

## Příklady pro cvičení 5. z IFJ: Syntaktická analýza shora dolů

### Příklad 1.

Uvažujte jednoduchý programovací jazyk, jehož syntaxi popisuje následující bezkontextová gramatika:

$G = (N, T, P, \langle \text{prog} \rangle)$ , kde:

- $N = \{ \langle \text{prog} \rangle, \langle \text{st-list} \rangle, \langle \text{stat} \rangle, \langle \text{it-list} \rangle, \langle \text{item} \rangle \}$ ,
- $T = \{ \text{begin}, \text{end}, ;, \text{read}, \text{write}, \text{add}, :=, \text{int}, \text{id} \}$ ,
- $P = \{$ 
  - 1:  $\langle \text{prog} \rangle \rightarrow \text{begin} \langle \text{st-list} \rangle \text{end}$
  - 2:  $\langle \text{st-list} \rangle \rightarrow \langle \text{stat} \rangle ; \langle \text{st-list} \rangle$
  - 3:  $\langle \text{st-list} \rangle \rightarrow \varepsilon$
  - 4:  $\langle \text{stat} \rangle \rightarrow \text{read id}$
  - 5:  $\langle \text{stat} \rangle \rightarrow \text{write} \langle \text{item} \rangle$
  - 6:  $\langle \text{stat} \rangle \rightarrow \text{id} := \text{add} \langle \text{item} \rangle \langle \text{it-list} \rangle$
  - 7:  $\langle \text{stat} \rangle \rightarrow \varepsilon$  *// prázdný příkaz*
  - 8:  $\langle \text{it-list} \rangle \rightarrow \langle \text{item} \rangle \langle \text{it-list} \rangle$
  - 9:  $\langle \text{it-list} \rangle \rightarrow \varepsilon$
  - 10:  $\langle \text{item} \rangle \rightarrow \text{int}$
  - 11:  $\langle \text{item} \rangle \rightarrow \text{id}$  }

- a) Sestrojte LL-tabulku pro danou gramatiku
- b) Proveďte pomocí prediktivního syntaktického analyzátoru řízeného tabulkou z bodu a) syntaktickou analýzu vstupního řetězce **begin write int ; end**

### Řešení:

a) Konstrukci LL-tabulky provedeme následujícím způsobem:

1) Nejprve vypočítáme množiny  $First(X)$  a  $Empty(X)$  pro každé  $X \in N \cup T$  pomocí algoritmu:

I) Pro každý terminální symbol  $a \in T$  nejprve polož:

- $First(a) = \{a\}$ ;  $Empty(a) = \emptyset$

II) Pro každý neterminální symbol  $A \in N$  nejprve polož:

- $First(A) = \emptyset$
- Pokud existuje pravidlo  $A \rightarrow \varepsilon \in P$  potom  $Empty(A) = \{\varepsilon\}$  jinak  $Empty(A) = \emptyset$

III) Procházej postupně „ve vhodném pořadí“ jednotlivá pravidla (ne tvaru  $A \rightarrow \varepsilon$ ) a dělej: nechť aktuální pravidlo má tvar  $A \rightarrow X_1 X_2 \dots X_{n-1} X_n$ , potom:

- Přidej všechny prvky z množiny  $First(X_1)$  do množiny  $First(A)$
- Pokud  $Empty(X_1) = \{\varepsilon\}$ , potom:  
přidej všechny prvky z množiny  $First(X_2)$  do množiny  $First(A)$
- Pokud  $Empty(X_1) = Empty(X_2) = \{\varepsilon\}$ , potom:  
přidej všechny prvky z množiny  $First(X_3)$  do množiny  $First(A)$
- ...
- Pokud  $Empty(X_1) = Empty(X_2) = \dots = Empty(X_{n-1}) = \{\varepsilon\}$ , potom:  
přidej všechny prvky z množiny  $First(X_n)$  do množiny  $First(A)$
- Pokud  $Empty(X_1) = Empty(X_2) = \dots = Empty(X_{n-1}) = Empty(X_n) = \{\varepsilon\}$ , potom:  
polož **!!!**  $Empty(A) = \{\varepsilon\}$  **!!!**

IV) Pokud byla některá z množin změněna, znovu proveď krok III. pro všechna pravidla

**Poznámky k algoritmu:**

- Je vidět, že pro každý terminální symbol  $a \in T$  platí i na závěr celého algoritmu  $First(a) = \{a\}$ ;  $Empty(a) = \emptyset$ . Proto tyto množiny většinou nevypisujeme, ale pro výpočet tento fakt musíme znát. Stačí se tedy omezit na výpočet množin  $First(A)$ ,  $Empty(A)$  pro každý neterminální symbol  $A \in N$ .
- Doporučuji nejdříve kompletně určit množiny  $Empty(A)$  pro každý neterminální symbol  $A \in N$ , potom až určit množiny  $First(A)$  pro každý neterminální symbol  $A$ . Podstatně to urychlí výpočet těchto množin.
- Doporučuji pravidla seřadit do posloupnosti tak, aby platilo: Pokud  $i$ -té pravidlo má na levé straně neterminál  $A$ , pak každé následující pravidlo neobsahuje nikde na pravé straně neterminál  $A$ . Ne vždy to jde! Pokud to jde, pak *vhodné pořadí* pro krok III) je procházení této posloupnosti od posledního pravidla k prvnímu. Podstatně to urychlí výpočet množin  $First(A)$ . Pravidla gramatiky v tomto příkladu jsou tak seřazena.

**Výpočet množin  $First(X)$  a  $Empty(X)$  pro výše uvedený příklad:**

- Po provedení kroků I) a II) jsou tyto množiny následující:

$First(\underline{\text{begin}}) = \{\underline{\text{begin}}\}$	$First(\underline{\text{add}}) = \{\underline{\text{add}}\}$	$Empty(\langle \text{prog} \rangle) = \emptyset$
$First(\underline{\text{end}}) = \{\underline{\text{end}}\}$	$First(\underline{:=}) = \{\underline{:=}\}$	$Empty(\langle \text{st-list} \rangle) = \{\varepsilon\}$
$First(\underline{:}) = \{\underline{:}\}$	$First(\underline{\text{int}}) = \{\underline{\text{int}}\}$	$Empty(\langle \text{stat} \rangle) = \{\varepsilon\}$
$First(\underline{\text{read}}) = \{\underline{\text{read}}\}$	$First(\underline{\text{id}}) = \{\underline{\text{id}}\}$	$Empty(\langle \text{it-list} \rangle) = \{\varepsilon\}$
$First(\underline{\text{write}}) = \{\underline{\text{write}}\}$		$Empty(\langle \text{item} \rangle) = \emptyset$

(Vypsány jsou pouze množiny  $First$  pro terminální symboly a množiny  $Follow$  pro neterminální symboly, neboť všechny ostatní množiny jsou po provedení kroků I) a II) vždy prázdné!)

- Dále provedeme krok III):
  - Nejprve dopočítáme kompletně množiny  $Empty(A)$  pro všechna  $A \in N$ . Je vidět, že neexistuje již žádné pravidlo tvaru  $A \rightarrow X_1X_2...X_{n-1}X_n$ , pro které by platilo  $Empty(X_1) = Empty(X_2) = \dots = Empty(X_{n-1}) = Empty(X_n) = \{\varepsilon\}$ . Množiny  $Empty(A)$  pro všechna  $A \in N$  jsou již ve finálním tvaru.
  - Nyní dopočítáme kompletně množiny  $First(A)$  pro všechna  $A \in N$ . Budeme tedy procházet postupně všechna pravidla gramatiky (ne  $\varepsilon$ -pravidla) od posledního k prvnímu (viz. třetí poznámka k algoritmu):

---

11:  $\langle \text{item} \rangle \rightarrow \underline{\text{id}}$  {Přidáme  $First(\underline{\text{id}})$  do  $First(\langle \text{item} \rangle)$ }

10:  $\langle \text{item} \rangle \rightarrow \underline{\text{int}}$  {Přidáme  $First(\underline{\text{int}})$  do  $First(\langle \text{item} \rangle)$ }

**Celkové změny:**  $First(\langle \text{item} \rangle) = \{\underline{\text{id}}, \underline{\text{int}}\}$

---

8:  $\langle \text{it-list} \rangle \rightarrow \langle \text{item} \rangle \langle \text{it-list} \rangle$  {Přidáme  $First(\langle \text{item} \rangle)$  do  $First(\langle \text{it-list} \rangle)$ }  
 $Empty(\langle \text{item} \rangle) \neq \{\varepsilon\}$ , nic jiného tedy přidávat nebudeme

**Celkové změny:**  $First(\langle \text{it-list} \rangle) = \{\underline{\text{id}}, \underline{\text{int}}\}$

---

6:  $\langle \text{stat} \rangle \rightarrow \underline{\text{id}} \underline{:=} \underline{\text{add}} \langle \text{item} \rangle \langle \text{it-list} \rangle$  {Přidáme  $First(\underline{\text{id}})$  do  $First(\langle \text{stat} \rangle)$ }  
 $Empty(\underline{\text{id}}) \neq \{\varepsilon\}$ , nic jiného tedy přidávat nebudeme

5:  $\langle \text{stat} \rangle \rightarrow \underline{\text{write}} \langle \text{item} \rangle$  {Přidáme  $First(\underline{\text{write}})$  do  $First(\langle \text{stat} \rangle)$ }  
 $Empty(\underline{\text{write}}) \neq \{\varepsilon\}$ , nic jiného tedy přidávat nebudeme

4:  $\langle \text{stat} \rangle \rightarrow \text{read id}$  {Přidáme  $First(\text{read})$  do  $First(\langle \text{stat} \rangle)$ }  
 $Empty(\text{read}) \neq \{\varepsilon\}$ , nic jiného tedy přidávat nebudeme

Celkové změny:  $First(\langle \text{stat} \rangle) = \{\text{id}, \text{write}, \text{read}\}$

2:  $\langle \text{st-list} \rangle \rightarrow \langle \text{stat} \rangle ; \langle \text{st-list} \rangle$  {Přidáme  $First(\langle \text{stat} \rangle)$  do  $First(\langle \text{st-list} \rangle)$ }  
**!!!**  $Empty(\langle \text{stat} \rangle) = \{\varepsilon\}$ , budeme přidávat dále:  
 {Přidáme  $First( ; )$  do  $First(\langle \text{st-list} \rangle)$ }  
 $Empty( ; ) \neq \{\varepsilon\}$ , nic jiného tedy přidávat nebudeme

Celkové změny:  $First(\langle \text{st-list} \rangle) = \{\text{id}, \text{write}, \text{read}, ;\}$

1:  $\langle \text{prog} \rangle \rightarrow \text{begin} \langle \text{st-list} \rangle \text{end}$  {Přidáme  $First(\text{begin})$  do  $First(\langle \text{prog} \rangle)$ }  
 $Empty(\text{begin}) \neq \{\varepsilon\}$ , nic jiného tedy přidávat nebudeme

Celkové změny:  $First(\langle \text{prog} \rangle) = \{\text{begin}\}$

**Jednotlivé množiny pro neterminální symboly po provedení jednoho cyklu ve III. kroku algoritmu:**

$First(\langle \text{prog} \rangle)$	$= \{\text{begin}\}$	$Empty(\langle \text{prog} \rangle)$	$= \emptyset$
$First(\langle \text{st-list} \rangle)$	$= \{\text{id}, \text{write}, \text{read}, ;\}$	$Empty(\langle \text{st-list} \rangle)$	$= \{\varepsilon\}$
$First(\langle \text{stat} \rangle)$	$= \{\text{id}, \text{write}, \text{read}\}$	$Empty(\langle \text{stat} \rangle)$	$= \{\varepsilon\}$
$First(\langle \text{it-list} \rangle)$	$= \{\text{id}, \text{int}\}$	$Empty(\langle \text{it-list} \rangle)$	$= \{\varepsilon\}$
$First(\langle \text{item} \rangle)$	$= \{\text{id}, \text{int}\}$	$Empty(\langle \text{item} \rangle)$	$= \emptyset$

Pokud bychom provedli další cyklus III. kroku algoritmu, zjistili bychom, že žádná jiná množina již změněna nebyla. Hodnoty jednotlivých množin jsou tedy výsledné. Pokud bychom však pravidla procházeli v jiném pořadí, nemuseli bychom být hotovi pouze jedním průchodem!

- 2) Pomocí množin  $First(X)$  a  $Empty(X)$  pro každé  $X \in N \cup T$  můžeme snadno určit pro daný řetězec  $x \in (N \cup T)^+$  množiny  $First(x)$  a  $Empty(x)$  následujícími algoritmy:

nechť  $x = X_1X_2... X_{n-1}X_n$ , potom  $First(X_1X_2... X_{n-1}X_n)$  určíme:

- $First(X_1X_2... X_{n-1}X_n)$  polož  $\emptyset$
- Přidej všechny prvky z množiny  $First(X_1)$  do množiny  $First(X_1X_2... X_{n-1}X_n)$
- Pokud  $Empty(X_1) = \{\varepsilon\}$ , potom:  
přidej všechny prvky z množiny  $First(X_2)$  do množiny  $First(X_1X_2... X_{n-1}X_n)$
- Pokud  $Empty(X_1) = Empty(X_2) = \{\varepsilon\}$ , potom:  
přidej všechny prvky z množiny  $First(X_3)$  do množiny  $First(X_1X_2... X_{n-1}X_n)$
- ...
- Pokud  $Empty(X_1) = Empty(X_2) = \dots = Empty(X_{n-1}) = \{\varepsilon\}$ , potom:  
přidej všechny prvky z množiny  $First(X_n)$  do množiny  $First(X_1X_2... X_{n-1}X_n)$

nechť  $x = X_1X_2... X_{n-1}X_n$ , potom  $Empty(X_1X_2... X_{n-1}X_n)$  určíme:

- Pokud  $Empty(X_1) = Empty(X_2) = \dots = Empty(X_{n-1}) = Empty(X_n) = \{\varepsilon\}$ , potom:  
 $Empty(X_1X_2... X_{n-1}X_n) = \{\varepsilon\}$  jinak  $Empty(X_1X_2... X_{n-1}X_n) = \emptyset$

**Poznámka:** Pro prázdný řetězec  $\varepsilon$  dodefinujeme:  $Empty(\varepsilon) = \{\varepsilon\}$ ;  $First(\varepsilon) = \emptyset$

### Ilustrační příklad:

Určeme množiny  $First(\langle stat \rangle \langle st-list \rangle \langle it-list \rangle)$  a  $Empty(\langle stat \rangle \langle st-list \rangle \langle it-list \rangle)$ .

- $First(\langle stat \rangle \langle st-list \rangle \langle it-list \rangle) = \emptyset$

$\langle stat \rangle \langle st-list \rangle \langle it-list \rangle$

- Přidáme  $First(\langle stat \rangle) = \{\underline{id}, \underline{write}, \underline{read}\}$  do  $First(\langle stat \rangle \langle st-list \rangle \langle it-list \rangle)$   
Celkové změny:  $First(\langle stat \rangle \langle st-list \rangle \langle it-list \rangle) = \{\underline{id}, \underline{write}, \underline{read}\}$

$\langle stat \rangle \langle st-list \rangle \langle it-list \rangle$

- Protože  $Empty(\langle stat \rangle) = \{\varepsilon\}$ , přidáme rovněž  $First(\langle st-list \rangle) = \{\underline{id}, \underline{write}, \underline{read}, \underline{;}\}$  do  $First(\langle stat \rangle \langle st-list \rangle \langle it-list \rangle)$ , tedy  
Celkové změny:  $First(\langle stat \rangle \langle st-list \rangle \langle it-list \rangle) = \{\underline{id}, \underline{write}, \underline{read}, \underline{;}\}$

$\langle stat \rangle \langle st-list \rangle \langle it-list \rangle$

- Protože  $Empty(\langle stat \rangle) = Empty(\langle st-list \rangle) = \{\varepsilon\}$ , přidáme rovněž  $First(\langle it-list \rangle) = \{\underline{id}, \underline{int}\}$
- do  $First(\langle stat \rangle \langle st-list \rangle \langle it-list \rangle)$ , tedy  
Celkové změny:  $First(\langle stat \rangle \langle st-list \rangle \langle it-list \rangle) = \{\underline{id}, \underline{write}, \underline{read}, \underline{;}, \underline{int}\}$

**Výsledek:**  $First(\langle stat \rangle \langle st-list \rangle \langle it-list \rangle) = \{\underline{id}, \underline{write}, \underline{read}, \underline{;}, \underline{int}\}$

- Protože  $Empty(\langle stat \rangle) = Empty(\langle st-list \rangle) = Empty(\langle it-list \rangle)$ , platí:  
 $Empty(\langle stat \rangle \langle st-list \rangle \langle it-list \rangle) = \{\varepsilon\}$

**Poznámka:** Na tomto příkladě je pouze ilustrován výpočet množin  $First(x)$  a  $Empty(x)$  pro konkrétní řetězec  $x = \langle stat \rangle \langle st-list \rangle \langle it-list \rangle$ , což bude potřeba určovat pro různé řetězce při výpočtu množin  $Follow$  a  $Predict$  (viz. dále). Tento řetězec byl zvolen zcela náhodně pro vhodnou ilustraci výpočtu těchto množin, nemá tedy žádný konkrétní význam pro konstrukci LL-tabulky.

3) Nyní již můžeme vypočítat množinu  $Follow(A)$  pro každé  $A \in N$  pomocí algoritmu:

I) Pro startující neterminální symbol  $S$  položíme  $Follow(S) = \{\$ \}$ ,

pro ostatní neterminály  $A \in N$  položíme  $Follow(A) = \emptyset$ .

II) Procházej postupně „ve vhodném pořadí“ jednotlivá pravidla (obsahující na pravé straně aspoň jeden neterminální symbol) a pro každé z nich udělej všechny možné dekompozice na tvar:  $A \rightarrow xBy$ , kde  $x, y \in (N \cup T)^*$ ,  $B \in N$ :

- Pokud  $y \neq \varepsilon$ , potom:  
přidej všechny prvky z množiny  $First(y)$  do množiny  $Follow(B)$
- Pokud  $Empty(y) = \{\varepsilon\}$  (tj. zahrnuje i možnost  $y = \varepsilon$ ), potom:  
přidej všechny prvky z množiny  $Follow(A)$  do množiny  $Follow(B)$

III) Pokud byla některá z množin změněna, znovu proved' krok II. pro všechna pravidla

### Poznámky k algoritmu:

- Všimněte si, že množiny  $First(y)$  a  $Empty(y)$  musejí být určeny obecně pro **řetězec!**  $y$  (ne pouze symbol).
- Pokud máme pravidla seřazena tak, jak bylo doporučeno v poznámce pro algoritmus výpočtu množin  $First(X)$  a  $Empty(X)$  pro každé  $X \in N \cup T$ , pak *vhodné pořadí* pro krok II. je procházení této posloupnosti pravidel od prvního k poslednímu.

### Výpočet množin $Follow(A)$ pro výše uvedený příklad:

- Po provedení kroku I) jsou tyto množiny následující:

$Follow(\langle prog \rangle)$	$= \{ \$ \}$
$Follow(\langle st-list \rangle)$	$= \emptyset$
$Follow(\langle stat \rangle)$	$= \emptyset$
$Follow(\langle it-list \rangle)$	$= \emptyset$
$Follow(\langle item \rangle)$	$= \emptyset$

- Nyní dopočítáme kompletně množiny  $Follow(A)$  pro všechna  $A \in N$ . Budeme tedy procházet postupně všechna pravidla gramatiky (ne pravidla, které neobsahují žádný neterminální symbol) od prvního k poslednímu (viz. druhá poznámka k algoritmu):

---

**1:**  $\langle prog \rangle \rightarrow \underline{begin} \langle st-list \rangle \underline{end}$

*Veškeré dekompozice toho pravidla:*

- $\langle prog \rangle \rightarrow \underline{begin} \langle st-list \rangle \underline{end}$

$end \neq \epsilon$

{Přidáme  $First(\underline{end}) = \{ \underline{end} \}$  do  $Follow(\langle st-list \rangle)$ }

**Celkové změny:**  $Follow(\langle st-list \rangle) = \{ \underline{end} \}$

---

**2:**  $\langle st-list \rangle \rightarrow \langle stat \rangle ; \langle st-list \rangle$

*Veškeré dekompozice toho pravidla:*

- $\langle st-list \rangle \rightarrow \langle stat \rangle ; \langle st-list \rangle$

$Empty(\epsilon) = \{ \epsilon \}$

{Přidáme  $Follow(\langle st-list \rangle)$  do  $Follow(\langle st-list \rangle)$  // nemá žádný význam }

- $\langle st-list \rangle \rightarrow \langle stat \rangle ; \langle st-list \rangle$

$\neq \epsilon$

{Přidáme  $First( ; \langle st-list \rangle) = \{ ; \}$  do  $Follow(\langle stat \rangle)$  }

**Celkové změny:**  $Follow(\langle stat \rangle) = \{ ; \}$

---

**5:**  $\langle stat \rangle \rightarrow \underline{write} \langle item \rangle$

*Veškeré dekompozice toho pravidla:*

- $\langle stat \rangle \rightarrow \underline{write} \langle item \rangle$

$Empty(\epsilon) = \{ \epsilon \}$

{Přidáme  $Follow(\langle stat \rangle) = \{ ; \}$  do  $Follow(\langle item \rangle)$  }

**Celkové změny:**  $Follow(\langle item \rangle) = \{ ; \}$

---

---

**6:  $\langle \text{stat} \rangle \rightarrow \underline{\text{id}} := \underline{\text{add}} \langle \text{item} \rangle \langle \text{it-list} \rangle$** 

Veškeré dekompozice toho pravidla:

- $\langle \text{stat} \rangle \rightarrow \underline{\text{id}} := \underline{\text{add}} \langle \text{item} \rangle \langle \text{it-list} \rangle$   
 $Empty(\epsilon) = \{\epsilon\}$   
{Přidáme  $Follow(\langle \text{stat} \rangle) = \{;\}$  do  $Follow(\langle \text{it-list} \rangle)$  }
- $\langle \text{stat} \rangle \rightarrow \underline{\text{id}} := \underline{\text{add}} \langle \text{item} \rangle \langle \text{it-list} \rangle$   
 $\neq \epsilon$   
{Přidáme  $First(\langle \text{it-list} \rangle) = \{\underline{\text{id}}, \underline{\text{int}}\}$  do  $Follow(\langle \text{item} \rangle)$  }
- $\langle \text{stat} \rangle \rightarrow \underline{\text{id}} := \underline{\text{add}} \langle \text{item} \rangle \langle \text{it-list} \rangle$   
 $Empty(\langle \text{it-list} \rangle) = \{\epsilon\}$   
{Přidáme  $Follow(\langle \text{stat} \rangle) = \{;\}$  do  $Follow(\langle \text{item} \rangle)$  // ten tam již je }

**Celkové změny:**  $Follow(\langle \text{it-list} \rangle) = \{;\}$ ,  $Follow(\langle \text{item} \rangle) = \{\underline{\text{id}}, \underline{\text{int}}, ;\}$

---

**8:  $\langle \text{it-list} \rangle \rightarrow \langle \text{item} \rangle \langle \text{it-list} \rangle$** 

Veškeré dekompozice toho pravidla:

- $\langle \text{it-list} \rangle \rightarrow \langle \text{item} \rangle \langle \text{it-list} \rangle$   
 $Empty(\epsilon) = \{\epsilon\}$   
{Přidáme  $Follow(\langle \text{it-list} \rangle)$  do  $Follow(\langle \text{it-list} \rangle)$  // nemá žádný význam }
- $\langle \text{it-list} \rangle \rightarrow \langle \text{item} \rangle \langle \text{it-list} \rangle$   
 $\neq \epsilon$   
{Přidáme  $First(\langle \text{it-list} \rangle) = \{\underline{\text{id}}, \underline{\text{int}}\}$  do  $Follow(\langle \text{item} \rangle)$  // ty tam již jsou }
- $\langle \text{it-list} \rangle \rightarrow \langle \text{item} \rangle \langle \text{it-list} \rangle$   
 $Empty(\langle \text{it-list} \rangle) = \{\epsilon\}$   
{Přidáme  $Follow(\langle \text{it-list} \rangle) = \{;\}$  do  $Follow(\langle \text{item} \rangle)$  // ten tam již je }

---

**Jednotlivé množiny pro neterminální symboly po provedení jednoho cyklu ve II. kroku algoritmu:**

$Follow(\langle \text{prog} \rangle)$	$= \{\underline{\text{S}}\}$
$Follow(\langle \text{st-list} \rangle)$	$= \{\underline{\text{end}}\}$
$Follow(\langle \text{stat} \rangle)$	$= \{;\}$
$Follow(\langle \text{it-list} \rangle)$	$= \{;\}$
$Follow(\langle \text{item} \rangle)$	$= \{\underline{\text{id}}, \underline{\text{int}}, ;\}$

Pokud bychom provedli další cyklus II. kroku algoritmu, zjistili bychom, že žádná jiná množina již změněna nebyla. Hodnoty jednotlivých množin jsou tedy výsledné.

- 4) Jako poslední můžeme spočítat množinu  $Predict(r)$  pro každé **!pravidlo!**  $r: A \rightarrow x$ . (ne pro symboly a řetězce!) podle následující algoritmu:
- Pro každé pravidlo tvaru  $r: A \rightarrow x$  určí množinu  $Predict(r)$  jako:  
Pokud  $Empty(x) = \{\epsilon\}$  polož  $Predict(r) = First(x) \cup Follow(A)$ ;  
jinak polož  $Predict(r) = First(x)$ .

**Poznámka k algoritmu:**

- Všimněte si, že množina  $First(x)$  musí být obecně určena pro **!řetězec!**  $x$  (ne pouze symbol).

## Výpočet množin $Predict(r)$ pro výše uvedený příklad:

1:  $\langle prog \rangle \rightarrow \underline{begin} \langle st-list \rangle \underline{end}$

$Empty(\underline{begin} \langle st-list \rangle \underline{end}) \neq \{\epsilon\}$ , tedy  $Predict(1) = First(\underline{begin} \langle st-list \rangle \underline{end}) = \{\underline{begin}\}$

2:  $\langle st-list \rangle \rightarrow \langle stat \rangle ; \langle st-list \rangle$

$Empty(\langle stat \rangle ; \langle st-list \rangle) \neq \{\epsilon\}$ , tedy  $Predict(2) = First(\langle stat \rangle ; \langle st-list \rangle) = \{\underline{id}, \underline{write}, \underline{read}, ;\}$

3:  $\langle st-list \rangle \rightarrow \epsilon$

$Empty(\epsilon) = \{\epsilon\}$ , tedy  $Predict(3) = First(\epsilon) \cup Follow(\langle st-list \rangle) = \emptyset \cup \{\underline{end}\} = \{\underline{end}\}$

4:  $\langle stat \rangle \rightarrow \underline{read} \underline{id}$

$Empty(\underline{read} \underline{id}) \neq \{\epsilon\}$ , tedy  $Predict(4) = First(\underline{read} \underline{id}) = \{\underline{read}\}$

5:  $\langle stat \rangle \rightarrow \underline{write} \langle item \rangle$

$Empty(\underline{write} \langle item \rangle) \neq \{\epsilon\}$ , tedy  $Predict(5) = First(\underline{write} \langle item \rangle) = \{\underline{write}\}$

6:  $\langle stat \rangle \rightarrow \underline{id} := \underline{add} \langle item \rangle \langle it-list \rangle$

$Empty(\underline{id} := \underline{add} \langle item \rangle \langle it-list \rangle) \neq \{\epsilon\}$ , tedy  $Predict(6) = First(\underline{id} := \underline{add} \langle item \rangle \langle it-list \rangle) = \{\underline{id}\}$

7:  $\langle stat \rangle \rightarrow \epsilon$

$Empty(\epsilon) = \{\epsilon\}$ , tedy  $Predict(7) = First(\epsilon) \cup Follow(\langle stat \rangle) = \emptyset \cup \{;\} = \{;\}$

8:  $\langle it-list \rangle \rightarrow \langle item \rangle \langle it-list \rangle$

$Empty(\langle item \rangle \langle it-list \rangle) \neq \{\epsilon\}$ , tedy  $Predict(8) = First(\langle item \rangle \langle it-list \rangle) = \{\underline{id}, \underline{int}\}$

9:  $\langle it-list \rangle \rightarrow \epsilon$

$Empty(\epsilon) = \{\epsilon\}$ , tedy  $Predict(9) = First(\epsilon) \cup Follow(\langle it-list \rangle) = \emptyset \cup \{;\} = \{;\}$

10:  $\langle item \rangle \rightarrow \underline{int}$

$Empty(\underline{int}) \neq \{\epsilon\}$ , tedy  $Predict(10) = First(\underline{int}) = \{\underline{int}\}$

11:  $\langle item \rangle \rightarrow \underline{id}$

$Empty(\underline{id}) \neq \{\epsilon\}$ , tedy  $Predict(11) = First(\underline{id}) = \{\underline{id}\}$

## Jednotlivé množiny $Predict$ pro všechna pravidla gramatiky:

$Predict(1)$	$= \{\underline{begin}\}$
$Predict(2)$	$= \{\underline{id}, \underline{write}, \underline{read}, ;\}$
$Predict(3)$	$= \{\underline{end}\}$
$Predict(4)$	$= \{\underline{read}\}$
$Predict(5)$	$= \{\underline{write}\}$
$Predict(6)$	$= \{\underline{id}\}$
$Predict(7)$	$= \{;\}$
$Predict(8)$	$= \{\underline{id}, \underline{int}\}$
$Predict(9)$	$= \{;\}$
$Predict(10)$	$= \{\underline{int}\}$
$Predict(11)$	$= \{\underline{id}\}$

5) Nyní již můžeme zkonstruovat výslednou LL-tabulku. Tabulka má záhlaví sloupců popsané *terminálními symboly* a speciálním symbolem \$, záhlaví řádků *neterminálními symboly*. Jednotlivá políčka tabulky  $\alpha[A, a]$ , kde  $A \in N$ ,  $a \in T \cup \{\$\}$  potom vyplníme následujícím algoritmem:

- o  $\alpha[A, a]$  obsahuje pravidlo  $r: A \rightarrow x$ , pokud  $a \in Predict(r)$
- o  $\alpha[A, a]$  je prázdné pro všechny ostatní případy

Poznámka k algoritmu:

- Pokud by nějaké políčko  $\alpha[A, a]$  mělo obsahovat více jak jedno pravidlo, pak daná gramatika **NENÍ LL !!!**

**Konstrukce LL-tabulky pro výše uvedený příklad:**

- Konstrukce LL-tabulky pro sloupec označený terminálem **begin**:

	<b>begin</b>	Pravidla $r: A \rightarrow x$ , jejichž množiny $Predict(r)$ obsahují <b>begin</b> :
<prog>	1	1: <prog> $\rightarrow$ <b>begin</b> <st-list> <b>end</b> // $Predict(1) = \{\mathbf{begin}\}$
<st-list>		
<stat>		
<it-list>		
<item>		

- Konstrukce LL-tabulky pro sloupec označený terminálem **id**:

	<b>id</b>	Pravidla $r: A \rightarrow x$ , jejichž množiny $Predict(r)$ obsahují <b>id</b> :
<prog>		2: <st-list> $\rightarrow$ <stat> ; <st-list> // $Predict(2) = \{\mathbf{id}, \mathbf{write}, \mathbf{read}, \mathbf{;}\}$
<st-list>	2	6: <stat> $\rightarrow$ <b>id</b> := <b>add</b> <item> <it-list> // $Predict(6) = \{\mathbf{id}\}$
<stat>	6	8: <it-list> $\rightarrow$ <item> <it-list> // $Predict(8) = \{\mathbf{id}, \mathbf{int}\}$
<it-list>	8	11: <item> $\rightarrow$ <b>id</b> // $Predict(11) = \{\mathbf{id}\}$
<item>	11	

- Konstrukce LL-tabulky pro sloupec označený terminálem **int**:

	<b>int</b>	Pravidla $r: A \rightarrow x$ , jejichž množiny $Predict(r)$ obsahují <b>int</b> :
<prog>		8: <it-list> $\rightarrow$ <item> <it-list> // $Predict(8) = \{\mathbf{id}, \mathbf{int}\}$
<st-list>		10: <item> $\rightarrow$ <b>int</b> // $Predict(10) = \{\mathbf{int}\}$
<stat>		
<it-list>	8	
<item>	10	

...  
Ostatní sloupce tabulky by se sestavily analogicky.

**Výsledná LL-tabulka pro výše uvedený příklad:**

	<b>begin</b>	<b>end</b>	<b>read</b>	<b>write</b>	<b>id</b>	<b>int</b>	<b>;</b>	<b>:=</b>	<b>add</b>	<b>\$</b>
<prog>	1									
<st-list>		3	2	2	2		2			
<stat>			4	5	6		7			
<it-list>					8	8	9			
<item>					11	10				



b) Nejprve si uvedeme algoritmus:

**Algoritmus pro prediktivní syntaktickou analýzu používající LL-tabulku:**

- Vlož na zásobník symboly  $\$S$ , kde  $S$  je startující neterminální symbol
- Hlavní cyklus
  - Necht'  $a$  je aktuální vstupní symbol,  $X$  je nejvrchnější symbol na zásobníku
    - $X = \$$ : Pokud  $a = \$$ , **úspěch syntaktické analýzy**;  
jinak **chyba!**
    - $X \in T$ : Pokud  $X = a$ , přečti symbol  $a$  ze vstupu a odstraň symbol  $a$  ze zásobníku;  
jinak **chyba!**
    - $X \in N$ : Pokud LL-tabulka na souřadnicích  $[X, a]$  obsahuje pravidlo  $r: X \rightarrow x$ ,  
odstraň symbol  $X$  ze zásobníku a vlož na něj **reverzovaně** řetězec  $x$ ;  
jinak **chyba!**
- Proved' další smyčku cyklu

**Syntaktická analýza řetězce `begin write int ; end` :**

Zásobník	Vstup	Pravidlo	Odpovídající derivace
$\$ \langle \text{prog} \rangle$	<code>begin write int ; end \$</code>	1	$\langle \text{prog} \rangle \Rightarrow \text{begin} \langle \text{st-list} \rangle \text{end}$
$\$ \text{end} \langle \text{st-list} \rangle \text{begin}$	<code>begin write int ; end \$</code>		
$\$ \text{end} \langle \text{st-list} \rangle$	<code>write int ; end \$</code>	5	$\Rightarrow \text{begin} \langle \text{stat} \rangle ; \langle \text{st-list} \rangle \text{end}$
$\$ \text{end} \langle \text{st-list} \rangle ; \langle \text{stat} \rangle$	<code>write int ; end \$</code>	2	$\Rightarrow \text{begin write} \langle \text{item} \rangle ; \langle \text{st-list} \rangle \text{end}$
$\$ \text{end} \langle \text{st-list} \rangle ; \langle \text{item} \rangle \text{write}$	<code>write int ; end \$</code>		
$\$ \text{end} \langle \text{st-list} \rangle ; \langle \text{item} \rangle$	<code>int ; end \$</code>	10	$\Rightarrow \text{begin write int} ; \langle \text{st-list} \rangle \text{end}$
$\$ \text{end} \langle \text{st-list} \rangle ; \text{int}$	<code>int ; end \$</code>		
$\$ \text{end} \langle \text{st-list} \rangle ;$	<code>; end \$</code>		
$\$ \text{end} \langle \text{st-list} \rangle$	<code>end \$</code>	3	$\Rightarrow \text{begin write int} ; \text{end}$
$\$ \text{end}$	<code>end \$</code>		
$\$$	<code>\$</code>		

**ÚSPĚCH!** Levý rozbor: **1 5 2 10 3**