

**MODELOWANIE ZMIAN
UŻYTKOWANIA PRZESTRZENI ROLNICZEJ
NA PRZYKŁADZIE WOJEWÓDZTWA PODLASKIEGO**

**MODELING OF AGRICULTURAL LAND USE CHANGES:
THE CASE OF PODLASKIE VOIVODESHIP**

Tomasz Stuczyński, Przemysław Czaban, Monika Kowalik, Artur Łopatka

Institut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa, Państwowy Instytut Badawczy, Puławy

Słowa kluczowe: modelowanie zmian użytkowania gruntów, automaty komórkowe
Keywords: modelling of land use change, cellular automata

Wstęp

Zmiany zachodzące w użytkowaniu przestrzeni są funkcją rozwoju gospodarczego, inwestycji, urbanizacyjnych przeobrażeń rolnictwa i leśnictwa oraz świadomych, prawnie uwarunkowanych działań na rzecz ochrony środowiska. Zmiany użytkowania i konkurencja o przestrzeń pomiędzy różnymi funkcjami, podlegają określonym regułom porządkującym zasady przestrzennego zagospodarowania terenu i ochrony środowiska (Alonso, 1964).

Jednym ze sposobów monitorowania i przewidywania skutków decyzji inwestycyjnych oraz naturalnych procesów związanych z ogólnymi trendami w gospodarce są informatyczne narzędzia wspomagania decyzji i modelowania. (Agarwal i in., 2001; Bürgi i Schneeberger, 2004).

Należą do nich programy umożliwiające tworzenie modeli symulacyjnych, które pozwalają na wykonywanie wieloletnich prognoz w oparciu o zestaw danych przestrzennych i statystycznych. Współcześnie konstruowane modele charakteryzują trendy rozwoju zjawiska lub procesów, które podlegają analizie. Jednym z rodzajów modeli symulacyjnych są automaty komórkowe (Engelen i in., 1999). Automaty komórkowe są modelami umożliwiającymi przewidywanie rozwoju przestrzennego w różnych horyzontach czasowych, na podstawie znanych reguł i mechanizmów regulujących przekształcenia dotychczasowych funkcji terenu. Bazują one na danych przestrzennych, ujmując przestrzeń jako macierz, przedstawioną w postaci odpowiednio zgeneralizowanej mapy oraz na zbiorach reguł i funkcji, które służą do przewidywania zmian w przestrzennym rozmieszczeniu poszczególnych klas użytkowania terenu (White i in., 1997; White i Engelen, 2000).

W opracowaniu przedstawiono wyniki symulacji zmian użytkowania terenu dla województwa podlaskiego, w latach 2005–2020 dla dwóch wariantów przebiegu drogi międzynarodowej Via Baltica – łomżyńskiego (rys. 1B) i białostockiego (rys. 1A). W prognozie wykorzystano środowisko modelowania Metronamica oparte na automatach komórkowych.

Opis modelu Metronamica

Ideą modelowania zmian użytkowania gruntów w modelu jest opis procesów za pomocą dwóch dynamicznie powiązanych ze sobą modeli, działających w różnych skalach – makro i mikro. Zadaniem modelu makro jest dokonanie prognozy popytu na ziemię przez różne sektory w funkcji rozwoju gospodarczego województwa, które konkuruje z innymi regionami w szerszym otoczeniu makroekonomicznym o inwestycje, zasoby populacji aktywnej zawodowo ludności oraz środki wsparcia na rozwój infrastruktury. W funkcji rozwoju gospodarczego oraz zmian demograficznych w modelu makro prognozowane są zmiany popytu na ziemię przeznaczoną na przewidywany rozwój urbanizacji, przemysłu i usług. W modelu mikro prognozowane zapotrzebowanie na ziemię dla poszczególnych funkcji (urbanizacji, przemysłu i usług) jest dystrybuowane w przestrzeni, w zależności od dostępności i atrakcyjności terenu dla danej funkcji. W przyjętym rozwiązaniu modelu makro województwo rozpatrywane jest jako zbiór konkurujących ze sobą mniejszych jednostek terytorialnych – gmin i powiatów. Zadaniem modelu makro jest również prognozowanie zmian demograficznych i zatrudnienia w poszczególnych powiatach i gminach w zależności od atrakcyjności danego obszaru dla inwestycji zależnej od wyjściowego potencjału demograficznego oraz położenia względem sieci drogowej. Model mikro – działa w skali mniejszej, na poziomie lokalnym. Opiera on swoje działanie na mapie użytkowania gruntów w województwie, podzielonej na komórki jednakowej wielkości, z których każda zajmowana jest przez jeden typ użytkowania. Model mikro, wykorzystując obliczenia modelu makro, tj. popytu na ziemię podlegającą urbanizacji, prognozuje przestrzenną strukturę użytkowania, określając jaki typ użytkowania gruntu przyjmie każda z komórek (tzw. grid) cyfrowej mapy użytkowania terenu.

W celu szczegółowego przedstawienia sposobu działania modelu makro i mikro poniżej opisano podstawowe pojęcia i elementy wykorzystanych modeli (White i in., 1997; White i Engelen, 2000).

Podstawowym elementem całego modelu jest cyfrowa mapa użytkowania gruntów w województwie. Składa się ona z komórek gridu o wymiarach 100m x 100m, z których każda jest w danym czasie zajęta przez jeden typ użytkowania (klasę). Typy użytkowania gruntów podzielone są na kategorie, które określają, jaką rolę w modelu pełni dany typ. Są to trzy następujące kategorie: funkcje aktywne, funkcje nieaktywne oraz cechy.

1. Funkcje aktywne. Do tej kategorii zalicza się te typy użytkowania gruntów, które powiązane są z modelem makro. Funkcjami aktywnymi są tereny zurbanizowane oraz tereny przemysłowe i usługowe. Liczba komórek, jaka będzie obsadzona w poszczególnych gminach przez te tereny wynika z obliczonej w modelu makro liczby ludności i zatrudnionych. W modelu występuje jednoznaczne powiązanie pomiędzy terenami zurbanizowanymi i ludnością oraz terenami przemysłowymi i usługowymi oraz zatrudnieniem.

2. Funkcje nieaktywne. Obejmują one typy użytkowania gruntów, dla których powierzchnia zajmowana przez nie w gminach nie jest dynamicznie generowana przez model makro, ale jest definiowana za pomocą linii trendu, którą wprowadza użytkownik – dotyczy to terenów rolniczych i lasów.

3. Cechy. W tej kategorii znajdują się klasy użytkowania, co do których zakłada się, że w modelowanym okresie nie zmieniają swojego położenia na mapie – wody, mokradła oraz składowiska i wyrobiska.

Oprócz mapy użytkowania gruntów model wymaga zdefiniowania poszczególnych typów użytkowania pod względem przydatności i dostępności dla określonej funkcji oraz stref planowania. Informacje te są wprowadzane do modelu w postaci map.

Mapy przydatności zawierają informację o dogodności warunków rozwoju dla poszczególnych typów użytkowania gruntów. Waloryzacja przydatności poszczególnych komórek gridu dla różnych klas użytkowania jest określona w skali od 0 do 1.

Mapy stref planowania zawierają informację o zasięgach ograniczeń prawnych dla poszczególnych typów użytkowania. Komórki na tej mapie mogą przyjmować wartość 1, która oznacza, że teren jest dostępny dla danego typu użytkowania, lub 0, co oznacza, że jest niedostępny – przykładem są ograniczenia dla zabudowy na gruntach organicznych.

Mapy dostępności informują o tym, w jakim stopniu wypełnione są potrzeby dostępu do sieci komunikacyjnej (różnych rodzajów dróg) dla poszczególnych typów użytkowania gruntów. Komórki na tych mapach przyjmują wartości od 0 do 1.

Model makro

Danymi wejściowymi dla modelu makro są: liczba ludności i liczba zatrudnionych w całym województwie dla każdego roku modelowanego okresu oraz te same wielkości dla poszczególnych gmin w roku początkowym. Sumaryczna liczba ludności i zatrudnionych w województwie nie jest modelowana i musi być wprowadzona z zewnątrz, na przykład jako wynik innego modelu. Dla celów analizy sytuacji demograficznej wykorzystano własny model dynamiki systemu (Stuczyński, 2007). Natomiast dystrybucja liczby ludności oraz liczby zatrudnionych w poszczególnych gminach jest wynikiem działania modelu makro. Zmiany tych wielkości wynikają z różnej atrakcyjności gmin dla osiedlania się i podejmowania pracy. W wyniku różnic w atrakcyjności następuje przepływ osób i zatrudnienia z gmin mniej atrakcyjnych do bardziej atrakcyjnych. Poza tym gminy bardziej atrakcyjne w większym stopniu korzystają z globalnego rozwoju województwa. Pojęcie atrakcyjności sformalizowane – względna atrakcyjność gminy j dla ludności w stosunku do gminy i wyraża się wzorem:

$${}^tT_{ludn,j,i} = \left(\frac{{}^tP_j}{{}^tV_{P,i} \cdot d_{j,i}} \right)^{\beta_1} \cdot \left(\frac{{}^tJ_j}{{}^tV_{J,i} \cdot d_{j,i}} \right)^{\beta_2} \cdot \left(\frac{{}^tW_{urb,i}}{{}^tW_{urb,j}} \right)^{\beta_3} \cdot \left(\frac{{}^tSm_{urb,j}}{{}^tSm_{urb,i}} \right)^{\beta_4} \cdot \left(\frac{{}^tZm_{urb,j} + 1}{{}^tZm_{urb,i} + 1} \right)^{\beta_5} \cdot \left(\frac{{}^tPm_{urb,j}}{{}^tPm_{urb,i}} \right)^{\beta_6}$$

gdzie

$T_{ludn,j,i}$ – Względna atrakcyjność gminy j dla ludności w stosunku do gminy i

P_j – liczba ludności w gminie j

J_j – liczba zatrudnionych w gminie j

$W_{urb,j}$ – gęstość terenów zurbanizowanych w gminie j (stosunek liczby ludności do powierzchni terenów zurbanizowanych)

$W_{urb,i}$ – gęstość terenów zurbanizowanych w gminie i

$Sm_{urb,j}$ – średnia przydatność dla terenów zurbanizowanych w gminie j

$Sm_{urb,i}$ – średnia przydatność dla terenów zurbanizowanych w gminie i

$Zm_{urb,j}$ – liczba dostępnych komórek (nieobjętych zakazami prawnymi) w gminie j

$Zm_{urb,i}$ – liczba dostępnych komórek (nieobjętych zakazami prawnymi) w gminie i

$Pm_{urb,j}$ – średni potencjał przejścia dla terenów zurbanizowanych w gminie j

$Pm_{urb,i}$ – średni potencjał przejścia dla terenów zurbanizowanych w gminie i

$d_{j,i}$ – odległość pomiędzy gminami (pomiędzy środkami gmin)

$V_{P,i}$, $V_{J,i}$ – potencjały ludności i zatrudnienia w gminie i .

Potencjał ludności to miara dostępności gminy do zasobów ludzkich (ludności i zatrudnienia) innych gmin.

Indeksy t przy wielkościach we wzorze pokazują, że ich wartości przyjmowane są w chwili t . Oznacza to, że wielkości te są dynamiczne i zmieniają się w czasie. Dotyczy to w szczególności atrakcyjności gmin. Wykładniki $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6$ mówią jak silnie na względną atrakcyjność wpływa dany czynnik. Kluczowym elementem poprawnie działającego modelu jest prawidłowe dobranie tych współczynników przez kalibrację na danych historycznych.

Względna atrakcyjność gminy j dla zatrudnienia w stosunku do gminy i wyraża się podobnym wzorem:

$${}^tT_{zatr.,j,i} = \left(\frac{{}^tP_j}{{}^tV_{P,i} \cdot d_{j,i}} \right)^{\delta_1} \cdot \left(\frac{{}^tJ_j}{{}^tV_{J,i} \cdot d_{j,i}} \right)^{\delta_2} \cdot \left(\frac{{}^tW_{ph,i}}{{}^tW_{ph,j}} \right)^{\delta_3} \cdot \left(\frac{{}^tSm_{ph,j}}{{}^tSm_{ph,i}} \right)^{\delta_4} \cdot \left(\frac{{}^tZm_{ph,j} + 1}{{}^tZm_{ph,i} + 1} \right)^{\delta_5} \cdot \left(\frac{{}^tPm_{ph,j}}{{}^tPm_{ph,i}} \right)^{\delta_6}$$

Wzory różnią się tylko wykładnikami (w przypadku zatrudnienia są to: $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4, \delta_5, \delta_6$) oraz tym, że gęstość, średnia przydatność, liczba dostępnych komórek i średni potencjał przejścia dotyczą teraz terenów przemysłowych i handlowych (odpowiada im indeks ph). Różne wykładniki we wzorach na atrakcyjność dla ludności i zatrudnienia wskazują na inną siłę działania poszczególnych czynników.

Przedstawione algorytmy modelu wskazują na to, jakie czynniki wpływają na atrakcyjność danej jednostki terytorialnej. Są one odzwierciedleniem ogólnej zasady, że im większe zaludnienie gminy i im wyższa liczba zatrudnionych, tym bardziej atrakcyjna jest gmina. Z kolei wysoka gęstość terenów zurbanizowanych oraz terenów przemysłowych i handlowych wpływa na atrakcyjność ujemnie. Kolejne trzy czynniki pokazują zależność modelu makro od modelu mikro. Wyższa przydatność terenów zajętych przez zabudowę lub przemysł i handel, powoduje większą atrakcyjność. Duża liczba dostępnych terenów także wpływa dodatnio na atrakcyjność gminy. Oprócz tego, (na co wskazuje ostatni czynnik) im chętniej zajmowane są tereny w gminie przez zabudowę oraz przemysł i handel tym wyższa atrakcyjność. Pojęcie potencjału przejścia zostanie omówione w części opisującej działanie modelu mikro.

Celem działania modelu makro i jego wynikiem jest określenie migracji ludności i zmiany liczby zatrudnionych w poszczególnych gminach w danym roku. Te wartości determinują liczbę komórek, jaką w danym roku zajmą w poszczególnych gminach tereny zurbanizowane oraz przemysłowe i usługowe.

Potencjał zmiany liczby ludności w gminie j jest sumą liczby ludności już obecnej, napływu ludności do gminy z dystrybucji prognozowanego globalnego wzrostu (wspomniana wcześniej linia trendu liczby ludności dla całego województwa) oraz napływu z innych gmin, pomniejszonego o odpływ do innych gmin. Wyraża się to następującym wzorem:

$${}^tD_{ludn,j} = {}^tX_{ludn,j} + {}^tD_{ludn,glob,j} + (1 - \phi_{ludn}) \cdot ({}^tD_{ludn,wpl,j} - {}^tD_{ludn,wyp,j})$$

- $D_{ludn,j}$ – zmiana liczby ludności w gminie j
- $X_{ludn,j}$ – liczba ludności w gminie j
- $D_{ludn,glob,j}$ – napływ ludzi do gminy j wynikający ze wzrostu globalnego
- $D_{ludn,wpl,j}$ – napływ ludności do gminy j z pozostałych gmin
- $D_{ludn,wyp,j}$ – odpływ ludności z gminy j do pozostałych gmin
- ϕ_{ludn} – współczynnik inercji w przepływie ludności

Na napływ ludności do gminy j z gminy i mają wpływ: względna atrakcyjność gminy j względem gminy i oraz sumaryczna atrakcyjność gminy i , a także liczba ludności w gminie i .

$${}^t D_{ludn, wpl, i, j} = (1 - \varphi_{ludn}) \cdot {}^t X_{ludn, i} \cdot \frac{{}^t T_{K, j, i}}{{}^t T_{K, i}}$$

Na całkowity napływ ludności do gminy j na ludność składa się suma napływów ze wszystkich innych gmin:

$${}^t D_{ludn, wpl, j} = \sum_{i \neq j} {}^t D_{ludn, wpl, i, j}$$

Natomiast całkowity odpływ z gminy jest równy maksymalnemu dopuszczalnemu (przez współczynnik inercji) odpływowi pomniejszonemu o napływ ludności do gminy.

$${}^t D_{ludn, wpl, j} = (1 - \varphi_{ludn}) \cdot {}^t X_{ludn, j} - {}^t D_{ludn, wpl, j, j}$$

Popyt na zatrudnienie jest wyliczany w identyczny sposób. We wszystkich powyższych wzorach zamienia się indeks *ludn* na *zatr*.

Model mikro

Model mikro steruje rozmieszczeniem poszczególnych typów użytkowania gruntów na mapie. Danymi wejściowymi dla modelu mikro są liczby komórek, jakie będą zajęte przez poszczególne typy użytkowania gruntów w każdej z gmin.

W przypadku funkcji aktywnych, czyli terenów zurbanizowanych oraz przemysłowych i usługowych otrzymuje się je z modelu makro przez podzielenie odpowiednio, liczby ludności i liczby zatrudnionych w gminie przez gęstość ludności i zatrudnienia na tych terenach. Gęstość może być także modelowana przez Metronamicę lub przyjęta jako stała.

Z kolei w przypadku funkcji nieaktywnych liczba komórek jest dla każdej gminy w poszczególnych latach wprowadzana przez użytkownika.

Mając zadaną powierzchnię, jaką w poszczególnych gminach ma zajmować dany typ użytkowania gruntów, model mikro określa dla każdej komórki z obszaru danej gminy jak będzie ona użytkowana, tzn. na jaką klasę użytkowania będzie przekształcona w określonym czasie. Decyduje o tym wyliczany dla każdej komórki i każdej funkcji potencjał przejścia. Wyraża się on wzorem:

$${}^t P_K = {}^t R_K \cdot S_K \cdot Z_K \cdot A_K, \text{ o ile } {}^t R_K \geq 0$$

$${}^t P_K = {}^t R_K \cdot (2 - S_K \cdot Z_K \cdot A_K), \text{ jeśli } {}^t R_K < 0$$

Oznaczenia:

K – oznacza funkcję, dla której liczony jest potencjał przejścia

S_K – przydatność terenu w komórce dla funkcji K (od 0 do 1)

Z_K – określa czy komórka jest dostępna (wartość 1), czy niedostępna dla funkcji K (wartość 0)

A_K – dostępność do sieci komunikacyjnej dla funkcji K w komórce (od 0 do 1)

R_K – efekt sąsiedztwa.

Efekt sąsiedztwa

Model mikro wyznacza dla każdej komórki wartość efektu sąsiedztwa, który jest odzwierciedleniem wpływu, jaki na kształtowanie terenu wywiera jego najbliższe otoczenie. Powszechnie wiadomo, że w przypadku popytu na tereny zurbanizowane nowa zabudowa mieszkaniowa i usługowa lokalizuje się w otoczeniu już istniejących obiektów. Komórki z otoczenia zajmowane przez różne typy gruntów (różne funkcje) wpływają na potencjalne pojawienie się funkcji K dodatnio, bądź ujemnie. Współczynnik R_K dla funkcji K w komórce jest sumą oddziaływań komórek obszaru o środku w rozpatrywanej komórce i promieniu ośmiu komórek. Należy tu zauważyć, że zazwyczaj największy wpływ mają komórki najbliższe, przylegające i wpływ ten maleje wraz ze wzrostem odległości.

Po obliczeniu potencjału przejścia, komórka obsadzana jest przez funkcję (typ użytkowania gruntów), dla której potencjał ten jest najwyższy, o ile liczba komórek obsadzonych w gminie przez tę funkcję nie zrównała się jeszcze z liczbą komórek wcześniej dla tej gminy określoną. W takim przypadku, komórka zajmowana jest przez funkcję o potencjale przejścia drugim z kolei – proces wyboru zachodzi iteracyjnie, aż do przyporządkowania w przestrzeni całego prognozowanego popytu na daną funkcję. Procedura ta jest stosowana dla wszystkich komórek, której ostatecznym efektem jest prognoza użytkowania gruntów w postaci mapy. Schemat procedury modelowania obrazuje rysunek 2.

Prognoza liczby ludności oraz zatrudnionych w przemyśle i usługach dla dwóch wariantów przebiegu Via Baltica

W tabeli 1 zamieszczono porównanie rozmieszczenia liczby ludności oraz liczby zatrudnionych dla dwóch rozpatrywanych wariantów przebiegu trasy Via Baltica. Na podstawie modelu dynamicznego (Stuczyński, 2007), który posłużył do wygenerowania liczby ludności oraz zatrudnionych w przemyśle i usługach dla całego województwa podlaskiego do roku 2020, przewiduje się nieznaczny wzrost zaludnienia. Model makro wskazuje na niewielką przewidywaną dynamikę zmian liczby ludności w poszczególnych powiatach województwa. Przewidywany wzrost liczby ludności jest względnie równomierny w poszczególnych powiatach. Większe migracje ludności pomiędzy powiatami nie występują. W wartościach bezwzględnych największy wzrost zaludnienia prognozowany jest dla Białegostoku, przy czym wzrost wyrażony w procentach nie odbiega zasadniczo od wartości przeciętnej dla województwa. Wyniki modelowania wskazują na brak istotnych różnic pomiędzy wariantami przebiegu Via Baltica w ich wpływie na migrację ludności w regionie.

Dużo większe zmiany ilościowe przewiduje się dla liczby zatrudnionych w przemyśle i usługach, co jest wynikiem przewidywanego spadku bezrobocia. Przewiduje się znaczący wzrost liczby zatrudnionych w całym województwie, jak i poszczególnych powiatach. Wzrost zatrudnienia w powiatach nie jest równomierny, przy czym niezależnie od wariantu przebiegu Via Baltica liczba zatrudnionych w przemyśle i usługach najbardziej wzrasta w Białymstoku. Wynika to z faktu, że na Białystok przypada większość wzrostu gospodarczego województwa. Ponadprzeciętny przyrost zatrudnionych widać także w Suwałkach i w Łomży. W przeciwieństwie do zmian liczby ludności, w przypadku zatrudnienia daje się zauważyć pewną różnicę we wpływie różnych wariantów przebiegu drogi Via Baltica na tę wielkość w

Tabela 1. Porównanie prognozowanej liczby zatrudnionych w przemyśle i usługach w 2020 r. w dwóch wariantach przebiegu drogi Via Baltica

Powiat	Liczba zatrudnionych			Różnica pomiędzy wariantami łomżyńskim a białostockim	Różnica pomiędzy wariantami w stosunku do zatrudnienia w 2005 r. [%]
	2005 r.	2020 r. wariant białostocki	2020 r. wariant łomżyński		
Augustowski	7 267	7 490	7 544	54	0,7
Białostocki	13 996	14 282	14 306	24	0,2
Bielski	8 168	8 712	8 794	82	1,0
Grajewski	5 785	6 079	6 259	180	3,1
Hajnowski	8 076	8 301	8 348	47	0,6
Kolneński	3 278	3 355	3 386	31	0,9
Łomżyński	2 993	3 027	3 056	29	1,0
Moniecki	3 415	3 408	3 417	9	0,3
Sejneński	1 940	1 978	1 990	12	0,6
Siemiatycki	4 868	4 917	4 939	22	0,5
Sokólski	7 831	7 875	7 900	25	0,3
Suwałski	2 430	2 486	2 502	16	0,7
Wysokomazowiecki	6 254	6 378	6 406	28	0,4
Zambrowski	5 042	5 603	5 557	-46	-0,9
Białystok	74 194	96 393	94 926	-1467	-2,0
Łomża	12 690	14 605	15 243	638	5,0
Suwałki	15 579	17 485	17 801	316	2,0

powiatach. W porównaniu do wariantu białostockiego, przy wariacie łomżyńskim wzrost liczby zatrudnionych w Białymstoku jest nieco mniejszy (choć Białystok nadal pozostaje zdecydowanie najlepiej rozwijającym się obszarem w województwie). Wariant łomżyński jest najbardziej korzystny dla Łomży, a także dla Suwałk i powiatu grajewskiego. Oprócz tego można zauważyć znikome zwiększenie przyrostów w pozostałych powiatach za wyjątkiem powiatu zambrowskiego, który przy wariacie łomżyńskim rozwija się nieco słabiej. Dane zamieszczone w tabeli 1 wskazują, że na wariacie łomżyńskim, w kontekście zatrudnienia, najbardziej traci Białystok, przy czym dystrybucja nowych miejsc pracy jest bardziej równomiernie rozłożona pomiędzy poszczególne powiaty.

Prognoza zmian użytkowania ziemi w województwie podlaskim do 2020 r.

W wyniku przeprowadzonego modelowania otrzymano dwie mapy prognozowanego użytkowania terenu w roku 2020 (rys. 3). Pierwsza mapa zakłada przebieg drogi międzynarodowej Via Baltica przez Białystok – wariant „Białystok”, druga przez Łomżę – wariant „Łomża”. W tabelach 2 i 3 scharakteryzowano ilościowo (ha) i procentowo zmiany użytkowania dla obu wariantów w sześciu teoretycznie możliwych kierunkach transformacji:

- 1) użytków rolnych w obszary leśne,
- 2) użytków rolnych w zabudowę mieszkaniową,
- 3) użytków rolnych w zabudowę przemysłową,
- 4) obszarów leśnych w zabudowę mieszkaniową,
- 5) obszarów leśnych w zabudowę przemysłową,
- 6) zabudowę mieszkaniową w przemysłową.

Inne możliwe kierunki transformacji ze względu na niewielkie prawdopodobieństwo zaistnienia nie były rozpatrywane (np. zabudowa w użytki rolne). Obie mapy wykazują podobne wartości dla odpowiadających sobie klas zmian.

Tabela 2. Przekształcenia w użytkowaniu terenu – symulacja 2005–2020 z założeniem przebiegu drogi Via Baltica przez Białystok

Powiat	Tr w Ls		Tr w Tz		Tr w Tp		Ls w Tz		Ls w Tp		Tz w Tp	
	[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]	[%]
Augustowski	3 036	4,4	606	0,9	64	0,1	188	0,2	46	0,1	22	0,7
Białostocki	5 975	4,1	2561	1,8	10	0,0	501	0,4	54	0,0	96	0,8
Bielski	2 056	2,1	658	0,7	0	0,0	119	0,4	5	0,0	26	0,3
Grajewski	1 780	3,0	188	0,3	7	0,0	168	0,6	8	0,0	34	1,1
Hajnowski	3 587	5,5	750	1,2	0	0,0	485	0,6	24	0,0	42	0,6
Kolneński	1 967	3,0	505	0,8	10	0,0	70	0,3	30	0,1	18	0,7
Łomżyński	2 997	3,3	762	0,8	0	0,0	207	0,6	20	0,1	27	0,6
Moniecki	1 835	2,4	610	0,8	0	0,0	134	0,3	31	0,1	28	0,8
Sejneński	872	2,1	353	0,9	16	0,0	138	0,4	4	0,0	15	1,4
Siemiatycki	3 912	4,7	1178	1,4	2	0,0	120	0,2	6	0,0	31	0,5
Sokółski	9 070	6,5	1304	0,9	0	0,0	137	0,2	8	0,0	30	0,4
Suwałski	2 492	2,7	292	0,3	10	0,0	329	1,1	49	0,2	9	0,6
Wysokomazowiecki	2 079	2,3	774	0,8	6	0,0	88	0,3	24	0,1	74	1,2
Zambrowski	1 412	3,1	331	0,7	0	0,0	61	0,2	3	0,0	35	1,1
m. Białystok	94	7,3	225	17,5	64	5,0	51	2,8	38	2,1	147	2,9
m. Łomża	10	0,7	39	2,7	17	1,2	1	2,8	2	5,6	10	0,8
m. Suwałki	44	1,3	137	4,0	134	3,9	10	0,9	10	0,9	22	1,7
Woj. podlaskie	43 218	3,7	11 273	1,0	340	0,0	2807	0,4	362	0,1	666	0,9

Tr – użytki rolne, Ls – lasy, Tz – zabudowa, Tp – strefy przemysłowe, usługowe i składowiska odpadów.

Uzyskana z modelu prognoza wskazuje na silny trend zalesiania użytków rolnych. W skali województwa prognozuje się zalesienie ponad 43 tysięcy hektarów, co stanowi 3,7% powierzchni użytków rolnych. Największy odsetek spodziewany jest w powiatach o obecnie najbardziej znaczącej powierzchni lasów (powiat sokólski – 6,5%, hajnowski – 5,5%). Należy zwrócić uwagę na bardzo wysoki procent prognozy zalesienia w białostockim powiecie miejskim (7,3%). Transformacja użytków rolnych w zabudowę mieszkaniową stanowi około 1/4 transformacji tej klasy w obszary leśne. Zgodnie z przewidywaniami największe nasilenie tego procesu uwidacznia się w powiatach miejskich. Procent transformacji w powiecie miejskim białostockim osiągną wartość powyżej 17%. Powiaty grajewski i suwalski w porównaniu z innymi wyraźnie wykazują niższe wartości (0,3%).

Rozprzestrzenianie się zabudowy mieszkaniowej, kosztem użytków rolnych i obszarów leśnych odpowiada w przybliżeniu procentowym stosunkom powierzchni tych klas w województwie. Natomiast w przypadku powiatów występują duże różnice – zarówno dla powiatów miejskich jak i ziemskich. Dla przykładu różnica w wielkości przyrostów zabudowy kosztem terenów rolniczych i leśnych dla powiatów charakteryzujących się dużym zalesieniem hajnowskim i sokólskim jest znacząca.

Tabela 3. Przekształcenia w użytkowaniu terenu – symulacja 2005–2020 z założeniem przebiegu drogi Via Baltica przez Łomżę

Powiat	Tr w Ls		Tr w Tz		Tr w Tp		Ls w Tz		Ls w Tp		Tz w Tp	
	[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]	[%]
Augustowski	3053	4,4	574	0,8	65	0,1	193	0,2	46	0,1	22	0,7
Białostocki	6110	4,2	2315	1,6	11	0,0	517	0,4	54	0,0	94	0,7
Bielski	2057	2,1	663	0,7	0	0,0	120	0,4	5	0,0	26	0,3
Grajewski	1777	3,0	206	0,3	9	0,0	160	0,6	8	0,0	35	1,2
Hajnowski	3578	5,5	762	1,2	0	0,0	484	0,5	24	0,0	42	0,6
Kolneński	1968	3,0	496	0,8	10	0,0	74	0,3	30	0,1	19	0,7
Łomżyński	2998	3,3	864	0,9	1	0,0	194	0,5	20	0,1	26	0,5
Moniecki	1835	2,4	608	0,8	0	0,0	132	0,3	32	0,1	28	0,8
Sejneński	871	2,1	353	0,9	16	0,0	138	0,4	4	0,0	15	1,4
Siemiatycki	3915	4,7	1179	1,4	2	0,0	120	0,2	6	0,0	32	0,5
Sokólski	9094	6,5	1282	0,9	1	0,0	144	0,3	8	0,0	30	0,4
Suwalski	2491	2,7	294	0,3	10	0,0	334	1,2	49	0,2	9	0,6
Wysokomazowiecki	2081	2,3	777	0,8	6	0,0	87	0,3	25	0,1	74	1,2
Zambrowski	1412	3,1	308	0,7	0	0,0	65	0,3	2	0,0	34	1,1
m. Białystok	94	7,3	208	16,1	49	3,8	51	2,8	39	2,1	144	2,9
m. Łomża	10	0,7	55	3,9	25	1,8	1	2,8	2	5,6	11	0,9
m. Suwałki	44	1,3	138	4,0	150	4,4	10	0,9	10	0,9	22	1,7
Woj. podlaskie	43 388	3,7	11 082	0,9	355	0,0	2824	0,4	364	0,1	663	0,9

Tr – użytki rolne, Ls – lasy, Tz – zabudowa, Tp – strefy przemysłowe, usługowe i składowiska odpadów.

Najsłabszy prognozowany trend w transformacji wykazała zabudowa przemysłowa i usługowa. Należy to tłumaczyć stosunkowo słabym uprzemysłowieniem całego regionu. Zabudowa mieszkaniowa w modelu wyraźnie wygrywa konkurencję z zabudową przemysłową, zarówno biorąc pod uwagę przekształcenia funkcji użytkowania użytków rolnych, jak też i obszarów leśnych. Transformacja użytków rolnych w zabudowę przemysłową jest znikoma z wyjątkiem powiatów grodzkich. Podobnie jest w przypadku prognozowanej transformacji obszarów leśnych w zabudowę przemysłową, choć transformacja w zabudowę mieszkaniową w przypadku tej klasy jest trzecią pod względem znaczenia w przeprowadzonej analizie. Nie notuje się też w tym wypadku tak dużych różnic między powiatami miejskimi i pozostałymi.

Porównanie zestawień dla dwu wariantów przebiegu drogi Via Baltica wykazuje niewielkie różnice między analizowanymi przebiegami.

Podsumowując wyniki prognoz zmian użytkowania terenu w latach 2005–2020 dla województwa podlaskiego można stwierdzić, że największe zmiany będą dotyczyć transformacji użytków rolnych w obszary leśne, co jest zgodne z obecną polityką zalesiania słabych kompleksów przydatności rolniczej gleb oraz gleb narażonych na erozję. Kolejnym znaczącym procesem może być rozprzestrzenianie się zabudowy mieszkaniowej, która według modelu, w skali województwa, proporcjonalnie (co do udziału powierzchni) zajmować będzie użytki rolne i obszary leśne. Natomiast rozprzestrzenianie się zabudowy przemysłowej i usługowej nie będzie stanowić wyraźnej presji w kierunku zajmowania terenów typowo rolniczych – transformacje te będą raczej zachodzić w granicach kompleksów już istniejącej rozproszonej zabudowy mieszkaniowej lub na sąsiadujących terenach otwartych.

Wykazane zmiany nie mają charakteru globalnego, zmieniającego strukturę użytkowania terenu w województwie czy nawet w poszczególnych powiatach, a jedynie charakter lokalny.

Literatura

- Agarwal C., Green G.M., Grove J.M., Evans T.P., Schweik C.M., 2001: A review and assessment of land use change models. Dynamics of space, time, and human choice. 1. Center for the Study of Institutions, Population, and Environmental Change, Indiana University and USDA Forest Service, Bloomington and South Burlington.
- Alonso W., 1964: Location and land use. Harvard University Press. Cambridge.
- Bürgi M. A.M., Schneeberger N., 2004: Driving forces of landscape change – current and new directions. *Landscape Ecol* 19(8): pp. 857-868.
- Engelen G., Geertman S., Smits P. and Wessels C., 1999: Dynamic GIS and Strategic Physical Planning: A Practical Application, [In:] Geographical Information and Planning. Advances in Spatial science, edited by: J. Stillwell, S. Geertman and S. Openshaw, pp. 87-111, Springer, Berlin, Germany.
- Stuczyński T., 2007: Assessment and modelling of land use change in Europe in the context of soil protection. Monografie i Rozprawy Naukowe. Wydawnictwa IUNG Puławy, z.19, 128 s.
- White R., Engelen G., 1997: Cellular automata as the basis of integrated dynamic modeling, *Environment and Planning B* 24: pp. 235-246.
- White R., Engelen G., Uljee I., 1997: The use of constrained cellular automata for high-resolution modeling of urban land use dynamics. *Environment and Planning B* 24, pp. 323-343.
- White R., Engelen G., 2000: High-resolution integrated modelling of the spatial dynamics of urban and regional systems. *Comput. Environ. Urban Syst.* 24, pp. 383-400.

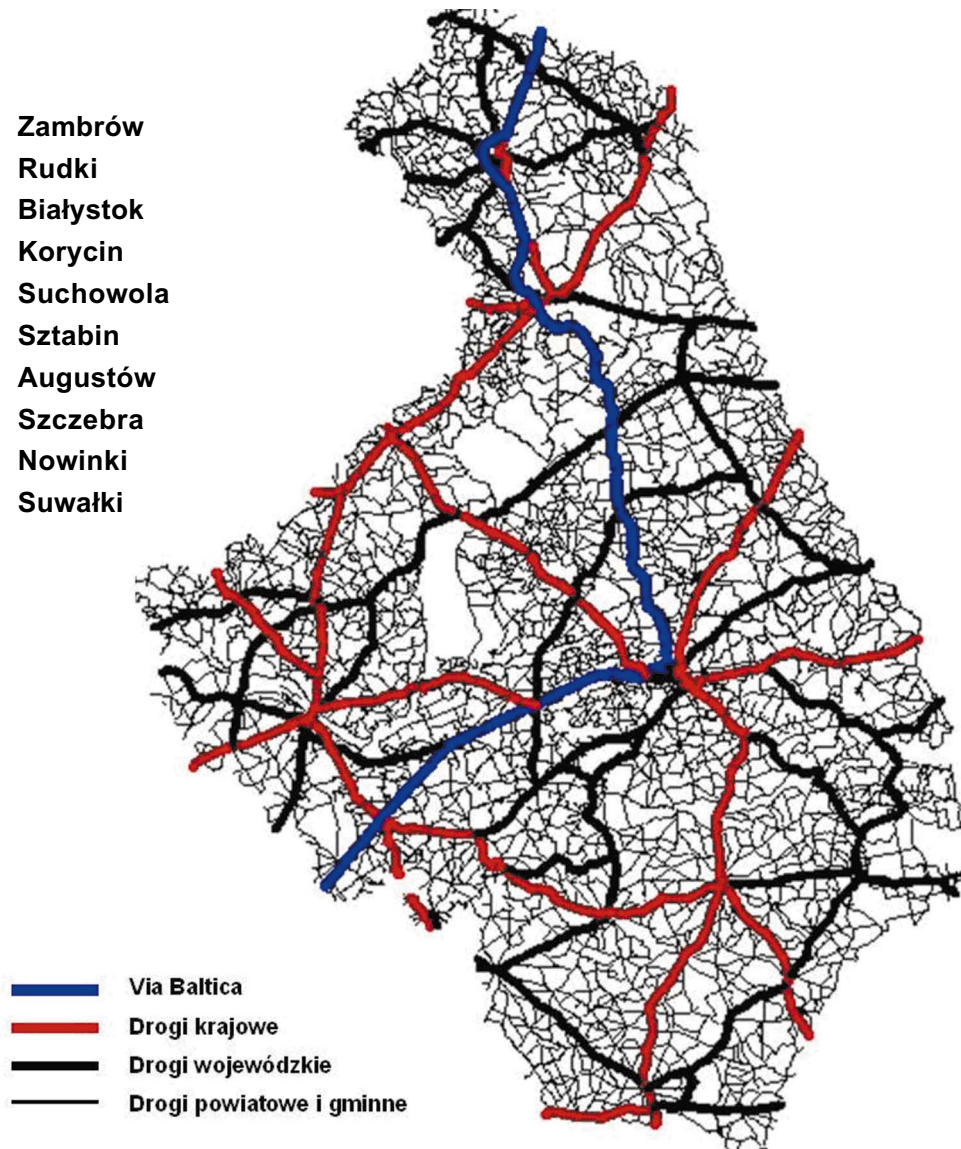
Abstract

The increasing pressure of urbanization processes on agricultural land observed in recent years, is the consequence of rapid economic growth. The protection of valuable soil habitats is not necessarily justified by the interest of agricultural sector but rather by the need of maintaining habitat functions of soils within urbanized areas. This issue is often not adequately addressed by investors and by planners. In this context, development of modeling methods enabling forecasting of land use changes for different scenarios of infrastructure development and planning becomes crucial. This paper demonstrates the application of cellular automata model for the ex ante assessment of agricultural land use changes for two alternative variants of Via Baltica road in podlaskie voivodeship – “łomżyński and “białostocki”. This article contains an extensive description of algorithms used in the model with special emphasis on assessment of factors controlling attractiveness of a particular administrative unit for urbanization. Results of the modeling suggest that there are negligible differences between these variants in terms of their impact on distribution of demand for urban land in different powiats (counties) of the voivodeship. However, “łomżyński” route is promoting more balanced development of the whole region. The tested model can be considered as support tool in decision making enabling forecasting and visualization of impacts resulting from different scenarios of spatial planning.

dr hab. Tomasz Sztuczyński
ts@iung.pulawy.pl

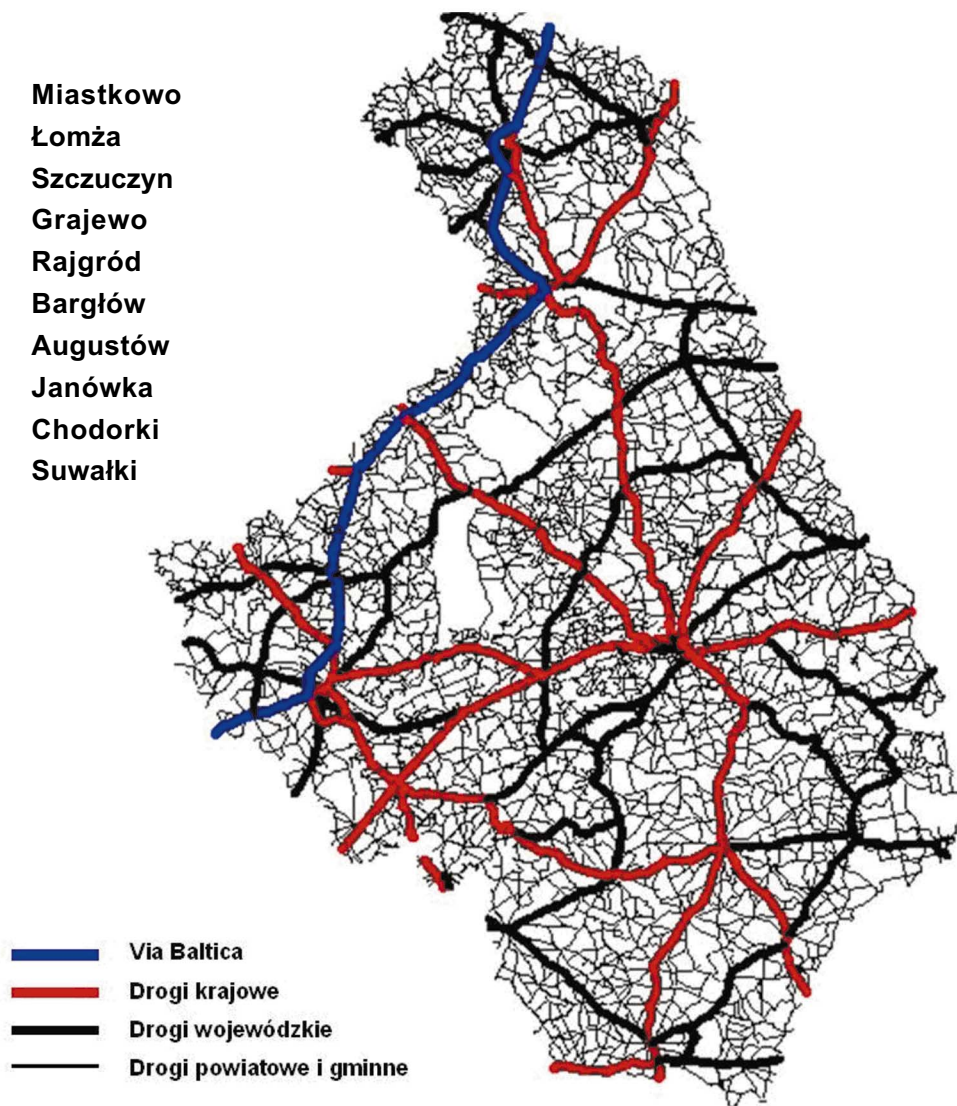
Doktoranci Instytutu Uprawy Nawożenia
i Gleboznawstwa, PIB
mgr Przemysław Czaban
mgr Monika Kowalik
mgr Artur Łopatka

Zambrów
Rudki
Białystok
Korycin
Suchowola
Sztabin
Augustów
Szczebra
Nowinki
Suwałki

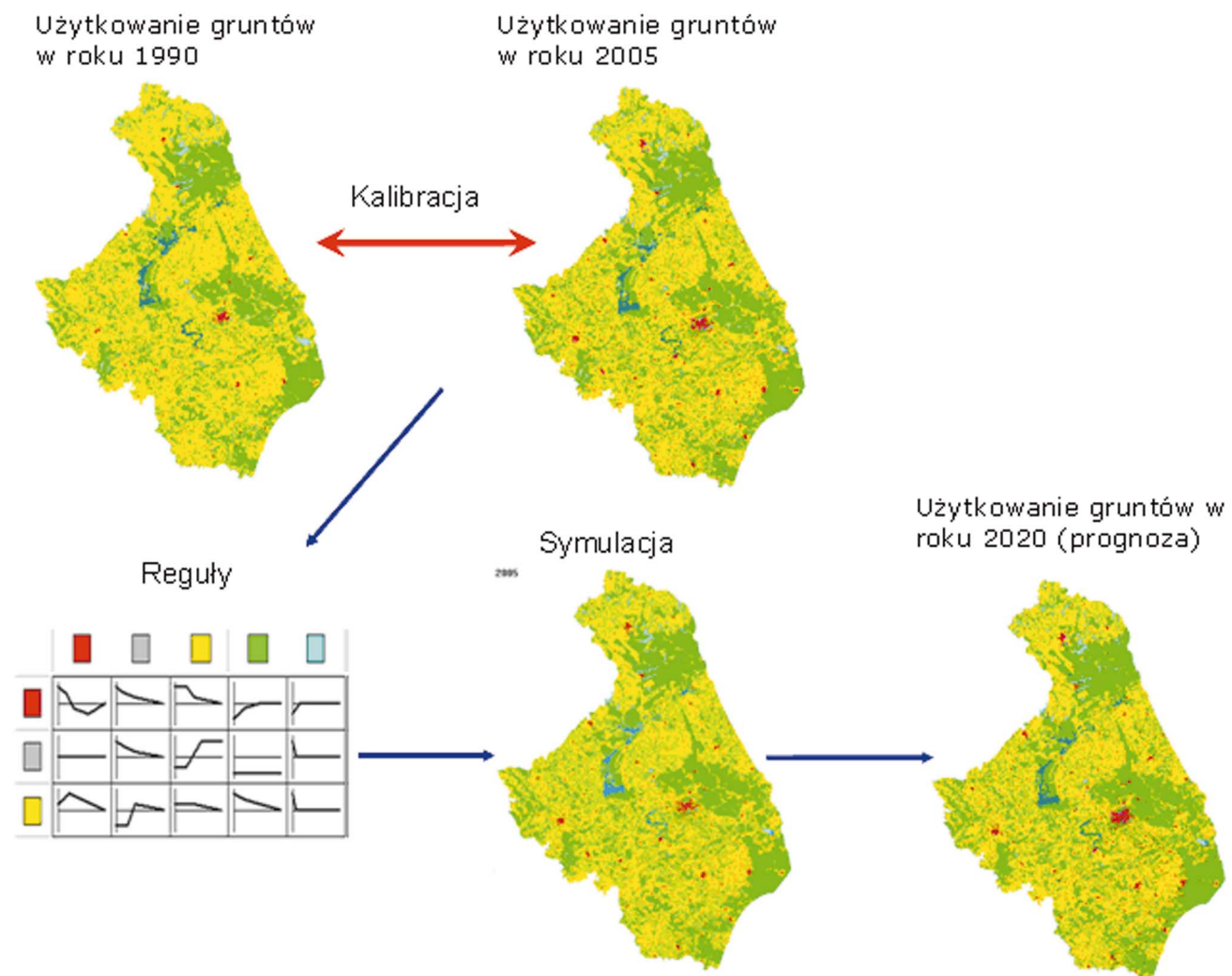


Rys. 1A. Przebieg drogi międzynarodowej Via Baltica – wariant białostocki

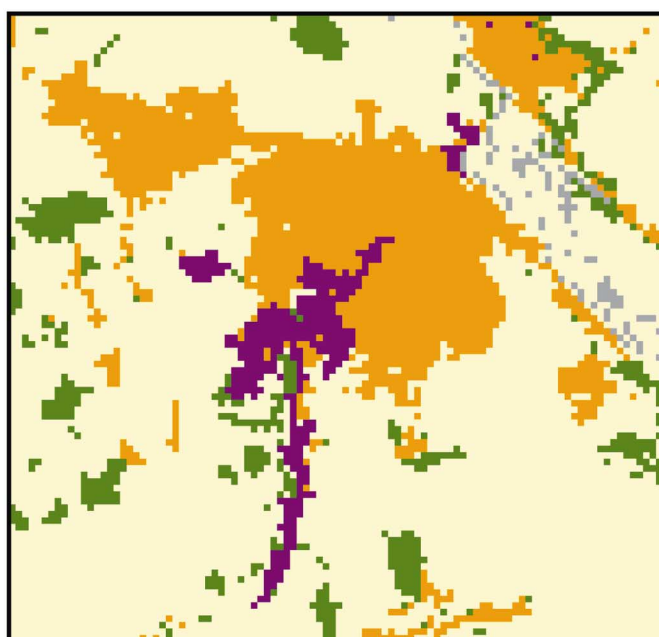
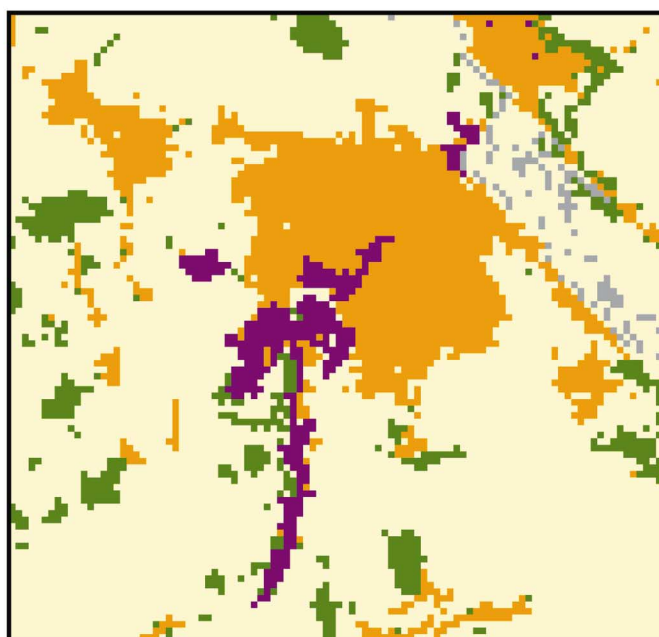
Miastkowo
Łomża
Szczuczyn
Grajewo
Rajgród
Bargłów
Augustów
Janówka
Chodorki
Suwałki








Rys. 1B. Przebieg drogi międzynarodowej Via Baltica – wariant łomżyński



Rys. 2. Schemat modelowania zmian użytkowania gruntów w programie Metronamica



-  tereny otwarte
-  lasy
-  zabudowa mieszkalna
-  zabudowa przemysłowa
-  inne (obszary poza modelowaniem)

Rys. 3. Prognoza użytkowania terenu w 2020 roku – porównanie wariantu białostockiego z łomżyńskim na przykładzie fragmentów map dotyczących miasta Białystok