

Knowledge Engineering in Food Computing

Weronika T. Adrian, PhD @ KIS Seminar, 30th March 2022



Agenda

- Context and Motivation
- TAISTI Project - goals, structure, research team
- Knowledge engineering in food domain
- Recent results
- Summary and outlook



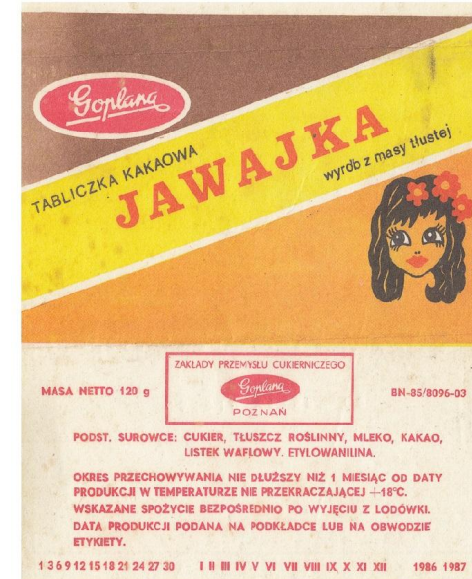
Context and motivation



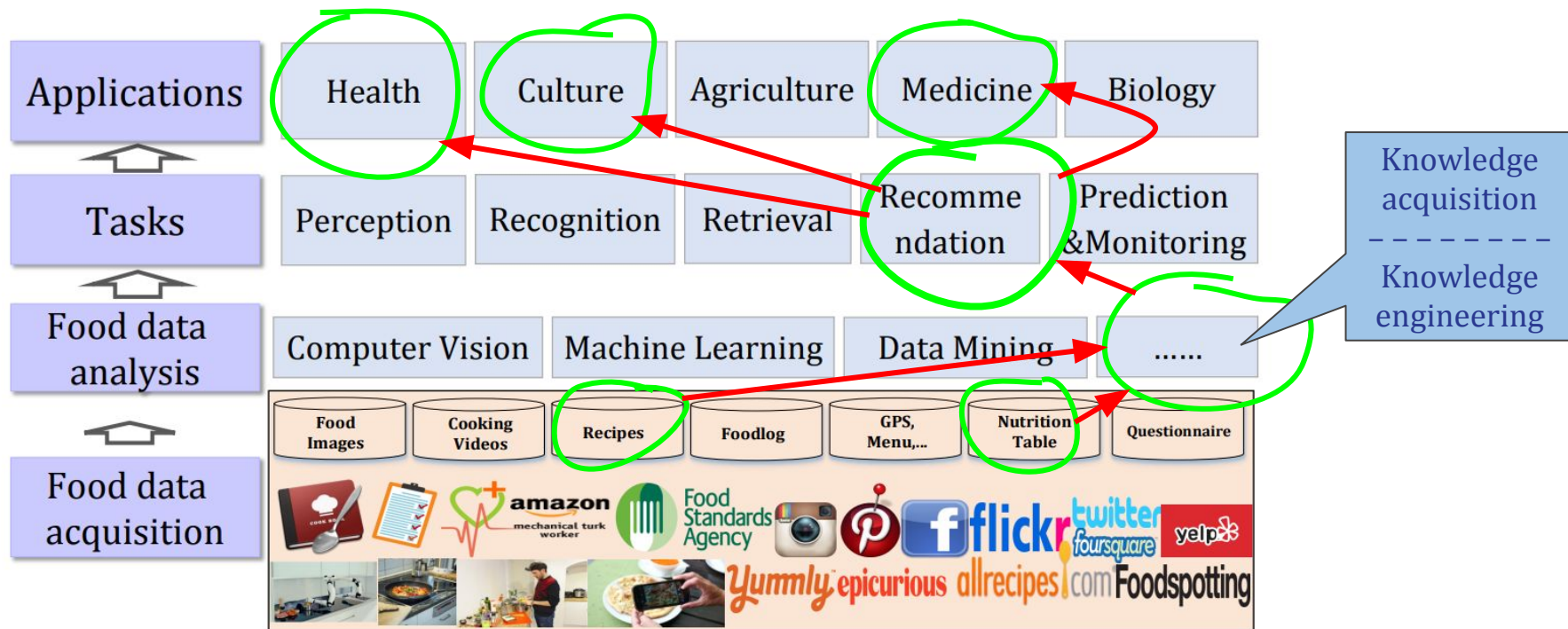
Substitute:
ingredient(s) change,
same technological
process, final
product similar to
the original one



Analogue (imitation): ingredient(s) change,
technological process may differ, the final product
imitates the original one in terms of color, taste etc.



Food computing domain



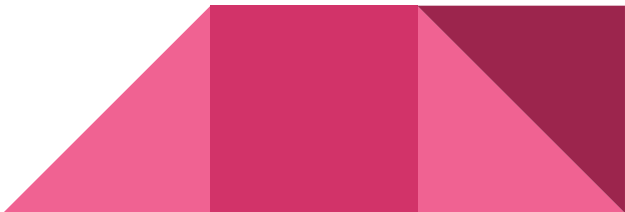


TAISTI Project - goals, structure, research team



What ingredient to substitute?

TAISTI in a nutshell (<http://taisti.eu>)

- Title: Development of a **T**echnology based on **A**rtificial **I**ntelligence for inferring **S**ubs**T**itutable recipe **I**ngredients
 - EEA and Norway grants - Financial contribution of Iceland, Liechtenstein and Norway
 - Programme „Applied Research”
 - Managed by the National Centre for Research and Development
 - Small grant scheme: 2 year project (1 July 2021 – 30 June 2023)
 - 856 994 PLN in funding
- 

Objectives



Objective 1: Integrated knowledge and data resources on culinary recipes and their ingredients to fuel artificial intelligence algorithms



Objective 2: Developed data-driven (machine learning-based) methods to recommend candidate ingredient substitutes and predict their characteristics

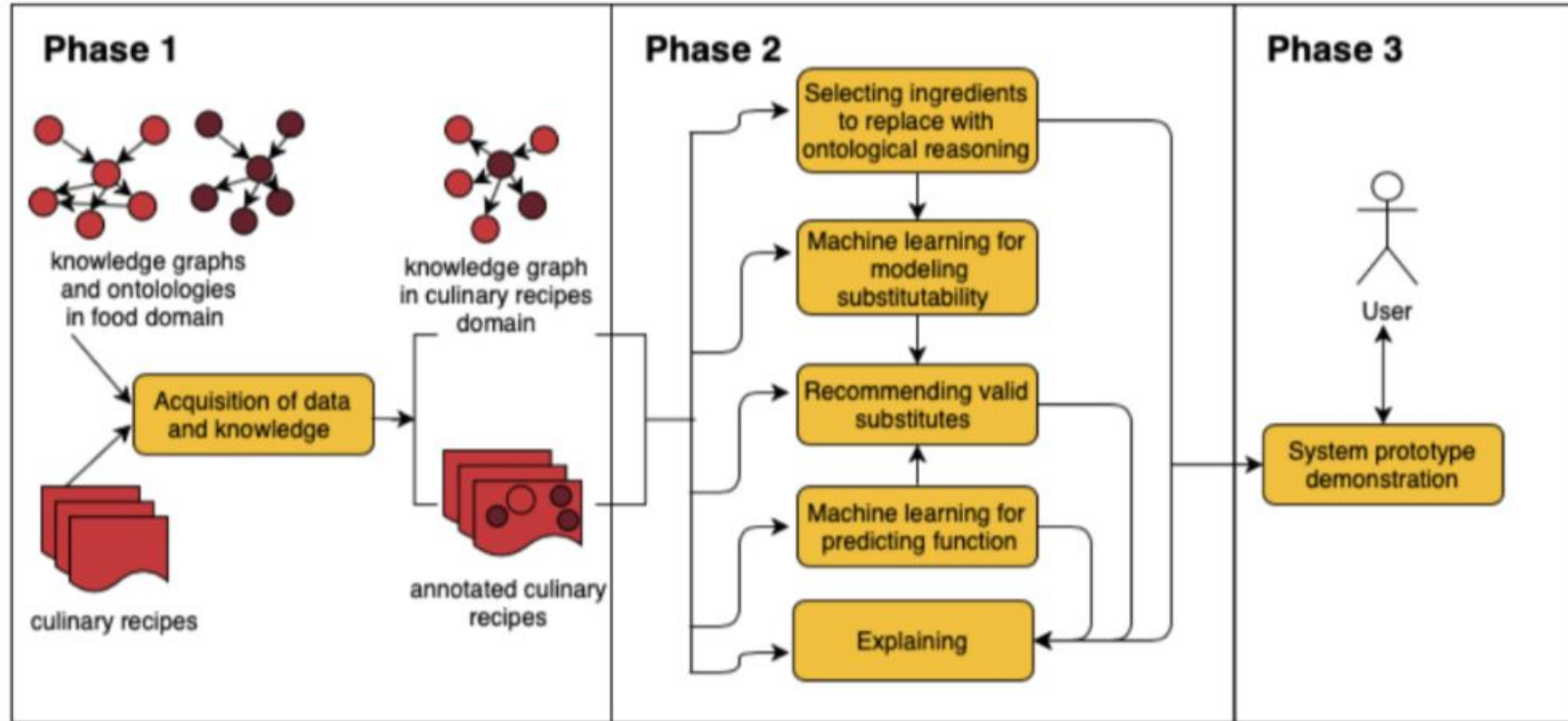


Objective 3: Developed knowledge-driven (logic reasoning-based) methods to select and explain target ingredients and their valid substitutes

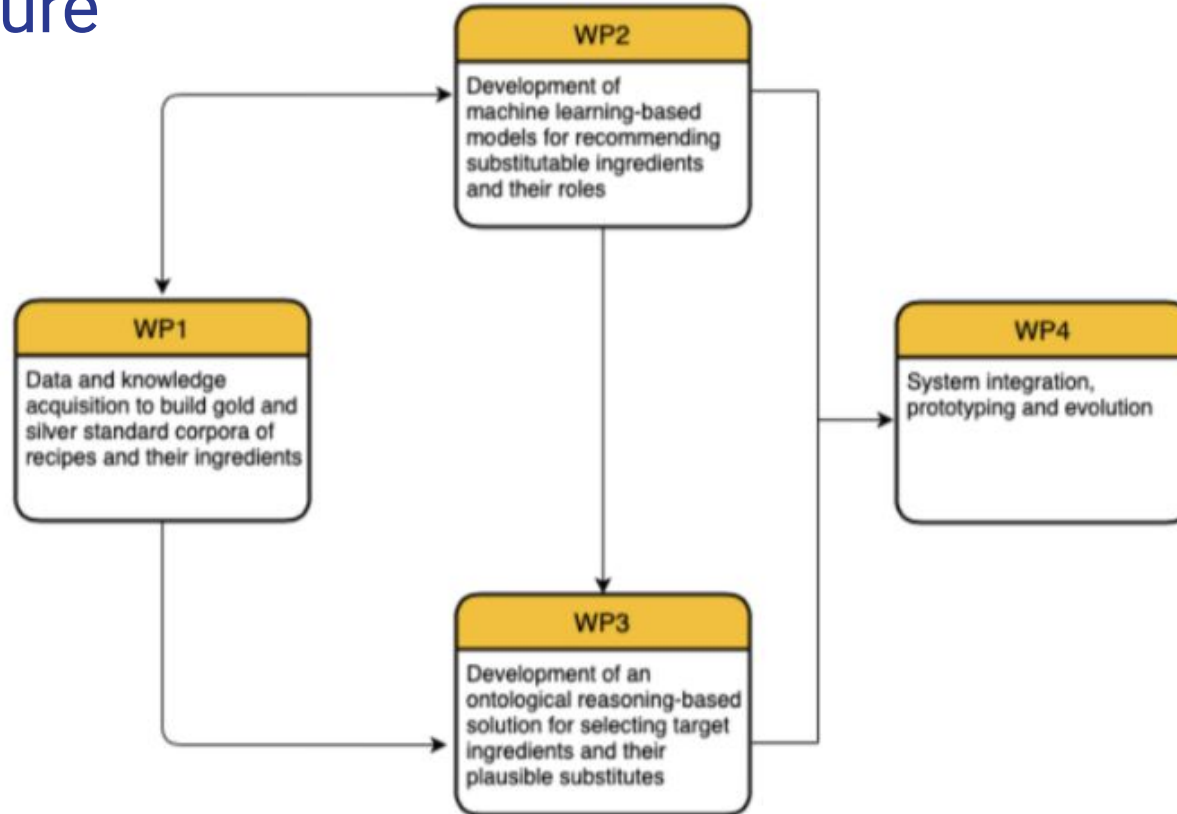


Objective 4: A proof-of-concept system for recommending ingredient substitutes to integrate and demonstrate the developed technologies

Phases



WP structure



WP1- (M1-M9)

Tasks:

- Task 1.1. Building a domain knowledge graph in culinary recipes domain
- Task 1.2 To prepare training datasets by annotating entities in a recipe corpus with concepts from a knowledge graph
- Task 1.3. Train joint embeddings of a knowledge graph and recipe structured texts

Deliverables:

- Deliverable 1.1. Knowledge graph that integrates information on culinary recipes from available domain ontologies and knowledge graphs
- Deliverable 1.2. Methods and software for annotating a corpus of recipes with entities from the knowledge graph
- Deliverable 1.3. A novel knowledge-aware language representation model with knowledge graphs

WP2- (M7-M12)

Tasks:

- Task 2.1 Define a novel measure for assessing the substitutability of ingredients
- Task 2.2. Development of a deep learning-based model for identifying substitutable ingredients
- Task 2.3 Development of a deep learning-based model for predicting chosen roles of an ingredient given the recipe

Deliverables:

- Deliverable D2.1 A novel measure of substitutability
- Deliverable D2.1 Novel architecture of a deep neural network for identifying substitutable ingredients having ingredient constraints and roles

WP3- (M13-M18)

Tasks:

- Task 3.1. Development of a method for selecting candidate substitutes to be replaced based on constraints and their roles in a given context
- Task 3.2 Development of a method for pruning candidate substitutes from the predicted ranking
- Task 3.3. Development of a method to generate explanations of ingredients to substitute and to replace with

Deliverables:

- Deliverable 3.1. Methods for pruning and selecting ingredients
- Deliverable 3.2. A method for generating explanations of ingredients to be replaced and their substitutes

WP4- (M19-M24)

Tasks:

- Task 4.1 Integrate developed methods and components into a proof-of-concept expert system
- Task 4.2 Develop a suite of unit tests for validating the proposed methods and components
- Task 4.3 Develop a suite of integration tests for validating the proof-of-concept system

Deliverables:

- D4.1 A prototype expert system implementing the proposed technology.
- D4.2 A suite of unit tests for the proposed solution
- D4.3 A suite of integration tests

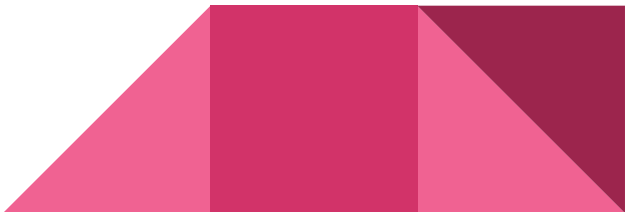
Multidisciplinary research team

- Leader, PI: **Agnieszka Ławrynowicz** (Computer Science, Poznań)
 - Jędrzej Potoniec (Computer Science - **Ontologies, KKR**, Poznań)
 - Dawid Wiśniewski (Computer Science - **IE, entity linking**, Poznań)
 - Agnieszka Kalicka (**Linguistics**, Poznań)
 - Anna Gramza-Michałowska (**Food technology**, Poznań)
 - Bartosz Kulczyński (**Dietetics**, Poznań)
 - Anna Wróblewska (Computer Science - **recommenders, ML**, Warszawa)
 - Weronika T. Adrian (Computer Science - **logic-based AI, KE**, Kraków)
 - Phd Students, Master Students
- 

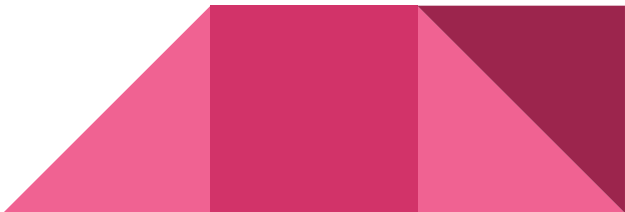


Knowledge engineering in food domain

Main research and development problems

- **Knowledge curation**
 - *Manual annotation (linguistics)*
 - *Entity linking (information extraction, linking instances to existing categories and objects)*
 - **Knowledge acquisition, integration and modeling**
 - **Existing sources: recipes, nutritional tables, ontologies**
 - **Domain experts (translating unstructured informal knowledge into knowledge structured and formal)**
 - *Machine learning-based recommendations*
 - **Rule-based verification and explanation**
 - **Modeling the domain with ontologies and rules**
 - **Hard and weak constraints and automated reasoning**
- 

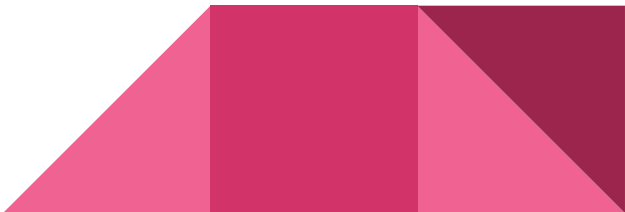
1: Recipe datasets

- Semi-structured data sources
 - Text, images
 - Ingredients sets: food items + quantity (units)
 - Instructions sets (technological process)
 - Nutritional data
 - Data acquisition
 - APIs
 - Crawling, web-scrapping
 - Database dumps
 - Annotation
 - Entity linking
- 

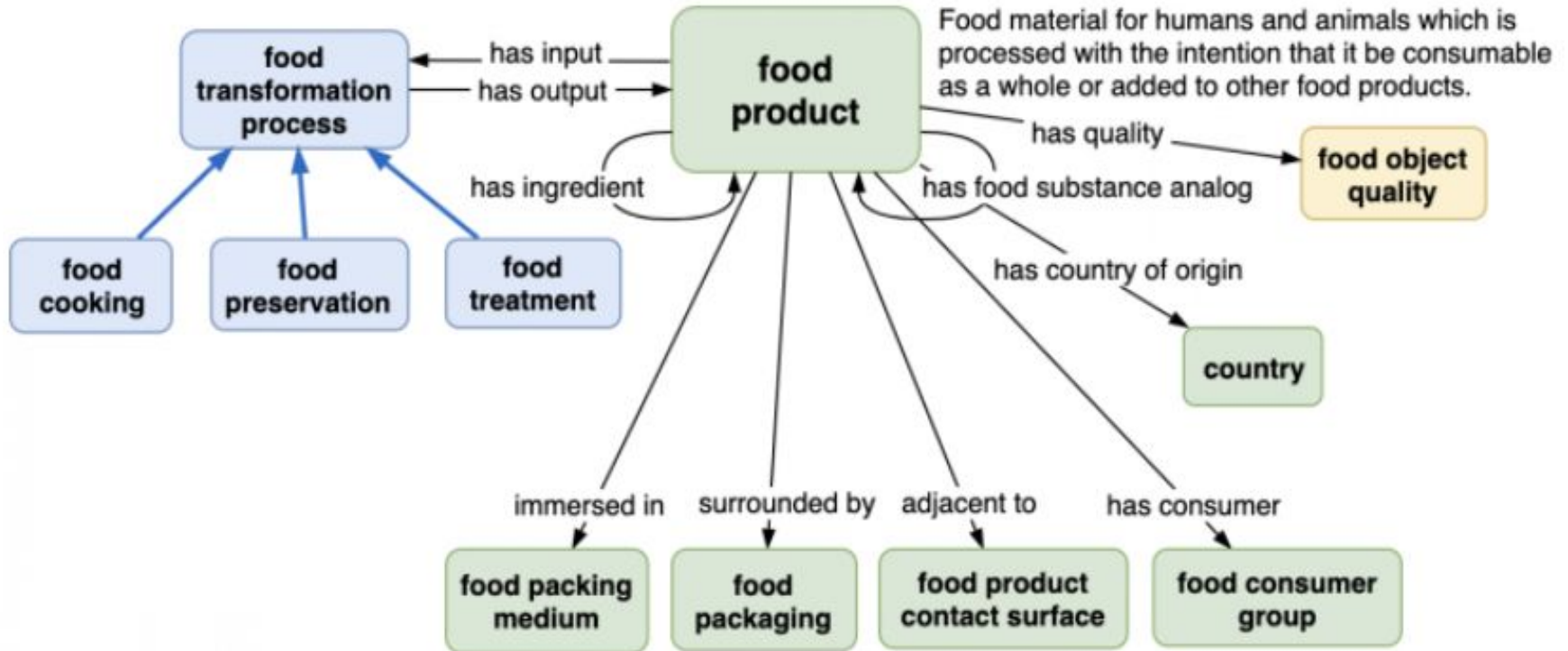
2: Food-related ontologies and knowledge graphs

- FoodOn - “A farm to fork ontology”
- Ontology for Nutritional Studies, Ontology of Nutritional Epidemiology
- Smart Products Ontology
- FoodKG - knowledge graphs with recipes
- Tables of nutritional data

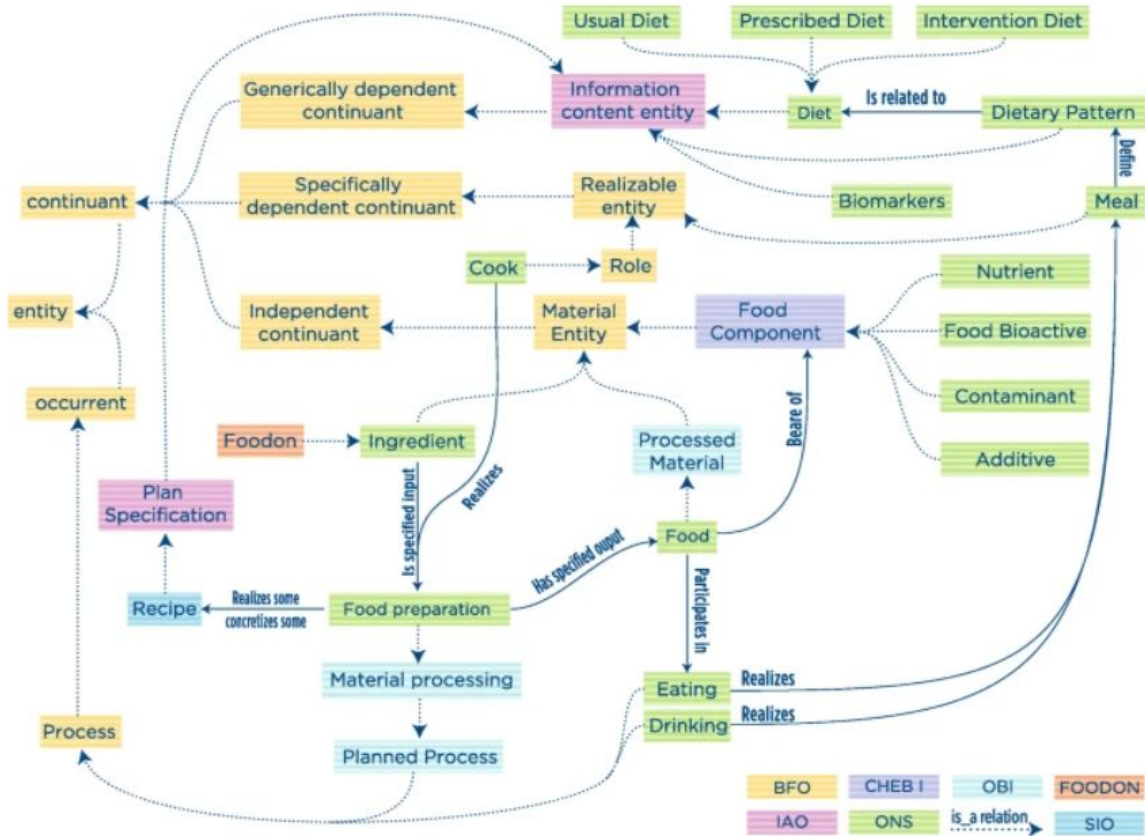
EVERYTHING IS (OR SHOULD BE) CONNECTED...



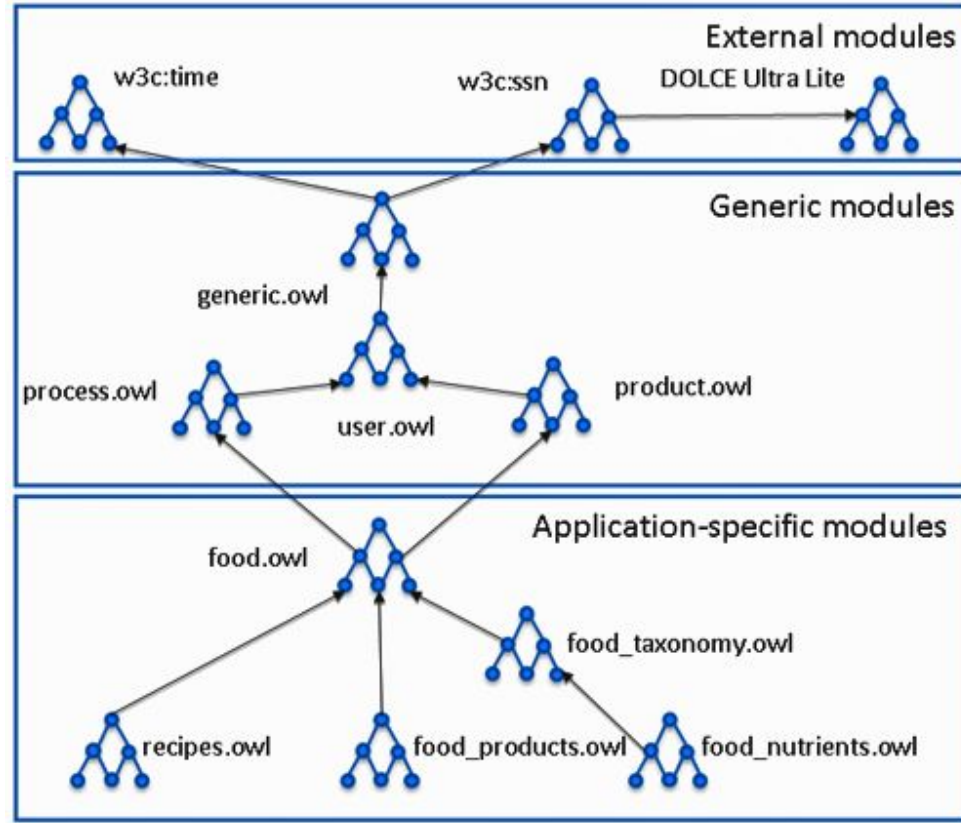
Ontological modeling



Ontology for Nutritional Studies



Smart Products Ontology



FoodOn - multiple classes and relationships on food

FoodOn

FoodOn:

FACETS ▾ DESIGN ▾ REUSE ▾ ABOUT US CONTACT NEWS RESOURCES ▾

- Organism
- Part of organism
- Harvest state
- Plant maturity
- Food color
- Food production
- Food locality
- Food process
- Food physical quality
- Extent of heat treatment
- Food contact material

ork ontology

FACETS ▾ DESIGN ▾ REUSE ▾ ABOUT US CONTACT NEWS RESOURCES ▾

3: Domain experts' knowledge

- How domain experts talk:
 - “It’s not that easy...”
 - **“It depends...”**
 - “It works for baking, but not for frying...”
 - “Everything could be substituted, the possibilities are endless...”
 - “Why would one want to substitute it?”
- How to acquire and structure this knowledge?



[Scenariusz #1 - zamiana wynikająca z braku produktu; zamiennik musi odwzorowywać wartość odżywczą, tj. być również dobrym źródłem błonnika]

Persona X zdecydowała się na przygotowanie risotto. Jednak, gdy przyszło do sporządzenia potrawy okazało się, że zabrakło jej ryżu brązowego. W przepisie, który wykorzystywała nie było podanej informacji na temat składnika/składników, którymi można zastąpić ryż. Co więcej Persona X postanowiła odżywiać się zdrowo i zastanawia się, który możliwy zamiennik ryżu spełniałby jej oczekiwania, tj. nadawałby się nie tylko z technologicznego punktu widzenia, ale przede wszystkim byłby dobrym źródłem błonnika pokarmowego.

[Scenariusz #2 - zamiana wynikająca z konieczności wykluczenia konkretnego produktu z powodu zdrowotnego; zamiennik musi spełniać wymagania zdrowotne]

Persona Y postanowiła przyrządzić na imprezę urodzinową deser mleczny z owocami. Jednak okazało się, że jeden z gości ma zdiagnozowaną alergię na białko mleka krowiego i orzechy. Aby całkowicie nie rezygnować z pomysłu przygotowania słodkiej przekąski, Persona Y postanowiła wymienić mleko na inny składnik. Niestety nie ma ona pomysłu, który produkt sprawdziłby się w tym przypadku jako dobry zamiennik mleka. Mąż podsunął jej pomysł, że może to być napój migdałowy. Jednak nie jest przekonana, czy będzie on odpowiednim zamiennikiem, gdyż wspomniany gość ma zdiagnozowaną alergię na orzechy.

[Scenariusz #3 - zamiana wynikająca z konieczności wykluczenia konkretnego produktu z powodu zdrowotnego; zamiennik musi spełniać wymagania technologiczne, tj. musi nadawać taką samą słodkość potrawie, jak cukier]

Persona Z jest w trakcie przygotowania nieczonych ciasteczek na spotkanie rodzinne. Dowiedziała się jednak

Domain experts' sources...

Gluten w spożywczych zastosowaniach pozapiekarskich

Typ produktu	Zawartość glutenu %	Typ produktu	Zawartość glutenu %
Analogi owoców morza	1.3	Restrukturyzowane steki wołowe	3.6
Analogi mięsa krabiego	2.1	Frankfurterki	8
Analogi kawioru	1-30	Przekąski wysokobiałkowe	1-50
Analogi kielbasek	8-17	Pasty wysokobiałkowe	1.6
Analogi pulpetów i hamburgerów	10.6	Tortille	1-4
Imitacje serów	5.8-14.2	Ekstrudowane produkty błonnikowe z glutenem	20-23

(30): Podano w przeliczeniu na gini.

▼ M2

12.1.2

Substytuty soli

Grupa I	Dodatki			
E 338–452	Kwas fosforowy – fosforany – di-, tri- i polifosforany	10 000	(1) (4)	

▼ M2

Numer kategorii	Numer E	Nazwa	Maksymalny poziom (odpowiednio mg/l lub mg/kg)	Przypisy	Ograniczenia/wyjątki
-----------------	---------	-------	--	----------	----------------------

▼ M7

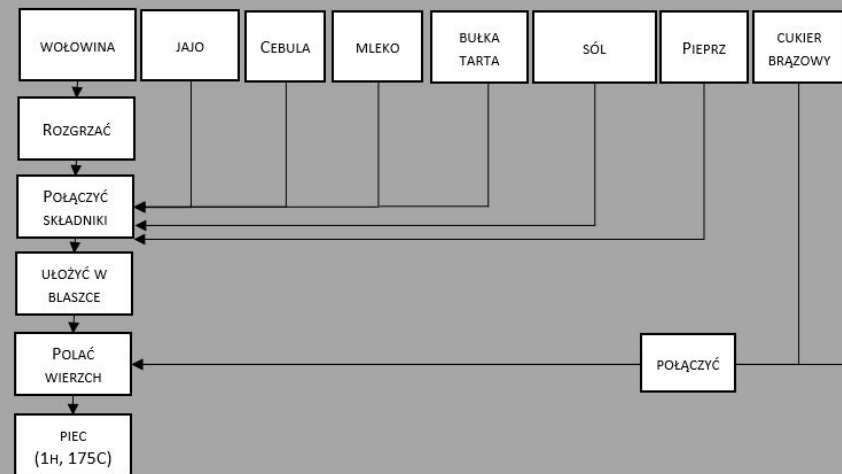
E 535–538	Żelazocyjanki	20	(1) (57)	
E 551–559	Dwutlenek krzemu – krzemiany	20 000		Okres stosowania: do dnia 31 stycznia 2014 r.
E 551–553	Dwutlenek krzemu – krzemiany	20 000		Okres stosowania: od dnia 1 lutego 2014 r.

▼ M2

E 620–625	Kwas glutaminowy – glutaminiany	<i>quantum satis</i>		
E 626–635	Rybonukleotydy	<i>quantum satis</i>		
	(1): Dodatki mogą być dodawane pojedynczo lub łącznie.			
	(4): Maksymalny poziom podano w przeliczeniu na P ₂ O ₅ .			
	(57): Maksymalny poziom podano w przeliczeniu na bezwodny żelazocyjanek potasu.			

Domain experts' analyses...

B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
https://www.allrecipes.com/recipe/16354/easy-meatloaf/												
Easy Meatloaf / mielony - pieczeń rzymska												
1 ½ pounds ground beef	mielona wołowina											
1 egg	jajo											
1 onion, chopped	cebula											
1 cup milk	mleko											
1 cup dried bread crumbs	bułka tarta / krakersy											
salt and pepper to taste	sól i pieprz											
2 tablespoons brown sugar	brązowy cukier											
2 tablespoons prepared mustard	musztarda											
½ cup ketchup	keczup											
Step 1												
Preheat oven to 350 degrees F (175 degrees C).												
Step 2												
In a large bowl, combine the beef, egg, onion, milk and bread OR cracker crumbs. Season with salt and pepper to taste and place in a lightly greased 9x5-inch loaf pan, or form into a loaf and place in a lightly greased 9x13-inch baking dish.												
Step 3												
In a separate small bowl, combine the brown sugar, mustard												
Pieczeń rzymska mielony SCHEMAT												



Domain experts' analyses...

SKŁADNIKI PODSTAWOWE	ZAMIEŃ NA:	WARUNEK 1:	WARUNEK 2:	WARUNEK 3 [STOSUNEK ZAMIANY]:	
wołowina mielona	wieprzowina	na zimno: TAK	pieczenie: TAK	1:1	
	kurczak	na zimno: TAK	pieczenie: TAK	1:1	
	indyk	na zimno: TAK	pieczenie: TAK	1:1	
	łosoś biały	na zimno: TAK	pieczenie: TAK	1:1	
	tuńczyk	na zimno: TAK	pieczenie: TAK	1:1	
	ciecierzyca	ugotowana	pieczenie: TAK	1:1	
	soczewica	ugotowana	pieczenie: TAK	1:1	
	tempeh	na zimno: TAK	pieczenie: TAK	1:1	
	soja	ugotowana	pieczenie: TAK	1:1	
	sojowe kotlety	na zimno: TAK	pieczenie: TAK	1:1	
	fasola	ugotowana	pieczenie: TAK	1:1	
	grzyby	na zimno: TAK	pieczenie: TAK	1:1	
	Seitan (gluten pszenny)	na zimno: TAK	pieczenie: TAK	1:1	
jajo	białko z owadów	na zimno: TAK	pieczenie: TAK	1:1	
	bakłażan	na zimno: TAK	pieczenie: TAK	1:1	
	jajo w proszku	na zimno: TAK	pieczenie: TAK	1:1	
	len mielony	na zimno: TAK	pieczenie: TAK	1:1	plus woda 100%
	chia mielona	na zimno: TAK	pieczenie: TAK	10g:1szt	plus woda 100%
	agar agar	na zimno: TAK	pieczenie: TAK	5g:1 szt	plus woda 100%

Pieczeń rzymska mielony SCHEMAT

Pieczeń - ZAMIENNIKI

Wieprzowina- KARTA PRODUKTU

... (+) :: ◀

Domain experts' analyses...

Wieprzowina	zależy który element kulinarny							
ETYKIETY OGÓLNE:	LEKKOSTRAWNY NIE	BEZGLUTENOWY TAK	WEGETARIAŃSKI NIE	WEGAŃSKI NIE	BEZ LAKTOZY TAK			
ETYKIETY TECHNOLOGICZNE:	NA SUROWO NIE	DO GOTOWANIA TAK	DO SMAŻENIA TAK	DO PIECZENIA TAK				
ETYKIETY ODŻYWCZE:	ŹRÓDŁO: żelazo, białko MAŁO: witaminy KALORIE: 120							
MOŻLIWA ZAMIANA NA:	wieprzowina	kurczak	indyk	łosoś biały	tuńczyk	ciecierzyca	soczewica	tempeh
warunek 1 [stosunek zamiany]:	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	
warunek 2:	na zimno: TAK	na zimno: TAK	na zimno: TAK	na zimno: TAK	na zimno: TAK	ugotowana	ugotowana	na zimno
warunek 3:								
warunek 4:								
warunek 5:								
UWAGA DODATKOWA/KOMENTARZ:								



Knowledge engineering tasks

- Knowledge acquisition:
 - Work with domain experts to elicitate knowledge
 - Define and prepare templates to be filled by experts
- Knowledge modeling:
 - Formalized knowledge with rules, ontologies etc.
 - Integrate and reuse existing models
- Knowledge processing
 - Define knowledge based system that is able to transform the knowledge base (reason over it)



	A	B	C	D	E	F	G
	Title	Link	Ingredient	Vegetarian (ratio)	Vegetarian (food product)	Vegan (ratio)	Vegan (food product)
3	Yellow Bird	https://www.food.com/recipe/yellow-bird	4 ounces triple sec				
4	Yellow Bird	https://www.food.com/recipe/yellow-bird	3 ounces Tia Maria				
5	Yellow Bird	https://www.food.com/recipe/yellow-bird	20 ounces orange juice				
6	Cinnamon Roll French Toast	https://tasty.co/recipe/cinnamon-roll-french-toast	2 tubes cinnamon roll, refrigerated, with icing				
7	Cinnamon Roll French Toast	https://tasty.co/recipe/cinnamon-roll-french-toast	4 tablespoons butter, melted	1:1	margarine	1:1	margarine
8	Cinnamon Roll French Toast	https://tasty.co/recipe/cinnamon-roll-french-toast	6 eggs				
9	Cinnamon Roll French Toast	https://tasty.co/recipe/cinnamon-roll-french-toast	1 cup milk	1:1	oat drink	1:1	oat drink
10	Cinnamon Roll French Toast	https://tasty.co/recipe/cinnamon-roll-french-toast	2 teaspoons cinnamon				
11	Cinnamon Roll French Toast	https://tasty.co/recipe/cinnamon-roll-french-toast	2 teaspoons vanilla				
12	Cinnamon Roll French Toast	https://tasty.co/recipe/cinnamon-roll-french-toast	1 cup maple syrup				
13	Bahamian Sky Juice	https://www.food.com/recipe/bahamian-sky-juice	4 ripe coconuts				
14	Bahamian Sky Juice	https://www.food.com/recipe/bahamian-sky-juice	1 cup evaporated milk				
15	Bahamian Sky Juice	https://www.food.com/recipe/bahamian-sky-juice	1 cup gin				
16	Bahamian Sky Juice	https://www.food.com/recipe/bahamian-sky-juice	3 tablespoons sugar (optional)				
17	Bahamian Sky Juice	https://www.food.com/recipe/bahamian-sky-juice	1 teaspoon ground cinnamon				
18	Bahamian Sky Juice	https://www.food.com/recipe/bahamian-sky-juice	1 1/2, 2 teaspoon freshly grated nutmeg				
19	Patriot S'mores	https://www.food.com/recipe/patriot-s-mores	1 sheet graham cracker (broken in half)				
20	Patriot S'mores	https://www.food.com/recipe/patriot-s-mores	2 pieces milk chocolate candy bars	1:1	dark chocolate	1:1	dark chocolate

B Bartek K 5:41 PM Mar 28

jak ująć w tabeli, gdy jeden składnik jest zamieniany na dwa inne i np. potrzeba dodatkowego sposobu przygotowania?

1 cup water + 6 tablespoons soy milk powder

Weronika T. Ad...

Weronika T. Adrian

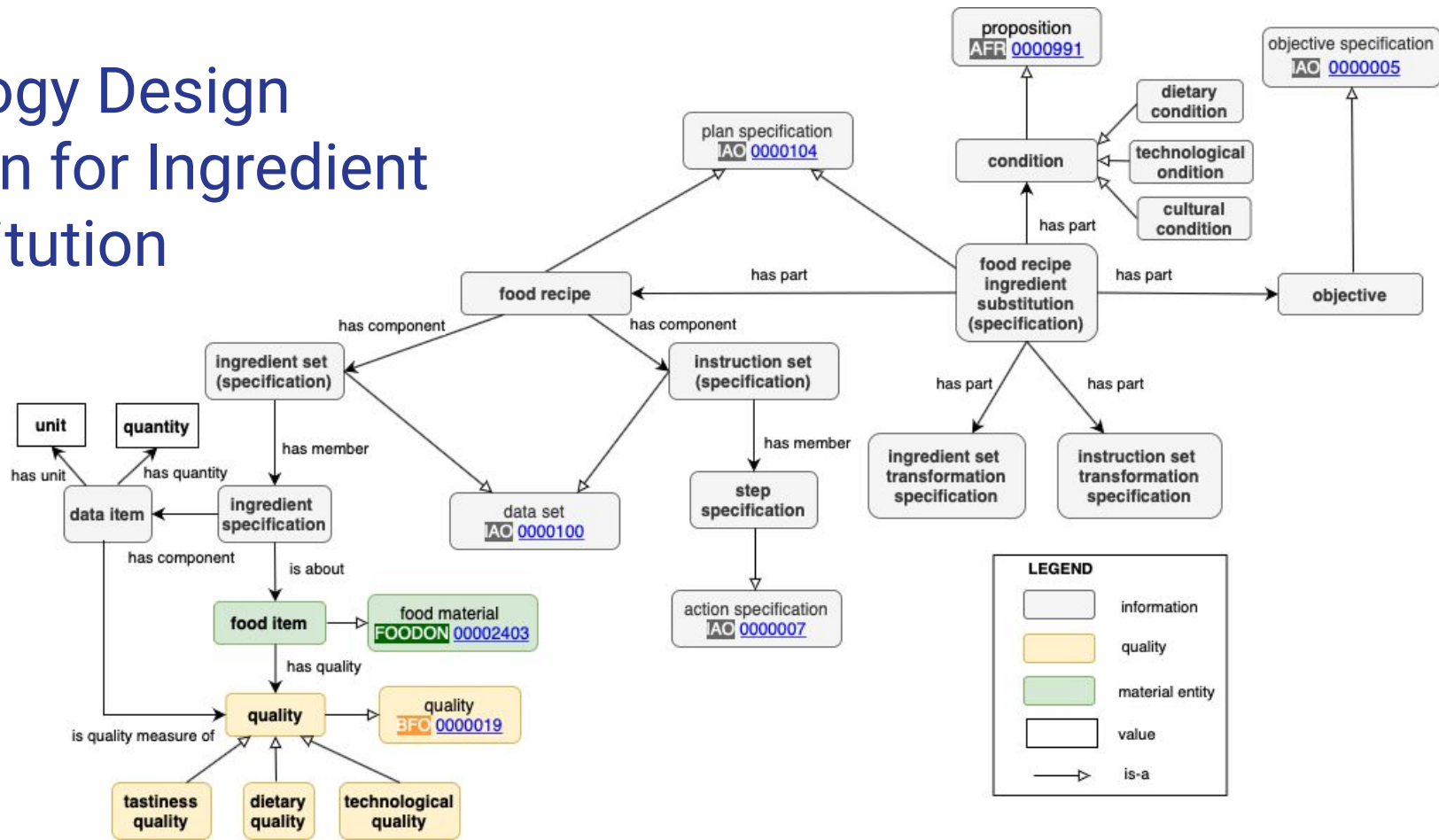
Agnieszka Lawrynowicz

Jędrzej

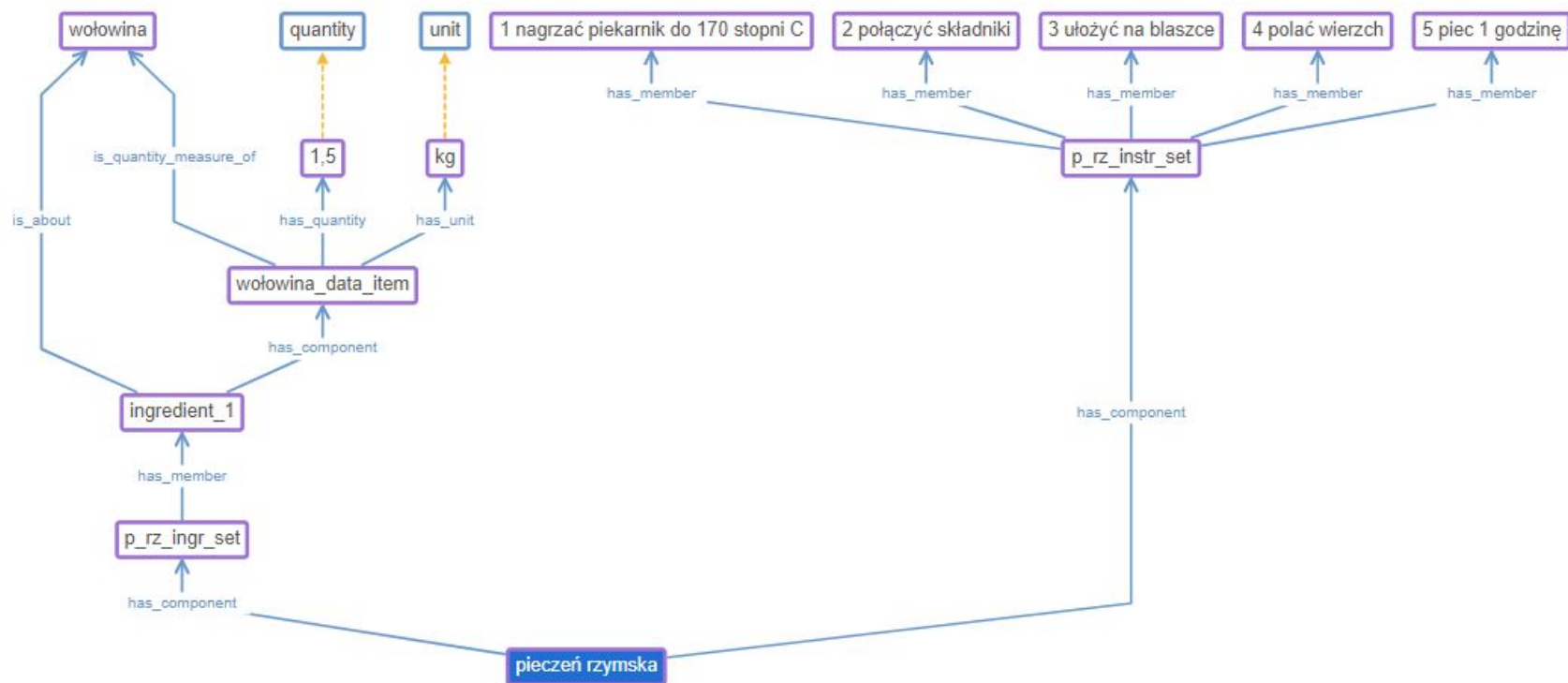
Agnieszka

Recent results

Ontology Design Pattern for Ingredient Substitution



Instantiation of the pattern in WebProtege



Instantiation of the pattern

KARTA PRODUKTU DLA CIECIERZYCY

Etykiety ogólne

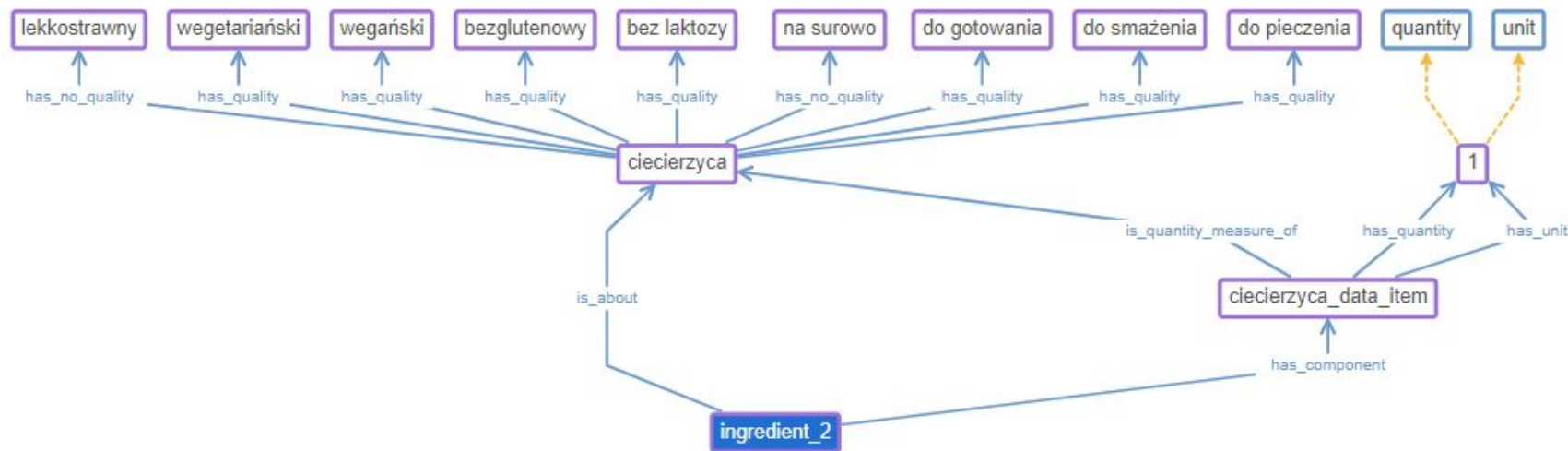
lekkostrawny	bezglutenowy	wegetariański	wegański	bez laktozy
NIE	TAK	TAK	TAK	TAK

Etykiety technologiczne

na surowo	do gotowania	do smażenia	do pieczenia	
NIE	TAK	TAK	TAK	

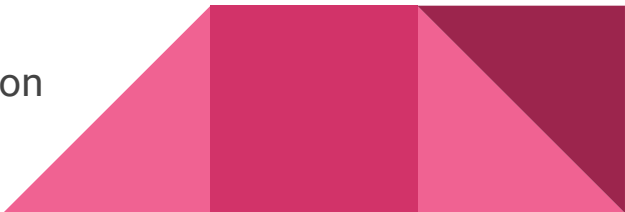
Etykiety odżywcze

źródło	mało	kalorie		
białko, węglowodany	witaminy	120		



Summary and outlook

Summary and outlook

- Interdisciplinary TAISTI project (<http://taisti.eu>)
 - Knowledge engineering problems in the project
 - Knowledge acquisition from domain experts (defining excel templates, etc.)
 - Knowledge integration reusing existing sources (defining a domain knowledge graph)
 - Knowledge representation and reasoning
 - Recent work and results
 - Systematic (scoping) survey on substitution modeling in computer science
 - Modeling substitution in formal languages (based on ontological pattern and in ASP)
 - Ontology Design Pattern for ingredient substitution
 - Future work
 - Defining the rule base for explainable ingredient substitution
 - System that will verify the ML-based recommendations
- 

Thank you for your attention!

Weronika T. Adrian, wta@agh.edu.pl

