

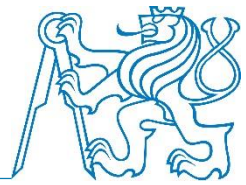
Dopravní plánování a modelování (11 DOPM)

Lekce 1: Definice pojmů Úvod do modelování

Prof. Ing. Ondřej Přibyl, Ph.D.

Ing. Milan Kříž

Zaměření předmětu



- Vysvětlit oblast dopravního plánování a modelování
 - Pragmatický přístup
 - Tradiční i moderní přístupy (4SM, MAS, nanoskopická simulace, ...)
 - S ohledem na aplikace (Smart Cities, ...) a v širším kontextu (rozhodování, ...)



Co to je „Doprava“? Znáte definici?

Doprava je záměrné a organizované přemísťování věcí a osob uskutečňované dopravními prostředky po dopravních cestách. Dělí se na dopravu nákladů, osob a také zpráv. ...
Doprava je činnost, která v území slouží k propojení všech funkčních složek území a odehrává se pomocí dopravní infrastruktury. ...

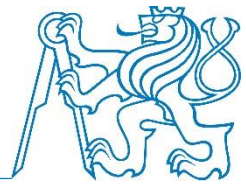


Doprava není izolovaná ...

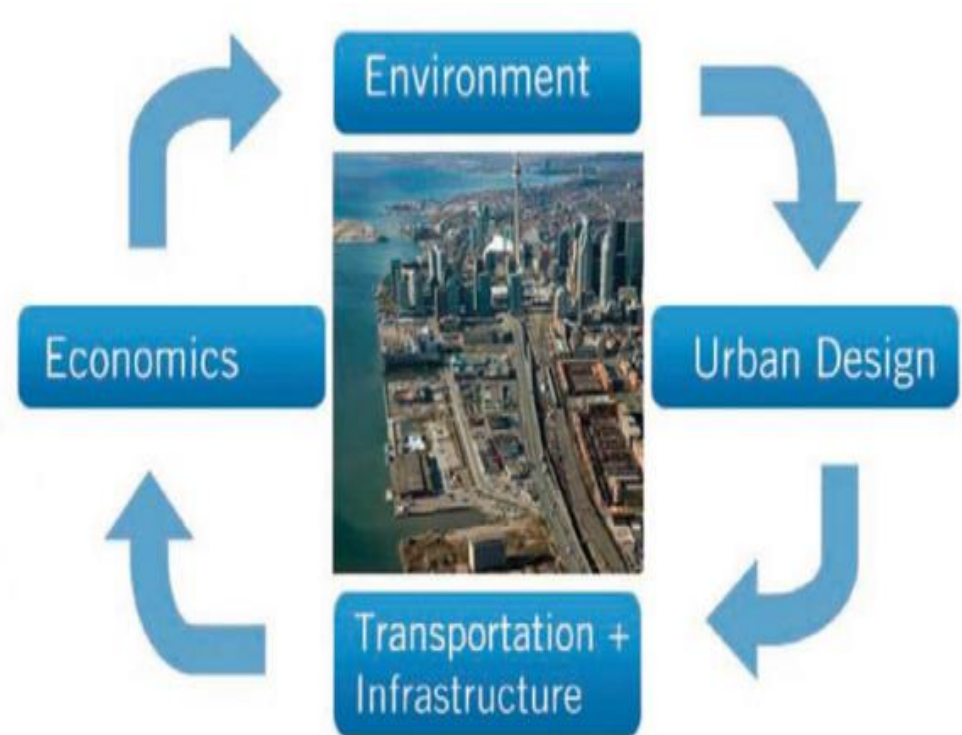
Dopravní plánování není jen o dopravě ...

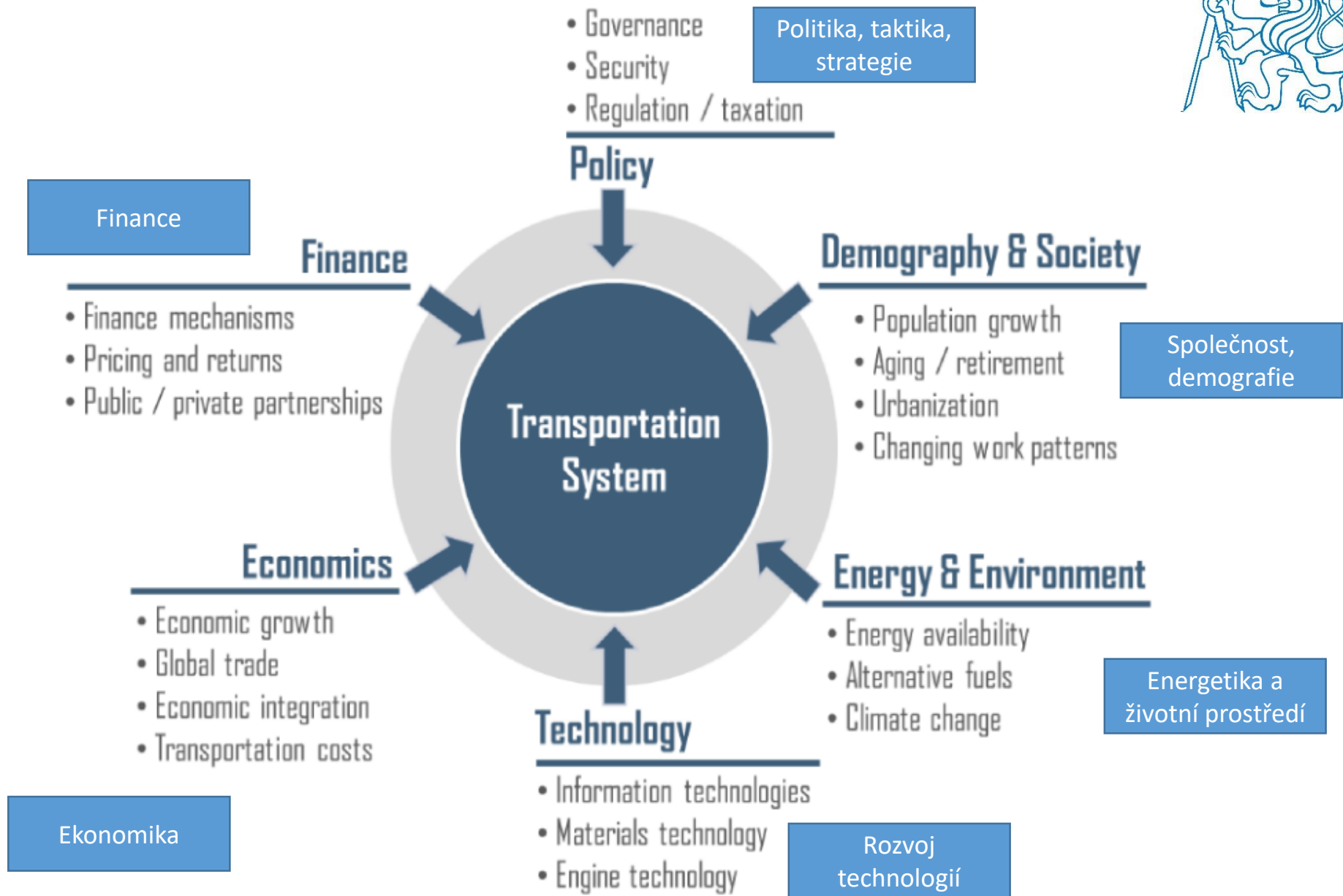
- Co ovlivňuje jak dopravní systém vypadá?

Dopravní plánování není jen o dopravě



- Není to jen o dopravě
 - Urbanizmus
 - Ekonomické modely
 - Služby občanům
 - Interdisciplinarita





Source: adapted from ICF International (2008) Long Range Strategic Issues Facing the Transportation Industry, Final Future-focused Research Framework, National Cooperative Highway Research Program, Project 20-80, Task 2.



- Co je to systém? Pokuste se jej definovat a uvést příklady.

Definice systému



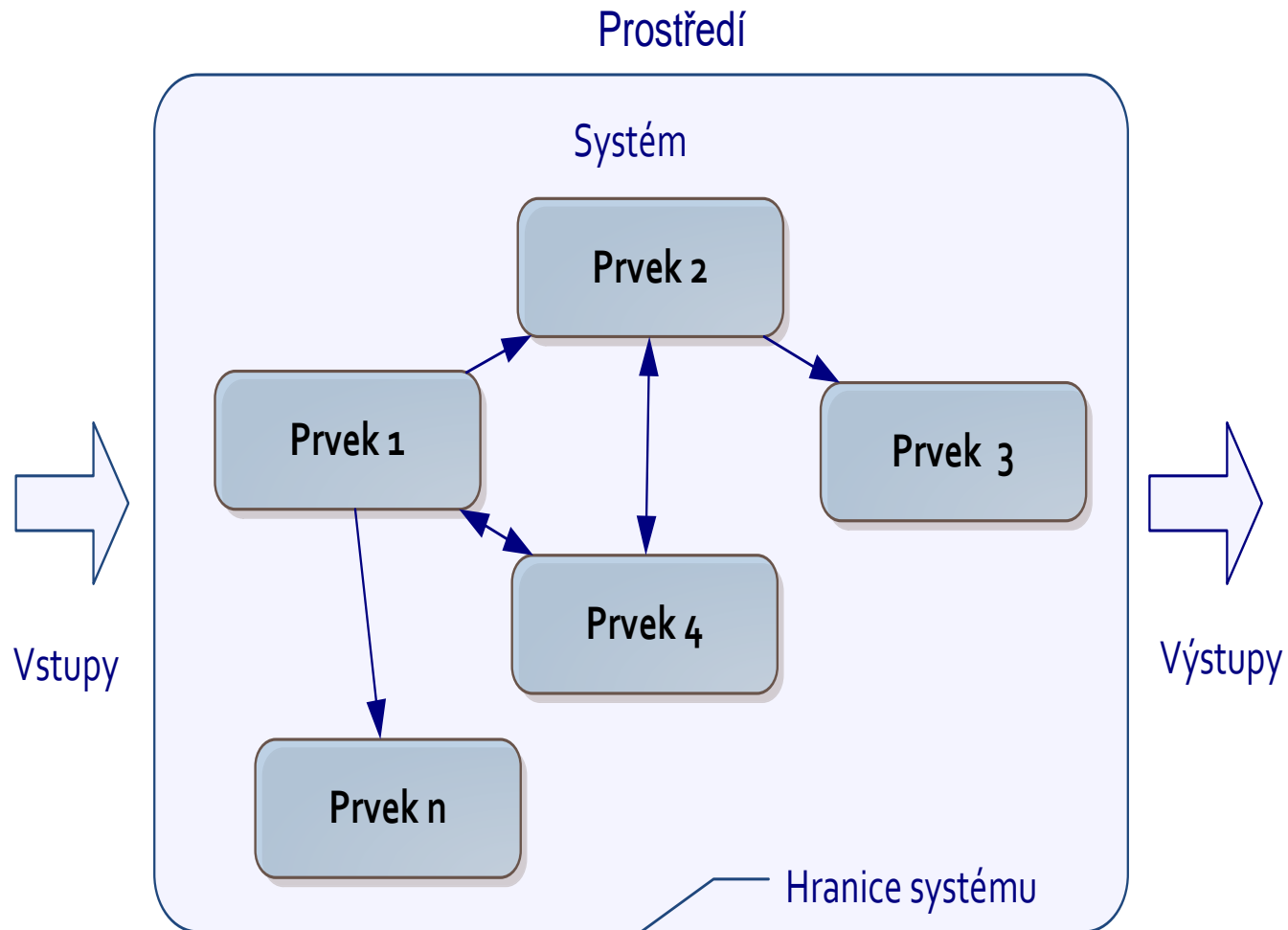
Profesor *Ludwiga von Bartalanffy* :

System je agregací podobných nebo alespoň vzájemně souvisejících jevů, věcí, procesů a souboru pravidel pro jejich jednání (společný cíl).

Z hlediska dopravního inženýra:

System je objekt, či kolekce objektů, který chceme studovat.

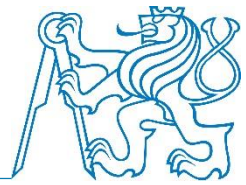
Základní pojmy pro definici systému



Experimentování se systémem



- Pro pochopení funkce určitého systému v případě, že neznáme jeho vnitřní popis a stavové proměnné se dá využít metody pozorování či experiment.
- Experiment je proces získávání informací o systému aktivním ovlivňováním podmínek (vstupů).
- Experiment se od prostého pozorování liší tím, že vědec (dopravní inženýr) aktivně ovlivňuje daný systém tak, aby mohl ověřit danou hypotézu.



Proč není experimentování vždy vhodným přístupem?

- Experiment může být příliš drahý
- Experiment může být nebezpečný
- Systém nemusí poskytovat dostatek informací pro jeho pochopení
- Konkrétní systém ještě nemusí existovat



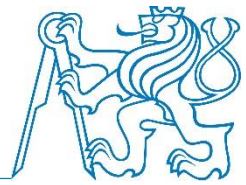
- Co je model systému?



Model je abstraktní reprezentací určitého reálného systému sloužící k jeho pochopení.

- K určitému konkrétnímu systému existuje více než jeden model
- Každý model může mít být zaměřen na určitý pozorovaný jev či mít jinou úroveň detailu

„V podstatě všechny modely jsou špatné, ale některé z nich jsou užitečné“ (George Box)

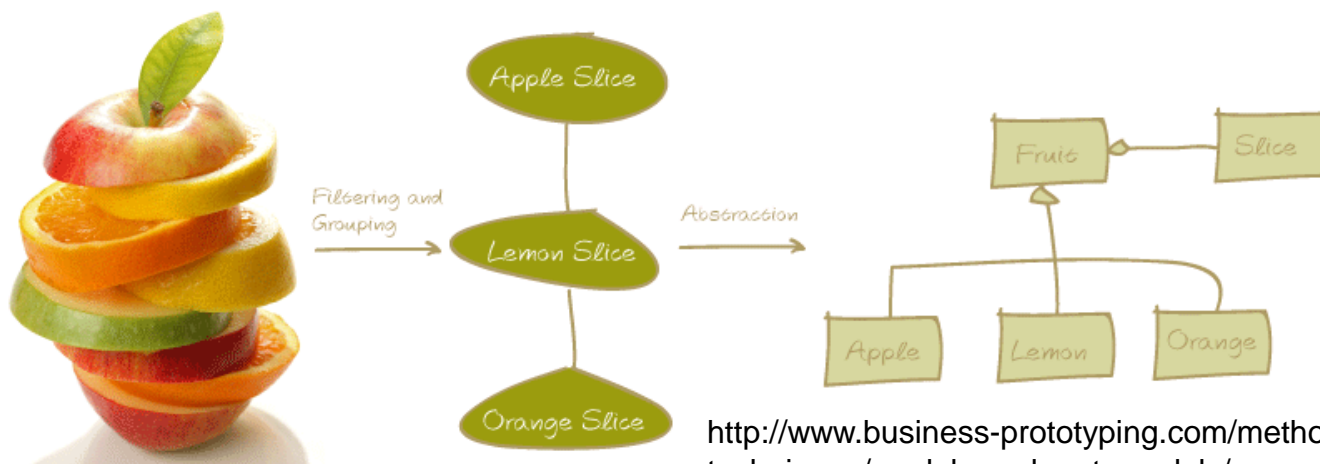
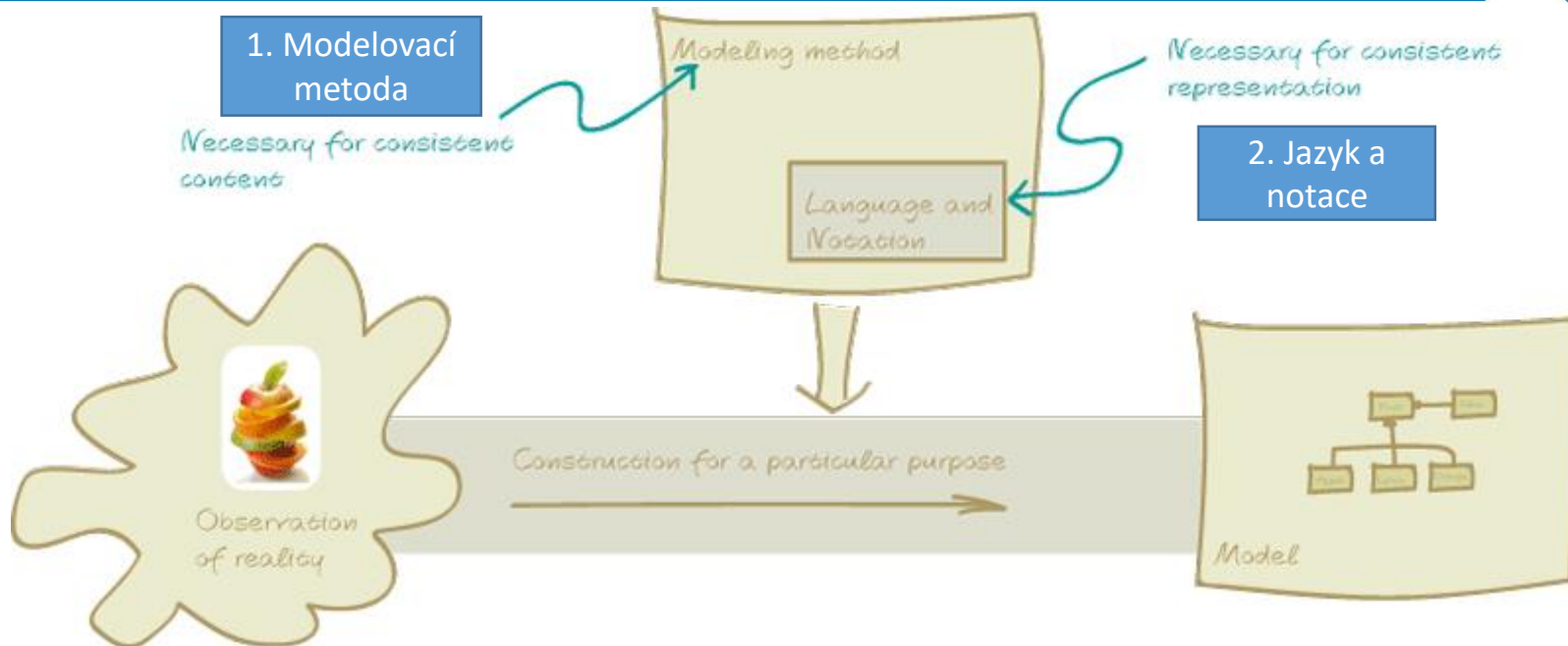


- Modely jsou vždy zjednodušením reality. Je to problém?
- ANO, je to problém, pokud model ignoruje důležité parametry (vlastnosti) z hlediska zkoumaného problému (přílišné zjednodušení)
- NE, není to problém, pokud jsou vynechány detaily z hlediska daného problému nepodstatné

*„Jednoduchost je nekonečná dokonalost“
(Leonardo da Vinci)*

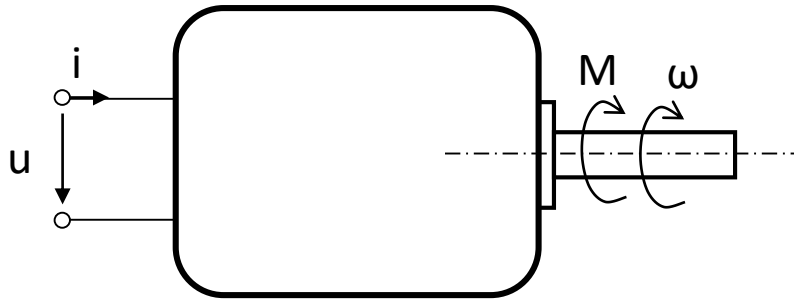
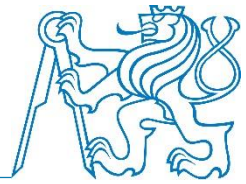


Modely



<http://www.business-prototyping.com/methods-and-techniques/models-and-metamodels/>

Příklad - Elektromotor



$$M = K \cdot i^2$$

$$u = K \cdot i \cdot \omega$$

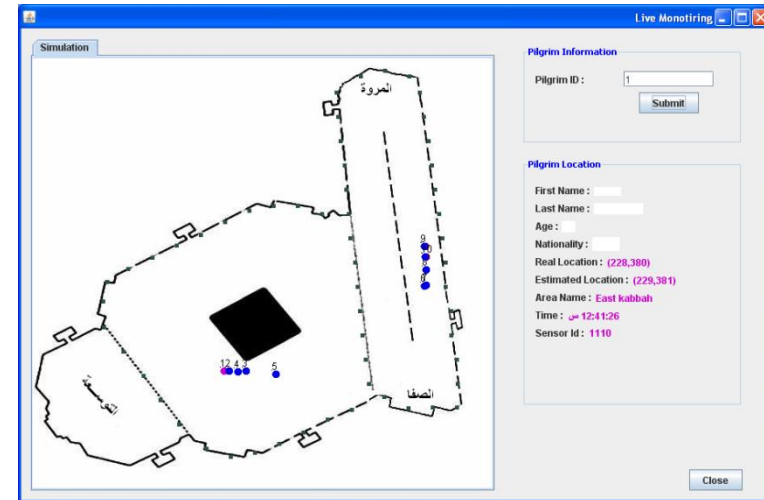
System

Mathematical model

Příklad - Plán

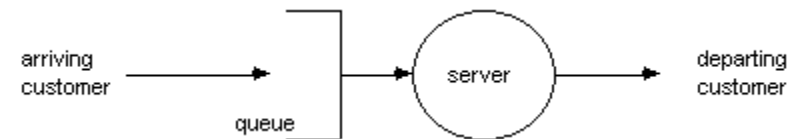
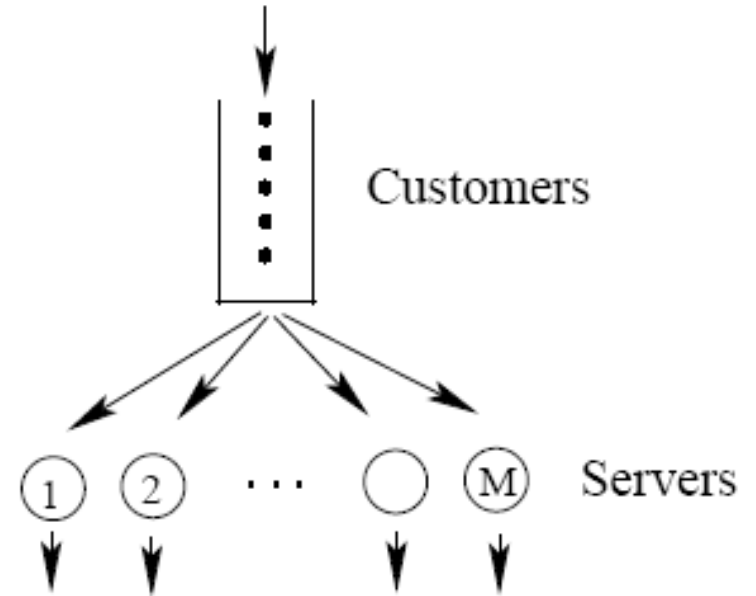


Real System

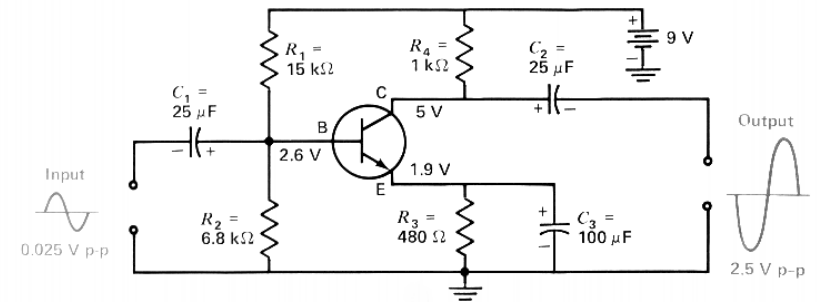
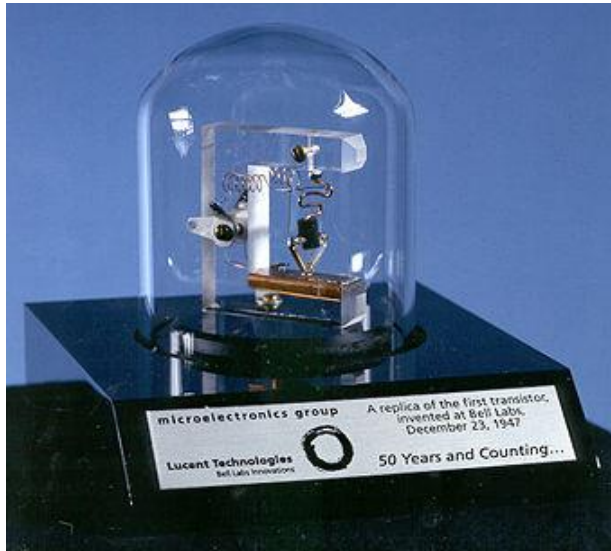


Model of the System

Příklad – Tvoření front



Příklad - Transistor



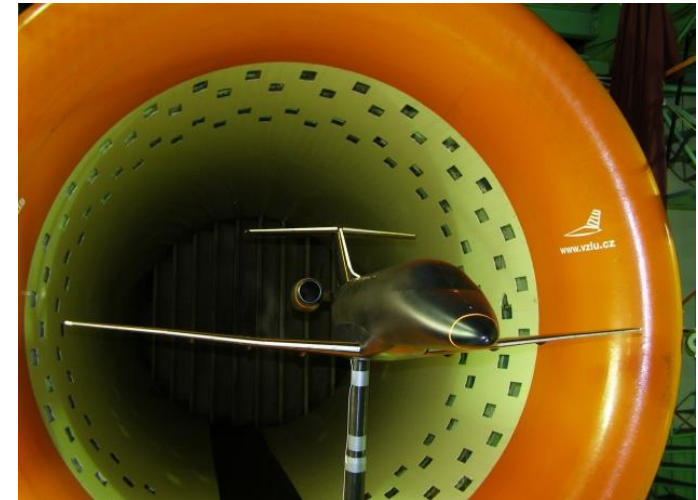
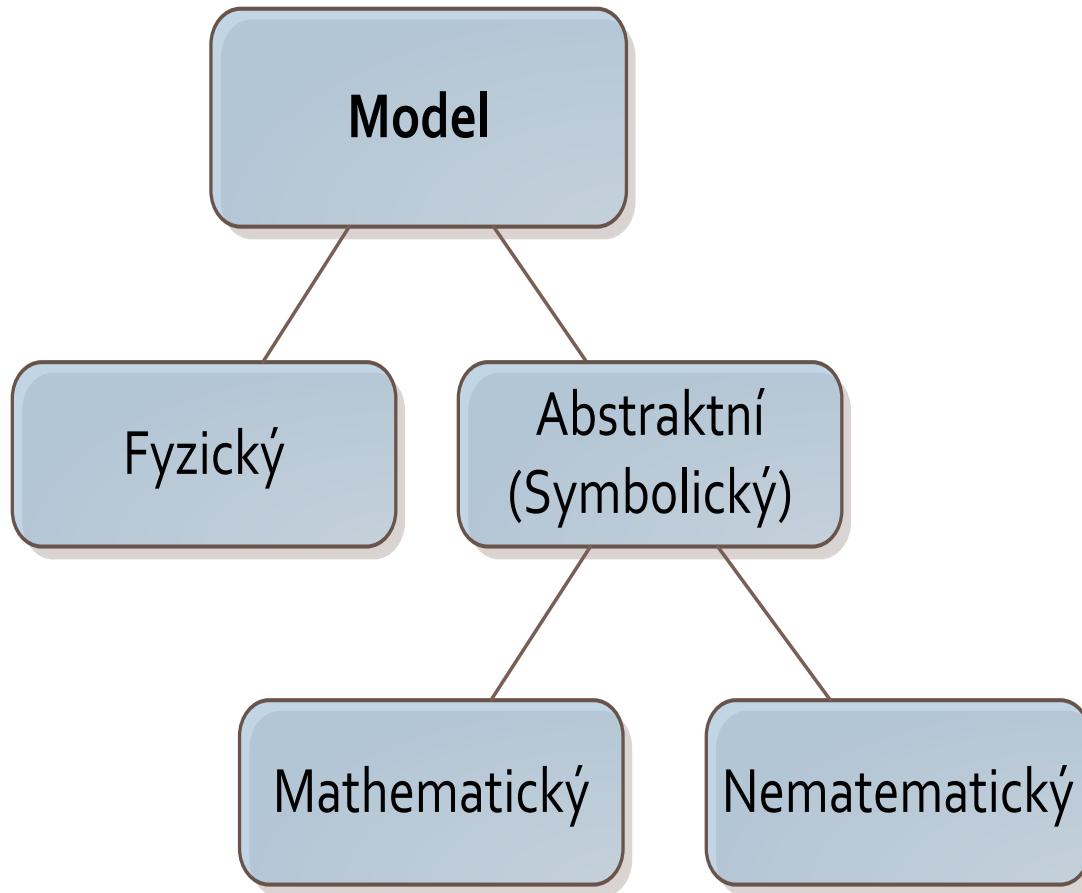
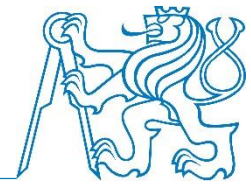
$$I = \frac{E}{R} \quad E = IR$$
$$R = \frac{E}{I} \quad P = EI$$
$$h_{fe} = \frac{I_c}{I_b} \quad I_b = \frac{I_c}{h_{fe}}$$

Kategorizace modelů



- Klasifikace dle své podstaty
- Klasifikace dle stochasticity
- Klasifikace dle linearity
- Klasifikace dle dynamiky
- Klasifikace dle spojitosti
- Klasifikace dle práce s apriorní informací

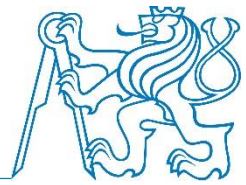
Kategorizace modelů - dle své podstaty



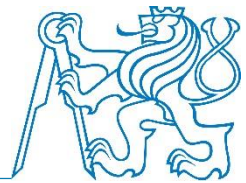
$$M = K \cdot i^2$$
$$u = K \cdot i \cdot \omega$$

*Grafický model,
mentální model,
verbální model.*



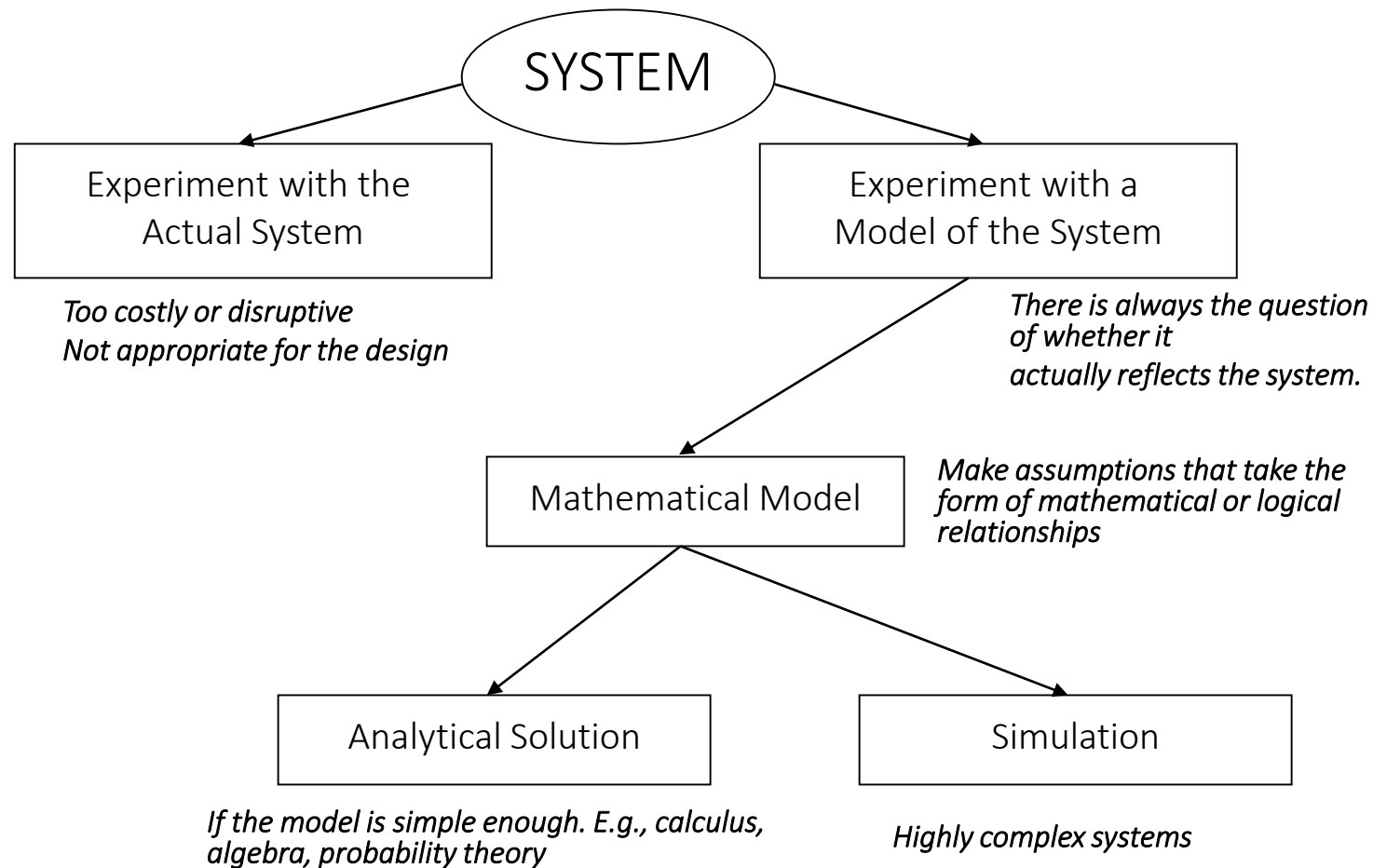


- Co je simulace?
- Jak je simulace odlišná od analytických modelů?



- Simulace je obvykle alternativou k analytickým metodám.
 - Pokud máme k dispozici analytický popis, je jeho využití efektivnější
- V případě nelineárních dynamických systémů jako jsou například dopravní systémy je jejich popis analytickými metodami velmi složitý.
 - Přestože známe například vztahy mezi parametry dopravního proudu, jsme schopni popisovat pouze chování na izolovaných objektech (jednotlivé křižovatky, jednotlivé komunikace).
- V případě větší oblasti dopravní systém plně analyticky popsat neumíme.
- Mezi základní charakteristiky simulace patří:
 - Výsledky simulace závisí na kvalitě daného modelu
 - Simulace často využívají hrubé síly k řešení problémů (numerické výpočty)
 - Simulace na rozdíl od analytických metod poskytují pouze přibližný výsledek
 - Simulace vzhledem k často náročným numerickým výpočtům bývají náročné na výpočetní sílu a i proto se začaly rozvíjet zejména s narůstající kvalitou výpočetní techniky

Jak je možné ověřit vlastnosti reálného systému?





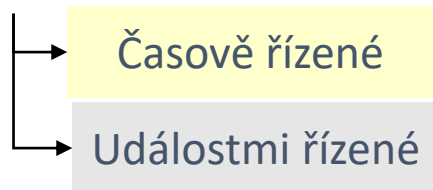
Department of Applied Mathematics
Faculty of Transportation Sciences
Czech Technical University in Prague

Kategorizace simulačních modelů

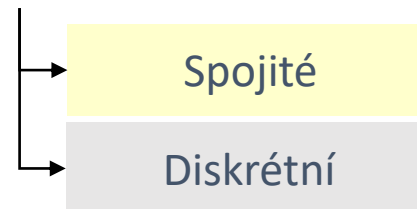
Kategorizace simulačních modelů



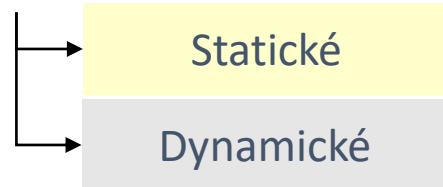
1. Řízení (Control)



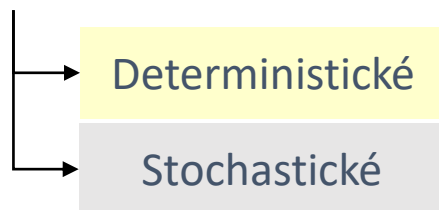
4. Spojitosti (Continuousness)



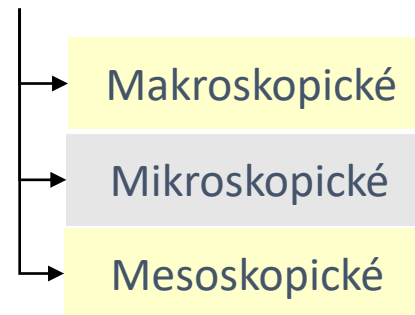
2. Dynamika (Dynamics)



3. Náhodnosti (Randomness)

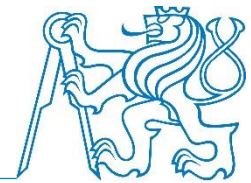


5. Zaměření (Scope)

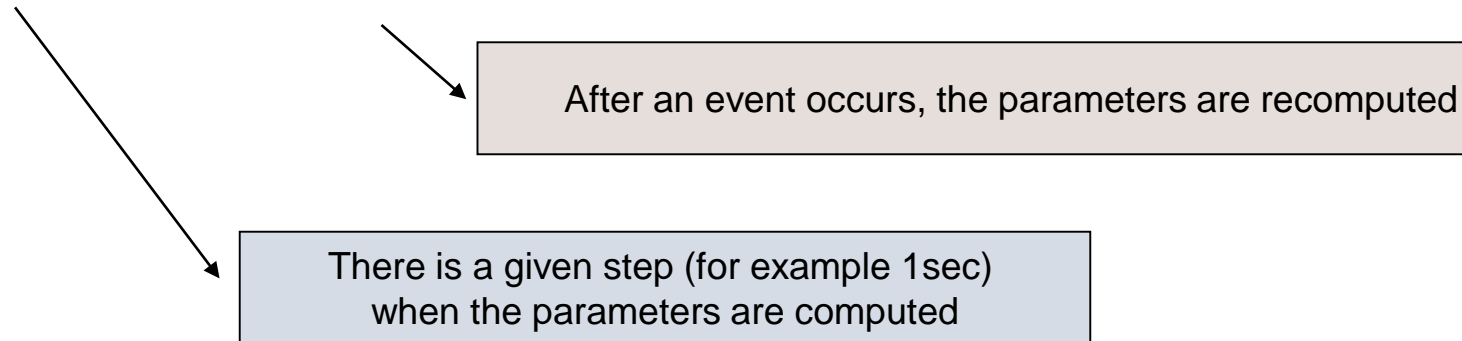




- Co mohou být časové a co událostmi řízené simulační modely?



- 1. **Časové (Time)** vs. **Událostní (Event)** řízení



- Co je událost?
 - Příjezd vozidla
 - Změna signálního plánu
 - Zatočení vozidla
 - ...



- Co je stochastický a co deterministický model?

Klasifikace modelů



2. Statické (**Static**) vs. Dynamické (**Dynamic**)

Modely:

Represents a system as it evolves over time
(typically expressed through differential equations)

Time plays no role; represents a system at a particular point in time
(e.g., Monte-Carlo methods)

3. Deterministické (**Deterministic**) vs. Stochastické (**Stochastic**) Modely:

Involves random variables, probabilities
(e.g., most queueing and inventory systems). One run of this
model is one statistical observation

No probabilistic components
(e.g., worst-case analysis of a system)

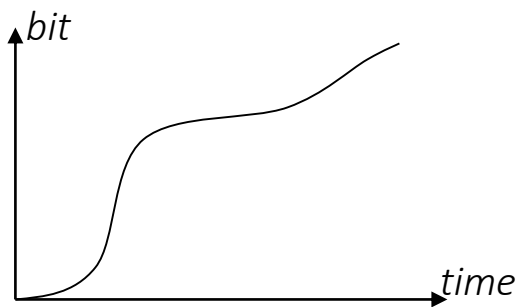


4. Continuous vs. Discrete Models:

The state of the system changes only at discrete points in time.

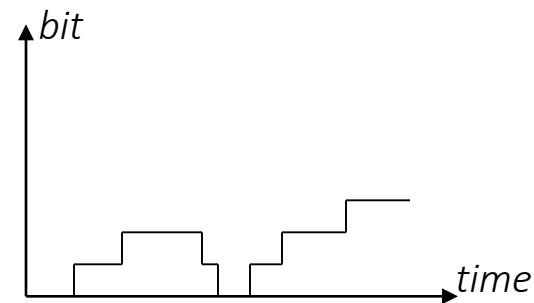
The state of the system changes continuously (e.g., chemical processes)

Bit Arrival in a Queue

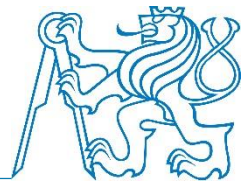


Continuous Model

of cars in a parking lot



Discrete Model

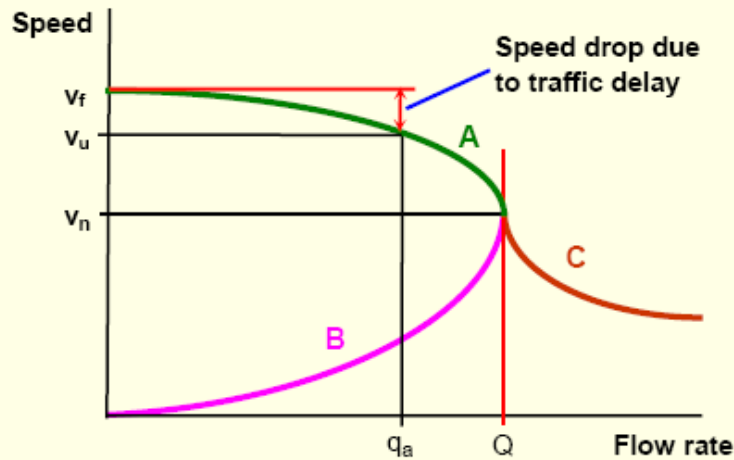
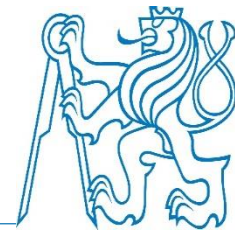


- Jaký je rozdíl mezi makroskopickou a mikroskopickou simulací?



5. **Makroskopické (Macroscopic)** modely

- popisují pohyb celého dopravního proudu
- Jedná se o agregovaný popis dopravního proudu
- Jsou založeny na vztazích mezi dvojicemi základních charakteristik dopravního proudu
- Pro popis dopravního proudu byly hledány analogie v oblasti proudění kapalin a šíření tepla
- Využívají se modely hydrodynamické, založené na proudění jednodimenzionální stlačitelné kapaliny.
- Nejsou vhodné pro studium chování řidičů (např. reakce na proměnné značky) a pokročilých nástrojů ITS (např. elektronické mýto)

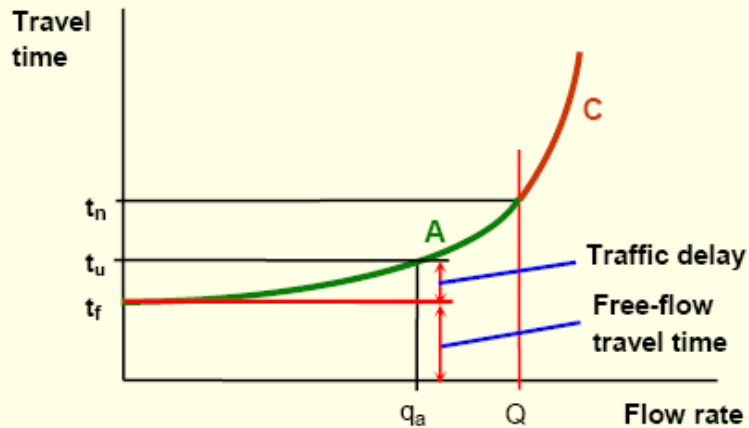


Region A:
Unsaturated
($q_a \leq Q$)

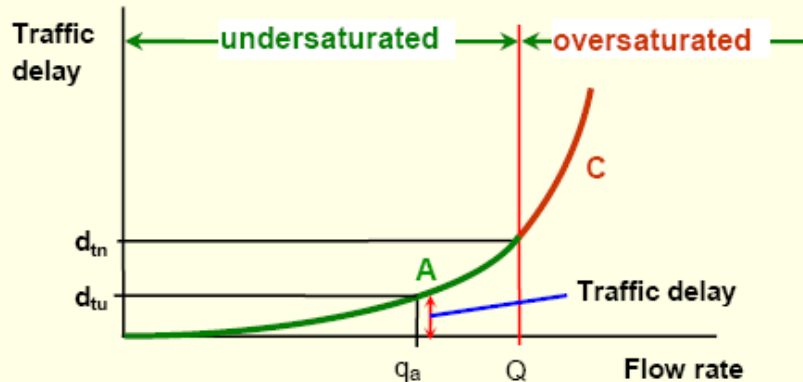
Region B:
Forced flow
(saturated)

Region C:
Oversaturated
($q_a > Q$)

Deterministický, makroskopický model



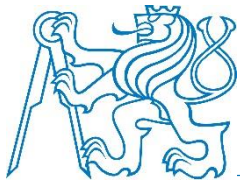
free-flow speed, v_f (km/h),
capacity, Q (veh/h), and
density at capacity, k_n (veh/km).
speed at capacity, $v_n = Q / k_n$ (km/h),
speed ratio, v_n / v_f ,
free-flow travel time, $t_f = 3600 / v_f$ (s/km),
travel time at capacity, $t_n = 3600 / v_n$ (s/km),
traffic delay at capacity, $d_{tn} = t_n - t_f$ (s/km),
average headway at capacity, $h_n = 3600 / Q$ (s/veh),
average spacing at capacity, $L_{ln} = 1000 / k_n$ (m/veh)





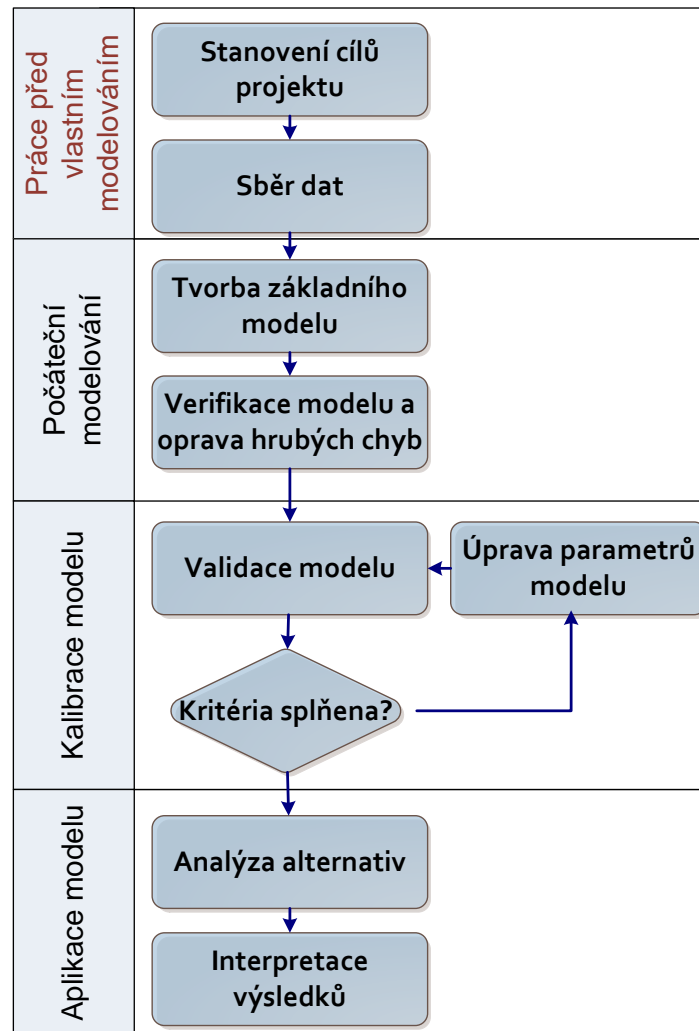
5. **Mikroskopické (Microscopic)** modely

- Řeší pohyb jednotlivých vozidel v dopravním proudu
- Popisují vzájemné ovlivňování vozidel jedoucích za sebou v proudu
- Pohyb vozidel využívá dílčích modelů, jako například
 - Model změny jízdního pruhu (Lane changing behavior)
 - Model následování vozidel (Car following model)
 - Model akceptace mezery (Gap acceptance model)
- Výstupem je detailní chování jednotlivých vozidel
- Je možné agregovat pro získání informací o dopravním proudu

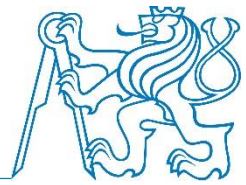


Postup při tvorbě simulačních modelů

Hlavní kroky při tvorbě dopravního modelu



1) Stanovení cílů projektu

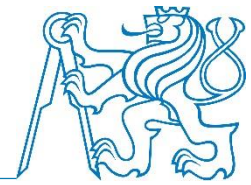


- Základní milníky
 - Rozsah práce
 - Report o sběru dat
 - 50% modelu
 - 100% modelu
 - Kalibrační report
 - Report o alternativních analýzách
 - Závěrečný report

Stanovení cílů projektu

- definuj cíle
- najdi vnější vlivy
- vyber přístup
- vyber model

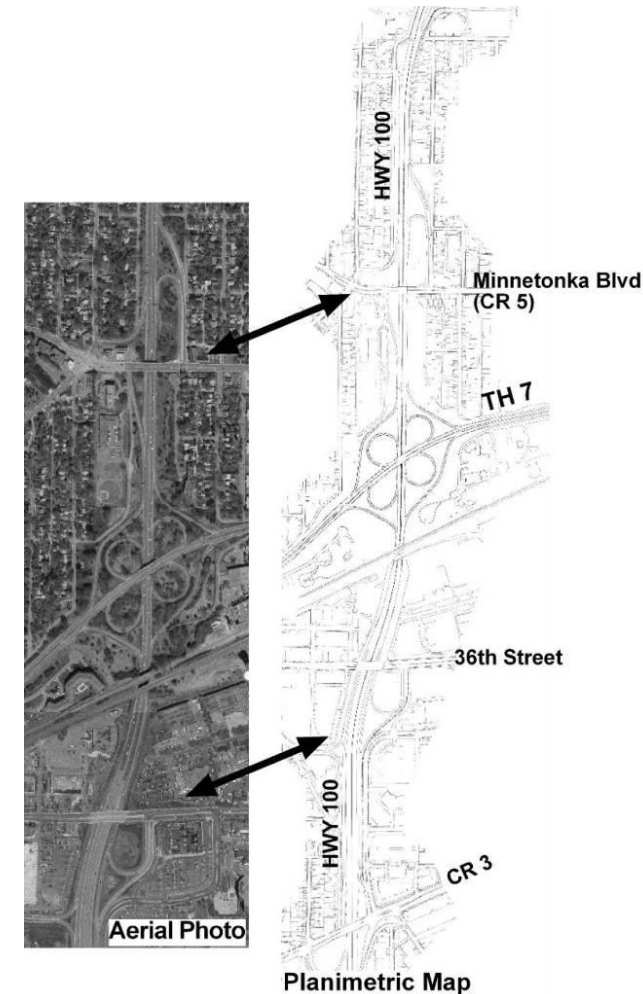
2) Sběr dat



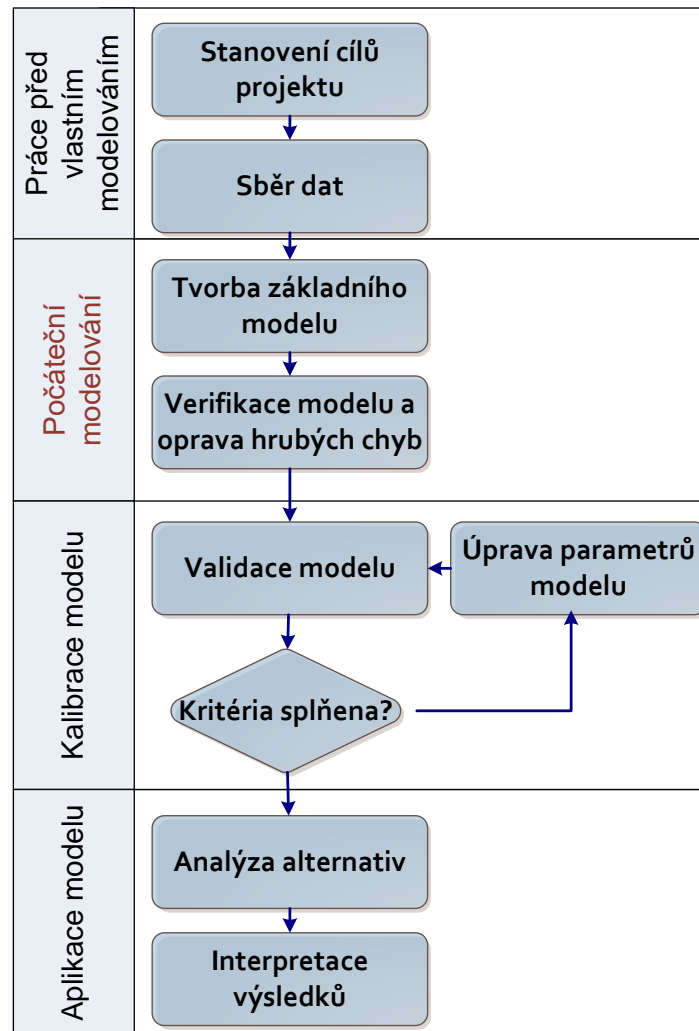
Sběr dat

- intenzity provozu
- základní mapy
- pozorování v terénu

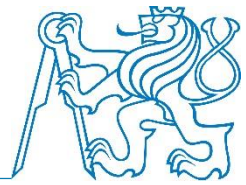
- Základní data
 - Geometrie (jízdní profil, délky, křižovatky)
 - Řízení (signální plány)
 - Intenzity dopravy (procenta odbočování (turning movements) nebo OD matice)
 - Kalibrační data
 - Intenzity, kapacity, doby jízdy
- Předzpracování dat



Hlavní kroky při tvorbě dopravního modelu



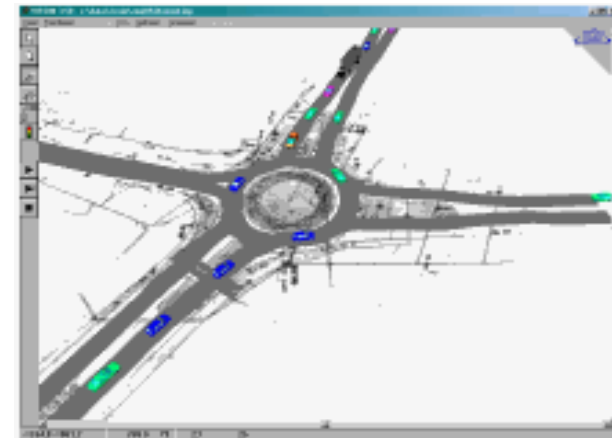
3) Tvorba základního modelu



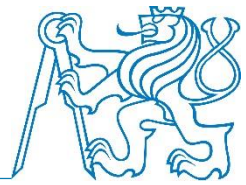
- Diagramy uzel-spojnice (link - node)
 - Grafový model
- Kódování uzlů
- Kódování spojnic
- Kódování řídicích dat
- Kódování intenzit
- Kódování simulačních parametrů

Tvorba základního modelu

- vstupní data
- parametry zaručení kvality



4) Kontrola chyb-verifikace

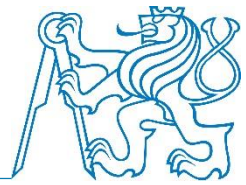


Kontrola chyb

- zkontroluj vstupy
- zkontroluj animaci

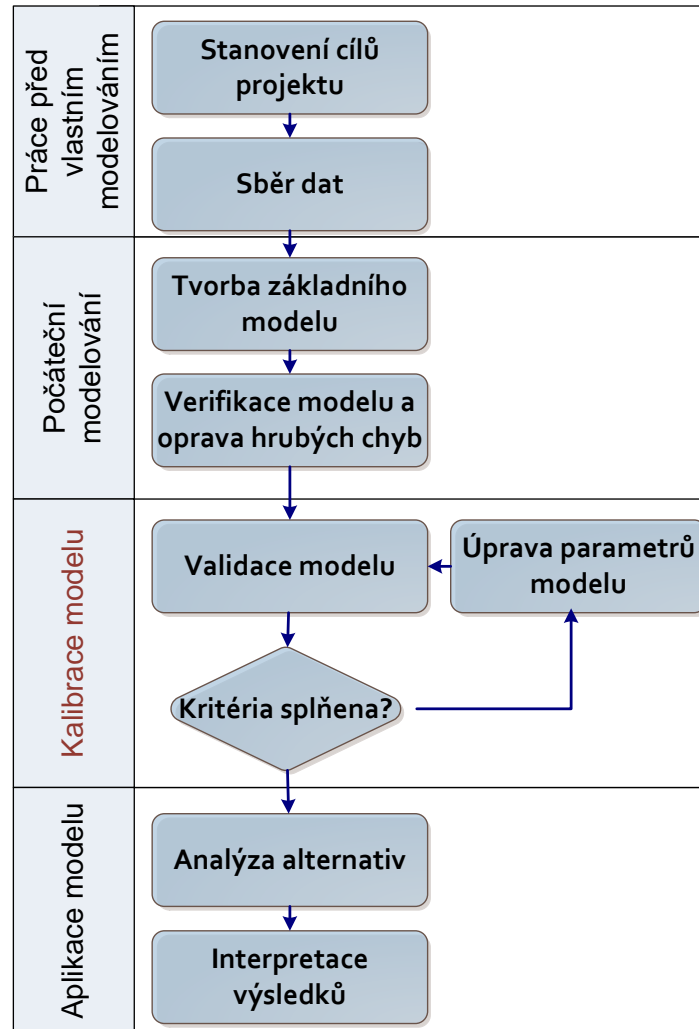
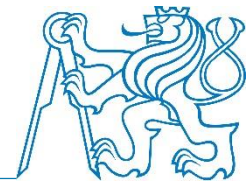
- „Dávají výsledky smysl?“
- Zkontroluj na Internetu známé a reportované chyby softwaru
- Zkontroluj vstupy
- Porovnej výstupy s jinými modely
- Zkontroluj výslednou animaci
 - Jednotlivé vozidlo
 - Nízké intenzity
 - Skutečné intenzity

4) Verifikace – Výběr metody



- Measures of Effectiveness (MOEs)
 - Vehicle-miles traveled (VMT) or vehicle-kilometers traveled
 - Vehicle-hours traveled (VHT)
 - Mean system speed
 - Počty zastavení vozidel, doba stání
 - Produkce škodlivých emisí
- Výběr průměrné či nejhorší MOE

Hlavní kroky při tvorbě dopravního modelu





- Co je cílem kalibrace?

- Jak byste kalibraci provedli?

5. Kalibrace (1)



Cíle

- Zajistit, že navržený model odpovídá realitě

Jak toho dosáhnout?

1. Výběr kritérií
 - Např. doba jízdy
2. Sběr dat/pozorování v reálném světě
 - Např. změř dobu jízdy
3. Spust' simulaci a porovnej výsledky
4. Uprav parametry modelu (chování vozidel, procenta odbočení, akceleracem akceptace mezer, agresivita, ...)
5. Opakuj dokud model nesplňuje očekávání

Příklady konfigurovaných parametrů:

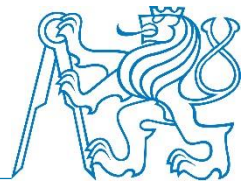
Dálnice

- Mean following headway
- Driver reaction time
- Critical gap for lane changing
- Minimum separation under stop-and-go conditions

Řízené křižovatky

- Startup lost time
- Queue discharge headway
- Gap acceptance for unprotected left turns.

5. Kalibrace (2)



- Neexistuje jeden obecně přijatý postup pro kalibraci modelů.
- Je třeba získat a využít zkušeností
- Důraz na etiku („Může to vyjít kolik budu chtít“)

Doporučuje se využít více než jeden parametr pro kalibraci:

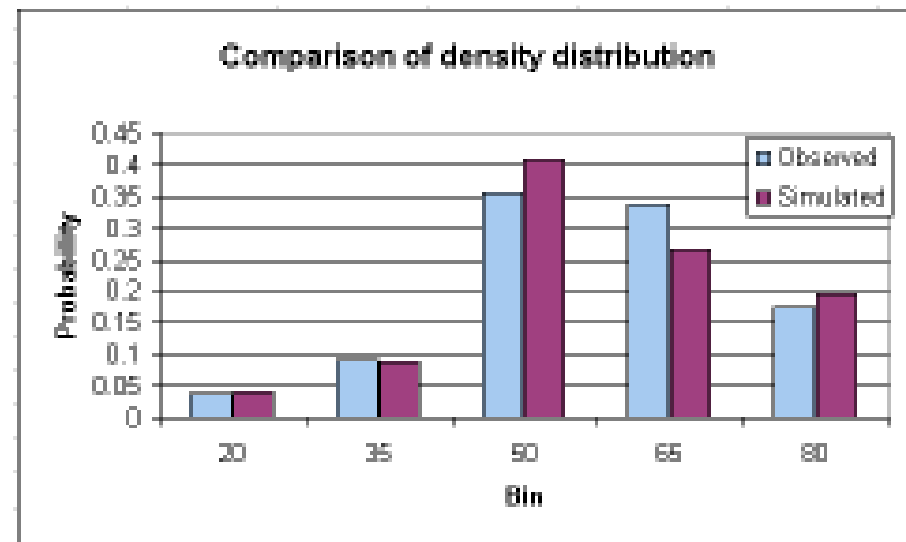
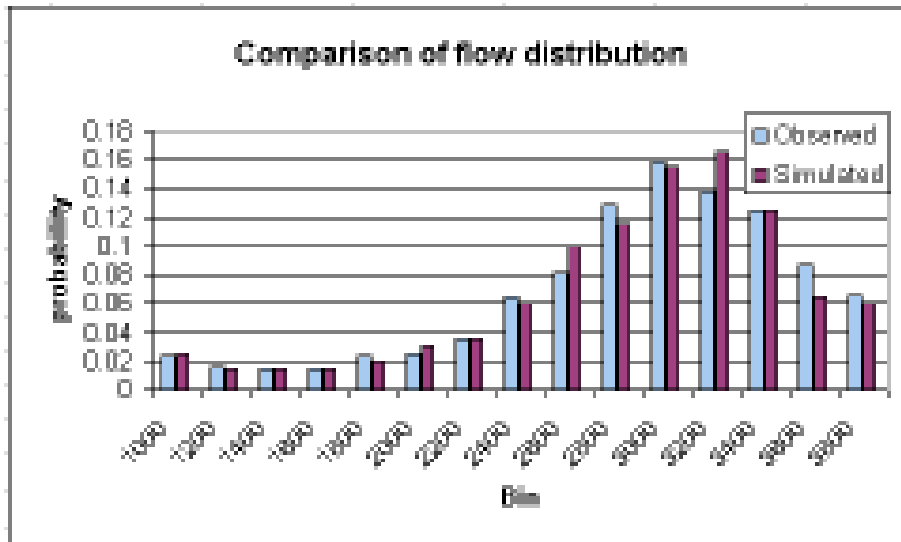
- Odhad matice poptávky (OD matice)
- Porovnání intenzit
- Porovnání délek kolon
- Porovnání doby jízdy

Jak získat tyto hodnoty v modelu a v reálném světě?

5. Příklad kalibrovaných modelů



Minimalizace střední kvadratické odchylky (MSE) mezi modelem a naměřenými hodnotami

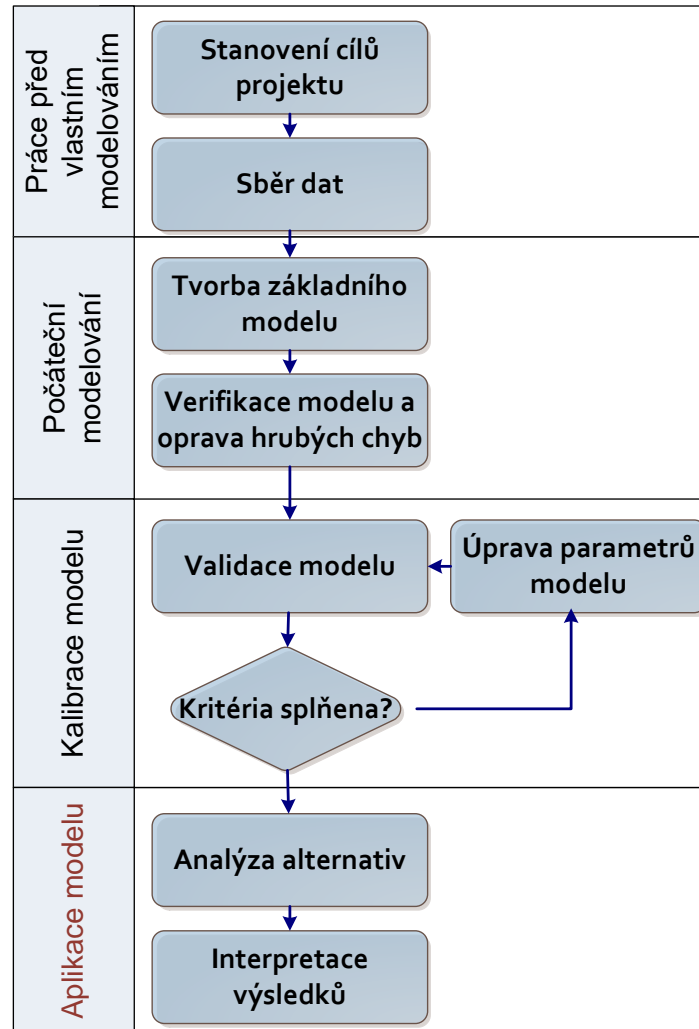
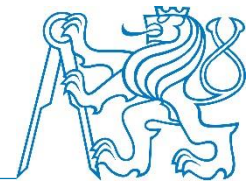


Criteria and measures (model values versus observed values)	Calibration acceptance targeted	Comments / source
Cordon flow (with more than 5 counts) Screenline flow (with more than 5 counts) All link flows on cordon/screenline - within 20% or 200 veh/h within 10% or 100 veh/h within 5% or 50 veh/h	Accuracy = 3% Accuracy = 5% 95% of link flows 90% of link flows 80% of link flows	RTA NSW
Individual link flows within 100 veh/h for flow < 700 veh/h within 15% for 700 < flow < 2700 veh/h within 400 veh/h for flow > 2700 veh/h Sum of all link flows GEH* statistics < 5 for individual link flow GEH* statistics for sum of all link flows	>85% of cases >85% of cases >85% of cases Accuracy = 5% >85% of cases < 4	FHWA (2004)
Travel times for selected routes Median time relative to observed Root-mean-square values (based on 5 runs)	Within 10% 90% of all routes	RTA NSW
Model stability Total screenline variation between maximum and minimum values Tabulation of minimum and maximum flows of each road link on each cordon and each screenline according to variations of 20% (or 200 veh/h), 10% (or 100 veh/h) and 5% (or 50 veh/h)	Within 5% To modeller's satisfaction	Five runs using different random number seeds are recommended.
Congestion pattern Inspect the dispersal of queues, the distribution of lane demand, path allocation, etc.	To modeller's satisfaction	Lane distribution of traffic had significant effect on network del

Kalibrační
kritéria

Best
practice

Hlavní kroky při tvorbě dopravního modelu



6) Analýza alternativ

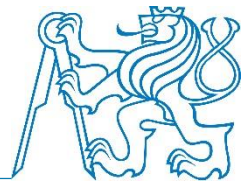


- Nechceme jen popsat existující stav
- Chceme najít odpovědi na další otázky
 - Jaká bude situace v budoucnosti?
 - Co když se změní podmínky?
 - Jaká z navržených alternativ je nejlepší?
- Předpověď základní intenzity dopravy
 - Omezení kapacit, nejistoty
- Výběr LOS
- Vícenásobné replikace
- Porovnání se standardními inženýrskými metodami

Analýza alternativ

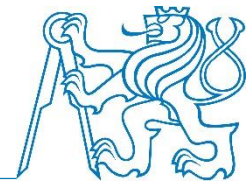
- predikce a plánování
- základní podmínky
- alternativy

7) Interpretace výsledků



- Rozsah a cíle projektu
- Použitá metoda (nástroje a důvody pro jejich použití)
- Sběr dat, předzpracování dat
- Kalibrace, testování a výsledky
- Výsledky pro základní model
- Popis alternativních modelů
- Výsledky alternativních modelů
- Prezentace výsledků
 - Zjistit cílové publikum (měnit formu prezentace)

Možné doporučené formáty písemných zpráv

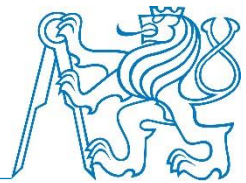


Factual Format	Administrative Format
I. Introduction	I. Introduction
II. Methods and procedures	II. Conclusions and recommendations
III. Facts and details	III. Summary and discussion of facts and details
IV. Discussion and analysis of facts and details	IV. Methods and procedures
V. Recommendations	V. Final conclusion
VI. Conclusion	VI. Appendixes with facts and details

Tradiční,
Pro vědecké práce,
Pro čtenáře, které zajímá argumentace,
fakta, detaily a výsledky.

Moderní,
Orientovaný na výsledek,
Preferovaný manažery a exekutivou

Typická osnova práce



I. Introduction (one-sixth of total time available)

- A. Problem statement**
- B. Work completed to date**

II. Part of the presentation (two-thirds of total time available)

- A. Summary of existing problems and limitations**
- B. Summary description of the proposed system**
- C. Feasibility analysis**
- D. Proposed schedule to complete project**

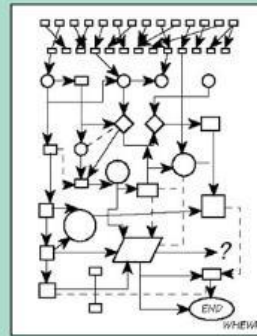
III. Questions and concerns from the audience (time here is not to be included in the time allotted for presentation and conclusion; it is determined by those asking the questions and voicing their concerns)

IV. Conclusion (one-sixth of total time available)

- A. Summary of proposal**
- B. Call to action (request for whatever authority you require to continue systems development)**

Vizuální návod

not too much



not too little

BUY
OUR
SYSTEM!

not too many

4
HOURS?

not too few

IT'S NOT
MUCH, BUT
IT'S ALL
WE COULD
THINK OF.

not too small

IF YOU CAN READ
THIS, YOU'RE THE
ONLY ONE WHO
KNOWS OUR SECRET.

CONGRATULATIONS

not too soon

YOUR NEW
SYSTEM WILL
COST £25K
AND TAKE
FIVE YEARS.
ANY
QUESTIONS?

not too late

IS
ANYONE
STILL
AWAKE?

not too fast

END-USER
EDUCATION
AND
TRAINING
COURSES

not too slow

TEMPORARY
FAULT
DO NOT
ADJUST
YOUR SET



Děkuji Vám za pozornost