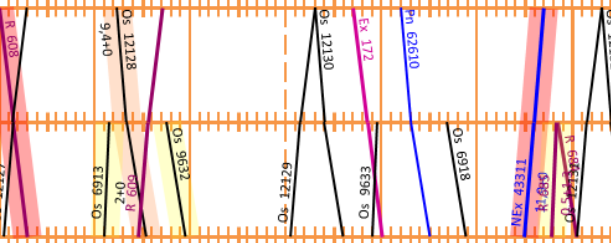




Správa železniční dopravní cesty

ŽELSTRAT 2017

Metodika zjišťování kapacity železničních tratí s využitím simulačních a analytických metod



Praha 8. listopadu 2017



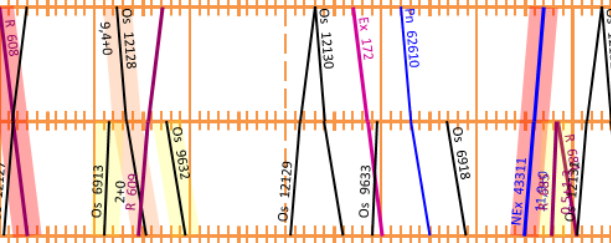
Správa železniční dopravní cesty

ŽELSTRAT 2017

Ing. Pavel Krýže, Ph.D.

**Odbor základního
řízení provozu**

kryze@szdc.cz





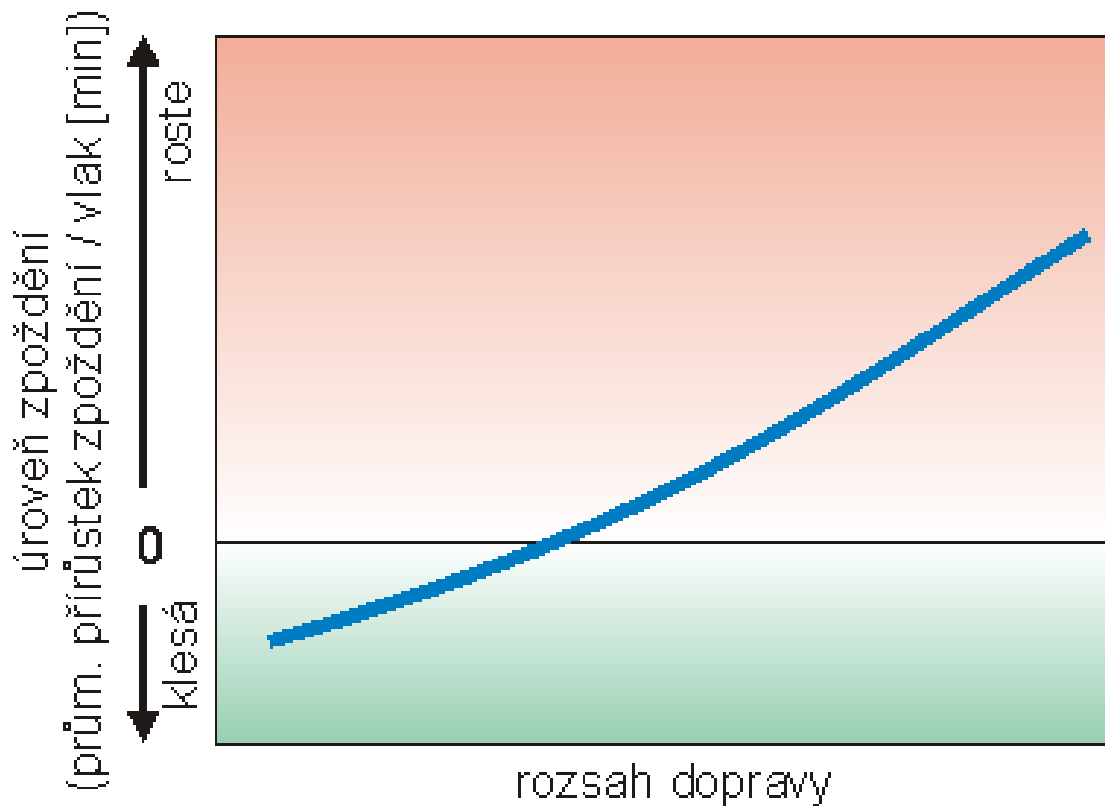
Správa železniční dopravní cesty

Struktura příspěvku

- **dosud používané metody**
 - analytické
 - simulační (dále „standardní simulace“)

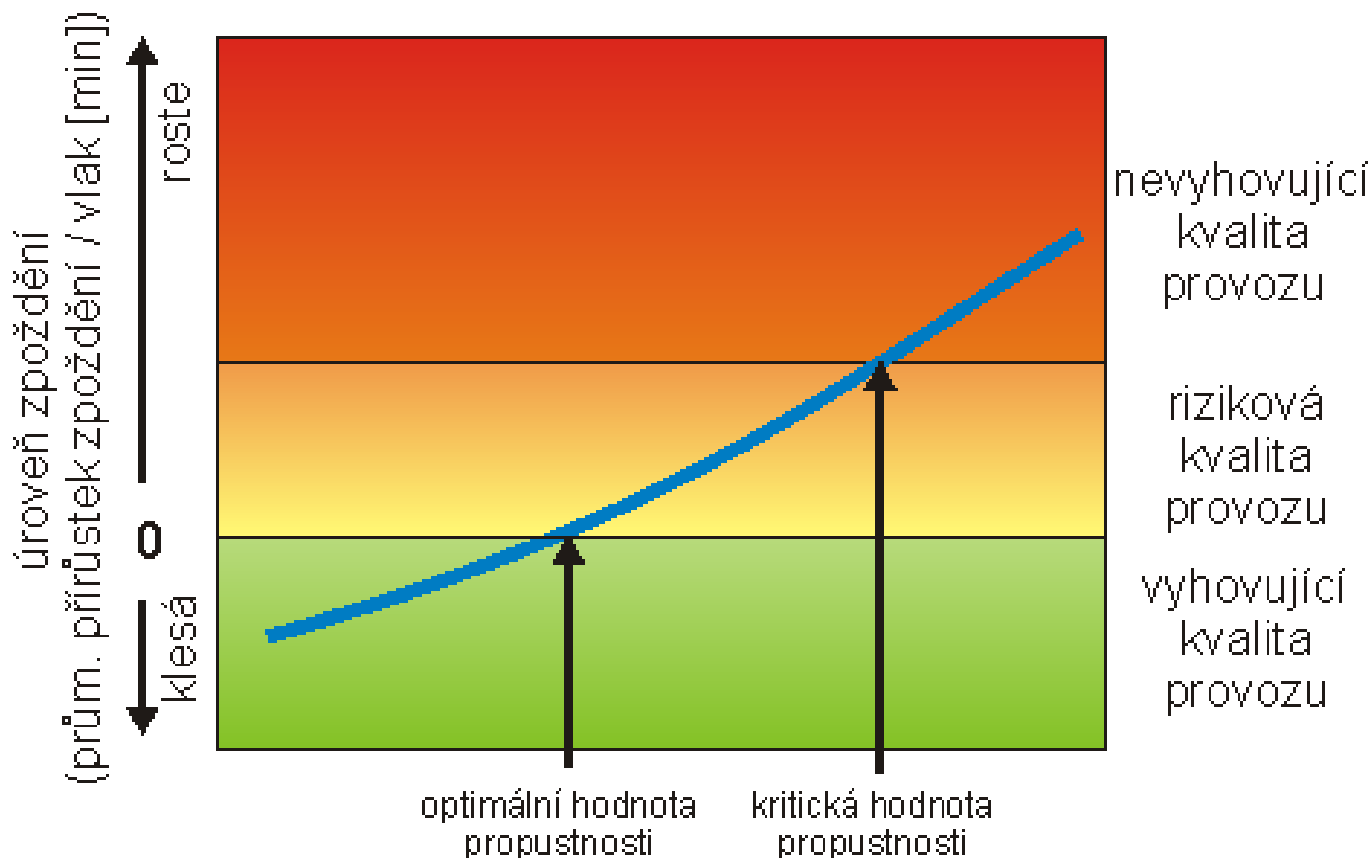
- **nová metoda „separátní simulace“**
 - geneze a popis metody
 - příklady použití

Závislost kvality na rozsahu provozu



hranice určující, jaký rozsah dopravy je akceptovatelný, není ostrá

Závislost kvality na rozsahu provozu



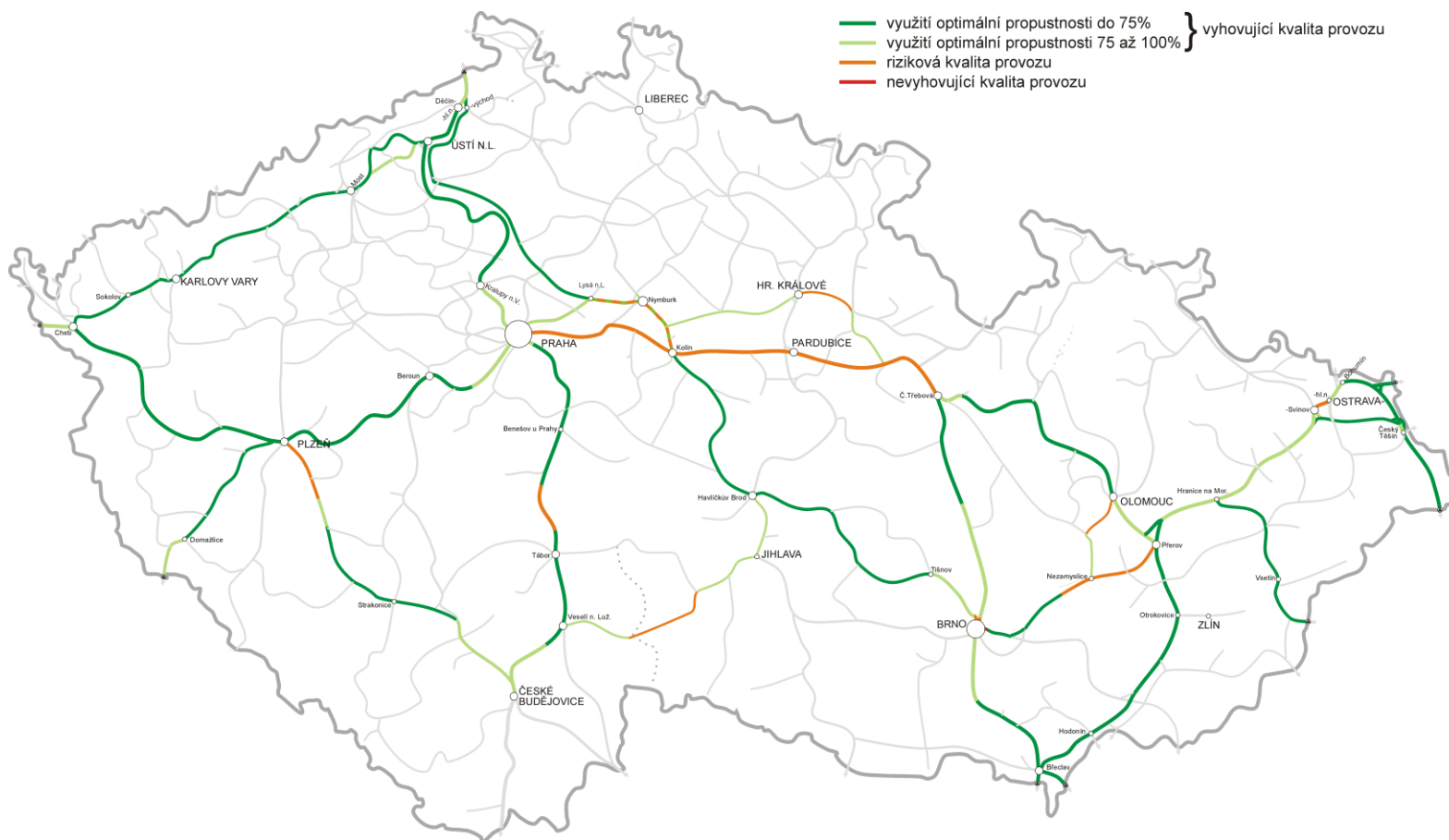


Správa železniční dopravní cesty

Analytické metody

- nejjednodušší a nejrozšířenější metody
- díky jednoduchosti se provádí plošné zjišťování kapacity traťových úseků v celé síti SŽDC
- široké uplatnění, používají standardně i okolní provozovatelé infrastruktury; využití zakotveno také ve vyhlášce UIC 406
- u SŽDC popsány ve směrnici D24, připravuje se novelizace

Využití propustnosti a kvalita provozu na vybraných traťových úsecích podle analytických metod



Všechny příklady se týkají stavu k začátku platnosti GVD 2016/2017.



Správa železniční dopravní cesty

Princip simulace

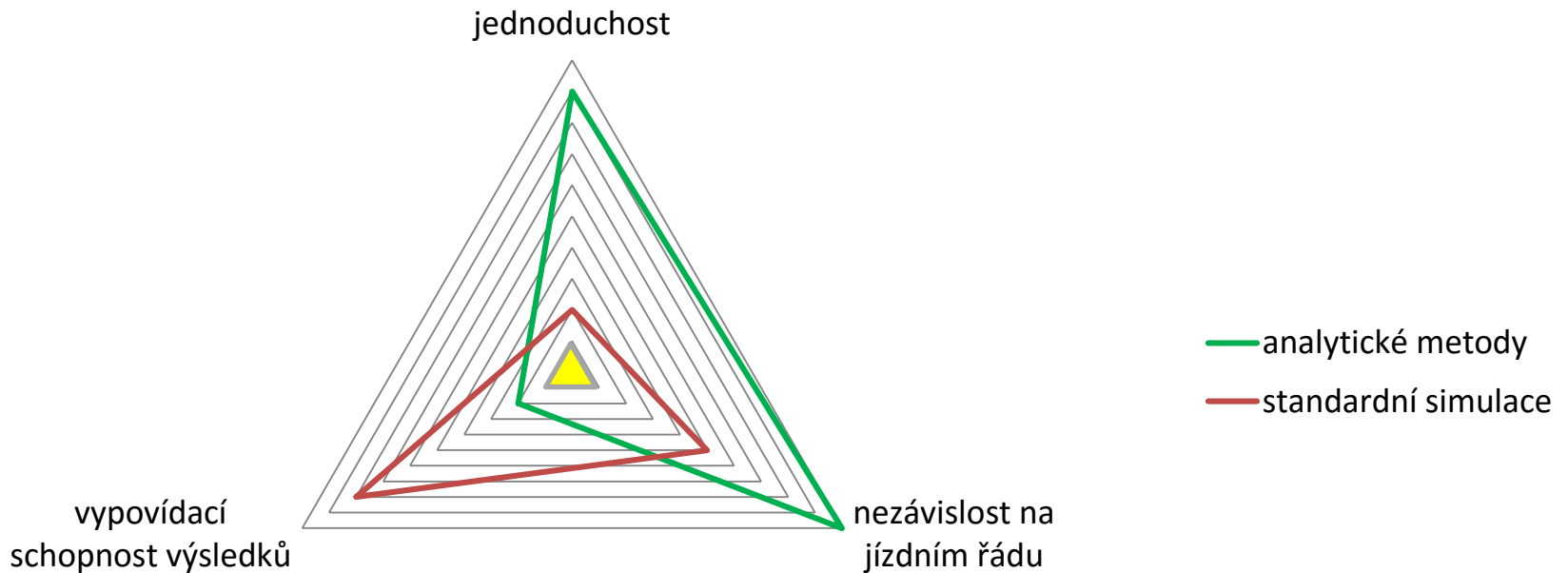
- v důsledku zpoždění vlaků na vstupu do modelu vznikají konflikty, které je třeba řešit (např. na jednokolejné trati musí vlak ve stanici vyčkat na příjezd protijedoucího zpožděného vlaku)
- různé simulační programy (v našem prostředí RailSys, OpenTrack, Villon, SimuT) poskytují odlišné výsledky (používají odlišné způsoby výpočtu jízdních dob, řešení konfliktů mezi vlaky ad.)
- pro simulační model je nutno mít k dispozici konkrétní **data**
 - **infrastruktura** (staniční a traťové koleje, propojení mezi nimi, zabezpečovací zařízení, data potřebná pro výpočet jízdních dob, provozních intervalů, následných mezidobí, ...) **a vozidla**
 - **jízdní řád** (časové polohy vlaků, přestupní vazby, oběhy, zálohy v jízdních dobách a pobytech, které lze použít pro eliminaci zpoždění, ...)

- **vstupní úroveň zpoždění vlaků** – má významný vliv na výsledky z rozsáhlého statistického šetření vyplynulo např.:
 - vlaky dálkové osobní dopravy mají pravděpodobnost zpoždění 50%, střední hodnota zpoždění 7 min
 - vlaky regionální os. dopravy mají pravděpodobnost zpoždění 33%, střední hodnota zpoždění 4,5 min
 - z toho vyplývá, že průměrná výše zpoždění u regionální osobní dopravy je více než 2x nižší nežli u dálkové osobní dopravy
- **kritérium posuzování:** přírůstek zpoždění
 - ve sledované oblasti (trati, uzlu apod.) „v průměru“ dochází k odbourávání (resp. nenavyšování) zpoždění, tj. $\Delta d \leq 0$
 - ještě akceptovatelné: $\Delta d \leq 1$
 - tento přírůstek by však měly být schopny absorbovat okolní prvky infrastruktury

Porovnání standardní simulace a analytických metod

hodnocení podle 3 kritérií

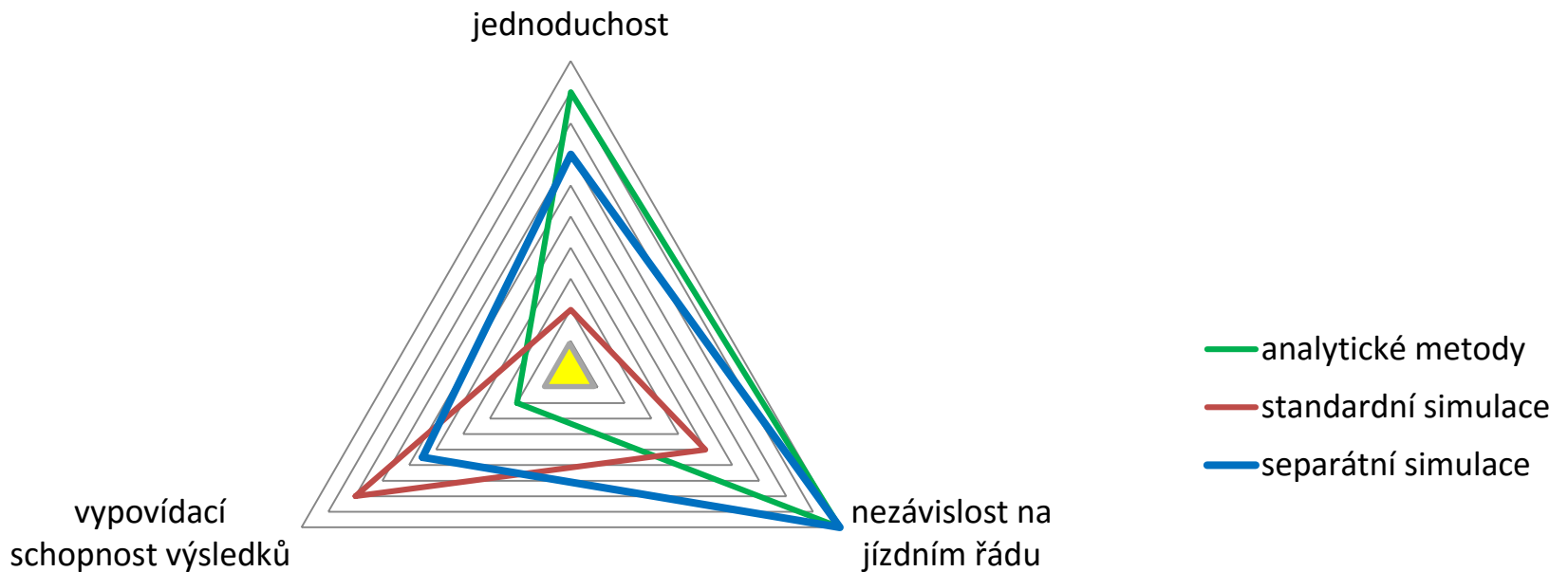
kritérium se zlepšuje se zvyšující se vzdáleností křivky od středu trojúhelníka



Porovnání standardní simulace, analytických metod a separátní simulace

hodnocení podle 3 kritérií

kritérium se zlepšuje se zvyšující se vzdáleností křivky od středu trojúhelníku



Prof. Schwanhäußer vyvinul **pravděpodobnostní model** pro výpočet „čekání“:

- čekání = zpoždění vzniklá z důvodu omezené kapacity infrastruktury
nezaměňovat s čekacími dobami, které se uplatňují mezi přípojnými vlaky
- model navržen v roce 1974, do dneška je základem pro analytické výpočty propustnosti u DB pro traťové koleje (program STRELE) a zhlaví

$$\sum tv_r = \left[pV_g \cdot \left(1 - e^{-\frac{tZ_m}{tV_m}} \right)^2 + (1 - pV_g) \cdot \left(1 - e^{-2\frac{tZ_m}{tV_m}} \right) \cdot \frac{tZ_{mv}}{tV_m} + \left(1 - e^{-\frac{tZ_m}{tP_m}} \right)^2 \cdot \frac{tZ_m}{tP_m} \right] \cdot \frac{tU \cdot tV_m \cdot \left(pV_e - \frac{pV_e^2}{2} \right)}{(tP_m + tZ_m) \cdot \left(\frac{tP_m}{tV_m} + 1 - e^{-\frac{tZ_m}{tV_m}} \right)}$$

vstupy:

- výpočetní doba
 - pravděpodobnost výskytu vstupního zpoždění
 - střední hodnota vstupního zpoždění
 - průměrná doba obsazení
 - průměrná doba obsazení vlaků stejné priority
 - průměrná doba obsazení vlaků různých priorit
 - průměrná mezera mezi vlaky
 - pravděpodobnost výskytu vlaků stejné priority
 - pravděpodobnost výskytu vlaků různých priorit
- v r. 1998 prof. Schwanhäußer navrhl vzorec nový, který je přesnější



Správa železniční dopravní cesty

Separátní simulace

Modifikace německého postupu u SŽDC:

Čekání se nepočítá analyticky, ale zjišťuje se s pomocí **simulačního programu**, čímž se podstatně zvyšuje přesnost výsledků.

Pro odlišení od nyní běžných simulací (prováděných např. SW RailSys, OpenTrack, Villon ad.) jsou tyto simulace označovány jako **separátní simulace** (provádějí simulaci vždy pouze na jednom zařízení, např. jedné traťové koleji, popř. mezistaničním úseku) a jsou realizovány v SW TK-SIM (pro traťové koleje) a Z-SIM (pro zhlaví).

Funkcionality:

- Lze zvolit libovolný počet replikací.
- Lze aplikovat **2 režimy zjišťování kapacity**:
 - 1) **podle zadaného jízdního řádu**; odráží konkrétní strukturu JŘ. Např. na traťových kolejích, kde jedou vlaky těsněji za sebou (v blízkosti stanic, kde dochází k předjíždění či křížování), jsou výsledné ukazatele nepříznivější.
 - 2) **bez vazby na jízdní řád** – časové polohy vlaků je možné náhodně vygenerovat (se zachováním nerovnoměrností v rozsahu provozu v průběhu dne).
- Lze navýšit / snížit rozsah vlakové dopravy.



Správa železniční dopravní cesty

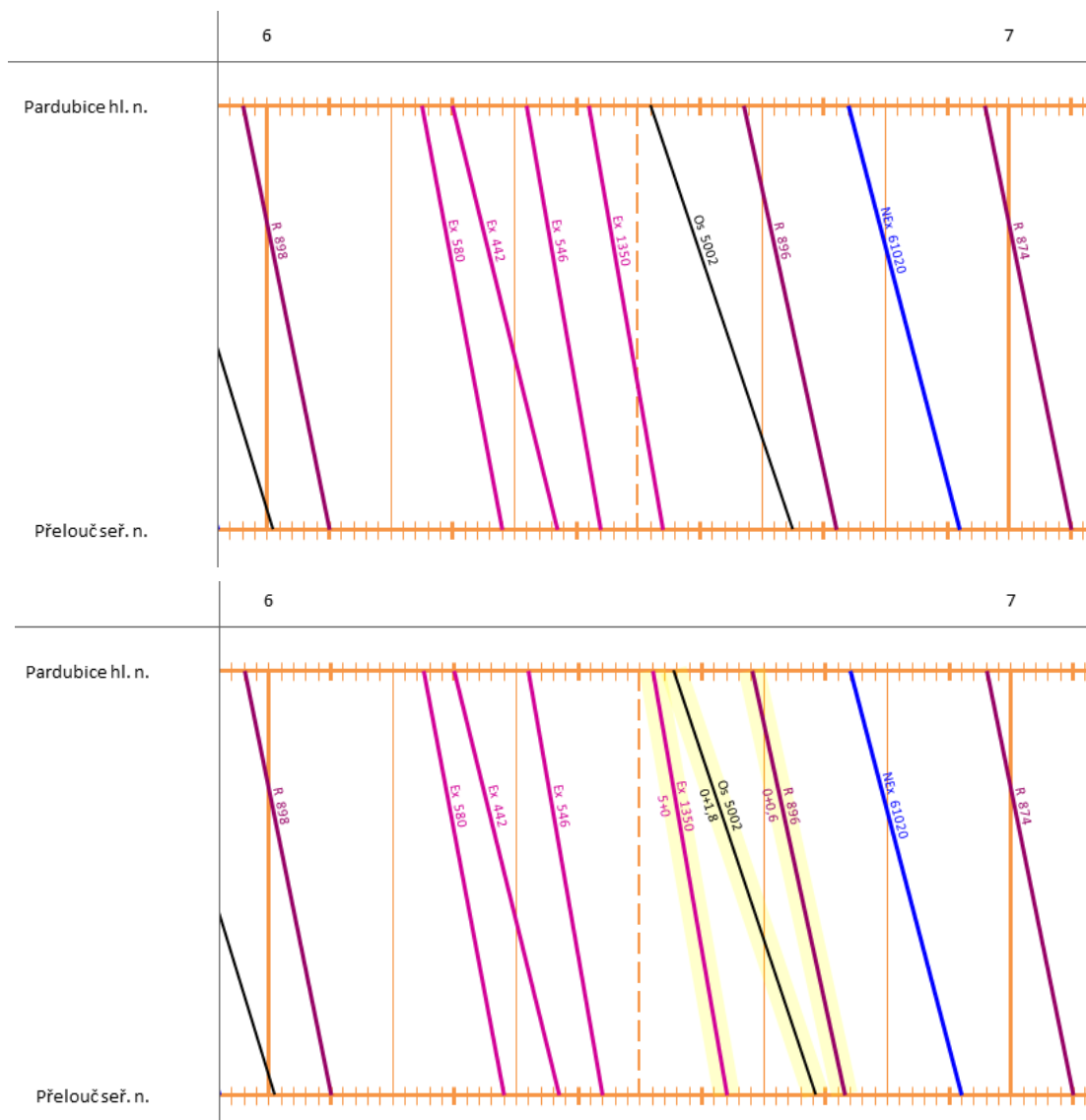
výřez z nákresného
jízdniho řádu bez zpoždění:

výřez z nákresného jízdního
řádu se zpožděním:

vlak 1350 má vstupní zpoždění
5 min

toto vstupní zpoždění způsobí
následné zpoždění (čekání)
u vlaků 5002 (1,8 min)
a 896 (0,6 min)

Separátní simulace





Správa železniční dopravní cesty

Metoda výpočtu následných zpoždění – – limitní (optimální) hodnoty

Kritéria kvality používaná u DB:

interpolační vzorec beroucí v potaz podíl osobní dopravy

příklady určení sumy následných zpoždění pro období celého dne:

na zařízení jezdí pouze osobní doprava: 102 min

na zařízení jezdí pouze nákladní doprava: 374 min

Tato kritéria se jsou hrubá, proto v r. 1999 Schwanhäuber navrhl kritéria nová, zohledňující priority jednotlivých druhů vlaků.

U SŽDC sledujeme jiný princip optimálních hodnot: pro každý vlak (v závislosti na jeho druhu) je stanovena limitní hodnota čekání, která by neměla být překročena, např. vlak Ex: 0,25 min, R 0,3 min, Os 0,6 min, Nex 1,4 min, Pn 1,8 min. Pro celkové posouzení dané traťové koleje se hodnota limitního čekání určí jako vážený průměr.

Hlavní kritérium – **koeficient čekání (Q)**: podíl čekání zjištěného simulací k optimální hodnotě.

Q < 100%: vyhovující kvalita provozu

100% < Q < 150%: riziková kvalita provozu

Q > 150%: nevhovující kvalita provozu



Správa železniční dopravní cesty

mezistaniční úsek Pardubice hl. n. – Přelouč

- délka 10,5 km (vzdálenost mezi krajními výhybkami)
- v úseku jsou 3 zastávky

protokol z výpočtu zahrnujícího 500 replikací

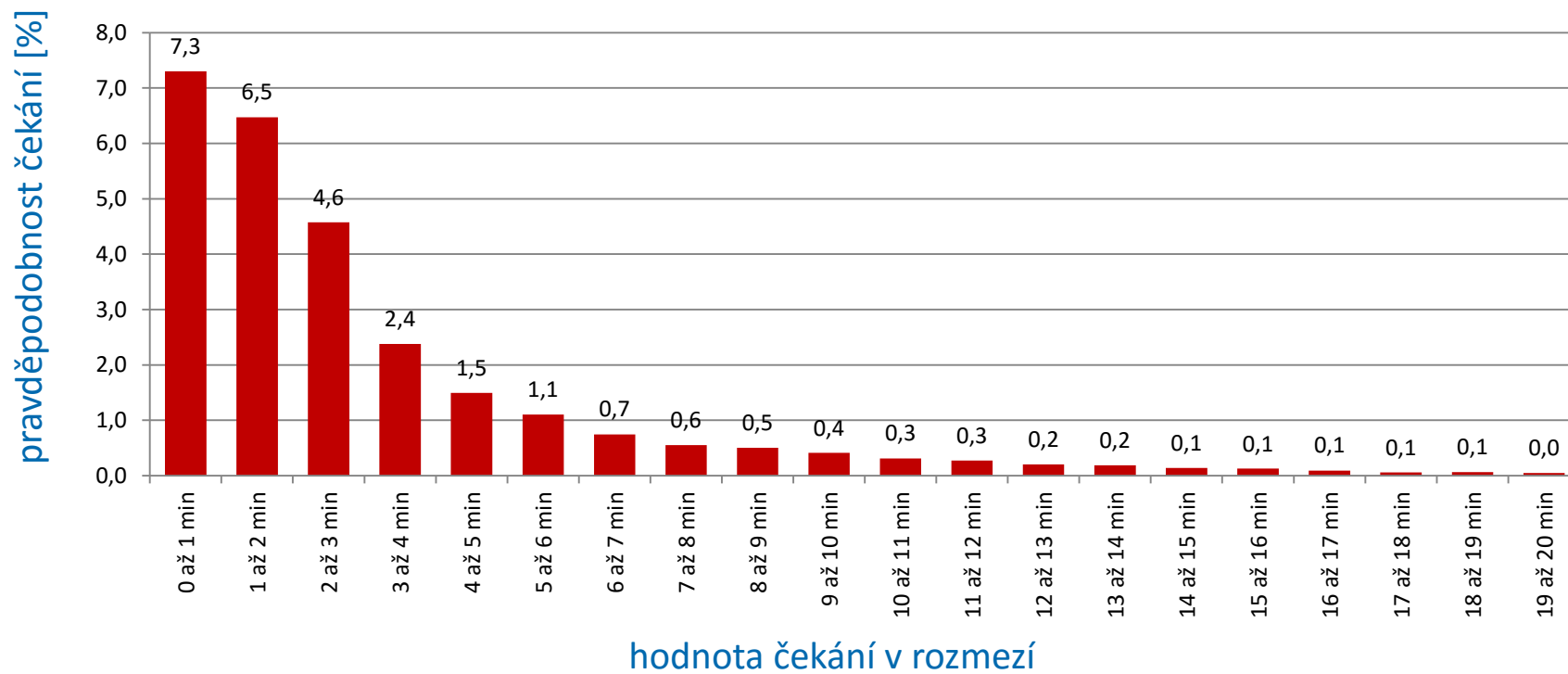
Separátní simulace – příklad 1

Simulační výpočet čekání				
	počet vlaků	čekání dle simulace [min]	lim. hodnota čekání [min]	koefficient čekání
vše	164	0,95	0,77	124%
Výsledky podle jednotlivých druhů dopravy				
os. dálková	86	0,24	0,26	91%
os. reg.	19	1,33	0,60	222%
nákladní	58	1,88	1,55	121%
Výsledky podle jednotlivých období				
0 - 2 h	6	0,25	1,47	17%
1 - 3 h	6	0,69	1,27	54%
2 - 4 h	10	1,33	1,40	95%
3 - 5 h	12	1,30	1,31	99%
4 - 6 h	16	1,42	0,92	154%
5 - 7 h	18	1,28	0,68	189%
6 - 8 h	17	0,88	0,46	192%
7 - 9 h	17	0,69	0,44	159%
8 - 10 h	15	0,43	0,36	122%
9 - 11 h	16	0,86	0,69	125%
10 - 12 h	17	1,24	0,86	144%
11 - 13 h	15	0,97	0,61	159%
12 - 14 h	13	0,55	0,49	111%
13 - 15 h	13	1,00	0,61	164%
14 - 16 h	15	1,07	0,56	192%
15 - 17 h	13	0,69	0,49	142%
16 - 18 h	14	1,07	0,66	160%
17 - 19 h	17	1,20	0,62	195%
18 - 20 h	16	0,97	0,57	170%
19 - 21 h	14	0,89	0,74	120%
20 - 22 h	15	1,00	0,94	106%
21 - 23 h	15	0,98	0,99	99%
22 - 24 h	10	0,67	1,29	52%

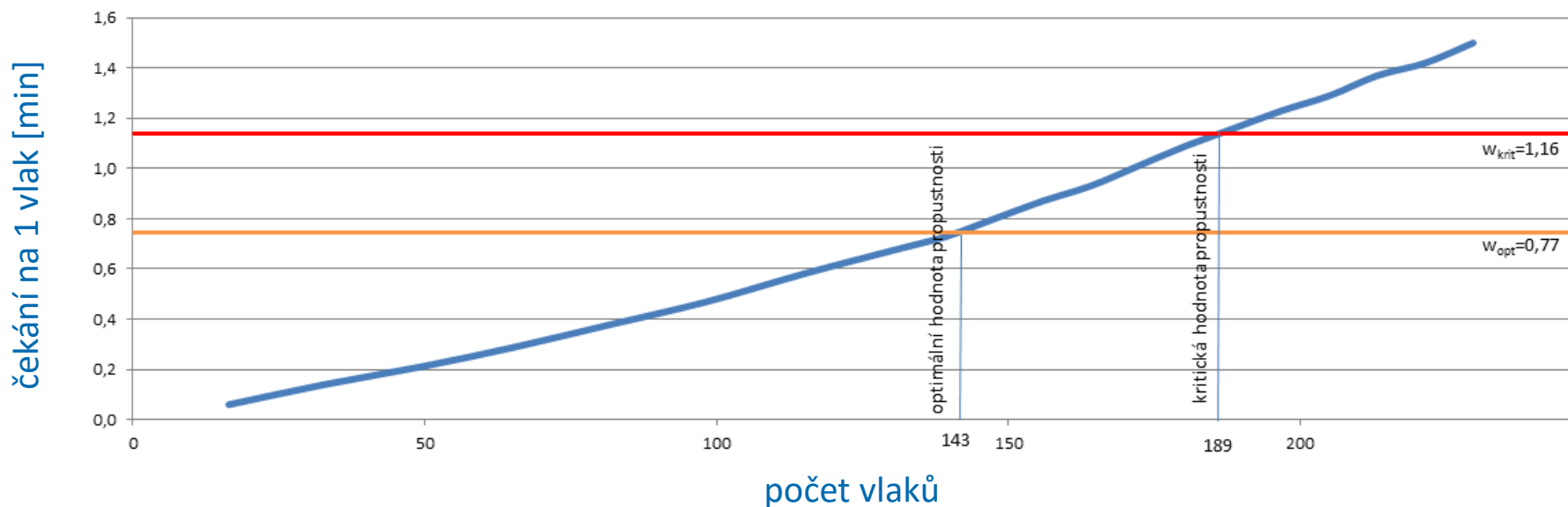
Rozdělení čekání v mezistaničním úseku Pardubice hl. n. – Přelouč podrobněji

předpokládá se čekání u 29 % vlaků, tj. u 71 % vlaků nedochází k čekání

1% vlaků má zpoždění vyšší než 12 minut



Závislost průměrného čekání na rozsahu dopravy



pro srovnání – propustnost určená analytickou metodou:

optimální hodnota propustnosti: 146 vlaků (oproti metodě separátní simulace rozdíl 3 vlaky)

kritická hodnota propustnosti: 220 vlaků (rozdíl 31 vlaků)

5 relací:

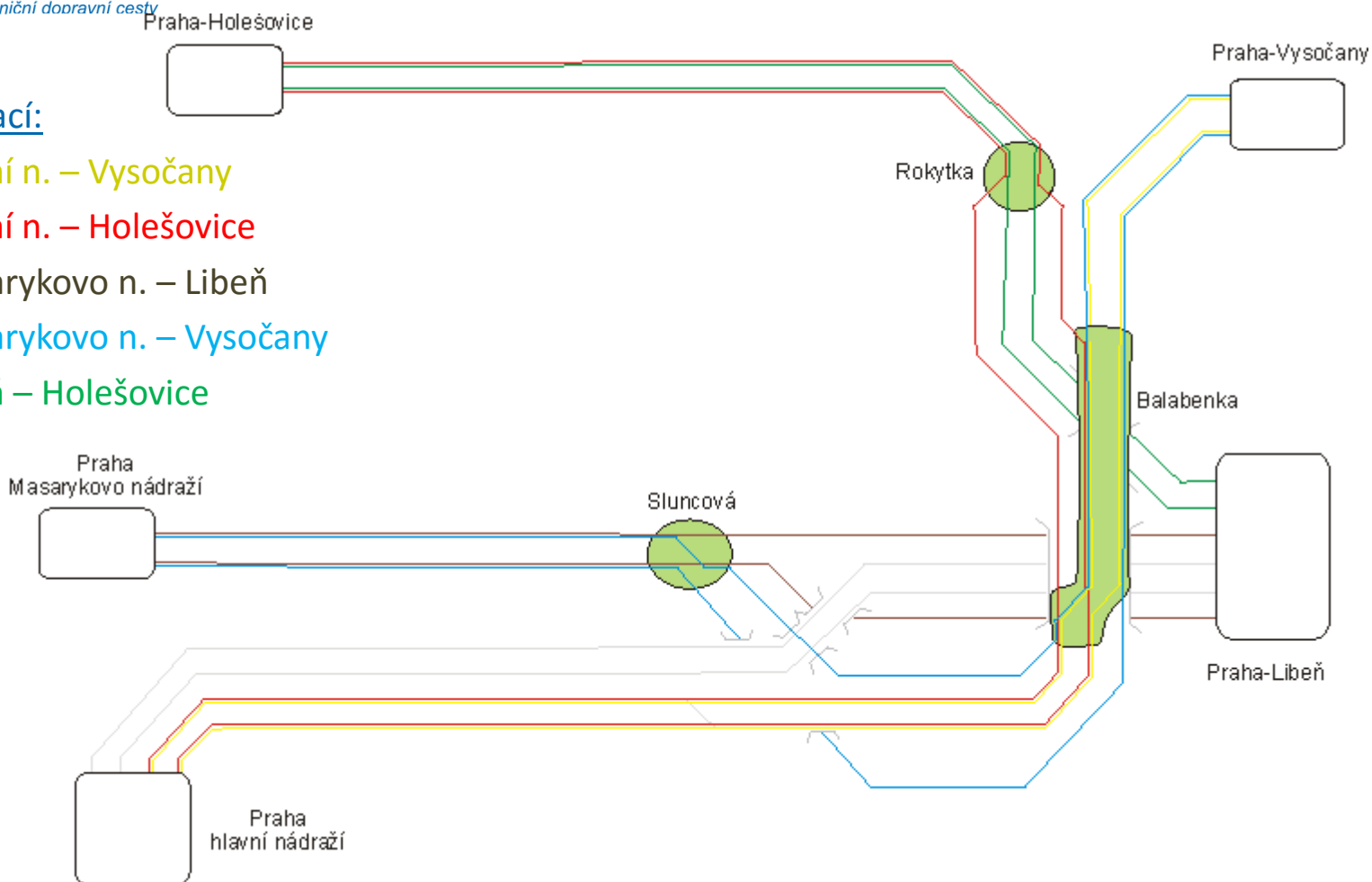
hlavní n. – Vysočany

hlavní n. – Holešovice

Masarykovo n. – Libeň

Masarykovo n. – Vysočany

Libeň – Holešovice





Správa železniční dopravní cesty

Separátní simulace – příklad 2 Praha, „Nové spojení“

souhrnné výsledky:

koeficient čekání **Q = 88 %**, tj. vyhovující kvalita provozu

výsledky podle jednotlivých relací:

úsek	koeficient čekání (Q)
hlavní n. – Vysočany	86 % / 188 %
hlavní n. – Holešovice	204 % / 206 %
Mas. n. – Libeň	39 % / 55 %
Mas. n. – Vysočany	83 % / 149 %
Libeň – Holešovice	32 % / 42 %

závěr: je zřejmé, že koeficient čekání je vyšší právě u těch relací, které jsou více kolizní
velmi vysoké hodnoty jsou částečně dány strukturou JŘ; v režimu náhodných časových poloh jsou
výsledky příznivější

Separátní simulace – příklad 3 úsek Pardubice hl.n. – Poříčany

úsek	čekání na vlak [min]		koeficient čekání
	zjištěné simulací (W)	limitní hodnota (W_{OPT})	
			Q
Pardubice hl. n. – Přelouč	0,95	0,77	124 %
Přelouč – Řečany n. L.	0,55	0,76	72 %
Řečany n. L. – Záboří n. L.	0,85	0,79	109 %
Záboří n. L. – Kolín	0,88	0,79	112 %
Kolín – Velim	0,88	0,59	149 %
Velim – Pečky	0,47	0,59	80 %
Pečky – Poříčany	0,49	0,58	86 %

Separátní simulace – příklad 3

úsek Pardubice – Poříčany, dálková osobní doprava

Je žádoucí posouzení pro jednotlivé segmenty dopravy samostatně, proto je pozornost v tomto příkladu dále věnována pouze dálkové osobní dopravě:

úsek	čekání na vlak [min]		koeficient čekání
	zjištěné simulací (W)	limitní hodnota (W _{OPT})	Q
Pardubice hl. n. – Přelouč	0,24	0,26	92 %
Přelouč – Řečany n. L.	0,22	0,26	85 %
Řečany n. L. – Záboří n. L.	0,22	0,26	86 %
Záboří n. L. – Kolín	0,24	0,26	94 %
Kolín – Velim	0,43	0,27	163 %
Velim – Pečky	0,22	0,27	83 %
Pečky – Poříčany	0,27	0,27	102 %
SUMA	1,85		



Správa železniční dopravní cesty

Separátní simulace – příklad 3 úsek Pardubice – Poříčany, dálková osobní doprava

výpočet přírůstku zpoždění (všechny ukazatele jsou průměry připadající na 1 vlak za celý úsek Pardubice – Poříčany):

suma dob čekání: **1,85 min**

rezervy v cestovních dobách: **0,91 min**

hodnota rezerv vychází z předpokladu, že obecně 3% z cestovních dob je možné využít pro eliminaci zpoždění; v pobytech v mezilehlých stanicích (Přelouč a Kolín) se nepředpokládá rezerva

přírůstek zpoždění: **0,94 min**

přírůstek zpoždění je hlavní hodnotící veličina u standardních simulací

hodnoty přírůstků zpoždění v dálkové osobní dopravě na dalších tratích:

úsek	hodnota přírůstku zpoždění [min] směr tam / směr zpět
Česká Třebová – Pardubice	0,97 / 1,07
Přerov – Česká Třebová	0,41 / 0,67
Ostrava-Svinov – Přerov	0,02 / 0,14
Praha-Bubeneč – Kralupy n. Vlt.	-0,02 / 0,01



Správa železniční dopravní cesty

Separátní simulace – závěr

Metoda byla prověřována na cca 250 traťových kolejích.

Příznivý poměr výsledky / pracnost.

Lze předpokládat, že se stane u SŽDC důležitou metodou pro zjišťování kapacity.



Správa železniční dopravní cesty

Děkuji za pozornost

© Správa železniční dopravní cesty, státní organizace

www.szdc.cz