

# Sémantika a intenzionální sémantika

Aleš Horák

E-mail: [hales@fi.muni.cz](mailto:hales@fi.muni.cz)  
[http://nlp.fi.muni.cz/nlp\\_intro/](http://nlp.fi.muni.cz/nlp_intro/)

Obsah:

- ▶ Sémantika
- ▶ Intenzionální sémantika

## Sémantika

**studium významu** – rozdílné, i když překrývající se přístupy různých vědeckých disciplín:

- ▶ **filosofie** – Jak je možné, že něco vůbec něco znamená?  
Jaký typ relace musí být mezi X a Y, aby X znamenalo Y? (filosofie jazyka)
- ▶ **psychologie** – psycholingvistika – experimentální studie, jak jsou významy reprezentovány v mysli a jaké mechanismy ovlivňují při kódování a dekódování zpráv (délka odezvy u konkrét a abstrakt se liší)
- ▶ **neurologie** – jak jsou psychologické stavy a procesy *implementovány* na úrovni neuronů v mozku

## Princip kompozicionality

*Význam složeného tvrzení je funkcí významu jednotlivých komponent.*

(je určován, je odhadnutelný, každá složka hraje význam?)

**propojuje syntax** (určuje funkci) se **sémantikou** (dodává významy komponent a získává význam celku)

**nekompozicionalita**: idiomy, ustrnulé metafory, kolokace, klišé

**Listém** je jazykový výraz, jehož význam není určen významy jeho částí (pokud existují), a který si tedy uživatel jazyka musí zapamatovat jako kombinaci formy a významu.

## Význam v jazyce

Rozdělení studia významu v jazyce:

- ▶ **lexikální sémantika**
- ▶ **gramatická sémantika** – větné fráze, slovtvorba
- ▶ **logická sémantika** – výroková, predikátová a vyšší logiky
- ▶ **lingvistická pragmatika**

*entail* = znamenat, vyplývat; nutnost a očekávanost

1. X přestal zpívat ?→? X nepokračoval ve zpěvu
2. X je kočka ?→? je zvíře
3. X je v jiném stavu ?→? X je žena
4. X je fyzikální objekt ?→? X má hmotnost
5. X je čtyřnožec ?→? X má čtyři nohy
6. X je žena Y ?→? X není dcera Y

## Textové vyplývání

**Textové vyplývání** = po přečtení *t* lidé usoudí, že nejspíš platí *h*  
(*Textual Entailment*, *Natural Language Inference*, *NLI*)

soutěž **Recognizing Textual Entailment**, od roku 2004

- ▶ úkol – dostaneme dva úseky textu a musíme (strojově) rozhodnout, jestli význam hypotézy vyplývá (je odvoditelný) z textu

- ▶ 

```
<pair id="59" value="FALSE" task="IR">
  <t>Two Turkish engineers and an Afghan translator kidnapped
    in December were freed Friday.</t>
  <h>translator kidnapped in Iraq</h>
</pair>
<pair id="64" value="TRUE" task="IR">
  <t>The wait time for a green card has risen from 21 months
    to 33 months in those same regions.</t>
  <h>It takes longer to get green card.</h>
</pair>
```

- ▶ v současnosti úloha předtrénování **neurálních jazykových modelů** – *Next sentence prediction* (BERT), *Sentence order prediction* (ALBERT)

## RTE výzvy – výsledky

soutěže **RTE Challenge**:

- ▶ nejlepší úspěšnost 70–80 %, lepší na krátkých textech
- ▶ techniky založené na **sumarizaci** a **extrakci informací**
- ▶ vstupy a (některé) výstupy jsou k dispozici na **Textual Entailment Resource Pool** (na [aclweb.org](http://aclweb.org)):
  - datové sady
  - jazykové zdroje využitě v nástrojích
  - nástroje pro **syntaktickou analýzu**, **rozpoznávání entit**, **určování podobnosti**, ...

# Výzva Winograd Schema

## Winograd Schema Challenge (WSC)

I. The trophy would not fit in the brown suitcase because it was too big (small). What was too big (small)?

Answer 0: the trophy

Answer 1: the suitcase

II. The town councilors refused to give the demonstrators a permit because they feared (advocated) violence. Who feared (advocated) violence?

Answer 0: the town councilors

Answer 1: the angry demonstrators

- ▶ vyhlásila firma Nuance, konala se 2016 a 2018
- ▶ pojmenovaná po Terryem Winogradovi, autorovi dialogového systému SHRDLU v roce 1968
- ▶ řeší problém rozpoznávání anafor
- ▶ úspěšnost 2016 32–58 % na 60 otázkách (náhodné odpovědi = 44 %)
- ▶ úspěšnost 2020 88–90 % pomocí velkých transformer modelů
- ▶ součást General Language Understanding Evaluation (GLUE) testovací sady

## Praktické výstupy sémantické analýzy – SemEval

**SemEval** – série soutěží a workshopů se zaměřením na **praktické výstupy** analýzy významu textu

- ▶ od roku 1998 (SenseEval) po současnost <https://semeval.github.io/>
- ▶ vybrané sdílené úlohy (*shared tasks*) včetně anotovaného zlatého standardu (*gold standard*)
- ▶ množství témat – analýza sentimentu, časové údaje, textové vyplývání, detekce afektivních výrazů v Twitter zprávách, porozumění textu, slovníkový význam, ...

# Problémy při analýze přirozeného jazyka


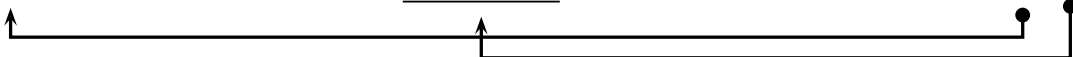
- ▶ víceznačnost
- ▶ anaforické výrazy
- ▶ indexické výrazy
- ▶ nejasnost
- ▶ nekompozicionalita
- ▶ struktura promluvy
- ▶ metonymie
- ▶ metafora

## Víceznačnost

- ▶ *ambiguity*
- ▶ **víceznačnost** může být **lexikální**, **syntaktická**, **sémantická** a **referenční**
- ▶ lexikální – “stát,” “žena,” “hnát”
- ▶ syntaktická – “Jím špagety s masem.”  
“Jím špagety se salátem.”  
“Jím špagety s použitím vidličky.”  
“Jím špagety se sebezapřením.”  
“Jím špagety s přítelem.”
- ▶ sémantická – “**Jeřáb** je vysoký.” “Viděli jsme veliké **oko**.”
- ▶ referenční – “**Oni** přišli pozdě.” “Můžeš mi půjčit **knihu**?”  
“Ředitel vyhodil dělníka, protože (**on**) byl agresivní.”

## Anaforické a indexické výrazy

### anaforické výrazy:

- ▶ *anaphora*
- ▶ používají **zájmena** pro odkazování na objekty zmíněné **dříve**
- ▶ “Poté co se Honza s Marií rozhodli se vzít, (**oni**) vyhledali kněze, aby **je** oddal.”
 
- ▶ “Marie uviděla ve výloze prstýnek a požádala Honzu, aby **jí ho** koupil.”
 

### indexické výrazy:

- ▶ *indexicals*
- ▶ odkazují se na údaje v **jiných částech** promluvy a **mimo** promluvu
- ▶ “**Já** jsem **tady**.”
- ▶ “Proč **jsi to** udělal?”

## Metafora a metonymie

### metafora:

- ▶ *metaphor*
- ▶ použití slov v **přeneseném významu** (na základě podobnosti), často systematicky
- ▶ “Zkoušel jsem ten proces **zabít**, ale nešlo to.”
- ▶ “Bouře se **vzteká**.”

### metonymie:

- ▶ *metonymy*
- ▶ používání **jména** jedné **věci** pro (často zkrácené) označení **věci jiné**
- ▶ “Čtu **Shakespeara**.”
- ▶ “**Chrysler** oznámil rekordní zisk.”
- ▶ “Ten **pstruh na másle** u stolu 3 chce další pivo.”

# Nekompozicionalita

- ▶ *noncompositionality*
- ▶ příklady **porušení pravidla kompozicionality** u ustálených termínů nebo přednost jiného možného významu při určitých spojeních
- ▶ “aligátóří boty,” “basketbalové boty,” “dětské boty”
- ▶ “pata sloupu”
- ▶ “červená kniha,” “červené pero”
- ▶ “bílý trpaslík”
- ▶ “dřevěný pes,” “umělá tráva”
- ▶ “velká molekula”

## Logická analýza přirozeného jazyka

**logická analýza PJ** – analýza **významu** výrazů (vět) PJ

přirozený **jazyk** = nástroj *pojmového* uchopení reality

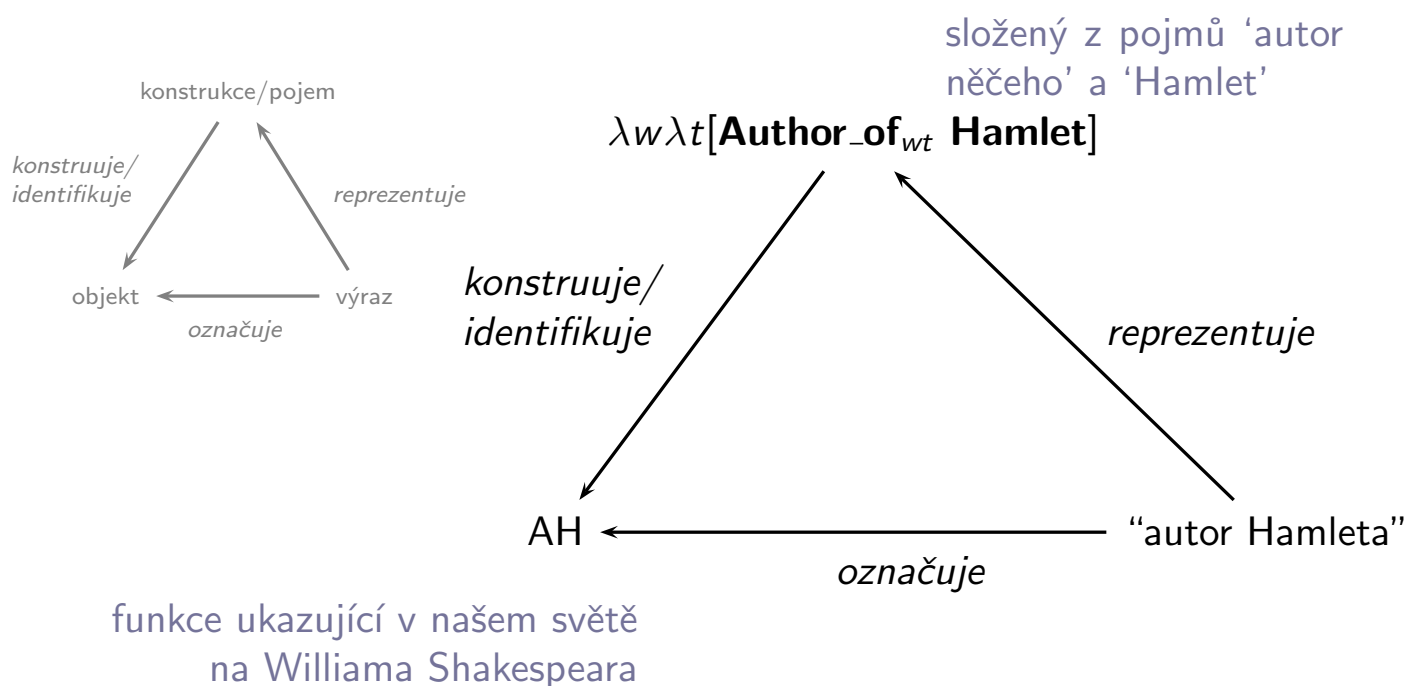
**pojem** – kritéria/procedury umožňující identifikovat různé konkrétní a abstraktní objekty

např. “**planeta**” – třída nebeských těles s určitými charakteristikami – obíhá po oběžné dráze kolem sláice, není zdrojem světla, ...

- ▶ **pojem**  $\neq$  **výraz** – např. výrazy v různých jazycích často reprezentují stejný pojem (pojem(“prvočíslo”)  $\equiv$  pojem(“prime number”))
- ▶ **pojem**  $\neq$  **představa** – představa je *subjektivní*, pojem je **objektivní**
- ▶ pojmy mohou identifikovat různé objekty:
  - jedno individuum – **individuální pojmy** (např. Petr, Pegas, prezident ČR)
  - třídu objektů – **vlastnost** (např. červený, šelma, hora)
  - *n*-člennou relaci – **vztah** (např. otec (někoho), křivdit (někdo někomu))
  - pravdivostní hodnotu – **propozice** (např. v Brně prší)
  - funkcionální přiřazení – **empirické funkce** (např. rychlost)
  - číslo – (fyzikální) **veličiny** (např. rychlost světla)

## Vztah pojmu a výrazu

ve zjednodušené podobě: pojem odpovídá **logické konstrukci**



## Omezenost predikátové logiky 1. řádu

dva omezující rysy:

- ▶ nedostatečná expresivita
- ▶ extenzionalismus

**Expresivita:** vyjadřovací síla jazyka

*“Je-li barva stropu pokoje č. 3 uklidňující, je pokoj č. 3 vhodný pro pacienta X a není vhodný pro pacienta Y.”*

analýza ve **výrokové logice**:

$P \Rightarrow (Q \wedge \neg R)$	$P$	“Barva stropu pokoje č. 3 je uklidňující.”
	$Q$	“Pokoj č. 3 je vhodný pro pacienta X.”
	$R$	“Pokoj č. 3 je vhodný pro pacienta Y.”

analýza v **PL1**:

$U(B) \Rightarrow (V(P, X) \wedge \neg V(P, Y))$	$U$	třída uklidňujících objektů
	$B$	individuum ‘barva stropu pokoje č. 3’
	$V$	relace mezi individui ‘být vhodný pro’
	$P$	individuum ‘pokoj č. 3’
	$X, Y$	individua ‘pacient X’ a ‘pacient Y’



## Nedostatečná expresivita PL1 – pokrač.

*Červená barva je krásnější než hnědá barva.*      *Kostka je červená.*

analýza v PL1:

$Kr(\check{C}_1, H)$        $\check{C}_2(Ko)$

$\check{C}_1$     individuum 'červená barva'

$\check{C}_2$     vlastnost individuí 'být červený' (třída červených objektů)

nelze vyjádřit       $\check{C}_1 \equiv \check{C}_2$

## Extenzionalismus PL1

*Varšava*

*hlavní město Polska*

Varšava      –    **jméno individua**, jasně identifikovatelné a odlišitelné

hlavní město Polska    –    **individuová role**, momentálně identifikuje Varšavu, ale dříve to byl i Krakov

'**hlavní město Polska**':

- ▶ závisí na světě a čase
- ▶ pochopení významu, ale není vázané na znalost obsahu – tj. **význam** na světě a čase **nezávisí**

*číslo X je větší než číslo Y*

*budova X je větší než budova Y*

matematické větší než    –    **relace** dvojic čísel, pevně daná

empirické větší než      –    **vztah** dvou individuí, který se může měnit v čase (otec a syn)

## Extenzionalismus PL1 – pokrač.

*ano*

*V Brně prší*

- ano – **pravdivostní hodnota** *true*  
 V Brně prší – **propozice** – označuje pravdivostní hodnotu, která se mění (alespoň) v čase

i když hodnota někdy závisí na světě a čase, samotný význam na nich nezávisí

## Extenze a intenze

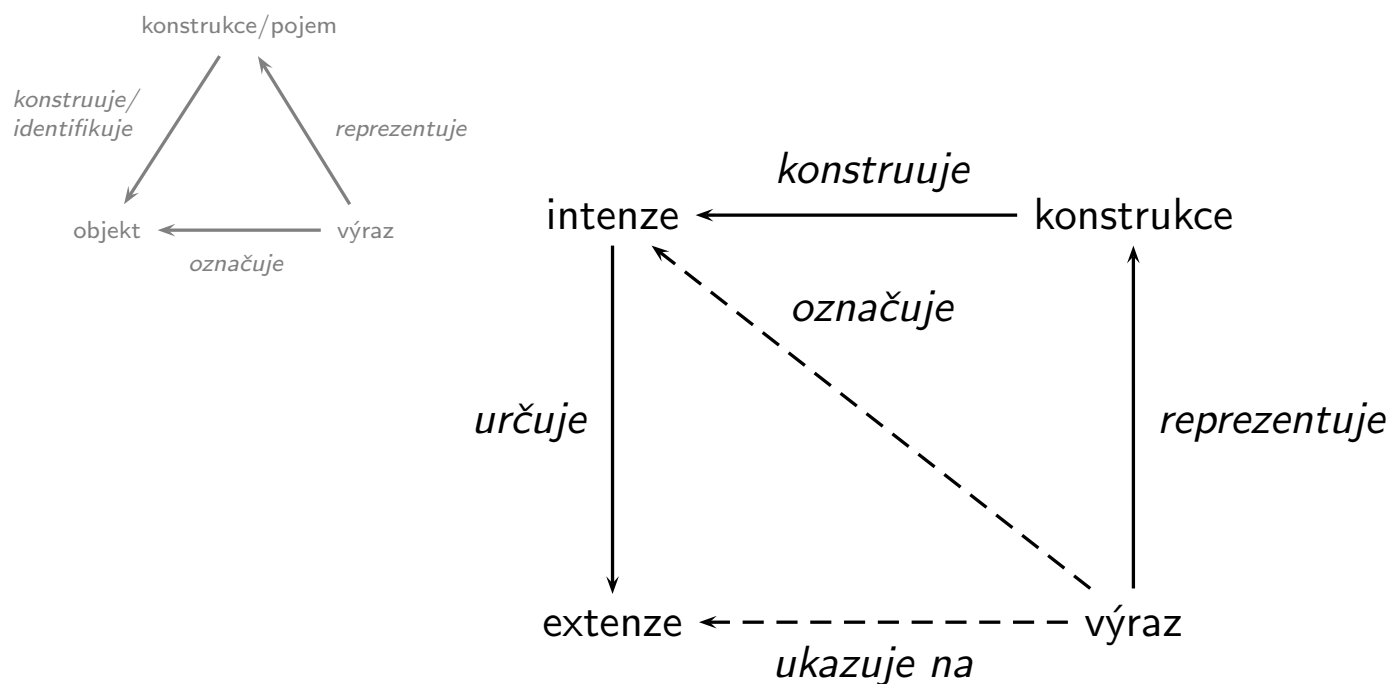
Definujeme:

- ▶ **intenze** – objekty typu funkcí, jejichž hodnoty závisí na světě a čase
- ▶ **extenze** – ostatní objekty (na světě a čase nezávislé)

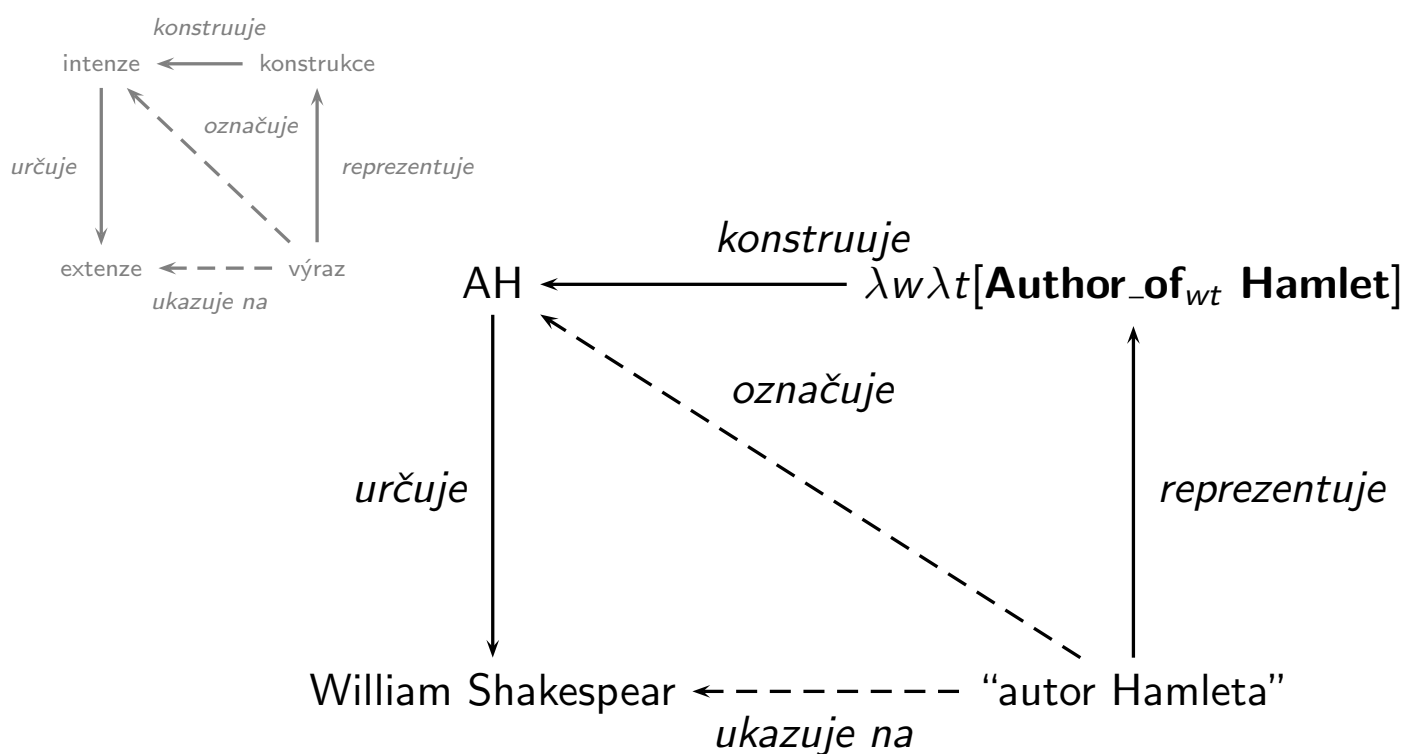
časté extenze a intenze:

<i>extenze</i>	<i>intenze</i>
individua	individuové role
třídy	vlastnosti
relace	vztahy
pravdivostní hodnoty	propozice
funkce	empirické funkce
čísla	veličiny

## Rozšířený vztah výrazu a významu u intenzí



## Rozšířený vztah výrazu a významu u intenzí



## Transparentní intenzionální logika

- ▶ *Transparent Intensional Logic*, TIL
- ▶ **logický systém** speciálně navržený pro zachycení **významu výrazů PJ**
- ▶ autor **Pavel Tichý**: *The Foundations of Frege's Logic*, de Gruyter, Berlin, New York, 1988.
- ▶ obdobná teorie – *Montagueho intenzionální logika* – Tichý ukazuje její nedostatky
- ▶ Tichý vychází z myšlenek – *Gottlob Frege* (1848–1925, logik) a *Alonzo Church* (1903–1995, teorie typů)
- ▶ vlastnosti:
  - rozvětvená **typová hierarchie** (s typy **vyšších řádů**)
  - **temporální**
  - **intenzionální** (intenze × extenze)
- ▶ **transparentost**:
  1. nositel významu (**konstrukce**) není prvek formálního aparátu, tento aparát pouze *studuje* konstrukce
  2. zachycení intenzionality je přesně popsáno z matematického hlediska

## Typy v TILu

typ objektu:

- ▶ základní typy – **typová báze** =  $\{o, \iota, \tau, \omega\}$
- ▶ **funcionální typy** – **funkce** nad typovou bází  
 např.  $\iota, ((\iota\tau)\omega), (o\iota), (((o\iota)\tau)\omega), ((o\tau)\omega), \dots$   
 $((\alpha\tau)\omega) \dots$  závislost na světě a čase, vyjadřuje **intenze** – zápis  $\alpha_{\tau\omega}$
- ▶ typy **vyšších řádů** – obsahují i třídy konstrukcí řádu  $n$  –  $*_n$

## Základní typy TILu

umožňují přiřadit typ objektům z **intenzionální báze** jazyka – třída **základních vlastností** (barvy, rozměry, postoje, ...) popisujících stav světa

- ▶ **o** (omikron, o) ... **pravdivostní hodnoty** Pravda (*true*, T) a Nepravda (*false*, F)  
přesně odpovídají běžným logikám, typy **logických operátorů** – (oo), (ooo)
- ▶ **ι** (jota) ... třída **individuí**  
individua ovšem ne jako kompletní objekty, ale jako **numerická identifikace** nestrukturované entity
- ▶ **τ** (tau) ... třída **časových okamžiků** (jako časového kontinua)  
zachycení závislosti na čase; současně třída **reálných čísel**
- ▶ **ω** (omega) ... třída **možných světů**  
zachycení empirické závislosti na stavu světa

## Možné světy

termín **možný svět** – Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646–1716, filozof a matematik)

požadavky na definici “možného světa:”

- ▶ soubor **myslitelných faktů**
- ▶ je **konzistentní** a **maximální** ze všech takových souborů
- ▶ je **objektivní** (nezávislý na individuálním názoru)

mezi možnými světy existuje právě jeden **aktuální svět**  
jeho znalost  $\equiv$  vševědoucnost

# Možné světy v TILu

možný svět v TILu = rozhodovací systém, pro  $\forall$  prvek intenzionální báze obsahuje konzistentní přiřazení hodnot

příklad – realita s 2 objekty a 2 vlastnostmi (9 možných světů):



být hubený	být tlustý			
	{Laurel, Hardy}	{Laurel}	{Hardy}	
{Laurel, Hardy}	×	×	×	$w_1$
{Laurel}	×	×	$w_2$	$w_3$
{Hardy}	×	$w_4$	×	$w_5$
$\emptyset$	$w_6$	$w_7$	$w_8$	$w_9$

## Princip intenzí v TILu

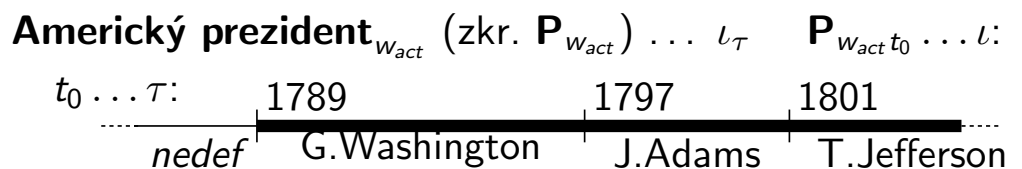
**být hubený** ... objekt typu  $(ol)_{\tau\omega}$ , funkce z možných světů a času do tříd individuí

$w$  ... proměnná typu  $\omega$ , možný svět

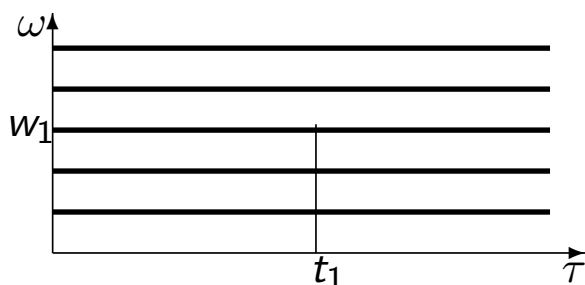
$t$  ... proměnná typu  $\tau$ , časový okamžik

**[být hubený  $w t$ ]** ... konstruuje  $(ol)$ -objekt, třídu individuí, kteří mají ve světě  $w$  a čase  $t$  vlastnost **být hubený** (značíme **být hubený<sub>wt</sub>**)

pokud aplikujeme jen  $w$  – získáme **chronologii**



**intenzionální sestup** – identifikace extenze pomocí intenze, světa  $w_1$  a času  $t_1$



## Nejčastější typy

<i>extenze</i>			<i>intenze</i>		
individua	...	$\iota$	individuové role	...	$\iota_{\tau\omega}$
třídy	...	$(o\iota)$	vlastnosti	...	$(o\iota)_{\tau\omega}$
relace	...	$(o\alpha\beta)$	vztahy	...	$(o\alpha\beta)_{\tau\omega}$
pravdivostní hodnoty	...	$o$	propozice	...	$o_{\tau\omega}, \pi$
funkce	...	$(\alpha\beta)$	empirické funkce	...	$(\alpha\beta)_{\tau\omega}$
čísla	...	$\tau$	veličiny	...	$\tau_{\tau\omega}$

## Konstrukce

### konstrukce v TILu:

- ▶ **proměnná** typu  $\alpha$ , v závislosti na **valuaci** konstruuje  $\alpha$ -objekt  
 $x \dots \iota$
- ▶ **trivializace** objektu **A** typu  $\alpha$ , konstruuje právě objekt **A**  
 ${}^0A \dots \alpha \quad \mathbf{A} \dots \alpha$
- ▶ **aplikace** konstrukce  $X \dots (\alpha\beta_1 \dots \beta_n)$  na konstrukce  $Y_1, \dots, Y_n$  typů  $\beta_1, \dots, \beta_n$ , konstruuje objekt typu  $\alpha$   
 $[XY_1 \dots Y_n] \dots \alpha$
- ▶ **abstrakce** konstrukce  $Y \dots \alpha$  na proměnných  $x_1, \dots, x_n$  typů  $\beta_1, \dots, \beta_n$ , konstruuje objekt/funkci typu  $(\alpha\beta_1 \dots \beta_n)$   
 $\lambda x_1 \dots x_n [Y] \dots (\alpha\beta_1 \dots \beta_n)$

## Příklady analýzy podstatných jmen

pes, člověk	$x \dots l: \mathbf{pes}_{wt}x,$ $\mathbf{pes}/(ol)_{\tau\omega}$	individuum z dané třídy individuí
prezident	$\mathbf{prezident}/l_{\tau\omega}$	individuová role
volitelnost	$\mathbf{volitelnost}/(ol_{\tau\omega})_{\tau\omega}$	vlastnost individuové role
výška	$\mathbf{výška}/(\tau l)_{\tau\omega}$	empirická funkce
výrok, tvrzení	$p \dots *n: \mathbf{výrok}_{wt}p,$ $\mathbf{výrok}/(o*n)_{\tau\omega}$	konstrukce propozice z dané třídy konstrukcí propozic
válka, smích, zvonění	$\mathbf{válka}/(o(o\pi))_{\omega}$	třída epizod – aktivita, která koresponduje se slo- vesem
leden, podzim	$\mathbf{leden}/(o(o\tau))$	třída časových okamžiků — časové intervaly

## Příklady přínosu TILu

### ► propoziční postoje

Petr říká, že Tom věří, že Země je kulatá.

$$\lambda w \lambda t \left[ \mathbf{řká}_{wt} Petr^0 \left[ \lambda w \lambda t \left[ \mathbf{věří}_{wt} Tom^0 \left[ \lambda w \lambda t \left[ \mathbf{kulatá}_{wt} Země \right] \right] \right] \right] \right]$$

### ► existence neexistujícího

Pes existuje. Jednorožec neexistuje.

$$\begin{aligned} \text{v PL1:} \quad & \exists x(x = \text{pes}) \quad \neg \exists x(x = \text{jednorožec}) \\ & (\text{jednorožec} = \text{jednorožec}) \Rightarrow (\exists x(x = \text{jednorožec})) \end{aligned}$$

v TILu:

$$(*) \quad \lambda w \lambda t \left[ {}^0 \neg [Ex_{wt} \mathbf{jednorožec}] \right], \quad Ex \stackrel{df}{=} \lambda w \lambda t \lambda p \left[ {}^0 \sum_l [\lambda x [p_{wt} x]] \right]$$

$$Ex \dots (o(ol)_{\tau\omega})_{\tau\omega}$$

(\*) ... "třída všech individuí s vlastností 'být jednorožcem' je v daném světě a čase prázdná."

### ► intenzionalita, vlastnosti vlastností, analýza epizod, analýza gramatického času, ...