

**Univerzita Pardubice**  
**Dopravní fakulta Jana Pernera**

**Matematické metody v řízení dopravy (PMMVR)**  
**- část Periodická doprava**

**podklady pro výuku**

## 1. Úvod do problematiky

Základním nástrojem pro řízení provozu nejen v rámci osobní železniční dopravy je jízdní řád, respektive nákresný jízdní řád (u železnice GVD – grafikon vlakové dopravy). Jeho význam je zvýšen za situace, kdy jsou vytvořeny podmínky pro jeho dodržování. Jednou z cest, která může pomoci příznivější podmínky realizovat, je konstrukce jízdního řádu jako systematického neboli periodického.

Periodický jízdní řád patří k charakteristickým a standardním rysům nabídkové formy jízdního řádu především veřejné dopravy jak na železnici tak mimo ní. Pravidelná nabídka spojů v daném a pravidelně se opakujícím časovém sledu (v periodě, resp. v tzv. intervalu nebo taktu) je jeho charakteristickým rysem. Dlouhodobě je tato forma využívána v oblasti městské hromadné dopravy. Na železnici a posléze i na linkách dálkové a regionální autobusové dopravy lze její počátky vysledovat na přelomu 60. a 70. let 20. století. Širší využití a význam nastal zhruba o jedno desetiletí později. Průkopnickými zeměmi byly především Nizozemí, Německo a Švýcarsko, mimo Evropu pak Japonsko.

Periodická nebo systematická forma nabídky spojů v pravidelné periodě nesmí být chápána jako samoučelné řešení, ale naopak jako jeden z důležitých principů podpory atraktivity veřejné dopravy v oblasti mobility a přepravy osob. Zajištění mobility osob prošlo v euroatlantickém prostředí dvěma diametrálně odlišnými směry. Zatímco v USA a Kanadě je tato záležitost realizována převážně individuální automobilovou dopravou a jen v místech s dostatečným a konkurenceschopným přepravním potenciálem je zajišťována dopravou veřejnou (MHD - vybrané aglomerace, příměstská doprava, dálková autobusová doprava, letecká doprava), Evropa se vydala směrem trochu odlišným. Veřejná přeprava osob v dálkovém nebo regionálním segmentu je i nadále více či méně chápána jako nedílná součást udržitelného rozvoje všech typů regionů od aglomeračního až po venkovský s řídkou hustotou osídlení. Tato filosofie však spolu nese nutnost tuto službu ze strany států, regionů a obcí finančně podporovat, aby byla vůbec ekonomicky realizovatelná. Zvýšená mobilita osob daná masovou dostupností automobilů pak nutí její objednatele a provozovatele k hledání co největší atraktivity a efektivity, tak aby poměr mezi vynaloženými celospolečenskými prostředky a jejich užitkem byl co největší. Nástrojem k dosažení tohoto optima je sofistikované dopravní plánování, zahrnující řešení celé problematiky od modelování poptávky, vlastní technologie nabídky, dopady do potřebného vozidlového parku, infrastruktury a zázemí až po propagaci a marketing celého výsledného řešení.

Pravidelná periodická nabídka spojů má za cíl přiblížit nabídku veřejné dopravy dopravě individuální. Jedním z důležitých předpokladů nahlížení na veřejnou hromadnou dopravu je její chápání jako celku skládajícího se z vzájemně spolupracujících a doplňujících se druhů dopravních prostředků a soustav. Cílem této spolupráce by měla být spokojenost zákazníka/cestujícího s přepravní službou, a to zejména v přesnosti, rychlosti, dostupnosti,

pohodlí a bezpečnosti. To vše za cenu přiměřenou dané skupině obyvatelstva. Není-li tato premisa dostatečně naplněna, klesá celospolečenská užitnost dopravy veřejné.

„Realizace“ periodické dopravy má pro jednotlivé druhy dopravy svá specifika. Zatímco autobusová doprava je z hlediska plánování relativně flexibilní a z pohledu systémového řešení a trasování omezena v zásadě jen kongescemi v přepravních špičkách, je u kolejové dopravy situace o něco komplikovanější. Specifickým rysem jakékoliv kolejové dopravy je pevně určená jízdní dráha kolejového vozidla. Je tím podmíněna nejen samotná jízda soupravy (vlak, metro, tramvaj) a její charakteristika, ale též nutnost řešit potkávání spojů opačného směru, resp. především u železnice předjíždění pomalejších vlaků vlaky rychlejšími (výhybny, stanice, kolejové spojky). U železniční dopravy je dále nutno řešit kapacitu stanic a větších dopravních uzlů. Toto vše klade nároky na zajištění bezpečnosti provozu (zamezení protisměrných jízd na trati, zabránění najetí vlakových souprav, atd.). Druh zabezpečení ovlivňuje kromě jiného též celkovou dobu jízdy vlaku, jeho rychlost, pobyty ve stanicích apod. Toto se spolu s profilem trati, uspořádáním a polohou dopraven (včetně počtu traťových kolejí) a trakčními a jízdními vlastnostmi vozidel promítá do konstrukce jízdního řádu. Nezanedbatelnou roli hraje rovněž interakce s dopravou nákladní, jejíž požadavky se mohou s požadavky na dopravu osobní v mnoha směrech střetávat.

Při realizaci periodického jízdního řádu je možno počítat s řadou změn, z nichž lze například jmenovat:

- lepší přehlednost dopravního a přepravního procesu,
- vytvoření lepších podmínek pro automatizaci technologických postupů, jako např. řízení dopravních procesů,
- zvýšení bezpečnosti a spolehlivosti tím, že na dopravní síti se pravidelně opakují standardní situace, např. u železniční dopravy křížování a předjíždění vlaků, přivěšování a odvěšování vozů apod.,
- lepší předpoklady pro zmenšení následných zpoždění při výskytu rušení provozu (dopravní nehody, dopravní kongesce, tzv. pra-zpoždění atd.),
- v osobní dopravě zpravidla též změna četnosti jízd spojů na linkách, což může příznivě ovlivnit doby pobytu a čekání ve stanicích a v konečném důsledku výsledné cestovní doby,
- změna propustné výkonnosti na železnici, vyplývající z možného snížení časových záloh při zpravidelnění dopravního procesu apod.

Poslední dvě uvedené odrážky, které jsou často zmiňovány v odborné literatuře, je však možno do značné míry zpochybnit, protože obdobných efektů lze dosáhnout i v dobře sestaveném neperiodickém jízdním řádu.

Nejen v osobní dopravě je všeobecně známý pojem intervalový resp. taktový jízdní řád. Oba tyto pojmy se zahrnují pod periodické jízdní řády. U intervalového jízdního řádu jsou pravidelně se opakující odstupy spojů vyjádřeny v minutách (30, 20, 15, 12, 10, ...), u taktového jízdního řádu v hodinách (nejčastěji 1 hodina nebo 2 hodiny). Zajišťování

provozu na úrovni periodického jízdního řádu je jev zcela běžný již několik let i v našich podmínkách, nejvíce v případě osobní železniční dopravy.

V textu budou pro zjednodušení jako ekvivalentní chápány následující výrazy:

- jízdní řád:
  - o taktový,
  - o intervalový,
  - o systematický,
  - o periodický,
- označení časového odstupu mezi spoji:
  - o perioda,
  - o takt,
  - o interval.

Jednotná perioda znamená, že uvedená hodnota je společná všem linkám v síti nebo v části sítě. Polojednotná perioda je nejmenší společný násobek period na linkách v systému, pokud není tento násobek větší než 60/120 minut, tj. periody linek se vybírají z množiny {1; 2; 3; 4; 5; 6; 7,5; 8; 10; 12; 15; 20; 30; 40; 60}, kde perioda velikosti 7,5 minuty je výjimkou (rozpuštěná 15-ti minutová perioda, odstupy mezi spoji jsou potom 7-8-7-8-...). Výhodou jejich použití je lepší zapamatovatelnost jízdního řádu cestujícími a možné koordinace obslužnosti na společných úsecích i v uzlech.

Vozidla v průběhu jízdy mění rychlost a zastavují z důvodů nerovnoměrnosti a změn v dopravním proudu a jsou ovlivňována organizací a řízením provozu na komunikacích. Vozidla hromadné osobní dopravy zastavují též na určených zastávkách či stanicích. Při krátké periodě (kromě omezení tzv. elektrickým mezidobím pro vozidla závislé trakce nebo jinými technologicko-provozními omezeními jako zábrzdna vzdálenost apod.) je nebezpečí shlukování vozidel nejen na křižovatkách, ale též na zastávkách či stanicích. Z tohoto důvodu není možné v provozu pravidelných linek hromadné osobní dopravy stanovit periodu dopravy pouze v hodnotě větší jako je tzv. minimální zastávkový interval (viz další část přednášky).

V hromadné osobní dopravě hraje pravidelnost dopravy velmi důležitou úlohu. Zajišťuje se tedy periodickou dopravou, která je sice náročnější z provozního hlediska, ale na druhou stranu podstatně výhodnější pro uživatele.

Periodická doprava, v některých případech označovaná jako tzv. tuhý jízdní řád, je provozním systémem, kde jednotlivé spoje dané linky následují po sobě ve stanovené (pevné) periodě, která je opakovatelná po hodině (nebo ve zvláštních případech po dvou hodinách). Výsledkem je to, že dopravní prostředky v jednotlivých hodinách mají odjezdy vždy ve stejné minuty, což je (jak již bylo řečeno) snadno zapamatovatelné.

Zejména hodnota desetiminutové periody je nejvýhodnější pro svoji velmi snadnou zapamatovatelnost, vedle toho umožňuje i například ve špičkových hodinách nebo čtvrt hodinách „zhuštění“ na hodnotu 5 minut, naopak v sedlech lze provést

její „zředění“ na dvacetiminutovou periodu. Určujícím předpokladem pro velikost hodnoty periody mezi dopravními prostředky musí být velikost proudu cestujících a kapacita soupravy. Například u železnice nesmí hodnota periody klesnout pod velikost následného mezidobí mezi vlaky.

Přizpůsobování se změnám ve velikosti proudu cestujících má za následek rozdíl ve velikosti periody ve špičce a v sedle. Pro dopravce se zde ale nabízí zcela jiné řešení tohoto problému, které je pro cestujícího výhodné. Jedná se o to, že se hodnota periody nemění, ke změně dochází ale v kapacitě dopravních prostředků (např. menší počet vozů v soupravě vlaku). Je to po organizační stránce obtížné a např. u železniční dopravy prakticky možné jen u provozu po samostatné dopravní cestě při vhodně umístěných stanicích (depech) pro odstavování vozů. U autobusové dopravy to vyžaduje mít k dispozici kromě velkokapacitních kloubových autobusů také i autobusy „klasické“ a nízkopapacitní (mini- a midibusy).

Při smíšeném provozu na železnici se nejčastěji mění velikost periody. Při vzniku situace, kdy není možno dodržet důslednou pravidelnost (rytmičnost) například z důvodu narušení trasy příměstského vlaku vlakem dálkovým, lze jeho trasu částečně odchýlit o několik minut. V tomto případě se jedná již o tzv. quasi periodickou dopravu, která je stále ještě považována za rytmickou.

## 2. Základní principy, vymezení pojmů

Pojem perioda (dříve pouze takt, resp. taktová doprava) se v odborném pojmosloví dopravy rozšířil teprve po druhé světové válce. Samotný pojem takt je synonymem pro slovo rytmus, což znamená pravidelné střídání či opakování zvuku nebo částí nějakého děje. V oblasti problematiky jízdního řádu může fungovat jako protiklad k výrazu volný jízdní řád. Tento výraz je do určité míry uměle vytvořeným pojmem, vyjadřující původní formu konstrukce tras (nejen) spojů přepravujících cestující do zavedení periodické dopravy v oblasti dopravy jako takové.

U volného jízdního řádu je u jednotlivých spojů sledována taková časoprostorová poloha, která reflektuje odpovídající přepravní potřeby a proudy (např. ranní a odpolední špička do/ze zaměstnání, přeprava studentů, přípoje od/ke/mezi spoje/spoji stejné či vyšší kategorie) ve vybraných částech dne. Provozní charakteristiky jednotlivých spojů stejné kategorie a relace zpravidla vykazují různé parametry (odlišné jízdní doby, délka, hmotnost a složení soupravy/vozidla, pobyty ve stanicích a na zastávkách atd.).

V případě periodického jízdního řádu je cílem naopak rovnoměrné pokrytí dané sítě (tratě, části tratě) obecně (nejen) osobní dopravou v rámci celého tzv. dopravního dne (dopravní den – období cca 4 - 24 h). Četnost spojů závisí na přepravních prouděch v dané síti v různých částech dne a na různých úsecích. Předpokladem je unifikace přepravních

charakteristik i v případě různých složení souprav, či při nasazení různých hnacích vozidel. Cílovým stavem může být samozřejmě i stejná skladba vozidel v dané skupině relací.

Jak již bylo řečeno, pojem se začal používat až po druhé světové válce. Nejedná se o jediný výraz tohoto významu. Předchůdcem označení pro periodický jízdní řád je tedy výraz tuhý jízdní řád. Do určité míry se dá polemizovat, které z výše uvedených slov je přesnějším antonymem pojmu volný jízdní řád, resp. zda jsou tyto pojmy vůči sobě rovny.

Švýcarský odborník Roland Haudenschild v roce 1981 popsal pojem tuhý jízdní řád (německy „der starre Fahrplan“), charakterizoval ho jako protipól pohyblivému/flexibilnímu jízdnímu řádu (jiný výraz pro volný jízdní řád) a chápal ho jako opakování časů odjezdu/příjezdu spojů na dané linii, či v tarifním bodě každou hodinu ve stejnou minutu. Předpokladem je stejná cestovní rychlost a konstantní následné mezidobí dotčených spojů. Tuhý jízdní řád je zde spíše nadřazen výrazu periodický jízdní řád a lze spíše odušit, že velikost periody se pohybuje v násobku celých hodin (1 hodina, 2 hodiny atd.), příp. vybraných celých násobků minut (např. 10, 15, 20, 30 min).

Jako alternativu umožňující určité odchylky oproti konstantní periodě je týmž autorem zmiňován „proměnlivý tuhý jízdní řád“ („wechselnd starrer Fahrplan“), kde lze předpokládat 2-3 odchylky během dne, např. v přepravní špičce za účelem respektování časových poloh spojů z hlediska dojížděky do škol a do zaměstnání, případně zpět. Toto se týká úměrně i odchylek v následných mezidobích.

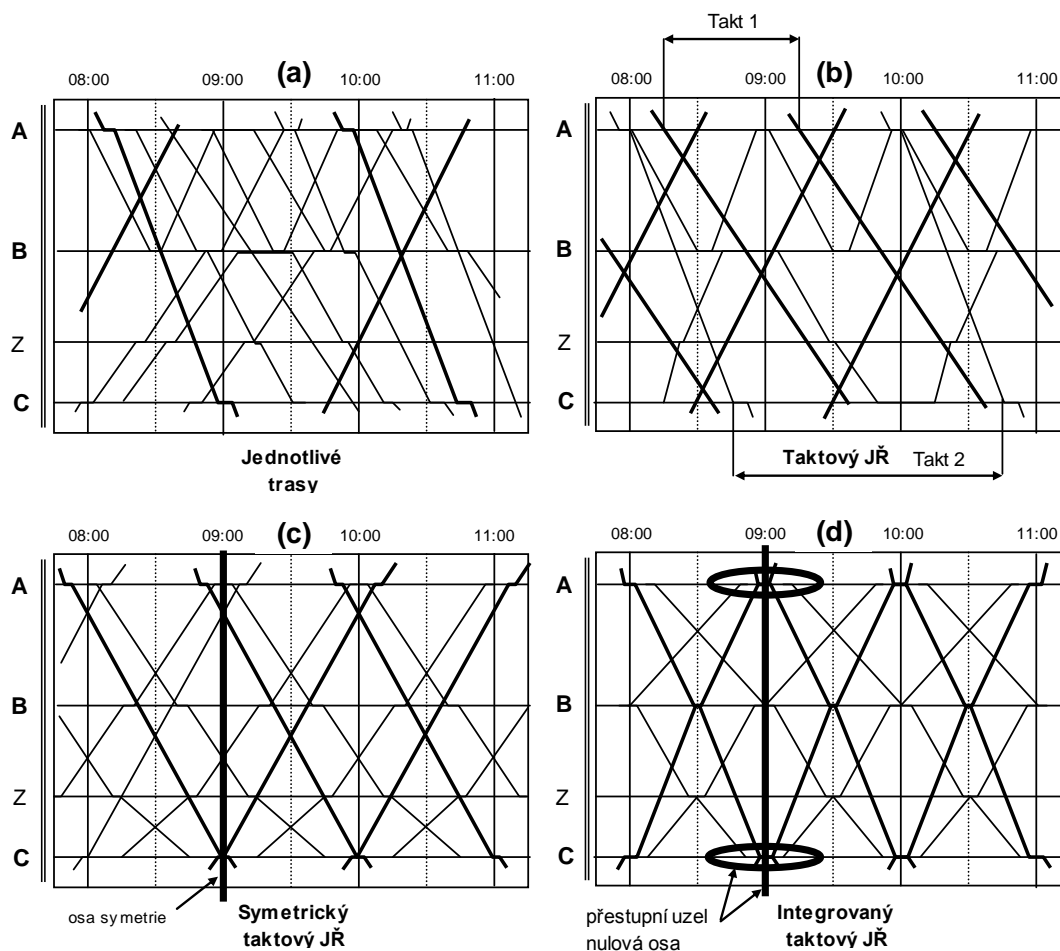
Pro rytmický jízdní řád („der rhythmische Fahrplan“) je uvedeno několik možných variant výkladu. Zprv je chápán jako tuhý jízdní řád se stejnou opakující se časovou periodou, jejíž velikost nemusí být nutně 1 hodina. Uváděno je časové rozmezí 1,5 – 4 hodiny. Další možností významu je překrytí různých skupin spojů s různými tuhými JŘ na stejně pojižděných úsecích, případně jsou takto myšleny spoje v různých periodách, které jsou ve vybraných stanicích vzájemně provázány přestupní vazbou, což vytváří určitý rytmus.

Dnes běžně používaný pojem periodický jízdní řád je tímto švýcarským odborníkem chápán jako poddruh tuhému jízdnímu řádu. Jeden z významů je velikost periody 4 hodiny. Jinde je naopak dáván na úroveň jízdnímu řádu tuhému.

Na tomto místě je vhodné ukončit polemiku nad správným pojmoslovím, resp. jeho správným používáním. V německy mluvících zemích jsou dnes standardními odbornými pojmy výrazy „Takt“ a „Taktfahrplan“ (takt, taktový jízdní řád). Slovo tuhý jízdní řád se prakticky nepoužívá. Pojem „Takt“ byl použit u německých drah DB v roce 1971 na sloganu propagujícím zavedení pravidelné nabídky dálkových spojů InterCity ve „dvouhodinovém taktu“. Dále je v tomto směru zajímavá reakce na pojmy periodický (taktový) a tuhý ve vztahu k chápání jízdního řádu ze strany laické veřejnosti. Zatímco výraz tuhý jízdní řád vyvolává spíše negativní asociace spojené s jízdním řádem (jízdní řád, který se již nikdy nezmění, zatumlý), je pojem periodický (taktový) jízdní řád chápán jako jízdní řád se spoji vedenými v určitém pravidelném rytmu (časovém odstupu).

Z časoprostorového hlediska lze periodický jízdní řád dále rozdělit na:

- směrovou periodu – vazba spojů jednoho směru dané linky,
- perioda linky/linie – stejná perioda spojů jedné linky/linie v obou směrech,
- perioda trati – více linek dohromady na jedné trati, všechny linky vůči sobě v dané periodě, periody všech linek jsou stejné,
- síťová perioda – více tratí dohromady, předpokladem stejná perioda na všech tratích/linkách.



Obr. 1: Příklady periodického (taktového) jízdního řádu

Je možné uspořádání provozu dle pravidelnosti a vzájemné provázanosti trochu jiným způsobem (viz obrázek 1, jako „taktové“ je myšleno i „periodické“). Struktura dopravy podle volného jízdního řádu odpovídá řešení a). Varianta b) představuje periodickou formu jednotlivých linek, nicméně vazba mezi jednotlivými linkami je spíše nahodilá. Navíc varianta c) znázorňuje symetrickou variantu periodického jízdního řádu. Oproti předchozímu příkladu mají všechny linky stejnou osu symetrie. Varianta d) znázorňuje tzv. Integrovaný taktový jízdní řád (ITJŘ). Tato speciální forma periodického jízdního řádu je charakteristická

stejnou osou symetrie a časoprostorově se opakujícími uzly, ve kterých jsou zajištěny v ideálním případě veškeré systémové vazby mezi všemi linkami. Aby tyto vazby mohly fungovat, je nutné dodržet určité matematické předpoklady. Této problematice se bude věnovat pozornost v jiné části textu.

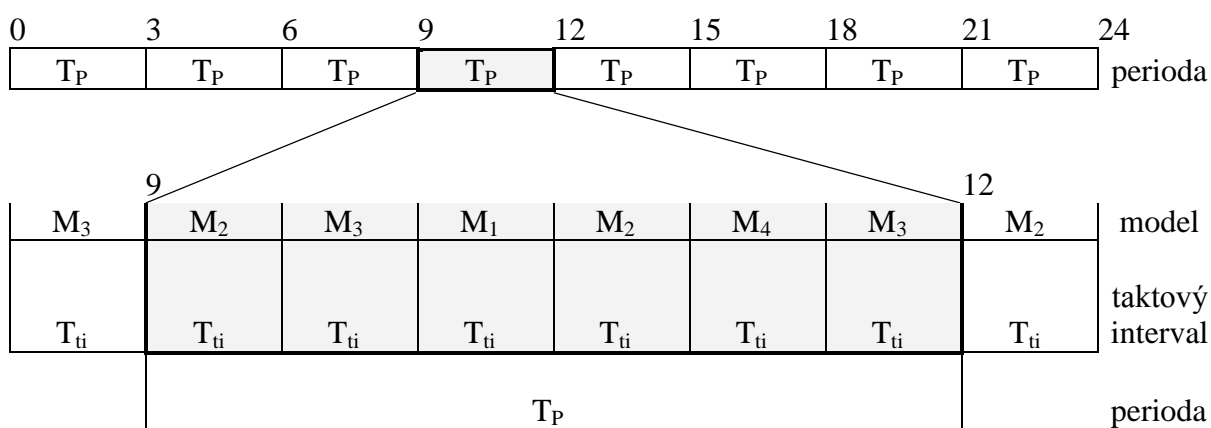
## 2.1 Základní pojmy

Nesystematický jízdní řád – trasy spojů jsou uspořádány nepravidelně/nesystematicky. Jediná pravidelnost spočívá v tom, že se jízdní řád opakuje v periodě 24 hodin.

Systematický jízdní řád - trasy spojů jsou uspořádány pravidelně/systematicky. V rámci jednoho dne dochází k opakování stejných dopravně-provozních situací.

Perioda systematického jízdního řádu ( $T_P$ ) – časový odstup, po kterém se periodicky opakuje schéma vložení tras do jízdního řádu. Je řádově menší ve srovnání s dobou jednoho dne. Jinak též je to časový úsek mezi dvěma po sobě jedoucími vozidly hromadné dopravy v jednom dopravním směru měřený v profilu komunikace. Perioda je jedním z rozhodujících faktorů výkonnosti hromadné osobní dopravy. Hodnota periody se pohybuje od jednotek minut po celé hodiny. U volného jízdního řádu se dá zjednodušeně konstatovat, že hodnota periody se rovná 24 hodin. V železniční dopravě a linkové autobusové dopravě se hodnota periody pohybuje běžně mezi cca 10 minutami až 4 hodinami. V městské hromadné dopravě jsou běžné periody zpravidla mezi 1-60 minutami.

Rytmus periody ( $R$ ) je časový odstup spojů stejné kategorie resp. i různých kategorií, jejichž jízdní resp. cestovní doba je stejná.



Obr. 2: Vzájemný vztah mezi dobou periody systematického jízdního řádu, taktovým intervalem a modelem taktového intervalu

Taktový interval ( $T_{ti}$ ) - časový odstup konstantní velikosti, v rámci kterého mohou být vkládány trasy do jízdního řádu jednoho nebo i více modelů taktového intervalu. Z praktických důvodů velikost taktového intervalu by měla být stanovena tak, aby, v případě,



že je tato doba kratší než jedna hodina, byl součet více taktových intervalů roven jedné hodině resp. dvěma hodinám (analogicky viz tzv. polojednotná perioda).

Model taktového intervalu ( $M_i$ ) – pořadí spojů v rámci taktového intervalu. Součet časových odstupů mezi těmito spoji musí být roven velikosti taktového intervalu. V daném periodickém jízdním řádu může být vytvořeno a používáno i více modelů taktového intervalu.

Periodický jízdní řád je takový jízdní řád, ve kterém jedna nebo více kategorií spojů je provozováno periodicky. Platí, že každý systematický jízdní řád je zároveň periodický. I nesystematický jízdní řád může být periodický, když se za systematický považuje jen takový, ve kterém se v průběhu dne víceméně opakuje stejné schéma vložení tras spojů do jízdního řádu, tak jak bylo uvedeno výše v definici systematického jízdního řádu.

Kdyby se ale vyšlo přísně z definice nesystematického jízdního řádu, kde se tvrdí, že jediná pravidelnost spočívá v opakování periody 24 hodin, mohl by se výše uvedený nesystematický periodický jízdní řád nazvat jízdním řádem částečně systematickým.

Z uvedeného vyplývá, že uvedené definice je třeba chápat jako orientační. Jistě by bylo možné je lépe precizovat.

Časový odstup mezi jízdou dvou následujících spojů ( $i$ ) v případě železniční dopravy (tedy následujících vlaků) se skládá z příslušného následného mezidobí ( $I$ ) a (stanovené) časové zálohy ( $r$ ). Platí tedy

$$i = I + r \quad (1)$$

Je třeba toto vyčíslit pro všechny v úvahu připadající kombinace možných sledů vlaků.

Stupeň (koeficient) pravidelnosti ( $S_p$ ) udává míru pravidelnosti systematického jízdního řádu a může nabývat hodnot od nuly po jedna. Nulová hodnota odpovídá nesystematickému jízdnímu řádu, naopak největší pravidelnost je dosažena, když stupeň pravidelnosti je roven jedna, což odpovídá případu, že odstup mezi spoji je konstanta, která je rovna periodě. V tomto případě se hovoří o tuhém (pevném) jízdním řádu.

Linka je množina spojů na dané trase a trasa je posloupnost uzlů a úseků.

Spoj je dopravní spojení, které se pravidelně opakuje v určeném čase.

Trať (linie) je trasa, ve které jsou všechny uzly různé (výjimka: okružní linie).

Pojem vlaková jednotka je v dalším textu používán jako společný název pro vlakovou soupravu taženou hnacím vozidlem (lokomotivou) a vlak vedený jako motorová (resp. elektrická motorová) jednotka.

Hranový čas (též Systémová jízdní doba) – potřebná doba mezi dvěma periodickými (taktovými uzly), v případě síťových systémových vazeb (ITJŘ) je její hodnota celistvým násobkem příslušné velikosti periody. Hranový čas se skládá z vlastní jízdní doby, pobytů v uzlech a nácestných stanicích z přepravních a dopravních důvodů a z vyrovnávacích časů (opět v případě ITJŘ).

Symetrie – periodický symetrický jízdní řád v ideálním případě předpokládá splnění stejných parametrů obou směrů stejné linky. Jedná se o:

- stejný počet spojů v obou směrech,

- stejné jízdní a přestupní doby v příslušných úsecích a stejné doby pobytů ve stejných stanicích a zastávkách,
- jednotné jízdní vlastnosti (rovnoběžný symetrický nákresný jízdní řád).

Osa symetrie – stanovený čas v závislosti na velikosti zvolené periody, zajišťuje vazbu mezi oběma směry linky provozované v periodě. V tento čas dochází k pravidelnému potkávání (míjení nebo křížování) spojů jedné linky po celé provozní období JŘ. Pokud je třeba zajistit systémové vazby mezi jednotlivými linkami, je nutné, aby tyto měly stejnou osu symetrie. Jako základ je v rámci Evropy brána osa symetrie k celé hodině (XX:00). Systémové časy potkávání spojů jedné linky v závislosti na velikosti periody jsou uvedeny v tabulce 1.

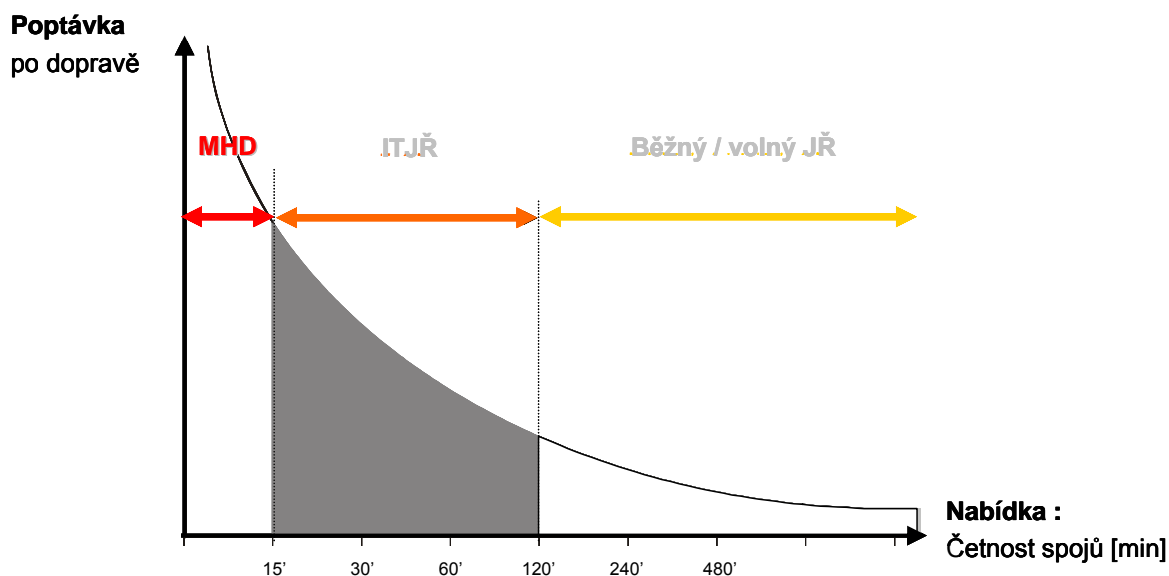
Tab. 1: Osy symetrie v závislosti na velikosti periody

perioda	osa symetrie – potkávání spojů 1 linky
2 hodiny	XX:00
1 hodina	XX:00, XX:30
30 minut	XX:00, XX:15, XX:30, XX:45
20 minut	XX:00, XX:10, XX:20, XX:30, XX:40, XX:50

Periodický (Taktový) uzel – místo, kde dochází k pravidelným systémovým vazbám mezi spoji jedné linky (např. křížování vlaků na jednokolejné trati) nebo více linek (zpravidla přestupní vazby). V rámci periodického přestupního uzlu přijíždějí jednotlivé spoje před časem symetrie a po uplynutí příslušné doby (přestupní doba, technologické intervaly, vyrovnávací časy) po tomto čase z uzlu odjíždějí.

Integrovaný taktový jízdní řád – nadstavba běžnému periodickému jízdnímu řádu. Zavádění periodické dopravy na jednotlivých tratích/liniích nutně vyvolává obdobný efekt na ostatních tratích/liniích do periodou dotčené ústícih, zejména v případě, pokud je potřeba zajistit přípojně vazby mezi nimi. Tam, kde mají být zachovány rychlé a obousměrné přestupní vazby mezi jednotlivými linkami, je nutno na tento přestupní uzel pohlížet jako na uzel periodický. Aby bylo možno provozovat tento provázaný systém v rámci příslušné sítě ve všech požadovaných periodických uzlech, je nutno, aby byly dodrženy potřebné hranové časy mezi těmito periodickými uzly. Smysluplnost a důležitost zachování systémových přestupních vazeb je o to větší, čím delší velikost periody je. Naopak při kratších periodách je možné předpokládat větší akceptovatelnost volnější přestupní doby. V rámci nabídky během celého dne je však nutno vycházet z nejnepříznivější situace pro cestujícího, tj. z hodnoty nejdelší periody příslušné linky. Na obrázku 3 je znázorněno rozmezí smysluplnosti realizace ITJŘ. Velikost periody se pohybuje zhruba mezi 15 – 120 minutami. Pro kratší periodu než 15 minut není nijak nutno sledovat pravidelné systémové přestupní vazby, naopak při nabídce spojů s velikostí periody nad 120 minut není již zcela zásadní, zda dané spoje jedou v periodě či nikoliv. Limitní hranicí mezi periodickým a volným jízdním řádem je nabídka ve 4-hodinové periodě. Na druhé straně spektra se

(v některých případech s nižší senzitivitou cestujících na velikost přestupní doby) dá konstatovat, že minimálně v případě 15-ti minutové periody není nutno (v krajním případě) pevné systémové vazby sledovat. Efekt ITJŘ v zajištění rychlých přestupních vazeb sleduje hlavní cíl minimalizace celkové doby přepravy v rámci obsluhované sítě.



Obr. 3: Využití ITJŘ ve veřejné osobní dopravě

## 2.2 Intervaly/periody dopravy

Linkový interval (linková perioda) dopravy je definovaný jako časový úsek mezi dvěma po sobě následujícími spoji stejné linky v jednom směru měřený v daném profilu dopravní cesty (tratě). Spoj může být realizovaný vozidlem nebo soupravou vozidel. Linkový interval se obecně vypočítá jako podíl oběžného času linky a počtu (souprav) vozidel zařazených do provozu na lince.

Linkový interval dopravy je nutno stanovit tak, aby odpovídal maximální hodnotě intenzity přepravního proudu, zjištěný na lince v daném časovém období. Interval  $i$  se stanovuje následovně:

$$i \leq \frac{K_n * \chi * 60}{O_h^{MAX}} \text{ [min]},$$

kde:

$K_n$  kapacita vozidla daná normální obsaditelností [osoby],

$\chi$  součinitel využití normální obsaditelnosti [-],

$O_h^{MAX}$  maximální intenzita přepravního proudu zjištěná na lince [osoby \* h<sup>-1</sup>].

V opačném případě by mohlo dojít k překročení přepravní kapacity linky. Pokud se tedy součin hodnot (viz výše uvedený vztah) průměrná kapacita vozidla daná normální obsaditelností (v počtu míst), součinitel využití normální obsaditelnosti (bezrozměrná veličina) a převodového koeficientu 60 podělí maximální intenzitou přepravního proudu zjištěného na lince (v osobách za hodinu), tak tato získaná hodnota by měla být větší nebo rovna než linkový interval dopravy.

Následný interval (následná perioda) dopravy je definovaný jako časový úsek mezi dvěma po sobě následujícími spoji bez ohledu na jejich přiřazení k lince v jednom směru měřený v profilu dopravní cesty (tratě). Následný interval je průměrný interval linek, které jsou provozovány na společném (souběžném) úseku.

Minimální zastávkový interval: na úsecích tratě, kde dochází k souběhu linek, je třeba zajistit, aby struktura jízdních řádů těchto linek byla stejná (systematicky uspořádaná). To znamená, aby linky měly stejný nebo vzájemně dělitelný linkový interval, který je řešený jako následný průměrný interval tohoto úseku. To má výhodu pro cestující, kteří mohou použít kterýkoliv spoj linek stejného směru na souběžném úseku tratě. Pokud není vytvořena koordinace jízdních řádů na souběžném úseku linek, dochází k vytváření shluků vozidel a tím i k nepravidelnosti dopravy.

Nepravidelnost dopravy může být též způsobená rozdílným zdržením vozidel na zastávkách. Při jednotném tarifu relativně více cestujících nastupuje do prvního vozidla po příchodu na zastávku v daném směru jízdy. Toto vozidlo má větší obrat cestujících na zastávce, má delší zdržení než za ním přijíždějící vozidlo. Časový odstup mezi dvěma po sobě jedoucími vozidly se snižuje a tím se snižuje i přesnost dodržování jízdního řádu.

K zajištění velkých intenzit přepravního proudu je nutno zvolit v technologii dopravy následný interval dopravy tak, aby byla nabízena zodpovídající přepravní kapacita. Na konkrétním úseku tratě je možno zmenšovat následný interval dopravy pouze po určitou minimální hodnotu. Pokud by byl následný interval dopravy menší než jeho minimální hodnota, docházelo by ke shlukování vozidel v prostoru zastávky, cestovní a oběžná rychlost by se snížila. Přepravní kapacita, která je nepřímo závislá na intervalu dopravy, by se už nezvyšovala.

Pro stanovení minimálního následného intervalu je limitní hodnotou minimální zastávkový interval, zahrnující nejmenší prakticky dosažitelný časový úsek za sebou jedoucích vozidel, které zastavují při zabezpečování spojů na lince na stejné zastávce, jenž zahrnuje čas závislý a čas nezávislý na obratu cestujících. Čas závislý je proměnnou hodnotou závislou na počtu nastupujících a vystupujících cestujících na zastávce (viz tzv. jednotkový čas potřebný pro nástup nebo výstup cestujícího). Čas nezávislý se skládá z reakčního času řidiče před příjezdem na zastávku, doby potřebné na zastavení a na opuštění prostoru zastávky včetně signalizace, otevírání a zavírání dveří apod.

Minimální zastávkový interval je možné zmenšit zkrácením doby stání na zastávce. Pokud je k dispozici dostatečný prostor zastávky nebo stanice, lze zajistit současné zastavení

více vozidel ve stejném směru jízdy. Jde o tzv. skupinové odbavování vozidel na zastávce, kde je doba nastupování a vystupování kratší v závislosti na počtu současně stojících vozidel.

### 3. Provoz v podmínkách tuhého jízdního řádu

Podmínky tuhého jízdního řádu jsou v praxi jen zřídka na části dopravní sítě v plném rozsahu realizovatelné. Lepší předpoklady pro jeho aplikaci jsou spíše na poli konstrukce jízdních řádů pro městskou nebo příměstskou dopravu. V dálkové (železniční) dopravě pak na tratích s provozem spojů (vlaků) jedné kategorie. I přes tyto skutečnosti je vhodné seznámit se s jeho základními zákonitostmi, protože částečně mohou být aplikovatelné i v podmínkách smíšeného provozu.

Předností tuhého jízdního řádu je jeho snadná přehlednost a zapamatovatelnost, z hlediska konstrukce pak jeho poměrně jednoduchá stavba. Rychlosti spojů jsou na daných úsecích konstantní, takže všechny trasy spojů při znázornění ve formě nákrešného jízdního řádu mají v těchto úsecích stejný sklon a opakují se ve stanovené periodě. Perioda je zde rovna, jak již bylo výše uvedeno, časovému odstupu mezi spoji. V souladu s označením použitým u základních pojmů lze uvést:

$$R \sim i \sim T_{ii} \sim T_P \quad (2)$$

Samozřejmě rychlosti mohou být v různých úsecích různé, takže při grafickém znázornění ve formě nákrešného jízdního řádu mohou mít trasy v jednotlivých dílčích úsecích různý sklon. Prostorové (vzdálenostní) odstupy tak v různých bodech trasy nabývají různých hodnot. Prostorový odstup ale není ukazatelem tuhého (obecně ani systematického) jízdního řádu. Rozhodující a pro tuhý jízdní řád charakteristický je stejný časový odstup mezi libovolnými dvěma za sebou následujícími spoji a to v libovolném místě dané trasy.

Pro konstrukci tuhého jízdního řádu zejména v případě kyvadlového provozu je potřebné znát základní schéma oběhu vozidla či jednotky (dále jen „jednotka“). Platí známý předpoklad, že doba oběhu se skládá z průběžných dob v sudém a lichém směru, přičemž tyto průběžné doby se dále člení na cestovní dobu daného směru a dobu obratu.

Cestovní doba v daném směru jízdy je dána součtem všech dílčích jízdních dob a pobytů v mezilehlých místech zastavení (stanicích nebo zastávkách). V jízdních dobách mohou být zapracovány již i časové zálohy pro vyrovnání nepravidelností způsobovaných různými vlivy v provozu.

Doba obratu musí zohledňovat čas potřebný na vykonání všech technologických úkonů potřebných na změnu směru jízdy a rovněž případné časové zálohy.

Ve snaze dosáhnout na jednu kyvadlovou jednotku co nejdelší běh (rameno) a tak realizovat s malým počtem jednotek krátké periody, jeví se potřeba dosahovat doby oběhů co nejmenší. V každém případě však musí existovat rezerva pro vyrovnání zpoždění vznikajících z rušení provozu. Časové zálohy je třeba stanovovat v závislosti na místních poměrech a v úvahu je třeba brát i citlivost na zpoždění dané trasy i tras navazujících.

### 3.1 Základní vztahy, ukazatele a provoz v podmínkách tuhého jízdního řádu na jedné trase

V tuhém jízdním řádu mají všechny nasazené jednotky stejné základní schéma oběhu. Konstrukce nákrešného jízdního řádu představuje tedy kombinace tohoto základního schématu závislé na periodě. Pro další postup se využijí tyto veličiny:

- $T_{tJ}$     odstup mezi spoji v minutách při  $J$  kyvadlově provozovaných jednotkách,  
 $J$        počet nasazených jednotek,  
 $k$        počet spojů, které jedna kyvadlově provozovaná jednotka může pokrýt za stanovený čas (např. hodinu),  
 $K$        počet spojů, které všechny kyvadlově provozované jednotky mohou pokrýt za stanovený čas (např. hodinu),  
 $H$        stanovený čas (např. hodina),  
 $t_o$       doba oběhu.

Je zřejmé, že platí

$$k = 2 \cdot H / t_o \quad (3)$$

a rovněž

$$K = J \cdot k = 2 \cdot J \cdot H / t_o \quad (4)$$

Počet spojů  $K$  lze zjistit i ze vztahu

$$K = 2 \cdot H / T_{tJ} \quad (5)$$

Z toho vyplývá

$$2 \cdot J \cdot H / t_o = 2 \cdot H / T_{tJ} \quad (6)$$

$$J \cdot T_{tJ} = t_o = konst. \quad (7)$$

protože v tuhém jízdním řádu je doba oběhu konstantní. Tento vztah je možné označit za základní rovnici tuhého jízdního řádu. Interpretovat se dá tak, že z hlediska časového využití jsou nasazené jednotky s odpovídajícím vozidlovým personálem (řidiči, strojvedoucí) využity nejhospodárněji, když součin předpokládaného odstupů mezi spoji a počtu nasazených jednotek je roven době oběhu. Geometricky představuje rovnice (7) hyperbolu, znázorněnou na obrázku 4, kde:

$J_{fp}$     fiktivní počet jednotek potřebných pro realizaci odstupů mezi spoji  $T_{tJ}$ ,

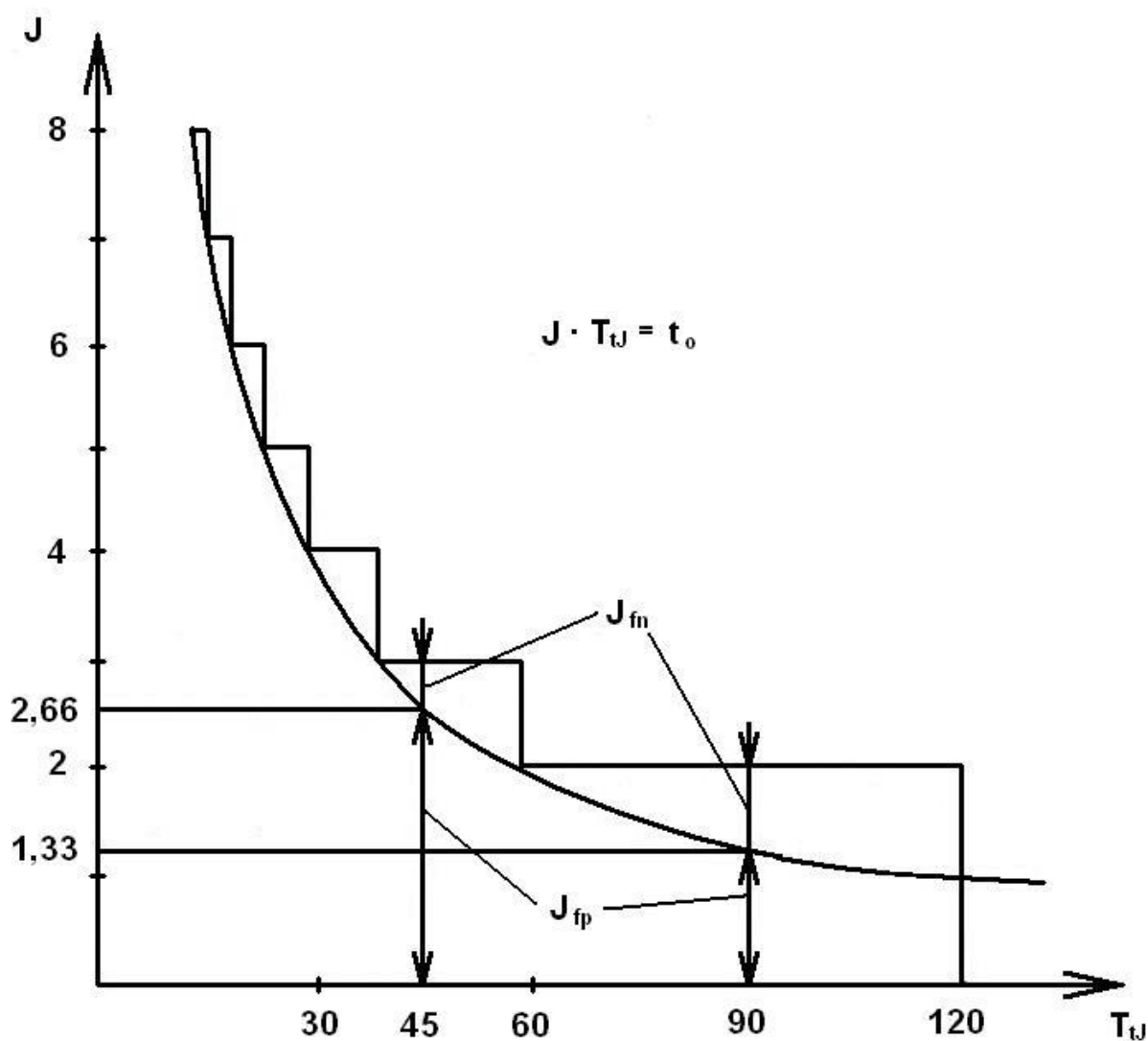
$J_{fn}$     fiktivní počet nevyužitých jednotek.

Někdy jsou hospodárné oběhy z provozního hlediska i z hlediska cestujících nevhodné, někdy nemusí být ani realizovatelné. Tak například kromě splnění podmínky základní rovnice tuhého jízdního řádu je vhodné vyhovět i podmínce, aby číslo 60 (počet minut za hodinu) resp. číslo 120 (počet minut za 2 hodiny) bylo celočíselně dělitelné velikostí periody v minutách. Spojové potom mají časy odjezdů v rámci hodinové nebo dvouhodinové periody vždy ve stejných minutách. Toto ovšem není možné vždy splnit bez určitých časových ztrát, vznikajících z titulu potřeby částečného prodloužení doby oběhu.

Beze ztrát nelze rovněž realizovat provoz v případě, když potřeba souprav odvozená ze základní rovnice tuhého jízdního řádu vychází necelé číslo. Skutečná potřeba souprav musí

být rovna minimálně nejbližšímu vyššímu celému číslu. Ztrátu  $t_z$  v minutách vyplývající z této skutečnosti, připadající na  $J$  oběhů jednotky při požadované velikosti periody  $T_{tP}$ , lze zjistit ze vztahu

$$t_z = T_{tP} \cdot J - t_o \quad (8)$$



Obr. 4: Znáznornění základní rovnice tuhého jízdního řádu pro dobu oběhu 120 minut

Bude dále na konstruktérovi jízdního řádu, zda ztrátou zatíží rovnoměrně obě stanice obratu, nebo se rozhodne pro stanici, ve které jsou pro toto vytvořeny vhodnější podmínky. Například v železničních stanicích totiž v tomto případě vznikají dodatečné požadavky na kapacitu kolejí.

Průměrný stupeň využití jedné kyvadlově provozované jednotky ( $S_v$ ) závisí na fiktivním (teoreticky potřebném) počtu souprav získaném ze základní rovnice tuhého jízdního řádu a zjistí se jako

$$S_v = 100 \cdot J_f / J \quad (9)$$

resp. jako

$$S_v = 100 \cdot t_o / (J \cdot T_{IP}) \quad (10)$$

Při požadavku změny periody tuhého jízdního řádu jsou nejjednodušší podmínky vytvořeny, když se počet do provozu nasazených jednotek zdvojnásobí nebo sníží na polovinu. Tomu odpovídá zkrácení periody na polovinu nebo prodloužení periody na dvojnásobek. Zvýší-li se např. tímto způsobem počet kyvadlově provozovaných jednotek, znamená to, že původně nasazené jednotky mohou pokračovat dále bez změny velikosti periody a mezi ně jsou vkládány jednotky nové.

Doba, za kterou se změni odstup mezi spoji, závisí na velikosti periody a počtu uzlů, ve kterých mohou být zařazovány či vyjímány soupravy do nebo z oběhu. Při příznivém rozložení čtyř vstupních uzlů je možné např. zkrácení velikosti periody na polovinu provést prakticky v jednom okamžiku. Při dvou vstupních uzlech bude nejkratší změna periody dosažena, když oba tyto uzly se budou nacházet na co největší „časovou vzdálenost“. Méně příznivé podmínky jsou, když se jedná o jinou změnu periody než zdvojnásobení nebo zkrácení na polovinu.

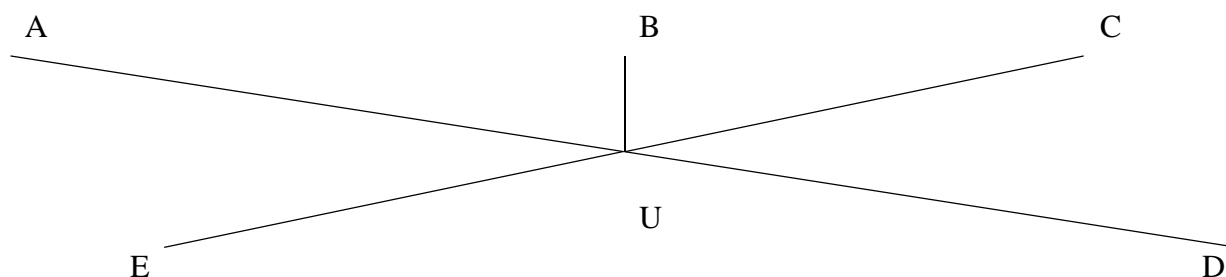
### ***3.2 Koordinace časové návaznosti v podmínkách tuhého jízdního řádu při provozu na více linkách***

Jedním z případů, který se často v běžném provozu objevuje, je společná obslužnost spoji více linek na jednom nebo více společných úsecích. V tomto případě vzniká požadavek stanovit odjezdy z koncových uzlů linek tak, aby společný úsek byl obsluhován ve stejných nebo aspoň kvazi stejných periodách. Při přísném dodržování pravidel tuhého jízdního řádu a obousměrné obslužnosti společného úseku lze zpravidla dodržet přesné velikosti časových odstupů minimálně v jednom směru tohoto úseku. Například v případě jednokolejné železniční trati toto již nemusí být možné splnit.

Rovněž při provozu na síti, při stanovení jednotné periody pro celou síť, je obdobné dodržení časových odstupů mezi spoji na společných úsecích linek možné zpravidla jen na jednom společném úseku sítě (při nezohlednění Integrovaných taktových jízdních řádů).

Jinou skupinu problémů je třeba řešit při organizaci provozu v síti znázorněné na obrázku 5, když je řešena návaznost tras ze všech úseků zaústěných do uzlu  $U$ . V těchto uzlech vznikají velké nároky jak z hlediska stavebního, tak provozního, jestliže mají být zachovány návaznosti spojů všech úseků a doby pobytů spojů mají být co nejmenší. Například v případě železniční dopravy to vyžaduje přípustnost současných vjezdů a odjezdů, na všech tratích stejnou periodu a navíc přestupní uzel  $U$  by měl být pro všechny linky stanicí obratu, nebo u průběžně vedených linek by se měly trasy vlaků na těchto linkách v této uzlové stanici setkávat, aby byly zajištěny návaznosti přestupů do všech směrů.





Obr. 5: Schéma sítě pro přestupní uzlovou stanici U s pěti zaústěnými tratěmi

Úlohy poněkud jiného charakteru vznikají, když periody spojů na navazujících úsecích resp. linkách nabývají různých hodnot. V tomto případě je zpravidla výhodné volit periody na jednotlivých linkách tak, aby jejich společný násobek byl co nejmenší. Tak jsou vytvořeny v uzlech pravidelné možnosti přestupu mezi všemi linkami mezi sebou navzájem a navíc případně další přestupové možnosti v kratších časových periodách, odpovídajících dílčím nejmenším společným násobkům period některých linek.

Tak například (modelový příklad) při porovnání dvou variant periodické dopravy, kdy do uzlu A jsou zaústěny 3 úseky s různými hodnotami period, je z hlediska přestupových možností výhodnější varianta, kde periody jsou 60, 30 a 20 minut, oproti variantě 40, 30, 20 minut, protože v prvním případě jsou v uzlu A možné přestupy mezi spoji bez čekání ze všech směrů do všech směrů každých 60 minut, na rozdíl od varianty druhé, kde tato možnost existuje ve dvojnásobně větších periodách, tzn. každých 120 minut.

Konečné rozhodnutí o velikosti period na jednotlivých linkách by však mělo být provedeno na základě celkového vyhodnocení časových ztrát cestujících při pobytech a přestupech v uzlech a ztrát vyplývajících ze sníženého stupně využití vozidlového parku a personálu. Také zde je možné optimalizovat tvorbu jízdního řádu vždy jen k jednomu kritériu. Výsledné rozhodnutí by tedy mělo být učiněno na základě ekonomického posouzení případ od případu, se zohledněním konkrétních podmínek.

#### 4. Systematický jízdní řád při více kategoriích spojů

Při tuhém jízdním řádu platí, že rozdíl rychlostí spojů a tedy i jízdních dob je rovný nule. Jestliže rozdíly jízdních dob jsou relativně malé, je možné při sestavě jízdního řádu přizpůsobovat jízdní doby rychlejších spojů spojům pomalým a tak vytvářet předpoklady pro realizaci podmínek pro sestavu tuhého jízdního řádu. Pro rychlosti spojů tuto skutečnost lze vyjádřit obecným vztahem

$$d v = (v_R - v_P) \rightarrow 0 \quad (11)$$

kde  $v_R$  je rychlost spoje rychlého a  $v_P$  rychlost spoje pomalého. V praxi jsou však možnosti realizace této podmínky většinou omezené.

Při větším počtu spojů různých rychlostí je vhodné zatřídit spoje do menšího počtu rychlostních kategorií, aby pro každou z nich platilo

$$d v_i = (v_{iR} - v_{iP}) \rightarrow 0 \quad (12)$$

kde index  $i$  označuje příslušnost k  $i$ -té rychlostní kategorii spoje. Vztah vyjadřuje skutečnost, že také jízdní doby v  $i$ -té kategorii se nacházejících spojů jsou přizpůsobovány jízdní době nejpomalejšího spoje své kategorie. Výběr spoje do kategorií musí být prováděn tak, aby rozdíly jízdních dob v rámci této kategorie byly relativně malé.

Konstrukce systematického jízdního řádu za pomoci rychlostních kategorií vede zpravidla k dosažení vytyčeného cíle. Řešení systematického jízdního řádu je v tomto případě tím úspěšnější, čím menší jsou rozdíly rychlostí v rámci vytvořených kategorií spojů a čím menší je potřebný počet těchto kategorií. Postup na dané linii by mohl být následující:

1. navržení taktového intervalu,
2. stanovení časových odstupů mezi spoji ve všech možných kombinacích, resp. ve všech potřebných kombinacích,
3. vytvoření možných modelů taktového intervalu a
4. sestavení periody systematického jízdního řádu.

Velikost taktového intervalu by měla být co nejmenší. Podíl počtu minut v hodině a počtu minut taktového intervalu by mělo být celé číslo. Na druhé straně však musí být velikost dostatečně velká, aby bylo možné vytvořit modely taktového intervalu, které by umožňovaly v rámci systémového jízdního řádu respektovat existující skladbu spojů.

Časové odstupy mezi spoji by měly být rovněž stanovovány vzhledem k následnému požadavku vytvářet vhodné modely taktového intervalu. Jak je zřejmé z vnitřní struktury časových odstupů, lze jejich výslednou velikost ovlivňovat pouze změnou časové zálohy v příslušném sledu. Časová záloha musí respektovat jednak kategorie spojů s jejich prioritami a navíc její změnou se dá v případě potřeby upravovat výsledná hodnota časového odstupu mezi spoji tak, aby bylo možné vytvořit požadované modely taktového intervalu. Časové odstupy se stanovují pro všechny možné, resp. všechny potřebné dvojice spojů.

Model taktového intervalu definuje sled spojů, jehož součet časových odstupů je právě roven velikosti taktového intervalu. Perioda systematického jízdního řádu vznikne spojením dvou nebo více taktových intervalů. Spojování taktových intervalů s různými modely je možné v těch případech, když poslední kategorie spoje předcházejícího modelu odpovídá první kategorii následujícího modelu. Skladba spojů v celé periodě je dána počtem a vnitřní skladbou modelů použitých v jednotlivých taktových intervalech. Samozřejmě je možné (a dokonce žádoucí), aby se taktový interval rovnal přímo periodě systematického jízdního řádu. Čím méně totiž bude potřebných modelů taktových intervalů pro konstrukci periody systematického jízdního řádu, tím větší bude stupeň pravidelnosti jízdního řádu. Samozřejmě že je možný i případ, že perioda systematického jízdního řádu  $T_P$  je přímo rovna taktovému intervalu  $T_{ti}$ .

Systematický jízdní řád je potřebné sestavit tak, aby vyhovoval požadované skladbě spojů. Do jízdního řádu je žádoucí zpracovat všechny možné trasy s tím, že některé mohou být podle potřeby. Využívány mohou být i pro zpožděné spoje. Tím se sice zpravidla zpoždění daného spoje ještě zvětší, ale ostatní spoje nebudou tímto zpožděným ovlivňovány.

Výše uvedeným způsobem sestavený jízdní řád umožňuje vytvoření periodické dopravy u spojů více kategorií, přičemž doba periody může být u různých kategorií různá.

Sestavu systematického jízdního řádu pro daný uzel při existenci více kategorií spojů je možno ukázat na následujícím příkladě pro osobní železniční stanici:

Velikost taktového intervalu  $T_{ti}$  je zvolena na 30 minut. Potřebné časové odstupy pro uvažované dvojice a sledy vlaků jsou následující:

$$i = I + r \quad (13)$$

$$i_{Os,R} = 12,0 + 3,0 = 15,0 \text{ min}$$

$$i_{Sp,Os} = 3,5 + 2,5 = 6,0 \text{ min}$$

$$i_{R,Sp} = 5,0 + 4,0 = 9,0 \text{ min}$$

$$i_{Os,EC} = 22,0 + 2,0 = 24 \text{ min}$$

$$i_{EC,Os} = 2,0 + 4,0 = 6,0 \text{ min}$$

Z časových odstupů lze vytvořit modely  $M_1$  až  $M_4$ :

$M_1$ : Sp-Os-R-Sp	$6 + 15 + 9 = 30$ minut
$M_2$ : Sp-Os-EC	$6 + 24 = 30$ min
$M_3$ : EC-Os-R-Sp	$6 + 15 + 9 = 30$ min
$M_4$ : EC-Os-EC	$6 + 24 = 30$ min

Na základě výše uvedených pravidel ze 4 modelů je možné vytvořit osm různých kombinací modelů:

- |                |                |                |                |
|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1. $M_1 - M_1$ | 3. $M_2 - M_3$ | 5. $M_3 - M_1$ | 7. $M_4 - M_3$ |
| 2. $M_1 - M_2$ | 4. $M_2 - M_4$ | 6. $M_3 - M_2$ | 8. $M_4 - M_4$ |

Za použití kombinací např. ve sledu 3 – 5 – 2 – 4 – 7 – 6 se získá perioda systematického jízdního řádu  $T_P$  o velikosti 180 minut

$$T_P = M_2 + M_3 + M_1 + M_2 + M_4 + M_3 = 180 \text{ minut}$$

Jízdní řád a další informace pro uvedenou osobní stanici, stanovený tímto způsobem, je uvedený v tabulce 2.

Při stručném vyhodnocení tříhodinové periody systematického jízdního řádu lze konstatovat, že tato obsahuje dva vlaky EC v periodě 90 minut, dva rychlíky v periodě 90 minut, dva spěšné vlaky v periodě 90 minut a šest osobních vlaků v periodě 30 minut. Navíc jsou k dispozici další trasa vlaku EC s odjezdem v 11.30, trasa rychlíku v 9.51 a trasa spěšného vlaku v 10.00.

V daném příkladě byl ukázán velmi jednoduchý případ uplatnění systematického jízdního řádu pro osobní stanici a jeden směr na dvojkolejně trati. Avšak železniční síť se ve skutečnosti skládá z mnoha hlavních tratí a množství na ně navazujících dalších tratí, pro které je rovněž třeba vypracovat jízdní řád, který by vyhovoval požadavkům

systematického jízdního řádu, aby jeho přednosti oproti nesystematickému jízdnímu řádu mohly být plně uplatněny.

Tab. 2: Systematický jízdní řád pro osobní stanici s periodou 180 minut

sled vlaků a modelů			časový odstup	odjezd	minuty odjezdů a velikosti period							
					EC		R		Sp		Os	
					odj.	$T_{IEC}$	odj.	$T_{IR}$	odj.	$T_{ISp}$	odj.	$T_{IOs}$
$M_2$	R	$M_3$		08:51		90	51	—				
	Sp		9	09:00					00	—		30
	Os		6	09:06							06	—
$M_1$	EC	$M_3$	24	09:30	30	—						30
	Os		6	09:36				90			36	—
	R		15	09:51			(51)			90		30
$M_4$	Sp		9	10:00					(00)			
	Os		6	10:06		90					06	—
	R		15	10:21			21	—				30
$M_2$	Sp	$M_2$	9	10:30					30	—		
	Os		6	10:36							36	—
	EC		24	11:00	00	—		90				30
$M_4$	Os		6	11:06						90	06	—
	EC	$M_3$	24	11:30	(30)							30
	Os		6	11:36		90					36	—
$M_2$	R		15	11:51			51	—				30
	Sp		9	12:00					00	—		
	Os		6	12:06							06	—
$M_1$	EC	$M_3$	24	12:30	30	—						30
	Os		6	12:36				90			36	—
	R		15	12:51			(51)			90		30
$M_1$	Sp		9	13:00		90			(00)			
	Os		6	13:06							06	—
	R		15	13:21			21	—				

Jedná se o celou řadu poměrně složitých úloh, které je třeba řešit. Posloupnost rozpracování by mohla být například následující:

1. sestava systematického jízdního řádu na dopravní linii,
2. sestava jízdního řádu pro zvolený uzel a úseky do něho zaústěné,
3. postupné rozšiřování počtu uvažovaných uzlů a do nich zaústěných úseků,
4. zpracování systematického jízdního řádu pro celou dopravní síť.

Použití systematického jízdního řádu je jednou z možností racionalizace technologie dopravních procesů. Přitom je možné konstatovat, že na rozdíl od řady dalších opatření, náročných na investice, jako jsou například výstavba a rekonstrukce dopravní cesty, modernizace vozidlového parku, jedná se v tomto případě o provozně organizační opatření, která jsou nenáročná na investiční prostředky.

## 5. Periodická příměstská doprava

Organizace příměstské dopravy je závislá na mnoha faktorech, především však obecně na organizaci dopravy v širším kontextu, rozmístění míst zastavení, hustotě a charakteru osídlení, organizaci ostatních druhů dopravy, na řešení návaznosti na ostatní druhy dopravy resp. dopravní prostředky (osobní auta v systému Park&Ride nebo Kiss&Ride, jízdní kola v systému Bike&Ride apod.). Nejdůležitějším kritériem pro vytvoření nebo optimalizaci organizačního schématu příměstské dopravy jsou proudy cestujících.

Základní druhy organizace příměstské dopravy se dají rozdělit do dvou skupin:

1. provozování příměstské dopravy po společné dopravní cestě s ostatní (zejména silniční) dopravou – jedná se o méně investičně náročnou variantu, kdy sice by měla být příměstská doprava během ranních a odpoledních špiček upřednostňována, ale převládají zde provozní problémy (např. propustná výkonnost tratí) v souvislosti se souběžným provozováním ostatní dopravy (proto i výsledná kvalita a spolehlivost je zákonitě nižší); v příměstské silniční (autobusové) dopravě jde o provoz příměstských spojů po společné silniční síti, v příměstské železniční dopravě o smíšený provoz s ostatními druhy vlaků (u nás se jedná např. o tratě v pražské, brněnské, ostravské, ústecké městské aglomeraci),
2. provozování příměstské dopravy na zvláštní dopravní cestě – jde o investičně velmi nákladnou variantu, která ale umožňuje velmi vysokou propustnost dopravní cesty a možnost dosažení vysoké kvality dopravní obslužnosti (např. u rychlodrah zkrácení period); u příměstské autobusové dopravy se budují segregované jízdní pruhy nebo se zřizují vyhrazené komunikace, v kolejové dopravě jsou naprosto typickým příkladem příměstské rychlodráhy S-Bahn v Německu (v našich podmínkách toto neexistuje, projektovaná je ale například rychlodráha Praha – letiště Ruzyně /- Kladno/).

Základní organizační schéma příměstské dopravy je dáno typem použitého jízdního řádu (grafikonu). V příměstských oblastech se silnou frekvencí cestujících, která se ale s rostoucí vzdáleností od centra města snižuje, se nejčastěji používá pásmový typ jízdního řádu /grafikonu/. Pásmové jízdní řády by měly být uspořádány jako periodické, tedy se opakující po stanovených časových úsecích.

Pásmové jízdní řády se dále dělí na rovnoběžné a nerovnoběžné. *Rovnoběžné* jízdní řády jsou typické tím, že všechny dopravní prostředky ve všech pásmech zastavují ve všech místech zastavení. Zvláštním typem rovnoběžného jízdního řádu je tzv. šachovnicový typ, ve kterém vozidla v každém druhém místě zastavení zastavují, ostatní místa obvykle

projedou. Nejčastěji je vedena vždy dvojice vozidel v těsném sledu se střídavým zastavováním, čímž se docílí jejich vyšší úsekové rychlosti.

*Nerovnoběžné* jízdní řády jsou charakteristické tím, že dopravní prostředky projíždějí pásma bližší centru s tím, že zastavují na každé zastávce nejvzdálenějšího pásma. Tento „klasický“ nerovnoběžný jízdní řád je v některých případech upraven na „nový“, ve kterém kromě zastávek nejvzdálenějšího pásma zastavují spoje ještě ve všech pásmových stanicích, tedy místech, ve kterých začínají nebo končí jednotlivá pásma. Tento „nový“ typ je efektivní v případech, kdy se v pásmových stanicích soustřeďuje alespoň zhruba polovina proudu cestujících a kdy se zde počítá i s přestupními vazbami mezi vozidly jednotlivých pásem.

Pásmový jízdní řád je vhodný zejména při monocentrickém uspořádání příměstské oblasti (jedna rozhodující sídelní jednotka (např. Praha, Brno) pro dopravní plánování), není vhodný při bicentrickém uspořádání (spojení dvou center se zhruba srovnatelným počtem obyvatel (např. Pardubice – Hradec Králové), kdy velikost přepravního proudu mezi těmito městy je přibližně stejná).

Při výběru vhodného typu pásmového periodického jízdního řádu se zohledňuje vedle počtu použitých pásem především to, ve které z vyhodnocovaných variant je celková spotřeba osobových hodin cestujících minimální. Celková spotřeba je tvořena dvěma složkami: spotřebou osobových hodin, vzniklou strávením cestujících při jízdě ve vozidle a spotřebou osobových hodin, vzniklou čekáním cestujících na příjezd vozidla.

V rovnoběžném jízdním řádu dochází k časovým ztrátám při cestách do vzdálenějších pásem během jízdy ve vozidle, které zastavuje ve všech místech zastavení. Naopak tento způsob je výhodnější pro cestující, kteří využívají spoje v prvním pásmu od centra, protože zde mohou použít jakýkoliv spoj a čekání je u nich minimální.

U nerovnoběžného jízdního řádu dochází u delších cest přes několik pásem k projíždění zastávek, čímž se doba strávená ve vozidle zkracuje, zkracuje se i doba potřebná na obrát souprav a tím klesá nárok na jejich počet. Naopak cestující v rámci prvního pásma mají menší nabídku spojů a tím dochází ke značnému nárůstu čekání na dopravní prostředek.

Výpočet spotřeby osobových hodin v jednotlivých variantách uspořádání jízdních řádů je účelné provádět v ranních nebo odpoledních přepravních špičkách. V tomto případě musí odpovídat špičkovému období i počty cestujících v jednotlivých pásmech a velikosti period v pásmech příměstské dopravy. Výběr vhodného typu jízdního řádu, jak je již výše uvedeno, musí vzít v potaz kritérium minimalizace celkové spotřeby osobových hodin. Při určování počtu pásem, tzn. výběru odlišného počtu pásmových stanic v jednotlivých variantách, se přihlédne k následujícím bodům:

- rozdělení přepravních proudů cestujících na příměstském úseku a zejména k jejich zlomům,
- celková spotřeba osobových hodin,
- celkové požadavky na vozidlový park a jeho využití,

- výše provozních nákladů,
- nároky na nutné investice.

Pro shrnutí lze uvést, že problematika výběru varianty jízdního řádu včetně určení počtu pásmových stanic nemůže být položena jednostranně na pohledu cestujících, poněvadž jednotlivé kroky řešení také nesmí být v protikladu s provozními a ekonomickými podmínkami.

První kroky související se zaváděním periodické dopravy u nás byly učiněny roku 1983 na železniční trati Praha – Kolín. V zahraničí, především Německu, dále potom Nizozemí, Švýcarsku, Rakousku a podobně, se využívaly periodické jízdní řády na „klasických“ železničních tratích již dříve než tomu bylo u nás, navíc je zejména pro uvedené státy typické využití periodických jízdních řádů na segregovaných tratích pro příměstské rychlodráhy S-Bahn.

Periodické jízdní řády, které nejsou uspořádány do sítí v rámci regionu, ale pouze tzv. liniově v městské aglomeraci, jako to bylo popsáno výše v textu, musí kromě již uvedených kritérií pro pásmové jízdní řády (silné přepravní proudy /zde i pro bicentrické uspořádání/, dostatečná propustná výkonnost apod.) splňovat tyto body:

- použití jednotného vozidlového parku se srovnatelnými dopravně-přepravními charakteristikami,
- určené uzly na přestup cestujících (například situace, kdy na kmenový dopravní prostředek /vlak, rychlodráhu/ navazuje doplňkový /např. autobus/),
- příchod cestujících výhradně před odjezdem vozidla z místa zastavení s cestujícím subjektivně zvolenou časovou rezervou (k nepřetržitému příchodu cestujících na zastávku by docházelo při periodě menší nebo rovné 10 minut),
- pravidelně se opakující provozně-technologické operace v souvislosti se zabezpečením jízdy dopravního prostředku,
- efektivnější využití vozidlového parku,
- snadná zapamatovatelnost časů odjezdů spojů apod.

## **6. Systematický nákrešný jízdní řád v podmínkách smíšeného provozu na vysokorychlostních železničních tratích**

Rozpracování teoretických postupů sestavy nákrešného jízdního řádu v tomto případě není samoučelné. Na důležitosti nabývá v souvislosti s rekonstrukcí stávajících tratí na tratě pro rychlou železniční dopravu a v ČR s uvažovanou výstavbou nových, zejména vysokorychlostních tratí (VRT). Výstavba VRT není zdaleka jen záležitostí technickou (stavba trati, konstrukce vozidel, sdělovací a zabezpečovací techniky), jak se dosti široký okruh veřejnosti a často i někteří odborníci domnívají, ale podstatnou mírou i záležitostí provozně organizační.

V první řadě je třeba rozhodnout o charakteru provozu na nově navrhované trati. Ideálním případem z hlediska provozního ale i stavebního by bylo, kdyby se jednalo o provoz vlaků jedné kategorie se stejným průběhem jízdy, tedy o segregovaný provoz na VRT. Příkladem pro tratě tohoto druhu mohou být např. LGV (Ligne à Grande Vitesse) ve Francii nebo Shinkansen (新幹線) v Japonsku. Trasovací a stavební parametry mohou být v případě segregovaného provozu lépe přizpůsobeny této jedné kategorii vlaků než v případě smíšeného provozu. Týká se to zejména velikosti maximálního stoupání, velikosti poloměrů oblouků a převýšení v obloucích, nápravových tlaků, apod. Z pohledu konstrukce se jedná o nákresný jízdní řád rovnoběžný, který je podstatně jednodušší, než je tomu v podmínkách nákresného jízdního řádu nerovnoběžného (komerčního).

Ne vždy, a v ČR zejména, však neexistují dostatečně silné proudy cestujících, jako je tomu v případě LGV a Shinkansenu. Potom je třeba přistoupit k budování již zmiňovaných tratí se smíšeným provozem. Vnitřní podmínky i poloha ČR vytvářejí předpoklady pro smíšený provoz na navrhované síti rychlé a vysokorychlostní železniční dopravy.

Další z otázek, kterou je třeba řešit ještě před zahájením rekonstrukce stávající trati na rychlý provoz nebo projektováním a výstavbou nové vysokorychlostní trati, je koncepce nákresného jízdního řádu, neboť teprve studie nákresného jízdního řádu odvozeného z předpokládaných přepravních požadavků vymezí nároky na polohy dopraven a na technické vybavení trati.

Dle zkušeností z provozu by měl být nákresný jízdní řád na VRT navržen aspoň pro dvoukolejnou trať a měl by mj. splňovat následující požadavky:

- zajistit rychlou osobní dopravu v požadovaných denních obdobích,
- zajistit rychlou nákladní dopravu při minimálních prostojích v mezilehlých dopravních pro předjíždění vlaky osobní dopravy,
- zajistit požadovaný prostor pro údržbu tratě a ostatních stabilních technických zařízení.

Prvotní představy o koncepci nákresného jízdního řádu vždy směřují ke smíšenému provozu s časově odděleným provozem osobní a nákladní dopravy (v denní době jen osobní doprava, v noční době jen nákladní). Komerční hlediska však vytvářejí tlak na trasování rychlých nákladních vlaků i v denní době mezi vlaky rychlé osobní dopravy, takže je potřebné sladit požadavky osobní i nákladní dopravy a nároky údržby. Navíc je potřebné hledat takové řešení, aby trasy vlaků nákladní dopravy ve dne nerušily trasy vlaků rychlé osobní dopravy a naopak, aby se neztratil charakter rychlé nákladní dopravy.

Řešení lze nalézt ve vytváření tzv. koridorů v nákresných jízdních řádech pro trasy rychlé nákladní dopravy, opakujících se v pevné periodě odvozené od periody vlaků osobní dopravy. Nemusí se však jednat o periodickou nákladní dopravu, kdy určené relace mají trasy vedené v určené periodě, nýbrž o periodu tras použitelných pro libovolné relace. Lze tak hovořit o kvazi systematickém nákresném jízdním řádu, když od periody vlaků nejvyšší kategorie (např. vlaků SuperCity, EuroCity nebo InterCity) se odvodí mezi trasami těchto



vlaků výše uvedené koridory pro vlaky nižších kategorií, opakující se rovněž v pravidelných periodách.

Koridory mohou být používány pro vlaky různých kategorií a relací. Předpokladem jejich efektivního využívání jsou pokud možno malé rozdíly v rychlostech vlaků nižších kategorií. V tom případě totiž může být ve volných koridorech převezen větší počet těchto vlaků. Teoreticky je možné vytvářet koridory i pro více kategorií vlaků.

Z koncepce nákrešných jízdních řádů je možné v návaznosti odvozovat požadavky na umístění a kolejové kapacity dopraven. Tak např. výhybny pro předjíždění vlaků by měly mít dostatečné kolejové vybavení, aby umožňovaly předjíždění svazku vlaků, tzn. nejméně dvě předjízdne koleje pro každý směr. Výhybny jen s jednou předjízdnou kolejí pro každý směr neumožňují předjíždění svazku, a proto by musela být nákladní doprava omezena, nebo by muselo být více výhyben.

Jedním z předpokladů bezporuchového provozu VRT je jejich bezvadný technický stav. Pro udržování technického stavu tratí a ostatních stabilních technických zařízení je proto zapotřebí vytvořit v nákrešném jízdním řádu podmínky odpovídající požadavkům udržovacích služeb. Časově nejnáročnější jsou práce spojené s údržbou kolejí a výhybek, přičemž by měly být prováděny např. v následujícím rozsahu:

- běžné odstraňování závad zjištěných kontrolní činností několik hodin (aspoň 2) denně,
- souvislé rozsáhlejší údržby kolejí několikrát ročně tempem cca 5 km v šestihodinových výlukách,
- rozsáhlejší údržby výhybek a zhlaví – několikrát (aspoň dvakrát) ročně každou výhybku na hlavních kolejích,
- čištění kolejového lože jednou za 15 let.

V nákrešném jízdním řádu bude třeba vytvořit prostor pro dvouhodinovou výluku, která by se měla konat denně. Předpokládá se, že udržovací práce budou vykonávány mechanizačními prostředky na vyloučené koleji při zachování provozu sníženou rychlostí (cca 100 km/h) na vedlejší koleji. V období výluk je tedy nutno na dílčích úsecích dvojkolejných VRT konstruovat jednokolejný nákrešný jízdní řád.

Pro zmenšení nepříznivého vlivu na rychlou dopravu mohou být poměrně velké vzdálenosti mezi jednotlivými výhybnami a stanicemi děleny kolejovými spojkami, které umožní přejezd z jedné traťové koleje na druhou. Této skutečnosti lze využít pro sestavu výkonnějšího nákrešného jízdního řádu v období výluk (jednokolejný nákrešný jízdní řád s dvoukolejnými vložkami).

Velký rozdíl mezi stanovenou rychlostí vlaků osobní dopravy v období bez rušení výlukou a sníženou rychlostí 100 km/h při jednokolejném provozu v době výluk se projeví v nezanedbatelném prodloužení jízdní doby, které nelze vyrovnávat přírážkami v rámci pravidelné jízdní doby. Pro tato prodloužení jízdních dob bude nutno vytvořit vyrovnávací rezervy v době pobytů vlaků osobní dopravy ve stanicích s pravidelným pobytem a nákrešný jízdní řád sestavovat tak, aby vlaky osobní dopravy se v těchto stanicích křižovaly.

Rychlé nákladní vlaky pak budou křížovat nebo budou předjížděny v mezilehlých výhybnách. Udržovací práce na ostatních stabilních zařízeních VRT (trakční vedení, zabezpečovací zařízení, atd.) budou vykonávány v dobách výluk na údržbu kolejí. V nákresném jízdním řádu je samozřejmě nutno pamatovat též na jízdy kontrolních a měřících vozidel.

Otázkou je, zda by nebylo vhodné provádět výluky v noci, kdy se nepředpokládá jízda rychlých vlaků osobní dopravy, takže případná prodloužení jízdních dob rychlých nákladních vlaků při jízdě na dočasně jednokolejných úsecích trati se sníženou rychlostí v době výluk by mohla být vyrovnávána přírážkami v rámci pravidelných jízdních dob.

Zásady a požadavky na způsob organizace dopravy na VRT se smíšeným provozem v pravidelném provozu i v době výluk, stanovené pro údržbu trati, mohou být úspěšně realizovány jen za předpokladu, že bude udržován bezvadný technický stav trati a vozidel, dodržována technologie provozu a uplatňováno deterministické pojetí dopravního provozu a nákresného jízdního řádu. To je další důvod pro podrobnější rozpracování a zkoumání možnosti systematického nákresného jízdního řádu.

Je třeba si uvědomit, že v praxi realizovaný nákresný jízdní řád na tratích se smíšeným provozem se bude vždy do určité míry vyznačovat jistým stupněm nesystematičnosti. Konkrétní nákresný jízdní řád pro danou trať navíc musí vždy respektovat částečně místní podmínky. Systematický jízdní řád bude i v budoucnu nabývat stále více na významu.

## 7. Integrované taktové jízdní řády

Se zvyšující se konkurencí v osobní dopravě je třeba hledat cesty pro zvyšování atraktivity hromadné dopravy. Vedle řady jiných možností k tomu může přispět i systematický jízdní řád. Dalším, kvalitativně vyšším stupněm, může být integrovaný jízdní řád. Ten je založen na důsledném zkoordinování všech, na veřejné dopravě se podílejících dopravních systémů, cestou spolupráce různých druhů dopravy, za využívání jejich systémových předností.

K důležitým ukazatelům, které ve značné míře na atraktivitu dopravního procesu v kladném směru působí, je výsledná cestovní doba. Její maximální zkrácení se může docílit optimálním zkoordinováním všech na veřejné dopravě se podílejících dopravních subsystémů. Spolupráci tohoto druhu představuje integrovaná nabídka:

- železniční osobní dopravy dálkového, regionálního nebo příměstského charakteru,
- veřejné linkové autobusové dopravy dálkového, regionálního nebo příměstského charakteru,
- jednotlivých subsystémů městské hromadné dopravy (městské autobusy, trolejbusy, tramvaje, kolejové rychlodráhy, lodní přivozy, nekonvenční doprava, atd.),
- vybraných subsystémů individuální dopravy včetně systémů Park&Ride a Kiss&Ride.

Výraz integrovaná zde znamená, že jízdní řády, jízdní doby a přestupní časy jsou navzájem sladěny, s cílem dosáhnout minimální cestovní dobu ode dveří ke dveřím.

Vrcholem této integrace je Integrovaný taktový jízdní řád (ITJŘ), což je překlad z německého odborného termínu „Integraler Taktfahrplan“, resp. „Integrierter Taktfahrplan“. Realizací ITJŘ se veřejné dopravě nabízí možnost s přiměřenými náklady získat provázanost i s méně osídleným územím. V celoplošném pokrytí území, v přehlednosti a snadné zapamatovatelnosti pro cestující spočívají hlavní přednosti ITJŘ.

### **7.1 Definice vlastností ITJŘ**

Nadstavbou běžné linkové periodické dopravy je tzv. Integrovaný taktový jízdní řád (ITJŘ), kde je kromě pravidelně se opakující liniové formy sledována síťová provázanost a minimalizace přestupních dob ve vybraných místech setkávání jednotlivých linek, provozovaných v dané periodě. Cílem tohoto síťového efektu je minimalizace celkové přepravní doby cestujícího z místa A do místa B. Tato forma obslužnosti je nejnáročnější na preciznost plánování a na požadavky z hlediska okrajových podmínek. Zásadní požadavek je na velikost tzv. hranového času mezi dvěma periodickými uzly, kde je předpokládána oboustranná přestupní vazba. Dosažení tohoto hranového času lze realizovat kombinací opatření týkajících se úprav infrastruktury, pořízením odpovídajících vozidel a v neposlední řadě realizací nabídky spojů (jízdní řád). Toto vše se následně promítá do nákladů celého systému. Realizace potřebných opatření je dále záležitostí určitého období, které je tím delší, čím větší požadavky na daný typ okrajové podmínky jsou (týká se to především infrastruktury).

Základní osnovu ITJŘ tvoří periodický (většinou taktový) jízdní řád nadřazené železniční síti. Optimální přestupové možnosti jsou dány, když se všechny vlaky (příp. autobusy) sjíždějí ke stejnému časovému údobí do přestupních uzlů (většinou je to přestupní železniční stanice). K tomuto údobí je potřebné obsluhovat tento přestupní bod dalšími doplňkovými dopravními prostředky (příměstské autobusy, MHD). Tak je možné s minimálními náklady z celé plochy atrakčního obvodu přepravovat cestující do přestupních uzlů či mezilehlých stanic. Za stanovený relativně krátký čas se aplikuje analogickým způsobem i přeprava cestujících v opačném směru (rozvoz).

Tímto způsobem se vytvoří pro přestupní uzel v rámci atrakčního obvodu schéma jízdy spojů, které je označováno jako tzv. přestupní pavouk. Každý takový přestupní pavouk má svou časovou osu, která reprezentuje časový úsek pro uskutečnění přestupů v daném přestupním uzlu. Časová osa určuje tzv. hranový čas. Situace znázorněná přestupními pavouky se pravidelně opakuje vždy po uplynutí jedné periody.

Spoje opačných směrů na dané lince se setkávají (příp. u vlaků křižují) díky symetrii jízdního řádu v časových odstupech rovných polovině periody. Leží-li tedy přestupní uzel v časovém odstupu celočíselného násobku poloviny periody, uskutečňuje se setkávání spojů (resp. křižování vlaků) opačného směru právě v těchto přestupních uzlech.

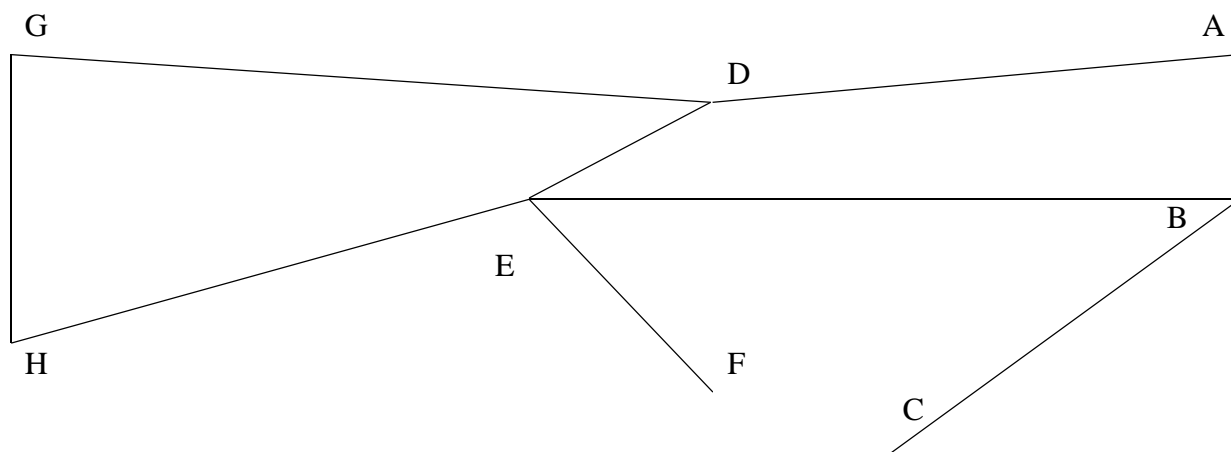
Časový odstup mezi osami symetrie přestupních pavouků dvou sousedních přestupních uzlů se nazývá hranový čas. Pro jednohodinovou periodu vychází tedy hranové časy 30, 60, 90 ... minut.

V dané dopravní síti systematizované výše uvedeným způsobem je možné dospět z každého bodu do každého libovolného bodu bez větších časových ztrát vznikajících z titulu čekání na přípoje. Tato možnost musí být dána i pro tzv. okružní jízdu zpět k výchozímu bodu tak, aby končila v ose symetrie přestupního pavouka. Z toho vyplývá, že doba potřebná pro okružní jízdu se rovná celočíselnému násobku periody.

Z uvedených zákonitostí vyplývá, že podmínky jízdního řádu tohoto druhu vyžadují zcela podmíněné jízdní doby mezi uzly, není proto třeba vycházet ze snahy o maximální hodnoty traťových rychlostí, protože potřebné cestovní a s nimi související traťové rychlosti jsou dány na systému závislými jízdními dobami.

Pomocí tímto způsobem systematizovaného jízdního řádu se zejména železniční doprava vlastně stává integrujícím jádrem celého integrovaného systematického jízdního řádu. Není zpravidla nutné, aby doplňkové subsystemy veřejné dopravy (regionální autobusy, ostatní železniční tratě, MHD) byly do systému ITJŘ pojaty hned od zkušební nebo první realizační fáze, brání-li k tomu nějaký důvod. Snadno mohou být totiž podle výše uvedených hledisek integrovány do systému později, po odstranění případných počátečních problémů.

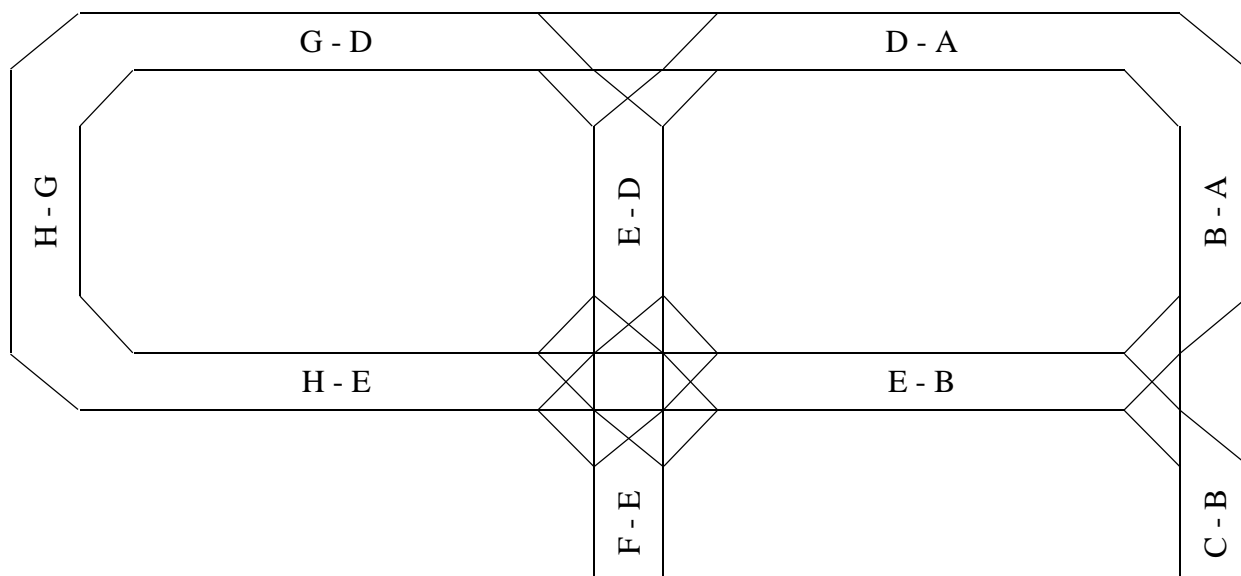
## 7.2 Znázornění závislostí pomocí teorie grafů



Obr. 6: Graf dopravní sítě

Na obrázku 6 je znázorněna jednoduchá dopravní síť. Uzly a jednotlivé úseky (hrany) jsou znázorněny běžně používaným způsobem. Pro účely praxe blízkému znázornění vlastností periodického dopravního systému lze definovat tzv. dopravní řetězový graf (viz obrázek 7). Na rozdíl od způsobu zobrazení uvedeného na obrázku 6, uzly grafu zde představují úseky od „periodického“ uzlu k „periodickému“ uzlu, hrany znázorňují všechny

přestupové možnosti v těchto uzlech. Tímto způsobem se dají přehledně a jednoznačně znázornit možnosti, které systém nabízí uživatelům.



Obr. 7: Dopravní řetězový graf (zde pravostranný provoz)

Kružnice (okružní jízdy) hrají v tomto případě u ITJŘ důležitou roli. Všechny kružnice daného grafu mohou být určeny pomocí matice sousednosti (tedy počet hran mezi uzly), matice cest a s nimi souvisejících algoritmů běžně používaných v teorii grafů. Časové závislosti v dané kružnici jsou matematicky jednoznačně popsitelné:

$$\sum_{e_j \in k_i} (t_{istj} - \Delta t_j) - n \cdot T = 0 \quad (14)$$

kde:

$X_T$  dopravní řetězový graf,

$e_j$  hrana  $j$  dopravního řetězového grafu  $X_T$ ,

$k_i$  kružnice  $i$  dopravního řetězového grafu  $X_T$ ,

$t_{istj}$  ohodnocení uzlu  $v_i$  pomocí skutečné hranové doby,

$\Delta t_j$  ohodnocení hrany  $e_j$  pomocí neznámého požadovaného zkrácení jízdní doby,

$n$  přirozené číslo,

$T$  místně požadovaná perioda.

Pro množinu všech v dopravním systému se vyskytujících kružnic potom platí

$$\sum_{j=1}^{V_{X_T}} (c_{j,k} \cdot t_{istj}) - \sum_{j=1}^{E_{X_T}} (c_{j,k} \cdot \Delta t_j) - n \cdot T = 0 \quad (15)$$

kde:

$V_{X_T}$  počet všech uzlů  $v_i$  v  $X_T$ ,

$E_{X_T}$  počet všech hran  $e_i$  v  $X_T$ ,

$c_{j,k}$  bivalentní proměnná:

$c_{j,k} = 1$ , když hrana  $e_j$  je částí kružnice  $k$ , nebo když uzel  $v_j$  je částí kruhu  $k$ ,

$c_{j,k} = 0$  v ostatních případech.

Elementy  $c_{j,k}$  jsou ale elementy matice  $C$  dopravního řetězového grafu určitelné pomocí standardních algoritmů,  $t_{istj}$  a  $T$  jsou známé;  $\Delta t_j$  a  $n$  představují neznámé systému, přičemž  $n$  může nabývat libovolné celočíselné hodnoty, pokud  $t_j$  se nachází ve stanovených hranicích.

Druhou charakteristickou zvláštností tvoří systematika hranových časů. Minimálně ve všech přestupních uzlech, které představují integrující spojovací článek k sousedním podřazeným systémům, se musí uskutečnit setkávání spojů daných linek. Hranové časy musí proto odpovídat vztahu

$$t_{istj} - t_j - (n \cdot T)/2 = 0 \quad (16)$$

Množina těchto vztahů všech hran dopravního řetězového grafu je zjistitelná pomocí výpočetního algoritmu z tzv. přestupové matice zvlášť pro tento účel vytvořené z matice sousednosti.

Vhodným kódováním v přestupové matici se dají vedle přestupních uzlů zohlednit i stanice koncové, resp. nácestné, bez setkávání spojů. Dále je možné odvodit rovnice (16), které mohou popisovat stavy, které se vyskytují v přestupních uzlech, ve kterých jsou nabízeny jen určité přestupové relace. Kódováním mohou být při výpočtu zohledněny všechny v praxi se vyskytující druhy nabídky.

Systémy rovnic (14) – (16) spolu se stanovením horních a dolních hranic, představují okrajové podmínky daného ITJŘ.

### 7.3 Optimalizace

Řešením výše uvedených systémů rovnic (14) – (16) je možné nalézt všechny funkční řešení ITJŘ. V praxi je důležité zpravidla jen jedno, resp. menší počet vzájemně zastupitelných řešení a to takových, která vyhovují požadovaným kritériím. Těchto kritérií může být celá řada a často si mohou navzájem odporovat. V dopravě je typické, že výsledné řešení je téměř vždy kompromisem mezi nejrůznějšími požadavky. Jedno z možných kritérií pro výběr výsledné varianty ITJŘ je minimalizace potřebných realizačních nákladů. Toto kritérium je bráno v tomto případě za základ hodnocení při výběru výsledných variant.

Proměnné systému omezení (restrikcí) a rovněž cílového kritéria jsou potřebná zkrácení jízdních dob na traťovém úseku. Protože se ale nedá vytvořit žádný všeobecně platný způsob pro určování velikosti nákladů potřebných pro zkrácení jízdní doby na úseku o danou časovou jednotku, např. o jednu minutu, je možné použít postup založený na logických proměnných.

Vzájemné závislosti mezi pomocnými proměnnými  $x_{j,m}$ , možnými redukcemi jízdních dob  $r_{j,m}$ , vznikajícími realizací opatření  $m$  na hraně  $j$  a redukcemi jízdních dob  $e_{j,m}$ , které jsou potřebné na hraně  $j$  pro splnění jízdním řádem (ITJŘ) požadovaných okrajových podmínek,

je možné matematicky jednoznačně formulovat tak, že platí: je-li omezení vyplývajícími ze vztahů (14) – (16) pro ITJR požadováno zkrácení jízdní doby  $t_j$  na daném traťovém úseku  $j$ , tak budou tak dlouho navrhována opatření  $m$ , až suma jimi umožněných redukcí jízdních dob  $r_{j,m}$  bude větší nebo rovna sumě požadovaných zkrácení jízdních dob  $e_{j,m}$ , která odpovídá požadovanému zkrácení jízdní doby  $t_j$ .

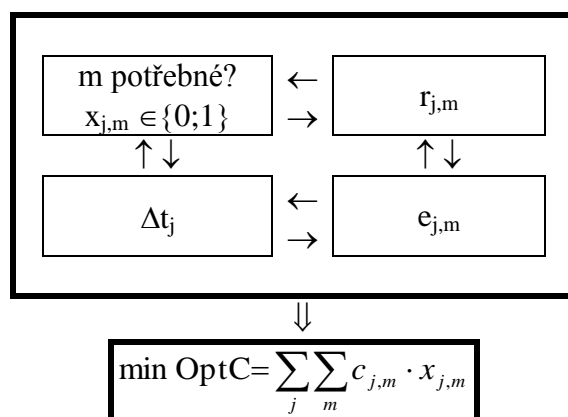
S pomocí realizačních nákladů pro opatření  $m$  na traťovém úseku  $j$  (tedy  $c_{j,m}$ ) lze sestavit cílovou optimalizační funkci (viz obrázek 8):

$$\min \text{OptC} = \sum_j \sum_m c_{j,m} \cdot x_{j,m} \quad (17)$$

Podle tohoto kritéria musí být při řešení optimalizační úlohy důsledně volena ta opatření  $m$ , která na úseku  $j$  vyžadují pro dosažení potřebných redukcí jízdních dob  $t_j$  nejmenší investiční náklady.

Jako shrnutí výše uvedených informací platí toto:

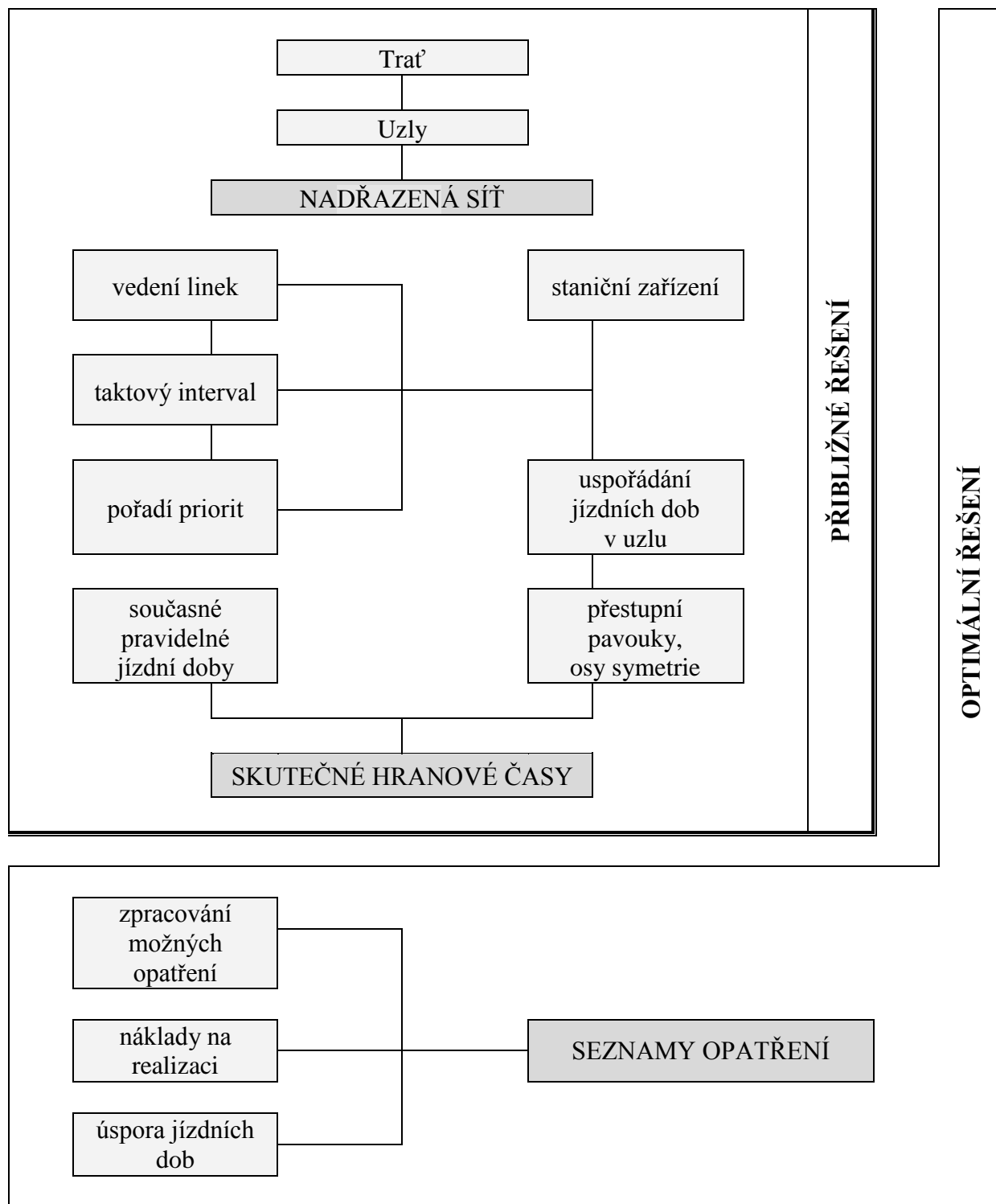
- $m$  opatření,
- $x_{j,m}$  bivalentní/booleovská pomocná proměnná,
- $c_{j,m}$  realizační náklady na opatření  $m$  na úseku  $j$ ,
- $r_{j,m}$  možná zkrácení jízdních dob pomocí opatření  $m$  na hraně  $j$ ,
- $e_{j,m}$  zkrácení jízdních dob pomocí opatření  $m$  na hraně  $j$ , potřebná pro splnění okrajových podmínek daných jízdním řádem,
- $\Delta t_j$  suma krácení jízdních dob na hraně  $j$ , která jsou potřebná pro realizaci požadovaných plánovaných hranových časů.



Obr. 8: Závislost realizačních nákladů na redukci jízdních dob

### 7.3.1 Vstupní podklady

Aby mohl být realizován naznačený postup, je nejdříve třeba zabezpečit tři skupiny vstupních dat (viz obrázek 9).



Obr. 9: Vstupní podklady

1. Musí být definována síť tratí a uzlů.
2. Musí být stanoveno vedení jednotlivých linek sítě spojů jedoucích v periodě a rovněž velikost periody. Po definici pořadí priorit linek mohou být zpracovány další náležitosti (např. u železniční dopravy to jsou grafikony provozních procesů stanic, plány obsazení kolejí apod.) při zohlednění místních poměrů. Následuje konstrukce přestupních pavouků



pro atrakční obvody přestupních uzlů. Jsou-li známy přestupní pavouky a osy symetrie sousedních uzlů, je tím dána jejich časová vzdálenost, odvozená od momentálně platných pravidelných jízdních dob – skutečný hranový čas.

S dosud uvedenými dvěma skupinami vstupních dat je možno zjišťovat přibližná řešení. Jako cílová funkce zde může být použita jednoduchá minimalizace potřebných zkrácení jízdních dob.

3. Poslední ze tří skupin vstupních dat tvoří pokud možno obsáhlý seznam možných opatření ke zkrácení jízdních dob podle jednotlivých úseků. Ta mohou být nejrozumnějšího charakteru, od provozně-organizačního až po nákladná investiční. Pro každé jednotlivé opatření musí být zároveň vyčísleny realizační náklady a uvedena odpovídající zkrácení jízdních dob, dosažitelná jejich realizací.

### 7.3.2 Celkový algoritmus

Celkový algoritmus výběru varianty ITJR je znázorněn na obrázku 10. V první fázi se sestavuje, mění a v určitých mezích ovlivňuje výběr vhodných opatření. V druhé fázi naznačeného postupu následuje konstrukce periodického jízdního řádu.

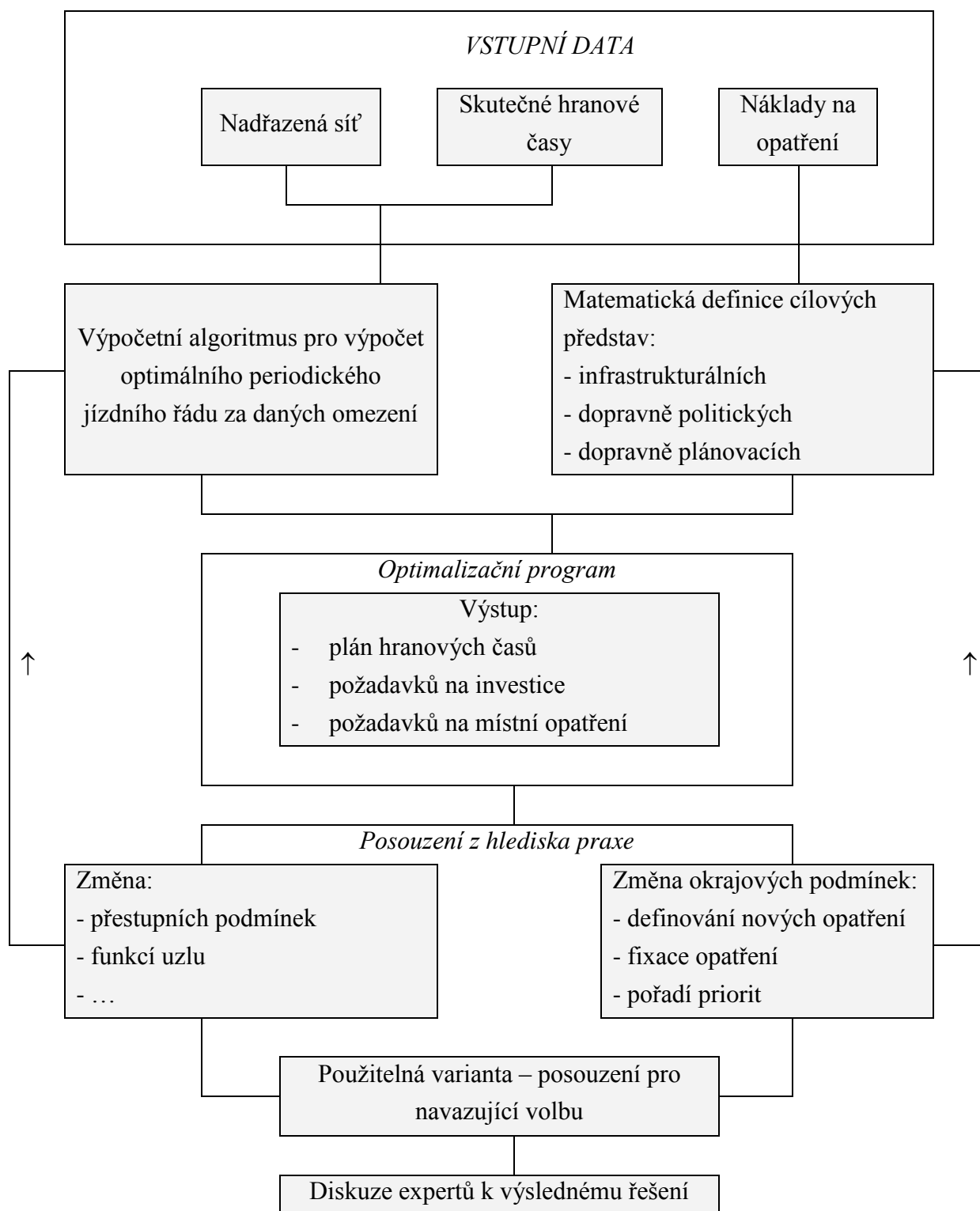
Ve třetí fázi jsou nejprve voleny ty stavební úseky:

- ve kterých je možné zkrácení jízdních dob, potřebné pro sestavu „maximálního periodického jízdního řádu“ (tzn. takového, ve kterém jsou všechny uzly definovány jako uzly přestupní)
- a které současně vyžadují nejmenší sumární náklady potřebné pro realizaci vytýčeného cíle.

Jsou-li celkové investiční náklady potřebné pro realizaci jízdního řádu posouzeny jako příliš vysoké, není-li nalezeno žádné celočíselné řešení, nebo není-li výsledek z nějakých jiných důvodů příznivý, může být od přísného požadavku možnosti přestupů ve všech uzlech sítě periodického jízdního řádu upuštěno. Ve kterých uzlech se tak stane, rozhodne zpracovatel individuálně na základě kvalifikovaného odhadu, za současného zohlednění plánovacích, dopravně-politických či jiných vhodných kritérií.

Ve čtvrté fázi výpočtu je potřebné tyto změny okrajových podmínek vyhodnotit a zohlednit jejich dopad na sestavu jízdního řádu ve druhé fázi řešení.

Opravený periodický jízdní řád musí být znovu prověřen ve třetí a čtvrté fázi výpočtu. Tento postup se opakuje tak dlouho, až je nalezen potřebný počet možných řešení. Tato musí být posouzena experty a na základě jejich vyjádření provedeno rozhodnutí o výběru výsledné varianty.



Obr. 10: Algoritmus výběru výsledné varianty ITJR

V této fázi by měly být zohledněny všechny skutečnosti, které nebyly uvažovány v předcházejících krocích. Měly by to být ekonomicky vyčíslitelné:

- spotřeba cestovního času celková nebo na vybraných důležitých úsecích,
- vývoj příjmů,

- doba realizace,
- provozní náklady,
- přístupnost stavebních míst;

ale i prakticky ekonomicky zatím těžko zohlednitelné:

- vliv na životní prostředí,
- všeobecné, dopravně-politické cíle,
- proveditelnost, apod.

### 7.3.3 Možnosti využití

Naznačený způsob organizace plošné dopravní obslužnosti uvažované oblasti vyžaduje zpracování pomocí příslušného software. Ruční řešení, zvláště pro rozsáhlejší síť, by bylo neschůdné.

Hlavním cílem při využití výpočetní techniky je propočet všech funkčních řešení, při respektování omezujících podmínek daného ITJŘ. Jedná se totiž o algoritmus, který výběr všech možných řešení provádí nezávisle na subjektivním hodnocení zpracovatelů a umožňuje nalézt fungující provázání veřejné dopravy v periodě.

Výběr výsledné varianty může být prováděn již jen na základě zvolených dalších kritérií, která jsou už více nebo méně zatížena subjektivním hodnocením zpracovatelů.

Nejjednodušším způsobem výběru výsledné varianty, který umožňuje vybrat určité řešení, je způsob založený na minimalizaci potřebných zkrácení jízdních dob oproti současnému stavu. Ten ale nedovoluje zohlednění různých nákladů potřebných na zkrácení jízdních dob, protože tyto mohou být na různých úsecích odlišné.

Poměrně vhodný způsob výběru výsledné varianty, založený na zvážení jízdních dob pomocí investic potřebných pro jejich uskutečnění a vyčíslení minimálních realizačních nákladů, byl popsán výše a znázorněn na obrázku 8.

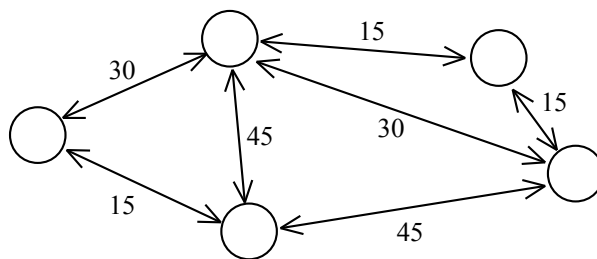
Samozřejmě mohou být vzata v úvahu jiná kritéria, pro zpracování pomocí software je však potřebné je matematicky jednoznačně formulovat. Mohla by to být v budoucnu i všechna kritéria, která byla navržena v závěru předcházející části na hodnocení experty – specialisty.

Zavádění integrovaných systémů jízdních řádů lze chápat jako alternativní cestu ke zvyšování výsledné cestovní rychlosti zákazníků dopravců při cestách ode dveří ke dveřím. ITJŘ může být účelně realizován jen za určitých dopravně-politických, demografických a geografických podmínek. Za jiných předpokladů a zadání úlohy může vést k cíli i princip založený na maximalizaci traťových a technických rychlostí – tedy na vytváření rychlé linkové/liniové dopravy pro spojení větších sídelních aglomerací. Bezesporu je však organizace veřejné dopravy ve formě ITJŘ za vhodných podmínek nejúčinnější, nákladově nejprůběžnější a pro cestující nejatraktivnější formou plošné nabídky.

#### 7.4 Zákonitosti a nutné podmínky pro realizaci periodického a integrovaného taktového jízdního řádu

Pravidelně opakující se procesy v rámci systematického jízdního řádu umožňují jejich vyjádření pomocí matematických rovnic. V opačném gardu je splnění určitých matematických předpokladů nutnou podmínkou realizace periodického jízdního řádu (PJŘ) a ITJŘ. Jedná se jednak o zajištění vlastního provozu v daném periodickém rastru a jednak o dosažení potřebných přestupních vazeb v rámci periodických uzlů. Okrajové podmínky se týkají závislostí mezi osou symetrie, hranovým časem a vlastní velikostí periody (taktového intervalu). Podmínky mají dva stupně. První se vztahuje k symetrickému PJŘ a druhý k ITJŘ.

Při konstrukci a modelování ITJŘ na takovéto síti se nabízí možnost uplatnění teorie grafů. Síť je tvořena uzly a hranami, kde uzly odpovídají spojovacím (přestupním) uzlům a hrany úsekům mezi uzly. Každá hrana se ohodnocuje časem, který odpovídá době na přemístění mezi uzly a tento celkový „hranový“ čas (viz obrázek 12) se skládá z jízdních dob, pobytů a přírážek.

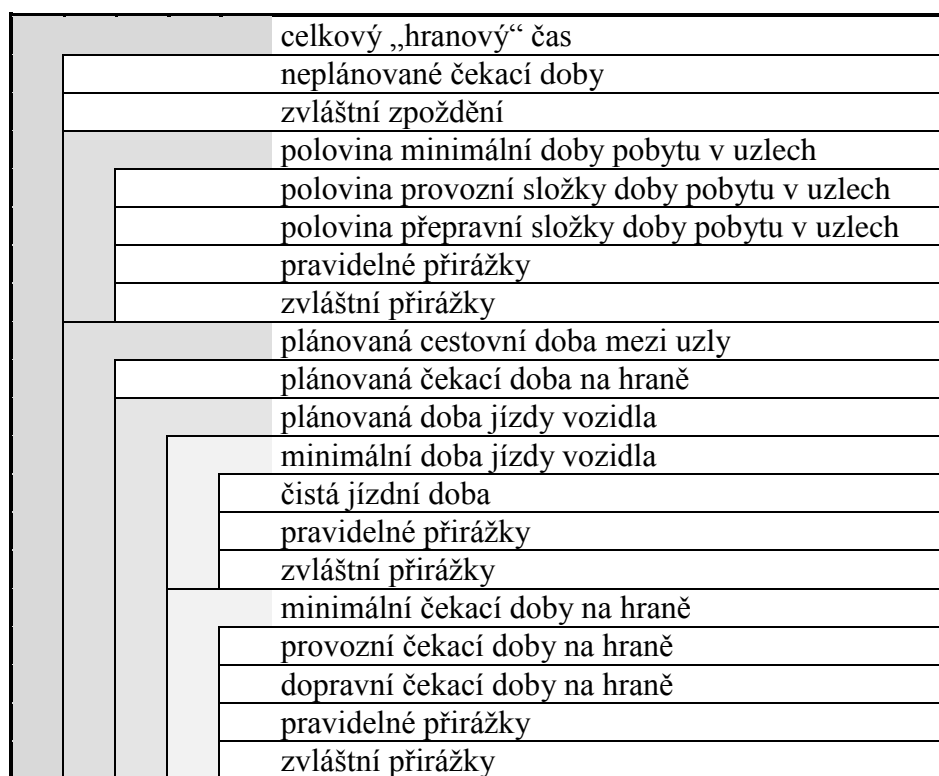


Obr. 11: Grafický model sítě s časově ohodnocenými hranami

Na hraně mohou ležet nácestné stanice. Součet jízdních dob mezi místy zastavení a uzly dává dobu jízdy na hraně. Doba jízdy musí být spočítána s přihlédnutím na dynamiku jízdy. Kromě přípustné nejvyšší rychlosti se musí přihlížet také k podmínkám zrychlení a zpomalení vozidla.

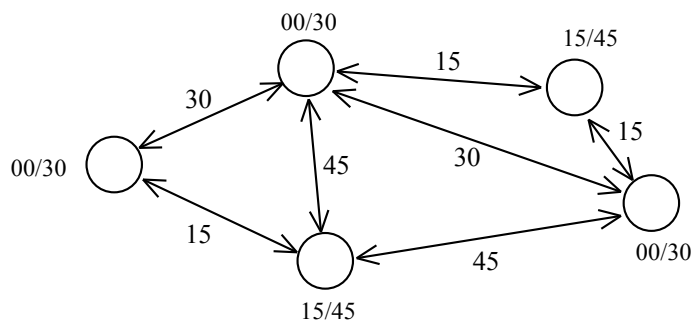
Doby pobytu se skládají z přepravních a dopravně provozních složek, kdy přepravní složka je doba nutná k obratu cestujících (složena z časů na výstup a nástup) a provozní složka se skládá z dílčích časů od zastavení vozidla až po okamžik otevření dveří a krátký časový interval od ukončení přepravní složky do rozjezdu vozidla (čas na uzavření dveří, čas na výpravu, jakož i zvláštní provozně podmíněné zdržení – např. čekání na rozsvícení světelných nebo jiných návěstí). Pro potřeby optimalizace se časy pobytu v uzlech rozdělí polovinou na přilehlé hrany.

Časové přírážky jsou nezbytné s ohledem na očekávaná i nepředvídaná zdržení (zpomalení ve smyslu prodlužování). Nepředvídaná zdržení (např. prodloužení pobytu v důsledku nástupu a výstupu cyklistů) jsou zohledněna formou pravidelné přírážky. Předvídaná zdržení (např. omezení rychlosti z důvodu stavebních prací na železničních tratích) jsou pokryta zvláštní přírážkou. Součet pobytů, jakož i jízdních dob a přírážek k nim představuje současný minimální čas jízdy.



Obr. 12: Rozklíčování celkového hranového času

Na síti, která byla uvedena na obrázku 11, je možné bez problému zavést ITJŘ pro 15-ti nebo 30-ti minutový taktový interval, jak je uvedeno v následujícím obrázku s minutovými hodnotami os symetrie v uzlech:

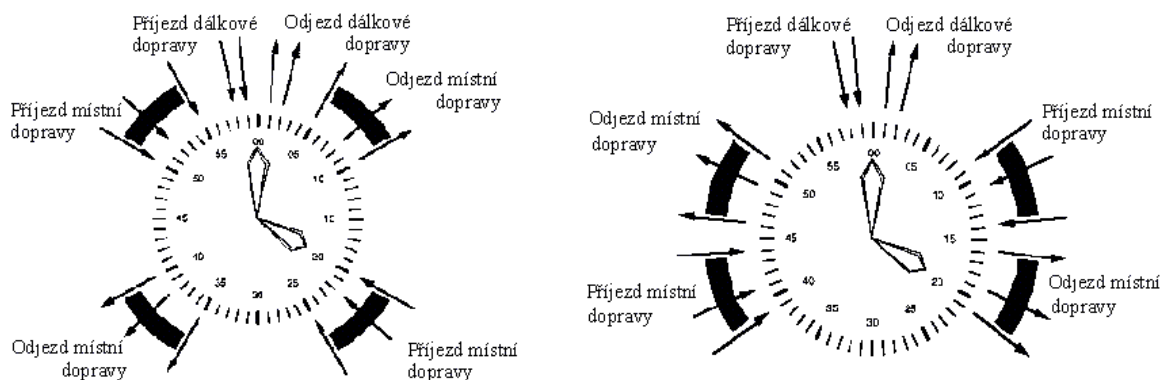


Obr. 13: Graf se zavedeným ITJŘ s taktovým intervalem 30 minut

Striktní dodržování taktového intervalu se nevyžaduje pouze v takových uzlech, kde jsou provozovány dopravní prostředky se silnou (četnou) přepravní nabídkou, nevyžadující sladění jízdního řádu – minimální doba na přestup se akceptuje. Jedná se především o příměstskou dopravu, zabezpečenou obvykle rychlodráhami, železnicí nebo tramvaji.

V ITJŘ se klade důraz na sladění linek mezi sebou v uzlech/místech, kde se setkávají. Výhodných přestupních vazeb se dosahuje prostřednictvím časově blízkých příjezdů a následných odjezdů. V ideálním případě spoje jednotlivých linek do uzlu v krátkém

časovém rozmezí přijíždějí a po době, která respektuje čas potřebný na přestup, spoje opět do všech směrů odjíždějí. V zahraničí, především v Německu, se využívají dvě varianty pro vytvoření časové návaznosti v daném uzlu (obě varianty jsou si podobné) s tím, že zaústění dopravních prostředků regionální dopravy je rozdílné.

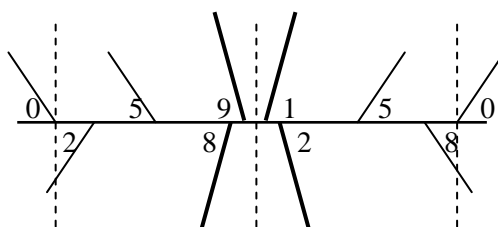


Obr. 14: Varianty (první a druhá) řešení vazeb mezi dálkovou a regionální (místní) dopravou

V první variantě jsou zakresleny jednak dopravní prostředky dálkové osobní dopravy, které přijíždějí několik minut před celou hodinou a během několika minut zase odjíždějí. Délka pobytu zde závisí zejména na době přestupu mezi prostředky regionální (místní) a dálkové dopravy. Spoje regionální dopravy zde přijíždějí a odjíždějí se symetrií v XX:00 a XX:30. Tímto způsobem je v XX:00 zajištěn přestup nejen mezi regionální dopravou, ale i dálkovou, kdežto v XX:30 je zajištěn jen přestup pro regionální dopravu.

Ve druhé variantě jsou spoje dálkové dopravy ve stejné časové poloze, jiná je poloha spojů regionální (místní) dopravy, které přijíždějí a odjíždějí se symetrií XX:15 a XX:45. Pak je doba přestupu větší než u první varianty, ale je tímto uskupením zajištěna určitá záloha např. pro zpoždění.

Schematicky tzv. přestupním pavoukem se první řešení může znázornit pomocí následujícího obrázku, kde je názorně vidět, že minimální doba na přestup mezi regionálními vlaky je 10 minut:



Obr. 15: „Přestupní pavouk“ pro první variantu řešení

V rámci symetrického PJŘ jsou spoje příslušné linky mezi sebou vázány vazbou v periodických uzlech (přestup, u železniční dopravy křižování). Nachází-li se na jedné trati více takovýchto uzlů, je zřejmé, že doba jízdy mezi nimi musí odpovídat určité hodnotě.

Určení této hodnoty vychází z předpokladu, že k daným vazbám dochází v těchto uzlech opakovaně za dobu periody  $t_P$ . Pravidlo, které stanovuje, že během dopravního pobytu v periodickém uzlu musí být ve stanici všechny spoje, mezi kterými je plánovaná vazba, se vztahuje i na spoje opačného směru. Z toho vyplývá, že hranový čas mezi dvěma uzly se musí rovnat minimálně vždy celistvému násobku poloviny doby zvolené periody (resp. taktového intervalu):

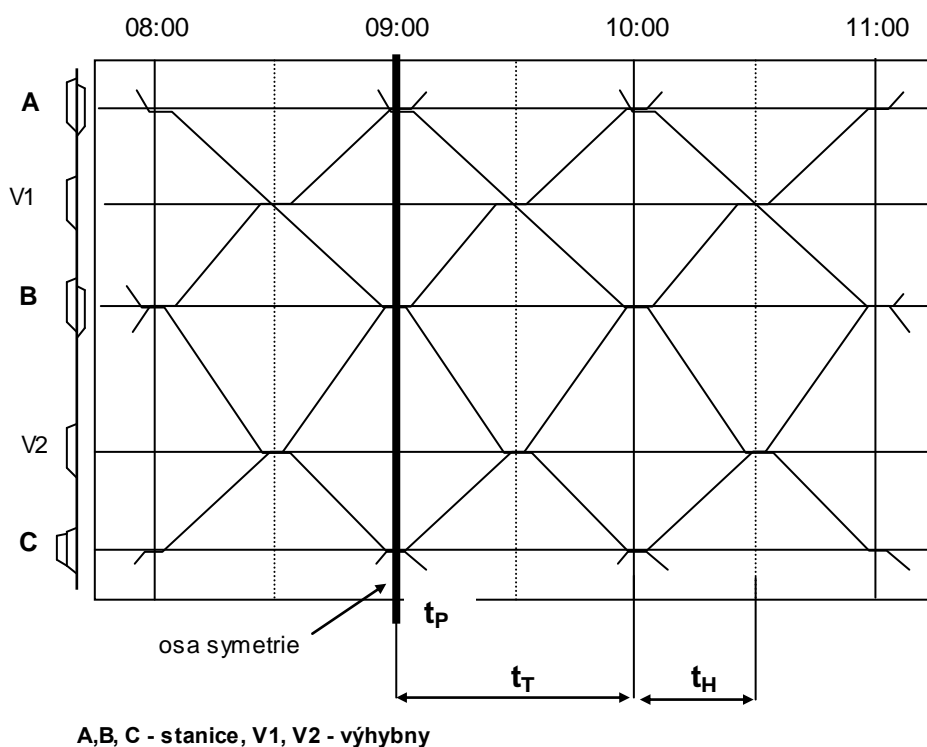
$$t_H = n \cdot \frac{t_P}{2} \quad (18)$$

kde:

$n = 1, 2, 3 \dots$

$t_H$  hranový čas mezi periodickými uzly [min]

$t_P$  velikost periody [min]



A, B, C - stanice, V1, V2 - výhybny

Obr. 16: Vztah velikosti periody a hranového času

Na obrázku 16 je graficky znázorněn příklad na modelové jednokolejné železniční trati. Velikosti periody  $t_P = 60$  minut odpovídá minimální hranový čas  $t_H = 30$  minut. Při velikosti periody 60 minut je patrné, že stávající stanice A, B a C nestačí pro realizaci řešení nabídky spojů a bylo tedy nutné vybudovat 2 výhybny V1 a V2, kde se vlaky kříží. Časová vzdálenost výhyben a sousedních stanic odpovídá polovině násobku zvolené periody. Při dvouhodinové periodě by již nebyly výhybny V1 a V2 potřebné. V rámci uvedeného pravidla tak dochází k potkávání protisměrných spojů téže linky vždy v čase odpovídajícího polovině násobku zvolené periody. V případě periodických uzlů na jednokolejných tratích

tak vychází ideální polohy dopraven potřebných pro křižování (příp. pro přestup) bezprostředně z již zmíněného pravidla. Z tohoto pravidla se dá dále odvodit počet dopraven nutných ke křižování mezi dvěma uzly:

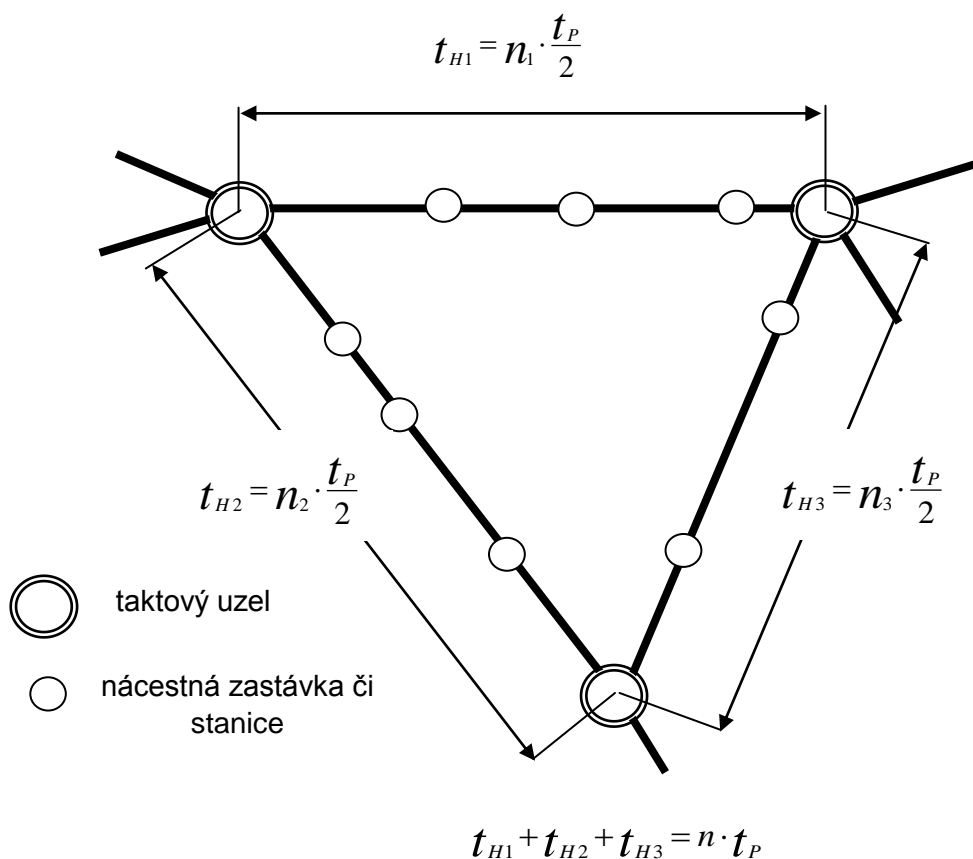
$$n_{Kr} = \frac{2 \cdot t_H}{t_P} - 1 \quad (19)$$

kde:

$n_{Kr}$  počet stanic potřebných na křižování zaokrouhlený nahoru [-]

$t_H$  hranový čas mezi periodickými uzly [min]

$t_P$  velikost periody [min]



Obr. 17: Vztah velikosti periody a jednotlivých hranových časů v rámci uzavřené sítě

Hranová rovnice je dostačující pro symetrický PJŘ. V případě aplikace ITJŘ je nutno zkoordinovat hranové vazby tak, aby šlo tyto propojit v rámci dané sítě (přestupní vazby, křižování). Platí tzv. „kruhová rovnice“, kdy suma všech hranových časů v daném  $n$ -úhelníku, který vytváří uzavřenou síť (lze uzavřít smyčku), se rovná celistvému násobku periody  $t_P$  (příklad pro 3-úhelník - obrázek 17):

$$t_{H1} = n_1 \cdot \frac{t_P}{2} \quad t_{H2} = n_2 \cdot \frac{t_P}{2} \quad t_{H3} = n_3 \cdot \frac{t_P}{2} \quad (20)$$



$$t_{H1} + t_{H2} + t_{H3} = n_1 \cdot \frac{t_p}{2} + n_2 \cdot \frac{t_p}{2} + n_3 \cdot \frac{t_p}{2} = \sum_{i=1}^m n_i \cdot \frac{t_p}{2} = n \cdot t_p \quad (21)$$

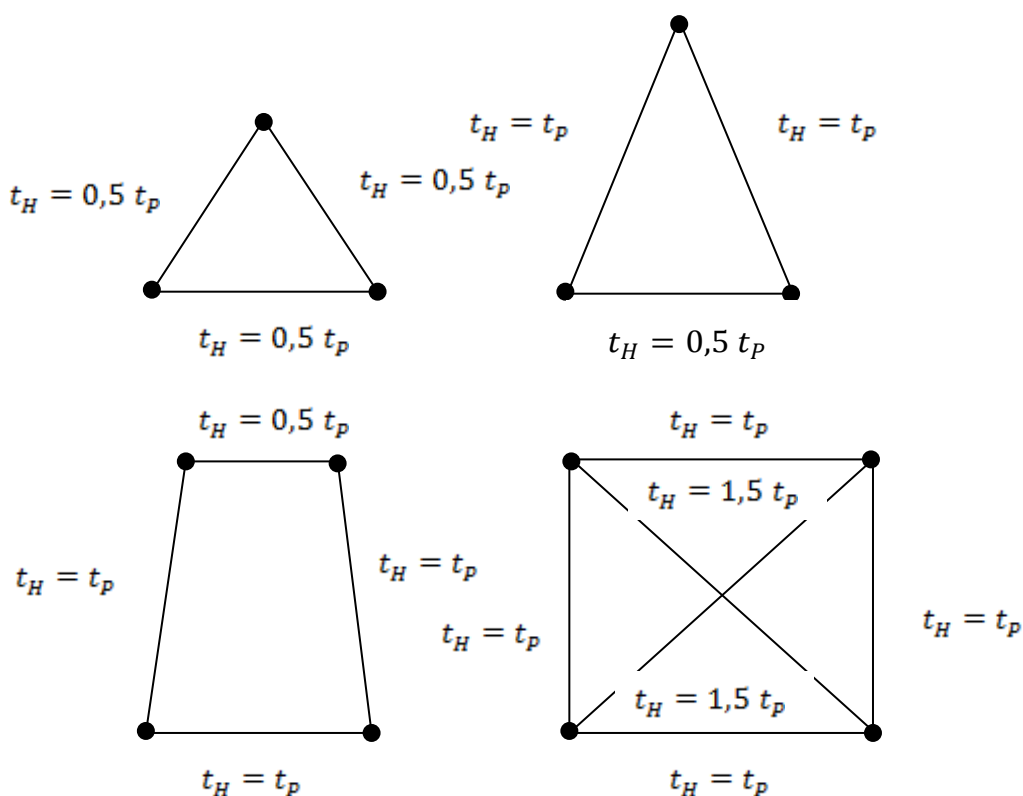
kde:

$n = 1, 2, 3 \dots$

$t_{Hi}$  hranový čas mezi periodickými uzly na příslušných hranách  $n$ -úhelníku [min]

$t_p$  velikost periody [min]

Dané okrajové podmínky jednoznačně determinují síť a její základní parametry pro realizaci ITJŘ. Lze ale uvést některé modelové příklady sítí, které za daných podmínek nevyhovují výše uvedeným pravidlům (viz obrázek 18).



Obr. 18: Příklad nemožné realizace ITJŘ při daných hodnotách hranových časů

Kromě již dvou uvedených zákonitostí ITJŘ (čas na hraně musí být celočíselným násobkem poloviny taktového intervalu, uzavřené plné oběhy trvají vždy celočíselný násobek taktového intervalu) musí ještě platit, že hranové časy opačných směrů každé hrany jsou totožné nebo nepatrně odlišné, k přestupu mezi dopravními prostředky (3 a více) dochází v přestupních uzlech a nakonec pro optimální návaznost dálkové a ostatní veřejné dopravy se doporučuje zvolit uzly sítě dálkových a regionálních spojů tak, aby mezi dvěma uzly trval

hranový čas zastávkového dopravního prostředku právě dvojnásobek hranového času dálkového dopravního prostředku bez mezizastávek.

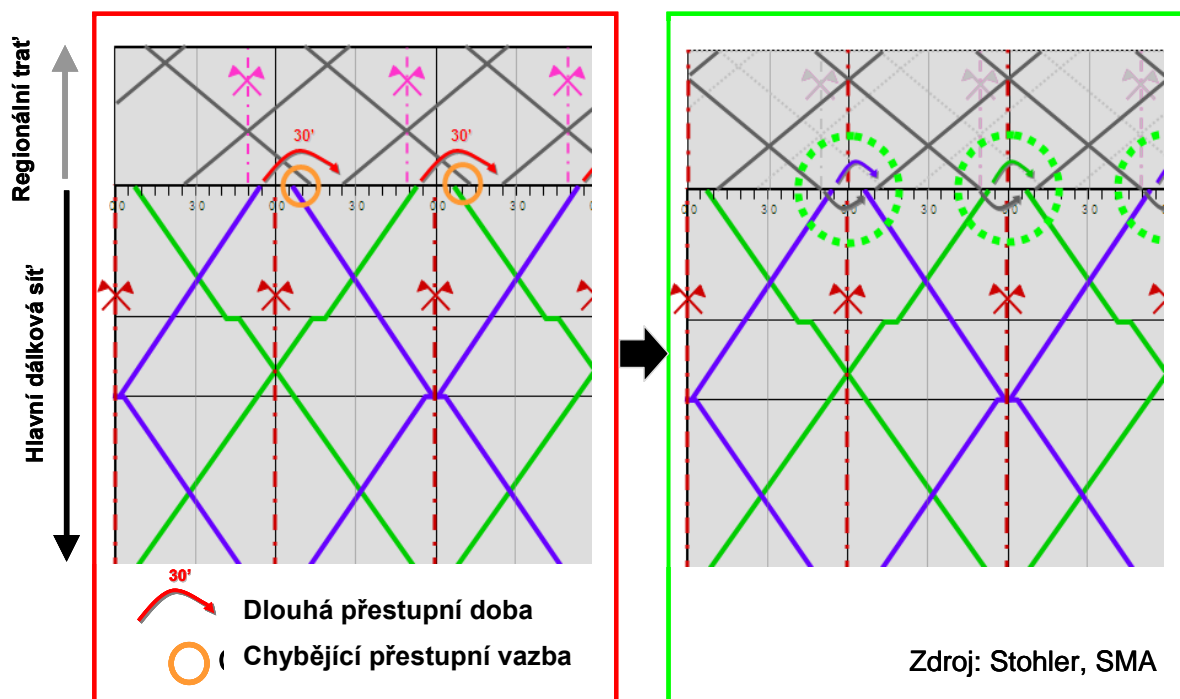
### 7.5 Ideální řešení ITJŘ

Pro realizaci ideálního ITJŘ musí být současně splněny 4 následující základní podmínky:

- jednotná perioda v rámci sítě,
- osy symetrie v uzlech,
- splnění podmínky pro hranový čas,
- splnění podmínky pro kruhové rovnice.

Podmínka jednotné periody je důležitá zejména při kombinaci různých sítí osobní dopravy v různých obdobích během dne a týdne (příměstská, regionální a dálková doprava, špička, sedlo). Vhodně zvolená velikost periody umožní zachovat pravidelné přípojně vazby i v případě odlišných period dvou systémů. Ideální je posloupnost period 15, 30, 60 a 120 minut, jelikož od nejkratší periody vzestupně je každý menší násobkem všech ostatních větších. Při kombinaci period 30 a 60 minut různých linek potkávajících se v příslušném periodickém uzlu, je zachována přestupní vazba každou hodinu. Tento systém je rovněž jednodušší z hlediska požadavků na trasy, jelikož prodloužení hodnoty periody mezi dvěma spoji nepotřebuje zavedení nové trasy. Tato periodická skladba je používána ve většině zemí se zavedenou periodickou dopravou, typickým příkladem je Švýcarsko. Jinou periodickou strukturou, typickou spíše pro Německo, je posloupnost 20, 40, 60 a 120 minut. Tento systém je při použití periody 40 minut do určité míry méně přehledný, neboť kombinace tras se opakuje jednou za dvě hodiny (je nutno si pamatovat, zda je momentálně lichá či sudá hodina), což navíc při kombinaci s periodou 60 minut vytváří vazbu pouze jednou za dvě hodiny. Přehlednější je perioda 20 minut, jelikož násobkem 60 minut zapadá pravidelně do celé hodiny. Při rozvolnění periody z 20 na 30 minut jsou nutné 2 trasy (např. pracovní den vs. víkend), což není při konstrukci jízdního řádu zejména na velmi využívaných sítích zcela ideální (prakticky nutno konstruovat 2 jízdní řády). Jak již bylo uvedeno, je tato nabídka typická pro Německo.

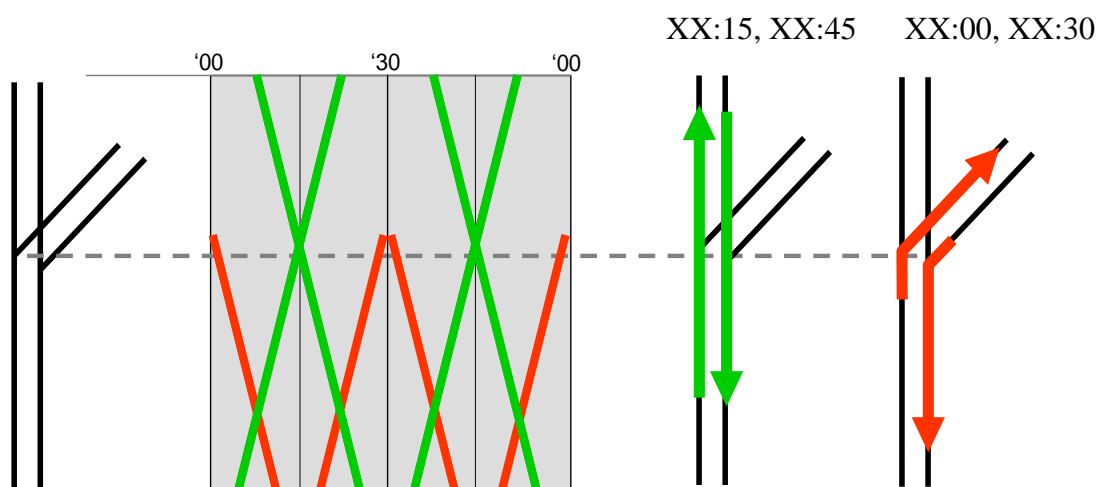
Čistě teoreticky je možno zvolit libovolnou hodnotu periody (25,5 minuty, 41 minut atp.), praktické omezení vychází z hodiny čítající 60 minut, a to zejména tam, kde je požadavek na nějakou smysluplnost provázání různých systémů dálkové dopravy. V rámci čistě izolovaných systémů je to jen na akceptovatelnosti ze strany cestujících, zájmech objednatele a schopnostech dopravce se s danou periodou vyrovnat.



Obr. 19: Příklad různé a stejné osy symetrie dvou periodických systémů

Jednotná osa symetrie je předpokladem pro funkčnost systémových vazeb. Toto platí jak pro přestupní vazby, tak u železnice pro křižování vlaků v dopravnách na trati.

Na obrázku 20 je uvedeno optimální využití kapacity úrovněového místa odbočení na širé trati, v případě 2 linek, které mají stejnou osu symetrie. V reálném provozu však lze najít systémy s odlišnými osami symetrie. Na území České republiky se osa symetrie odvíjí od polohy linek tzv. Eurotaktu Berlin – Praha – Břeclav – Wien/Budapest.

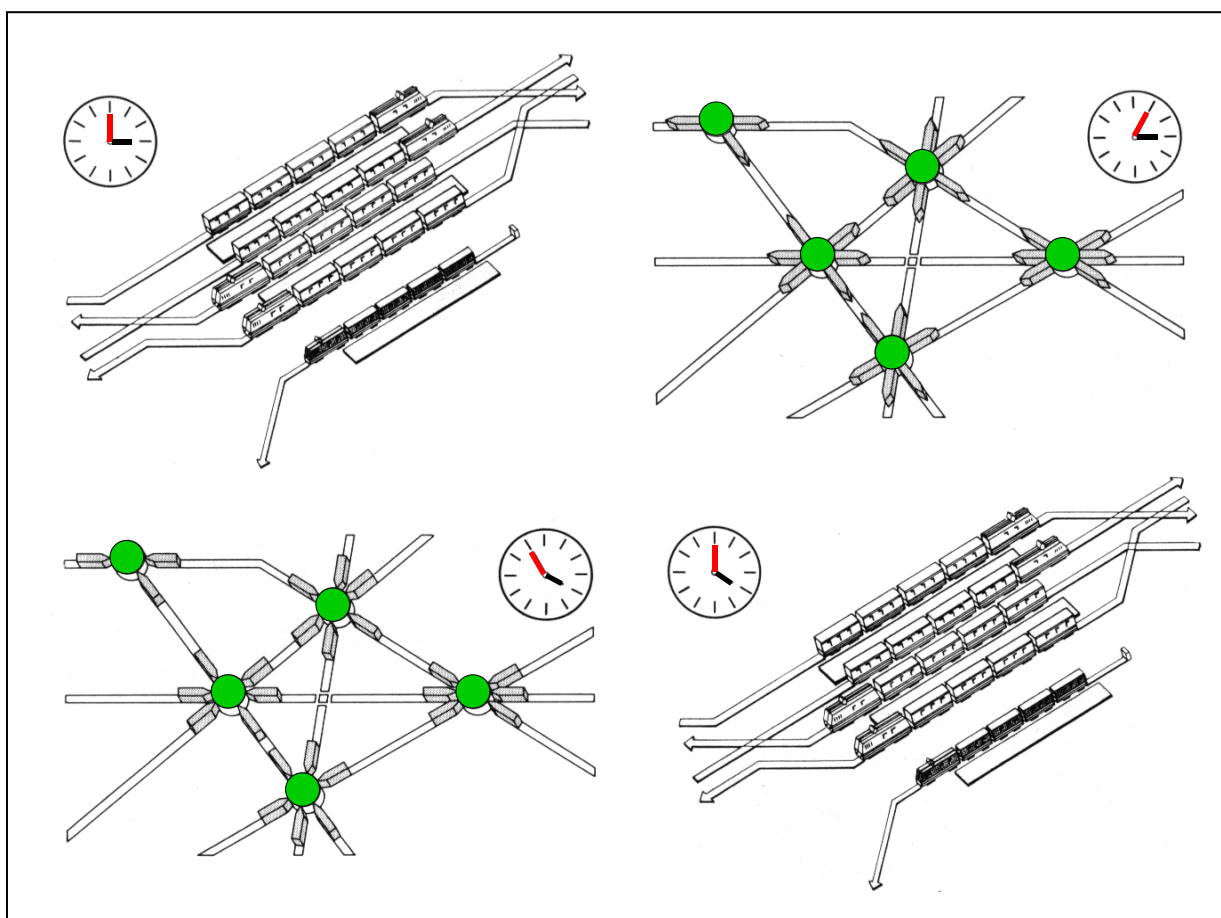


Obr. 20: Příklad optimálního využití infrastruktury při stejné ose symetrie

Ideální realizace zbylých dvou podmínek (hranový čas, kruhová rovnice) byla zmíněna v předchozí části.

Požadavky na systémové vazby ITJŘ jsou důležité zejména v sedlových provozních časech při delších hodnotách periody (60, 120 min). Zatímco ve špičkových časech při dostatečně krátké periodě se zkracuje střední doba čekání až na cca 7,5 minuty při 15 minutové periodě, může znamenat nedodržení tzv. Rendezvous principu (setkávání spojů více linek v daném uzlu současně tak, aby byly zajištěny vzájemné přestupní vazby) v periodickém uzlu na jedné lince dobu čekání až 120 minut, což je při stejné veliké hodnotě periody nabídky spojů naprosto nežádoucí. Je proto nutné, aby celý systém byl primárně postaven na fungování systémových vazeb při delších periodách. Výše uvedená skutečnost platí i pro přestupní vazbu dvou linek s velmi odlišnou velikostí hodnoty periody.

Velké skupiny v periodických uzlech kladou požadavky na jejich uspořádání a plynulost provozu. Periodický uzel by měl být dále schopen pojmout všechny spoje, mezi kterými má být zajištěna přestupní vazba.



Obr. 21: Rendezvous princip ITJŘ

### 7.6 Neideální řešení ITJŘ, nutné optimalizace

V reálném stavu není vždy v počátku snahy o zavedení ITJŘ zcela možné naplnit podmínky nutné pro jeho realizaci. Do okamžiku realizace cílového stavu je tak potřebné respektovat určitá systémová omezení jako je např.:

- neobsluhování všech míst zastavení, dané zastávky nejsou obsluhovány vůbec nebo jiným druhem dopravy,
- přidání míst zastavení,
- nedodržení přestupních vazeb v periodickém přestupním uzlu mezi vybranými linkami nebo realizace pouze směrových přestupních vazeb,
- zavedení dodatečných linek či spojů mimo „periodické schéma“,
- variace nabídky pro zajištění přestupních vazeb,
- nevedení všech spojů ve stejné periodě v rámci jedné linky,
- vhodná organizace provozu v periodických uzlech.

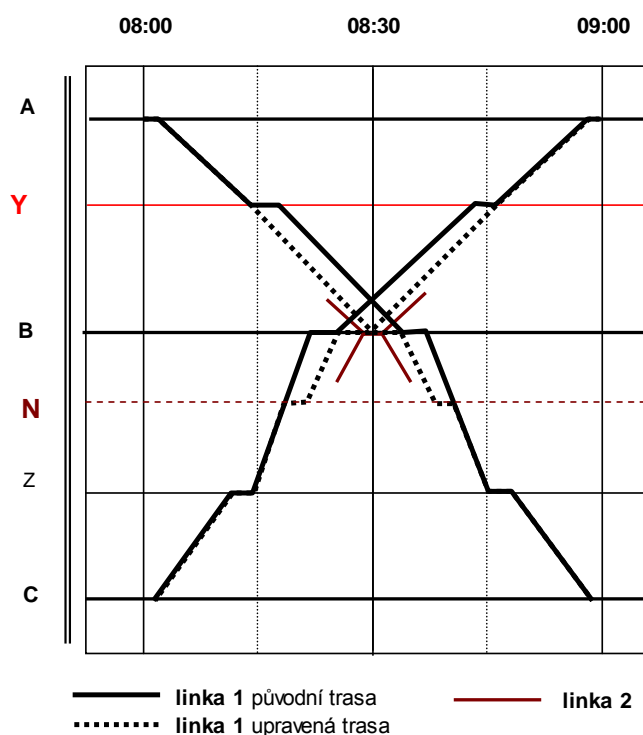
Daná přechodná opatření mohou mít i trvalý charakter, pokud není zejména z finančních důvodů možné provést optimalizační opatření pro fungování ideálního ITJŘ. Dopad uvedených přechodných řešení může vést v případě jejich dlouhodobého trvání ke snížení atraktivity systému a úbytku cestujících. Snahou by tedy mělo být, aby daná opatření postihla jejich co nejmenší počet. Zmíněné situace mohou též nastat v případě, že potenciální periodické uzly leží blízko sebe a oba nelze realizovat s komplexní přestupní vazbou ke stejné ose symetrie.

K projíždění vybraných zastávek dochází v případě, že aktuální hranový čas je delší než potřebný.

Přidání nových zastávek je možno realizovat v okamžiku, kdy je aktuální hranový čas výrazně kratší než potřebný. Prakticky jsou dvě možnosti jak jej uměle prodloužit. Jedna z nich je dlouhý pobyt ve vybrané stanici či zastávce. Druhá možnost je přidání dodatečného zastavení (viz obrázek 22) u zrychlených projíždějících spojů na zastávce, kterou projíždějí, u zastávkových spojů možným dobudováním nové zastávky. Toto je výhodné zejména v silně osídlených aglomeračních oblastech. V případě, že je aktuální hranový čas výrazně delší než potřebný, tj. blíží se polovině násobku zvolené periody, se nabízí otázka, zda jej rovněž nezkrátit a upravit celý systém.

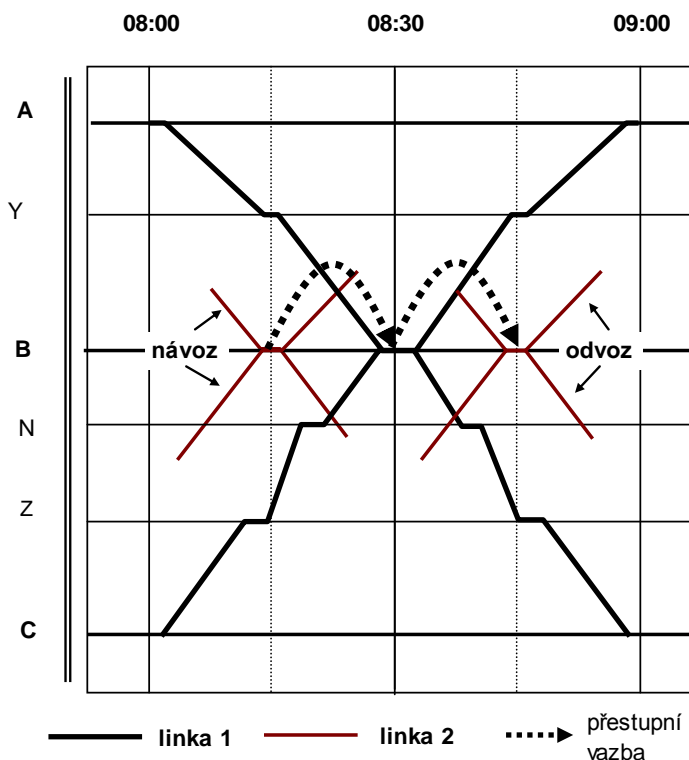
Nedodržení některých přípojných vazeb v periodických uzlech mezi vybranými linkami může být nejen z důvodu nedostatečného hranového času, ale též z možného nedostatku přestupních hran v periodickém uzlu při více linkách najednou. Dopad na cestující a délka doby přestupu závisí na velikosti periody dotčené linky. Z hlediska celého systému je

toto řešení vhodné tam, kde je možno zanedbat minoritní přepravní proud. Částečně lze tento problém vyřešit jednostrannou směrovou přestupní vazbou.



Obr. 22: Kombinace nutného projetí zastávky Y a přidání možné nové zastávky N z důvodu dosažení potřebných hranových časů pro dosažení přestupních vazeb v periodickém uzlu B

Pokud výše uvedená řešení nepřichází v úvahu, je nutno doplnit systém o další spoje, které tuto přestupní vazbu zajistí, ať už pouze ve špičkových časech nebo po celé období provozu. Prakticky obdobnou je další zmíněná varianta zajištění přestupní vazby mezi linkou o nižší frekvenci spojů (např. 60, 120 min.) a linkou o vyšší frekvenci spojů (20, 30 min.) v případě, že není možno realizovat rychlou přestupní vazbu mezi oběma spoji obou linek v jednom okamžiku (viz obrázek 23). Pak jeden ze spojů linky s kratší periodou slouží jako spoj navázející cestující k lince s delší periodou a následný pak jako ten, který cestující odváží. Všechna zmíněná řešení o posílení počtu spojů z důvodu zajištění přestupní vazby mohou být limitována finančními prostředky dopravce (v případě spojů na komerční riziko) resp. objednavatele (v případě spojů v objednávce). Ne vždy je proto toto dopravní řešení možné.



Obr. 23: Realizace přestupních vazeb mezi 2 linkami o různé periodě

Alternativní vedení vybraných spojů mimo periodický rastr linky je další možnost, jak ve špičkových časech zajistit chybějící přestupní vazbu mezi dvěma linkami. Toto řešení má však několik omezujících podmínek s dopady do provozu ostatních spojů, resp. ekonomiky:

- zřeknutí se přestupních vazeb vybraných spojů v jiných periodických uzlech,
- u železniční dopravy omezení ze strany křižování na jednokolejných tratích v případě, že je tato uzpůsobena pouze na periodický rastr provozu,
- dostatečná kapacita dopravní cesty ve zbytku pojižděné sítě,
- u železniční dopravy v případě nedostatečné doby obratu nutnost nasazení dodatečné náležitosti na obratový vlak s negativními dopady do nákladů.

### 7.7 Výhody a nevýhody periodické dopravy

Jako každý systém v lidské činnosti má organizování dopravy v rámci systematického jízdního řádu své výhody, ale též negativní dopady. Fenomén periodického jízdního řádu vyvolává pozitivní i negativní emoce na straně jeho příznivců i odpůrců. V globálu se dá konstatovat, že převládají pozitivní aspekty, nicméně za předpokladu, že jeho realizace vychází z kvalitního středně a dlouhodobého dopravního plánování, které je schopno zaručit stabilní řešení, případně postupné dílčí kroky k jeho naplnění.

Výhody realizace PJŘ/ITJŘ jsou jednak v oblasti marketingu systému veřejné dopravy a jednak v oblasti plánování a zajištění vlastního provozu. Marketingové výhody jsou zhruba následující:

- Pravidelně se opakující nabídka spojů během daného období (dne, části dne). Tato je charakteristická stejnými časy odjezdu v příslušnou minutu, což zpřehledňuje a zjednodušuje systém veřejné dopravy pro cestujícího.
- Výše uvedená skutečnost platí i v případě garantovaných přestupních vazeb, ať už z časového nebo prostorového hlediska.
- Zavedení periodické dopravy je často spojeno s navýšením počtu spojů zejména v sedlových nebo okrajových obdobích během dne. Tam, kde je dostatečný přepravní potenciál cestujících, umožňují spoje v sedle jednak získat nové cestující a dále „samovolně“ nebo vhodnými opatřeními přesunout část cestujících ze špičky do těchto spojů, což může mít někdy efekt v nižší (zejména ranní) nabízené špičkové kapacitě (šetření nákladů).
- V případě realizace periodické dopravy na většině sítě, resp. v jejích rozhodujících částech, lze tento systém velmi dobře prezentovat – síťová grafika, linkové vedení, přehledný systém síťových návazností atd. (viz obrázek 24).

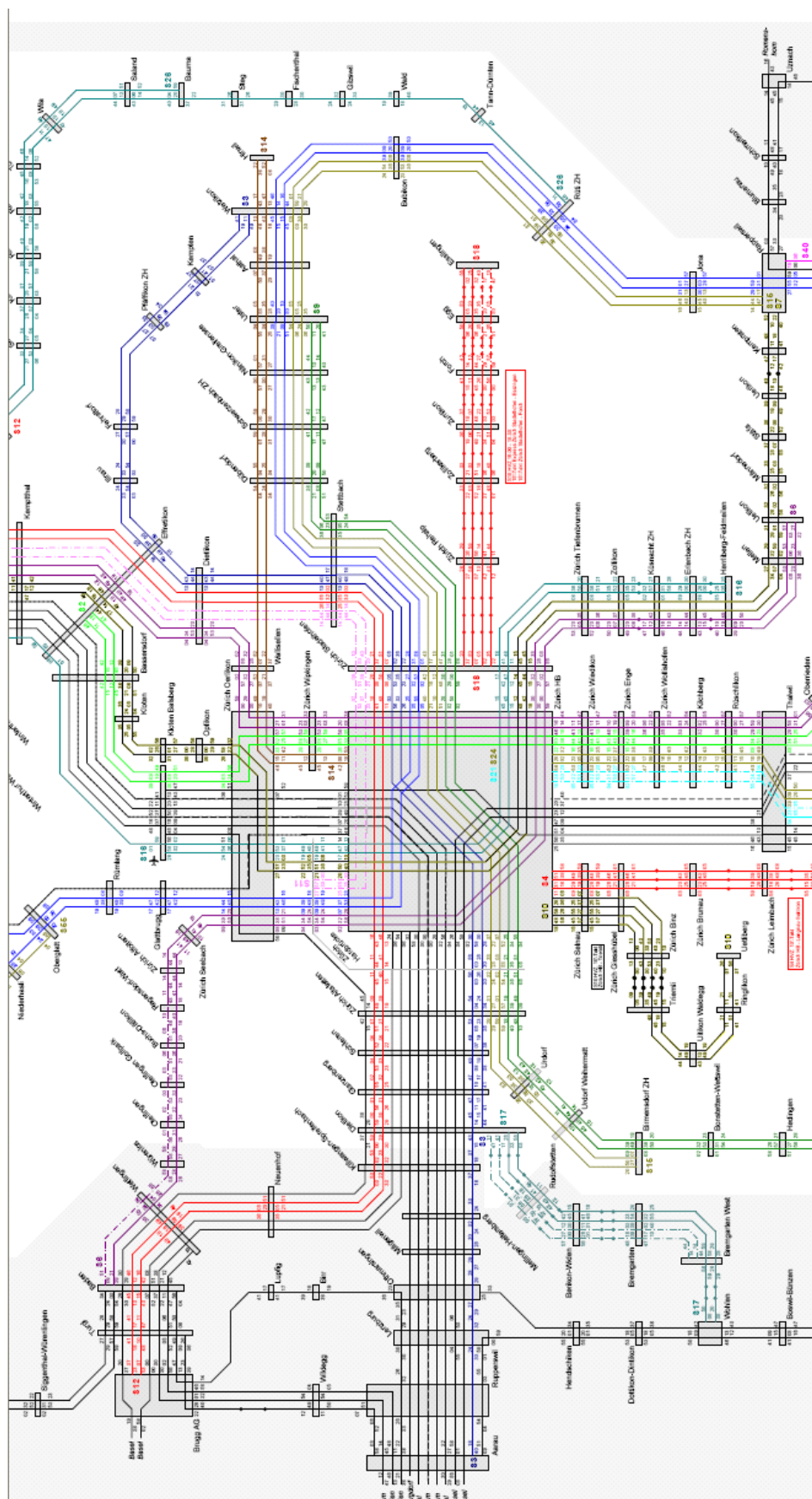
Z produkčně - provozního hlediska jsou tyto výhody:

- Zjednodušení plánování systému – vyřešení parciálního problému dopravního řešení pro jednu periodu systému (křížování vlaků, přípoje, intervaly...) umožňuje tuto stejnou variantu použít během provozního období vícekrát stejným způsobem. Toto má dále při stabilním dlouhodobém stavu nabídky výhodu koncentrace požadavků na příslušné úpravy infrastruktury do několika málo míst, při jistotě opakovaného využití těchto opatření během celého provozního dne. Toto je současně paradoxně i významnou nevýhodou, pokud se řešení dopravy (nejen) v periodě neustále mění.
- Efektivní využití vozidlového parku z hlediska kontinuálního nasazení a zvýšení proběhů vozidel – při pravidelné periodicky se opakující nabídce spojů a při dosažení dostatečné doby k obratu ve vratných stanicích dané linky.

Nevýhody PJŘ/ITJŘ se vážou především na rigiditu („tuhost“) systému a dále pak na nízké přepravní proudy z hlediska jeho ekonomičnosti. Konkrétně se jedná o zhruba níže uvedené okruhy:

- Nároky na provázanost JŘ - hlavní přednost ITJŘ z hlediska síťové provázanosti je též jeho výraznou nevýhodou. Ne vždy je možno v rámci sítě optimálně provázat a zajistit všechny přestupní vazby ke spokojenosti cestujících. V krajním případě může být pro některé směry a relace „úskalím“ celodenní systémový „nepřípoj“. Z hlediska realizace jsou pak vysoké nároky na infrastrukturu, což má dopady do oblasti ekonomiky systému.





Obr. 24: Příklad síťové grafiky S-Bahn Zürich

- Problematická změna, zejména v případě ITJŘ - tento systém vyžaduje kvalitní dlouhodobé plánování a trvalost provozování, resp. postupné kroky k jeho úplné realizaci. V okamžiku častých krátkodobých změn není moc vhodné systém ITJŘ díky jeho komplexnosti zavádět, neboť ztrácí efekt a krátkodobé změny postihují celou provázanou oblast. Tam, kde lze očekávat strukturální změny v nabídce pracovních míst nebo osídlení, je nutná kvalitní prognóza přepravních vztahů jako vstupních dat realizovaného systému. Rovněž je nutná stabilní provázanost na sousední nebo nadřazené systémy veřejné dopravy (vazba dálková a regionální doprava, sousední systémy regionální dopravy).
- Dlouhodobé investice - jak již bylo v předchozím bodě zmíněno, díky komplexnosti a provázanosti systému je nutno realizaci a cílový stav plánovat dlouhodobě a na delší dobu provozu. Toto je determinováno zejména vysokou finanční a časovou náročností při optimalizaci potřebné infrastruktury.
- Velikost periody - čím delší je velikost zvolené periody (2 hodiny a více), tím delší je střední doba čekání na spoj. V německy mluvících zemích se uvažuje, že se hodnota střední doby čekání blíží limitně k 8 minutám s rostoucí délkou periody nad 30 minut. Odhlédnuto od případných přípojů se rovněž při delších periodách ztrácí efekt pravidelnosti.
- Přestupní doby při delší periodě - tam, kde není možné realizovat rychlé, resp. akceptovatelné přestupní vazby, se tento negativní jev opakuje trvale během celého dne provozu. Řešením je pouze doplnění spojů v obdobích s očekávanou vyšší poptávkou. Zejména při hodnotách periody 60, 120 a více minut je senzitivita cestujících velmi vysoká a čím více se přestupní doba blíží velikosti zvolené periody, tím se blíží atraktivita systému k nule.
- Nelze vždy optimálně splnit speciální časové polohy (studenti, přeprava do zaměstnání) - toto je jedno z problematických úskalí realizace PJŘ, resp. ITJŘ. Zejména ranní špička je citlivá na čas dojížděky do cílové destinace, kdy příjezd nesmí být ani příliš brzy a ani příliš pozdě. V oblastech se silnými přepravními vztahy a tomu odpovídající nabídkou je možné prakticky bez problémů aplikovat 15-ti minutovou periodu ve špičce. U 30-ti minutové periody toto funguje za předpokladu, že dominuje jedno významné centrum spádové oblasti. 60-ti minutová perioda závisí velmi na času dojezdu, resp. odjezdu. V případě, že systematické polohy nevyhovují, je řešením vedení dodatečných špičkových poptávkových spojů tak, aby vyhověly požadovanému přepravnímu proudu. Je možné tyto trasy ve špičce prohlásit jako základní trasy systému periodické dopravy a podle nich celý systém dále dobudovat, nicméně s rizikem, že nemusí mít stejnou osu symetrie jako ostatní paralelně fungující systémy periodické dopravy. Pak ne vždy fungují ideálně interakce mezi těmito dvěma systémy.
- Vysoké nároky na stabilitu JŘ - systém PJŘ/ ITJŘ má celkem jednoznačně dané trasy, hranový čas a z něj plynoucí nároky na kombinaci jízdní doby a dob pobytů, včetně dob

čekacích. U krátkých period není z hlediska stability systému vhodné čekat na zpožděné přípoje. Jiná věc je přenos zpoždění v případě limitované kapacity dopravní cesty (např. u železniční dopravy jednokolejné tratě, úroňová křížení, obsazení nástupišť apod.). V tomto případě je nutno eliminovat opožděné spoje v systému, aby tento udržel stabilitu. Řešením je buď maximálně izolovat zpožděný spoj s negativním dopadem na cestující v něm, nebo mít k dispozici záložní místa (alternativní jízdní cesty v uzlech, dodatečná místa na křižování) na řešení těchto mimořádných událostí. V okamžiku budování systému je nutno rozhodnout o míře jeho robustnosti s dopadem do nákladů na jeho vybudování a udržování oproti míře jeho stability a atraktivity pro koncového uživatele.

### 7.8 Požadavky na ITJŘ

Pro integrovaný taktový jízdní řád platí také některé z podmínek pro periodický jízdní řád a podmínky, které musí splňovat „obecná“ regionální doprava, se dají rozšířit o následující body:

- nabídka periodické dopravy ve všech dnech týdne,
- obsluha každé linky v hodinové (půlhodinové), popř. v méně osídlených oblastech ve dvouhodinové základní periodě,
- zajištění dopravní nabídky v období od brzkých ranních hodin až do pozdního večera,
- zajištění pravidelných přípojů v uzlových stanicích (klasický jízdní řád je pro mnoho cestujících složitý, je zde zabezpečeno rovnoměrné rozložení spojů během celého dne),
- zvýšení úrovně kvality cestování,
- zajištění maximální přesnosti spojů,
- zkrácení cestovních dob,
- možnost cílené racionální výstavby infrastruktury.

Ke splnění cíle, kterým je spolehlivější fungování systému, je třeba uskutečnit určitá opatření. Tato opatření se dají rozdělit na opatření stavebně technická, opatření provozní (z hlediska zajištění provozní technologie) a v neposlední řadě i určité změny technických parametrů vozidlového parku. Ze stavebně technického hlediska se jedná o:

- samostatné jízdní dráhy (např. samostatný jízdní pás pro autobusy, samostatná kolej),
- vybudování novostavby trati nebo silniční komunikace,
- traťové nebo silniční rekonstrukce (pro zvýšení stávající rychlosti – poloměr oblouků, přechodnice atd.),
- přestavba uzlů a nástupních prostorů,
- rychlejší obrat cestujících zajištěním úroňového výstupu a nástupu,
- vybudování širších nástupních prostorů (z hlediska shromažďování cestujících).

Do skupiny provozního opatření je možno zařadit zejména:

- zavedení zelené vlny pro vozidla veřejné osobní dopravy,

- optimalizace polohy a přemístění přestupních uzlů,
- snížení rozsahu zastavování v mezilehlých místech zastavení,
- minimalizace pobytů z provozních důvodů,
- zajištění přestupu u stejného nástupiště v železniční dopravě,
- redukce přírážek (uvážlivě, vytváří to riziko vyšší nestability jízdního řádu),
- dostatečný počet dopravních kolejí a umožnění současných vjezdů u železniční dopravy,
- na jednokolejných železničních tratích zajištění možnosti křížování ve středu časové osy.

U změn parametrů vozidlového parku jde především o nasazování:

- vozidel lehké konstrukce,
- vozidel s naklápečími skříněmi,
- vozidel s vyšší dovolenou konstrukční rychlostí a akcelerací,
- vozidel s upraveným vnitřním prostorem,
- vratných souprav v železniční dopravě pro redukci pobytu v koncových stanicích,
- vozidel, umožňujících minimalizovat pobyt v místech zastavení.

Pro zajištění spolehlivosti systému ITJŘ obvykle nestačí volba jednoho jediného opatření. K požadovanému výsledku vede spíše kombinace jednotlivých opatření. K spolehlivé funkčnosti systému ITJŘ přispívá i řada dílčích opatření spojená s jeho zavedením. Měla by být docílena kvalitní informovanost o jeho zavedení a fungování. V praxi to spočívá v tom, že ve všech místech zastavení jsou přehledně vypsány jednotlivé spoje a v uzlových stanicích jednotlivé navazující přípoje. Mělo by se také zajistit, aby navazující spoje byly pokud možno přistavovány k stejnému nástupnímu prostoru (pro zajištění plynulého přestupu). Určitým standardem kvality by měla být přesnost spojů a její zajištění. Nedílnou součástí kvalitního servisu je i čistota, bezpečí a nabídka doplňkových služeb. Sladí-li se všechna tato opatření dohromady, je možno dosáhnout kvalitnější nabídky služeb a tím větší uspokojení přání zákazníka.

### **7.9 Úloha dopravního plánování při řešení cílové nabídky v rámci ITJŘ**

Jak již bylo v předchozích kapitolách naznačeno, závisí kvalitní řešení nabídky v rámci ITJŘ na důsledném a dlouhodobě zaměřeném dopravním plánování. Jen tak lze zaručit kontinuálnost optimalizace nabídky spojů a efektivnost vynaložených prostředků na její realizaci. Ad hoc změny, nebo krátkodobá řešení lze v rámci ITJŘ v mnohých případech aplikovat velmi problematicky a obtížně, což následně vyvolává pochybnosti o správnosti tohoto způsobu řešení dopravní obslužnosti a dále jsou jednotlivé kroky obtížně marketingově komunikovatelné, ať už se týká příslušné politické reprezentace, kterou je nutno přesvědčit, nebo běžných cestujících.

Sled opatření pro realizaci ITJŘ v dané oblasti by měl být zhruba následující:

1. politické zadání řešení dopravní obslužnosti (preference bus/vlak, páteřní síť, návazná síť, rámcové standardy),
2. detailní dopravní řešení zpracované případně v několika variantách od systémové úrovně do úrovně jízdního řádu,
3. seznam nutných cílových opatření v oblasti infrastruktury, vozidel a organizace provozu,
4. nástin přechodných opatření mezi referenčním a cílovým stavem,
5. finanční ohodnocení (monetarizace) jednotlivých opatření, doporučení vhodných vozidel,
6. výběr nejlepší varianty.

Vzhledem k omezenému množství finančních prostředků dochází v mnoha případech k omezeným možnostem realizace ITJŘ nebo lze např. optimalizaci infrastruktury očekávat až za dlouhou dobu. V tomto případě je nutno hledat jiná řešení aplikující některé z postupů uvedených v kapitole 7.6 o Neideálním řešení ITJŘ. I zde je však nutno k řešení přistupovat s dlouhodobým záměrem, aby se nestalo, že např. začne docházet k projíždění některých zastávek, které by pak v cílovém horizontu měly být znovu obsluhovány.

## **8. Souhrnný přehled stavu poznání k dané problematice**

Problematika periodické dopravy je spojena hlavně se železnicí, a to od počátku 20. století. Jak je v části zabývající se konkrétním rozšířením této formy dopravy zmiňováno, první realizace periodické dopravy v běžném provozu byla v roce 1908 v Nizozemí. První světová válka upozadila tento fenomén jinými závažnějšími tématy, přesto byl v oblasti armádní krizové přepravní logistiky ve Švýcarsku zpracován dopravní model případného válečného jízdního řádu na páteřních tratích. Neutralita Švýcarsku nedala šanci připravený koncept prověřit, a tak se pozornost tomuto způsobu organizace dopravy vrátila zpět do Nizozemí a nově do Německa. Teprve po 2. světové válce je možno konstatovat, že se této problematice dostalo širšího prostoru jak dalšímu praktickému použití, tak v oblasti badatelsko-vědeckého úsilí.

Zavádění periodické dopravy bylo primárně spojeno se snahou zlepšit atraktivitu veřejné osobní dopravy zejména vůči automobilové dopravě, příp. byla spojena rovněž s racionalizací dopravní obslužnosti (Nizozemí). Důležitá byla vazba mezi rozsahem a parametry nabídky spojení a jejich vliv na trend poptávky. Švýcarsko, Německo, Nizozemí - tři země, kde bylo pro rozvoj periodické dopravy učiněno od konce 60. let do 90. let

20. století nejvíce. Je třeba přitom však nepouštět ze zřetele i Japonsko, kde bylo zavádění vysokorychlostních vlaků spojeno s novou formou organizace provozu.

Nizozemské železnice NS postupně od 30. let 20. století zdokonalovaly svůj systém nabídky osobní dopravy v periodické formě. Díky tomu se staly inspirací pro významnou generaci švýcarských dopravních inženýrů, která se začíná uplatňovat ke konci 60. let 20. století. Tato silná generace ovlivnila vývoj celé veřejné dopravy v této alpské zemi natolik, že se stala vzorem pro ostatní země Evropy. Významná skupina se vytvořila v rámci švýcarských spolkových drah SBB. Snaha tohoto národního dopravce zvrátit negativní trend ve vývoji přepraveného počtu osob vedla k hledání cest z krizového vývoje. Tzv. Spinnerclub, reprezentovaný Samuelem Stählim, Jeanem Berthozouem a Hansem Meinerem předložil v roce 1972 návrh celosíťové periodické nabídky řešení osobní dopravy. Hlavním iniciátorem skupiny byl zřejmě první z nich - Samuel Stähli.

Stähli byl na konci 60. let 20. století součástí týmu řešící projekt tvorby jízdního řádu pomocí výpočetní techniky. V rámci projektu byla rovněž diskutovaná otázka možnosti využití výpočetní techniky pro optimalizaci vlastního jízdního řádu. Existovala celá řada nejistot, zda je toto vůbec pro široké spektrum vstupních podmínek realizovatelné. V disertační práci Wernera Guyera (*Optimale Fahrplangestaltung im Reisezugverkehr*) obhajované v roce 1969 na ETH Zürich byla řešena problematika vazby nabídky a poptávky, resp. dopady nabídky na poptávku. Bylo konstatováno, že periodický jízdní řád je ideálním cílem řešení, nicméně bylo rovněž poukázáno na fakt, že v některých případech tomu zřejmé důvody odporují (např. slabě vytižené tratě nejsou schopny vygenerovat dostatečný přepravní potenciál pro pravidelnou celodenní hodinovou nabídku spojení). Tento negativní fenomén se v praxi ukázal jako velmi pravdivý všude, kde se daný způsob dopravní obslužnosti objevil. Guyer tedy zkoušel dále pomocí výpočetní techniky optimalizovat návrh JŘ pomocí metod operačního výzkumu.

Bohužel se však tehdy nenašel žádný počítač (a toto platí zřejmě až do dnešních dnů), který by našel optimální řešení na základě širokého spektra vstupních parametrů (přání cestujících, možnosti infrastruktury, dostupný personál a vozidla, minimalizace prostojů atd.). Nalezené řešení bylo pouze suboptimální. Tento problém se v matematické praxi obecně nazývá NP-Problém (Nedeterministický-polynomální problém). Jedná se o takový problém, který nelze vyřešit v použitelném reálném čase. V oblasti matematického řešení jízdních řádů se NP Problém nazývá PESP – Periodic Event Scheduling Problem.

Samuel Stähli rozpoznal úskalí předchozího řešení a zaměřil se na zjednodušení úlohy prostřednictvím snížení stupňů volnosti. A k tomu již nebylo potřeba výpočetní techniky. Periodický jízdní řád sloužil sám o sobě k redukci komplexity systému. Zredukováním 24 hodinového cyklu na opakující se hodinový cyklus se snížila náročnost práce natolik, tak že se daly takto jednoduše připravovat jízdní řády pro celou síť. Princip uzlů, časové osy symetrie a systémových jízdních dob úměrných velikosti zvolené periody daly základ stabilnímu, z hlediska konstrukce nabídky jednoznačnému řešení, na které se dalo dále navazovat. Jako jednotící prvek nabídky periodické dopravy byly tyto principy převzaty všemi zeměmi, kam se periodická doprava postupně rozšířila.

Tento přístup v sobě dále nesl další důležité paradigma - převracel pořadí důležitosti v přípravě jízdního řádu jako takového. Zatímco u klasického neperiodického jízdního řádu determinovaly parametry vozidel a infrastruktury řešení konstrukce jízdního řádu - tj. konkrétních tras a jejich kvalitativních parametrů, periodický jízdní řád (zejména jeho integrovaná, celosíťovými přestupními vazbami charakteristická forma) determinuje v krajním případě kvalitativní aspekt trasy spoje požadavky na potřebný vozidlový park nebo potřebnou infrastrukturu. Projekt Bahn 2000 toto názorně reprezentuje. Byla stanovena síť přestupních bodů, potřebné jízdní doby, které bylo možno dosáhnout jedině úpravou infrastruktury (např. výstavba nové tratě Matstetten - Rothrist, zkracující systémovou jízdní dobu Bern-Zürich na potřebných 60 minut) nebo pořízením vhodných vozidel (lokomotiva řady 460, naklápěcí jednotky RABDe pro tratě s četnými oblouky s omezenými možnostmi (finančními) úpravy infrastruktury). Tento opačný přístup upřednostňující parametry jízdního řádu si dále bezpodmínečně vynucoval zavedení dlouhodobého plánování, jinak byl jeho efekt diskutabilní a při nesplnění nutných vstupních podmínek prakticky neefektivní a v mnoha směrech kontraproduktivní (provázání periodických a neperiodických systémů nemusí mít vždy dobrá, pro cestujícího přijatelná řešení).

Tímto byl položen i poněkud odlišný přístup k problematice periodické dopravy ve Švýcarsku a v Německu. Zatímco Švýcarsko postupně směřovalo ke kursu nastaveného myšlenkovým směrem reprezentovaným Samuelem Stählim (byť to trvalo zhruba 15 let, než byl koncept Bahn 2000 jakožto funkční řešení původního návrhu Spinnerclubu 6. prosince 1987 v referendu schválen, paradoxně v den úmrtí jeho hlavního myšlenkového autora), Německo se snažilo optimalizovat jízdní řád např. metodou PESP. Hledáním optimálního, resp. suboptimálního řešení se výrazně zabývá např. prof. Karl Nachtigall z TU Dresden prostřednictvím teorie grafů, lineárního programování atd. Oproti Švýcarsku, kde hlavním mottem celého plánování je „jet tak rychle, jak je potřebné“,

tj. i za cenu prodloužení celkové doby přepravy vlivem nutných přestupních pobytů ve vybraných uzlech, je v Německu v dálkové dopravě nezanedbatelná snaha o rychlou dopravu (tj. minimalizace celkové přestupní doby) i na úkor přestupních celosíťových všestranných vazeb. Primárně je tedy sledována cesta „jet tak rychle, jak je to možné“, ze které výše uvedené optimalizace nutně vyplývají. To neznamena, že by systém uzlů a integrovaný taktový jízdní řád jako takový nebyl nijak akceptován. Oproti Švýcarsku však k tomuto došlo až v 90. letech 20. století a to cíleně především v regionální dopravě. Provázaný systém dálkové dopravy v periodě však byl v Německu realizován postupně od konce 60. let 20. století, tedy dříve než ve zmiňovaném Švýcarsku. Vazby v systému však vycházely do velkých uzlů spíše náhodně, než že by se kvůli jejich zavádění výrazně cokoliv na stávající infrastrukturu měnilo.

Fungování periodické dopravy, její rozšiřování (Nizozemí, Německo, Švýcarsko) nebo nové realizace (Dánsko, Belgie), se odrazily dále i ve stoupajícím počtu odborných pojednání. Tento trend výrazně započal v 70. letech 20. století a dá se konstatovat, že trvá až do dnešních dnů. Významný vliv na celou řadu výzkumných záměrů má základní vlastnost systematického jízdního řádu - periodicita, která se dá dobře řešit matematickými nástroji a optimalizačními úlohami např. operačního výzkumu.

Dizertační práce Helmuta Wegela z roku 1974 je jedna z prvních, která analyzuje graficko-matematicky jízdní řády a snaží se odvodit jejich nezbytné zákonitosti, potřebně nutné pro jejich sestavování. Cílem práce bylo metodické stanovení optimálního jízdního řádu dané železniční sítě pro regionální dopravu. Bezesporu zajímavým výsledkem je především to, že se jednotlivé parametry, které mají vliv na konstrukci jízdního řádu, dají popsat jednotným vztažným systémem tzv. vazbami jízdního řádu. Tyto vazby představují v principu časové závislosti mezi trasami jízdního řádu v daném místě. Jedná se např. o dopravní vazby v podobě dob mezer nebo následných mezidobí, přepravní vazby ve smyslu přestupních vazeb, samotnou periodu jízdního řádu, který může mít charakter linkové (tj. vztah mezi velikostí periody v závislosti na uspořádání linek a disponibilního počtu vozidel) resp. traťové (konstantní časové odstupy jednotlivých souprav na společném úseku více linek) periody. Práce byla zpracovávána na TU Braunschweig ve spolupráci s tehdejšími německými spolkovými drahami DB. Ve své době byla rovněž jedna z prvních, která se nesoustředila čistě na matematické řešení dané problematiky bez možnosti dalšího praktického využití.

Na práci H. Wegela navazuje volně svým článkem uveřejněným v roce 1979 v Eisenbahntechnische Rundschau Klaus Wiegand, který zmiňuje možnosti využití



operačního výzkumu pro optimalizaci sestavy periodických jízdních řádů. Snahou je najít nejlepší řešení (minimalizace přestupů, maximalizace přímých spojení pro nejsilnější relace) s co nejmenšími náklady na jeho realizaci (především zásahy do infrastruktury). Toto doplňuje již zmiňovaná poznámka o přístupu německé odborné veřejnosti k řešení periodické dopravy oproti řešením švýcarským.

Michael Lichtenegger si ve své dizertační práci obhájené na počátku 90. let 20. století na TU Graz stanovil za cíl najít algoritmus určující závislost investic do dopravní sítě a potřebné velikosti hranového času mezi dvěma uzly v rámci ITJŘ. Tento algoritmus řeší Lichtenegger pomocí lineárního programování s využitím výpočetní techniky. V úvodu práce stanovuje podmínky pro potřebné hranové časy mezi uzly. S pomocí teorie grafů převádí síť „zperiodizovaného“ dopravního systému do tzv. "dopravního řetězového grafu" ("Transportkettengraph") – viz obrázek 7. Jednotlivým hranám grafu přiřazuje hodnoty odpovídající rozdílu hranových časů skutečných a difference mezi nimi a hledaným hranovým časem. To vše ve vztahu k podmínkám celkového požadovaného hranového času na linii mezi uzly, resp. v rámci uzavřené smyčky. Tyto údaje slouží potom jako vstupní údaje pro optimalizační program. Výsledkem je celá řada variant od kratších hranových časů na jednotlivých úsecích sítě přes vysoké náklady na jejich dosažení až po delší hranové časy s menšími investicemi. Tyto varianty lze různě kombinovat podle provozní a přepravní důležitosti, požadavků na síť a množství finančních prostředků. Nelze nepřehlédnout aktuálnost dokončení tehdejší práce se zavedením periodické dopravy v dálkové dopravě v Rakousku roce 1991 pod názvem „Der neue Austrotakt.“

Že má periodická doprava i své nevýhody bylo zmíněno na začátku této kapitoly a je řešeno i v další, resp. předchozí části. Christian Liebchen z TU Berlin v periodiku ETR Heft (2005) srovnával výhody, nevýhody a možnosti optimalizace běžného „poptávkového“ jízdního řádu a dále 3 základní formy periodického jízdního řádu - periodického nesymetrického, symetrického periodického a integrovaného taktového. Zabývá se otázkou, zda je ideální vždy a všude zavádět ITJŘ, například tam, kde je vytíženost spojů nejsilnější ve špičce a v sedlech je malá. Konstatuje, že dopravce si musí vybrat nejvhodnější formu realizace JŘ. Výhodu periodické dopravy v její přehlednosti a relativní plánovací jednoduchosti vyvažuje problematika nutnost vyvolané změny a nízká flexibilita na změnu přepravních vztahů.

Významným subjektem v oblasti periodické dopravy v celoevropském měřítku je společnost SMA and Partner z Curychu. Její projekty návrhu dopravních řešení a optimalizačních úloh z oblasti veřejné dopravy na železnici i mimo ní ve Švýcarsku,

Portugalsku, Německu, Francii, Belgii staví tuto společnost mezi významné konzultační a dopravně-inženýrské subjekty v Evropě. Jednotliví pracovníci této společnosti jsou do současné doby velmi aktivní v publikační činnosti týkající se podpory periodické dopravy. Mezi ně patří např. Werner Stohler, který se dlouhodobě zabývá vztahem mezi periodickým jízdním řádem a příměstskou dopravou.

## **9. Historický vývoj realizace periodické dopravy na železnici**

### ***9.1 Všeobecný přehled***

Periodická forma nabídky jízdního řádu je v dnešní době spíše standardem v organizaci provozu železniční osobní dopravy v mnoha zemích Evropy. Její aplikace a vývoj v mnoha směrech odráží vyspělost dané země, její politické a demografické uspořádání a historické překážky v podobě dvou světových válek. Výrazně k jejímu rozvoji přispěla konkurence ze strany zejména individuální automobilové dopravy. Snaha nejprve samotných národních nebo soukromých železničních správ či dopravců a později zejména u objednávaných výkonů v osobní dopravě ze strany příslušných objednatelů (regiony, kraje, stát) o udržení konkurenceschopnosti a zvýšení atraktivity vedla k nutnosti nabídnout něco nového a pro cestujícího akceptovatelného v oblasti nabídky přepravních služeb. Periodická doprava sem rozhodně patří.

V minulosti lze vysledovat několik vln ať už v oblasti úvah nebo vlastní aplikace. Co země, to mnohdy různý přístup, nicméně lze v rámci Evropy vysledovat i společné prvky, které svědčí o vzájemném epigonství a přebírání úspěšných modelů ze států, kde se tato forma organizace dopravy setkala s úspěchem a pozitivním dopadem do počtu přepravených cestujících a růstem tržeb z přepravy.

Ideálním prostředím pro využití periodické formy jízdního řádu jsou hustě osídlené městské a příměstské aglomerace nebo polycentrické oblasti typu Nizozemí, Porúří, Ostravska, Horního Slezska apod. Je zde zaručena dostatečná hustota přepravních proudů, která umožňuje v závislosti na její velikosti až řádově minutové periody na vybraných úsecích. Tyto typy oblastí byly prvními, kde byla periodická doprava s úspěchem realizována a odkud se šířila dále. První vlna proběhla v Nizozemí na počátku a ve 30. letech 20. století a následně ve 30. letech 20. století v Porúří. Druhá světová válka rozvoji železnic „přilíš nepřála“ a tato situace se opakovala i v 50. a 60. letech 20. století, kdy byla masivně podporována individuální automobilová doprava jakožto moderní dopravní prostředek „nového věku“. Teprve od konce 60. let a následně s ropnou krizí v 70. letech lze zaznamenat

renesanci systémů příměstské dopravy a aplikaci periodického jízdního řádu, a to především ve velkých aglomeracích západní Evropy. K další výrazné vlně došlo v 90. letech, která s určitými odchylkami trvá až do dnešních dnů a její „stopy“ lze prakticky vysledovat napříč celou Evropou a i jinde ve světě.

Konvenční dálková doprava zaznamenala přechod k periodě v širším měřítku mnohem později. S výjimkou Nizozemí, kde byl již ve druhé polovině 30. let 20. století aplikován prakticky celosíťový model periodické dopravy, lze významnější projekty najít teprve od konce 60. let v tehdejší západní Německu. Během 70. let probíhaly diskuze o zavedení periodické dopravy v dálkovém segmentu ve Švýcarsku, kde k tomuto došlo v roce 1982 zavedením hodinové periody prakticky na všech dálkových relacích. 80. léta jsou spojená se zavedením periodické dálkové dopravy v Belgii a Lucembursku a rozšířením v západní Německu a na počátku 90. let v Rakousku. K masivnějšímu rozšíření v dálkové dopravě došlo v ostatních zemích Evropy až po roce 2000.

Tím, jak se postupně systémy periodické dálkové a příměstské dopravy rozšiřovaly po jednotlivých sítích příslušných železnic, vyvstala nutnost na tuto skutečnost reagovat rovněž ve zbývajícím segmentu ostatní regionální dopravy. „Hnacím motorem“ byla buď nutnost návaznosti na dálkovou síť provozovanou v periodě, nebo k jejímu zavedení přispěl proces regionalizace a převedení odpovědnosti za její financování na regiony od 90. let 20. století. V tomto vynikalo především Německo se svými tzv. Ländertakty: Rhein-Pfalz-Takt ve spolkové zemi Porýní-Vestfálsko, Allgäu-Schwaben Takt později rozšířený na celou spolkovou zemi Bavorsko v rámci tzv. Bayerntaktu, 3-Löwentakt v Bádensku-Württembersku. Jiné země západní ale i střední a částečně i východní Evropy v tomto postupně nezůstávaly pozadu.

Poslední oblastí aplikace periodické dopravy je segment dopravy vysokorychlostní (VRT). V převážné většině zemí byla realizovaná nabídka spojení na nových VRT od počátku v periodické formě jako např. v Japonsku nebo Německu, později následovanými Španělskem, Belgií, Nizozemím a Itálií. Zvláštním fenoménem v oblasti periodické dopravy byla Francie, která díky svému monocentrickému uspořádání koncentrovala a koncentruje své páteční spojení do dálkových relací Paříž - zbytek Francie, popř. v aglomeraci vlastního hlavního města. Dlouhodobě realizovaný poptávkový JŘ vlaků TGV byl pomalu měněn do periodického rastru, k čemuž výrazně „přispěla“ i nutnost respektovat periodická schémata sousedních států, kam vlaky TGV začaly zajíždět. Nutnost koordinace národních periodických systémů (a to všech) se ukázala jako potřebná v případě společnosti Thalys

v roce 2006, která v rámci svých marketingových aktivit poněkud podcenila nutnost respektovat okolní periodické systémy osobní dopravy a řešila poměrně komplexní problém s hledáním vhodných tras v rámci své hlavní přepravní osy Paříž - Brusel - Amsterdam/Kolín nad Rýnem. Tento problém otevřel otázku nutnosti hledání společných řešení v nabídce vysokorychlostní dopravy napříč Evropou. Je však otázkou, do jaké míry bude snaha realizována a aplikována na nově liberalizovaném evropském trhu mezinárodní dálkové železniční dopravy.

V dalším textu budou popsány některé příklady vývoje periodické dopravy ve vybraných zemích Evropy.

## **9.2 Nizozemí**

Jednou z prvních železničních správ, která zavedla periodický jízdní řád, byly nizozemské železnice NS. Již v roce 1908 byla na elektrifikované trati Rotterdam – Den Haag nabízena perioda 10 – 30 minut. K dalšímu rozšíření této formy JŘ u NS dochází po první světové válce. Nastupující motorizace v silniční dopravě vytváří konkurenci železnici a NS byly nuceny restrukturalizovat svou síť a organizaci dopravy. Byl zastaven provoz na mnohých tratích a uzavřena celá řada zastávek a stanic. Během let 1930 – 1951 byla železniční síť zredukována na zhruba polovinu stavu roku 1930. Zároveň však s postupnou elektrizací dochází k urychlení přepravy na ostatních tratích a zavedení periodického jízdního řádu na většině sítě NS. Realizace první pokusné fáze proběhla se zahájením JŘ v roce 1934 zavedením uzlového systému s oboustrannými přípojnými vazbami ve vybraných stanicích.

V roce 1938 byl systém rozšířen na celou síť. Základem byla dvouhodinová perioda vlaků, ve špičkových obdobích dne rozšíření na 60-ti nebo 30-ti minutovou periodu, v hustě osídlených oblastech byla realizovaná nabídka dokonce v 15-ti minutové periodě. Zajímavostí byla přednost systému vnitrostátních vlaků před vlaky mezinárodními. Železnice přebírá spíše dálkovou a příměstskou funkci v dopravní obslužnosti, v místní a regionální dopravě je nahrazena autobusovou dopravou. Výraznější optimalizace systému byla spojena v 70. letech s projektem Spoor-Naar 75'. V 80. a 90. letech se systém dostal na svou kapacitní hranici, jak v oblasti nabídky spojení, nabízené kapacity míst, tak i provozní stability. V této době jezdily po síti NS dálkové i regionální spoje až v 15-ti minutové periodě. Od roku 2007 byl realizován nový systém pouze se 2 kategoriemi vlaků. Špičková nabídka se u obou segmentů pohybuje až 6 páry spojů za hodinu, což představuje 10-ti minutovou periodu.

### **9.3 Německá spolková republika, sjednocené Německo po roce 1993**

Ucelený koncept periodické dopravy na území tehdejšího tzv. Západního Německa narážel na celou řadu problémů: komplikovanost sítě německých spolkových drah DB, málo oblastí s dostatečně velkou hustotou obyvatelstva, neoddělený osobní a nákladní provoz, různorodé požadavky na dopravu v jednotlivých regionech atd. Jednou z výjimek, kde osobní doprava vykazovala prvky periodického provozu, bylo Porúří. Ve srovnání s ostatními částmi sítě DB zde byly podmínky pro její zavedení více než příznivé. Od poloviny 30. let 20. století byla provozována celá řada spojů podle možností v rámci periodického jízdního řádu, na mnoha místech dokonce ve smíšeném provozu s nákladní dopravou. Přerušení přinesla až 2. světová válka a teprve v 50. letech byl tento systém opět znovu obnovován. Tentokrát již s oddělením nákladní a osobní dopravy, což umožňovalo zahuštění dopravy a snížení periody až na 10 minut.

V průběhu 70. let začal být testován nový periodický systém v dálkové železniční dopravě. Byla navržena síť IC vlaků propojující velká centra. Primárním cílem bylo zvýšení četnosti spojů a dosažení určitého komfortu cestování. V systému byla v podstatě rozšířena tehdejší síť mezinárodních vlaků TEE přidáním nových vnitrostátních spojů. Byly zavedeny 4 zkušební relace IC vlaků: Hamburg – Dortmund – München; Hannover – Köln – München; Hamburg – Frankfurt – Basel; Bremen – Würzburg – München; vlaky jezdily zhruba ve dvouhodinové periodě. Délka sítě IC vlaků byla 3700 km a zahrnovala v 1. fázi cca 33 měst. Zavedením větší pravidelnosti v provozu těchto vlaků bylo dosaženo lepšího využití vozidlového parku, což bylo shledáno jako velmi pozitivní.

Poté byly navrženy další dílčí zlepšení systému, což vyústilo v realizaci tzv. Integrovaného systému obslužnosti v dálkové osobní dopravě (Integriertes Bedienungssystem im Personenfernverkehr - IBS), který probíhal ve třech etapách v letech 1979 – 1985. V rámci tohoto projektu došlo k rozšíření doby nabídky spojů na delší časové období dne, byla zahuštěna perioda na 1 hodinu, zvětšil se počet obslužených míst, byla vytvořena další rozšiřující síť (tzv. síť B, 12 relací dálkových vlaků) navazující na původní tzv. síť A, zlepšeny návaznosti na regionální dopravu, některé vlaky IC byly protaženy do sousedních zemí. Celkem zahrnovaly obě sítě A+B dohromady 24,7% sítě DB.

V dalších letech byl periodický jízdní řád aplikován rovněž na dálkovou vysokorychlostní dopravu, která postupně přebírá roli konveční dálkové dopravy. Standardem je dvouhodinová nebo hodinová nabídka spojů. Německo se však nevydalo cestou celosíťového ITJR, tak jako tomu je např. ve Švýcarsku (viz níže) nebo v Nizozemsku.

Důvodů je celá řada, jedním z nich je fakt, že dálková doprava je v Německu provozována na komerční riziko dopravce a DB nemá především z ekonomických důvodů zájem provozovat tento systém všude a v takovém rozsahu, jako je obvyklé v již zmiňovaném Švýcarsku (zde je také dálková doprava na komerční riziko, nicméně v rámci exkluzivity trhu musí SBB na daných dálkových relacích nabízet minimálně hodinovou periodu po celý den).

Na mnoha územích však ITJŘ v regionální dopravě zaveden byl. Jedná se např. o tzv. Rhein-Pfalz-Takt, Bayerntakt, 3-Löwentakt, atd., které byly postupně realizovány v 90. letech 20. století.

#### **9.4 Švýcarsko**

Ojedinělým projektem v oblasti veřejné dopravy s akcentem na celosíťový periodický jízdní řád je Bahn 2000 Švýcarských spolkových drah SBB. Vývoj periodické dopravy v této „alpské železniční zemi“ probíhal od 60. let 20. století. První kroky byly podniknuty u menších privátních železnic zejména v příměstské a regionální dopravě. Velikost periody se pohybovala od 6-ti do 60-ti minut. Ani SBB nezůstaly dlouho s periodickou dopravou pozadu. První tratí, kde byl periodický provoz zaveden, byl úsek Zürich – Rapperswil v roce 1968 s časovým odstupem jednotlivých spojů 30 minut.

V roce 1972 uveřejnila skupina pracovníků SBB (tzv. Spinner-Club) zprávu „Taktfahrplan Schweiz, ein neues Reisezugkonzept.“ Tato soukromá iniciativa vyvolala široké odborné diskuze o formě provozování osobní dálkové a regionální železniční dopravy ve Švýcarsku a na jejím základě bylo vypracováno několik konceptů řešení, které předpokládaly plošné zavedení periodického jízdního řádu. Byly navrženy 3 základní skupiny vlaků od dálkových dnešního typu IC (typ A), přes běžné rychlíky (typ B) až po osobní regionální vlaky (typ C). Předpokládala se hodinová perioda všech kategorií vlaků s možnými výjimkami v úsecích s menšími přepravními proudy. Vlaky A a B vytvářely ve vybraných uzlech přípojové skupiny a obsluhovaly vybranou síť. Vlaky C zajišťovaly zbylou obslužnost a návaznost na vlaky A a B v uzlech.

Je nutno podotknout, že se objevila celá řada otázek, zda se povede ve Švýcarsku celosíťový PJŘ úspěšně realizovat. Obavy plynuly z ekonomického zajištění a hospodárnosti celého projektu, části infrastruktury nebyly připraveny na tak velké provozní zatížení, řešila se otázka tranzitní dopravy a její integrace do systému, na většině sítě musel být dosažen konsenzus mezi osobní a nákladní dopravou apod.

Přesto však byl nakonec nový koncept zpracován, v roce 1981 uveřejněn a od JŘ 1982/83 pod heslem „Každou hodinu jeden vlak“ uveden do provozu. Rok 1984 je

významným mezníkem v projektu Bahn 2000. V tomto roce byla utvořena pracovní skupina zabývající se novou koncepcí železniční dopravy. Úkolem pracovní skupiny bylo navrhnout samotný koncept nabídky spojů, jednotlivé etapy budování projektu a financování jeho výstavby. Za základ byl vzat periodický jízdní řád s cílem dosažení půlhodinových period vlaků Intercity a rychlíků na hlavních tazích švýcarské konfederace. Projekt Bahn 2000 byl schválen referendem v roce 1987 a poté byly zahájeny práce po jednotlivých etapách. Pátevní tratí nového systému se stal úsek Bern – Olten – Zürich s novostavbou Mattstetten – Rothrist s maximální traťovou rychlostí 200 km/h. Harmonizace mezinárodní dopravy ve směru sever a jih se systematickým jízdním řádem na území konfederace byla dalším cílem. Do systému byly zapojeny jak vlaky EC přijíždějící z Německa, tak i vlaky IC a Cisalpino ve směru z Itálie. Od zahájení JŘ 2004/5 byla plně dokončena 1. etapa.

### **9.5 Česká republika**

Periodický jízdní řád na železnici je u nás v širším měřítku aplikován zhruba od konce 90. let, byť první náznaky hodinové periody se objevily na trati Praha - Kolín v příměstské dopravě již v polovině 80. let minulého století. Nejprve se jednalo o rozšíření na příměstských tratích v okolí Prahy v rámci PID, následuje ODIS v Ostravsko – Karvinské aglomeraci, poté Integrovaný dopravní systém Jihomoravského kraje a dále pak v příměstských oblastech větších sídel.

Dálková doprava v periodické formě se začíná objevovat na 1. koridoru zhruba od roku 2001, zejména na EC relaci DB – Praha – Brno – Břeclav – ÖBB/ŽSR/MÁV a pak IC/Ex relaci Praha – Ostrava – ŽSR/ČD. Postupně byly do periodických systémů zapojeny i další relace spojující Prahu s ostatními velkými centry (např. Plzeň, Hradec Králové, České Budějovice), a to především na dvojkolejných tratích. Dále byly přidány tangenciální linky (např. Plzeň - České Budějovice - Brno) a ostatní relace ve zbylých regionech.

Nabídka a k ní příslušná poptávka železniční osobní dopravy na území České republiky se dá rozdělit podle typových produktů v dálkové, příměstské a ostatní regionální dopravě na základě jejich rámcové přepravní funkce nebo počtu přepravených osob (maximální řez průměrný den v týdnu nebo průměrný pracovní den v týdnu) na vybraných úsecích. Produkty A a B se týkají dálkové dopravy. Produkt A představuje v principu dálkové rychlé spojení na koridorových tratích v celém jejich úseku (např. EC/IC Praha – Ostrava, Břeclav – Praha - Děčín) s kvalitou vozů odpovídající standardům EC/IC vlaků. Spadá sem i linka Praha – Ústí nad Labem – Cheb, resp. Praha – Olomouc – Horní Lideč/Luhačovice.

První z nich např. v úseku Praha – Ústí nad Labem plní funkci rychlého spoje a ve zbylé trase jede jako klasický vlak R. Produkt B zahrnuje vlaky Ex a R na ostatních linkách se silným přepravním potenciálem spojujících krajská města a dále vlaky R, které jsou doplňkovými spoji s nácestnou obsluhností k dálkovým spojům kategorie A.

Produkty C a D se týkají příměstské dopravy. Kategorie C jsou zrychlené vlaky linek v pásmovém příměstském provozu, kategorie D pak v každém místě zastavení zastavující vlaky příměstských linek. Spoje kategorie C nejsou doposud na území ČR ve větší míře v příměstské dopravě aplikovány.

Zbývají linky produktu E, což jsou ostatní regionální vlaky (Os). Tyto linky lze rozdělit především podle průměrného denního množství přepravených cestujících během pracovního dne v nejsilnějším řezu linky. Dále je též možné částečně přihlížet k hustotě osídlení a velikosti a počtu sídel ležících na dané lince. V tabulce 3 je popsán možný standardní kvalitativní (perioda) a kvantitativní rozsah (doba provozu) nabídky spojů, který by měl být rámcově na jednotlivých linkách či tratích dodržen.

Tab. 3: Shrnutí rozsahu standardní nabídky dopravy a doby provozu

produkt	popis	cílová nabídka – perioda (min)	doba provozu*
A, B	dálková doprava	60 / 120	04 - 24 06 - 22
C, D	příměstská doprava	30 / 60 / 120 při prokladu linek 15 / 30	04 - 01
E	ostatní regionální doprava	30 / 60 / 120 na málo zatížených linkách poptávkový JŘ	04 – 23

\* první hodina odjezdu a poslední hodina dojezdu z/do výchozí/cílové stanice



## **Příloha: Integrované přestupní uzly**

V současné době pokračuje postupné snižování přepravního podílu veřejné hromadné dopravy na úkor především individuální automobilové dopravy. Výjimkou není ani situace v městské hromadné dopravě, kdy i přes různá opatření se nedaří tento negativní trend zastavit nebo aspoň výrazně zpomalit. Uvedená opatření jsou různě náročná nejen z hlediska nároků na finanční prostředky, přičemž efekt po jejich aplikaci nebývá vždy v souladu s očekáváním.

Především v malých a středně velkých městech se s úspěchem aplikuje další druh opatření, který v porovnání s jinými opatřeními podstatně podporuje udržení pozice MHD na přepravním trhu ve městě a podporuje i zisk nových cestujících pro MHD. Tímto opatřením je budování tzv. integrovaných přestupních uzlů pro MHD (v němčině se používá označení *Rendezvous Punkt* nebo hovorovější *Treffpunkt*).

### ***Charakteristika integrovaných přestupních uzlů***

Pod pojmem integrovaný přestupní uzel (využití má často v menších systémech MHD a dále také ve velkých městech ve večerním a nočním provozu) se rozumí v této souvislosti časově shodné setkávání spojů linek MHD ve vymezené lokalitě, které se vícekrát denně pravidelně opakuje (např. po hodině). Vozidla MHD se z co nejvíce linek (větví linek) setkají ve stejnou časovou polohu a po krátkém pobytu (s přírůžkou na případné krátké zpoždění jiných spojů) pokračují v jízdě. Poněvadž navíc velikosti period linek v menších systémech MHD jsou často velmi velké a přestupy u časově nesouladných přípojů mohou být časově velmi náročné, dosahuje časově shodné setkávání spojů linek pro pravidelné i nepravidelné cestující velký význam, pokud se cíl jejich cesty nenachází přímo v centru města. V menších a středně velkých městech se často doporučuje situovat integrovaný přestupní uzel na ústřední autobusové nádraží, které bývá často situováno v dosahu železniční stanice, nebo v centru/těžišti města.

Integrovaný přestupní uzel je účelné zřídit, pokud jsou zanalyzována kritéria jako důvody pro jeho zřízení, jeho poloha a podoba či provozní uspořádání. Externí návaznosti navzájem mezi MHD a železniční či autobusovou dopravou se mohou uskutečnit na více místech, pokud také časová koordinace z mnoha různých důvodů není pro jednotlivé směry možná. Z marketingového hlediska má tento bod význam i v tom, že vzájemně se setkávající dopravní prostředky prezentují MHD jednotně navenek jako z pohledu cestujících základní prvek systému (důležitý je samozřejmě i design a uspořádání tohoto přestupního bodu).



*Prostorová, časová a tarifní návaznost v integrovaném přestupním uzlu (Radolfzell, Německo)*

### **Požadavky na polohu integrovaného přestupního uzlu**

Poloha tohoto uzlu na území města závisí mj. na struktuře města (dopravní, sídelní apod.), na topografii, na polohách železničních stanic a autobusových nádraží, na poloze nákupních center a na dostupnosti území města. Vlastní poloha je v každém městě zvlášť ovlivněna různými faktory. Jako rozhodující kritérium pro jeho polohu hraje důležitou roli význam podílu dojíždějících příměstskou či regionální veřejnou dopravou do sousedních měst popř. do center velkých městských aglomerací, dále také mj. i význam podílu cest za nákupy v obchodních řetězcích. U vysokého podílu dojíždějících bývá tento bod situován zpravidla v lokalitě poblíž (v dosahu) železniční stanice či autobusového nádraží, naopak u převažujících cest za nákupy potom v blízkosti nákupního centra. Výhodná situace je především ve městech, kde se v blízkosti terminálu pro MHD, železniční a autobusovou veřejnou dopravu nachází i obchodní centrum.

Požadavky na polohu jsou definovány níže uvedenými body s tím, že toto nemusí vždy v každém případě bezvýtku platit a také mohou vzájemně stát v protikladu k sobě:

- Poloha ve středu cesty, čímž mohou vozidla MHD zpřístupnit co možná nejefektivněji území města s dostatečnou dobou jízdy mezi jejich následujícími vzájemnými setkáními a tak může být redukována potřeba vozidel pro přepravní spojení v rámci celého města (nejlépe v centru města, např. na centrálním náměstí).
- Dosažitelnost obchodního centra městskou hromadnou dopravou.
- Návaznost na železniční osobní dopravu a veřejnou linkovou autobusovou dopravu.
- Kultura při přestupu cestujících.
- Architektonická hodnota stavby.
- Vzhled v souladu s designem MHD (marketingový aspekt) a dobře začlenitelný do okolí.
- Otevřenost pro případné další rozšíření (posílení) dopravní nabídky (existence rezervní plochy).

Zastávky obecně by měly být situovány co možná nejblíže k těžištům poptávky po přepravě, čímž pro cestující existují krátké docházkové vzdálenosti jako jeden z nástrojů

pro zachování či zvýšení tržního podílu MHD oproti ostatním druhům dopravy. Tento požadavek se vztahuje nepřímo i na integrované přestupní uzly.

### ***Velikost, parametry, formy a uspořádání integrovaných přestupních uzlů***

Velikost těchto uzlů závisí na počtu vozidel MHD, které se zde setkávají. Jde o soulad počtu provozovaných větví linek MHD s vlastní koncepcí jízdních řádů. Další parametry, které mají vliv na velikost přestupního bodu, jsou délky dopravních prostředků MHD a otázka, zda vozidla svá stanoviště nezávisle na sobě využívají a z jakého dopravně přepravního důvodu se setkávají. Pro vzájemné příjezdy a odjezdy na stanoviště nebo ze stanovišť je zapotřebí dostatečný manévrovací prostor (odstup) mezi za sebou řazenými vozidly a dostatečně široký další jízdní pruh pro objíždění stojících vozidel. Z dopravně provozního hlediska musí tedy podoba zastávek a bodů splňovat aspekty dopravní, jízdně dynamické a vozidlového parku.

vymezuující charakteristiky	požadavky
parametry	<ul style="list-style-type: none"> <li>- počet stanovišť</li> <li>- uspořádání nástupišť (ostrovní / boční / jiné)</li> <li>- celková délka a šířka nástupišť</li> <li>- uspořádání hrany nástupiště (podélné / stupňovité / pilovité / hřebenovité)</li> <li>- výška nástupiště</li> <li>- ochrana před povětrnostními vlivy (střecha / přístřešky / nekryté)</li> <li>- architektonické začlenění do okolí atd.</li> </ul>
formy	<ul style="list-style-type: none"> <li>- stanoviště na okraji komunikace</li> <li>- nástupní prostory u ostrovního nástupiště</li> <li>- paralelní uspořádání s více nástupišti (každé vždy pro 1 vozidlo)</li> <li>- kombinace těchto způsobů</li> </ul>
dopravní uspořádání	<ul style="list-style-type: none"> <li>- setkávání spojů linek (časově shodné / neshodné)</li> <li>- pro plánované setkávání vozidel MHD v uzlech je nutným předpokladem bezkonfliktní (tzn. bez kongescí) oběh vozidel na linkách</li> <li>- doba pobytů vozidel (spoje linek)</li> <li>- vlastní provozní uspořádání (levostranný provoz /</li> </ul>

	pravostranný provoz / jiné) <ul style="list-style-type: none"> <li>- poloha uzlu na síti ulic města (vyhrazená komunikace či prostor pro MHD / běžná komunikace)</li> <li>- sled odjíždějících spojů MHD (stanoveno jízdním řádem / podle provozně přepravní situace) – problém odjezdu stejných spojů (řazených těsně za sebou) v jednotlivých dnech z různých stanovišť podle doby příjezdu, kdy je nutno doplnit elektronické informační panely ke stanovištím</li> <li>- možnost objíždění stojících vozidel MHD</li> <li>- prostorová rezerva</li> </ul>
vybavení pro cestující	<ul style="list-style-type: none"> <li>- zvýšené nástupiště, stanoviště s označníky, přístupová komunikace</li> <li>- informační nástroje statické a dynamické</li> <li>- jízdenkové automaty, telefonní automat</li> <li>- informační středisko se sociálním zařízením, terminál bike + ride (popř. i park + ride)</li> <li>- stanoviště vozidel taxi, novinový stánek, stánek s občerstvením</li> </ul>

### ***Aplikace v praxi***

V praxi je možné se setkat s mnoha případy systémů městské dopravy s využitím integrovaných přestupních uzlů. Ovšem nejvíce příkladů je možné najít v německy mluvících zemích, především v samotném Německu. V textu následuje charakteristika vybraných systémů z praxe.

#### **Lindau** ([www.sw-lindau.de](http://www.sw-lindau.de))

Asi jako jeden z nejnázornějších příkladů je možné uvést systém městských autobusů v německém městě Lindau (u Bodamského jezera), s přibližně 25 tisíci obyvatel, který byl zprovozněn v roce 1994. Původní systém městské autobusové dopravy byl provozován společností Deutsche Bundesbahn (DB) už v 50-tých letech 20. století a postupně do konce 20. století ztrácel většinu svých cestujících.

Koncem druhé poloviny 20. století ale jiní autobusoví dopravci ve městech u Bodamského jezera (např. Frauenfeld (Švýcarsko), Dornbirn a Bregenz (Rakousko)) podstatně zlepšily kvalitu a zvýšili využívání svých nabídek. Město Lindau se z toho důvodu rovněž rozhodlo reorganizovat svůj systém. Představitelé Lindau se inspirovali těmito modely v sousedních městech a během jednoho roku samostatně (bez externích konzultantů) připravili

pro své město novou koncepcí městské autobusové dopravy, právě s využitím integrovaného přestupního uzlu.

Nový systém byl podpořen neočekávaným zájmem cestujících: od začátku reagovalo na novou nabídku více než 6000 (nyní 8000) cestujících denně, tedy více než na dvojnásobek toho počtu, který se očekával. Hlavním problémem systému se stalo zvládnout tuto vysokou úroveň poptávky. Systém je založen na přesně půlhodinových periodách na 4 linkách, spoje jezdí i o víkendech. Všechny autobusy se pravidelně po půl hodině setkávají na integrovaném přestupním uzlu (Anheggerstrasse) a tak umožňují cestujícím snadný přestup na spoj jiné linky. Spoje všech 4 linek obou směrů odjíždějí z integrovaného přestupního uzlu vždy v XX:10 a XX:40, takže se vždy jedná o současné setkání vozidel 8 spojů. Z libovolné části ve městě do jiné části města se cestující proto přepravuje přímým spojem nebo s jedním přestupem.

Dopravce je Regionalverkehr Alb-Bodensee, filiálka Bundesbahn (DB, od 1994 DB AG). Odpovědnost za management a marketing převzala organizace Stadtwerke Lindau (komunální podnik města Lindau). Autobusy využívají na světelné křižovatce přednost/preferenci před jinými dopravními prostředky. Systém městských autobusů v Lindau s dopravním výkonem 900 tisíc km za rok přepraví měsíčně 240 tisíc cestujících, což představuje hodnotu, který jiná města se srovnatelnou velikostí dosahují za jeden rok (délka dopravní sítě je 70 km). Tento přístup ukázal nové perspektivy pro dopravce ve městech se srovnatelnou velikostí - koordinaci a integraci dopravy s využitím integrovaného přestupního uzlu.



*Pravidelné setkání 8 spojů v integrovaném přestupním uzlu ve městě Lindau*

**Lemgo** ([www.stadtbuss-lemgo.de](http://www.stadtbuss-lemgo.de))

Německé město Lemgo s cca 40 tisíci obyvatel, nacházející se jižně od Hamburku, podpořilo v roce 1994 vznik nové koncepce městské autobusové dopravy na podobném principu jako v případě města Lindau, kdy byl na okraji historického centra města zřízen integrovaný přestupní uzel (zastávka Treffpunkt). Na území města a pro zajištění dopravní obslužnosti městských satelitů je v provozu celkem 5 periodických linek městských autobusů, u kterých všechny spoje obsluhují integrovaný přestupní uzel. Ročně se v systému přepraví okolo 2 milionů cestujících.

Linky 1 až 4 mají v pracovní dny a v sobotu stanovenou periodu 30 minut, linka 5 potom 60 minut. Navíc v přepravních špičkách v pracovních dnech je perioda u linek 1 až 3 zkrácena na 15 minut. Linky 4 a 5 slouží pro přepravu mezi městem a menšími městskými satelity.

**Euskirchen** ([www.sveinfo.de](http://www.sveinfo.de))

Město Euskirchen při západní hranici Německa s cca 55 tisíci obyvatel změnilo od roku 1996 systém městské autobusové dopravy, kdy u hlavní železniční stanice vznikl integrovaný přestupní uzel s garantovanou přestupní návazností nejprve spojů 2 linek, krátce poté dalších 3 linek.

Pro cestující je zde k dispozici 5 periodických linek s úplnou garancí návazností v integrovaném přestupním uzlu (Euskirchen hlavní nádraží), provozovaných v pracovních dnech s periodou 20 minut v přepravních špičkách a 30 minut v přepravních sedlech, v sobotu potom s periodou 60 minut (využívá je cca 90% cestujících). Dále je do systému městské dopravy zahrnuto 6 linek (některé jsou periodické) bez úplné garance přestupních vazeb v uzlu a dále 6 školních linek. Měsíčně se v systému městské dopravy přepraví cca 400 tisíc cestujících při dopravním výkonu vozidel cca 120 tisíc kilometrů.

**Arnstadt** ([www.rbnarnstadt.de](http://www.rbnarnstadt.de))

Město Arnstadt v centrální části Německa s cca 25 tisíci obyvatel provedlo změnu koncepce systému městské dopravy v roce 1996. Rozhodující byl vznik integrovaného přestupního uzlu v centru města, s názvem Bustreff.

V současné době jsou pro cestující k dispozici celkem 4 autobusové linky městské dopravy. Jedna linka je doplňková, další potom v pracovních dnech je vedena s hodinovou periodou v XX:30 z integrovaného přestupního uzlu přes autobusové nádraží do významného



městského satelitu, v opačném směru pro přestupní návaznost na ostatní linky přijíždějí zpět před XX:30. Jádrem systému jsou ale 2 smyčkové linky s periodou 30 minut.

První smyčková linka vede z autobusového nádraží přes Bustreiff dále ve smyčce na okraj města a zpět přes Bustreiff na autobusové nádraží. Druhá autobusová linka vede z dalšího městského satelitu přes autobusové nádraží a Bustreiff dále ve smyčce do jiného městského satelitu a zpět přes Bustreiff a autobusové nádraží do výchozího městského satelitu. Spoje linek se na zastávce Bustreiff setkávají vždy v XX:00 a XX:30. U obou linek je doba jízdy na smyčce Bustreiff – Bustreiff shodně 30 minut, takže tím dochází k násobnému zvyšování přestupních vazeb v integrovaném přestupním uzlu Bustreiff.

### **Dingolfing** ([www.dingolfing.de](http://www.dingolfing.de))

Město Dingolfing z jihovýchodní části Německa s cca 20 tisíci obyvatel realizovalo novou koncepci městské dopravy od roku 1997. Šlo o zavedení čtyř periodických linek a v centru města i integrovaného přestupního uzlu (Spitalplatz, původně Marienplatz).

Kuriozitou je to, že pro informování cestujících se nepoužívají čísla linek, ale barvy linek. Zde mají vozidla provozovaná vždy na konkrétní lince stejnou barvu jako má linka ve schématu sítě. Kromě toho je zde k dispozici vozidlo bílé barvy s barevnými pruhy všech linek, které je nasazováno v případě poruchy, servisu apod. kmenových vozidel (cestující takto snadno pozná, o kterou linku se jedná nebo že je nasazeno mimořádně náhradní vozidlo).

Všechny linky (modrá, žlutá, červená, zelená) jsou periodicky každou hodinu vedeny vůči Spitalplatz tak, že končící spoje přijíždí na tuto zastávku krátce před XX:00, výchozí spoje odjíždí v XX:00. Navíc ještě u modré a žluté linky se toto opakuje i v XX:30 (jde tedy o linky s periodou 30 minut). Cestující tato nabídka oslovila, protože například již 2 roky po spuštění tohoto systému narostl počet cestujících na více jak čtyřnásobek.

### **Buchholz** ([www.buchholz-bus.de](http://www.buchholz-bus.de))

Město Buchholz s cca 40 tisíci obyvatel, nacházející se asi 20 km jižně od Hamburku, má rovněž novou koncepci řešení městské dopravy s využitím integrovaného přestupního uzlu (zastávka Treffpunkt v centru města).

Jsou zde provozovány 3 linky (vždy s periodou 30 minut v pracovních dnech a dále v sobotu do odpoledne), které jsou trasovány vždy přes Treffpunkt. Spoje obou směrů všech linek odjíždí z Treffpunkt vždy v XX:15 a XX:45.

**Rheine** ([www.stadtwerke-rheine.de](http://www.stadtwerke-rheine.de))

Výborným příkladem je město Rheine s cca 75 tisíci obyvatel, nacházející se v severozápadní části Německa u hranic s Nizozemím. I zde byl vybudován na okraji centra města před železniční stanicí integrovaný přestupní uzel (Bustreff).

Ve městě je provozováno celkem 12 autobusových linek, které jsou vždy radiální a začínají právě na zastávce Bustreff. Odjezdy spojů linek ze zastávky Bustreff jsou v XX:15 a XX:45 v pracovní dny a v sobotu, dále v XX:45 v neděli a ve svátky (příjezdy z opačného směru jsou krátce před těmito časy). Pouze jedna linka pro dopravní obslužnost menších městských satelitů má odjezdy ze zastávky Bustreff v pracovní dny a v sobotu v XX:30 (příjezdy z opačného směru jsou opět krátce před těmito časy), v neděli a ve svátky zde změna oproti jiným linkám není.

**Wernigerode** ([www.wvb-gmbh.de](http://www.wvb-gmbh.de))

Město Wernigerode s 35 tisíci obyvatel se nachází v centrální části Německa. Integrovaný přestupní uzel (Rendezvous) se nachází poblíž centra města u železniční stanice. V rámci městské dopravy je pro cestující nabízeno využití celkem 4 periodických autobusových linek, přičemž všechny tranzitují přes Rendezvous a mají periodu 30 minut (o víkendech 60 minut).

Spoje v obou směrech u tří linek odjíždějí z Rendezvous v pracovních dnech v XX:15 a XX:45, o víkendu potom v XX:15. Čtvrtá linka trochu nelogicky v pracovních dnech v XX:00 a XX:30, o víkendu potom v XX:00 v jednom směru a XX:30 ve druhém směru.



*Integrovaný přestupní uzel ve městě Bünde (Museumsplatz)*