



Technologie dopravy

Plánování nabídky ve veřejné dopravě 2

Ing. Vít Janoš, Ph.D.

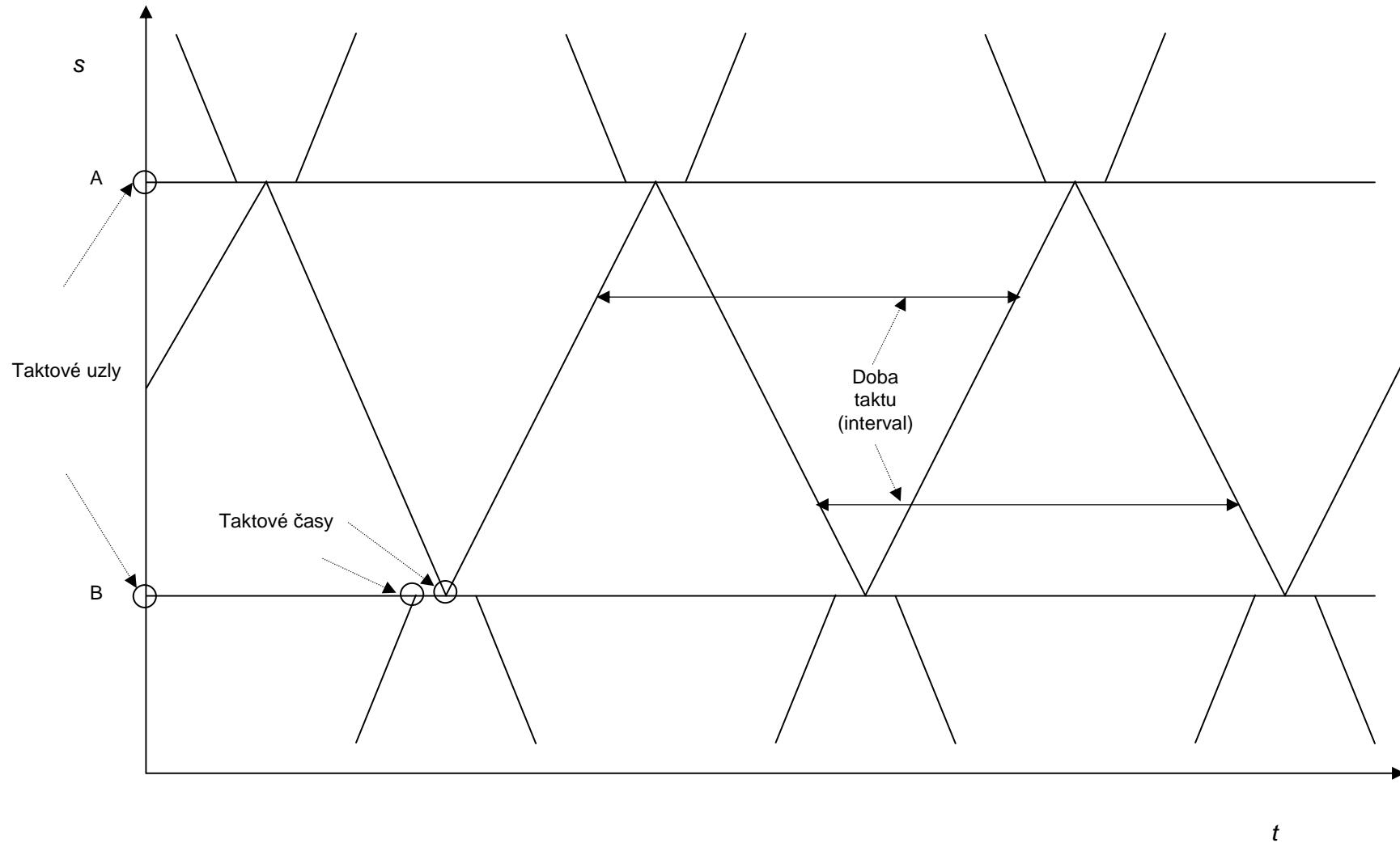
Ústav řízení dopravních procesů a logistiky
ČVUT v Praze Fakulta dopravní

Osnova přednášky

- Integrovaný taktový jízdní řád (ITG)
 - Hranová a obvodová rovnice
 - Volba doby taktu (intervalu)
 - Výhody a nevýhody ITG
 - Segmentovaný systém veřejné dopravy
-
- Zbývající kroky plánování nabídky ve veřejné osobní dopravě
 5. Příprava oběhů vozidel a turnusů personálu
 6. Vyhodnocování a kontrola provozu
 7. Návrhy infrastrukturních opatření



Taktový jízdní řád – základní pojmy



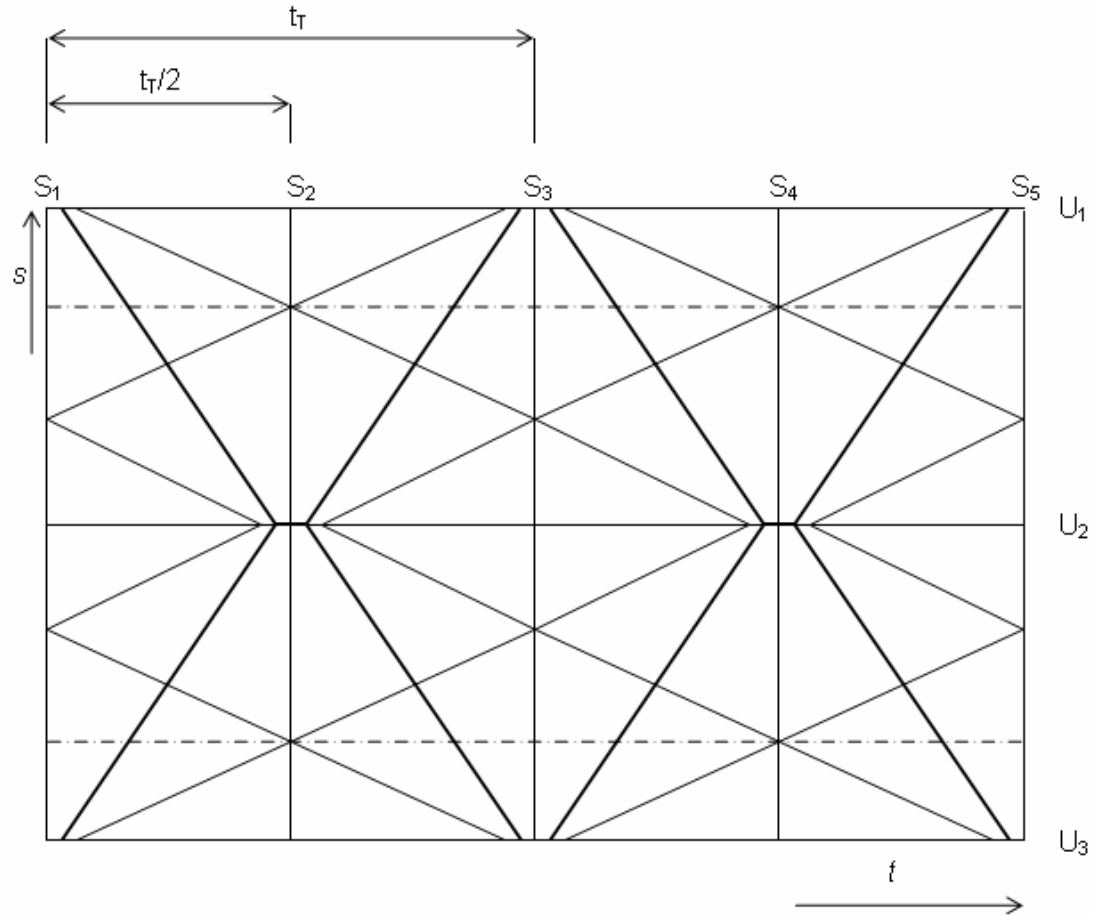
Taktový jízdní řád – základní pojmy

Symetrické časy

2h-takt:
00

1h-takt:
00, 30

30min-takt:
00, 15, 30, 45



U_i ... uzel taktového grafikonu

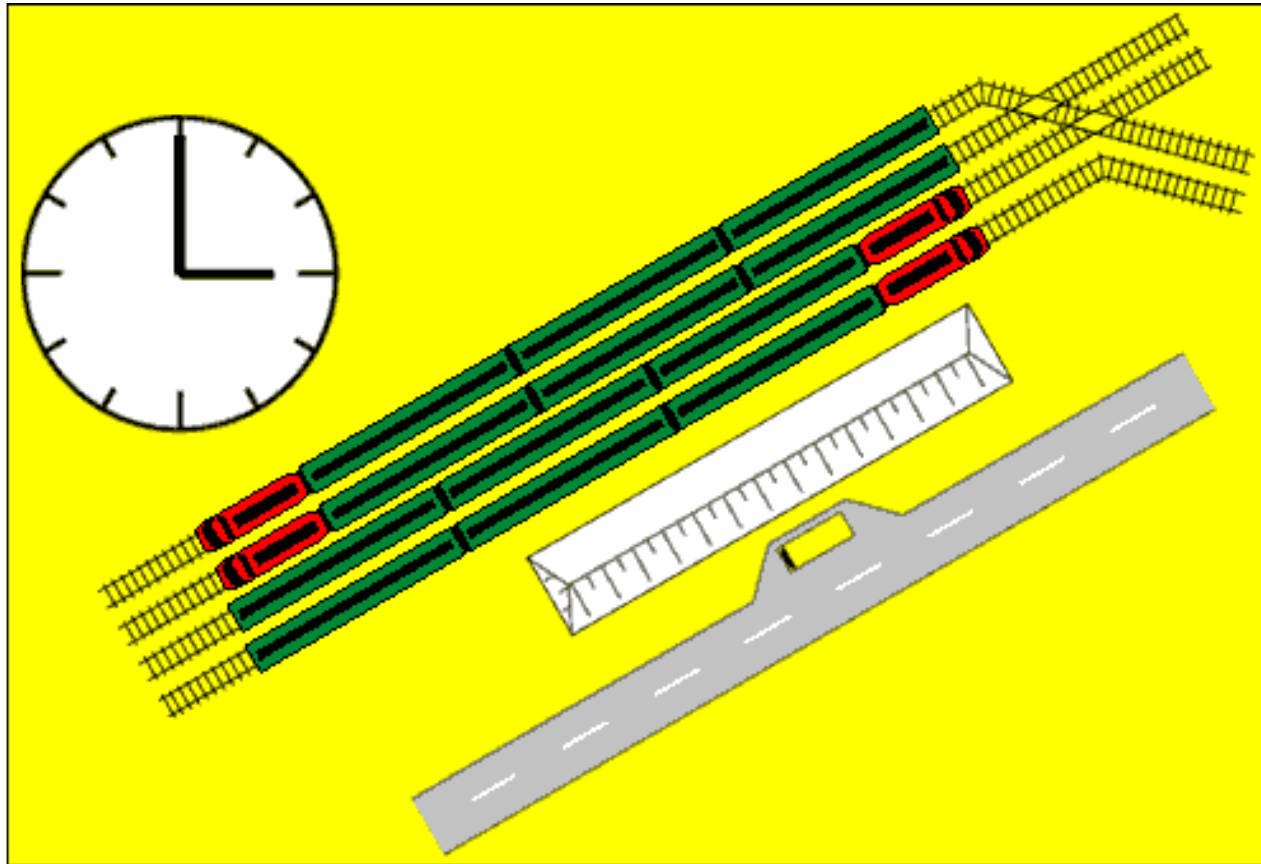
S_i ... čas symetrie

— IC, R

— Os



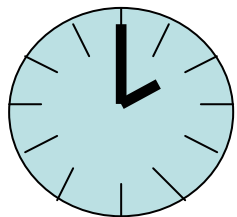
Integrální taktový jízdní řád (ITG)



- ✓ Pravidelnost nabídky systému veřejné dopravy
- ✓ Koordinace jízdních řádů linek systému veřejné dopravy v uzlech ITG
- ✓ Princip „každou hodinu – stejnou minutu – v každé zastávce – všemi směry“

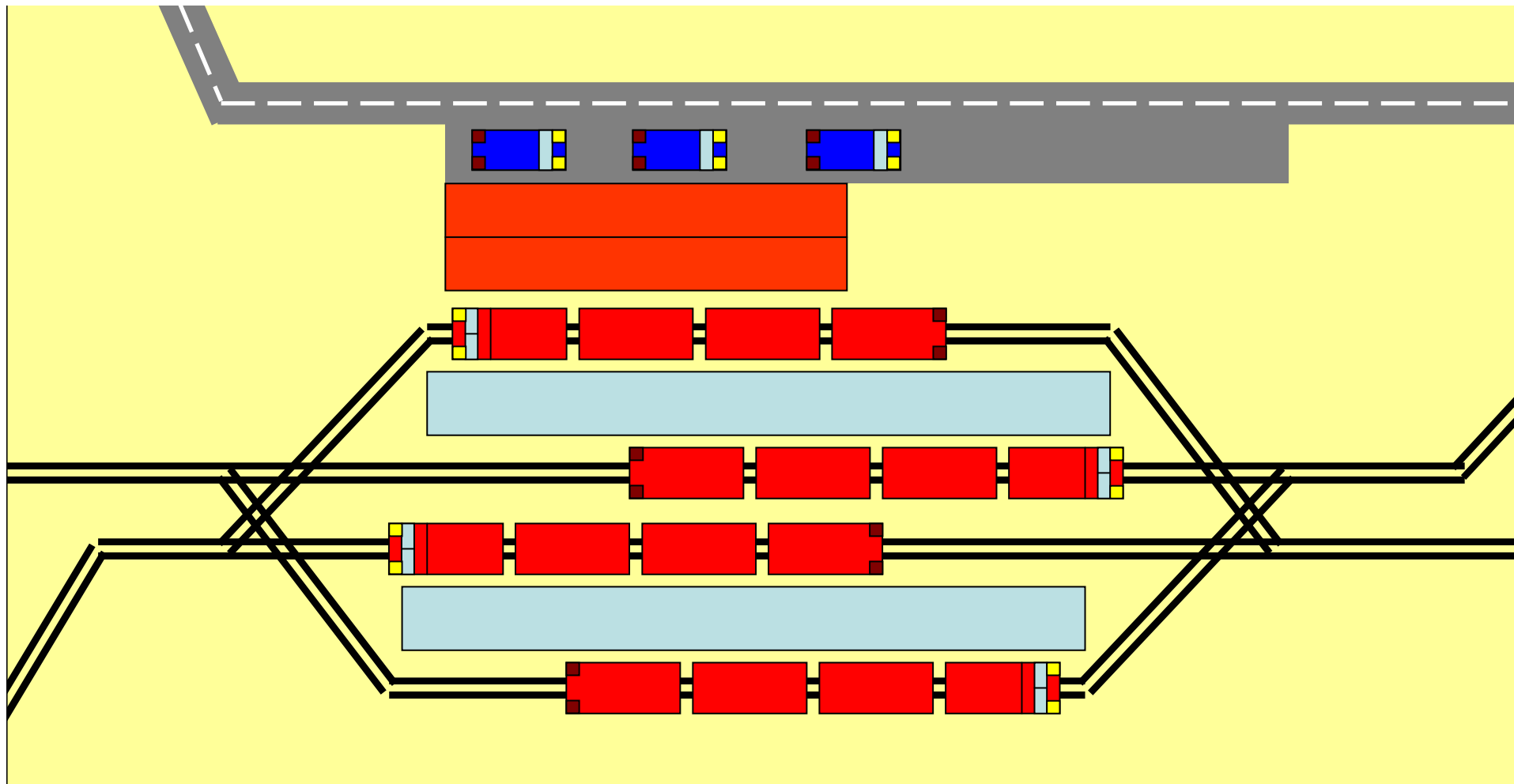
Jízdní doby – princip: tak rychle, jak je nutno

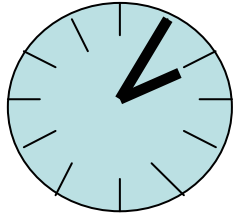




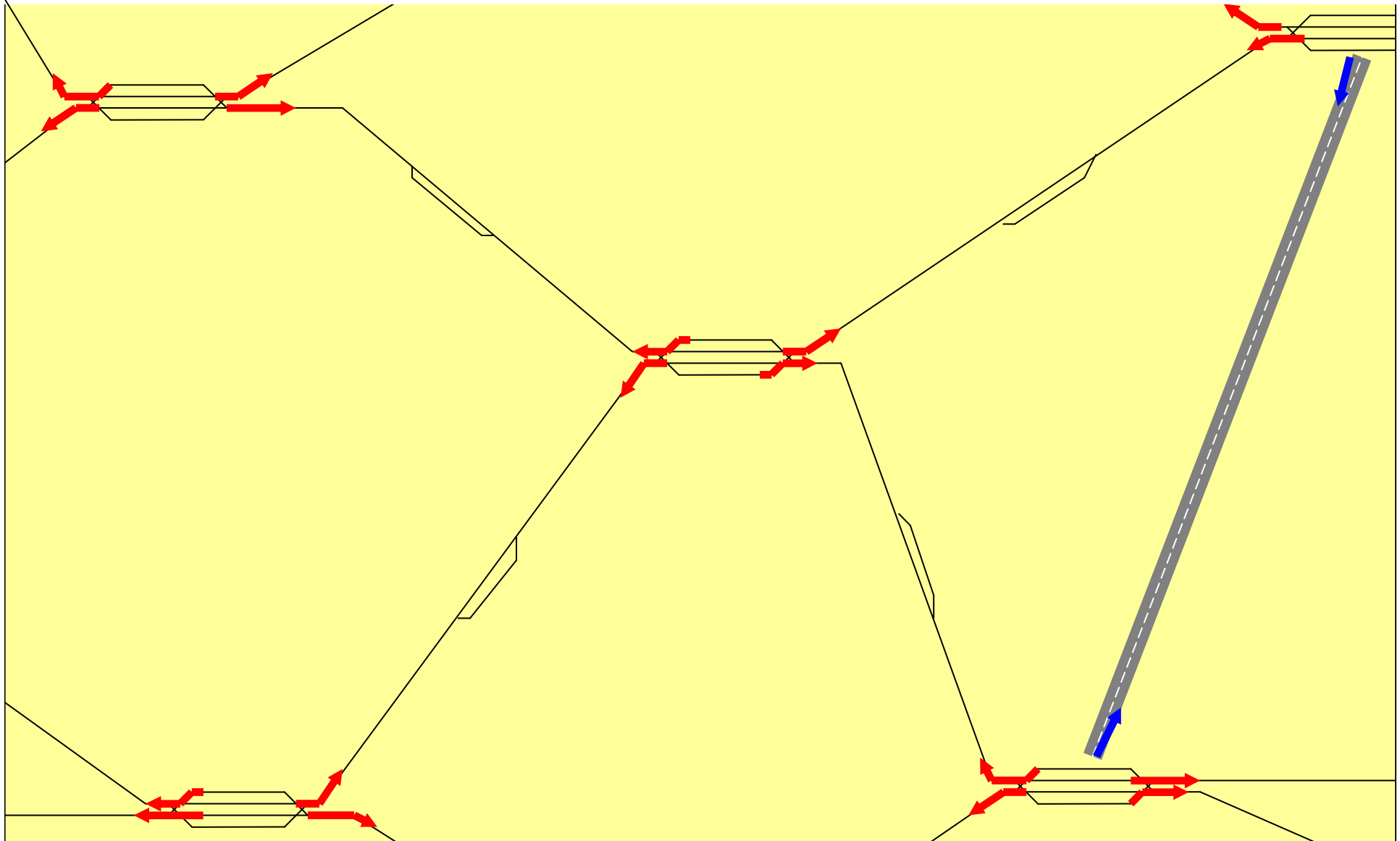
Spoje v taktovém uzlu

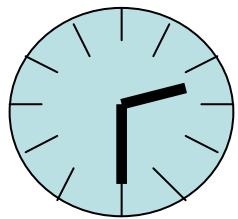
čas symetrie hh:00, přestup mezi spoji



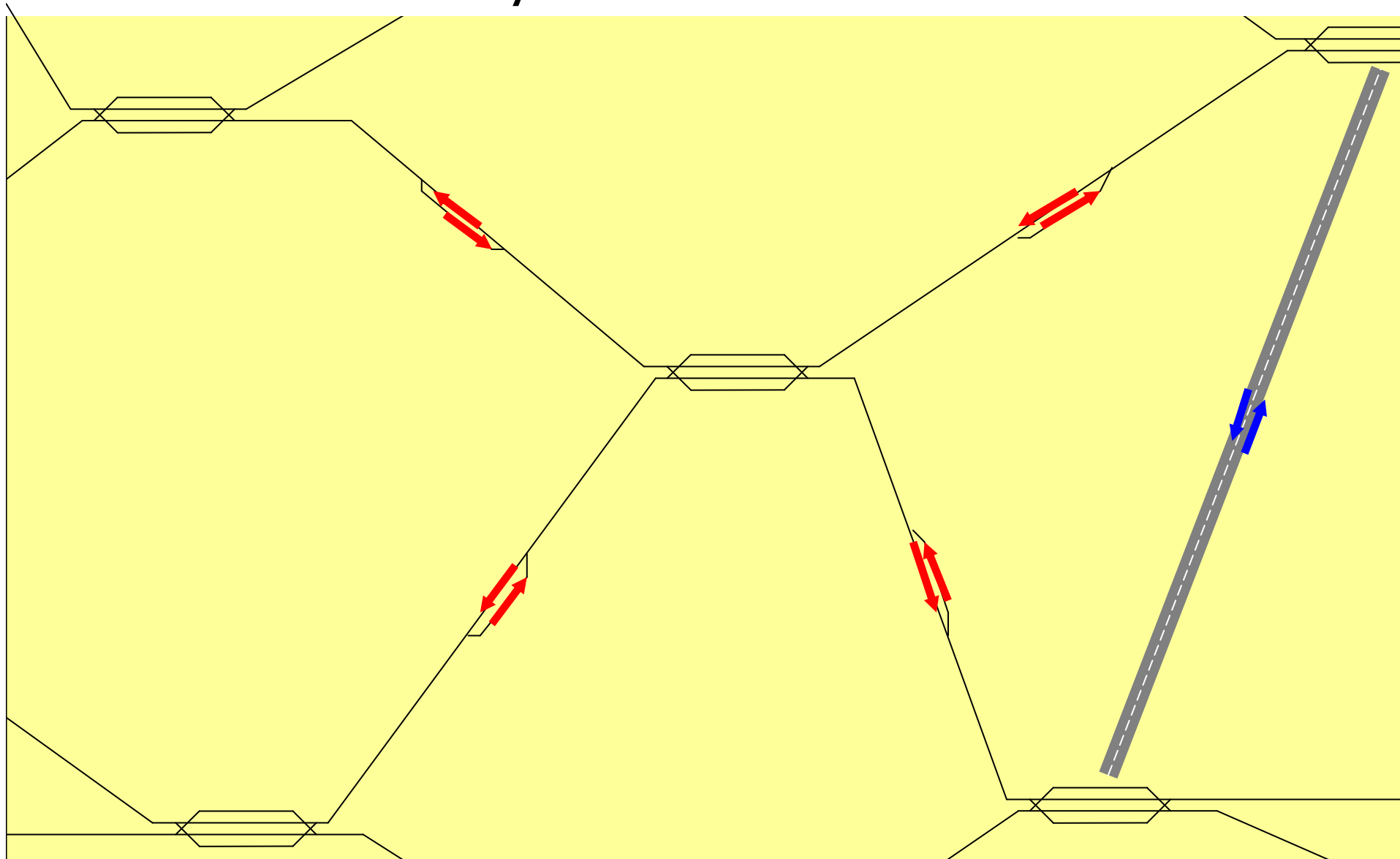


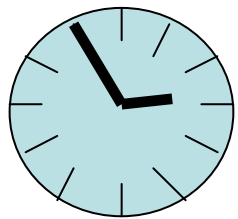
Odjezd spojů z uzlu krátce po symetrii hh:00





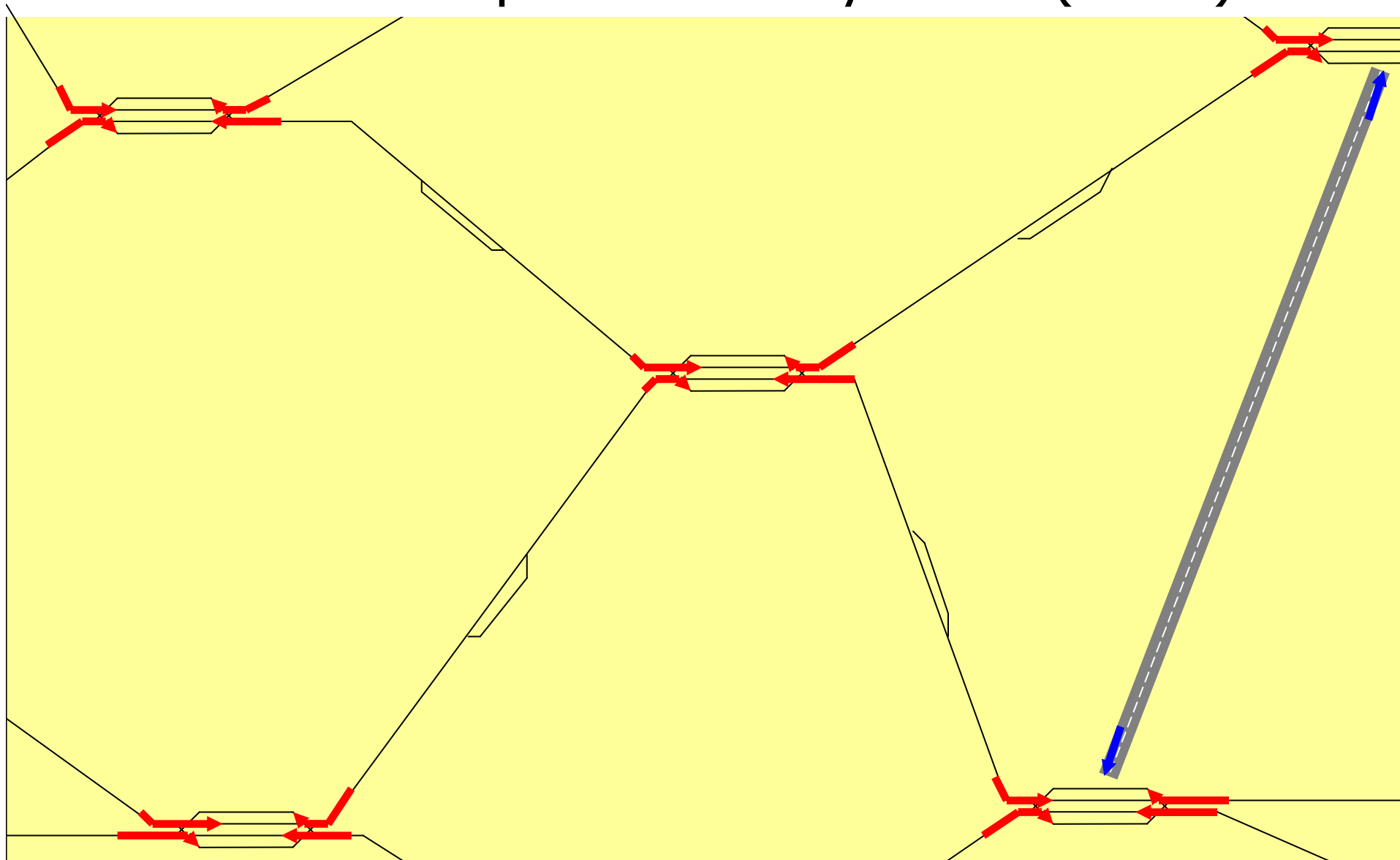
Křižování vlaků, míjení spojů v čase symetrie hh:30

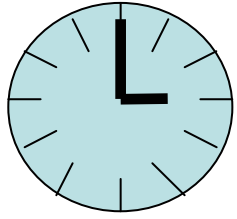




Příjezd spojů do uzlu

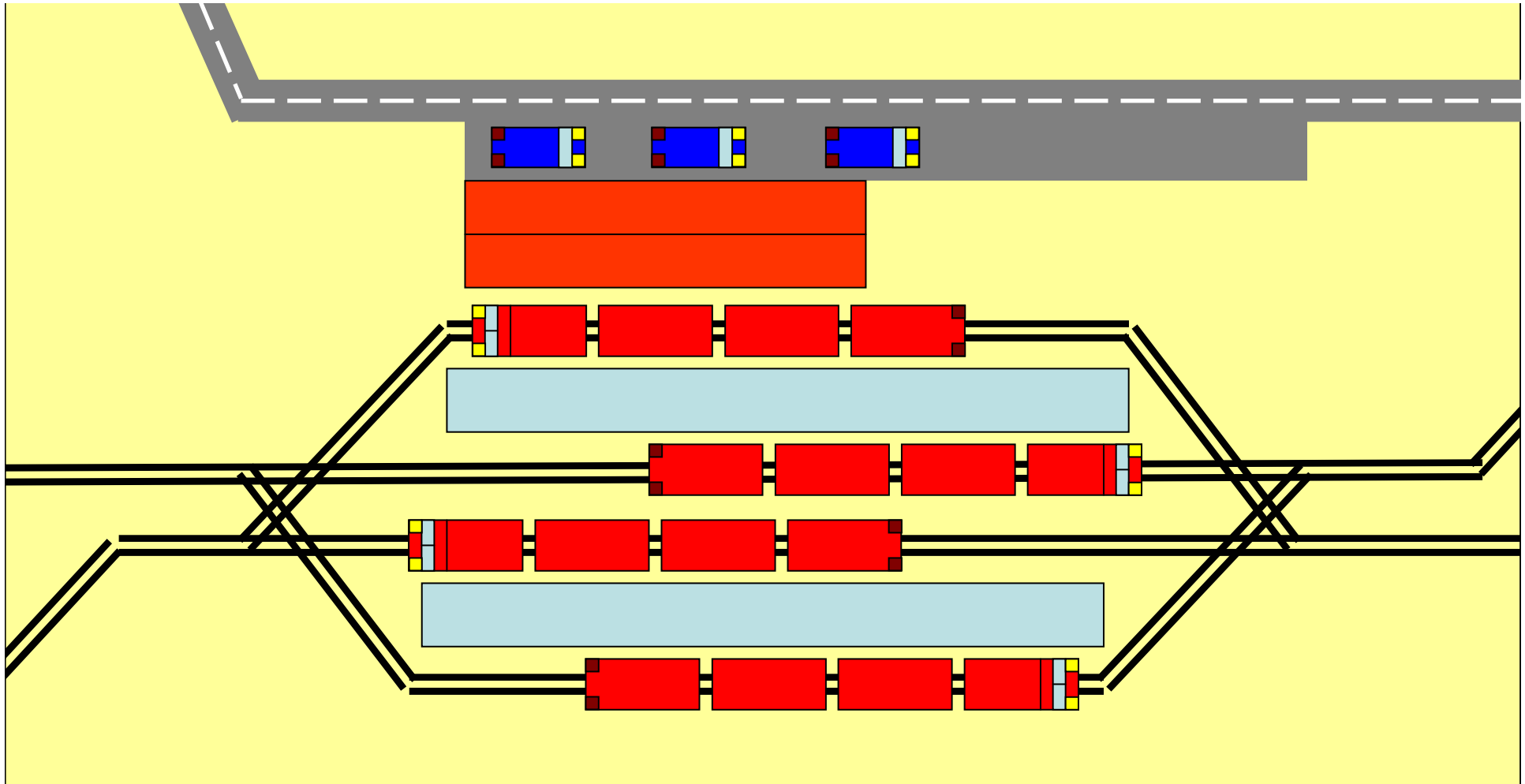
krátce před časem symetrie (hh+1):00





Spoje v taktovém uzlu

čas symetrie (hh+1):00, přestup mezi spoji



Matematické okrajové podmínky

Jednotná doba taktu (interval)

Jednotný čas (osa) symetrie

Hranová rovnice

$$t_H = n \cdot \frac{1}{2} t_T \quad \text{pro } n \in N$$

Obvodová rovnice

$$\sum_{\text{kružnice}} t_H = n \cdot t_T \quad \text{pro } n \in N$$

t_H - časové ohodnocení hrany mezi dvěma následujícími taktovými uzly

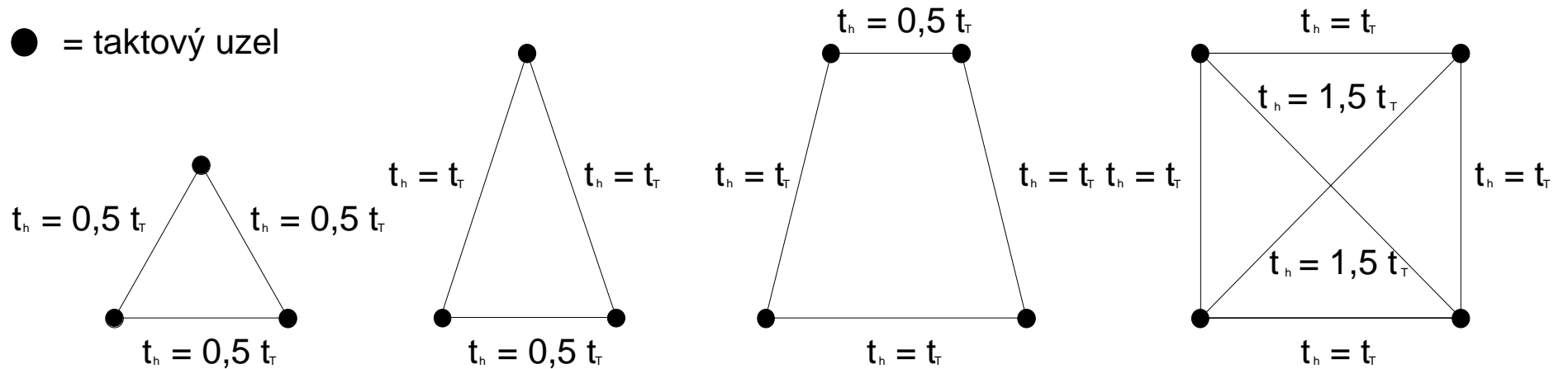
t_T - doba taktu (interval obsluhy) integrálního taktového grafikonu

Problém splnění okrajových podmínek na stávající dopravní infrastruktuře.



Sítě nesplňující obvodovou rovnici

● = taktový uzel



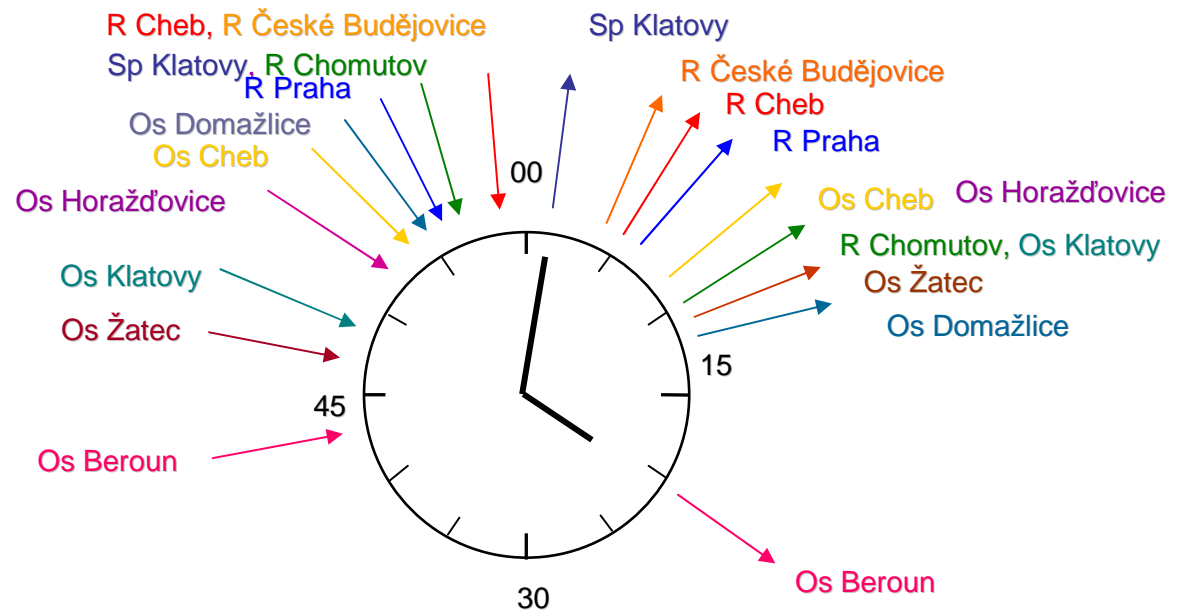
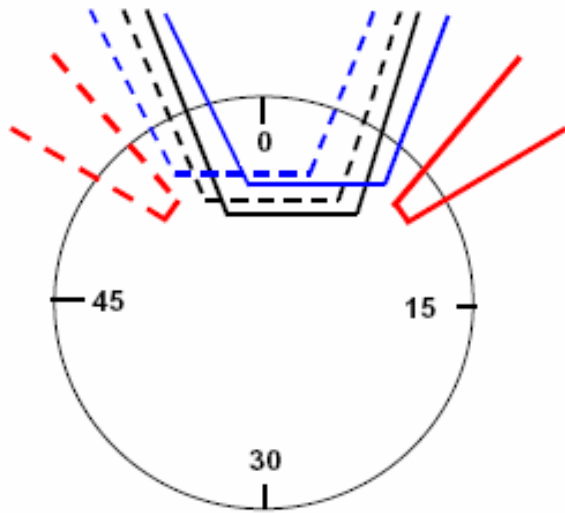
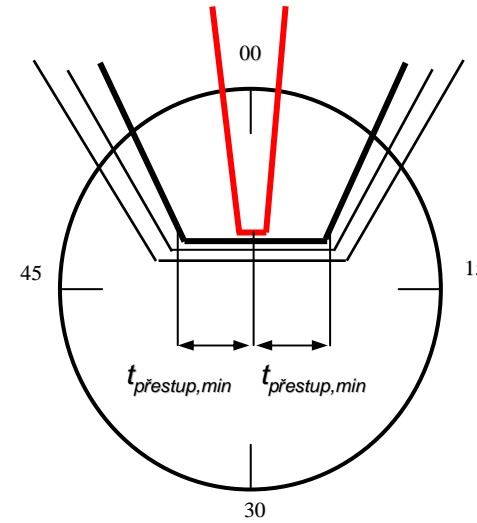
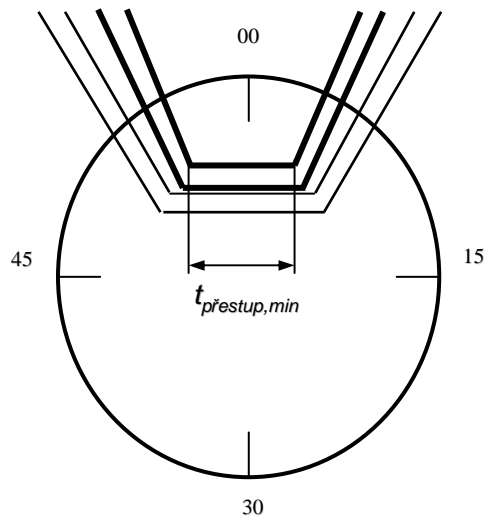
Systemová jízdní doba

= pravidelná jízdní doba
+
doby pobytu v mezilehlých zastávkách
+
poměrná část přestupních dob resp. doby pobytu v uzlech ITG (nejčastěji polovina)
+
rezerva

- Dosažení optimálních přípoju v uzlech mezi jednotlivými linkami
- Zesíťování systému → **synergický efekt**
- Základní podmínka (hranová rovnice)
 - systémová jízdní doba = celočíselný násobek poloviny doby taktu



Taktový uzel – pavouk a taktové hodiny



Taktové rodiny (skupiny)

- Základní a odvozené intervaly
 - **1. rodina** – základní interval: $t_T = 7,5 \text{ min}$
Odvozené intervaly: 15 min, 30 min, 60 min, 120 min, (240 min)
 - **2. rodina** – základní interval: $t_T = 10 \text{ min}$
Odvozené intervaly: 20 min, 40 min, 80 min, (160 min)
- aplikace obou rodin v jednom systému způsobuje nežádoucí *Nonius-efekt*

Zásada – používat periody jedné taktové rodiny (skupiny)



Provozní koncept

= koncept taktové dopravy



taktové uzly



systemové jízdni doby

– jednotná osa symetrie v celé síti => identické přestupy v obou směrech

=> vytvoření systematických přepravních řetězců



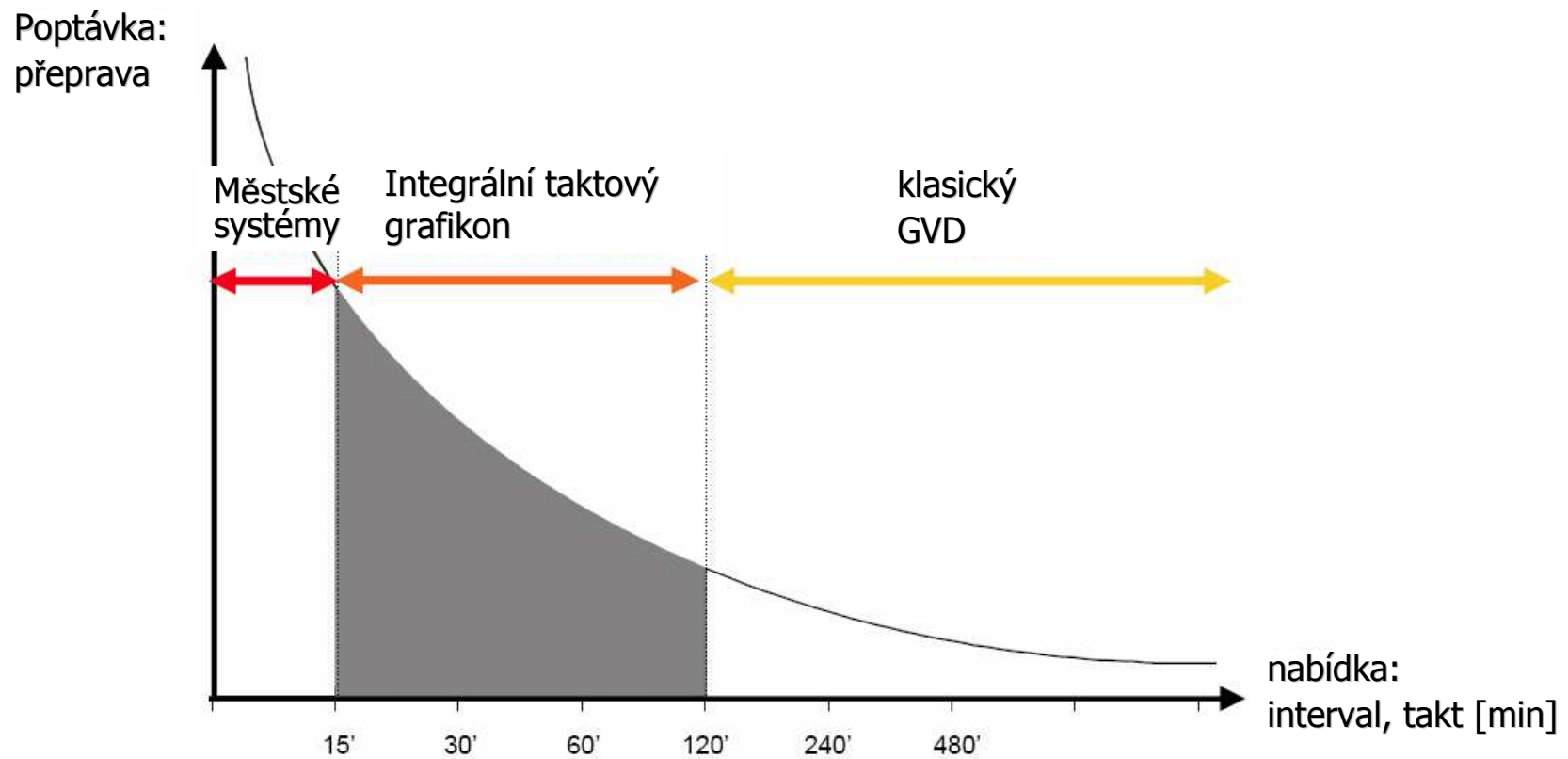
Strategie volby doby taktu

- **Základní období, špičkové období, okrajové období** – nabídka v rozmezí dvou přístupů:
 - **Přizpůsobení taktu požadované kapacitě** – během špičky dostatečný počet míst k sezení bez dodatečných spojů = horní mez nabídky
 - Integrální zahuštění taktu v nejzatíženějším úseku
 - Vedení posilové linky v nejzatíženějším úseku – vazba na další linky
 - Zahuštění taktu pouze ve špičkovém období (poloviční doba taktu)
 - Zlepšení nabídky ve špičkovém období nesystémovými vlaky
 - **Přizpůsobení taktu minimální cestujícím akceptovatelné atraktivitě** = dolní mez nabídky
 - Integrální zahuštění taktu v období mezi oběma špičkami včetně



Modely obsluhy

3 modely pro 3 úrovně nabídky a poptávky



Výhody ITG

Marketingové:

- Snadno pochopitelný a zapamatovatelný systém
- Četnější nabídka spojů
- Zlepšení časové i prostorové dostupnosti území
- Zlepšení přestupních vazeb - ve všech taktových uzlech do všech směrů s minimálními přestupními dobami
- Pevné intervaly
- Za srovnatelných podmínek lze cestovat v obou směrech

Provozní:

- Systematické plánování oběhů vozidel
- Křižování a předjíždění vždy ve stejných místech sítě → cílené požadavky na infrastrukturu
- Jednotné technologické postupy
- Optimální využívání zdrojů (zařízení, personál, vozidla)

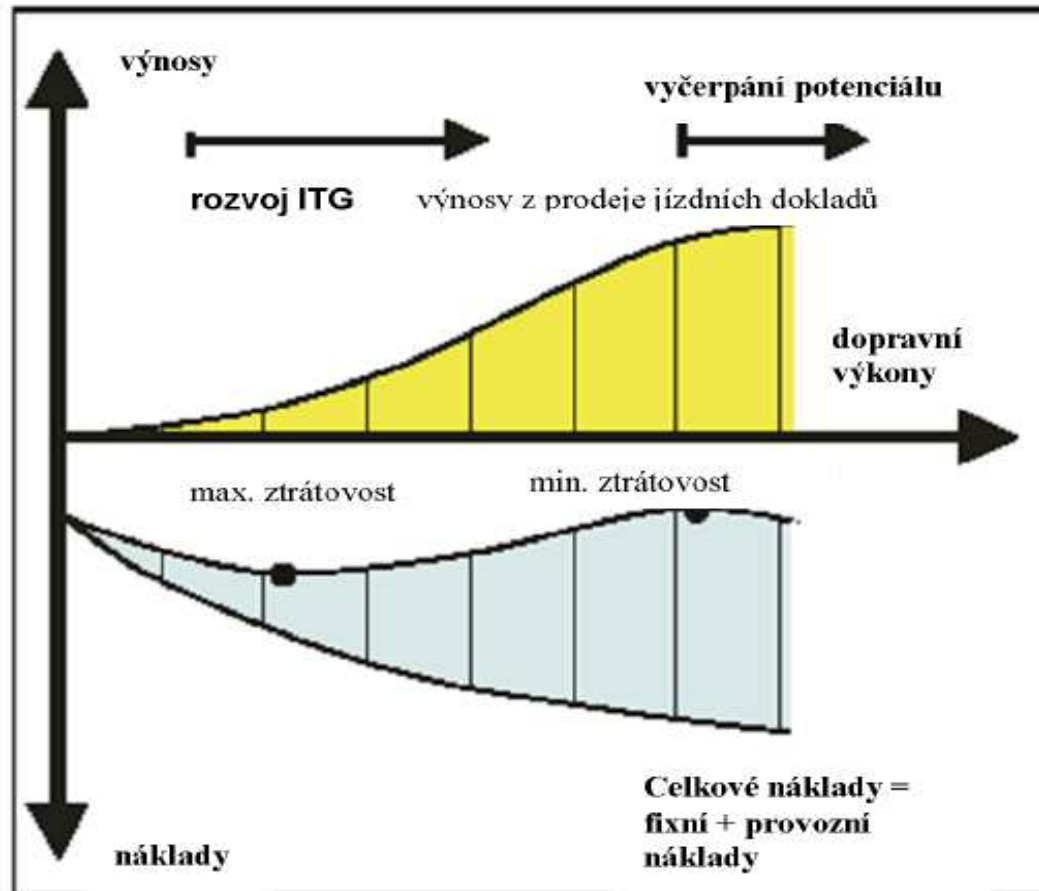


Nevýhody ITG

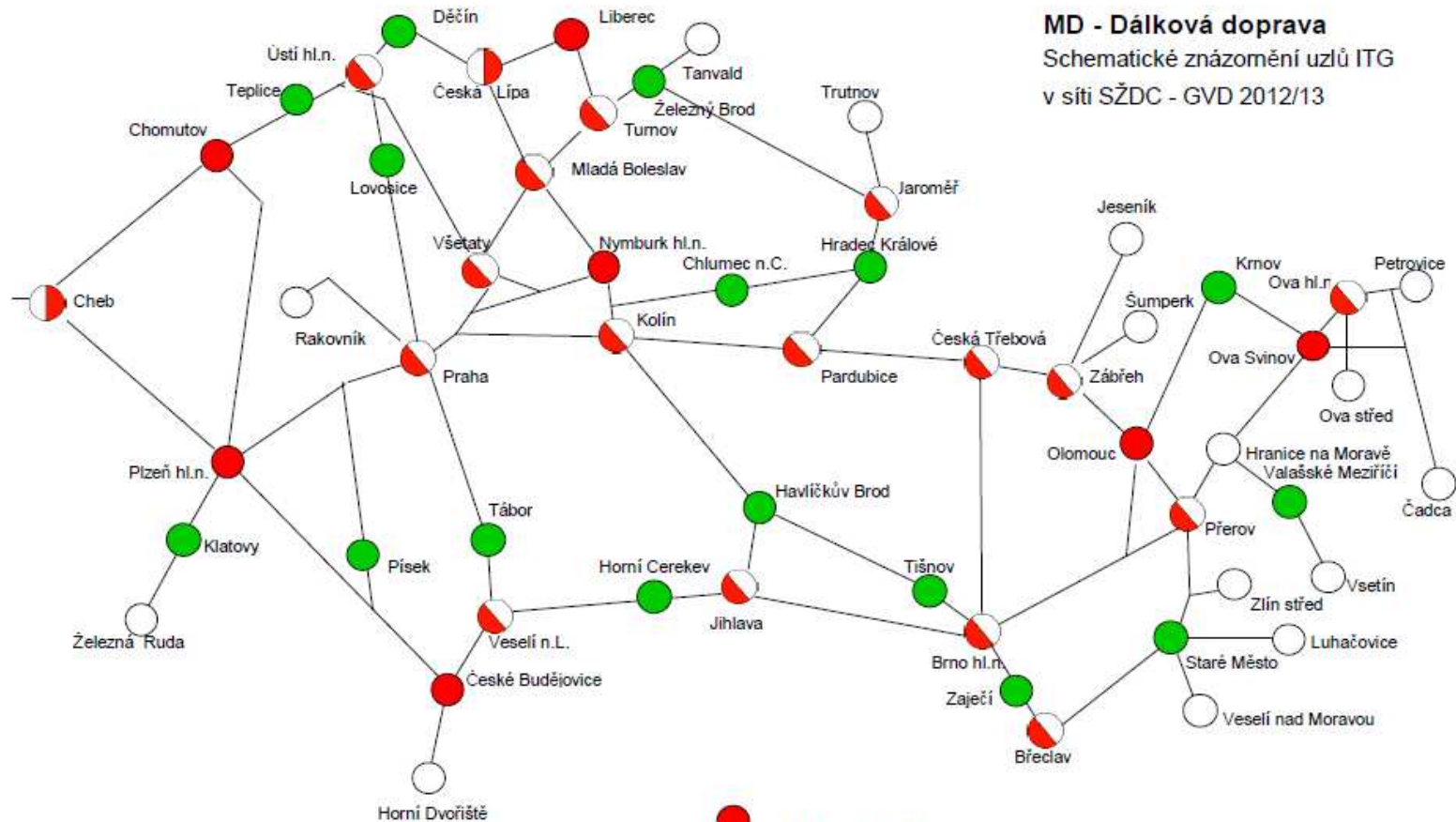
- Nerovnoměrná poptávka během dne (špičky/sedla) – nutnost posilových spojů ve špičce
- Mnoho síťových vazeb – nároky na stabilitu (robustnost) systému
- Nároky na infrastrukturu uzlů – současné vjezdy a nárazový odběr energie při současných rozjezdech
- „Zapevněný“ provozní koncept – změna vyžaduje investice
- Při delší době taktu dlouhé čekací a přestupní doby
- Na neupravené infrastruktuře nízká rychlost (SJD)



ITG zvyšuje efektivitu veřejné dopravy



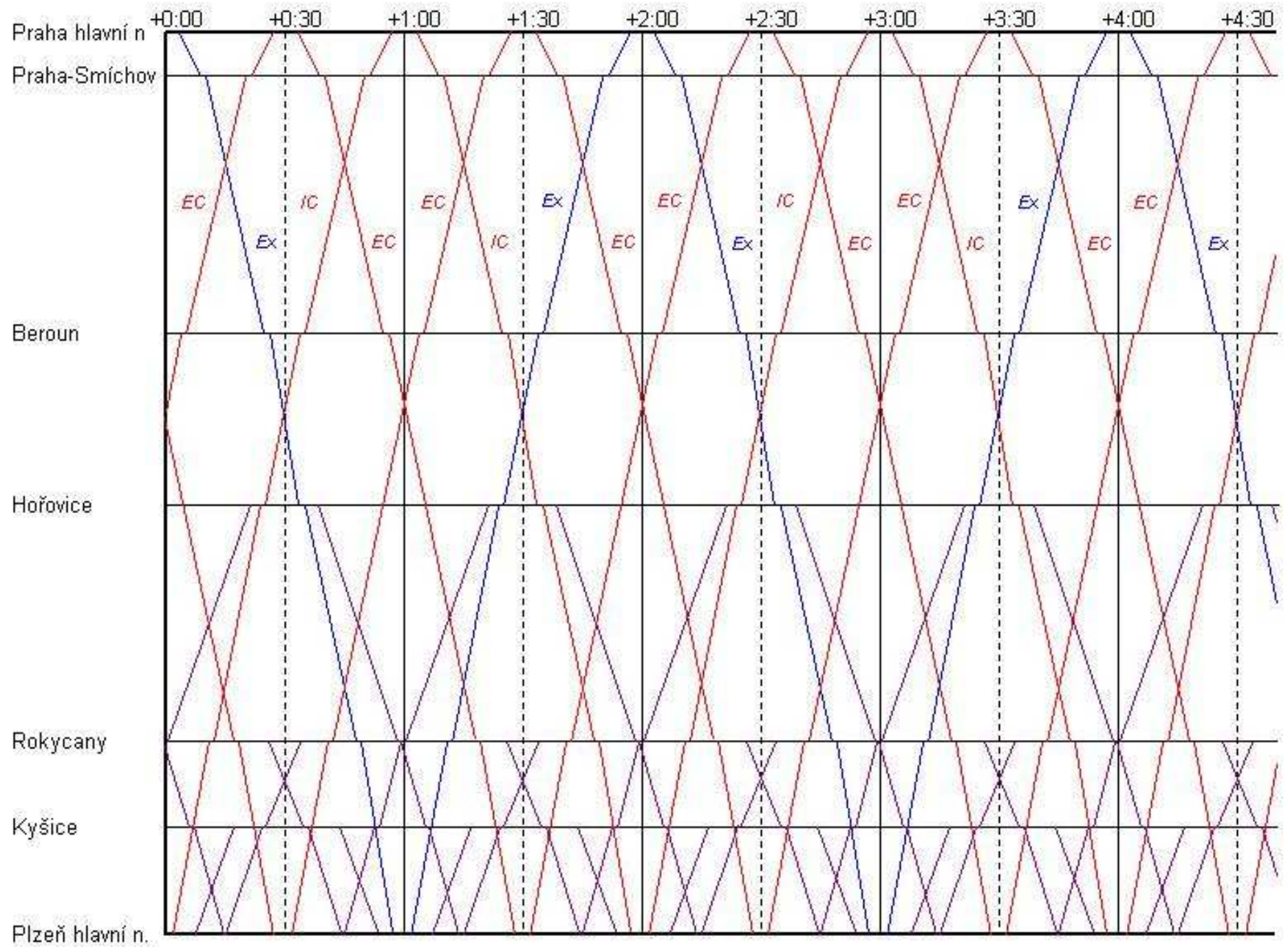
Rozvoj ITG v ČR



MD - Dálková doprava
Schematické znázornění uzlů ITG
v síti SŽDC - GVD 2012/13

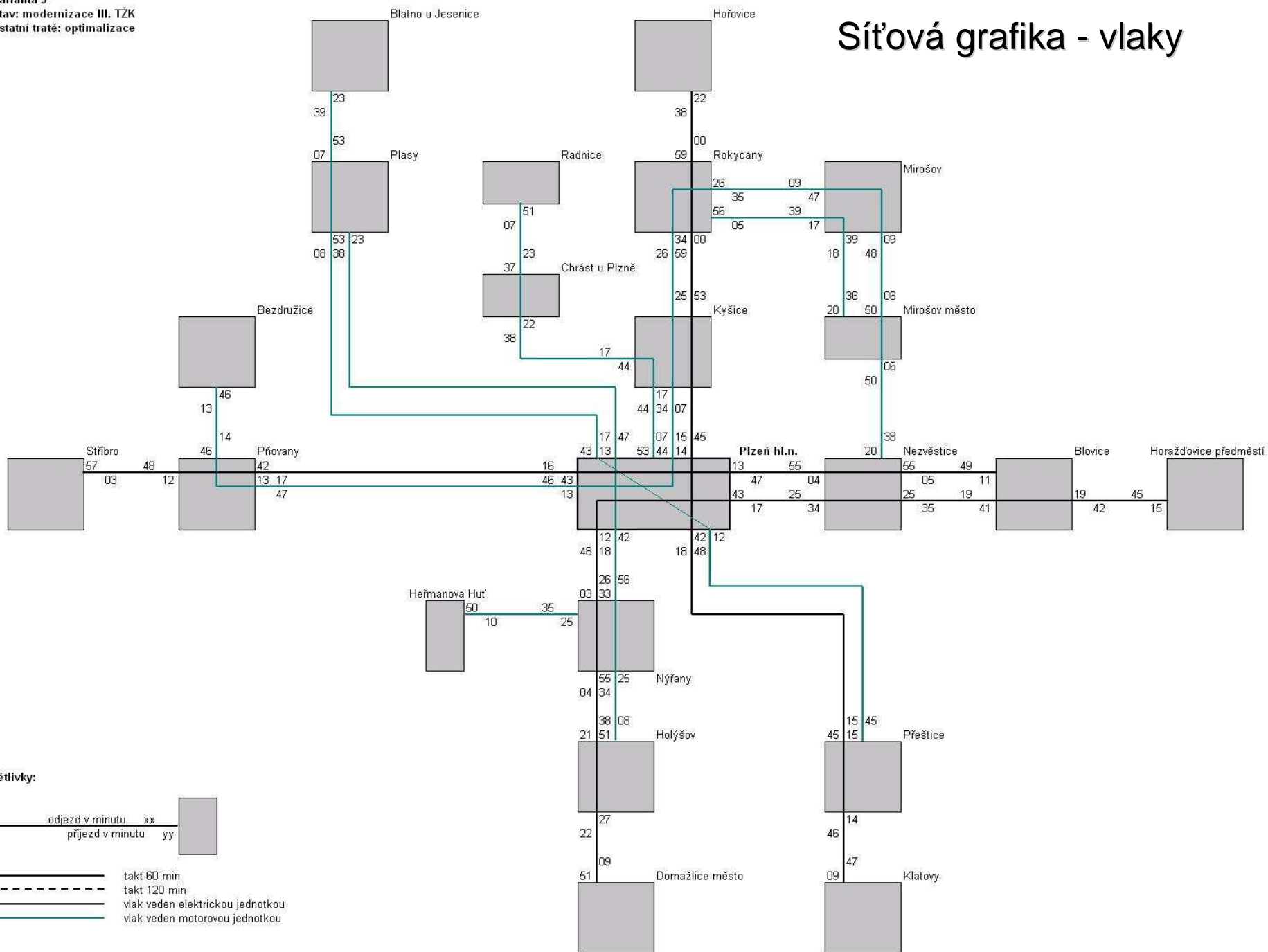
- uzel ITG v minutu 00
- ◐ uzel ITG v minutu 30
- ◑ systémové směrové přestupní vazby dálkové dopravy
- uzel s pravidelným křížováním vlaků dálkové dopravy s vazbou na regionální dopravu
- koncové uzly a uzly bez systémových vazeb



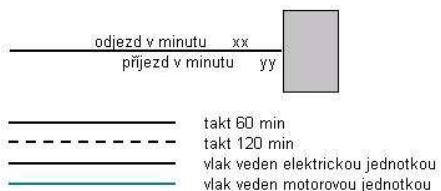


Síťová grafika
 Varianta 3
 Stav: modernizace III. TŽK
 Ostatní tratě: optimalizace

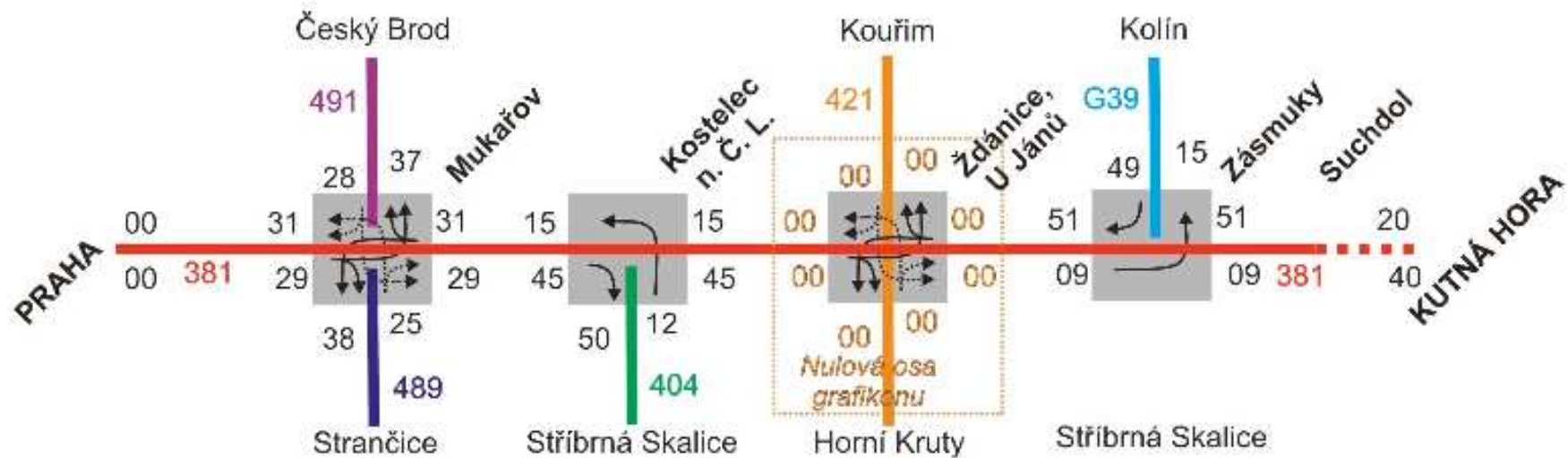
Síťová grafika - vlaky



Vysvětlivky:



Síťová grafika – regionální autobusy



Segmentovaný systém veřejné dopravy

Úroveň obsluhy, funkce		Oblast [km]	Orientace na přepravní potenciál	dopravní prostředek	příklady produktu	
A	Tranzitní	A1	> 600	Vzájemné spojení kontinentálních metropolí, mezikontinentální relace	Letadlo	Mezikontinentální lety, lety v rámci Evropy
		A2	130 – 600	Vzájemné spojení aglomerací v rámci státu, sousední zahraniční velká centra	(letadlo) Vlak	ICE, TGV, THALYS, EuroCity, InterCity
B	Spojovací	B1	30 – 130	Spojení dvou aglomerací a mezilehlých regionálních center, spojení řetězce regionálních center	Vlak	InterRegio, rychlík RegioExpress, spěšný vlak
		B2	20 – 100	Spojení dvou aglomerací a mezilehlých regionálních center, spojení řetězce regionálních center	Autobus	Dálkový autobus
C	Sběrná	C1	10 – 50	Spojení vnějšího aglomeračního pásma s centrem (zrychlení/průjezd zastávek ve vnitřním pásmu aglomerace)	Vlak	Rychlá příměstská železnice S-Bahn, RER
		C2	< 30	Spojení vnitřních pásem aglomerací s centrem, aglomerací středních a velkých měst s centrem	Vlak	Příměstská železnice
		C3	< 30	Spojení sídel mimo aglomerace s nejbližším významným uzlem	Vlak	Pátevní regionální osobní vlak
		C4	< 20	Spojení sídel mimo aglomerace s nejbližším významným uzlem	Autobus	Linkový autobus
D	Obsluhá	D1	< 15	Spojení městských částí metropole navzájem a jejich spojení s centrem metropole	Metro	Metro městská rychlodráha
		D2	< 10	Spojení městských částí velkých měst navzájem a jejich spojení s centrem města	Tramvaj Autobus	Tramvaj městský autobus
		D3	< 5	Vnitřní obsluha městských částí, obsluha malých měst	Autobus	Městský autobus Místní autobus
		D4	< 10	Obsluha turistických oblastí	Ozubnice, lanová dráha	

Interval obsluhy

System obsluhy	charakteristika	Maximální interval
A, B	Dálková doprava	60 min
C1, C2	Příměstská doprava	30 min
C3	Regionální dráha	60 min
C4	Obslužný autobus	60 min
D1, D2	Metro, tramvaj	10 min
D3	Městský autobus	15 min
D4	Turistické nabídky	variabilní



Vzdálenosti mezi zastávkami

System obsluhy	charakteristika	Cílová přepravní rychlost	Mezizastávková vzdálenost
A	Tranzitní dálková	120 km/h	80 – 100 km
B	Dálková - spojení	85 km/h	30 – 50 km
C1	Příměstská vnější	60 km/h	5 – 10 km
C2	Příměstská vnitřní	50 km/h	2 – 3 km
C3	Regionální dráha	50 km/h	2 – 3 km
C4	Obslužný autobus	35 km/h	1 – 2 km
D1	Metro	35 km/h	0,5 – 1 km
D2	Tramvaj	20 km/h	0,4 – 0,6 km
D3	Místní obsluha	15 km/h	0,2 – 0,3 km



Krok pátý – oběhy vozidel

- Sestavený jízdní řád je třeba pokrýt **oběhy vozidel**, turnusy posádek a dalšího případného personálu
- Doba jednoho oběhu

$$t_{obehu} = 2 \cdot t_{jízdy} + t_{obratu,A} + t_{obratu,B}$$

- Počet vozidel na lince v taktovém grafikonu

$$n_{vozidel} = \left(2 \cdot t_{jízdy} + t_{obratu,A} + t_{obratu,B} \right) / t_T$$

- definice minimální doby oběhu vozidla

$$t_{obehu,min} = 2 \cdot \left(t_{jízdy,min} + t_{obratu,min} \right)$$

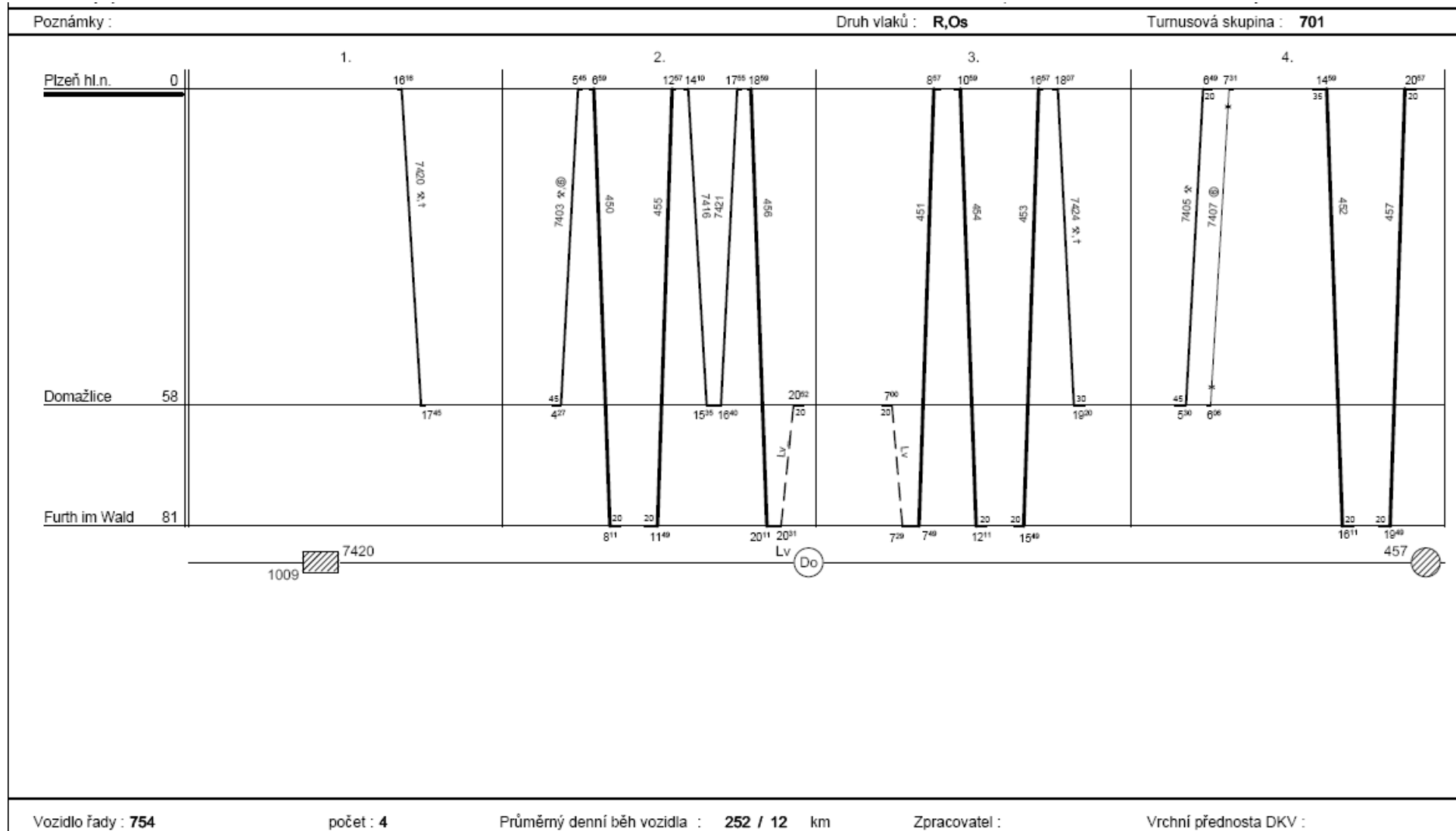


Plánování oběhů

- snaha o **minimalizaci nákladů** - minimalizace počtu nasazených vozidel a personálu při předem stanovené spolehlivosti
- řešení **přiřazovacího problému** při zohlednění potřeby provozního ošetření vozidel
- provozní záloha 15 – 30%
- Při plánování oběhů vozidel hraje zásadní roli **volba a umístění dep** (vozoven, středisek obsluhy), která může minimalizovat prázdné jízdy



Příklad oběhu hnacího vozidla



Turnusy služeb personálu

- Plánování služeb posádek a personálu podléhá **pracovníprávním a bezpečnostním předpisům**
- 2 základní přístupy
 - s pevnou vazbou na oběh vozidla
 - bez vazby na vozidlo
- Řešení **přiřazovacího problému** – maďarskou modifikovanou metodou
- **MHD** - turnusy v týdenním rytmu,
- **Železniční doprava** - tendence vytvořit délku turnusu co nejvíce odlišnou od týdenní periody
- snaha o sestavu turnusů s přijatelnou dobou nástupu a ukončení služby
=> doporučení: pokud možno se vyvarovat intervalu 0:00 – 4:00



Krok šestý - vyhodnocování a kontrola

- Jakmile je dopravním plán zaveden do provozu, je třeba jej pravidelně vyhodnocovat, a to zejména z pohledu:
 - vývoje počtu cestujících a jejich uspokojení
 - obsazenosti vozidel
 - ekonomického dopadu
 - výsledného dopadu na modal-split

Kromě ekonomických analýz je vhodné využít přepravních průzkumů, dotazníků spokojenosti cestujících apod.



Krok sedmý – infrastrukturní opatření

- Dlouhodobé vyhodnocení provozních zkušeností pak může být podkladem pro přiměřeně rozsáhlé úpravy infrastruktury
- Opodstatněné investice do dopravní infrastruktury by tedy logicky mělo předcházet několik kroků...



Podklady pro změny infrastruktury

- 1) Provozní požadavek – jeho systémový význam a ekonomický přínos
- 2) Návrh možných řešení – s komplexním posouzením jejich náročnosti
- 3) Volba optimálního řešení, ověření jeho dopadů a průzkum jeho ekonomické návratnosti



Simulace železničního provozu

- Pro zjištění dopadů změn v infrastruktuře na následný provoz je možné využít **simulačních programů**
- V současné době existuje řada synchronních i asynchronních simulačních programů,
- u nás na FD máme k dispozici např. SW Opentrack vyvinutý na partnerské univerzitě ETH Zürich



Princip simulace železničního provozu

- Na základě zadaných požadavků pak systém reálně simuluje jízdu vozidel v systému a umožňuje tak ověřit, zde navržená změna infrastruktury skutečně povede k požadovanému zlepšení
- Je možné simulovat i poruchové situace, a to jak vozidel, tak infrastruktury



Opatření nutná pro dosažení SJD

Nabídka

- Změna zastavovací politiky jednotlivých vrstev obsluhy

Provoz

- Doba pobytu v uzlu a mezilehlých zastávkách
- Volba přesné trasy vlaku – zejména v okolí uzlu

Vozidla

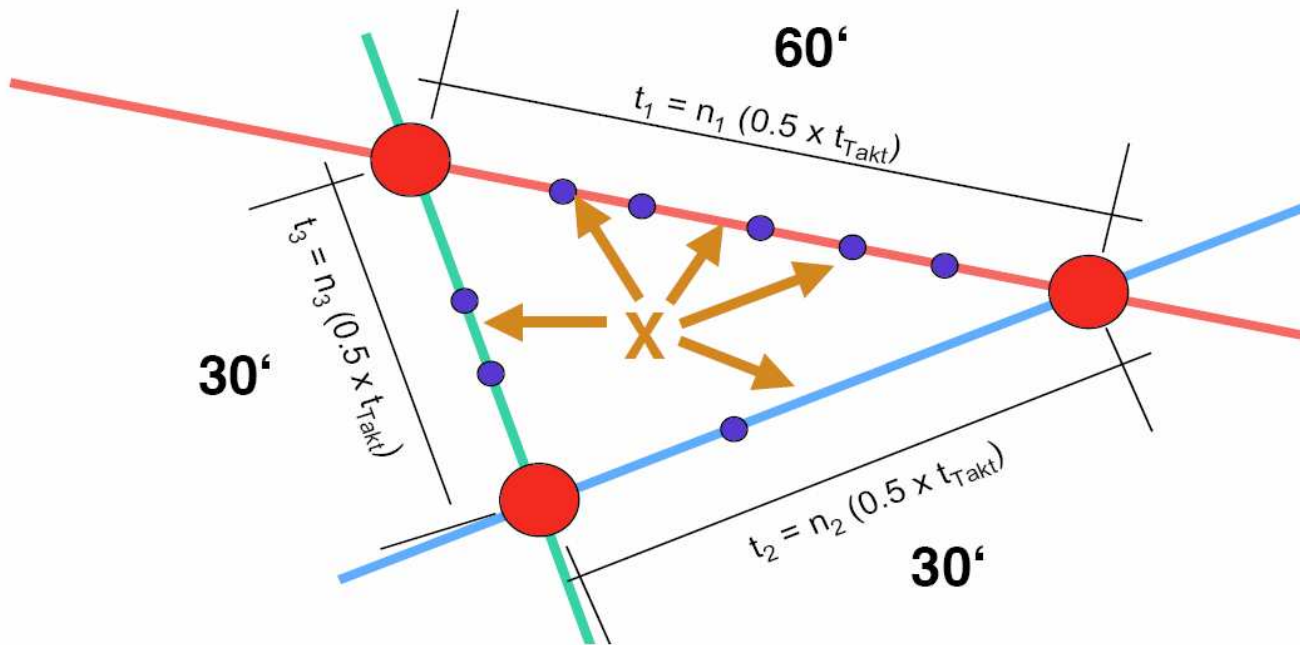
- Zkrácení doby nástupu a výstupu (doby výměny) cestujících
- Vysoké zrychlení a brzdné zpomalení
- Nasazení jednotek resp. souprav s řídícími vozy

Infrastruktura

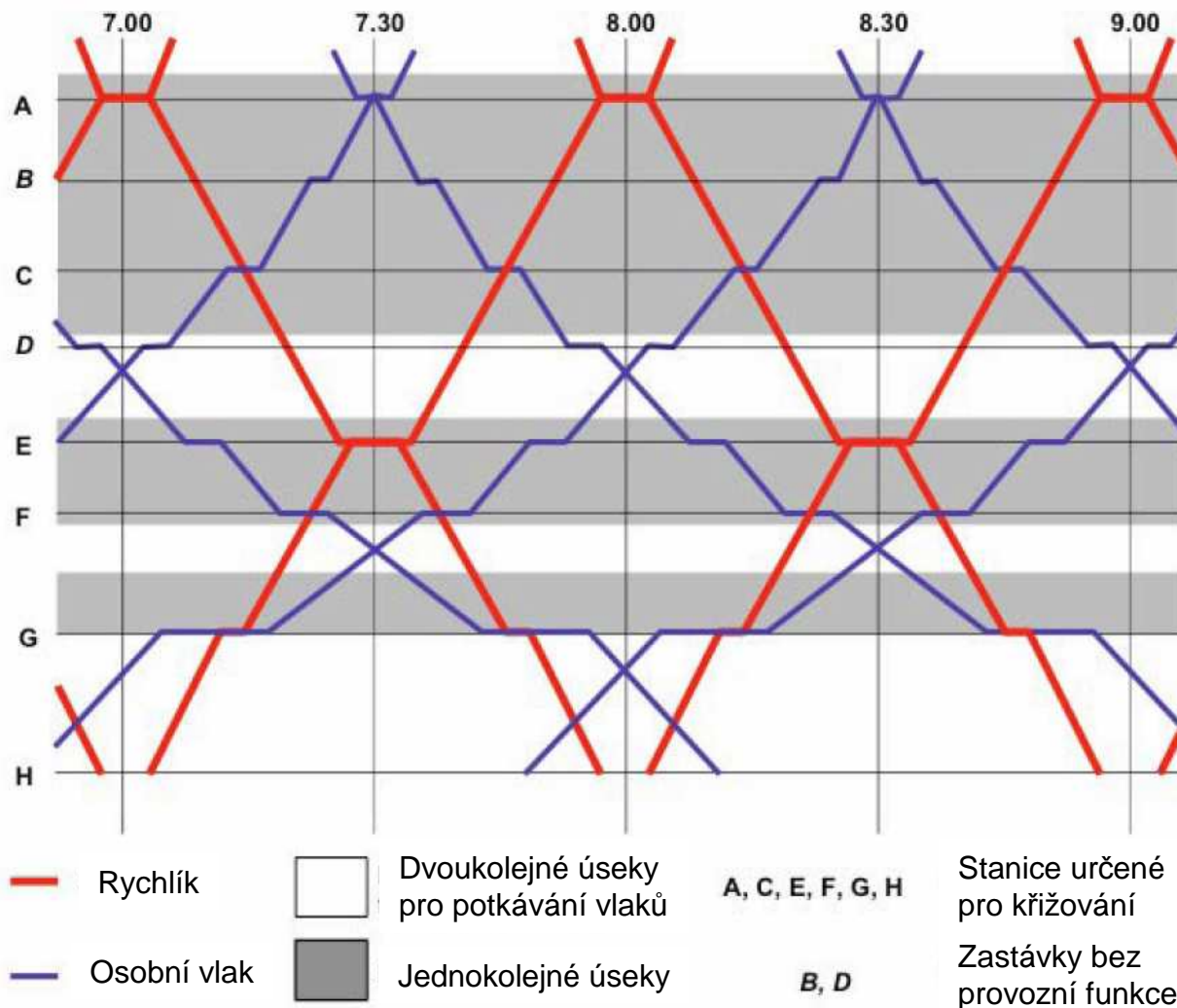
- Přeložky – zvýšení traťové rychlosti
- Úprava zabezpečovacího zařízení pro zkrácení následného mezidobí
- Optimální poloha stanic pro křižování resp. předjíždění
- Úprava kolejového rozvětvení v okolí velkých taktových uzlů



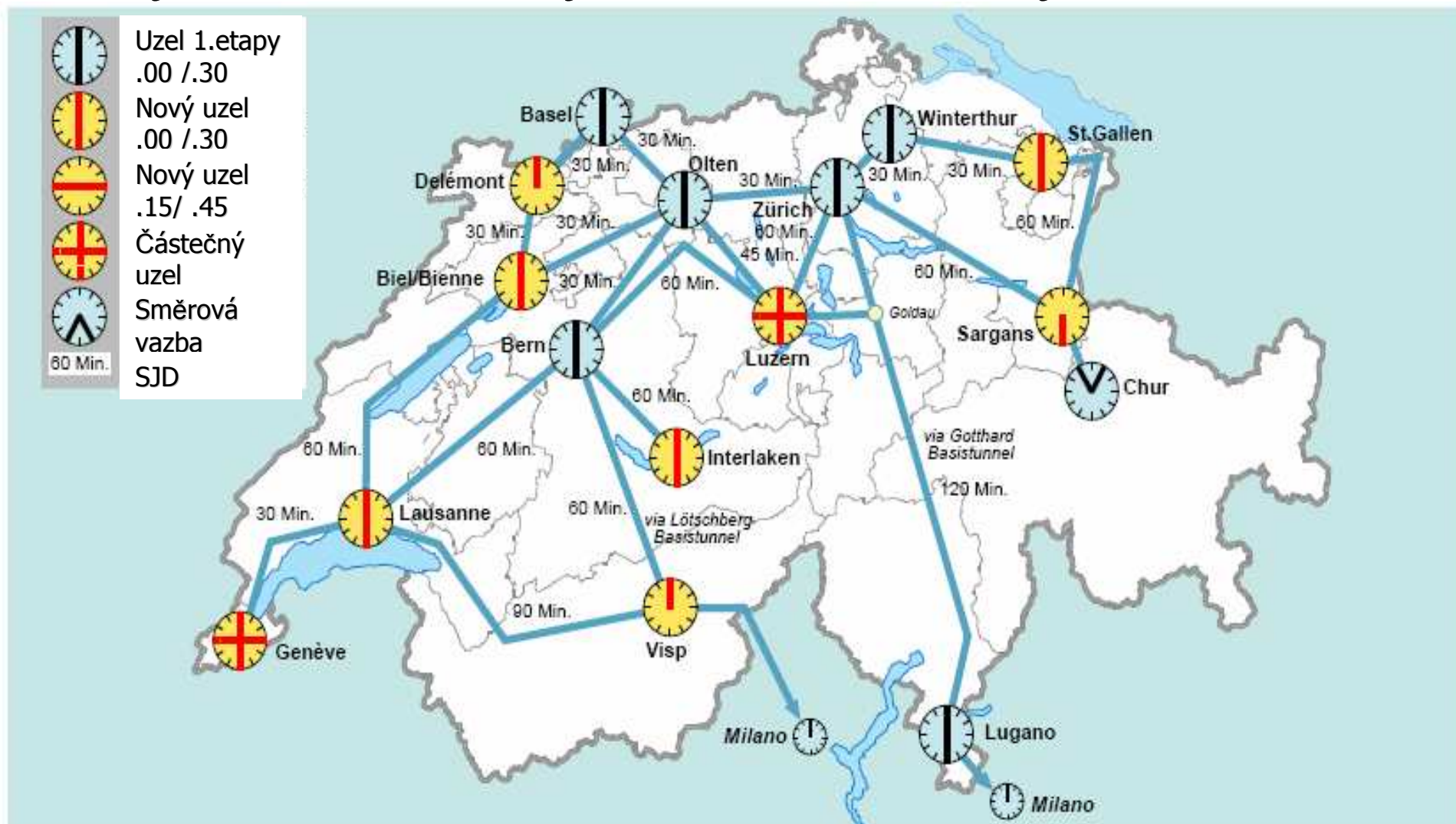
Křižování na jednokolejných tratích, $t_T = 30$ min



Jednokolejná trať s dvoukolejnými úseky pro křižování



System taktových uzlů ve Švýcarsku



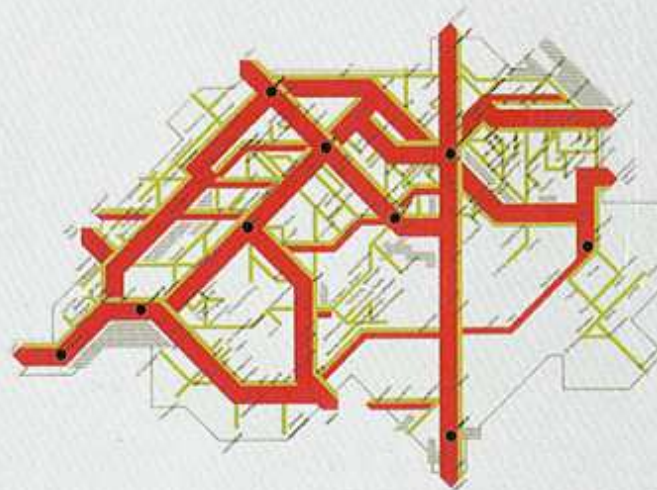
poptávka → nabídka → úprava infrastruktury



TECHNOLOGIE DOPRAVY

**Děkuji za
pozornost.**

**Wir fahren
mit Takt.**



DOPRAVNÍ PLÁNOVÁNÍ



Ihre SBB

Použité zdroje

- Bär M.: Betriebsführung des ÖPN- und Bahnverkehrs, TU Dresden
 - Bär M.: Systemtechnik des ÖPN- und Bahnverkehrs, TU Dresden
 - BAV, SBB AG: ZEB, Bahn 2000
 - Jareš M.: Provozní integrace, ČVUT FD 2010
 - Kol. autorů: Merkblatt zum Integralen Taktfahrplan, Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Berlin 2001
 - Nachtigall K.: Periodic Network Optimisation and Fixed Interval Timetables, Hildesheim, 2001
 - Služební pomůcky ČD
 - SMA und Partner, Zürich
 - Weidmann U.: Netzplanung und Systemauslegung, ETH Zürich 2007
 - Weidmann U.: Verkehr II, ETH Zürich
- Zdroje fotografií:
 - Archiv Ing. Jiřího Pospíšila
 - Vlastní archiv
 - Wikipedie, otevřená encyklopedie

