# Reprezentace a vyvozování znalostí

**Aleš Horák**

**E-mail: `hales@fi.muni.cz`**

**`http://nlp.fi.muni.cz/uui/`**

Obsah:

- ➜ Reprezentace a vyvozování znalostí
- ➜ Logika – rezoluční pravidlo
- ➜ Extralogické informace – třídy, sémantické sítě, rámce
- ➜ Pravidlové systémy
- ➜ Nejistota a pravděpodobnost

# Reprezentace a vyvozování znalostí

otázka:

*Jak zapíšeme znalosti o problému/doméně?*

*Když je zapíšeme, můžeme z nich mechanicky odvodit nová fakta?*

- **reprezentace znalostí** (*knowledge representation*) – hledá způsob vyjádření znalostí počítačově zpracovatelnou formou (za účelem odvozování)
- **vyvozování znalostí** (*reasoning*) – zpracovává znalosti uložené v **bázi znalostí** (*knowledge base, KB*) a provádí **odvození** (inference) nových závěrů:
  - odpovědi na dotazy
  - zjištění faktů, které vyplývají z faktů a pravidel v KB
  - odvodit akci, která vyplývá z dodaných znalostí, . . .

# Reprezentace znalostí

proč je potřeba speciální **reprezentace znalostí**?

vnímání lidí $\times$ vnímání počítačů

**člověk**

- ➜ když dostane novou věc (třeba pomeranč) – **prozkoumá** a **zapamatuje** si ho (a třeba sni)
- ➜ během tohoto procesu člověk zjistí a uloží všechny základní vlastnosti
- ➜ později, když se **zmíní** daná věc, vyhledají se a připomenou uložené informace

**počítač**

- ➜ musí se spolehnout na informace od lidí
- ➜ jednodušší informace – přímé *programování*
- ➜ složité informace – zadané v **symbolickém jazyce**

## Volba reprezentace znalostí

která **reprezentace znalostí** je **nejlepší**?

> Pro řešení skutečně obtížných problémů musíme používat několik různých reprezentací. Každý konkrétní typ datových struktur má totiž své klady a zápory a žádný se sám o sobě nezdá adekvátní pro všechny funkce zahrnuté v tom, čemu říkáme “selský rozum” (*common sense*).
>
> – Marvin Minsky

# Logika – rezoluční pravidlo
# Historie logického vyvozování

| | | |
|---|---|---|
| 450 př.n.l. | stoikové | výroková logika, inference (pravděpodobně) |
| 322 př.n.l. | Aristoteles | inferenční pravidla, kvantifikátory |
| 1565 | Cardano | teorie pravděpodobnosti (výroková logika + nejistota) |
| 1847 | Boole | výroková logika (znovu) |
| 1879 | Frege | predikátová logika 1. řádu |
| 1922 | Wittgenstein | důkaz pomocí pravdivostních tabulek |
| 1930 | Gödel | $\exists$ úplný algoritmus pro PL1 |
| 1930 | Herbrand | úplný algoritmus pro PL1 (redukce na výroky) |
| 1931 | Gödel | $\neg\exists$ úplný algoritmus pro aritmetiku |
| 1960 | Davis/Putnam | “praktický” algoritmus pro výrokovou logiku |
| 1965 | Robinson | “praktický” algoritmus pro PL1 – rezoluce |

## Předpoklad uzavřeného světa

2 užitečné předpoklady:

- **předpoklad uzavřeného světa** (*closed world assumption*)
  - cokoliv o čem **nevíme**, že je **pravda** $\rightarrow$ bereme za dané, že je to **nepravda**
  - využitý např. v Prologu (negace jako neúspěch)
- **předpoklad jednoznačných pojmenování** (*unique names assumption*)
  - různá jména označují různé objekty

# Logika – rezoluční pravidlo

vyvozování nových znalostí = hledání **důkazu**

algoritmus konstrukce důkazu:

- ➜ dopředné a zpětné řetězení – neúplné pro PL1
- ➜ rezoluce – úplná pro důkaz sporem
- ➜ logické programování – SLD rezoluce

# Rezoluce v PL1

vyvozování v PL1 je pouze **částečně rozhodnutelné**:

- ➜ může najít důkaz $\alpha$, když $KB \models \alpha$
- ➜ nemůže vždy dokázat, že $KB \not\models \alpha$
  viz *problém zastavení* – důkazová procedura nemusí skončit

**rezoluce** je **důkaz sporem**:

pro důkaz $KB \models \alpha$ ukážeme, že $KB \wedge \neg\alpha$ je nesplnitelné

rezoluce používá $KB$, $\neg\alpha$ v **konjunktivní normální formě** (CNF). Existuje přesný algoritmus pro převod každé PL1 klauzule do CNF, např.:

$$
\begin{aligned}
(P \vee Q) \Rightarrow (Q \Leftrightarrow R) \quad \equiv \quad & (\neg P \vee \neg Q \vee R) \\
\wedge \quad & (\neg P \vee Q \vee \neg R) \\
\wedge \quad & (\neg Q \vee R)
\end{aligned}
$$

# Rezoluční pravidlo

algoritmus je založen na opakované aplikaci **rezolučního pravidla** – ze dvou klauzulí odvoď novou klauzuli

$$\begin{tikzcd} C_1 \arrow[dr] & & C_2 \arrow[dl] \\ & C & \end{tikzcd}$$

- ➜ klauzule: $C_1 = P_1 \vee P_2 \vee \ldots \vee P_n$
  a $C_2 = \neg P_1 \vee Q_1 \vee Q_2 \vee \ldots \vee Q_m$
- ➜ výsledek: $C = P_2 \vee P_3 \vee \ldots \vee P_n \vee Q_1 \vee Q_2 \vee \ldots \vee Q_m$
- ➜ vyruší se opačné literály $P_1$ a $\neg P_1$

postup **rezolučního důkazu tvrzení** $F$:

- začneme s $\neg F$
- rezolvujeme s klauzulí z KB (která obsahuje $F$)
- opakujeme až do odvození **prázdné klauzule** $\square$
- když se to podaří $\rightarrow$ došli jsme ke sporu (pro $\neg F$) $\rightarrow$ **musí platit** $F$

## Rezoluce – příklad

- **pravidla**
  - mráz $\wedge$ srážky $\Rightarrow$ sněží

    $\neg$mráz $\vee$ $\neg$srážky $\vee$ sněží
  - Leden $\Rightarrow$ mráz

    $\neg$Leden $\vee$ mráz
  - mraky $\Rightarrow$ srážky

    $\neg$mraky $\vee$ srážky
- **fakta** – Leden, mraky
- **dotaz** (co se má dokázat) – **sněží**?

# Důkaz tvrzení "sněží"

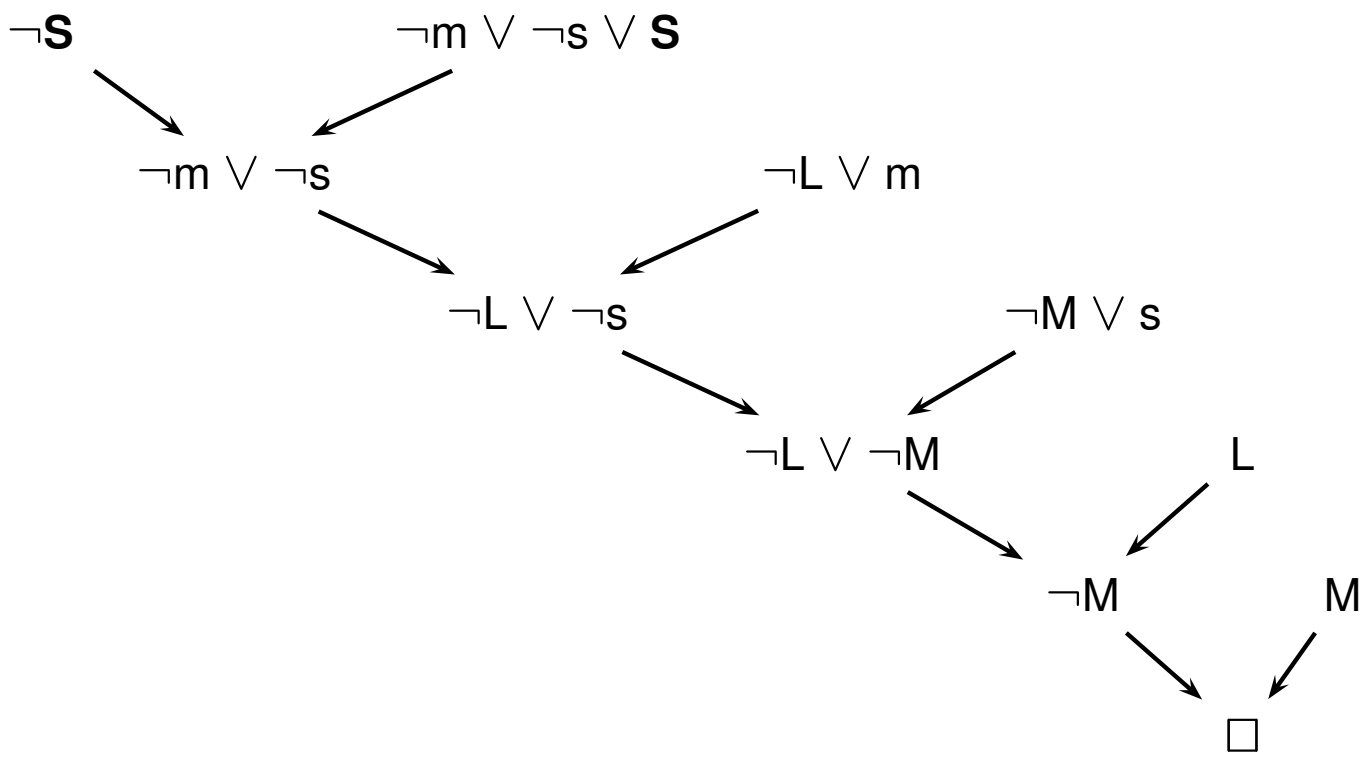
**S** – sněží, s – srážky, m – mráz, L – Leden, M – mraky

$\neg m \lor \neg s \lor S$

$\neg L \lor m$

$\neg M \lor s$

$L, M$



# Extralogické informace

**co jsme dosud ignorovali:**

- ➜ objekty reálného světa mají mezi sebou **vztahy**
  - třídy/kategorie, podtřídy $\times$ nadtřídy
  - hierarchie vztahů části/celku
  - dědění vlastností v hierarchiích
- ➜ stav světa se může **měnit** v čase
  - explicitní reprezentace času
  - nemonotónní uvažování (pravdivost se může měnit v čase)
- ➜ ne každá informace je “černobílá”
  - nejistota
  - statistika, fuzzy logika

# Třídy objektů

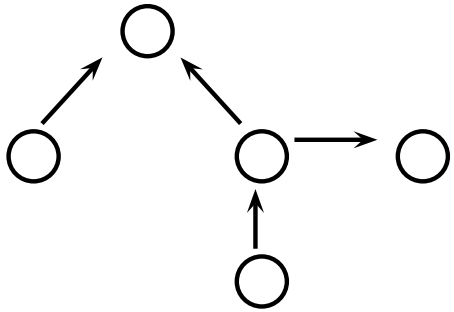
- "Chci si koupit fotbalový míč."
  - *Chci si koupit FM27341* – špatně
  - *Chci si koupit objekt, který je prvkem třídy fotbalových míčů* – správně
- objekty jsou organizovány do **hierarchie tříd**
  - FM27341 $\in$ fotbalové_míče
  - fotbalové_míče $\subset$ míče
- fakta (objekty) $\times$ pravidla (třídy)
  - Všechny míče jsou kulaté.
  - Všechny fotbalové míče mají X cm v průměru.
  - FM27341 je červenomodrobílý.
  - FM27341 je fotbalový míč.
  - (Proto: FM27341 je kulatý a má X cm v průměru.)

# Sémantické sítě

**sémantické sítě** – reprezentace faktových znalostí (pojmy + vztahy)

➜ vznikly kolem roku 1960 pro reprezentaci významu anglických slov

➜ znalosti jsou uloženy ve formě grafu



○ pojmy (objekty, třídy)

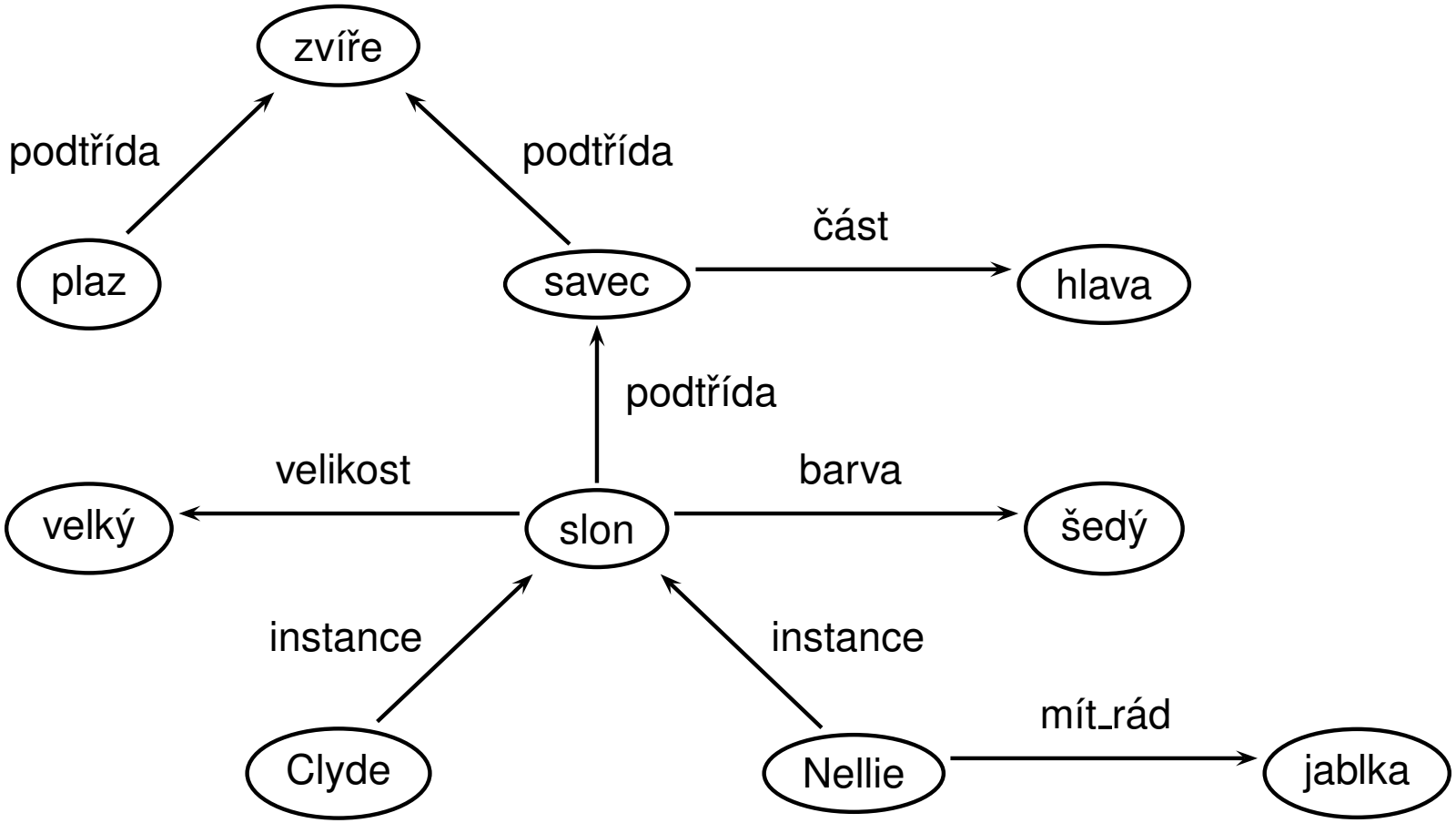
⟶ vztahy

➜ nejdůležitější vztahy:

- **podtřída** (*subclass*) – vztah mezi třídami
- **instance** – vztah mezi konkrétním objektem a jeho rodičovskou třídou

jiné vztahy – část (has-part), barva, . . .

## Sémantické sítě – příklad



## Dědičnost v sémantických sítích

- pojem sémantické sítě *předchazí* OOP
- **dědičnost**:
  - jestliže určitá vlastnost platí pro třídu $\rightarrow$ platí i pro všechny její podtřídy
  - jestliže určitá vlastnost platí pro třídu $\rightarrow$ platí i pro všechny prvky této třídy
- určení hodnoty vlastnosti – rekurzivní algoritmus
- potřeba specifikovat i výjimky – mechanizmus **vzorů** a **výjimek** (*defaults and exceptions*)
  - vzor – hodnota vlastnosti u třídy nebo podtřídy, platí ta, co je blíž objektu
  - výjimka – u konkrétního objektu, odlišná od vzoru

## Dědičnost vztahů část/celek

- "krávy mají 4 nohy."
  - každá noha je částí krávy
- "Na poli je (konkrétní) kráva."
  - všechny části krávy jsou taky na poli
- "Ta kráva (na poli) je hnědá (celá)."
  - všechny části té krávy jsou hnědé
- "Ta kráva je šťastná."
  - ~~všechny části té krávy jsou šťastné~~ – neplatí
- lekce: některé vlastnosti jsou děděny částmi, některé nejsou
  explicitně se to vyjadřuje pomocí pravidel jako

  $$\text{part-of}(x, y) \wedge \text{location}(y, z) \Rightarrow \text{location}(x, z)$$

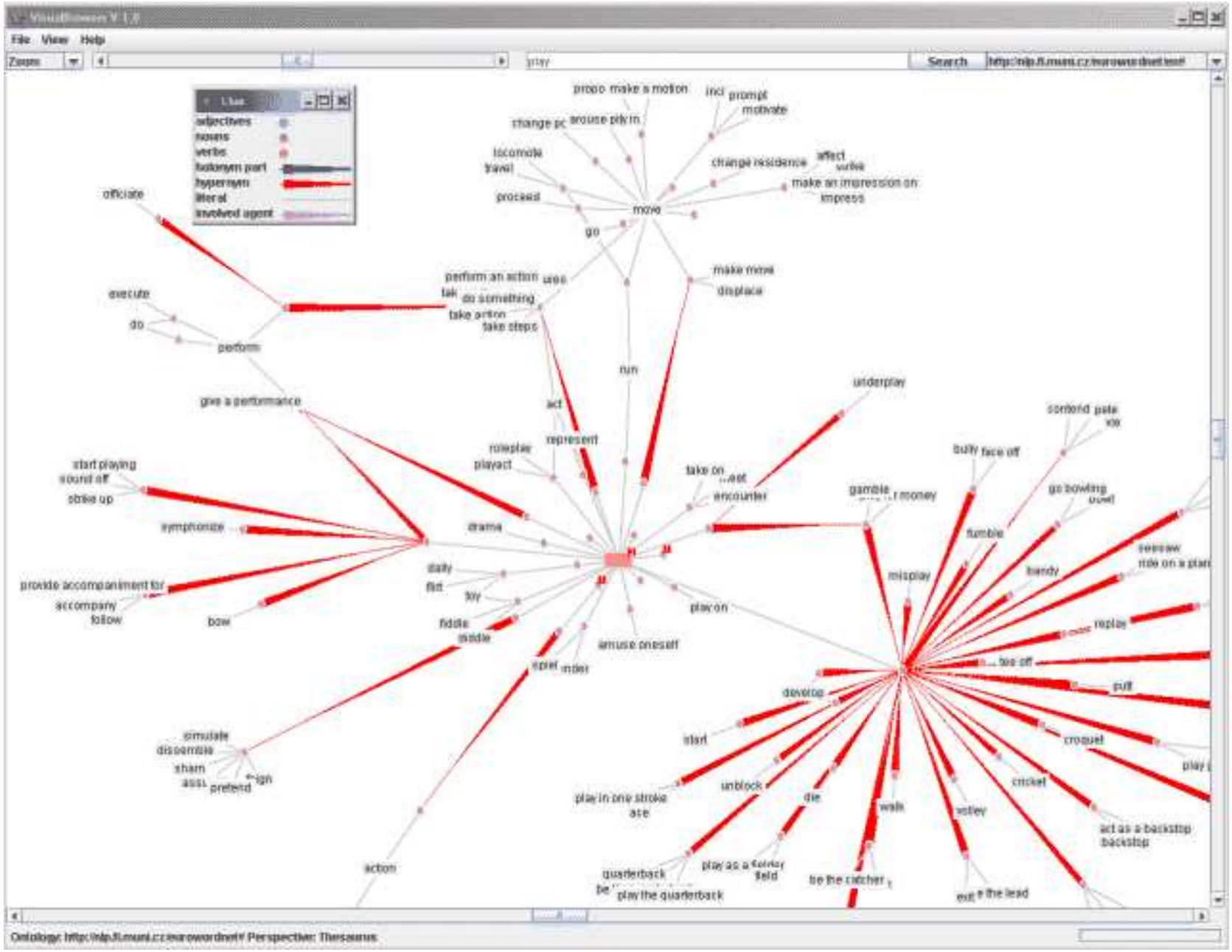
## Vzory a výjimky – příklad

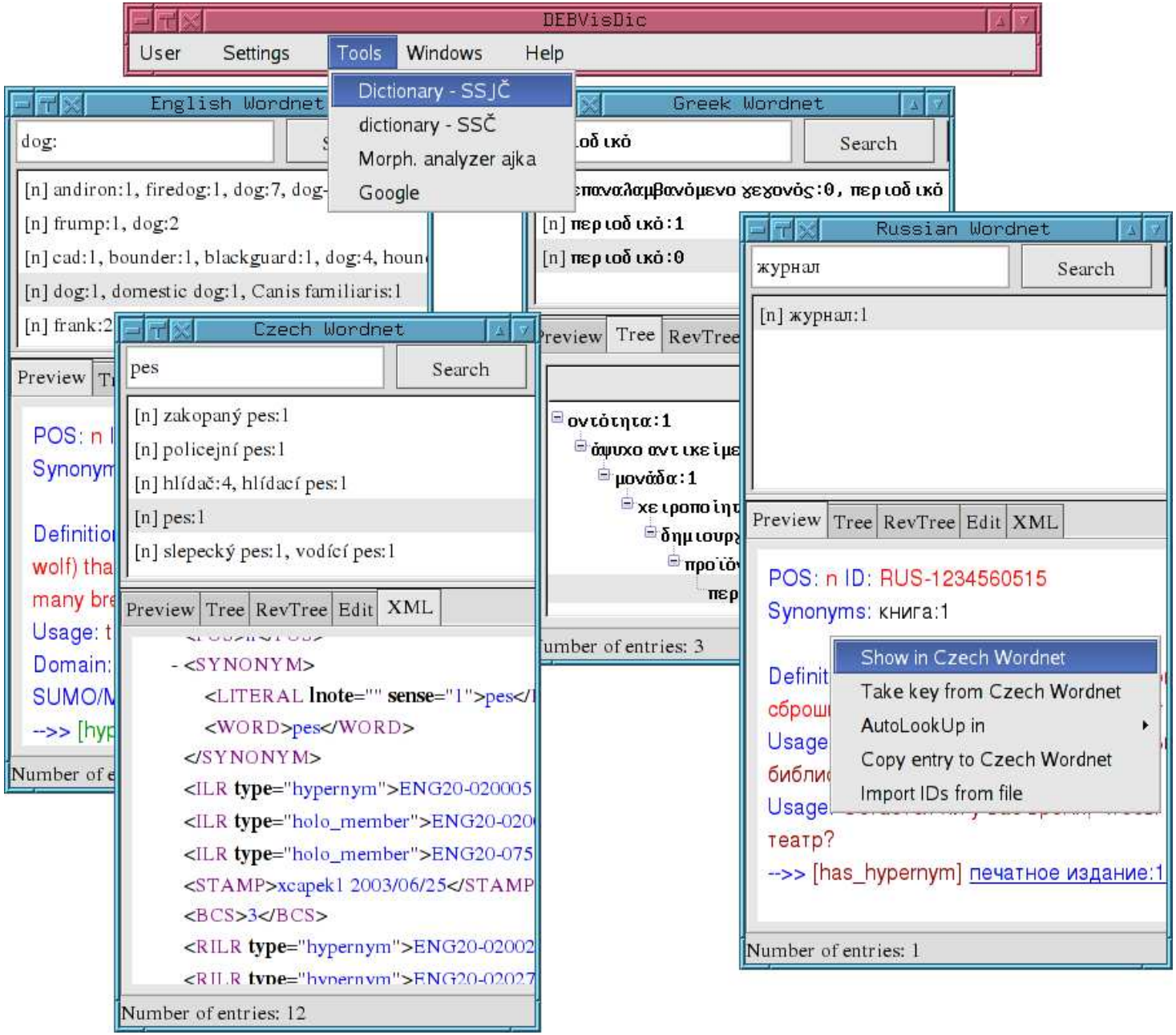
- "všichni ptáci mají křídla."
- "všichni **ptáci** umí létat."
- "ptáci se zlomenými křídly jsou ptáci, ale neumí létat."
- "**tučnáci** jsou ptáci, ale neumí létat."
- "**kouzelní tučňáci** jsou tučňáci, kteří umí létat."
- kdo umí létat:
  - "Penelope je pták." $\Rightarrow$ "Penelope **umí** létat."
  - "Penelope je tučnák." $\Rightarrow$ "Penelope **neumí** létat."
  - "Penelope je kouzelný tučnák." $\Rightarrow$ "Penelope **umí** létat."
- všimněte si, že víra v hodnotu vlastnosti objektu se může měnit s příchodem nových informací o klasifikaci objektu

## Aplikace sémantických sítí

(Princeton) **WordNet** – `http://wordnet.princeton.edu/`

- ➜ sémantická síť 100.000 (anglických) pojmů, zachycuje:
  - synonyma, antonyma (významově stejná/opačná)
  - hyperonyma, hyponyma (podtřídy)
  - odvozenost a další jazykové vztahy
- ➜ tvoří se **národní wordnety** (navázané na anglický WN)
  český wordnet – cca 30.000 pojmů
- ➜ nástroj na editaci národních wordnetů – DEBVisDic/VisDic, vyvinutý na FI MU –
  `http://deb.fi.muni.cz/`
- ➜ VisualBrowser – `http://nlp.fi.muni.cz/projekty/visualbrowser/`
  nástroj na vizualizaci (sémantických) sítí, vznikl jako DP na FI MU


File View Help
Search
adjectives
nouns
verbs
holonym part
hypernym
literal
involved agent
move
make a motion
prompt
motivate
change pc
change residence
make an impression on
impress
proceed
go
make move
displace
run
officiate
execute
do
perform
perform an action
do something
take action
take steps
give a performance
act
represent
roleplay
playact
take on
encounter
underplay
start playing
sound off
strike up
symphonize
drama
provide accompaniment for
accompany
follow
bow
fiddle
play on
amuse oneself
gamble
money
bully
face off
go bowling
fumble
misplay
bandy
seesaw
replay
toss off
pull
croquet
cricket
act as a backstop
backstop
develop
start
unblock
play in one stroke
die
walk
volley
simulate
dissemble
sham
pretend
action
quarterback
play the quarterback
play as a fielder
be the catcher
exit the lead
Ontology: http://nlp.fi.muni.cz/eurowordnet/ Perspective: Thesaurus


DEBVisDic
User
Settings
Tools
Windows
Help
Dictionary - SSJČ
dictionary - SSČ
Morph. analyzer ajka
Google
English Wordnet
dog:
[n] andiron:1, firedog:1, dog:7, dog-
[n] frump:1, dog:2
[n] cad:1, bounder:1, blackguard:1, dog:4, houn
[n] dog:1, domestic dog:1, Canis familiaris:1
[n] frank:2
Preview
Number of e
Greek Wordnet
Search
[n] περιοδικό:1
[n] περιοδικό:0
Preview
Tree
RevTree
Number of entries: 3
Czech Wordnet
pes
Search
[n] zakopaný pes:1
[n] policejní pes:1
[n] hlídač:4, hlídací pes:1
[n] pes:1
[n] slepecký pes:1, vodící pes:1
Preview
Tree
RevTree
Edit
XML
- <SYNONYM>
<LITERAL lnote="" sense="1">pes</
<WORD>pes</WORD>
</SYNONYM>
<ILR type="hypernym">ENG20-020005
<ILR type="holo_member">ENG20-020
<ILR type="holo_member">ENG20-075
<STAMP>xcapek1 2003/06/25</STAMP
<BCS>3</BCS>
<RILR type="hypernym">ENG20-02002
Number of entries: 12
Russian Wordnet
журнал
Search
[n] журнал:1
Preview
Tree
RevTree
Edit
XML
POS: n ID: RUS-1234560515
Synonyms: книга:1
Show in Czech Wordnet
Take key from Czech Wordnet
AutoLookUp in
Copy entry to Czech Wordnet
Import IDs from file
театр?
-->> [has_hypernym] печатное издание:1
Number of entries: 1

## Rámce

**Rámce** (*frames*):

- ➜ varianta sémantických sítí
- ➜ velice populární pro reprezentaci znalostí v expertních systémech
- ➜ všechny informace relevantní pro daný pojem se ukládají do univerzálních struktur – **rámců**
- ➜ stejně jako sémantické sítě, rámce podporují dědičnost
- ➜ OO programovací jazyky vycházejí z teorie rámců

# RÁMCE – PŘÍKLAD

rámec obsahuje **objekty**, *sloty* a hodnoty slotů

příklady rámců:

**savec**:

| | |
|---|---|
| *podtřída*: | zvíře |
| *část*: | hlava |
| **má_kožich*: | ano |

**slon**:

| | |
|---|---|
| *podtřída*: | savec |
| **barva*: | šedá |
| **velikost*: | velký |

**Nellie**:

| | |
|---|---|
| *instance*: | slon |
| *mít_rád*: | jablka |

'*' označuje **vzorové hodnoty**, které mohou měnit hodnoty u podtříd a instancí

## SÉMANTICKÉ SÍTĚ × RÁMCE

| **sémantické sítě** | **rámce** |
|---|---|
| uzly | objekty |
| spoje | sloty |
| uzel na druhém konci spoje | hodnota slotu |

**deskripční logika** – logický systém, který manipuluje přímo s rámci

# Pravidlové systémy

- snaha zachytit **produkčními pravidly** znalosti, které má expert
- obecná forma pravidel

  IF podmínka

  THEN akce

  - podmínky – booleovské výrazy, dotazy na hodnoty **proměnných**
  - akce – nastavení hodnot proměnných, příznaků, . . .
- důležité vlastnosti:
  - znalosti mohou být strukturovány do modulů
  - systém může být snadno rozšířen přidáním nových pravidel beze změny zbytku systému

# Pravidlová báze znalostí – příklad

pravidla pro **oblékání**:

pravidlo 1
IF X je seriózní
AND X bydlí ve městě
THEN X by měl nosit sako

pravidlo 2
IF X je akademik
AND X je společensky aktivní
AND X je seriózní
THEN X by měl nosit sako a kravatu

pravidlo 3
IF X bydlí ve městě
AND X je akademik
THEN X by měl nosit kravatu

pravidlo 4
IF X je podnikatel
AND X je společensky aktivní
AND X je seriózní
THEN X by měl nosit sako, ale ne kravatu

**společenská** pravidla:

pravidlo 5
IF X je podnikatel
AND X je ženatý
THEN X je společensky aktivní

pravidlo 6
IF X je akademik
AND X je ženatý
THEN X je seriózní

**profesní** pravidla:

pravidlo 7
IF X učí na univerzitě
OR X učí na vysoké škole
THEN X je akademik

pravidlo 8
IF X vlastní firmu
OR X je OSVČ
THEN X je podnikatel

# Expertní systémy

- aplikace pravidlových systémů
- zaměřeny na specifické oblasti – medicínská diagnóza, návrh konfigurace počítače, expertíza pro těžbu nafty, . . .
- snaha zachytit **znalosti experta** pomocí pravidel
  ale znalosti experta zahrnují – postupy, strategie, odhady, . . .
- expertní systém musí pracovat s procedurami, nejistými znalostmi, různými formami vstupu
- vhodné oblasti pro nasazení expertního systému:
  - **diagnóza** – hledání řešení podle symptomů
  - **návrh konfigurace** – složení prvků splňujících podmínky
  - **plánování** – posloupnost akcí splňujících podmínky
  - **monitorování** – porovnání chování s očekávaným chování, reakce na změny
  - **řízení** – ovládání složitého komplexu
  - **předpovědi** – projekce pravěpodobných závěrů z daných skutečností
  - **instruktáž** – inteligentní vyučování a zkoušení studentů

# Nejistota

definujme akci $A_t$ jako "Vyrazit na letiště $t$ hodin před odletem letadla."
jak najít odpověď na otázku "*Dostanu se akcí $A_t$ na letiště včas k odletu letadla?*"

problémy:

1. částečná pozorovatelnost (stav vozovky, záměry ostatních řidičů, . . . )
2. šum v senzorech (hlášení o dopravní situaci)
3. nejistota výsledků akcí (píchnutí kola, . . . )
4. obrovská složitost modelování a předpovědi dopravní situace

čistě logický přístup tedy:

- riskuje chybu – "$A_5$ mě tam dostane včas."
- vede k závěrům, které jsou příliš slabé pro rozhodování: "$A_5$ mě tam dostane včas, pokud nebude na dálnici nehoda a pokud nebude pršet a jestli nepíchnu kolo a jestli nebude fronta na odbavovacích přepážkách a jestli nebudou problémy při kontrole zavazadel . . . "

# Metody pro práci s nejistotou

**defaultní/nemonotónní logika**

Předpokládejme, že nepíchnu cestou kolo.

Předpokládejme, že $A_5$ bude OK, pokud se nenajde protipříklad.

**pravidla s faktory nejistoty**

$A_5 \mapsto_{0.3}$ dostat se na letiště včas.

zalévání $\mapsto_{0.99}$ mokrý trávník

mokrý trávník $\mapsto_{0.7}$ déšť

**pravděpodobnost**

Vzhledem k dostupným informacím, $A_3$ mě tam dostane včas s pravděpodobností 0.05.

poznámka: fuzzy logika se zabývá **mírou pravdivosti**, NE nejistotou

# Pravděpodobnost

tvrzení o pravděpodobnosti **shrnují** následky

- **lenosti** – nepodařilo se vypočítat všechny výjimky, podmínky, ...
- **neznalosti** – nedostatek relevantních údajů, počátečních podmínek, ...

(takže přesně popisují běžnou práci v IT ☺ )

**subjektivní** $\times$ **Bayesovská** pravděpodobnost:

- pravděpodobnostní vztah mezi tvrzením a jeho pravdivosti vzhledem k podmínkám:

  $$P(A_4|\text{žádné hlášené nehody}) = 0.5$$

  nejedná se o vyjádření **pravděpodobnostní tendence** (ale může se získat ze znalostí podobných případů v minulosti)
- pravděpodobnost tvrzení se může měnit s novými (vstupními) podmínkami:

  $$P(A_4|\text{žádné hlášené nehody, je 4:00 ráno}) = 0.63$$

## Vyvozování z nejistých znalostí

- použití **náhodných proměnných** (*random variables*) – funkce, která vzorkům přirazuje hodnoty $\rightarrow$ vrací výsledky měření sledovaného jevu
  **distribuce pravděpodobností** náhodné proměnné = (vektor) pravděpodobnost(í), že daná náhodná proměnná bude mít určitou konkrétní hodnotu
  např.: náhodná proměnná $Odd$ vyjadřující, že výsledek hodu kostkou bude lichý
  náhodná proměnná $Weather$ vyjadřující, jaké bude počasí (slunce, déšť, mraky, sníh)

$$Odd(1) = true \qquad Weather(\text{21.11.2005}) = \text{déšť}$$

distribuce pravděpodobností proměnných $Odd$ a $Weather$

$$P(Odd = true) = 1/6 + 1/6 + 1/6 = 1/2$$
$$P(Odd) =< 1/2, 1/2 >$$
$$P(Weather) =< 0.72, 0.1, 0.08, 0.1 >$$

- pravidla pro výpočet pravděpodobnosti logicky souvisejících událostí

$$P(a \vee b) = P(a) + P(b) - P(a \wedge b)$$

## Bayesovské pravidlo pro vyvozování

pravidlo pro **podmíněnou pravděpodobnost** – $P(a|b) = \frac{P(a \wedge b)}{P(b)}$ if $P(b) \neq 0$

z toho lze odvodit **Bayesovské pravidlo** pro určení **diagnostické** pravděpodobnosti ze znalosti **příčinné** pravděpodobnosti:

$$P(\text{Příčina}|\text{Následek}) = \frac{P(\text{Následek}|\text{Příčina})P(\text{Příčina})}{P(\text{Následek})}$$

např. $ZMB$ zánět mozkových blan, $ZK$ ztuhlý krk:

$$P(zmb|zk) = \frac{P(zk|zmb)P(zmb)}{P(zk)} = \frac{0.8 \times 0.0001}{0.1} = 0.0008$$

vyvozování =
1. rozdělení akce na **atomické události**
2. zjištění pravděpodobností atomických událostí
3. výpočet/odvození pravděpodobností pomocí **složených distribucí pravděpodobností** (*joint probability distribution*)