

ANNA KOZANECKA

## O RODZAJACH LOGIK TEMPORALNYCH

Problematyka formalnego ujęcia czasu interesowała filozofów już od starożytności. Zagadnienie to było jednak dość długo traktowane marginalnie, a wraz z renesansowym upadkiem logiki formalnej poszło całkowicie w niepamięć. Odrodzenie zainteresowań problematyką czasu w aspekcie logicznym nastąpiło dopiero pod koniec pierwszej połowy ubiegłego stulecia. W literaturze logicznej zaczęły pojawiać się prace, w których przedstawiano konstrukcje zwane systemami logik temporalnych.

Obecnie pojęciem „logika temporalna” określanych jest wiele niezależnych od siebie logik: różniących się między sobą występującymi na ich gruncie specyficznymi funktorami temporalnymi i co za tym idzie, w odmienny sposób formalizujących wyrażenia zawierające zwroty czasowe<sup>1</sup>. Różnorodność logik temporalnych prowadzić może do pewnego zamętu terminologicznego. Tym bardziej, że w dziedzinie tychże logik, mimo ich znacznego rozwoju formalnego oraz szeregu analiz filozoficznych poświęconych omawianej problematyce, nie podjęto dotychczas próby usystematyzowania współczesnych systemów logiki temporalnej. Będzie to zatem celem niniejszego artykułu. W związku z tym tekst został podzielony na cztery części. W każdej z nich przedstawione zostaną skrótowo cztery różne formalizmy określane mianem logiki temporalnej. Trzy pierwsze znajdują zastosowanie w naukach przyrodniczych (głównie w fizyce), ostatni powstał na potrzeby informatyki. Praca nie obejmuje wszystkich odmian logiki temporalnej, aczkolwiek przedstawia najważniejsze jej rodzaje.

---

Mgr ANNA KOZANECKA – Katedra Logiki na Wydziale Filozofii Katolickiego Uniwersytetu Lubelskiego Jana Pawła II; adres do korespondencji: Al. Raclawickie 14, 20-950 Lublin; e-mail: annakozanecka@wp.pl

<sup>1</sup> Nie chodzi tu zatem o niezależność rachunkową, ponieważ między omawianymi niżej systemami zachodzi szereg analogii strukturalnych.

## I.

Terminem „logika temporalna” (*Temporal Logic*) określa się często systemy logiki czasów gramatycznych, nazywane także systemami logiki zdań temporalnych. Systemy tego rodzaju logiki temporalnej łączą badania nad logiczną strukturą czasów gramatycznych (*Tense Logic*) z logiczną analizą związków czasowych, podejmowaną na gruncie filozofii nauki (*Logic of Time*). Zintegrowanie to miało miejsce dlatego, że analiza czasu gramatycznego implikuje przyjęcie jakiegoś modelu czasu fizykalnego<sup>2</sup>. Tezy tych logik ustalają znaczenie różnych funktorów czasowych występujących w tych tezach oraz na różne sposoby charakteryzują własności następstwa czasowego. Systemy logiki czasów gramatycznych przez jej twórców określane były terminem *Tense Logic*<sup>3</sup>.

Logika czasów gramatycznych w aspekcie formalnym wywodzi się z logiki modalnej, dlatego też często określana jest mianem modalnej logiki czasu. Twórcą logiki czasów gramatycznych jest A. N. Prior, uważany za prekursora logik temporalnych. Prior zinterpretował temporalnie funktory możliwości i konieczności, wprowadzając do skonstruowanych przez siebie systemów logiki czasów gramatycznych cztery funktory zdaniotwórcze od jednego argumentu zdaniowego, odpowiadające w języku naturalnym różnym czasom gramatycznym:

Hp – było w przeszłości zawsze tak, że  $p$ ,

Pp – było w przeszłości kiedyś tak, że  $p$ ,

Gp – będzie w przyszłości zawsze tak, że  $p$ ,

Fp – będzie w przyszłości kiedyś tak, że  $p$ <sup>4</sup>.

Podstawowy, minimalny system logiki czasów gramatycznych oznaczany jest symbolem  $K_t$ . Jego twórcą jest E. J. Lemmon. System ten określa podstawowe własności wprowadzonych przez Priora funktorów i jest niezależny od jakichkolwiek założeń dotyczących własności czasu. Każda teza  $K_t$  jest

<sup>2</sup> Por. J. W a j s z c z y k, *Logika a czas i zmiana*, Olsztyn 1995, s. 7-8.

<sup>3</sup> Por. R. P. M c A r t h u r, *Tense Logic*, (Synthese Library, vol. 111), Dordrecht–Boston 1976, s. 1-51.

<sup>4</sup> Por. A. N. P r i o r, *Time and Modality*, Oxford 1957, s. 9-54. Funktory te można czytać także w następujący sposób: F (zastąpił modalny funktor możliwości) – możliwe w przyszłości, G (zastąpił modalny funktor konieczności) – konieczne w przyszłości oraz P – możliwe w przeszłości, H – konieczne w przeszłości (przeszłościowe odpowiedniki funktorów modalnych). Por. E. H a j n i c z, *Reprezentacja logiczna wiedzy zmieniającej się w czasie*, Warszawa 1996, s. 152.

w zasadzie pewnym skrótowym zapisem odpowiedniej tezy klasycznego rachunku zdań zinterpretowanej temporalnie.  $K_t$  jest więc rozszerzeniem klasycznego rachunku zdań.

Systemy logiki czasów gramatycznych dla czasu o odpowiednich własnościach są rozszerzeniami systemu  $K_t$ . Konstruowano je syntaktycznie przez dołączenie do systemu  $K_t$  określonych wyrażeń jako aksjomatów lub semantycznie, przez sformułowanie pewnych założeń dotyczących własności relacji poprzedzania<sup>5</sup>. Do systemów tych należą linearne logiki czasów gramatycznych (*linear tense logics*), logiki czasu cyrkularnego (*circular tense logics*) oraz logiki czasu rozgałęzionego (*branching tense logics*).

Najprostszym rozszerzeniem systemu  $K_t$  jest system CR, nazywany inaczej systemem  $K_t$ .<sup>4</sup> Rachunek ten, w zamierzeniu jego twórcy – N. B. Cocchiarelli, miał być logiką czasów gramatycznych wyrażającą tylko przechodniość relacji poprzedzania  $<$ . Przez fakt, że system CR wyraża tylko tę własność relacji poprzedzania, jest on bazowym systemem dla systemów czasu liniowego, a także dla systemów czasu cyrkularnego i rozgałęzionego.

System dla czasu linearnego, *linear tense logic*, gdzie relacja  $<$  jest przechodnia i obustronnie linearna, pochodzi od Cocchiarelli i oznaczany jest skrótem CL. System dla czasu linearnego, gdzie relacja  $<$  jest przechodnia, obustronnie linearna oraz pozbawiona momentu początkowego (niekończąca się w przeszłości) i końcowego (niekończąca się w przyszłości) skonstruował D. Scott. Rachunek ten oznacza się SL. Prior jest autorem rachunku *tense logic* oznaczanego przez PL. Jest to także system dla czasu linearnego, uporządkowanego w sposób gęsty, w którym relacja  $<$  jest przechodnia, obustronnie linearna, bez momentu początkowego i końcowego. W linearnej logice czasów gramatycznych skonstruowano także systemy dla czasu cyrkularnego, tzn. takiego, gdzie relacja  $<$  jest przechodnia, zwrotna i symetryczna. Autorem takiego rachunku *circular tense logic*, oznaczanego przez PCr, jest również Prior<sup>6</sup>.

Obok systemów logicznych budowanych dla czasu liniowego powstały także systemy dla czasu rozgałęzionego, *branching tense logic*, dla których bazowym systemem jest także system CR. Twórcami logiki dla czasu rozgałęzionego są N. Rescher i A. Urquhart<sup>7</sup>. Skonstruowali oni rachunek

---

<sup>5</sup> W fizyce można traktować czas jako teoriomnogościowy zbiór momentów uporządkowany liniowo przez relację poprzedzania (wcześniej)  $<$ .

<sup>6</sup> Por. A. N. P r i o r, *Past, Present and Future*, Oxford 1967, s. 32-76, 176-179.

<sup>7</sup> Por. N. R e s c h e r, A. U r q u h a r t, *Temporal Logic*, New York 1971, rozdz. 4.

oznaczany przez  $K_b$ , wyrażający przechodność i wsteczną linearność relacji  $<$ . Dopuszczalne jest tu zatem rozgałęzienie łańcucha czasowego w przyszłość.

W celu rozwinięcia formalizacji zwrotów czasowych oraz rozszerzenia stosowalności funktorów P, F, G, H wykorzystano kilka możliwości. O niektórych warto wspomnieć. Jedną z nich jest powiązanie funktorów czasowych z indeksami metrycznymi, czyli tak zwana metryczna logika zdań czasowych<sup>8</sup>. Indeksy metryczne zapisywane u góry przy funktorze reprezentują specyficzne interwały czasu wskazujące na czas wypowiedzi (czy wyrażane zdarzenie miało miejsce przed wypowiedzeniem zdania, czy nastąpi po nim w przyszłości)<sup>9</sup>.

Innym możliwym rozszerzeniem logiki czasów gramatycznych jest wprowadzenie do jej systemów funktorów modalnych. Takim systemem jest system OT, na gruncie którego funktory modalne: Mp („możliwie, że będzie tak, że  $p$ ”) i Lp („koniecznie, że będzie tak, że  $p$ ”) występują obok funktorów czasowych<sup>10</sup>.

Przedstawione powyżej systemy nadbudowane zostały nad klasycznym rachunkiem zdań. Istnieją także systemy logiki czasów gramatycznych powstałe jako rozszerzenie rachunku kwantyfikatorów<sup>11</sup>. Minimalnym systemem czasowej logiki kwantyfikatorów jest system oznaczany symbolem  $QK_t$  (jego warianty to  $QK_t^*$ ,  $QK_t^{**}$ ). Inne systemy są jego rozszerzeniami, m.in. QCR, QCL itp<sup>12</sup>.

Obecnie dział logiki nieklasycznej, jaką jest logika czasów gramatycznych, jest bardzo zaawansowany formalnie. Dotychczas skonstruowane systemy logiki czasów gramatycznych związane są z przyjętym modelem czasu fizykalnego i mogą mieć zastosowanie na gruncie nauk przyrodniczych (głównie fizyki i kosmologii). Warunkiem zastosowania tych systemów w naukach przyrodniczych, a także w filozofii nauk przyrodniczych, jest adekwatne przedstawianie przez te systemy własności czasu w sensie fizykalnym. Osobliwe aksjomaty i twierdzenia systemów logiki zdań temporalnych muszą być zdaniami prawdziwymi w przyrodniczym modelu czasu.

<sup>8</sup> Por. P r i o r, *Past, Present and Future*, s. 95-112.

<sup>9</sup> Na przykład: chcąc sformalizować zdanie „Będzie padać za godzinę od tej chwili” (bardziej precyzyjnie niż Fp), zapisujemy je symbolami:  $F^1 p$ , przyjmując, że w tym przykładzie jedna godzina jest podstawowym interwałem czasowym. Por. M c A r t h u r, *Tense Logic*, s. 5-6.

<sup>10</sup> Por. P r i o r, *Past, Present and Future*, s. 113-136.

<sup>11</sup> Tamże, s. 137-174.

<sup>12</sup> Por. R. P. M c A r t h u r, H. L e b l a n c, *A Completeness Result for Quantificational Tense Logic*, „Zeitschrift für Mathematische Logik und Grundlagen der Mathematik” 22 (1976), s. 89-96.

## II.

Funktory P, F, G, H dotyczą czasów gramatycznych i nie mają prostych, naturalnych odpowiedników w języku potocznym. Za ich pomocą formalizuje się zdania zawierające czasowniki w różnych czasach gramatycznych oraz wyrażenia zawierające tzw. zwroty czasowe. Natomiast w celu formalizacji wyrażen języka potocznego oraz zbliżonych do języka naturalnego wyrażen z wielu nauk, skonstruowane zostały systemy logiki temporalnej zawierające inne niż systemy *tense logic* funktory. Do najważniejszych takich systemów należą systemy ze *zmienną czasową*, zawierające funktory R, U odczytywane w następujący sposób:

$R\ t\ p$  –  $p$  jest realizowane w czasie  $t$  (jest tak w czasie  $t$ , że  $p$ ),

$U\ t_1\ t_2$  – czas  $t_1$  jest przed czasem  $t_2$ .

System zawierający funktor R nazywany jest systemem R. Jego rozszerzeniem jest system R/U (zawierający obok funktora R także funktor U).

Takie systemy logiki temporalnej to logiki czasu empirycznego, zwłaszcza fizykalnego. Zostały one zapoczątkowane przez polskiego logika J. Łosia, który podjął pierwszą próbę (wcześniej niż Prior) skonstruowania formalnego systemu logiki temporalnej, budując w 1947 r. pierwszy współczesny system logiki dat i interwałów czasowych<sup>13</sup>. Następnie systemy zawierające zmienną czasową konstruowane i rozwijane były przede wszystkim przez Reschera, a także w pewnym stopniu przez Urquharta i Priora<sup>14</sup>. Systemy czasu fizykalnego są bardzo rozwinięte formalnie i doniosłe filozoficznie (logiczna teoria zmiennej czasowej sięga Arystotelesa i Szkoły Megarejsko-Stoickiej, była też rozwijana w średniowieczu); a przede wszystkim związane z naukami przyrodniczymi i metodologią nauk przyrodniczych. Mogą zatem znaleźć zastosowanie na ich gruncie.

Systemy logiczne, w których występują wyrażenia  $R\ t\ p$  i  $U\ t_1\ t_2$  ich twórcy nazywali *Temporal Logic* (bądź też *Chronological Logic*) w odróżnieniu od rachunków zawierających funktory P, F, G, H, które nazwano *Tense Logic*. Dyskutowane jest zagadnienie wzajemnej definiowalności funktorów obu tych grup.

<sup>13</sup> Por. J. Łoś, *Analiza metodologiczna kanonów Milla*, „Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska” 2 (1947), z. 5, s. 279-281.

<sup>14</sup> Por. Rescher, Urquhart, *Temporal Logic*, s. 31-54; N. Rescher, *Topics in Philosophical Logics*, (Synthese Library), Dordrecht 1968, s. 196-228.

## III.

Poza systemami wymienionymi powyżej istnieją także inne, odmienne od nich systemy, również określane mianem logiki temporalnej. Są to systemy zawierające funktry temporalne, których odpowiednikami w języku potocznym są wyrażenia *i potem*, *i następnie*. Systemy logiki temporalnej, na gruncie których występują takie funktry, skonstruowane zostały w latach sześćdziesiątych XX wieku przez fińskiego logika G. H. von Wrighta.

Von Wright jest twórcą systemów *And Next* i *And Then*<sup>15</sup>. Pierwszy z tych systemów powstał w 1965 r., drugi w rok później. W systemach tych występują funktry temporalne (zdaniotwórcze od dwóch argumentów zdaniowych) tzw. koniunkcji uczasowionej (oznaczane symbolem T).

Na gruncie systemu *And Next* występuje funktry T odczytywany:

$pTq - p$  *i następnie* (w chwili bezpośrednio następującej)  $q$ .

Na gruncie systemu *And Then* występuje funktry T odczytywany:

$pTq - p$  *i potem* (kiedyś potem)  $q$ .

W rachunkach von Wrighta nie występują, tak jak w systemach logiki czasów gramatycznych, terminy odnoszące się do całej przeszłości i całej przyszłości, a jedynie terminy odnoszące się do przyszłości (w przypadku systemu *And Next* – terminy odnoszące się do najbliższej przyszłości). Von Wright dopuszczał jednak możliwość konstruowania systemów zawierających funktry T interpretowany jako funktry przeszłości.

Prior w następujący sposób definiował związki między logiką czasów gramatycznych a systemem *And Then*:

D. 1.  $pTq \equiv p \wedge Fq$

D. 2.  $Fp \equiv (p \rightarrow p) Tp (= t T p)$ , gdzie  $t$  jest dowolną tautologią logiki zdań.

Opierając się na definicji drugiej, Prior wyprowadził z aksjomatów *And Then* aksjomaty systemu logiki zdań czasowych z terminem pierwotnym  $F$ <sup>16</sup>.

Użycie funktry *i następnie* w systemie *And Next* zakłada dyskretność struktury czasowej. System *And Then* zakłada tylko linearność czasu. Innych założeń dotyczących czasu w tym systemie nie ma. Ponadto funktry temporalny T występujący w tym systemie najprościej wyraża ważne z punktu widzenia nauk przyrodniczych relacje czasowe. System logiki temporalnej

<sup>15</sup> Por. G. H. von Wright, *And Next*, „Acta Philosophica Fennica” 18 (1965), s. 293-304; tenże, *And Then*, „Commentationes Physico-Mathematicae” 32 (1966), nr 7, s. 1-11.

<sup>16</sup> Por. Prior, *Past, Present and Future*, s. 182-187.

*And Then* respektuje zatem podstawowe ujęcia fizyki współczesnej dotyczące czasu<sup>17</sup> i może znaleźć zastosowanie na jej gruncie.

#### IV.

Wraz ze wzrostem zastosowań komputerów w wielu dziedzinach życia niezbędna okazała się możliwość posługiwania się pojęciem czasu w programach komputerowych. W latach siedemdziesiątych ubiegłego stulecia pojawiły się zupełnie inne niż wyżej wymienione, nowe systemy, także określone mianem logiki temporalnej (*Temporal Logic*), wykorzystywane przede wszystkim w informatyce<sup>18</sup>.

Niektóre z systemów logiki temporalnej powstały na potrzeby systemów planistycznych, inne stosowane są do opisu temporalnych baz danych, kilka związanych jest z przetwarzaniem języka naturalnego. Są to rozwiązania mieszczące się w ramach tzw. sztucznej inteligencji. Systemy takie zbudowali m.in. A. L. Lansky, J. Y. Halpern i Y. Shoham, R. S. Crouch i S. G. Pulman, V. Goranko<sup>19</sup>. Propozycji takich systemów jest obecnie bardzo dużo i wciąż powstają nowe.

Systemy logiki temporalnej służą także do specyfikacji, weryfikacji, syntezy programów oraz do programowania logicznego. Logika temporalna jest dzisiaj jednym z najlepszych formalizmów wykorzystywanych do szeroko rozumianego wnioskowania o systemach współbieżnych, a także zajmuje istotne miejsce we wszystkich prognozach rozwoju narzędzi formalnych do analizy takich systemów. Za twórców tego rodzaju logiki temporalnej, wywodzącej się z logiki modalnej, uznaje się R. M. Burstalla, który w 1974 r. jako pierwszy zasugerował zastosowanie logiki modalnej w informatyce, i A. Pnuelego, który usystematyzował logikę przedstawioną przez Burstalla jako logikę temporalną TL (*Temporal Logic*), i to właśnie praca Pnuelego *The temporal*

---

<sup>17</sup> Por. S. K i c z u k, *Problematyka wartości poznawczej systemów logiki zmiany*, Lublin 1984, s. 226.

<sup>18</sup> Warto zaznaczyć, iż systemy przekonań rozwijane dzisiaj dla potrzeb informatyki zapoczątkował w celach czysto filozoficznych R. Suszko artykułem z 1957 r. *Logika formalna a niektóre zagadnienia teorii poznania. Diachroniczna logika formalna*, „Myśl Filozoficzna” 1957, nr 2 (28), s. 27-56 oraz nr 3 (29), s. 34-67.

<sup>19</sup> Systemy te dokładnie przedstawione zostały przez E. Hajnicz (*Reprezentacja logiczna wiedzy zmieniającej się w czasie*).

*logic of programs*<sup>20</sup> uchodzi za moment zwrotny w wykorzystaniu logiki modalnej w szeroko rozumianym wnioskowaniu o programach. Pnueli w swojej pracy wprowadził dwa funktory odnoszące się do czasu przyszłego:

- p – p jest spełnione w wszystkich stanach (zawsze),
- ◇ p – p jest spełnione przynajmniej w jednym stanie (kiedyś).

Funktory te nawiązywały do funktorów logiki czasów gramatycznych Priora, odpowiednio: □ do G: „będzie w przyszłości zawsze tak, że...”, a ◇ do F: „będzie w przyszłości (kiedyś) tak, że...”. Różnica między tymi funktorami polega m.in. na tym, że funktory Pnuelego odnoszą się do terażniejszości i przyszłości, a funktory Priora tylko do przyszłości. W interpretacji Pnuelego terażniejszość zawiera się w przyszłości. Klasyczna logika temporalna w tej wersji zawiera także funktory:

- p (lub Xp) – p jest spełnione w stanie następnym po stanie odniesienia (następny),
- pUq – p jest spełnione dopóki nie jest spełnionym q (dopóki)<sup>21</sup>.

W pierwszych konstruowanych systemach tego rodzaju logiki temporalnej rozważane były wyłącznie stany przyszłe. Jednak w późniejszych systemach zaczęto uwzględniać także stany przeszłe i do logiki temporalnej wprowadzono funktory przeszłości. Stanowią one lustrzane odbicie funktorów przyszłości. W tym przypadku terażniejszość również zawiera się w przeszłości. Funktory przeszłości są następujące:

- p – p było spełnione w wszystkich stanach (było zawsze),
- ◆ p – p było spełnione przynajmniej w jednym stanie (było kiedyś),
- p(lub \* p) – p było spełnione w stanie poprzednim względem stanu odniesienia (poprzedni),

pSq – p było spełnione odkąd (ostatnio) spełnione było q (odkąd)<sup>22</sup>.

Systemy logiki temporalnej zapoczątkowane przez Burstalla i Pnuelego, a rozwijane później przez m.in. Z. Mannę i E. A. Emersona, mają zatem mało wspólnego z logikami temporalnymi zapoczątkowanymi przez Priora. Funktory □, ◇ można zapisać za pomocą funktorów Priora:

$$\square p = p \wedge Gp$$

$$\diamond p = p \vee Fp$$

(analogicznie funktory ■, ◆), ale odwrotnie się tego zrobić nie da.

<sup>20</sup> Zamieszczony w: *Proceedings of the 18<sup>th</sup> IEEE Symposium on Foundations of Computer Science. Providence, Rhode Island: 31 X – 2 XI 1977*, New York 1977, s. 46-67.

<sup>21</sup> Por. R. K l i m e k, *Wprowadzenie do logiki temporalnej*, Kraków 1999, s. 16, 25.

<sup>22</sup> Tamże, s. 47.



Natomiast użycie funktora *następny*  $\circ$  (i poprzedni  $\bullet$ ), podobnie jak użycie funktora T w systemie *And Next* von Wrighta, zakłada traktowanie czasu jako struktury dyskretnej.

Na koniec, bardzo skrótowo, pokazane zostanie, jak rozwinęły się i podzieliły logiki temporalne zapoczątkowane przez Pnuelego, w zależności od przyjmowanej koncepcji czasu.

Klasyczna logika temporalna powstała na bazie liniowej koncepcji czasu, dlatego nazywana jest *liniową logiką temporalną* – LTL (*Linear Temporal Logic*). Natomiast rachunek zdań liniowej logiki temporalnej oznaczany jest skrótem PLTL (*Propositional Linear Temporal Logic*). W zależności od przyjmowanej koncepcji czasu ograniczonego lub nieograniczonego, wprowadza się (lub nie) do logiki temporalnej funktory czasu przeszłego i/lub przyszłego. Linearna logika temporalna zawierająca oba rodzaje funktorów oznaczana jest LTL(B) bądź, w przypadku rachunku zdań, PLTL(B). Logika, której formuły nie zawierają funktorów przeszłości, oznaczana jest LTL(F) bądź PLTL(F). Natomiast logikę, której formuły nie zawierają funktorów przyszłości, oznacza się LTL(P) bądź PLTL(P).

Na bazie rozgałęzionej koncepcji czasu powstała *rozgałęziona logika temporalna* – BTL (*Branching Temporal Logic*). Rachunek zdań rozgałęzionej logiki temporalnej oznacza się PBTL (*Propositional Branching Temporal Logic*). Istnieje wiele różnych logik rozgałęzionych, np. *logika zunifikowanych rozgałęzień czasowych*, oznaczana UB (*Unified System of Branching Time*), i jej wersje  $UB^+$  i  $UB^-$ . Inną logiką rozgałęzioną jest *logika drzew obliczeniowych* – CTL (*Computation Tree Logic*) i jej wersje  $CTL^+$  oraz  $CTL^*$ . Rozszerzeniem CTL jest *logika sprawiedliwych drzew obliczeniowych* – FCTL (*Fair CTL*), a także *logika rozszerzona CTL* – ECTL oraz *rozszerzona  $CTL^+$*  –  $ECTL^+$  (*Extended CTL/CTL^+*).

Oczywiście, obok tych wymienionych, istnieje wiele innych modyfikacji i rozszerzeń omawianej logiki temporalnej, m.in. *logika temporalna przedziałów*: ITL (*Interval Temporal Logic*), *rozszerzona logika temporalna*: ETL (*Extended Temporal Logic*), *logiki temporalne czasu rzeczywistego* i *logika temporalna akcji*: TLA (*Temporal Logic of Action*). Skonstruowane zostały także logiki temporalne pierwszego rzędu: *liniowa logika temporalna pierwszego rzędu* FOLTL (*First-Order Linear Temporal Logic*) oraz *rozgałęziona logika temporalna pierwszego rzędu* FOBTL (*First-Order Branching Temporal Logic*)<sup>23</sup>.

<sup>23</sup> Tamże, s. 24-99.

Wciąż powstaje wiele coraz to doskonalszych systemów tego rodzaju logiki temporalnej.

Uzupełniając rozważania zawarte w tym artykule, zauważyć należy, że poza wyżej wymienionymi rodzajami logik temporalnych istnieją także inne formalizmy pretendujące do tego miana, nie będzie się ich tu jednak omawiać. Podejścia niestandardowe zostały pominięte.

Podsumowując, stwierdzić należy, że współcześnie mianem logiki temporalnej określana jest logika czasów gramatycznych, nazywana inaczej logiką zdań temporalnych, logika czasu fizykalnego (zawierająca zmienną czasową), systemy logiki temporalnej von Wrighta oraz systemy temporalne wykorzystujące pojęcie czasu w programach komputerowych. Wszystkie te systemy są od siebie niezależne: różnią się między sobą występującymi na ich gruncie specyficznymi funktorami temporalnymi, znajdują także zastosowanie na gruncie różnych nauk. Ich wspólną cechą jest fakt, że formalizują wyrażenia zawierające zwroty czasowe (choć na różne sposoby). Zagadnienie wzajemnych związków wymienionych logik temporalnych stanowi może pole do dalszych badań.

#### BIBLIOGRAFIA

- Hajnicz E.: Reprezentacja logiczna wiedzy zmieniającej się w czasie, Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ 1996.
- Kiczuk S.: Problematyka wartości poznawczej systemów logiki zmiany, Lublin: RW KUL 1984.
- Klimek R.: Wprowadzenie do logiki temporalnej, Kraków: Wydawnictwa AGH 1999.
- Łoś J.: Analiza metodologiczna kanonów Milla, „Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska” 2 (1947), z. 5.
- McArthur R. P.: Tense Logic, (Synthese Library, vol. 111), Dordrecht–Boston: D. Reidel Publishing Company 1976.
- McArthur R. P., Leblanc H.: A Completeness Result for Quantificational Tense Logic, „Zeitschrift für Mathematische Logik und Grundlagen der Mathematik” 22 (1976), s. 89-96.
- Pnueli A.: The temporal logic of programs, [w:] Proceedings of the 18<sup>th</sup> IEEE Symposium on Foundations of Computer Science. Providence, Rhode Island: 31 X – 2 XI 1977, New York. IEEE Computer Society Press 1977, s. 46-67.
- Prior A. N.: Time and Modality, Oxford: Clarendon Press 1957.
- Past, Present and Future, Oxford: Oxford University Press 1967.
- Rescher N.: Topics in Philosophical Logics, (Synthese Library), Dordrecht: D. Reidel Publishing Company 1968.

- Rescher N., Urquhart A.: *Temporal Logic*, New York: Springer 1971.
- Suszek R.: Logika formalna a niektóre zagadnienia teorii poznania. Diachroniczna logika formalna, „Myśl Filozoficzna” 1957, nr 2 (28), s. 27-56 oraz nr 3 (29), s. 34-67.
- Von Wright G. H.: *And Next*, „Acta Philosophica Fennica” 18 (1965), s. 293-304.  
— *And Then*, „Commentationes Physico-Mathematicae” 32 (1966), nr 7, s. 1-11.
- Wajszczyk J.: *Logika a czas i zmiana*, Olsztyn: WSP 1995.

## ON KINDS OF TEMPORAL LOGICS

## Summary

The article is devoted to the problems of different kinds of logics defined as “temporal” (*Temporal Logic*). At present the term “temporal logic” is used to denote several mutually independent logical systems containing different specific temporal operators and being used in many different branches of knowledge. The aim of the article is to organize this issue. Parts I, II and III of the article discuss temporal logics that may be used in natural sciences (mainly physics and cosmology): tense logic, also called logic of temporal clauses, logic of time (containing time variable) and von Wright’s systems of temporal logic. In Part IV, the last part of the article, temporal systems are presented that make use of the concept of time in computer programs. Non-standard approaches have been omitted.

*Translated by Tadeusz Karłowicz*

**Słowa kluczowe:** czas gramatyczny, logika temporalna, logika czasów gramatycznych, logika czasu, *And Next* – „i następnie”, *And Then* – „i wtedy”.

**Key words:** Tense, Temporal Logic, Tense Logic, Logic of Time, Chronological Logic, *And Next*, *And Then*.

**Information about Author:** ANNA KOZANECKA, M.A. – Chair of Logic, Faculty of Philosophy, The John Paul II Catholic University of Lublin; address for correspondence: Al. Raławickie 14, PL 20-950 Lublin; e-mail: annakozanecka@wp.pl