

MATEMATIKA V DOPRAVĚ

Běžný smrtelník:

Za jak dlouho mi jede vlak (pokud vůbec)?

Jak dlouho pojedu?

Za kolik natankuju?

Za kolik mám natankovat?

Jak dlouho mi bude trvat cesta?

Jak daleko dojedu na rezervu?

Jak daleko dojedu na jedno nabití?





Dopravní odborník:

Cíl: Město příjemné k životu, efektivní, spolehlivá, rychlá a pohodlná doprava

SMART CITY





Strategické řízení města:

Moderní technologie ➤➤➤ zlepšení kvality života

Efektivní doprava, logistika, energetika, bezpečnost, správa budov, atd.



DOPRAVA

**Efektivní
Bezpečná
Komfortní
Spolehlivá**



Inteligentní plánování tras hromadné dopravy

SMART CITY



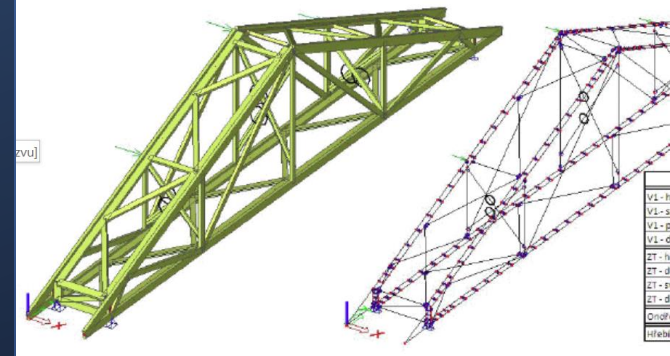
System:

Část prostředí, kterou lze od jejího okolí oddělit fyzickou nebo myšlenkovou hranicí

Skládá se ze vzájemně propojených podsystémů

Model:

Náhrada nebo zjednodušení skutečného objektu reálného světa z hlediska jeho vlastností a funkčnosti



Příklad systému: pražské metro



Fyzické vymezení

Vstupy, výstupy

Vzájemně propojené
podsystemy: trasy A, B, C

Matematika

Výpočetní technika

**Systémová
analýza**

**Modelování
systémů a procesů**



Variace ceny

Rovnice nabídky:

Nabídka dnes závisí na včerejší ceně, a to tak, že nabídka roste s rostoucí cenou:

$$Q_n(k) = r \cdot P(k - 1) + s \cdot U(k), r > 0$$

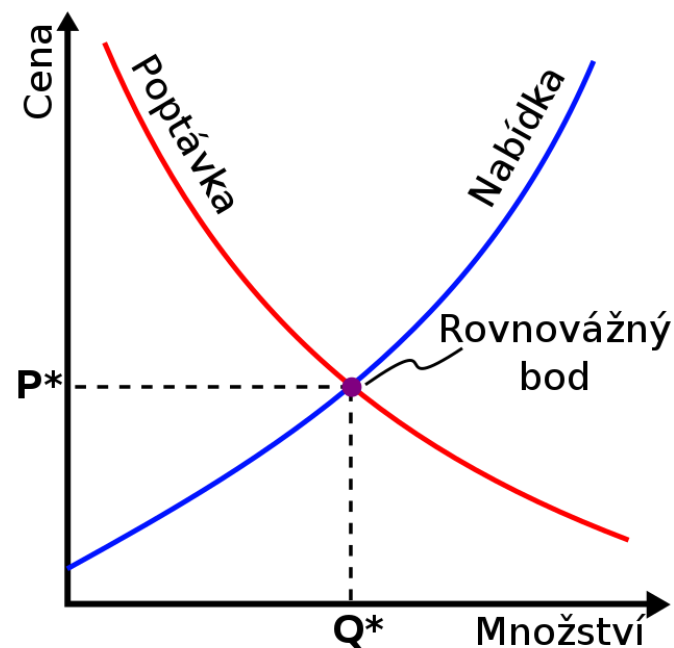
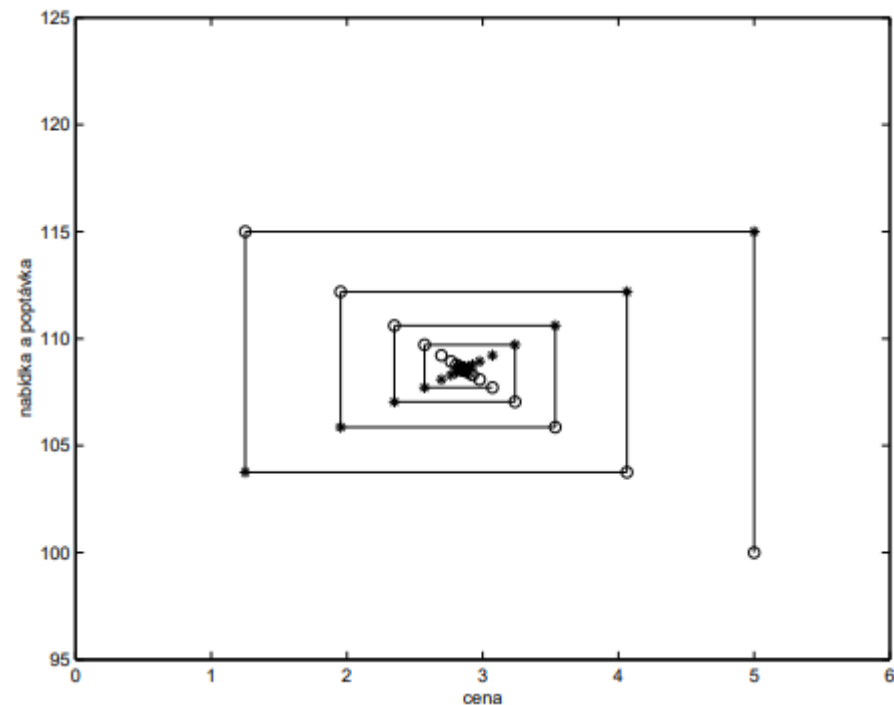
Rovnice poptávky:

Poptávka dnes závisí na dnešní ceně, a to tak, že poptávka klesá s rostoucí cenou:

$$Q_p(k) = -v \cdot P(k) + w \cdot U(k), v > 0$$

Diferenční rovnice:

$$P(k) + \frac{r}{v} \cdot P(k - 1) = \frac{w - s}{v} \cdot U(k)$$



Rychlost, zrychlení, ryv – derivace

Průměrná rychlost:

$$v_p = \frac{s(t + \Delta t) - s(t)}{\Delta t}$$



Rychlost, zrychlení, ryv – derivace



Průměrná rychlost:

$$v_p = \frac{s(t + \Delta t) - s(t)}{\Delta t}$$

Okamžitá rychlost:

$$v(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{s(t + \Delta t) - s(t)}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}(t) = s'(t)$$



Rychlost, zrychlení, ryv – derivace



Průměrná rychlost:



Okamžitá rychlost:



Okamžité zrychlení:



Okamžitý ryv („cukání“):

$$v_p = \frac{s(t + \Delta t) - s(t)}{\Delta t}$$

$$v(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{s(t + \Delta t) - s(t)}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}(t) = s'(t)$$

$$a(t) = \lim_{t \rightarrow t_0} \frac{v(t + \Delta t) - v(t)}{\Delta t} = \frac{dv}{dt}(t) = v'(t)$$

$$K(t) = \lim_{t \rightarrow t_0} \frac{a(t + \Delta t) - a(t)}{\Delta t} = \frac{da}{dt}(t) = a'(t)$$

Opačný směr – primitivní funkce

Dráha:



$$s(t) = \int v(t) dt$$

Okamžitá rychlost:



$$v(t) = \int a(t) dt$$

Okamžité zrychlení:



$$a(t) = \int K(t) dt$$

Okamžitý ryv („cukání“):

$$K(t) = a'(t)$$

Dynamika jízdy vozidla



Síly působící na jedoucí vozidlo:

Valivý odpor pneumatik:

$$O_f = fmg$$

Aerodynamický odpor:

$$O_v = \frac{1}{2} \rho c_x S_x v^2$$

Odpor zrychlení rotujících částí:

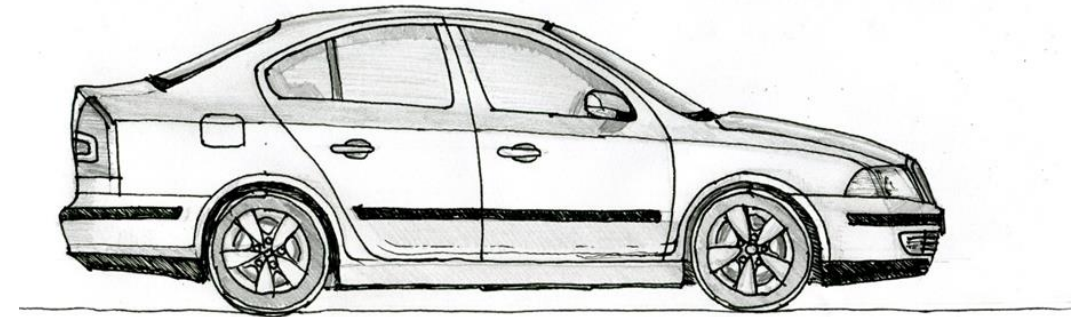
$$O_z = ma\vartheta$$

Brzdná síla:

$$O_B = \mu mgx$$

Hnací síla:

$$F_0$$



Zpomalení vozidla:
$$F(t) = \frac{1}{\vartheta} \left(-\frac{1}{2} \rho c_x S_x v(t)^2 - fmg - \mu mgx \right)$$

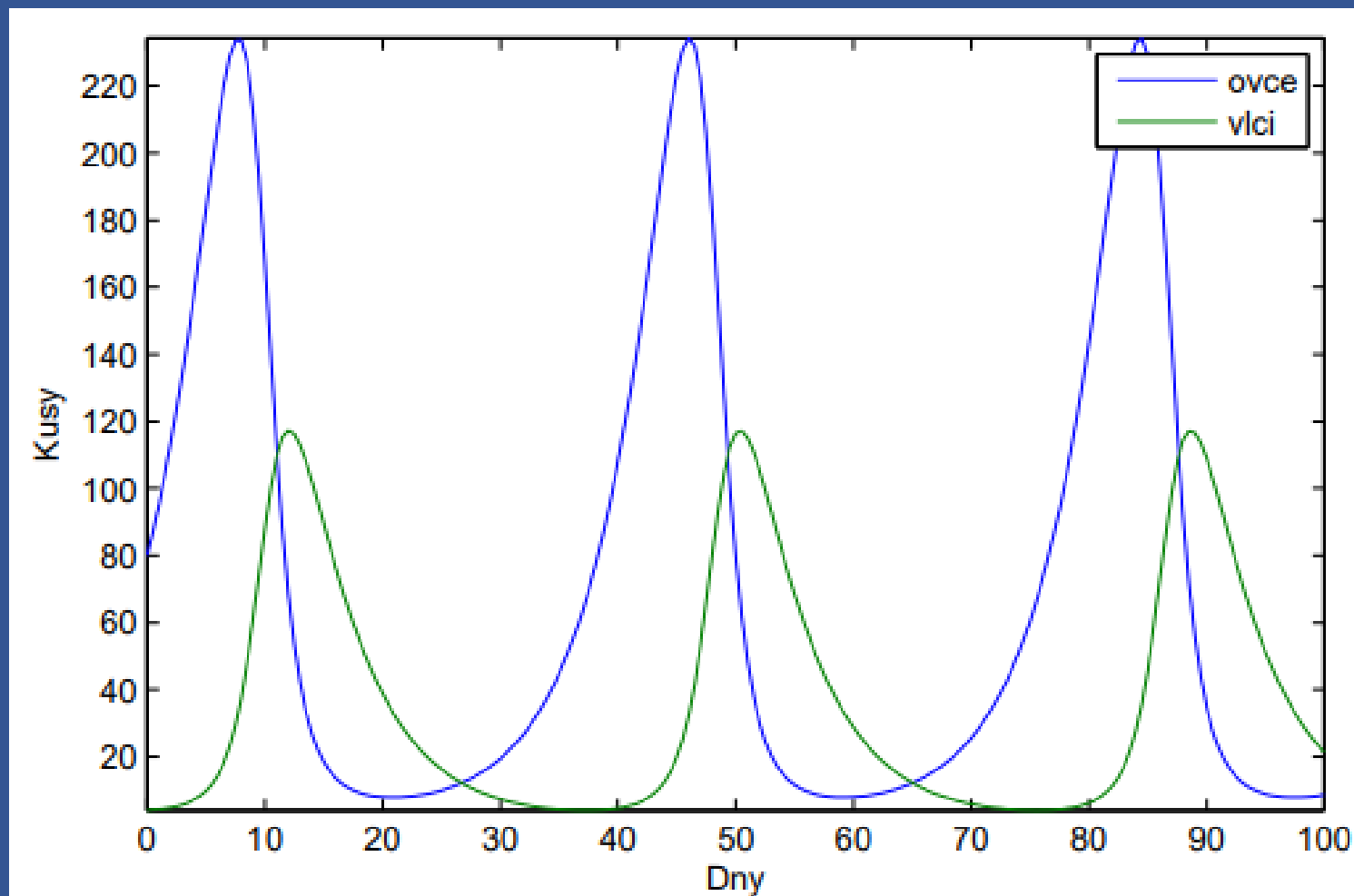
$$v'(t) = \frac{1}{\vartheta} \left(-\frac{1}{2m} \rho c_x S_x v(t)^2 - fg - \mu gx \right) \dots\dots \text{diferenciální rovnice}$$

Ovečky a vlci

$$x_1'(t) = ax_1(t) - bx_1(t)x_2(t)$$

$$x_2'(t) = -cx_2(t) + dx_1(t)x_2(t)$$

$$a, b, c, d > 0$$



Šíření epidemie

$$Z'(t) = -aI(t)Z(t)$$

$$R'(t) = bI(t)$$

$$I'(t) = -Z'(t) - R'(t)$$

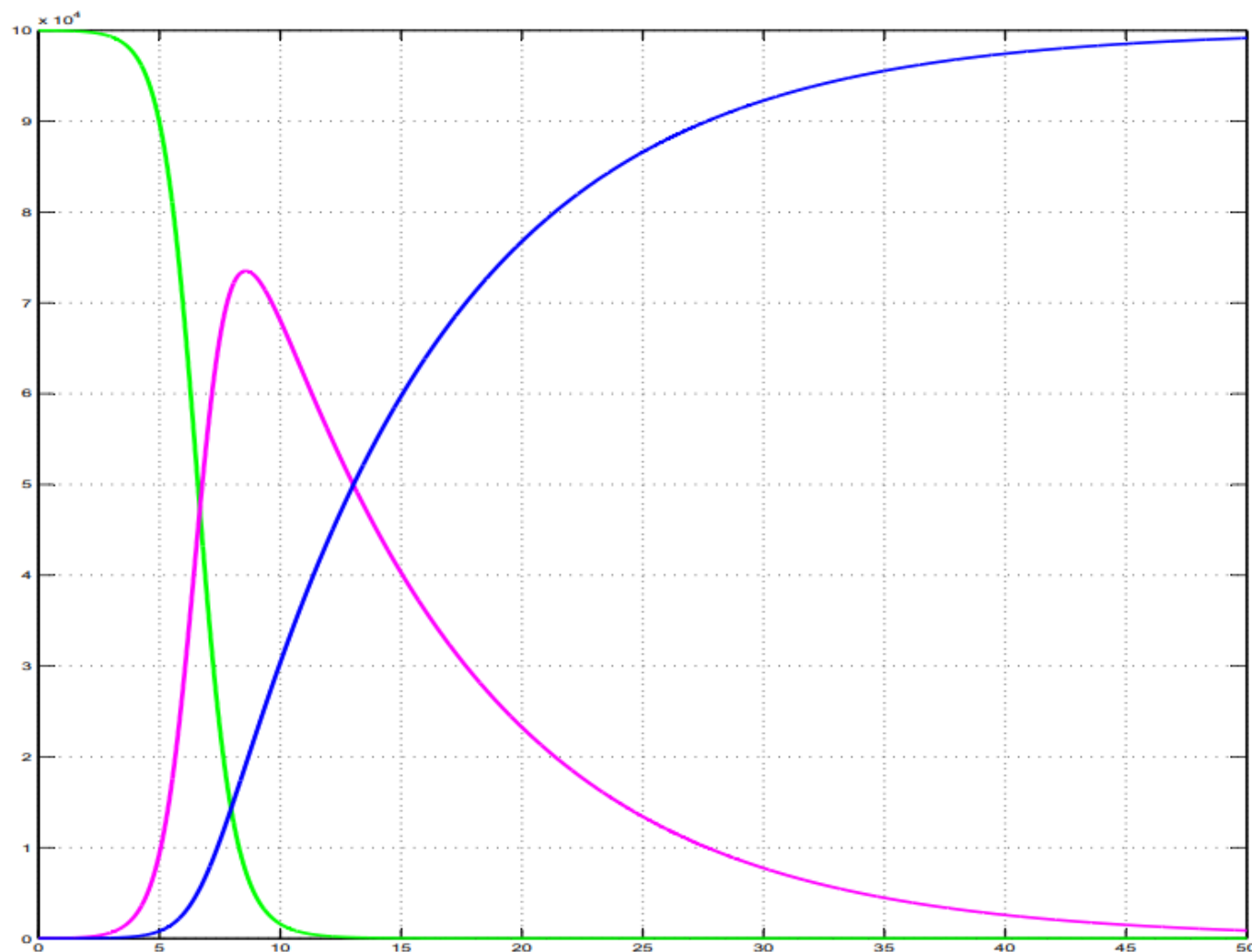
$Z(t)$ počet zdravých jedinců

$I(t)$ počet infikovaných

$R(t)$ počet mrtvých nebo imunních

$$Z(t) + I(t) + R(t) = c$$

$$Z'(t) + I'(t) + R'(t) = 0$$



$$\alpha = 0.00015, \beta = 0.11, S(0) = 100000, I(0) = R(0) = 10$$

Segway (HT)

První komerčně dostupný jednoosý dopravní prostředek s dynamickým stabilizačním systémem

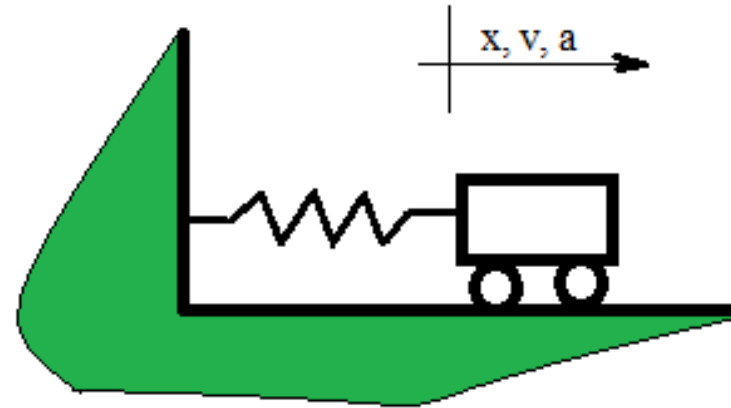
Vyřešení stabilizace = nejnáročnější úkol

Pro návrh, modelování a simulaci inerčního stabilizátoru použili konstruktéři Matlab a Simulink

pokus – vizualizace – korekce algoritmu



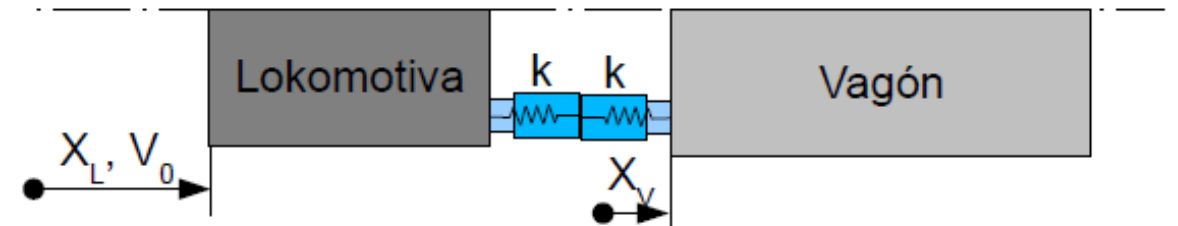
Srážka lokomotivy s vagónem



Pohybová rovnice

$$m \cdot a = -F_D = -k \cdot \Delta x$$

F_D direkční síla pružiny



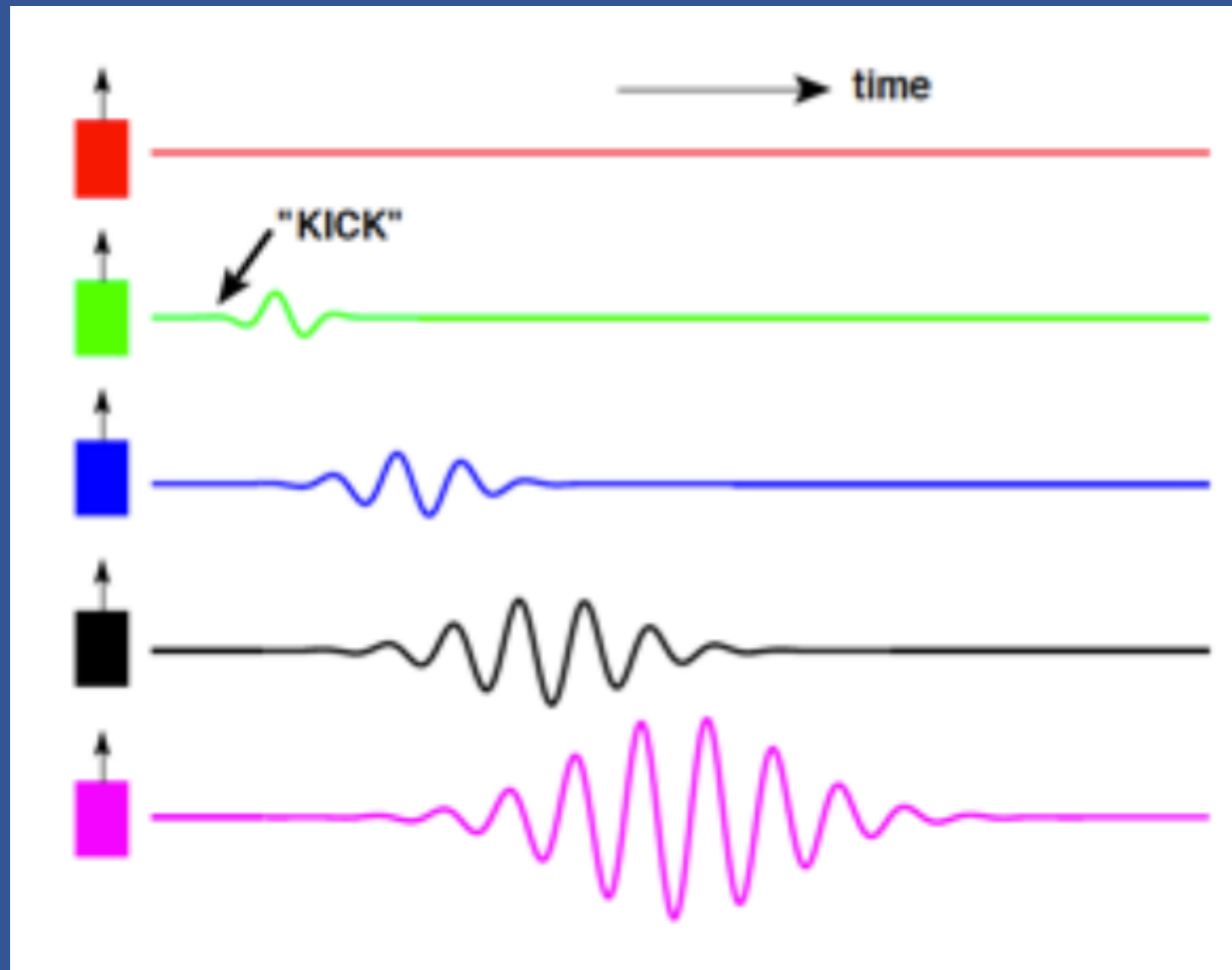
$$m_L \ddot{x}_L = \frac{k}{2} (x_V - x_L),$$

$$m_V \ddot{x}_V = \frac{k}{2} (x_L - x_V),$$





Vznik dopravních kongescí



Role matematiky

- výstupy modelu je vždy třeba ověřovat
- možné chyby jsou jak v modelu, tak i v jeho výpočtu

Verifikace: Použili jsme správný model

Validace: Model počítá správně

Thomas Nicely, Lynchburg College, Virginia (1994):

Numerický výpočet součtu harmonické řady s párovými
prvočíslý -> chyba Pentia

i486 ... 1,902160583...

Pentium ... 1,902160577...



$$\frac{4\ 195\ 835}{3\ 145\ 727} = 1,3337$$



Uzly Hrany



Teorie grafů

Nejkratší cesta

Nejspolehlivější cesta

Maximální propustnost sítě

Rozvoz zboží – optimální trasa

Kam umístit depa / pobočky?

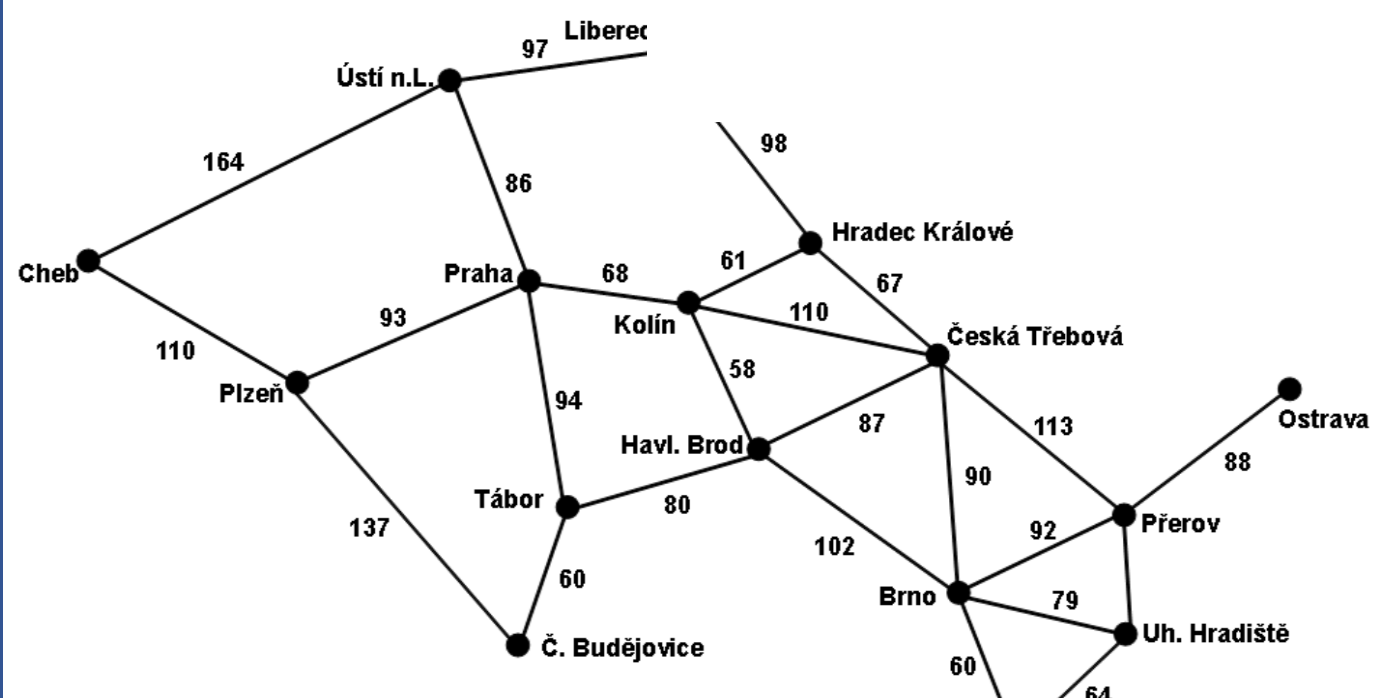
Kam dispečerská stanoviště?

Kam umístit vysílače?

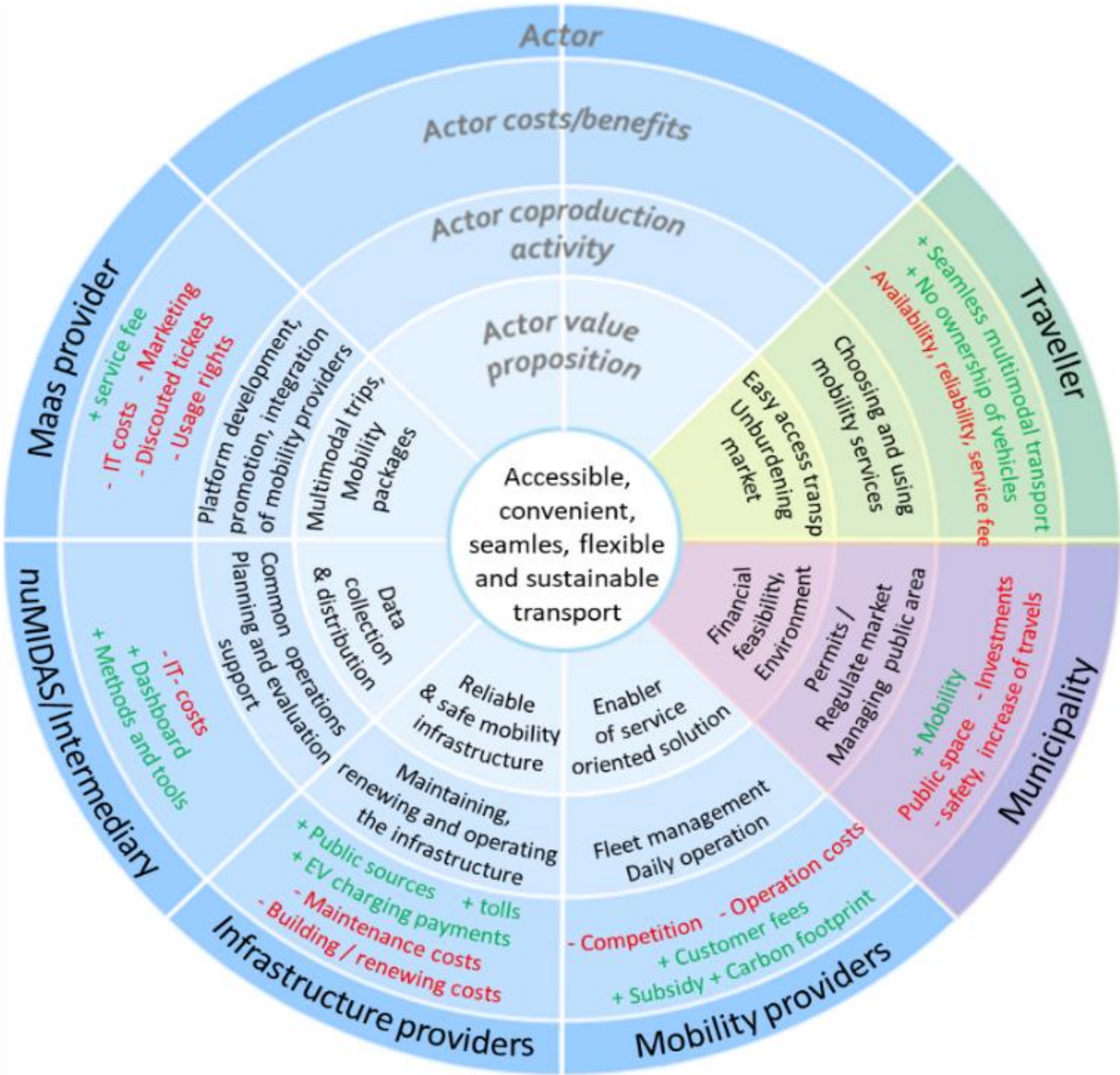
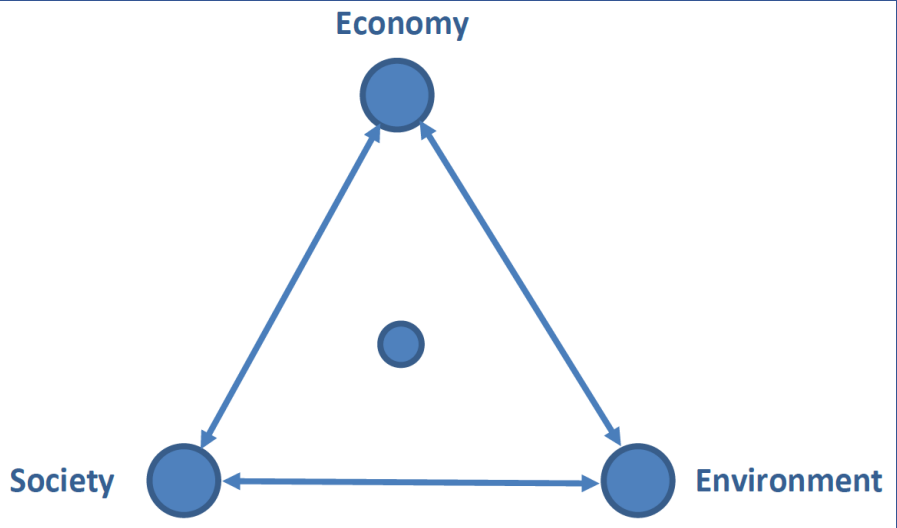
Kudy položit kabel

.....

(Hledání extrémů funkcí)



Teorie her



Teorie her

Příklad (autor: Warren Buffet):

Fiktivní miliardář chce prosadit přechod na nový standard TV vysílání

- ➡ nové přijímače
- ➡ velké zisky pro některé firmy

Nabídka demokratům i republikánům:

Pokud zákon **neprojde, tak té straně, která mu dala nejvíce hlasů, daruji legálně miliardu dolarů.**



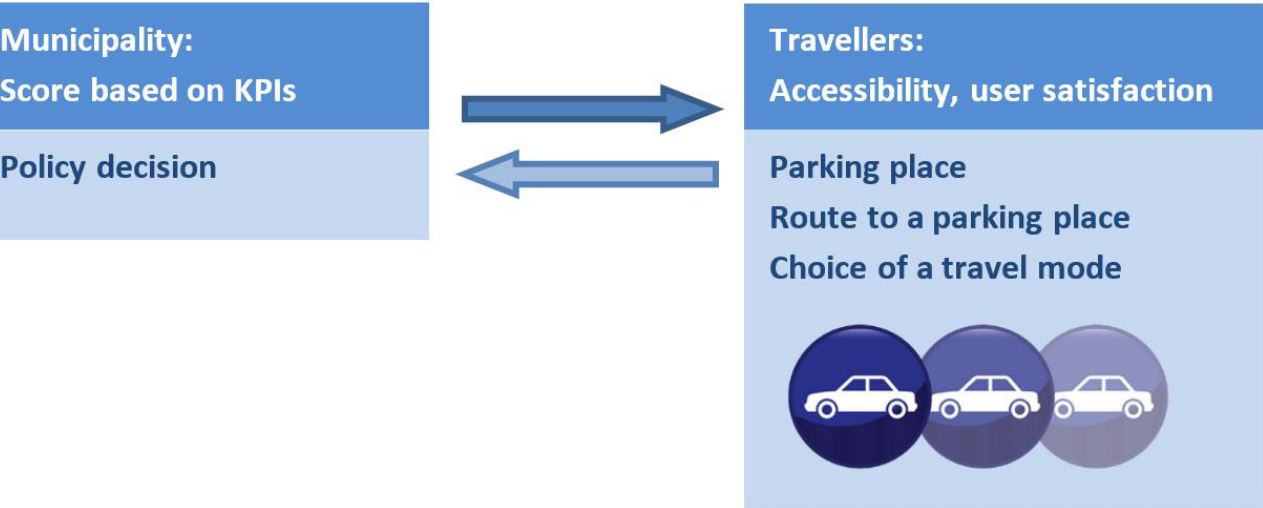
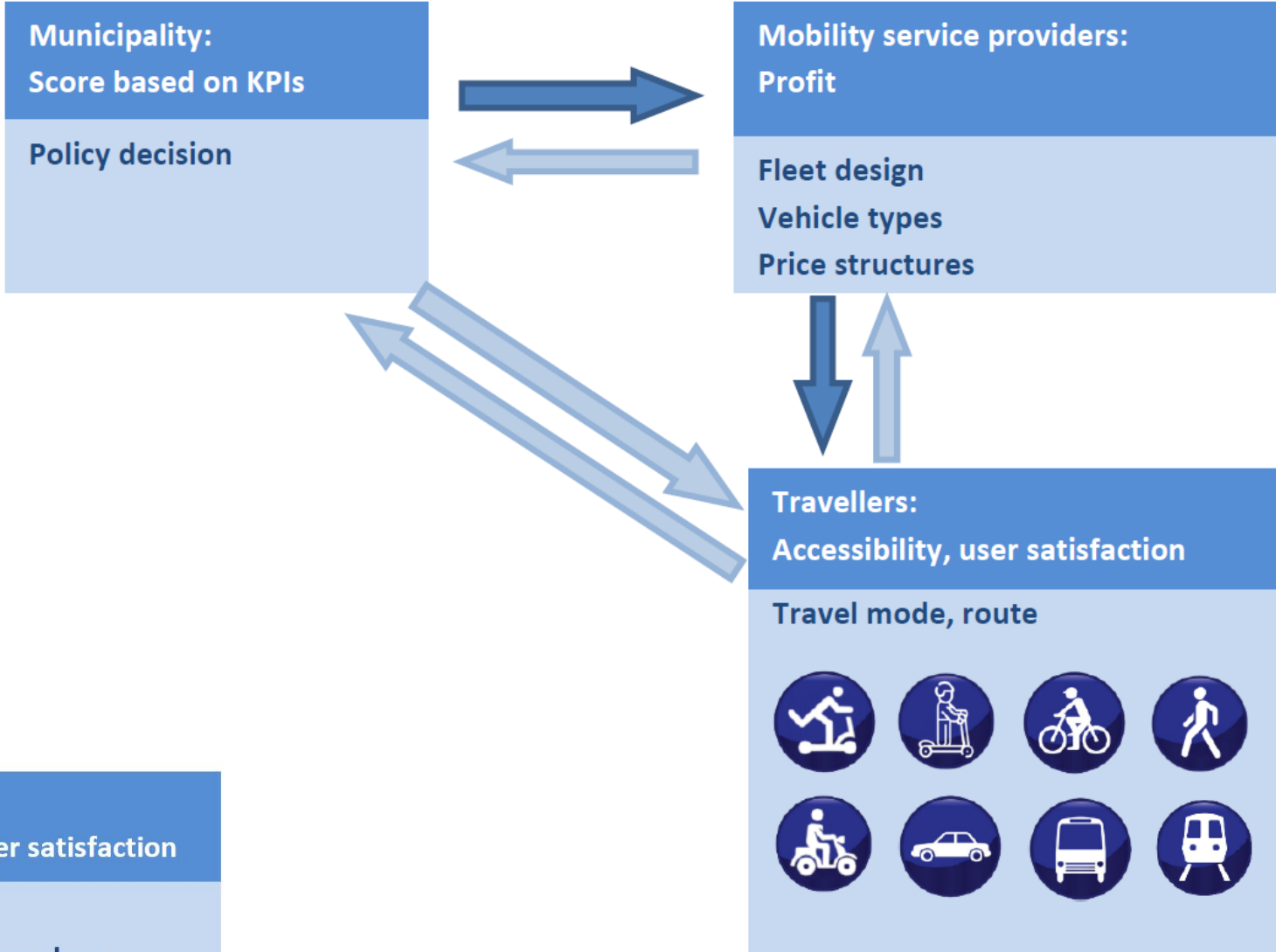
Teorie her

Co se dá čekat:

Demokraté: zákon v této podobě nechceme, ale co když ho někteří republikáni podpoří? Pak republikáni získají miliardu a v několika příštích volbách nás převálčují. Než tohle, bude lepší pro zákon hlasovat. Voličům se to sice nebude líbit, ale brzy přijdou jiné skandály a oni zapomenou. Republikáni budou určitě uvažovat stejně jako my, hlasování proti by tedy vedlo k daleko horšímu výsledku. A pokud by se republikáni náhodou rozhodli zákon nepodpořit, získáme miliardu. Republikánská strana patrně dospěje ke stejnému závěru, a tak zákon hladce projde a miliardáře to nestojí ani dolar – řekl přece, že peníze dá příslušné straně, pokud zákon neprojde...



Teorie her



Dopravní síť

600 lidí dojíždí autem
z Kocourkova do Vlkova

Kolem řeky: 1 hodina
(bez ohledu na intenzitu)

Zkratka přes kopec:

Všichni ➔ 1 hodina

S každými deseti automobily,
které by jely kolem řeky, se čas
zkrátí o jednu minutu
(až na hranici 20 minut)



Celkový čas:

$$\begin{aligned} T &= 10k \cdot 1 + (600 - 10k) \cdot \left(1 - \frac{k}{60}\right) \\ &= \frac{1}{6}(k^2 - 60k + 3600) \rightarrow \min \end{aligned}$$

Dopravní síť

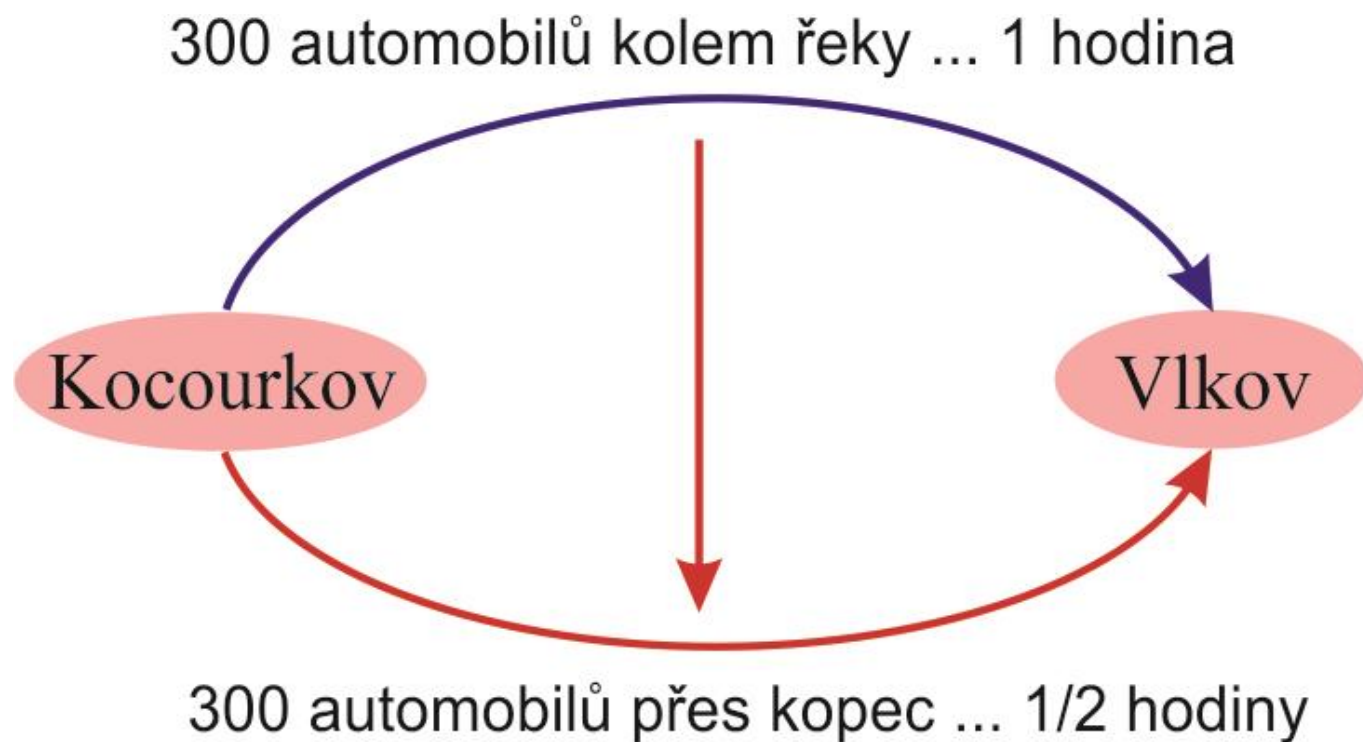
600 lidí dojíždí autem
z Kocourkova do Vlkova

Kolem řeky: 1 hodina
(bez ohledu na intenzitu)

Zkratka přes kopec:

Všichni ➔ 1 hodina

S každými deseti automobily,
které by jely kolem řeky, se čas
zkrátí o jednu minutu
(až na hranici 20 minut)



Celkový čas:

$$T = \frac{1}{6}(k^2 - 60k + 3600)$$

Minimum pro $k = 30$... 300 lidí kolem řeky

Průměrná doba cesty: 3/4 hodiny

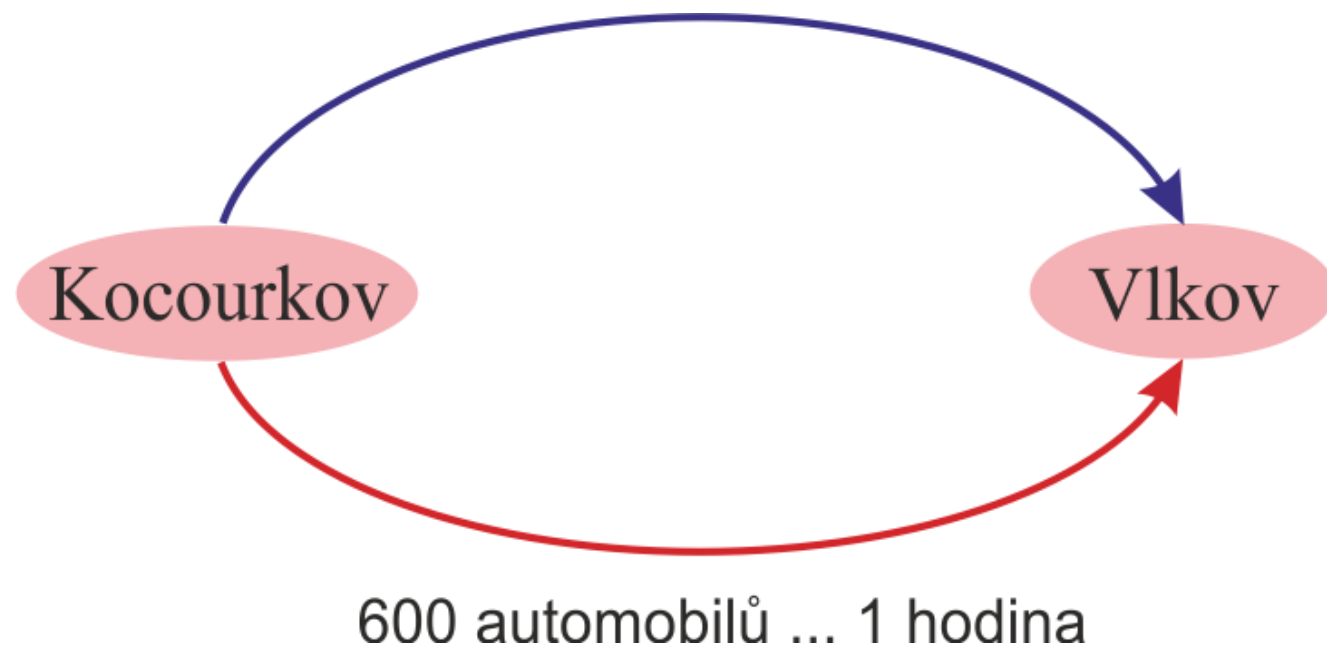
A. C. Pigou (1920)

Sobecké jednání jedinců nemusí vést k optimálnímu stavu z hlediska celku

Jak docílit společenského optima?

Zpoplatnění

Autonomní vozidla



Rovnovážný stav (individuální optimum)

Průměrná doba cesty: 1 hodina

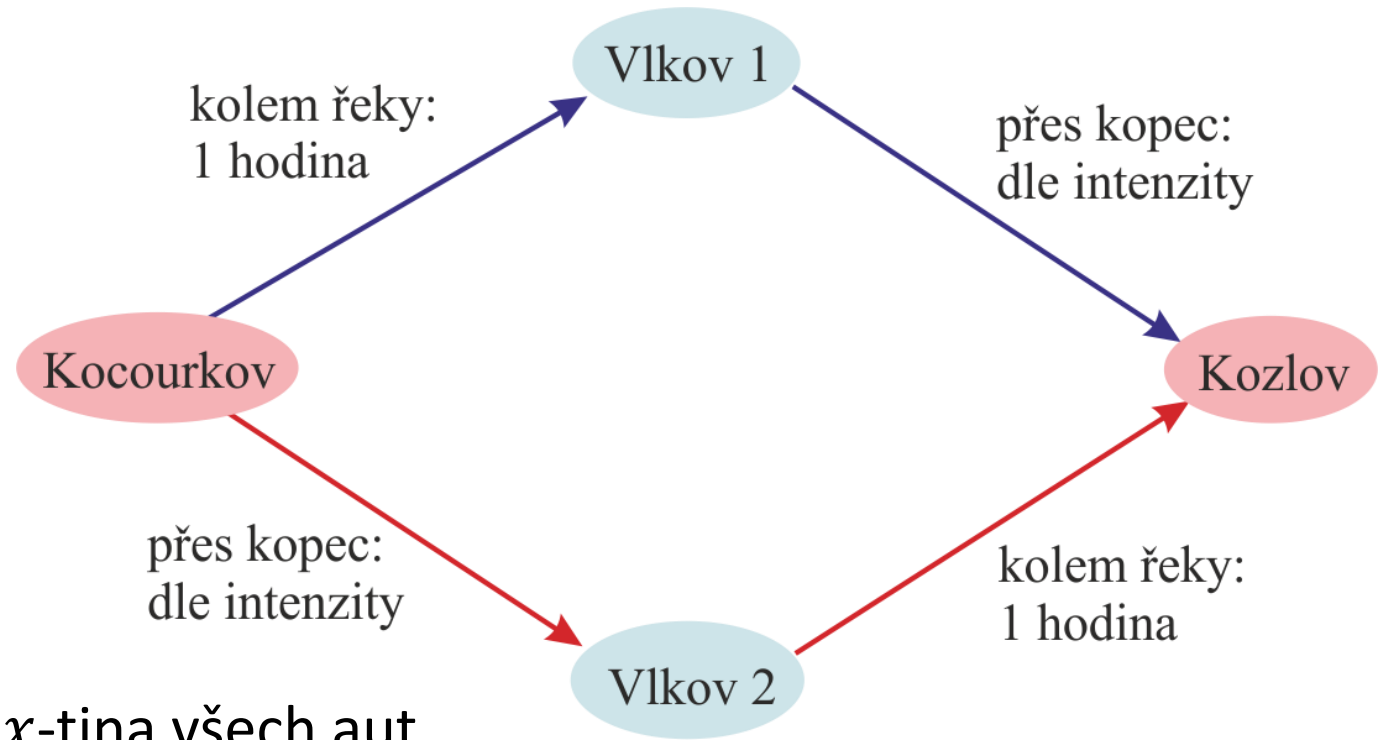
≠

Optimum z hlediska společnosti: 3/4 hodiny

D. Braess (1968)

Vlkov je jen vesnice cestou do Kozlova, kam se všichni potřebují dostat (práce/vlak)

Cesta, která vedla přes kopec, pokračuje kolem řeky a trvá jednu hodinu bez ohledu na intenzitu dopravy. Cesta, která vedla po (druhém) břehu řeky, pokračuje od Vlkova ke Kozlovu zkratkou přes kopec a je náchylná ke kolonám jako zkratka z Kocourkova do Vlkova.



x -tina všech aut
.... čas x hod

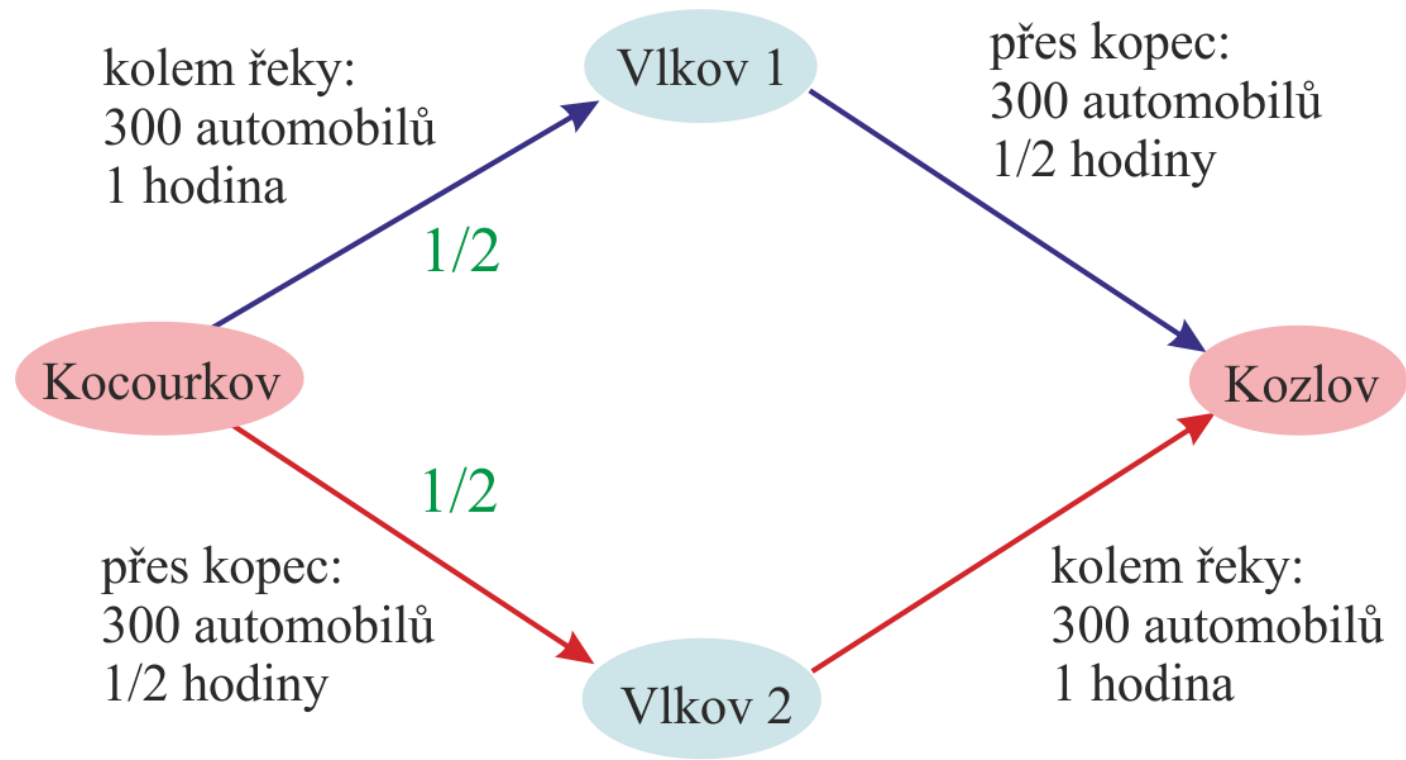
Průměrný čas pro jeden automobil:

$$\begin{aligned} T &= x \cdot x + x \cdot 1 + (1 - x) \cdot 1 + (1 - x) \cdot (1 - x) \\ &= 2(x^2 - x + 1) = 2 \left[\left(x - \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{3}{4} \right] \rightarrow \min \end{aligned}$$

D. Braess (1968)

Vlkov je jen vesnice cestou do Kozlova, kam se všichni potřebují dostat (práce/vlak)

Cesta, která vedla přes kopec, pokračuje kolem řeky a trvá jednu hodinu bez ohledu na intenzitu dopravy. Cesta, která vedla po (druhém) břehu řeky, pokračuje od Vlkova ke Kozlovu zkratkou přes kopec a je náchylná ke kolonám jako zkratka z Kocourkova do Vlkova.

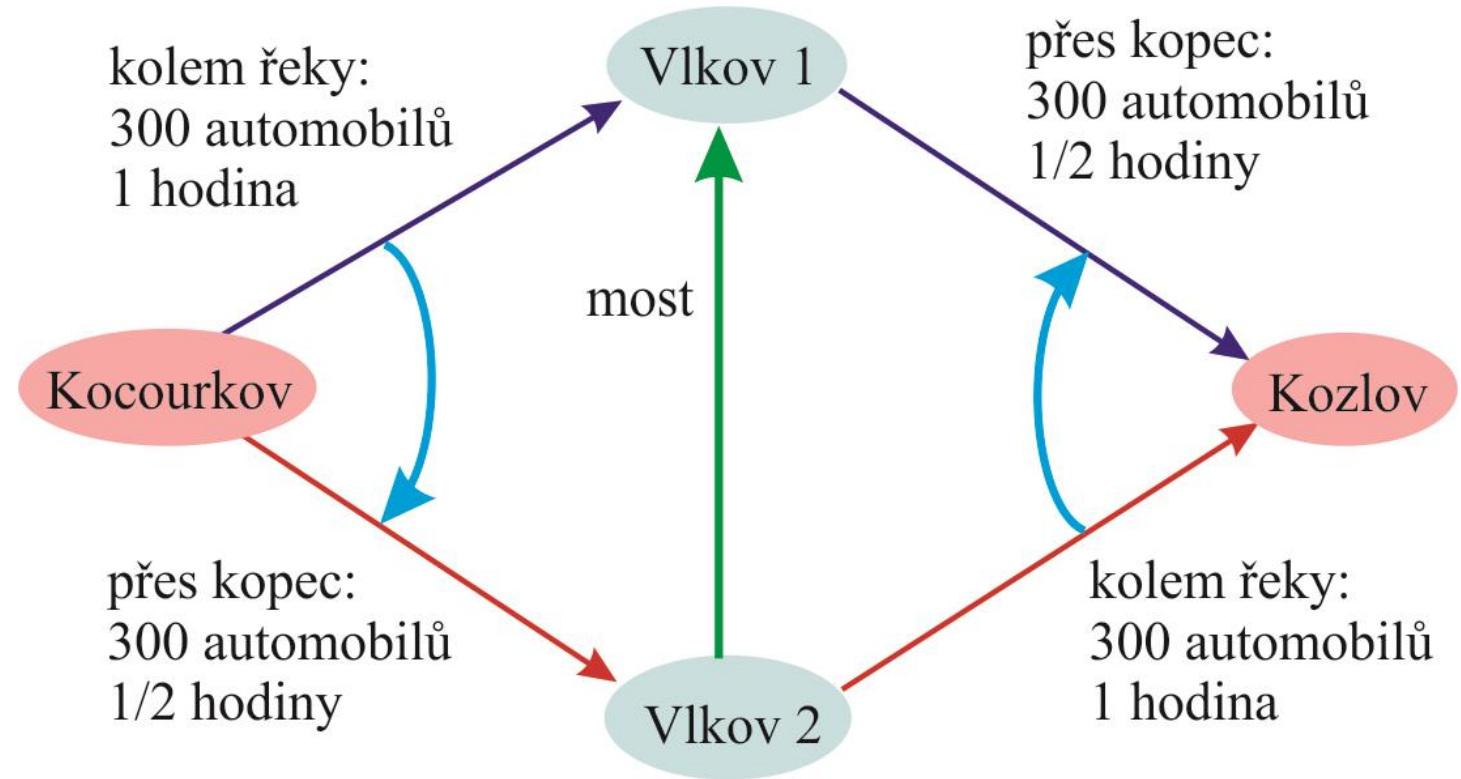


Minimum pro $x = 1/2 \dots 300$ lidí přes kopec

Průměrná doba cesty: 1,5 hodiny

Braess (1968)

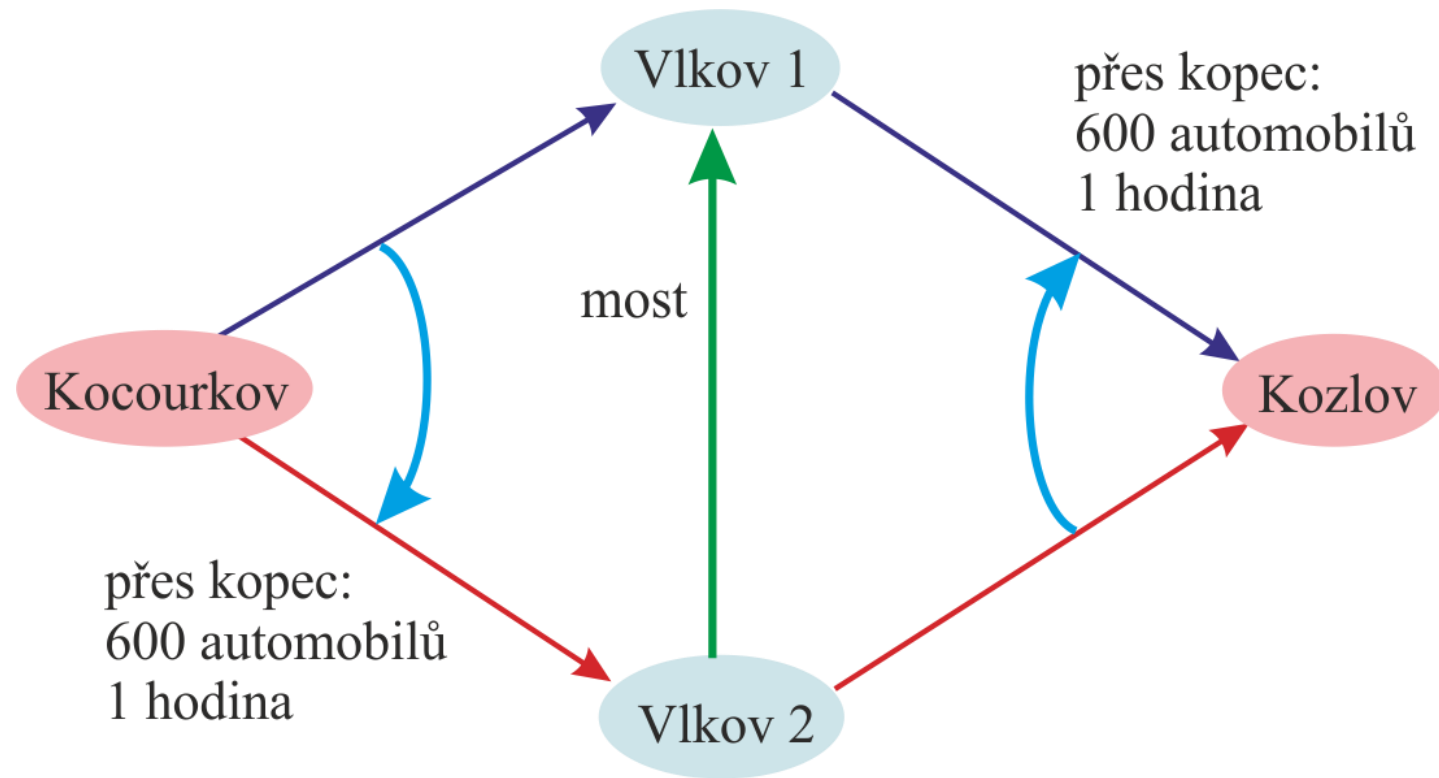
Podaří se postavit most ve Vlkově, cesta po něm trvá tak krátce, že je to z hlediska celkové doby zanedbatelné.



Braess (1968)

Braessův paradox:

Přidání nové komunikace může dopravní situaci i zhoršit



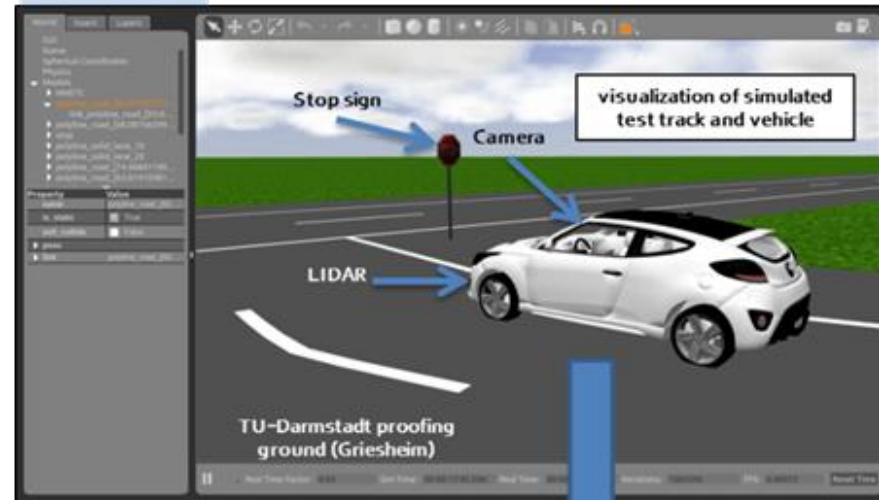
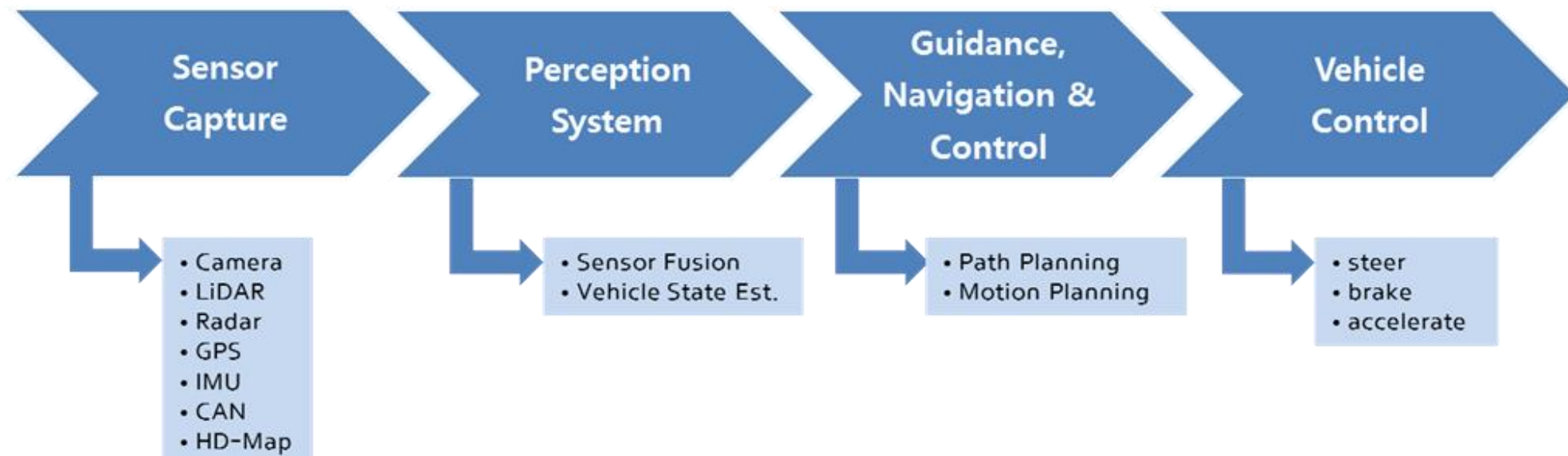
Rovnovážný stav (individuální optimum)

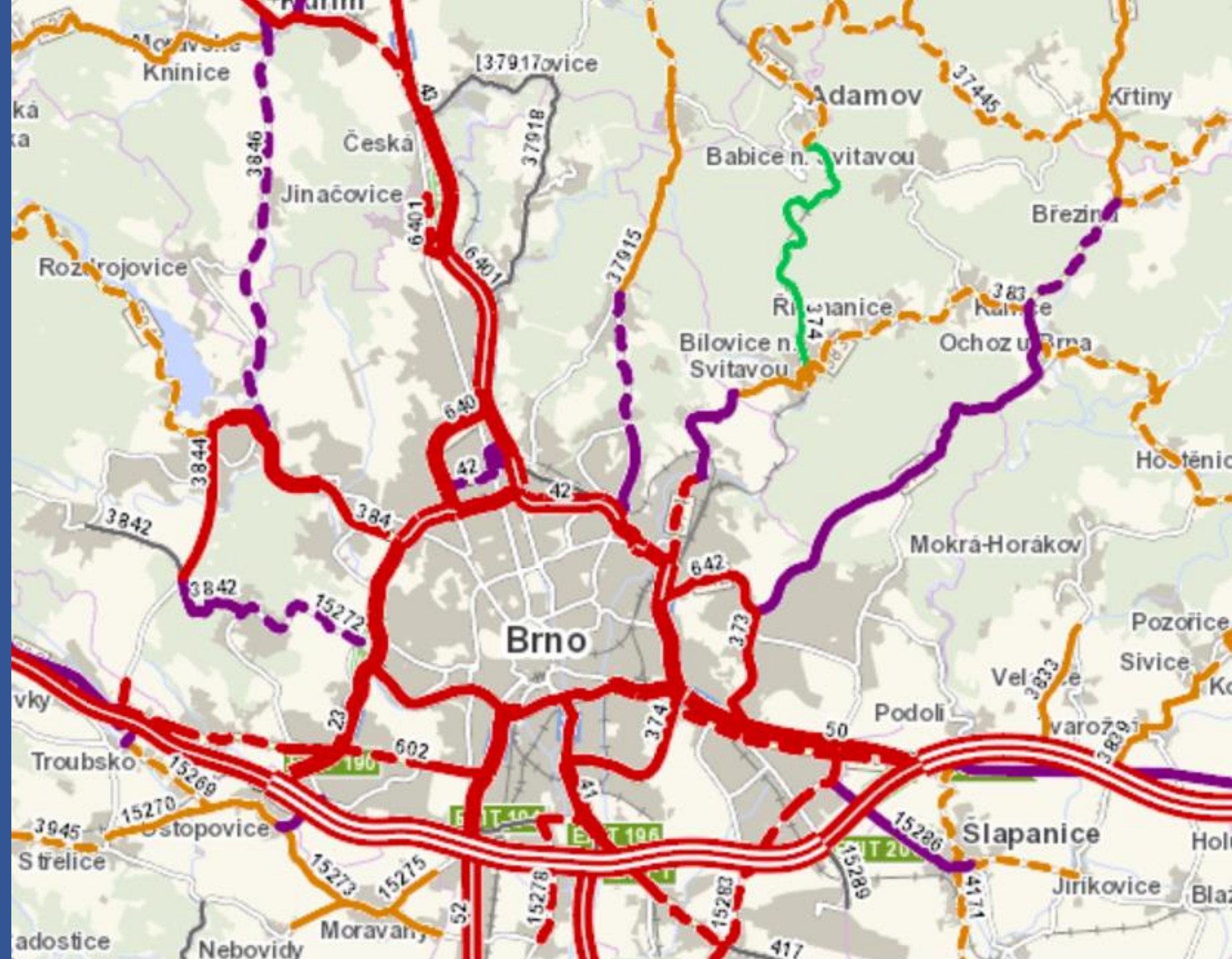
Průměrná doba cesty: 2 hodiny

≠

Optimum z hlediska společnosti: 1,5 hodiny

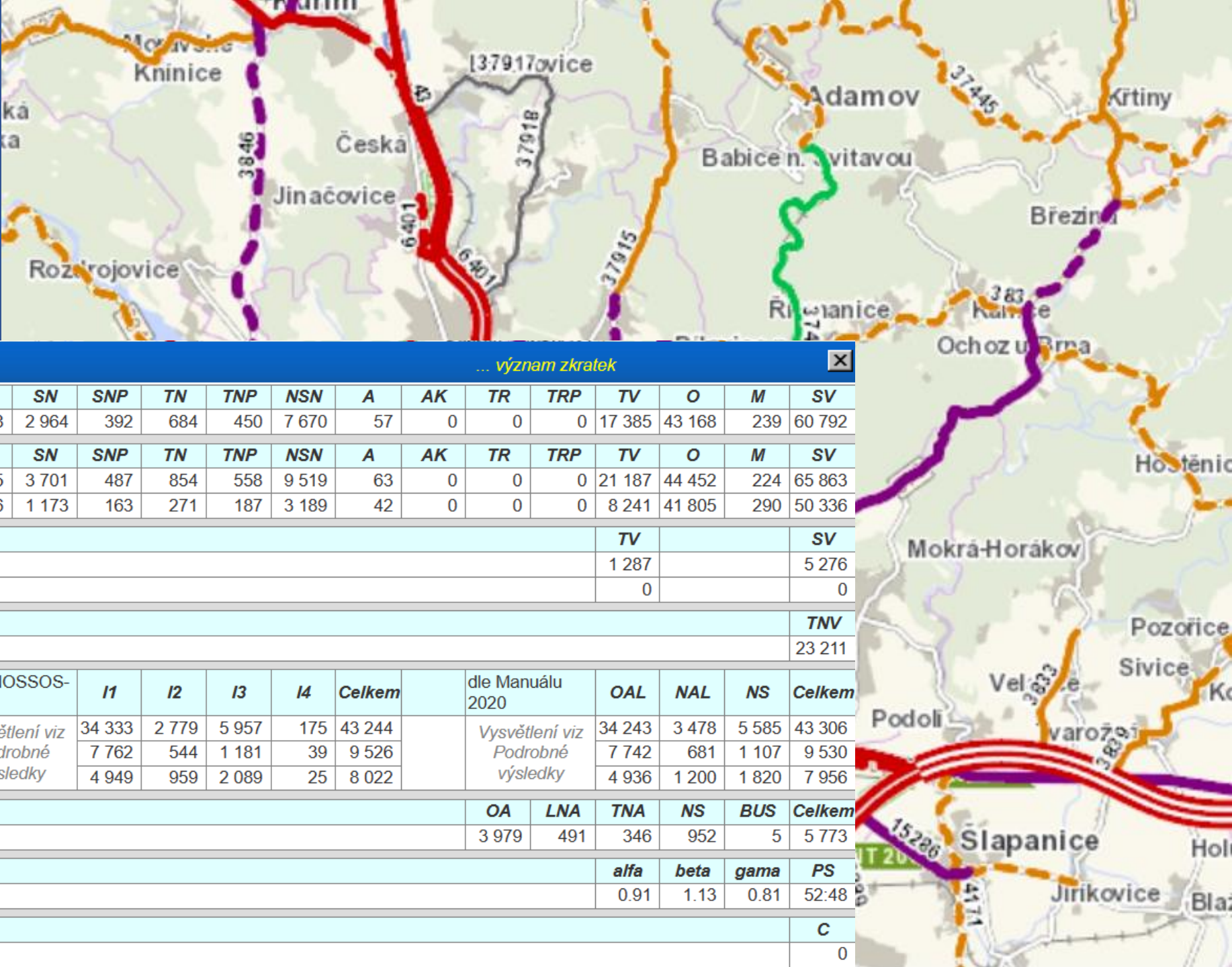
Autonomní vozidla





Sčítání dopravy

Statistika Zpracování dat



Sčítání dopravy 2020 (sč.úsek: 6-8801)																... význam zkratk				
Roční průměr denních intenzit dopravy		LN	SN	SNP	TN	TNP	NSN	A	AK	TR	TRP	TV	O	M	SV					
RPDI - všechny dny	voz/den	5 168	2 964	392	684	450	7 670	57	0	0	0	17 385	43 168	239	60 792					
		LN	SN	SNP	TN	TNP	NSN	A	AK	TR	TRP	TV	O	M	SV					
RPDI - pracovní den (Po-Pá)	voz/den	6 005	3 701	487	854	558	9 519	63	0	0	0	21 187	44 452	224	65 863					
RPDI - volné dny (mimo svátky)	voz/den	3 216	1 173	163	271	187	3 189	42	0	0	0	8 241	41 805	290	50 336					
Hodinová intenzita dopravy												TV			SV					
Padesátirázová intenzita dopravy	voz/h											1 287			5 276					
Špičková hodinová intenzita dopravy	voz/h											0			0					
Těžká nákladní vozidla - TNV															TNV					
Hodnota TNV	voz/den														23 211					
Intenzita dopravy pro hlukové a emisní výpočty		dle CNOSSOS-EU	I1	I2	I3	I4	Celkem		dle Manuálu 2020	OAL	NAL	NS	Celkem							
Roční průměr intenzit, den (06-18)	voz/den	Vysvětlení viz Podrobné výsledky	34 333	2 779	5 957	175	43 244		Vysvětlení viz Podrobné výsledky	34 243	3 478	5 585	43 306							
Roční průměr intenzit, večer (18-22)	voz/den		7 762	544	1 181	39	9 526			7 742	681	1 107	9 530							
Roční průměr intenzit, noc (22-06)	voz/den		4 949	959	2 089	25	8 022			4 936	1 200	1 820	7 956							
Emise										OA	LNA	TNA	NS	BUS	Celkem					
Roční špičková hodinová intenzita dopravy	voz/h									3 979	491	346	952	5	5 773					
Koeficienty nerovnoměrnosti dopravy												alfa	beta	gama	PS					
Koeficient nerovnoměrnosti dopravy	-											0.91	1.13	0.81	52.48					
Intenzita cyklistické dopravy															C					
Cyklistická doprava	cyklo/den														0					

Statistika

Zpracování dat

Sčítání dopravy

Lineární algebra: Vektory, matice

KOK	OK	SIL	USEK	DELKA	LN	SN	SNP	TN	TNP	NSN	A	AK	TR	TRP	TV	O	M
CZ020A	PZ	D0	1-7290	1.008	3745	1877	318	289	385	8895	94	7	0	0	13388	30583	154
CZ010	AB	D0	1-7301	5.182	3700	1783	283	238	251	8917	105	11	0	0	13288	30193	183
CZ010	AB	D0	1-7302	5.014	4177	1879	417	422	808	7338	74	4	0	0	14917	35982	182
CZ010	AB	D0	1-7303	1.007	4248	1871	400	382	443	8038	103	4	0	0	13487	37812	182
CZ010	AB	D0	1-7230	3.505	5938	2580	527	471	383	8494	181	8	1	0	18559	53999	251
CZ010	AB	D0	1-7238	1.321	8290	2530	559	570	472	8884	185	8	1	0	17277	55473	250
CZ010	AB	D0	1-7200	1.852	8845	2490	592	873	585	8824	189	5	0	0	17983	58880	249
CZ010	AB	D0	1-7258	0.898	5887	2048	523	854	555	5844	181	4	0	0	15854	48747	207
CZ010	AB	D0	1-7250	3.228	5438	1833	408	808	548	5137	374	3	0	0	14343	48280	232
CZ010	AB	D0	1-7280	2.855	4000	1298	235	445	430	3552	457	1	0	0	10418	38034	203
CZ010	AB	D0	1-7300	0.839	3892	1821	348	833	389	5011	427	45	0	0	12388	38954	192
CZ010	AB	D0	1-8330	1.252	3540	1387	387	348	333	8227	195	9	0	0	12408	37390	208
CZ010	AB	D0	1-7340	2.393	4892	1870	500	484	433	8217	334	12	0	0	18722	52999	285
CZ0209	PY	D0	1-7278	3.515	3305	1291	332	289	518	5898	81	0	0	0	11894	28975	81
CZ020A	PZ	D0	1-7279	3.279	3305	1291	332	289	518	5898	81	0	0	0	11894	28975	81
CZ020A	PZ	D0	1-7280	4.188	3352	1405	310	287	427	8078	73	3	0	0	11915	27383	110
CZ020A	PZ	D0	1-7380	1.588	1195	335	39	98	29	240	34	4	0	2	1974	9241	59
CZ0209	PY	2	1-0980	0.332	1021	397	37	173	24	588	157	25	2	8	2428	14493	113
CZ0209	PY	2	1-0981	0.19	1021	397	37	173	24	588	157	25	2	8	2428	14493	113
CZ0209	PY	2	1-0991	2.03	993	410	59	92	40	551	142	45	4	0	2338	12233	79
CZ0209	PY	2	1-0990	4.075	1077	454	55	130	87	553	111	33	4	4	2488	13571	97
CZ0209	PY	2	1-1008	1.774	880	349	43	110	38	585	70	48	4	4	2091	9058	83
CZ0209	PY	2	1-1009	1.481	708	332	49	175	53	543	41	39	3	15	1958	8533	84
CZ0209	PY	2	1-1010	3.271	708	332	49	175	53	543	41	39	3	15	1958	8533	84
CZ0209	PY	2	1-1017	2.289	573	327	32	78	42	829	24	0	3	7	1715	5534	80
CZ0209	PY	2	1-1028	1.335	482	242	37	48	37	388	71	39	3	13	1338	5728	38
CZ0209	PY	2	1-1020	4.301	357	285	40	85	18	309	21	30	1	12	1118	3222	35
CZ0204	KO	2	1-1030	2.825	357	285	40	85	18	309	21	30	1	12	1118	3222	35
CZ0204	KO	2	1-1040	8.218	384	214	23	41	29	287	30	23	11	5	1027	3134	42
CZ0204	KO	2	1-1050	4.482	408	195	23	42	19	324	50	14	13	23	1111	3891	31
CZ0204	KO	2	1-1088	3.799	282	128	9	47	17	180	10	21	2	10	884	2003	24
CZ0205	KH	2	1-1089	0.39	282	128	9	47	17	180	10	21	2	10	884	2003	24
CZ0205	KH	2	1-1070	8.882	470	145	14	30	14	118	43	14	2	3	853	4823	84
CZ0205	KH	2	1-1071	0.898	470	145	14	30	14	118	43	14	2	3	853	4823	84
CZ0205	KH	2	1-3391	1.519	718	214	15	40	11	174	24	0	10	7	1211	10383	92
CZ0205	KH	2	1-3392	1.302	354	87	4	14	4	54	135	1	2	2	837	4286	34
CZ0205	KH	2	1-3371	1.799	849	185	12	48	8	93	75	1	8	8	1083	8987	102
CZ0205	KH	2	1-3370	0.384	849	185	12	48	8	93	75	1	8	8	1083	8987	102
CZ0205	KH	2	1-3988	0.721	489	175	13	41	28	173	23	1	4	18	945	8059	88
CZ0205	KH	2	1-3980	10.891	253	82	11	34	29	198	18	0	4	48	875	2553	35
CZ0209	PY	3	1-8810	1.899	1905	725	118	147	49	1048	183	4	2	1	4182	21752	144
CZ0209	PY	3	1-8820	2.391	1980	888	108	184	108	1135	194	2	0	1	4378	18580	132
CZ0201	BN	3	1-0088	3.948	1815	520	59	112	89	1182	188	0	4	4	3733	17822	83
CZ0201	BN	3	1-0087	2.111	1815	520	59	112	89	1182	188	0	4	4	3733	17822	83
CZ0201	BN	3	1-0070	3.941	1822	741	88	192	108	1014	198	1	0	5	4185	19183	122
CZ0201	BN	3	1-0087	0.809	1911	835	82	325	131	1328	111	5	8	24	4558	14152	128
CZ0201	BN	3	1-0088	2.115	1509	487	95	120	87	1002	137	1	3	3	3424	14788	101
CZ0201	BN	3	1-0080	1.443	1574	472	100	142	51	1110	179	1	2	7	3838	14872	99
CZ0201	BN	3	1-0090	2.84	1504	574	81	118	87	1188	182	8	3	8	3709	14452	102
CZ0201	BN	3	1-0100	8.237	1502	554	128	145	118	1075	159	0	5	7	3891	14984	112

Dopravní plánování:

Zjišťování & modelování přepravních vztahů

Zdroj – cíl cesty (Origin – Destination)

Lineární algebra

Vektory, matice

OD matice ... OD_1

	Neuland	Altengamme	Marienthal	Poppenbüttel
Neuland	13.1k	30	192	24
Altengamme	39	2.1k	51	9
Marienthal	165	43	8.9k	44
Poppenbüttel	16	2	46	6.2k

Wed Aug 05 2020 8:18 - Thu Aug 06
2020 8:18

OD matice ... OD_2

	Neuland	Altengamme	Marienthal	Poppenbüttel
Neuland	11.4k	29	138	25
Altengamme	18	1.6k	26	1
Marienthal	133	47	7.5k	34
Poppenbüttel	18	4	49	5.4k

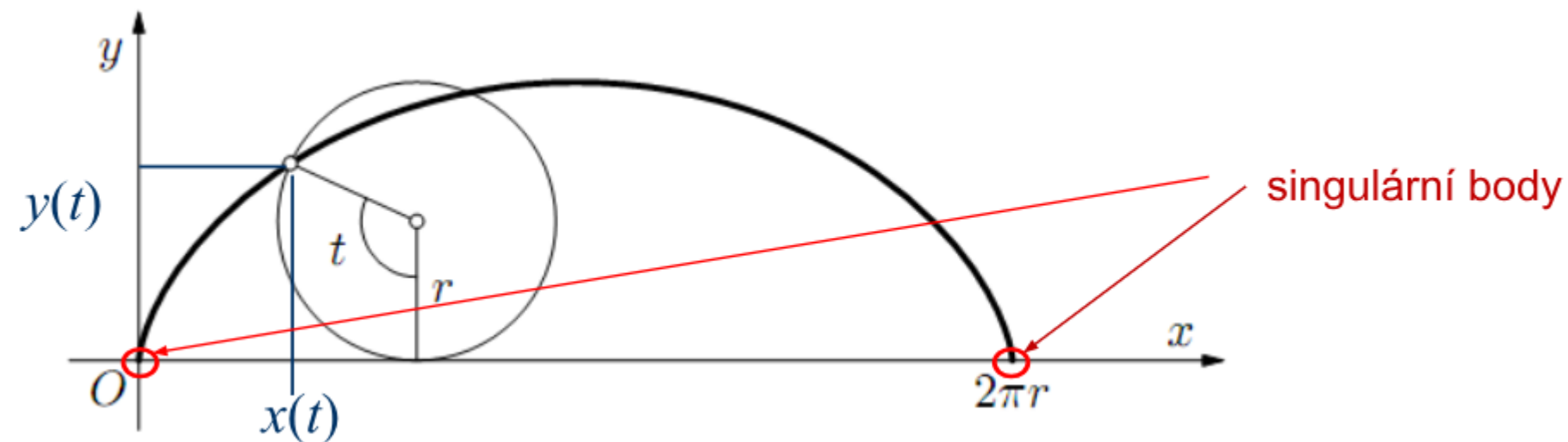
Thu Aug 06 2020 8:18 - Fri Aug 07 2020
8:18

Rozdíl matic $OD_2 - OD_1$

	Neuland	Altengamme	Marienthal	Poppenbüttel
Neuland	-1.7k	-1	-54	+1
Altengamme	-21	-434	-25	-8
Marienthal	-32	+4	-1.4k	-10
Poppenbüttel	+2	+2	+3	-863

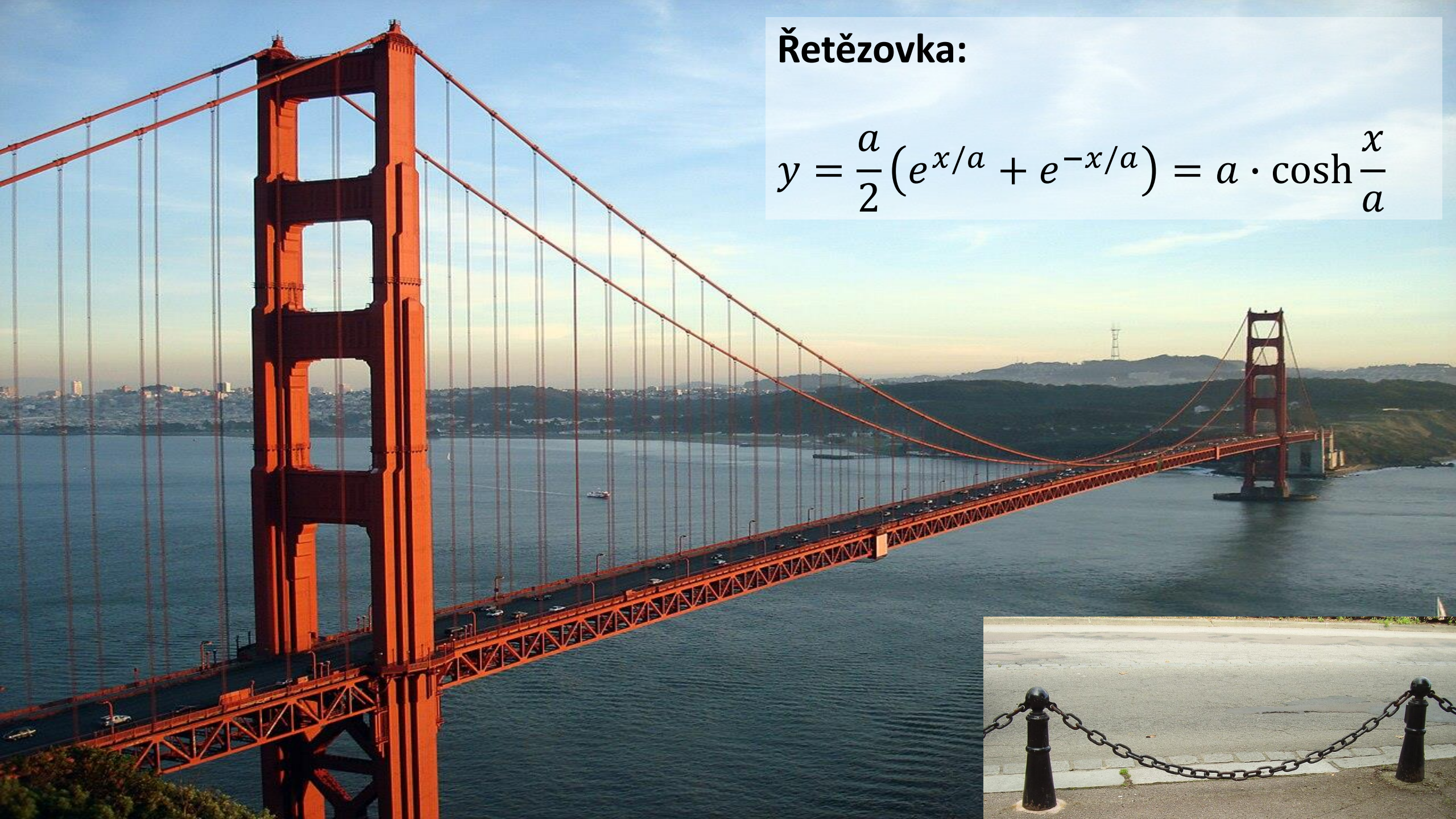
Matrix 2 - Matrix 1

Cykloida: $X(t) = (r \cdot t - r \cdot \sin t, r - r \cdot \cos t)$



Řetězovka:

$$y = \frac{a}{2} \left(e^{x/a} + e^{-x/a} \right) = a \cdot \cosh \frac{x}{a}$$



Dopravní infrastruktura

Geometrie
Calculus
Statistika

.....

Fyzika
Materiály
Statika
Pružnost
Pevnost

.....



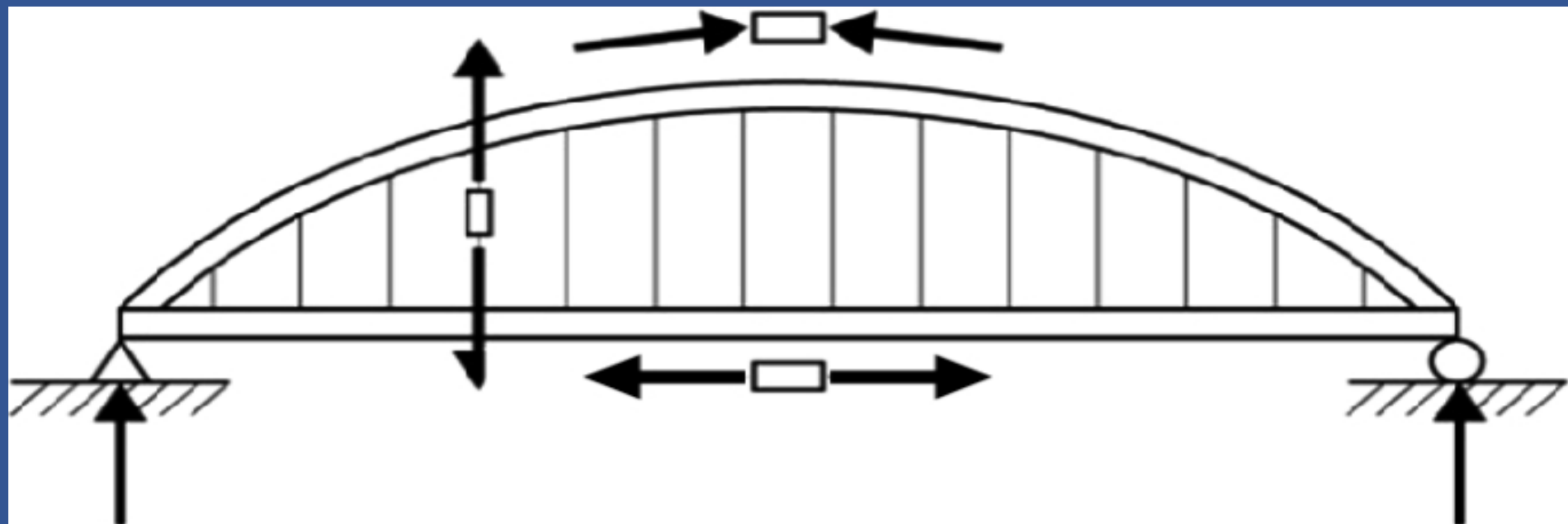
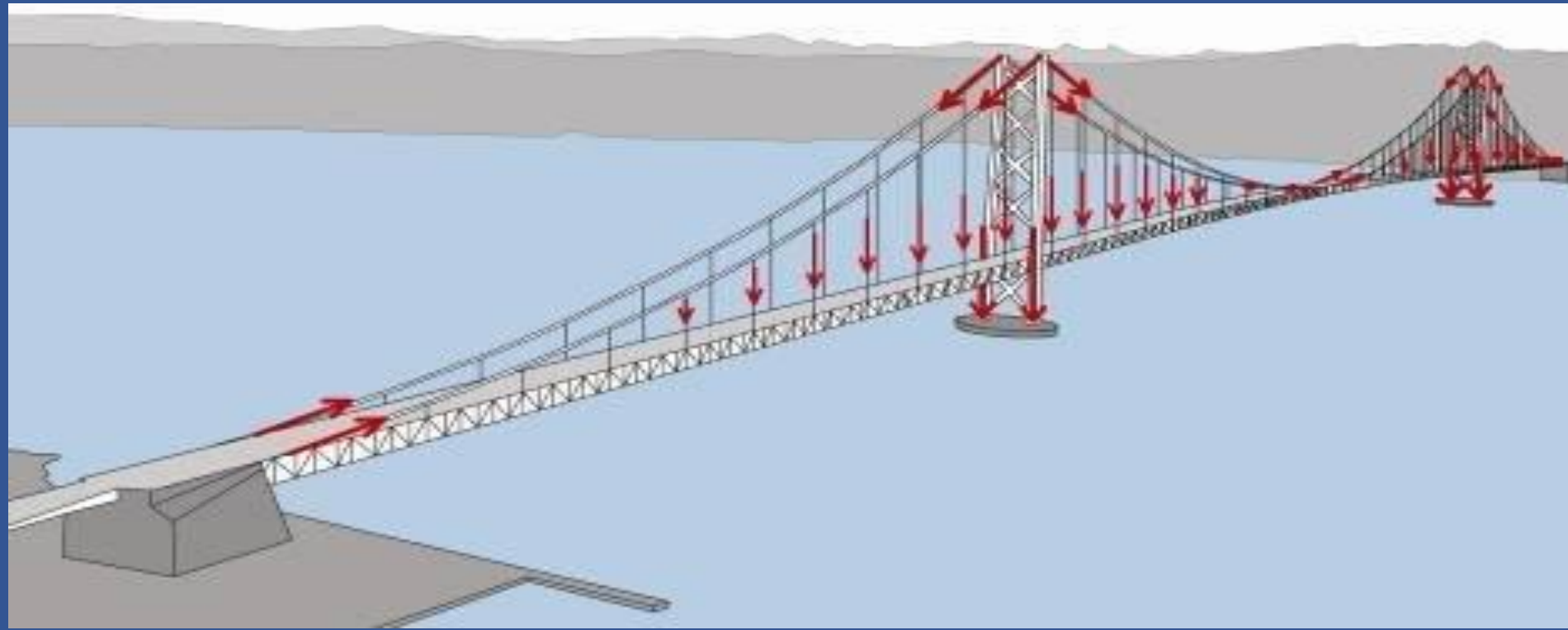
Dopravní infrastruktura

Geometrie
Calculus
Statistika

.....

Fyzika
Materiály
Statika
Pružnost
Pevnost

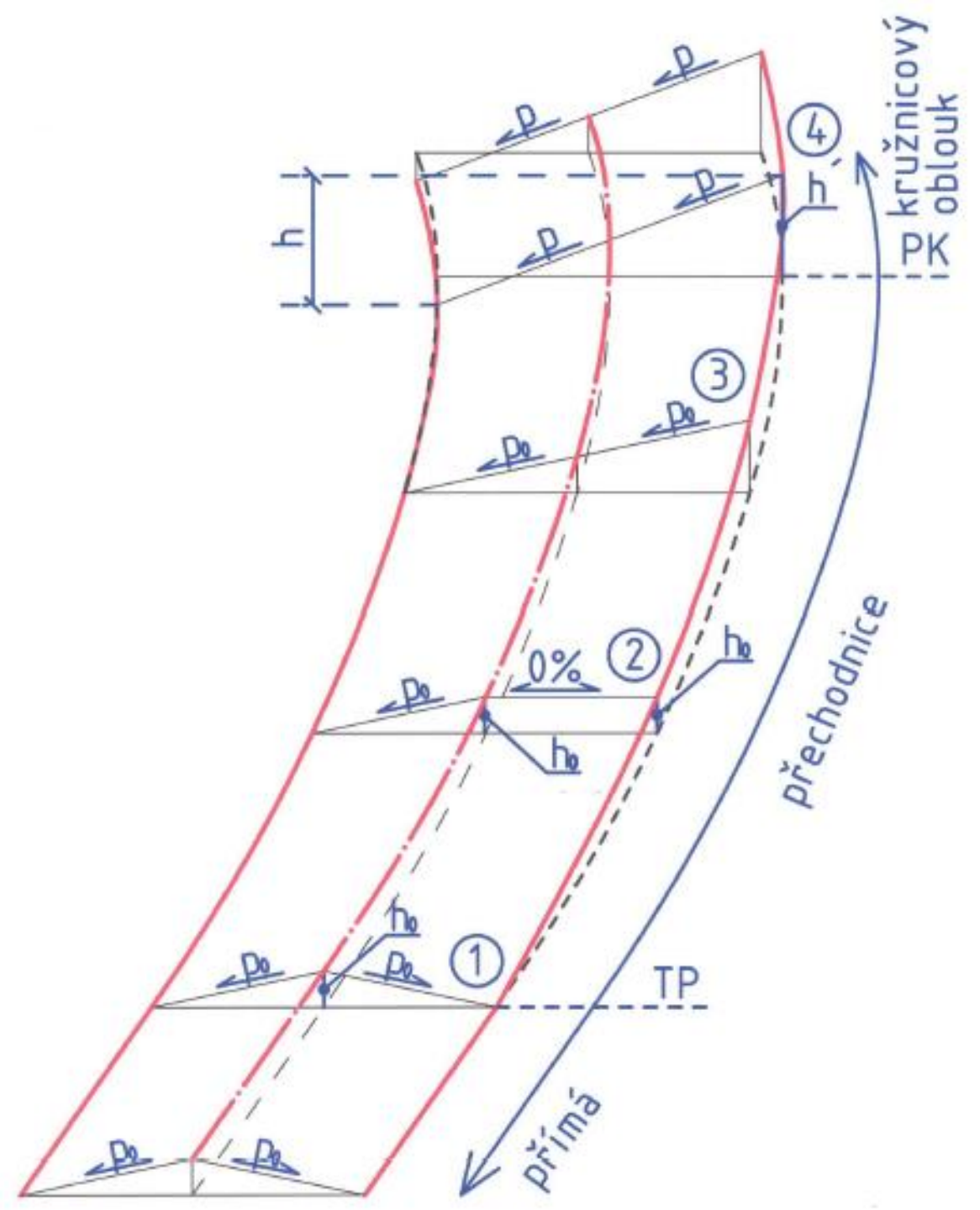
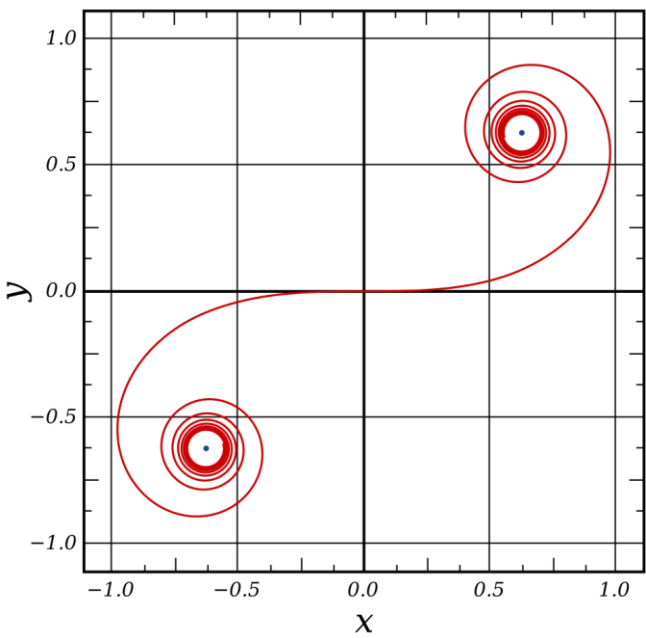
.....



Přechodnice – geometrie propojení úseků s různou křivostí (musí se měnit spojitě)

Klotoida:

křivost se mění úměrně délce



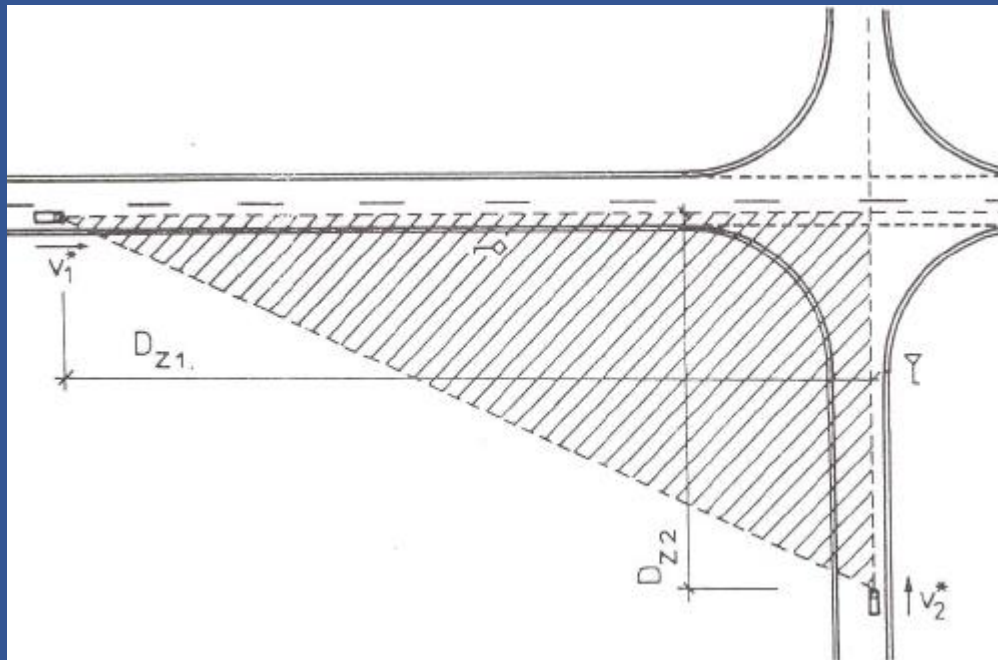
Dynamika jízdy vozidla

Stabilita vozidla a poloměr
směrového oblouku

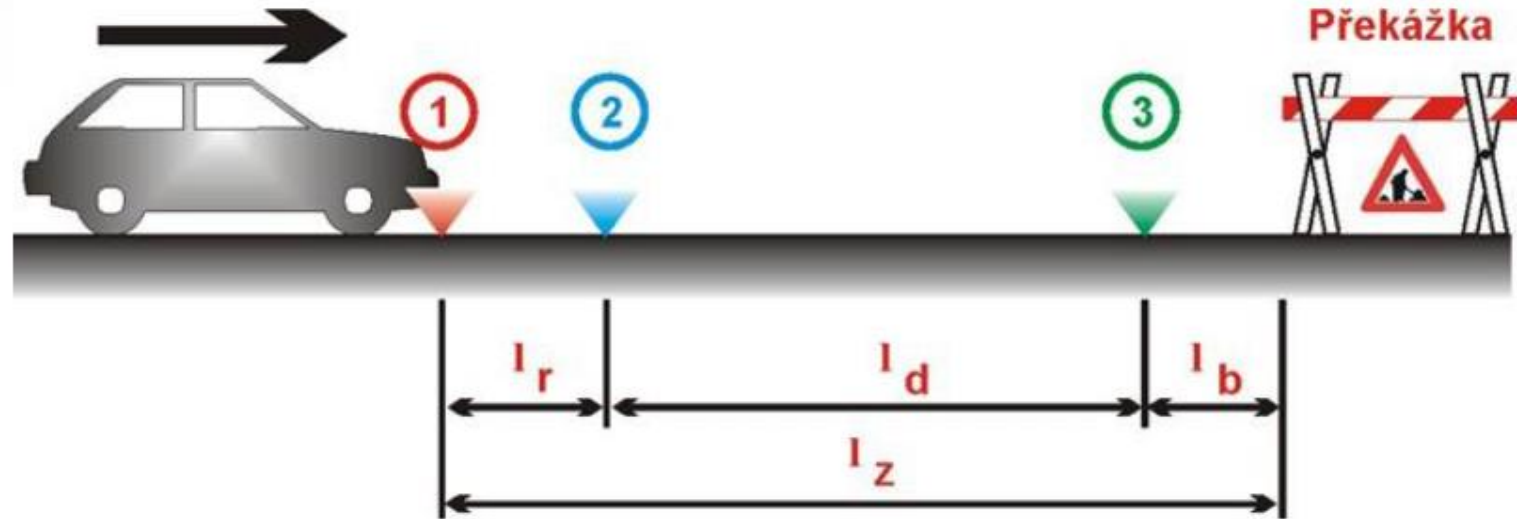
Klopení vozovky

Návrhová rychlost

Délka rozhledu pro zastavení



Délka rozhledu pro zastavení



- l_r - reakční délka
- l_d - délka decelerace
- l_b - bezpečnostní délka
- l_z - délka pro zastavení

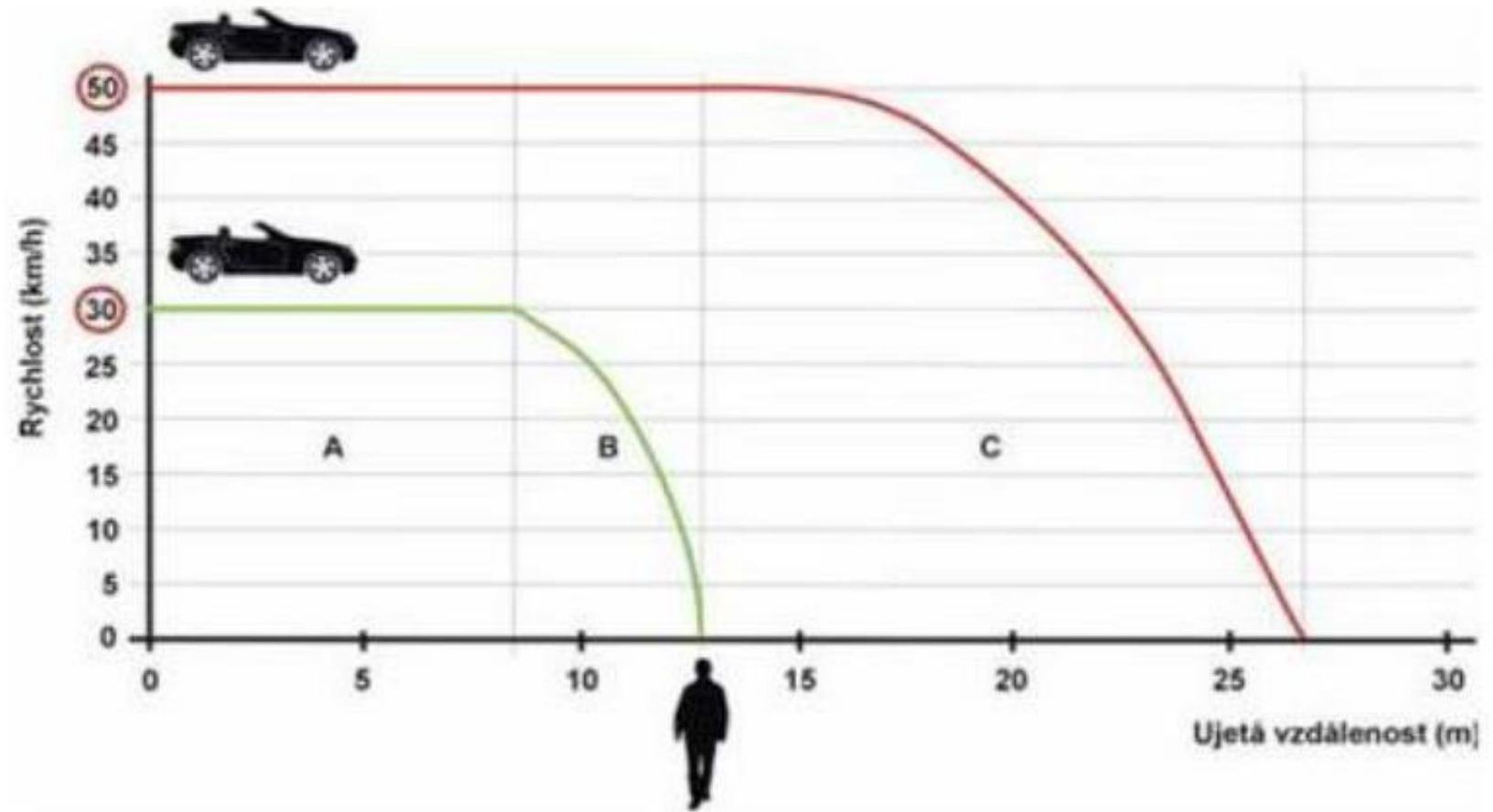
① uzření překážky

② začátek brzdění

③ zastavení

Využití popisu dynamiky vozidel

- vývoj dopravních předpisů zajišťujících vyšší bezpečnost
 - Zóna Tempo 30



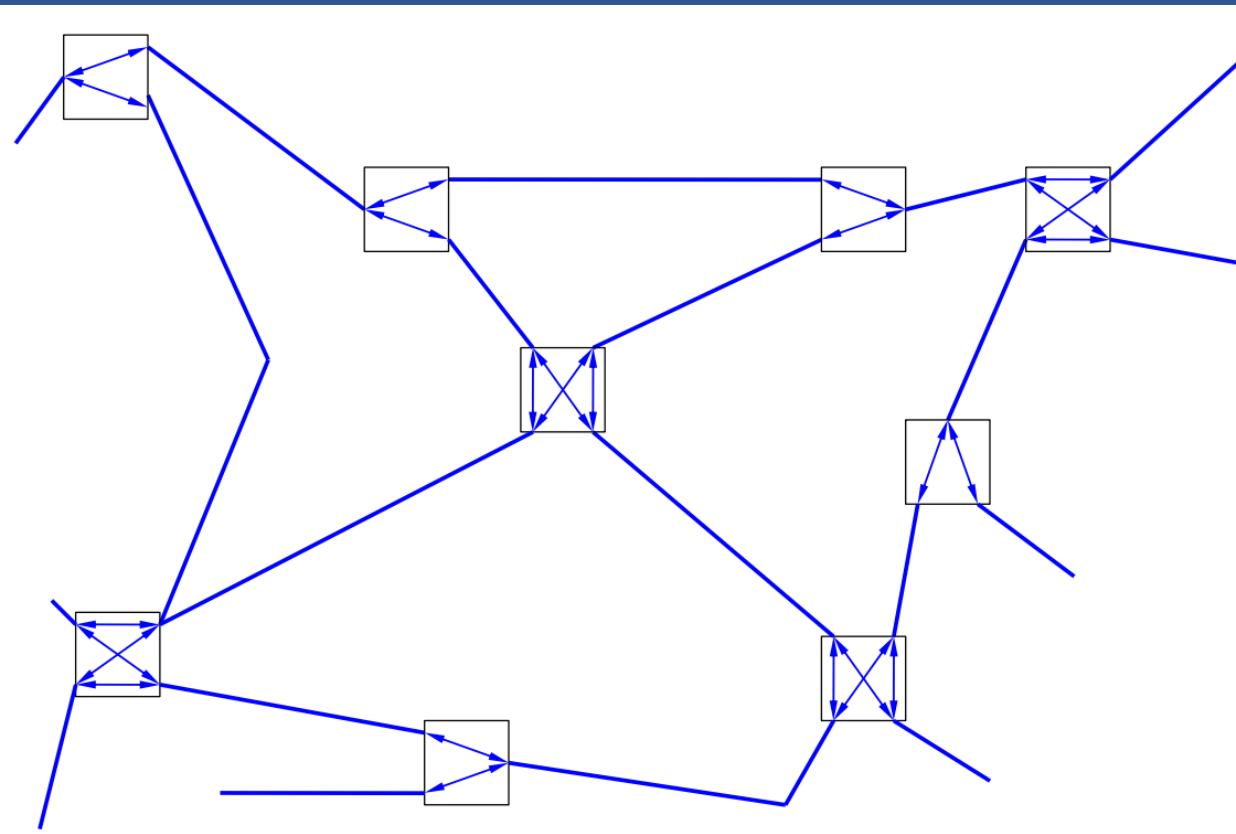
Využití popisu dynamiky vozidel

Šetření dopravních nehod
rekonstrukce nehody,

Rychlost při nárazu
nebo před nehodou



Využití popisu dynamiky vozidel



Automatické vedení vlaku

Tvorba jízdních řádů

Měření dynamických vlastností vozidel

Sdružený snímač Xsens MTI-G

- tříosý akcelerometr pro jízdní dynamiku, rozsah: ± 5 g
- snímač úhlové rychlosti ve třech osách, rozsah: ± 300 st/s
- snímač magnetického pole, rozsah: ± 750 mGauss
- snímač teploty, rozsah: -55 °C až $+125$ °C
- tlakový snímač - barometr, rozsah: 30 až $120 \cdot 10^3$ Pa
- anténa GPS, 50ti kanálový přijímač – připraveno pro síť GALILEO
- rozměry: 58 x 58 x 33 mm, hmotnost: 68 g
- pracovní rozsah teplot: -20 °C až 60 °C

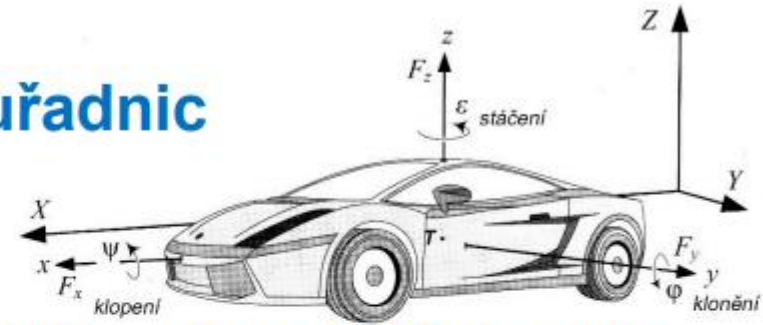
Výrobce:

Xsens Technologies B.V.



Měření dynamických vlastností vozidel

Transformace souřadnic



Matice rotací

Osa x (klopení ψ - roll)

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \psi & \sin \psi \\ 0 & -\sin \psi & \cos \psi \end{bmatrix}$$

Osa y (klonění φ - pitch)

$$R_y = \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 & -\sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{bmatrix}$$

Osa z (stáčení ε - yaw)

$$R_z = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon & \sin \varepsilon & 0 \\ -\sin \varepsilon & \cos \varepsilon & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Transformační matice

$$R = [R_x \cdot R_y \cdot R_z]$$

$$= \begin{bmatrix} \cos \varepsilon \cdot \cos \varphi & \sin \varepsilon \cdot \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \cos \varepsilon \cdot \sin \varphi \cdot \sin \psi - \sin \varepsilon \cdot \cos \psi & \sin \varepsilon \cdot \sin \varphi \cdot \sin \psi + \cos \varepsilon \cdot \cos \psi & \cos \varphi \cdot \sin \psi \\ \cos \varepsilon \cdot \sin \varphi \cdot \cos \psi + \sin \varepsilon \cdot \sin \psi & \sin \varepsilon \cdot \sin \varphi \cdot \cos \psi - \cos \varepsilon \cdot \sin \psi & \cos \varphi \cdot \cos \psi \end{bmatrix}$$

Transformace

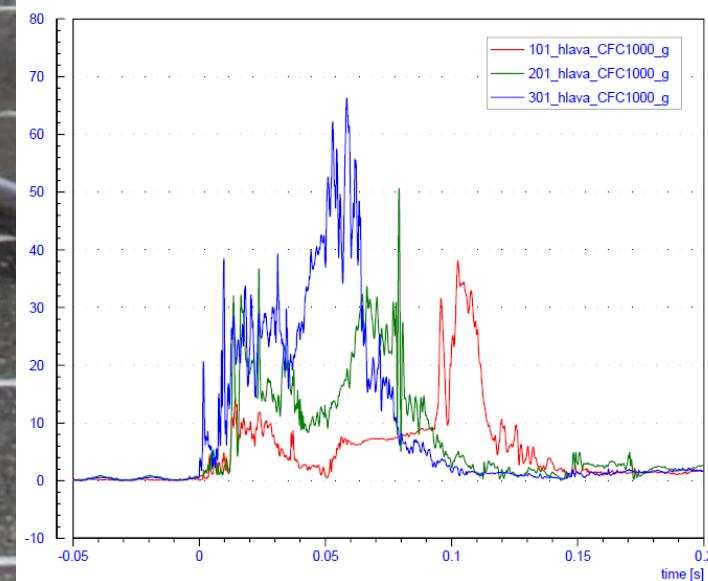
transformovaný signál

$$(x', y', z') = (x, y, z) \cdot R$$

$$(x', y', z')^T = R^T \cdot (x, y, z)^T$$

původní signál

Dynamické testy pasivní bezpečnosti





Příprava/Pre-crash

Kalibrace figuríny

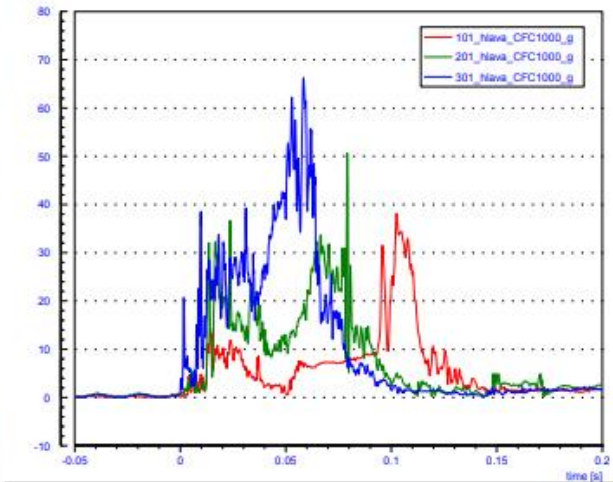
Instrumentace

Konfigurace testu



Crash

Měření



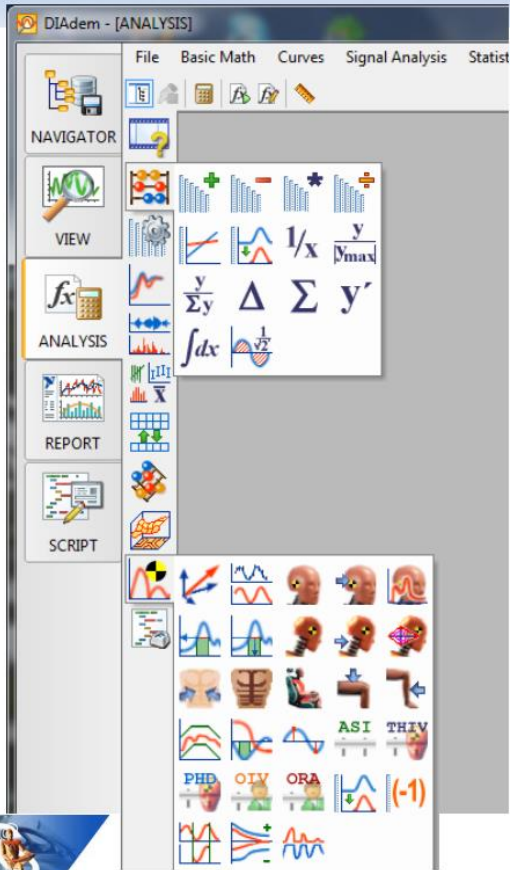
Post-crash

Zpracování dat

Vyhodnocení dat

- výpočet kritérií
- průběh zrychlení,
silové působení...

Úprava signálů, výslednice



- standardní matematické operace
- vytvoření nového kanálu
- korekce offsetu
- přenásobení konstantami

Konstanty hlava:

X	71994.24
Y	71942.45
Z	73152.89

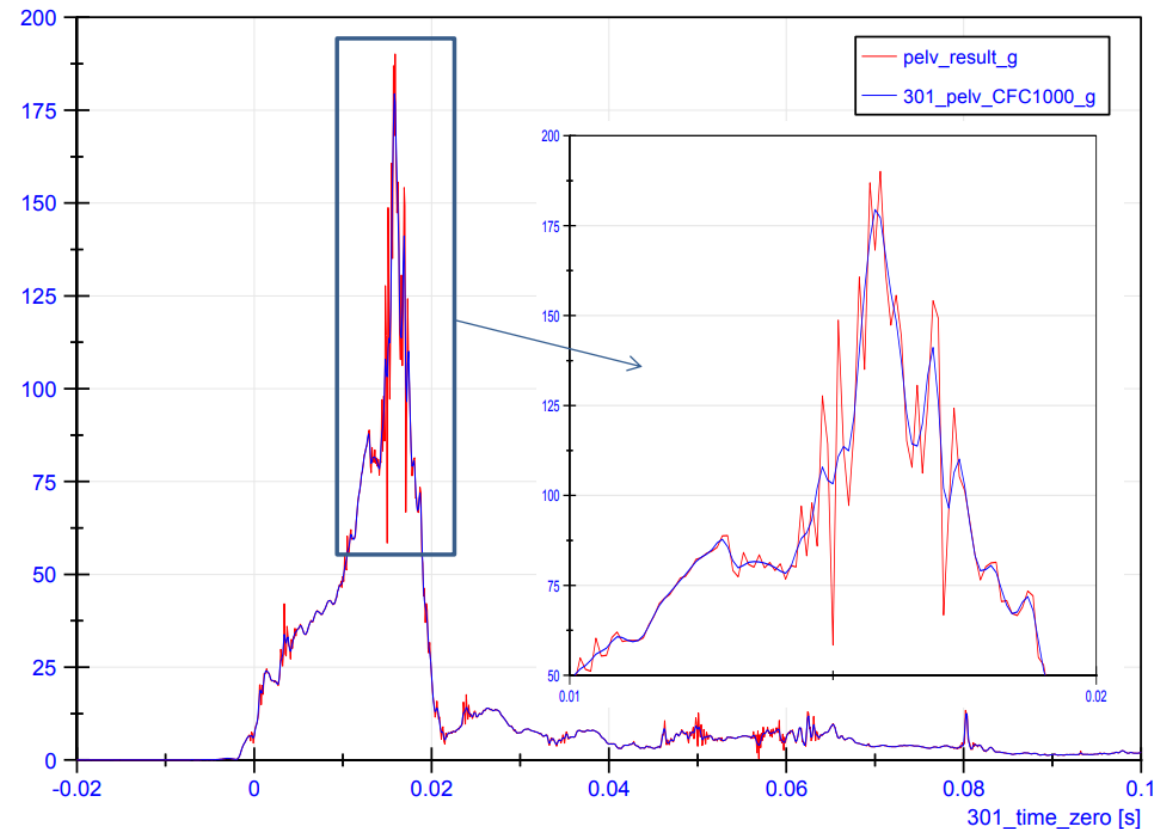
Konstanty hrudník:

X	74019.24
Y	69541.03
Z	70921.99

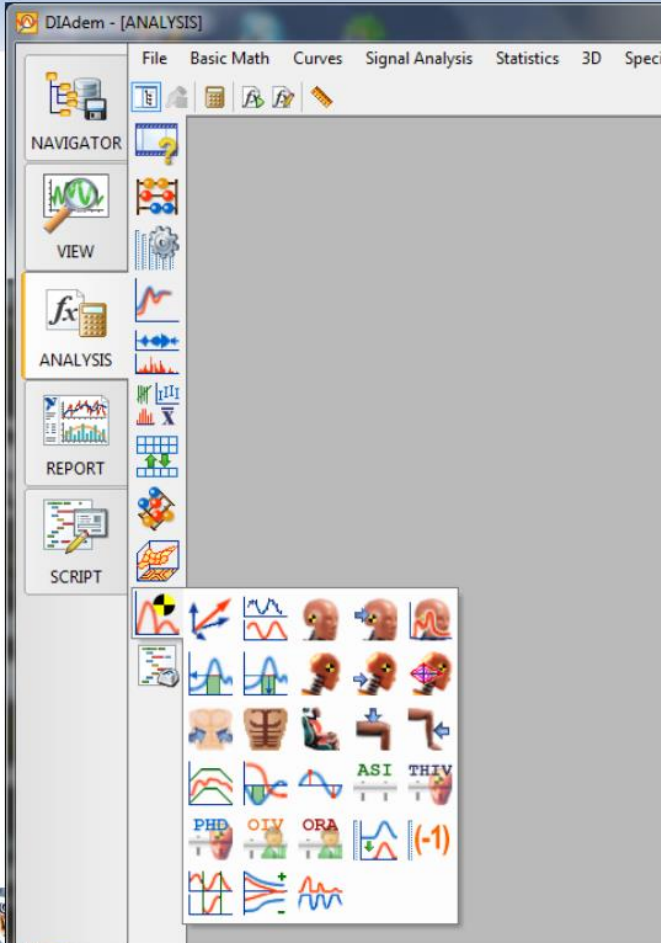
- filtrace dat, výslednice

Filtrace dat

Příklad nefiltrovaného a filtrovaného signálu – zrychlení na pánvi, CFC1000



Výpočet kritérií



- kritérium poranění hlavy HIC (HPC)
- kritérium 3ms
- výpočet minim/maxim...

Pravděpodobnost míry poranění v závislosti na HIC_{15} (AIS – třídy poranění)

