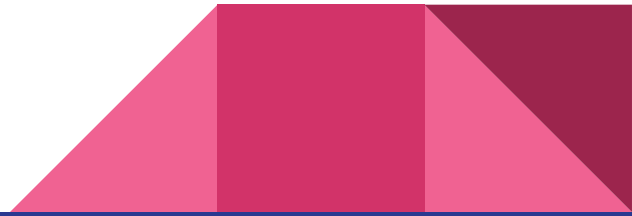
Development of a logic-based solution for selecting target ingredients and their plausible substitutes

Weronika T. Adrian, PhD, PAN Seminar, June, 2nd 2023

KRAKEN

Agenda

- Context and Motivation
- Knowledge engineering in food domain
- Knowledge-based model for reasoning about substitution with ontologies and rules
  - Identifying “wrong” ingredients in recipes
  - Reasoning about substitutes
- Summary and outlook



Context and motivation

taisti.eu

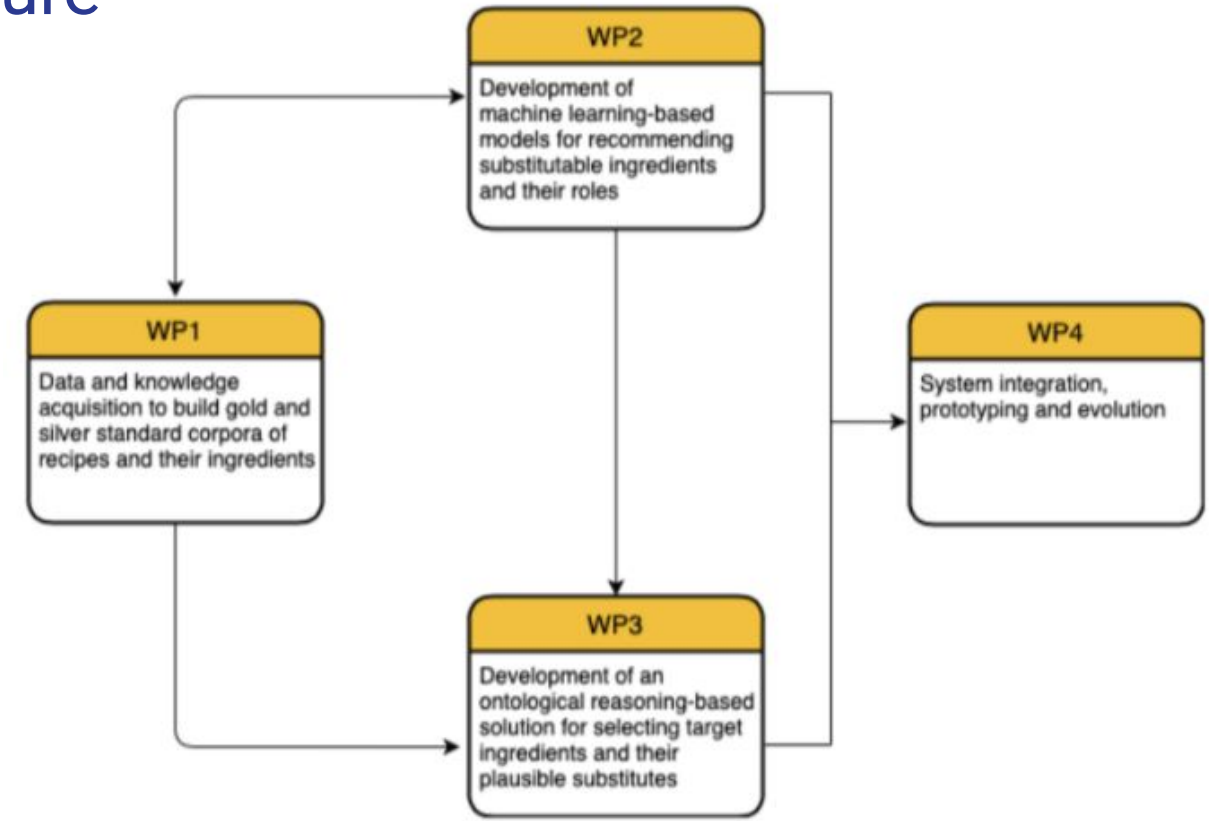
Dysk AGH | MS Calendar | core | ipynb | Repl.it | hosting | poczta.wta | ARD | Reviewing | DYL | poczta.agh | Icons | PDDL | Other bookm

The National Centre for Research and Development

Norway grants

Home | Workpackages | Publications & resources | News | Contact

WP structure



WP3 Research Objectives

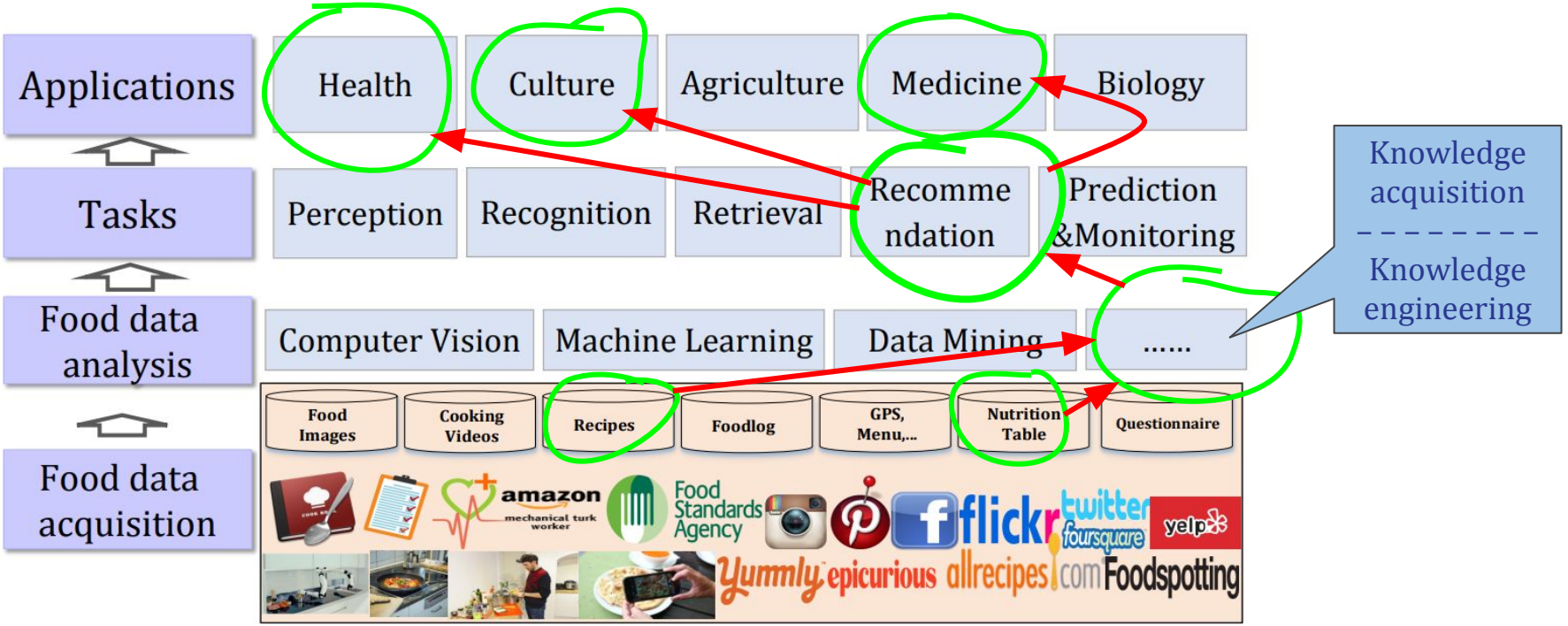
1. To propose a *logic-based method* for identifying ingredients in food recipes that do not meet the specified *constraints*

2. To propose a logic-based method for *pruning “wrong” substitutes* from a list of substitutes proposed by ML models

3. To be able to *explain* the results of reasoning

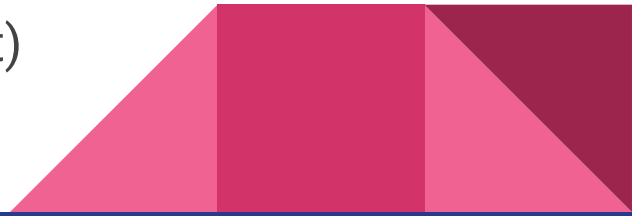
Knowledge engineering in food domain

Food computing domain



Knowledge engineering tasks

- Knowledge acquisition:
  - Work with domain experts to elicitate knowledge
  - Research available ontologies for what we need
- 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)



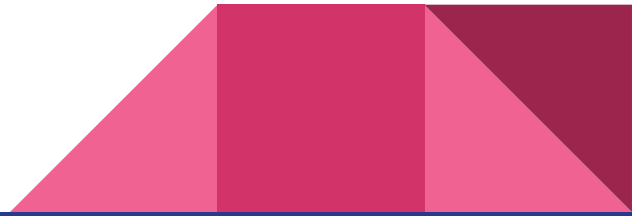
Knowledge-based model for reasoning about substitution with ontologies and rules

Research Objectives revisited

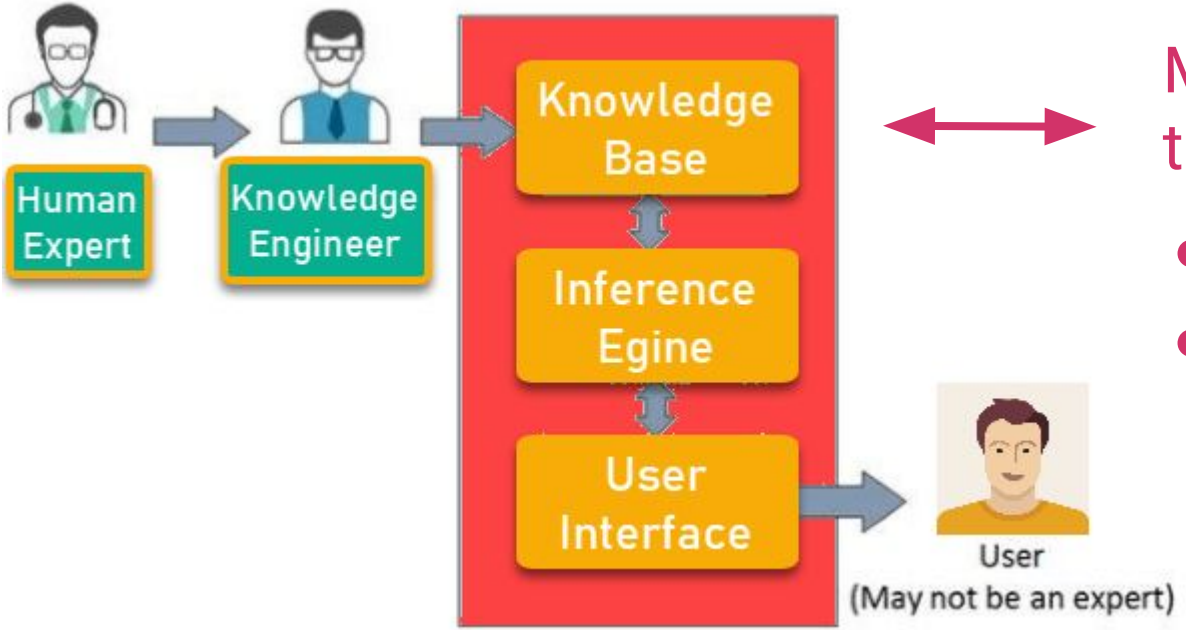
1. To propose a *logic-based method* for identifying ingredients in food recipes that do not meet the specified *constraints*
2. To propose a logic-based method for pruning “wrong” substitutes from a list of substitutes proposed by ML models

In fact, more questions arise from the above….

- What knowledge do we need?
- How to model constraints (and everything else)?
- How to reason about this knowledge?



Methodology: as for a knowledge-base system



Main operations on the knowledge base:

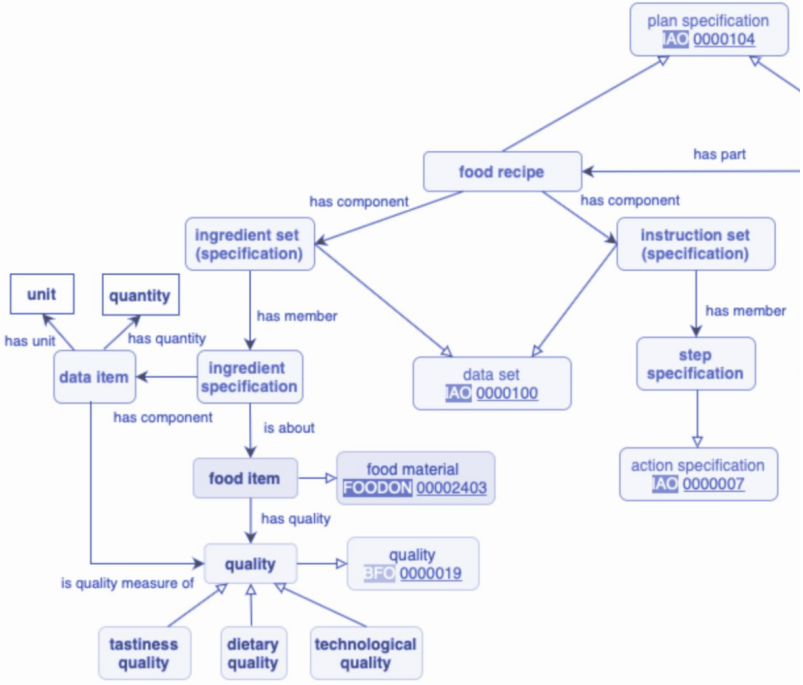
- TELL
- ASK

Image source: https://www.guru99.com/expert-systems-with-applications.html

TELL - what knowledge do we need to put in the KB?

1: Recipe datasets

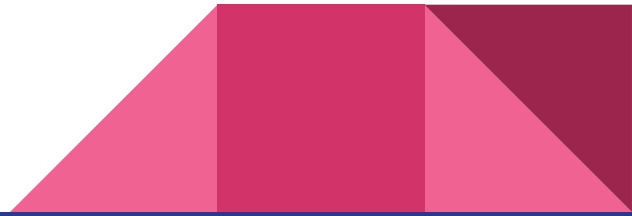
- Semi-structured data sources
  - Text, images
  - Ingredients sets:
    - food items + quantity (units)
  - Instructions sets (technological process)
  - Nutritional data
- Data acquisition
  - APIs
  - Crawling, web-scrapping
  - Database dumps
- Annotation
- Entity linking



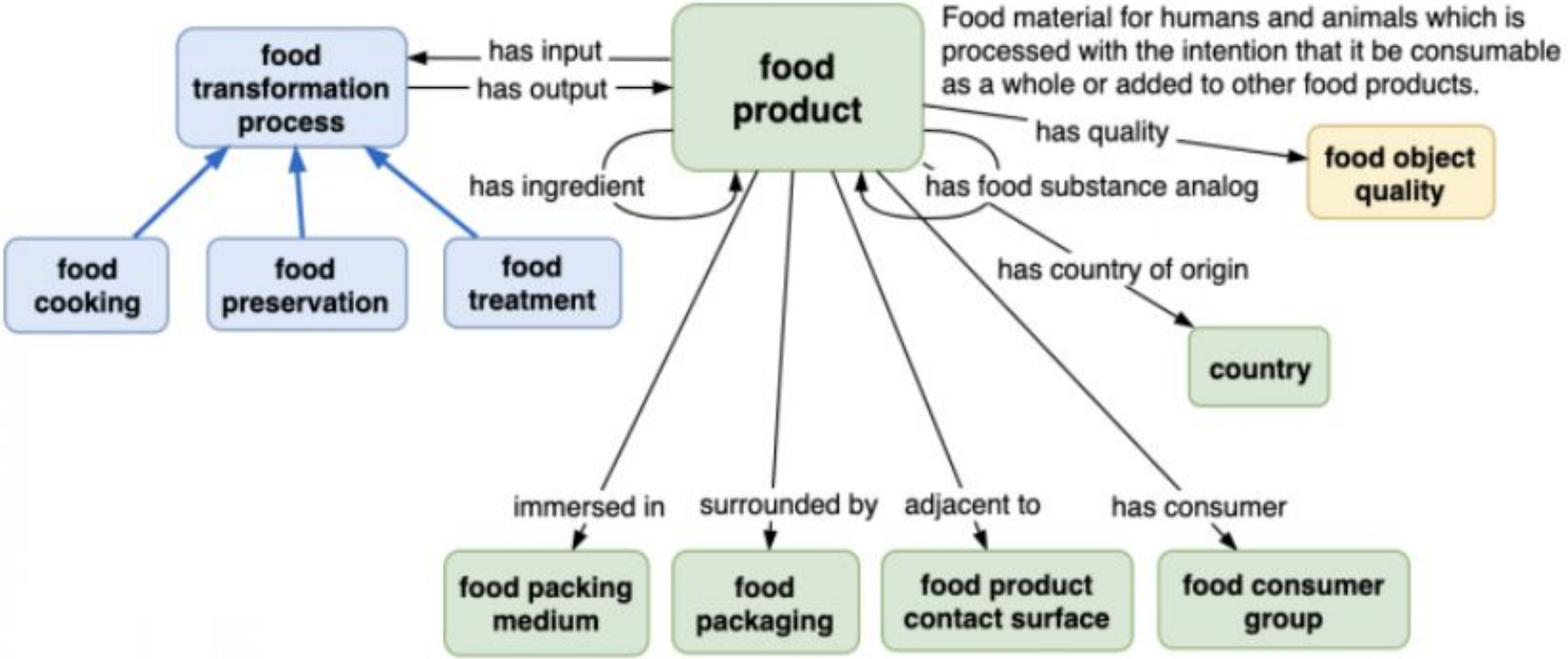
2. Food-related ontologies and knowledge graphs

- 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
- EU regulations on allergies vocabulary

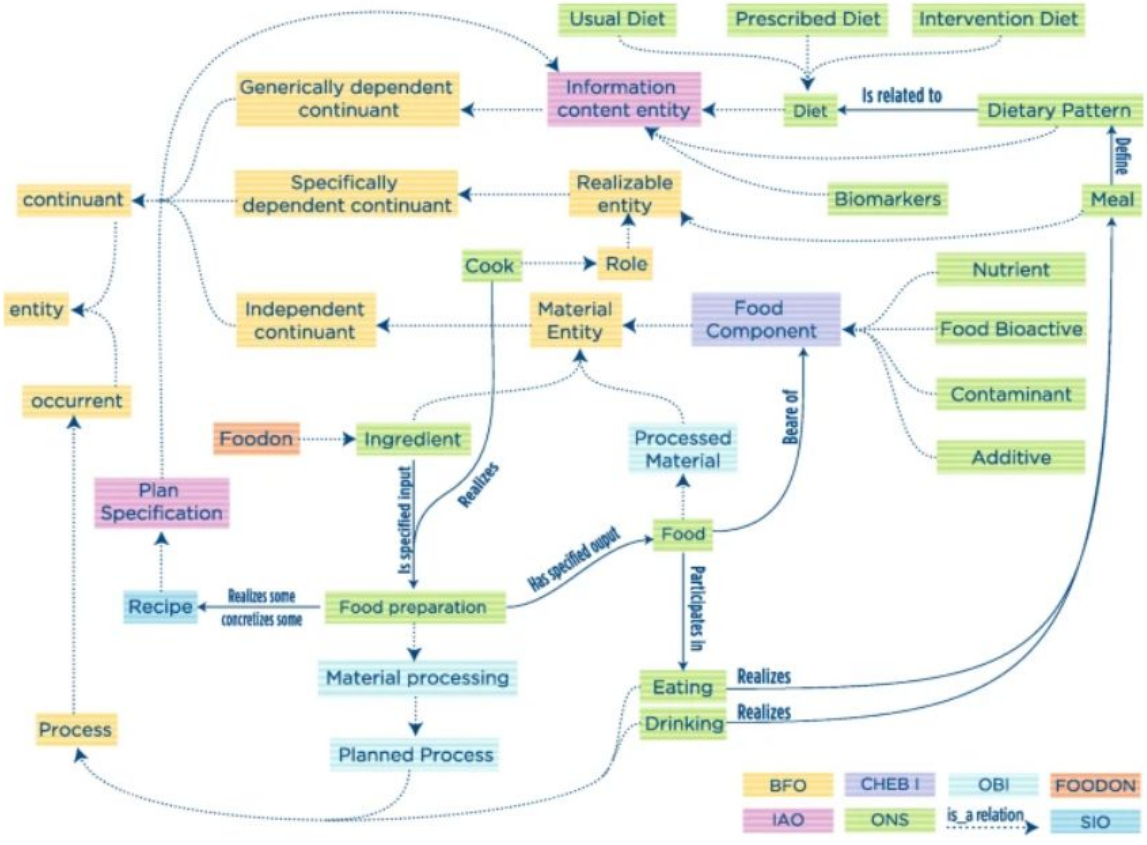
EVERYTHING IS (OR SHOULD BE) CONNECTED…



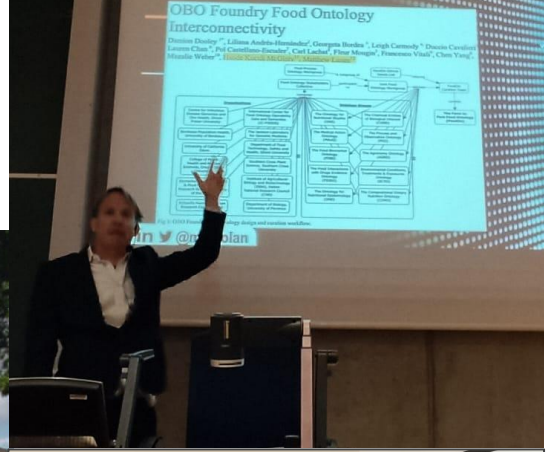
FoodOn - facets of food, from harvest to consumption



Ontology for Nutritional Studies

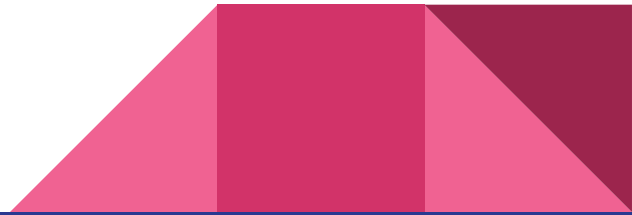


Towards the Internet of Food…



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 pieczonych 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 kiełbasek	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

HOFFMANN M, JĘDRZEJCZYK H. NOWE ANALOGI MIĘSA. POSTĘPY TECHNIKI PRZETWÓRSTWA SPOŻYWCZEGO 1/2010

(56): Podano w przeliczeniu na glin.

▼M2

12.1.2 Substytuty soli

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

▼M2

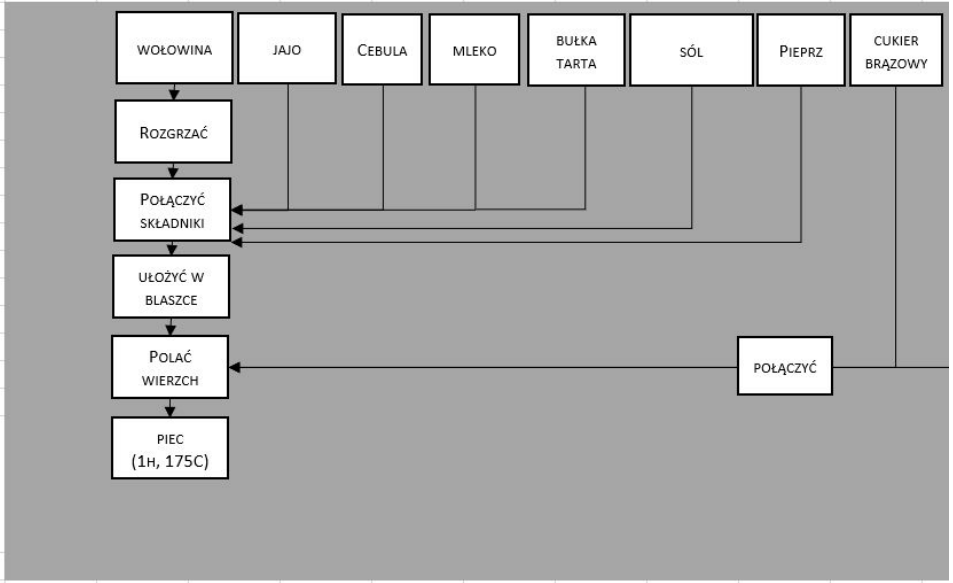
Numer kategorii	Numer E	Nazwa	Maksymalny poziom (odpowiednio mg/l lub mg/kg)	Przypisy	Ograniczenia/wyjątki
	E 535–538	Żelazocyjanki	20	(1) (57)	
▼M7	E 551–559	Dwutlenek krzemu – krzemiany	20 000		Okres stosowania: do dnia 31 stycznia 2014 r.
	E 551–553	Dwutlenek krzemu – krzemiany	20 000		Okres stosowania: od dnia 1 lutego 2014 r.
▼M2	E 620–625	Kwas glutaminowy – glutaminiany	*quantum satis*		
	E 626–635	Rybonukleotydy	*quantum satis*		
		(1): Dodatki mogą być dodawane pojedynczo lub łącznie.			
		(4): Maksymalny poziom podano w przeliczeniu na P_2O_5.			
		(57): Maksymalny poziom podano w przeliczeniu na bezwodny żelazocyjanek potasu.			

1.2013 — 014.001 — 210

2008R1

Domain experts’ analyses…

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
⅓ 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 | Pieczeń - ZAMIENNIKi | Wieprzowina- KARTA PRODUKTU | ...

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	
	białko z owadów	na zimno: TAK	pieczenie: TAK	1:1	
	bakłażan	na zimno: TAK	pieczenie: TAK	1:1	
jajo	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	BEZGLUTENOWY	WEGETARIAŃSKI	WEGAŃSKI	BEZ LAKTOZY
	NIE	TAK	NIE	NIE	TAK

ETYKIETY TECHNOLOGICZNE:	NA SUROWO	DO GOTOWANIA	DO SMAŻENIA	DO PIECZENIA
	NIE	TAK	TAK	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 zimn
warunek 3:								
warunek 4:								
warunek 5:								
UWAGA DODATKOWA/KOMENTARZ:								

Pieczeń rzymska mielony SCHEMAT | Pieczeń - ZAMIENNIKi | **Wieprzowina- KARTA PRODUKTU** | ...

Substitutes_recommendations

File Edit View Insert Format Data Tools Extensions Help Last edit was made 31 minutes ago by Bartek K

Share

C37 1 cup heavy cream

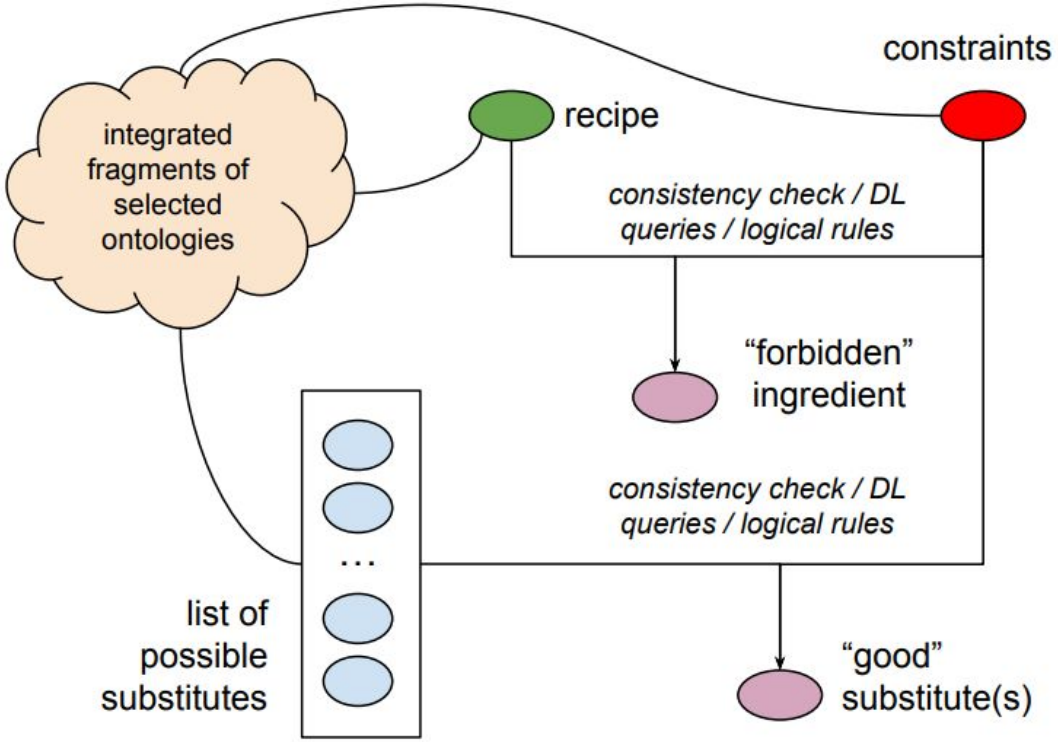
	A	B	C	D	E	F
1	Title	Link	Ingredient	Vegetarian (ratio)	Vegetarian (food product)	Vegan (ratio)
3	Yellow Bird	https://www.food.com/recipe/yellow-bi	4 ounces triple sec			
4	Yellow Bird	https://www.food.com/recipe/yellow-bi	3 ounces Tia Maria			
5	Yellow Bird	https://www.food.com/recipe/yellow-bi	20 ounces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

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?

Sheet1

Weronika T. Ad...
Weronika T. Adrian
Agnieszka Lawrynowicz
Jędrzej

Overview of the proposed logic-based model



Current works:

1. Knowledge graph / ontology design
2. Population with instances
3. Modeling rules and DL queries

Knowledge graph/ontology design

Classes:

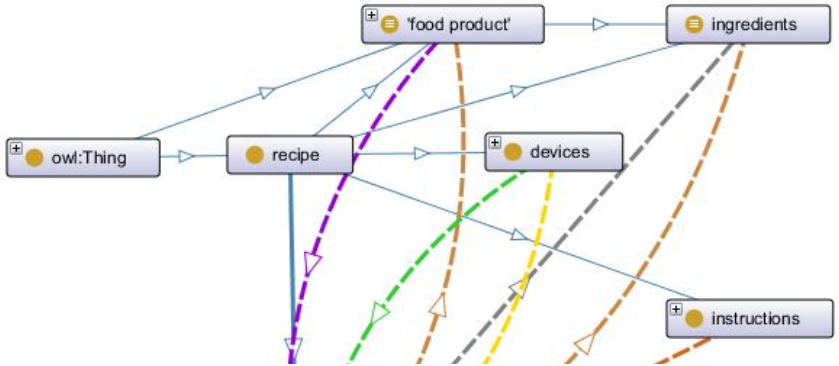
- Recipe
- Ingredient spec.
- Food product
- Diet
- Allergy

Object properties:

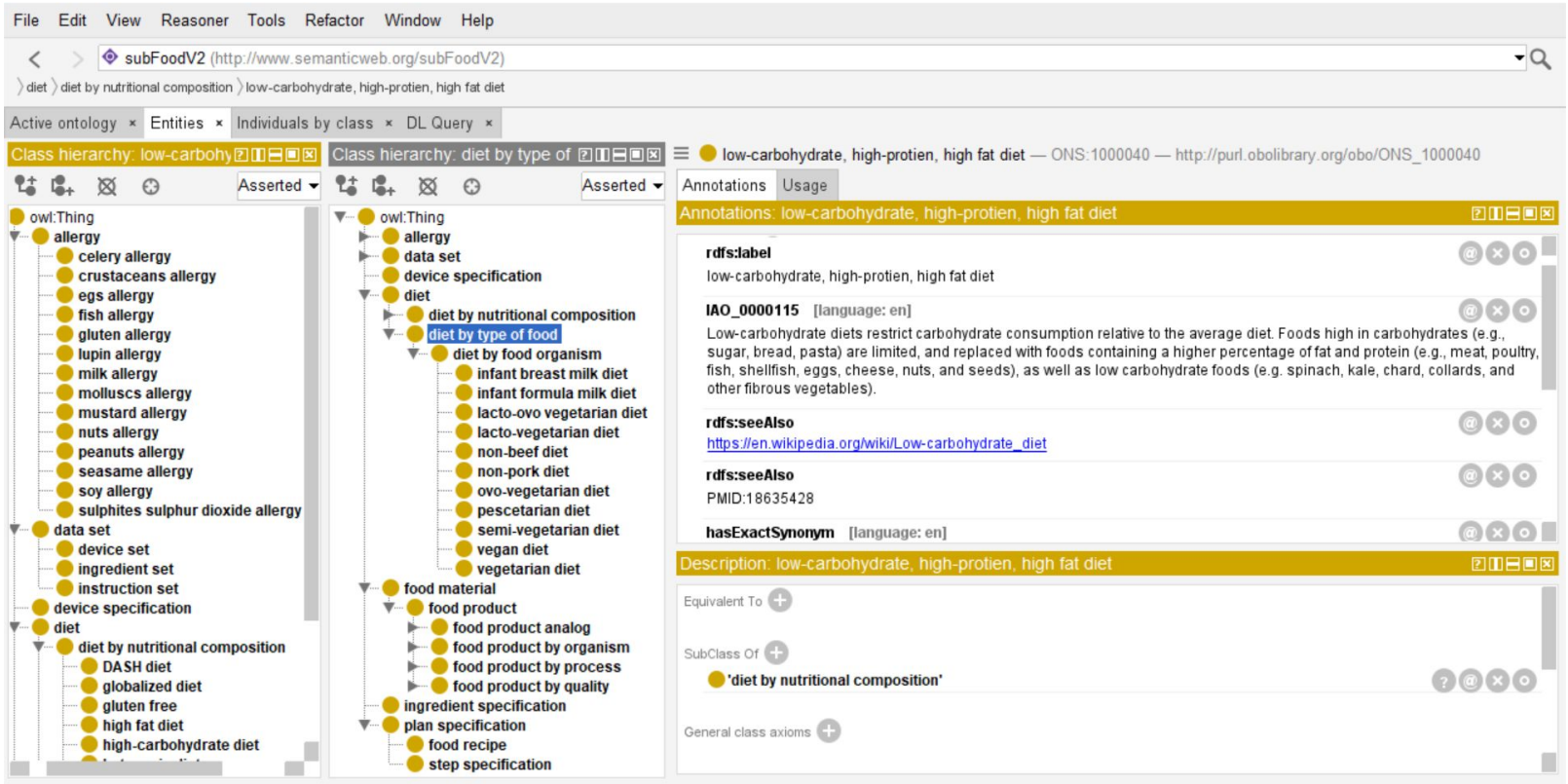
- acceptableIn - (food product → diet)
- unacceptableIn - food product/recipe → diet
- hasAllergicTrigger - (food product → allergy)
- hasIngredient/isNeededFor - (food product ←→ recipe name)
- isSubstituteFor - food product → food product
- useFor - instructions (specific steps) → recipe name

Data properties:

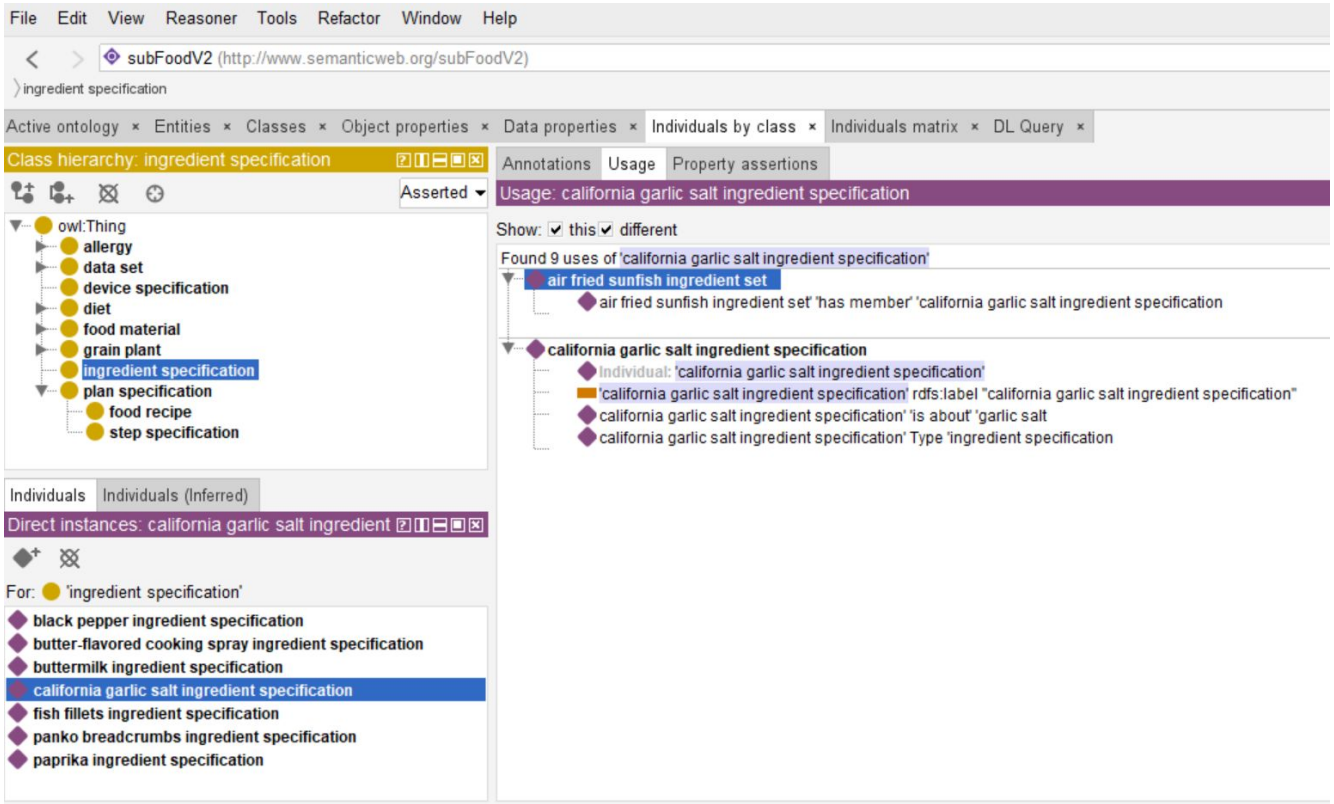
- *hasCalorificContentValue*
- *hasCarbohydratesContentValue*
- *hasFatContentValue*
- *hasProteinContentValue*
- *hasVitaminsContentValue*



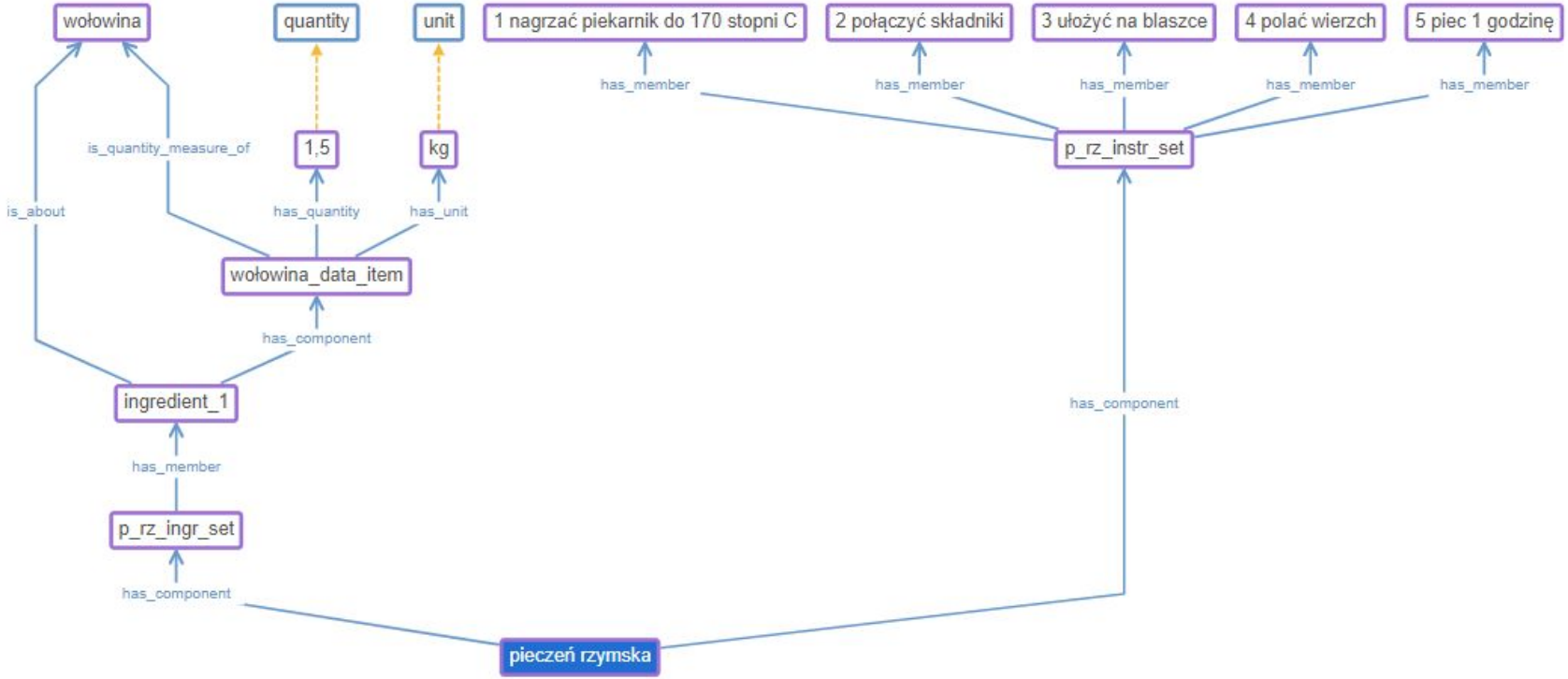
Ontology imports and populating with instances



Ontology imports and populating with instances



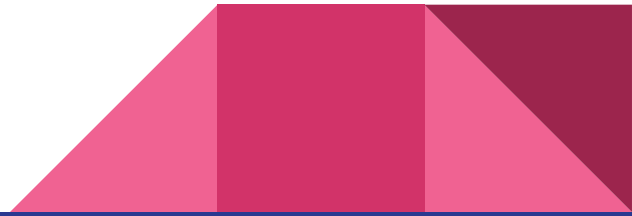
Ontology imports and populating with instances



ASK - what questions to ask and how to answer them?

Main knowledge representation and reasoning methods

- Ontological queries - asking about given recipes vs. constraints
- Answer Set Programming - a full-fledged logic program
- Implementation:
  - Protege + integrated reasoner
  - DaRLing OWL2 rewriter for ASP



Modeling rules and DL queries (1a)

High-level queries for identifying forbidden/dangerous ingredients

For given ***recipe*:Recipe** and ***my_diet*:Diet,** we obtain an unacceptable ingredient ***a***

```
FoodProduct(a) AND Recipe(recipe) AND Diet(my_diet) AND
isNeedeFor(a, recipe) AND unacceptableIn(a, my_diet)
```

For given ***recipe*:Recipe** and ***my_allergy*:Allergy,** we obtain an unacceptable ingredient ***a***

```
FoodProduct(a) AND Recipe(recipe) AND Allergy(my_allergy) AND
isNeedeFor(a, recipe) AND hasAllergicTrigger(a, my_allergy)
```

Modeling rules and DL queries (1b)

Low-level diet/allergy specific rules defined for particular cases, e.g.:

- Diet excluding certain classes of products:
  - `isSubclassOf(a, meat) => isUnacceptableFor(a, vegan_diet)`
- Allergies for certain food products:
  - `isSubclassOf(a, seafood) => hasAllergicTrigger(a, seafood_allergy)`
- …

Modeling rules and DL queries (2a)

High-level queries for pruning “wrong” substitutes

For a given ***recipe:Recipe, my_diet:Diet*** and ***isSubstitute(a,b)***

```
FoodProduct(a) AND Recipe(recipe) AND isNeededFor(a, recipe)
AND FoodProduct(b) AND isSubstituteFor(a,b)
AND Diet(my_diet) AND unacceptableIn(b, my_diet)
```

For a given ***recipe:Recipe*** and ***my_allergy:Allergy***

```
FoodProduct(a) AND Recipe(recipe) AND isNeededFor(a, recipe)
AND FoodProduct(b) AND isSubstituteFor(a,b)
AND Diet(my_diet) AND hasAllergicTrigger(b, my_allergy)
```

Modeling rules and DL queries (2b)

Low-level diet/allergy specific rules defined for particular cases, e.g.:

Potential substitutes can be assumed to be given or defined explicitly based on selected features:

```
FoodProduct(a) and FoodProduct(b) AND hasFunction(a,f) AND
hasFunction(b,f) => isSubstituteFor(a,b)
```

```
FoodProduct(a) and FoodProduct(b) AND hasSomeFeature(a,f) AND
hasSomeFeature(b,f) => isSubstituteFor(a,b)
```

...

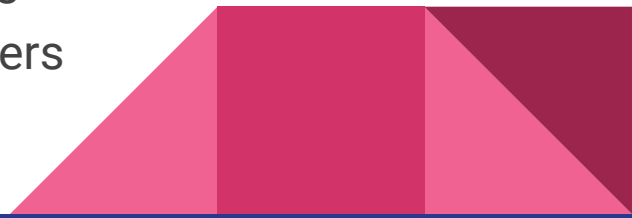
Logic model in Answer Set Programming

Answer Set Programming

- Declarative programming paradigm
- Non-monotonic reasoning and logic programming
- Stable model semantics

Expressive KR language

- Roots in Datalog
- Default negation, disjunction, constraints, aggregates
- Weak constraints, functions, lists, sets, exist.quantifiers



Hard and weak constraints in ASP

Absolutely forbidden ingredients:

```
:- foodProduct(X), recipe(Recipe), allergy(my_allergy),
isNeededFor(X, Recipe), hasAllergicTrigger(X, My_allergy).
```

“If possible, avoid…” / “Optimize quantity of…”:

```
:~ foodProduct(X), recipe(Recipe),  diet(My_diet), isNeededFor(X,
Recipe), unacceptableIn(X, My_diet). [1]
```

```
:~ foodProduct(Y), recipe(Recipe),  diet(My_diet), isNeededFor(Y,
Recipe), unacceptableIn(Y, My_diet). [2]
```

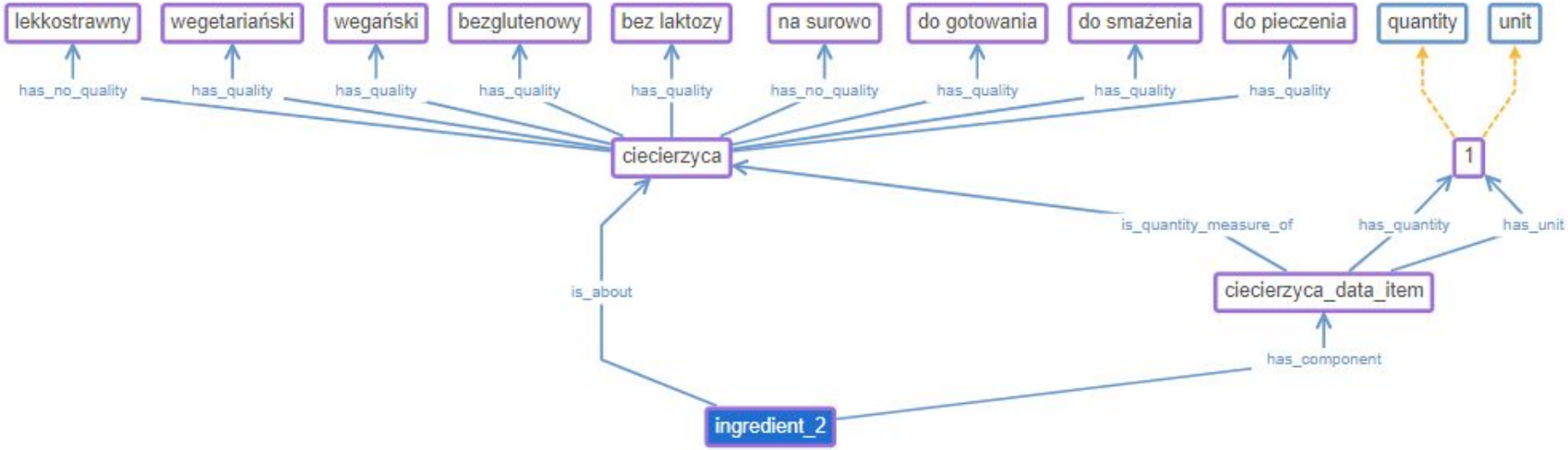
Summary and outlook

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 **modeling** and **reasoning**
- Recent work and results
  - Knowledge-based **model** of reasoning about substitution (based on ontologies and logic programming)
  - **KB schema and high-level rules** over the knowledge graph
- Future work
  - Expanding the **rule base** about diets and allergies
  - **Implementation** of the system with DaRLing reasoner

Future refinements:
data preparation for substitution as seen by food technologists and dieticians

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		



Thank you for your attention!

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

Norway grants

KRAKEN

AGH