# Sémantika a intenzionální sémantika

Aleš Horák

E-mail: hales@fi.muni.cz
http://nlp.fi.muni.cz/poc_lingv/

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?)
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, slovotvorba
- 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*

soutěž Recognizing Textual Entailment, od roku 2004

- úkol – dostaneme dva úseky textu a musíme (strojově) rozhodnout, jestli význam jednoho (*hypotéza*) vyplývá (je odvoditelný) z druhého (*text*)
- ```
  <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>
  ```
  ```

# 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`):
  - datové sady
  - jazykové zdroje využité v nástrojích
  - nástroje pro syntaktickou analýzu, rozpoznávání entit, určování podobnosti, ...

# Výzva Winograd Schema

Winograd Schema Challenge (WSC):

- vyhlásila firma Nuance v roce 2015, má se konat každý rok
- pojmenovaná po Terrym Winogradovi, autorovi dialogového systému SHRDLU v roce 1968
- řeší problém rozpoznávání anafor
- příklady

```
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
```

# Problémy při analýze přirozeného jazyka

- víceznačnost
- anaforické výrazy
- indexické výrazy
- nejasnost
- nekompozicionalita
- struktura promluvy
- metonymie
- metafory

# Víceznačnost

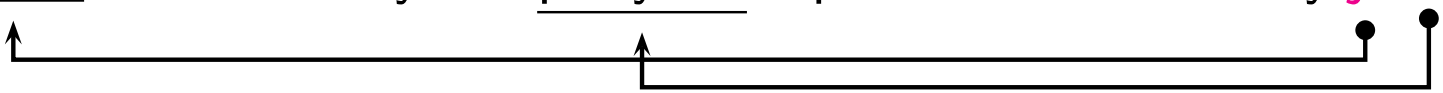
- *ambiguity*
- víceznačnost může být lexikální, syntaktická, sémantická a referenční
- lexikální – "stát," "žena," "hnát"
- syntaktická – "Jím špagety s masem."
  "Jím špagety se salátem."
  "Jím špagety s použitím vidličky."
  "Jím špagety se sebezapřením."
  "Jím špagety s přítelem."
- sémantická – "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
- "aligátoří boty," "basketbalové boty," "dětské boty"
- "pata sloupu"
- "červená kniha," "červené pero"
- "bílý trpaslík"
- "dřevěný pes," "umělá tráva"
- "velká molekula"

# Logická analýza přirozeného jazyka

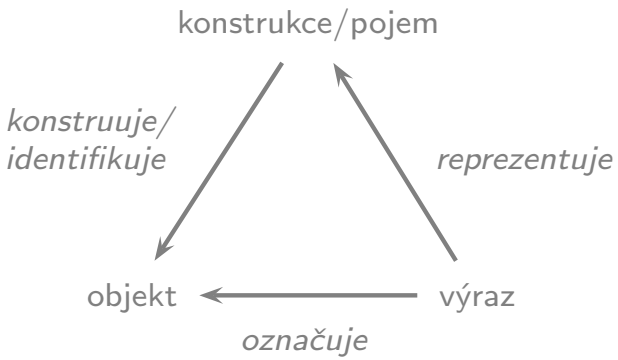
logická analýza PJ – analýza významu výrazů (vět) PJ
přirozený jazyk = nástroj *pojmového* uchopení reality
pojem – kritéria/procedury umožňující identifikovat různé konkrétní a abstraktní objekty

např. "planeta" – třída nebeských těles s určitými charakteristikami – obíhá po oběžné dráze kolem stálice, 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




složený z pojmů ‘autor’
a ‘Hamlet’

autor Hamleta

*konstruuje/*
*identifikuje*

*reprezentuje*

AH

“autor Hamleta”

*označuje*

funkce ukazující v našem světě
na Williama Shakespeara

# 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 individuy '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:

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

$\check{C}_1$ 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

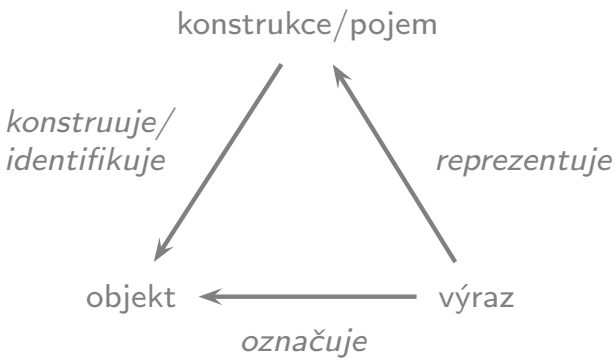
Definujeme:

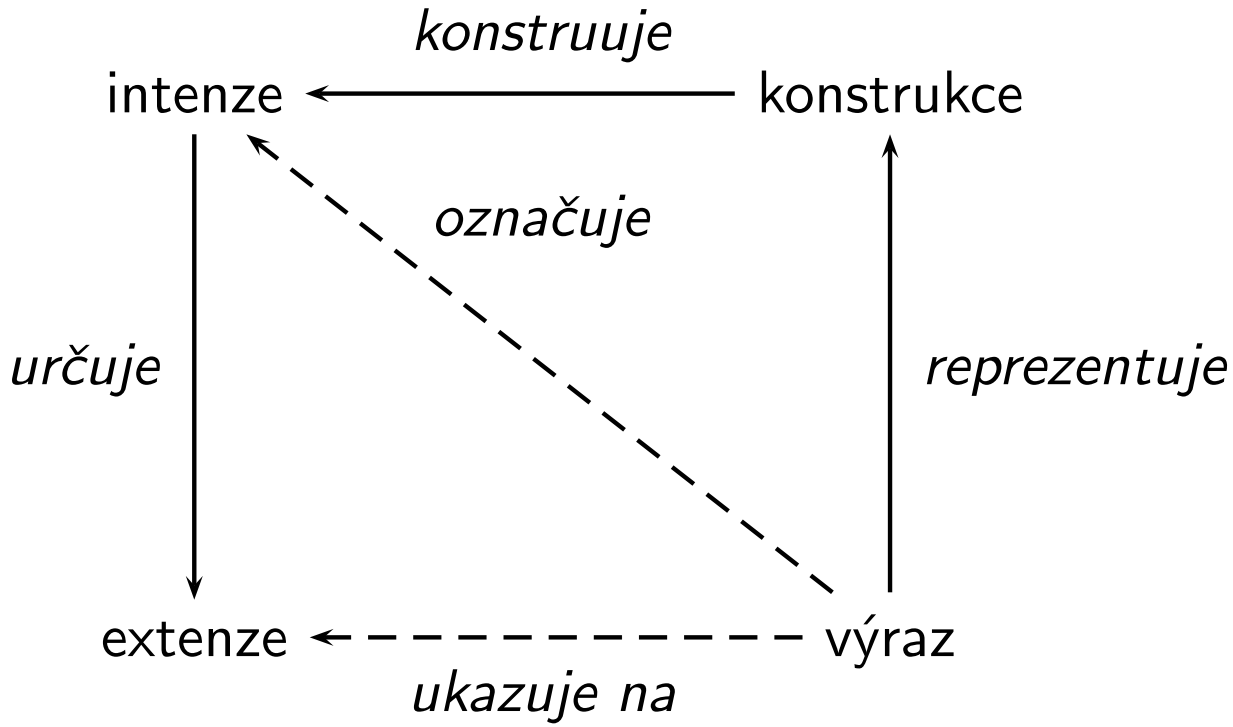
- intenze – objekty typu funkcí, jejichž hodnoty závisí na světě a čase
- extenze – ostatní objekty (na světě a čase nezávislé)

časté extenze a intenze:

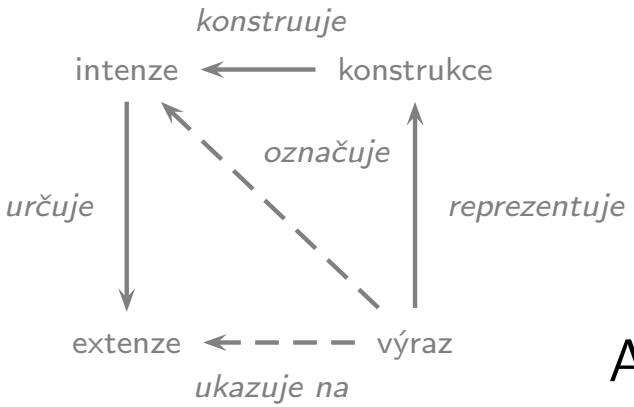
| *extenze* | *intenze* |
|---|---|
| individua | individuové role |
| třídy | vlastnosti |
| relace | vztahy |
| pravdivostní hodnoty | propozice |
| funkce | empirické funkce |
| čísla | veličiny |

# Rozšířený vztah výrazu a významu u intenzí



# Rozšířený vztah výrazu a významu u intenzí




konstruuje

AH ← autor Hamleta

označuje

určuje

reprezentuje

William Shakespear ← – – – – – – – – – “autor Hamleta”

ukazuje na

# 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 $\times$ 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. $\iota$, $((\iota\tau)\omega)$, $(o\iota)$, $(((o\iota)\tau)\omega)$, $((o\tau)\omega), \ldots$

  $((\alpha\tau)\omega)$ . . . 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 – $(oo), (ooo)$
- $\iota$ (jota) . . . třída individuí
  individua ovšem ne jako kompletní objekty, ale jako numerická identifikace nestrukturované entity
- $\tau$ (tau) . . . třída časových okamžiků (jako časového kontinua)
  zachycení závislosti na čase; současně třída reálných čísel
- $\omega$ (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 ≡ 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 tlustý | | | |
|---|---|---|---|---|
| být hubený | $\{Laurel, Hardy\}$ | $\{Laurel\}$ | $\{Hardy\}$ | $\emptyset$ |
| $\{Laurel, Hardy\}$ | × | × | × | $w_1$ |
| $\{Laurel\}$ | × | × | $w_2$ | $w_3$ |
| $\{Hardy\}$ | × | $w_4$ | × | $w_5$ |
| $\emptyset$ | $w_6$ | $w_7$ | $w_8$ | $w_9$ |

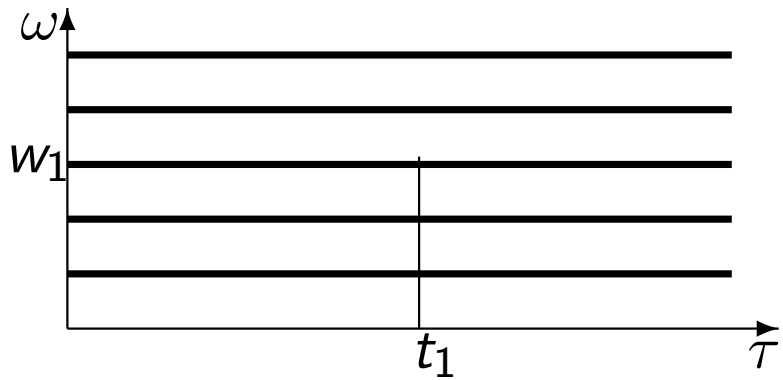
# Princip intenzí v TILu

| | | |
|---|---|---|
| být hubený | ... | objekt typu $(o\iota)_{\tau\omega}$, 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 $(o\iota)$-objekt, třídu individuí, kteří mají ve světě $w$ a čase $t$ vlastnost být hubený (značíme **být hubený**$_{wt}$) |

pokud aplikujeme jen $w$ – získáme chronologii

**Americký prezident**$_{w_{act}}$ (zkr. $\mathbf{P}_{w_{act}}$) ... $\iota_\tau$ $\mathbf{P}_{w_{act}\,t_0}$ ... $\iota$:

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



# Nejčastější typy

| *extenze* | | | *intenze* | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 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
  $x \ldots \iota$
- trivializace objektu A typu $\alpha$, konstruuje právě objekt A
  ${}^0\mathrm{A} \ldots \alpha \qquad \mathbf{A} \ldots \alpha$
- aplikace konstrukce $X \ldots (\alpha\beta_1 \ldots \beta_n)$ na konstrukce $Y_1, \ldots, Y_n$ typů $\beta_1, \ldots, \beta_n$, konstruuje objekt typu $\alpha$
  $[XY_1 \ldots Y_n] \ldots \alpha$
- abstrakce konstrukce $Y \ldots \alpha$ na proměnných $x_1, \ldots, x_n$ typů $\beta_1, \ldots, \beta_n$, konstruuje objekt/funkci typu $(\alpha\beta_1 \ldots \beta_n)$
  $\lambda x_1 \ldots x_n[Y] \ldots (\alpha\beta_1 \ldots \beta_n)$

# Příklady analýzy podstatných jmen

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

# Příklady přínosu TILu

- propoziční postoje

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

  $$\lambda w \lambda t \Big[ \mathbf{říká}_{wt}\, Petr^0 \Big[ \lambda w \lambda t \big[ \mathbf{věří}_{wt}\, Tom^0 \big[ \lambda w \lambda t [\mathbf{kulatá}_{wt}\, \mathbf{Země}] \big] \big] \Big] \Big]$$

- existence neexistujícího

  Pes existuje. Jednorožec neexistuje.

  v PL1: $\exists x(x = \text{pes})$ $\neg\exists x(x = \text{jednorožec})$

  $(\text{jednorožec} = \text{jednorožec}) \Rightarrow (\exists x(x = \text{jednorožec}))$

  v TILu:

  $$(*) \quad \lambda w \lambda t \big[ {}^0\neg [Ex_{wt}\, \mathbf{jednorožec}] \big], \quad Ex \overset{df}{=} \lambda w \lambda t \lambda p \Big[ {}^0\textstyle\sum_{\iota} \big[ \lambda x [p_{wt}\, x] \big] \Big]$$

  $$Ex \ldots (o(o\iota)_{\tau\omega})_{\tau\omega}$$

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

- intenzionalita, vlastnosti vlastností, analýza epizod, analýza gramatického času