

Logika i inżynieria wiedzy w telekomunikacji

Andrzej P. Wierzbicki,
Edward Klimasara, Anna Mościcka

Artykuł niniejszy jest poświęcony ogólnie roli logiki w poznaniu i kreowaniu wiedzy, w tym logiki wielowartościowej, najpierw z przeciwstawieniem jej roli klasycznej w filozofii oraz jej roli w zastosowaniach, zwłaszcza telekomunikacyjnych i teleinformatycznych, później zaś przykładowi zastosowania logik wielowartościowych w inżynierii wiedzy. Podkreślona jest konieczność pluralizmu logicznego, t.j. wyboru logiki o założeniach adekwatnych do danej dziedziny zastosowań. Dyskutowana jest kwestia pozornych paradoksów logicznych oraz ich usuwania przez wybór adekwatnej wersji logiki, a także przykład wyboru adekwatnej wersji logiki w zastosowaniu do systemu PrOnto wspomaganie wyszukiwania tekstów interesujących dla użytkownika.

pluralizm logiczny, pozorne paradoksy logiczne, logiki wielowartościowe w inżynierii wiedzy

Wprowadzenie

Logika była zawsze podstawowym narzędziem poznawczym człowieka, co silnie uwypukla przykład historii telekomunikacji i informatyki. Pierwsi inżynierowie telekomunikacji, którzy zajmowali się automatyzacją central telefonicznych używając elektromechanicznych przekaźników i wybieraków, intuicyjnie stosowali logikę nie wiedząc, że to robią. Nie znali oni prac George'a Boole'a, który już w 1847 roku opublikował *The Mathematical Analysis of Logic*, formułując matematyczne zasady logiki dwuwartościowej, binarnej o wartościach jeden (prawda) oraz zero (nieprawda), dzisiaj powszechnie stosowanej w konstrukcji komputerów cyfrowych. Ale do takiego wykorzystania niezbędny był jeszcze przełom koncepcyjny – interpretacja wartości logicznych jako stanu zamknięcia (przewodzenia) oraz otwarcia (nieprzewodzenia) w obwodzie elektrycznym, dokonana formalnie przez Claude'a Shannona w jego pracy doktorskiej (1938 r., ponad 90 lat po Boole'u, zob. [25]), chociaż przed tym faktycznie wykorzystywana intuicyjnie^① przez inżynierów w sterowaniu urządzeń dźwigowych (wind) czy w automatyzacji central telefonicznych, a nawet w konstrukcji pierwszych prototypów komputerów cyfrowych.

Bo też pierwszy prototyp komputera cyfrowego, opatentowany w 1936 roku przez Konrada Zuse^②, był w istocie modyfikacją centrali telefonicznej dla celów obliczeniowych. Konrad Zuse nie mógł znać

^① W całkowicie racjonalnym, naturalistycznym i ewolucyjnym sensie intuicji jako przedślowej lecz naturalnej władzy poznawczej człowieka, oddzielonej od słownego opisu świata w ewolucyjnym etapie rozwoju mowy przez rodzaj ludzki, zob. racjonalną i ewolucyjną teorię intuicji [7, 31-32]. Używając wiedzy z dziedzin telekomunikacji i informatyki, teoria ta dowodzi, że na etapie rozwoju mowy wyłonił się u ludzi nadmiar mózgu czy umysłu, wyrażający się oszacowaniem, że tylko co najwyżej 0,01% neuronów w naszym mózgu zajmuje się rozumowaniem słownym i logicznym. Zdajemy sobie sprawę, że intuicja jest współcześnie często interpretowana jako nadnaturalna, transcendentalna władza poznawcza, zatem bywa pomijana np. przez współczesną psychologię; ale opieramy się w tym tekście na interpretacji intuicji jako władzy naturalnej, potężnej choć omylnej.

^② Zob. [20]. Było to w pięć lat po konstrukcji pierwszego komputera analogowego (Vannevar Bush w 1931 r.), który znalazł szybkie zastosowania w sterowaniu artylerii morskiej, a jego twórca został doradcą naukowym prezydenta Franklina D. Roosevelta. Fakt, że Konrad Zuse nie znalazł wielkiego poparcia w Niemczech dla swych idei, natomiast dalsze prototypy komputerów cyfrowych rozwijały się szybko w USA, był związany z poparciem Vannevara Busha i Franklina D. Roosevelta: pierwszymi komputerami cyfrowymi próbowano przejąć funkcje komputerów analogowych, w tym obliczanie tablic artylerii morskiej, o czym świadczą nazwa jednego z nich ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Calculator, gdzie słowo Integrator – odpowiadające całkowaniu równań różniczkowych, co było funkcją komputerów analogowych, występuje jako pierwsze, przed Calculator).

pracy Alana Turinga [29], uważanej dziś przez teoretyków informatyki za początek rozwoju komputerów cyfrowych, bo przygotowywał swój patent w latach 1934-36 (przed publikacją Turinga) i oczywiście przed pracą Shannona z 1938 roku. Jest to tylko jeden z wielu^① przykładów, w których praktyka techniczna wyprzedza teorię.

Jest jednak oczywiste, że dalszy rozwój komputerów cyfrowych – a także central telefonicznych – nie mógł nastąpić bez formalizacji i powszechnego wykorzystania logiki. Tyle tylko, że *logika ta musiała być adekwatna do swego obszaru zastosowania*. Adekwatność logiki binarnej (klasycznej) do opisu operacji logicznych w komputerze jest wprawdzie tylko przybliżona, ale wystarczająca. Założenia przyjęte przez Boole’a są klasyczne – dwie wartości logiczne, *prawda* lub *nieprawda*, czyli „nie ma trzeciej drogi” (dlatego mówimy o *logice klasycznej*, lub, równoważnie, o *logice binarnej*), a także statyczna, ponadczasowa interpretacja działań i wartości logicznych – okazały się doskonałą abstrakcją dla przybliżonego opisu działania sprzętu komputerowego.

Jest to jednak opis tylko przybliżony, gdyż logika klasyczna nie jest w pełni adekwatna nawet w dziedzinie sprzętowej: wykonanie operacji logicznych zabiera pewien czas, w którym dominuje trzecia wartość logiczna, *nieokreśloność*. Istotą działania komputera jest wykonywanie sekwencji rozkazów, zatem niezbędne okazało się *taktowanie*, czyli wykonywanie nowych operacji logicznych co pewien odstęp czasu, wystarczający do eliminacji nieokreśloności operacji starych; to zaś z kolei prowadzi do pojęcia *czasu dyskretnego*^②, liczonego właśnie co kolejny takt.

Przykład ten ilustruje ogólny fakt, że nie zawsze logika klasyczna jest wystarczająca. Z tego powodu, artykuł niniejszy jest poświęcony ogólnie roli logiki, w tym logiki wielowartościowej, najpierw z przeciwstawieniem jej roli klasycznej w filozofii oraz jej roli w zastosowaniach, zwłaszcza telekomunikacyjnych i teleinformatycznych, później przykładowi zastosowania logik wielowartościowych w inżynierii wiedzy.

Logika stosowana a filozofia

Logika binarna a pluralizm logiczny

Zacznijmy od dyskusji wpływu rewolucji informacyjnej na tak ważne narzędzie poznawcze człowieka, jakim jest logika. Przekonanie, że inteligencja człowieka czy inteligencja komputera da się zredukować do logiki klasycznej, chociaż ma szacowny rodowód (zaczynając od Frege [9]), okazało się jednak fałszywe, gdyż inteligencja człowieka silnie zależy od jego *wiedzy ukrytej*, intuicyjnej i emocjonalnej, jego *psychologii głębi*, natomiast kolejno modyfikowane definicje inteligencji komputera oraz *sztucznej inteligencji* okazywały się zawodne właśnie z powodu niedoceny roli wiedzy ukrytej, zob. np. [30], [31], [35]. Tym niemniej, logika jest narzędziem ważnym, gdyż jest podstawowym narzędziem *sprawdzania poprawności* rozmaitych wnioskowań językowych czy matematycznych. Ale chociaż to tylko narzędzie wirtualne, nie wynika stąd, że jest to narzędzie idealne, absolutne.

Przez długi czas logika była traktowana jako część filozofii, ale od czasów Boole’a (1847 r.) [3] stała się częścią matematyki. I jak w każdym systemie matematycznym, prawdziwość czy raczej *adekwat-*

^① Teleskop powstał przed rozwojem optyki, generator liczb pseudolosowych w komputerze – przed rozwojem teorii chaosu deterministycznego, i wiele innych przykładów.

^② Pojęcie czasu dyskretnego doprowadziło do pytania, czy czas fizyczny rzeczywiście ma charakter ciągły, czy też – podobnie jak masa i energia – dyskretny, kwantowy. Przyjęcie dyskretności czasu mogłoby dać bardziej spójne modele fizyki kwantowej, gdyż systemy nieliniowe z czasem dyskretnym łatwo generują zachowania chaotyczne, nawet jeśli są one deterministyczne (zob. [35]), zatem założenie o indeterminizmie wszechświata mogłoby być traktowane jako skutek dyskretności czasu i nieliniowości modeli, nie jako założenie *ad hoc*. Przypomnijmy tu zdanie Einsteina „Pan Bóg nie gra w kości”.

ność logiki zależy od adekwatności jej założeń w stosunku do określonego obszaru zastosowań. Największe zasługi dla z jednej strony dalszej formalizacji, z drugiej jednak strony krytyki logiki dwuwartościowej i utworzenia podstaw matematycznych logik trójwartościowej, później wielowartościowej ma Jan Łukasiewicz (np. [18], [19]). W książce *O zasadzie sprzeczności u Arystotelesa* (1910 r.) [18], która miała ogromny wpływ na rozwój polskich szkół matematyki, logiki i filozofii, bronił on wprawdzie zasady (nie)sprzeczności, mówiącej^①, że żaden przedmiot nie może tej samej cechy jednocześnie mieć i nie mieć, ale traktował tę zasadę krytycznie. Wprawdzie podawał on dowody formalne tej zasady, ale sprawdzał też jej wiarygodność rzeczową w dziedzinie konstrukcji umysłowych (gdzie zauważył, że historycznie znane jest wiele przypadków, gdy konstrukcje umysłowe okazywały się sprzeczne) oraz w dziedzinie faktów doświadczalnych (gdzie podkreślał, że sam fakt ruchu, zmienności rzeczywistości jest istniejącą sprzecznością; zresztą cała logika klasyczna jest statyczna, nie ujmuje dynamiki zjawisk).

Z drugiej strony, Jan Łukasiewicz konsekwentnie krytykował inny aksjomat logiki dwuwartościowej, *zasadę wykluczenia środka*, mówiącą, że z dwóch przeciwnych zdań o cechach określonego przedmiotu jedno musi być prawdziwe. Podstawowym przykładem, który przeczy tej zasadzie, były według Łukasiewicza zdania dotyczące przyszłości, które z założenia mają nieokreśloną wartość logiczną *być może*. Stąd też zdecydował się na wprowadzenie logiki trójwartościowej.

Później, w trakcie rewolucji informacyjnej okazało się, że założenia Boole'a są jawnie nieadekwatne w dziedzinie systemowej i oprogramowania. Zauważył to Zdzisław Pawlak [21]: jeśli potraktować duży zbiór danych jako *system informacyjny* oraz rozważyć prawdziwość określonej relacji logicznej między elementami tego systemu, to dla pewnych par elementów relacja ta może okazać się *prawdziwa*, dla innych – *nieprawdziwa*, ale dla bardzo wielu takich par może się okazać, że jej wartość logiczna jest *nieokreślona*. Obserwacja ta stała się podstawą teorii *zbiorów przybliżonych* (*rough sets*) Pawlaka – w istocie jest to logika trójwartościowa, ale nie wynikająca z abstrakcyjnych założeń aksjomatycznych, tylko z praktycznych potrzeb analizy dużych zbiorów danych (zob. [21], [26]).

Logika dwuwartościowa (o wartościach *prawda* – *nieprawda*) jest jednak tradycyjnie stosowana w filozofii nawet do zagadnień, dla których jest wyraźnie nieadekwatna (np. dla procesów kreowania wiedzy, które mają oczywiście charakter dynamiczny), o czym w następnym punkcie. Tu trzeba najpierw podkreślić fakt podstawowy: *jeśli dopuszczamy trzecią wartość logiczną, to wszelkie dowody nie wprost, przez reductio ad absurdum czyli wykrycie sprzeczności, tracą swą wiarygodność*, na co zwracał uwagę już Brouwer [4]. Stąd też dyskutowana wyżej, zakorzeniona już w antycznej filozofii zasada logicznej (nie)sprzeczności, traktowana jako „zasada zasad” przez Arystotelesa (por. np. [18], [2]), musi być traktowana z najwyższą ostrożnością: sprzeczność może bowiem sygnalizować wylanie się nowej jakości, „trzeciej drogi”.

Fundamentalne prace Jana Łukasiewicza [18], [19] czytali raczej matematycy^②. Z punktu widzenia możliwych zastosowań, Lofti Zadeh [37] musiał odkryć logikę wielowartościową na nowo i nazwał ją teorią *zbiorów rozmytych* (*fuzzy sets*). Argument Zadeha, że logika wielowartościowa potrzebna jest do opisu współczesnego świata, wydaje się dzisiaj oczywisty. Na przykład, zdanie „liczba 7 jest liczbą dużą w przedziale liczb 0-10” jest tylko do pewnego stopnia prawdziwe, na pewno mniej, niż zdanie

^① Tradycyjnie nazywa się ją *zasadą sprzeczności*, choć w istocie jest to *zasada niesprzeczności*. Wyżej zacytowaliśmy tzw. wersję ontologiczną tej zasady; Łukasiewicz rozróżnia też jej wersję logiczną (i dowodzi, że jest ona równoważna, choć nie równoznaczna do wersji ontologicznej) oraz wersję psychologiczną, a także broni tej zasady. *Zasada (nie)sprzeczności jest jednak oczywiście nieprawdziwa, gdy zbyt pośpiesznie traktujemy łącznie różne aspekty przedmiotu: np. szereg matematyczny może być nieskończony, a mieć skończoną granicę (na tym błędzie – założeniu, że coś może być albo skończone, albo nieskończone, „nie ma trzeciej drogi” – opiera się starożytny paradoks, że Achilles nigdy nie dogoni żółwia).*

^② Znamienne jest przy tym, że Bertrand Russell pod koniec życia komentował czytelnictwo swej fundamentalnej pracy *Principia Mathematica* [24] „ze zrozumieniem przeczytało tę książkę co najwyżej siedem osób, z czego trzech to w dodatku Polacy”.

„liczba 9 jest liczbą dużą w przedziale liczb 0-10”. Zastosowania teorii zbiorów rozmytych są dzisiaj ogromne, Japończycy zbudowali nawet mikroprocesory symulujące taką logikę i zastosowali je do sterowania sprzętu domowego (np. pralek automatycznych).

Mniej powszechne jest zrozumienie potrzeby *logik temporalnych*, czyli logik uwzględniających relacje dynamiczne między wartościami, czy raczej zmiennymi logicznymi. Związane jest to także z pojęciem *sprzężenia zwrotnego*, w pewnym sensie przeciwnym do pojęcia *błędnego koła*. Nie ulega wątpliwości, że logiki temporalne, a w szczególności logika sprzężenia zwrotnego^①, zmieniają w sposób zasadniczy nasz sposób widzenia świata.

Wniosek ogólny jest jasny. Wbrew temu, czego się zazwyczaj uczy w szkole, czy nawet na uniwersytetach, nie ma logiki absolutnej, powszechnie obowiązującej, zapewniającej pełną poprawność rozumowania – zwłaszcza, jeśli się ją użyje do dowodów nie wprost opartych na redukcji do absurdu, zazwyczaj bowiem okazuje się, że rzekome absurdy można inaczej wytłumaczyć w bardziej adekwatnej logice. Nie oznacza to bynajmniej, że nie trzeba uczyć logiki – wręcz przeciwnie, w czasach po rewolucji informacyjnej trzeba uczyć *pluralizmu logicznego*. Natomiast wraz z nauką pluralizmu logicznego trzeba też pokazywać przykłady adekwatności lub nieadekwatności różnych logik do różnych obszarów zastosowań.

Sceptycyzm, sprzężenie zwrotne a naturalizm

Tradycja sceptycyzmu i krytyka naturalizmu jest bardzo silna w naukoznawstwie. Na przykład, Leszek Kołakowski [16, str. 13 wydania polskiego] pisze „*Od czasów sceptyków starożytnych wiadomo jest, że każda epistemologia – tj. jakakolwiek próba ustanowienia uniwersalnych kryteriów prawomocności wiedzy – wiedzie albo w regres nieskończony, albo w błędne koło, albo w nieprzewycięzalny paradoks samo-odniesienia (nieprzewycięzalny, rozumie się, o ile nie jest rozwiązany pozornie przez to, że obróci się go w regres nieskończony).*” Tymczasem dla technika, jak to pokażemy w dalszym rozumowaniu, logicznie poprawna epistemologia musi opierać się na pojęciu oddziaływań kolistych czy spiralnych w sensie dodatniego lub ujemnego sprzężenia zwrotnego.

Przypomnijmy, że sprzężenie zwrotne oznacza dynamiczne kolistе oddziaływanie strumienia czasowego skutków na strumień przyczyn, przy czym dzieli się na dodatnie (samopodtrzymujące, gdy skutki podtrzymują przyczyny) oraz ujemne (gdy skutki przeciwdziałają przyczynom, w swej istocie nie są samosprzeczne, tylko stabilizujące). Układ z ujemnym sprzężeniem zwrotnym, stosowany w każdym robocie, aby ustabilizować swe działanie, potrzebuje czasu teoretycznie nieskończonego, nieskończonego rekursu (regresu w dodatnim kierunku biegu czasu, zatem może trzeba to zwać „progresem”) strumieni przyczyn i skutków. W praktyce oczywiście uznajemy, że układ się ustabilizował, jeśli nie obserwujemy praktycznie już zmian (to tak, jak granica zbieżnego ciągu nieskończonego: jeśli wyrazy tego ciągu są już dostatecznie blisko granicy, uznajemy ją za osiągniętą); a więc teoretycznie nieskończony czas działania może być w praktyce bardzo krótki, jeśli stabilizacja następuje szybko. Zatem w myśl argumentów sceptyków, każdy robot jest „hydrą regresu nieskończonego”. Natomiast układ czy system z dodatnim sprzężeniem zwrotnym i nasyceniem, stosowany miliony razy w każdym komputerze jako podstawowy element pamięci, jest błędnym kołem, ma oczywiście własności samopodtrzymania, czyli samo-odniesienia; jeśli nie zatrzymany przez nasycenia, system dodatniego sprzężenia zwrotnego powoduje lawinowy rozwój.

Główną naszą tezę w tym punkcie jest zwrócenie uwagi na fakt, że dobra znajomość zachowania się układów czy systemów ze sprzężeniem zwrotnym wyjaśnia pozornie nieprzewycięzalne paradoksy

^① Logika sprzężenia zwrotnego nie jest jeszcze do końca sformalizowana przez logików, chociaż intuicyjnie od dawna stosowana przez inżynierów telekomunikacji i automatyki.

samoodniesienia, hydry regresu nieskończonego, błędnego koła – traktując je jako oczywiste cechy pojęcia sprzężenia zwrotnego, tak jak oczywiste jest dzisiaj, że Achilles jednak dogoni zółwia, gdyż szereg nieskończony może mieć skończoną granicę.

Musimy jednak stosować adekwatną logikę do danego obszaru zastosowań. Relacja między wiedzą ludzką a naturą jest oczywiście dynamiczna, nie statyczna. W ujęciu statycznym błędne koło jest oczywiście paradoksem. W ujęciu dynamicznym wręcz przeciwnie – strumień skutków może stawać się strumieniem przyczyn. Tak więc nie obowiązuje tu zasada wyłączonego środka: nieprawdą jest, że coś może być tylko albo skutkiem, albo przyczyną, może być też łącznie skutkiem i przyczyną. Jeśli jest to logika trójwartościowa, np. logika zbiorów przybliżonych Pawlaka, to wszelkie dowody nie wprost tracą swą ważność^①. Tymczasem wszelkie filozoficzne dowody niespójności naturalizmu – oparcia ludzkiej wiedzy na obserwacji natury – sprowadzają się właśnie do *reductio ad absurdum*, odnajdywania paradoksów w relacji wiedza – natura, i na stwierdzeniu, że relacja taka jest zatem niespójna, a to nic innego, jak dowód nie wprost.

Tak więc *dobra znajomość pojęcia i własności sprzężenia zwrotnego i wymaganie logiki adekwatnej do obszaru zastosowań obala podstawy logiczne całej tradycji rozumowań filozoficznych, podważających obiektywność poznania i krytykujących naturalizm na rzecz sceptycyzmu, a używających jako argumentu paradoksu błędnego koła, nieskończonego regresu czy samoodniesienia* (chodzi nam tu o relacje przyczynowo-skutkowe, nie o definicje, gdzie oczywiście należy unikać definicji kolistych).

Tradycja używania argumentu błędnego koła dla podważenia obiektywności poznania dotyczy nie tylko starożytnych sceptyków. Edmund Husserl obawiał się wyciągania wniosków z teorii intuicji Bergsona, gdyż, jak to zaświadcza Roman Ingarden [14, str. 202] obawiał się, że „*Tak, grozi tam piekielne błędne koło (ein teuflischer Zirkel)*”.

Ludwig Wittgenstein [36] używa podobnych argumentów w swym uzasadnieniu sceptycyzmu w rozprawie *On Certainty*, pisząc (teza 130): „*But isn't it experience that teaches us to judge like this, that is to say, that it is correct to judge like this? But how does experience teach us, then? We may derive it from experience, but experience does not direct us to derive anything from experience. If it is the ground for our judging like this, and not just a cause, still we do not have a ground for seeing this in turn as a ground* (tłum.: Ale czyż to nie doświadczenie uczy nas sądzić właśnie *tak*, to znaczy, że jest poprawny właśnie taki osąd? Ale jak doświadczenie może nas *uczyć*? My możemy wnioskować to z doświadczenia, ale doświadczenie nie kieruje nami, aby wnioskować cokolwiek z doświadczenia. Jeśli jest ono *podstawą* naszego osądu właśnie *tak*, a nie prostą przyczyną, nadal nie mamy podstawy aby uważać to zwrotnie za podstawę).

Tekst ten wymaga oczywiście głębszej analizy; przeprowadzili ją np. Jan Szrednicki [27] oraz Grażyna Żurkowska [38], cytując za tym ostatnim źródłem (str. 14, 15): „*Gdy w wyjaśnieniu fenomenu poznania to, co ma być przedmiotem wyjaśnienia, samo staje się narzędziem wyjaśnienia (gdy zatem punktem wyjścia będzie praktyka ludzka, systemy językowe, procedury naukowe, formy poznania), zawsze będziemy narażeni na błędne koło. To błędne koło z kolei generuje nieskończony regres (zwany w tej teorii efektem hydry, hydrą, której odrasta w nieskończoność „ohydny łeb spekulacji”), ponieważ idąc w tym kierunku, zaczynając od tej praktyczno-poznawczej strony – nigdy nie zidentyfikujemy takiego*

^① *Paradoks błędnego koła jest – po paradoksie Achilleusa i zółwia – następnym przykładem zjawiska, którego nieparadoksalność wyjaśnił rozwój nauki i techniki. Oba te paradoksy związane są z wykluczeniem środka. W paradoksie błędnego koła zakłada się, że albo coś jest skutkiem, albo przyczyną; okazało się, że skutki mogą oddziaływać zwrotnie, dynamicznie na przyczyny. Niektórzy matematycy i filozofowie matematyki już dawno dostrzegali niebezpieczeństwo nieadekwatnej logiki, także przy traktowaniu błędnego koła jako paradoksu. Dotyczy to zwłaszcza tzw. intuicjonistów (np. [4]), którzy kwestionowali zasadę wykluczenia środka oraz dowody nie wprost twierdząc, że tylko konstruktywne dowody wprost dają pewność unikania błędów logicznych.*

nieredukowalnego dna, spod którego już żaden sceptyk by nie zapukał. Z oczywistych powodów Srzednicki nie zamierza iść tą zakwestionowaną przez Wittgensteina drogą, doskonale wiedząc, że ci, którzy nią podążają, są właśnie narażeni na sceptycyzm ...”.

Wprawdzie można całkowicie się zgodzić z rozwiązaniem podanym przez Jana Srzednickiego – oparciem wszelkiego poznania na pojęciu *naporu ontologicznego*, naporu bytów nas otaczających na naszą świadomość, ale trudno się zgodzić z przytoczonym wyżej uzasadnieniem. Wnioski technika są tu jasne: Wittgenstein miał trudności ze zrozumieniem kolistych zależności typu sprzężenia zwrotnego, które są podstawą naszego uczenia się na podstawie doświadczenia (zob. np. [8]^①), i uznał za stosowne swoje trudności przedstawić jako dowód ogólnej trudności tego zagadnienia, dowód, że sceptycyzm jest jedyną racjonalną postawą – ale dowód ten opiera się na zastosowaniu klasycznej logiki do zagadnienia, dla którego logika ta nie jest adekwatna.

Jeśli Husserl nie mógł wiedzieć, a Ingarden i Wittgenstein mogli nie wiedzieć o tym, że współczesne komputery składają się^② z milionów drobnych urządzeń, przełączników bistabilnych, z których każdy wciela w życie zasadę dodatniego sprzężenia zwrotnego, samopodtrzymującego się „błędnego koła”, to wytłumaczenia tego nie można przyjąć np. w przypadku Bruno Latoura, który jest przecież filozofem techniki i powinien to wiedzieć. Tymczasem *zaprzeczenie obiektywności przez postmodernistyczne nauki społeczne i humanistyczne opiera się także właśnie na rzekomym paradoksie – na znalezieniu błędnego koła w relacji pomiędzy naturą a wiedzą*. Na przykład. Latour [17, str. 99] używa następującego argumentu przeciw obiektywności *“since the settlement of a controversy is the cause of Nature’s representation not the consequence, we can never use the outcome – Nature – to explain how and why a controversy has been settled”* (tłum.: skoro rozstrzygnięcie jakiejś kontrowersji poznawczej jest przyczyną naszego poglądu o naturze, nie skutkiem, nie możemy używać skutku – pojęcia natury – dla wyjaśnienia, jak i dlaczego ta kontrowersja została rozstrzygnięta).

Argument Latoura postrzegany jest jednak przez technika jako dowód ignorancji w kwestii logiki sprzężenia zwrotnego, relacja między naturą a wiedzą jest bowiem dla technika nie błędnym kołem, tylko oczywistym przykładem dodatniego sprzężenia zwrotnego. Gdyby argument Latoura był logicznie poprawny, to oznaczałoby, że komputery (które działają wykorzystując miliony elementów z samopodtrzymującym sprzężeniem zwrotnym) oraz roboty (które działają opierając się na ujemnym stabilizującym sprzężeniu zwrotnym, a więc na nieskończonym rekursie) nie mogą działać; tymczasem zarówno komputery i roboty działają oraz przyczyniają się już dzisiaj do poważnych zmian w technice i społeczeństwie. Podobnych do Bruno Latoura argumentów używa też Aldona Pobjowska [21] w swej krytyce naturalizmu.

Z technicznego punktu widzenia, wszystkie takie argumenty wskazują po prostu na nieadekwatną logikę, brak zrozumienia diachronicznego, dynamicznego charakteru przyczynowej pętli sprzężenia zwrotnego w tym przypadku. Argument oparty na paradoksie błędnego koła oznacza zazwyczaj użycie logiki nieadekwatnej do analizowanych zjawisk; natomiast powtarzanie argumentów opartych na tej nieadekwatnej logice dowodzi tylko zamknięcia się dyscyplinarnego filozofii. Trzeba się przy tym w pełni zgodzić z argumentami Marka Hetmańskiego [9], że filozofia nie może izolować się od innych dziedzin nauki i wiedzy; skoro *„Zmienił się świat, powinna też zmienić się każda jego teoria, także filozo-*

^① Wittgenstein mógł oczywiście nie znać pracy Feldbauma, bo chociaż była ona o kilka lat wcześniejsza, to jednak była publikowana po rosyjsku i dotyczyła dziedziny techniki, którą Wittgenstein prawdopodobnie nawet nie podejrzewałby o wyjaśnienie procesów uczenia się.

^② Lub składały się, bowiem w ciągu ostatnich dekad wprowadzono też inny typ pamięci, oparty nie na dodatnim, tylko ujemnym sprzężeniu zwrotnym przez pojemność międzyzłączową tranzystorów, tzw. pamięć ulotną, stosowaną w pamięciach kieszonek typu pendrive; tak czy inaczej, pamięć oparta jest na sprzężeniu zwrotnym.

ficzna”, to także „To zaś nakłada na epistemologię obowiązek ... wyjścia ze zbudowanych twierdz, którymi są dotychczasowe stanowiska i koncepcje, i włączenie się w wielodyscyplinarne badania naukowe nad fenomenami poznawczymi” [9, str. 34, 67].

Pojęcie sprzężenia zwrotnego zasadniczo zmieniło nasze rozumienie relacji przyczynowo-skutkowej, m.in. rozwiązując paradoksy argumentacji kolistej lub błędnego koła w logice, chociaż paradoksy takie oczywiście mogą być rozwiązane tylko w dynamicznym, nie statycznym ujęciu rozumowania i modeli. Ten fakt nie został dotąd w pełni zrozumiany przez część filozofów, którzy nadal mają skłonność do argumentacji wykorzystującej paradoksy błędnego koła i rzekomą niemożność traktowania tego samego zjawiska jako jednocześnie skutku i przyczyny.

Co więcej, błąd taki jest powszechnie powtarzany w wykorzystaniu potocznym pojęcia błędnego koła przez humanistykę i nauki społeczne^①. Przykładów takich jest wiele, nie będziemy ich tu przytaczać. Niestety, filozofowie, humaniści i socjologowie nie są kształceni w dobrym rozumieniu sprzężenia zwrotnego (które wymagałoby ćwiczeń laboratoryjnych lub przynajmniej symulacji komputerowej zachowania się serwomechanizmów czy robotów oraz elementów pamięci). Co najwyżej, znają to pojęcie z popularyzatorskich prac Wienera [30] – popularyzatorskich, gdyż zastosowania sprzężenia zwrotnego doprowadziły najpierw do powstania komputerów analogowych (wcześniejszych w zastosowaniach od komputerów cyfrowych), później zaś, w latach 1930-1940, do wyodrębnienia się dyscypliny technicznej – sterowanie automatyczne oraz automatyka (znacznie później uzupełnionej o robotykę); Norbert Wiener i jego pojęcie cybernetyki są wtórne do tego rozwoju. Pojęcie sprzężenia zwrotnego zmieniło więc w zasadniczy sposób rozumienie relacji przyczynowo-skutkowych, wyjaśniając paradoksy błędnego koła w relacjach przyczynowo-skutkowych, nieskończonego regresu czy samoodniesienia. Oznacza to jednak, że kanon wykształcenia humanistycznego wykazuje podstawowe braki: trzeba w nim uczyć zarówno pojęcia sprzężenia zwrotnego – wraz z ćwiczeniami symulacji komputerowej dynamiki np. serwomechanizmów w robotach oraz przełączników bistabilnych w komputerach – jak i pojęć pluralizmu logicznego, wielorakości logik wraz z ich różnorodnymi zastosowaniami.

Natomiast poszukiwanie „nieredukowalnego dna, do którego żaden sceptyk już by nie zapukał” jest jednak, wobec z jednej strony potęgi, z drugiej strony zaś zawodności naszej intuicji, skazane na niepowodzenie. Nie ma prawd absolutnych: dla każdego przykładu kantowskiego sądu syntetycznego a priori można zawsze wskazać warunki, w których sąd taki traci prawdziwość. W metafizyce, przy poszukiwaniu zasad istnienia bytów nie możemy abstrahować od dziedziny, w której te byty określamy, czego dowiódł już Stefan Banach^②, zob. [1]. Już słyszę odpowiedź metafizyka: ale przecież metafizyka klasyczna mówiła o bytach realnych. To prawda, ale przez to popadała w trudności związane z pytaniem, czy idee istnieją realnie?

Powinniśmy zatem dobrze określać dziedziny bytów: realnie naturalnych w naturze; idealnych w spuściznie cywilizacyjnej człowieka; w tym mitologicznych (aniołów, diabłów, faunów, centaurów, pegazów etc.) w mitologii, czyli części emocjonalnej tej spuścizny; intuicji idei pierwszych i sądów syntetycznych a priori w części intuicyjnej tej spuścizny; racjonalnych zaś modeli praw natury (tzw. praw fizyki czy chemii) w świecie 3 Poppera [23]. Zauważmy, że uogólniamy tym samym i nieco modyfikujemy pojęcie

^① Co więcej, niezrozumienie sprzężenia zwrotnego wśród przedstawicieli nauk humanistycznych i społecznych jest tak wielkie, że niekiedy spotyka się z użyciem przez nich pojęcia ujemne sprzężenie zwrotne w znaczeniu zjawiska negatywnego – podczas gdy zazwyczaj jest to zjawisko pozytywne, np. stabilizujące temperaturę ciała ludzkiego.

^② Wprowadzając pojęcie przestrzeni (nieskończenie wymiarowych) zupełnych, w których granica nieskończonego ciągu elementów tej przestrzeni jest sama elementem tej przestrzeni, oraz niezupełnych, w których granica nieskończonego ciągu elementów tej przestrzeni do niej nie należy (np. ciąg funkcji różniczkowalnych w każdym punkcie może mieć granicę nieróżniczkowalną), czyli nie istnieje w tej przestrzeni.

świata 3: jest on racjonalną częścią spuścizny cywilizacyjnej człowieka. Każda z tych dziedzin może mieć odmienne prawa istnienia bytów, być zupełną lub nie, etc. Zatem można odpowiedzieć: *tak, idee istnieją realnie, jeśli dobrze, realnie określimy dziedzinę ich istnienia* (np. jako stronicę książek, w których dyskutowano platońskie idee, czy uniwersytety, gdzie się o nich naucza). Trudno więc mówić o *nieredukowalnym dnie*. Natomiast procesy kreowania wiedzy można ujmować z punktu widzenia dynamiki dodatniego sprzężenia zwrotnego, spiralnej relacji pomiędzy naturą a wiedzą, zob. [7], [33], [35]: *to my, ludzie, tworzymy wiedzę o naturze, tylko staramy się potem ją sprawdzić przez dyskusje i zwrotne zastosowanie do natury oraz (względnie) zobiektywizować, tak by przekazana naszym dzieciom mogła im służyć jako ubezpieczenie przed przyszłymi katastrofami*, takimi jak ta w Fukushima.

Podstawowe paradoksy logiki

Warto tu też przypomnieć, że idealne cele Frege i Hilberta – redukcji całej matematyki do logiki klasycznej – nie zostały zrealizowane mimo wysiłków Bertranda Russella [24], który napotkał paradoks zbioru (klasy) wszystkich zbiorów, Kurta Gödela [12], który wykorzystał paradoks kłamcy dla dowodu niezupełności dowolnego systemu matematycznego, Alana Turinga [29], który wykorzystał paradoks nierozstrzygalności (niemożliwości dowodu) danego twierdzenia matematycznego. Są to podstawowe paradoksy logiki klasycznej. Mało kto zauważa jednak^①, że opierają się one na sprzeczności stwierdzenia absolutnego ze stwierdzeniem konkretnym i przestają być paradoksalne, gdy zastosujemy logikę trójwartościową.

Rozpatrzmy dla przykładu paradoks kłamcy, który mówi: „Ja zawsze mówię nieprawdę”. Jeśli zastosujemy to zdanie (stwierdzenie absolutne) do samego siebie (stwierdzenie konkretne), to zdanie to musi być także nieprawdziwe, zatem czasami kłamca jednak mówi prawdę, co stanowi paradoks. Jeśli jednak dopuścimy trzecią wartość logiczną, niepewność, i odniesiemy ją do stwierdzeń absolutnych (słowa „zawsze” w tym zdaniu), to paradoks znika: kłamca także w tym zdaniu skłamał, używając słowa „zawsze” zamiast „zazwyczaj”, zdanie zaś „Ja zazwyczaj mówię nieprawdę” pozostawia właśnie margines niepewności, czy w danym przypadku powiedział prawdę, czy skłamał.

Podobnie można analizować zdanie o nierozstrzygalności twierdzenia matematycznego „Tego twierdzenia nie da się udowodnić”. Jeśli to zdanie absolutne zastosować do samego siebie (konkretnie), to nierozstrzygalności nie da się udowodnić. Jeśli natomiast zrelatywizujemy absolutny charakter tego zdania, modyfikując je do „niektórych twierdzeń nie da się udowodnić”, to wprowadzamy margines niepewności, trzecią wartość logiczną, gdyż nie wiadomo, czy w konkretnym przypadku twierdzenie daje się, czy też nie daje się udowodnić.

Dobór adekwatnej logiki w zastosowaniu w inżynierii wiedzy

Omówimy tutaj przykład zastosowania logiki wielowartościowej w konkretnym przykładzie zastosowania w inżynierii wiedzy, a mianowicie problemie konstrukcji indywidualnego interfejsu użytkownika dla wyszukiwania interesujących tekstów w dużych repozytoriach^② tekstów. Wiele organizacji ma już duże repozytoria tekstów, ogromna ilość tekstów dostępna jest w internecie, ale wyszukiwanie in-

^① Paradoksy te zazwyczaj są tłumaczone przez odwołanie się do pojęcia metajęzyka [28], w którym formułowane są ogólne twierdzenia o prawdziwości w odróżnieniu od twierdzeń konkretnych. My natomiast tłumaczymy je przez odwołanie się do logiki trójwartościowej.

^② Podobne interfejsy można też zastosować dla wyszukiwania sieciowego, prowadzi to jednak do dodatkowych problemów (np. z usiłowaniami wyższego pozycjonowania stron internetowych przez ich twórców), których tu nie analizujemy szczegółowo.

teresujących tekstów w danym zbiorze nie ma nadal satysfakcjonującego rozwiązania. Rzecz w tym, że typowe wyszukiwarki sieciowe nastawione są na usługi komercyjne i klasyfikują teksty wedle własnych kryteriów, natomiast użytkownik chciałby być suwerenny w swym wyborze, a zatem uzyskiwać listę rankingową tekstów odpowiadającą jego własnym intuicyjnym kryteriom – a ponadto przeszukiwać niekoniecznie całą sieć, tylko określone repozytorium tekstów. W zastosowaniach dla telekomunikacji może to oznaczać przeszukiwanie repozytorium tekstów określonej instytucji badawczej, takiej jak Instytut Łączności, czy regulacyjnej, takiej jak Urząd Komunikacji Elektronicznej.

System PrOnto: radykalna personalizacja interfejsu użytkownika

W ramach prac grupy tematycznej *Systemy wspomagania decyzji regulacyjnych: wykrywanie wiedzy w dużych zbiorach danych* Projektu Badawczego Zamawianego *Usługi i sieci teleinformatyczne następnej generacji – aspekty techniczne, aplikacyjne i rynkowe* opracowano w Instytucie Łączności system PrOnto, zob. np. [5]. System ten wspomaga pracę zespołu badawczego użytkowników (*Virtual Research Community*, VCR) opierając się na *radykalnie spersonalizowanym* interfejsie użytkownika. Radykalna personalizacja interfejsu polega na założeniu, że preferencje badawczych użytkowników nie da się w pełni sformalizować logicznie czy probabilistycznie (zgodnie z opinią o potędze naszej intuicji oraz oszacowaniem, że co najwyżej 0,01% neuronów w naszym mózgu zajmuje się rozumowaniem racjonalnym, logicznym, zob. [31], [32]). Dlatego też interfejs powinien zachowywać i podkreślać intuicyjny charakter wyborów użytkownika, a mimo to wspomagać go we współpracy z narzędziami inżynierii ontologicznej. Ten z kolei wybór wynika z przekonania, że organizacja wiedzy w strukturze ontologicznej sprawdza się znacznie lepiej jako podstawa reprezentacji wiedzy w systemie jej współdzielenia, niż oparcie się jedynie na słowach kluczowych. Pojęcia ontologiczne i relacje między nimi umożliwiają systematyzować wiedzę w intuicyjny sposób, odpowiadający spojrzeniu na zagadnienia mieszczące się w obszarze zainteresowań osoby lub grupy osób. Uzyskane w ten sposób indywidualne profile tworzą perspektywy dające znacznie większe możliwości przy tworzeniu mechanizmów współdzielenia wiedzy.

Taka jednak indywidualizacja stoi w sprzeczności z paradygmatycznym podejściem inżynierii ontologicznej, która traktuje ontologię zawsze jako wyraz wiedzy wspólnej, np. jako podsumowanie całej wiedzy zgromadzonej w internecie, zob. np. [8]. Trzeba więc podkreślić, że system PrOnto stosuje wprawdzie pojęcia i narzędzia inżynierii ontologicznej, ale w innym celu, ułatwienia pracy i wyszukiwania dokumentów przez indywidualnego użytkownika lub ich małą grupę. Stąd mówimy w nim o radykalnej personalizacji interfejsu, chociaż w interfejsie tym wykorzystujemy narzędzia inżynierii ontologicznej.

Model PrOnto zakłada obsługę grupy użytkowników (VCR) przez funkcjonalności służące indywidualnemu użytkownikowi lub współpracy grupowej. Model ten obejmuje:

1. Radykalnie spersonalizowany model ontologiczny użytkownika, składający się z trzech warstw:
 - a) warstwy intuicyjnych, pozalogicznych *pojęć* $c \in C$; *radykalna personalizacja* polega właśnie na tym, że traktujemy te pojęcia jako twory intuicyjne, osobiste użytkownika i nie nadajemy im zbyt daleko idących interpretacji logicznych (pojęcie *łańcuchy Markowa* może oznaczać faktycznie *to, co mnie osobiście i teraz interesuje w teorii łańcuchów Markowa*), wstrzymujemy się też od ich nadmiernej automatyzacji, chociaż dopuszczamy intuicyjne określanie *relacji między pojęciami*;
 - b) warstwy klasycznych *fraz kluczowych* $k \in K$ (podlegających analizie semantycznej i logicznej z użyciem narzędzi inżynierii ontologicznej);
 - c) warstwy *relacji między pojęciami a frazami kluczowymi* $f \in F$, $f: C \times K \rightarrow R$ (w pierwotnej wersji są to współczynniki wagi lub istotności określane subiektywnie przez użytkownika, ale właśnie w tej warstwie relacji można proponować różnorodne interpretacje i rozszerzenia tych relacji).

Podstawowa wersja systemu PrOnto zakładała tylko jeden typ wskaźnika istotności semantycznej $h(d,c)$ dokumentu $d \in D$ (w określonym zbiorze dokumentów, np. repozytorium) dla pojęcia $c \in C$ określonego przez użytkownika:

$$h(d, c) = \sum_{k \in K} f(c, k) g(d, k) , \quad (1)$$

gdzie $k \in K$ oznacza frazę kluczową, $g(d,k)$ jest wynikiem indeksowania (np. za pomocą klasycznej dla inżynierii ontologicznej miary TF-IDF, *Term Frequency – Inverse Document Frequency*) istotności semantycznej dokumentu d względem frazy kluczowej k za pomocą dostępnych narzędzi inżynierii ontologicznej, zaś $f(c,k) \in F$ oznacza współczynnik istotności frazy kluczowej k dla pojęcia c przypisany subiektywnie przez użytkownika w jego profilu ontologicznym. Natomiast w rozszerzonym modelu ontologicznym możemy różnorodnie interpretować te relacje oraz wynikające stąd różnorodne wskaźniki łącznej istotności semantycznej.

2. *Repozytorium dokumentów* $d \in D$, interesujących dla użytkownika lub zespołu badawczego użytkowników (VRC), składającego się z tekstów dokumentów pozyskanych lub sieciowych odnośników (linków) do takich dokumentów.

3. *Metody wyszukiwania oraz rankingu dokumentów w repozytorium* dla indywidualnego użytkownika opartej na radykalnie spersonalizowanym modelu użytkownika (możliwe są różne metody, model użytkownika ich bynajmniej jednoznacznie nie określa).

4. *Agenta wyszukiwania sieciowego* (tzw. agenta hermeneutycznego) wspomagającego wyszukiwanie w repozytorium lub wyszukiwanie sieciowe – te ostatnie, np. z wykorzystaniem dostępnych wyszukiwarek – nowych dokumentów dla wzbogacenia repozytorium, wraz z odpowiednią metodą rankingu dokumentów w repozytorium czy pozyskanych w sieci i (lub) odpowiednią regułą decyzyjną.

5. *Funkcjonalności uzupełniające*, które mogą wzbogacić działanie systemu PrOnto bądź to w odniesieniu do użytkownika indywidualnego, bądź też zbiorowego. Mogą one obejmować, np.

- a) katalogowanie repozytorium dokumentów dla danej grupy użytkowników (VCR);
- b) wspomaganie współpracy pomiędzy użytkownikami w grupie (informacje o nowych dokumentach uznanych za interesujące przez innych użytkowników itp.);
- c) wyszukiwanie podobieństw zainteresowań użytkowników, itp.

Istnieje już prototyp systemu PrOnto, implementujący powyższą architekturę i część funkcjonalności. Dalszy rozwój tego systemu jest prowadzony w ramach ogólnopolskiego projektu SYNAT. W tym artykule przedstawimy tylko ogólne komentarze związane z wyborem adekwatnej logiki dla interpretacji relacji między frazami kluczowymi a intuicyjnymi pojęciami. Problem ten związany jest też z pracami statutowymi Instytutu Łączności, które obejmują zarówno prace teoretyczne w zakresie logik wielowartościowych, zob. np. [13], jak i ich zastosowania w telekomunikacji, jak np. wybór adekwatnej logiki dla systemu PrOnto.

Wybór adekwatnej logiki dla problemu wyszukiwania tekstów interesujących dla użytkownika

Pojęcia są traktowane w PrOnto jako bardzo osobiste i intuicyjne, dlatego nie powinniśmy im nadawać zbyt daleko idących interpretacji logicznych. Na przykład, nie możemy wymagać, aby tworzyły one spójną klasyfikację logiczną fraz kluczowych: użytkownik może wiązać kilka pojęć z daną frazą klu-

czową. Z drugiej strony dopuszczamy, aby użytkownik łączył swe pojęcia w acykliczną strukturę grafu. Pojęcia w PrOnto są podobne, w pewnym sensie, do etykiet (tagów, *tags*) nadawanych przez użytkownika dokumentom w niektórych systemach, z tą różnicą, że użytkownik systemu PrOnto charakteryzuje w ten sposób własne zainteresowania, nie dokumenty.

Z uwagi na wysoce spersonalizowany i intuicyjny charakter pojęć w systemie PrOnto, możemy co najwyżej używać *logiki rozmytej* do opisu i interpretacji relacji między pojęciami lub między pojęciami i frazami kluczowymi. Na przykład, gdyby interpretować relacje między frazami kluczowymi jako rozmytą operację 'lub', ale założyć, że zbiór fraz K dzieli się na grupy K_l , $l = 1, \dots, L$, a między tymi grupami zachodzi rozmyta operacja 'i', to wzór (1) określający istotność semantyczną dokumentu d dla pojęcia c można zmodyfikować (traktując współczynniki relacji $f(c, k)$ jako modyfikacje stopnia przynależności do zbioru rozmytego) do postaci:

$$h(d, c) = \min_{l=1, \dots, L} \max_{k \in K_l} f(c, k) g(d, k), \quad (2)$$

przy czym wykorzystano najprostsze formy rozmytych operatorów 'i' oraz 'lub' (zob. np. [15]). Wzór (2) ilustruje tylko, jak można wykorzystać logikę rozmytą dla wzbogacenia interpretacji profilu ontologicznego użytkownika oraz różnorodności wskaźników istotności semantycznej. Stosowanie operacji 'i', nawet rozmytej, może dawać zawodny ranking dokumentów (wiele dokumentów może być wykluczonych z rankingu przez zerowy wskaźnik istotności), co potwierdzają opisane poniżej testy empiryczne. Można uniknąć stosowania takiej operacji przez założenie $l=1$, $K_l = K$, co modyfikuje wskaźnik (2) do postaci:

$$h(d, c) = \max_{k \in K} f(c, k) g(d, k), \quad (3)$$

Wskaźnik istotności semantycznej (3) dotyczy najprostszego przypadku, w którym użytkownik wykorzystuje tylko jedno pojęcie c oraz kilka fraz kluczowych k , nadając im współczynniki istotności $f(c, k)$. Taki sposób wykorzystania systemu PrOnto można traktować jako elementarny, wprowadzający nowego użytkownika do wykorzystania systemu. Bardziej złożone profile ontologiczne użytkownika, obejmujące więcej pojęć, wymagają agregacji wskaźników istotności semantycznej po zbiorze pojęć.

Możemy przy tym zakładać jednakową istotność wszystkich pojęć, gdyż użytkownik może wyrazić, np. mniejszą istotność określonego pojęcia c przez nadanie mniejszych współczynników $f(c, k)$ dla wszystkich $k \in K$ dla tego pojęcia. Jeśli założymy rozmytą relację 'lub' między pojęciami, wtedy odpowiedni wskaźnik istotności $h_C(d)$ może być wyrażony równaniem:

$$h_{Cor}(d) = \max_{c \in C} \max_{k \in K} f(c, k) g(d, k), \quad (4)$$

Gdyby – mimo zastrzeżeń co do przydatności takiej metody – rozważać także relację rozmytego „i” między pojęciami, to odpowiedni wskaźnik istotności przyjmie postać:

$$h_{Cand}(d) = \min_{c \in C} \max_{k \in K} f(c, k) g(d, k), \quad (5)$$

Wskaźnik istotności $h_C(d)$ w którejkolwiek wersji może być użyty dla rankingu istotności semantycznej dokumentów dla użytkownika. Jednakże, kwestia rankingu może być rozpatrywana nie tylko z punktu widzenia logiki; równie, a być może bardziej przydatne mogą być podejścia wynikające z teorii decyzji wielokryterialnych.

W podejściach takich interpretujemy pojęcia $c \in C$ jako *kryteria wyboru*, przy czym możemy rozróżnić co najmniej dwa przypadki. W pierwszym z nich interpretujemy pojęcia jako *kryteria kompensowalne*: duża wartość (czy istotność semantyczna) jednego z kryteriów kompensuje małą wartość innego kryterium. W takiej interpretacji wskaźnik istotności semantycznej danego dokumentu $d \in D$ wobec profilu ontologicznego użytkownika ma postać:

$$h_{Ccom}(d) = \sum_{c \in C} (h(d, c) - h_{av}(c)), \quad (6)$$

przy czym $h(d, c)$ wyznaczane jest np. jak we wzorze (3) – zakładając relację rozmytego ‘lub’ między frazami kluczowymi – natomiast $h_{av}(c)$ oznacza wartość średnią $h(d, c)$ po zbiorze dokumentów:

$$h_{av}(c) = \sum_{d \in D} h(d, c) / |D|, \quad (7)$$

przy czym $|D|$ jest licznością zbioru dokumentów. Porównywanie wskaźników istotności do ich wartości średnich ma sens, jeśli bowiem jakieś pojęcie, a raczej zbiór związanych z nim fraz kluczowych występuje rzadko we wszystkich dokumentach, jego wystąpienie w jakimś dokumencie ma większe znaczenie.

Jest to szczególnie ważne w drugim przypadku, w którym traktujemy wszystkie pojęcia jako *kryteria istotne*: każde z pojęć profilu ontologicznego powinno mieć sporą istotność semantyczną w danym dokumencie. Podejście takie jest w pewnym sensie podobne do stosowania relacji rozmytego ‘i’ między pojęciami, ale w teorii decyzji wielokryterialnych związane jest z pojęciem metod punktu odniesienia oraz tzw. *rankingiem obiektywnym*^①. Stosując takie metody, otrzymujemy następujące wyrażenie określające wskaźnik istotności semantycznej dokumentu $d \in D$ wobec profilu ontologicznego użytkownika:

$$h_{Cess}(d) = \min_{c \in C} (h(d, c) - h_{av}(c)) + \varepsilon \sum_{c \in C} (h(d, c) - h_{av}(c)), \quad (8)$$

gdzie $h(d, c)$ jest także obliczane jak np. w (3), zaś współczynnik $\varepsilon \geq 0$ charakteryzuje kompromis między traktowaniem relacji pomiędzy pojęciami podobnie do rozmytego ‘i’ (przy $\varepsilon = 0$), a traktowaniem pojęć jako kryteriów kompensowalnych (przy $\varepsilon \geq 0,1$ znaczenie drugiego członu zaczyna dominować we wzorze (8)).

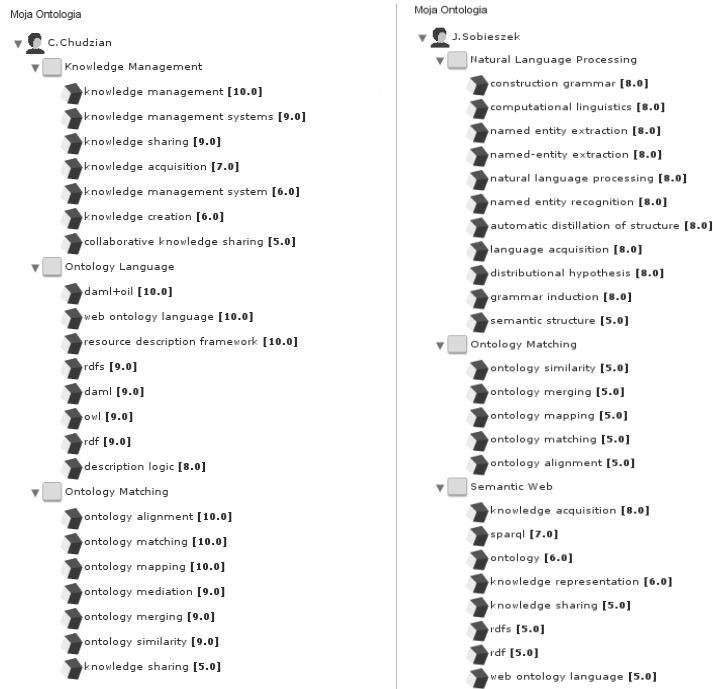
Mamy więc co najmniej cztery różne warianty wskaźników istotności semantycznej dokumentu wobec profilu ontologicznego użytkownika. Prace pierwszej połowy roku 2011 (zob. [6]) poświęcone były głównie testom empirycznym tych wskaźników i wynikającym z nich rankingów dokumentów.

Porównania empiryczne rankingów dokumentów

Porównanie przy różnych profilach użytkowników

Najpierw porównywano wyniki rankingów dokumentów dla dwóch użytkowników o podobnych (lecz niejednakowych) ontologiach bezpośrednio przekładających się na ich zainteresowania. Zachowania algorytmów badano dla ontologii przedstawionych na rys. 1.

^①Każdy ranking jest do pewnego stopnia subiektywny, ale można starać się uzyskać ranking tak obiektywny, jak to tylko możliwe. Prowadzi to właśnie do tzw. rankingów obiektywnych, zob. [34].



Rys. 1. Indywidualne profile ontologiczne dwóch użytkowników zastosowane w dalszej części do wyznaczenia rankingu dokumentów

Zainteresowania użytkownika C. Chudzian (dalej: użytkownik nr 1) ukierunkowane są na *Knowledge Management* oraz *Ontology Language*. Użytkownik J. Sobieszek (dalej: użytkownik nr 2) ma w swojej ontologii pojęcia *Semantic Web* oraz *Natural Language Processing*. Oba użytkowników interesuje się *Ontology Matching*, jednak użytkownik nr 1 przypisał większe wagi frazom kluczowym, które związane są z tym pojęciem, niż użytkownik nr 2. Wyniki rankingu dokumentów dla tych użytkowników przedstawiono odpowiednio w tablicach 1 oraz 2.

Tabl. 1. Wyniki rankingu dla użytkownika nr 1

Tytuł dokumentu	KOMP	IST	OR	AND
OntologyMatching.org	1	1	1	[0.0]
Web Ontology Language - Wikipedia...	2	2	2	[0.0]
From SHIQ and RDF to OWL: The Making...	3	3	3	[0.0]
OWL DL vs. OWL Flight: Conceptual...	4	4	4	[0.0]
Three Theses of Representation in...	5	5	5	[0.0]
Semantic Madiawiki: A User-Oriented...	6	6	6	[0.0]
The 3Cs of Knowledge Sharing	7	9	17	[0.0]
Taking QuickPlace to the next level...	8	10	11	[0.0]
Knowledge Management - Empolis	9	11	7	[0.0]
QuizRDF: Search Technology for Semantic Web	10	8	14	13
Knowledge Management in a Research Organization...	11	12	8	[0.0]

Tabl. 1. Wyniki rankingu dla użytkownika nr 1 (cd)

Tytuł dokumentu	KOMP	IST	OR	AND
Scalable Semantic Web Data Management...	12	13	9	[0.0]
Genea: Schema-Aware Mappien of Ontologies...	13	14	10	[0.0]
decoi2009rewerse.pdf	14	15	12	[0.0]
Knowledge Management - Wikipedia...	15	16	13	[0.0]
Towards Peer-to-Peer Semantic Web...	16	7	20+	1
Knowledge Management system - Wikipedia...	17	17	15	[0.0]
Collaboritive Knowledge Sparing	18	18	20+	[0.0]
Semantic Alignment of Business Processes	19	19	20+	[0.0]
Techniki informacyjne dla wnioskowania...	20	20	16	[0.0]

Tabl. 2. Wyniki rankingu dla użytkownika nr 2

Tytuł dokumentu	KOMP	IST	OR	AND
Distributional hypothesis - Wikipedia...	1	1	1	[0.0]
ACL Anthology	2	2	2	[0.0]
Construcion Grammar website	3	3	3	[0.0]
OntologyMatchnig.org	4	4	6	[0.0]
The Emile Program	5	5	4	[0.0]
el.org - FCG publications	6	6	5	[0.0]
pinto.pdf	7	8	7	[0.0]
Roberto Navigli - Publications	8	7	20	[0.0]
A Framework for Understanding and...	9	9	8	[0.0]
Ontology Research and Development Part 2...	10	10	15	[0.0]
metamodel.com - What are the differences...	11	12	9	[0.0]
Fluid construction grammar - Wikipedia...	12	14	10	[0.0]
Three Theses of Representation...	13	13	11	[0.0]
Conctrucion Grammar For Kids	14	18	12	[0.0]
A Bottom-Up Strategy for Enterprise...	15	15	13	[0.0]
Heterogeneous Ontology Structures for...	16	16	14	[0.0]
Ontology (information science) - Wikipedia...	17	17	17	[0.0]
Ontology Research and Development Part 1...	18	11	20+	1
On Accepting Heterogeneous Ontologies...	19	19	16	[0.0]
Collaboravite Ontology Construcion...	20	20	18	[0.0]

W tablicach tych stosowano oznaczenia:

- KOMP – ranking uzyskany po wyborze opcji “Wielu kompensacyjnych kryteriów”,
- IST – ranking uzyskany po wyborze opcji “Wielu istotnych kryteriów” obliczony dla współczynnika $\varepsilon = 0,5$,

- OR – ranking uzyskany po wyborze opcji “Rozmyte pojęcia logiczne z relacją sumy”,
- AND – ranking uzyskany po wyborze opcji “Rozmyte pojęcia logiczne z relacją iloczynu”,
- 20+ – dokument znajduje się na niższym niż 20 miejscu w rankingu dokumentów,
- [0.0] – dokument uzyskał miarę rankingu równą 0.0 (zastosowano wtedy sortowanie alfabetyczne).

Tytuły dokumentów w obu tabelach zostały przedstawione według kolejności wyświetlonej po wybraniu opcji “Wiele kompensacyjnych kryteriów”.

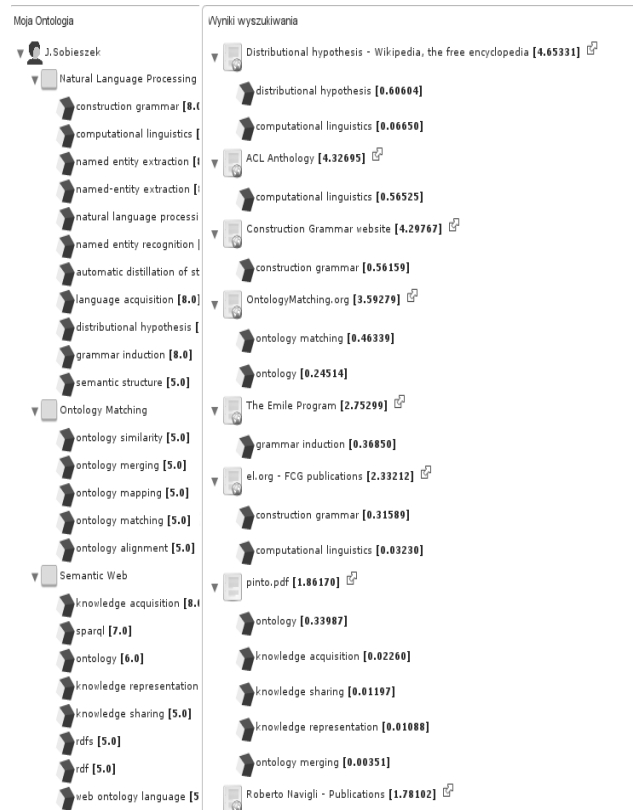
Z tablic 1 i 2 wynika, że dla użytkowników o różnych, aczkolwiek nieco podobnych zainteresowaniach, wyniki prezentowane przez ranking dokumentów są zasadniczo różne. W niniejszym opracowaniu wybrano po 20 dokumentów dla każdego użytkownika, będących pierwszymi w rankingu uzyskanym z wykorzystaniem metody “Wielu kompensowanych kryteriów”. Tylko jeden dokument (*OntologyMatching.org*) znalazł się na obu z tych list – co jest poprawne, gdyż obaj użytkownicy zdefiniowali w swoich ontologiach frazy kluczowe związane z zagadnieniem *Ontology Matching*.

Prezentowane wyniki wskazują również na inną właściwość. Trzy pierwsze metody obliczania rankingu (KOMP, IST, OR) w znacznej większości, jako pierwsze 20 dokumentów zwróciły te same tytuły. Oznacza to, że mimo innych sposobów obliczania wartości $h(d, C)$, uzyskane wyniki nie odbiegają od siebie w sposób radykalnie zmieniający kolejność dokumentów na wyświetlanej liście rankingu. Natomiast metoda ostatnia, AND, oblicza pozycję w rankingu wybierając minimalną spośród wartości $h(d, c)$ dla pojęć $c \in C$. W związku z tym dokumenty, które nie zawierają przynajmniej jednej frazy kluczowej z każdego pojęcia, zostają wyświetlone w kolejności alfabetycznej z miarą rankingu równą zero. Na szczycie listy znajdują się natomiast te dokumenty, które będą powiązane (przez frazy kluczowe) z każdym pojęciem z ontologii użytkownika. Właściwość tę można traktować zarówno jak wadę, jak i zaletę; potwierdza ona jednak wyrażone wcześniej zastrzeżenia odnośnie do stosowania rozmytej relacji ‘i’.

Porównanie metod rankingu

Na rys. 2 przedstawiono ranking dokumentów dla użytkownika nr 2 po wybraniu opcji “Wielu kompensacyjnych kryteriów”. Prezentowany ranking jedynie w niewielkim stopniu różnił się od tych, które uzyskać można wybierając dwie inne opcje: “Wielu istotnych kryteriów” oraz “Rozmytych pojęć logicznych z relacją sumy”.

Można zauważyć, że stosując wyżej wspomniane dwie metody, początek listy rankingu dokumentów jest dominowany przez dokumenty, które zawierają niewiele fraz kluczowych. Wnioskować zatem można, że dokumenty te będą dotyczyły jedynie części ontologii użytkownika, zamiast jej całości. Jednak to użytkownik powinien decydować o tym, czy w danej chwili chce uzyskać ranking bardziej ogólnych dokumentów, czy bardziej szczegółowych - ukierunkowanych na przynajmniej jedno zagadnienie nie z jego zainteresowań. Dla większej czytelności dalszych rozważań przyjmijmy, że metodę “Wielu kompensacyjnych kryteriów” oraz “Rozmytych pojęć logicznych z relacją sumy” będziemy nazywać metodami *sumacyjnymi*, metodę “Rozmytych pojęć logicznych z relacją iloczynu” – metodą *iloczynową*, natomiast metodę “Wielu istotnych kryteriów” potraktujemy osobno, jako próbę uzyskania kompromisu między powyższymi podejściami do wyznaczania rankingu.



Rys. 2. Ranking dokumentów dla użytkownika nr 2: „Wielu kompensacyjnych kryteriów”

Metoda “Wielu istotnych kryteriów” łączy w sobie zalety metod sumacyjnych i metody iloczynowej, por. wzór (9) oraz jego dyskusję. Widać zatem, że współczynnik $\varepsilon > 0$ odpowiedzialny jest za udział metody sumacyjnej w procesie wyznaczania rankingu. Zmieniając jego wartość, użytkownik może w prosty sposób decydować o sposobie traktowania ontologii: jako “całość” (znaczenie ma wyłącznie czynnik iloczynowy pomniejszony o wartość średnią, $\varepsilon \rightarrow 0$) albo jako “grupę pojęć” (znaczenie ma również czynnik sumacyjny, $\varepsilon \gg 0$). W dalszej części skupimy się na przedstawieniu rezultatów rankingu dokumentów dla różnej wartości współczynnika ε .

W tabelicy 3 przedstawiono wyniki rankingu dokumentów uzyskanych po wybraniu opcji “Wielu kompensacyjnych kryteriów” (KOMP), “Rozmyte pojęcia logiczne z relacją iloczynu” (AND) oraz “Wielu istotnych kryteriów” z różną wartością współczynnika ε (IST).

Na podstawie wyników z tabelicy 3 można wyciągnąć następujące wnioski:

1. W miarę zmniejszania współczynnika ε (do wartości $\varepsilon = 0,05$) ranking nieznacznie zmienia się, jednak wciąż na szczycie listy znajdują się te same dokumenty – zmieniają się jedynie ich pozycje. Coraz wyższe pozycje zajmują dokumenty z rankingu AND – od $\varepsilon = 0,04$ tytuł ”Ontology Research ... part 1” znajduje się na pierwszym miejscu.
2. Zastosowanie współczynnika $\varepsilon = 0,001$ w przedstawionym przykładzie nie spowodowało zamierzonego efektu (uzyskania listy odpowiadającej rankingowi po zastosowaniu metody ”Rozmyte pojęcia

logiczne z relacją iloczynową). Powodem takiej sytuacji jest wybieranie wartości minimalnej nie z samej wartości $h(d,c)$, ale z wartości skorygowanej o średnią $h(d,c) - h_{av}(c)$. Jeśli h_{av} dla pewnego $c=c'$ będzie bardzo małe, a dla innego $c=c''$ znacznie większe, wówczas może się zdarzyć, że dokumenty c' , dla których $h(d,c')$ jest bardzo małe, ale $h(d,c') - h_{av}(c') > 0$, zostaną sklasyfikowane jako bardziej interesujące niż dokumenty c'' jeśli np. $h(d,c') - h_{av}(c') < 0$. Dokumenty c'' mogą natomiast być sklasyfikowane jako bardziej interesujące w metodzie "Rozmyte pojęcia logiczne z relacją iloczynową", gdyż tam będzie decydować mała wartość absolutna $h(d,c')$, jeśli jest ona mniejsza od $h(d,c'')$. Mała wartość $h_{av}(c')$ oznacza, że pojęcie c' zawiera frazy kluczowe $K_{c'}$, które rzadko pojawiały się w dokumentach ze zbioru D . Można zatem przypuszczać, że dokumenty zawierające frazę $k \in K_{c'}$ będą jednak interesujące dla użytkownika.

Tabl. 3. Porównanie wyników – "Wielu istotnych kryteriów"

Tytuł	KOMP	IST $\varepsilon=1,0$	IST $\varepsilon=0,5$	IST $\varepsilon=0,1$	IST $\varepsilon=0,05$	IST $\varepsilon=0,04$	IST $\varepsilon=0,01$	IST $\varepsilon=0,001$
Distributional hypothesis...	1-k	1	1	1	1	2	-	-
ACL Anthology	2-k	2	2	2	4	5	-	-
Construction Grammar...	3-k	3	3	3	5	6	-	-
OntologyMatchnig.org	4-k	4	4	4	3	3	27	-
The Emile Program	5-k	5	5	7	8	22	-	-
el.org - FCG publications	6-k	6	6	8	21	-	-	-
pinto.pdf	7-k	7	8	9	10	16	-	-
Roberto Navigli - Publi...	8-k	8	7	6	6	4	3	4
A Framework for Under...	9-k	9	9	10	14	23	-	-
Ontology Research ... part 2	10-k	10	10	11	19	28	-	-
	AND							
Ontology Research ... part 1	1-a=18-k	12	11	5	2	1	1	1
42.pdf	2-a	-	-	-	-	-	24	24
Text Onto Miner...	3-a	-	25	12	7	7	2	2
Ontology Creation Process...	4-a	-	-	-	27	29	25	25
Complexity Analysis...	5-a	-	-	-	-	-	-	-
D3.3-Business...	6-a	-	-	-	-	-	-	-
Mining meaning...	7-a	-	-	-	24	20	4	3
State od The Art...	8-a	-	-	-	-	-	-	-

3. Wartości uzyskiwane poprzez sumowanie wyników $h(d,c)$ są często dużo większe (o rząd wielkości) od wartości minimalnej ze zbioru wyników $h(d,c) - h_{av}(c)$, dla $c \in C$. Dlatego zastosowanie "Wielu istotnych kryteriów" z wartością ε bliską jedności w niewielkim stopniu zmienia kolejność wyświetlanych dokumentów (w porównaniu z metodą "Wielu kompensacyjnych kryteriów"). Dla $\varepsilon = 1,0$ jedyną zmianą jest awans dokumentu "Ontology Research ... part 1" – pierwszego w rankingu wyznaczonym metodą iloczynową – z 18 na 12 pozycję.

4. Dla $\varepsilon = 0,01$ większość pozycji to dokumenty, które nie zostały wyszczególnione w rankingu KOMP. Dokumenty z rankingu AND zajmują głównie pierwsze miejsca. Pozostałe pozycje to dokumenty sklasyfikowane jako "interesujące" w punkcie 2.

5. Wartości współczynnika ε , dla których szczyt listy rankingu zaczynają zajmować dokumenty z rankingu iloczynowego, będzie inny dla różnych ontologii i różnego repozytorium dokumentów D .

Z omówionych wyżej badań wynika, że rankingi "Wielu kompensacyjnych kryteriów" oraz "Rozmyte pojęcia logiczne z relacją sumy", nazwane "metodami sumacyjnymi" dają w wyniku niewiele różniące się listy dokumentów, posortowane według danego kryterium. Metoda "Rozmytych pojęć logicznych z relacją iloczynu" kładzie większy nacisk na wystąpienie przynajmniej jednej frazy kluczowej zawartej w każdym z pojęć ontologii, traktując ją jako całość. Metodę tę nazwaliśmy "metodą iloczynową". Sposób wyznaczania rankingu określony jako "Wielu istotnych kryteriów" łączy w sobie dwa poprzednie podejścia, zarówno metodę sumacyjną jak i iloczynową, pozwalając na samodzielne ustalenie wartości współczynnika ε , który odpowiada za kompromis między nimi. Jest to metoda odpowiadająca tzw. *rankingowi obiektywnemu*, patrz wcześniejsze komentarze.

W związku z powyższym można zaryzykować stwierdzenie, że wyznaczanie rankingu dokumentów wystarczyłoby oprzeć jedynie na metodzie "Wielu istotnych kryteriów" z opcją ustalenia wartości współczynnika ε przez użytkownika. Oczywiście, można jeszcze próbować wielu wariantów rankingu – np. ranking logiki rozmytej z innymi operatorami iloczynu i sumy logicznej, niż operatory min i max – ale zmieni to zapewne szczegóły, nie zasadniczą cechę proponowanego interfejsu: łatwość jego obsługi przez użytkownika oraz jego zgodność z intuicją użytkownika.

W dalszych pracach nad systemem PrOnto przewiduje się dalsze jego uzupełnienia, ale przede wszystkim szersze jego testowanie zarówno w Instytucie Łączności (także w pracach statutowych), jak i poza Instytutem, w ramach prac projektu SYNAT. Natomiast w stosunku do rozważań wstępnych o roli logik wielowartościowych, przykład wykorzystania takich logik w zindywidualizowanym interfejsie systemu PrOnto wskazuje wyraźnie, że inżynier woli mieć kilka narzędzi zamiast jednego, zatem woli stosować logiki wielowartościowe niż logikę klasyczną.

Wnioski

Założenie o *pluralizmie logicznym*, czyli wyborze logiki adekwatnej do danego obszaru zastosowań, jest uzasadnione przez co najmniej dwa jego skutki. Po pierwsze, pozwala ono unikać pozornych paradoksów logicznych. Pozorność tych paradoksów połączona z (niedopuszczalnym dla logik wielowartościowych) użyciem dowodu nie wprost doprowadziła filozofię klasyczną do poważnych błędów, np. kwestionowania naturalizmu czy realizmu filozoficznego. Logika nawet tylko trójwartościowa umożliwia też spojrzeć na nowo na podstawowe paradoksy logiki klasycznej, dwuwartościowej, takie jak paradoks kłamcy czy paradoks nierozstrzygalności dowodu matematycznego.

Inny skutek założenia o pluralizmie logicznym ma charakter inżynierski: technik woli mieć dwa czy nawet wiele narzędzi, niż jedno, zatem możliwość wyboru logiki adekwatnej do danego obszaru zastosowań wzbogaca możliwości rozwiązań technicznych. Ilustruje to przykład zindywidualizowanego interfejsu użytkownika w systemie PrOnto wspomagania wyszukiwania interesujących tekstów.

Bibliografia

- [1] Banach S.: *Theorie des operationes lineares*. New York, Chelsea Publishing Company, 1932
- [2] Blandzi S.: *Arystotelesowska filozofia pierwsza a metafizyka*. W: *Nauka a metafizyka*. Red. Motyka A. Warszawa, IFIS PAN, 2009

- [3] Boole G.: *The mathematical analysis of logic*. (29 Sep. 2009) www.britannica.com
- [4] Brouwer L.E.J.: On the significance of the principle of excluded middle in mathematics, especially in function theory. With two addenda and corrigenda. W: J. van Heijenoort: *A source book in mathematical logic, 1879-1931*. Cambridge, MA, Harvard University Press, 1967, s. 334-45
- [5] Chudzian C., Granat J., Klimasara E., Sobieszek J., Wierzbicki A.P.: *Wykrywanie wiedzy w dużych zbiorach danych: przykład personalizacji inżynierii ontologicznej*. Telekomunikacja i Techniki Informacyjne, 2011, nr 1-2, s. 3-28
- [6] Chudzian C., Klimasara E., Paterek A., Sobieszek J., Wierzbicki A.P.: Personalized search using knowledge collected and made accessible: A model of ontological profile of the user and group in PrOnto system. W: *Materiały z Konferencji Projektu SYNAT*, Warszawa, Polska, lipiec 2011
- [7] *Creative environments: Issues of creativity support for the knowledge civilization age*. Red. Wierzbicki A.P. and Nakamori Y. Berlin-Heidelberg, Springer, 2007
- [8] Curtis J., Baxter D., Cabral J.: On the application of the cyc ontology to word sense disambiguation. W: *Proceedings of the Nineteenth International FLAIRS Conference*, Melbourne Beach, FL, May 2006, s. 652-657
- [9] *Epistemologia współcześnie*. Red. Hetmański M. Kraków, Universitas, 2007
- [10] Feldbaum A.A.: *Osnovy teorii optimalnykh avtomaticheskikh system*. Moskwa, Nauka, 1965
- [11] Frege G.: *Über Sinn und Bedeutung*. W: *Zeitschrift für Philosophie und philosophische Kritik*, 1892, s. 25-50
- [12] Gödel K.: *Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme*. Monatshefte für Mathematik und Physik, 1931, H. 38, s.73-98
- [13] Golińska-Pilarek J., Orłowska E.: *Dual tableau for monoidal triangular norm logic MTL*. Fuzzy Sets and Systems, 2011, vol. 162, no. 1, s. 39-52
- [14] Ingarden R.: *Wstęp do fenomenologii Husserla*. Warszawa, PWN, 1974
- [15] Kacprzyk J.: *Linguistic summaries of deata using fuzzy logic*. International Journal of General Systems, 2001, vol. 30, no. 2, s.133-154
- [16] Kołakowski L.: *Metaphysical horror*. Oxford, Blackwell, 1988
- [17] Latour B.: *Science in action*. Milton Keynes, England, Open University Press, 1987
- [18] Łukasiewicz J.: *O zasadzie sprzeczności u Arystotelesa*. Warszawa, PWN, 1987
- [19] Łukasiewicz J.: *O wartościach logicznych*. Ruch Filozoficzny, 1911, T. 1, s. 50-59
- [20] Norman J.M.: *From Gutenberg to the Internet: A sourcebook on the history of information technology*. Novato, Ca., www.historyofscience.com, 2005
- [21] Pawlak Z.: *Rough sets – theoretical aspects of reasoning about data*. Dordrecht, Kluwer, 1991
- [22] Pobjowska A.: *Biologiczne 'a priori' człowieka a realizm teoriopoznawczy*. Łódź, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, 1996
- [23] Popper K.R.: *Objective knowledge*. Oxford, Oxford University Press, 1972
- [24] Russel B., Whitehead A.N.: *Principia mathematica*. Cambridge, Cambridge University Press, 1910-1913
- [25] Shannon C.: *Mathematical theory of communication*. Bell System Technical Journal, 1948, vol. 27, s. 376-405

- [26] Słowiński R.: *Rough set approach to decision analysis*. AI Expert, 1995, vol.10, s.18-25
- [27] Szrednicki J.: *To know or not to know: Beyond realism and anti-realism*. Dordrecht, Boston, Kluwer Academic, 1995
- [28] Tarski A.: *Pojęcie prawdy w językach nauk dedukcyjnych*. 1933. In English w: Tarski A.: *Logic, semantics, metamathematics*. Cambridge, MA, Hackett Publishing Company, 1956
- [29] Turing A.M.: *On computable numbers, with an application to the entscheidungsproblem*. Proceedings of the London Mathematical Society, 1936, vol. 2, no. 42, s. 230–65
- [30] Wiener N.: *Cybernetics or control and communication in the animal and the machine*. Cambridge, MIT Press, 1948
- [31] Wierzbicki A.P.: *On the role of intuition in decision making and some ways of multicriteria aid of intuition*. Multiple Criteria Decision Making, 1997, vol. 6, s. 65-78
- [32] Wierzbicki A.P.: *Knowledge creation theories and rational theory of intuition*. International Journal for Knowledge and Systems Science, 2004, vol.1, s. 17-25
- [33] Wierzbicki, A.P. and Nakamori Y.: *Creative space: Models of creative processes for the knowledge civilization age*. Berlin-Heidelberg, Springer, 2006
- [34] Wierzbicki A.P.: *The problem of objective ranking: foundations, approaches and applications*. Journal of Telecommunications and Information Technology, 2008, no.3, s. 15-23
- [35] Wierzbicki A.P.: *Techne_n: Elementy niedawnej historii technik informacyjnych i wnioski naukowo-nawczne*. Warszawa, Komitet Prognoz PAN "Polska 2000 Plus", 2011
- [36] Wittgenstein L.: *On certainty*. W: Anscombe G.E.M. Von Wright G.H.: *On certainty*. Oxford, Blackwell, 1969
- [37] Zadeh L.: *Fuzzy sets*. Information and Control, 1965, vol. 8, s. 338-353
- [38] Żurkowska G.: *Wprowadzenie do dyskusji: dlaczego metafizyka poznania?* W: *Jana Szrednickiego sapientia restituta*. Red. Motycka A., Warszawa, Uniwersytet Warszawski, 2008

Andrzej P. Wierzbicki



Prof. zw. dr hab. inż. Andrzej P. Wierzbicki (1937) – absolwent Wydziału Łączności Politechniki Warszawskiej (1960); nauczyciel akademicki i pracownik naukowy wielu uczelni (Politechnika Warszawska, Uniwersytet Minnesota, Uniwersytet Browna, Uniwersytet Kioto, IIASA, JAIST), pracownik naukowy Instytutu Łączności w Warszawie (od 1996), dyrektor naczelny IŁ (1996–2004); organizator działalności badawczej i naukowej; członek Information Society Advisory Group (ISTAG) powołany przez Komisję Europejską, przewodniczący Zespołu Doradców KBN ds. Naukowej Współpracy Międzynarodowej, wiceprzewodniczący Komitetu Prognoz „Polska 2000 Plus” przy Prezydium PAN; autor licznych publikacji; zainteresowania naukowe: teoria i metodologia optymalizacji wektorowej, wspomaganie decyzji i projektowania, teoria oraz metody obliczeniowe optymalizacji, techniki i sztuka negocjacji, zjawiska cywilizacyjne, rynkowe oraz techniczne związane z pojęciami społeczeństwa informacyjnego i cywilizacji informacyjnej.

e-mail: A.Wierzbicki@itl.waw.pl

Edward Klimasara



Mgr Edward Klimasara – absolwent Wydziału Matematyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego (1977); pracownik Instytutu Łączności w Warszawie (od 1984); starszy specjalista w Zakładzie Zaawansowanych Technik Informacyjnych; autor i współautor prac z obszaru informatyki i telekomunikacji; zainteresowania zawodowe: zarządzanie wiedzą, zastosowanie technik informacyjnych w telekomunikacji, medycynie, transporcie, administracji i edukacji.

e-mail: E.Klimasara@itl.waw.pl

Anna Mościcka



Mgr inż. Anna Mościcka – absolwentka Wydziału Cybernetyki Wojskowej Akademii Technicznej (2010). Obecnie doktorantka na kierunku Informatyka Wydziału Cybernetyki WAT. Od 2010 pracownik Zakładu Zaawansowanych Technik Informacyjnych Instytutu Łączności w Warszawie. Zainteresowania naukowe: inżynieria wiedzy, ontologie, reprezentacja wiedzy, metody wnioskowania z ontologii.

e-mail: A.Moscicka@itl.waw.pl