



interdyscyplinarne
studia doktoranckie
matematyczno-
przyrodnicze

Projekt „Wzmocnienie potencjału dydaktycznego UMK w Toruniu w dziedzinach matematyczno – przyrodniczych” realizowany w ramach poddziałania 4.1.1 Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki

Metabolizm krajobrazu z uwzględnieniem naturalnych i antropogennych czynników – budowanie modeli scenariuszy rozwoju i skutków dla środowiska

Iwona Łazowy-Szczepanowska



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Dyscyplina podstawowa: biologia

(Wydział Biologii i Nauk o Ziemi)

Główny opiekun naukowy:

Dr hab. Adam Czarnecki, prof. UMK

Dyscyplina dodatkowa: fizyka

(Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej)

Dodatkowy opiekun naukowy:

Dr hab. Ryszard Mrugała, prof. emerytowany UMK

Informacje o projekcie

Projekt nawiązuje do problemów środowiskowych występujących w skali globalnej i lokalnej, spowodowanych wpływem człowieka na środowisko wynikające z pobierania i przetwarzania materii oraz energii, użytkowania przestrzeni i zagospodarowania odpadów.

Holistycznie ujmuje ekosystem społeczno- środowiskowego w obrębie gminy sąsiadującej z miastem Toruń, gdzie występują specyficzne przepływy zwielokrotnione przez układ miejsko-wiejski.

Cele ogólne

Wykazanie skutków środowiskowych wynikających ze wzmożonej konsumpcji materii i przepływów energii w systemach zdominowanych przez człowieka.

Przewidywanie skutków środowiskowych, wynikających ze scenariuszy obejmujących zmiany zachowań mieszkańców, działań gospodarczych, uwzględniając paradygmat zrównoważonego rozwoju.

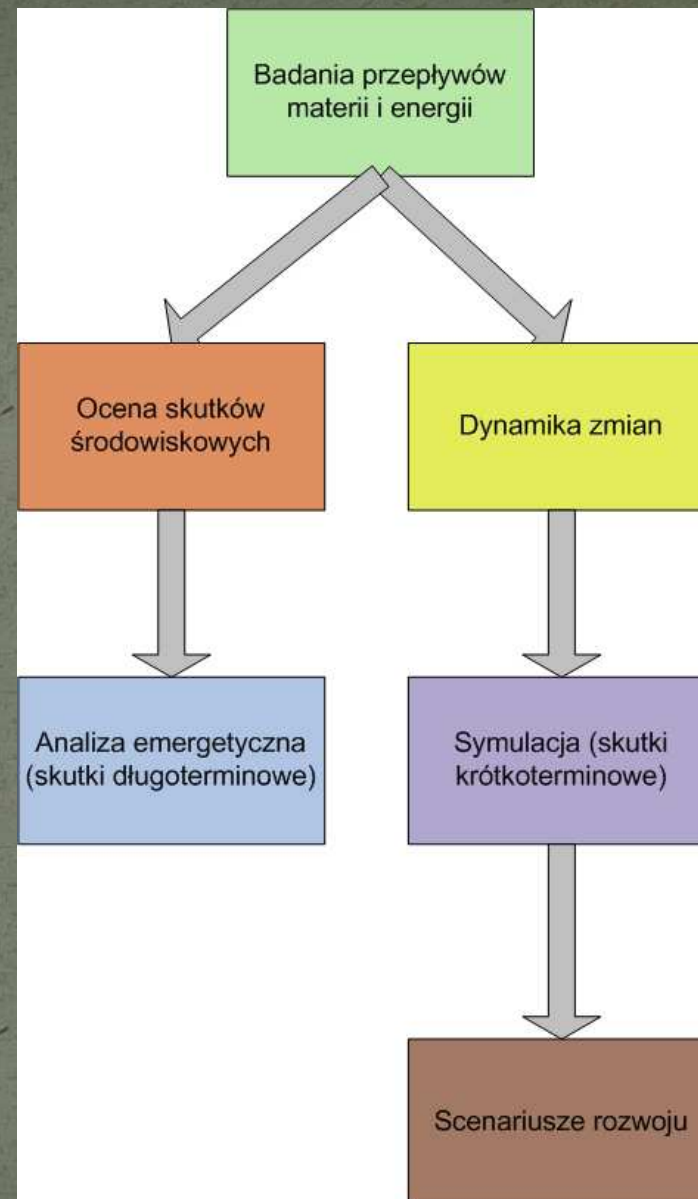
Cele szczegółowe

Wykazanie relacji zachodzących w systemie, wykazanie przepływów i produktów ubocznych metabolizmu badanej przestrzeni

Wybór optymalnego modelu scenariusza rozwoju dla gminy ze szczególnym naciskiem na redukcję zbędnych metabolitów wtórnych dla systemu.

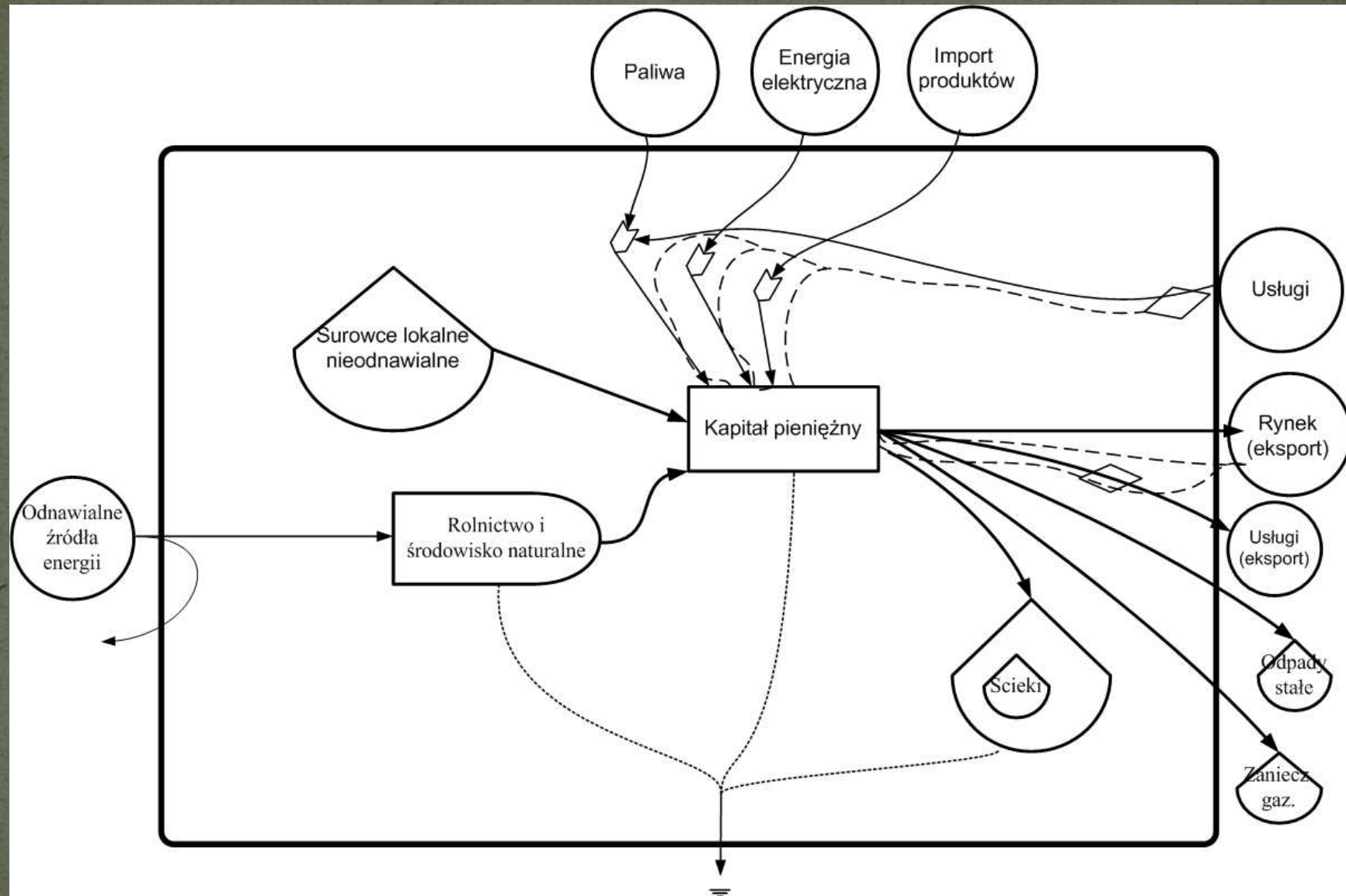
Wskazanie kierunku polityki rozwoju i związanej z nim decyzji przestrzennych.

Wstęp – metodyka

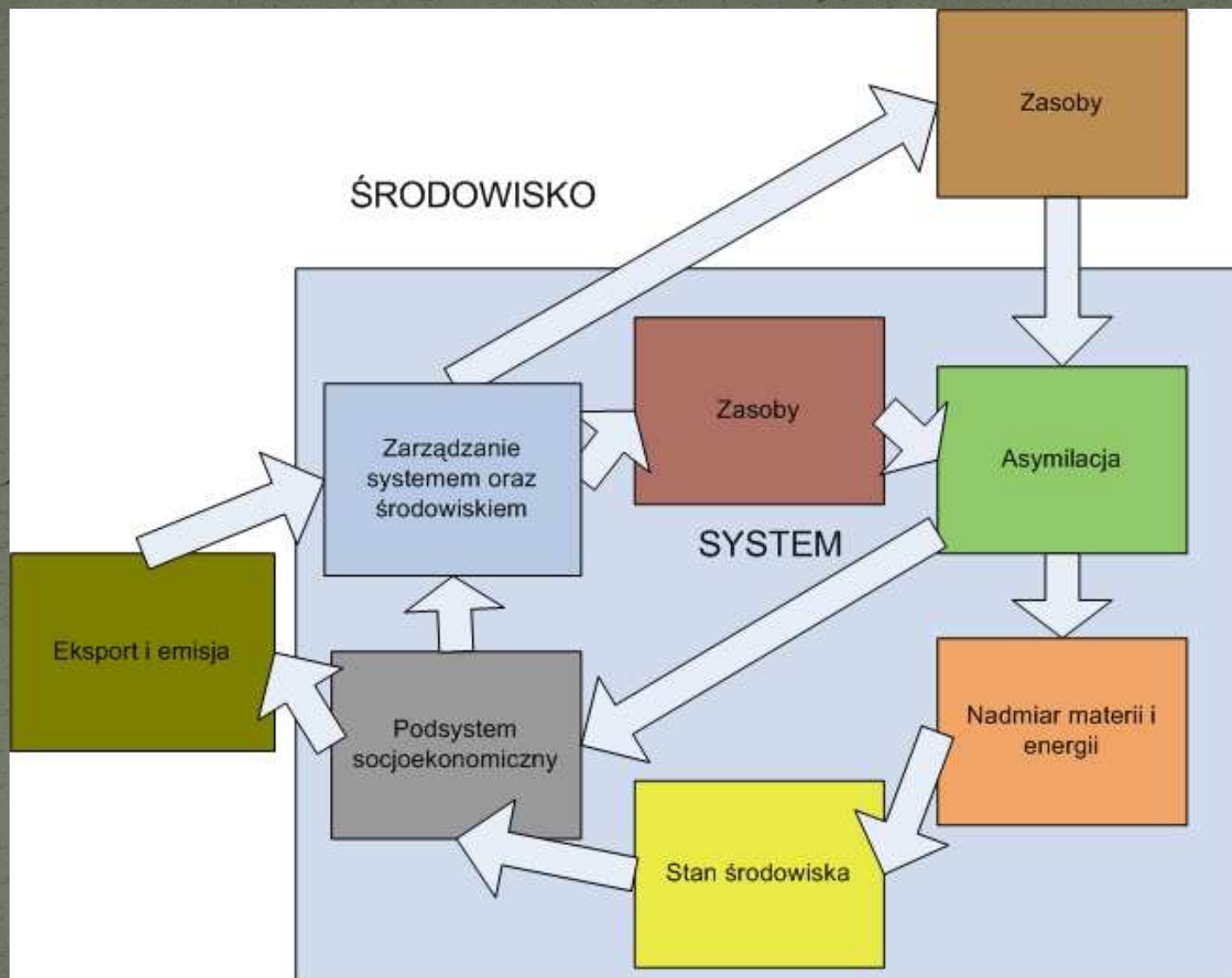


Ryc. 1. Schemat założeń metodycznych

Wstęp - metodyka



Ryc. 2. Model metabolizmu krajobrazu na przykładzie gminy Lubicz



Ryc. 3. Przyczynowo-skutkowy schemat przepływów w układzie system-środowisko

Teren badań

Kryterium przestrzenne stanowi gmina Lubicz w obrębie granic administracyjnych.

Teren badań



Ryc. 4. Gmina Lubicz na tle powiatu toruńskiego.
Źródło: www.lubicz.pl, autor : Sławomir Szczęśniak

Dynamika zmian

Analiza przepływów w latach 2002-2010 w świetle zmian ustrojowych:

- agregacja i przetworzenie danych
- analiza głównych przepływów materii i energii
- podstawa do dalszych badań

Symulacja (pakiet Stella, Powersim, Maple)

Model opisuje dynamikę poszczególnych komponentów układu ekologicznego oraz wykorzystanie wybranych zasobów środowiskowych poczynając od roku 2010. Symulacja pozwala na przewidywanie zachowania się poszczególnych zmiennych w funkcji czasu. Zadany krok czasowy to 1/12 roku z perspektywą na 25 lat (2010-2035).

Źródła danych pochodzą z Bank Danych Lokalnych GUS (2010 rok) oraz obliczeń własnych dla współczynników na podstawie tendencji dynamicznych dla gminy Lubicz dla lat 2002-2010 oraz korelacji z danymi bieżącymi.

Równania opisujące dynamikę zmian poszczególnych agregatów są to m.in. Następujące równania różniczkowe:

$$\frac{df(t)}{dt} = af(t)$$

$$f(t) = f(0)e^{At}$$

z rozwiązaniem:

$$\frac{df(t)}{dt} = a$$

$$f(t) = at + C$$

Scenariusze rozwoju

Ustawienia w postaci rozpiętości zakresu wybranych wielkości w symulacji umożliwiają nam śledzenie zmian i nadają nam kierunek poszukiwań optymalnego stanu dla systemu, którym w tym przypadku jest gmina Lubicz.

Analiza energetyczna

W pracy przeliczono wszystkie rodzaje (poziomy) energii w ekosystemie na energię pierwotną płynącą od słońca (seJ), tj. główne strumienie energii odnawialnej, a także nieodnawialnej, pozostałe składniki ekosystemu oraz jego produkty.

Uwzględniono koszt transformacji - przekształcalność (*transformity*).

Wskaźniki emergetyczne

Do oceny systemu oraz porównania na tle innych obszarów posłużyły standaryzowane wskaźniki, m.in. współczynnik wkładu środowiska (ELR), współczynnik zysku (EYR), trwałego i zrównoważonego rozwoju (ESI).

W pracy zastosowano dodatkowy wskaźnik poziomu wytwarzania metabolitów wtórnych (autorski) (SMI – Secondary Metabolites Index).

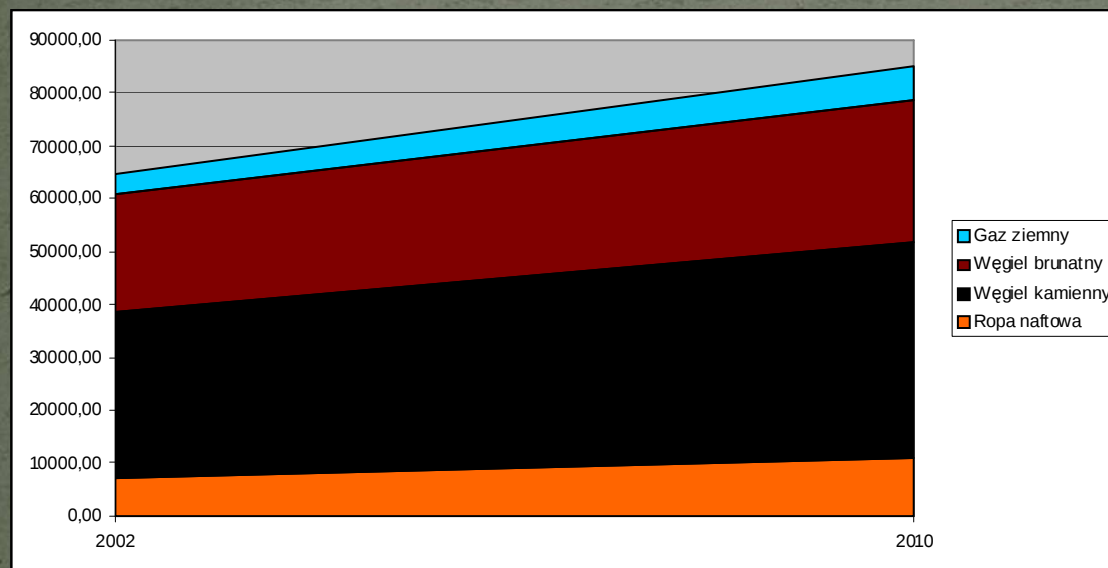
Materialy

Dane przetworzone i zagregowane

Materiały

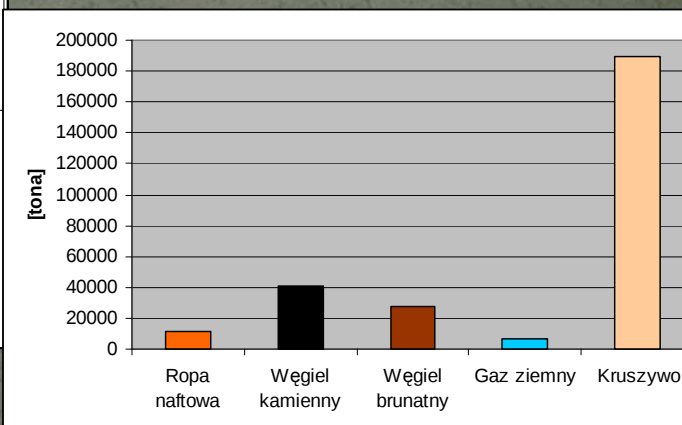
Tab. 1. Ilość i udział zużytych źródeł energii w gminie Lubicz w roku 2012

Źródło energii	Węgiel kam.	Węgiel brun.	Gaz ziemny	Ropa naftowa	Energia słoneczna	Energia wiatrowa	Energia ziemi	Energia wodna
Ilość [GJ]	878855	261556	308232	525390	40665	0	7279	696
%	43,45	12,93	15,24	25,98	2,1	0,00	0,36	0,03



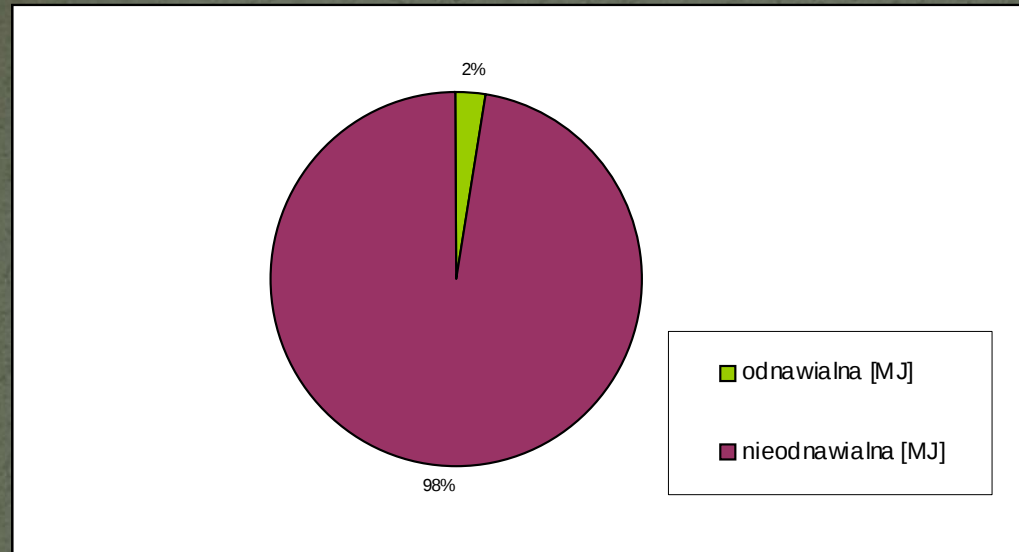
Ryc. 5. Tendencje dynamiczne zużycia nieodnawialnych źródeł energii w gminie Lubicz w latach 2002-2010 (w tonach).

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych GUS BDL



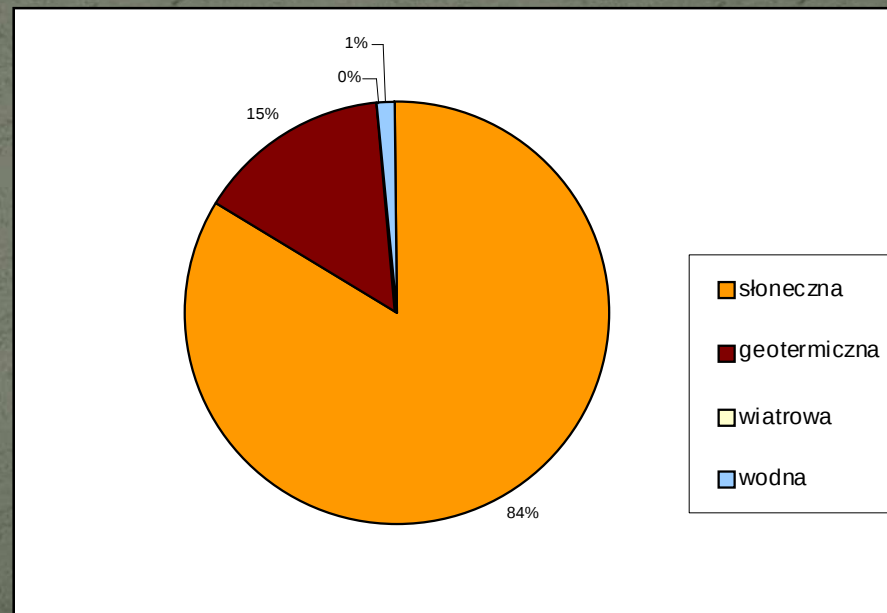
Ryc. 6. Wielkość zużycia surowców w gminie Lubicz w 2010 roku [t]

Materialy



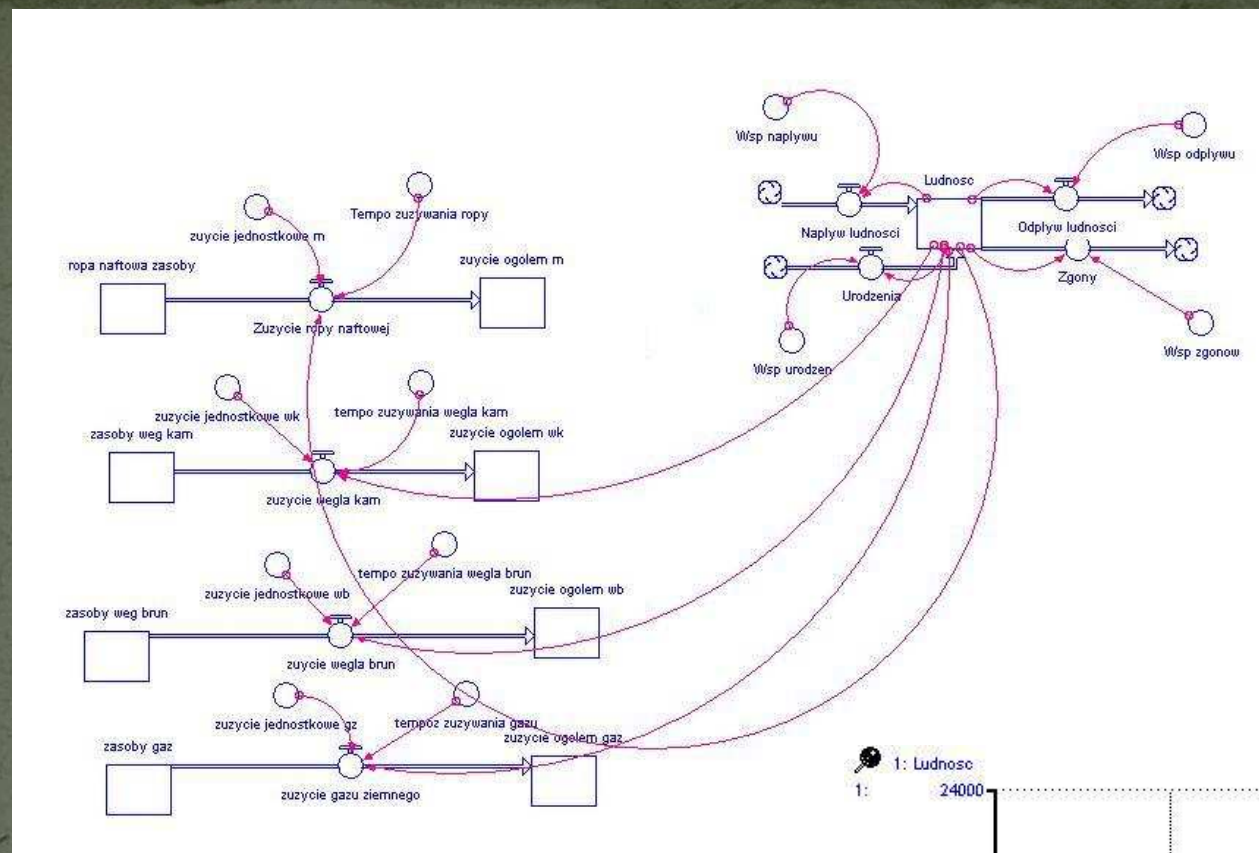
Ryc. 7. Struktura udziału energii w gminie Lubicz w 2012 roku [MJ]
Źródło: obliczenia własne na podstawie danych GUS BDL, Minikowo 2013, Centrum Obsługi Inwestora dla woj. kuj.-pom.

Ryc. 8. Struktura udziału nieodnawialnych źródeł energii w gminie Lubicz w 2012 roku [J]
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych obliczonych wg danych zagregowanych (Minikowo 2013, Centrum Obsługi Inwestora dla woj. kujawsko-pom.).

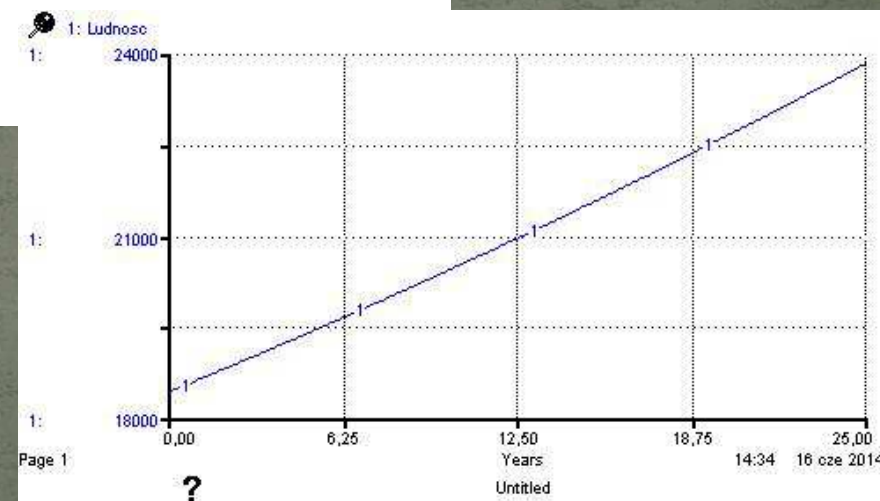


Wyniki i dyskusja

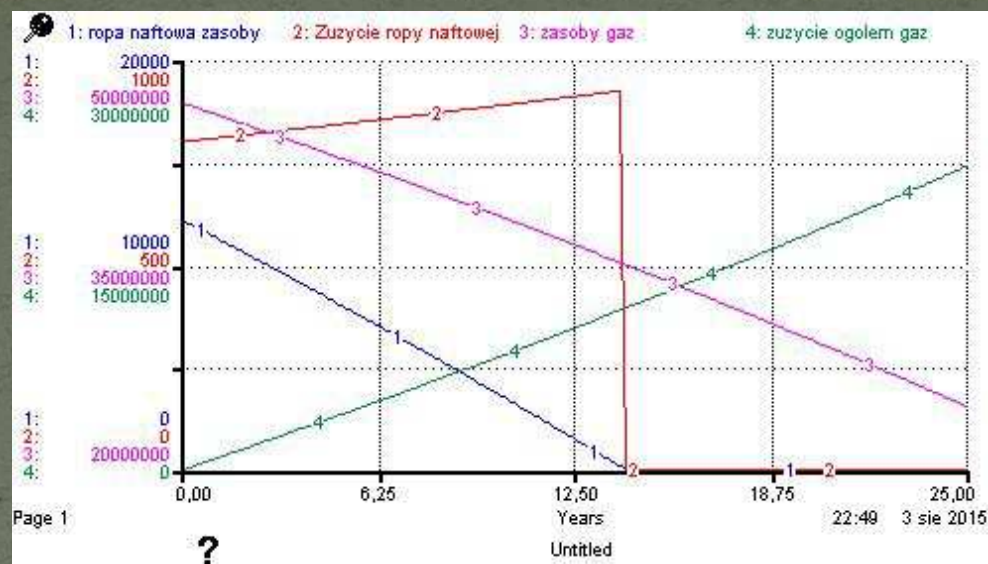
Symulacje



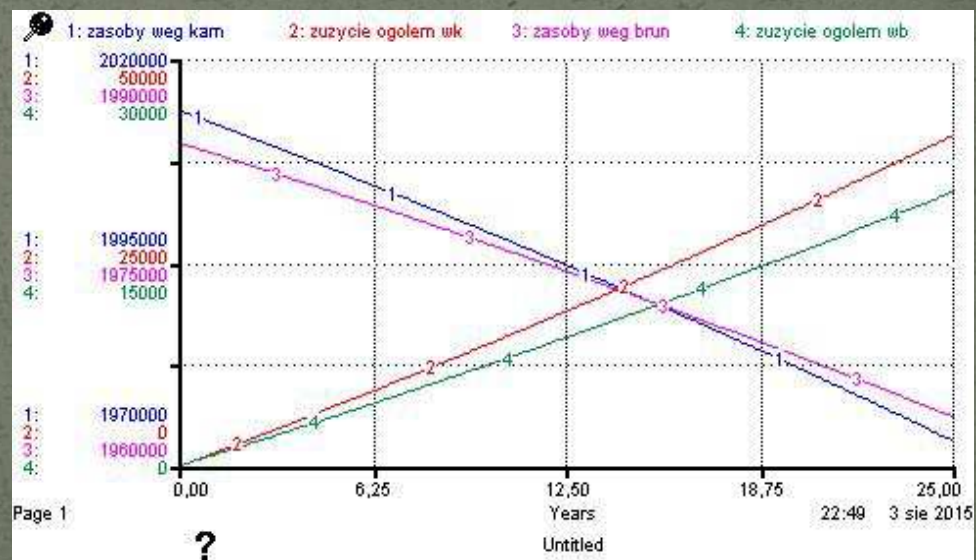
Ryc. 9. Model graficzny dynamiki zasobów i zużycia paliw kopalnych w gminie Lubicz



Ryc. 10. Prognozy liczby ludności w gminie Lubicz



Ryc. 11. Prognozy wielkości zasobów i zużycia ropy naftowej oraz gazu ziemnego (bez eksportu)



Ryc. 12. Prognozy wielkości zasobów i zużycia węgla kamiennego i brunatnego 23

Równanie różniczkowe dla submodelu (pakiet matematyczny Maple):

$$\begin{aligned} eq1 := \frac{d}{dt} LUD(t) = & \text{wsnap } LUD(t) - \text{wsodp } LUD(t) \\ & + \text{wsur } LUD(t) - \text{wszg } LUD(t) \end{aligned}$$

gdzie:

LUD(t) - liczba ludności w gminie Lubicz w chwili t.

wsnap(=wsp_naplywu) - współczynnik napływu ludności (imigracji wewnętrznych oraz zewnętrznych),

wsodp(=wsp_odplywu) - współczynnik odpływu ludności (emigracji wewnętrznych oraz zewnętrznych),

wsur(wsp_urodzen) - współczynnik urodzeń,

wszg(=wsp_zgonow) – współczynnik zgonów, gdzie:

$$\begin{aligned} \text{wsnap} &:= 0.02, \text{wsodp} := 0.0147, \\ \text{wsur} &:= 0.0123, \text{wszg} := 0.00727 \end{aligned}$$

Rozwiązanie równania (ludność) bez zadanych współczynników:

$$LUD(t) = _C1 e^{(wsnap - wsodp + wsur - wszg) t}$$

Rozwiązanie równania z zadanymi współczynnikami:

$$LUD(t) = _C1 e^{\left(\frac{1033}{100000} t\right)}$$

Rozwiązanie równania dla przy $LUD(0) = 18424$:

$$LUD(t) = 18424 e^{\left(\frac{1033}{100000} t\right)}$$

Równanie (węgiel kamienny) bez zadanych współczynników:

$$\begin{aligned} eq2 &:= \frac{d}{dt} ZASWK(t) \\ &= -zuzjednwk \text{ tempozuzwk } LUD(t) ZASWK(t) \end{aligned}$$

gdzie:

tempozuzwk (tempo zużywania węgla kamiennego) = 0.03522,
zuzjednwk (zuzycie jednostkowe węgla kamiennego) = 2.20057

Równanie z zadanymi współczynnikami:

$$eq2 := \frac{d}{dt} ZASWK(t) = -0.0775040754 LUD(t) ZASWK(t)$$

Rozwiązanie równania dla przy $ZASWK(0) = 1983754,794$:

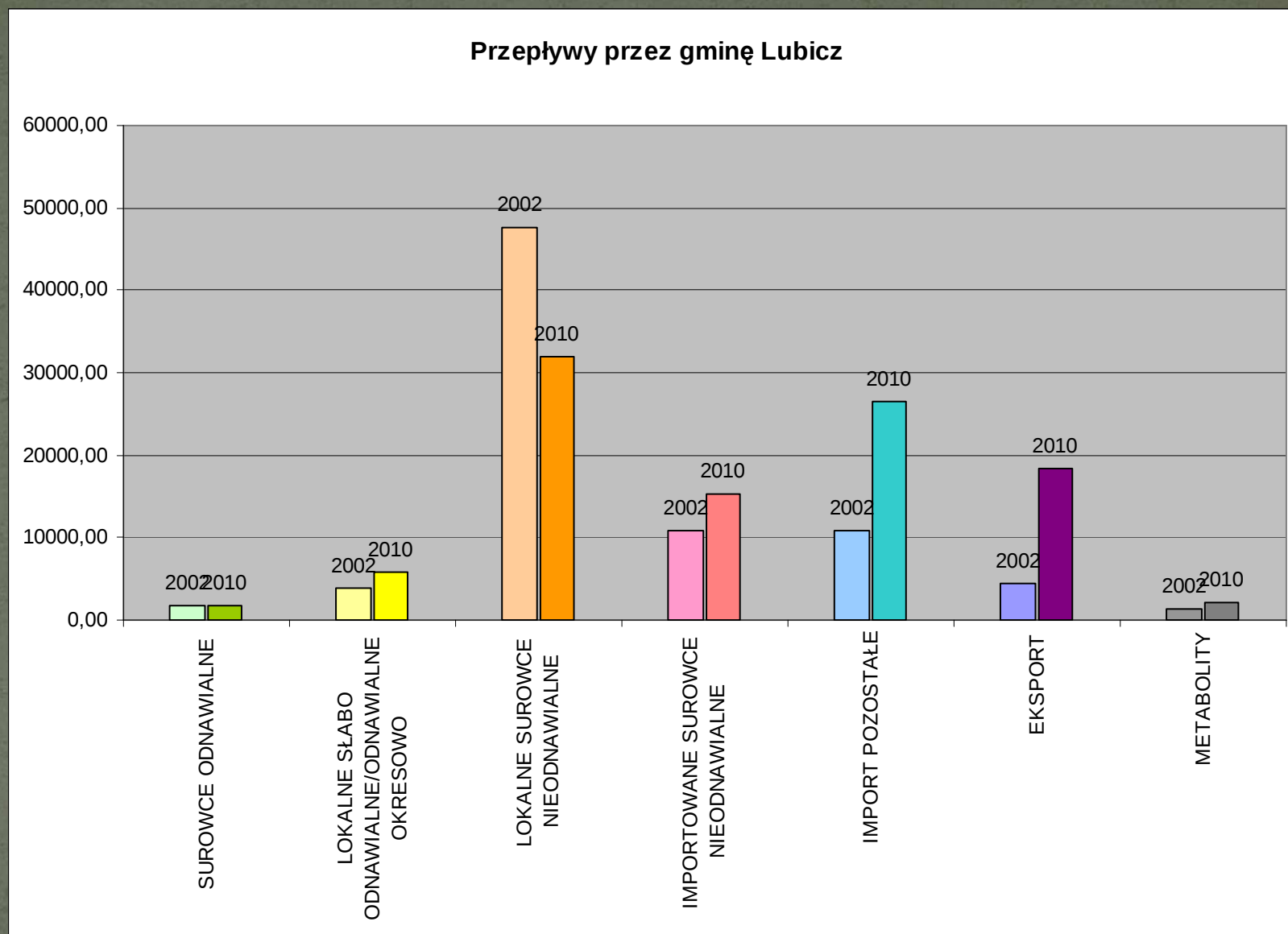
$$ZASWK(t) = \frac{503398221}{250} e^{\left(\int_0^t -\frac{387520377}{50000000000} LUD(_zI) d_zI \right)}$$

Charakterystyka przepływów

Tab. 2. Analiza emergencyczna gminy Lubicz w roku 2010

Nr	Element	Wielkość surowa	Jednostki	UEV	Solar Emergy	
2010				[seJ/jednost ka]	[E16 seJ]	
	SUROWCE ODNAWIALNE					Źródło transformity
1	Słońce	2,9643E+17	J/rok	1	29,64	Odum 2000, Odum i in. 2000
2	Wiatr	1,78732E+15	J/rok	2510	448,62	Odum 2000, Odum i in. 2000
3	Deszcz, chemiczna energia potencjalna	2,86142E+13	J/rok	26900	76,97	Odum 2000, Odum i in. 2000
4	Potencjał geopotencjalny rzeki	3,71018E+14	J/rok	46600	1728,94	Odum 2000, Odum i in. 2000
5	Krążenie ciepła	8,321E+12	J/rok	20300	16,89	Brown & Ulgiati, 2013
MAX					1728,94	
	MATERIAŁY LOKALNE ODNAWIALNE I SUROWCE ODNAWIALNE OKRESOWO					
6	Rolnictwo - produkcja roślinna	4,61653E+14	J/rok	3,03E+04	1398,81	Campbell 2004
7	Rolnictwo - produkcja zwierzęca	2,94728E+13	J/rok	7,30E+05	2151,51	średnia wartość na podst. Campbell 2004
8	Leśnictwo - produkcja drewna	7,10482E+13	J/rok	1,10E+04	78,15	Odum, Brown 2000
9	Woda	5,74877E+12	PLN/rok	3,76E+06	2161,54	Brown, Arding 1991
SUMA					5790,01	
	LOKALNE SUROWCE NIEODNAWIALNE					
10	Erozja gleb	1,16E+13	J/rok	7,40E+04	85,78	Odum, Brown 2000
11	Kruszywo naturalne	1,90E+08	g/rok	1,30E+09	24,70	Campbell 2004
SUMA					110,48	

Nr	Element	Wielkość surowa	Jednostki	UEV	Solar Emery	Źródło transformity
	SUR. NIEODNAWIALNE					
12	Ropa naftowa	4,64E+14	J/rok	5,40E+04	2506,31	Odum, Brown 2000
13	Węgiel kamienny	9,41E+14	J/rok	4,00E+04	3762,43	Odum, Brown 2000
14	Węgiel brunatny	2,36E+14	J/rok	4,00E+04	943,90	Odum, Brown 2000
15	Gaz ziemny	3,06E+14	J/rok	4,00E+04	1224,34	Bastianoni 2005
16	Elektryczność	2,51E+14	J/rok	2,77E+05	6940,69	Brown, Ulgiati 2004
SUMA					15377,69	
	IMPORT POZOSTAŁE					
17	Nawozy	6,56E+08	g/rok	różna	346,27	Brandt-Williams 1999/Odum 2000 (*1,68), Odum 1996/Odum 2000 (*1,68)
18	Import dóbr ogółem	1,59E+09	PLN/rok	różna	1039,49	Obliczenia własne na podst. Ascioni 2009
19	Usługi	1,48+07	PLN/rok	8,85E+11	1313,44	NEAD, Polska
20	Wsparcie finansowe	1,23E+03	PLN/os*rok	1,87E+16	2304,12	Cialani 2005
21	Praca	1,18E+03	osoba/rok	3,60E+16	4244,40	Cialani 2005
SUMA					9247,72	
	EKSPORT					
22	Batony Nestle Pacific	2,30E+14	J/rok	6,00E+05	13807,40	Johanson, Doherty
23	WAS Ambulanse	2,00E+01	szt/rok	1,54E+17	308,00	McGrane 1994 (dissert.), zmod.
24	Eko-Ceramika	3,25E+09	g/rok	3,06E+09	994,50	Brown, Buranakarn
25	Produkty roślinne	3,92E+14	J/rok	3,03E+04	1187,89	Campbell 2004
26	Produkty zwierzęce	2,80E+13	J/rok	7,30E+05	2043,94	Średnia wartość na podst. Campbell 2004
SUMA					18341,73	
	METABOLITY					
27	Ścieki	1,79E+11	J/rok	6,66E+05	48,61	Lei, Wang
28	Odpady komunalne	3,60E+09	g/rok	2,97E+08	10,69	Brown, Buranakarm
SUMA					59,29	



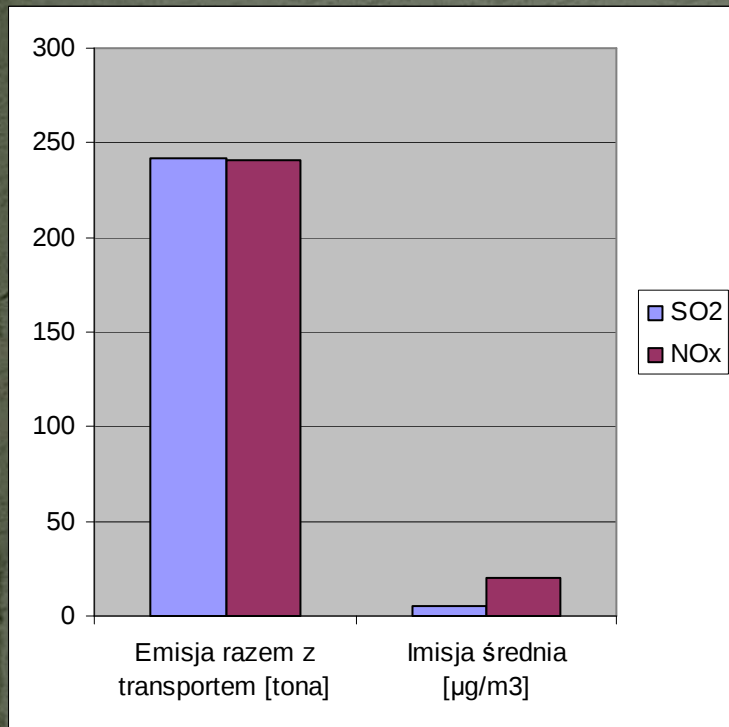
Ryc. 13. Porównanie metabolizmu metodą emergentyczną gminy Lubicz w roku 2002 i 2010.

Tab. 3. Zagregregowane przepływy energii - współczynniki energetyczne dla gminy Lubicz w roku 2002 i 2010.

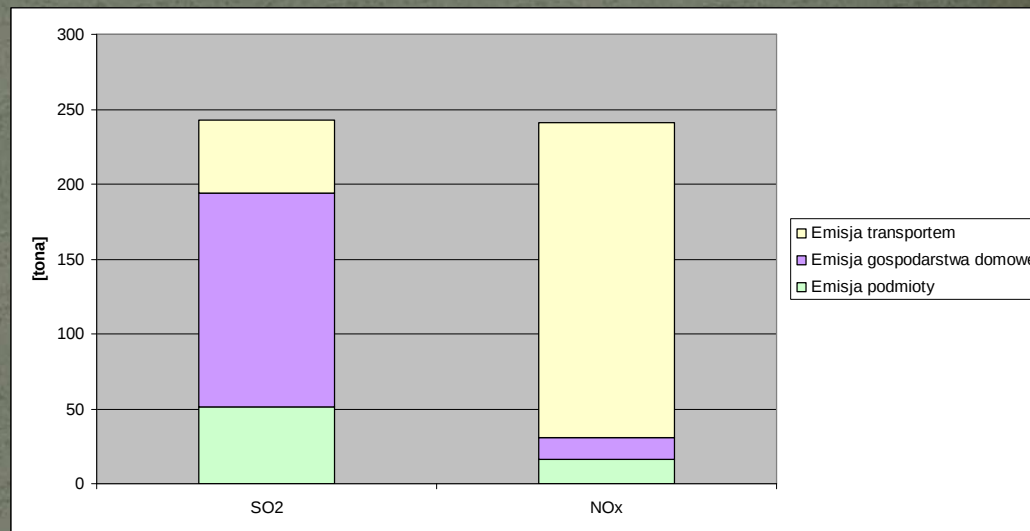
Wskaźnik	Nazwa (formuła)	Jednostka	2002	2010
R	Energia odnawialna (max spośród 1-5)	seJ/rok	1,73E+19	1,73E+19
SR	Lokalnie słabo odnawialne (6-9)	seJ/rok	3,81E+19	5,79E+19
N1	Lokalnie nieodnawialne (10,11)	seJ/rok	1,29E+18	1,10E+18
N2	Importowane nieodnawialne (12-16)	seJ/rok	1,08E+20	1,54E+20
N3	Pozostałe import (17-20)	seJ/rok	6,49E+19	7,93E+19
Y	Zysk (Yield) = $R+SR+(N1+N2+N3)$	seJ/rok	2,29E+20	3,09E+20
%Ren	%Odnawialnych = $R/(R+SR+N1+N2+N3)$	%	7,54	5,59
EYR	Emergy yield ratio = $Y/(N1+N2+N3)$	-	1,32	1,32
ELR	Emergy loading ratio = $(SR+N1+N2+N3)/R$	-	13,26	17,90
ESI	EYR/ELR	-	0,10	0,07
ED	Gęstość emergii = $Y/\text{powierzchnia}$	seJ/rok*km ²	2,17E+16	2,93E+16
IMEX	Stosunek importu do eksportu $(N2+N3)/EXP$ (22-26)	-	1,34	3,84
SMI	Secondary Metabolites Index $(SM/Y)*1000$	-	55,48	71,15

Stan środowiska

Powietrze



Ryc. 14. Relacja między emisją a imisją w gminie Lubicz dla dwutlenku siarki i tlenków azotu w 2002 roku z uwzględnieniem transportu Źródło: obliczenia własne i szacunki na podstawie danych GUS, WIOŚ, Raportu Ochrony Środowiska



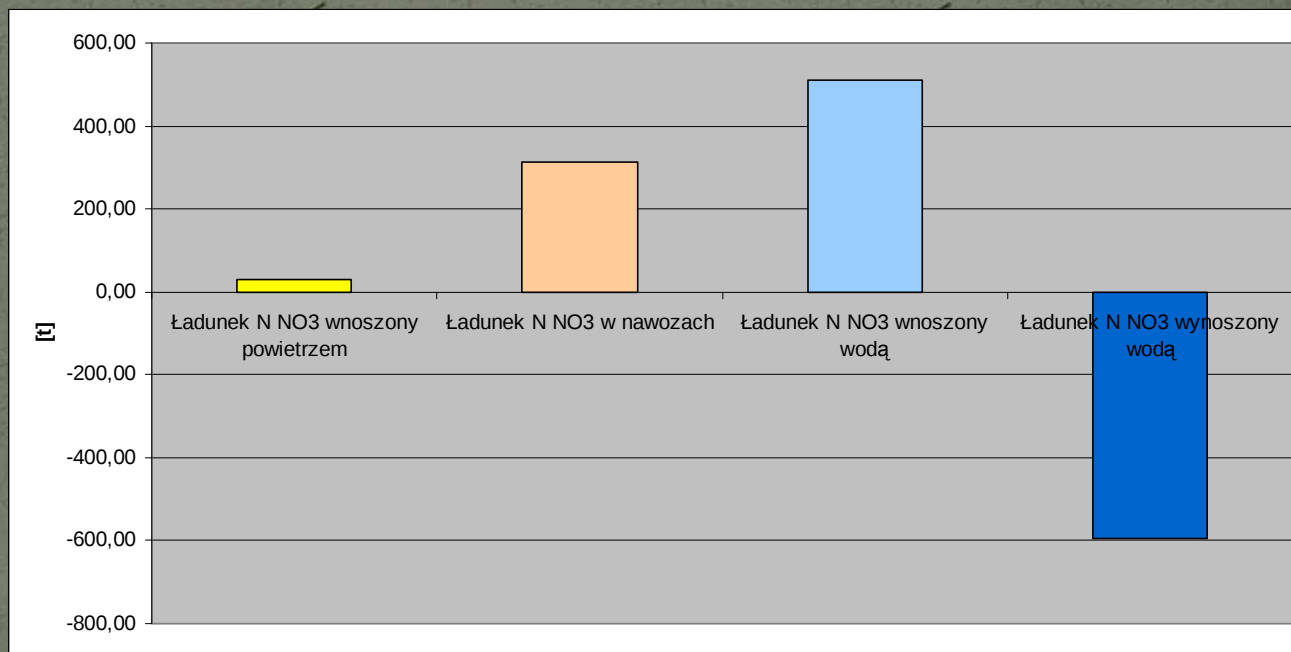
Ryc. 15. Struktura emisji dwutlenku siarki i tlenków azotu w gminie Lubicz w roku 2002

Źródło: obliczenia na podstawie danych z Raportu Ochrony Środowiska dla gminy Lubicz

Woda

Tab. 4. Bilans azotanowy dla zlewni rzeki Drwęcy w obrębie gminy Lubicz w 2010 roku

Wskaźnik	Jednostka	Wartość
Opad atmosferyczny	[mm]	531
Opad N NO3	[mg/dm3]	0,43
Odpływ rzeczny	[mm]	174
Odpływ N NO3	[mg/dm3]	1,39
Bilans N NO3 w zlewni	[mg/m2]	-13,53

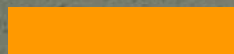


Ryc. 16. Porównanie ładunku azotu na wejściu do systemu i na wyjściu z systemu w roku 2010

Tab. 5. Zmiany wskaźników zanieczyszczenia wód dla Drwęc i jej dopływów na przykładzie miejscowości Młyniec

Wskaźniki	Jednostki	Drwęc Młyniec	Struga Rychn.Młyniec	Ładunek
BZT5	mg O2/l	2,580	3,845	49,0
Azot amonowy	mg NH3/l	0,196	0,151	-23,0
Azot azotynowy	mg NO2/l	0,0371	0,036	-3,0
Azot azotanowy	mg NO3/l	1,378	2,61	89,4
Azot ogólny	mg N/l	2,891	4,699	62,5
Fosforany	mg PO4/l	0,162	0,162	0,0
Fosfor ogólny	mg P/l	0,223	0,238	6,7
Przewodnictwo	μS/cm	465	699	50,3
Substancje rozpuszczone	mg/l	329	513	55,9
Chlorofil a	mg/l	11,2	23,39	108,8
Miano Coli fekalne	NPL	2056	627	-69,5

Wyższy ładunek



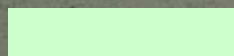
Wartości >50%

Wyższy ładunek



Wartości 5-50%

Niższy ładunek



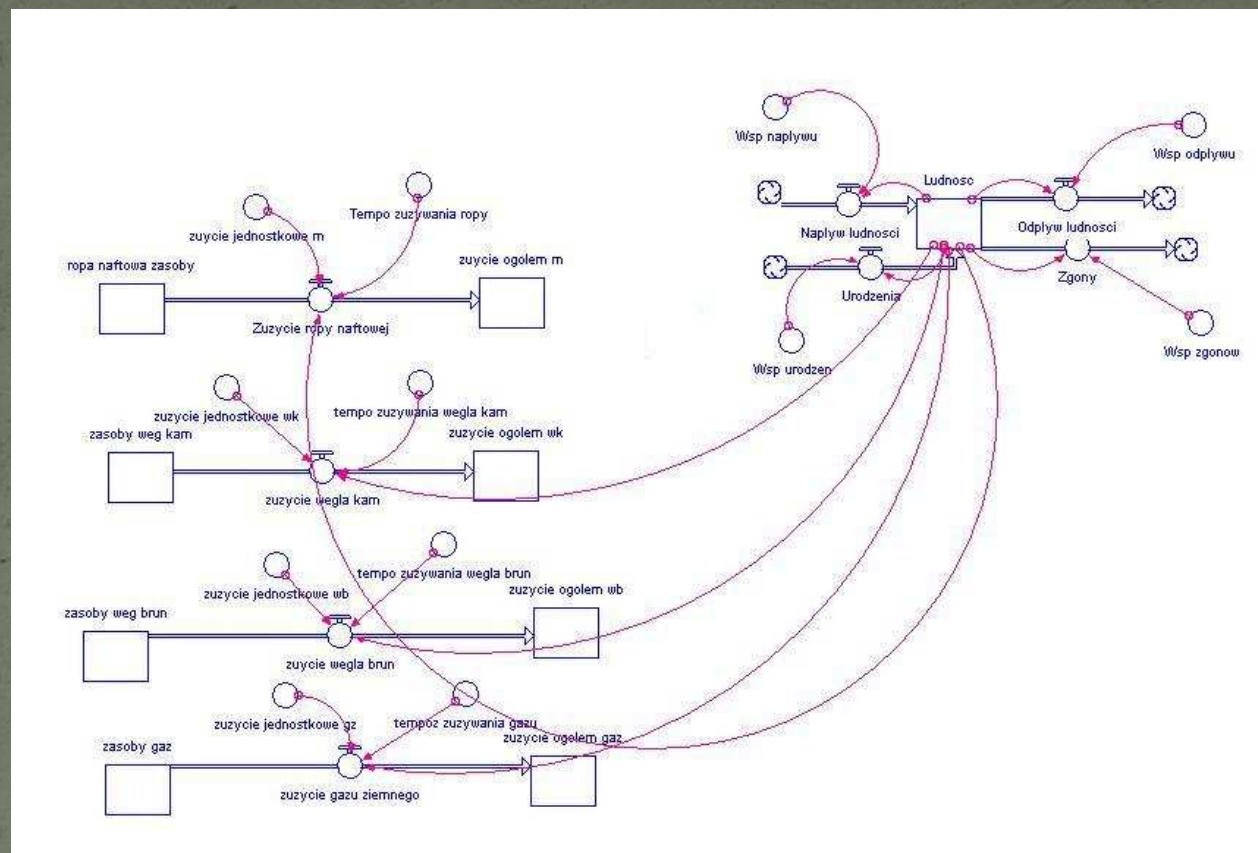
Wartości 5-50%

Niższy ładunek



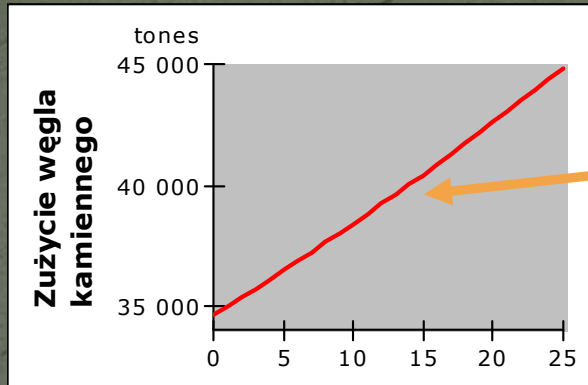
Wartości >50%

Scenariusze rozwoju

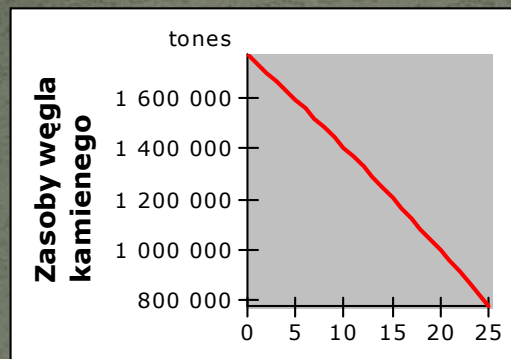


Ryc. 17. Model graficzny dynamiki zasobów i zużycia paliw kopalnych w gminie Lubicz

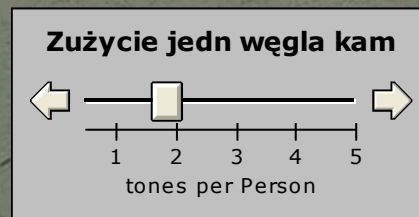
Symulacje



Symulacja bieżącego poziomu dynamiki zużycia węgla kamiennego



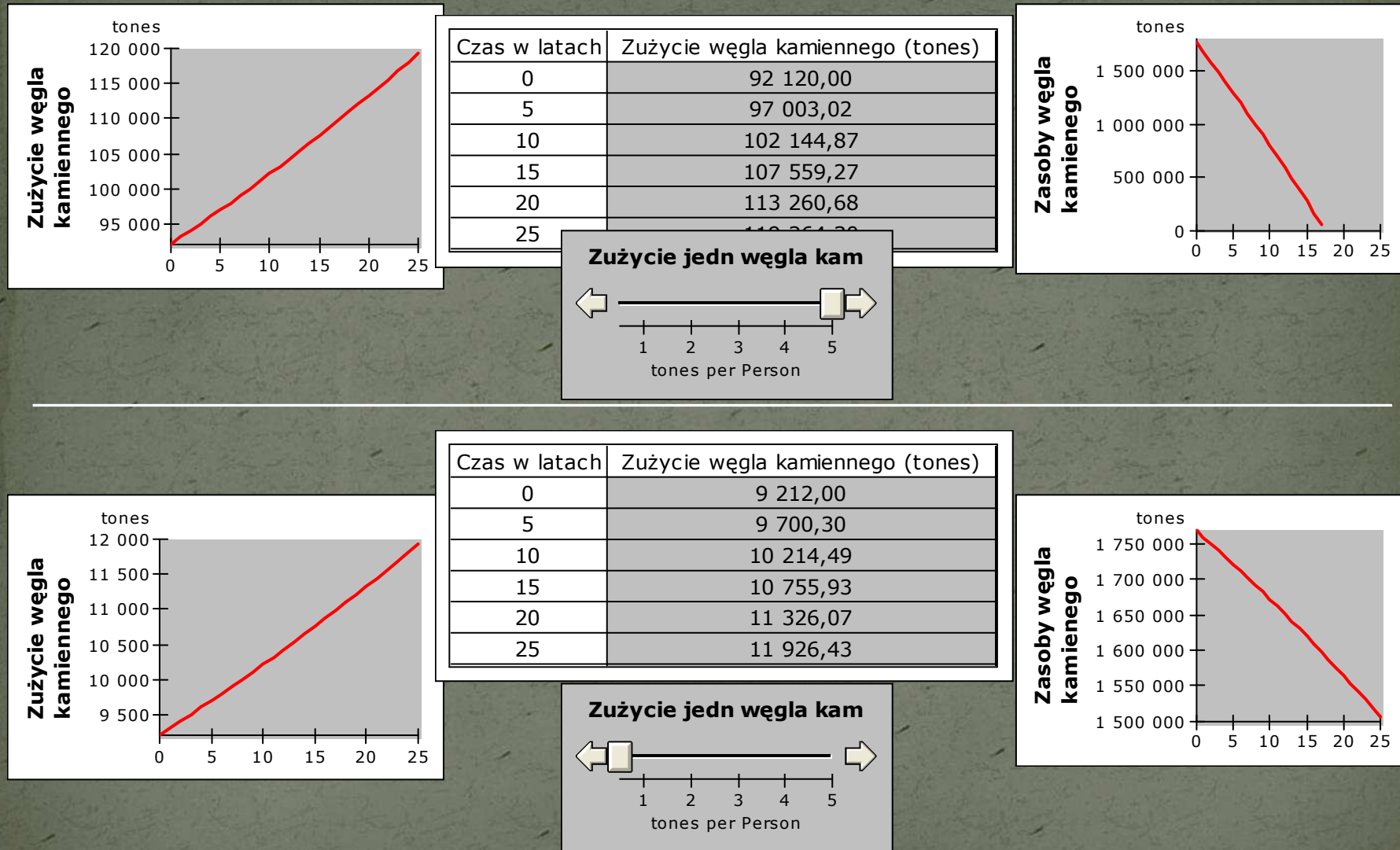
Czas w latach	Zużycie węgla kamiennego (tones)
0	34 637,12
5	36 473,13
10	38 406,47
15	40 442,29
20	42 586,02
25	44 843,38



Symulacja dla zużycia 1,88 tony/osobę (źródło: obliczenia własne na podstawie BDL GUS)

Ryc. 18. Symulacja dla zasobów węgla kamiennego przeliczonych na gminę Lubicz (udział zasobów Polski)

Symulacje



Ryc. 19. Symulacja zużycia węgla kamiennego oraz jego zasobów dla różnych wartości jednostkowego zużycia

Wnioski i dyskusja

Obecnie gmina Lubicz zużywa aż 40 razy więcej zasobów nieodnawialnych niż odnawialnych. Największy strumień zużywanej energii stanowią paliwa. Są one również źródłem emisji zanieczyszczeń do atmosfery i przyczyniają do degradacji środowiska.

Największy ślad ekologiczny tworzy nadmierne stosowanie nawozów mineralnych.

Myślenie ekologiczne przybrało już takie rozmiary, że w krajach zachodnich wiele decyzji gospodarczych jest podejmowanych w oparciu o szacunki emergii (Odum 2000). Wskazanym byłoby szersze wprowadzenie tej metody do polskiej geopolityki.



interdyscyplinarne
studia doktoranckie
matematyczno-
przyrodnicze



Projekt „Wzmocnienie potencjału dydaktycznego UMK w Toruniu w dziedzinach matematyczno – przyrodniczych” realizowany w ramach poddziałania 4.1.1 Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki

Dziękuję za uwagę



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego