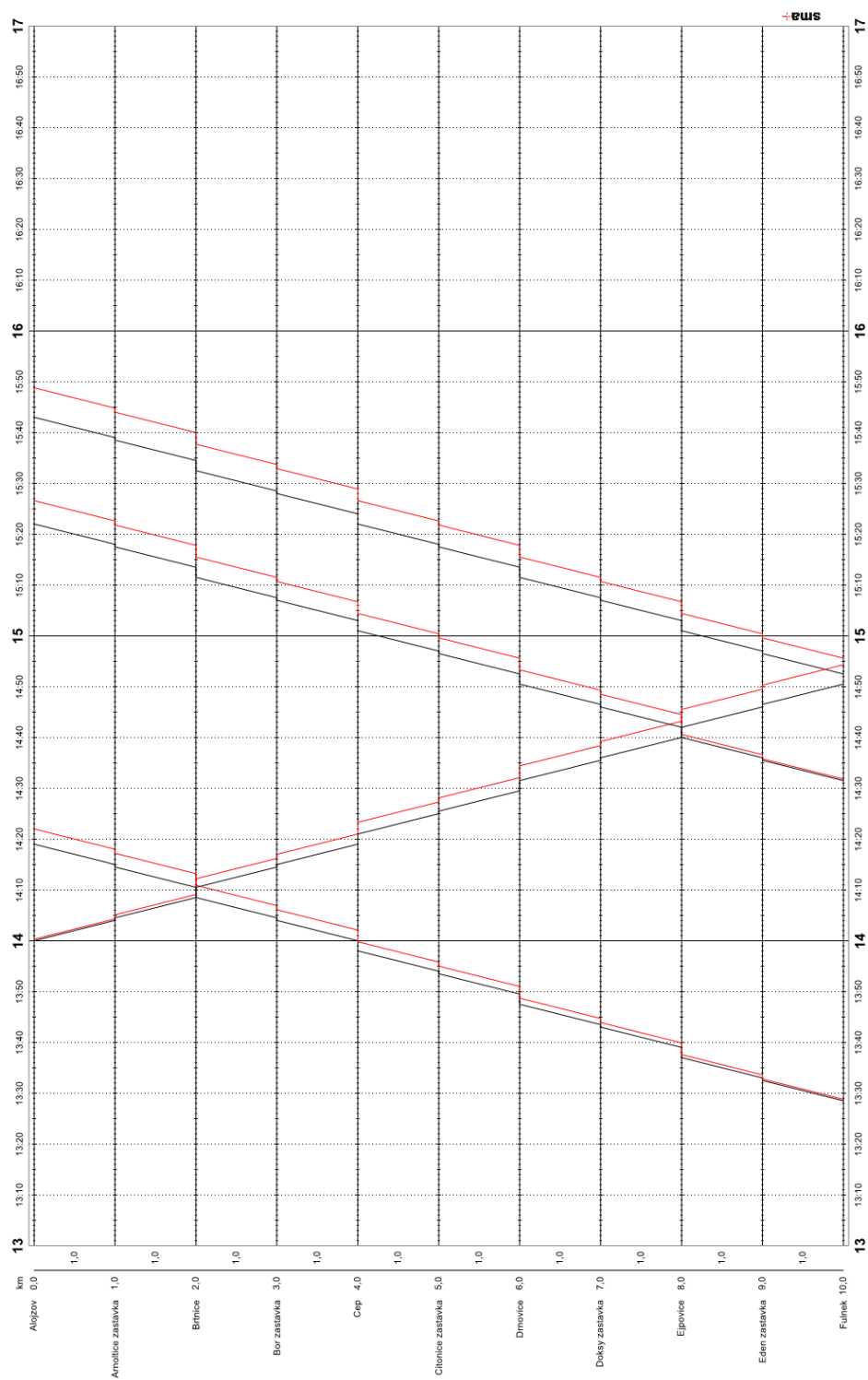
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x03BDE

Zdroj: autor



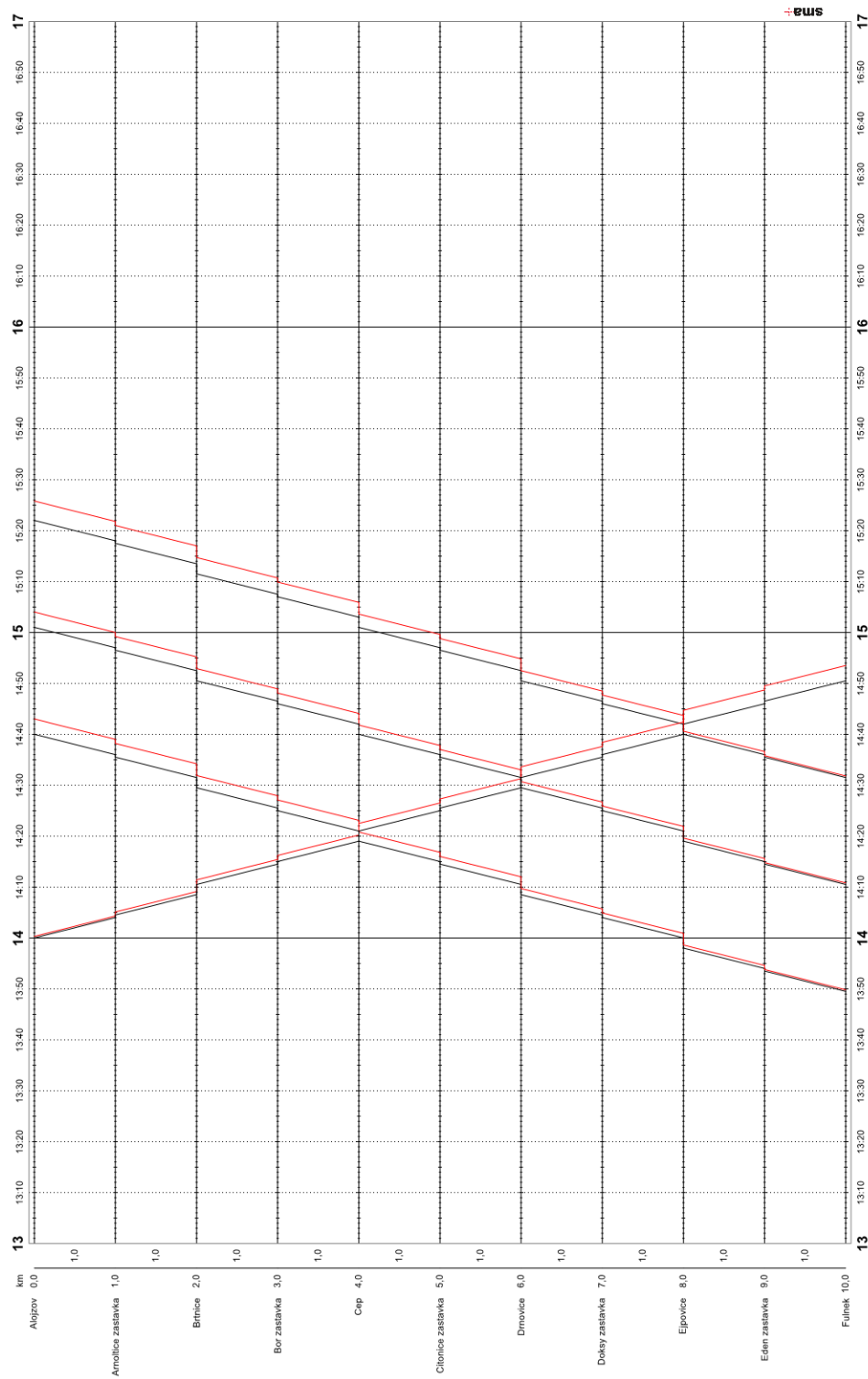
Nakresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x03BDF

Zdroj: autor



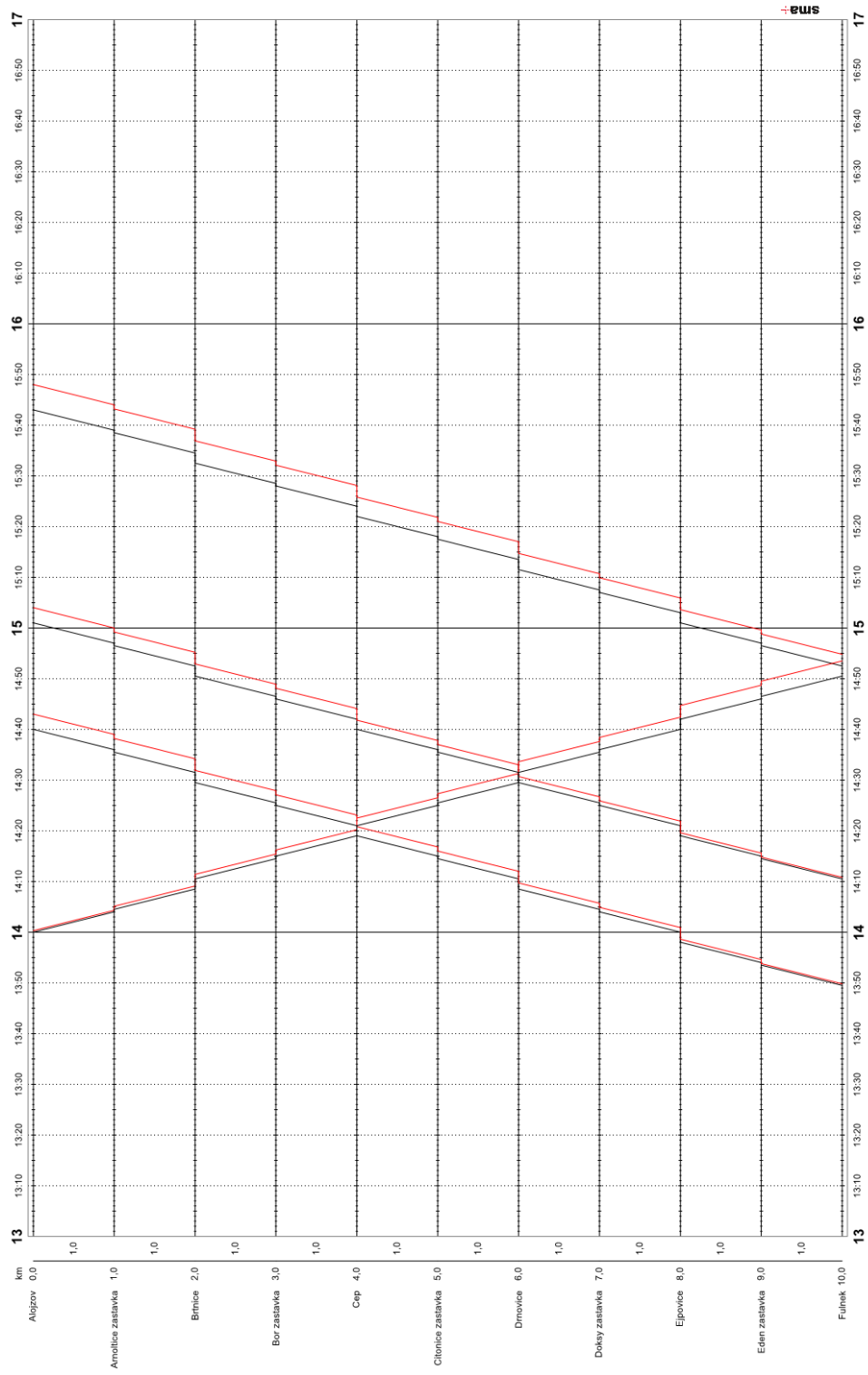
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x03BEF

Zdroj: autor



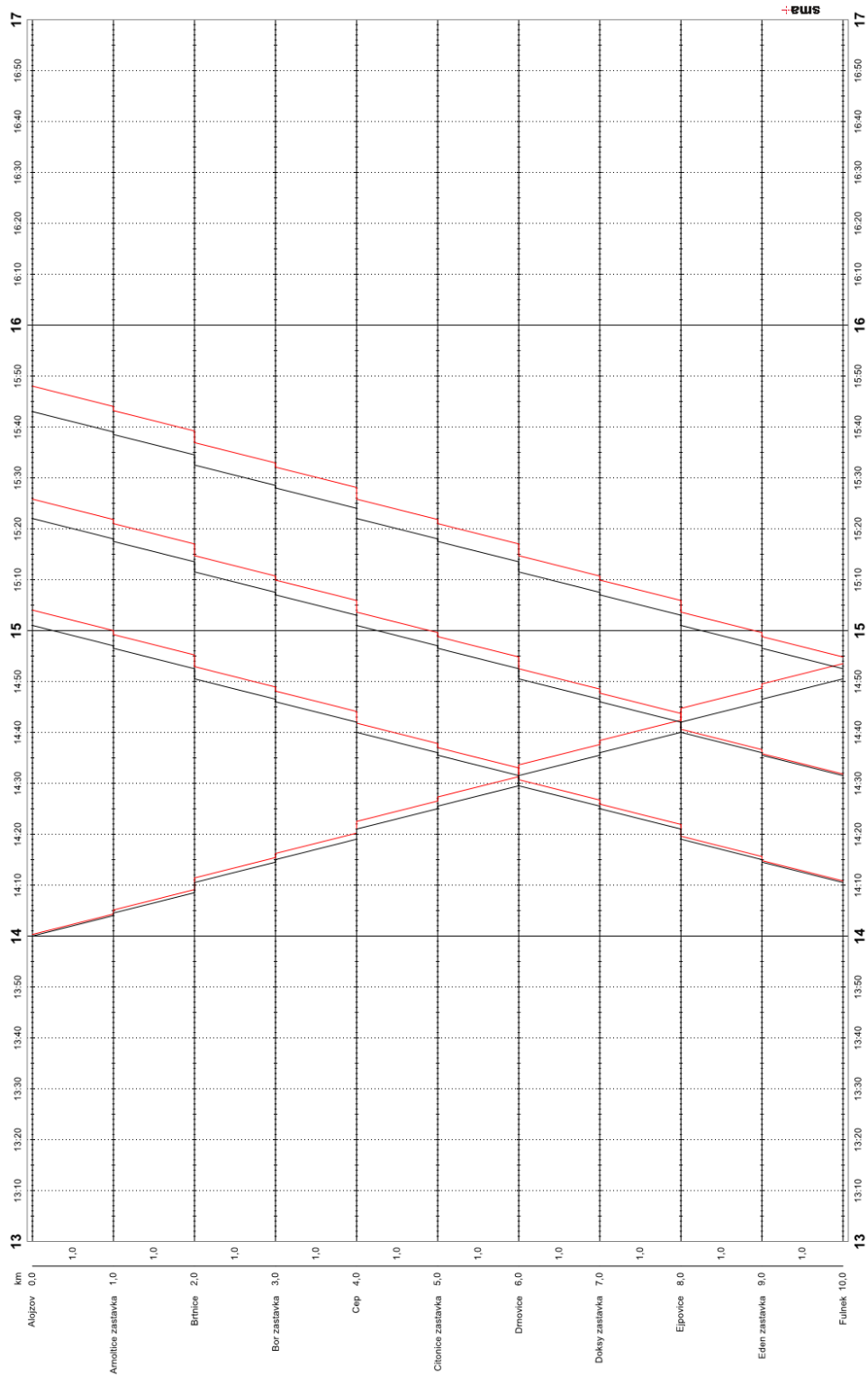
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x03CDE

Zdroj: autor



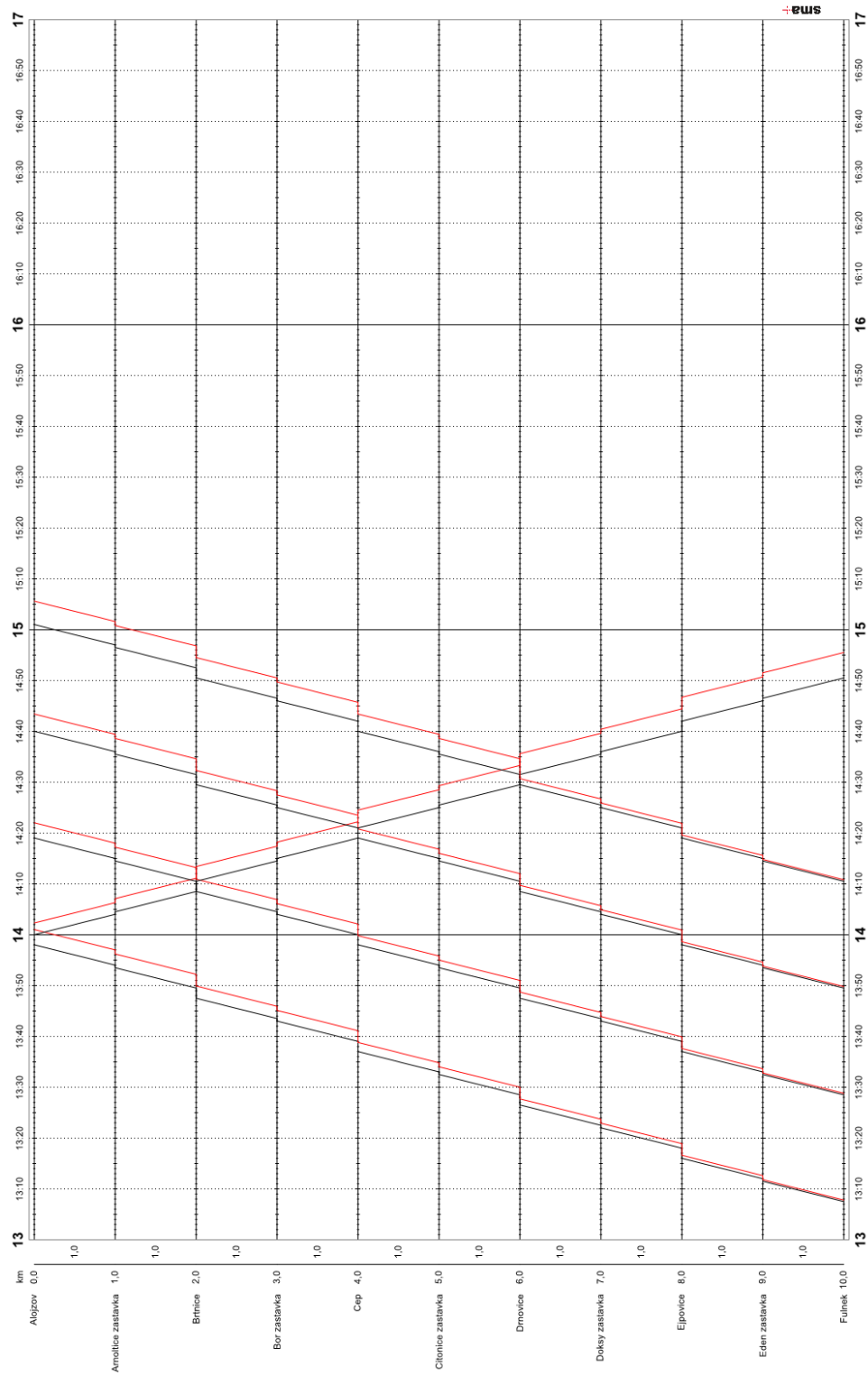
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x03CDF

Zdroj: autor



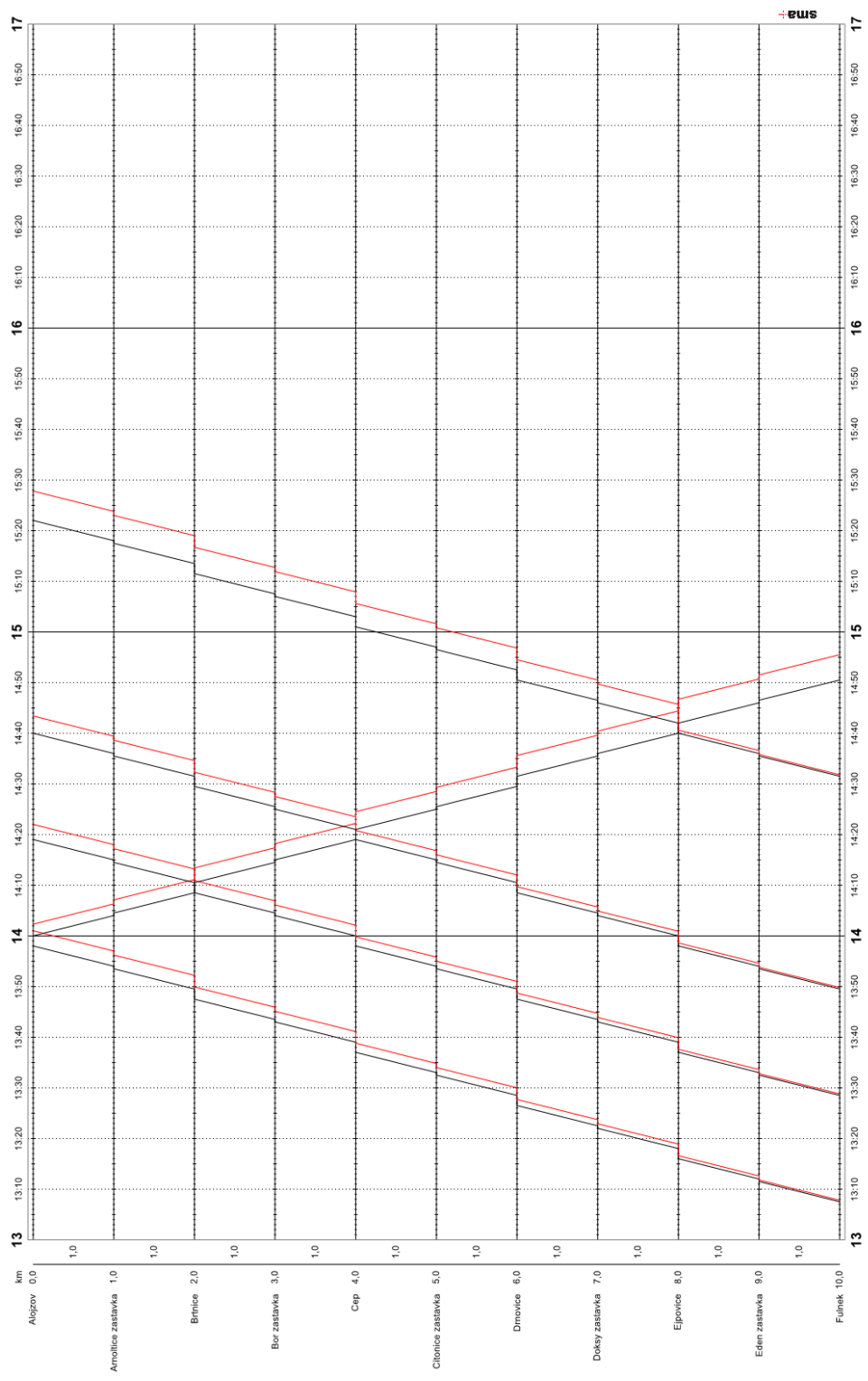
Nakresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x03DEF

Zdroj: autor



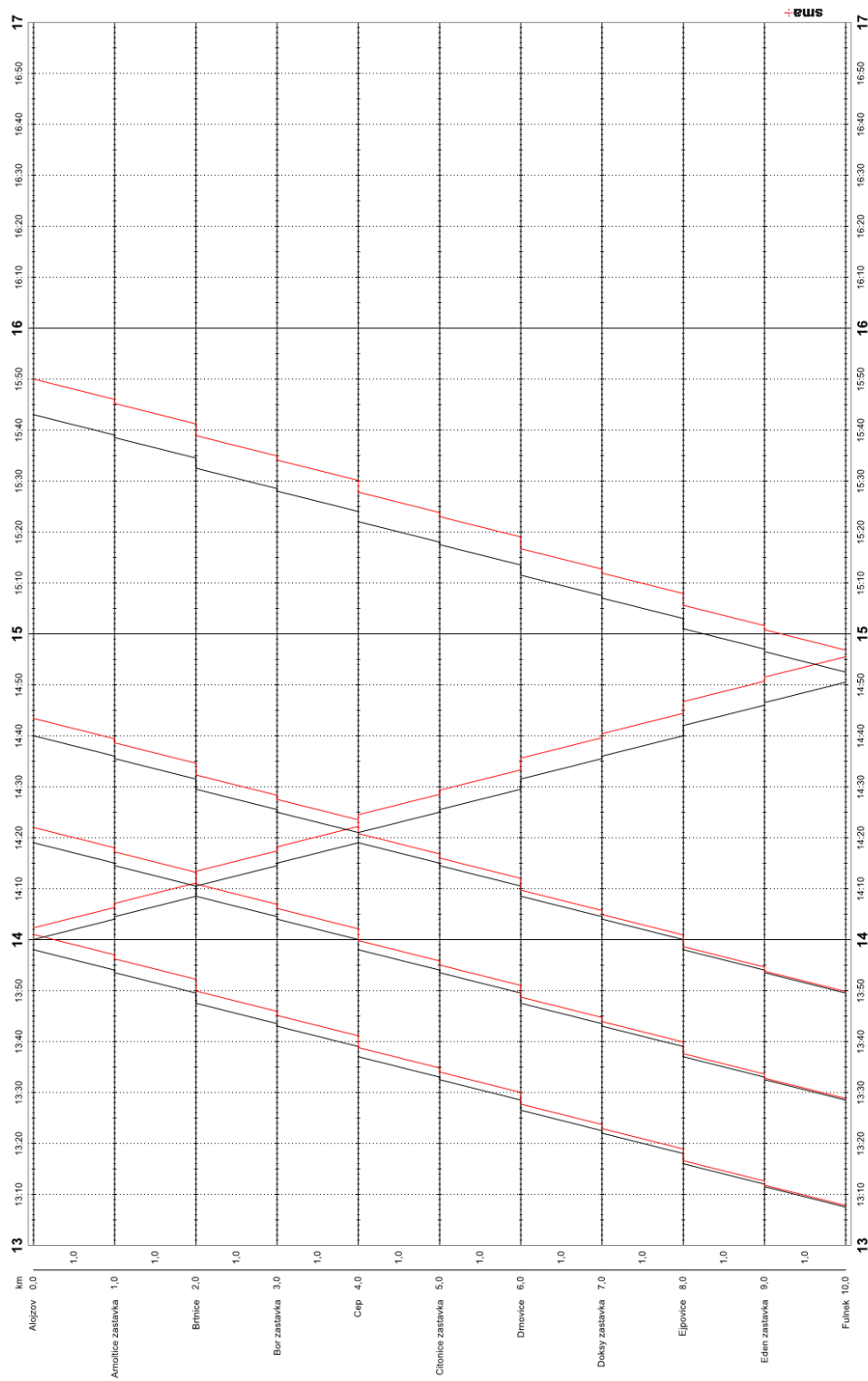
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x04ABCD

Zdroj: autor



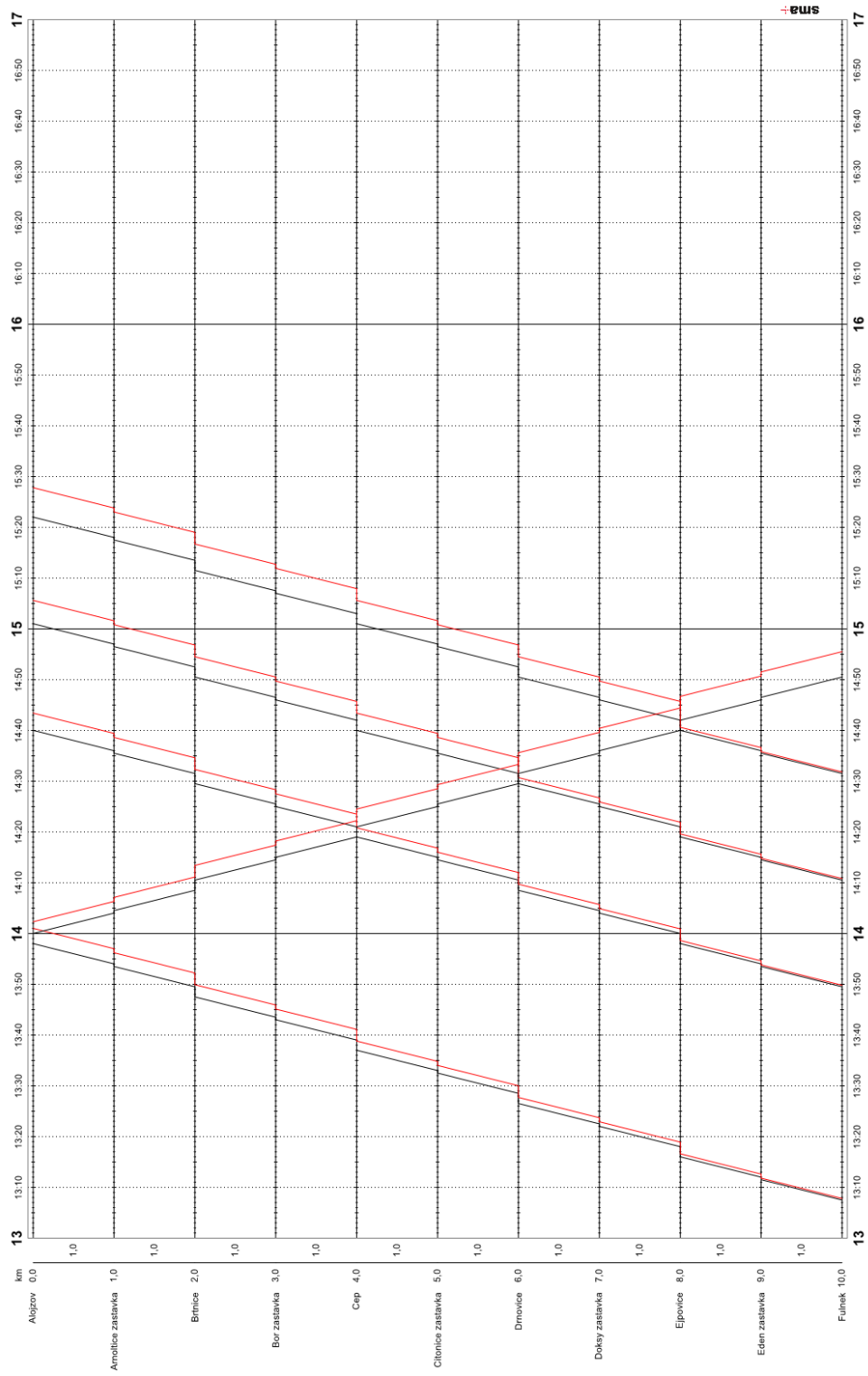
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x04ABCE

Zdroj: autor



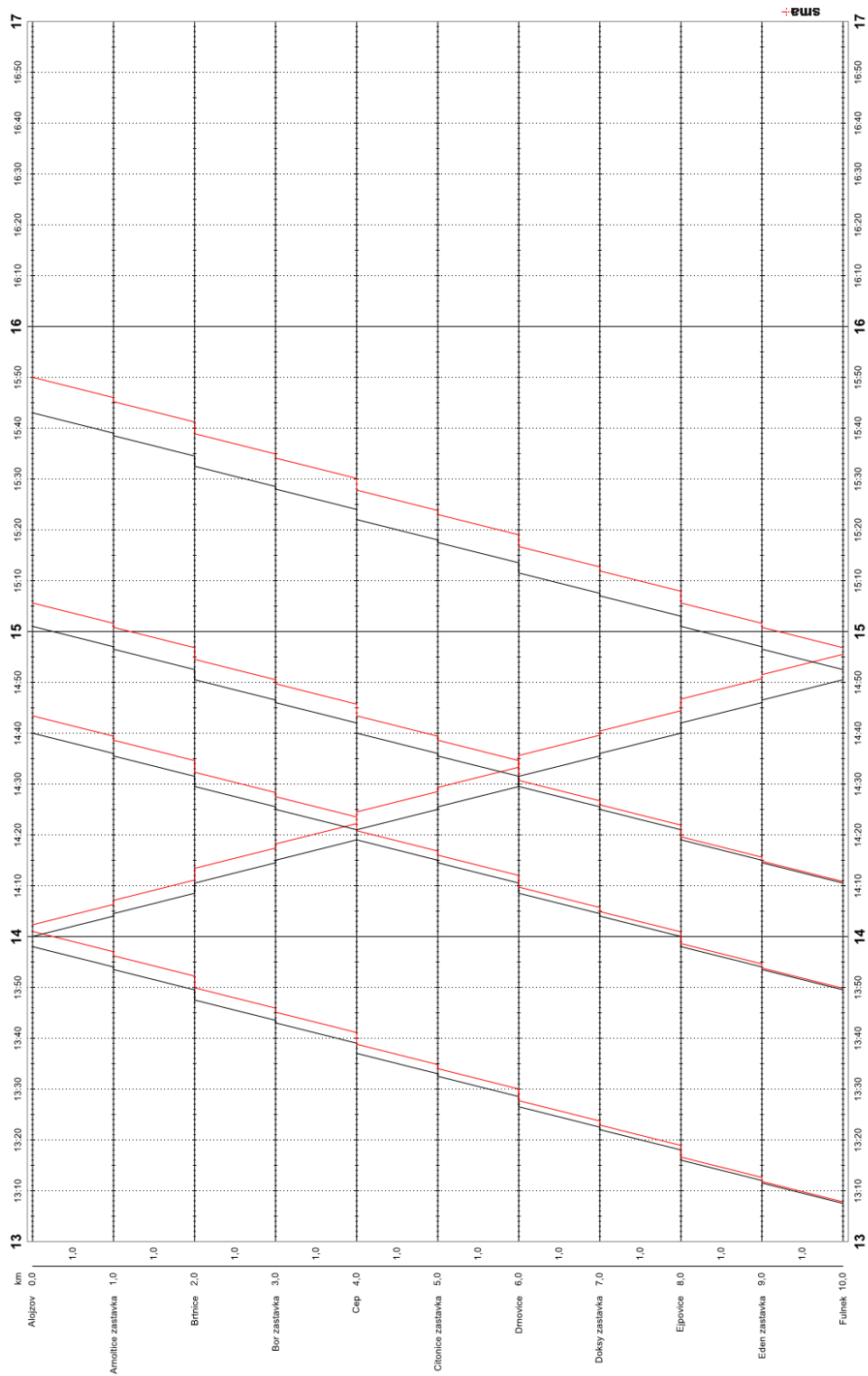
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x04ABCF

Zdroj: autor



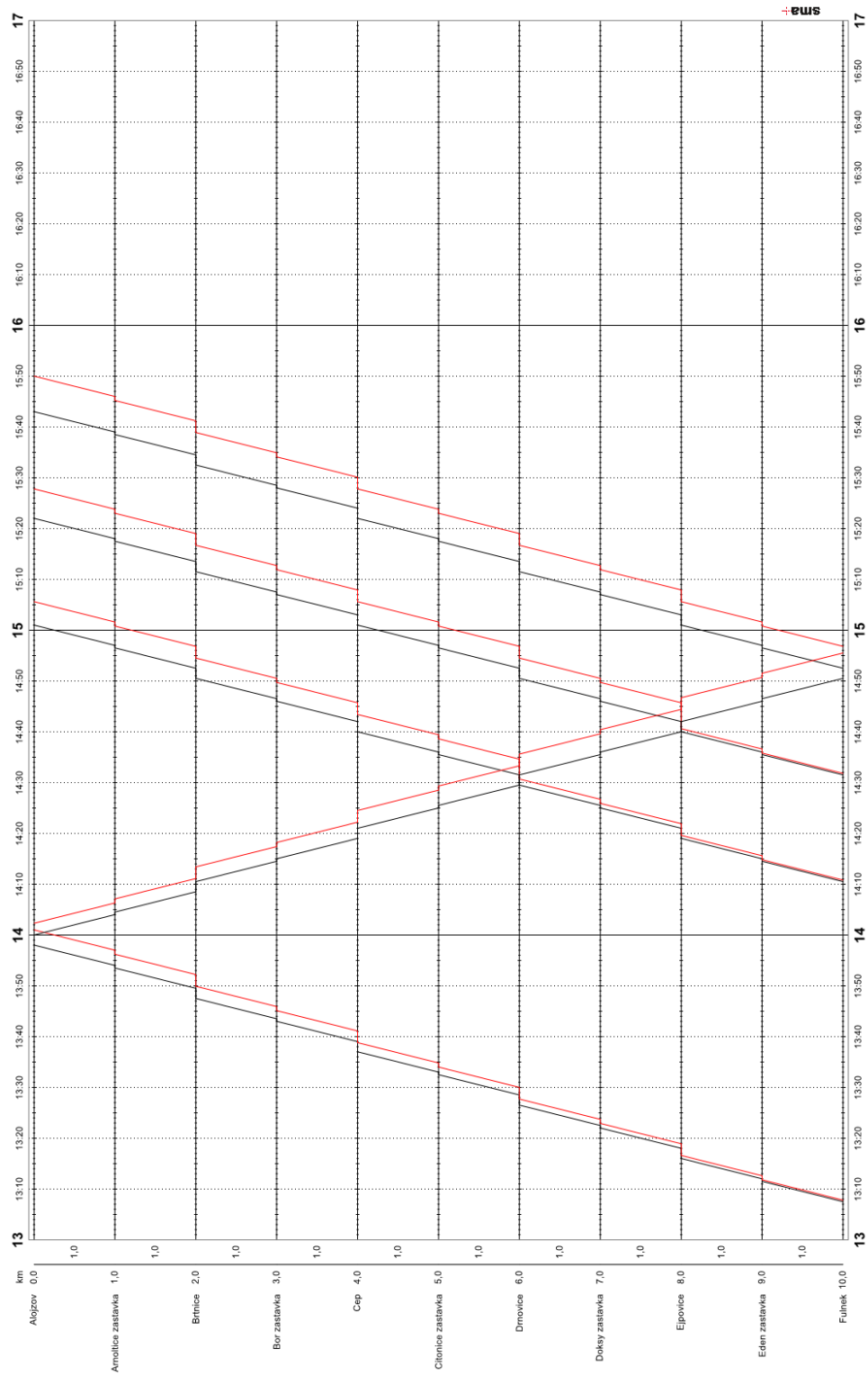
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x04ACDE

Zdroj: autor



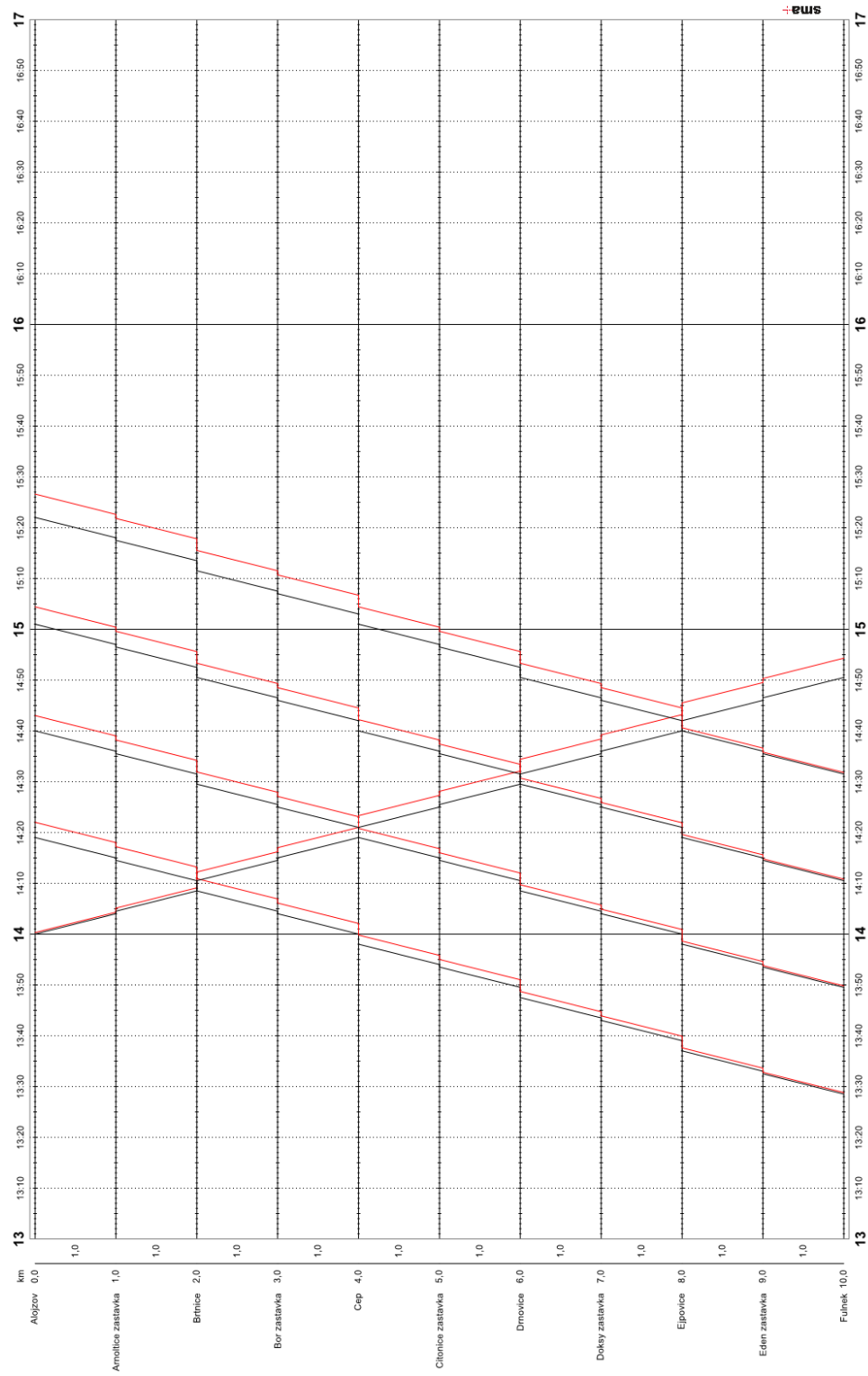
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x04ACDF

Zdroj: autor



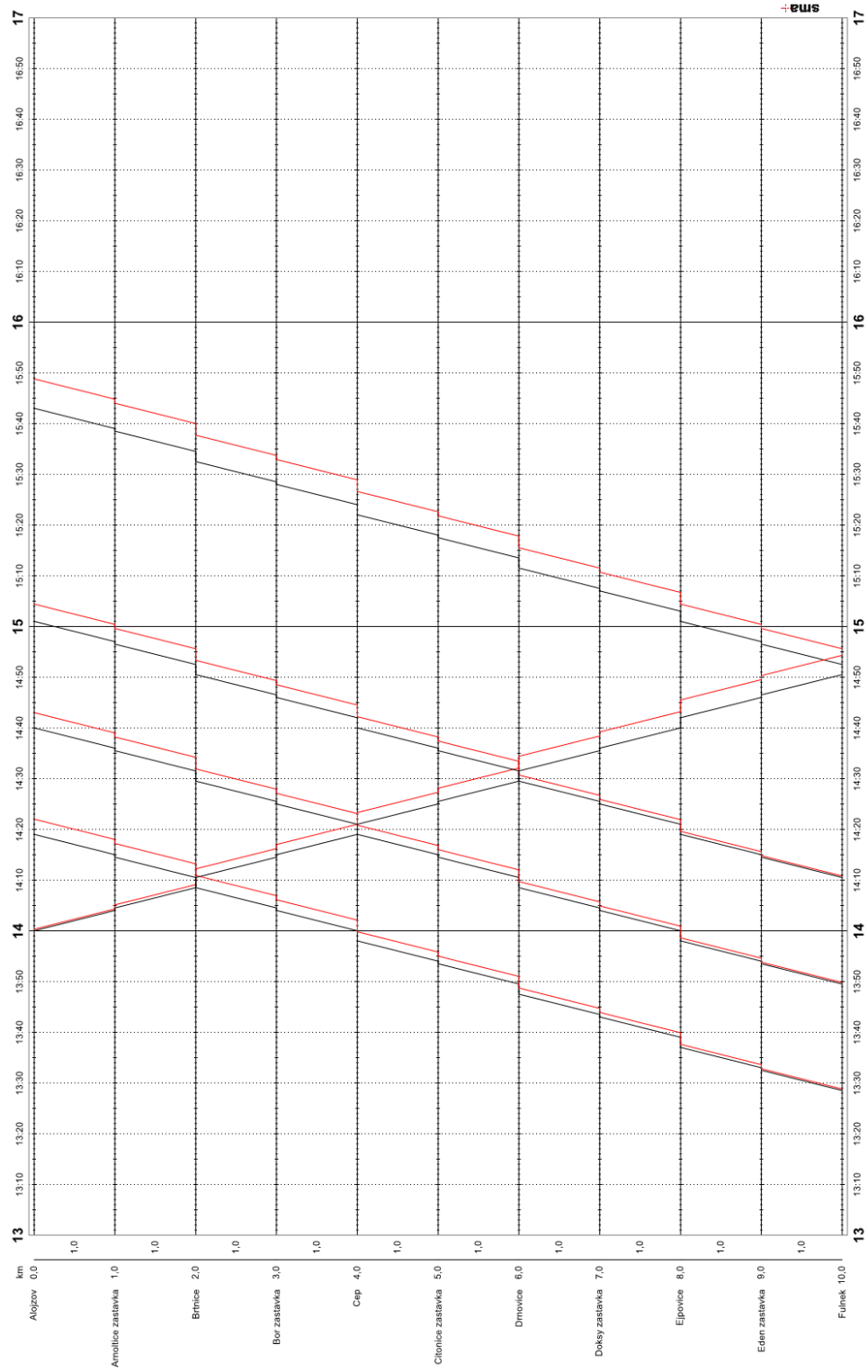
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x04ADEF

Zdroj: autor



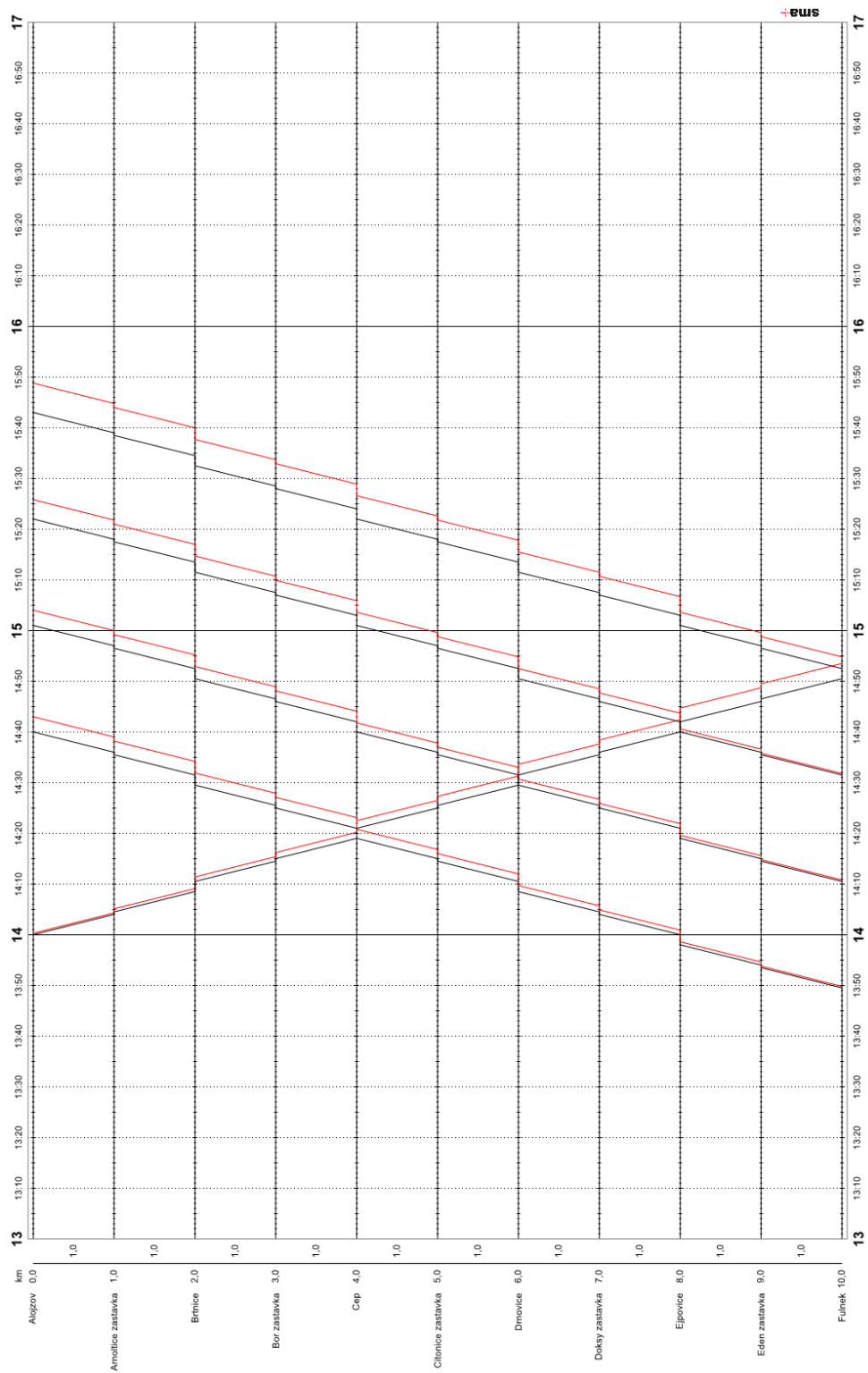
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x04BCDE

Zdroj: autor



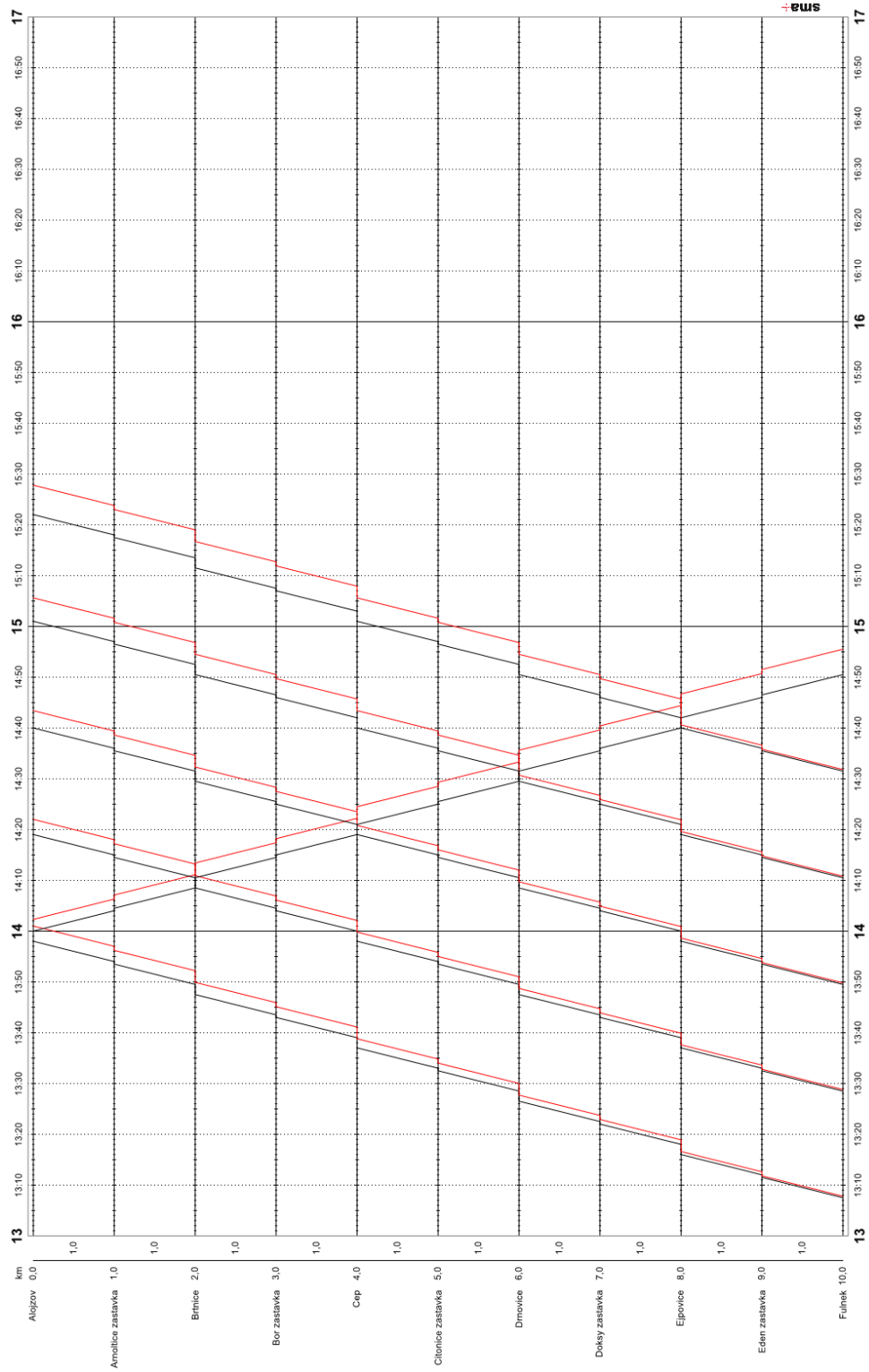
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x04BCDF

Zdroj: autor



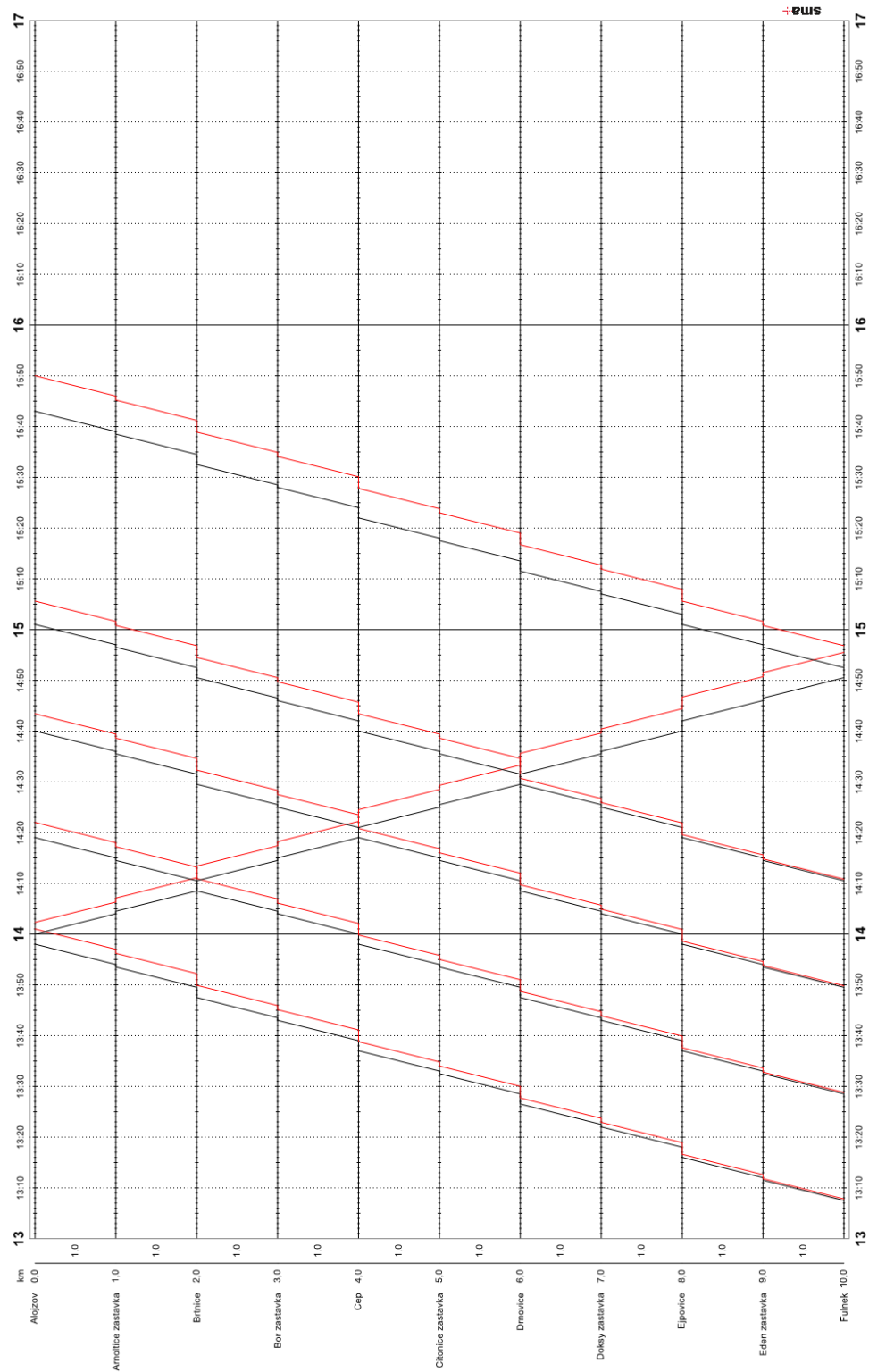
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x04CDEF

Zdroj: autor



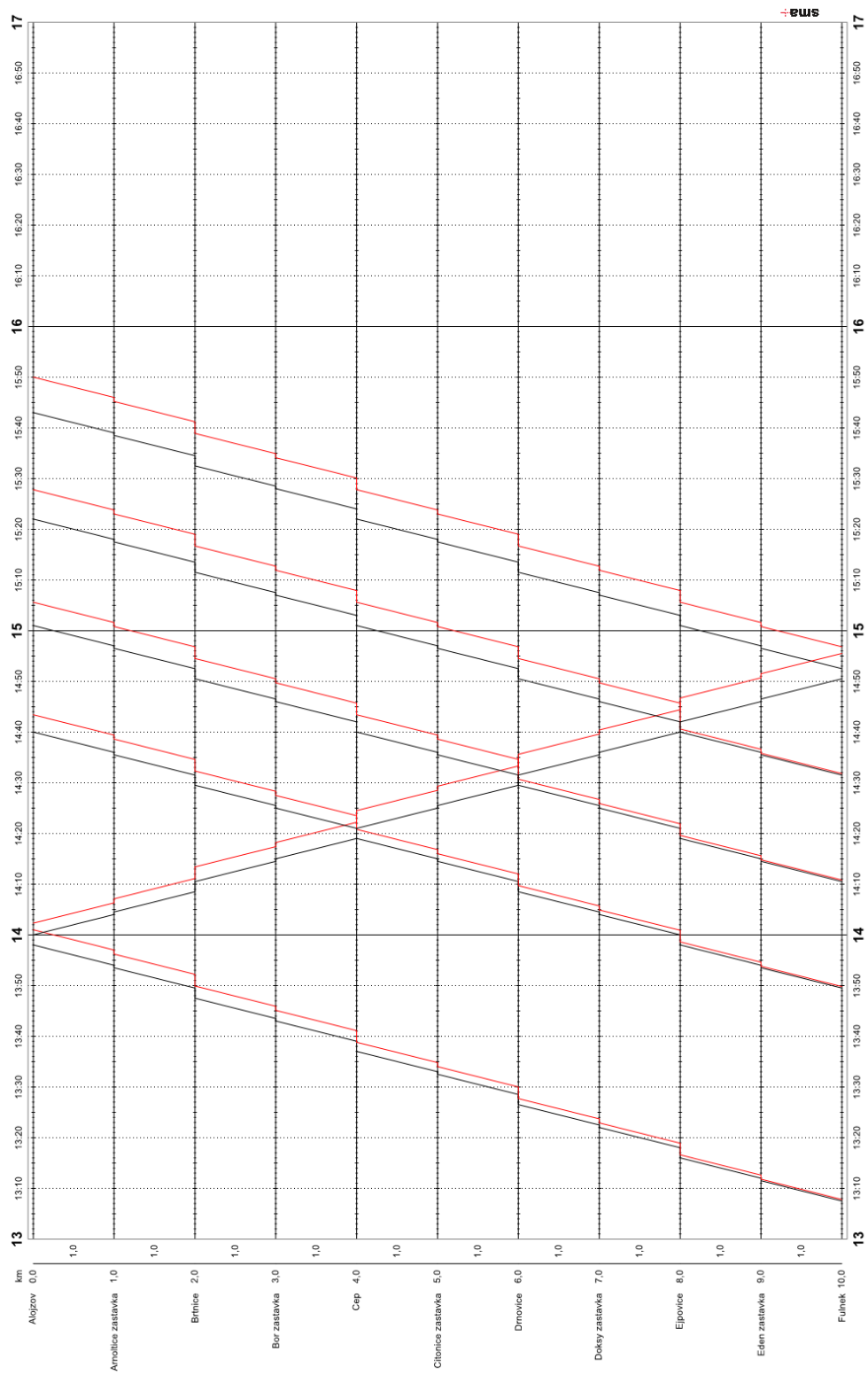
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x05ABCDE

Zdroj: autor



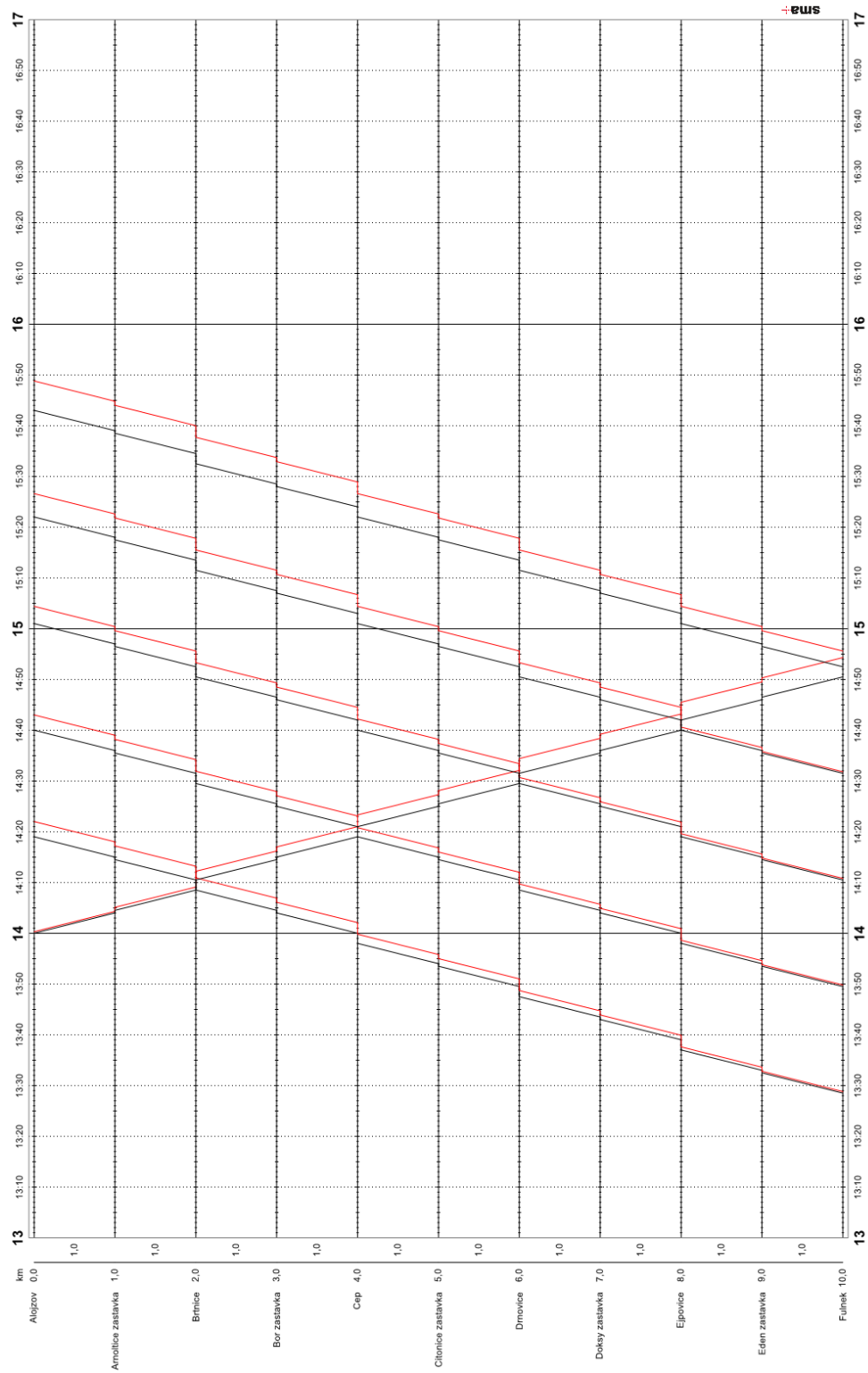
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x05 ABCDF

Zdroj: autor



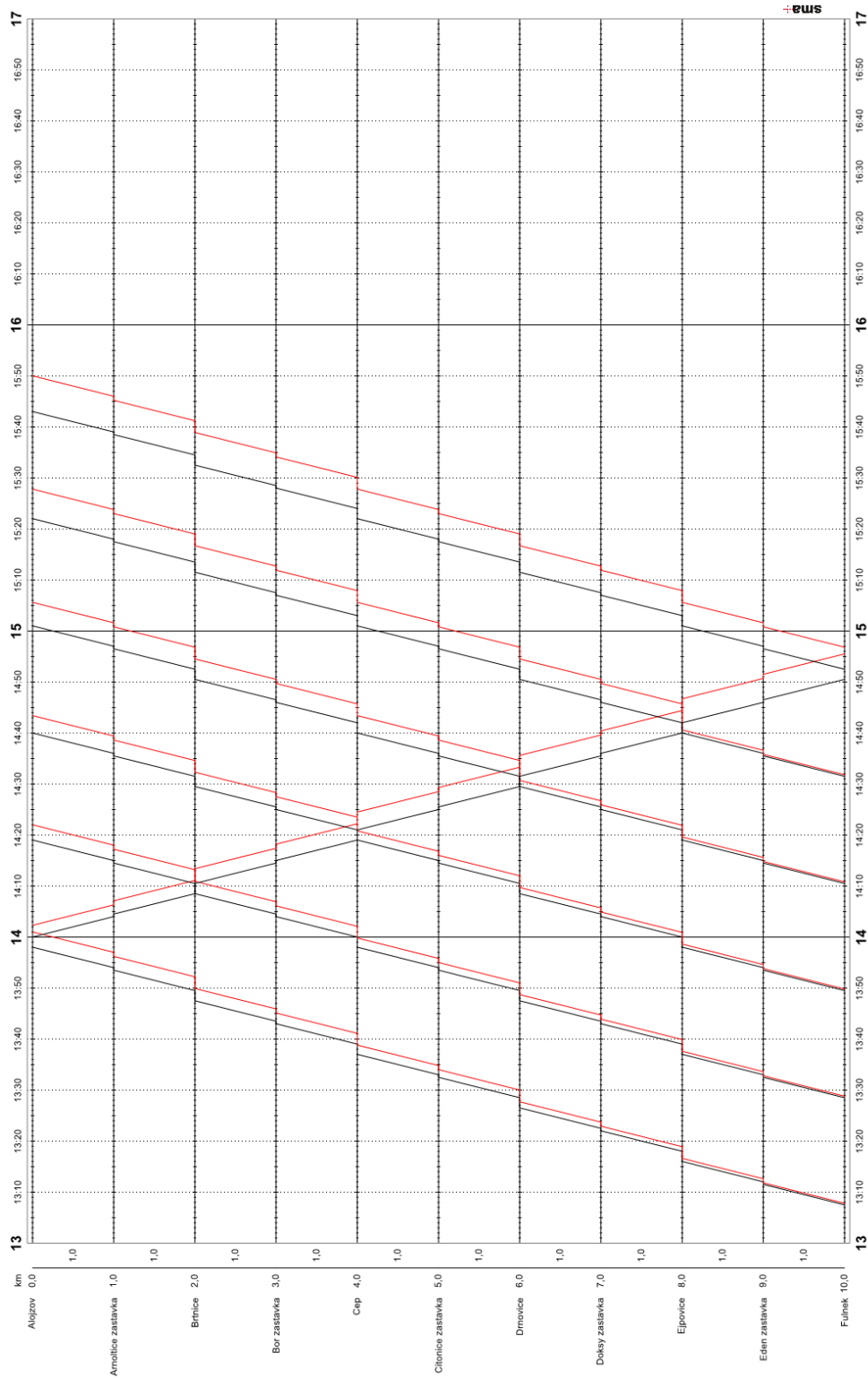
Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x05ACDEF

Zdroj: autor



Nákresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x05BCDEF

Zdroj: autor



Nakresný jízdní řád simulace přenosu zpoždění – verze 01x06ABCDEF

Zdroj: autor

## B. Výsledky měření simulace přenosu zpoždění

Simulace 01x01

Verze simulace	Stanice křižování	Křižují vlaky číslo	Zpoždění křižováním [min]	Zpoždění úkony [min]	Celkové zpoždění jednoho vlaku [min]	Celkové zpoždění všech vlaků [min]	Zpoždění přepočtené na jeden vlak [min]
01x01A	Alojzov	1	2	3	5	8,0	4,0
		0	0	3	3		
01x01B	Brtnice	1	0	3	3	6,8	3,4
		2	0,8	3	3,8		
01x01C	Cep	1	0	3	3	6,0	3,0
		4	0	3	3		
01x01D	Drnovice	1	0	3	3	6,0	3,0
		6	0	3	3		
01x01E	Ejpvovice	1	0	3	3	6,8	3,4
		8	0,8	3	3,8		
01x01F	Fulnek	1	0	3	3	8,0	4,0
		10	2	3	5		

Zdroj: autor

Simulace 01x02 (část 1 ze 2)

Verze simulace	Stanice křižování	Křižují vlaky číslo	Zpoždění křižováním [min]	Zpoždění úkony [min]	Celkové zpoždění jednoho vlaku [min]	Celkové zpoždění všech vlaků [min]	Zpoždění přepočtené na jeden vlak [min]
01x02 AB	Alojzov	1	2	3	5	11,0	3,7
		0	0	3	3		
	Brtnice	1	0	X	X		
		2	0	3	3		
01x02 AC	Alojzov	1	2	3	5	11,4	3,8
		0	0	3	3		
	Cep	1	0	X	X		
		4	0,4	3	3,4		
01x02 AD	Alojzov	1	2	3	5	12,6	4,2
		0	0	3	3		
	Drnovice	1	0	X	X		
		6	1,6	3	4,6		
01x02 AE	Alojzov	1	2	3	5	13,8	4,6
		0	0	3	3		
	Ejpvovice	1	0	X	X		
		8	2,8	3	5,8		
01x02 AF	Alojzov	1	2	3	5	15,0	5,0
		0	0	3	3		
	Fulnek	1	0	X	X		
		10	4	3	7		
01x02 BC	Brtnice	1	0,8	3	3,8	9,8	3,3
		2	0	3	3		
	Cep	1	0	X	X		
		4	0	3	3		
01x02 BD	Brtnice	1	0,8	3	3,8	10,2	3,4
		2	0	3	3		
	Drnovice	1	0	X	X		
		6	0,4	3	3,4		
01x02 BE	Brtnice	1	0,8	3	3,8	11,4	3,8
		2	0	3	3		
	Ejpvovice	1	0	X	X		
		8	1,6	3	4,6		

Zdroj: autor

Simulace 01x02 (část 2 ze 2)

Verze simulace	Stanice křižování	Křižují vlaky číslo	Zpoždění křižováním [min]	Zpoždění úkony [min]	Celkové zpoždění jednoho vlaku [min]	Celkové zpoždění všech vlaků [min]	Zpoždění přepočtené na jeden vlak [min]
01x02 BF	Brtnice	1	0,8	3	3,8	12,6	4,2
		2	0	3	3		
	Fulnek	1	0	X	X		
		10	2,8	3	5,8		
01x02 CD	Cep	1	0	3	3	9,0	3,0
		4	0	3	3		
	Drnovice	1	0	X	X		
		6	0	3	3		
01x02 CE	Cep	1	0	3	3	9,8	3,3
		4	0	3	3		
	Ejповice	1	0	X	X		
		8	0,8	3	3,8		
01x02 CF	Cep	1	0	3	3	11,0	3,7
		2	0	3	3		
	Fulnek	1	0	X	X		
		10	2	3	5		
01x02 DE	Drnovice	1	0	3	3	9,8	3,3
		6	0	3	3		
	Ejповice	1	0	X	X		
		8	0,8	3	3,8		
01x02 DF	Drnovice	1	0	3	3	11,0	3,7
		6	0	3	3		
	Fulnek	1	0	X	X		
		10	2	3	5		
01x02 EF	Drnovice	1	0	3	3	11,0	3,7
		8	0	3	3		
	Fulnek	1	0	X	X		
		10	2	3	5		

Zdroj: autor

Simulace 01x03 (část 1 ze 4)

Verze simulace	Stanice křižování	Křižují vlaky číslo	Zpoždění křižováním [min]	Zpoždění úkony [min]	Celkové zpoždění jednoho vlaku [min]	Celkové zpoždění všech vlaků [min]	Zpoždění přepočtené na jeden vlak [min]
01x03 ABC	Alojzov	1	2	3	5	14,4	3,6
		0	0	3	3		
	Brtnice	1	0	X	X		
		2	0	3	3		
	Cep	1	0	X	X		
		4	0,4	3	3,4		
01x03 ABD	Alojzov	1	2	3	5	15,6	3,9
		0	0	3	3		
	Brtnice	1	0	X	X		
		2	0	3	3		
	Drnovice	1	0	X	X		
		6	1,6	3	4,6		
01x03 ABE	Alojzov	1	2	3	5	16,8	4,2
		0	0	3	3		
	Brtnice	1	0	X	X		
		2	0	3	3		
	Ejovice	1	0	X	X		
		8	2,8	3	5,8		
01x03 ABF	Alojzov	1	2	3	5	18,0	4,5
		0	0	3	3		
	Brtnice	1	0	X	X		
		2	0	3	3		
	Fulnek	1	0	X	X		
		10	4	3	7		
01x03 ACD	Alojzov	1	2	3	5	16,0	4,0
		0	0	3	3		
	Cep	1	0	X	X		
		4	0,4	3	3,4		
	Drnovice	1	0	X	X		
		6	1,6	3	4,6		

Zdroj: autor

Simulace 01x03 (část 2 ze 4)

Verze simulace	Stanice křižování	Křižují vlaky číslo	Zpoždění křižováním [min]	Zpoždění úkony [min]	Celkové zpoždění jednoho vlaku [min]	Celkové zpoždění všech vlaků [min]	Zpoždění přepočtené na jeden vlak [min]
01x03 ACE	Alojzov	1	2	3	5	17,2	4,3
		0	0	3	3		
	Cep	1	0	X	X		
		4	0,4	3	3,4		
	Ejpovice	1	0	X	X		
		8	2,8	3	5,8		
01x03 ACF	Alojzov	1	2	3	5	18,4	4,6
		0	0	3	3		
	Cep	1	0	X	X		
		4	0,4	3	3,4		
	Fulnek	1	0	X	X		
		10	4	3	7		
01x03 ADE	Alojzov	1	2	3	5	18,4	4,6
		0	0	3	3		
	Drnovice	1	0	X	X		
		6	1,6	3	4,6		
	Ejpovice	1	0	X	X		
		8	2,8	3	5,8		
01x03 ADF	Alojzov	1	2	3	5	19,6	4,9
		0	0	3	3		
	Drnovice	1	0	X	X		
		6	1,6	3	4,6		
	Fulnek	1	0	X	X		
		10	4	3	7		
01x03 AEF	Alojzov	1	2	3	5	20,8	5,2
		0	0	3	3		
	Ejpovice	1	0	X	X		
		8	2,8	3	5,8		
	Fulnek	1	0	X	X		
		10	4	3	7		

Zdroj: autor

Simulace 01x03 (část 3 ze 4)

Verze simulace	Stanice křižování	Křižují vlaky číslo	Zpoždění křižováním [min]	Zpoždění úkony [min]	Celkové zpoždění jednoho vlaku [min]	Celkové zpoždění všech vlaků [min]	Zpoždění přepočtené na jeden vlak [min]
01x03 BCD	Brtnice	1	0,8	3	3,8	13,2	3,3
		2	0	3	3		
	Cep	1	0	X	X		
		4	0	3	3		
	Drnovice	1	0	X	X		
		6	0,4	3	3,4		
01x03 BCE	Brtnice	1	0,8	3	3,8	14,4	3,6
		2	0	3	3		
	Cep	1	0	X	X		
		4	0	3	3		
	Ejpvovice	1	0	X	X		
		8	1,6	3	4,6		
01x03 BCF	Brtnice	1	0,8	3	3,8	15,6	3,9
		2	0	3	3		
	Cep	1	0	X	X		
		4	0	3	3		
	Fulnek	1	0	X	X		
		10	2,8	3	5,8		
01x03 BDE	Brtnice	1	0,8	3	3,8	14,8	3,7
		2	0	3	3		
	Drnovice	1	0	X	X		
		6	0,4	3	3,4		
	Ejpvovice	1	0	X	X		
		8	1,6	3	4,6		
01x03 BDF	Brtnice	1	0,8	3	3,8	16,0	4,0
		2	0	3	3		
	Drnovice	1	0	X	X		
		6	0,4	3	3,4		
	Fulnek	1	0	X	X		
		10	2,8	3	5,8		

Zdroj: autor

Simulace 01x03 (část 4 ze 4)

Verze simulace	Stanice křižování	Křižují vlaky číslo	Zpoždění křižováním [min]	Zpoždění úkony [min]	Celkové zpoždění jednoho vlaku [min]	Celkové zpoždění všech vlaků [min]	Zpoždění přepočtené na jeden vlak [min]
01x03 BEF	Brtnice	1	0,8	3	3,8	17,2	4,3
		2	0	3	3		
	Ejpvovice	1	0	X	X		
		8	1,6	3	4,6		
	Fulnek	1	0	X	X		
		10	2,8	3	5,8		
01x03 CDE	Cep	1	0	3	3	12,8	3,2
		4	0	3	3		
	Drnovice	1	0	X	X		
		6	0	3	3		
	Ejpvovice	1	0	X	X		
		8	0,8	3	3,8		
01x03 CDF	Cep	1	0	3	3	14,0	3,5
		4	0	3	3		
	Drnovice	1	0	X	X		
		6	0	3	3		
	Fulnek	1	0	X	X		
		10	2	3	5		
01x03 DEF	Drnovice	1	0	3	3	14,8	3,7
		6	0	3	3		
	Ejpvovice	1	0	X	X		
		8	0,8	3	3,8		
	Fulnek	1	0	X	X		
		10	2	3	5		

Zdroj: autor

Simulace 01x04 (část 1 ze 3)

Verze simulace	Stanice křižování	Křižují vlaky číslo	Zpoždění křižováním [min]	Zpoždění úkony [min]	Celkové zpoždění jednoho vlaku [min]	Celkové zpoždění všech vlaků [min]	Zpoždění přepočtené na jeden vlak [min]
01x04 ABCD	Alojzov	1	2	3	5	19,0	3,8
		0	0	3	3		
	Brtnice	1	0	X	X		
		2	0	3	3		
	Cep	1	0	X	X		
		4	0,4	3	3,4		
	Drnovice	1	0	X	X		
		6	1,6	3	4,6		
01x04 ABCE	Alojzov	1	2	3	5	20,2	4,0
		0	0	3	3		
	Brtnice	1	0	X	X		
		2	0	3	3		
	Cep	1	0	X	X		
		4	0,4	3	3,4		
	Ejpvovice	1	0	X	X		
		8	2,8	3	5,8		
01x04 ABCF	Alojzov	1	2	3	5	21,4	4,3
		0	0	3	3		
	Brtnice	1	0	X	X		
		2	0	3	3		
	Cep	1	0	X	X		
		4	0,4	3	3,4		
	Fulnek	1	0	X	X		
		10	4	3	7		
01x04 ACDE	Alojzov	1	2	3	5	21,8	4,4
		0	0	3	3		
	Cep	1	0	X	X		
		4	0,4	3	3,4		
	Drnovice	1	0	X	X		
		6	1,6	3	4,6		
	Ejpvovice	1	0	X	X		
		8	2,8	3	5,8		

Zdroj: autor

Simulace 01x04 (část 2 ze 3)

Verze simulace	Stanice křižování	Křižují vlaky číslo	Zpoždění křižováním [min]	Zpoždění úkony [min]	Celkové zpoždění jednoho vlaku [min]	Celkové zpoždění všech vlaků [min]	Zpoždění přepočtené na jeden vlak [min]
01x04 ACDF	Alojzov	1	2	3	5	23,0	4,6
		0	0	3	3		
	Cep	1	0	X	X		
		4	0,4	3	3,4		
	Drnovice	1	0	X	X		
		6	1,6	3	4,6		
	Fulnek	1	0	X	X		
		10	4	3	7		
01x04 ADEF	Alojzov	1	2	3	5	25,4	5,1
		0	0	3	3		
	Drnovice	1	0	X	X		
		6	1,6	3	4,6		
	Ejpovice	1	0	X	X		
		8	2,8	3	5,8		
	Fulnek	1	0	X	X		
		10	4	3	7		
01x04 BCDE	Brtnice	1	0,8	3	3,8	17,8	3,6
		2	0	3	3		
	Cep	1	0	X	X		
		4	0	3	3		
	Drnovice	1	0	X	X		
		6	0,4	3	3,4		
	Ejpovice	1	0	X	X		
		8	2	3	4,6		
01x04 BCDF	Brtnice	1	0,8	3	3,8	19,0	3,8
		2	0	3	3		
	Cep	1	0	X	X		
		4	0	3	3		
	Drnovice	1	0	X	X		
		6	0,4	3	3,4		
	Fulnek	1	0	X	X		
		10	2,8	3	5,8		

Zdroj: autor

Simulace 01x04 (část 3 ze 3)

Verze simulace	Stanice křižování	Křižují vlaky číslo	Zpoždění křižováním [min]	Zpoždění úkony [min]	Celkové zpoždění jednoho vlaku [min]	Celkové zpoždění všech vlaků [min]	Zpoždění přepočtené na jeden vlak [min]
01x04 CDEF	Cep	1	0	3	3	17,8	3,6
		4	0	3	3		
	Drnovice	1	0	X	X		
		6	0	3	3		
	Ejpvovice	1	0	X	X		
		8	0,8	3	3,8		
	Fulnek	1	0	X	X		
		10	2	3	5		

Zdroj: autor

Simulace 01x05 (část 1 ze 2)

Verze simulace	Stanice křižování	Křižují vlaky číslo	Zpoždění křižováním [min]	Zpoždění úkony [min]	Celkové zpoždění jednoho vlaku [min]	Celkové zpoždění všech vlaků [min]	Zpoždění přepočtené na jeden vlak [min]
01x05 ABCDE	Alojzov	1	2	3	5	24,8	4,1
		0	0	3	3		
	Brtnice	1	0	X	X		
		2	0	3	3		
	Cep	1	0	X	X		
		4	0,4	3	3,4		
	Drnovice	1	0	X	X		
		6	1,6	3	4,6		
	Ejpovice	1	0	X	X		
		8	2,8	3	5,8		
01x05 ABCDEF	Alojzov	1	2	3	5	26,0	4,3
		0	0	3	3		
	Brtnice	1	0	X	X		
		2	0	3	3		
	Cep	1	0	X	X		
		4	0,4	3	3,4		
	Drnovice	1	0	X	X		
		6	1,6	3	4,6		
	Fulnek	1	0	X	X		
		10	4	3	7		
01x05 ACDEF	Alojzov	1	2	3	5	28,8	4,8
		0	0	3	3		
	Cep	1	0	X	X		
		4	0,4	3	3,4		
	Drnovice	1	0	X	X		
		6	1,6	3	4,6		
	Ejpovice	1	0	X	X		
		8	2,8	3	5,8		
	Fulnek	1	0	X	X		
		10	4	3	7		

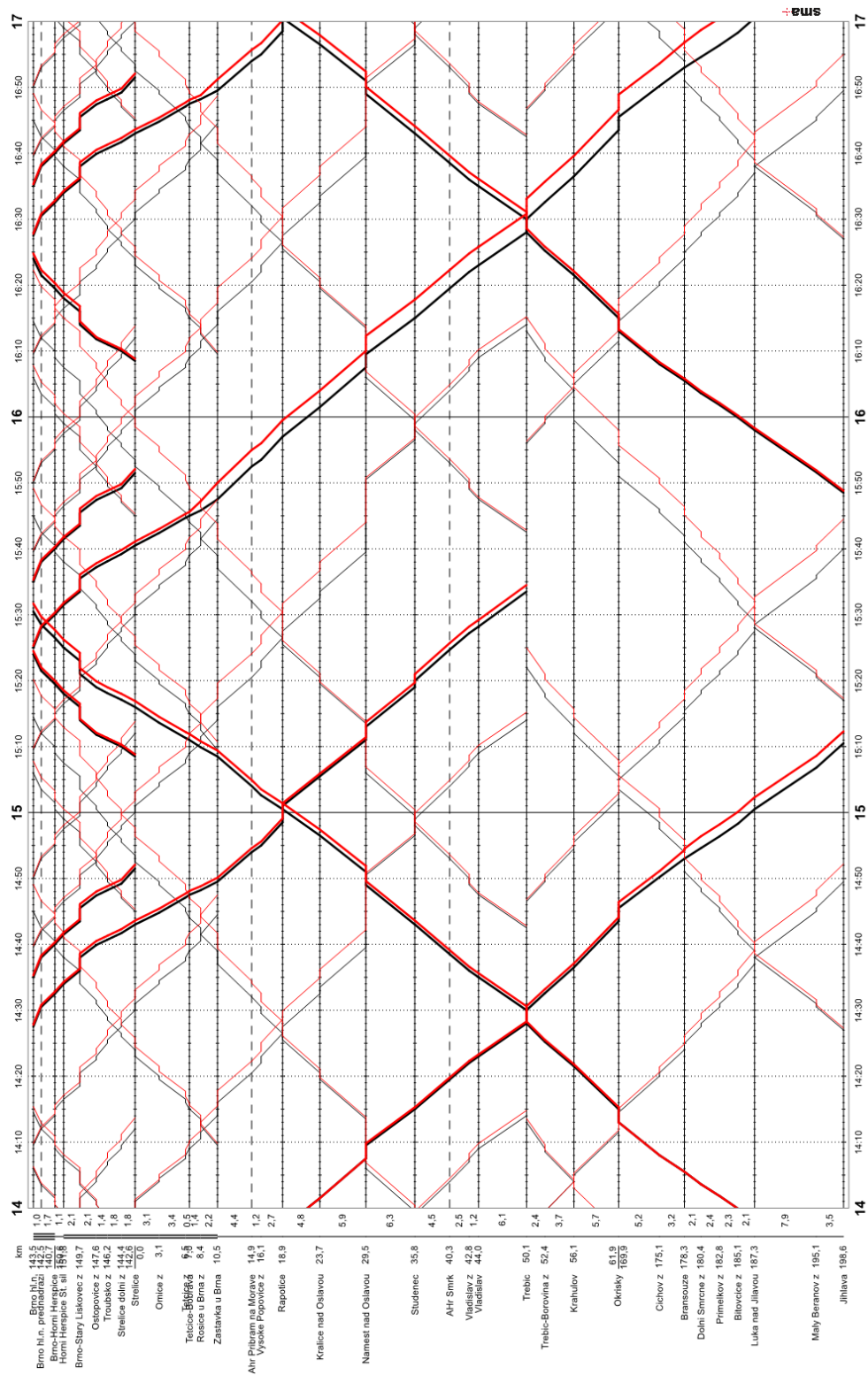
Zdroj: autor

Simulace 01x05 (část 2 ze 2)

Verze simulace	Stanice křižování	Křižují vlaky číslo	Zpoždění křižováním [min]	Zpoždění úkony [min]	Celkové zpoždění jednoho vlaku [min]	Celkové zpoždění všech vlaků [min]	Zpoždění přepočtené na jeden vlak [min]
01x06 ABCDEF	Alojzov	1	2	3	5	31,8	4,5
		0	0	3	3		
	Brtnice	1	0	X	X		
		2	0	3	3		
	Cep	1	0	X	X		
		4	0,4	3	3,4		
	Drnovice	1	0	X	X		
		6	1,6	3	4,6		
	Ejpovice	1	0	X	X		
		8	2,8	3	5,8		
	Fulnek	1	0	X	X		
		10	4	3	7		

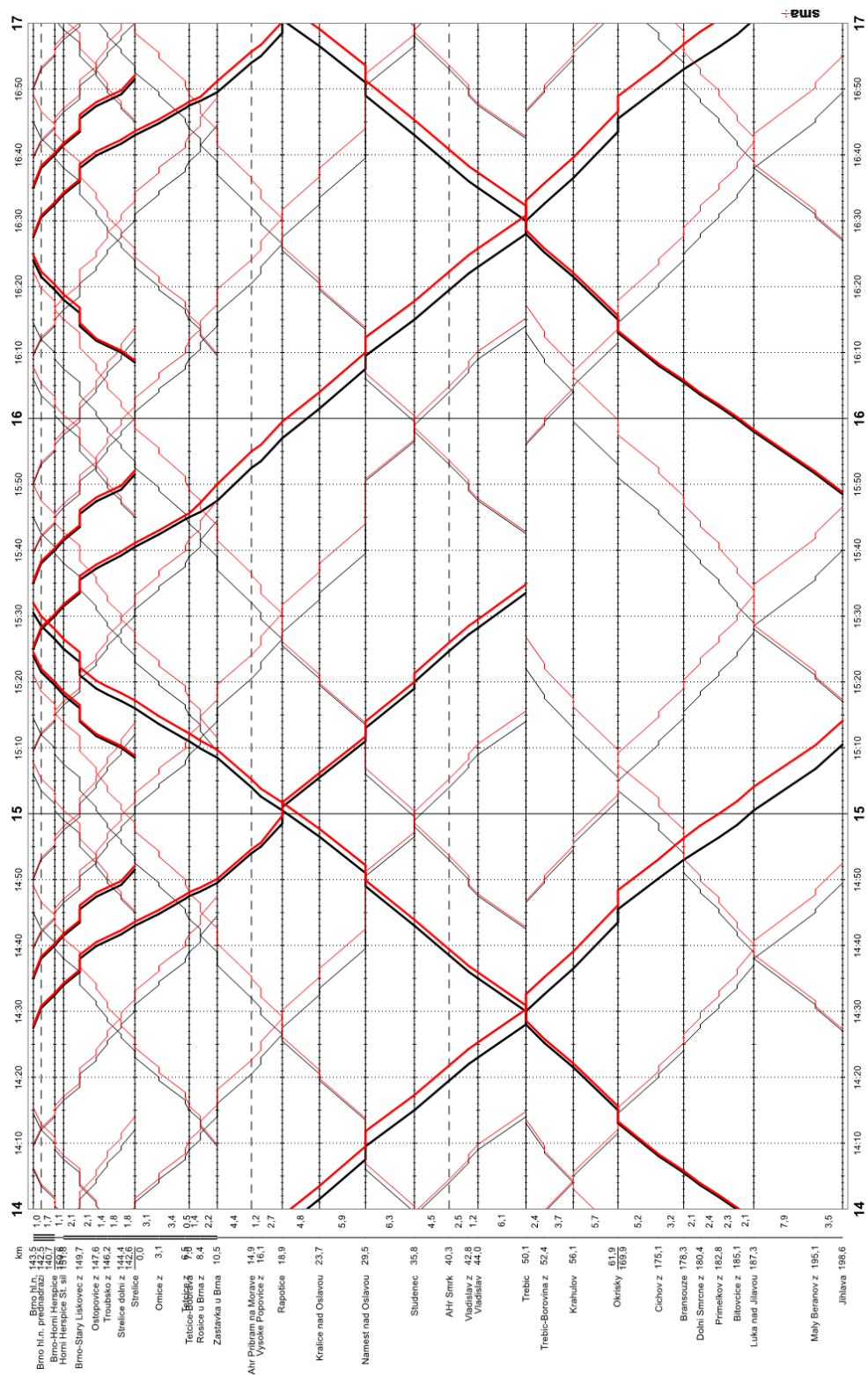
Zdroj: autor

# C. Nákresné jízdní řády simulace na trati 240



Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 1.0

Zdroj: autor



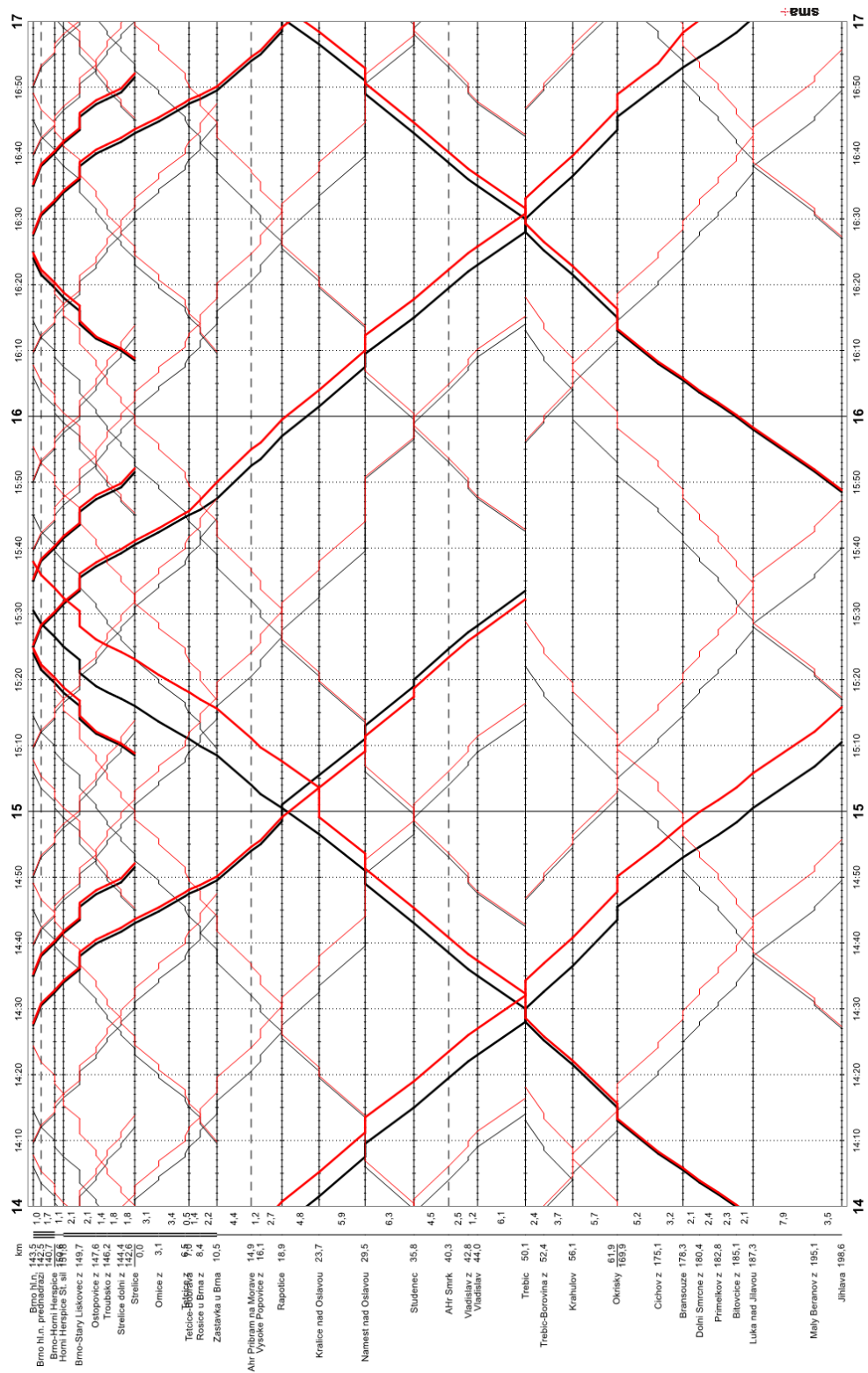
Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 2.0

Zdroj: autor



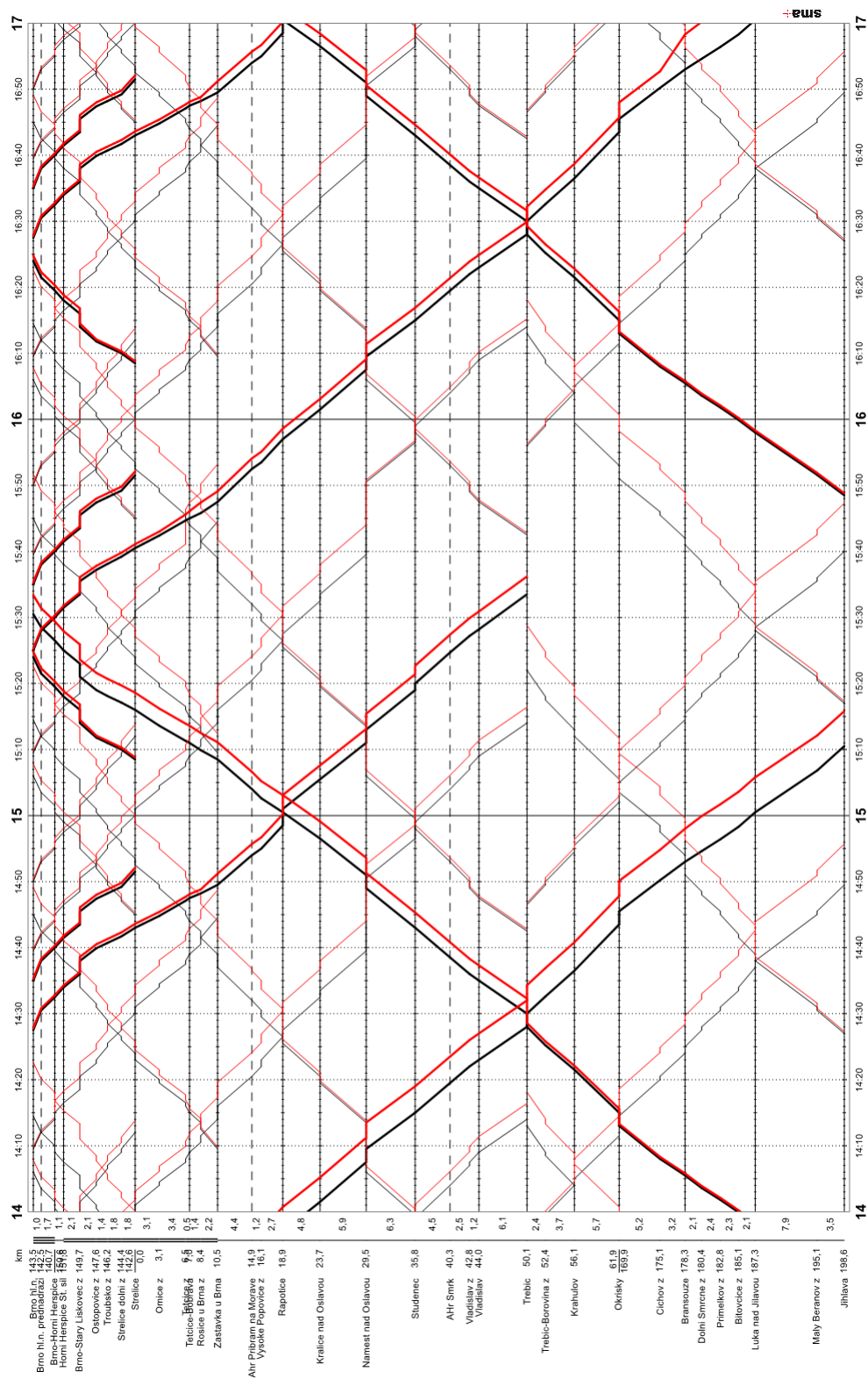






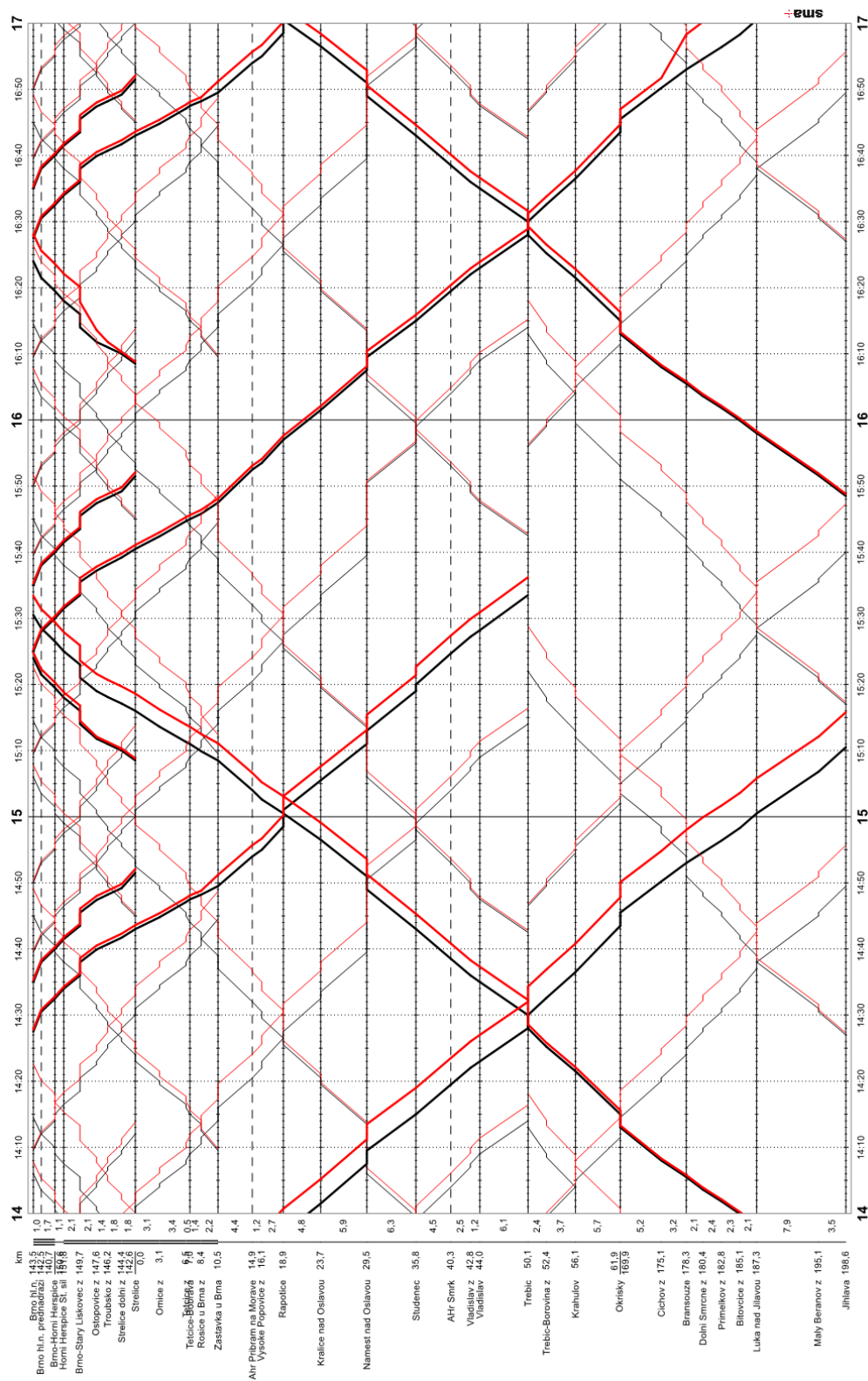
Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 3.1.2.a

Zdroj: autor



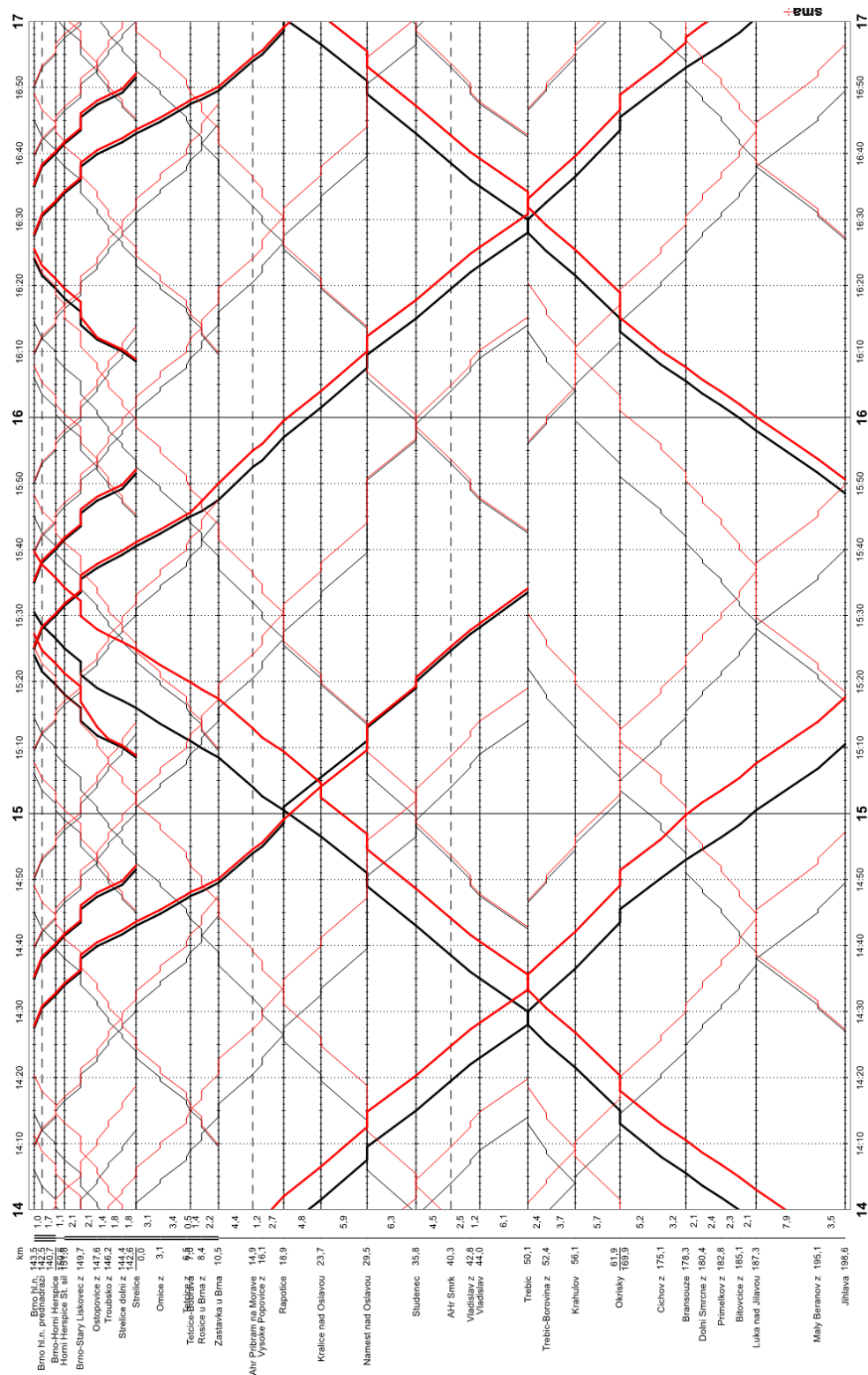
Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 3.2.1

Zdroj: autor



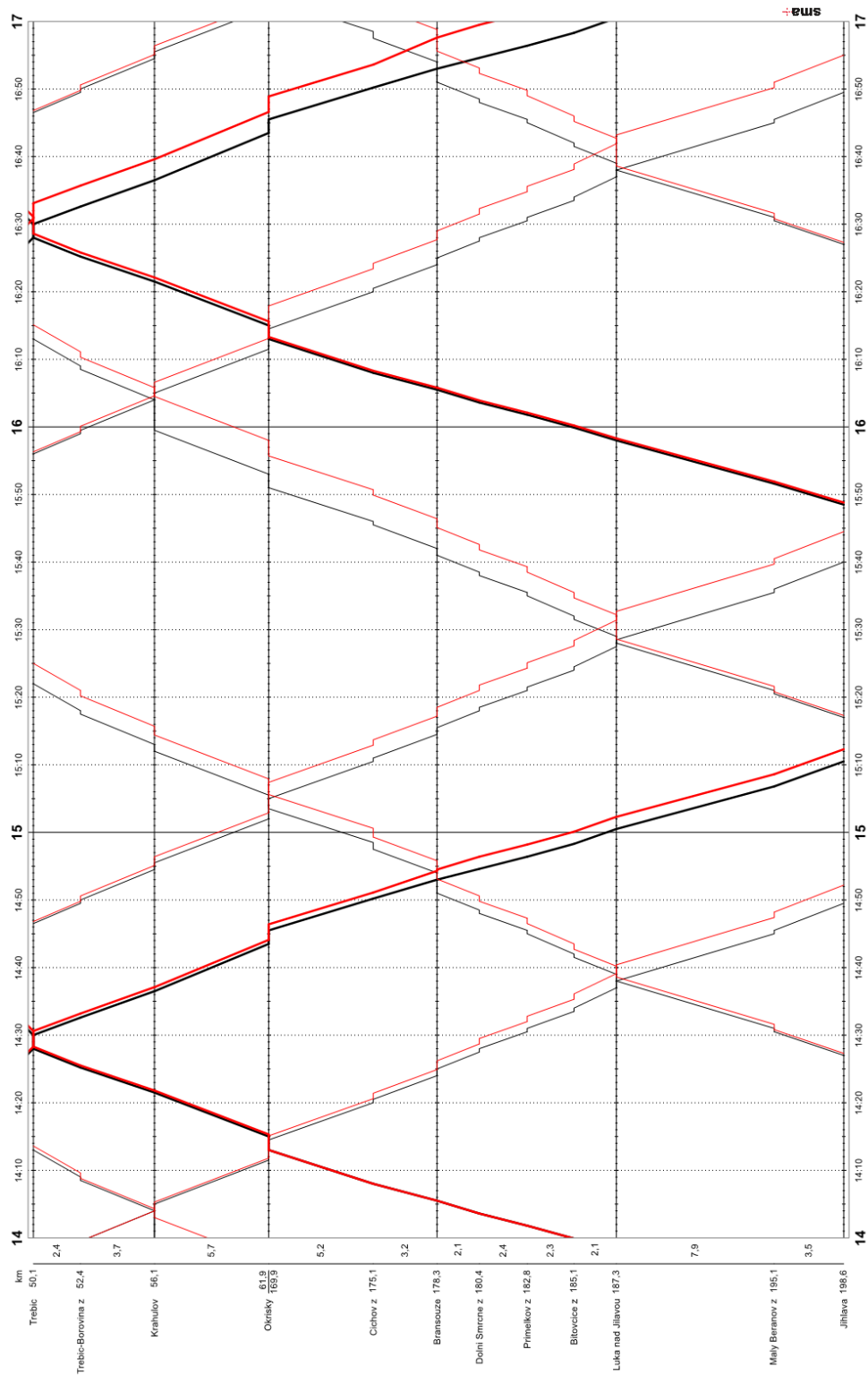
Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 3.2.2

Zdroj: autor



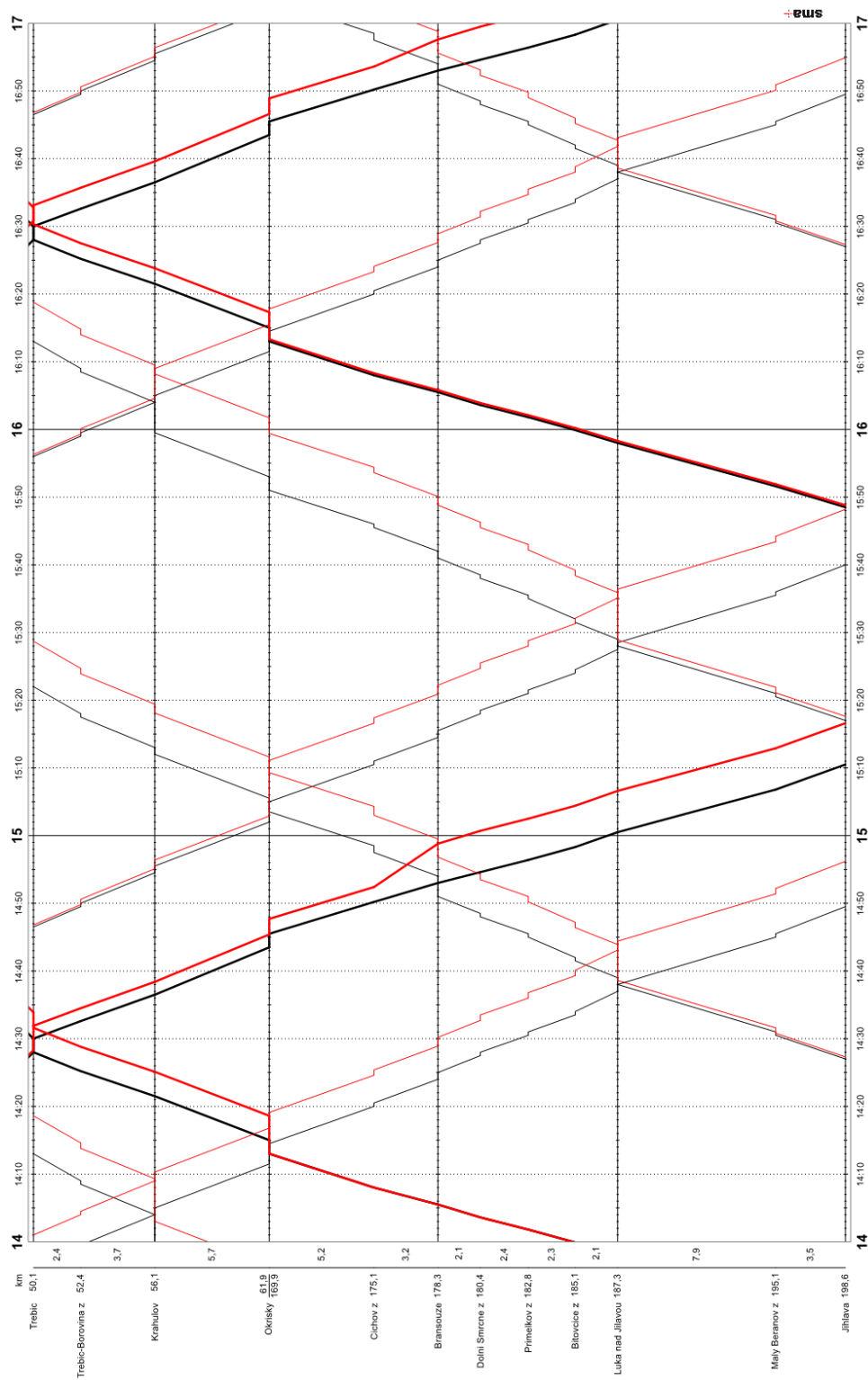
Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 4.0

Zdroj: autor



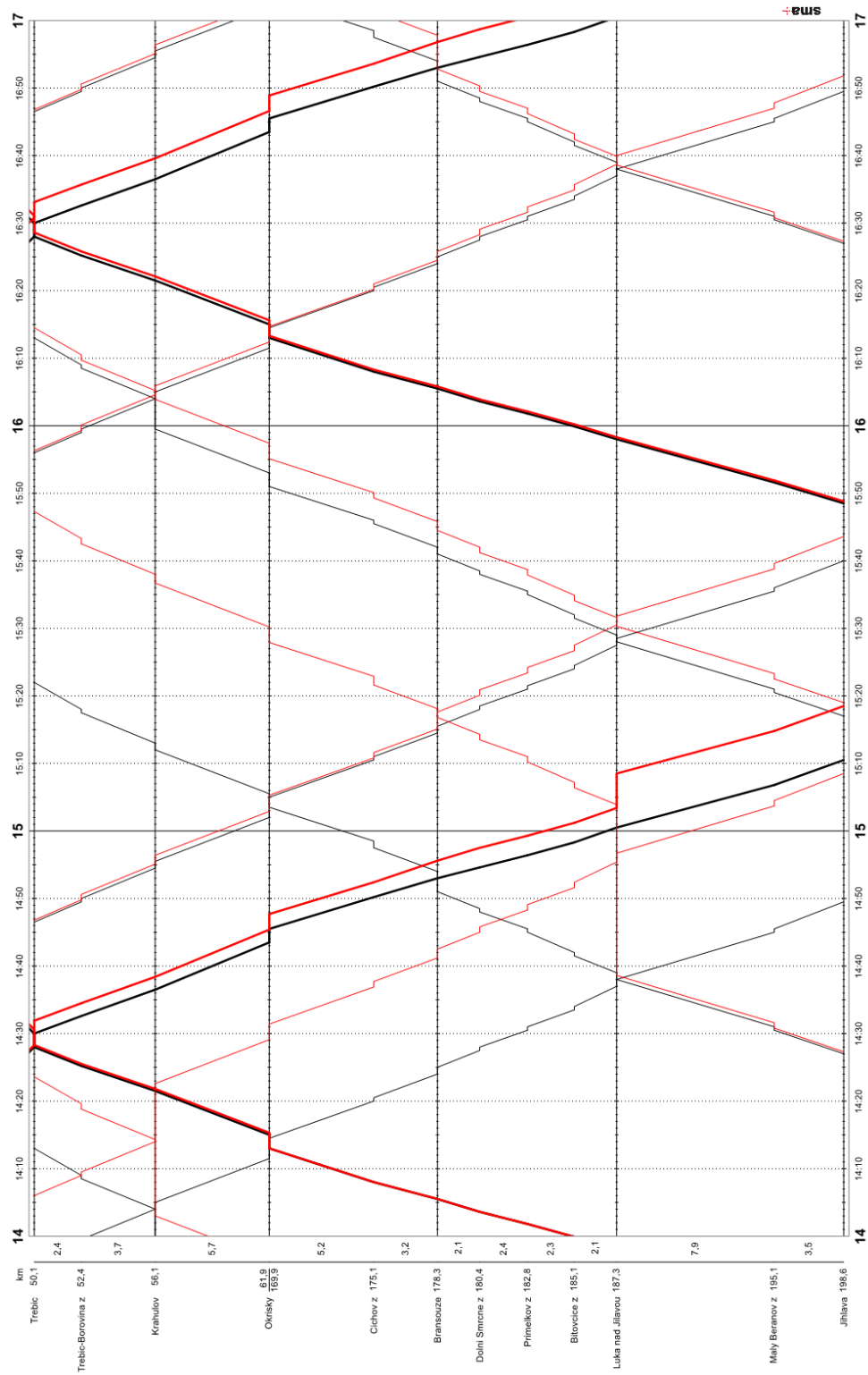
Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 11.0

Zdroj: autor



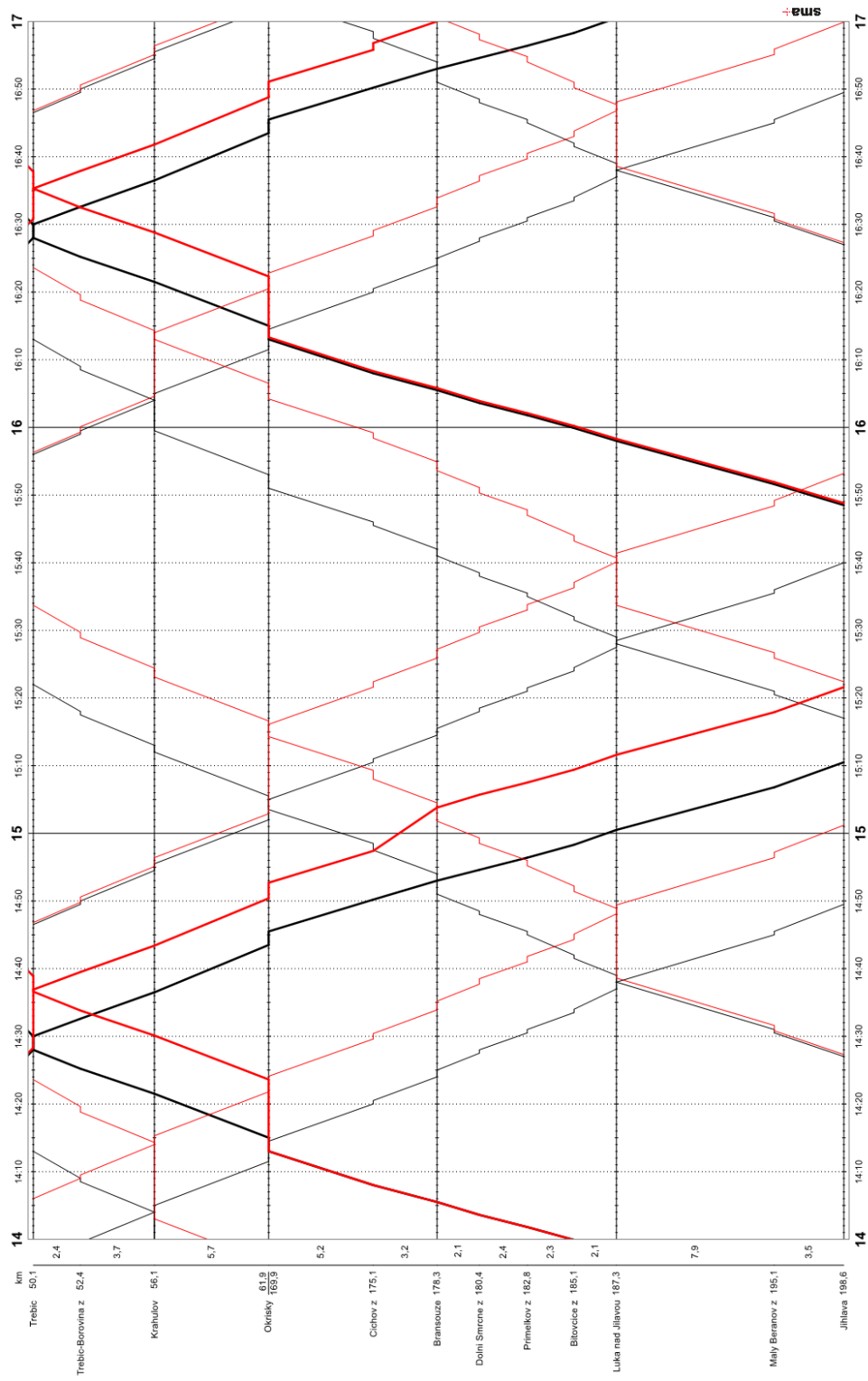
Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 12.0

Zdroj: autor



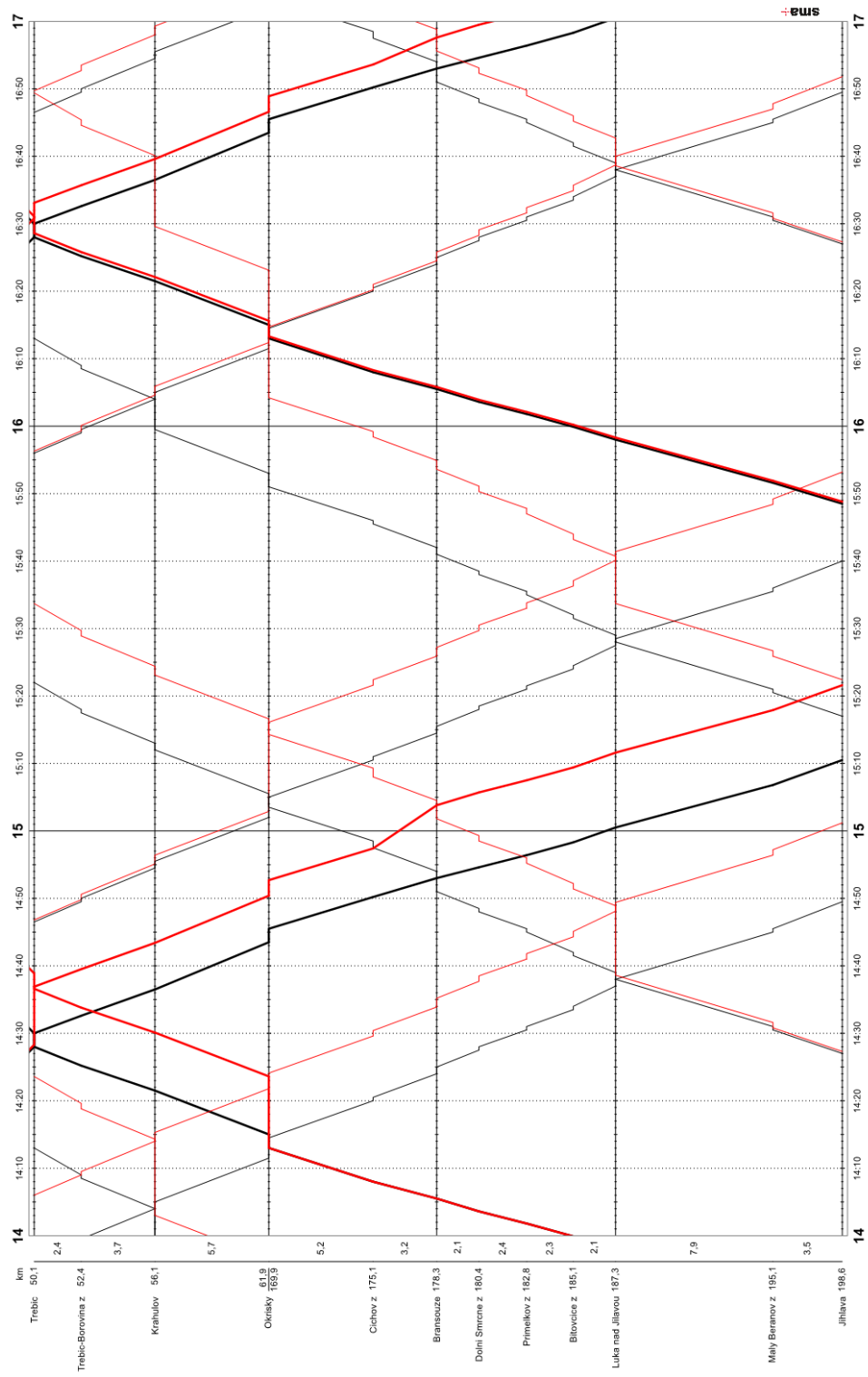
Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 13.1

Zdroj: autor



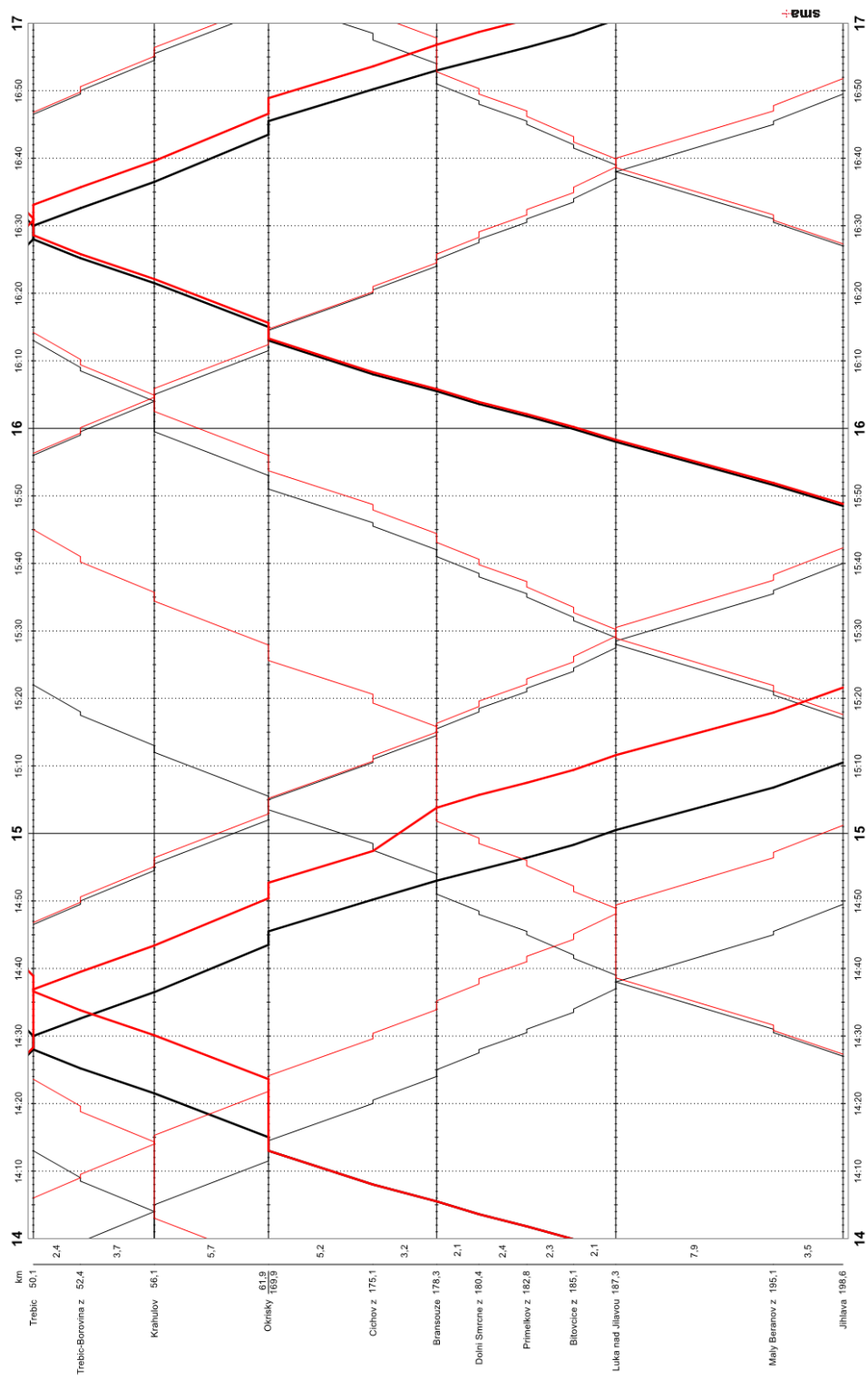
Nákrasný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 13.2.1.1

Zdroj: autor



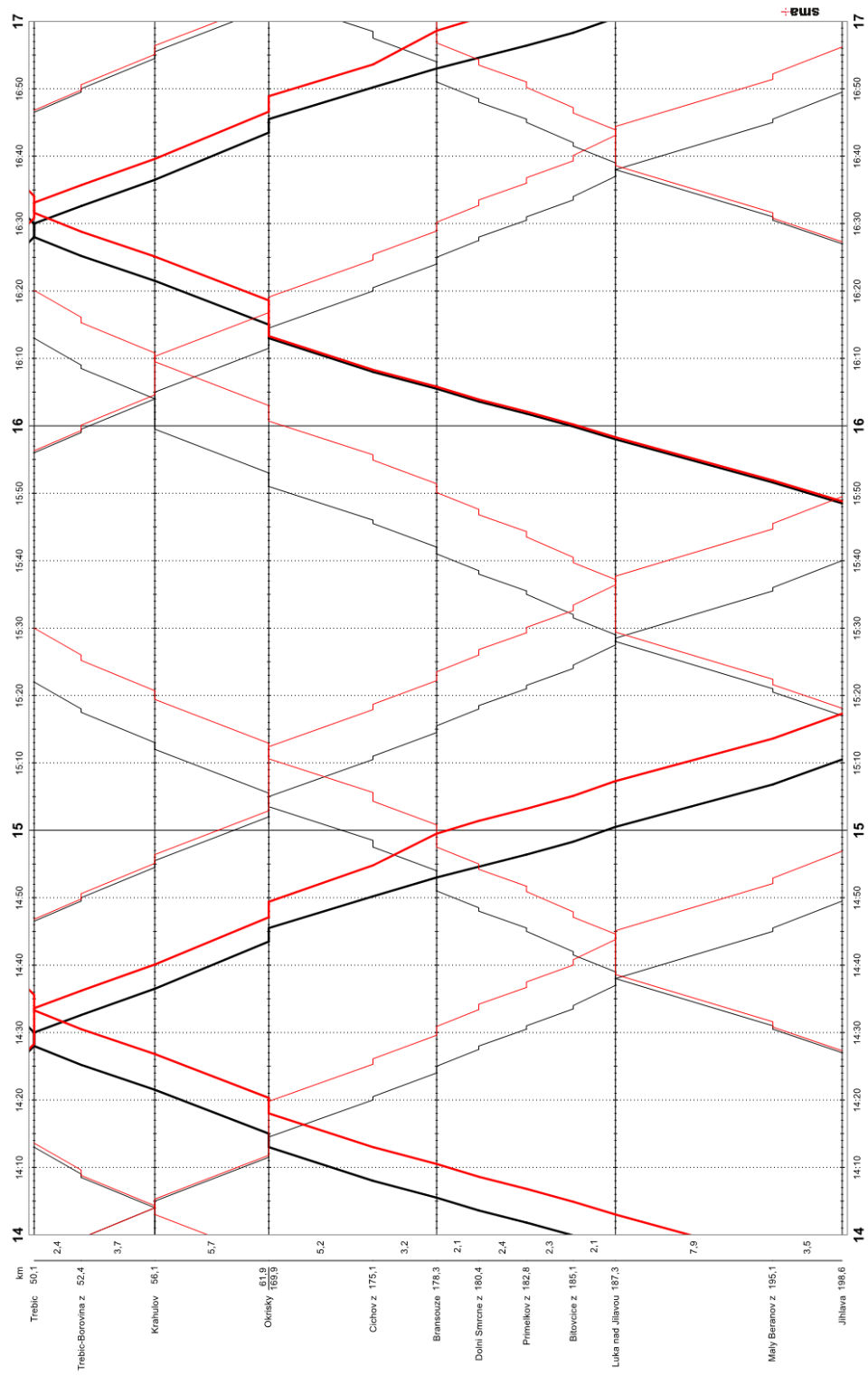
Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 13.2.1.2

Zdroj: autor



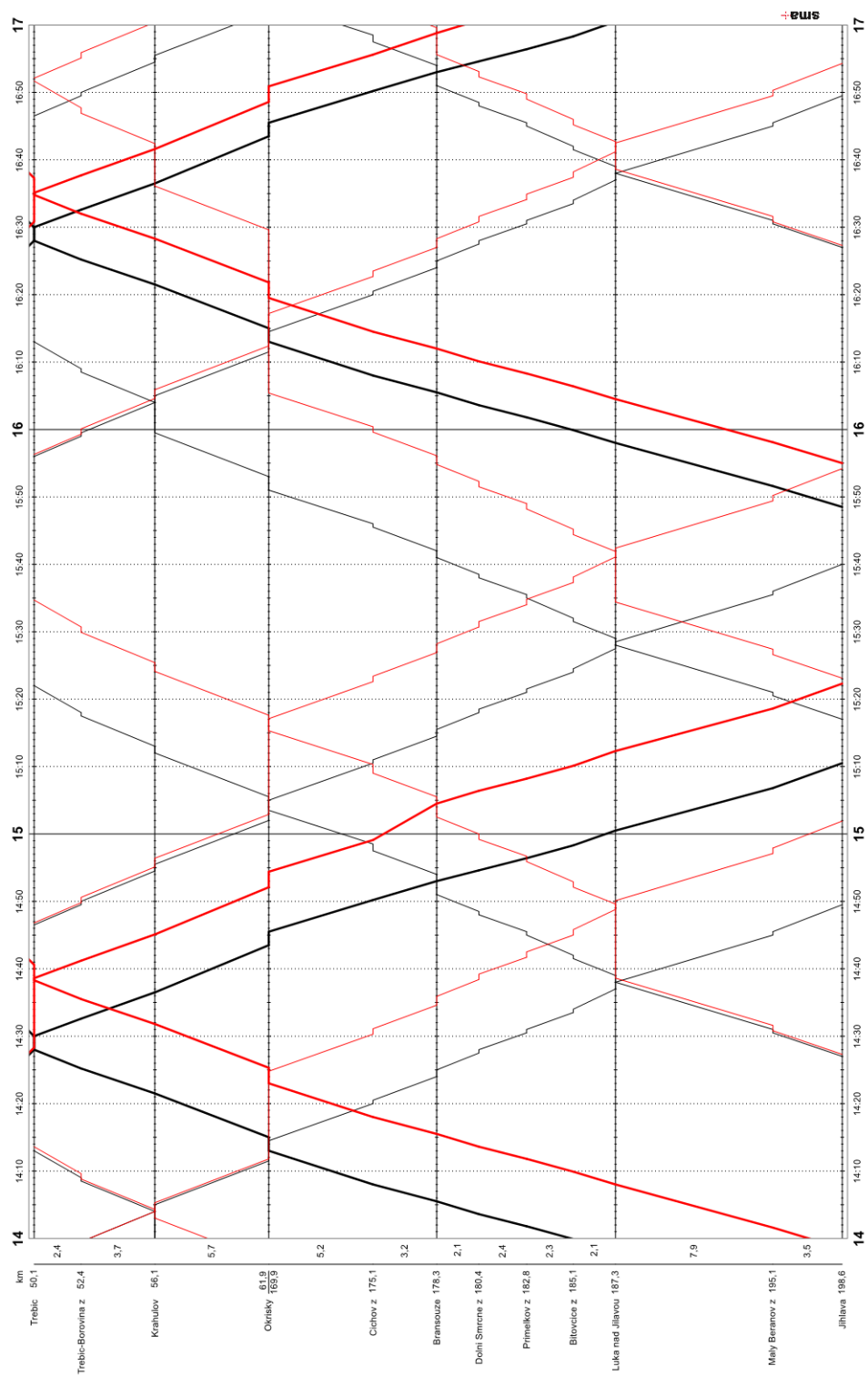
Nákrasný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 13.2.2

Zdroj: autor



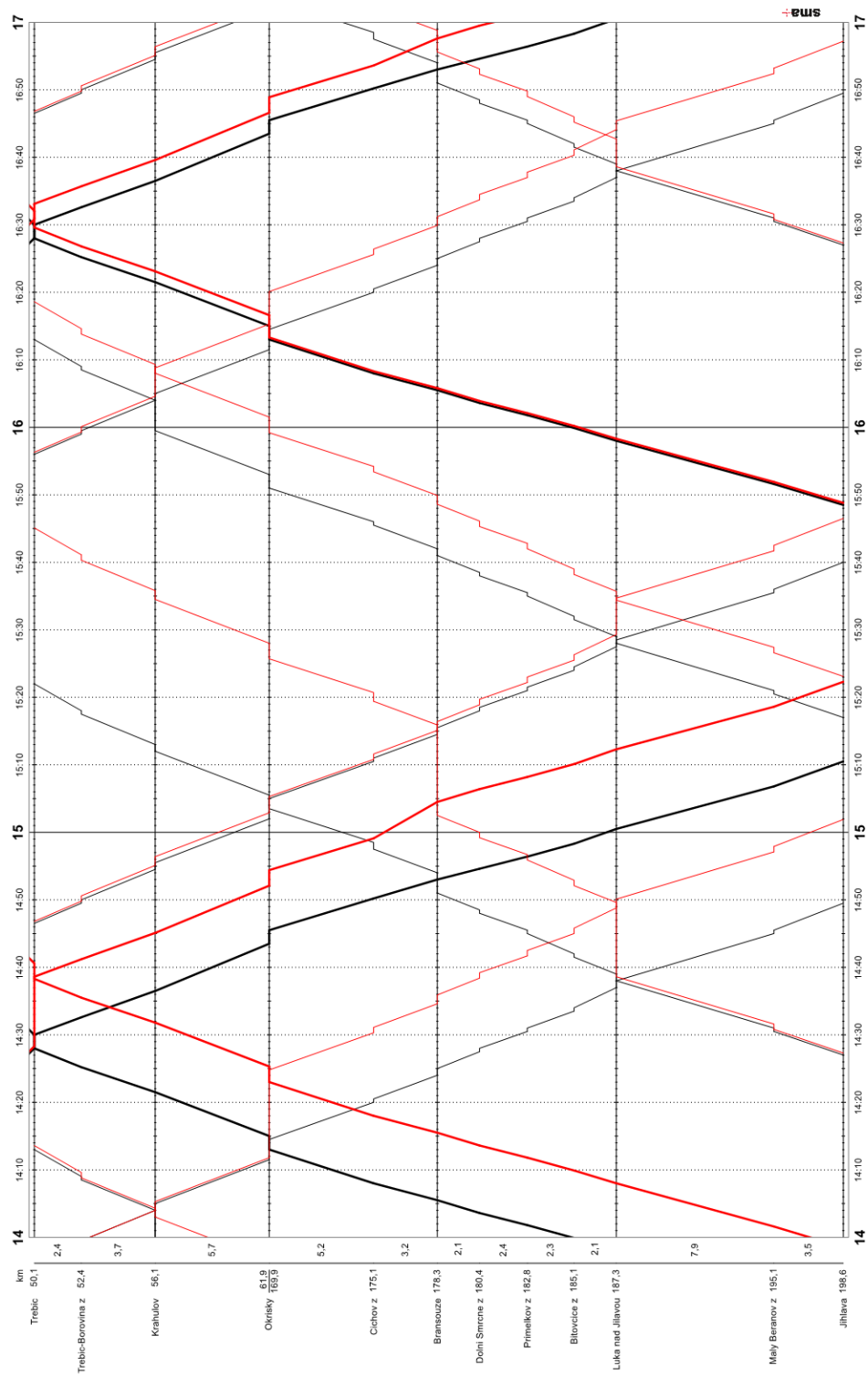
Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 14.0

Zdroj: autor



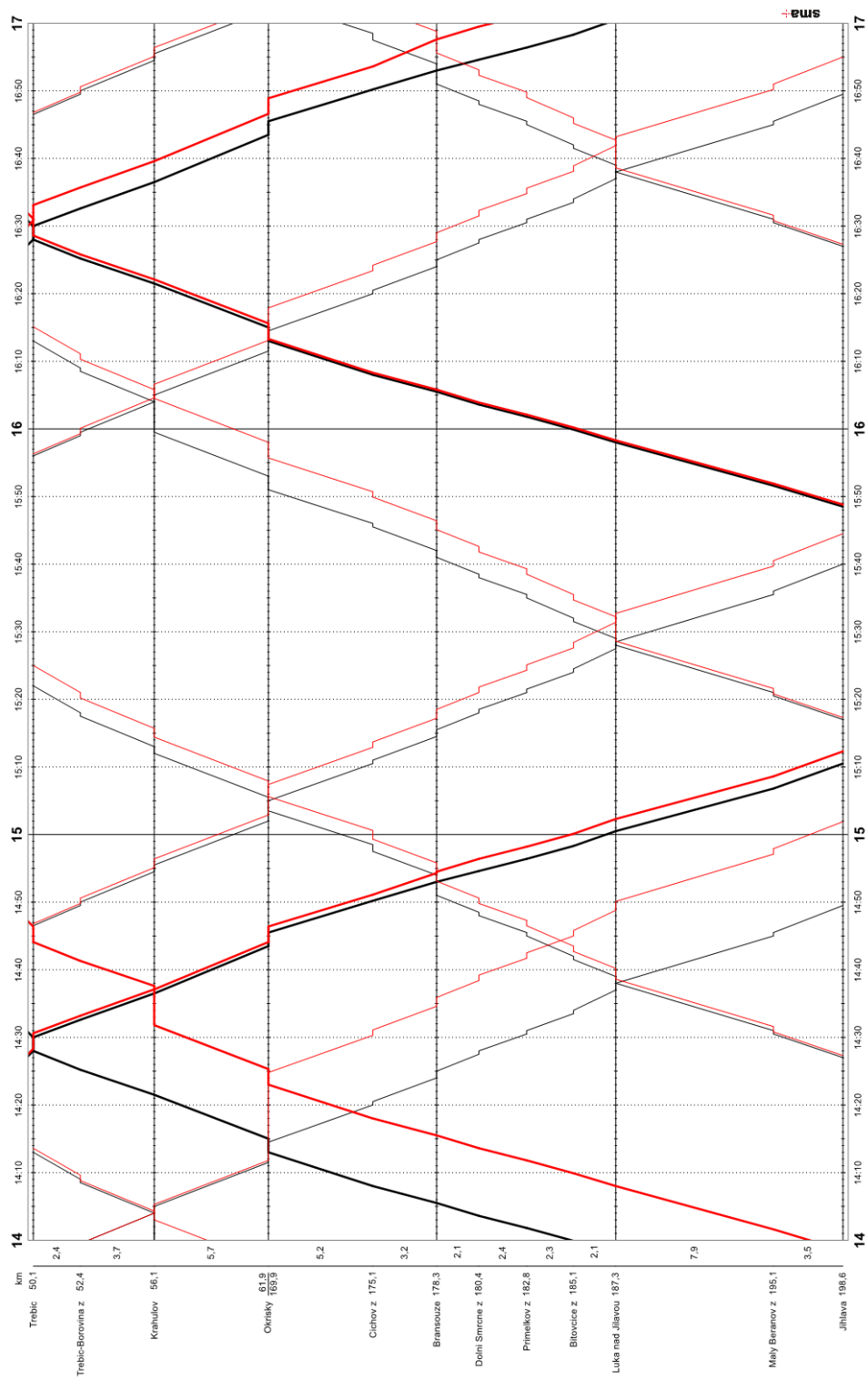
Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 15.1.1

Zdroj: autor



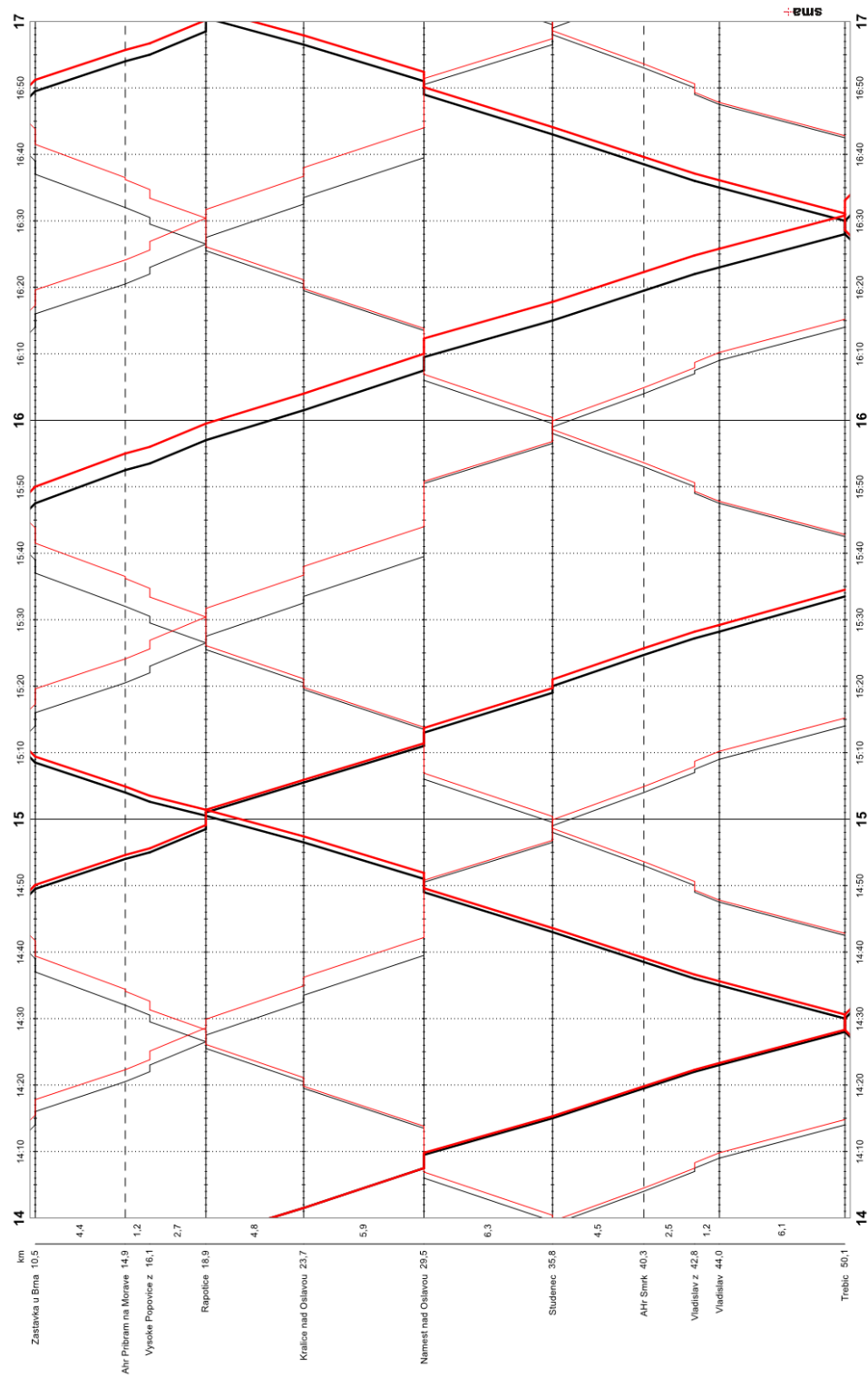
Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 15.1.2

Zdroj: autor



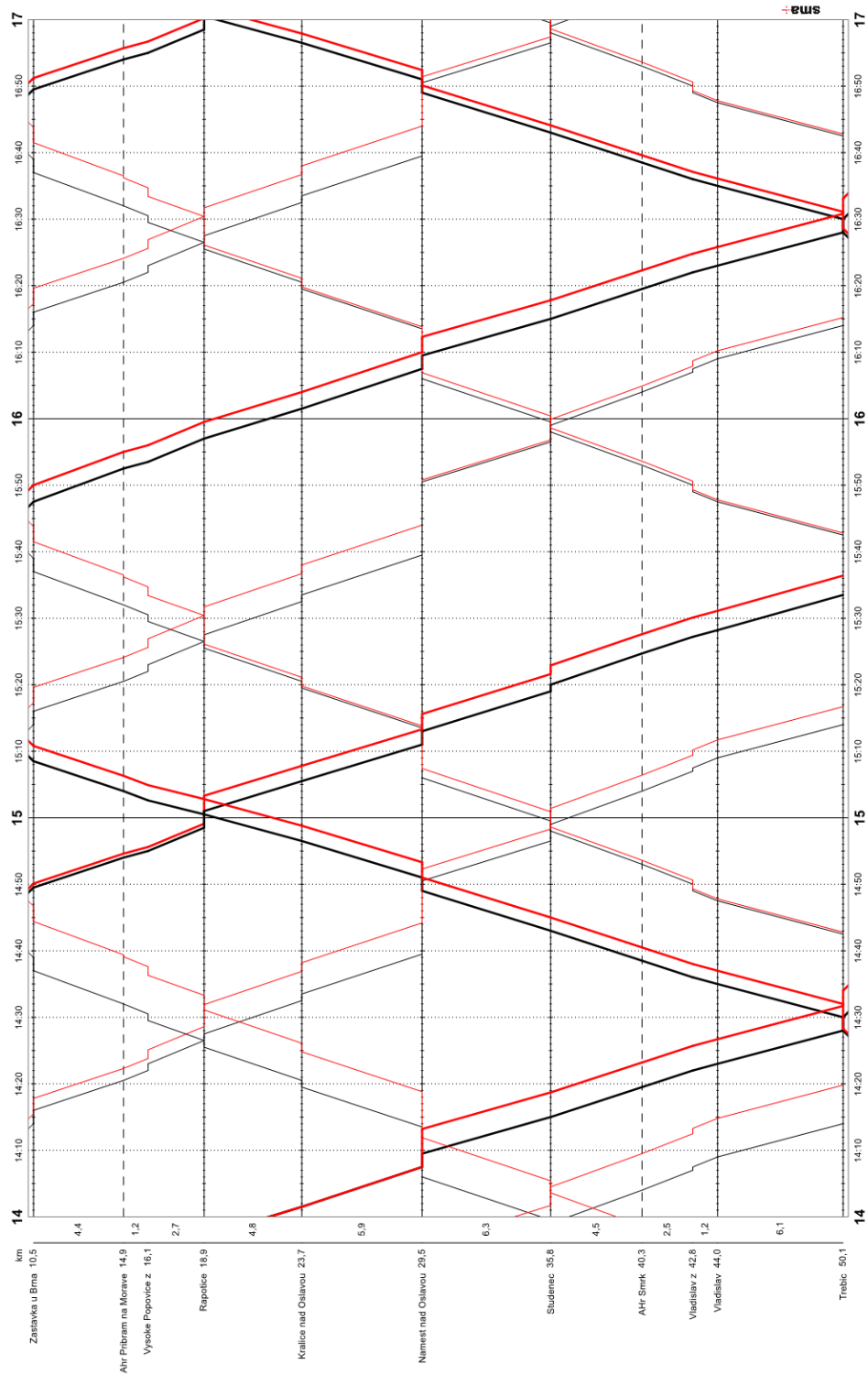
Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 15.2

Zdroj: autor



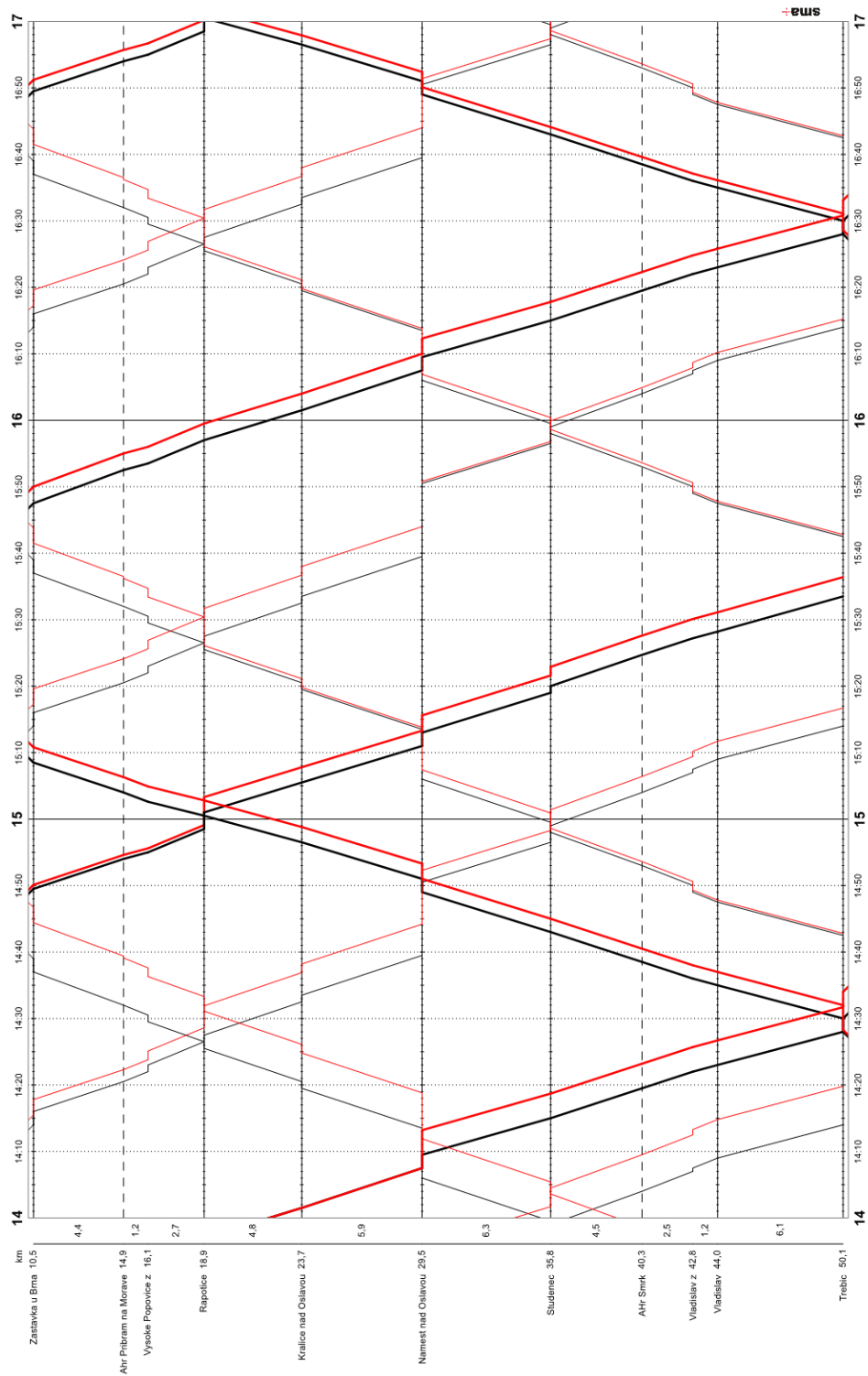
Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 21.0

Zdroj: autor



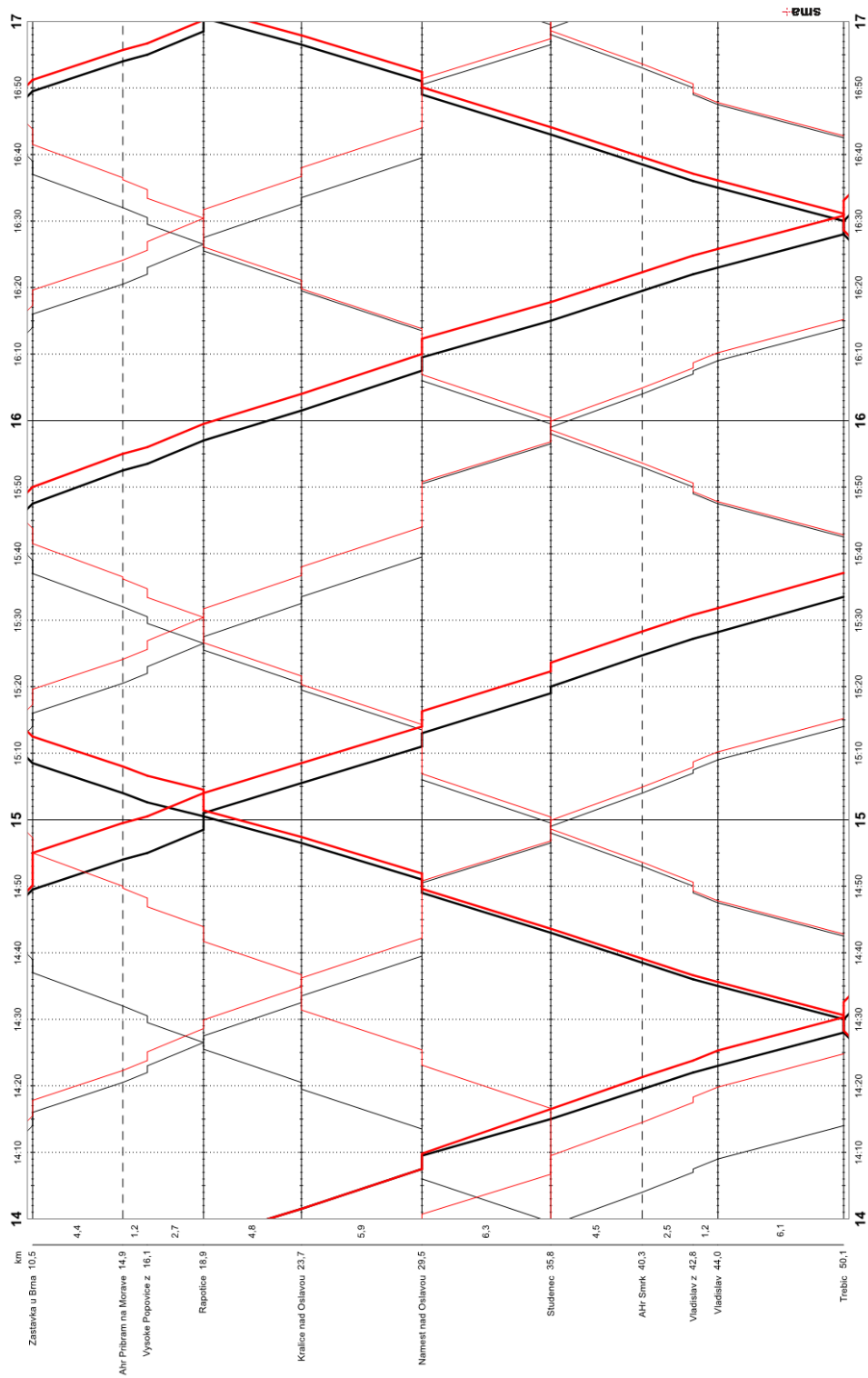
Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 22.0

Zdroj: autor



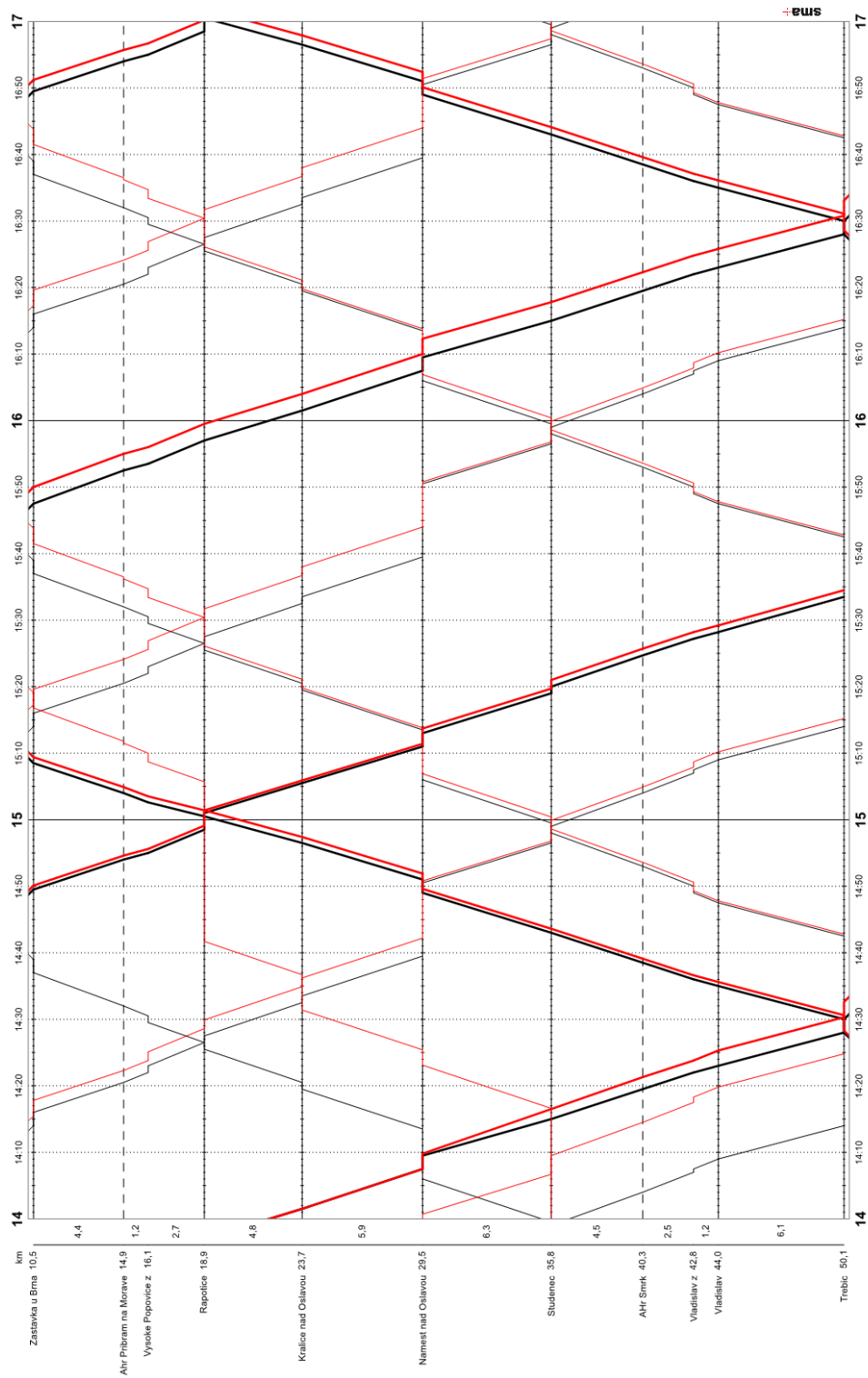
Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 22.0

Zdroj: autor



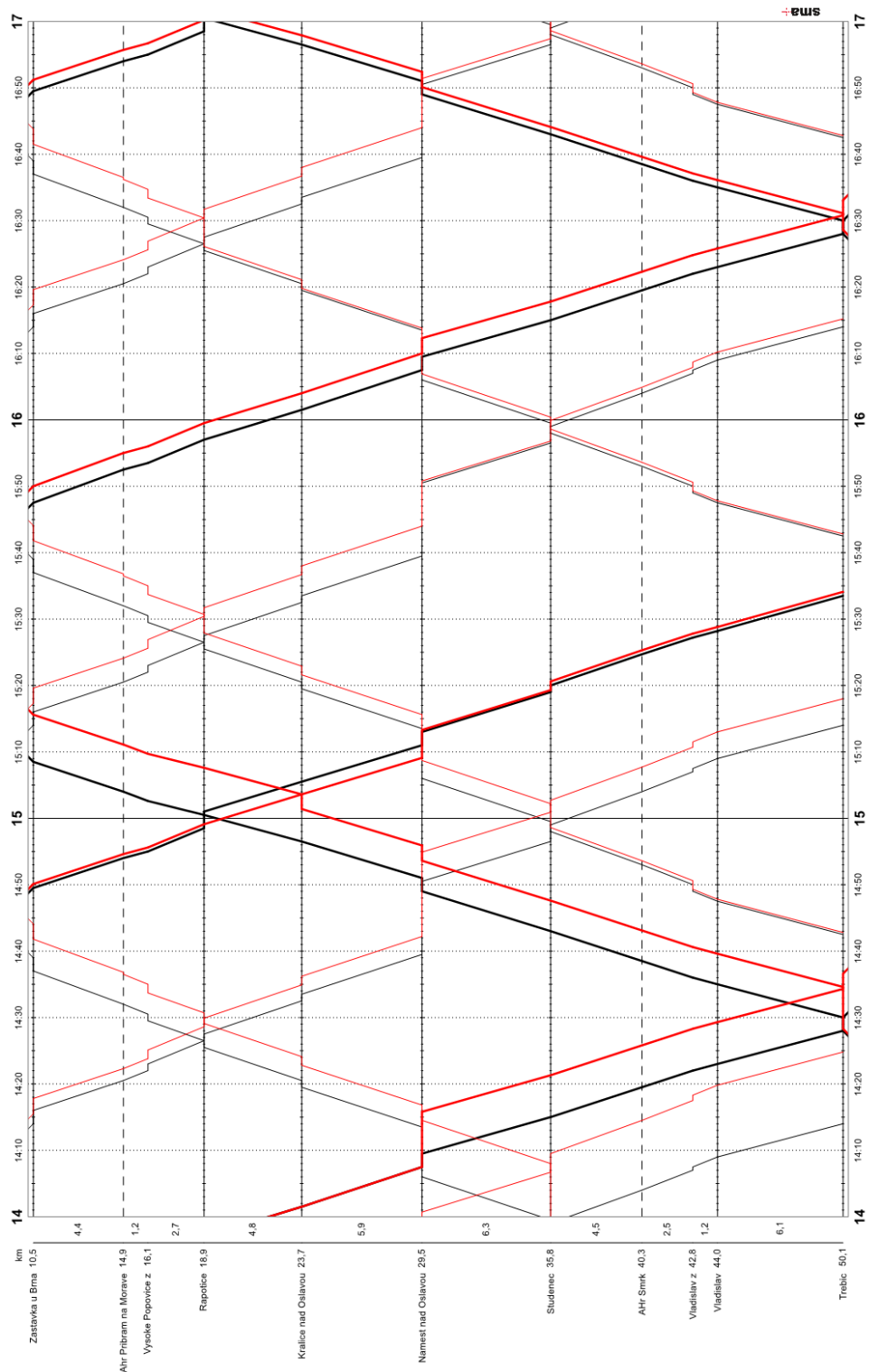
Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 23.1.1.1

Zdroj: autor



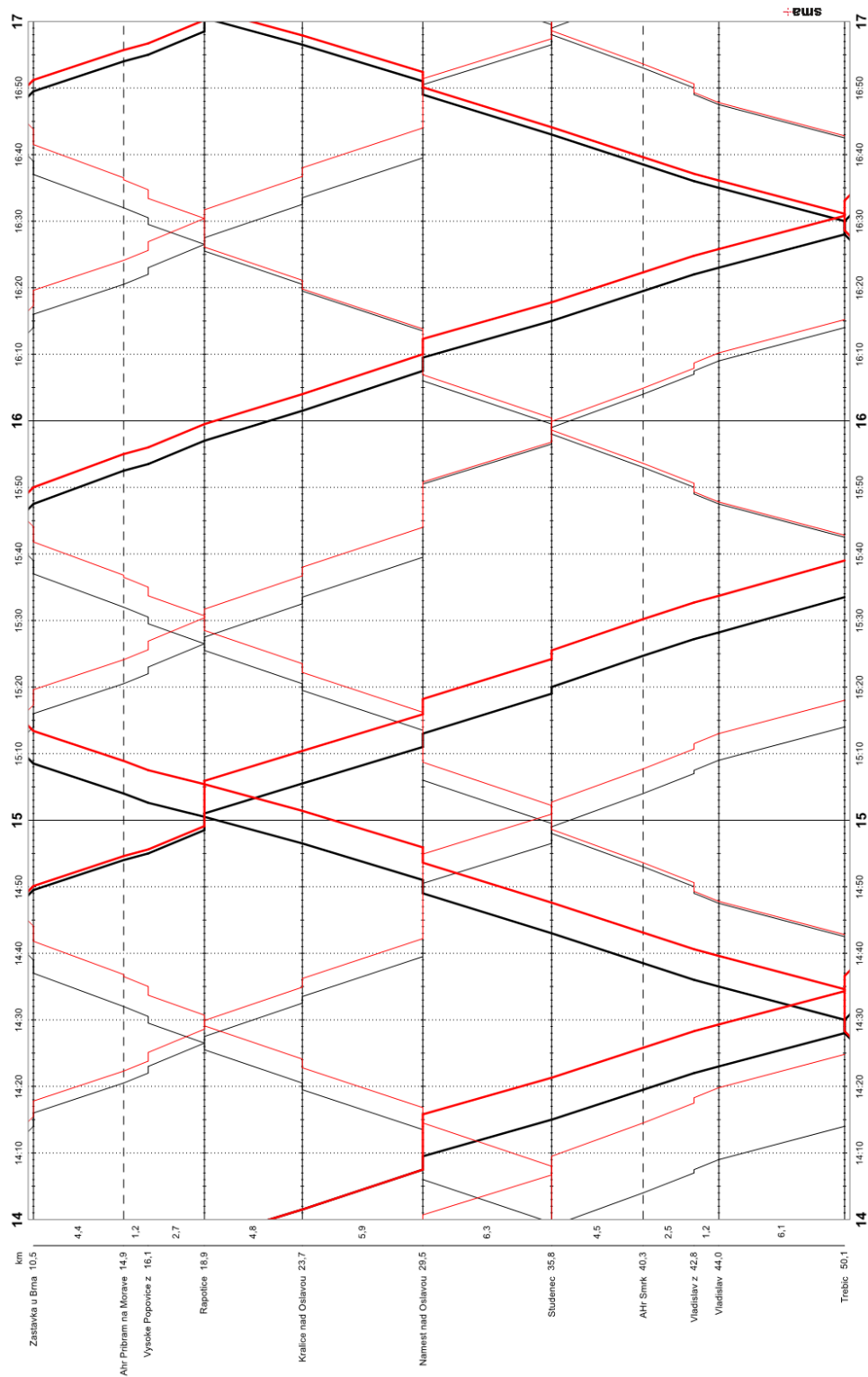
Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 23.1.1.2

Zdroj: autor



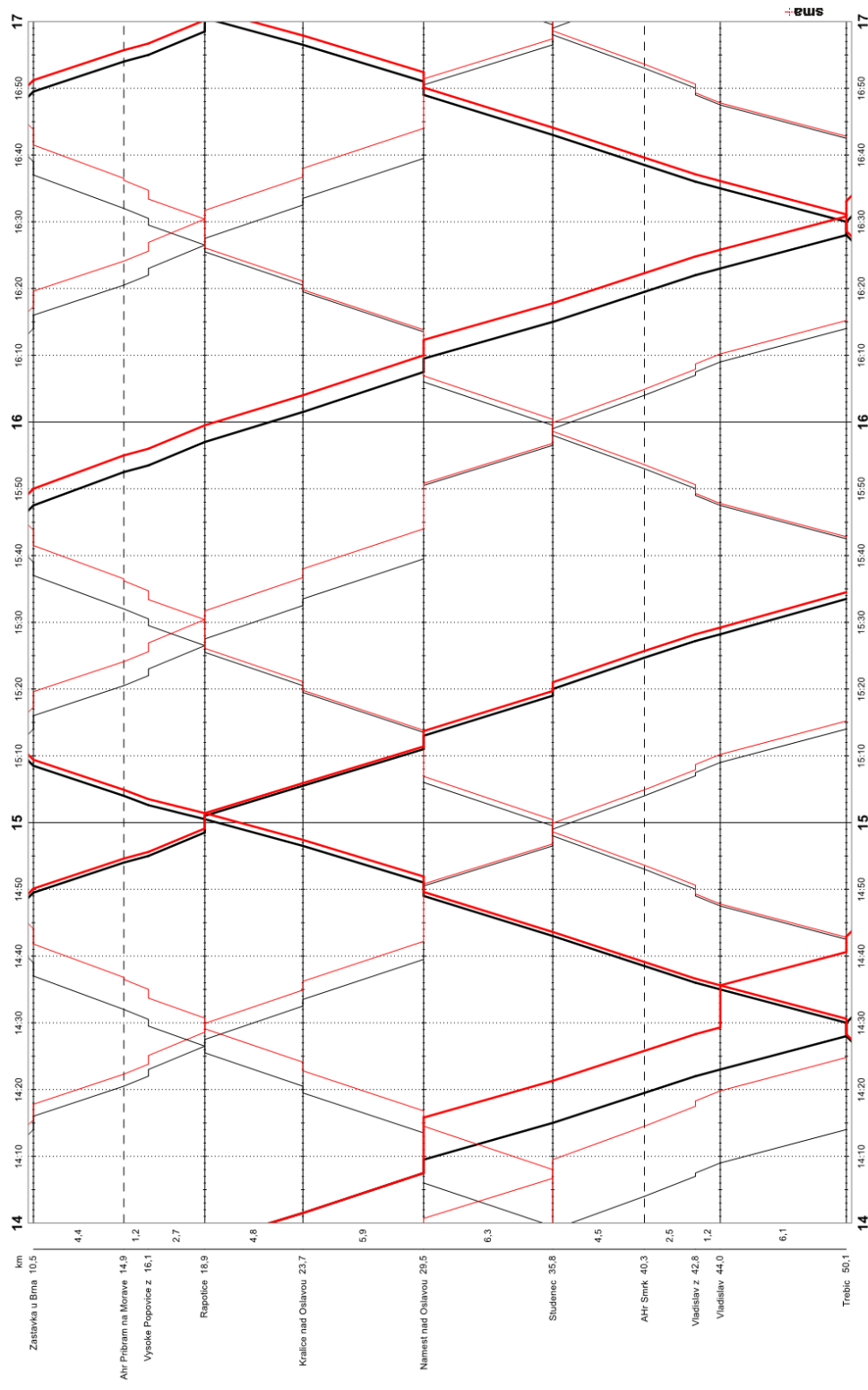
Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 23.1.2.1.1

Zdroj: autor



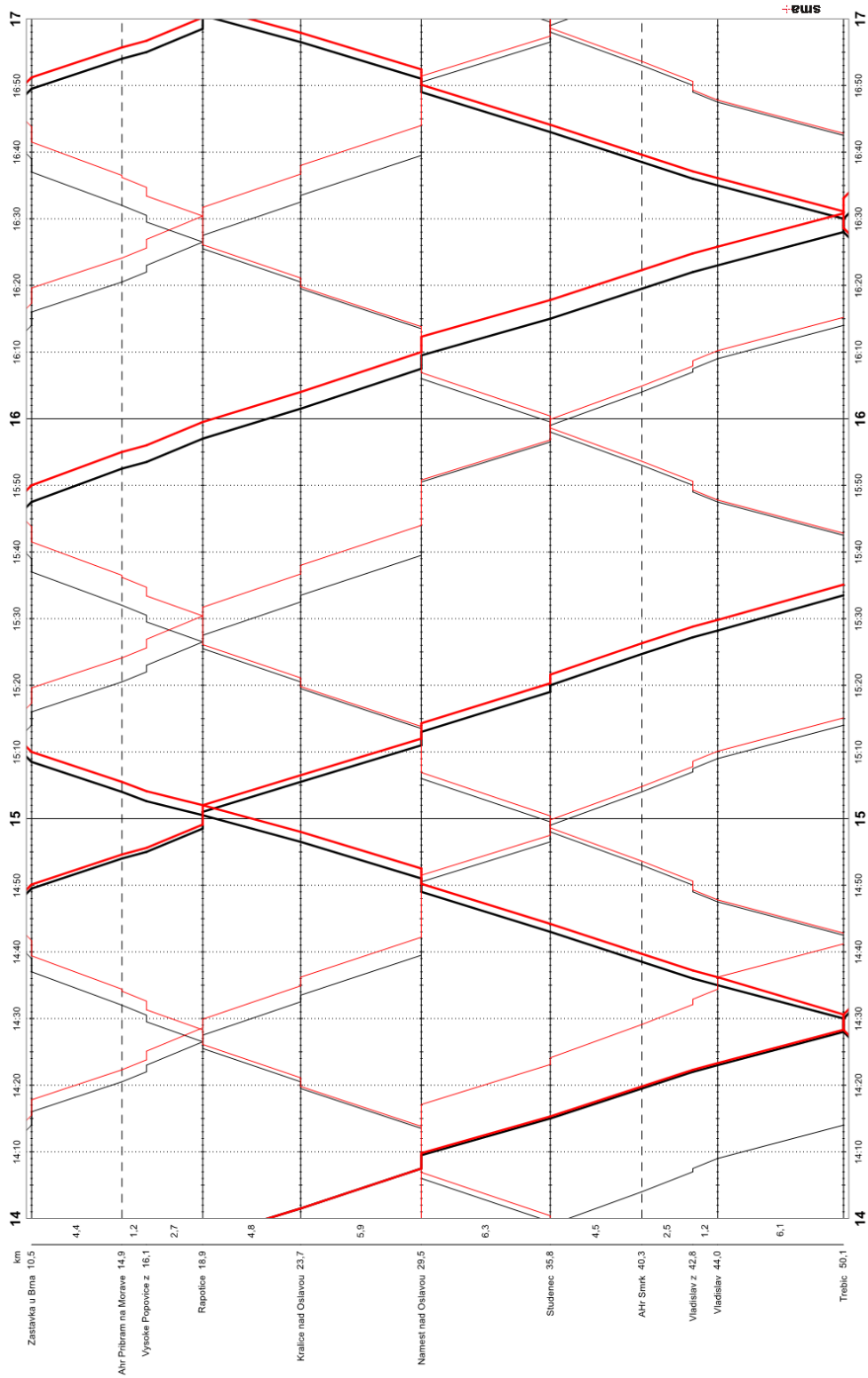
Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 23.1.2.1.2

Zdroj: autor



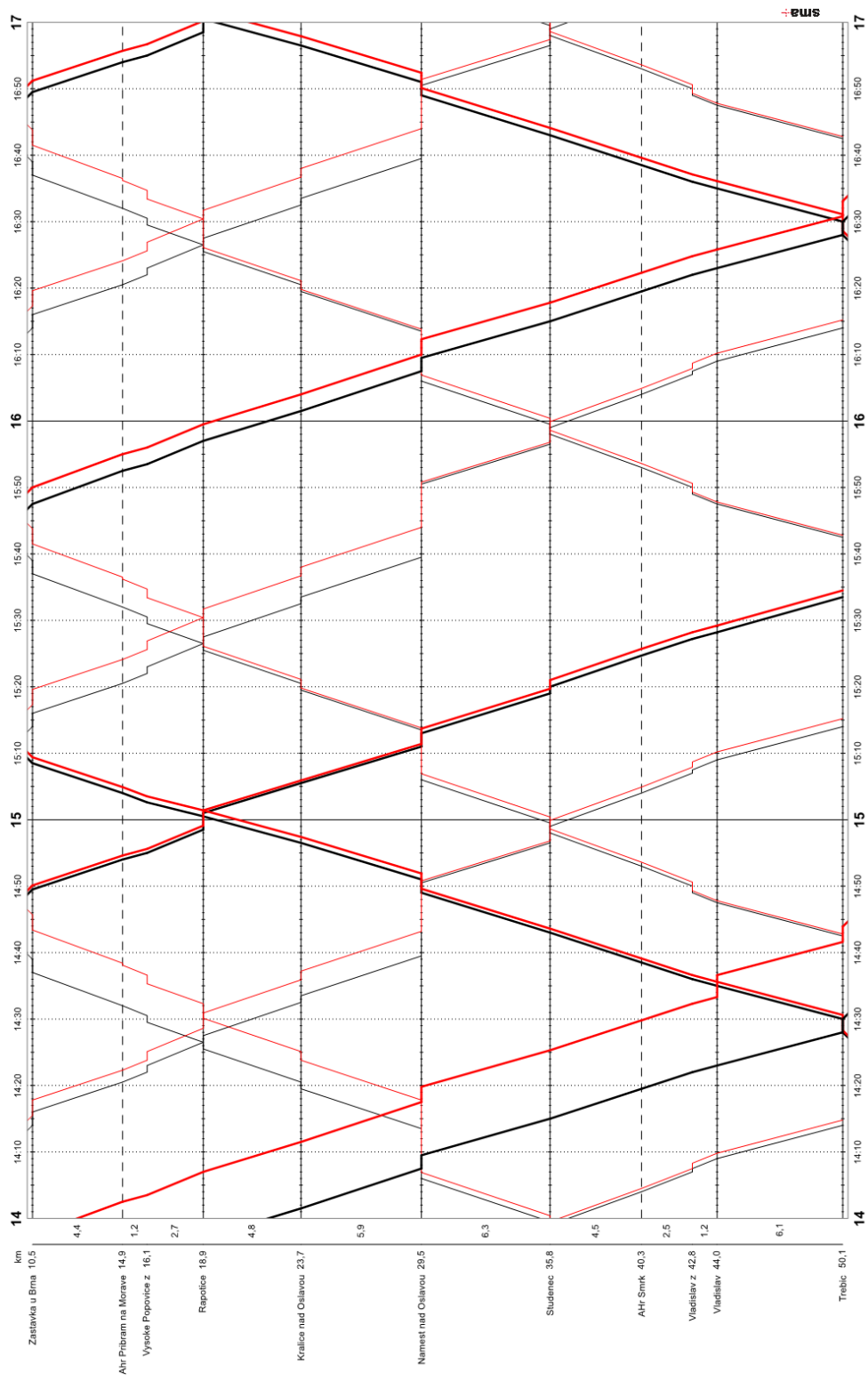
Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 23.1.2.2

Zdroj: autor



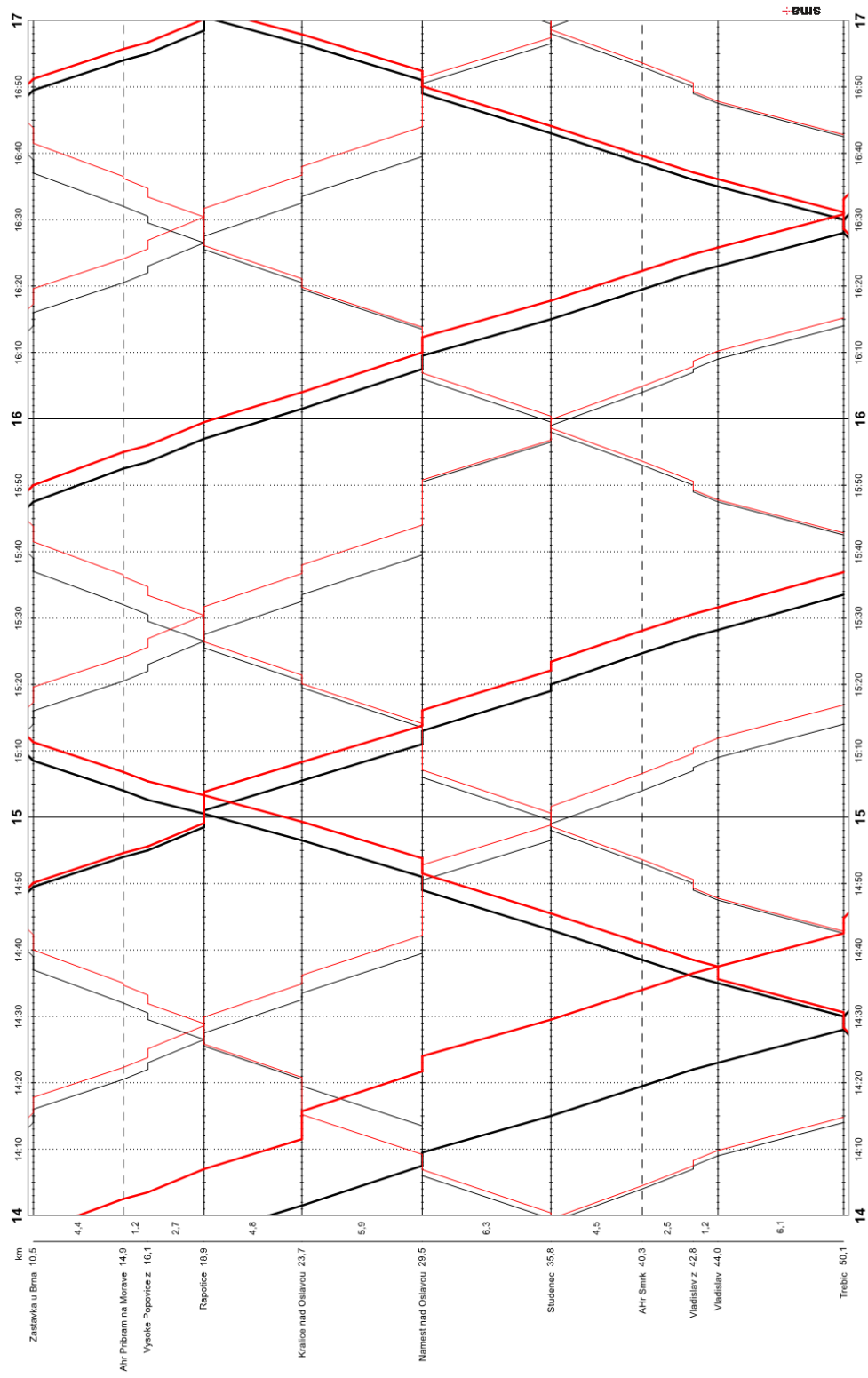
Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 23.2

Zdroj: autor



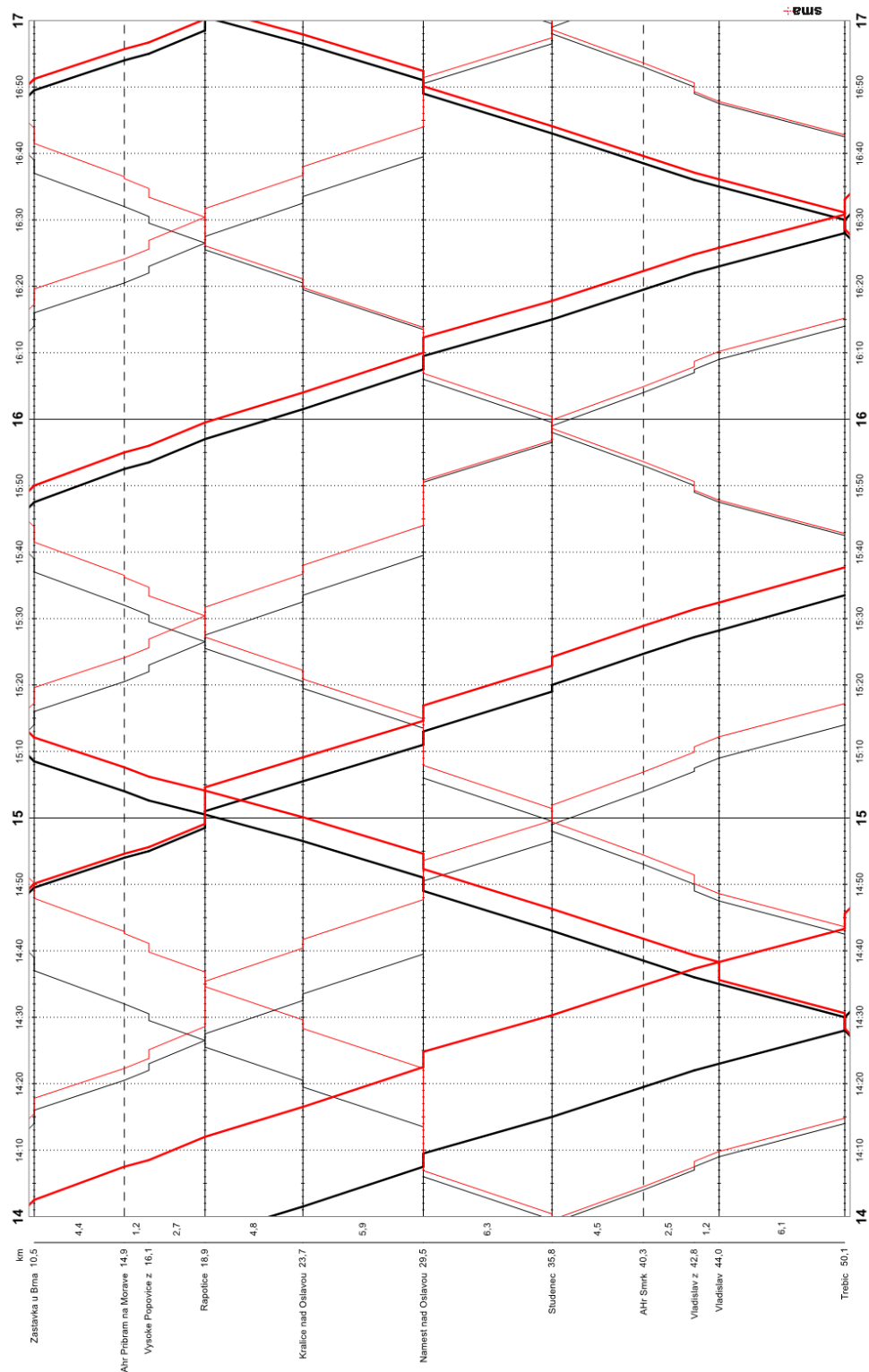
Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 24.1

Zdroj: autor



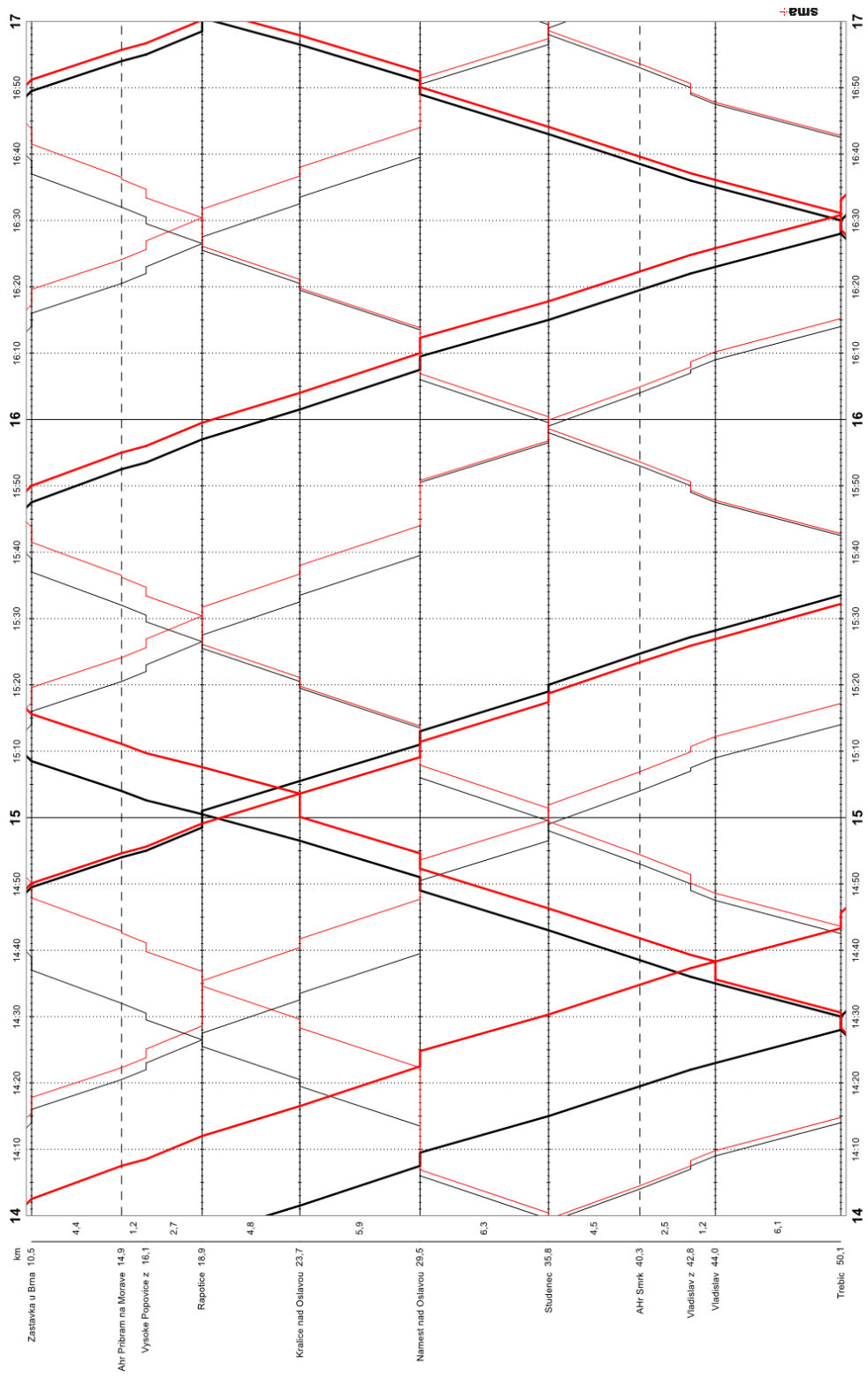
Nákrasný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 24.2a

Zdroj: autor



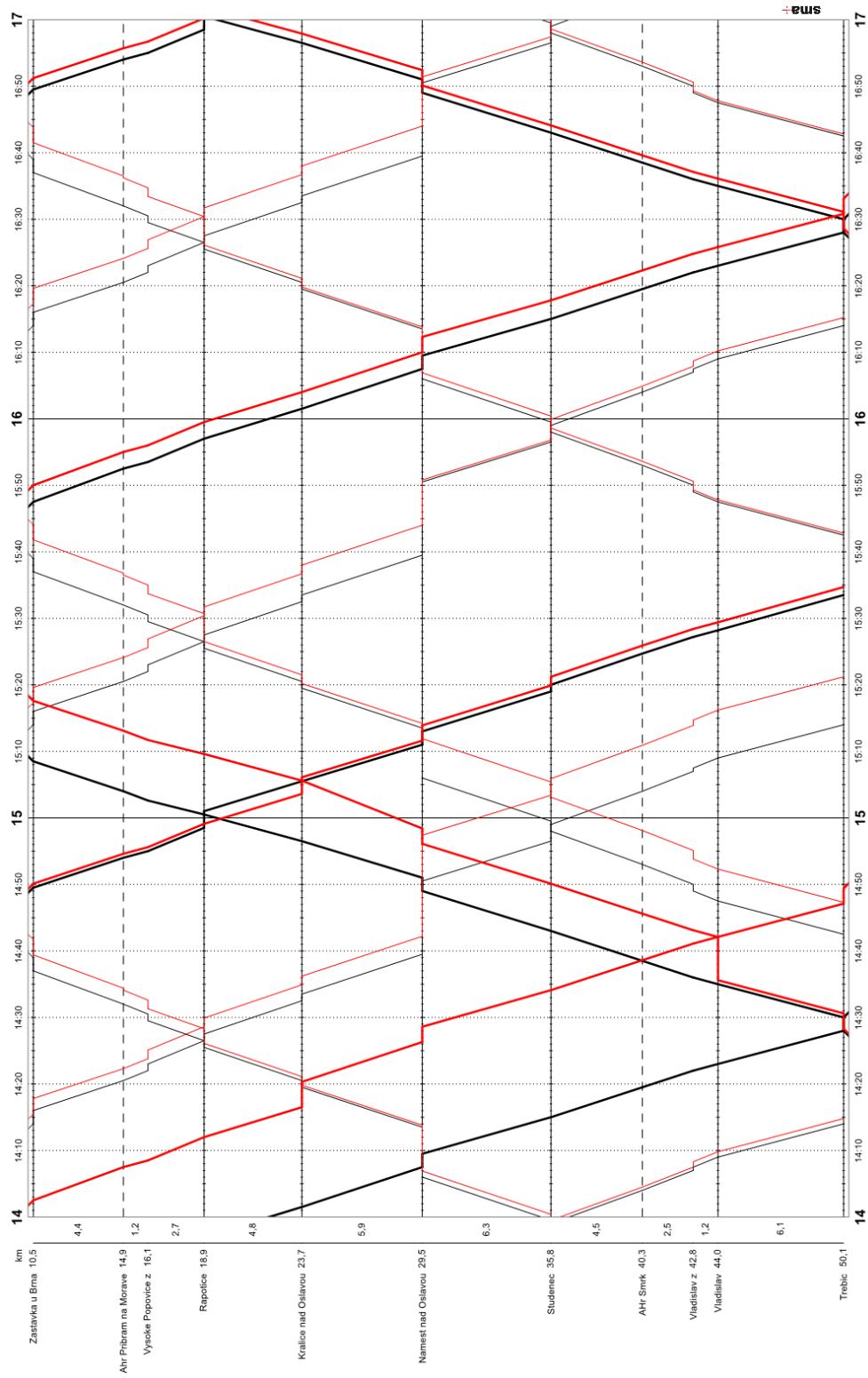
Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 25.1.1

Zdroj: autor



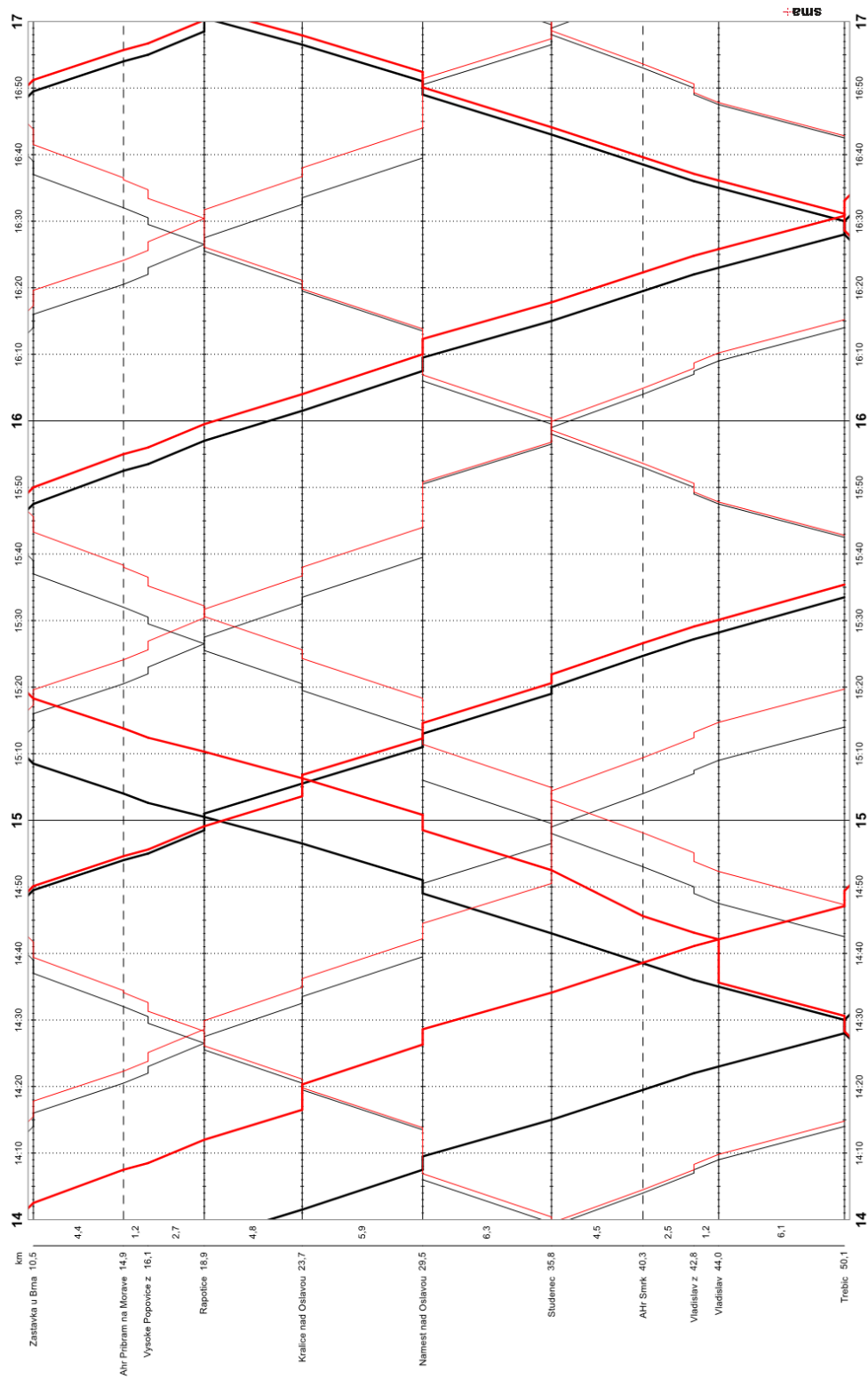
Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 25.1.2

Zdroj: autor



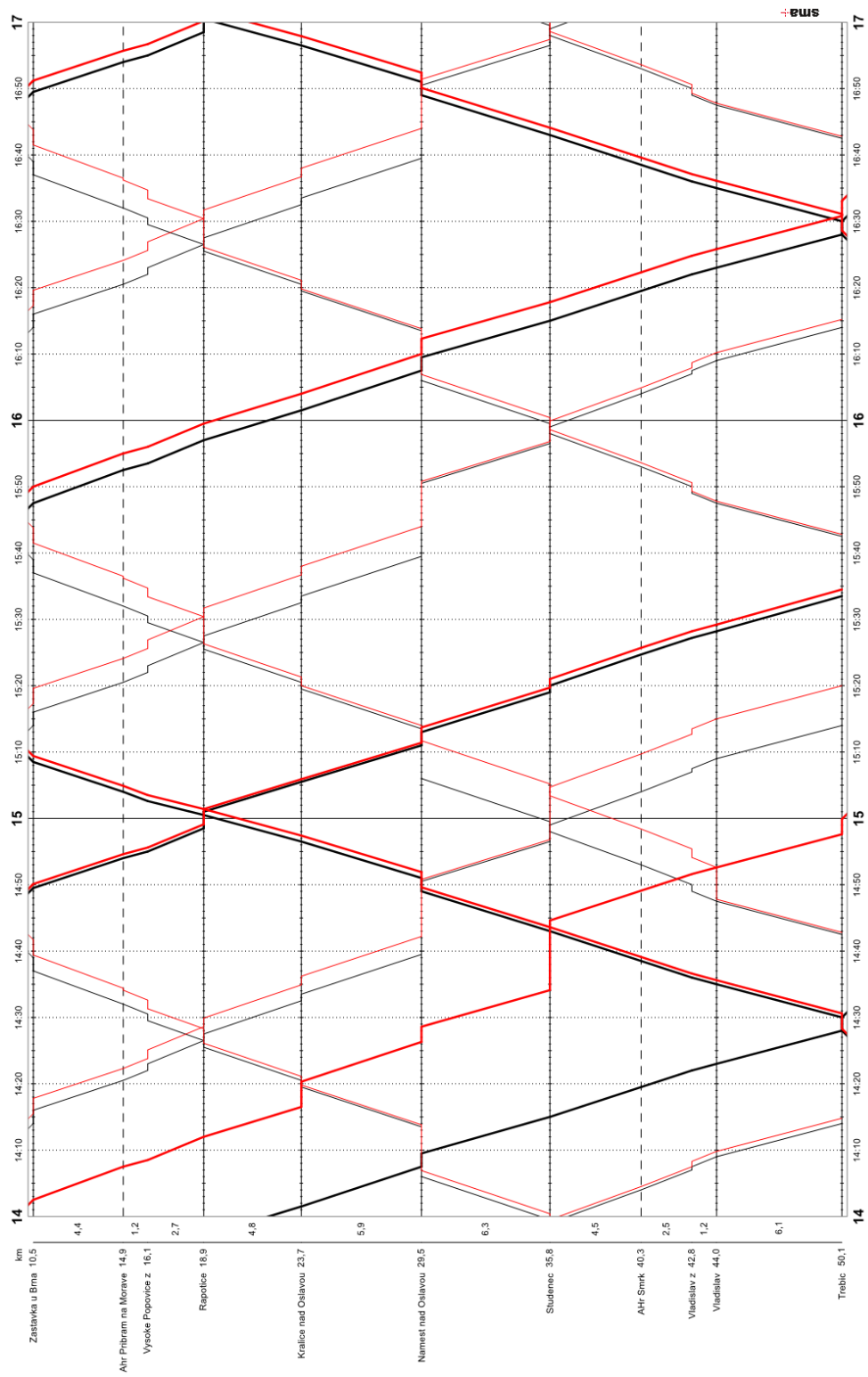
Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 25.2.1.1

Zdroj: autor



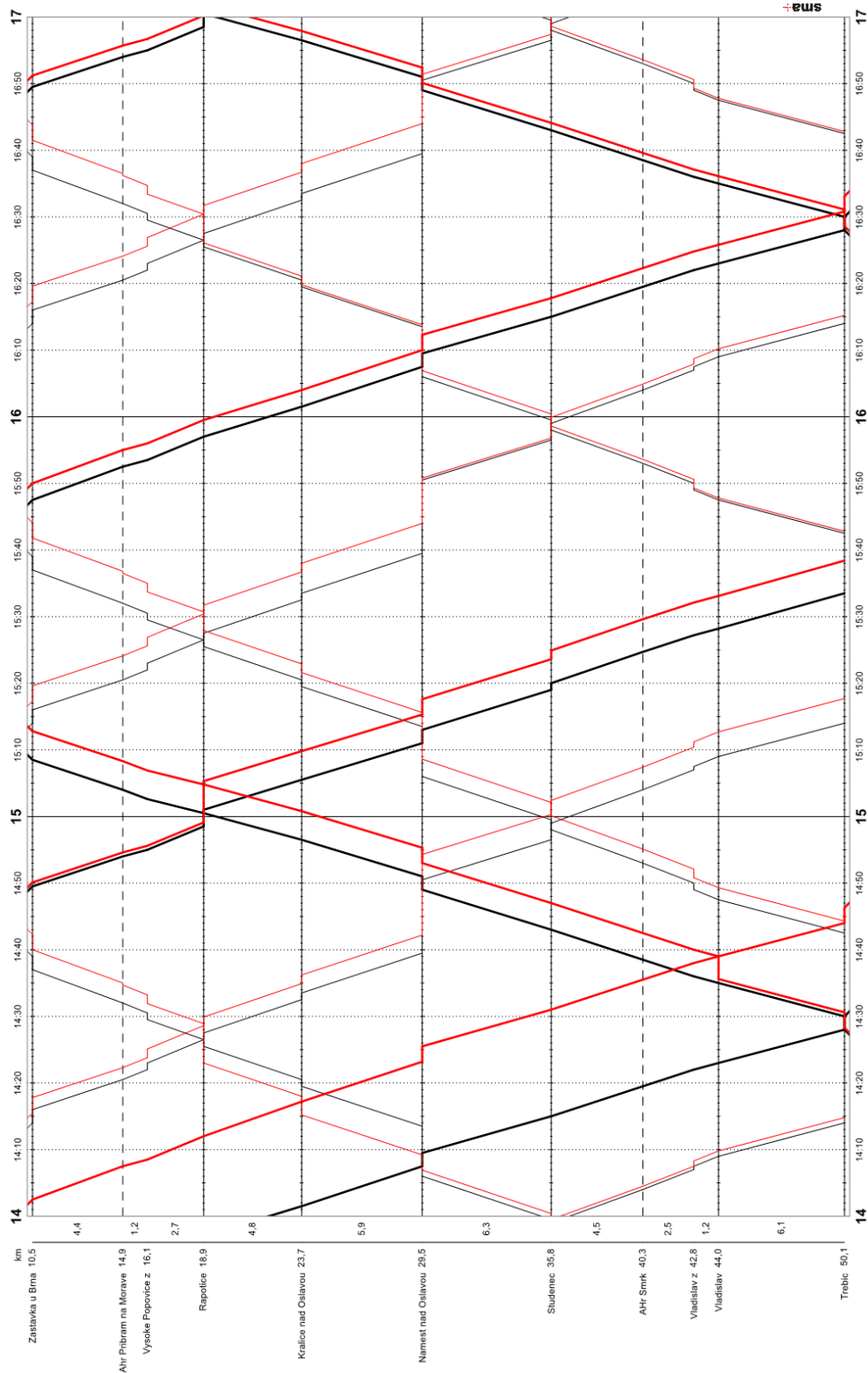
Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 25.2.1.2a

Zdroj: autor



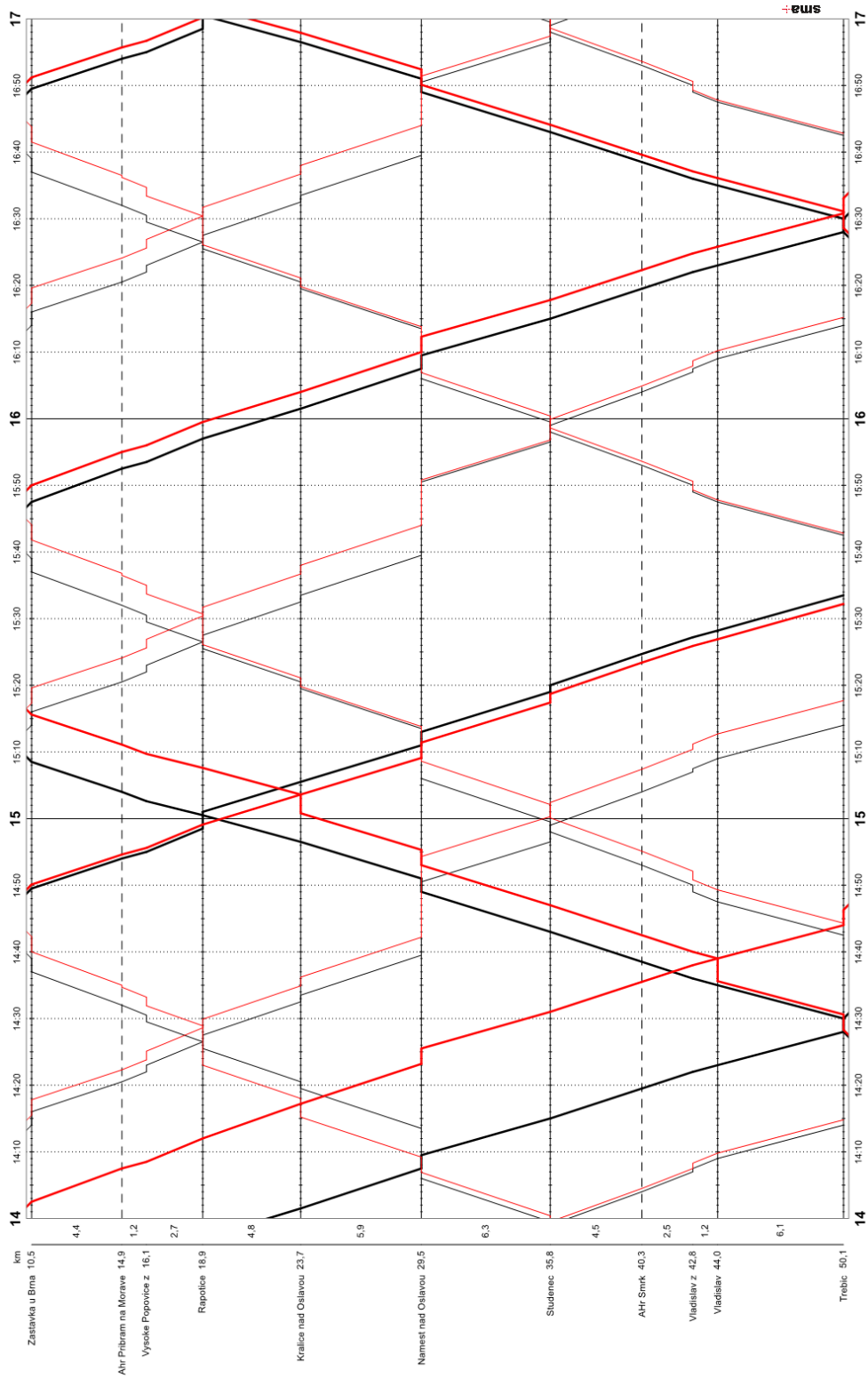
Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 25.2.2

Zdroj: autor



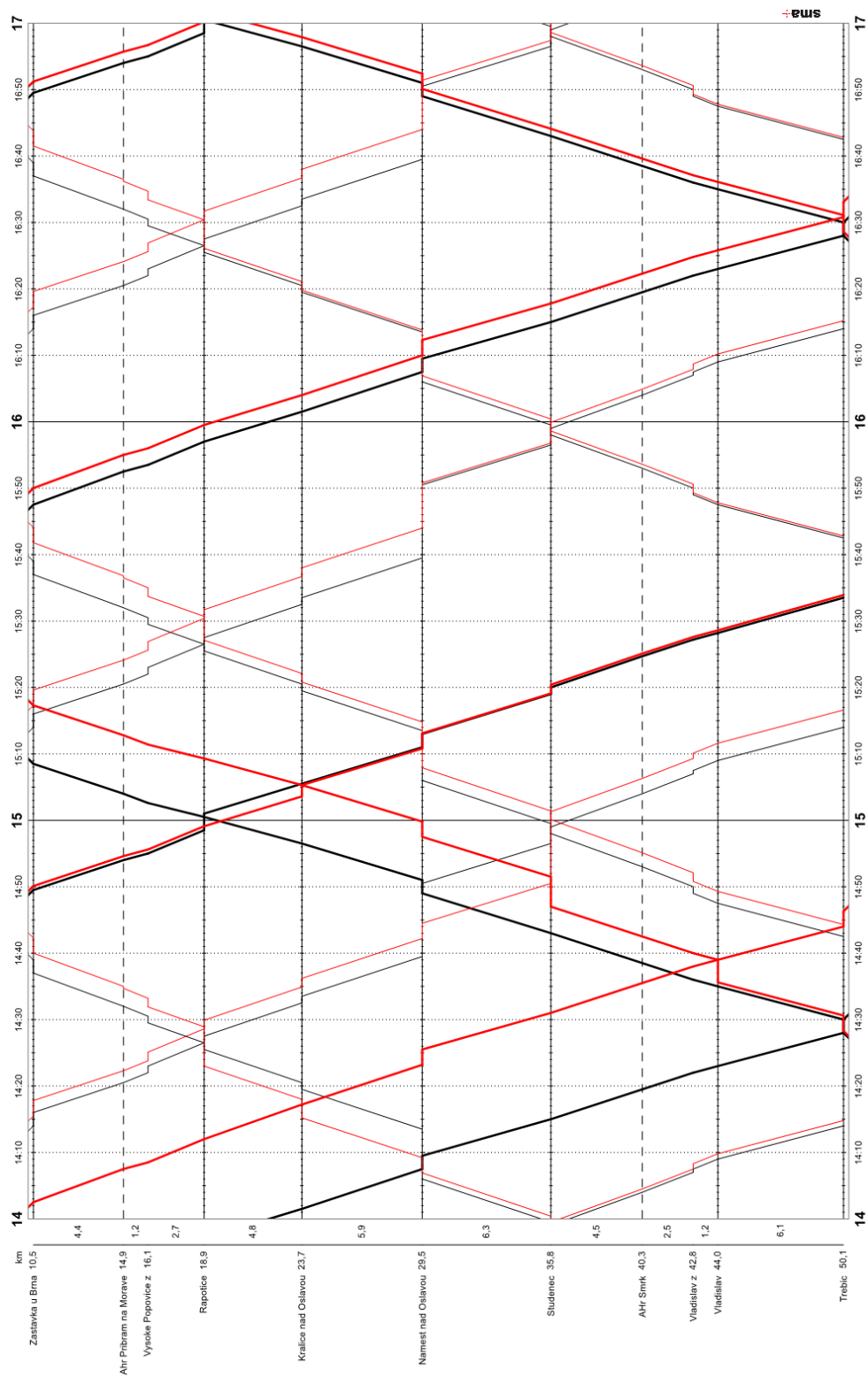
Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 25.3.1.1a

Zdroj: autor



Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 25.3.1.2a

Zdroj: autor



Nákresný jízdní řád simulace na trati 240 – verze 25.3.2a

Zdroj: autor