

# Statycznie typowany funkcyjny język programowania

Jakub Grobelny

Kurs języka Prolog (Q1) – projekt końcowy

## 1 Struktura leksykalna i składnia

Klasyfikacja znaków:

- *biały znak* — znaki ASCII: HT, LF, CR, LF, SPACE
- *cyfra* — znaki ASCII: 0-9
- *mała litera* — znaki Unicode będące małymi literami <sup>1</sup>
- *wielka litera* — znaki Unicode będące wielkimi literami <sup>2</sup>

### 1.1 Struktura leksykalna

*Komentarz* to ciąg znaków rozpoczynających się znakiem #, zakończony znakiem nowej linii.

*Token* to najdłuższy ciąg znaków niezawierający *komentarzy* ani *białych znaków*, taki, że opisuje go poniższa gramatyka:

$$\langle \textit{litera\!-\!całkowitoliczbowy} \rangle ::= \textit{cyfra} \\ | \textit{cyfra} \langle \textit{litera\!-\!całkowitoliczbowy} \rangle$$

---

<sup>1</sup>Wszystkie takie znaki **X**, że spełniony jest predykat `char_type(X,lower)` w SWI Prologu.

<sup>2</sup>Analogicznie jak wyżej, tylko `char_type(X, upper)`.

$\langle \text{literał-znakowy} \rangle ::= \text{”}$   
 $\quad \quad \quad | \quad \text{’ } \langle \text{znak} \rangle \text{’}$

$\langle \text{literał-napisowy} \rangle ::= \text{""}$   
 $\quad \quad \quad | \quad \text{” } \langle \text{ciąg-znaków} \rangle \text{”}$

$\langle \text{literał-zmiennopozycyjny} \rangle ::= \langle \text{ułamek} \rangle$   
 $\quad \quad \quad | \quad \langle \text{ułamek} \rangle \langle \text{wykładnik} \rangle$

$\langle \text{literał-boolowski} \rangle ::= \text{true} \mid \text{false}$

$\langle \text{słowo-kluczowe} \rangle ::= \text{let} \mid \text{and} \mid \text{in} \mid \text{if} \mid \text{then}$   
 $\quad \quad \quad | \quad \text{match} \mid \text{else} \mid \text{with} \mid \text{type} \mid \text{of} \mid \text{where}$   
 $\quad \quad \quad | \quad \text{import} \mid \text{fun} \mid \text{define}$

$\langle \text{operator} \rangle ::= \langle \text{znak-specjalny} \rangle \mid \langle \text{operator} \rangle \langle \text{znak-specjalny} \rangle$

$\langle \text{identyfikator} \rangle ::= \text{mała litera } \langle \text{alfanum} \rangle$ , taki, że nie jest  $\langle \text{słowo-kluczowe} \rangle$   
 $\quad \quad \quad | \quad \text{mała litera}$

$\langle \text{nazwa-typu} \rangle ::= \text{wielka litera } \langle \text{alfanum} \rangle$   
 $\quad \quad \quad | \quad \text{wielka litera}$

gdzie

$\langle \text{znak-specjalny} \rangle ::= + \mid - \mid * \mid / \mid = \mid : \mid >$   
 $\quad \quad \quad | \quad < \mid \& \mid ! \mid | \mid \$ \mid @ \mid \% \mid ^ \mid \sim$

$\langle \text{znak} \rangle ::= \text{dowolny znak Unicode oprócz } \backslash, ", ' ,$   
 $\quad \quad \quad | \quad \backslash \mathbf{n} \mid \backslash \mathbf{b} \mid \backslash \mathbf{f} \mid \backslash \mathbf{a} \mid \backslash \mathbf{r} \mid \backslash \mathbf{t} \mid \backslash 0 \mid \backslash \mathbf{v} \mid \backslash \backslash \mid \backslash ' \mid \backslash "$

$\langle \text{ciąg-znaków} \rangle ::= \langle \text{znak} \rangle$   
 $\quad \quad \quad | \quad \langle \text{ciąg-znaków} \rangle \langle \text{znak} \rangle$

$\langle \text{litera} \rangle ::= \text{mała litera}$   
 $\quad \quad \quad | \quad \text{wielka litera}$

$\langle \text{alfanum} \rangle ::= \langle \text{litera} \rangle$   
 $\quad \quad \quad | \quad \langle \text{cyfra} \rangle$

$$\begin{array}{l}
| \langle \textit{alfanum} \rangle \langle \textit{litera} \rangle \\
| \langle \textit{alfanum} \rangle \langle \textit{cyfra} \rangle \\
\langle \textit{ułamek} \rangle ::= \langle \textit{literał-całkowitoliczbowy} \rangle . \langle \textit{literał-całkowitoliczbowy} \rangle \\
| \langle \textit{literał-całkowitoliczbowy} \rangle \\
\langle \textit{wykładnik} \rangle ::= \mathbf{e} - \langle \textit{literał-całkowitoliczbowy} \rangle \\
| \mathbf{e} \langle \textit{literał-całkowitoliczbowy} \rangle
\end{array}$$

## 1.2 Składnia

$$\begin{array}{l}
\langle \textit{program} \rangle ::= \langle \textit{wyrażenie-lub-definicja} \rangle \\
| \langle \textit{wyrażenie-lub-definicja} \rangle \langle \textit{program} \rangle \\
\langle \textit{wyrażenie-lub-definicja} \rangle ::= \langle \textit{wyrażenie} \rangle \\
| \langle \textit{define-definicja} \rangle \\
| \langle \textit{defun-definicja} \rangle \\
| \langle \textit{type-definicja} \rangle \\
| \langle \textit{import} \rangle \\
\langle \textit{literał-funkcyjny} \rangle ::= \{ \mid \langle \textit{lista-parametrów} \rangle \mid \langle \textit{wyrażenie} \rangle \} \\
\langle \textit{lista-parametrów} \rangle ::= \langle \textit{identyfikator} \rangle \\
| \overline{\quad} \langle \textit{lista-parametrów} \rangle \\
| \overline{\langle \textit{identyfikator} \rangle} \langle \textit{lista-parametrów} \rangle \\
\langle \textit{stała} \rangle ::= \langle \textit{stała-wzorcową} \rangle \\
| \langle \textit{literał-funkcyjny} \rangle \\
\langle \textit{wyrażenie-atomowe} \rangle ::= ( \langle \textit{wyrażenie} \rangle ) ( \langle \textit{operator} \rangle ) \\
| \langle \textit{identyfikator} \rangle \\
| \langle \textit{nazwa-typu} \rangle \\
| \langle \textit{stała} \rangle \\
\langle \textit{wyrażenie-warunkowe} \rangle ::= \mathbf{if} \langle \textit{wyrażenie} \rangle \mathbf{then} \langle \textit{wyrażenie} \rangle \mathbf{else} \langle \textit{wyrażenie} \rangle \\
\langle \textit{dopasowanie-do-wzorca} \rangle ::= \mathbf{match} \langle \textit{wyrażenie} \rangle \{ \langle \textit{lista-wzorców} \rangle \}
\end{array}$$

$$\begin{aligned}
\langle \text{lista-wzorców} \rangle &::= \epsilon \\
&| \quad \mathbf{case} \langle \text{wzorzec} \rangle \Rightarrow \langle \text{wyrażenie} \rangle \langle \text{lista-wzorców} \rangle \\
\langle \text{wzorzec} \rangle &::= \langle \text{wzorzec-atomowy} \rangle \\
&| \quad \langle \text{aplikacja-konstruktor} \rangle \\
\langle \text{aplikacja-konstruktor} \rangle &::= \langle \text{nazwa-typu} \rangle \langle \text{wzorzec-atomowy} \rangle \\
&| \quad \langle \text{nazwa-typu} \rangle \\
\langle \text{wzorzec-atomowy} \rangle &::= \langle \text{stała-wzorcowa} \rangle \\
&| \quad \langle \text{identyfikator} \rangle \\
&| \quad ( \langle \text{krotka-wzorców} \rangle ) \\
&| \quad \langle \text{wzorzec-listowy} \rangle \\
\langle \text{stała-wzorcowa} \rangle &::= \langle \text{literał-całkowitoliczbowy} \rangle \\
&| \quad \langle \text{literał-zmiennopozycyjny} \rangle \\
&| \quad \langle \text{literał-napisowy} \rangle \\
&| \quad \langle \text{literał-znakowy} \rangle \\
&| \quad ( ) \\
\langle \text{krotka-wzorców} \rangle &::= \langle \text{wzorzec} \rangle \\
&| \quad \langle \text{wzorzec} \rangle , \langle \text{krotka-wzorców} \rangle \\
\langle \text{wzorzec-listowy} \rangle &::= [ ] \\
&| \quad [ \langle \text{krotka-wzorców} \rangle ] \\
&| \quad [ \langle \text{krotka-wzorców} \rangle \mid \langle \text{identyfikator} \rangle ] \\
\langle \text{deklaracja-operatora} \rangle &::= \mathbf{defop} \{ \langle \text{operator} \rangle \langle \text{priorytet} \rangle \langle \text{łączność} \rangle \} \\
\langle \text{priorytet} \rangle &::= \mathbf{0} \mid \mathbf{1} \mid \mathbf{2} \mid \mathbf{3} \mid \mathbf{4} \mid \mathbf{5} \\
\langle \text{łączność} \rangle &::= \mathbf{left} \\
&| \quad \mathbf{right} \\
&| \quad \mathbf{none} \\
&| \quad \mathbf{left\_unary} \\
&| \quad \mathbf{right\_unary} \\
\langle \text{import} \rangle &::= \mathbf{import} \{ \langle \text{pliki-do-importowania} \rangle \}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\langle \text{pliki-do-importowania} \rangle &::= \langle \text{nazwa-pliku} \rangle \\
&| \langle \text{nazwa-pliku} \rangle \langle \text{pliki-do-importowania} \rangle \\
\langle \text{nazwa-pliku} \rangle &::= \langle \text{literał-napisowy} \rangle \\
&| \langle \text{nazwa-tytu} \rangle \\
\langle \text{lista} \rangle &::= [] \\
&| [ \langle \text{krotka} \rangle ] \\
&| [ \langle \text{krotka} \rangle | \langle \text{wyrażenie} \rangle ] \\
\langle \text{let-definicja} \rangle &::= \mathbf{let} \langle \text{sygnatura} \rangle \langle \text{wyrażenie} \rangle \mathbf{in} \{ \langle \text{wyrażenie} \rangle \} \\
\langle \text{sygnatura} \rangle &::= \langle \text{identyfikator} \rangle : \langle \text{typ} \rangle = \\
\langle \text{define-definicja} \rangle &::= \mathbf{define} \langle \text{sygnatura} \rangle \{ \langle \text{wyrażenie} \rangle \} \\
\langle \text{defun-definicja} \rangle &::= \mathbf{defun} \langle \text{nazwa-funkcji} \rangle \langle \text{lista-parametrów} \rangle : \langle \text{typ} \rangle = \{ \\
&\quad \langle \text{wyrażenie} \rangle \} \\
\langle \text{nazwa-funkcji} \rangle &::= \langle \text{identyfikator} \rangle \\
&| ( \langle \text{operator} \rangle ) \\
\langle \text{type-definicja} \rangle &::= \mathbf{type} \langle \text{nazwa-tytu} \rangle : \langle \text{lista-parametrów} \rangle \langle \text{ciało-tytu} \rangle \\
&| \mathbf{type} \langle \text{nazwa-tytu} \rangle \langle \text{ciało-tytu} \rangle \\
\langle \text{ciało-tytu} \rangle &::= \{ \langle \text{lista-konstruktorów} \rangle \} \\
\langle \text{lista-konstruktorów} \rangle &::= \epsilon \\
&| \langle \text{lista-konstruktorów} \rangle \langle \text{konstruktor} \rangle \\
\langle \text{konstruktor} \rangle &::= \langle \text{nazwa-tytu} \rangle \\
&| \langle \text{nazwa-tytu} \rangle : \{ \langle \text{typ} \rangle \} \\
\langle \text{typ} \rangle &::= \langle \text{funkcja} \rangle \\
&| \langle \text{funkcja} \rangle , \langle \text{typ} \rangle \\
\langle \text{funkcja} \rangle &::= \langle \text{typ-algebraiczny} \rangle \\
&| \langle \text{typ-algebraiczny} \rangle \rightarrow \langle \text{funkcja} \rangle \\
\langle \text{typ-algebraiczny} \rangle &::= \langle \text{typ-atomowy} \rangle \\
&| \langle \text{nazwa-tytu} \rangle \langle \text{lista-tytów-atomowych} \rangle
\end{aligned}$$

$$\langle \textit{lista-typów-atomowych} \rangle ::= \langle \textit{typ-atomowy} \rangle$$

$$| \quad \langle \textit{typ-atomowy} \rangle \langle \textit{lista-typów-atomowych} \rangle$$

$$\langle \textit{typ-atomowy} \rangle ::= \langle \textit{identyfikator} \rangle$$

$$| \quad \langle \textit{nazwa-typu} \rangle$$

$$| \quad ( \langle \textit{typ} \rangle )$$

$$| \quad [ \langle \textit{typ} \rangle ]$$

$$\langle \textit{wyrażenie} \rangle ::= \langle \textit{sekwencja-wyrażeń} \rangle$$

$$| \quad \langle \textit{dopasowanie-do-wzorca} \rangle$$

$$| \quad \langle \textit{let-definicja} \rangle$$

$$| \quad \langle \textit{wyrażenie-warunkowe} \rangle$$

$$\langle \textit{sekwencja-wyrażeń} \rangle ::= \langle \textit{krotka} \rangle$$

$$| \quad \langle \textit{krotka} \rangle ; \langle \textit{sekwencja-wyrażeń} \rangle$$

$$\langle \textit{krotka} \rangle ::= \langle \textit{wn} \rangle$$

$$| \quad \langle \textit{wn} \rangle , \langle \textit{krotka} \rangle$$

$$\langle \textit{w0n} \rangle ::= \langle \textit{w0r} \rangle$$

$$| \quad \langle \textit{w0r} \rangle \langle \textit{w0n\_op} \rangle \langle \textit{w0r} \rangle$$

$$\langle \textit{w0r} \rangle ::= \langle \textit{w0l} \rangle$$

$$| \quad \langle \textit{w0l} \rangle \langle \textit{w0r\_op} \rangle \langle \textit{w0r} \rangle$$

$$\langle \textit{w0l} \rangle ::= \langle \textit{w0ul} \rangle$$

$$| \quad \langle \textit{w0l} \rangle \langle \textit{w0l\_op} \rangle \langle \textit{w0ur} \rangle$$

$$\langle \textit{w0ur} \rangle ::= \langle \textit{w0ul} \rangle$$

$$| \quad \langle \textit{w0ul} \rangle \langle \textit{w0ur\_op} \rangle$$

$$\langle \textit{w0ul} \rangle ::= \langle \textit{w1n} \rangle$$

$$| \quad \langle \textit{w1ul\_op} \rangle \langle \textit{w1n} \rangle$$

$$\langle \textit{w1n} \rangle ::= \langle \textit{w1r} \rangle$$

$$| \quad \langle \textit{w1r} \rangle \langle \textit{w1n\_op} \rangle \langle \textit{w1r} \rangle$$

$$\langle \textit{w1r} \rangle ::= \langle \textit{w1l} \rangle$$

$$| \quad \langle \textit{w1l} \rangle \langle \textit{w1r\_op} \rangle \langle \textit{w1r} \rangle$$

$$\begin{aligned} \langle w1l \rangle &::= \langle w1ul \rangle \\ &| \langle w1l \rangle \langle w1l\_op \rangle \langle w1ur \rangle \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \langle w1ur \rangle &::= \langle w1ul \rangle \\ &| \langle w1ul \rangle \langle w1ur\_op \rangle \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \langle w1ul \rangle &::= \langle w2n \rangle \\ &| \langle w1ul\_op \rangle \langle w2n \rangle \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \langle w2n \rangle &::= \langle w2r \rangle \\ &| \langle w2r \rangle \langle w2n\_op \rangle \langle w2r \rangle \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \langle w2r \rangle &::= \langle w2l \rangle \\ &| \langle w2l \rangle \langle w2r\_op \rangle \langle w2r \rangle \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \langle w2l \rangle &::= \langle w2ul \rangle \\ &| \langle w2l \rangle \langle w2l\_op \rangle \langle w2ur \rangle \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \langle w2ur \rangle &::= \langle w2ul \rangle \\ &| \langle w2ul \rangle \langle w2ur\_op \rangle \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \langle w2ul \rangle &::= \langle w3n \rangle \\ &| \langle w2ul\_op \rangle \langle w3n \rangle \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \langle w3n \rangle &::= \langle w3r \rangle \\ &| \langle w3r \rangle \langle w3n\_op \rangle \langle w3r \rangle \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \langle w3r \rangle &::= \langle w3l \rangle \\ &| \langle w3l \rangle \langle w3r\_op \rangle \langle w3r \rangle \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \langle w3l \rangle &::= \langle w3ul \rangle \\ &| \langle w3l \rangle \langle w3l\_op \rangle \langle w3ur \rangle \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \langle w3ur \rangle &::= \langle w3ul \rangle \\ &| \langle w3ul \rangle \langle w3ur\_op \rangle \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \langle w3ul \rangle &::= \langle w4n \rangle \\ &| \langle w3ul\_op \rangle \langle w4n \rangle \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\langle w_4n \rangle &::= \langle w_4r \rangle \\
&| \langle w_4r \rangle \langle w_4n\_op \rangle \langle w_4r \rangle \\
\langle w_4r \rangle &::= \langle w_4l \rangle \\
&| \langle w_4l \rangle \langle w_4r\_op \rangle \langle w_4r \rangle \\
\langle w_4l \rangle &::= \langle w_4ul \rangle \\
&| \langle w_4l \rangle \langle w_4l\_op \rangle \langle w_4ur \rangle \\
\langle w_4ur \rangle &::= \langle w_4ul \rangle \\
&| \langle w_4ul \rangle \langle w_4ur\_op \rangle \\
\langle w_4ul \rangle &::= \langle w_5n \rangle \\
&| \langle w_4ul\_op \rangle \langle w_5n \rangle \\
\langle w_5n \rangle &::= \langle w_5r \rangle \\
&| \langle w_5r \rangle \langle w_5n\_op \rangle \langle w_5r \rangle \\
\langle w_5r \rangle &::= \langle w_5l \rangle \\
&| \langle w_5l \rangle \langle w_5r\_op \rangle \langle w_5r \rangle \\
\langle w_5l \rangle &::= \langle w_5ul \rangle \\
&| \langle w_5l \rangle \langle w_5l\_op \rangle \langle w_5ur \rangle \\
\langle w_5ur \rangle &::= \langle w_5ul \rangle \\
&| \langle w_5ul \rangle \langle w_5ur\_op \rangle \\
\langle w_5ul \rangle &::= \langle aplikacja \rangle \\
&| \langle w_5ul\_op \rangle \langle aplikacja \rangle \\
\langle aplikacja \rangle &::= \langle aplikacja \rangle \langle wyrażenie-atomowe \rangle \\
&| \langle wyrażenie-atomowe \rangle \\
\langle \cdot \_op \rangle &::= \langle operator \rangle^3
\end{aligned}$$

---

<sup>3</sup>Operatory i ich priorytety oraz łączność są definiowane wewnątrz programów i nie istnieją dla nich gramatyka bezkontekstowa.



**2 Semantyka**

**3 System typów**