

Rafał Trójczak, Robert Trypuz, Piotr Kulicki

Ontologia praw naukowych w kontekście reprezentacji i udostępniania wyników badań naukowych*

Naszym celem jest przedstawienie *ontologii praw naukowych*, czyli pewnego uporządkowanego sposobu komputerowej reprezentacji wyników badań opisanych w artykułach naukowych. Służyć ma ona ułatwieniu szybkiego dostępu do treści artykułu, na przykład znajdowaniu artykułów na interesujący temat, w szczególności tekstów potwierdzających lub odrzucających daną hipotezę. Ma również umożliwić wyciąganie wniosków w postaci nowych praw naukowych wynikających dedukcyjnie z praw już odkrytych i rozpoznawanie problemów badawczych tam, gdzie uznanie w literaturze twierdzenia są wzajemnie niespójne.

Przedstawiona w tej pracy ontologia praw naukowych jest teorią pierwszego rzędu formalnie charakteryzującą typy praw naukowych oraz relacje między nimi. Jej teoretycznym źródłem są podziały zaproponowane przez Kazimierza Ajdukiewicza (1974) i Władysława Krajewskiego (1982). Ku naszemu zaskoczeniu klasyfikacji praw naukowych w literaturze z zakresu metodologii i teorii nauki poświęcono dotychczas stosunkowo niewiele uwagi. Głównym powodem jest zapewne fakt, że systematyzacje takie są wtórne w stosunku do koncepcji nauki, klasyfikacji nauk i metodologicznej charakterystyki typów nauk. Potrzeba reprezentacji wiedzy naukowej w systemach informatycznych nadaje klasyfikacji praw nowy praktyczny wymiar. Uporządkowanie i wskazanie specyfiki poszczególnych rodzajów praw naukowych pozwala na zapisanie ich treści w sposób czytelny dla systemów komputerowych, a następnie przetwarzanie za pomocą stosownych algorytmów.

* Artykuł powstał w ramach projektu *Optymalizacja produkcji wołowiny w Polsce zgodnie ze strategią „od widelca do zagrody”* (nr projektu WND-POIG. 01.03.01-00-204/09), finansowanego z Programu Operacyjnego *Innowacyjna Gospodarka*.

Klasyfikacja praw naukowych oraz jej formalizacja zbudowane zostały na potrzeby projektu ProOptiBeef (www.prooptibeef.pl). Jednym z jego celów jest udostępnienie wyników badań dotyczących produkcji i konsumpcji wołowiny w postaci zwięzłej i czytelnej zarówno dla ekspertów, jak i dla praktyków. Zdecydowano się w tym celu przedstawić hipotezy badawcze, które zostały potwierdzone bądź odrzucone w czasopiśmie naukowych z tej dziedziny. Potwierdzone hipotezy badawcze są wyrazem praw w niej przyjmowanych. Powiązanie klasyfikacji z konkretnym projektem badawczym skutkuje ograniczeniem naszego pola zainteresowań do typów praw występujących w omawianej dziedzinie. Nie zmniejsza to jednak istotnie uniwersalnego charakteru ontologii praw naukowych, która w razie potrzeby może zostać rozszerzana o nowe typy. Uniwersalne pozostają również algorytmy służące do pozyskiwania nowej wiedzy i wyszukiwania konfliktów wśród praw naukowych.

Warto zaznaczyć, że używamy terminu „ontologia” na oznaczenie logicznej reprezentacji wiedzy na dany temat (w tym wypadku chodzi o wiedzę dotyczącą praw naukowych), tworzonej z zamiarem zastosowania jej jako składnika systemów informatycznych „opartych na wiedzy” (*knowledge-based information systems*)¹. W rozdziale 1 przedstawimy aktualny stan badań nad reprezentowaniem w systemach informatycznych twierdzeń pochodzących z prac naukowych. Aby oprzeć nasze ujęcie tego typu twierdzeń na ontologii praw naukowych, w rozdziale 2 omówimy klasyfikacje praw znane z literatury, a następnie w rozdziale 3 przedstawimy wykorzystującą je ontologię i sposób, w jaki można za jej pomocą zapisywać prawa naukowe. W rozdziale 4 wskażemy zastosowania naszej ontologii w pracy badawczej.

1. AKTUALNY STAN BADAŃ NAD REPREZENTOWANIEM TWIERDZEŃ NAUKOWYCH W SYSTEMACH INFORMATYCZNYCH

W pracach nad reprezentowaniem i udostępnianiem wyników badań naukowych przeważają obecnie dwa podejścia. W pierwszym z nich przedmiotem zainteresowania są dane pochodzące z przeprowadzanych eksperymentów, a celem prac jest możliwość łączenia danych zbieranych w różnych ośrodkach badawczych (Clark, Kinoshita 2007, Smith i in. 2007, Hey, Tansley, Tolle 2009, Hocquette i in. 2012, Chriki i in. 2013). Niezależnie od tego typu badań udoskonalane są metody wyszukiwania prac naukowych wykorzystujące słowa kluczowe przypisywane tekstom naukowym i ich fragmentom. Tutaj celem jest dotarcie do interesującej czytelnika pracy na podstawie jej tematu (Maliappis 2009, Diamantopoulos i in. 2011, Kulicki i in. 2013, 2014).

W ostatnich latach pojawiają się też prace zbliżone w swoich założeniach do naszych badań, zmierzające do reprezentacji tekstów naukowych przez wydobyć

¹ Zwięzły opis ontologii filozoficznych oraz tych budowanych na potrzeby systemów informatycznych można znaleźć w pracy (Garbacz, Trypuz 2012).

z ich treści argumentacji oraz opisu odkrytych przez autorów zależności, a następnie zapisanie ich w sposób czytelny dla systemów komputerowych. Spośród nich wybraliśmy najbardziej interesujące naszym zdaniem projekty *Nanopublications* i *Micropublications*.

Realizację projektu *Nanopublications* rozpoczęto w 2010 roku (Groth, Gibson, Velterop 2010). Jego celem jest stworzenie komputerowej reprezentacji wyników badań naukowych w postaci twierdzeń zaczerpniętych ze specjalistycznych artykułów. W zamyśle autorów dobra reprezentacja powinna umożliwiać zapisywanie nie tylko samych twierdzeń, lecz także kontekstu, w którym tezy te zostały sformułowane. Tylko wtedy miałyby być możliwa ocena ich prawdziwości. Reprezentacja stworzona w ramach omawianego projektu opiera się na pojęciach i relacjach między pojęciami. Z tych elementów konstruowane są trójki uporządkowane, z których każda składa się z podmiotu, orzeczenia i dopełnienia². Oto przykład prostej trójki (por. Groth, Gibson, Velterop 2010):

<malaria, jest roznoszona przez, komary>

Mając trójkę, możemy nadać jej identyfikator, który pozwoli jednoznacznie się do niej odnosić. W ten sposób powstaje sąd wyrażony w trójce i opatrzony identyfikatorem. Sądom przypisywane są różne właściwości (autorstwo, data utworzenia itp.) za pomocą adnotacji (*annotation*). Adnotacje są również trójkami, w których podmiotem jest identyfikator sądu. Sąd wraz ze wszystkimi przypisanymi mu adnotacjami tworzy *nanopublikację*.

Podany przykład mógłby być szerzej opisany w następujący sposób:

```
G1 = <malaria, jest roznoszona przez, komary>
G2 = {
  <G1, został utworzony dnia, "2009-09-03">
  <G1, został utworzony przez, "Bob Smith">
}
```

W przykładzie tym element G1 reprezentuje sąd (G1 to identyfikator; informacja, że malaria jest roznoszona przez komary, jest przedstawiona w trójce), a element G2 jest nanopublikacją (przechowuje informacje o sądzie G1).

Również projekt *Micropublications* powstał z myślą o lepszym sposobie dostępu do opublikowanych twierdzeń naukowych (Clark, Ciccarese, Goble 2014). Projekt skupia się na biomedycynie, ale nie ogranicza się do niej. *Nanopublications* był jed-

² Prawdopodobnie najpopularniejszym sposobem zapisu trójek używanym w komputerowej reprezentacji wiedzy jest model danych Resource Description Framework (RDF). W celu utrzymania wyводу na możliwie elementarnym poziomie postanowiliśmy zrezygnować z RDF na rzecz bardziej przystępnego zapisu w języku pseudonaturalnym. Czytelnik zainteresowany językiem RDF może zapoznać się z jego pełną charakterystyką (Wood, Lanthaler, Cyganiak 2014) lub z przystępnym wprowadzeniem do tematu, które stanowi jeden z rozdziałów książki (Goczyła 2011).

nym z projektów, który autorzy *Micropublications* wzięli pod uwagę przy tworzeniu własnego systemu. Nie można jednak powiedzieć, że projekt późniejszy jest rozszerzeniem wcześniejszego. Są to dwa niezależne przedsięwzięcia, które mają podobne cele, ale obierają inną drogę do ich osiągnięcia. Wśród ograniczeń nanopublikacji autorzy *Micropublications* wymieniają między innymi brak możliwości odnoszenia się do danych empirycznych potwierdzających dany sąd, reprezentowania metod naukowych używanych w badaniach i tworzenia sieci źródeł wspierających dany sąd. Nanopublikacje wymagają też używania języka sformalizowanego do reprezentacji sądów, co może stać na przeszkodzie upowszechnieniu tej technologii.

Minimalną formą użycia mikropublikacji jest reprezentowanie sądu wraz ze źródłem jego pochodzenia. Maksymalną formą jest przedstawienie sądu wraz z całym łańcuchem argumentacji, dowodów, danych i metod, które ten sąd wspierają i którego dotyczy, oraz odzwierciedlenie ewentualnej krytyki. Między tymi dwiema skrajnymi formami zaproponowano dziewięć możliwych przypadków użycia, z których przedstawimy jeden, najbardziej zbliżony do naszej reprezentacji praw naukowych.

Do reprezentowania sądów autorzy *Micropublications* użyli języka BEL (Selventa Inc. 2011). Na nasze potrzeby rezygnujemy z niego na rzecz prostszych trójek. Przyjrzyjmy się następującemu przykładowi (Clark, Ciccarese, Goble 2014; tutaj w uproszczeniu):

```
<MP8, ma atrybucję, A_MP8>
<A_MP8, stworzony przez, "Tim Clark">

<MP8, twierdzi, C7>
<C7, ma zawartość, {
  <rapamacyna, inaktywuje, kinazy na mTOR>
}>
<C7, ma atrybucję, A_C8>

<S4, wspiera, C7>
<S4, ma zawartość, "Rapamycins inhibit the function of the mammalian target of rapamycin (mTOR)...">
<S4, pochodzi z, "Huang & Houghton (2001) Drug resistance updates 4, 378-391, PMID 12030785">
<S4, ma atrybucję, A_C8>

<A_C8, stworzony przez, "Dexter Pratt">
```

MP8 jest identyfikatorem przykładowej mikropublikacji i jest połączone z A_MP8 relacją „ma atrybucję”, co oznacza, że A_MP8 określa, kto jest autorem mikropublikacji. A_MP8 informuje, że jej autorem jest „Tim Clark”. MP8 jest połączone za pomocą relacji „twierdzi” z elementem C7, który reprezentuje sąd (przy podobnym jego rozumieniu jak w opisie nanopublikacji). Sąd ten ma zawartość, która informuje o tym, że rapamycyna inaktywuje kinazynę mTOR. Ponadto, sąd C7 jest połączony

relacją „ma atrybucję” z A_C8, co pozwala stwierdzić, że został sformułowany przez „Dexter Pratt”. S4 reprezentuje informacje źródłowe: zapis sądu w języku naturalnym oraz dane bibliograficzne. Widzimy również, że jest połączony relacją „ma atrybucję” z A_C8.

Oba opisane projekty pozwalają reprezentować sądy z uwzględnieniem pojęć i relacji, których te sądy dotyczą. Tak rozumiane sądy mają jednak bardzo prostą strukturę przypisującą obiektowi wartość cechy. Trudno w tej strukturze wyrazić bardziej złożone zależności, dotyczące np. wpływu pewnych czynników na procesy, którym podlega pewien przedmiot. Jednocześnie w obu projektach reprezentacji brakuje uprzednio narzuconej wewnętrznej struktury, która z jednej strony ograniczałaby dowolność zapisu sądów, a z drugiej stanowiłaby ramy do interpretacji pojęć zapisanych w tych sądach. W następnych rozdziałach przedstawiamy próbę stworzenia pojemniejszej i jednocześnie lepiej ustrukturyzowanej reprezentacji praw naukowych.

2. KLASYFIKACJE PRAW NAUKOWYCH AJDUKIEWICZA I KRAJEWSKIEGO

2.1. Klasyfikacja Ajdukiewicza

W swojej koncepcji praw naukowych Ajdukiewicz rozróżnia dwa typy cech — stałe i zmienne. Nie definiuje ich jednak: ich znaczenie ma się wyłonić z podanych przykładów. Cechami stałymi będą np.: bycie ssakiem, bycie ciepłokrwistym, bycie metalem i bycie przewodnikiem elektrycznym. Natomiast cecha spadania przez pewien czas i cecha przebycia pewnej drogi (w pewnym czasie) to przykładowe cechy zmienne. „Cechy zmienne [...] są najczęściej wielkościami, tzn. takimi cechami, którym w sposób wzajemnie jednoznaczny jest przyporządkowana ich liczbowa miara” (Ajdukiewicz 1974: 287).

Prawa naukowe Ajdukiewicz dzieli na ogólne i statystyczne. „Prawa ogólne stwierdzają na ogół pewne związki (zależności) między cechami przysługującymi przedmiotom lub między stosunkami, jakie między przedmiotami zachodzą” (Ajdukiewicz 1974: 286). Prawa ogólne dzielą się dalej na te, które stwierdzają związki między cechami stałymi, i te, które stwierdzają związki między cechami zmiennymi.

Wśród pierwszych wyróżnione zostały prawa stwierdzające związki między dwiema prostymi cechami, np. „Dla wszelkich x , jeżeli x jest ssakiem, to x jest ciepłokrwisty”, co można prościej wyrazić, pisząc „Każdy ssak jest ciepłokrwisty”, oraz wszelkie inne poprzedzone kwantyfikatorem ogólnym³.

Wśród drugich Ajdukiewicz wymienia prawa funkcjonalne i parametryczne. Prawa funkcjonalne są to prawa, które stwierdzają, że jedna z cech zmiennych dane-

³ Ajdukiewicz nie podaje ani szczegółowej struktury takich praw, ani przykładów. Pisze jedynie, że „muszą się dać zapisać w postaci zdania z kwantyfikatorem ogólnym na początku, obejmującym pozostałą część tego zdania” (Ajdukiewicz 1974: 286).

go przedmiotu jest funkcją innych cech zmiennych tego przedmiotu, np. „Jeśli x spadało swobodnie w czasie, którego miara (w sekundach) wynosi t , to x przebyło drogę, której miara (w centymetrach) wynosi $981 \cdot t^2/2$ ” (por. Ajdukiewicz 1974: 288). Prawa parametryczne to „prawa ogólne przedstawiające pewną zmienną cechę dowolnego ciała (pewnego rodzaju) jako funkcję nie samych tylko zmiennych cech tego samego ciała, ale również jakiegoś parametru, który dla różnych pod pewnym względem ciał jest różny, lecz dla danego ciała ma wartość stałą” (Ajdukiewicz 1974: 289). Ajdukiewicz jako przykład podaje prawo Boyle’a–Mariotte’a stwierdzające, że iloczyn masy i objętości gazów pozostających w stałej temperaturze ma wartość stałą zależną od masy gazu i temperatury.

Wśród praw statystycznych Ajdukiewicz wyróżnia prawa stwierdzające stopień zbieżności cech stałych, prawa rozkładu statystycznego oraz prawa stwierdzające korelację cech zmiennych. Przykładem pierwszych jest stwierdzenie, że 75% blondynów ma niebieskie oczy. Prawa tego typu są statystycznymi odpowiednikami praw stwierdzających związki między cechami stałymi. Różnią się od praw ogólnych tym, że stwierdzane zależności występują nie zawsze, lecz z pewnym prawdopodobieństwem. Prawa rozkładu statystycznego stwierdzają stopień zbieżności cech stałych z cechami zmiennymi, np. udział osób w pewnych przedziałach wiekowych w populacji. Cechami zmiennymi występującymi w prawach ostatniego rodzaju mogą być np. wzrost i ciężar człowieka.

Wiemy z potocznego doświadczenia, że wprawdzie nie zawsze wyższemu wzrostowi towarzyszy większa waga, ale że na ogół tak się dzieje. Można więc powiedzieć, że między wzrostem a wagą człowieka istnieje związek polegający na tendencji do tego, by przyrostowi pierwszej z tych cech towarzyszył przyrost drugiej (Ajdukiewicz 1974: 319).

Prawa tego typu są statystycznymi odpowiednikami praw ogólnych stwierdzających związki między cechami zmiennymi.

2.2. Klasyfikacja Krajewskiego

Krajewski (1982) buduje — jak sądzimy, niezależnie od Ajdukiewicza — klasyfikację praw nauki opierającą się na czterech komplementarnych podziałach. Za najbardziej elementarny uznaje ten, w którym prawa dzieli się na jakościowe i ilościowe. W kolejnych podziałach rozróżnia prawa diachroniczne i synchroniczne, jednoznaczne i statystyczne oraz empiryczne i teoretyczne. Podział na prawa jakościowe i ilościowe oraz dalsze podziały wśród tych praw okazały się dla naszych celów praktycznych, zgodnie z przewidywaniem Krajewskiego, najbardziej odpowiednie.

Prawa jakościowe wyrażają „stałe relacje między pewnymi cechami rzeczy, zdarzeniami, stadiami rozwojowymi itd.” (Krajewski 1982: 11). Dzieli się na prawa inkluzyjne i prawa porządkowe.

Prawa inkluzyjne (zwane również koegzystencjalnymi) stwierdzają, że każdy obiekt mający pewną cechę a , ma również cechę b (ale niekoniecznie odwrotnie).

Przykładem może być prawo głoszące, że każdy magnes przyciąga żelazo. Można je przeformułować w ten sposób, by stwierdzało, że każdy przedmiot mający cechę bycia magnesem ma również własność przyciągania żelaza⁴.

Prawa porządkowe stwierdzają, że na pewnej skali X przedmioty klasy A poprzedzają przedmioty pewnej innej klasy B . W wypadku praw jakościowych porządkowych nie mierzy się różnicy między tymi obiektami. Prawa porządkowe dzielą się dalej na prawa porównawcze i prawa strukturalne. W wypadku praw porównawczych porównuje się dwa obiekty pod względem intensywności jakiejś cechy. Przykładem jest zdanie, które mówi, że diament jest twardszy od szkła. Prawa strukturalne opisują natomiast strukturę przestrzenną lub czasową układu, w którym znajdują się pewne dwa przedmioty. Krajewski jako przykład tego typu prawa podaje: „Jeśli roślina ma korzeń i pęd, to pierwszy znajduje się niżej” (Krajewski 1982: 314).

Również prawa ilościowe dzielą się na trzy klasy. Pierwszą z nich stanowią prawa zależności funkcyjnej opisujące zmienność wartości pewnej cechy pod wpływem określonych warunków. Przykładem jest zależność oddziaływania grawitacyjnego między dwoma ciałami, którego wartość jest funkcją masy tych ciał i odległości między nimi. Druga klasa obejmuje prawa stałe stwierdzające „stałość i wartość liczbowa pewnych wielkości” (Krajewski 1982: 317), np. prędkość światła, ładunek i masa elektronu lub stała powszechnej grawitacji. Ostatnią klasą praw ilościowych są prawa monotonii. Stwierdzają one istnienie nierówności, tzn. przy zmianie wartości pewnej cechy a zmienia się również wartość cechy b . W wypadku tych praw funkcja zmiany wartości nie jest określona (lub trudno ją określić). „Najważniejszym chyba przykładem takiego prawa jest druga zasada termodynamiki, głosząca, że w układzie izolowanym entropia z biegiem czasu rośnie, a ściślej rzecz biorąc, nie maleje” (Krajewski 1982: 318).

3. ONTOLOGIA PRAW NAUKOWYCH WYKORZYSTUJĄCA PODZIAŁY AJDUKIEWICZA I KRAJEWSKIEGO

Zreferowane klasyfikacje posłużyły nam do zbudowania ontologii praw naukowych. Została ona stworzona na potrzeby reprezentacji wyników badań z zakresu nauk rolno-spożywczych i ogranicza się do tych praw, które rzeczywiście występują w pracach z interesującą nas dziedziny⁵. Nie obejmuje więc ogółu praw naukowych, ale za to dokładniej opisuje wybraną ich część. Klasyfikacja ta jest dalej opisana formalnie, tu natomiast wskażemy intuicyjny sens jej podstawowych elementów i opiszemy jej związki z pracami Ajdukiewicza i Krajewskiego.

⁴ Wszystkie przykłady praw dotyczących klasyfikacji Krajewskiego pochodzą z (Krajewski 1982).

⁵ Wyboru typów praw naukowych dokonaliśmy na podstawie 2318 artykułów naukowych pochodzących z 224 czasopism naukowych z dziedziny rolno-spożywczej.

3.1. Wprowadzenie do ontologii praw naukowych

Na początek odniesiemy się do podziału na prawa ogólne i statystyczne, występującego jako główne kryterium klasyfikacji praw naukowych u Ajdukiewicza. Prawa ogólne tworzą pewien idealny model rzeczywistości, w którym abstrahuje się od wielu czynników zakłócających w praktyce opisywane przez nie zależności. I tak podane przez Ajdukiewicza jako przykład prawa parametrycznego prawo Boyle'a–Mariotte'a dotyczy w istocie gazów doskonałych (z którymi nie mamy do czynienia w przyrodzie). W wypadku gazów rzeczywistych, ze względu na oddziaływania międzycząsteczkowe oraz niezerową objętość własną cząsteczek gazu, prawo to obowiązuje jedynie w przybliżeniu. Prawa tego typu są charakterystyczne dla dyscyplin takich jak fizyka klasyczna. Aby z nich korzystać w praktyce inżyneryjnej, trzeba uwzględnić występujące w rzeczywistym świecie odchylenia związane z warunkami zewnętrznymi. Na takie czynniki dodatkowe, pomijane przy formułowaniu praw naukowych, zwracają uwagę również fizycy. Na przykład Rogers w swoim słynnym podręczniku do fizyki zauważa:

W wielu badaniach nie tylko koncentrujemy naszą uwagę na małej liczbie *aspektów*, lecz nawet specjalnie staramy się tak ograniczyć zmienność pozostałych aspektów (tzw. parametrów fizycznych), aby ich zmiany nie komplikowały obserwowanego zjawiska. W fizyce prawie zawsze staramy się ograniczyć nasze badania w danym czasie tylko do jednej pary zmiennych (Rogers 1974: 45).

W naukach o życiu czy w szczególnie nas interesujących dyscyplinach z zakresu badań rolno-spożywczych tego typu odchylenia są jeszcze większe ze względu na dużą złożoność organizmów żywych i procesów technologicznych. W związku z tym podział na prawa ogólne i statystyczne w dużej mierze się zaciera, ponieważ nawet gdy próbujemy wyciągać z przeprowadzonych doświadczeń wnioski o charakterze praw ogólnych, to otrzymane wyniki pozwalają na uznanie ich jedynie z pewnym prawdopodobieństwem, co nadaje tym wnioskom charakter statystyczny.

Jednocześnie trzeba wziąć pod uwagę to, że z punktu widzenia reprezentacji wiedzy naukowej istotna jest struktura praw naukowych. Podział na prawa ogólne i statystyczne dokonany jest nie z uwagi na kryteria strukturalne (u Ajdukiewicza prawa o podobnej strukturze występują w obu kategoriach), lecz ze względu na ich status poznawczy czy też *charakter zależności między badanymi cechami*. Formułowanie wyników badań w postaci praw ogólnych wskazuje na wysoki poziom uznania danej zależności oraz na występowanie silnych związków (np. przyczynowych) między własnościami, których dotyczy prawo.

Krajewski (1982: 187) wskazuje na istnienie dwóch rodzajów praw statystycznych⁶. Prawa pierwszego rodzaju dotyczą prawdopodobieństwa pewnych zjawisk, które może przyjmować wartości między 0 i 1. W drugim rodzaju praw prawdopo-

⁶ Pierwszy rodzaj określany jest jako prawa statystyczne w sensie węższym, a drugi — w sensie szerszym.

dobieństwo jest zawsze bardzo bliskie 1. Możemy zauważyć, że prawa statystyczne drugiego rodzaju są zbliżone do praw ogólnych: mają taką samą strukturę i różnią się jedynie możliwością wystąpienia wyjątków. Obserwacja tekstów naukowych z interesującej nas dziedziny pokazała, że większość formułowanych w nich wniosków przyjmuje właśnie postać praw statystycznych drugiego rodzaju.

Biorąc to pod uwagę, jako podstawę klasyfikacji przyjmujemy podział Krajewskiego na prawa jakościowe i ilościowe, który bardziej niż podział na prawa ogólne i statystyczne odnosi się do struktury ontologicznej praw. Warto zauważyć, że podział ten pokrywa się w dużej mierze z podziałem praw ogólnych u Ajdukiewicza. Prawa jakościowe odpowiadają bowiem prawom stwierdzającym zależności między cechami stałymi, a prawa ilościowe — między cechami zmiennymi. W dodatku, skoro cechy stałe pozwalają na określenie klas przedmiotów (np. wymienione przez Ajdukiewicza cechy stałe bycia ssakiem i bycia ciepłokrwistym wyznaczają zbiór ssaków i zbiór zwierząt ciepłokrwistych), można powiedzieć, że prawa jakościowe dotyczą właściwie zależności między *posiadaczami* cech, a prawa ilościowe — zależności między cechami.

Prawa jakościowe podzielimy za Krajewskim na prawa inkluzyjne i prawa porządkowe. Warto zauważyć, że prawa inkluzyjne odpowiadają występującym u Ajdukiewicza prawom stwierdzającym związki między dwiema prostymi cechami, które formułuje się w zdaniach ogólnotwierdzących (wyrażających inkluzję). Z kolei prawa porządkowe są typowym przykładem innych praw ogólnych stwierdzających zależność między cechami stałymi. Przykład Krajewskiego, w którym stwierdza się, że diament jest twardszy od szkła, można wyrazić za pomocą kwantyfikatorów:

$$\forall x \forall y (x \text{ jest diamentem i } y \text{ jest szkłem} \rightarrow x \text{ jest twardsze od } y)$$

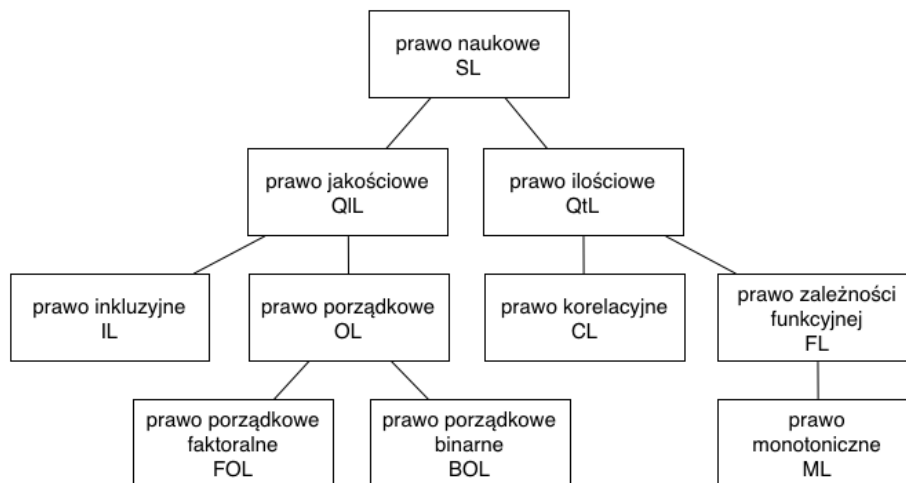
Obiekty będące przedmiotem porządkowania w tego typu prawach mogą być określane na dwa sposoby: wprost, jak w podanym przykładzie, lub przez wskazanie wspólnego rodzaju oraz cechy rozróżniającej, np. gdy stwierdzamy, że *mięso bez dodatku rozmarynu utlenia się szybciej niż mięso z dodatkiem rozmarynu* (wspólnym rodzajem jest mięso, a cechą różnicującą dodatek rozmarynu).

Z kolei prawa ilościowe podzielimy na prawa korelacyjne i prawa zależności funkcyjnej. W obu wypadkach mamy do czynienia z występowaniem zależności między cechami zmiennymi. W pierwszym jednak nie obserwujemy wyraźnego kierunku zależności, a w drugim wyróżniamy czynnik niezależny od czynnika zależnego (w tym wypadku często jest tak, że na czynnik niezależny możemy mieć wpływ i modyfikując go, oddziaływać na czynnik zależny).

W proponowanej tu ontologii praw naukowych przyjęliśmy epistemiczne podejście do praw naukowych, traktując je podobnie do przekonań (zob. Garbacz i in. 2009). Stąd każde prawo naukowe może być uznane przez pewnych autorów (o czym dowiadujemy się z konkretnych artykułów naukowych) i odrzucone przez innych. Na przykład, jedni twierdzą, że *dodatek witaminy C wpływa na tempo utleniania mięsa*, a znowuż inni, że *takiego wpływu nie zaobserwowano*. Dla uproszczenia

nia przyjmiemy, że w obu wypadkach mamy do czynienia z prawem naukowym — uznanym lub odrzuconym.

Na Rysunku 1 przedstawiamy schemat taksonomii praw naukowych.



Rysunek 1. Taksonomia praw naukowych

3.2. Ontologia praw naukowych

W naszej ontologii wykorzystujemy szereg relacji, których zadaniem jest łączenie praw naukowych z obiektami z dziedziny. Podstawową relacją jest relacja „dotyczy przedmiotu badanego, reprezentowanego przez” — predykat „concerns”⁷. Może ona zachodzić między prawami naukowymi (SL) a endurantami (E), perdurantami (P) lub cechami (Q)⁸:

$$R1. \quad concerns(x,y) \rightarrow SL(x) \wedge (E(y) \vee P(y) \vee Q(y))$$

Predykaty E , P oraz Q należy rozumieć tak jak w ontologii DOLCE (Masolo i in. 2003, Garbacz, Trypuz 2012: 162-166). W tym miejscu można krótko scharakteryzować enduranty jako byty trwające w czasie i obecne „w całości” w każdej chwili swojego istnienia (np. metal, człowiek), perduranty jako byty rozciągłe w czasie, posiadające w różnych chwilach swojego istnienia osobne części czasowe (np. fermentacja, wykład uniwersytecki), oraz cechy jako własności endurantów lub perdurantów, które można obserwować lub mierzyć (np. temperatura, masa).

⁷ Relacja „concerns” w (Garbacz i in. 2009) wiązała przekonanie z obiektami tych przekonań. Tutaj zawężamy jej dziedzinę do praw naukowych.

⁸ Od tego miejsca artykułu aż do końca wszystkie zmienne wolne w formułach należy traktować jako pozostające w zasięgu kwantyfikatora ogólnego (uniwersalnego).

W naszej ontologii mamy wiele specjalizacji (podklas) relacji „concerns”. Wymieniamy je w Tabeli 1, wskazując jednocześnie typy praw, do których charakterystyki posłużą nam w dalszej części tekstu.

typ prawa	relacja	sposób odczytania	relacja odwrotna
prawa inkluzyjne	<i>has supordinate element(x, y)</i>	<i>x</i> ma element nadrzędny reprezentowany przez <i>y</i>	<i>is supordinate element(x, y)</i>
	<i>has subordinate element(x, y)</i>	<i>x</i> ma element podrzędny reprezentowany przez <i>y</i>	<i>is subordinate element(x, y)</i>
prawa porządkowe	<i>has an order basis(x, y)</i>	<i>x</i> ma podstawę porządkowania reprezentowaną przez <i>y</i>	<i>is an order basis(x, y)</i>
prawa porządkowe binarne	<i>has first differentiation element(x, y)</i>	<i>x</i> ma pierwszy składnik porządkowania reprezentowany przez <i>y</i>	<i>is first differentiation element(x, y)</i>
	<i>has second differentiation element(x, y)</i>	<i>x</i> ma drugi składnik porządkowania reprezentowany przez <i>y</i>	<i>is second differentiation element(x, y)</i>
prawa porządkowe faktoralne	<i>has context(x, y)</i>	<i>x</i> ma kontekst reprezentowany przez <i>y</i>	<i>is context(x, y)</i>
	<i>has differentiation factor(x, y)</i>	<i>x</i> ma czynnik różnicujący reprezentowany przez <i>y</i>	<i>is differentiation factor(x, y)</i>
prawa korelacyjne	<i>has first component(x, y)</i>	<i>x</i> ma pierwszy składnik (nieokreślonej korelacji) reprezentowany przez <i>y</i>	<i>is first component(x, y)</i>
	<i>has second component(x, y)</i>	<i>x</i> ma drugi składnik (nieokreślonej korelacji) reprezentowany przez <i>y</i>	<i>is second component(x, y)</i>
prawa zależności funkcyjnej	<i>has dependent parameter(x, y)</i>	<i>x</i> ma parametr zależny reprezentowany przez <i>y</i>	<i>is dependent parameter(x, y)</i>
	<i>has independent parameter(x, y)</i>	<i>x</i> ma parametr niezależny reprezentowany przez <i>y</i>	<i>is independent parameter(x, y)</i>

Tabela 1. Podklasy relacji „concerns” i odpowiadające im typy praw naukowych

Przejdziemy teraz do charakterystyki typów praw naukowych. Nasza formalizacja ukazuje ich przedmiotowy charakter. W przyjętej przez nas reprezentacji prawa naukowe dotyczą bowiem konkretnych bytów (tj. konkretnych endurantów, perdurantów lub cech), a nie klas tych obiektów. Przedmioty te są domyślnymi reprezentantami klas obiektów „tego samego typu”.

Prawa jakościowe i ilościowe. Pierwsze dwa aksjomaty wskazują na dwa różne aspekty podziału praw naukowych. Każde prawo naukowe (SL) jest przyjęte (AC) lub odrzucone (RJ)⁹:

$$A1. \quad SL(x) \equiv AC(x) \vee RJ(x)$$

Dalej powiemy, że każde prawo naukowe jest zawsze jakościowe (QIL) lub ilościowe (QtL):

$$A2. \quad SL(x) \equiv QIL(x) \vee QtL(x)$$

Kategorie praw przyjętych i odrzuconych są rozłączne:

$$A3. \quad \neg(AC(x) \wedge RJ(x))$$

Podobnie żadne prawo naukowe nie jest zarazem jakościowe i ilościowe:

$$A4. \quad \neg(QIL(x) \wedge QtL(x))$$

Do praw jakościowych zaliczamy prawa inkluzyjne (IL) oraz prawa porządkowe (OL):

$$A5. \quad QIL(x) \equiv IL(x) \vee QL(x)$$

Natomiast na prawa ilościowe składają się prawa korelacyjne (CL) oraz prawa funkcyjne (FL):

$$A6. \quad QtL(x) \equiv CL(x) \vee FL(x)$$

Prawa inkluzyjne. Prawa inkluzyjne są prawami jakościowymi. Każde prawo inkluzyjne dotyczy pewnych endurantów lub perdurantów jako elementów nadrzędnych oraz innych jako elementów podrzędnych:

$$A7. \quad IL(x) \rightarrow \exists y ((E(y) \vee P(y)) \wedge \text{has supordinate element}(x, y))$$

Nadrzędne i podrzędne przedmioty praw inkluzyjnych muszą być tego samego typu, tj. oba są albo endurantami, albo perdurantami:

$$A8. \quad \text{has supordinate element}(x, y) \wedge \text{has subordinate element}(x, z) \rightarrow (E(y) \wedge E(z)) \vee (P(y) \wedge P(z))$$

Prawa porządkowe. Prawa porządkowe (OL) są prawami jakościowymi. Jako podstawę porządkowania mają jakąś cechę¹⁰:

⁹ W rozszerzonej wersji ontologii pojawia się wymóg, aby każde prawo naukowe było powiązane z konkretną publikacją naukową i jej autorami. W ten sposób możliwe jest przypisanie prawa naukowego jako przekonania osobom żywiącym to przekonanie. Stąd też wiemy, kto uznaje, a kto odrzuca dane prawo. Ponadto rozszerzona wersja ontologii zawiera kategorie związane z przestrzeniami metrycznymi dla cech mierzonych.

¹⁰ Warto zauważyć, że mamy tu do czynienia z poważnym (i zamierzonym) uproszczeniem. W istocie podstawą porządkowania powinna być nie tyle sama cecha, ile przestrzeń metryczna, w której znajdują się wartości pomiarów tej cechy.

$$A9. \quad OL(x) \rightarrow \exists y (Q(y) \wedge \text{has an order basis}(x, y))$$

Prawa porządkowe mają typ monotoniczności pozytywny lub negatywny:

$$A9. \quad OL(x) \rightarrow \text{has monotonic type}(x, \text{positive}) \vee \text{has monotonic type}(x, \text{negative})$$

Monotoniczność związana jest z porządkowaniem przedmiotów według pewnej cechy (podstawy porządkowania prawa porządkowego). Relacja „*has monotonic type*” jest funkcją:

$$R3. \quad \text{has monotonic type}(x, y) \wedge \text{has monotonic type}(x, z) \rightarrow y = z$$

$$R3. \quad \exists y \text{ monotonic type}(x, y)$$

Prawa porządkowe są binarne (*BOL*) lub faktoralne (*FOL*):

$$A11. \quad OL(x) \equiv BOL(x) \vee FOL(x)$$

Prawa porządkowe binarne i faktoralne są rozłączne:

$$A12. \quad \neg(BOL(x) \wedge FOL(x))$$

Prawa porządkowe binarne mają dwa składniki, które podlegają porządkowaniu:

$$A13. \quad BOL(x) \rightarrow \exists y ((E(y) \vee P(y)) \wedge \text{has first differentiation element}(x, y))$$

$$A14. \quad BOL(x) \rightarrow \exists y ((E(y) \vee P(y)) \wedge \text{has second differentiation element}(x, y))$$

Oba przedmioty podlegające porządkowaniu w prawie porządkowym binarnym muszą być tego samego typu, tj. oba są albo endurantami, albo perdurantami:

$$A15. \quad \text{has first differentiation element}(x, y) \wedge \text{has second differentiation element}(x, z) \rightarrow (E(y) \wedge E(z)) \vee (P(y) \wedge P(z))$$

Prawa porządkowe faktoralne mają jako kontekst enduranty lub perduranty:

$$A16. \quad FOL(x) \rightarrow \exists y ((E(y) \vee P(y)) \wedge \text{has context}(x, y))$$

Prawa porządkowe faktoralne mają jako czynnik różnicujący enduranty, perduranty lub cechy:

$$A17. \quad FOL(x) \rightarrow \exists y ((E(y) \vee P(y) \vee Q(y)) \wedge \text{has differentiation factor}(x, y))$$

Prawa korelacyjne. Prawa korelacyjne (*CL*) są prawami ilościowymi. Stwierdzają istnienie jakiegoś związku między dwiema cechami:

$$A18. \quad CL(x) \rightarrow \exists y (Q(y) \wedge \text{has first component}(x, y))$$

$$A19. \quad CL(x) \rightarrow \exists y (Q(y) \wedge \text{has second component}(x, y))$$

Prawa zależności funkcyjnej. Prawa zależności funkcyjnej (*FL*) są prawami ilościowymi. Zawsze odnoszą się do pewnych cech, traktując jedne z nich jako zależne od innych (nazywanych niezależnymi):

$$A20. \quad FL(x) \rightarrow \exists y (Q(y) \wedge \text{has independent parameter}(x, y))$$

$$A21. \quad FL(x) \rightarrow \exists y (Q(y) \wedge \text{has dependent parameter}(x, y))$$

Prawa monotoniczne (*ML*) są prawami zależności funkcyjnej:

$$A22. \quad ML(x) \rightarrow FL(x)$$

Podobnie jak prawa porządkowe mają typ monotoniczności:

$$A23. \quad ML(x) \rightarrow \text{has monotonic type}(x, \text{positive}) \vee \text{has monotonic type}(x, \text{negative})$$

Przykład formułowania praw w języku ontologii. Oto przykładowa reprezentacja prawa naukowego:

- *BOL*(„diament jest twardszy od szkła”)
- *Twardość*(x) \rightarrow *is the order basis*(x , „diament jest twardszy od szkła”)
- *Szkło*(x) \rightarrow *is first differentiation element*(x , „diament jest twardszy od szkła”)
- *Diament*(x) \rightarrow *is second differentiation element*(x , „diament jest twardszy od szkła”)
- *has monotonic type*(„diament jest twardszy od szkła”, *positive*)

Ontologia praw naukowych w języku OWL. Jak pisaliśmy we wstępie, naszym celem jest wykorzystanie ontologii praw naukowych w systemach informatycznych. W tym celu przedstawiona ontologia, będąca teorią pierwszego rzędu, została zapisana również w języku OWL¹¹. OWL (*Web Ontology Language*) jest przetwarzalnym komputerowo językiem reprezentacji wiedzy (Goczyła 2011: 111-168), nadającym się znakomicie do tworzenia modeli taksonomicznych. Jego teoretyczną podstawą jest logika opisowa ekspresyjnie słabsza od logiki pierwszego rzędu¹². Stąd przejście z bogatszego języka do uboższego wymagało pewnych uproszczeń. Dwóch aksjomatów A8 i A15 nie dało się przetłumaczyć. Były one odpowiedzialne za określenie typu przedmiotów, których dotyczy prawo naukowe. Spójność tych powiązań jest nadal wymagana przez naszą teorię, choć w charakterystyce OWL nie znajdziemy tego wymogu¹³.

¹¹ Można ją przeglądać oraz pobrać ze strony: <http://onto.kul.pl/webprotege/> (po uprzednim założeniu konta).

¹² Do reprezentacji naszej ontologii użyliśmy dialektu ALCROIQ(D) logiki opisowej.

¹³ Rozważamy wzmocnienie ontologii OWL praw naukowych o reguły SWRL, co powinno istotnie zwiększyć ekspresyjność języka i pomóc wyrazić ograniczenia, których nie udało się zapisać w przedstawianej wersji ontologii.

Warto dodać, że nasza ontologia praw naukowych w postaci OWL jest niesprzeczna (co pozwalają sprawdzić tzw. silniki wnioskujące operujące na języku OWL, np. HerMiT OWL Reasoner) oraz rozstrzygalna (co gwarantuje wersja języka OWL użyta do reprezentacji).

4. ZASTOSOWANIA ONTOLOGII PRAW NAUKOWYCH W PRACY BADAWCZEJ

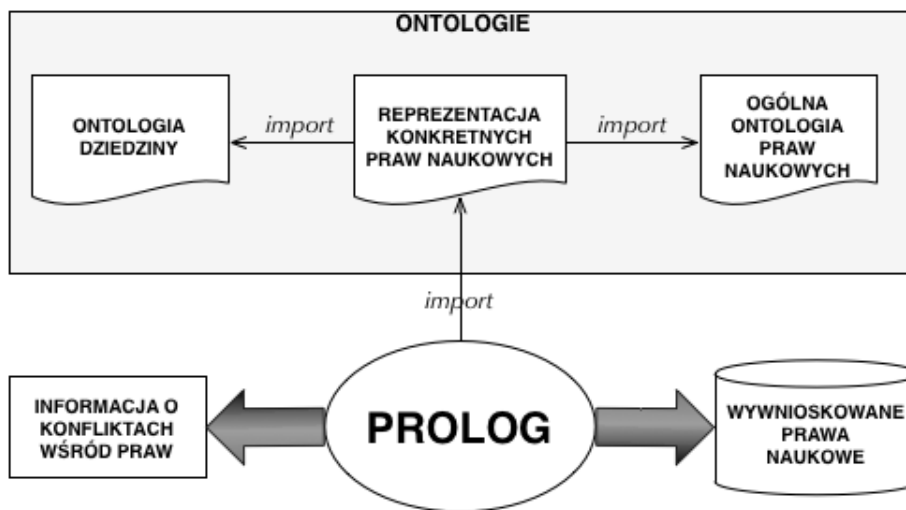
Główną korzyścią ze sformalizowania zapisu praw naukowych jest możliwość ich automatycznego przetwarzania. Mamy tu na myśli wykonanie przez komputer rozumowań, wcześniej przez nas zaprogramowanych. Program, o którym mowa, został napisany w języku programowania logicznego Prolog, szczególnie dobrze nadającym się do programowania rozumowań¹⁴. Prolog implementuje kilka algorytmów, które wykorzystują różne możliwości naszej reprezentacji. Rozumowania te można podzielić na dwa rodzaje: rozumowania pozytywne, które na podstawie uznanych praw wytwarzają prawa nowe, oraz negatywne, które w reprezentowanym zbiorze praw szukają niespójności.

Oba typy rozumowań mają stanowić wsparcie dla badaczy zajmujących się daną dziedziną. Pierwszy z nich wykorzystuje własności używanych przez nas relacji do dedukcyjnego wyprowadzenia nowych zależności z praw obecnych w systemie. Ze względu na statystyczny (w sensie opisanym w poprzednim rozdziale) charakter praw naukowych, z którymi mamy do czynienia, traktujemy je jako sugestie dla badaczy, a nie jako pewną wiedzę. Nowe, wyprowadzone prawo wymaga potwierdzenia przez eksperta lub dodatkowych doświadczeń i wskazuje potencjalny obszar dalszych badań. Z kolei w rozumowaniach negatywnych poszukiwane są prawa pozostające ze sobą w konflikcie. Wskazują one badania dotyczące podobnych zagadnień, których rezultaty są rozbieżne. Może to wynikać m.in. z tego, że czynniki pominięte przez autorów badań lub podczas procesu formalizacji okazują się jednak istotne, bądź z tego, że w badaniach popełniono jakieś błędy. Obecność tego typu niespójności może wskazywać na potrzebę kontroli rezultatów i przeprowadzenia dalszych badań.

Warto jeszcze nadmienić, że program napisany w Prologu korzysta bezpośrednio z reprezentacji OWL konkretnych praw naukowych, które są sformułowane przy użyciu ontologii praw naukowych oraz pojęć zaczerpniętych z ontologii dziedziny, których prawa dotyczą¹⁵.

¹⁴ Warto może wspomnieć, że nasze pierwsze próby zaprogramowania niektórych z przedstawionych tu rozumowań wykonaliśmy w języku programowania Java, wykorzystując interfejs OWL-API. Porównanie Javy i Prologu w tym kontekście pozwala stwierdzić, że język Prolog pozwala zdecydowanie szybciej wykonać to zadanie, a uzyskany kod programu jest krótszy i czytelniejszy.

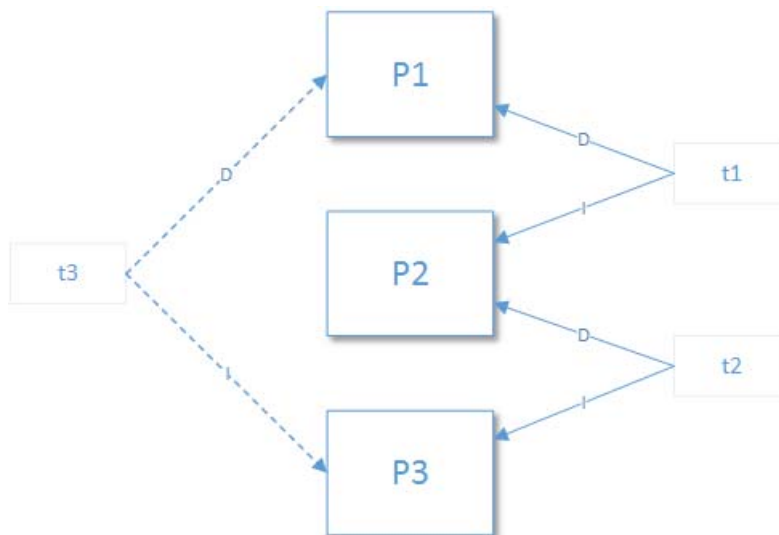
¹⁵ Tworzenie i rozwój wspomnianej ontologii dziedziny opisaliśmy w publikacjach (Kulicki, Trypuz, Wierzbicki 2012) oraz (Trójczak i in. 2013).



Rysunek 2. Ontologie i sposób ich wykorzystania przez silnik wnioskujący

4.1. Pozyskiwanie nowej wiedzy

Przechodność praw funkcyjnych. Pierwsze rozumowanie, które chcemy przedstawić, pozwala na wykorzystywanie praw zależności funkcyjnej do pozyskania nowych praw tego typu. Schemat tego rozumowania został przedstawiony na Rysunku 3.



Rysunek 3. Schemat poszukiwania nowych praw naukowych wykorzystujący przechodność praw funkcyjnych

Prawa funkcyjne t_1 i t_2 zostały opracowane i wprowadzone do ontologii ręcznie. Każde prawo funkcyjne ma strukturę, która łączy je z pojęciami za pomocą dwóch relacji. Przy założeniu, że t_1 jest połączone relacją „*is dependent parameter*” z pojęciem P1 i relacją „*is independent parameter*” z pojęciem P2, oraz biorąc pod uwagę, że jakieś drugie prawo t_2 jest połączone z pojęciem P2 relacją „*is dependent parameter*” i relacją „*is independent parameter*” z pojęciem P3, możemy wywnioskować trzecie prawo, nazwijmy je t_3 , które będzie głosiło, że t_3 jest połączone relacją „*is dependent parameter*” z P1 i relacją „*is independent parameter*” z pojęciem P3.

Założmy na przykład, że t_1 jest prawem zależności funkcyjnej głoszącym, że *kruchosc mięsa poprawia się wraz z czasem dojrzewania*. Można je zapisać w naszej reprezentacji w następujący sposób:

- $ML(„kruchosc\ mięsa\ poprawia\ się\ wraz\ z\ czasem\ dojrzewania”)$
- $Kruchosc\ mięsa(x) \rightarrow is\ dependent\ parameter(x, „kruchosc\ mięsa\ poprawia\ się\ wraz\ z\ czasem\ dojrzewania”)$
- $Czas\ dojrzewania\ mięsa(x) \rightarrow is\ independent\ parameter(x, „kruchosc\ mięsa\ poprawia\ się\ wraz\ z\ czasem\ dojrzewania”)$
- $has\ monotonic\ type(„kruchosc\ mięsa\ poprawia\ się\ wraz\ z\ czasem\ dojrzewania”, positive)$

Następnie rozważmy prawo t_2 , które mówi, że *szybkość dojrzewania mięsa zależy od tempa glikolizy*. To prawo w naszej reprezentacji jest zapisane:

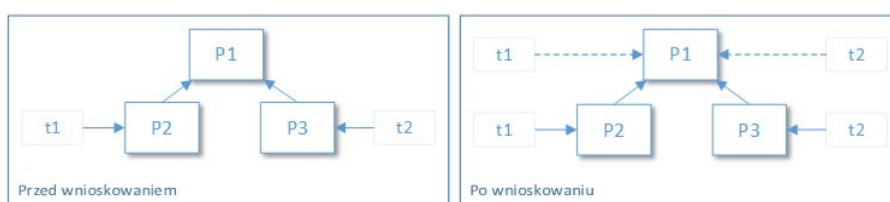
- $ML(„szybkość\ dojrzewania\ mięsa\ zależy\ od\ tempa\ glikolizy”)$
- $Tempo\ glikolizy\ w\ mięsie(x) \rightarrow is\ independent\ parameter(x, „szybkość\ dojrzewania\ mięsa\ zależy\ od\ tempa\ glikolizy”)$
- $Czas\ dojrzewania\ mięsa(x) \rightarrow is\ dependent\ parameter(x, „szybkość\ dojrzewania\ mięsa\ zależy\ od\ tempa\ glikolizy”)$
- $has\ monotonic\ type(„szybkość\ dojrzewania\ mięsa\ zależy\ od\ tempa\ glikolizy”, positive)$

Na podstawie tych dwóch praw — t_1 i t_2 — system wyprowadza prawo t_3 , które można przedstawić następująco:

- $ML(t_3)$
- $Tempo\ glikolizy\ w\ mięsie(x) \rightarrow is\ independent\ parameter(x, t_3)$
- $Kruchosc\ mięsa(x) \rightarrow is\ dependent\ parameter(x, t_3)$
- $has\ monotonic\ type(t_3, positive)$

Prawo t_3 można przedstawić w języku naturalnym w następujący sposób: *kruchosc mięsa zależy (pozytywnie) od tempa glikolizy mięsa*.

Odwrotne dziedziczenie praw naukowych. Drugim sposobem pozyskiwania nowej wiedzy z zaprojektowanego przez nas systemu jest rozumowanie, które określiliśmy jako odwrotne dziedziczenie. Jego schemat został przedstawiony na Rysunku 4. Rozumowanie to wykorzystuje fakt, że pojęcia w ontologii dziedziny są względem siebie w różnych relacjach. Jedną z najważniejszych relacji jest taksonomiczna relacja subsumpcji. W wypadku pojęć z naszej dziedziny można podać przykład pojęcia mięso wołowe, które jest podrzędne w stosunku do pojęcia mięso. Rozumowanie to jest samo w sobie dość banalne, ale pozwala na łatwiejsze gromadzenie praw związanych z interesującymi użytkownika pojęciami.



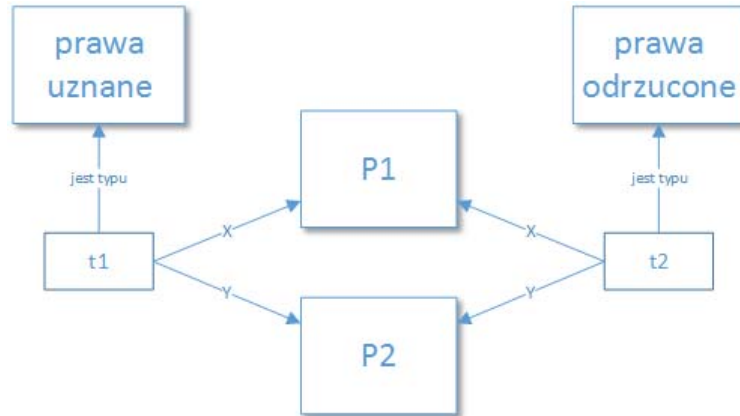
Rysunek 4. Schemat łączenia praw naukowych z pojęciami szerszymi

Założmy, że mamy trzy pojęcia w ontologii dziedziny: P1, P2, P3, przy czym P2 i P3 są podrzędne w stosunku do P1. Do pojęć P2 i P3 odpowiednio przypisane są tezy t1 i t2. Bez przeprowadzenia opisanego rozumowania nie możemy nic stwierdzić o pojęciu P1. Jego zastosowanie pozwala zaś wnioskować, że przynajmniej niektóre z obiektów podpadających pod P1 są opisywane przez t1 i t2.

4.2. Wykrywanie konfliktów

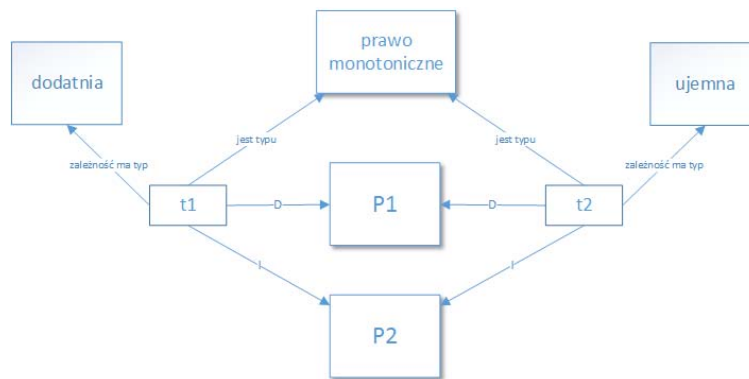
Konflikty epistemiczne. Przy dużej liczbie praw istnieje spore prawdopodobieństwo, że w dwóch różnych publikacjach pojawią się stwierdzenia pozostające ze sobą w konflikcie. Niezgodność może polegać na tym, że w jednym studium prawo o danej treści zostanie uznane za potwierdzone przez badania, a w innym prawo o tej samej treści zostanie odrzucone. Sytuację taką będziemy nazywać konfliktem epistemicznym. Może on zająć w wypadku dwóch praw dowolnego typu (z naszej taksonomii), przy czym oczywiście muszą to być prawa tego samego typu. Na Rysunku 5 znajduje się schemat opisywanej rozbieżności.

Na Rysunku 5 występują dwa prawa — t1 i t2. Oba są połączone za pomocą tych samych relacji X i Y (które reprezentują dowolne relacje) z pojęciami P1 i P2. Jedyńa różnica między t1 a t2 polega na tym, że jedno jest typu *prawo uznane*, a druga — *prawo odrzucone*. Wykrycie tego typu konfliktów epistemicznych może być dla naukowców pomocne przy planowaniu nowych badań.



Rysunek 5. Schemat wyszukiwania konfliktów epistemicznych

Konflikt typów zależności w prawach monotonicznych. Drugi sposób na wyszukiwanie niespójności w naszej bazie wiedzy dotyczy wyłącznie praw monotonicznych, ponieważ uwzględnia się w nim charakterystyczne dla tych praw określenie monotoniczności. Jej wartość (dodatnia lub ujemna) mówi nam, czy opisywana w danej tezie wartość pewnej wielkości (zwanej zmienną niezależną) wpływa na wartość innej wielkości (zmienną zależną) pozytywnie, czy negatywnie. Przykładowo, jeśli teza głosi, że kruchość mięsa wołowego poprawia się wraz z czasem dojrzewania, to zmienną niezależną jest tutaj czas dojrzewania mięsa wołowego, a zmienną zależną — kruchość mięsa wołowego. Typ monotoniczności jest dodatni. Konflikt typów monotoniczności powstanie wówczas, gdy w innej publikacji naukowej zostaną opisane badania, w których dowodzić się będzie, że czas dojrzewania mięsa wołowego ma negatywny wpływ na jego kruchość.



Rysunek 6. Schemat konfliktu typów zależności w prawach monotonicznych

Rysunek 6 przedstawia schemat wnioskowania odpowiedzialnego za wykrywanie konfliktów monotonicznych. Prawa t1 i t2 dotyczą tych samych wielkości, reprezentowanych na rysunku za pomocą symboli P1 i P2. Oba prawa są typu monotonicznego i mają tę samą treść, a różni je jedynie typ monotoniczności.

ZAKOŃCZENIE

W artykule przedstawiliśmy autorski sposób reprezentowania wyników badań — zaczerpniętych z publikacji naukowych — w systemie informatycznym opartym na ontologii. W celu zrealizowania naszego projektu zapoznaliśmy się z istniejącymi sposobami reprezentacji twierdzeń naukowych w systemach informatycznych. Reprezentatywne przykłady zostały wskazane w rozdziale 1. Następnie, korzystając z prac metodologicznych Ajdukiewicza i Krajewskiego, opracowaliśmy taksonomię praw naukowych oraz formalny sposób ich zapisu w ontologii (rozdziały 2 i 3). W rozdziale 4 zostały przedstawione sposoby poszukiwania nowej wiedzy na podstawie dotychczas reprezentowanych twierdzeń. Przedstawiliśmy również metody wyszukiwania niespójności wśród praw. W naszym przekonaniu sposoby te mogą być punktem wyjścia do projektowania nowych badań naukowych.

W ramach testu zapisano w ontologii prawa naukowe zaczerpnięte z kilkudziesięciu artykułów. Sprawdzenie potwierdziło poprawność schematu pojęciowego i prawidłowe działanie mechanizmów wnioskujących. Obecnie trwają prace nad opracowaniem znacznie większej liczby artykułów dotyczących dziedziny projektu ProOptiBeef, których tezy będą formalizowane według omówionych zasad. Prace prowadzone są dwuetapowo. Po zapoznaniu się z główną ideą zaproponowanego formalizmu eksperci przedstawiają wyciągnięte ze streszczeń artykułów prawa naukowe w języku naturalnym, z zaznaczeniem elementów istotnych dla reprezentacji, takich jak obiekty, procesy i własności występujące w tych prawach. Drugim etapem jest ich zapis w ontologii. Projekt przewiduje opracowanie w ten sposób ponad pięciuset artykułów, co pozwoli na uzyskanie kilku tysięcy praw. Dzięki temu przedstawiony w pracy schemat pojęciowy nabierze treści i rozstrzygnie się jego praktyczna użyteczność.

BIBLIOGRAFIA

- Ajdukiewicz K. (1974), *Logika pragmatyczna*, Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Chriki S., Picard B., Faulconnier Y., Micol D., Brun J. P., Reichstadt M., Jurie C., Durand D., Renand G., Journaux L., Hocquette J. F. (2013), *A Data Warehouse of Muscle Characteristics and Beef Quality in France and a Demonstration of Potential Applications*, „Italian Journal of Animal Science” 12(2), 247-256.
- Clark T., Ciccarese P. N., Goble C. A. (2014), *Micropublications. A Semantic Model for Claims, Evidence, Arguments and Annotations in Biomedical Communications*, „Journal of Biomedical Semantics” 5(1), 28.

- Clark T., Kinoshita J. (2007), *Alzforum and SWAN. The Present and Future of Scientific Web Communities*, „Briefings in Bioinformatics” 8(3), 163-171.
- Diamantopoulos N., Sgouropoulou C., Kastrantas K., Manouselis N. (2011), *Developing a Metadata Application Profile for Sharing Agricultural Scientific and Scholarly Research Resources* [w:] *Metadata and Semantic Research* (5th International Conference, MTSR 2011, Izmir, Turkey, October 12-14, 2011. Proceedings), E. García-Barriocanal, Z. Cebeci, M. Okur, A. Öztürk (red.), Berlin: Springer, 453-466.
- Garbacz P., Lechniak M., Kulicki P., Trypuz R. (2009), *Do You Still Want to Vote for Your Favorite Politician? Ask Ontobella!* [w:] *Proceedings of the 2009 Conference on Formal Ontologies Meet Industry*, R. Ferrario, A. Oltramari (red.), Amsterdam: IOS Press, 102-113.
- Garbacz P., Trypuz R. (2012), *Ontologie poza ontologią. Studium meta-teoretyczne u podstaw informatyki*, Lublin: Wydawnictwo KUL.
- Goczyla K. (2011), *Ontologie w systemach informatycznych*, Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT.
- Groth P., Gibson A., Velterop J. (2010), *The Anatomy of a Nanopublication*, „Information Services and Use” 30(1-2), 51-56.
- Hey T., Tansley S., Tolle K. (red.) (2009), *The Fourth Paradigm. Data-Intensive Scientific Discovery*, Redmond, WA: Microsoft Research.
- Hocquette J., Capel C., David V., Guemene D., Bidanel J., Ponsart C., Gastinel P., Le Bail P., Monget P., Mormede P., Barbezant M., Guillou F., Peyraud J. (2012), *Objectives and Applications of Phenotyping Network Setup for Livestock*, „Animal Science Journal” 83(7), 517-528.
- Krajewski W. (1982), *Prawa nauki. Przegląd zagadnień metodologicznych i filozoficznych*, Warszawa: Książka i Wiedza.
- Kulicki P., Trypuz R., Trójczak R., Wierzbicki J., Woźniak A. (2013), *Ontology-Based Representation of Scientific Laws on Beef Production and Consumption* [w:] *Metadata and Semantics Research* (7th Research Conference, MTSR 2013, Thessaloniki, Greece, November 19-22, 2013. Proceedings), E. Garoufallou, J. Greenberg (red.), Berlin: Springer, 430-439.
- Kulicki P., Trypuz R., Trójczak R., Wierzbicki J., Woźniak A. (2014), *Semantic Representation of Proved and Disproved Statements Extracted from Scientific Papers. Meat Science Case Study*, „Information Processing in Agriculture” 1(1), 66-72.
- Kulicki P., Trypuz R., Wierzbicki J. (2012), *Towards Beef Production and Consumption Ontology and Its Application* [w:] *Federated Conference on Computer Science and Information Systems*, M. Ganzha, L. Maciaszek, M. Paprzycki (red.), Warszawa: Polskie Towarzystwo Informatyczne, 483-488.
- Maliappis M. T. (2009), *Applying an Agricultural Ontology to Web-Based Applications*, „International Journal of Metadata, Semantics and Ontologies” 4(1-2), 133-140.
- Masolo C., Borgo S., Gangemini A., Guarino N., Oltramari A. (2003), *The WonderWeb Library of Foundational Ontologies and the DOLCE Ontology*, WonderWeb Deliverable D18, Final Report. Raport techniczny 1.0, Laboratory for Applied Ontology — ISTC-CNR.
- Rogers E. M. (1974), *Fizyka dla dociekliwych. Część I, Materia, ruch i siła*, Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Selventa Inc. (2011), *Biological Expression Language V1.0 Overview*, <http://www.openbel.org/>.
- Smith B., Ashburner M., Rosse C., Bard J., Bug W., Ceusters W., Goldberg L., Eilbeck K., Ireland A., Mungall C., Leontis N., Rocca-Serra P., Ruttenberg A., Sansone S.-A., Scheuermann R., Shah N., Whetzel P., Lewis S. (2007), *The OBO Foundry. Coordinated Evolution of Ontologies to Support Biomedical Data Integration*, „Nature Biotechnology” 25(11), 1251-1255.

- Trójczak R., Trypuz R., Grądzki P., Wierzbicki J., Woźniak A. (2013), *Evaluation of Beef Production and Consumption Ontology and Presentation of Its Actual and Potential Applications* [w:] *Federated Conference on Computer Science and Information Systems*, M. Ganzha, L. Maciaszek, M. Paprzycki (red.), Warszawa: Polskie Towarzystwo Informatyczne, 275-278.
- Wood D., Lanthaler M., Cyganiak R. (2014), *RDF 1.1 Concepts and Abstract Syntax*, <http://www.w3.org/TR/rdf11-concepts/>.