Zpracování přirozeného jazyka

Aleš Horák

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

Obsah:

- Komunikace
- Gramatiky a syntaktická analýza
- Analýza přirozeného jazyka
- PA026 – Projekt z umělé inteligence

Přirozený jazyk – prostředek komunikace

komunikace = cílená výměna informace pomocí produkce a vnímání (sdílených) pokynů

– zvířata – až stovky pokynů (šimpanz, delfín, . . .)
– člověk – potenciálně neomezené množství, díky přirozenému jazyku

2 náhledy na **přirozený jazyk**:

- klasický (před 1953) – jazyk se skládá z vět, které jsou buď pravdivé nebo nepravdivé (srovnej s logikou)
- moderní (po 1953) – užití jazyka je jedna z možných akcí
  Wittgenstein (1953) Philosophical Investigations
  Searle (1969) Speech Acts

Turingův test založen na jazyku $\Leftarrow$ jazyk je pevně spojen s myšlením

komunikace se tvoří pomocí **řečových aktů** (*speech acts*) jako jeden z typů agentových akcí
cíl komunikace – změnit akce ostatních agentů

Řečové akty

Komunikační situace
Mluvčí (*speaker*) → **Promluva** (*utterance*) → Posluchač (*hearer*)

řečové akty směřují k naplnění cílů mluvčího:

– informovat (inform)	"Před tebou je jáma."
– ptát se (query)	"Vidíš zlato?"
– přikázat/žádat (command/request)	"Zvedni to."
– slíbit/svěřit se s plánem (promise, commit to plan)	"Rozdělím se s tebou o zlato."
– potvrdit (acknowledge)	"OK"

plánování řečových aktů vyžaduje znalosti:

- komunikační situace
- sémantiky a syntaxe (sdílených konvencí)
- informace o Posluchači – cíle, znalosti, rozumnost

Komunikační fáze (při informování)

průběh promluvy je možné rozložit na **fáze**:

- záměr (intention) — M chce informovat Po, že Pr
- generování (generation) — M vybírá slova W pro vyjádření Pr
- syntéza (synthesis) — M říká slova W

- vnímání (perception) — Po vnímá W'
- analýza (analysis) — Po odvozuje možné významy $Pr_1, \ldots, Pr_n$
- zjednoznačnění (disambiguation) — Po vybírá zamýšlený význam Pr_i
- zahrnutí (incorporation) — Po zahrne Pr_i do své báze znalostí

Může přitom vzniknout chyba?

- neupřímnost (Po nevěří Pr)
- víceznačnost promluvy (Po zvolí špatné Pr_i)
- různé pochopení aktuální situace (zamýšlený význam mezi Pr_i není)

Komunikační fáze – příklad

Mluvčí

záměr	generování	syntéza
$Vědět(Po, \neg Na\_živu(Wumpus_1, S_3))$	"Wumpus je mrtvý."	[v u m p u s j e m r t v i:]

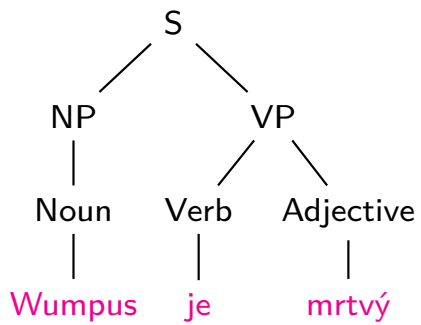
Posluchač

vnímání

"Wumpus je mrtvý."

analýza

syntaktická analýza:



sémantická interpretace: $\neg Na\_živu(Wumpus, Teď)$ $Unavený(Wumpus, Teď)$

pragmatická interpretace: $\neg Na\_živu(Wumpus_1, S_3)$ $Unavený(Wumpus_1, S_3)$

zjednoznačnění

$\neg Na\_živu(Wumpus_1, S_3)$

zahrnutí

$Tell(KB, \neg Na\_živu(Wumpus_1, S_3))$

Gramatiky a syntaktická analýza

zvířata používají místo vět izolované symboly ⇒ omezená sada komunikovatelných situací → žádná generativní kapacita

gramatika specifikuje skladební strukturu složených pokynů – definuje formální jazyk pokynů

formální jazyk = množina řetězců (vět) teminálních symbolů (slov)

2 náhledy na vztah věty a gramatiky:

- S je správný řetězec/věta z jazyka ⇔ S je analyzovatelný danou gramatikou
- příslušná gramatika generuje S ⇔ S je správný řetězec/věta z jazyka

gramatika je zadána jako množina přepisovacích pravidel

$$S \rightarrow NP\ VP$$
$$Pronoun \rightarrow já \mid ty \mid on \mid \ldots$$

v tomto příkladu:

S	větný symbol – kořenový symbol gramatiky
NP, VP	neterminály
já, ty, ...	terminály

Typy gramatik

- regulární (regular) neterminál → **terminál**[neterminál]

  $S \rightarrow \boldsymbol{a}S$

  $S \rightarrow \boldsymbol{b}$

  ekvivalentní síle konečných automatů, neumí $a^n b^n$
- bezkontextové (context-free) neterminál → cokoliv

  $S \rightarrow \boldsymbol{a}S\boldsymbol{b}$

  ekvivalentní síle zásobníkových automatů, umí $a^n b^n$, neumí $a^n b^n c^n$
- kontextové (context-sensitive) – víc termů na levé straně (*kontext* neterminálu)

  $\underline{A}S\underline{B} \rightarrow \underline{A}A\boldsymbol{a}B\underline{B}$

  umí $a^n b^n c^n$
- rekurzivně vyčíslitelné (recursively enumerable) – bez omezení

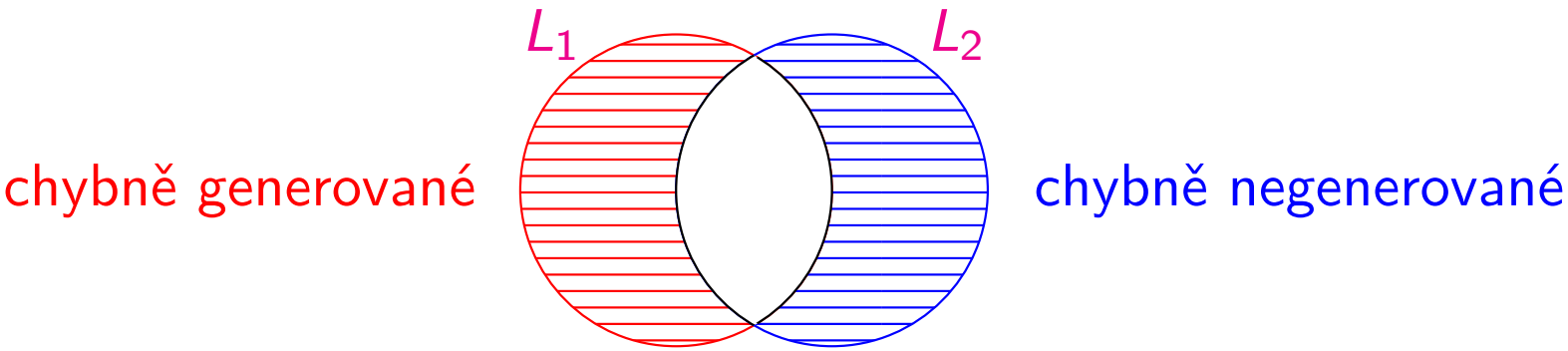
  ekvivalentní síle Turingova stroje

přirozený jazyk byl dlouho pokládán za bezkontextový → nyní prokázáno, že obsahuje kontextové prvky

Přesnost a pokrytí gramatiky

u složitějších jazyků (např. přirozených)

→ jazyk L_1 (generovaný gramatikou) se liší od zamýšleného jazyka L_2



kvalita gramatiky:

- **pokrytí** – procento vět jazyka L_2 generovatelných gramatikou ($|L_1 \cap L_2|/|L_2|$)
- **přesnost** – procento generovaných vět, které jsou správné věty jazyka L_2($|L_1 \cap L_2|/|L_1|$)
- kombinová **F-míra** – harmonický průměr $2 \cdot \frac{\textit{přesnost} \cdot \textit{pokrytí}}{\textit{přesnost} + \textit{pokrytí}}$

tvorba gramatiky . . . postupný proces zvyšování pokrytí a přesnosti gramatiky přirozených jazyků – velmi rozsáhlé a přesto většinou nepopisují plně ani angličtinu ☹

Gramatiky pro analýzu jazyka

využívané pro **syntaktickou analýzu**

- pro lokální varianty – regulární gramatiky (regulární výrazy, např. pro *extrakci informací*)
- pro vyjmenované větné struktury – bezkontextové gramatiky
- pro plný jazyk – (mírně) kontextové gramatiky
- praktické nástroje – většinou rozšíření bezkontextových gramatik (CFG):
  - Prolog – definite clause grammars, DCG
  - Java, Python – ANTLR (**AN**other **T**ool for **L**anguage **R**ecognition)

```
grammar Expr;
prog:   (expr NEWLINE)* ;
expr:   expr ('*'|'/') expr
    |   expr ('+'|'-') expr
    |   INT
    |   '(' expr ')'
    ;
NEWLINE: [\r\n]+ ;
INT: [0-9]+ ;
```

Gramatika – příklad 1

gramatika vět typu "The young boy sings a song."

 # 1. část – pravidla

sentence → noun_phrase, verb_phrase.

noun_phrase → determiner, noun_phrase2.
noun_phrase → noun_phrase2.
noun_phrase2 → adjective, noun_phrase2.
noun_phrase2 → noun.

verb_phrase → verb.
verb_phrase → verb, noun_phrase.

 # 2. část – lexikon

determiner → 'the'.
determiner → 'a'.
verb → 'sings'.
noun → 'boy'.
noun → 'song'.
adjective → 'young'.

sentence(['the', 'young', 'boy', 'sings', 'a', 'song']).
True

Lexikon pro agenta ve Wumpusově jeskyni

Gramatika přímo na slovech je příliš rozsáhlá. Řešením je rozdělení slov do **kategorií**:

podst. jméno:	*Noun*	→	zápach | vánek | třpyt | nic | wumpuse | jáma | zlato | ...
sloveso:	*Verb*	→	jsem | je | vidím | cítím | působí | zapáchá | jdu | ...
příd. jméno:	*Adjective*	→	levý | pravý | východní | jižní | ...
příslovce:	*Adverb*	→	tady | tam | blízko | vpředu | vpravo | vlevo | východně | jižně | vzadu | ...
vl. jméno:	*Name*	→	Petr | Honza | Brno | FI MU | ...
zájmeno:	*Pronoun*	→	já | ty | mě | toho | ten | ta ...
předložka:	*Preposition*	→	do | v | na | u | ...
spojka:	*Conjunction*	→	a | nebo | ale | ...
číslice:	*Digit*	→	0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9

kategorie můžeme dělit na otevřené (vyvíjející se) a uzavřené (stálé)

Morfologická analýza

- v češtině u lexikonu nestačí prostý výčet tvarů – je nutná morfologická analýza (morfologie=tvarosloví)
- skloňovaná a časovaná slova se rozkládají na segmenty

  pří-lež-it-ost-n-ými:
  pří – prefix; *lež* – kořen; *it*, *ost*, *n* – suffixy; *ými* – koncovka

- základní tvar slova (*lemma*), podle koncovky se určují gramatické kategorie

  # slovník základních gramatických kategorií: ***sl_druh****(lemma, pád, číslo, rod)* $\rightarrow$ *slovo.*

  adj('chytrý', '1', 'j', 'mž') $\rightarrow$ 'chytrý'.
  adj('chytrý', '2', 'j', 'mž') $\rightarrow$ 'chytrého'.
  adj('chytrý', '1', 'mn', 'mž') $\rightarrow$ 'chytří'.

- reálná morfologická analýza ČJ – program Majka na FI MU

  `http://nlp.fi.muni.cz/projekty/wwwajka/`

```
ajka>nejneuvěřitelněji
<s> nej-ne=uvěřiteln==ěji= (1022)
    <l>uvěřitelně
    <c>k6xMeNd3
```

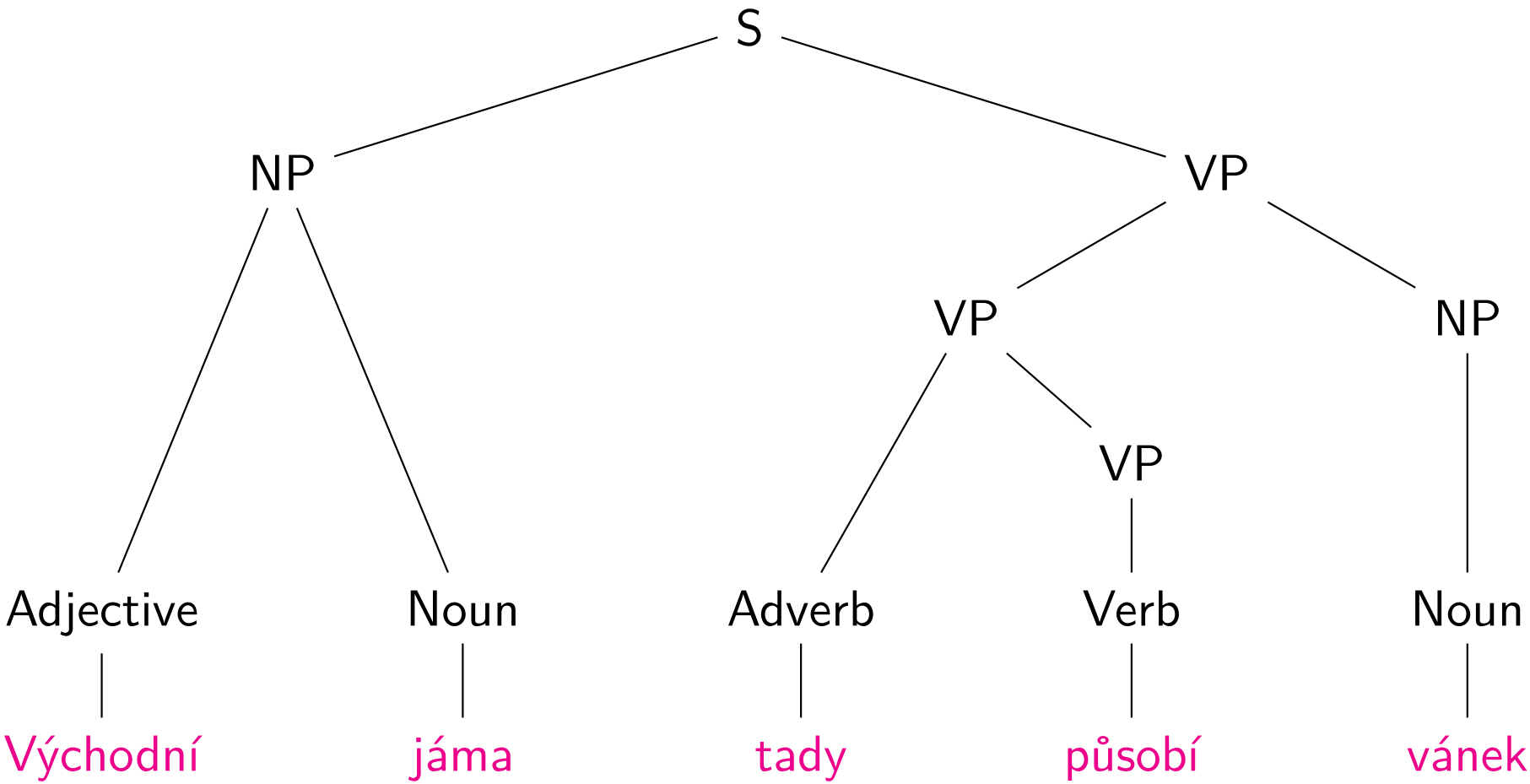
```
ajka>hnát
<s> ==hná=t= (618)
    <l>hnát
    <c>k5eAmFaI
<s> =hnát=== (1030)
    <l>hnát
    <c>k1gInSc1,k1gInSc4
```

Gramatická pravidla pro agenta ve Wumpusově jeskyni

S	→	*NP VP*	%	já + cítím vánek
	|	*S Conjunction S*	%	já cítím vánek + a + já jdu
			%	na východ
NP	→	*Pronoun*	%	já
	|	*Noun*	%	jáma
	|	*Adjective Noun*	%	levá jáma
	|	*Pronoun NP*	%	toho + wumpuse
	|	*Noun Digit* ',' *Digit*	%	pole + 3,4
	|	*NP PP*	%	jáma + na východě
	|	*NP RelClause*	%	toho wumpuse + ,který
			%	zapáchá
VP	→	*Verb*	%	zapáchá
	|	*VP NP*	%	cítím + vánek
	|	*VP Adjective*	%	je + třpytivý
	|	*VP PP*	%	jdu + na východ
	|	*VP Adverb* | *Adverb VP*	%	jdu + dopředu
PP	→	*Preposition NP*	%	na + východ
RelClause	→	', který' *VP*	%	,který + zapáchá

Syntaktický strom

syntaktický strom vzniká během syntaktické analýzy a dává záznam o jejím průběhu:



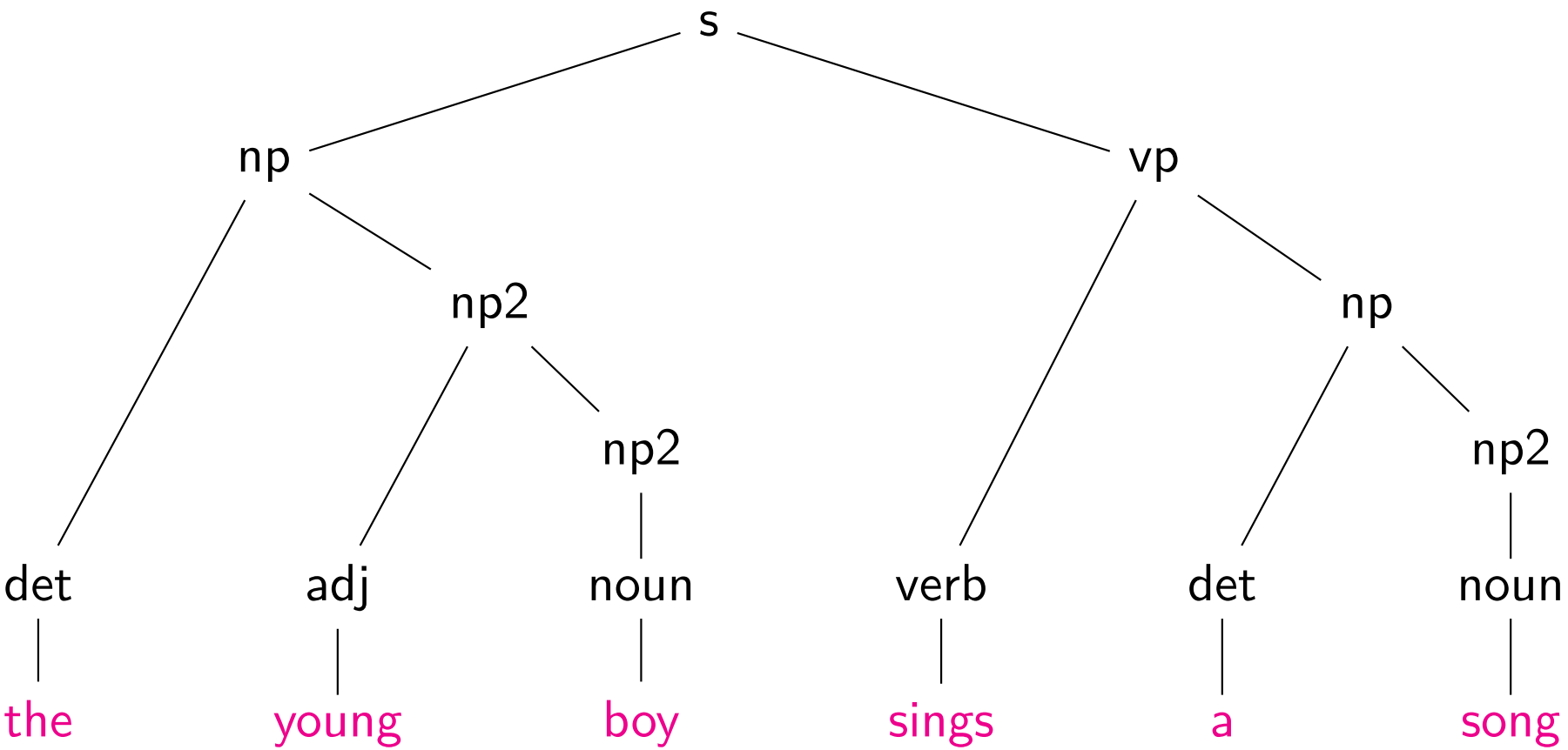
Konstrukce derivačního stromu

Neterminály opatříme argumentem:

```
sentence(sentence(NP,VP)) --> noun_phrase(NP), verb_phrase(VP).


sentence(s(N,V)) --> noun_phrase(N), verb_phrase(V).
noun_phrase(np(D,N)) --> determiner(D), noun_phrase2(N).
noun_phrase(np(N)) --> noun_phrase2(N).
noun_phrase2(np2(A,N)) --> adjective(A), noun_phrase2(N).
noun_phrase2(np2(N)) --> noun(N).
verb_phrase(vp(V)) --> verb(V).
verb_phrase(vp(V,N)) --> verb(V), noun_phrase(N).

determiner(det(the)) --> 'the'.
determiner(det(a)) --> 'a'.
adjective (adj(young)) --> 'young'.
noun(noun(boy)) --> 'boy'.
noun(noun(song)) --> 'song'.
verb(verb(sings)) --> 'sings'.

sentence(Tree, ['the', 'young', 'boy', 'sings', 'a', 'song'])
    Tree=s(np(det('the'),np2(adj('young'),np2(noun('boy')))),
           vp(verb('sings'),np(det('a'),np2(noun('song')))))
```

Derivační strom analýzy v gramatikách

```
sentence(Tree, ['the', 'young', 'boy', 'sings', 'a', 'song'], []).
    Tree=s(np(det('the'), np2(adj('young'), np2(noun('boy')))),
           vp(verb('sings'), np(det('a'), np2(noun('song')))))
```



Test na shodu

Pokud však rozšíříme slovník:

```
noun(noun(boys)) → 'boys'.
verb(verb(sing)) → 'sing'.
```

Narazíme na problém se shodou v čísle:

```
sentence(_,['a', 'young', 'boys', 'sings']).
    True

sentence(_,['a', 'boy', 'sing']).
    True
```

Proto rozšíříme neterminály o další argument **Num**, ve kterém můžeme testovat shodu:

```
sentence(sentence(NP,VP)) → noun_phrase(NP, Num), verb_phrase(VP, Num).
```

Gramatika s testy na shodu

```
sentence(sentence(N,V)) → noun_phrase(N, Num), verb_phrase(V, Num).
noun_phrase(np(D,N), Num) → determiner(D, Num), noun_phrase2(N, Num).
noun_phrase(np(N), Num) → noun_phrase2(N, Num).
noun_phrase2(np2(A,N), Num) → adjective(A), noun_phrase2(N, Num).
noun_phrase2(np2(N), Num) → noun(N, Num).
verb_phrase(vp(V), Num) → verb(V, Num).
verb_phrase(vp(V,N), Num) → verb(V, Num), noun_phrase(N, Num1).

determiner(det(the), _) → 'the'.        noun(noun(boy), sg) → 'boy'.
determiner(det(a), sg) → 'a'.           noun(noun(song), sg) → 'song'.
verb(verb(sings), sg) → 'sings'.        noun(noun(boys), pl) → 'boys'.
verb(verb(sing), pl) → 'sing'.          noun(noun(songs), pl) → 'songs'.
adjective (adj(young)) → 'young'.

sentence(_, ['a', 'young', 'boys', 'sings']).
    False
sentence(_, ['the', 'boys', 'sings', 'a', 'song']).
    False
sentence(_, ['the', 'boys', 'sing', 'a', 'song']).
    True
```

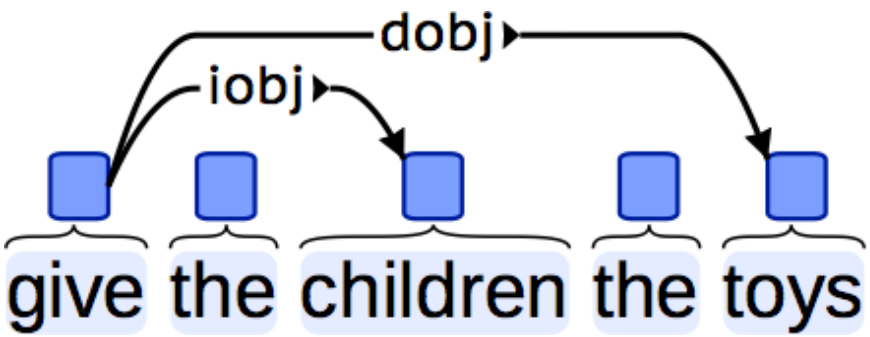
Generativní síla gramatik

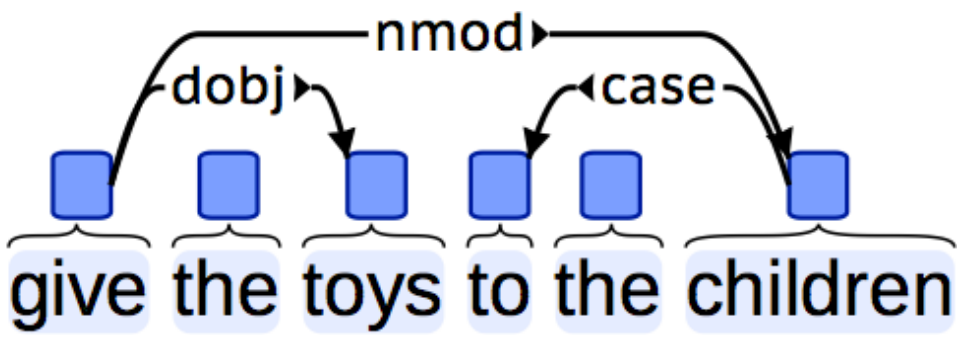
Generativní (rozpoznávací) síla analyzačních gramatik je často větší než CFG např. jazyk $a^n b^n c^n$:

```
abc → a(N), b(N), c(N).

a(0) → [].      # ϵ
a(s(N)) → 'a', a(N).

b(0) → [].
b(s(N)) → 'b', b(N).

c(0) → [].
c(s(N)) → 'c', c(N).

abc(X,[]).
X = []
X = ['a', 'b', 'c']
X = ['a', 'a', 'b', 'b', 'c', 'c']
X = ['a', 'a', 'a', 'b', 'b', 'b', 'c', 'c', 'c']
...
```

Syntaktická analýza pomocí strojového učení

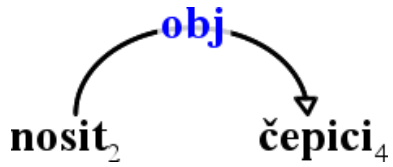
- využití anotovaných stromových korpusů (*treebanks*)
- lidé anotují textový korpus – doplní syntaktické stromy
- **strojové učení** hledá pravidla/váhy parametrů
- univerzální napříč jazyky (do jisté míry)
- anotování je drahé
- modifikace pro různé účely je obtížnější
- často není dost dat



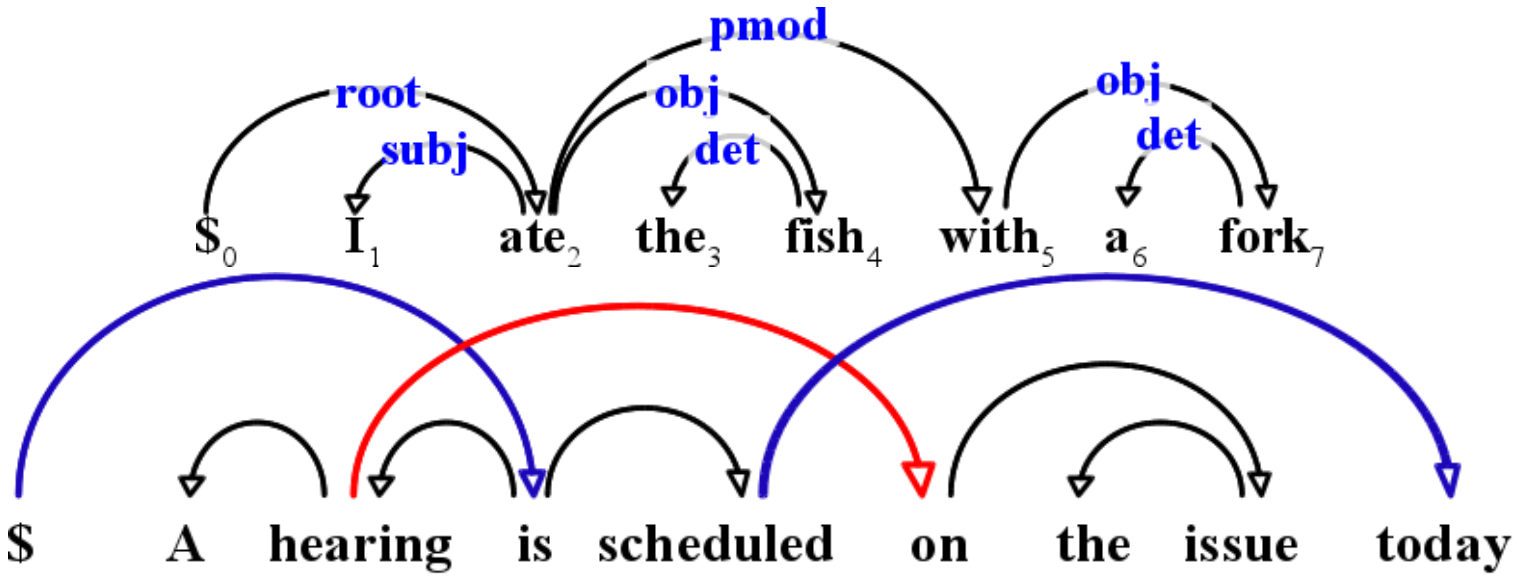


Závislostní analýza

- jedna hrana pro každé slovo
  - **hlava** – řídící slovo
  - **závislé/rozvíjející** slovo – modifikátor
  - **typ** – popisek hrany



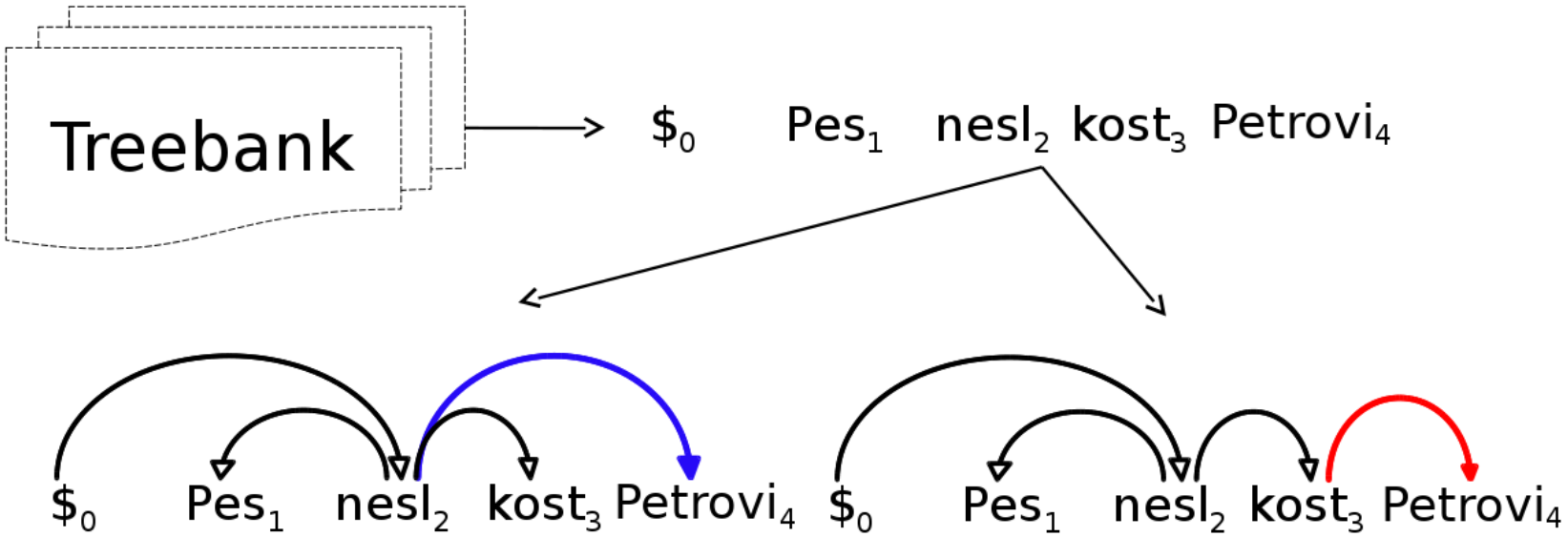
- obtížné pro neprojektivní stromy



Example from "Dependency Parsing" by Kübler, Nivre, and McDonald, 2009

Online učení skóre hrany

učení **matice vah rysů w**



správný strom Y^+

nejlepší analýza Y^-
s váhami $\mathbf{w}^{(k)}$

$$\mathbf{w}^{(k+1)} = \mathbf{w}^{(k)} + \mathbf{f}(\mathbf{X}, \mathbf{Y}^+) - \mathbf{f}(\mathbf{X}, \mathbf{Y}^-)$$

Význam syntaktické analýzy

- analýza **syntaxe** je podkladem pro analýzu významu
- většina teorií analýzy významu využívá **princip kompozicionality**:

  Význam složeného výrazu je funkcí významu jednotlivých podvýrazů

- proces **sémantické analýzy**:
  - buď vychází z výsledků syntaktické analýzy
  - nebo probíhá současně se syntaktickou analýzou; pak může zasahovat i do tvorby syntaktického stromu

Problémy při analýze přirozeného jazyka

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

Víceznačnost

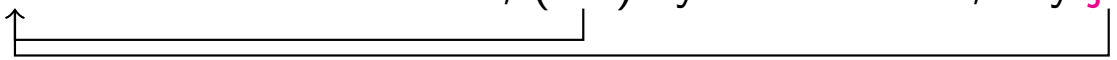
- *ambiguity*
- **víceznačnost** může být lexikální, syntaktická, sémantická a referenční
- lexikální – "stát," "žena," "hnát"
- syntaktická – "Jím špagety s masem."
  "Jím špagety se salátem."
  "Jím špagety s použitím vidličky."
  "Jím špagety se sebezapřením."
  "Jím špagety s přítelem."
- sémantická – "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

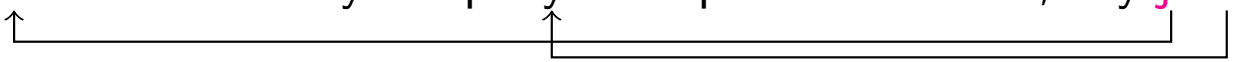
anaforické výrazy:

- *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 nebo 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”

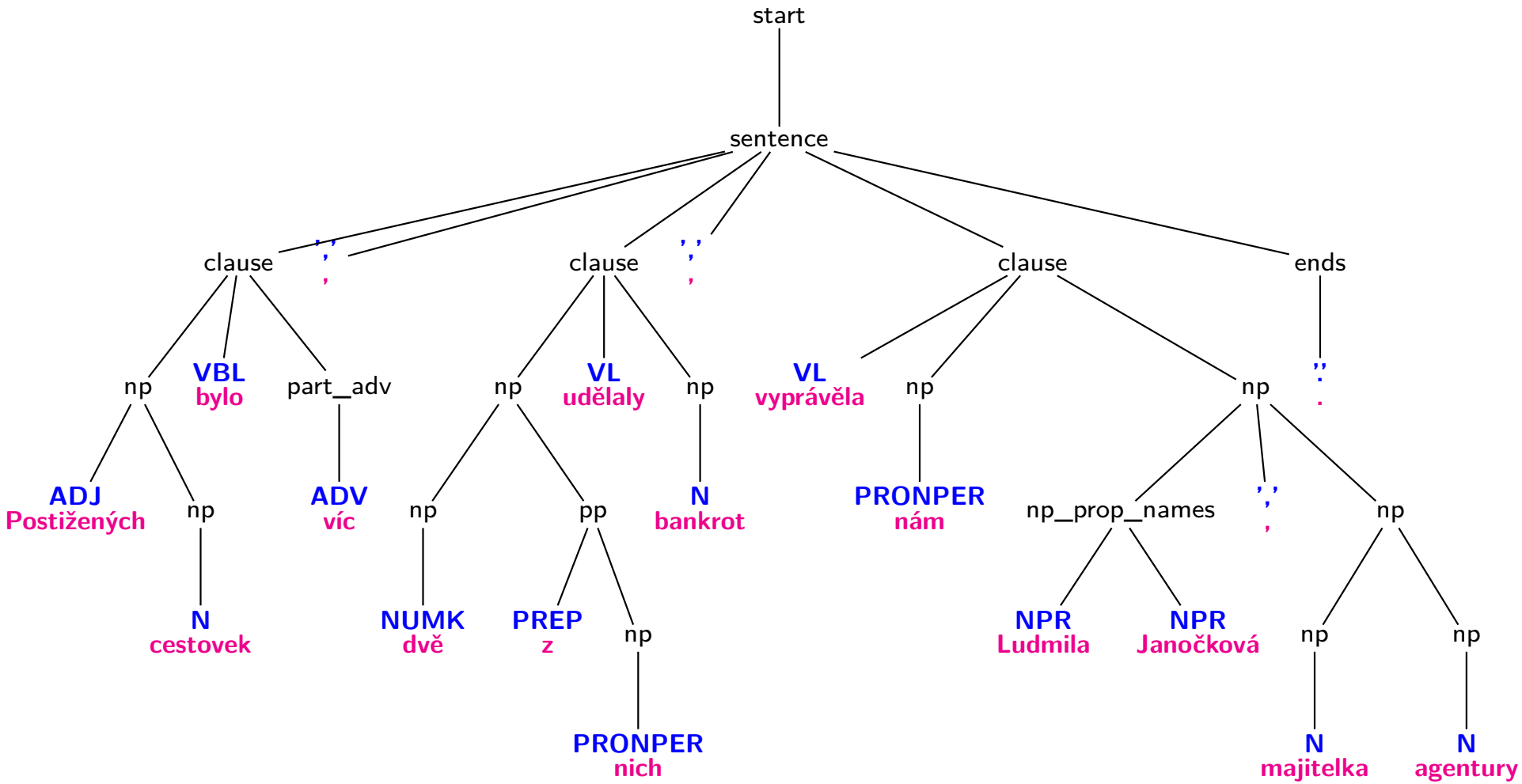
Reálná syntaktická analýza přirozeného jazyka

- velice rozsáhlé gramatiky (desítky až stovky tisíc pravidel)
- silná víceznačnost – někdy až obrovské množství (>milióny) možných syntaktických stromů

> ***Obehnat*** *Šalounův pomník mistra Jana Husa na pražském Staroměstském náměstí živým plotem z hustých keřů s trny* ***navrhuje*** *občanské* ***sdružení*** *Společnost Jana Jesenia.*

- existují efektivní algoritmy pro takové gramatiky
  např. tabulkový analyzátor (*chart parser*), beží v $O(n^3)$, tisíce slov/sekundu

Příklad stromu analýzy v systému synt



http://nlp.fi.muni.cz/projekty/wwwsynt/

Příklad logické analýzy v systému synt

Když je pořádná zima s množstvím sněhu, ani velký nával návštěvníků přírodě příliš nevadí.

$$\lambda w_1 \lambda t_2 \Big[\mathbf{když\_ani}_{w_1 t_2},$$

$$\lambda w_3 \lambda t_4 (\exists i_5) \Big(\big[\mathbf{pořádný}_{w_3 t_4}, i_5 \big] \ \wedge \ \big[\mathbf{zima}_{w_3 t_4}, i_5 \big] \ \wedge$$

$$\Big[\big[\mathbf{s}_{w_3 t_4}, [\mathbf{Of}, \mathbf{množství}, \mathbf{sníh}] \big]_{w_3 t_4}, i_5 \Big] \Big),$$

$$\lambda w_6 \lambda t_7 \Big[\mathbf{Not}, \Big[\mathbf{True}_{w_6 t_7}, \lambda w_8 \lambda t_9 (\exists x_{10}) (\exists i_{11}) (\exists i_{12}) \Big($$

$$\big[\mathbf{Does}_{w_8 t_9}, i_{12}, [\mathbf{Imp}_{w_8}, x_{10}] \big] \ \wedge \ \big[\mathbf{příroda}_{w_8 t_9}, i_{11} \big] \ \wedge$$

$$x_{10} \ \subset \ [\mathbf{vadit}, i_{11}]_{w_8} \ \wedge \ [\mathbf{příliš}, x_{10}] \ \wedge$$

$$\Big[\big[\mathbf{velký}, [\mathbf{Of}, \mathbf{nával}, \mathbf{návštěvník}] \big]_{w_8 t_9}, i_{12} \Big] \Big) \Big] \Big] \Big] \ldots o_{\tau\omega}$$

NLP – Natural Language Processing

část umělé inteligence zaměřená na **zpracování textu a řeči**

Významné úkoly v NLP (předmět IA161)

- analýza textu v přirozeném jazyce – morfologická, syntaktická, sémantická
- generování textu v přirozeném jazyce
- syntéza a rozpoznávání řeči
- získávání informací (Information retrieval)
- extrakce informací (Information extraction, Text mining)
- určení typu dokumentu (Text classification/clustering)
- strojový překlad (Machine translation)
- odpovídání na otázky (Question answering)
- korektura textu (Spell-checking, Grammar checking)
- výtah z textu (Text summarization)
- určení stylu dokumentu/autora (Stylometry, Authorship attribution)
- porozumění (obsahu) textu (Natural language understanding)
- komunikace člověk-stroj (Man-machine communication, Chatbots)

  `https://beta.openai.com/playground`

PA026 – Projekt z umělé inteligence

- navazuje na předmět *PB016 Úvod do umělé inteligence*
- volba programovacího jazyka není omezena
- samostatná volba tématu v rozsahu ≥ 1 semestru
- předmět probíhá jako prezentace a konzultace
- zajímavé výsledky (`http://nlp.fi.muni.cz/uiprojekt/`)
  - projekt elnet – > 5 let spolupráce na grantových projektech simulace elektrorozvodných sítí
  - projekt plagiaty_z_webu – vyhledávání shod s dokumenty na celém webu
  - projekt robot_johnny_5 – sestavení a "oživení" robota – mobilního počítače
  - robot Karel Pepper – `https://nlp.fi.muni.cz/projects/pepper`