

# Syntaxe – gramatiky a syntaktické struktury

Aleš Horák

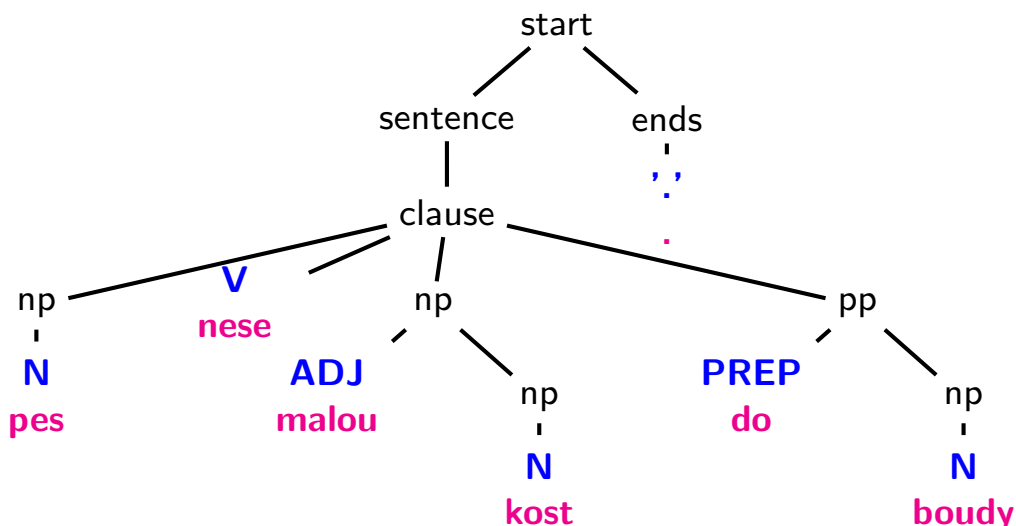
E-mail: [hales@fi.muni.cz](mailto:hales@fi.muni.cz)  
[http://nlp.fi.muni.cz/poc\\_lingv/](http://nlp.fi.muni.cz/poc_lingv/)

Obsah:

- ▶ Syntaxe, syntaktická analýza
- ▶ Základní termíny
- ▶ Specifikace gramatik
- ▶ Chomského teorie syntaxe
- ▶ Východiska syntaktické analýzy

## Syntaxe, syntaktická analýza

- ▶ **syntaxe** – charakterizace dobře utvořených kombinací slovních tvarů do **věty** nebo **fráze**
- ▶ pomocí **gramatických pravidel**
- ▶ výstup ze syntaktické analýzy (např. derivační strom) tvoří často **vstup pro analýzu sémantickou**



# Syntaktická analýza programovacích × přirozených jazyků

- ▶ počítačové programy a přirozené jazyky sdílí **teorii formálních jazyků** a praktický zájem o **efektivní algoritmy** analýzy
- ▶ ALGOL 60 – první programovací jazyk popsán pomocí **Backus-Naurovy formy (BNF)**

```

<if_statement> ::= if <boolean_expression> then
                    <statement_sequence>
                    [ else
                      <statement_sequence> ]
                    end if ;

```

- ▶ dokázalo se, že BNF je **ekvivalentní** CFG (1962) → podnítilo výzkum formálních jazyků z hlediska jazyků přirozených

## Typy gramatik

gramatiky:

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

$$\begin{array}{l} S \rightarrow aS \\ S \rightarrow b \end{array}$$

ekvivalentní síle **konečných automatů**,  
neumí  $a^n b^n$

- ▶ **bezkontextové** (context-free)      neterminál → cokoliv  
ekvivalentní síle **zásobníkových**

$$S \rightarrow aSb$$

**automatů**, umí  $a^n b^n$ , neumí  $a^n b^n c^n$

- ▶ **kontextové** (context-sensitive) – víc termů na levé straně (*kontext* neterminálu)

$$\underline{A}S\underline{B} \rightarrow \underline{A}Aa\underline{B}B$$

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**

## Gramatiky přirozeného jazyka

- ▶ konkrétní popis **gramatiky přirozeného jazyka** je velmi složitým úkolem
- ▶ kontrast s faktem, že rodilí mluvčí nemívají potíže s pochopením významu vět
- ▶ asi **nejstarší formální popis jazyka** – gramatika sanskrtu od indického učence Paniniho



संस्कृत भारती

- vznikla cca 400 př.n.l.
- dochovaná v rituálních védických textech
- gramatika podobná BNF (Backus-Naurově formě)
- používala bezkontextových i kontextových pravidel, obsahovala asi 1700 termů
- zabývala se z větší části morfologií, nikoliv syntaxí, neboť pořádek slov je v sanskrtu dosti volný
- toto dílo bylo evropské škole obecné lingvistiky, která má kořeny v řecké a římské tradici, neznámé až do 19. století

## Základní termíny

- ▶ **fráze** (*phrase*) – jednotka jazyka větší než slovo, ale menší než věta  
např. *jmenná fráze*, *slovesná fráze*, *adjektivní fráze* nebo *přísllovečná fráze*
- ▶ **lexikální symbol**, **lexikální kategorie** (*lexical category*) tzv. **pre-terminál**  
speciální neterminál gramatiky, který se přímo přepisuje na terminálový řetězec znaků, tj. pravidla tvaru  $X \rightarrow w$

N	→	pes		člověk		dům ...
V	→	nese		chodit		psal ...
ADJ	→	...				
PREP	→	...				
ADV	→	...				

označuje všechny slova, která odpovídají určitému lexikálnímu symbolu (všechna podstatná jména, přídavná jména, ...)

## Základní termíny – pokrač.

► **frázová kategorie** (*phrasal category*)

neterminální symbol gramatiky, který nevyjadřuje lexikální kategorii

ADJP	→	ADJP	ADJ
NP	→	ADJP	N
VP	→	V	NP
S	→	NP	VP

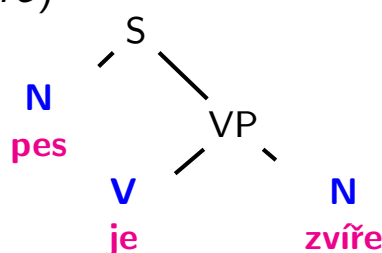
► **větný člen** (*constituent*) lexikální nebo frázová kategorie

## Základní termíny – pokrač.

► **větná struktura** (*sentence structure*) – strukturovaný popis větných členů

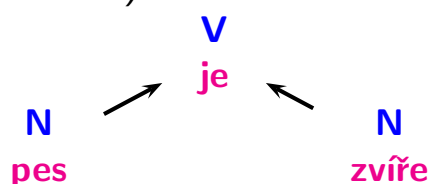
► **povrchová struktura** (*surface structure*)

**derivační/složkový strom**  
jako výsledek bezkontextové  
(CF) analýzy



► **závislostní struktura** (*dependency structure*)

zobrazuje závislosti mezi  
větnými členy



► **hloubková struktura** (*deep structure*) – sémantická interpretace fráze.  
Popisuje **role větných členů** (agens, patiens, donor, cause, ...)

## Složkový a závislostní přístup

dva základní způsoby zadávání gramatik

### složkový přístup:

- ▶ skupiny slov tvoří větné jednotky, které jsou označovány jako **fráze**, a jako **větné členy** (*složky, constituents*) formují **větu**
- ▶ např.

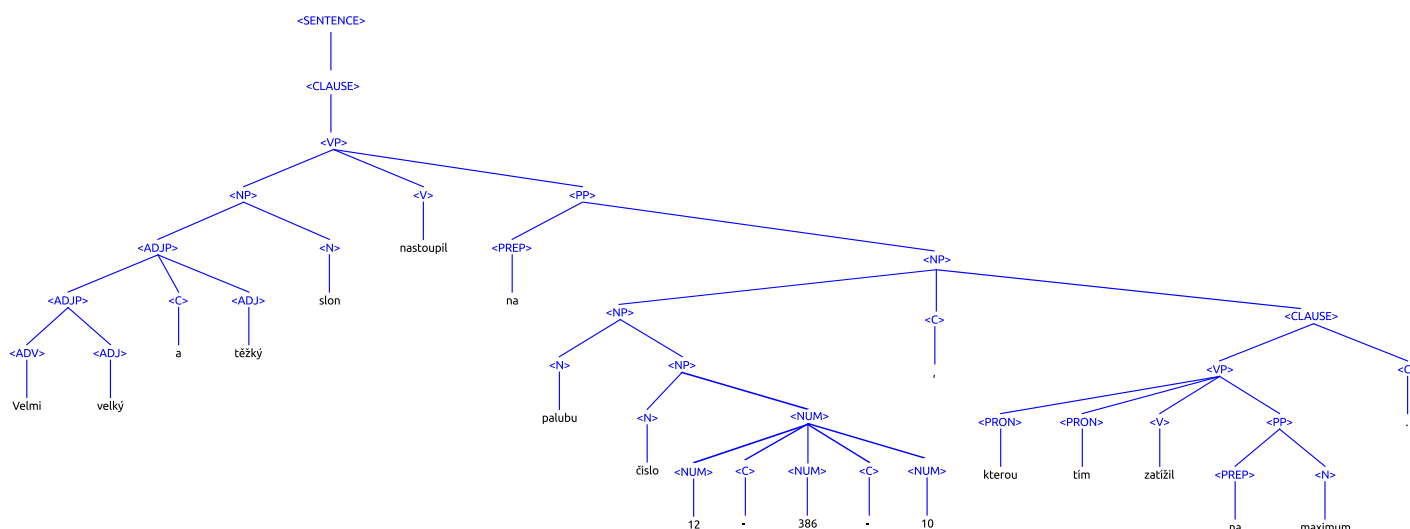
podstatné jméno – součást jmenné fráze (noun phrase – NP)

jmenná fráze spolu s předložkou – tvoří předložkovou frázi (prepositional phrase – PP)

- ▶ syntaktická struktura věty je zachycována jako **složkový strom**

## Složkový a závislostní přístup – složkové stromy

*Velmi velký a těžký slon nastoupil na palubu číslo 12-386-10, kterou tím zatížil na maximum.*



## Složkový a závislostní přístup – pokrač.

### závislostní přístup:

- ▶ jeden člen vazby je označován jako **řídící**, druhý jako **závislý**
- ▶ např.

přídavné jméno závisí na řídícím podstatném jménu

- ▶ syntaktická struktura věty je zachycována pomocí **závislostního stromu**:

- *uzly* odpovídají elementárním jednotkám vstupu (často slovům)
- *hrany* označují vztahy závislosti mezi elementárními jednotkami

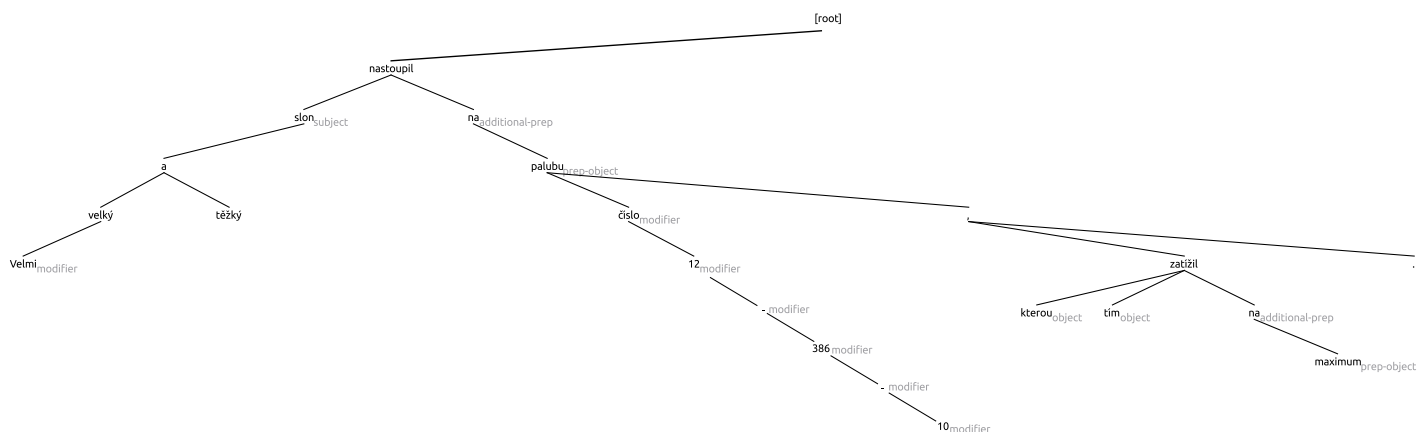
- ▶ závislost není relací mezi jednotlivými slovy, ale obecně relací mezi jedním **slovem a frází** řízenou druhým slovem. např.

vazba mezi konkrétním slovesem a podmětem  
nebo vazba mezi slovesem a předmětem věty

technicky vzato, závislostní relace je vztahem mezi uzly a podstromy  
(uzlem a všemi uzly, které na tomto uzlu závisí)

## Složkový a závislostní přístup – závislostní stromy

*Velmi velký a těžký slon nastoupil na palubu číslo 12-386-10, kterou tím zatížil na maximum.*









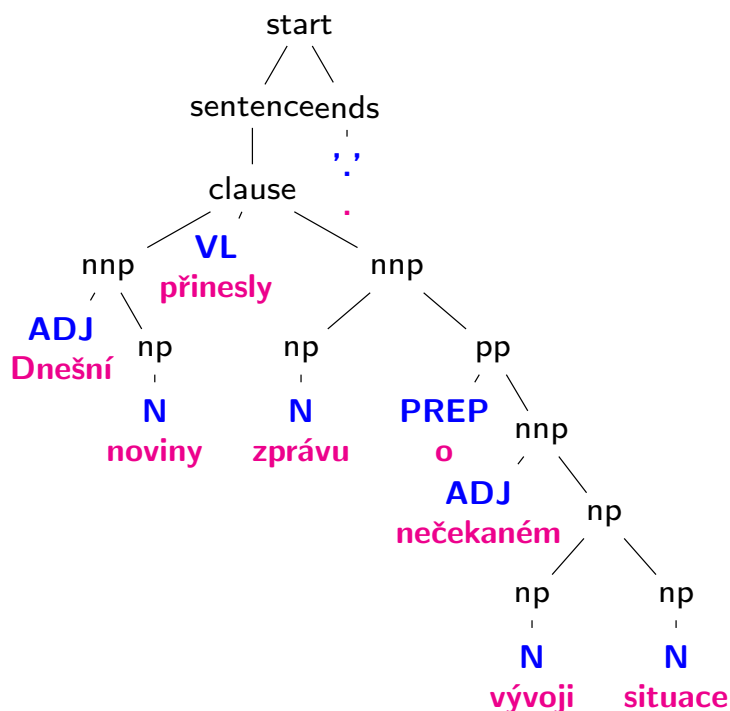


## Uzly syntaktického stromu

označení uzlu (název neterminálu) podle zvoleného přístupu reprezentuje:

### ► gramatická role (gramatická funkce)

- charakterizují vztahy mezi větnými složkami na povrchové úrovni
- určujeme, zda daný větný člen je NP v roli **podmětu**, NP v roli **předmětu**, ADVP určující **lokaci** atd.
- v češtině (a jazycích se systémem gramatických pádů) pomáhá k určení gramatické role právě **informace o pádu**
- ovšem přiřazení gramatických rolí ke gramatickým pádům a naopak není zdaleka jednoznačné.

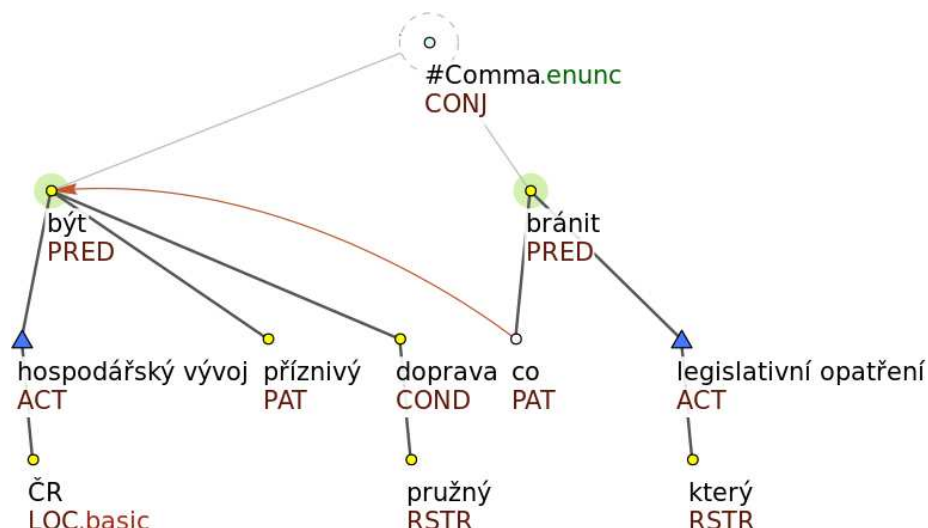


## Uzly syntaktického stromu – pokrač.

### ► tematická role (též hloubkový/sémantický pád)

- na rozdíl od gramatické role se jedná o **sémantickou kategorii**
- určujeme např.:
  - Agens – kdo je životným *původcem* nějaké cílevědomé činnosti
  - Patiens – co hraje roli entity, na kterou *se působí*
  - Donor – osoba, která *dává*
  - Cause – entita, která *způsobuje*, že je něco děláno

*Hospodářský vývoj v ČR by mohl být příznivější při pružnější dopravě, v čemž brání některá legislativní opatření.*



## Příznaky a příznakové struktury

informace v uzlu syntaktického stromu:

- ▶ **příznaky/rysy** (*features*) – zaznamenávají **syntaktické nebo sémantické informace** o slovu nebo frázi.

např. **test na shodu**:

Malý Petr přišel domů.

podmět (Petr) je ve shodě s přísudkem (přišel) v **čísle a rodě**  
přídavné jméno (malý) a podstatné jméno (Petr) se shodují v **pádě, čísle a rodě**

$$\begin{array}{l} S(n, g) \quad \rightarrow \quad NP(-, n, g) \quad VP(n, g) \\ NP(c, n, g) \quad \rightarrow \quad ADJ(c, n, g) \quad N(c, n, g) \end{array}$$

## Příznaky a příznakové struktury – pokrač.

- ▶ gramatické znaky (slovní druh, gramatický pád, rod, číslo, osoba, ...) je výhodné začlenit do gramatiky ve formě dvojic **atribut–hodnota**
- ▶ potom je možné **zobecnovat**, např. vyjádřit shodu v pádě, čísle a rodě výhradně pomocí atributů
- ▶ aplikace – v mnoha gramatických formalismech jazykové objekty jsou zde modelovány jako **příznakové struktury** (*feature structures*), tedy právě **matice** dvojic atribut–hodnota.
- ▶ u složitějších struktur – nestačí pak běžné porovnání instanciace jde oběma směry → použije se **unifikace**

## Pořádek slov ve větě

**syntaktická pozice** – standardní pozice větných členů ve větě

angličtina: S V O M P T

Subject, Verb, Object, Modus, Place, Temp

- ▶ avšak např. předmět se může přesunout na první pozici – **topikalizace**  
The book I read.
- ▶ v češtině – téměř libovolné přesuny syntaktických elementů souvisí s tzv. **aktuálním větným členěním**

## Možnosti zadávání gramatik

- ▶ nejčastější formát specifikace gramatik – **produkční pravidla**  
gramatika se skládá z pravidel generujících **správně utvořené řetězce**
- ▶ cíl analyzátoru – najít odvození vstupního řetězce ze zadaného neterminálu (označovaného obyčejně velkým písmenem *S* z anglického *sentence* – věta) na základě daných pravidel
- ▶ pokud je tohoto cíle dosaženo, vstup je akceptován a je mu přiřazena odpovídající struktura
- ▶ v minulosti rovněž populární – **přechodové sítě** (*transition networks*)  
přechody sítě = lingvistické jednotky, uzly sítě = stavy analyzátoru v procesu analýzy vstupu. Přechody jsou označeny symboly definujícími, za jakých podmínek se analyzátor může přesunout z jednoho stavu do stavu druhého.  
**rozšířené přechodové sítě** (*ATN – Augmented TN*) jsou doplněny o podmínky a procedury – ekvivalentní deklarativním gramatikám

## Standardní teorie syntaxe

- ▶ 50. léta 20. stol. – **Noam Chomsky** vytvořil **formální teorii syntaxe**
- ▶ jedna ze základních tezí – **autonomie syntaxe**  
 ⇐ k ověření **syntaktické správnosti** věty nepotřebujeme znát její význam

Bezbarvé zelené myšlenky zuřivě spí.

vs.

Spí myšlenky zelené zuřivě bezbarvé.

resp. v angličtině

Colorless green ideas sleep furiously.

vs.

Furiously sleep ideas green colorless.

- ▶ syntaktické principy mají **univerzální platnost** pro různé přirozené jazyky

## Chomského standardní teorie syntaxe

### znalost jazyka = gramatika

Chomského předpoklady o **rozumu**:

- ▶ rozum má *vrozenou strukturu*
- ▶ rozum je *modulární*
- ▶ rozum obsahuje speciální modul pro *jazyk*  
porozumění jazyku je oddělitelné od jiných aktivit
- ▶ syntaxe je *formální*  
nezávislá na významu a komunikačních funkcích
- ▶ znalost jazyka je *modulární*  
obsahuje moduly pro jednotlivé fáze analýzy jazyka

## Standardní teorie syntaxe – pokrač.

- ▶ Noam Chomsky, **Aspects of the Theory of Syntax**, 1965 – standardní teorie syntaxe – **transformační generativní gramatika** (TGG)
- ▶ snaží se řešit i zachycení sémantických vztahů v **hloubkové struktuře**
- ▶ postupně se vyvinula:
  - v **rozšířenou standardní teorii** (1968)
  - později tzv. **Government & Binding Theory** (teorie nadřazení a vázání, 1981), která zakládá na pojmu *univerzální gramatiky*
  - 90. léta – teorie **minimalismu** (snaha po úspornosti popisného aparátu)

## Standardní teorie syntaxe – pokrač.

základní části standardní teorie:

- ▶ **bázová komponenta**
  - ▶ bezkontextová **pravidla** a schémata pravidel generují základní strukturu větných členů
  - ▶ **lexikon** popisuje lexikální kategorie a syntaktické rysy lexikálních položek
- ▶ **transformační pravidla** – vložení, smazání, přesun, změna-rysu, kopie-rysu transformace převádí hloubkové struktury na struktury povrchové

## Příklad bázevých komponentů

pravidla:

$S \rightarrow NP VP$

$NP \rightarrow (D) A^* N PP^*$

$VP \rightarrow V (NP) (PP)$

$PP \rightarrow P NP$

lexikon:

D: ten, ta

A: velký, hnědý, starý

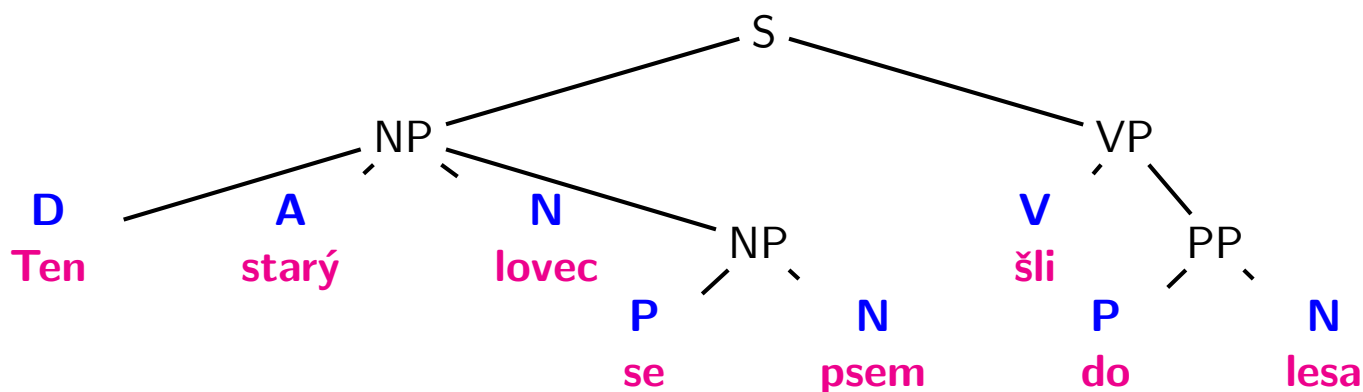
N: pták, pes, lovec, já, lesa

V: loví, jí, šli

P: se, do

věta: Ten starý lovec se psem šli do lesa.

syntaktický strom:



## Příklad transformačních pravidel

např. **pasivizace** (v angličtině):

John chose a book.

NP1 – V – NP2

1 – 2 – 3 → 3 – 2+be+en – by+1

přesuny + vložení + změny-rysu

▶ transformace:

- **obligatorní** – např. přesun slovesné koncovky za sloveso
- **fakultativní** – např. pasivizace, tvorba otázek, negace (změna významu)

▶ pravidla bázevých komponentů – popisují strom hloubkové struktury v obvyklém pořadí

▶ transformace umožňují jeho změny na různé povrchové varianty (trpný rod, otázka, ...)

▶ **stopa** (*trace*) – ukazuje, kde byl prvek před přemístěním

## Návrh podkladů a datových struktur

- ▶ **syntaktický strom** – kompletní **hierarchický popis struktury** věty
- ▶ **úkol syntaktické analýzy** = pro danou gramatiku a daný vstup (větu) dát **všechny syntaktické stromy**
- ▶ existují techniky pro kompaktní uložení **lesa** takových stromů (chart parsing)
- ▶ jelikož se zabýváme výhradně syntaktickou strukturou a nevylučujeme a priori strukturní stromy s absurdní interpretací, má většina vět mnoho různých 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.*

Pocet uspesnych stromu = 57 102 672

## Návrh podkladů a datových struktur – pokrač.

**Automatická analýza syntaxe** musí vždy projít třemi fázemi:

1. musí být zvolena notace pro zápis gramatiky – **gramatický formalismus**
2. musí být ve zvoleném formalismu napsána **gramatika** pro každý jazyk, který bude zpracováván
3. musí být vybrán nebo navržen **algoritmus**, který určí, zda daný vstup odpovídá gramatice, a pokud ano, jaký popis mu odpovídá