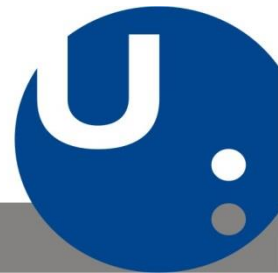


Časová koordinace spojů v sítích s jednokolejnými úseky – iterativní výpočet

doc. Ing. Josef Bulíček, Ph.D.
Katedra technologie a řízení dopravy
Dopravní fakulta Jana Pernera



Vývoj řešení problematiky

Vytvoření optimalizační metody pro koordinaci spojů

Aplikace v MHD Pardubice

Diplomová práce

Lábsky, V.: Koordinace páteřních linek VHD modelem matem. programování

Projekt
PosiTrans

Jedna
z částí výzkumu
„o kapacitě ŽD“.

Doplnění podmínek pro aplikaci na železnici
(„inverzní přístup“ ke kapacitě žel. infrastruktury)

Článek VTS ČD 47/2019

Lábsky, V. – Bulíček, J.:

Koordinace spojů na spol. úsecích v síťovém hledisku

Zohlednění podmínek na jednokolejných tratích

Princip koordinace na rybí kosti

IDS Žďár nad Sázavou

...



Metoda pro koordinaci spojů (1/2)

- optimalizační model matematického programování,
- koordinace na společných úsecích
kvadratická míra nepravidelnosti,
- koordinace v uzlech
omezující podmínky,
- výběr linek, cílený výběr úseků (přiřazení váhy),
- technologické omezující podmínky
(místa pro čerpání přestávek,
počet vozidel, doby obratu,
omezení při provozu trolejbusů, ...).



Metoda pro koordinaci spojů (2/2)

Úsek	Úsek	Výchozí		Léto 2017		
		Rozestupy	KMN	Rozestupy	KMN	+/-
Zimní stadion - Stavařov	1	9-6-2-13-9-6-2-13	130	11-4-6-9-11-4-6-9	58	-72
	2	3-9-8-10-3-9-8-10	58	9-1-9-11-9-1-9-11	118	60
Hlavní nádraží - Kpt. Bartoše	3	6-8-6-6-8-6-6-8-6	8	9-11-10-9-11-10	4	-4
	4	5-6-9-5-6-9-5-6-9	26	13-7-10-13-7-10	36	10
Stavařov - Hradecká - Poděbradská	5	9-6-15-9-6-15	84	11-10-9-11-10-9	4	-80
	6	3-17-10-3-17-10	196	9-10-11-9-10-11	4	-192
Polabiny, toč. - Polabiny, Kosmonautů	7	8-12-18-2-20	216	18-12-18-12	36	-180
	8	6-20-4-16-14	184	16-14-16-14	4	-180
Kpt. Bartoše - Okrajová/Sluneční	9	8-12-8-12-8-12	24	11-19-11-19	64	40
	10	11-9-11-9-11-9	6	13-17-13-17	16	10

...

- JŘ MHD Pardubice, prázdniny 2017



Úsek	Úsek	Výchozí		Léto 2017		
		Rozestupy	KMN	Rozestupy	KMN	+/-
Zimní stadion - Stavařov	1	9-6-2-13-9-6-2-13	130	11-4-6-9-11-4-6-9	58	-72
	2	3-9-8-10-3-9-8-10	58	9-1-9-11-9-1-9-11	118	60
Hlavní nádraží - Kpt. Bartoše	3	6-8-6-6-8-6-6-8-6	8	9-11-10-9-11-10	4	-4
	4	5-6-9-5-6-9-5-6-9	26	13-7-10-13-7-10	36	10
Stavařov - Hradecká - Poděbradská	5	9-6-15-9-6-15	84	11-10-9-11-10-9	4	-80
	6	3-17-10-3-17-10	196	9-10-11-9-10-11	4	-192
Polabiny, toč. - Polabiny, Kosmonautů	7	8-12-18-2-20	216	18-12-18-12	36	-180
	8	6-20-4-16-14	184	16-14-16-14	4	-180
Kpt. Bartoše - Okrajová/Sluneční	9	8-12-8-12-8-12	24	11-19-11-19	64	40
	10	11-9-11-9-11-9	6	13-17-13-17	16	10
Hlavní nádraží - Masarykovo náměstí	11	4-1-4-5-6-0-4-5-5-1-5-4-5-1-4-6	55	7-3-7-0-6-7-7-3-7-0-6-7	84	29
	12	2-6-2-6-4-2-3-5-6-2-2-2-8-5-1-4	63	4-5-6-10-0-5-4-5-6-10-0-5	104	41
Náměstí Republiky - Karla IV.	13	5-15-5-15-5-15	150	7-23-7-23	256	106
	14	18-2-18-2-18-2	384	10-20-10-20	100	-284
Masarykovo nám. - Na Spravedlnosti	15	7-3-10-7-13-0-7-13	144	10-12-8-10-12-8	16	-128
	16	5-3-12-5-13-2-5-15	176	13-5-12-13-5-12	76	-100
U Kostelíčka - Pardubičky, točna	17	20-20-20	0	30-30	0	0
	18	20-20-20	0	30-30	0	0
U Kostelíčka - Na Okrouhlíku	19	9-11-3-6-11-9-4-7	64	11-5-14-11-5-14	84	20
	20	5-10-5-5-15-5-0-15	200	3-10-17-3-10-17	196	-4
Na Drážce - Na Okrouhlíku/K Nem.	21	10-5-5-10-10-5-5-10	50	8-9-13-8-9-13	28	-22
	22	4-10-6-4-16-4-0-16	246	6-11-13-6-11-13	52	-194
Dubina, Sever - Dubina, garáže	23	12-3-5-12-8-5-7-8	74	10-7-13-10-7-13	36	-38
	24	1-15-5-9-6-5-15-4	184	10-11-9-10-11-9	4	-180
Slovany - Na Okrouhlíku	25	20-20-20	0	30-30	0	0
	26	20-20-20	0	30-30	0	0
Zborovské nám. - Na Spravedlnosti	27	3-17-13-7-20	196	17-13-17-13	16	-180
	28	10-10-20-0-20	280	12-18-12-18	36	-244
Masarykovo nám. - Nám. Republiky	29	4-2-3-2-3-6-4-2-3-2-3-6-4-2-3-2-3-6	34	7-9-1-4-3-6-7-9-1-4-3-6	84	50
	30	2-0-8-5-1-4-2-0-3-5-5-1-4-2-0-8-5-0-1-4	120	3-8-2-8-0-2-7-3-8-2-8-0-2-7	131	11
Nám. Republiky - Krajský úřad	31	6-6-5-3-0-6-6-5-3-6-4-2-5-3	45	7-4-5-5-9-7-4-5-5-9	32	-13
	32	8-5-1-6-3-5-5-1-6-8-5-0-1-6	91	3-10-8-2-7-3-10-8-2-7	92	1
Na Spravedlnosti - Dukla, nám.	33	20-20-20	0	30-30	0	0
Dukla, nám. - Zborovské nám.	34	30-30	0	30-30	0	0
Odjezdy z Globusu směr centrum	35	3-7-10-10-3-7-10-10	66	1-10-11-8-1-10-11-8	122	56
Odjezdy z Dukly směr centrum	36	7-1-12-8-9-3-8-12	106	10-11-9-10-11-9	4	-102
Odjezdy z centra na Dubinu	37	4-2-8-6-4-2-14-4-0-2-14	225	11-10-3-6-11-10-3-6	82	-143
Celkem			3885		1979	-1906



Aplikace na železnici

Koordinace ve stanicích

- *na příjezdech / odjezdech*
- *podle jednotlivých zaústěných tratí (linek)*
- *ve vybraných mezilehlých stanicích*



Metoda

pro koordinaci spojů

tvoří podklad pro „inverzní plánování rozsahu infrastruktury“ (jaký provozní koncept by byl žádoucí); inspirace při sestavě JŘ.

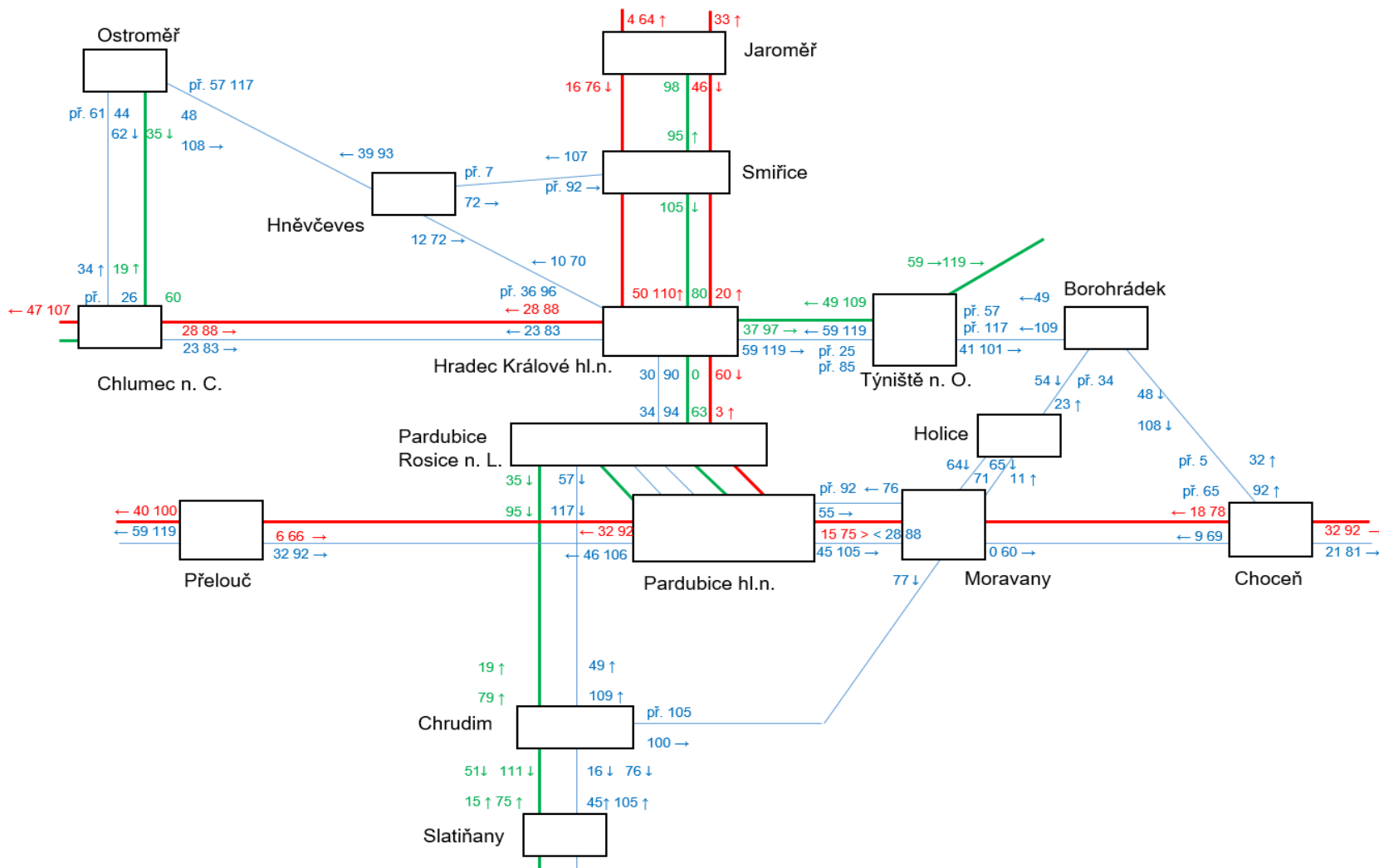


Odlišné provozní podmínky

- *„max. 1 vlak v prostorovém oddílu“*
- *různé způsoby zastavování*
- *větší variační rozpětí rychlostí (např. Ex/Os)*
- *zpravidla delší intervaly na linkách (větší počet variant řešení)*
- *větší míra provázanosti na ostatní části sítě*
- ...

Perspektiva pro další výzkum metody a využití v „oblasti kapacity ŽD“ jako podpůrného prostředku.





Teoretická ukázka aplikace koordinační metody v Hradecko-pardubické územní aglomeraci a jejím okolí



Koordinace páru vlaků na jednokolejných tratích

- metoda pro případ provozu páru vlaků osobní dopravy v periodě JŘ,
- zohlednění prostorových oddílů (mezist. úseků), a provozních intervalů křižování I_k (zjednodušeně),
- dekompozicí na jednotlivé tratě
lze snížit počet variant řešení,
- možnost využít iterativní algoritmus úplného prohledávání variant,
- vícekriteriální popis řešení,
- východisko: optimalizace na „rybí kosti“.



Vstupy

- plánované jízdní doby,
- min. doby pobytů ve stanicích,
- priorita vlaků,
- lhůta,
o kterou lze prioritní vlak při křižování „zdržet“,
- délka řešené trati.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Zadávací list							
2			dopravna č. 1	dopravna č. 2	dopravna č. 3	dopravna č. 4	dopravna č. 5	
3		Intervaly křižování:	5	5	5	5	5	
4				Sudý směr			Lichý směr	
5		žst.		Jízdní doba	Min. pobyt		Jízdní doba	Min. pobyt
6	1	Chrudim		X	X		3 X	
7	2	Chrudim město			3	1	16	1
8	3	Hrochův Týnec			18	1	7	1
9	4	Moravany			8	9	12	9
10	5	Holice			12 X		X	X
11								

Údaje upraveny,
např. *lk* zadány
odhadnutou
konstantou
(ukázka principu
metody)
Mohou se lišit
od skutečnosti.



Princip

- jeden z vlaků zadán pevně s případnou možností posunu na později z důvodů křižování (do časového limitu),
- druhý z vlaků iterativně zadán pro všechny možnosti časové polohy odjezdu z vých. stanice, (např. 120 možností pro 120 min*),
- ekvivalentní pro libovolnou časovou polohu „pevného vlaku“,
- redukce počtu variant ze 14 400 na 120*,
- Microsoft Excel (makra VBA a výp. listy).



Optimalizované řešení

s min. součtem rozdílů mezi příj. a odj. (1/2)

	H	I	J	K	L	M
Jízdní řád vloženého sudého vlaku						
		příj.	odj.		pobyt	ztráta
Chrudim				65 ODJEZD		0
Chrudim město		68	69		1	0
Hrochův Týnec		87	93		6	5
Moravany		101	110		9	0
Holice		122				



	A	B	C	D	E	F
1 Výchozí JŘ lichého vlaku (fixního)						
2 Konflikt by při jízdě bez zdržení nastal v úseku: 3 > křižování v: Hrochův Týnec						
3		příj.	odj.		pobyt	ztráta
4 Chrudim		112				
5 Chrudim město		108	109		1	0
6 Hrochův Týnec		88	92		4	3
7 Moravany		72	81		9	0
8 Holice			60 ODJEZD			0
9						



Údaje
v minutách
(příjezdy
a odjezdy
od zač. výp.
období).



Optimalizované řešení

s min. součtem rozdílů mezi příj. a odj. (2/2)

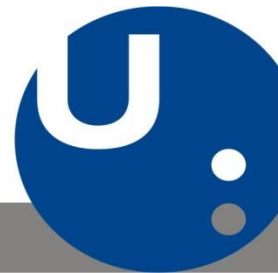
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Vyhodnocení varianty JŘ							
2								
3	Makespan:	62 min						
4								
5		lichý vlak	sudý vlak					
6	Součet ztrát:	3	5					
7	Max. ztráta:	3	5				lichý vlak	sudý vlak
8	Průměrná rychlost:	31,15	28,42 km/h			Ideální (max.) rychlosti:	33,06	31,15
9	Doby jízdy:	52	57 min			Ideální (min.) JD:	49	52
10								
11								
12	Součet abs. hodnot rozdílů příjezdů:	70						
13	Součet abs. hodnot rozdílů odjezdů:	70		jen v mezilehlých stanicích				
14								
15		rozdíl odjezdů	rozdíl příjezdů					
16								
17	Chrudim město	-40	-40					
18	Hrochův Týnec	1	-1					
19	Moravany	29	29					

Neoznačené údaje v minutách
(příjezdy a odjezdy
od zač. výp. období).



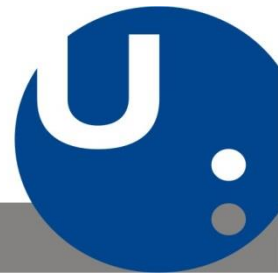
Výstupy

- rozdíly mezi příjezdy a odjezdy vlaků v opačných směrech v jednotlivých mezilehlých stanicích (koordinace linek, přípojů v IDS apod.),
- součet uvedených rozdílů, (kritérium optimalizace na rybí kosti),
- součet časových ztrát vlivem křižování (ve srovnání s teoret. JŘ, bez vlaku opač. směru),
- průměrné rychlosti,
- makespan JŘ.



Iterativní výpočet (1/2)

- možnost volit mezi různými úhly pohledu (podle více kritérií),
- výsledky lze uplatnit samostatně i jako jeden ze vstupů do dalšího modelu síťové koordinace,
- redukce rozsahu výpočtu – mohou být vzata v úvahu jen pro danou trať vyhovující řešení, (byť algoritmus bude heuristický),
- ...



Závěr

- problematika koordinace vlaků se od jiných módů veřejné hromadné dopravy liší,
- **více omezujících podmínek i nároků**
 - např. respektování prostorových oddílů,
 - koordinace dálkové a regionální dopravy,
- **iterativní výpočet založený na principu optimalizace na rybí kosti** přináší:
 - zmenšení rozsahu výpočtu,
 - možnost vybrat řešení podle různých hledisek,
 - případně množinu vstupních řešení do úlohy síťové optimalizace, vč. hodnot technologických ukazatelů.



Děkuji Vám za pozornost.

Příspěvek vznikl za podpory projektu
**Spolupráce Univerzity Pardubice a aplikační sféry
v aplikačně orientovaném výzkumu lokačních, detekčních
a simulačních systémů pro dopravní a přepravní procesy
(PosiTrans), reg. č.: CZ.02.1.01/0.0/0.0/17_049/0008394.**



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Použité informační zdroje

- Lábský, V.: Koordinace páteřních linek veřejné hromadné dopravy modelem matematického programování.
Univerzita Pardubice, 2018, diplomová práce. Vedoucí práce: Bulíček, J.
Dostupné z: <https://hdl.handle.net/10195/71217>
- Lábský, V. – Bulíček, J.:
Koordinace spojů na společných úsecích v síťovém hledisku.
Vědeckotechnický sborník ČD 2019/47, <https://vts.cd.cz/uvod>
(t.č. probíhá příprava vydání)
- Černá, A. – Černý, J.:
Manažerské rozhodování o dopravních systémech.
Pardubice: Univerzita Pardubice, 2014, 226 s., ISBN 978-80-7395-849-7.
<https://katalog.upce.cz/documents/483373>
- Jízdní řády IDOS. Dostupné z:
<https://jizdnirady.idnes.cz/vlakyautobusymhdvse/spojeni/>
- Konkrétní údaje v příkladech upraveny pro potřeby ilustrace metod, mohou se lišit od skutečnosti.



doc. Ing. Josef Bulíček, Ph.D.

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra technologie a řízení dopravy
Studentská 95
532 10 Pardubice
tel.: 466 036 202
e-mail.: Josef.Bulicek@upce.cz

