

Andrzej Biłat

Uwagi o języku i gramatyce : szkic gramatyki formalnej

Nowa Krytyka 3, 101-109

1992

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

Andrzej Biłat

Uwagi o języku i gramatyce Szkic gramatyki formalnej

W artykule poruszono kilka ogólnych aspektów składni języka. Dość luźne myśli wyrażone w pierwszej części referatu mają w zamierzeniu pełnić rolę teoretycznego tła dla formalnego szkicu ogólnej gramatyki przedstawionego w części drugiej. W przyjętym podejściu istotną rolę odgrywają dwa założenia: heurystyczne i metodologiczne. Po pierwsze, ogólna gramatyka, traktowana jako podstawa ogólnej semantyki, ma być budowana z myślą o jej semantycznych zastosowaniach. Po drugie, ogólna gramatyka powinna uwzględniać wyniki dwóch najbardziej dziś rozwiniętych nauk o języku: lingwistyki matematycznej i składni logicznej.

I. Uwagi o języku i gramatyce

1. Język eksplikujemy zwykle jako zbiór wyrażeń złożonych z symboli słownika. Fakt, że szczęśliwie potrafimy odróżnić sensowne wyrażenia języka od innych segmentów symboli świadczy o tym, że znamy jego gramatykę.

Oczywistą podstawą każdej gramatyki jest jakaś typizacja słów języka: rozmaite znaki i ciągi znaków należą do różnych typów pełniących w zdaniach różne funkcje składniowe. Dane wyrażenie jest spójne składniowo tylko wtedy, gdy jest złożone ze słów o takich typach i w taki sposób, który jest dopuszczony przez reguły gramatyki.

2. W konsekwencji, dwa wyrażenia o tym samym typie są na ogół wymienne w zdaniach danego języka.

Wielu teoretykom języka naturalna wydaje się też zależność odwrotna: jeśli dwa wyrażenia są wzajemnie wymienne w każdym zdaniu języka, to należą do tej samej kategorii. Przyjęcie tej zasady umożliwia ponadto ogólną definicję kategorii składniowej jako klasy abstrakcji od relacji zastępowalności wyrażań. Idea ta, jak wiadomo, pochodzi od Husserla i jest podstawą klasycznej gramatyki kategoryalnej.

3. Dokładniejszą odpowiedzią na pytanie o gramatyczną naturę języka jest taka formuła: język jest rekursywnie przeliczalnym zbiorem wyrażań nad danym słownikiem. Rekursywna przeliczalność zbioru powoduje, że dla każdego jego elementu możemy efektywnie - w skończonej liczbie łatwych kroków - sprawdzić, że jest on jego elementem. Własność tę można więc przyjąć jako wstępny warunek językowości zbioru.

4. Lingwistyczną realizacją tej własności jest pojęcie gramatyki generatywnej (kombinatorycznej). Jedno z twierdzeń lingwistyki matematycznej (twierdzenie Posta) głosi, że klasa języków rekursywnie przeliczalnych jest identyczna z klasą wszystkich języków definiowalnych gramatykami generatywnymi.

Gramatyki kombinatoryczne generują różne typy języków, zależnie od dopuszczonego w nich rodzaju reguł, tzw. reguł produkcji. Wyróżnia się cztery obszerne klasy języków rekurencyjnie przeliczalne (typ 0), frazowe (typ 1), bezkontekstowe (typ 2) i regularne (typ 3). Klasa typu $n-1$ jest podzbiorem właściwym klasy typu n . Ten ciąg typów języków i odpowiadających im typów gramatyk zwany bywa *hierarchią Chomsky'ego*.

5. Z drugiej strony, najmniejszy zbiór wyrażań zawierający obliczalny słownik i zamknięty ze względu na efektywnie dane reguły jest językiem rekursywnie przeliczalnym. Sugeruje to naturalny rodzaj gramatyki *słownik + reguły* (konstrukcji niesłownikowych wyrażań języka). Ten sposób definiowania języka jest standardowy w metalogice. Pewne jego uogólnienie znajdujemy w gramatyce Montague. Nasuwa się pytanie, czy istnieje takie jego uogólnienie, które pozwoliłoby poprzez określenie odpowiednich rodzajów reguł składania, na odtworzenie jakiegoś odpowiednika hierarchii Chomsky'ego.

6. Gramatyka kombinatoryczna generująca dany język jest ścisłym odpowiednikiem składni logicznej wyznaczającej język sformali-

zowany. Charakterystycznym elementem obu jest założone istnienie metajęzyka, różnego od języka definiowanego, w którym ten język jest definiowany. W odróżnieniu jednak od składni logicznej, w lingwistyce formalnej język jest częścią metajęzyka. Są przynajmniej dwie względne zalety tego ujęcia: a) jest ono formalnie prostsze (i wystarczające przy tym dla zagwarantowania formalnej poprawności pojęć semantycznych o ile włączymy je do metajęzyka), b) jest *de facto* powszechnie stosowane zarówno w informatyce (przy opisach języków programowania), jak i w zwykłej obsłudze komputerów (w edytorach tekstów).

7. Jako filozofowie, pytamy się o semantyczne możliwości zastosowania rekursywnego pojęcia języka. Semantykę taką otrzymamy określając np. wartościowanie logiczne z języka traktowanego jako zbiór zdań - w zbiór (niekoniecznie dwuelementowy) wartości logicznych. Podobnie jak w semantyce matrycowej, zdanie jest prawdziwe, gdy przyjmuje wartość wyróżnioną, fałszywe zaś w przeciwnym przypadku.

Sam fakt istnienia - zresztą trywialnej formalnie i logicznie - semantyki dla tak ogólnikowo pojętego języka nie jest całkiem obojętny filozoficznie. Świadczy on dodatkowo bowiem o tym, że nasza ogólna intuicja prawdy jako korespondencji z faktami - wartościami wyróżnionymi - jest trafna. (Tego typu ogólna semantyka języka nie musi natomiast być formalnie trywialna w gramatyce rodzaju *słownik + reguły*; różnym typom reguł mogą wówczas odpowiadać typy semantycznych homomorfizmów.)

8. Jest kilka powodów, dla których szerokie rozumienie języka nie zawsze nam odpowiada. Najczęściej wskazywaną przyczyną jest nieobliczalność języka rekursywnie przeliczalnego w ogólnej klasie gramatyk: gramatyki te nie dysponują na ogół efektywnym kryterium przynależności wyrażenia do danego języka. *Gramatyki kombinatoryczne nie spełniają więc na ogół zadania, jakie zwykle się stawiać przed gramatykami, a które sprowadza się do efektywnego odróżnienia słów (zdań) poprawnych od niepoprawnych*¹.

Wymowę tego cytatu osłabia nieco fakt, że każdy zbiór rekursywnie przeliczalny jest też w pewnym warunkowym sensie obliczalny: jeśli x należy do zbioru rekursywnie przeliczalnego, to można się o tym przekonać w skończonej ilości kroków. O każdym więc wyrażeniu poprawnym można efektywnie stwierdzić, że należy do języka. Jeśli jednak x nie jest elementem języka nieobliczalnego, to

¹ A. Blikle: *Automaty i gramatyki*. PWN 1971, s. 115-116.

w żadnej skończonej ilości sprawdzeń nie można być tego pewnym - zawsze można bowiem przypuszczać, że istnieje jeszcze jakieś sprawdzenie pozytywne, którego nie dokonaliśmy².

Czy jednak tradycyjnym gramatykom nieformalnym nie jest bliższa ta własność niż całkowita efektywność gramatyk wyższych typów?

9. Wadą czysto rekursywnego pojęcia języka jest to, że nie uwzględnia frazowej struktury wyrażeń. Dzielać np. zwrot *Jan i Piotr* na części, trzeba by równorzędnie traktować słowa *Jan*, *Piotr* z wyrażeniami *Jan i*, *i*, *i Piotr*. Podstawowe - znane zresztą przynajmniej od czasów Platona i Arystotelesa - rozróżnienie słów na kategoryczne i synkategoryczne nie znajduje gramatycznego uzasadnienia na najniższym szczeblu hierarchii Chomsky'ego. To zdaje się - prędzej czy później - przesądzać o filozoficznej potrzebie zawężenia pola rozważań nad językiem.

10. Języki pierwszego typu w hierarchii Chomsky'ego (języki frazowe, kontekstowe) spełniają zarówno istotny gramatycznie warunek obliczalności, jak i ważny semantycznie warunek frazowości.

Gramatyki tych języków (gramatyki struktur frazowych, gramatyki kontekstowe, monotoniczne) uwzględniają również lingwistycznie istotną własność kontekstowości wyrażeń: jedno słowo może niekiedy pełnić różne funkcje gramatyczne w zależności od słownego kontekstu, w jakim występuje. Przyjmuje się, że ten typ najlepiej określa naturę zwykle stosowanych języków: zwłaszcza języków etnicznych.

Klasa języków kontekstowych jest domknięta na kilka typów lingwistycznych operacji (tzw. złożenie, domknięcie, odbicie zwierciadlane, podstawianie języków) oraz na mnogościowe operacje sumy i iloczynu.

11. Jedno z twierdzeń (podał je po raz pierwszy R.J. Evey w 1963 r.) dotyczących języków kontekstowych głosi co następuje. Niech L będzie językiem rekurencyjnie przeliczalnym nie zawierającym wśród swych symboli znaku c . Na zbiorze wszystkich słów, które możemy utworzyć ze słownika języka L rozszerzon go o symbol c , określamy homomorfizm h_c w następujący sposób: jeśli $a \neq c$, to $h_c(a) = a$, jeśli zaś $a = c$, to $h_c(a)$ jest słowem pustym. A zatem, homomorfizm h_c wyciera c i pozostawia resztę bez zmiany. Wówczas ist-

² A. Grzegorzczak: *Zarys logiki matematycznej*. PWN 1981, s. 382.

nieje i może być efektywnie wskazany język kontekstowy L_1 taki, że $h_c(L_1)=L^3$. Innymi słowy, dla każdego języka L typu 0 możemy efektywnie wskazać język typu 1, będący jego rozszerzeniem, z którego otrzymujemy język L przez wytarcie w każdym jego wyrażeniu symbolu, o który język L rozszerzyliśmy.

12. Twierdzenie powyższe jest zarazem bezpośrednią przesłanką mało korzystnego dla klasy języków kontekstowych wniosku. Otóż funkcja h_c wyprowadza na ogół poza tę klasę (istnieją bowiem języki rekurencyjnie przeliczalne, nie będące językami kontekstowymi). Klasa języków kontekstowych nie jest więc zamknięta na operację homomorfizmu. Jest to zresztą jedyny typ języków o tej własności wśród trzech pozostałych.

Operację homomorfizmu w klasie języków możemy traktować jako ich przekład. Dokonując więc przekładu z języka kontekstowego na inny język, nie mamy *a priori* pewności, że język ten będzie kontekstowy. Fakt ten skomplikuje każdą ogólną teorię przekładu języków kontekstowych.

13. Tymczasem sama już tylko własność kontekstowości stanowi niemałą trudność zarówno dla teorii, jak i dla praktyki dokonywania przekładu. Wynika to stąd, że słowo, które pełni różne funkcje gramatyczne w różnych kontekstach, jest na ogół semantycznie niejednoznaczne. Nie jest to wprawdzie trudność zasadnicza - zawsze można dla każdego znaczenia podać osobny przykład. Co więcej, język takiego przekładu nie musi być już kontekstowy (a nawet nie powinien być, jeśli jego celem - jak to często bywa - jest ujednoznacznienie).

Wydaje się, że dobrym sposobem uprawiania ogólnej semantyki jest ograniczenie się do tego typu bezkontekstowych przekładów - o ile głównym jej celem ma być opis istotnych semantycznie własności.

14. Uznaje się, że gramatyka kategoriałna jest równoważna bezkontekstowej gramatyce generatywnej (wykazał to Bar-Hillel). Świadczy to nie tyle o jej adekwatności w analizie języków stosowanych w praktyce, co raczej o trafności dokonanych w niej uproszczeń. Gramatyce kategoriałnej stawiano poważne dość zarzuty. Krytykowano i krytykuje się ją za to, że: a) nie uwzględnia kontekstowości języków stosowanych; b) prowadzi do nadmiernego rozmnożenia kategorii (dotyczy to zwłaszcza analizy języków naturalnych);

³ A. Blikle: *op.cit.*, s. 127.

c) zbyt dużą rolę odgrywa w niej kolejność słów (np. orzecznik z lewej strony podmiotu ma inną kategorię od orzecznika z prawej strony - dotyczy to zwłaszcza opisu języków fleksyjnych); d) przyjmowana w klasycznej gramatyce kategorialnej zasada utożsamienia kategorii składniowych z klasami zastępowalności wyrażeni (zasada zastępowalności) odnosi się jedynie do wąskiej klasy języków jednoznacznych składniowo (węższej od klasy języków bezkontekstowych).

Zarzuty te są słuszne, o ile przyjmimy lingwistyczny punkt widzenia, w którym istotna jest kwestia adekwatności gramatyki z językami stosowanymi, zwłaszcza potocznie. Z ogólnego i semantycznego jednak punktu widzenia, ograniczenie zastosowań gramatyki do języków bezkontekstowych, a nawet jednoznacznych, będących w szczególności przekładami (formalizacjami) języków kontekstowych i ściśle wieloznacznych, nie jest wadą. Na ogół jest bezwzględna teoretycznie potrzeba.

15. Mimo to próbuje się pogodzić typowo językoznawcze zadania gramatyki z jej zastosowaniami logicznymi i semantycznymi. Mam na myśli przede wszystkim gramatykę Montague i pokrewne gramatyki formalne. Jednym z przyjętych w tych gramatykach środków zaradczych na braki gramatyk logicznej jest zastąpienie funktorów - w ich tradycyjnej roli "słowotwórczej" - przez abstrakcyjnie (matematycznie) rozumiane przekształcenia składniowe oraz reguły określające, które z tych przekształceń są w danym języku poprawne. Daje to oczywiście znacznie większą swobodę w określaniu konstrukcji językowych.

Od razu widać np., że problem kolejności słów w wyznaczaniu kategorii jest łatwy do uniknięcia. Bez trudu możemy też zachować kontekstowość wielu słów - wielu funkcjom składniowym może odpowiadać jeden "funktor" (gdy np. jedna funkcja polega na połączeniu zdań spójką i zaś inna - na połączeniu tą samą spójką nazw).

Nie widać natomiast od razu, jak w tym "funkcyjno-kategorialnym" podejściu można uniknąć pozostałych zarzutów.

II. Szkic gramatyki formalnej

1. Rozważmy następującą trójkę niepustych zbiorów

$$G = (V, K, F),$$

gdzie V jest obliczalnym słownikiem, K jest podziałem logicznym dowolnego zbioru wyrażeni nad V zwanych wyrażeniami podstawowymi (kategorematycznymi), F natomiast jest wyróżnionym zbiorem

rekurencyjnych funkcji składania zdań z produktów kategorii w zbiór słów:

jeśli $f^{(n)} \in F$, to $f^{(n)} : K_1 \times \dots \times K_n \rightarrow V^+$, dla pewnych $K_1, \dots, K_n \in K$.

Elementy rodziny K nazywać będziemy kategoriami podstawowymi wyrażań. Językiem $L(G)$ wyznaczonym przez gramatykę G jest zbiór wszystkich wartości funkcji z F :

$$L(G) = U\{\ast(f) \mid f \in F\}$$

(symbol $\ast(f)$ oznacza tu przeciwdziedzinę funkcji f). Podobnie jak zwykle, elementy języka interpretujemy jako zdania.

Gramatyka G jest więc określona przez słownik, zestaw kategorii podstawowych oraz rodzinę rekursywnych przekształceń wyrażań podstawowych (pełniących rolę podobną do funktorów zdaniotwórczych). Zbiór wszystkich wyrażań, które można w wyniku tych przekształceń otrzymać, jest językiem wyznaczonym przez gramatykę G . Oczywiście, terminologia powyższa nie wynika wprost z formalizmu i wskazuje raczej na jego zamierzoną interpretację.

Ze względu na założoną rekurencyjność funkcji, każdy zbiór wyrażań wyznaczony przez gramatykę G jest rekurencyjnie przeliczalny. Wstępny warunek językowości tego zbioru jest więc spełniony.

2. Oznaczmy symbolem S zbiór wyrażań sensownych będący sumą zbiorów wyrażań podstawowych gramatyki G i zbioru $L(G)$ zdań, symbolem \sim natomiast - dwuczłonową relację zastępowalności określoną na zbiorze wyrażań sensownych w ten sposób, że dwa wyrażenia są w relacji \sim tylko wtedy, gdy należą do tej samej kategorii lub są zdaniami. Z określenia gramatyki wyprowadzamy bezpośrednio wniosek, będący sformulowaniem zasady zastępowalności (dla wyrażań sensownych) :

$$(W) \quad a \sim b \text{ wtt } f(\dots a \dots) \sim f(\dots b \dots),$$

a więc - dwa wyrażenia należą do tej samej kategorii wyrażań języka tylko wtedy, gdy są zastępowalne w dowolnym zdaniu tego języka.

Formalnie mówimy, że relacja \sim jest największą kongruencją zbioru funkcji F .

3. Powyższe określenie przekształcenia składniowego jest dość ogólnikowe. W celu ukazania możliwości jego zawężenia, rozważmy przykładowo kilka warunków dodatkowych. Symbolem \leq oznaczmy tu będziemy relację bycia częścią określoną na zbiorze S słów sensownych następująco:

$$a \leq b \text{ wff dla pewnego } x, y \in V^+ : xay = b$$

(ułożenie znaków obok siebie oznacza ich konkatencję; a, b, x, y mogą być też słowami pustymi).

W pierwszym ograniczeniu zbioru F przyjmijmy warunek:

- (1) Jeżeli $x \in \{x_1, \dots, x_n\}$, to $x \leq f(x_1, \dots, x_n)$, dla każdego $f \in F$,
dla każdego $x_1 \in \triangleright_1(f), \dots, x_n \in \triangleright_n(f)$, dla każdego $x \in S$

(symbol $\triangleright_i(f)$ oznacza tutaj i -tą dziedzinę funkcji
 $f: K_1 \times \dots \times K_i \times \dots \times K_n \rightarrow V^*$).

Warunek ten stwierdza że przynajmniej jeden argument funkcji składania zdań jest częścią jej wartości. Innymi słowy, każda taka funkcja jest przekształceniem - termin ten nabiera obecnie jakby dosłownego sensu jakiegoś ciągu wyrażań sensownych, zachowującym przynajmniej jeden jego wyraz.

4. Drugim naturalnym ograniczeniem pojęcia funkcji składania zdań jest dołączenie warunku odwrotnego do (1):

- (2) jeżeli $x \leq f(x_1, \dots, x_n)$, to $x \in \{x_1, \dots, x_n\}$, dla każdego $f \in F$, dla każdego
 $x_1 \in \triangleleft_1(f), \dots, x_n \in \triangleleft_n(f)$, dla każdego $x \in S$.

Warunek ten wyklucza możliwość, że funkcja f dopisuje wyrażenia sensowne lub słowa, których częściami są wyrażenia sensowne

Dopisane przez funkcję składniową słowo ściśle odpowiada pojęciu funktora (zdaniotwórczego) w klasycznej gramatyce kategoryjalnej. Warunek (2) możemy więc interpretować tak, że żadne wyrażenie sensowne nie jest ani funktorem, ani jego częścią.

5. Następny warunek jest wzmocnieniem (1):

- (3) $x_1, \dots, x_n \leq f(x_1, \dots, x_n)$.

Po dołączeniu (3) do dwóch poprzedniego warunku, przekształcenie składniowe n -tki wyrażań podstawowych polega bądź na ich konkatenacji (w dowolnym zresztą porządku), bądź na dopisaniu (w którymkolwiek miejscu n -tki) słowa nie będącego wyrażeniem sensownym ani nie zawierającym takiego wyrażenia.

Z warunków tych wynika, że każde przekształcenie składniowe jest funkcją różnowartościową (jedno-jednoznaczna).

6. Różnowartościowość (funkcji składania zdań) gramatyki należy odróżnić od jej jednoznaczności. Jak zwykle, przez jednoznaczność gramatyki rozumiemy własność polegającą na tym, że każde zdanie jest określone w gramatyce tylko w jeden sposób.

Gramatyki spełniające warunki (2) i (3) mogą być wieloznaczne. Jako przykład niech posłużą dwa różne sposoby wyznaczania zdania:

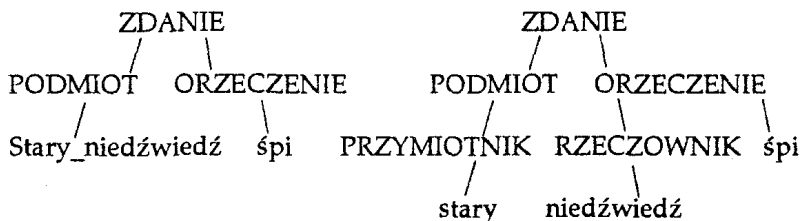
- (Z) *Stary_niedźwiedź_śpi*

w gramatyce, w której do wyrażań podstawowych należą podmioty zdań, orzeczenia, przymiotniki i rzeczowniki, zaś do funkcji skła-

dniowych: funkcja f_1 typu $f_2(\text{PODMIOT}, \text{ORZECZENIE}) = \text{PODMIOT_ORZECZENIE}$ oraz funkcja f_2 typu $f_2(\text{PRZYMIOTNIK}, \text{RZECZOWNIK}, \text{ORZECZENIE}) = \text{PRZYMIOTNIK_RZECZOWNIK_ORZECZENIE}$. Wówczas:

$$f_1(\text{Stary_niedźwiedź}, \text{śpi}) = f_2(\text{Stary}, \text{niedźwiedź}, \text{śpi}).$$

Powyższym konstrukcjom zdania (Z) odpowiadają drzewa:



7. Dla zapewnienia jednoznaczności gramatyki wystarczy do (2) i (3) dołączyć warunek:

$$(4) \quad \text{jeśli } f_i^{(n)}(x_1, \dots, x_n) = f_j^{(m)}(y_1, \dots, y_m), \text{ to } f_i^{(n)} = f_j^{(m)}$$

Z faktu różnowartowości gramatyki wynika bowiem, że jeśli spełniony jest poprzednik warunku (4), to spełniony jest nie tylko jego następnik, ale też równość: $x_1 = y_1, \dots, x_n = y_m$.

Oznaczmy przez $At(UK)$ zbiór wszystkich prostych wyrażeń podstawowych (tj. wyrażeń podstawowych, których żadne części właściwe nie są wyrażeniami podstawowymi; pojęcie to jest definiowane przy pomocy relacji \leq). Dla każdej gramatyki $G=(V,K,F)$ spełniającej warunki (2) i (3) zachodzi oczywiste twierdzenie:

$$(T) \quad \text{jeżeli } At(UK) = UK, \text{ to } G \text{ jest jednoznaczna.}$$

Podane określenie gramatyki, poza wymienionymi przykładowo ograniczeniami jakościowymi nakładanymi na zbiór funkcji składniowych, dopuszcza różne charakterystyki ilościowe uwzględniające moce zbiorów: słownika, klasyfikacji kategorii, zbioru atomów, rodziny funkcji składniowych i in. Ten istotny aspekt opisu możliwych typów gramatyk został tu całkowicie pominięty.

Warto jeszcze raz podkreślić, że konstrukcja gramatyki została pomyślana tak, by mogła stanowić naturalną podstawę ogólnej semantyki. Dotyczy to możliwości określenia różnego typu homomorfizmów na zbiorze wyrażeń sensownych (względem funkcji składania zdań).