

GEOMATYKA

w Lasach Państwowych

Część I. PODSTAWY



Centrum Informacyjne
Lasów Państwowych

Wydano na zlecenie
Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych
Warszawa 2010

© **Centrum Informacyjne Lasów Państwowych**
ul. Bitwy Warszawskiej 1920 r. nr 3, 02-362 Warszawa
tel.: (22) 822-49-31, fax: (22) 823-96-79
e-mail: cilp@cilp.lasy.gov.pl
www.lasy.gov.pl

Recenzenci

prof. dr hab. Jerzy Mozgawa – Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego,
Wydział Leśny
mgr inż. Paweł Pogoda – Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych

Redaktor prowadzący

mgr inż. Krzysztof Okła – Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych

Redakcja

Wawrzyniec Milewski

Projekt graficzny i redakcja techniczna

Bożena Widłaszewska

Korekta

Małgorzata Haze

ISBN 978-83-61633-01-3

Przygotowanie do druku

BARTGRAF

Ewa Księżopolska-Bisińska
00-549 Warszawa, ul. Piękna 24/26
tel.: (22) 625-55-48 fax: (22) 621-14-55
e-mail: bartgraf@bartgraf.com.pl

Druk i oprawa

ORWLP w Bedoniu

Spis treści

Przedmowa – <i>dr inż. Marian Pigan</i>	13
Wstęp – <i>mgr inż. Krzysztof Okła</i>	15
Autorzy rozdziałów	17
1. Historia geomatyki...	19
1.1. ... w leśnictwie – <i>prof. dr hab. Heronim Olenderek</i>	19
1.2. ... w Lasach Państwowych – <i>mgr inż. Krzysztof Okła</i>	28
1.2.1. System Informatyczny Lasów Państwowych	29
1.2.2. Pierwsze leśne mapy numeryczne w nadleśnictwach	30
1.2.3. Mapy numeryczne w innych jednostkach organizacyjnych LP ...	37
1.2.4. Ewolucja Standardu Leśnej Mapy Numerycznej	41
1.2.5. Pozycjonowanie satelitarne w Lasach Państwowych	44
1.2.6. Teledetekcja w Lasach Państwowych	45
1.2.7. Inne działania w zakresie wdrażania geomatyki w LP	47
2. Wprowadzenie do geomatyki leśnej – <i>dr inż. Dariusz Korpetta</i>	49
2.1. Pozyskiwanie danych	51
2.2. Przechowywanie, analizowanie danych i zarządzanie nimi	52
2.3. Zamiana danych na użyteczne informacje	54
3. Modele danych przestrzennych – <i>dr inż. Dariusz Korpetta</i>	57
3.1. Rodzaje modeli danych przestrzennych	58
3.1.1. Model wektorowy	58
3.1.1.1. Prosty model wektorowy	58
3.1.1.2. Topologiczny model danych wektorowych	59
3.1.2. Rastrowy model danych przestrzennych	61
3.1.3. Model TIN	64
3.2. Cechy danych systemu informacji przestrzennej	65

4. Układy współrzędnych geograficznych związane z leśną mapą numeryczną – dr inż. Włodzimierz Karaszkiewicz	67
4.1. Elementy kartografii matematycznej	68
4.1.1. Geoida i elipsoida ziemiska	69
4.1.2. Współrzędne elipsoidalne: prostokątne i geograficzne-geodezyjne	71
4.1.3. Współrzędne na elipsoidzie a współrzędne ziemskie ITRF	72
4.2. Odwzorowanie kartograficzne, układ współrzędnych topograficznych	74
4.2.1. Poprzeczne walcowe odwzorowanie Merkatora (Gaussa-Krügera)	75
4.2.2. Odwzorowanie ukośne azymutalne quasi-stereograficzne (Roussilhe’a)	76
4.3. Charakterystyki wybranych układów współrzędnych topograficznych stosowanych w opracowaniach wielkoskalowych w Polsce	77
4.3.1. Układ 1942	77
4.3.2. Układ PUW 1965	79
4.3.3. Układ PUWG 1992	80
4.3.4. Układ PUWG 2000	82
4.3.5. Inne państwowe układy odniesienia. Układy lokalne	83
4.4. Metody przeliczania i transformacje pomiędzy układami	84
4.5. Wysokość normalna. Wyznaczanie wysokości na podstawie pomiarów GNSS	87
5. Ewidencja gruntów a leśna mapa numeryczna	89
5.1. Wprowadzenie – <i>prof. dr hab. Heronim Olenderek</i>	89
5.2. Geodezja numeryczna – <i>prof. dr hab. Heronim Olenderek</i>	93
5.3. Mapa stanu posiadania nadleśnictwa – <i>mgr inż. Adam Pajda</i>	99
5.4. Topograficzna Baza Danych a leśna mapa numeryczna – <i>mgr inż. Robert Rutkowski</i>	104
5.4.1. Wprowadzenie	104
5.4.2. Topograficzna Baza Danych (TBD)	106
5.4.2.1. Założenia modelu pojęciowego wektorowej bazy TBD ..	107
5.4.2.2. Idea Wielorozdzielczej (Wieloreprezentacyjnej) Bazy Danych Topograficznych (WBDT)	107
5.4.3. Leśna mapa numeryczna	109
5.4.4. Relacje pomiędzy Topograficzną Bazą Danych a leśną mapą numeryczną	109
6. Źródła danych dla systemu informacji przestrzennej	113
6.1. Materiały źródłowe – <i>dr Andrzej Talarczyk, mgr inż. Bożydar Neroj</i>	113
6.1.1. Wstęp	113
6.1.1.1. Definicja systemu informacji przestrzennej	113
6.1.1.2. Reprezentacja rzeczywistości geograficznej	114
6.1.2. Dane z ewidencji gruntów i budynków	115
6.1.2.1. Dane geodezyjne w posiadaniu nadleśnictw i BULiGL	115
6.1.2.2. Dane w powiatowych ośrodkach dokumentacji geodezyjnej i kartograficznej	116
6.1.2.3. Dane o charakterze ewidencyjnym dostępne publicznie ..	117
6.1.3. Dane fotogrametryczne i teledetekcyjne	120
6.1.3.1. Ortofotomapy lotnicze i satelitarne w Państwowym Zasobie Geodezyjnym i Kartograficznym	120

6.1.3.2. Pozyskiwanie ortofotomap ze zdjęć lotniczych	121
6.1.3.3. Pozyskiwanie zdjęć satelitarnych	122
6.1.3.4. Skanowanie laserowe i radarowe	124
6.1.4. Numeryczny model terenu	124
6.1.4.1. NMT w Państwowym Zasobie Geodezyjnym i Kartograficznym	124
6.1.4.2. ASTER Global Digital Elevation Map	125
6.1.4.3. Numeryczny model terenu generowany z map topograficznych	125
6.1.4.4. Numeryczny model terenu na bazie wyników skanowania lotniczego	125
6.1.5. Pomiary GPS	126
6.1.6. Inne pomiary terenowe	127
6.1.7. Digitalizacja i wektoryzacja map	128
6.1.8. Informacje opisowe	128
6.2. Dokładność danych przestrzennych – <i>dr inż. Grażyna Kamińska</i>	129
6.2.1. Źródła błędów danych przestrzennych	129
6.2.2. Wybrane zagadnienia z teorii błędów	134
6.2.2.1. Błędy pomiarowe i ich klasyfikacja	135
6.2.2.2. Wybrane wskaźniki oceny dokładności pomiaru	136
6.2.2.3. Prawo przenoszenia się błędów średnich	137
6.2.3. Dokładność źródeł danych	139
6.2.3.1. Dokładność danych geodezyjnych	139
6.2.3.2. Dokładność danych obrazowych	141
6.2.3.3. Dokładność danych kartograficznych	143
6.2.3.4. Dokładność numerycznego modelu terenu	145
6.2.4. Podsumowanie	147
7. Proces budowania leśnej mapy numerycznej – mgr inż. Bożydar Neroj, dr Andrzej Talarczyk	149
7.1. Początki map numerycznych w polskim leśnictwie	149
7.2. ArcView i LEMAN – początek GIS dla nadleśnictw	152
7.2.1. Podkład geodezyjny	153
7.2.1.1. Podkład ewidencyjnej mapy numerycznej	153
7.2.1.2. Pierworys numeryczny mapy gospodarczej	154
7.2.2. Proces budowania LMN	155
7.2.2.1. Wektoryzacja sytuacji wewnętrznej	155
7.2.2.2. Rozliczanie powierzchni	155
7.2.2.3. Mapa cięć	156
7.2.3. Redakcja map	156
7.3. MapInfo oraz Mapan w leśnym GIS	157
7.4. Powstanie i zmiany Standardu Leśnej Mapy Numerycznej	158
7.5. Aktualizacja mapy	160
7.6. Zasadnicze zmiany w procesie budowania LMN nadleśnictwa	161
7.6.1. Zmiany w treści SLMN i ewolucja procesu odbierania mapy	161
7.6.2. Ortofotomapa	161
7.6.3. Pomiary GPS	162
7.6.4. Wprowadzenie nowych rozwiązań technologicznych opartych na środowisku ArcGIS	163
7.7. Podsumowanie	163
8. Baza opisowa w leśnej mapie numerycznej – <i>mgr inż. Adam Konieczny</i>	165
8.1. Różne formy opisowej bazy danych	165

8.2. Baza danych i system zarządzania bazą danych	167
8.3. Typy baz danych	168
8.3.1. Model hierarchiczny	168
8.3.2. Model sieciowy	169
8.3.3. Model relacyjny	169
8.3.4. Model obiektowy	173
8.3.5. Model obiektowo-relacyjny	175
8.4. Geobaza	176
8.5. Wybór SQL	180
9. Standard Leśnej Mapy Numerycznej – mgr inż. Tomasz Grzegorzewicz	183
10. Aktualizacja leśnej mapy numerycznej	
– mgr inż. Tomasz Grzegorzewicz	189
10.1. Wstęp	189
10.2. Mapa numeryczna a mapa analogowa	190
10.3. Aktualizacja – dobra praktyka i obowiązek	191
10.4. Terminy wykonywania aktualizacji	192
10.5. Aktualizacja w praktyce	195
11. Numeryczny model terenu (NMT) – dr hab. inż. Krzysztof Będkowski	199
11.1. Rodzaje modeli terenu	199
11.2. Źródła danych do budowy NMT	202
11.2.1. Pomiary bezpośrednie	203
11.2.2. Przetwarzanie materiałów kartograficznych	203
11.2.3. Opracowania fotogrametryczne	203
11.2.4. Interferometria radarowa	205
11.3. Numeryczne modele pokrycia terenu	205
11.4. Globalne modele terenu .	206
11.4.1. Numeryczny globalny model terenu GTOPO30	206
11.4.2. Numeryczny globalny model terenu SRTM	207
11.4.3. Numeryczny globalny model pokrycia terenu ASTER GDEM	208
11.5. Produkty pochodne numerycznych modeli terenu i innych danych przestrzennych	209
11.6. Numeryczne modele terenu w leśnictwie	210
12. Analizy przestrzenne	213
12.1. Rodzaje analiz przestrzennych – dr Joanna Adamczyk, mgr inż. Adam Konieczny	213
12.1.1. Operacje na atrybutach i warstwach	217
12.1.2. Algebra mapowa	217
12.1.3. Wybór metody próbkowania	219
12.1.4. Interpolacja	220
12.1.5. Statystyki opisowe	221
12.1.6. Analizy rastrowe i rastrowo-wektorowe	221
12.1.7. Analizy poziome	223
12.1.8. Analizy pionowe	224
12.1.9. Analizy poziome oraz pionowe	225
12.1.10. Analiza wielowymiarowa	227
12.1.11. Analiza błędu	228
12.1.12. Przestrzenne systemy wspomaganie decyzji	229
12.1.13. Geowizualizacja	233
12.2. Geostatystyka w leśnym SIP – dr inż. Wiktor Tracz	234
12.2.1. Pojęcie geostatystyki	234
12.2.2. Podstawy teoretyczne	235

12.2.3.	Warunki praktycznego zastosowania geostatystyki w leśnym SIP	241
12.3.	Zastosowanie sieci neuronowych i systemów ekspertowych w leśnym SIP – <i>dr inż. Wiktor Tracz</i>	242
12.4.	Analizy przestrzenne w praktyce leśnej – <i>mgr inż. Radomir Bałazy</i>	248
12.4.1.	Wstęp	248
12.4.2.	Przykłady analiz	249
12.4.2.1.	Symulacja zalania szkółki leśnej w Nadleśnictwie Świeradów	250
12.4.2.2.	Przykłady obliczeń inżynierskich na potrzeby projektowanej drogi	252
12.4.2.3.	Model przestrzenny nadajnika radiowo-telewizyjnego przy wyborze miejsca pod wieżę widokową	253
12.4.2.4.	Przykład wyboru lokalizacji pod plantację limbową	254
12.4.2.5.	Analiza potencjalnej erozji w masywie „Stogu Izerskiego” w kontekście projektowanej ścieżki edukacyjnej	256
12.4.2.6.	Wybór optymalnej trasy projektowanej nartostrady	257
12.4.3.	Podsumowanie	260
13.	Kartograficzne metody prezentacji – <i>dr Tomasz Olenderek</i>	263
13.1.	Metoda zasięgów	264
13.2.	Metoda chorochromatyczna	266
13.3.	Metoda sygnatur	268
13.4.	Metoda kropkowa	271
13.5.	Metoda kartogramu	272
13.6.	Metoda kartodiagramu	274
13.7.	Metoda izolinii	275
14.	Teledetekcja i fotogrametria obszarów leśnych	277
14.1.	Podstawy teledetekcji i fotogrametrii – <i>prof. dr hab. Tomasz Zawila-Niedźwiecki</i>	277
14.1.1.	Wprowadzenie	277
14.1.2.	Techniki pozyskiwania teledetekcyjnej informacji obrazowej	285
14.1.2.1.	Techniki pasywne	286
14.1.2.1.1.	Zdjęcia panchromatyczne	286
14.1.2.1.2.	Zdjęcia w barwach naturalnych	287
14.1.2.1.3.	Zdjęcia podczerwone	288
14.1.2.1.4.	Zdjęcia wielospektralne	292
14.1.2.1.5.	Zdjęcia wideo	295
14.1.2.1.6.	Zdjęcia hemisferyczne	295
14.1.2.2.	Techniki aktywne	297
14.1.2.2.1.	Zdjęcia radarowe	297
14.1.2.2.2.	Zdjęcia lidarowe	297
14.2.	Lotnicze obrazowanie Ziemi – <i>dr inż. Emilia Wiśniewska</i>	299
14.2.1.	Zdjęcie lotnicze i realizacja rzutu środkowego	301
14.2.2.	Orientacja zdjęcia lotniczego	302
14.2.3.	Skala i format zdjęcia lotniczego	304
14.2.4.	Wykonywanie lotów fotogrametrycznych	307
14.2.5.	Stereoskopia	310

14.2.6.	Ortorektyfikacja i mozaikowanie zdjęć lotniczych	310
14.3.	Satelitarne obrazowanie Ziemi	
	– <i>prof. dr hab. Tomasz Zawila-Niedźwiecki</i>	312
14.3.1.	Orbity	313
14.3.2.	Rozdzielczość	313
	14.3.2.1. Rozdzielczość przestrzenna	314
	14.3.2.2. Rozdzielczość spektralna	315
	14.3.2.3. Rozdzielczość czasowa	317
	14.3.2.4. Rozdzielczość radiometryczna	317
14.3.3.	Wielkość plików obrazowych	318
14.3.4.	Skala zdjęć i materiałów pochodnych	318
14.3.5.	Charakterystyki najważniejszych satelitów	319
14.4.	Przetwarzanie i klasyfikacja zdjęć – <i>prof. dr hab. Tomasz Zawila-Niedźwiecki</i>	320
14.5.	Skaning laserowy	326
	14.5.1. Lotniczy skaning laserowy – <i>dr hab. inż. Krzysztof Będkowski, dr inż. Piotr Wężyk</i>	326
	14.5.1.1. Wprowadzenie do technologii lotniczego skaningu laserowego	326
	14.5.1.1.1. Historia rozwoju technologii ALS	327
	14.5.1.1.2. Komponenty systemu	329
	14.5.1.1.3. Typy skanerów lotniczych i technologia skanowania ALS	330
	14.5.1.1.3.1. Ślad plamki na obiekcie	331
	14.5.1.1.3.2. Nalot ALS oraz pomiary terenowe	331
	14.5.1.1.3.3. Przetwarzanie danych ALS	333
	14.5.1.2. Zastosowanie technologii ALS w leśnictwie	335
	14.5.1.3. Projekty ALS do celów leśnych realizowane w Polsce	343
	14.5.2. Naziemny skaning laserowy – <i>dr inż. Piotr Wężyk</i>	343
	14.5.2.1. Wprowadzenie do technologii naziemnego skaningu laserowego	343
	14.5.2.2. Zastosowania TLS w leśnictwie	355
14.6.	Specyfika fotogrametrii leśnej – <i>dr hab. inż. Krzysztof Będkowski</i>	357
	14.6.1. Uwarunkowania przyrodnicze	358
	14.6.2. Uwarunkowania techniczne	360
	14.6.3. Dobór warunków wykonania zdjęć na potrzeby leśnictwa i ich fotogrametrycznego opracowania	362
14.7.	Zdjęcia mikrofalowe – <i>dr Krystyna Stankiewicz</i>	367
	14.7.1. Metoda pozyskiwania obrazów mikrofalowych – zasada działania SAR	368
	14.7.2. Charakterystyka promieniowania mikrofalowego wykorzystywanego w teledetekcji	371
	14.7.2.1. Długości fal	371
	14.7.2.2. Polaryzacja	372
	14.7.2.3. Kąt obserwacji i kąt padania mikrofal	373
	14.7.2.4. Spójność wiązki mikrofalowej i plamkowanie	373
	14.7.2.5. Współczynnik wstecznego rozpraszania	374
	14.7.3. Interpretacja zdjęć mikrofalowych	374

14.7.4.	Zastosowania zdjęć mikrofalowych	381
14.8.	Inne techniki w teledetekcji i fotogrametrii	383
14.8.1.	Zdjęcia niemetryczne – <i>dr inż. Emilia Wiśniewska</i>	383
14.8.1.1.	Bezzałogowe środki latające rejestrujące zdjęcia niemetryczne	384
14.8.1.2.	Załogowe środki latające rejestrujące zdjęcia niemetryczne	387
14.8.1.3.	Perspektywy wykorzystania zdjęć niemetrycznych w Lasach Państwowych	391
14.8.2.	Zdjęcia hemisferyczne – <i>dr inż. Paweł Strzeliński</i>	391
14.8.2.1.	Wstęp	391
14.8.2.2.	Zastosowanie zdjęć hemisferycznych	392
14.8.2.3.	Sprzęt i oprogramowanie	394
14.8.2.4.	Założenia metodyczne	396
14.8.2.5.	Podsumowanie	397
14.8.3.	System kartowania mobilnego – MMS – <i>dr inż. Andrzej Choromański</i>	398
14.8.3.1.	Wprowadzenie	398
14.8.3.2.	Przegląd technologii	401
14.8.3.3.	Dotychczasowe zastosowania MMS w PGL Lasy Państwowe	401
14.8.3.4.	Metoda inwentaryzacji obiektów liniowych w lasach z wykorzystaniem MMS	403
14.8.3.5.	Analiza korzyści i kosztów	408
14.9.	Dostępność zdjęć lotniczych i zobrazowań satelitarnych – <i>dr inż. Piotr Wężyk</i>	411
14.9.1.	Zdjęcia lotnicze	411
14.9.2.	Zobrazowania satelitarne	415
14.9.2.1.	Satelita IKONOS-2 (GeoEye)	415
14.9.2.2.	Satelita QuickBird-2	416
14.9.2.3.	Satelita SPOT	417
14.9.2.4.	Inne systemy satelitarnego obrazowania	418
14.10.	Możliwości wykorzystania teledetekcji i fotogrametrii w Lasach Państwowych – <i>mgr inż. Krzysztof Okła</i>	419
14.10.1.	Wprowadzenie	419
14.10.2.	Przykłady zastosowania zdjęć lotniczych i satelitarnych w gospodarce leśnej	421
14.10.3.	Praktyczne stosowanie metod teledetekcyjnych w LP	434
15.	Globalne systemy nawigacji satelitarnej	
	– <i>dr inż. Michał Brach</i>	437
15.1.	Wstęp	437
15.2.	Segment satelitarny	438
15.3.	Segment kontrolny	440
15.3.1.	Zróznicowanie dokładności pomiarów	440
15.4.	Segment użytkownika	441
15.5.	Zasada działania odbiornika nawigacyjnego	441
15.6.	Czynniki obniżające dokładność pomiarów odbiornikiem nawigacyjnym	443
15.7.	Różnicowa metoda pomiaru – DGPS	445
15.7.1.	Metody wykonania korekcji różnicowej (DGPS)	447
15.8.	Pomiary fazowe odbiornikiem GNSS	449
15.9.	Planowanie sesji pomiarowej	449

15.10.	Wybór odbiornika nawigacyjnego	451
15.11.	Poligon doświadczalny w Margoninie	453
15.12.	Pomiary odbiornikiem GNSS	455
15.13.	Zastosowanie odbiorników GNSS	458
16.	Udostępnianie danych przestrzennych o lasach	461
16.1.	Zasady udostępniania danych przestrzennych w Lasach Państwowych – <i>mgr inż. Tomasz Grzegorzewicz</i>	461
16.1.1.	Przepisy regulujące udostępnianie danych przestrzennych	461
16.1.1.1.	Ustawa o dostępie do informacji publicznej	462
16.1.1.2.	Ustawa o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko	463
16.1.2.	Zasady udostępniania informacji przez jednostki LP	464
16.2.	Dyrektywa INSPIRE w Lasach Państwowych – <i>mgr Jolanta Starzycka</i>	467
16.2.1.	Infrastruktura informacji przestrzennej w Europie INSPIRE	467
16.2.2.	Polska infrastruktura informacji przestrzennej	468
16.2.3.	Możliwości stosowania dyrektywy INSPIRE w Lasach Państwowych	469
16.2.4.	Metadane – definicja	469
16.2.5.	Metadane w INSPIRE	470
16.2.6.	Metadane Lasów Państwowych	471
16.3.	Geomatyka leśna w Internecie – <i>dr inż. Piotr Wężyk</i>	473
16.3.1.	Dane i ich prezentacja	474
16.3.2.	Wiedza	481
16.3.3.	Komunikacja	483
16.3.4.	Narzędzia geomatyczne, strony firm geoinformatycznych	484
16.3.5.	Przeszłość geomatyki leśnej w Internecie	484
17.	Geomatyka w ochronie przyrody – dr Andrzej Talarczyk, dr Joanna Adamczyk	487
17.1.	Techniki geomatyczne w inwentaryzacjach przyrodniczych	488
17.1.1.	Inwentaryzacja siedlisk i gatunków chronionych roślin i zwierząt na terenie Lasów Państwowych	488
17.1.2.	Inwentaryzacje obszarów Natura 2000	490
17.1.2.1.	Inwentaryzacja siedlisk i rzadkich gatunków roślin i zwierząt na terenie obszarów Natura 2000 (2007)	490
17.1.2.2.	Inwentaryzacja ptaków na terenie 17 projektowanych obszarów Natura 2000 (2008).....	492
17.1.2.3.	Integracja danych z inwentaryzacji przyrodniczych na obszarach Natura 2000 pochodzących z różnych źródeł	493
17.1.3.	Analiza bogactwa przyrodniczego Polski	493
17.2.	Monitoring środowiska i zarządzanie zasobami przyrody w Polsce	495
17.2.1.	Monitoring środowiska w Polsce	495
17.2.2.	GIS w parkach narodowych	498
17.3.	Środowiskowe bazy danych	502

17.3.1. Bazy danych Unii Europejskiej	502
17.3.2. Polskie bazy danych środowiskowych	504
17.4. Podsumowanie	506
18. Geomatyka w public relations i edukacji przyrodniczo-leśnej	
– <i>dr Joanna Adamczyk, dr hab. inż. Krzysztof Będkowski</i>	507
18.1. Wstęp	507
18.2. Edukacja przyrodnicza za pomocą narzędzi geomatyki	508
18.3. Partycypacja społeczna w zarządzaniu środowiskiem	512
18.4. Geoinformacja w turystyce	516
18.5. Gry w przestrzeni realnej i wirtualnej	517
18.6. Podsumowanie	519
19. Kształcenie i szkolenia z zakresu geomatyki	521
19.1. Uczelnie wyższe – <i>prof. dr hab. Heronim Olenderek,</i> <i>dr Tomasz Olenderek</i>	521
19.2. Szkolenia w Lasach Państwowych – <i>mgr inż. Krzysztof Okła</i>	529
19.2.1. Szkolenia centralne	531
19.2.2. Szkolenia regionalne	533
20. Konferencje SIP w Lasach Państwowych	
– <i>mgr inż. Krzysztof Okła</i>	535
Zakończenie – <i>prof. dr hab. Heronim Olenderek</i>	543
Literatura	551
Indeks	561

Przedmowa

Nowoczesne technologie geomatyczne są nieodzownym elementem w zarządzaniu największą powierzchniowo firmą w Polsce – Lasami Państwowymi. Z tego względu od kilkunastu już lat wprowadzamy do praktyki leśnej technologie GIS, wdrażamy narzędzia i nowoczesne rozwiązania geomatyczne.

Zacząło się od badań naukowych w nadleśnictwach Brzeziny, Ujsoły i Wipsowo oraz prostego wykorzystywania mapy numerycznej pozyskanej do zasobów Dyrekcji Generalnej LP. Kolejnym etapem było wykonanie leśnych map numerycznych dla wszystkich nadleśnictw, upowszechnienie stosowania pozycjonowania satelitarnego GPS i mniej popularnego numerycznego modelu terenu, regularne już używanie ortofotomap przy pracach urzędzeniowych, wreszcie prowadzone w ostatnim okresie badania nad skanowaniem lidarowym.

Wdrażanie geomatyki w Lasach Państwowych zostało docenione przyznaniem w 2009 r. nagrody za szczególne osiągnięcia w systemach GIS – nadawanej przez firmę ESRI, światowego lidera wdrożeń w zakresie technologii GIS – za opracowany i wdrożony system GIS w LKP „Sudety Zachodnie”. Nagroda ma szczególny wymiar, jeśli weźmiemy pod uwagę fakt, że projekt został wybrany spośród ponad 100 tys. użytkowników GIS z całego świata.

Nie mielibyśmy jednak tych osiągnięć, gdyby nie ludzie. To im – zarówno pracującym w Lasach Państwowych, jak i wspomagającym nas naukow-

com, a także pobierającym nauki na leśnych uczelniach i zatrudnionym we współpracujących z nami firmach – zawdzięczamy to, co osiągnęliśmy.

Oto mają Państwo przed sobą opracowanie, które jest wynikiem zapotrzebowania na taką publikację nie tylko uczestników konferencji geomatycznych organizowanych przez DGLP, którzy o to wnioskowali, ale także wielu pracowników jednostek organizacyjnych Lasów Państwowych i naukowców zainteresowanych szerzeniem wiedzy o leśnej geematyce. Do przejrzania niniejszej książki chciałbym zachęcić również osoby decydujące o zastosowaniach odpowiednich technologii geomatycznych w gospodarce leśnej, ażeby zawarta w niej wiedza inspirowała do praktycznego wykorzystywania rozwiązań geomatycznych w zarządzaniu lasami.

Darz Bór

dr inż. Marian Pigan
Dyrektor Generalny Lasów Państwowych

Wstęp

Już w 1997 r. profesor Heronim Olenderek, najbardziej znacząca postać w dziedzinie geomatyki leśnej w Polsce, tak wyjaśniał konieczność wprowadzenia systemu informacji przestrzennej do polskich lasów:

Fakt wprowadzenia Systemu Informatycznego Lasów Państwowych jest podstawową okolicznością sprzyjającą i zarazem wymuszającą budowę systemów informacji przestrzennej dla nadleśnictw. Będą one stanowić rozwinięcie części tabelarycznej SILP o zobrazowania przestrzenne zapisanych danych.

Z dzisiejszej perspektywy wiemy, że cel został osiągnięty i system informacji przestrzennej w Lasach Państwowych został wdrożony. Początkowo (w drugiej połowie lat 90.) wprowadzony w kilku nadleśnictwach eksperymentalnie, od 1998 r. był już wdrażany systematycznie, najczęściej w związku z pracami urzędzeniowymi. Dziś funkcjonuje w codziennej pracy wszystkich nadleśnictw, a także na poziomie regionalnym i krajowym.

Niniejsza publikacja, będąca uaktualnieniem podręcznika użytkownika leśnej mapy numerycznej z 2000 r., zatytułowanego „System Informacji Przestrzennej w Lasach Państwowych”, jest wynikiem rosnącego zapotrzebowania na poszerzoną wiedzę o geomatyce leśnej ze strony pracowników jednostek organizacyjnych Lasów Państwowych, a także studentów wydziałów leśnych i pokrewnych kształcących nowe kadry, dla których geomatyka leśna będzie już chlebem powszednim. Wraz z rozwojem nowych technik i technologii geomatycznych otwierają się nowe możliwości

wykorzystania ich w praktyce, a co za tym idzie – konieczność zapoznania przyszłych użytkowników tych technologii z ich praktycznym stosowaniem. Nie jest to więc zwykle wznowienie poprzedniej edycji. Obok podstaw wiedzy na temat GIS-u, zaprezentowanej poprzednio, autorzy starali się przekazać informacje o nowych możliwościach, które wnieść może geoinformacja do praktyki leśnej. Również zmieniony nieco tytuł („Geomatyka” zamiast „System Informacji Przestrzennej”) wskazuje na poszerzenie treści publikacji.

Wiedza zawarta w opracowaniu, które Państwo mają przed sobą, jest wynikiem wieloletniego doświadczenia autorów poszczególnych rozdziałów, zdobywanego w trakcie praktycznego stosowania geomatyki w nadleśnictwach, a także w wyniku prowadzonych badań nad implementacją do rodzimych warunków najnowszych światowych zdobyczy z zakresu geoinformacji. Autorzy pracy są wybitnymi geomatycznymi o dużych osiągnięciach w swoich specjalnościach. Wywodzą się ze środowisk naukowych, z firm komercyjnych, a niektórzy są pracownikami Lasów Państwowych. Takie połączenie nauki i praktyki powinno przynieść wymierne korzyści i spełnić cel opracowania, którym jest edukacja leśników, zarówno zatrudnionych w Lasach Państwowych, jak i dopiero co zdobywających leśne szlify, w stosunkowo nowej jeszcze dyscyplinie – geomatyce leśnej.

Krzysztof Okła

Autorzy rozdziałów

Dr Joanna Adamczyk, *Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Leśny, Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa* – rozdz. 12.1; 17; 18.

Mgr inż. Radomir Bałazy, *Nadleśnictwo Świeradów* – rozdz. 12.4.

Dr hab. inż. Krzysztof Będkowski, prof. SGGW, *Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Leśny, Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa* – rozdz. 11; 14.5.1; 14.6; 18.

Dr inż. Michał Brach, *Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Leśny* – rozdz. 15.

Dr inż. Andrzej Choromański, *GeoInvent sp. z o.o.* – rozdz. 14.8.3.

Mgr inż. Tomasz Grzegorzewicz, *Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, Wydział Urządzania Lasu i Geoinformatyki* – rozdz. 9; 10; 16.1.

Dr inż. Grażyna Kamińska, *Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Leśny, Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa* – rozdz. 6.2.

Dr inż. Włodzimierz Karaszewicz, *Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Leśny* – rozdz. 4.

Mgr inż. Adam Konieczny, *Taxus SI sp. z o.o.* – rozdz. 8; 12.1.

Dr inż. Dariusz Korpetta, *Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Leśny* – rozdz. 2; 3.

Mgr inż. Bożydar Neroj, *Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej, Zarząd* – rozdz. 6.1; 7.

- Mgr inż. Krzysztof Okła**, *Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, Wydział Urządzania Lasu i Geoinformatyki* – rozdz. 1.2; 14.10; 19.2; 20.
- Prof. dr hab. Heronim Olenderek**, *Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Leśny, Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa* – rozdz. 1.1; 5.1; 5.2; 19.1; Zakończenie.
- Dr Tomasz Olenderek**, *Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Leśny, Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa* – rozdz. 13; 19.1.
- Mgr inż. Adam Pajda**, *Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej Oddział w Przemyślu* – rozdz. 5.3.
- Inż. Robert Rutkowski**, *GeoInvent sp. z o.o.* – rozdz. 5.4.
- Dr Krystyna Stankiewicz**, *Wyższa Szkoła Informatyki Stosowanej i Zarządzania* – rozdz. 14.7.
- Mgr Jolanta Starzycka**, *Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, Wydział Urządzania Lasu i Geoinformatyki* – rozdz. 16.2.
- Dr inż. Paweł Strześliński**, *Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Wydział Leśny* – rozdz. 14.8.2.
- Dr Andrzej Talarczyk**, *Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej, Zarząd* – rozdz. 6.1; 7; 17.
- Dr inż. Wiktor Tracz**, *Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Leśny, Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa* – rozdz. 12.2; 12.3.
- Dr inż. Piotr Wężyk**, *Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Leśny* – rozdz. 14.5.1; 14.5.2; 14.9; 16.3.
- Dr inż. Emilia Wiśniewska**, *Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, Wydział Urządzania Lasu i Geoinformatyki* – rozdz. 14.2; 14.8.1.
- Prof. dr hab. Tomasz Zawila-Niedźwiecki**, *Instytut Badawczy Leśnictwa* – rozdz. 14.1; 14.3; 14.4.

1. Historia geomatyki...

1.1. ...w leśnictwie

prof. dr hab. HERONIM OLENDEREK – Szkoła Główna
Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Leśny, Katedra Urządzania
Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa

W polskim tłumaczeniu fundamentalnego dzieła „Erdas Field Guide” (1998) autorzy piszą: systemy informacji geograficznej (GIS) istnieją od zarania ludzkości. Najważniejsze znane mapy datowane są na 2500 lat przed narodzeniem Chrystusa, ale prawdopodobnie i wcześniej się nimi posługiwano. Całe wieki człowiek doskonalił metody badania przestrzeni i przekazywania o niej informacji. Metody te mieszczą się w klasycznej definicji systemu informacji przestrzennej rozumianego jako system pozyskiwania, przetwarzania i udostępniania danych, w których zawarte są informacje przestrzenne oraz towarzyszące im informacje opisowe o obiektach wyróżnionych w części przestrzeni objętej działaniem systemu (Gaździcki 1990). Przetwarzanie informacji to przede wszystkim ich analiza.

Za pierwowzory GIS-u (lub SIP-u – te pojęcia mogą być niekiedy traktowane jako równoważne) można uważać np. pierwszy brytyjski spis ludności (1825) czy też ręcznie rysowane nakładki na potrzeby analizy krajobrazu, wykonywane przez twórcę architektury krajobrazu Friderica L. Olmsteada w pierwszych latach XX w.

Początków zastosowania „współczesnych” systemów informacji geograficznej należy szukać w latach 50., kiedy to w amerykańskich kręgach militarnych użyto komputerów do analizy danych przestrzennych do celów wojskowych.

Prekursorem pierwszych zastosowań komputerów do produkcji map (termin GIS jeszcze nie istniał) był Howard T. Fischer (1963). W 1965 r.

zaczął on kierować Harwardzkim Laboratorium Grafiki Komputerowej i Analizy Przestrzennej, w którym opracowano wiele programów GIS (SYMVU, CALFORM, ODYSSEY, GRID, IMGRID). Nastąpiło połączenie metod monitoringu, zarówno naziemnego, jak i satelitarnego, z technikami kartografii komputerowej.

W 1962 r. Roger Tomlinson z Canada Land Inventory opracował „Kanadyjski System Informacji Geograficznej”. System był początkowo wykorzystywany do inwentaryzacji i klasyfikacji ziemi użytkowanej rolniczo. Przechowywał zdigitalizowane mapy oraz informacje terenowe dla całej Kanady w łatwo dostępnym formacie. System nadal funkcjonuje.

Duże znaczenie dla rozwoju zastosowań GIS-u, szczególnie w zakresie wykorzystania danych przestrzennych przedstawionych w postaci warstwowej (nakładek) do zarządzania zasobami środowiska, miała praca Iana McHarga „Design with Nature”, wydana w 1968 r.

Współczesne systemy GIS mogły zacząć funkcjonować z chwilą zastosowania systemów komputerowych do wprowadzania, przetwarzania i udostępniania danych. Stało się to w latach 70. ubiegłego wieku, a więc 40 lat temu.

Pionierem w przygotowaniu oprogramowania był utworzony w 1969 r. w Redlands (Kalifornia) Instytut Badań Systemów Środowiskowych (Environmental Systems Research Institute – ESRI). Kieruje nim od prawie 40 lat wybitny teoretyk i praktyk GIS – Jack Dangermond. Z tym nazwiskiem jest również ściśle związany GIS w leśnictwie polskim (o czym poniżej).

Nastąpił i trwa niezwykle rozwój technologii GIS. Dzieje się tak przede wszystkim ze względu na:

- wykładniczy wzrost informacji o środowisku w ostatnich latach,
- radykalny spadek cen sprzętu i oprogramowania,
- wzrost możliwości obliczeniowych komputerów,
- wzrost liczby zastosowań komercyjnych i upowszechnianie GIS.

W wielu krajach powstały organizacje narodowe, których celem jest koordynacja gromadzenia i wymiany przestrzennych danych cyfrowych. Można tu wymienić: The National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA) w Stanach Zjednoczonych, Rosgeoinform w Rosji, Natural Environment Research Council (NERC) w Wielkiej Brytanii, Conseil National de l’Information Geographique (CNIG) we Francji, Towarzystwo Informacji Przestrzennej w Polsce.

A jak wyglądają polskie doświadczenia we wdrażaniu systemów informacji przestrzennej?

W latach 1972–1973 powstały w Polsce trzy niezależne projekty systemu informacji o terenie, pod nazwą TEREN, jako podsystemy w Państwowym Systemie Informatycznym – PSI. System TEREN zakładał gromadzenie informacji o geometrycznych i przyrodniczych cechach terenu, o jego pokryciu, uzbrojeniu, zainwestowaniu, użytkowaniu i stosunkach prawnych. Tak pisał o tym fakcie Adamczewski (1989): *Byliśmy wtedy w tym zakresie światową awangardą lub przynajmniej w tzw. ścisłej czołówce.*

Z gorzką łezką w oku słuchałem sześć lat później na sympozjum FIG w Darmstadt w 1978 r. pierwszych enuncjacji będących próbami formułowania problemów SIT. Nasze projekty z 1972 r. pokrył już wtedy kurz... Na Zachodzie po sympozjum w Darmstadt problematyka SIT po prostu wybuchła i dziś w wielu krajach takie systemy funkcjonują.

Najważniejszym czynnikiem wpływającym na wprowadzanie i funkcjonowanie systemów informacji przestrzennej był dostęp do technik informatycznych. Brak tego dostępu przez wiele lat sprawił, że musieliśmy nadrobić powstałe w tej dziedzinie zaległości.

Na początku lat 70. ubiegłego wieku powstała również koncepcja drugiego wielkiego systemu o nazwie BIGLEB. System ten dotyczył kompleksowego zbioru informacji o środowisku glebowym w powiązaniu z innymi elementami środowiska geograficznego, niezbędnymi do charakterystyki stanu i oceny gospodarczej zasobów glebowych. System BIGLEB, podobnie jak TEREN, w pierwotnej wersji także nie został zrealizowany. Nastąpiło to w latach późniejszych, w nieco innej formie. Wdrożono m.in. następujące podsystemy: BKA-95 BIGLEB, MER/M-BIGLEB, KAL-BIGLEB, KAZ-BIGLEB. Na poziomie województwa zaproponowano założenie wojewódzkiego banku informacji o środowisku glebowo-roślinnym i czynnikach mu zagrażających – BIGLEB-WO.

Wykorzystując system BIGLEB, założono bazę danych SI PEZET-1, integrując w systemie pól znaczonych 36 cech środowiska przyrodniczego i czynników mu zagrażających. Był to pierwszy autorski system informatyczny w Polsce, który dysponował bazą danych dla obszaru całego kraju.

W Centralnym Biurze Studiów i Projektów Wodnych Melioracji BI-PROMEL opracowano system informatyczny o rolniczo-przyrodniczej charakterystyce użytków rolnych PROMEL z dwoma podsystemami: PROMEL-R i PROMEL-Z.

Inwentaryzacja obszarów zagrożenia warunków agroekologicznych na gruntach rolnych przez nadmierną imisję zanieczyszczeń przemysłowych mogła być wykonywana w systemie SIZROL, przy wykorzystaniu bazy danych systemu SOZAT, opracowanego przez przedsiębiorstwo ATMOTERM w Opolu.

Na zlecenie Państwowego Instytut Geologicznego opracowano w 1986 r. informatyczny system wspomaganie gminnej inwentaryzacji złóż kopalin INGSURMIN-ZŁOŻA (INwentaryzacja Gminna SURowców MINeralnych). Bazując na algorytmie INGSURMIN-ZŁOŻA, opracowano kilka systemów do wspomaganie zarządzania w ochronie środowiska, gospodarce przestrzennej i planowaniu przestrzennym, z których na szczególne podkreślenie zasługuje IWIEP – Informatyczne Wspomaganie Inwentaryzacji Elementów Przyrody.

W ramach programu CPBP 04.10. „Ochrona i kształtowanie środowiska przyrodniczego” w Instytucie Geodezji i Kartografii powstał System Informacji o Ukształtowaniu Środowiska Przyrodniczego – SINUS. System umożliwiał gromadzenie, analizę i szybką prezentację dużej liczby da-

nych zlokalizowanych przestrzennie. Wykorzystywany był m.in. (obok ARC/INFO i PC KARTEM) w pracach Centrum GRID-Warszawa, które było jednym z dziewięciu ośrodków utworzonych przez UNEP (Program Środowisko Narodów Zjednoczonych). Zadaniem Centrum było gromadzenie, przetwarzanie i udostępnianie informacji przestrzennych o środowisku w skali globalnej, rozpowszechnianie wiedzy o stosowaniu systemów informacji przestrzennej, a także prowadzenie badań i przygotowywanie ekspertyz wspomagających zarządzanie środowiskiem. Rezultatem prac Centrum był m.in. raport „Stan środowiska w Polsce”, opracowany przy udziale kilkunastu wybitnych autorytetów z różnych dziedzin nauki, związanych z zagadnieniami ochrony środowiska.

Systemy SINUS, ERDAS oraz ARC/INFO były wykorzystywane także przez Instytut Geodezji i Kartografii do realizacji Programu CORINE Land Cover (CORINE użytkowanie ziemi), koordynowanego przez Europejską Agencję Środowiskową Komisji Wspólnoty Europejskiej z siedzibą w Brukseli. Zgodnie z metodyką programu CORINE (COoRdination of INformation on the Environment), oprócz programu CORINE Land Cover (IGiK) realizowane były dwa inne programy: CORINE – biotopy (Instytut Botaniki PAN z Krakowa) oraz CORINAIR (firma ATMOTERM z Opola). Wszystkie programy finansował program pomocy krajom Europy Środkowo-wschodniej PHARE.

Pierwszy program CORINE Land Cover (CLC-90) był realizowany w latach 90. ubiegłego stulecia. Kolejny program CORINE Land Cover 2000 (CLC-2000) realizowano od roku 2000. W efekcie otrzymaliśmy bazy danych pokrycia terenu w Europie w latach 1986–1995 (CLC-90) i 1999–2002 (CLC-2000). Porównując obie bazy danych, stwierdzono, że zmiany następują bardzo szybko. Europejska Agencja Środowiska już w roku 2006 uruchomiła więc kolejny projekt (CLC-2006). Założono uzyskanie bazy danych dotyczącej terenów zurbanizowanych i bazy danych terenów leśnych z rozdzielczością przestrzenną 1 ha (poprzednio rozdzielczość przestrzenna wynosiła 25 ha).

W roku 1993 Centrum Informacji o Środowisku GRID-Warszawa opracowało projekt Centralnej Bazy Danych o Środowisku (CBDS). Podstawą CBDS były: istniejąca od szeregu lat, lub tworzona, sieć punktów pomiarowo-kontrolnych środowiska oraz krajowe bazy danych, gromadzące i przetwarzające dane dotyczące poszczególnych składowych monitoringu. Koordynatorem Państwowego Monitoringu Środowiska był Główny Inspektorat Ochrony Środowiska (GIOŚ). Jego zadania w koordynacji i informatyzacji były niezwykle trudne i skomplikowane, funkcjonowało bowiem 18 podsystemów monitoringu, a zestawienie systemów i programów z tzw. otoczenia informatycznego monitoringu zawierało 14 pozycji. Informatyzacja monitoringu, a szczególnie wprowadzenie SIP, pozwoliła lepiej realizować jego cel, czyli zwiększać skuteczność działań na rzecz ochrony środowiska poprzez zbieranie, analizę oraz udostępnianie danych dotyczących stanu środowiska i zmian w nim zachodzących.

W 1994 r. na zlecenie MOŚZNiL w ramach programu PHARE opracowano „Master plan wzmocnienia Państwowego Monitoringu Środowiska” oraz pilotowy projekt Systemu Zarządzania Środowiskiem (EMS – Environmental Management System).

Terminem SIP (system informacji przestrzennej) określane są dwa typy systemów: SIT (system informacji o terenie) i GIS (system informacji geograficznej). Różnią się one szczegółowością informacji o obiektach i zjawiskach przestrzennych. Prowadzenie SIT jest przypisane prawnie administracji rządowej. Ustawa „Prawo geodezyjne i kartograficzne” (1989) mówi, że *dane zawarte w ewidencji gruntów i budynków, ewidencji sieci uzbrojenia terenu oraz w państwowym zasobie geodezyjnym i kartograficznym stanowią podstawę do założenia krajowego systemu informacji o terenie.*

System informacji o terenie jest właściwie budowany przynajmniej od 2 lutego 1955 r., kiedy to wydano dekret o ewidencji gruntów i budynków.

Główny Geodeta Kraju przedstawił w 1991 r. „Program modernizacji Systemu Informacji o Terenie” (Piotrowski 1992). Sformułował również projekt własnej definicji SIT: *System informacji o terenie jest w skali państwa formą organizacyjną kontrolowanego przepływu lokalizowanej przestrzennie, standaryzowanej informacji o właściwościach terenu, jego podziałach, sposobie wykorzystania oraz uprawnieniach osób władających składnikami jego zagospodarowania.*

Program oraz definicja uzyskały pozytywną opinię Państwowej Rady Geodezyjnej i Kartograficznej oraz akceptację Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa.

Później rozpoczęto tworzenie wielu lokalnych systemów informacji o terenie (SIT); koordynacja tych prac nie była jednak wystarczająca. Zakładanie GIS nie było w ogóle ustawowo i urzędowo koordynowane (dziś również tak jest).

Powstało wiele systemów regionalnych i lokalnych, takie jak: Małopolski System Informacji Terenowej, System Informacji Przestrzennej Województwa Ostrołęckiego, System Informacji Terenowej Gdańsk, systemy branżowe, np. System Środowisko, i systemy obiektowe, przede wszystkim dla parków narodowych.

Można wymienić dwie drogi rozwoju GIS w Polsce: komercyjną i naukowo-edukacyjną. Istnieje kilkanaście (kilkadziesiąt?) firm realizujących projekty z zakresu zarządzania gminami oraz terenami chronionymi, rozwoju infrastruktury i planowania przestrzennego. Nurt naukowo-edukacyjny obejmuje uczelnie i instytuty naukowe, które koncentrują się na analizowaniu małych obszarów, modelowaniu zjawisk przyrodniczych i procesów ekonomiczno-społecznych. Z dużym zadowoleniem zacytuję w tym miejscu opinię wyrażoną przez Kistowskiego i Iwańską (1997):

W tym zakresie w czołówce polskiej wymienić można Szkołę Główną Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie (zagadnienia gospodarki leśnej), Uniwersytet Jagielloński (modelowanie fizyczno-geograficzne na terenach

górkich), Uniwersytet Gdański (funkcjonowanie obszarów chronionych), UAM w Poznaniu (monitoring środowiska, zagadnienia społeczno-ekonomiczne) oraz uczelnie techniczne zajmujące się problematyką na styku GIS i systemów informacji terenowej (Politechnika Warszawska, AGH w Krakowie, Politechnika Wroclawska).

Jakie działania przyczyniły się do tego sukcesu?

W dniach 8–10 listopada 1994 r. w Legionowie odbyła się konferencja „Systemy informacji przestrzennej”, w której wzięli udział przedstawiciele świata nauki, administracji rządowej i terytorialnej, pracownicy firm, geodeci, informatycy, dziennikarze (ponad 200 osób). Była to próba oceny sytuacji i koordynacji działań w zakresie budowy w Polsce SIP (SIT i GIS).

Wspomnieć należy, iż Wojewoda Ostrołęcki wystąpił do KBN z projektem grantu zamawianego, dotyczącego budowy kompleksowego SIP dla województwa ostrołęckiego z możliwością szczegółowego wdrożenia na terenie jednej gminy. Projekt został zrealizowany.

Komitet Badań Naukowych finansował od 1998 r. temat badawczy zamawiany nr PBZ-024-13 pt. „Koncepcja Systemu Informacji Przestrzennej w Polsce”. Temat był realizowany w Instytucie Geodezji i Kartografii przy współpracy Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie, Politechniki Warszawskiej i Uniwersytetu Śląskiego.

Zakładano, że system:

- zapewni sprawną obsługę informacyjną ważnych zadań publicznych, związanych z transformacją społeczno-gospodarczą, ładem przestrzennym i ładem ekologicznym, racjonalną gospodarkę zasobami naturalnymi i majątkiem trwałym oraz doskonaleniem funkcjonowania administracji publicznej;
- wzmocni bezpieczeństwo kraju oraz usprawni funkcjonowanie służb publicznych powołanych do zapobiegania i zwalczania klęsk żywiołowych i zapewnienia porządku publicznego;
- wspomogł rozwój gospodarczy poprzez usprawnianie procesów inwestycyjnych;
- poprawi obsługę obywateli pod względem zaspokajania potrzeb informacyjnych związanych z gospodarowaniem majątkiem trwałym.

System był realizowany w sześciu blokach tematycznych:

- analiza potrzeb użytkowników SIP,
- model koncepcyjny SIP,
- aspekty informacyjne i prawne SIP,
- architektura techniczna i funkcjonalna SIP,
- model ekonomiczny SIP,
- końcowa wersja koncepcji SIP w Polsce.

Szczególną rolę w rozwoju systemów informacji przestrzennej w Polsce odgrywa Towarzystwo Informacji Przestrzennej, spadkobierca Klubu Użytkowników ETO. Klub istniał w latach 1971–1990 i zorganizował 19 konferencji poświęconych problematyce szeroko pojętej informacji prze-

strzennej. Towarzystwo, począwszy od 1991 r., organizuje coroczne konferencje z cyklu „Systemy Informacji Przestrzennej”. Materiały konferencji są niezwykle wartościowym dokumentem i jednocześnie kompendium wiedzy na temat SIP (GIS i SIT) w Polsce. Na uwagę zasługują również konferencje użytkowników ARC/INFO, firmy INTERGRAPH, a także „GIS w praktyce” i inne.

Ukazało się kilka wydawnictw o charakterze książkowym (Gaździcki 1990, 1995, 2001; Sitek 1992; Werner 1992; Zapart 1994; Urbański 1996; Myrda 1997; Widacki 1997; Kistowski, Iwańska 1997; Erdas Field Guide. Przewodnik Geoinformacyjny 1998; Magnuszewski 1999; Lamparski 2003; Longley i inni 2006; Lamparski, Świątek 2007; Gotlib i inni 2008; Tomlinson 2008). Informacje o zastosowaniach GIS-u podają „Przegląd Geodezyjny”, „Geodeta”, „Przegląd Geograficzny”, „Polski Przegląd Kartograficzny”. Od roku 2003 wydawane są „Roczniki Geomatyki”.

Początki informatyki w Lasach Państwowych datują się na lata 70. minionego wieku, kiedy to wprowadzano w działach finansowych jednostek organizacyjnych pierwsze maszyny liczące (Ascota, Feliks, Soemtron, Daro 1720, Elwro 523, Robotron A5110). W końcu lat 80. zaczęto instalować sprzęt klasy IBM PC. Oprogramowanie pochodziło z kilkunastu źródeł, nie było jednorodne, dotyczyło przede wszystkim spraw finansowo-księgowych, kadrowo-płacowych, gospodarki magazynowej i obrotu drewnem. Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej (do 31 grudnia 1991 r. wchodziło w skład Lasów Państwowych) użytkowało komputer Odra 1305, przygotowując na bazie inwentaryzacji urządzeniowo-leśnej kartotekę powierzchni leśnej i nieleśnej oraz pochodne opracowania tabelaryczne dla każdego obrębu i nadleśnictwa. Gromadzone w ten sposób od wielu lat bank danych był podstawą do długofazowych analiz. Był też źródłem wdrażanego później, zintegrowanego Systemu Informatycznego Lasów Państwowych (SILP), ze szczególnym uwzględnieniem nadleśnictwa. System ten ma za zadanie gwarantować jednolity, uporządkowany zbiór aktualnych informacji przyrodniczo-leśnych i techniczno-ekonomicznych, niezbędnych do prawidłowego prowadzenia gospodarki leśnej i zarządzania nią na szczeblu nadleśnictwa, regionalnej dyrekcji Lasów Państwowych i Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych.

Fakt wprowadzenia SILP był podstawową okolicznością sprzyjającą i zarazem wymuszającą budowę systemów informacji przestrzennej dla nadleśnictw, które stanowią rozwinięcie części tabelarycznej SILP o dystrybucję przestrzenną zapisanych danych.

Za historyczny moment w budowie systemów informacji przestrzennej w leśnictwie polskim należy uznać seminarium naukowe, które odbyło się na Wydziale Leśnym SGGW w Warszawie w dniu 6 lipca 1990 r. Seminarium prowadził prezydent ESRI, J. Dangermond, a wzięło w nim udział kilkudziesięciu specjalistów, głównie z zakresu szeroko rozumianej geomatyki, z całej Polski. Zaowocowało przekazaniem w krótkim czasie Wydziałowi Leśnemu SGGW oprogramowania firmy ESRI, co umożliwiło podjęcie

prac naukowych i działalności dydaktycznej w dziedzinie zastosowań systemów informacji przestrzennej w leśnictwie, ochronie przyrody i architekturze krajobrazu.

Ukazały się pierwsze publikacje naukowe oraz artykuły popularyzujące zastosowanie systemów. O leśnej mapie numerycznej pisałem, co prawda, w roku 1982 (Olenderek 1982 – „Koncepcja i technologia sporządzania leśnej mapy numerycznej”), ale pierwszymi publikacjami dotyczącymi zastosowań SIP w leśnictwie polskim były: „Możliwości zastosowania systemów informacji przestrzennej na poziomie nadleśnictwa” (Olenderek, Korpetta 1992a) oraz „Systemy informacji przestrzennej w leśnictwie polskim – stan i perspektywy rozwoju” (Olenderek, Korpetta 1992b). Na podstawie oprogramowania SINUS i PC ARC/INFO powstały pierwsze prace magisterskie (Rachoń 1993, Rynkowski 1992, Stobiński 1992, Szreder 1993, Wita 1992).

Potrzeba wprowadzenia do Lasów Państwowych systemów informacji przestrzennej nigdy nie była kwestionowana. Już w momencie rozpoczęcia prac nad Systemem Informatycznym Lasów Państwowych, ze szczególnym uwzględnieniem nadleśnictwa, sugestie Wydziału Leśnego SGGW, że w drugim etapie prac powinna być wzięta pod uwagę dystrybucja przestrzenna zjawisk, były podstawą do zlecenia przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych tematu: „Zastosowanie systemu informacji przestrzennej (SIP) w leśnictwie”. Jego koordynatorem był Instytut Badawczy Leśnictwa (Zakład Badań i Systemów Informacji Przestrzennych), a jednym z wykonawców została Katedra Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej SGGW (Zakład Systemów Informacji Przestrzennej i Geodezji Leśnej). Wytypowano trzy nadleśnictwa pilotowe, dla których budowano kompleksowe systemy informacji przestrzennej: Brzeziny (SGGW), Wipsowo (IBL – Zakład Badań i Systemów Informacji Przestrzennych), Ujsoły (IBL – Zakład Urządzenia Lasu).

W wyniku realizacji tematu:

- powstały bazy geometryczne dla trzech nadleśnictw,
- zakupiono sprzęt i oprogramowanie narzędziowe,
- rozpoczęto wykorzystywanie SIP w Nadleśnictwie Brzeziny.

Niewątpliwą korzyścią było również:

- podniesienie stanu wiedzy i świadomości na temat SIP wśród pracowników Lasów Państwowych,
- zdobycie doświadczenia w zakresie budowy systemów informacji przestrzennej oraz praktycznych uwarunkowań ich stosowania w leśnictwie.

Mając na uwadze włożony wkład pracy oraz osiągnięte wyniki, Katedra Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej, wspólnie z pracownikami nadleśnictwa, kontynuowała prace nad wdrażaniem SIP w Brzezinach, początkowo ze środków własnych, później w ramach tematów: „Metodyczne aspekty budowy i wdrażania SIP w nadleśnictwie w warunkach polskich” (grant KBN) i „Wdrożenie pilotowe SIP w Nadleśnictwie Brzeziny”.

Ważnym momentem we wprowadzaniu map numerycznych i systemów informacji przestrzennej w leśnictwie polskim był rok 1997. Odbyła się wówczas m.in. konferencja naukowo-techniczna w Waplewie „Urządzanie lasu podstawą zrównoważonej gospodarki leśnej”, podczas której referaty, dyskusje oraz prezentacja osiągnięć technologicznych udowodniły słuszność proponowanych rozwiązań. Potwierdziły to również ustalenia dwóch zespołów: zespołu ds. informacji przestrzennej w leśnictwie i Centralnego Banku Danych, powołanego przez podsekretarza stanu w Ministerstwie Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, oraz zespołu ds. przenoszenia informacji pomiędzy planem urządzenia lasu a SILP, powołanego przez Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych. Określono warunki, metodykę i etapy rozwoju SIP w leśnictwie. Kontynuowano prace nad pilotowym wdrożeniem technologii map numerycznych w Biurze Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej, które zakończyły się opracowaniem w roku 1998 aplikacji umożliwiającej budowę leśnych map numerycznych – LEMAN (opartej na oprogramowaniu ESRI). Mapy numeryczne i SIP na poziomie nadleśnictwa stały się faktem.

Ekspertyza zespołu ds. informacji przestrzennej w leśnictwie i Centralnego Banku Danych zakładała wprowadzenie SIP do polskiego leśnictwa w trzech etapach:

- rozbudowa Systemu Informatycznego Lasów Państwowych (SILP) o geometryczną bazę danych – budowa mapy numerycznej nadleśnictwa,
- budowa SIP w Lasach Państwowych,
- budowa SIP w leśnictwie.

Realizacją pierwszego etapu było wydanie przez Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych zarządzeń nr 23 z dnia 18 maja 1998 r. i nr 74 z dnia 25 sierpnia 2001 r., o których szerzej w rozdziałach 1.2 i 9. Na temat zastosowań systemów informacji przestrzennej w leśnictwie polskim zorganizowano kilka konferencji naukowo-technicznych (Materiały 1992, 1994a, b) w tym cztery poświęcone systemom informacji przestrzennej w Lasach Państwowych (2001, 2004, 2006, 2008).

Istotną rolę we wdrażaniu SIP w leśnictwie odegrał temat realizowany w SGGW „Analizy przestrzenne, optymalizacja i symulacje przestrzenne w zarządzaniu Lasami Państwowymi z uwzględnieniem standardów leśnych map numerycznych na poziomie nadleśnictwa, regionalnej dystrykcji i DGLP” oraz ekspertyza „Systemy informacji przestrzennej w lasach Europy i świata – stan i perspektywy”. Badania pokazały możliwości zastosowań SIP zarówno na potrzeby zarządzania, jak i prac badawczych w całym leśnictwie i dyscyplinach pokrewnych.

Rok 2003 to początek polskich badań nad zastosowaniem w leśnictwie laserowego skaningu naziemnego i lotniczego. W latach 2006–2008 realizowano na zlecenie DGLP temat „Opracowanie metody inwentaryzacji lasu opartej na integracji danych pozyskiwanych różnymi technikami geomatycznymi”. Kompleksowy program wykonywał zespół złożony z pracowników i doktorantów wydziałów leśnych: SGGW w Warszawie,

Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Instytutu Badawczego Leśnictwa oraz geomatycznych firm komercyjnych. Możliwości wykorzystania skaningu w leśnictwie badali również: Krzysztof Będkowski z zespołem (grant MNiSW) oraz praktycy (Biuro Urządzania Lasu, Oddział Białostok i Nadleśnictwo Świeradów).

Zrealizowano kilkanaście prac doktorskich (Iwanicki J. 1994, Kamińska G. 1996, Michalak R. 1996, Węzyk P. 1998, Kosiński K. 1999, Olenderk T. 2000, Karaszewicz W. 2001, Tracz W. 2003, Adamczyk J. 2004, Krawczyk J. 2004, Grzegorzewicz E. 2005, Widawska Z. 2007, Dawidziuk M. 2007, Norman H. 2008, Brach M. 2008).

Krzysztof Będkowski (2005) przygotował rozprawę habilitacyjną pt. „Fotogrametryczna metoda oceny stanu i zmian wysokościowej struktury warstwy koron w drzewostanach”.

Istotne znaczenie dla rozwoju SIP w leśnictwie polskim ma kształcenie (patrz rozdział 19).

1.2. ...w Lasach Państwowych

mgr inż. KRZYSZTOF OKŁA – Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, Wydział Urządzania Lasu i Geoinformatyki

Początki informatyki w Lasach Państwowych datują się na lata 70., kiedy to wprowadzano w działach finansowych jednostek organizacyjnych pierwsze maszyny liczące. W końcu lat 80. zaczęto instalować sprzęt klasy IBM PC. Oprogramowanie pochodziło z kilkunastu źródeł, nie było jednolite, dotyczyło przede wszystkim spraw finansowo-księgowych, kadrowo-płacowych, gospodarki magazynowej i obrotu drewnem. Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej użytkowało komputer Odra 1305, przygotowując, na podstawie inwentaryzacji urządzeniowo-leśnej, kartotekę powierzchni leśnej i nieleśnej oraz pochodne opracowania tabelaryczne dla każdego obrębu i nadleśnictwa. Dane te dostępne były później także w formacie XBASE (tzw. plik DBF) na komputery PC. Zgromadzony w ten sposób od wielu lat bank danych do dziś jest podstawą do wielorakich analiz. Rozproszone działania poszczególnych nadleśnictw w zakresie informatycznego wspomaganie funkcjonowania nadleśnictwa powodowały trudności z uogólnianiem danych na potrzeby analiz w makroskali. Podjęto więc próbę ujednoczenia zakresu gromadzonych informacji i wprowadzenia do nadleśnictwa kompletnego systemu w zakresie: inwentaryzacji stanu lasu, zdarzeń gospodarczych, kadr, płac, szacunków brakarskich i obrotu drewnem. Prace te stały się podstawą konstrukcji Systemu Informatycznego Lasów Państwowych ze szczególnym uwzględnieniem nadleśnictwa (SILP). Uporządkowany zbiór aktualnych informacji przyrodniczo-leśnych i techniczno-ekonomicznych jest niezbędny do prawidłowego prowadzenia gospodarki leśnej i zarzą-

dziania nią na szczeblu nadleśnictwa, regionalnej dyrekcji Lasów Państwowych i Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych.

dr inż. Dariusz Korpetta – SGGW

Generalne uzasadnienie konieczności budowy systemów informacji przestrzennej na potrzeby leśnictwa, zwłaszcza z możliwością zastosowania ich na wszystkich szczeblach zarządzania (od poziomu leśnictwa do dyrekcji generalnej oraz ministerstwa), wiąże się z wprowadzaniem wielofunkcyjnej gospodarki leśnej, polegającej na kształtowaniu pożądanej struktury lasów, wykorzystania ich w sposób zapewniający trwałe utrzymanie bogactwa biologicznego, a jednocześnie wysokiej produktywności, z zachowaniem jednakże potencjału regeneracyjnego do wypełniania teraz i w przyszłości wszystkich ważnych ochronnych, gospodarczych i socjalnych funkcji na poziomie lokalnym, narodowym i globalnym, bez szkody dla innych ekosystemów.

Z referatu prof. Heronima Olanderka – SGGW, 1998 r.

1.2.1. System Informatyczny Lasów Państwowych

W pierwszej połowie lat 90. ubiegłego wieku w Lasach Państwowych wdrożony został System Informatyczny Lasów Państwowych (SILP). Najpierw na poziomie nadleśnictw, a następnie na szczeblu regionalnym i centralnym. Początkowo działał jako baza danych w trybie tekstowym. Ponieważ Lasy Państwowe zajmują ok. jednej czwartej powierzchni naszego kraju, zrozumiałe jest, że gros działalności gospodarczej w lasach związane jest z usytuowaniem w przestrzeni. Niezbędne stało się więc wzbogacenie baz SILP o ilustrację mapową. Dotyczy to zwłaszcza modułu LAS, którego główną bazą wejściową jest opis taksacyjny z zawartym w nim kluczem w postaci wyjątkowego w skali kraju, pełnego adresu leśnego. Na adresie tym oparte są także częściowo elementy innych podsystemów. Adres leśny jest najważniejszym kluczem spinającym bazy opisowe z bazami geometrycznymi w Lasach Państwowych.

Rozszerzenie baz SILP o informację geometryczną, czyli wprowadzenie systemu informacji przestrzennej (SIP) w Lasach Państwowych, uzasadniają w szczególności:

- codzienne wykorzystywanie – na każdym stopniu zarządzania – danych mających odniesienia do konkretnego terenu;
- istnienie baz opisowych (w nadleśnictwie – SILP, a w regionalnych dyrekcjach LP i DGLP – sprawozdawczość i SILP);
- zapotrzebowanie na szybką, aktualną i odpowiednio przetworzoną informację (w tym informację o terenie);

- wspomaganie zarządzania przez optymalizację działań gospodarczych oraz wizualizację ich lokalizacji i zakresu;
- możliwość bieżącej aktualizacji bazy opisowej i geometrycznej.

Bardzo ważną cechą SILP jest możliwość aktualizacji jego bazy. Opisy taksacyjne są aktualizowane na koniec każdego roku pod względem stanu zapasów inwentaryzacyjnych, ale dane z działalności gospodarczej wprowadzane mogą być do systemu na bieżąco. Oprócz zmian katastralnych powszechnej ewidencji gruntów SILP pozwala na tworzenie nowych elementów podziału powierzchniowego, wynikających z prowadzenia działalności gospodarczej, zwanych wydzieleniami. Zmiany te, wpływające na wewnętrzny podział powierzchniowy, mogą być odzwierciedlone również na mapie numerycznej i to prawie na bieżąco, łącznie z wprowadzeniem nazwy nowego wydzielenia w SILP.

Podczas gdy na poziomie nadleśnictwa coraz sprawniej funkcjonuje System Informatyczny Lasów Państwowych, na wyższych szczeblach zarządzania wdrażany on jest stopniowo – częściowo egzystuje tu jeszcze tradycyjna sprawozdawczość. Ona również jest wykorzystywana do budowania SIP, jak dzieje się to w większości dyrekcji regionalnych i na szczeblu Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych.

1.2.2. Pierwsze leśne mapy numeryczne w nadleśnictwach

Pierwsze próby i eksperymenty z wprowadzeniem GIS-u do lasów (w części jeszcze bez przywiązywania geometrii do danych opisowych) przeprowadzono na początku lat 90. w kilku nadleśnictwach, równoległe z pracami nad SILP (ryc. 1.2.1).

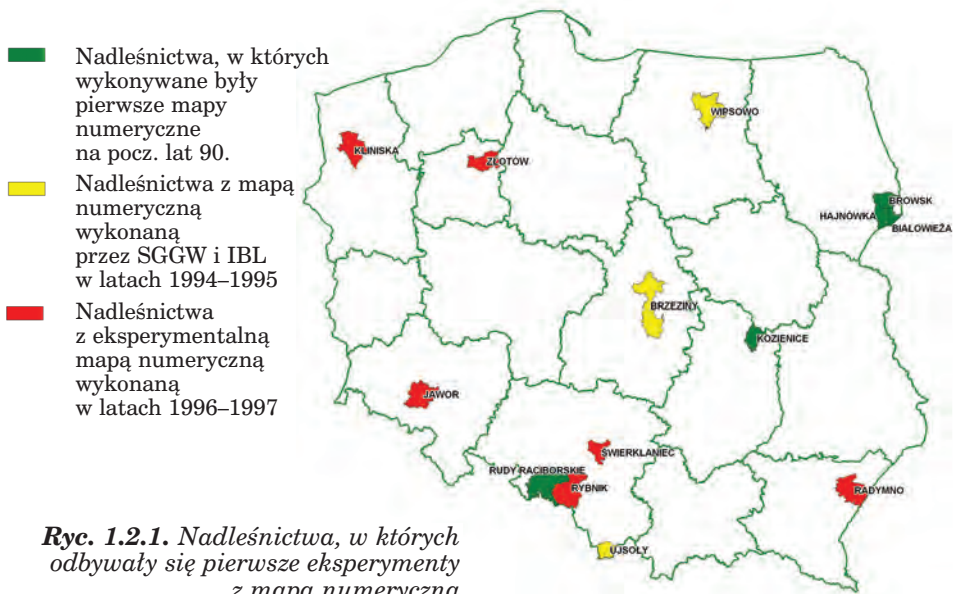
- Bazę geometryczną Puszczy Białowieskiej, która z racji swoich niewątpliwych walorów znajduje się w centrum uwagi wszelkich nauk przyrodniczych, założyli pracownicy Instytutu Badawczego Leśnictwa. Zdigitalizowane zostały z map analogowych granice oddziałów trzech nadleśnictw wchodzących w jej skład (Białowieża, Hajnówka i Browsk). Bazę wykorzystywano przez kilka lat w pracach naukowych.
- W Instytucie Geodezji i Kartografii wykonano mapy numeryczne, wspomagające prace nad interpretacją zdjęć satelitarnych, klasyfikowanych pod kątem analizy stanu lasu i środowiska przyrodniczego dla fragmentów nadleśnictw Kozienice i Rudy Raciborskie oraz części Sudetów Zachodnich.
- W Biurze Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej testowano różne programy GIS pod kątem praktycznego ich wykorzystania, w końcu 1998 r. zbudowano specjalną aplikację o nazwie LEMAN, ułatwiającą prace nad konstruowaniem leśnej mapy numerycznej.

- Na Politechnice Warszawskiej prof. Wojciech Wilkowski próbował przenieść doświadczenia z zakresu prac nad SIT (geodezyjnym systemem informacji o terenie) na grunt leśny, współpracując nawet przez pewien okres z BULiGL.
- We wrocławskiej Akademii Rolniczej dr Tadeusz Lasota prowadził prace nad rodzimym oprogramowaniem GIS, zakończone powstaniem programu TERRABIT, który próbowano eksperymentalnie adaptować także do warunków leśnych.
- W firmie Codima (obecnie Codimex sp. z o.o.) poczyniono pewne próby zbudowania leśnej mapy numerycznej w środowisku Microstation.
- W firmie ECOGIS na bazie oprogramowania SICAD niemieckiej firmy Siemens skonstruowano (praca magisterska) aplikację pokazującą możliwości wykorzystania tego programu do zbudowania leśnej mapy numerycznej.

Największe jednak postępy w tym zakresie poczyniły instytucje naukowe wykonujące prace na zlecenie Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych w pierwszej połowie lat 90. (ryc. 1.2.1). Wyniki tych pionierskich prac położyły podwaliny pod leśną mapę numeryczną w dzisiejszym kształcie.

Katedra Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej Wydziału Leśnego SGGW

W Nadleśnictwie Brzeziny (RDLP Łódź) wykonano i podłączono do SILP-u, wprowadzonego tu pilotażowo, geometryczną bazę danych nadleśnictwa. Prace nad mapą numeryczną ukończono w 1995 r., instalując ją jednocześnie w biurze nadleśnictwa. Brzeziny były pierwszym w Pol-



Ryc. 1.2.1. Nadleśnictwa, w których odbywały się pierwsze eksperymenty z mapą numeryczną

sce nadleśnictwem z funkcjonującym systemem informacji przestrzennej. Przeprowadzono przy okazji wiele badań oraz napisano wiele prac magisterskich i doktorskich z zakresu zastosowania GIS w leśnictwie.

Zakład Urządzania Lasu Instytutu Badawczego Leśnictwa

W Nadleśnictwie Ujsoły (RDLP Katowice) wykonano bazę geometryczną, którą zainstalowano w nadleśnictwie w lutym 1998 r. Na podstawie tej mapy skonstruowano także numeryczny model terenu obszarów leśnych nadleśnictwa.

Zakład Badań i Systemów Informacji Przestrzennych Instytutu Badawczego Leśnictwa

W Nadleśnictwie Wipsowo (RDLP Olsztyn) zbudowano mapę numeryczną mimo istotnych trudności z pełnym zaistnieniem SIP. Podobno problemy wynikały głównie z wielkości bazy geometrycznej, niedostosowanej do istniejących wówczas narzędzi informatycznych, oraz ze znacznego rozdrobienia kompleksów leśnych. Mapę numeryczną wykorzystano do prac naukowych, związanych m.in. ze studiami nad funkcjami lasu i waloryzacją przyrodniczo-leśną.

Wynikiem realizacji tych prac badawczych było rozpoznanie możliwości stosowania systemów informacji przestrzennej w zarządzaniu Lasami Państwowymi oraz rozpoczęcie praktycznego wdrażania SIP w Nadleśnictwie Brzeziny. Twierdzenie prof. H. Olenderka (1997), że *fakt wprowadzenia w nadleśnictwach Systemu Informatycznego Lasów Państwowych jest podstawową okolicznością obligującą budowę systemów informacji przestrzennej – w pierwszym rzędzie – właśnie dla nadleśnictw*, szło w parze z podjęciem – bardziej lub mniej udanych – prób zbudowania mapy numerycznej także dla innych nadleśnictw (ryc. 1.2.1).

- W **Nadleśnictwie Świerklaniec** (RDLP Katowice) leśną mapę numeryczną oddano do użytku w kwietniu 1997 r. Zbudowana została na bazie map gospodarczo-przeładowych w skali 1:10 000, od czego przy następnych mapach nadleśnictw odstąpiono ze względu na brak kompatybilności z geodezją powszechną i zbyt małą widoczność szczegółów sytuacji wewnętrznej. Mapa była jednak z powodzeniem używana do zarządzania gospodarką leśną i bardzo pomocna w podejmowaniu procesów decyzyjnych.
- W **Nadleśnictwie Rybnik** (RDLP Katowice) mapa numeryczna do zastosowań geodezyjnych została zbudowana, przy okazji porządkowania stanu posiadania, przez prywatną firmę geodezyjną Vertical na zlecenie brzeskiego oddziału BULiGL. Na jej bazie w 1997 r. wykonano wydruki map, przewidziane „Instrukcją urządzania lasu”, ale system nie został w nadleśnictwie zainstalowany (choć były takie zamiary) i pozostał własnością wykonawcy.
- W **Nadleśnictwie Radymno** (RDLP Krosno) baza geometryczna powstawała w latach 1996–1997 (łącznie z wektoryzacją sytuacji we-

wewnętrznej). Tworzyli ją geodeci z przemysłowego oddziału BULiGL, również w ramach porządkowania stanu posiadania. Niestety, oprogramowanie użyte do konstruowania tej mapy nie spełniało wymagań stawianych programom do eksploatacji leśnej mapy numerycznej.

- W **Nadleśnictwie Kliniska** (RDLP Szczecin) prace urządzeniowe prowadzone były przez Oddział BULiGL w Gorzowie Wlkp. we współpracy z duńską firmą Danagro. Było to dość duże, eksperymentalne przedsięwzięcie (efekt współpracy polskiego Ministerstwa Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa oraz jego duńskiego odpowiednika), przewidujące również założenie bazy geometrycznej. Wykonano ją w układzie lokalnym metodą wektoryzacji map gospodarczych z wykorzystaniem stołu do digitalizacji (w żadnym innym nadleśnictwie w Polsce nie stosowano wcześniej ani później tej technologii). Mapa, zbudowana na bazie programu MapInfo zgodnie z założeniami opracowanymi w Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych (zarządzenie nr 23/98 przetłumaczono na język angielski), jesienią 1999 r. została przekazana nadleśnictwu. Nie była użytkowana zbyt intensywnie i w 2008 r. zastąpiła ją mapa wykonana już w związku z następną rewizją urządzania lasu.
- Kilka oddziałów BULiGL oraz niektóre firmy prywatne wykonywały własne mapy, prowadząc doświadczenia z zastąpieniem metod tradycyjnego kreślenia map wektoryzowaniem ich w komputerze. Często efektem była tzw. mapa komputerowa, a nie mapa numeryczna. Nie spełniała ona surowych warunków stawianych bazom geometrycznym, na których podstawie można zbudować system informacji przestrzennej. Wiele z takich map, nazywanych nieraz błędnie mapami numerycznymi, pozostało w zbiorach tych firm.

Więcej informacji na temat pierwszych doświadczeń z mapami numerycznymi wykonywanymi przez BULiGL można znaleźć w rozdziale 7.1.

Nie wszystkie z prowadzonych eksperymentów zakończyły się powodzeniem, jednak dzięki zdobytemu doświadczeniu opracowane zostały kryteria, którym powinna odpowiadać mapa numeryczna wykorzystywana w nadleśnictwie. Zdefiniowane one zostały w zarządzeniu nr 23 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z 18 maja 1998 r. Na podstawie tych kryteriów firma Taxus SI sp. z o.o. z Warszawy sporządziła mapę numeryczną dla Nadleśnictwa Złotów w RDLP Piła (odebraną 18 marca 1999 r.). Złotów był pierwszym nadleśnictwem, dla którego wykonano mapę numeryczną zgodnie z normami przyjętymi dla Lasów Państwowych.

Aby leśną mapę numeryczną można było powszechnie tworzyć w nadleśnictwach (zwłaszcza w ramach prac urządzeniowych), należało uzupełnić odpowiednie zapisy w obowiązującej „Instrukcji urzędzenia lasu dla nadleśnictwa”. W dniu 30 czerwca 1998 r. Minister OŚZNiL zatwierdził korektę do IUL (zał. nr 12), która zezwalała na sporządzanie map do planu urzędzenia lasu w postaci numerycznej, a już jesienią tego roku rozpoczęto tworzenie map numerycznych w nowo urządzanych nadleśnictwach (na bazie wytycznych z zarządzenia nr 23/98).

Kolejne nadleśnictwa z leśną mapą numeryczną – zbudowaną już zgodnie z kryteriami zapisanymi w zarządzeniu nr 23 i z korektą do IUL – znajdowały się na terenie RDLP Wrocław, Gdańsk i Radom. Na koniec roku 2000 już 22 nadleśnictwa dysponowały LMN.

Kiedy w 2001 r. wszedł w życie Standard LMN (zarządzenie nr 74 z 23 sierpnia 2001 r.), nadleśnictwa, w których istniała już mapa numeryczna wykonana zgodnie z zarządzeniem nr 23, dostosowały ją do wymogów standardu.

Na ryc. 1.2.2 przedstawiono przyrost nadleśnictw z leśną mapą numeryczną na przestrzeni 10 lat. Najczęściej mapa była tworzona w ramach prac urzędzeniowych, co można prześledzić, rozpatrując jej przyrost w poszczególnych RDLP. W ostatnich czterech latach analizowanego 10-lecia zdecydowano się przyspieszyć wykonanie pozostałych LMN i konstruować je z wyprzedzeniem o kilka lat w stosunku do rozpoczęcia prac urzędzeniowych.



Nadleśnictwa z LMN-2
(stan na 31.12.1999)



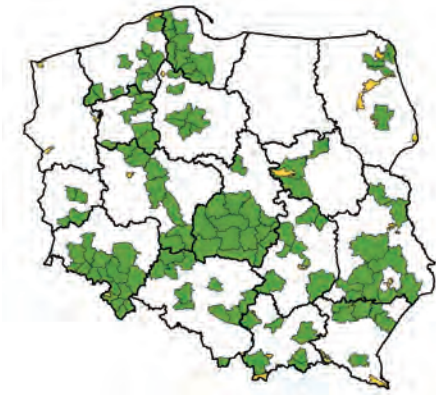
Nadleśnictwa z LMN-22
(stan na 31.12.2000)



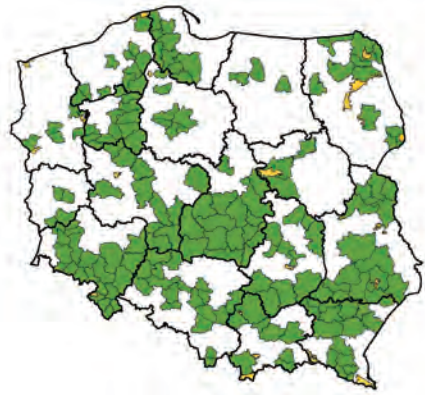
Nadleśnictwa z LMN-58
(stan na 31.12.2001)



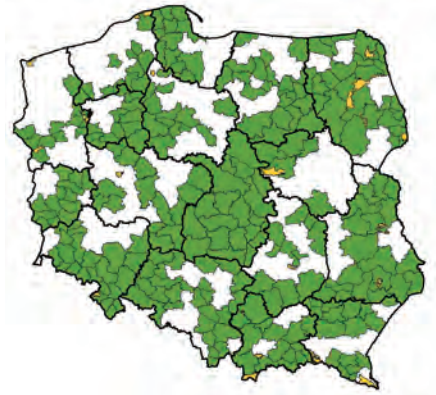
Nadleśnictwa z LMN-90
(stan na 31.12.2002)



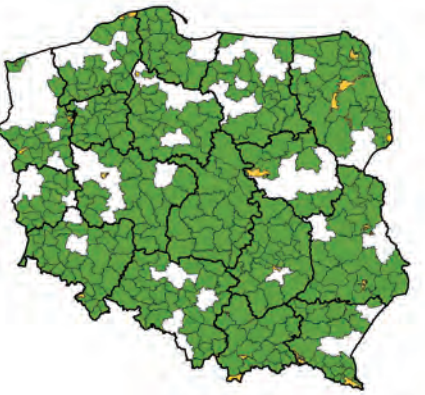
Nadleśnictwa z LMN-122
(stan na 31.12.2003)



Nadleśnictwa z LMN-184
(stan na 31.12.2004)



Nadleśnictwa z LMN-184
(stan na 31.12.2004)



Nadleśnictwa z LMN-267
(stan na 31.12.2005)



Nadleśnictwa z LMN-342
(stan na 31.12.2006)



Nadleśnictwa z LMN-395
(stan na 31.12.2007)

Ryc. 1.2.2. Przyrost nadleśnictw z leśną mapą numeryczną

W dniu 10 marca 2010 r. w Nadleśnictwie Celestynów (RDLP Warszawa) została odebrana ostatnia leśna mapa numeryczna w Lasach Państwowych. Tym samym zakończył się proces budowania map numerycznych w PGL LP.

Wykonanie leśnych map numerycznych wymagało zlokalizowania kompleksów leśnych na okolicznym terenie. 3 listopada 1999 r. podpisane zostało porozumienie między Dyрекcją Generalną Lasów Państwowych a Sztabem Generalnym Wojska Polskiego o wzajemnej wymianie danych geometrycznych. Dzięki niemu pozyskaliśmy skany wojskowych map topograficznych w skali 1:50 000, które wykorzystywane były m.in. do uzupełniania topografii na tworzonych leśnych mapach numerycznych. Porozumienie zostało wypowiedziane przez WP 24 czerwca 2006 r.

Z myślą o wprowadzeniu Standardu Leśnej Mapy Numerycznej, opartego na bardzo dokładnej lokalizacji, konieczne stało się pozyskanie współrzędnych geodezyjnych działek leśnych. Niestety, ich cena w ośrodkach dokumentacji geodezyjnej i kartograficznej była zaporowa. Dlatego 29 grudnia 1998 r. podjęto negocjacje z Głównym Geodetą Kraju, których rezultatem były bardzo korzystne dla Lasów Państwowych zmiany w nowym (14 listopada 2000 r.) cenniku opłat geodezyjnych na potrzeby konstruowania LMN (z wyjściowych ok. 11 zł za jedną współrzędną – przy kilkunastu tysiącach rekordów – do 10 gr za hektar opracowania).

W latach 2002–2003 wykonany został przewidziany Standardem LMN pakiet dedykowanych Lasom Państwowym aplikacji do odbioru i obsługi leśnych map numerycznych, zawierający programy: TraKo (do transformacji odwzorowań i konwersji formatów danych), Kontrola LMN (do automatycznej kontroli przekazywanych przez wykonawcę lub aktualizowanych plików bazy geometrycznej), Aktualizator LMN (do edycji bazy geometrycznej obiektami zaktualizowanymi).

Nowo powstały leśny SIP wymagał zastosowania do jego eksploatacji odpowiedniego oprogramowania GIS. Wychodząc naprzeciwko zapotrzebowaniu, skonstruowano dwie przeglądarki dedykowane leśnym mapom numerycznym: Mapnik firmy Taxus SI (maj 1999) oraz Mapan firmy Krameko (sierpień 1999). Przez 10 lat były one podstawowymi narzędziami do użytkowania leśnego GIS-u. Trzecia przeglądarka – FS Nesa firmy Fin Skog – nie zdobyła uznania. Kolejną przeglądarkę o nazwie eLMapa wprowadził w 2008 r. BULiGL. Przeglądarki LMN posiadały funkcjonalność programów desktop GIS oraz narzędzia dedykowane specjalnie użytkownikowi leśnej mapy numerycznej. Swobodne jednak posługiwanie się nimi wymagało specjalistycznego przeszkolenia, co oczywiście ograniczało krąg użytkowników. Dlatego firmie TatuGIS zlecono wykonanie tzw. Serwera eLas – dostępnego przez strony WWW, aktualizowanego codziennie i oferującego kilka map tematycznych określonego obszaru wraz z przypisanym do nich wyciągiem opisowym z SILP. Serwer eLas, który jest programem intuicyjnym, wymagającym zaledwie kilkunastu minut szkolenia, żeby się nim biegle posługiwać, zdobył bardzo duże uznanie nie tylko wśród leśniczych, dla których był spe-

cialnie dedykowany, ale też pracowników biurowych na szczeblu nadleśnictwa, dyrekcji regionalnych, ZOL-i czy Inspekcji LP.

Mapa numeryczna z założenia ma być dokładna i aktualna. Dopiero wówczas będzie wykorzystywana optymalnie. Z aktualnością LMN różnie bywało. Standard LMN nie precyzował dokładnie procedur jej aktualizacji. Dopiero Dyrektor Generalny LP zarządzeniem nr 13 z 20 marca 2007 r. uregulował przeprowadzanie aktualizacji stanu lasu, w tym bazy geometrycznej nadleśnictw, definiując, które elementy mapy i w jakim terminie należy aktualizować. Aktualizację bazy geometrycznej wykonywano najczęściej za pomocą dedykowanych programów: Aktualizator LMN lub SprintMap firmy SmallGIS z Krakowa, ewentualnie zlecano podmiotom zewnętrznym.

W miarę rozrastania się w Lasach Państwowych bazy geometrycznej i powiązanych z nią danych opisowych, zaistniała potrzeba uporządkowania metadanych. Należało stworzyć tzw. informację o informacji, czyli zbudować metabazę Lasów Państwowych. Od listopada 2007 r. do kwietnia roku 2008 w Zakładzie Informatyki Lasów Państwowych (ZILP) powstał na zlecenie DGLP system GeoLas – program do administrowania metadanymi przestrzennymi Lasów Państwowych. Jego wdrażanie zostało wstrzymane ze względu na prowadzone równoległe prace nad centralizacją bazy opisowej i geometrycznej SILP.

1.2.3. Mapy numeryczne w innych jednostkach organizacyjnych LP

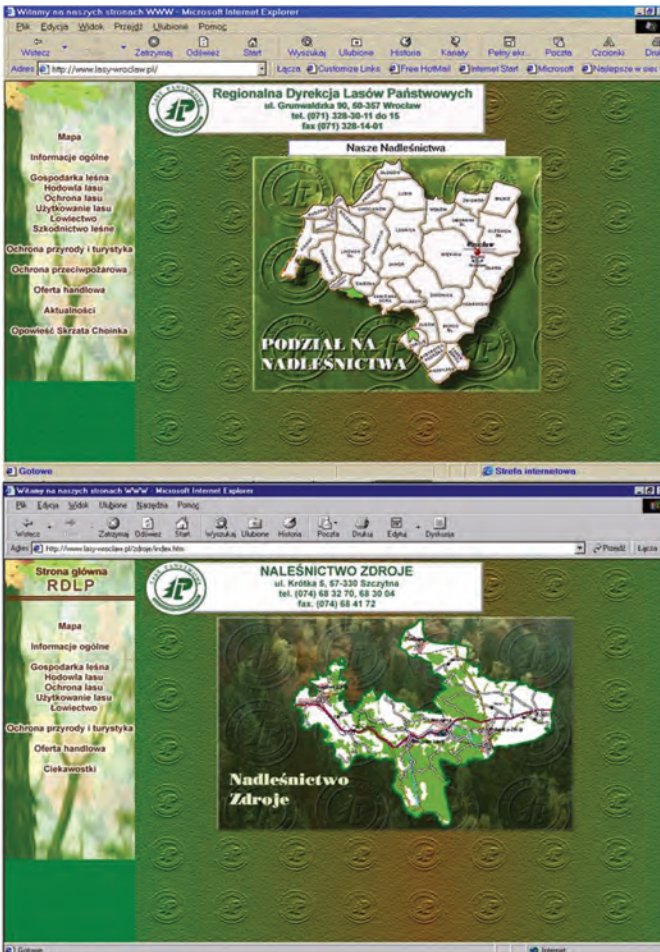
Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych zleciła w 1994 r. Instytutowi Geodezji i Kartografii wykonanie mapy numerycznej nadleśnictw Polski. Zdigitalizowane zostały zasięgi terytorialne nadleśnictw z map w odwzorowaniu „Pułkowo 1942” w skali 1:50 000. Utworzono także warstwy parków narodowych, podziału administracyjnego kraju, rejonizacji przyrodniczo-leśnej, zasięgów głównych gatunków drzew oraz – na podstawie zdjęć satelitarnych – kompleksów leśnych. W ciągu kilku następnych lat mapę uzupełniono o dodatkowe warstwy informacyjne, m.in.: leśne kompleksy promocyjne, drogi, koleje, wody, miejscowości, siedziby nadleśnictw, hipsometrię, nowe województwa, powiaty.

Pierwszym znaczącym zastosowaniem mapy były ilustracje kartograficzne wykonane z wykorzystaniem mapy numerycznej terytorialnych zasięgów nadleśnictw, zamieszczone w wydanej w kwietniu 1997 r. staraniem zespołu pracowników DGLP publikacji „Las w liczbach”. Później mapę wykorzystywano do prezentacji różnego rodzaju danych pochodzących ze sprawozdawczości leśnej, przeprowadzania związanych z tymi danymi analiz przestrzennych, zarządzania i marketingu, do celów publikacyjnych, reklamowych oraz strategicznego planowania polityki leśnej pań-

stwa. Była także używana do tworzenia map numerycznych regionalnych dyrekcji LP.

W celu uszczegółowienia mapy w 1999 r. pozyskano warstwę kompleksów leśnych, wykonaną ze zwektoryzowanych zdjęć satelity SPOT, o dokładności piksela 20 m oraz przeprowadzono w nadleśnictwach jej weryfikację (zakończoną w maju 2001 r.). Pozyskano także warstwy topograficzne (m.in. poligony miejscowości, drogi, wody powierzchniowe) zwektoryzowane ze zdjęć satelitarnych. Na ówczesne czasy była to najdokładniejsza mapa obejmująca wszystkie lasy w Polsce.

Na szczeblu regionalnych dyrekcji LP mapa numeryczna przyjmowała się dość trudno. Pierwsze nią zainteresowanie wykazała RDLP we Wrocławiu (wiosna 1999 r.). W latach 2000 i 2001 na terenie RDLP Krosno i Kraków oddziały BULiGL w Przemyślu i Krakowie wykonały na bazie map to-



Ryc. 1.2.3.
Fragmety
strony internetowej
RDLP
we Wrocławiu
z początku pierwszej
dekady obecnego
stulecia

pograficznych mapy nadleśnictw z kompleksami leśnymi, w niektórych przypadkach z wkartowaniem oddziałów. Mapy powstały w postaci wielkoformatowych wydruków.

Fragmenty mapy numerycznej zasięgów terytorialnych nadleśnictw przekazane zostały też do RDLP w Lublinie i Łodzi, gdzie wykorzystywano je w działalności bieżącej (w Lublinie pomocne były m.in. w analizach marketingowych) oraz do RDLP we Wrocławiu – tam zilustrowano za ich pomocą strony internetowe dyrekcji regionalnej i wszystkich jej nadleśnictw (istniejące do dziś). Następną była RDLP w Gdańsku, gdzie mapa zasięgów terytorialnych nadleśnictw posłużyła za kanwę do wykonania turystycznej mapy internetowej nadleśnictw RDLP. Interaktywna mapa turystyczna, poszerzona o opisy ciekawych obiektów, została zamieszczona w 2008 r. na stronie RDLP w Poznaniu. Wiosną 2009 r. o interaktywną internetową mapę wartości przyrodniczych wzbogaciła się strona Regionalnej Dyrekcji LP w Krakowie. Na portalach dyrekcji regionalnych w Gdańsku, Poznaniu, Wrocławiu, Szczecinie i Szczecinku na mapce znajdują się linki do stron podległych nadleśnictw.

30 sierpnia 2000 r. zarządzeniem nr 56 Dyrektor Generalny Lasów Państwowych powołał zespół zadaniowy, który miał pilotować wykonanie systemu informacji przestrzennej dla poziomu dyrekcji regionalnej LP. Do testowania wybrano RDLP w Łodzi (stąd nieoficjalna nazwa przedsięwzięcia – eksperyment łódzki). W prace, prowadzone przez firmę Taxus SI, ze stro-

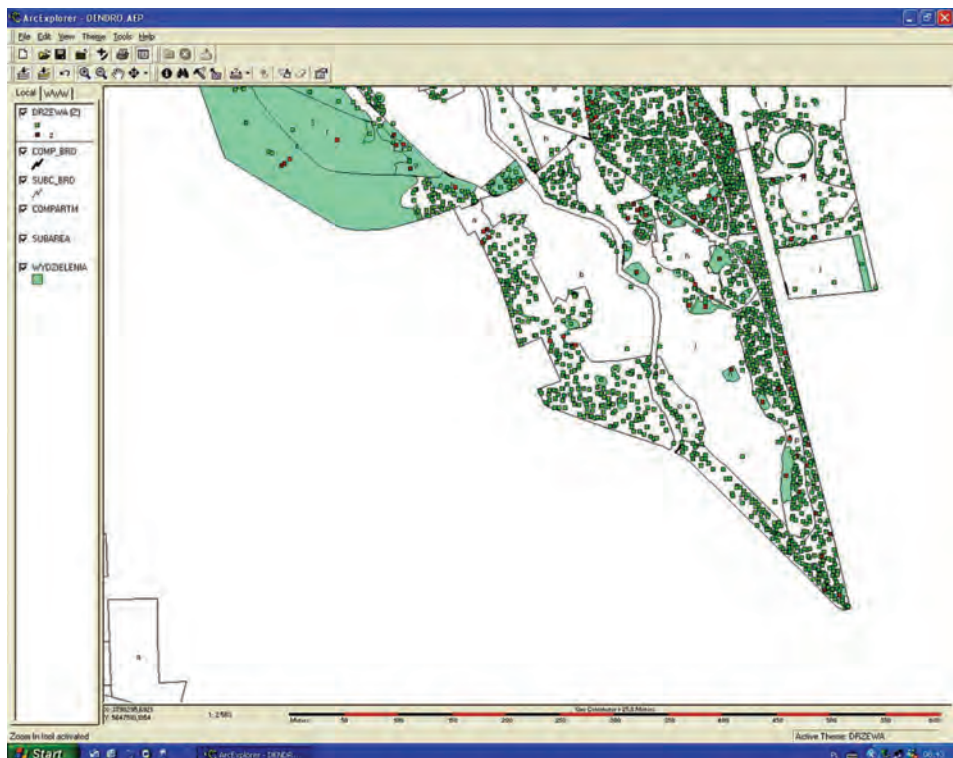


Ryc. 1.2.4. Fragment mapy numerycznej Leśnego Banku Genów, wykonanej na bazie mapy numerycznej terytorialnych zasięgów nadleśnictw

ny Lasów Państwowych najbardziej zaangażowany był pomysłodawca projektu, ówczesny dyrektor łódzkiej RDLP, nieżyjący już Stanisław Kostka Wiśniński. Zadanie zostało wykonane. Projekt odebrano 16 grudnia 2002 r., a 8 marca 2004 r. przyjęto do wiadomości na kierownictwie LP. Przedstawiona w projekcie koncepcja SIP dla szczebla regionalnego nie doczekała się jednak realizacji.

Dziś, kiedy wszystkie nadleśnictwa posiadają leśną mapę numeryczną, również w biurach dyrekcji regionalnych jest ona wykorzystywana dość intensywnie, zwłaszcza do ilustrowania różnego rodzaju raportów, a także przy prowadzeniu analiz przestrzennych w procesach decyzyjnych.

Leśny Bank Genów Kostrzyca, głównie dzięki staraniom nieżyjącego już dyrektora LBG dr. inż. Kazimierza Toki, mógł się poszczycić mapą numeryczną współpracującą z unikatowym oprogramowaniem informatycznym powiązanim z SILP. Stanowiła ona ilustrację kartograficzną „Zasobu genowego LBG”, wykonaną na bazie mapy zasięgów terytorialnych nadleśnictw w postaci reprezentacji punktowej drzewostanów nasiennych wyłączonych, drzew doborowych i plantacji nasiennych. Było to na ówczes-



Ryc. 1.2.5. Fragment mapy dendrologicznej OKL w Gołuchowie (na podstawie informacji od Adama Kozyry – OKL w Gołuchowie)

sne czasy (lata 1997–2000) nowatorskie w Lasach Państwowych przedsięwzięcie.

Ośrodek Kultury Leśnej w Gołuchowie korzysta z systemu informacji przestrzennej zbudowanego w 2005 r. w ramach prac urzędniowych. Bazą były przeprowadzone pomiary geodezyjne, inwentaryzacja typologiczna lasu oraz inwentaryzacja dendrologiczna gołuchowskiego parku-arboretum. Został też sporządzony program zagospodarowania parku. Podstawowym opracowaniem jest mapa dendrologiczna parku-arboretum, na której uwidocznione poszczególne drzewa mają dokładną lokalizację punktową i szczegółowy opis. Uzupełnieniem są pomocnicze mapy tematyczne, takie jak mapa nasadzeń i zadrzewień, mapa uszkodzeń pni, koron i liści. Dodatkowo wykonano mapę zagrożeń, zawierającą między innymi informacje dotyczące tzw. przedeptów – ścieżek wydeptanych przez turystów odwiedzających park-arboretum, oraz mapę roślin i zwierząt chronionych, ze szczególnym uwzględnieniem pomników przyrody oraz awifauny i entomofauny. Niezwykle ciekawą mapą tematyczną jest mapa walorów, przedstawiająca zarówno atrakcje turystyczne oferowane przez park-arboretum (ścieżki, stawy itp.), jak i ścieżki edukacyjne, które nie są trwale oznaczone w parku, ale wykorzystywane są na co dzień w działalności edukacyjnej prowadzonej przez Ośrodek Kultury Leśnej.

1.2.4. Ewolucja Standardu Leśnej Mapy Numerycznej

Już w trakcie eksperymentowania z pierwszymi mapami numerycznymi (zwłaszcza nadleśnictw Brzeziny i Świerkłaniec) dało się zauważyć, że konieczne będzie zdefiniowanie zasad ich tworzenia oraz późniejszej eksploatacji. Pierwsze przymiarki w tym kierunku można zauważyć w opracowaniu zespołu ds. informacji przestrzennej w leśnictwie i Centralnego Banku Danych pod kierownictwem dr. Edwarda Stępnia z SGGW, przy udziale DGLP, wykonanym w okresie od listopada 1996 r. do kwietnia roku 1997 na zlecenie MOŚZNiL, w którym zaproponowano procedury postępowania przy wdrażaniu SIP w resorcie środowiska (projekt, niestety, nie został zrealizowany). Pierwsze konkrety pojawiły się w sprawozdaniu zespołu zadaniowego ds. opracowania zasad przenoszenia informacji pomiędzy planem urzędzenia lasu a SILP, powołanego 28 listopada 1996 r. decyzją nr 58 Dyrektora Generalnego LP, która wyraziła konieczność przejścia na technologię cyfrową w kartografii leśnej.

W początkowym okresie wydawało się, że kluczowym elementem standardu będzie oprogramowanie, że wystarczy wybrać jeden z kilku istniejących programów GIS i oprzeć na nim bazę geometryczną Lasów Państwowych. Tak przecież robiono, tworząc mapy Brzezin (ArcInfo), Świerkłańca (MapInfo) czy Radymna (EWMAPA). W dniach 6–7 marca 1997 r. w DGLP

odbyła się prezentacja 10 oprogramowań GIS zakończona analizą ich przydatności do eksploatacji map numerycznych w nadleśnictwach. W rankingu najlepiej wypadło oprogramowanie firmy ESRI – światowego lidera w tej dziedzinie.

Na bazie zdobytych doświadczeń ukazało się Zarządzenie nr 23 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 18 maja 1998 r. w sprawie wstępnych założeń technicznych dla wykonawców leśnej mapy numerycznej oraz jej ewidencjonowania. Zawierało ono najważniejsze zasady o charakterze wytycznych określających kryteria, którym powinna podlegać leśna mapa numeryczna tworzona dla nadleśnictw w okresie przed zdefiniowaniem właściwego standardu. Miały one na celu łatwiejsze dostosowanie powstałych map do wymogów opracowywanego w DGLP Standardu Leśnej Mapy Numerycznej. W zarządzeniu określone zostały docelowe zadania leśnej mapy numerycznej na poziomie nadleśnictwa (z założeniem, że w przyszłości będzie ona również służyć do regulacji stanu posiadania), a także wskazano na obligatoryjność przyjęcia takich uwarunkowań, jak m.in.:

- skala wyjściowa (1:5000) i odwzorowanie geograficzne (układ 1965);
- interaktywne powiązania z bazą danych SILP, oparte na adresie leśnym;
- otwartość na modernizację powiązań relacyjnych z innymi formatami baz opisowych;
- otwartość na powiązania z innymi formatami GIS (z podkreśleniem wybranych formatów, pomiędzy którymi ma zaistnieć możliwość wzajemnej transformacji).

W zarządzeniu zdefiniowano też szereg elementów technicznych warunkujących budowanie bazy geometrycznej (w tym m.in. stosowanie znaków legendy mapy leśnej z obowiązującej „Instrukcji urządzania lasu”).

Ponieważ w DGLP trwały już przygotowania do opracowania Standardu Leśnej Mapy Numerycznej, zarządzenie zobowiązywało wykonawcę do przystosowania wykonanej LMN do przyjętego w przyszłości standardu.

Zarządzenie nr 23 obligowało również jednostki organizacyjne Lasów Państwowych do zgłaszania powstających map do ewidencji centralnej.

W rok po ukazaniu się zarządzenia nr 23, które nie obligowało do tworzenia map opartych na współrzędnych geodezyjnych, ze względu na wysoki koszt ich pozyskania w tym czasie, zorientowano się, że leśne mapy numeryczne muszą być jednak zgodne z geodezją powszechną. Dlatego też Dyrektor Generalny Lasów Państwowych 28 czerwca 1999 r. podpisał zarządzenie nr 60 w sprawie procedury zakładania ewidencyjnych map numerycznych w nadleśnictwach, uzupełnione później zarządzeniem nr 10/2001, które zawierały wytyczne normujące postępowanie przy wykonywaniu map numerycznych w nadleśnictwach.

O stworzeniu Standardu Leśnej Mapy Numerycznej zaczęto w DGLP myśleć już z początkiem 1998 r., kiedy to został opracowany program budowy i rozwoju bazy geometrycznej Lasów Państwowych. W ślad za nim ukazało się zarządzenie nr 23, a jesienią 1998 r. rozpoczęto prace przy

tworzeniu Standardu Leśnej Mapy Numerycznej dla poziomu nadleśnictwa. Pół roku później – w czerwcu 1999 r. – Dyrektor Generalny Lasów Państwowych powołał zespół zadaniowy do zdefiniowania potrzeb użytkowników SIP w LP. Równolegle firmie Taxus SI z Warszawy zlecono opracowanie projektu standardu, a naukowcom z Wydziału Leśnego SGGW – pracę badawczą noszącą cechy ekspertyzy pt. „System map leśnych”, która była niezwykle przydatna w definiowaniu treści standardu. Prace we wszystkich trzech grupach prowadzone były równolegle i w ścisłej kooperacji.

Po odebraniu w marcu 2000 r. projektu Standardu LMN od firmy Taxus SI DGLP rozpisała w wybranych nadleśnictwach i RDLP ankietę na temat potrzeb użytkowników LMN. Miała ona na celu sprecyzowanie funkcjonalności, przewidzianych Standardem LMN, dedykowanych aplikacji użytkowych. Ażeby standard mógł przyjąć formę oficjalnego zarządzenia, należało sprawdzić jego faktyczną użyteczność. Dlatego od maja 2000 r. rozpoczęto testowanie projektu standardu w trzech nadleśnictwach: Brzeziny, Skarżysko i Dojlidy. Testy zakończono rok później, a powołany 15 lutego 2001 r. przez Dyrektora Generalnego LP 22-osobowy zespół zadaniowy (z udziałem m.in. przedstawicieli firmy Taxus SI, który opracowywali pierwszy projekt standardu) przystąpił do redagowania ostatecznej treści standardu.

W dniu 23 sierpnia 2001 r. Dyrektor Generalny Lasów Państwowych podpisał zarządzenie nr 74 wprowadzające Standard Leśnej Mapy Numerycznej dla poziomu nadleśnictwa. Był to punkt zwrotny w historii geomatyki w Lasach Państwowych, gdyż dokument ten okazał się swego rodzaju ewenementem w skali lasów Europy, a nawet świata. Powstał Standard Leśnej Mapy Numerycznej, który jest spójny wewnętrznie, otwarty na modernizację wewnętrzną oraz na możliwość współpracy z innymi systemami. Wynikiem wejścia w życie tego standardu jest jednorodność wszystkich opracowań, utrzymanie jednolitości wymiany informacji, ułatwień w postaci dedykowanych aplikacji użytkowych, zapewnienie zdolności analitycznych SILP w skali kraju, zmniejszenie kosztów eksploatacji całego systemu (w tym również kosztów wdrożeniowych, szkoleń itp.).

W 2008 r. Dyrektor Generalny Lasów Państwowych podjął decyzję o tzw. centralizacji SILP. Sprowadzało się to do skumulowania w jednej geobazie danych opisowych i geometrycznych z rozproszonych baz danych wszystkich nadleśnictw. Z punktu widzenia leśnego SIP było to korzystne posunięcie, kończył się bowiem etap wdrażania LMN w nadleśnictwach, istniało duże rozproszenie danych składających się na SIP Lasów Państwowych, struktura danych przestrzennych nie wszędzie była jednolita oraz istniało spore zróżnicowanie wykorzystywanych rozwiązań informatycznych.

Główne założenia centralizacji to:

- przeniesienie danych LMN (w ślad za danymi SILP) z nadleśnictw do RDLP (komasacja danych),

- integracja baz SILP i LMN w jednej bazie danych (geobaza),
- instalacja serwerów GIS w RDLP (17 zamiast 431),
- udostępnianie danych GIS nadleśnictwom w postaci tzw. serwisów webowych (kodowany dostęp internetowy).

Po przeprowadzeniu centralizacji rozwiązana zostanie najbardziej newralgiczna kwestia aktualizacji SIP (czyli obu baz: opisowej i geometrycznej), a mianowicie:

- system edycji danych geometrycznych zintegrowany z przeglądarką LMN oraz z funkcjami aktualizacji opisu taksacyjnego;
- edycja bezpośrednio na danych w bazie Informix;
- dostęp do danych i interfejs użytkownika realizowane przy użyciu technologii WWW, przy wykorzystaniu serwera GeoSerwer;
- kilka scenariuszy aktualizacji (edycji) geometrii;
- automatyczne poprawianie topologii;
- aktualizacja danych geometrycznych zintegrowana z aktualizacją danych opisowych (atrybutowych).

Podczas powstawania niniejszej publikacji prace nad centralizacją były w toku, w związku z tym miarodajne informacje na ten temat znajdzie Czytelnik w innych (późniejszych) źródłach.

1.2.5. Pozycjonowanie satelitarne w Lasach Państwowych

Oficjalnie temat GPS w Lasach Państwowych zaistniał w kwietniu 2000 r., kiedy to ORWLP w Bedoniu zaprezentował na posiedzeniu kierownictwa LP wykonane na zlecenie DGLP przeddecyzyjne studium na temat zastosowania GPS w Lasach Państwowych. W listopadzie 2000 r. i w czerwcu roku następnego DGLP we współpracy z Wydziałem Leśnym SGGW przeprowadziła testowanie przydatności GPS do aktualizacji LMN. Podsumowaniem była praca doktorska Włodzimierza Karaszkiwicza i artykuł w „Głosie Lasu”.

Po 1 maja 2000 r., kiedy to prezydent USA Bill Clinton udostępnił niezniesztalony sygnał wszystkim użytkownikom systemu GPS i można było już odczytywać lokalizację z dość dużą dokładnością, pozycjonowanie satelitarne w Lasach Państwowych stało się prawie powszechne. Rosnące zainteresowanie systemem GPS spowodowało pojawienie się na rynku różnych odbiorników GPS, ale nie wszystkie sprawdzały się przy pomiarach terenów leśnych. Dlatego w marcu 2003 r. w Nadleśnictwie Podanin, staraniem DGLP, założony został poligon do ich testowania.

Z oprogramowań wykorzystujących w pomiarach lasu system GPS największą popularnością cieszy się dedykowany Lasom Państwowym mLas Inżynier firmy Taxus SI. W programie nawigacyjnym Automapa wśród punktów użyteczności publicznej można znaleźć kategorię „Lasy

państwowe” z lokalizacją siedzib wszystkich jednostek organizacyjnych PGL LP.

W połowie 2001 r. na terenie RDLP Zielona Góra i Piła testowano przydatność systemu GPS AgNav w opryskach lasu. Dzięki staraniom ORWLP w Bedoniu i firmy Horyzont GPS z Krakowa sprzęt i oprogramowanie zostały wypożyczone z Kanady. Ponieważ testy dowiodły zasadności zastosowania systemu GPS AgNav w opryskach lasu, w 2004 r. zakupione zostały – w dalszym ciągu do testów – dwa pierwsze systemy dla wspomnianych już dyrekcji, rok później dla dyrekcji warszawskiej, a w 2008 r. dla RDLP w Szczecinku. Kiedy przekonano się w praktyce o celowości stosowania tego typu urządzeń, 6 kwietnia 2007 r. ukazało się zarządzenie nr 18 Dyrektora Generalnego LP, wprowadzające obligatoryjne stosowanie tych systemów, zwanych DGPS AGRO, przy wykonywaniu zabiegów agrolotniczych w Lasach Państwowych (najczęściej wykorzystywany jest systemem AgNav oraz TrimFlight firmy Trimble). Dodatkowo AgNav pomocny był do naprowadzania samolotu przy testach zdjęć niefotogrametrycznych, wykonywanych na terenie RDLP Piła w latach 2008 i 2009.

1.2.6. Teledetekcja w Lasach Państwowych

Zdjęcia lotnicze w pracach urządzania lasu używane były sporadycznie już w pierwszej rewizji (lata 70. minionego stulecia). Jednak dopiero na przełomie wieków, kiedy dość tanim kosztem można było pozyskać z Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej tzw. zdjęcia Phare (wykonane w barwach naturalnych dla całej Polski w skali 1:26 000), wiele oddziałów BULiGL (zwłaszcza Białystok, Brzeg, Przemysł) zaczęło je wykorzystywać jako materiał pomocniczy do prac taksatorskich (przede wszystkim kartowania granic wydziełów). Prawdopodobnie ze względu na dość łatwy dostęp, dokładność opracowań, ale jeszcze dość wysoką cenę, instrukcje urządzania lasu dla III i IV rewizji (obowiązujące odpowiednio od roku 1994 i 2003) dopuszczały możliwość obligatoryjnego korzystania z materiałów fotogrametrycznych i teledetekcyjnych, ale tego nie nakazywały. Obligatoryjne stosowanie zdjęć lotniczych lub wysokorozdzielczych zobrażeń satelitarnych będzie dopiero zawierać nowa „Instrukcja urządzania lasu”.

Materiały teledetekcyjne mogą mieć zastosowanie nie tylko w pracach urządzania lasu. Bardzo przydatne są w aktualizacji leśnej mapy numerycznej, podczas prowadzenia analizy stanu zdrowotnego i sanitarnego lasu, przy monitorowaniu kłesk żywiołowych, w hodowli i użytkowaniu lasu, w inżynierii leśnej, a także w turystyce i edukacji przyrodniczo-leśnej. Dla tego zainteresowanie leśników tą dziedziną geomatyki jest coraz większe. Pewną barierę w szerszym jej rozpowszechnieniu stanowi jednak cena po-

zyskania materiałów zdjęciowych, odpowiedniego oprogramowania i zaawansowanego sprzętu oraz wykształcenia specjalistycznej kadry.

W drugiej połowie 1998 r. firma Fin Skog Geomatics Int. we współpracy z Wydziałem Leśnym SGGW podjęła się na zlecenie DGLP opracowania metodyki dla wielkoobszarowej inwentaryzacji lasu z zastosowaniem fotointerpretacji zdjęć satelitarnych. Testy odbyły się na terenie RDLP Piła. Wyniki nie były na tyle zadowalające, by prace kontynuować.

W dniu 4 lipca 2002 r. przez teren Puszczy Piskiej i Boreckiej przeszła trąba powietrzna, która spowodowała wielkie zniszczenia w drzewostanach. Były one dokumentowane zdjęciami lotniczymi, wykonanymi w listopadzie 2002 r. i w czerwcu roku następnego w bliskiej podczerwieni na zlecenie RDLP w Białymstoku, przy współpracy z DGLP. Zdjęcia wykorzystano m.in. w pracach urzędzeniowych, prowadzonych w tym czasie w Nadleśnictwie Pisz.

Od listopada 2004 r. prowadzone były przez DGLP rozmowy z firmą Techmex SA w sprawie wykorzystania w Lasach Państwowych zdjęć satelitarnych. 25 marca 2005 r. podpisano z nią umowę na testowanie w dwóch nadleśnictwach zdjęć satelity Ikonos w aktualizacji LMN. Po szczegółowym przeanalizowaniu udostępnionych przez Techmex zdjęć okazało się, że oddają one bardzo dokładnie granice wydzieleń, ale koszt ich pozyskania – zarówno do corocznej aktualizacji LMN, jak i do prac urzędzeniowych – jest zbyt wysoki.

W czerwcu 2005 r. w Nadleśnictwie Świeradów przystąpiono do wykonania kompletnego systemu GIS, wykorzystującego nowoczesne technologie geomatyczne, takie jak m.in.: wysokorozdzielcze zdjęcia satelitarne, laserowy skaning lidarowy, system kartowania dróg MMS, mobilny GIS. Projekt – rozszerzony dodatkowo o Nadleśnictwo Szklarska Poręba, czyli obejmujący cały teren LKP „Sudety Zachodnie” – był realizowany z funduszy UE Interreg IIIA, ze środków własnych nadleśnictw i dofinansowany z funduszu leśnego. Wdrożenie wypracowanych rozwiązań zakończyło się w lipcu 2008 r., a rok później Radomir Bałazy – najbardziej zasłużony dla tego projektu pracownik Nadleśnictwa Świeradów – odebrał podczas dorocznej konferencji użytkowników ESRI w San Diego (Kalifornia) nagrodę za „Szczególne osiągnięcia w systemach GIS” za opracowany i wdrożony system GIS w LKP „Sudety Zachodnie”. Projekt został wybrany spośród ponad 100 tys. aplikacji stosowanych przez użytkowników GIS na świecie.

Biorąc pod uwagę zdefiniowane potrzeby, a także duże zainteresowanie leśników posiadaniem aktualnych zdjęć teledetekcyjnych, z zaporową jeszcze ceną ich uzyskania (zwłaszcza z celu aktualizacji LMN i coraz częstszych kłęsk żywiołowych), w listopadzie 2007 r. rozpoczęły się w DGLP prace nad znalezieniem metod pozyskiwania zdjęć niefotogrametrycznych (wykonywanych nieprofesjonalnym aparatem fotograficznym z pokładu modeli latających i samolotów czarterowanych przez LP do patrolowania ppoż.). Rozpoznanie wykonane z zastosowaniem modeli latających nie przyniosło oczekiwanych rezultatów. Natomiast testy przeprowadzone

z wykorzystaniem samolotów patrolowych w lipcu 2008 r. i w czerwcu roku następnego pozwoliły mieć nadzieję na możliwość pozyskania tanich materiałów teledetekcyjnych do wykorzystania w pewnych dziedzinach leśnictwa, przede wszystkim w aktualizacji LMN i w zgrubnym określaniu strat spowodowanych klęskami żywiołowymi (zwłaszcza wywalającymi wiatrami, ogniem i gradacjami owadów).

1.2.7. Inne działania w zakresie wdrażania geomatyki w LP

W dniach 24–28 listopada 1997 r. na Targach POLEKO w Poznaniu odbyła się pierwsza publiczna prezentacja mapy zasięgów nadleśnictw, która wzbudziła bardzo duże zainteresowanie.

Z potrzeby zorientowania się w dominujących tendencjach w rozwoju GIS poza granicami RP i, co za tym idzie, ukierunkowania wdrażania SIP w Lasach Państwowych zgodnie z tymi trendami, DGLP zleciła Wydziałowi Leśnemu SGGW pracę pt. „Systemy informacji przestrzennej w lasach Europy i świata”, której odbiór odbył się 26 listopada 1999 r.

W sierpniu 2000 r. staraniem DGLP została wydana publikacja „System Informacji Przestrzennej w Lasach Państwowych – podręcznik użytkownika leśnej mapy numerycznej”. Praca powstała na podstawie referatów z dziedziny geomatyki, wygłaszanych na spotkaniach szkoleniowych z pracownikami Lasów Państwowych przez naukowców z uczelni leśnych (głównie WL SGGW), przedstawicieli firm komercyjnych i specjalistów z LP. Podręcznik adresowany był przede wszystkim do pracowników Lasów Państwowych, ale służył również studentom, głównie wydziałów leśnych, ale nie tylko. Niniejsza książka, także wydana jako praca zbiorowa, w większości tych samych autorów, jest kontynuacją tamtej publikacji, ale znacznie rozszerzoną tematycznie.

W związku z koniecznością usprawnienia organizacji wdrażania SIP w nadleśnictwach w dyrekcjach regionalnych Lasów Państwowych jesienią 2001 r. utworzono stanowiska koordynatorów SIP. W dniach 13–14 grudnia 2001 r. w Margoninie odbyło się pierwsze spotkanie organizacyjno-szkoleniowe koordynatorów. Podobnego rodzaju spotkania, połączone ze szkoleniami, odbywają się przynajmniej raz w roku.

W Wydziale Informacji Przestrzennej DGLP została założona strona internetowa poświęcona geomatyce Lasów Państwowych. Działała od stycznia 2001 r. do września roku 2004, a po przerwie trwającej do połowy 2008 r. została wznowiona pod adresem: www.geomatyka.lasy.gov.pl.

Ciekawe rozwiązanie geomatyczne zastosowano w projekcie aplikacji do symulacji rozwoju pożaru, której opis przedstawiono w pracy naukowo-badawczej „Opracowanie dynamicznego modelu rozwoju pożaru”. Pracę wykonał IBL na zlecenie DGLP, a jej odbiór nastąpił 5 marca 2002 r. Aplikacja nie została wdrożona.

We wrześniu 2002 r. odebrana została od SGGW praca naukowo-badawcza „Analizy przestrzenne, optymalizacja i symulacje przestrzenne w zarządzaniu Lasami Państwowymi z uwzględnieniem standardów leśnych map numerycznych na poziomie nadleśnictwa, RDLP i DGLP”, w której zaproponowano scenariusze ponad 50 aplikacji eksploatacyjnych wykorzystujących SIP. Mimo że praca, napisana pod kierownictwem prof. Jerzego Mozgawy, proponowała skuteczne rozwiązania problemów zgłaszanych przez samych użytkowników LMN we wcześniej rozpisanej ankiecie, to niestety żadna z zaproponowanych aplikacji do końca 2009 r. nie została zrealizowana.

Mapy numeryczne wprowadzane były do nadleśnictw najczęściej podczas oddawania planów urządzenia lasu. Ponieważ wykonywane są one raz na 10 lat, wdrażanie LMN przeciągnęłoby się w czasie do ok. 2011–2012 r. Biorąc pod uwagę presję nadleśnictw nie posiadających jeszcze LMN na jej pilne zbudowanie, powstał pomysł – po zaistnieniu aplikacji Aktualizator LMN (grudzień 2003) – na wykonanie map w okresie przedurządzeniowym i sfinansowanie ich z funduszu leśnego, z kwot przeznaczonych na prace urządzeniowe. Byłyby one corocznie aktualizowane i przekazywane urządzeniowcom w okresie planowanego wejścia taksacji do nadleśnictwa. Opierając się na tych przesłankach, w lutym 2004 r. podjęto na zlecenie DGLP próbę zbudowania w ciągu dwu lat przez BULiGL, który dysponował odpowiednim zapleczem technicznym i kadrowym, leśnej mapy numerycznej dla nadleśnictw jeszcze jej nie posiadającej. Niestety, Dyrektor Generalny LP odstąpił od tej umowy, gdyż wymagało to wyłożenia jednorazowo znacznej kwoty. Ostatecznie wykonanie map przedurządzeniowych rozłożono w czasie. Ostatnie nadleśnictwo (Drewnica w RDLP Warszawa) zakończyło konstruowanie LMN w 2009 r.

Pod koniec 2005 r. ukazał się – staraniem ORWLP w Bedoniu – Leśny Przewodnik Turystyczny z wersją na płycie CD i online na stronie WWW, na której znalazła się również mapa interaktywna wykonana na podstawie warstw z DGLP.

W latach 2006 i 2007 na terenie całych Lasów Państwowych prowadzona była siłami własnymi inwentaryzacja przyrodnicza – najdokładniejszy od początku istnienia Lasów Państwowych spis z natury osobliwości przyrodniczych. Bardzo dużą rolę w opracowaniu wyników inwentaryzacji odegrały narzędzia geomatyczne. Równolegle (szczególnie w roku 2007) trwała współpraca Lasów Państwowych z Ministerstwem Środowiska przy programie Natura 2000. Wydział Geoinformatyki LP intensywnie uczestniczył w pracach nad wyznaczaniem granic naturalnych oraz inwentaryzacją siedlisk i ptaków objętych tym programem. Udało się nawet pozyskać od Głównego Geodety Kraju arkusze ortofotomapy terenu całego kraju na potrzeby programu Natura 2000.

Z początkiem 2008 r. zakończyły się prace nad programem retencjonowania wód w Lasach Państwowych (tzw. mała retencja), który w dużym stopniu opierał się na wykorzystaniu narzędzi geomatycznych.

2. Wprowadzenie do geomatyki leśnej

dr inż. DARIUSZ KORPETTA – Szkoła Główna Gospodarstwa
Wiejskiego, Wydział Leśny

Bardzo szybki rozwój technik i technologii informatycznych oraz telekomunikacyjnych rozbudził, z jednej strony, zapotrzebowanie na informacje, z drugiej zaś doprowadził do wymiany olbrzymich ilości danych. Żadna decyzja gospodarcza, społeczna czy polityczna nie zapada bez wielostronnej analizy danych gromadzonych w systemach komputerowych i udostępnianych w sieci. To, co niegdyś było hermetyczną wiedzą wykorzystywaną przez wąskie grono fachowców, dziś staje się potrzebne do funkcjonowania grup społecznych i pojedynczych ludzi. Tak właśnie stało się z danymi opisującymi przestrzeń, w której żyjemy. Trudno dziś sobie wyobrazić sytuację, w której nie będziemy dysponowali systemami nawigacyjnymi ułatwiającymi na przykład planowanie podróży i jazdę samochodem. Zdążyliśmy się przyzwyczać do oglądania świata przez pryzmat ogólnodostępnych danych kartograficznych i obrazowych, zamieszczanych w geoportalach internetowych. Szeroki dostęp do danych geoprzestrzennych, możliwość korzystania na co dzień z systemów pozycjonowania satelitarnego oraz zobrazowań lotniczych i satelitarnych sprawia, że wielu ludzi uważa, iż wiedza dotycząca istoty geoinformacji oraz metod zbierania, przetwarzania i udostępniania takich informacji jest niepotrzebna. Tak jednak nie jest. Podejmując decyzje oparte na wynikach analiz danych geoprzestrzennych, musimy mieć świadomość dokładności oraz ewentualnych błędów zarówno danych, jak i zastosowanych metod ich przetwarzania. Wiedza o szeroko rozumianej istocie geoinformacji i metodach zarządza-

nia taką informacją nazywana jest od początku lat 90. ubiegłego wieku geomatyką.

Termin „geomatyka” powstał w Kanadzie z połączenia dwóch nazw: „**geodesy**” oraz „**informatics**”. Geomatyka jako nauka o tak zwanej geoinformacji zajmuje się położeniem, właściwościami i wzajemnymi relacjami dotyczącymi obiektów posiadających odniesienie przestrzenne w stosunku do Ziemi. Zajmuje się również technikami i technologiami zbierania, udostępniania i analizowania danych opisujących takie obiekty. Geomatyka integruje klasyczne dziedziny wiedzy: geodezję, kartografię, fotogrametrię i teledetekcję, tworząc jeden wspólny system zarządzany narzędziami systemów informacji przestrzennej (SIP), zwanych także systemami GIS (Geographic Information System).

Rozwój systemów informacji przestrzennej nieodłącznie związany jest z faktem, że dysponując odpowiednimi procedurami postępowania zawartymi w programach komputerowych, przystosowanych do przetwarzania danych przestrzennych, możemy w łatwy sposób rozwiązywać problemy natury praktycznej, wypełniając lukę pomiędzy nauką a praktyką. Działania takie noszą nazwę analiz przestrzennych i obecnie prawie całkowicie eliminują korzystanie z numerycznych baz danych przestrzennych jako tylko i wyłącznie mapy w komputerze. Systemy informacji przestrzennej umożliwiają dziś budowanie gmachu wiedzy o procesach zachodzących w środowisku, co pozwala na prognozowanie różnorodnych zjawisk. W tym znaczeniu systemy informacji przestrzennej stają się podstawowym narzędziem racjonalnego planowania wykorzystania przestrzeni.

Jedną z ważniejszych cech systemów geoinformacyjnych jest zdolność łączenia danych ogólnych i szczegółowych pochodzących z różnych źródeł. Rozwój systemów informacji przestrzennej, a zwłaszcza sieci komputerowych, doprowadził do podjęcia prac nad udostępnieniem informacji gromadzonej przez różne instytucje i organizacje. W krajach Unii Europejskiej przyjęta została dyrektywa INSPIRE określająca infrastrukturę informacji przestrzennej w Europie. Może być ona definiowana jako zespół środków prawnych, technicznych, organizacyjnych i technicznych zapewniający powszechny dostęp do danych przestrzennych gromadzonych przez instytucje publiczne i związanych z nimi usług na obszarze Wspólnoty Europejskiej. Przedmiotem dyrektywy INSPIRE są dane odnoszące się do środowiska, a więc takie, którymi jest zainteresowany również leśnik. Działanie dyrektywy INSPIRE ułatwi dostęp do takich danych, a tym samym przyczyni się do upowszechnienia metod geoinformacji wśród osób podejmujących decyzje mające wpływ na środowisko, w tym także wśród leśników.

Trudno jest jednoznacznie wskazać, jaki zakres znaczeniowy kryje się pod pojęciem: system informacji przestrzennej. Rozwój SIP był stymulowany przez wiele różnych dziedzin, takich jak geodezja, leśnictwo, obrona, kataster czy planowanie regionalne. Każda z tych dziedzin miała różne potrzeby w stosunku do geoinformacji, dlatego też funkcje SIP cechowały się

dużą różnorodnością – od programów statystycznych po programy graficzne wspomagające projektowanie. Dlatego też systemy informacji przestrzennej można postrzegać w węższym zakresie – jako zbiór skutecznych narzędzi służących do zbierania, gromadzenia, swobodnego dostępu, przetwarzania i prezentacji danych przestrzennych o świecie rzeczywistym, lub szerszym – jako system wspomagania decyzji związany z interaktywnym przetwarzaniem danych przestrzennych w celu rozwiązywania problemów.

Współczesny model systemu informacji przestrzennej musi zawierać moduły związane z:

- pozyskaniem danych,
- systemem przechowywania i analizowania danych,
- zamianą danych na użyteczne informacje.

Całość musi funkcjonować w przestrzeni formalnoprawnej gwarantującej odpowiednią dokładność, wiarygodność i aktualność danych, ich bezpieczeństwo i interoperacyjność w styku z innymi systemami.

Budowa systemu wymaga zaangażowania wielu środków i musi być prowadzona według dobrze przygotowanego projektu. Należy uwzględnić w nim obecne możliwości techniczne, a także zaplanować łatwe dostosowanie systemu do szybko zmieniających się technologii. Współczesne tendencje są oczywiste. Następuje odejście od budowania systemów w architekturze zorientowanej na jedną aplikację na rzecz systemów o architekturze zorientowanej serwerowo, co umożliwia tworzenie tzw. Web GIS, funkcjonującego w sieci Internet.

2.1. Pozyskiwanie danych

Każdy system musi być zasilany danymi. Tradycyjnie dane przestrzenne zbierane były metodami geodezyjnymi z wykorzystaniem pomiarów bezpośrednich. Na podstawie takich pomiarów powstawał uogólniony obraz rzeczywistości w postaci map. Początkowo przy budowie systemów informacji przestrzennej wykorzystywano istniejące materiały kartograficzne. Metoda ta zawsze prowadzi do nieuniknionego przenoszenia błędów pomiędzy mapą a bazą danych systemu, ze względu jednak na koszty prac pomiarowych jest jeszcze powszechnie wykorzystywana. Szybkie i tanie zbieranie danych przestrzennych bezpośrednio w terenie coraz częściej umożliwia współczesna technika. Rozwój technologii pozycjonowania satelitarnego doprowadził do powstania całkowicie nowych możliwości rejestrowania obiektów przestrzennych w bazach numerycznych, ale użytkownicy takich systemów muszą mieć świadomość ograniczeń związanych z tą metodą pomiarową. Są one bardzo istotne przy pomiarach obszarów leśnych, kiedy to sygnał satelitarny jest zakłócany i degradowany. Budowa baz numerycznych systemu informacji przestrzennej musi się odbywać w sposób gwarantujący zachowanie założonej dokładności. Dokładność

zbierania danych musi być więc znana, a pozyskane dane muszą mieć przypisaną informację na ten temat.

Dane o stanie środowiska można obecnie stosunkowo łatwo pozyskiwać metodami fotogrametrii i teledetekcji. Rozwój starych, tradycyjnych metod pozyskiwania obrazów doprowadził do pełnego upowszechnienia takich produktów, jak wielkoskalowe i wysokorozdzielcze ortofotomapy czy opracowania tematyczne będące rezultatem różnorodnych przetworzeń danych pierwotnych. Nowe techniki, między innymi skanowanie laserowe, umożliwiają obecnie budowę wiernych modeli przestrzeni trójwymiarowej. Może mieć to bardzo duży wpływ na zmianę podejścia do klasycznych metod inwentaryzacji lasu. Nowy paradygmat wykorzystania materiałów fotogrametrycznych i teledetekcyjnych wyraźnie wskazuje, że nie będą one służyły tylko do określenia położenia obiektów. Szczególnie w leśnictwie znaczenia nabiera rozwój technologii zmierzających do pozyskiwania z danych teledetekcyjnych informacji o cechach drzewostanów. Zasilanie baz danych systemu informacji przestrzennej o tego typu dane lub ich pochodne wymagać będzie przeprowadzenia szeregu testów niezbędnych do oszacowania pełnej przydatności tak budowanych baz na potrzeby leśnictwa i ich dokładności. Zmiana w sposobie pozyskiwania danych może mieć również wpływ na organizację danych w modelach fizycznych. Dotychczas stosowany model wektorowy może w niedalekiej przyszłości zostać uzupełniony, a nawet zastąpiony przez rastrowy model danych przestrzennych.

2.2. Przechowywanie, analizowanie danych i zarządzanie nimi

Budując system informatyczny, należy określić jego logiczny model danych. Tradycyjnie systemy informacji przestrzennej budowane były jako systemy relacyjne, w których świat rzeczywisty reprezentowany jest w postaci jednorodnych warstw informacyjnych. W modelu tym osobno zapisywane są informacje np.: o sieci wodociągowej, budynkach, ulicach, zieleni, działkach, glebie itp. Takie podejście umożliwia późniejszą aktualizację informacji oraz poprawne określanie relacji między obiektami. Atrybuty obiektów przestrzennych mogą być dołączane do bazy geometrycznej za pomocą specjalnych tabel zawierających relacyjne klucze łączenia. Oprogramowanie zawsze umożliwia późniejsze, wspólne prezentowanie oraz przetwarzanie tak utworzonych warstw informacyjnych. W takim modelu została zbudowana także leśna mapa numeryczna, stanowiąca bazę danych przestrzennych, które mogą być sprzężone z atrybutami przechowywanymi w SILP (Systemie Informatycznym Lasów Państwowych), tworząc System Informacji Przestrzennej Lasów Państwowych.

Nowszy niż relacyjny, tzw. obiektowy model danych umożliwia przechowywanie danych jako obiektów lub zdarzeń danej klasy, posiadającej wspólną charakterystykę, opisaną tymi samymi atrybutami. Obiekty mogą być modelowane w strukturze zgodnej ze światem realnym w sposób intuicyjnie zrozumiały dla użytkowników. Podstawowa różnica pomiędzy modelem relacyjnym a obiektowym polega na tym, że obiekt przechowuje wszystkie atrybuty go opisujące, a nie w tabelach danych powiązanych związkami relacyjnymi.

Najnowszym podejściem do budowy baz danych jest model obiektowo-relacyjny. Tworzone są w nim geobazy, które mogą współpracować z tradycyjnymi bazami relacyjnymi. Rozwój oprogramowania modelu relacyjno-obiektowego sprawia, że być może w przyszłości stanie się on podstawowym modelem do budowy dużych korporacyjnych czy też branżowych systemów informacji przestrzennej. Należy sądzić, że w tym kierunku następować też będzie rozwój baz danych przestrzennych konstruowanych na potrzeby Lasów Państwowych.

Podejmowanie decyzji w zakresie zastosowania konkretnego logicznego modelu danych musi być poprzedzone wszechstronną analizą potrzeb i kosztów. Zbyt szybkie wprowadzanie nowości technicznej na dużą skalę może w przyszłości powodować znaczne koszty, które nie zostaną zrekompensowane otrzymanymi korzyściami. Zawsze jednak podejmując decyzje, należy uwzględnić możliwą później, łatwą konwersję danych pomiędzy logicznymi modelami danych.

Organizacja, taka jak Lasy Państwowe, dysponując informacją o stanie środowiska, będzie zobowiązana do udostępniania swoich zasobów na potrzeby administracji publicznej. Również informacja o stanie lasów, zgodnie z prawem, będzie musiała być udostępniana społeczeństwu. Zachodzi więc konieczność pełnego uzgodnienia geometrycznych baz danych, tworzonych na potrzeby Lasów Państwowych, z referencyjnymi danymi publicznymi, tworzonymi głównie przez służbę geodezyjną. Takie rozwiązanie wymusza dyrektywa INSPIRE. Z kolei system konstruowany dla lasów będzie mógł korzystać z innych danych, tworzonych przez podmioty publiczne. Takie podejście zmieni dotychczasowy sposób korzystania z leśnej mapy numerycznej. Rozwiązania typu desktop i zamknięte aplikacje będą musiały ustąpić miejsca rozwiązaniom serwerowym, i to zorientowanym na pozyskanie danych z bardzo różnych, rozproszonych źródeł. Będzie to miało wpływ na rozwiązania techniczne i organizacyjne modułu związanego z systemem przechowywania i analizowania danych przestrzennych leśnictwa.

2.3. Zamiana danych na użyteczne informacje

W codziennej praktyce leśnictwa największa zmiana w najbliższej przyszłości zajdzie z pewnością w module zamiany danych na użyteczne informacje. Proste przetworzenia, raporty i mapy dzisiaj stosowane muszą zostać uzupełnione o praktyczne wykorzystanie istniejących baz danych do wielowariantowych i wielokryterialnych analiz przestrzennych. Analizy te mogą być prowadzone z zastosowaniem znanych i sprawdzonych algorytmów postępowania, również z wykorzystaniem systemów ekspertowych. Wiele z nich będzie jednak mogło być realizowane – ze względu na niepełny stan wiedzy – tylko z zastosowaniem tzw. sztucznej inteligencji. Prawdopodobnie do prowadzenia analiz zostanie szeroko wykorzystana tzw. map algebra, czyli sformalizowany opis działań na warstwach informacyjnych zbudowanych w modelu rastrowym. Analizy rastrowe z łatwością będzie można wykorzystać do budowy modeli stanów przyszłych poszczególnych drzewostanów i kompleksów leśnych. Interoperacyjność różnorodnych baz danych opisujących środowisko zapewni możliwość oceny skutków podejmowanych działań na obszarze lasów w szerszym kontekście funkcjonowania krajobrazu jako całości.

Leśny system informacji przestrzennej będzie wykorzystywany w szerokim propagowaniu wiedzy o lasach i pracy leśników. Nawarstwione w społeczeństwie stereotypy, polegające na postrzeganiu leśnika jako kogoś, kto tylko pozyskuje drewno, mogą zostać zmienione przez wdrożenie i uruchomienie portali edukacyjnych, w których dane przestrzenne dotyczące lasów będą wykorzystane do prowadzenia symulacji i gier związanych z promowaniem działań leśników w obszarze wszystkich funkcji, które ma spełniać las.

Aby informacja uzyskana w wyniku analiz była naprawdę użyteczna, musi być wiarygodna w zakresie założonej tolerancji błędów. Jednym z najważniejszych problemów, który musi być w związku z tym rozwiązany, jest aktualizacja istniejących baz danych. Funkcjonujący Standard Leśnej Mapy Numerycznej opisuje procedury prowadzenia aktualizacji bazy geometrycznej. Ważne jest, aby osoby odpowiedzialne za realizację praktyczną tych zasad były przygotowane merytorycznie i całościowo rozumiały problem gromadzenia i przetwarzania pozyskiwanych danych. Bez zrozumienia istoty funkcjonowania budowanego systemu nie będzie możliwe utrzymanie aktualności baz danych przestrzennych na żądanym poziomie wiarygodności.

Nieustanny rozwój techniczny wymusza od osób, które w swojej codziennej pracy będą korzystały z technik i technologii geomatyki, konieczność dokształcania się w tej dziedzinie. Niniejszy podręcznik, prezentujący problemy wprowadzania i wykorzystania geomatyki w leśnictwie, przyczyni się z pewnością do upowszechnienia tej dyscypliny wiedzy.

Z uwagi na podstawowe treści w nim zawarte niektórym czytelnikom będzie się, być może, wydawał zbyt prosty. Pamiętajmy jednak, że stosowanie zaawansowanych technik i technologii wymaga od wszystkich bardzo dobrego opanowania wiedzy podstawowej. Kształcenie w zakresie geomatyki staje się obowiązkiem leśników. Ich wiedza umożliwi pełne wykorzystanie gromadzonych danych dla polepszania stanu i zachowania trwałości polskich zasobów leśnych.

3.

Modele danych przestrzennych

dr inż. DARIUSZ KORPETTA – Szkoła Główna
Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Leśny

Budowa systemu informacji przestrzennej wymaga podjęcia wielu prac analitycznych, których rezultatem będzie całościowy projekt funkcjonowania systemu. Praktyczne wykorzystanie geoinformacji zgromadzonej w bazach danych jest uzależnione od przyjętego modelu danych przestrzennych, wykorzystanego do ich budowy. Modele wektorowy i rastrowy należy uznać za podstawowe. Istnieją dane hybrydowe – rastrowo-wektorowe. Wielu autorów za niezależną strukturę danych przyjmuje model TIN (sieć nieregularnych trójkątów), stosowany przy budowie numerycznego modelu powierzchni.

Podstawowymi problemami, które muszą być brane pod uwagę przy budowie systemów informacji przestrzennej, są:

- formaty i struktury danych. Obecnie funkcjonuje ponad 20 różnych standardów danych przestrzennych, co znacznie ogranicza swobodę wymiany danych pomiędzy różnymi programami;
- interoperacyjność, której brak uniemożliwia wykorzystanie rozproszonych danych przestrzennych przez użytkownika końcowego za pomocą prostych przeglądark stron WWW.

3.1. Rodzaje modeli danych przestrzennych

3.1.1. Model wektorowy

W wektorowym modelu danych zapis punktów, linii i wieloboków (poligonów) może być dokonany z pełną dokładnością, wyrażoną w określonym układzie współrzędnych. Jest to zapis wymagający mało pamięci, ale – w wypadku konieczności aktualizacji – operacyjnie dość złożony. Przy zapisie wektorowym istnieje możliwość dokładnego przedstawienia granic elementarnych jednostek przestrzennych, którym przyporządkowane są określone atrybuty tematyczne. Jednostkami takimi mogą być: działka, kontur glebowy, budynek, oddział leśny, pododdział, wydzielenie drzewostanowe itp.

W reprezentacji wektorowej przestrzeni punkt na płaszczyźnie jest reprezentowany przez parę współrzędnych (X , Y); linię tworzy uporządkowany ciąg punktów, będących kolejnymi jej wierzchołkami; poligon jest linią, w której punkt początkowy i końcowy są tym samym punktem. Tak opisany model danych nosi nazwę prostego modelu wektorowego. Jest powszechnie wykorzystywany w grafice komputerowej (CAD) oraz w prostych programach typu GIS. W bardziej zaawansowanych systemach GIS stosowany jest model topologiczny, zapewniający możliwość określania relacji pojedynczego obiektu przestrzennego z jego sąsiedztwem w jednej lub wielu warstwach danych przestrzennych dotyczących tego samego obszaru.

3.1.1.1. Prosty model wektorowy

Prosty model wektorowy (ryc. 3.1) stanowi zbiór nie powiązanych ze sobą obiektów punktowych, liniowych i powierzchniowych.

Obiekty przedstawione na ryc. 3.1 można opisać w następujący sposób:

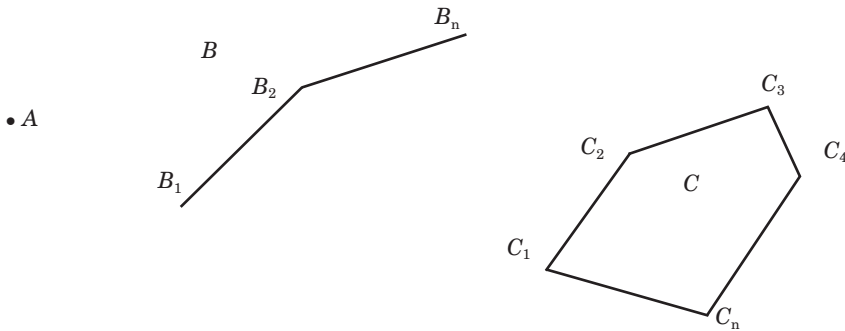
$A (x_A, y_A)$,

$B (x_{B1}, y_{B1}, x_{B2}, y_{B2}, \dots, x_{Bn}, y_{Bn})$,

$C (x_{C1}, y_{C1}, x_{C2}, y_{C2}, \dots, x_{Cn}, y_{Cn}, x_{C1}, y_{C1})$.

Tworzą one odpowiednio kodowaną listę, która jest przetwarzana przez programy komputerowe do postaci rysunku na monitorze lub urządzeniu zewnętrznym. Zaletą tej reprezentacji danych przestrzennych jest prostota i możliwość utworzenia w zasadzie dowolnymi programami do zarządzania danymi przestrzennymi, a nawet zwykłymi edytorami tekstu. Istotnymi wadami tego modelu danych są:

- konieczność podwójnego zapisu informacji na stykach obiektów, a przez to kłopotliwa aktualizacja, która może prowadzić do braku tożsamości współrzędnych teoretycznie tych samych punktów;



Ryc. 3.1. Obiekt punktowy (A), liniowy (B) i powierzchniowy (C)

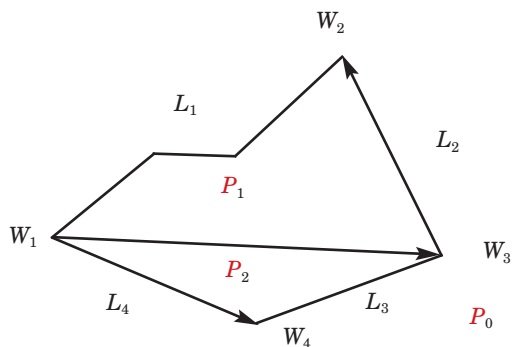
- utrudniona analiza związków przestrzennych zachodzących między obiektami.

Budując bazy danych przestrzennych, należy dbać o ich spójność, ciągłość i jednoznaczność. Nadmiarowość danych i nieuchronnie z nią związana ich niejednoznaczność wymagają przy stosowaniu prostego modelu wektorowego prowadzenia kontroli spójności tych danych i stosowania programów wykrywających występujące niezgodności.

3.1.1.2. Topologiczny model danych wektorowych

Topologia jest dziedziną algebry, badającą te właściwości przestrzenne figur geometrycznych i brył, które są niezależne od ich kształtu, np. położenie i sąsiedztwo. Początkowo topologia była wykorzystywana w systemach informacji przestrzennej do budowy spójnych wewnętrznie, wektorowych warstw informacyjnych. Model danych zakładał, że oprócz położenia obiektu definiowany jest także jego związek z innymi obiektami. Określano zależności topologiczne istniejące między obiektami:

- zerowymiarowymi (punktami węzłowymi),



Ryc. 3.2. Topologiczny model danych

- jednowymiarowymi (liniami granicznymi),
- dwuwymiarowymi (obszarami).

Punkty (węzły) połączone w sposób uporządkowany tworzą odcinki linii, te zaś z kolei mogą określać jednostki powierzchniowe. Do opisu przestrzeni trzeba więc:

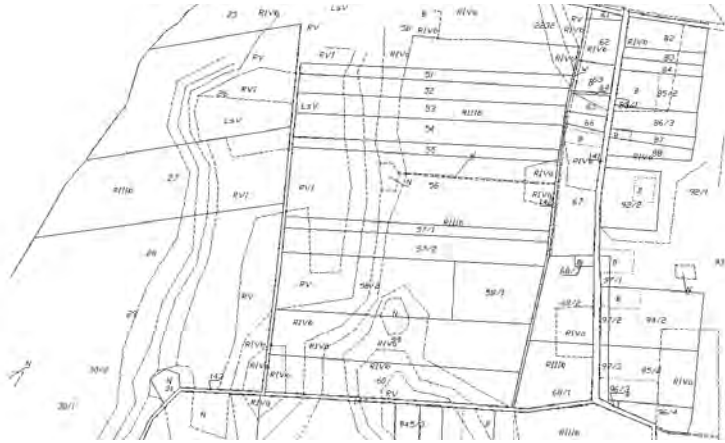
- podać położenie punktów węzłowych (współrzędne),
- określić przebieg linii między węzłami (np. linia L_4 łączy węzły W_1 i W_4),
- opisać powierzchnie znajdujące się po obu stronach linii (np. z lewej strony linii L_4 znajduje się obszar P_2 , a z prawej obszar P_0),
- dla linii, które pomiędzy węzłami mają dodatkowe punkty załamania, należy podać położenie tych punktów (np. linia L_1).

W modelu topologicznym definiowany jest zwrot linii. Zmiana zwrotu powoduje konieczność zmiany definicji obszarów położonych po jej lewej i prawej stronie.

Topologiczny model przestrzeni gwarantuje zapisanie współrzędnych każdego punktu tylko raz, nie ma więc powtarzania i niejednoznaczności danych. Bardzo łatwo dokonuje się też ich aktualizacji. Zmiana położenia jednego z punktów charakterystycznych automatycznie powoduje zmianę całego modelu. Ułatwione są wszelkie operacje przestrzenne. Na przykład wyszukanie jakiegoś obszaru wymaga jedynie znalezienia wszystkich linii, które po lewej lub prawej stronie mają przypisany ten obszar. Wyszukanie takich linii, dostęp do wszystkich ich punktów charakterystycznych, umożliwia automatyczne i jednoznaczne wyznaczenie długości obwodu i pola powierzchni badanego obszaru i ich bieżącą aktualizację w wypadku wprowadzenia jakichkolwiek zmian.

Wraz z rozwojem technik i technologii informatycznych zaczyna nabierać nowego znaczenia również topologiczny model danych. To, co pierwotnie wykorzystywano do prowadzenia analiz w jednej warstwie informacyjnej, dzięki zastosowaniu relacyjno-objektowej geobazy umożliwia prowadzenie analiz spójności danych w wielu warstwach w przestrzeni trójwymiarowej. Wszelkie niespójności topologiczne są łatwo wykrywalne, co przyczynia się do podniesienia dokładności i jakości obecnych baz danych wektorowych. Topologiczny model danych przestrzennych upraszcza algorytmy obliczeniowe, wykorzystywane w badaniu związków przestrzennych między obiektami, ułatwia także wykonywanie różnorodnych analiz przestrzennych. Model ten jest powszechnie stosowany w zaawansowanych programach umożliwiających budowę SIP. W programach komputerowego wspomaganie projektowania (CAD) i prostszych programach SIP implementuje się na ogół prosty model wektorowy, zapewniając często narzędzia ułatwiające kontrolę spójności tworzonych baz, choć pamiętać należy, że nie eliminują one możliwości popełnienia błędu niespójności.

Model wektorowy jest na ogół stosowany do opisu przestrzennych danych dyskretnych, wymagającego wysokiej wierności w odwzorowaniu rzeczywistości.



Ryc. 3.3. Fragment wektorowej mapy ewidencji gruntów

Dane wektorowe stanowią podstawę tworzenia publicznych zasobów danych przestrzennych, odpowiadających dokładnością mapom wielkoskalowym. W ten sposób tworzone są numeryczne mapy: zasadnicza i ewidencji gruntów – główne źródło danych referencyjnych do budowy lepszej mapy numerycznej, która także powstaje jako wektorowa reprezentacja rzeczywistości. Wektorowe bazy danych tych map powstają w wyniku przetwarzania danych pochodzących z pomiaru bezpośredniego metodami geodezyjnymi. Mogą także być tworzone przez konwersje istniejących map analogowych do postaci cyfrowej. Ten drugi sposób nie gwarantuje zachowania wysokiej dokładności, jest jednak tańszy i w okresie przejściowym szybszy do zastosowania przy budowie zasobów numerycznych. Pozyskanie danych wektorowych jest na ogół bardzo kosztowne.

Tak dokładne dane nie są jednak bezwzględnie wymagane przy prowadzeniu wielu skomplikowanych analiz przestrzennych. Często można wykorzystać do takich analiz dane rastrowe – tańsze i do niektórych zastosowań lepsze niż wektorowe.

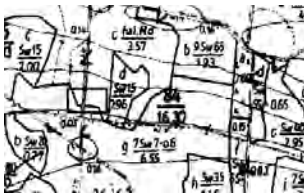
3.1.2. Rastrowy model danych przestrzennych

W rastrowym modelu danych przestrzennych stosowany jest regularny zapis w odniesieniu do całego zasięgu bazy danych, a jego dokładność jest umowna (zależy od wielkości pola podstawowego). Zapis rzeczywistości w postaci rastra odznacza się prostotą operacyjną, ale jest pamięciochłonny. Najmniejszym rozróżnialnym elementem systemu jest oczko rastra – piksel. Położenie piksela określa jednoznacznie numer w macierzy. Ten sys-

tem zapisu przestrzeni charakteryzuje się dużym stopniem zautomatyzowania procesu pozyskiwania danych.

W postaci rastra zapisywane są obecnie dane obrazowe (zdjęcia, skanowane mapy i dokumenty itp.) jako tzw. image. Dane tematyczne zapisywane są jako „grid”, w którym przestrzeń jest podzielona na uporządkowane w wiersze i kolumny pola podstawowe o przypisanych atrybutach. Tego typu model bardzo dobrze się nadaje do zapisu danych opisujących zjawiska ciągle, których wartość jest uzależniona od miejsca wystąpienia na powierzchni Ziemi (temperatura, ciśnienie, rozkład zanieczyszczeń itp.). W modelu rastrowym można także zapisywać dane dyskretne, licząc się z nieuniknionym spadkiem dokładności odwzorowania rzeczywistości.

Ryciny 3.4, 3.5 i 3.6 prezentują przykłady danych obrazowych „image”. Przykład danych rastrowych tematycznych „grid” przedstawiają ryc. 3.7 i 3.8.



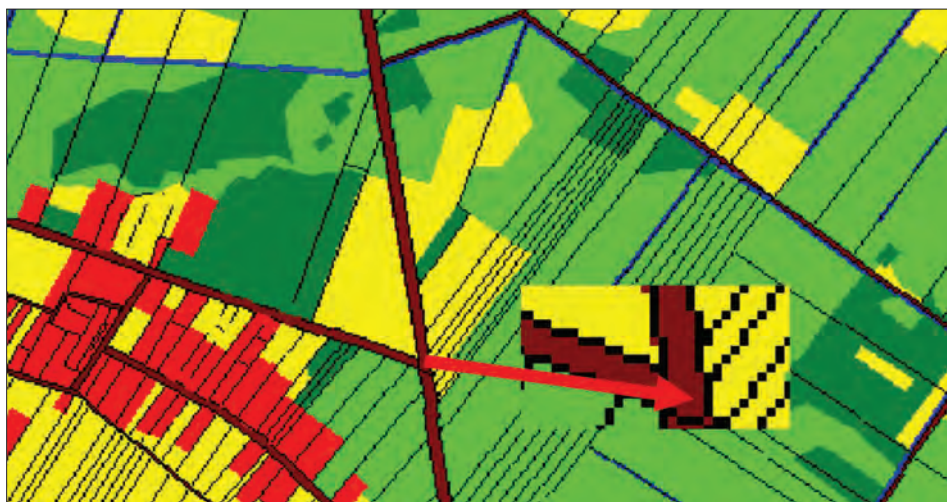
Ryc. 3.4. *Obraz skanowanej mapy leśnej*



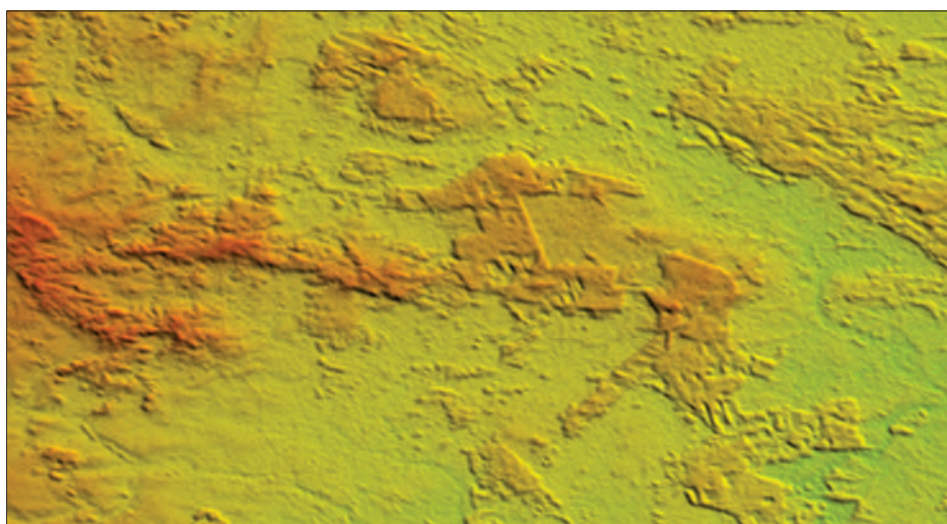
Ryc. 3.5. *Część mapy z ryc. 3.4 w dużym powiększeniu*



Ryc. 3.6. *Fragment ortofotomapy*



Ryc. 3.7. Fragment mapy ewidencji gruntów. Dane prezentują użytkowanie ziemi



Ryc. 3.8. Rastrowe dane wysokościowe, prezentujące pokrycie terenu (dane pozyskane przez NASA podczas misji promu kosmicznego)

Rastrowe dane tematyczne mogą być zapisywane w ten sposób, że poszczególne komórki rastra będą miały przypisane wartości liczbowe z zakresu liczb całkowitych (patrz ryc. 3.7) lub rzeczywistych (ryc. 3.8). Rastry opisywane liczbami całkowitymi powstają w wyniku zapisu danych dyskretnych w tym modelu lub przeprowadzenia klasyfikacji danych ciągłych.

Rastry tematyczne opisane liczbami rzeczywistymi prezentują zjawiska ciągle. Do ich powstania prowadzi na ogół interpolacja wartości dyskretnych, pomierzonych w punktach o znanych współrzędnych.

Rastry tematyczne „grid” mogą stanowić zespół danych pomiarowych, pozyskanych w terenie w regularnej siatce powierzchni próbnych (metoda bardzo często stosowana w inwentaryzacji lasu). Mogą być pomierzone na zdjęciach lub mapach w próbkowaniu schematycznym przy zastosowaniu narzuconej siatki pomiarowej. Często dane rastrowe otrzymywane są drogą przetworzeń – konwersji danych wektorowych.

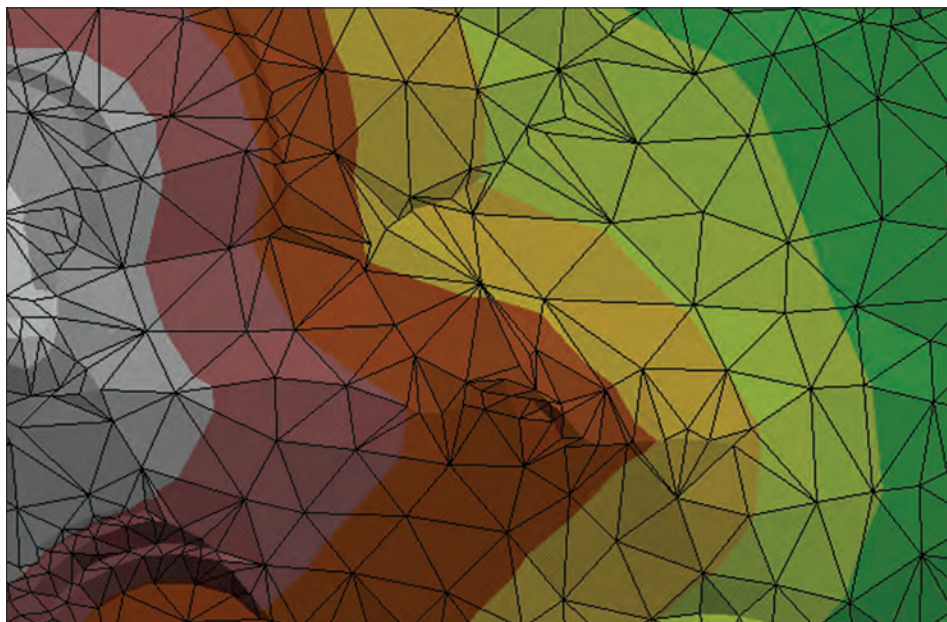
Zaletami modelu rastrowego danych przestrzennych są: prostota zapisu lokalizacji, łatwość przetwarzania i modyfikacji danych, możliwość wykonywania analiz zjawisk w szeregu czasowym niezależnie od zmieniających się dyskretnych granic obiektów. Do istotnych wad zaliczyć należy pamięciochłonność i zniekształcenie obrazu rzeczywistego. Aby stworzyć dokładne odwzorowanie powierzchni w formie rastrowej, należałoby użyć pikseli o bardzo małym rozmiarze, co oczywiście przyniosłoby znaczny wzrost objętości zbioru danych. Inną istotną wadą modelu rastrowego jest utrudnione określenie cech kształtu obiektów przestrzennych. Aby policzyć pole powierzchni użytków prezentowanych na ryc. 3.7, niezbędne jest policzenie liczby pikseli przypadających poszczególnym barwom reprezentującym kategorie użytkowania terenu.

Dane przestrzenne zapisane w postaci rastra bardzo dobrze się nadają do budowy modeli funkcjonowania rzeczywistości i poszukiwania zależności, które mogą występować w świecie rzeczywistym. Nie generują one wyników z taką ostrością geodezyjną i dokładnością lokalizacji, jak analizy wektorowe, są jednak niezastąpione w analizach wielokryterialnych i poszukiwaniu scenariuszy rozwoju, co czyni je niezwykle przydatnymi na potrzeby planowania na różnych poziomach zarządzania.

3.1.3. Model TIN

Do zapisu danych ciągłych w przestrzeni trójwymiarowej bardzo często stosowany jest model TIN (sieć nieregularnych trójkątów). Powstaje on przez połączenie punktów dyskretnych modelu w trójkąty, najlepiej aproksymujące modelowaną powierzchnię.

Model TIN wymaga zbudowania odpowiedniej topologii tworzonych trójkątów. Najlepsze rezultaty daje próbkowanie celowe badanej powierzchni i określenie, które punkty modelu mają zostać połączone w poszczególne krawędzie trójkątów. Popularne programy wykorzystywane do tworzenia struktury TIN bardzo często nie umożliwiają jednak zdefiniowania topologii trójkątów przez użytkownika. Prowadzą automatyczną trójkątyzację, co może często prowadzić do niezbyt zadowolających rezultatów. Przygotowanie kolekcji danych dyskretnych do budowy numerycz-



Ryc. 3.9. Model TIN

nego modelu powierzchni w modelu danych TIN wymaga wielkiej uwagi i znajomości działania algorytmów automatycznej trójkątyzacji.

3.2. Cechy danych systemu informacji przestrzennej

Dane systemu informacji przestrzennej mogą być charakteryzowane wieloma parametrami, z których najważniejsze przedstawiono poniżej.

1. Dokładność – zgodność z wartością prawdziwą.
2. Precyzja – zdolność dokładnego przedstawienia wielkości (np. liczba miejsc po przecinku we współrzędnych). Dane mogą być precyzyjne (ze względu na zapis), ale znacznie odbiegające od wartości prawdziwej (niedokładne).
3. Rozdzielczość – zdolność rozróżniania wielkości, określenie najmniejszego obiektu rozróżnianego w systemie.
4. Zmienność – przeciętny czas, po jakim następuje zmiana obiektu w rzeczywistości.
5. Aktualność – odstęp czasu pomiędzy zmianą obiektu w rzeczywistości a pobraniem informacji o nim z systemu. Aktualność zależy od proce-

dur aktualizacji danych w systemie. Aktualizacja może być bieżąca (reakcja systemu na każdorazową zmianę) lub okresowa, wykonywana w ustalonych bądź zmiennych okresach.

6. Wiarygodność – zgodność, w granicach dopuszczalnych błędów, pomiędzy stanem rzeczywistym a ustalonym na podstawie systemu.
7. Kompletność (w zakresie obszaru i treści) – określa ją stosunek liczby danych zapisanych w systemie do liczby danych, które powinny być zapisane.
8. Wartość – określana na podstawie korzyści wynikających z uzyskania danych z systemu w stosunku do innych metod pozyskiwania informacji. Można ją utożsamiać ze stratą, którą użytkownik systemu mógłby ponieść, gdyby z systemu nie skorzystał.

Dane przestrzenne zapisane w systemie opisują obiekty dyskretne (punkty, linie, poligony, bryły) lub ciągłe (powierzchnie terenu, powierzchnie opisujące występowanie różnorodnych zjawisk). W zależności od przyjętego modelu danych przestrzennych oraz parametrów określonych powyżej system stanowi mniej lub bardziej wierny obraz rzeczywistości.

Wskazanie, który model danych będzie bardziej przydatny do wykonania analiz i zarządzania przestrzenią, nie jest łatwą czynnością. Wydaje się, że wszystkie modele danych reprezentujących rzeczywistość są przydatne na potrzeby leśnictwa. Istotne jest, jak będą one wykorzystane w procesie przetwarzania, poprzedzającym podjęcie konkretnej decyzji planistycznej lub gospodarczej.

4.

Układy współrzędnych geograficznych związane z leśną mapą numeryczną

dr inż. WŁODZIMIERZ KARASZKIEWICZ – Szkoła Główna
Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Leśny

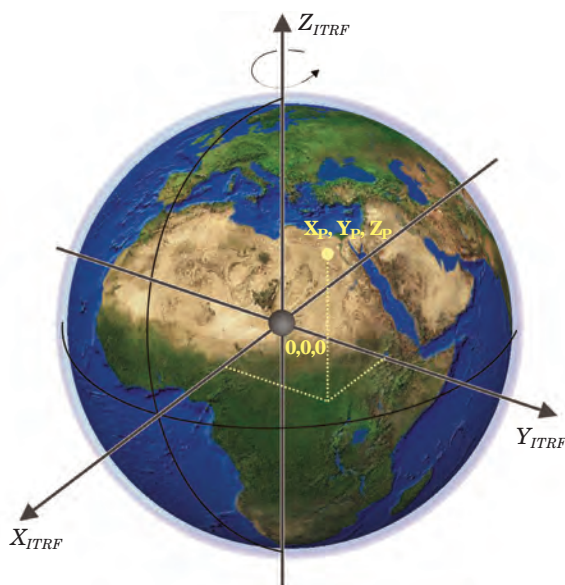
Wraz z rozwojem technologii mapy numerycznej i jej dostępności w codziennych zastosowaniach coraz częściej pojawia się potrzeba liczbowego określenia pozycji obiektów przestrzeni geograficznej. Do niedawna z gospodarczego punktu widzenia znajomość bezwzględnej pozycji na powierzchni Ziemi nie była konieczna do prowadzenia prawidłowej gospodarki leśnej. Potraktowanie małego wycinka globu ziemskiego (do 10 km²) jako tworów płaskiego pozwalało na podstawie pomierzonych odległości i kątów obliczyć różnice położenia i powierzchnie mierzonych obiektów. Obecnie konieczność posługiwania się układem współrzędnych przy budowie mapy numerycznej oraz pojawienie się satelitarnych urządzeń nawigacyjnych (GNSS), w które wyposażane są jednostki szybkiego reagowania (straż pożarna, samoloty patrolowe itd.) stwarza istotne zapotrzebowanie odniesienia przestrzeni leśnej do konkretnych i jednolitych w skali globalnej współrzędnych geograficznych.

Zestaw liczb oznaczających współrzędne geograficzne staje się jednoznacznym określeniem pozycji na powierzchni Ziemi tylko wtedy, gdy uzupełnimy go o nazwę (definicję) układu współrzędnych. W dziedzinie kartograficznej istnieje wiele różnych definicji układów współrzędnych, pozwalających w różny sposób odzwierciedlać fizyczną powierzchnię Ziemi na płaszczyźnie mapy. Te same obiekty geograficzne, prezentowane w różnych opracowaniach kartograficznych, mogą być opisywane zupełnie innymi wartościami współrzędnych. Wyświetlane jednocześnie na

ekranie komputera, leżą oddalone od siebie nierzadko o wiele tysięcy kilometrów. Rodzi to niejednokrotnie wiele problemów związanych z dostosowaniem danych geograficznych do jednego wspólnego układu odniesienia przestrzennego. Stosowane we współczesnych narzędziach komputerowej wizualizacji kartograficznej moduły transformacji układów współrzędnych zdecydowanie upraszczają podejście do tego zagadnienia. Prawidłowe przeprowadzenie transformacji (przeliczenia) wymaga jednak od operatora mapy numerycznej wiedzy z zakresu zasad konstruowania stosowanych układów współrzędnych oraz znajomości ich parametrów.

4.1. Elementy kartografii matematycznej

Bryła Ziemi i jej cechy dynamiczne są naturalnym odniesieniem określania relacji geometrycznych otaczającej nas przestrzeni geograficznej. Jeżeli oś obrotu Ziemi potraktujemy jako oś Z ortokartezjańskiego układu współrzędnych przestrzennych, a środek jej masy jako początek tegoż układu, to założenia te stają się podstawą definicji geocentrycznego układu współrzędnych ziemskich (ang. **ITRF**), (ryc. 4.1). Parametry tego układu ustalane są przez Międzynarodową Służbę Ruchu Obrotowego Ziemi i Systemów Odniesienia (ang. **IERS**) na podstawie obserwacji bardzo odległych gwiazd, uznawanych za niezmiennie (względem Ziemi) punkty w przestrzeni kosmicznej. Układ ten pozwala w sposób jednoznaczny określić położenie dowolnego punktu na powierzchni Ziemi, pod oraz



nad nią. Ze względu na swój uniwersalny charakter wykorzystywany jest przede wszystkim w technikach nawigacji satelitarnej (GPS, GLONASS, Galileo itd.) oraz w procedurach przeliczeniowych. Jednak ze względu na trudne do zinterpretowania wartości współrzędnych nie jest stosowany w technikach wizualizacji kartograficznej.

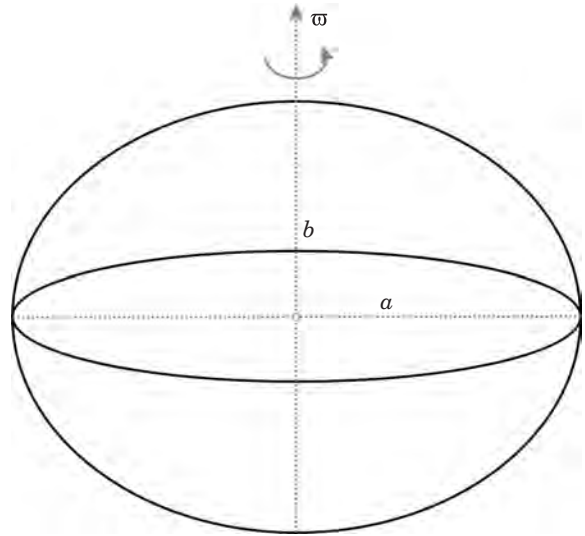
Ryc. 4.1. Układ ITRF

4.1.1. Geoida i elipsoida ziemiska

Ze względu na nasz sposób percepcji obiektów i zjawisk geograficznych lepszymi układami odniesienia są te, które związane są z powierzchnią, a nie bryłą Ziemi. Mapy (zarówno „papierowe”, jak i „komputerowe”) są obrazami powierzchni globu. Nieokreślony matematycznie kształt powierzchni Ziemi praktycznie uniemożliwia bezpośrednie jej odzwierciedlenie na płaszczyźnie arkusza mapy bez zastosowania pewnych uogólnień matematycznych. Przykładem może być fotografia lotnicza powierzchni terenu, która ze względu na przesunięcia radialne wywołane deniwelacjami terenu (właściwość rzutu środkowego) nie jest materiałem kartometrycznym i bez specjalnej obróbki geometrycznej obrazu nie może pełnić roli mapy. W celu ujednoczenia wyników pomiarów geodezyjnych, a co za tym idzie umożliwienia tworzenia definicji odwzorowań kartograficznych, wprowadza się dla celów wymienionych zagadnień pojęcie dwóch powierzchni odniesienia: **geoida** i **elipsoida**.

Geoida to w przybliżeniu powierzchnia, którą utworzyłyby wody mórz otwartych rozciągniętych pod ładami wirującej Ziemi z uwzględnieniem oddziaływania otaczających je mas skorupy ziemskiej. Przemieszczając się po powierzchni geoidy, niezależnie od szerokości geograficznej, przyspieszenie ziemskie miałyby stałą wartość. Gdyby zrutować po liniach pionu wszystkie szczegóły sytuacyjne fizycznej powierzchni globu ziemskiego na taką właśnie powierzchnię, powstały obraz byłby wiernym odwzorowaniem powierzchni Ziemi.

Bryła Ziemi, a szczególnie jej skorupa, zbudowana jest z mas o różnorodnej gęstości. Ma to zasadniczy wpływ na nieregularny przebieg geoidy w danym obszarze, przez co określenie matematyczne tej powierzchni (wyznaczenie jej równania matematycznego) jest rzeczą niemożliwą. Regularność powierzchni odniesienia modelującej bryłę Ziemi jest wymaganym warunkiem w zagadnieniach odwzorowań kartograficznych. Dlatego jako zastępczą powierzchnię odniesienia wprowadza się **elipsoidę ob-**



Ryc. 4.2. Elipsoida obrotowa

rotową (powierzchnię powstałą w wyniku obrócenia elipsy wokół jednej z osi), (ryc. 4.2).

Powierzchnia elipsoidy nie spełnia warunku stałego przyśpieszenia ziemskiego. Jest jednak stosunkowo prosta do określenia matematycznego oraz w wystarczająco dużym stopniu przybliża rzeczywisty kształt globu ziemskiego. Do niedawna, w celu uproszczenia obliczeń geodezyjnych, kształt i orientacja elipsoidy były tak dobierane, aby dla wybranego obszaru globu (państwa, grupy państw) powierzchnia elipsoidy przebiegała najbliżej powierzchni wybranej geoidy. Taką elipsoidę określa się mianem **elipsoidy lokalnej**. Wraz z rozwojem technik pomiaru kształtu i parametrów geofizycznych globu ziemskiego wyznacza się coraz doskonalsze parametry elipsoidy ziemskiej, które obecnie mają charakter globalny (**elipsoidy geocentryczne**). Tabela 4.1 przedstawia parametry wybranych, stosowanych w polskiej kartografii elipsoid ziemskich.

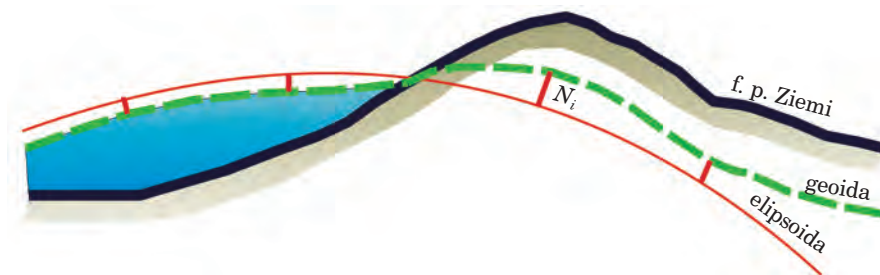
Tabela 4.1.
Parametry wybranych elipsoid stosowanych w kartografii polskiej

Nazwa	Rok określenia	Półoś a [m]	Półoś b [m]	Splaszczenie f
Bessela	1841	6 377 397	6 356 079	1 : 299,2
Hayforda	1910	6 378 388	6 356 912	1 : 297,0
Krasowskiego	1940	6 378 245	6 356 863	1 : 298,3
WGS '84 (GRS '80)	1984	6 378 137	6 356 749	1 : 298,257

gdzie:

$$f = \frac{a - b}{a}$$

Elementami określającymi najlepsze dopasowanie elipsoidy do bryły Ziemi są jej **kształt (półosie a i b) oraz orientacja** względem przyjętej



Ryc. 4.3. Orientacja elipsoidy względem geoidy

geoidy. Do określenia optymalnych wartości tych parametrów stosuje się kryterium:

$$\sum N_i^2 = \text{minimum}$$

gdzie:

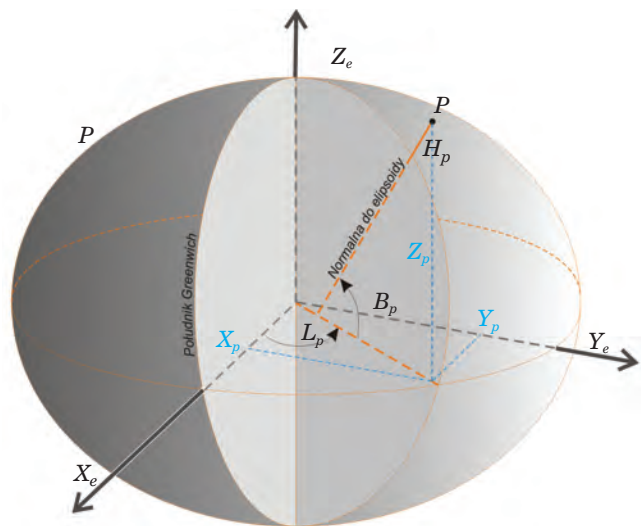
N_i oznacza odstęp elipsoidy od geoidy (ryc. 4.3).

Zorientowana względem geoidy elipsoida obrotowa tworzy **geodezyjną powierzchnię odniesienia** (ang. **DATUM**). Większość dawniej stosowanych w Polsce układów współrzędnych geodezyjnych bazuje na lokalnie zorientowanej elipsoidzie Krasowskiego (Pułkowo '42), a współczesne układy odniesienia wykorzystują globalną geocentryczną elipsoidę WGS '84 (GRS '80).

4.1.2. Współrzędne elipsoidalne: prostokątne i geograficzne-geodezyjne

Położenie punktu względem elipsoidy może być określone albo współrzędnymi prostokątnymi (X, Y, Z), albo współrzędnymi kątowo-liniowymi (B, L, H), gdzie B to szerokość geograficzna, L – długość geograficzna oraz H – wysokość elipsoidalna (ryc. 4.4).

Współrzędne X, Y, Z wyrażone są w układzie ortokartezjańskim, zdefiniowanym przez oś obrotu elipsoidy oraz płaszczyznę jej równika. Współrzędne te wykorzystywane są głównie w procedurach obliczeniowych pomiędzy różnymi geodezyjnymi powierzchniami odniesienia.



Ryc. 4.4. Elipsoidalne układy współrzędnych

Współrzędne elipsoidalne B, L to miary kątowe związane z powierzchnią elipsoidy. **Szerokość geograficzna geodezyjna (B)** to kąt zawarty pomiędzy płaszczyzną równika a normalną do elipsoidy w punkcie P , mierzony w płaszczyźnie południka przechodzącego przez punkt P . **Długość geograficzna geodezyjna (L)** to kąt dwuścienny zawarty pomiędzy płaszczyzną południka zerowego (np. południka Greenwich) a płaszczyzną południka przechodzącego przez punkt P . Linie stałych wartości B i L na elipsoidzie tworzą **siatkę geograficzną**.

Wysokość elipsoidalna (H) jest miarą liniową, oznaczającą wysokość punktu P nad powierzchnią elipsoidy, mierzona wzdłuż normalnej do powierzchni elipsoidy w punkcie P .

Zależność matematyczną prostokątnych współrzędnych elipsoidalnych X, Y, Z oraz współrzędnych geograficznych B, L, H dla elipsoidy o półosiach a i b przedstawiają poniższe wzory.

$$X = (R_N + H) \cdot \cos B \cdot \cos L$$

$$Y = (R_N + H) \cdot \cos B \cdot \sin L$$

$$Z = (R_N + H) \cdot \sin B - q$$

gdzie:

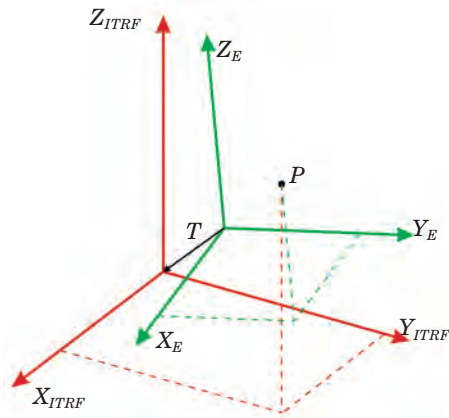
$$R_N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}}$$

$$q = R_N \cdot e^2 \cdot \sin B$$

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$$

4.1.3. Współrzędne na elipsoidzie a współrzędne ziemskie ITRF

W sytuacji, w której pojawia się potrzeba przeliczenia współrzędnych punktu na inną geodezyjną powierzchnię odniesienia, etapem przejściowym obliczeń jest często określenie położenia punktu w geocentrycznym układzie współrzędnych ziemskich. Istnieje wiele metod matematycznego określania relacji zachodzących pomiędzy układem współrzędnych elipsoidalnych $(X, Y, Z)_e$ a ziemskimi współrzędnymi geocentrycznymi $(X, Y, Z)_{ITRF}$. Jedną z nich (bardzo często stosowaną) jest siedmioparametrowa przestrzenna transformacja przez podobieństwo, nazywana transformacją Buršy-Wolfa. Ideę transformacji B-W przybliżają ryc. 4.5 oraz następujące wzory.



$$\begin{aligned} X_{ITRF} &= c_{11} \cdot X_E + c_{12} \cdot Y_E + c_{13} \cdot Z_E + T_X \\ Y_{ITRF} &= c_{21} \cdot X_E + c_{22} \cdot Y_E + c_{23} \cdot Z_E + T_Y \\ Z_{ITRF} &= c_{31} \cdot X_E + c_{32} \cdot Y_E + c_{33} \cdot Z_E + T_Z \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{11} &\approx c_{22} \approx c_{33} \approx m \\ c_{12} &\approx -c_{21} \approx \varepsilon_z \\ c_{13} &\approx -c_{31} \approx -\varepsilon_y \\ c_{23} &\approx -c_{32} \approx \varepsilon_x \end{aligned}$$

Ryc. 4.5. Przestrzenna transformacja przez podobieństwo (Buršy-Wolfa)

Objaśnienia oznaczeń:

- c_{ij} – współczynniki macierzy obrotów,
- $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ – współczynniki obrotów wokół osi X, Y, Z ,
- m – współczynnik skali,
- T_x, T_y, T_z – parametry wektora translacji.

W pewnym uproszczeniu można założyć, że układy współrzędnych X, Y, Z elipsoid geocentrycznych pokrywają się z układem ziemskim, stąd parametry równań transformacyjnych są praktycznie równe zero.

$$(X, Y, Z)_{\text{WGS '84, GRS '80, ETRF '89}} \approx (X, Y, Z)_{ITRF}$$

Inaczej jest w wypadku elipsoid z orientacją lokalną. Główny Urząd Geodezji i Kartografii podaje parametry transformacji B-W geodezyjnej powierzchni odniesienia Pułkowo '42 \Leftrightarrow WGS '84 dla obszaru Polski (instrukcja G-2 rok 2001):

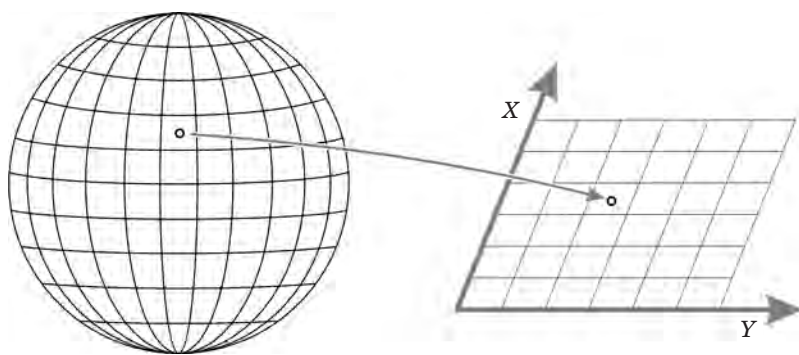
$$\begin{aligned} T_x &= +33,4297 \text{ m} \\ T_y &= -146,5746 \text{ m} \\ T_z &= -76,2865 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= 1 - 0,8407728 \text{ ppm} \\ \varepsilon_x &= +0,35867'' \\ \varepsilon_y &= +0,05283'' \\ \varepsilon_z &= -0,84354'' \end{aligned}$$

4.2. Odwzorowanie kartograficzne, układ współrzędnych topograficznych

Odwzorowaniem kartograficznym nazywamy zestaw formuł matematycznych pozwalających w sposób jednoznaczny przedstawić obraz powierzchni całej lub fragmentu elipsoidy ziemskiej na płaszczyźnie mapy. Inaczej – zestaw formuł określających w sposób jednoznaczny relacje zachodzące pomiędzy układem współrzędnych elipsoidalnych (B, L) a płaskim układem współrzędnych topograficznych X, Y (ryc. 4.6).

Każda mapa jest wykonana w pewnym odwzorowaniu, przyjętym dla danego obszaru i typu mapy. Przekształcenie „oblej” powierzchni elipsoidy na płaszczyznę powoduje zmianę relacji geometrycznych odwzorowywanego obszaru. Zmianom mogą ulegać kąty, odległości i (lub) powierzchnie.



$$X = f(B, L)$$

$$Y = g(B, L)$$

Ryc. 4.6. Odwzorowanie kartograficzne – współrzędne elipsoidalne a topograficzne

Istnieje wiele różnych typów i odmian odwzorowań kartograficznych zachowujących niezmiennie pewne cechy geometryczne odwzorowania. Wyróżnia się odwzorowania konforemne, równopolowe i równoodległościowe. Na szczególną uwagę zasługują odwzorowania konforemne, zachowujące w niezminionej postaci wartości kątów pomiędzy dwoma kierunkami. Odwzorowania tego typu stosowane są do opracowania map wielko- i średnioskalowych oraz map nawigacyjnych. Linie siatki kartograficznej przecinają się na tego typu mapach pod kątem prostym.

Spośród całej rodziny odwzorowań konforemnych w polskiej kartografii stosowane są dwa: **poprzeczne walcowe Merkatora** oraz **quasi-stereograficzne (Roussilhe’a)**.

4.2.1. Poprzeczne walcowe odwzorowanie Merkatora (Gaussa-Krügera)

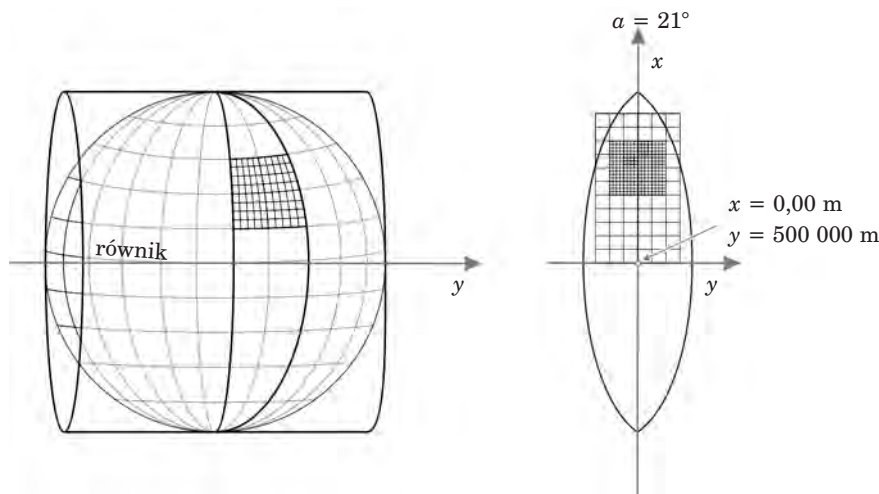
Jest to odwzorowanie konforemne, walcowe, poprzeczne na walec styczny do południka elipsoidy (w odmianach walec może być sieczny – styczny do dwóch południków strefy), stosowane do przedstawienia na płaszczyźnie wąskich pasów południkowych, spełniające następujące warunki:

- południk środkowy pasa odwzorowuje się na odcinek linii prostej,
- elementarna skala długości na południku środkowym jest stała (w odmianie G-K współczynnik skali jest równy 1).

Pozostałe linie siatki kartograficznej (poza obrazem równika) są liniami krzywoliniowymi i symetrycznymi względem południka osiowego (pozostałe południki strefy) oraz względem równika (pozostałe równoleżniki).

Definicja płaskiego układu współrzędnych geodezyjnych przyjmuje, że oś X tworzy rozwinięcie południka osiowego strefy i wskazuje północ geograficzną, oś Y pokrywa się z obrazem równika i jest skierowana na wschód (ryc. 4.7).

Ze względu na wielkość zniekształceń odwzorowawczych, dla opracowań kartograficznych średnio- i drobnoskalowych szerokość kątowna pojedynczej strefy wynosi 6° (zastosowane na przykład w układach UTM, „1942”), natomiast dla map o charakterze zasadniczym – 3° . Strefy oznaczane są kolejnym numerem porządkowym, począwszy od południka Greenwich, z tym że pierwsza strefa na wschód, o południku środkowym 3° , przyjmuje numer 1, kolejna – numer 2 itd. W oznaczeniach Międzynarodowej Mapy Świata strefy oznaczane są odpowiednio 33, 34 itd. Obszar Polski obejmują strefy 3 i 4 (mały fragment zakola rzeki Bug znajduje się w strefie nr 5).



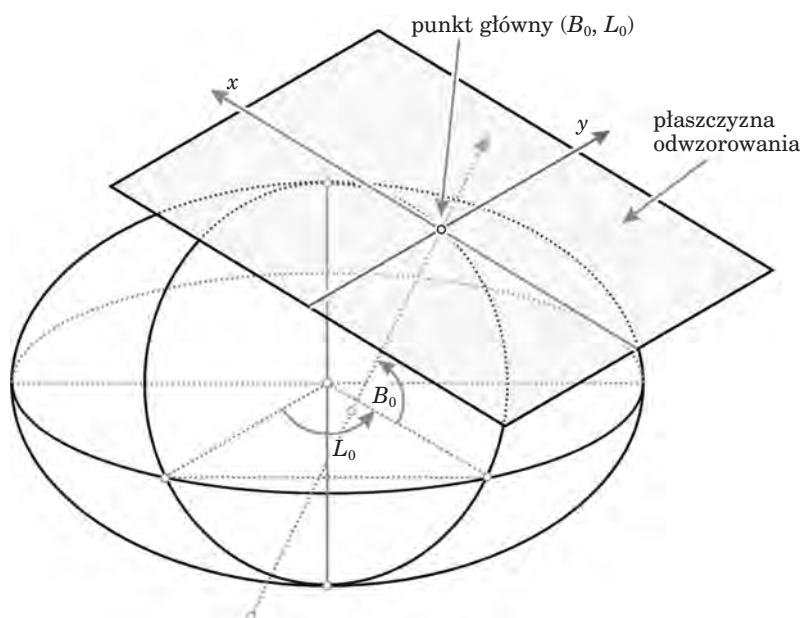
Ryc. 4.7. Ogólne założenia poprzecznego odwzorowania Merkatora

4.2.2. Odwzorowanie ukośne azymutalne quasi-stereograficzne (Roussilhe'a)

Jest to odwzorowanie płaszczyznowe skośne na płaszczyznę sieczną (skala w punkcie głównym strefy odwzorowawczej jest mniejsza od jedności). Punkt główny strefy jest początkiem układu współrzędnych topograficznych, oś X jest skierowana na północ, oś Y – skierowana pod kątem prostym do osi X i wskazuje wschód (ryc. 4.8).

W celu uzyskania dodatnich wartości współrzędnych punktowi głównemu strefy odwzorowawczej przypisuje się niezerowe wartości rzędnej i odciętej.

W zależności od stawianych ograniczeń maksymalnej wartości zniekształceń odwzorowawczych obszar Polski może być odwzorowywany w jednej strefie (np. układ GUGiK 1980) lub kilku strefach o mniejszym zasięgu (PUW 1965). Przy zastosowaniu jednej strefy maksymalne zniekształcenie długości (południowo-wschodni kraniec Polski) dochodzi do 90 cm/km, co klasyfikuje to odwzorowanie do zastosowań średnio- i drobnoskalowych. W mniejszych strefach odwzorowawczych uzyskuje się zniekształcenie w granicach 20 cm/km, stąd możliwość wykorzystania odwzorowania w opracowaniach wielkoskalowych (mapy zasadnicze, ewidencyjne itp.).



Ryc. 4.8. Odwzorowanie quasi-stereograficzne

4.3. Charakterystyki wybranych układów współrzędnych topograficznych stosowanych w opracowaniach wielkoskalowych w Polsce

W Polsce następuje zmiana obowiązujących w geodezji i kartografii układów współrzędnych, w których sporządzane są wielko- i średnioskalowe opracowania kartograficzne. Zgodnie z Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 8 sierpnia 2000 r. w sprawie państwowego systemu odniesień przestrzennych (Dz.U. nr 70, poz. 821), od 2010 r. będą obowiązywać dwa systemy współrzędnych:

- układ PUWG 1992 do opracowań topograficznych,
- układ PUWG 2000 do opracowań wielkoskalowych (mapa zasadnicza, ewidencji gruntów itp.).

Choć ustawa obliguje wykonawców geodezyjnych i kartograficznych do stosowania nowych układów, ze względu na olbrzymi zasób kartograficzny zastępowane stare układy wciąż będą wykorzystywane w wielu opracowaniach.

4.3.1. Układ 1942

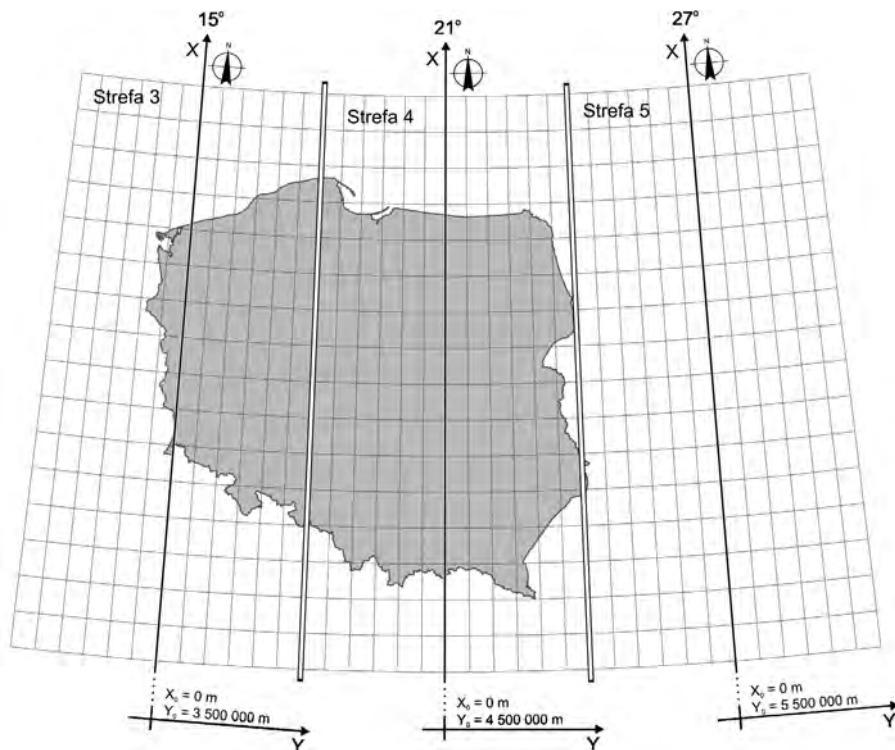
Układ 1942 został wprowadzony w Polsce do sporządzania map topograficznych, głównie w skalach 1:10 000 i mniejszych. Za powierzchnię odniesienia przyjęto elipsoidę Krassowskiego z orientacją Pułkowo-Bugry

Tabela 4.2.
Parametry układu 1942

Układ 1942 (6°)	Strefa 33	Strefa 34	Strefa 35
1	2	3	4
Typ odwzorowania kartograficznego	Gaussa-Krügera		
Rzędna X punktu głównego [m]	0 (punkt przecięcia południka środkowego z równikiem)		
Odcięta Y punktu głównego [m]	3 500 000	4 500 000	5 500 000
Azymut osi X	0° (pokrywa się z obrazem południka środkowego)		
Azymut osi Y	90° (pokrywa się z obrazem równika)		
Szerokość geograficzna B punktu głównego	0°		

cd. tabeli 4.2.

1	2	3	4
Długość geograficzna L punktu głównego	15°	21°	27°
Współczynnik skali w punkcie głównym (na południku środkowym)	1		



Ryc. 4.9. Strefy odwzorowawcze w układzie 1942

(datum Pułkowo '42). Zastosowano odwzorowanie Gaussa-Krügera (walec styczny) w sześciostopniowych strefach odwzorowawczych. Na obszar Polski przypadają trzy strefy odwzorowawcze: 3 – o południku osiowym 15° , 4 – południk osiowy 21° oraz 5 – o południku osiowym 27° długości geograficznej wschodniej (ryc. 4.9).

4.3.2. Układ PUW 1965

W latach 70. ubiegłego stulecia wydano rozporządzenie w sprawie opracowania edycji map topograficznych dla celów cywilnych (mapy układu 1942 były wtedy tajne). Osnowa matematyczna tych map opiera się na opracowanym układzie współrzędnych geodezyjnych 1965. Podobnie jak w układzie 1942, tak i tu geodezyjną powierzchnią odniesienia (datum) jest układ Pułkowo '42.

W celu zminimalizowania zniekształceń odwzorowawczych terytorium Polski zostało podzielone na pięć niezależnych stref. W czterech strefach zastosowano odwzorowanie quasi-stereograficzne, obejmujące obszary Polski: I strefa – część południowo-wschodnia, II strefa – część

Tabela 4.3.
Parametry układu 1965

Układ 1965	Strefa 1	Strefa 2	Strefa 3	Strefa 4	Strefa 5
Typ odwzorowania kartograficznego	Quasi-stereograficzne				Gaussa-Krügera
Rzędna X punktu głównego [m]	5 467 000	5 806 000	5 999 000	5 627 000	-4 700 000
Odcięta Y punktu głównego [m]	4 637 000	4 603 000	3 501 000	3 703 000	237 000
Azymut osi X	PN	PN	PN	PN	południk środkowy
Azymut osi Y	90°	90°	90°	90°	90°
Szerokość geograficzna B punktu głównego	50°37'30,0"	53°00'07,0"	53°35'00,0"	51°40'15,0"	0°
Długość geograficzna L punktu głównego	21°05'00,0"	21°30'10,0"	17°00'30,0"	16°40'20,0"	18°57'30,0"
Współczynnik skali w punkcie głównym (na południku środkowym)	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,999983



Ryc. 4.10. Strefy odwzorowawcze w układzie 1965

północno-wschodnia, III strefa – część północno-zachodnia, IV strefa – część południowo-zachodnia. W piątej strefie, obejmującej dawne województwa częstochowskie i katowickie, przyjęto odwzorowanie Gaussa-Krügera w pasach trzystopniowych (ryc. 4.10).

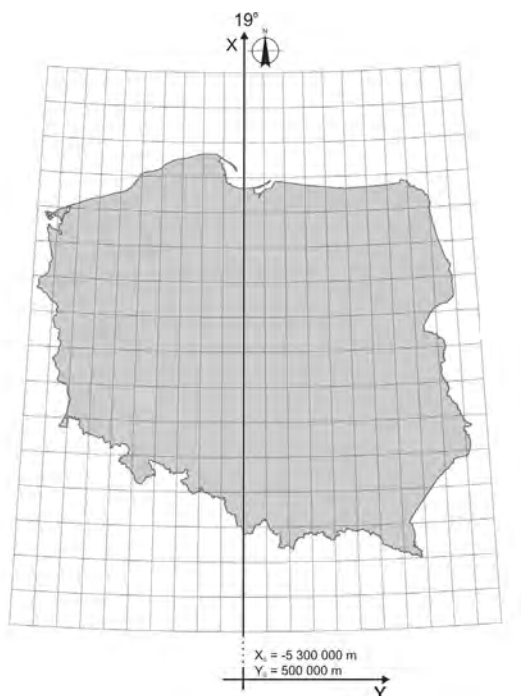
4.3.3. Układ PUWG 1992

Układ 1992 przeznaczony jest do średnio- i drobnoskalowych zobrazowań kartograficznych. Geodezyjną powierzchnią odniesienia (datum) jest ETRF '89 z elipsoidą GRS '80, przyjętą przez podkomisję EUREF (IAG) w 1992 r. na sympozjum w Bernie do stosowania w pracach geodezyjnych i kartograficznych. Parametry układu odniesienia ETRF '89 zostały wyznaczone za pomocą technik satelitarnych (pomiar dopplerowski i GPS). Współrzędne X , Y obliczone są dla jednej strefy odwzorowawczej o szerokości 10° , z południkiem środkowym 19° (ryc. 4.11). Współczynnik skali na południku środkowym wynosi 0,9993. Na szczególną uwagę zasługuje jeden układ współrzędnych topograficznych, za pomocą którego można opisać każdy punkt terytorium Polski.

Tabela 4.4.
Parametry układu 1992

Układ 1992 (10°)	
Typ odwzorowania kartograficznego	Gaussa-Krügera
Rzędna X punktu głównego [m]	-5 300 000
Odcięta Y punktu głównego [m]	500 000
Azymut osi X	0° (pokrywa się z obrazem południka środkowego)
Azymut osi Y	90° (pokrywa się z obrazem równika)
Szerokość geograficzna B punktu głównego	0°
Długość geograficzna L punktu głównego	19°
Współczynnik skali w punkcie głównym (na południku środkowym)	0,9993

Ryc. 4.11. Zasięg strefy odwzorowawczej układu 1992



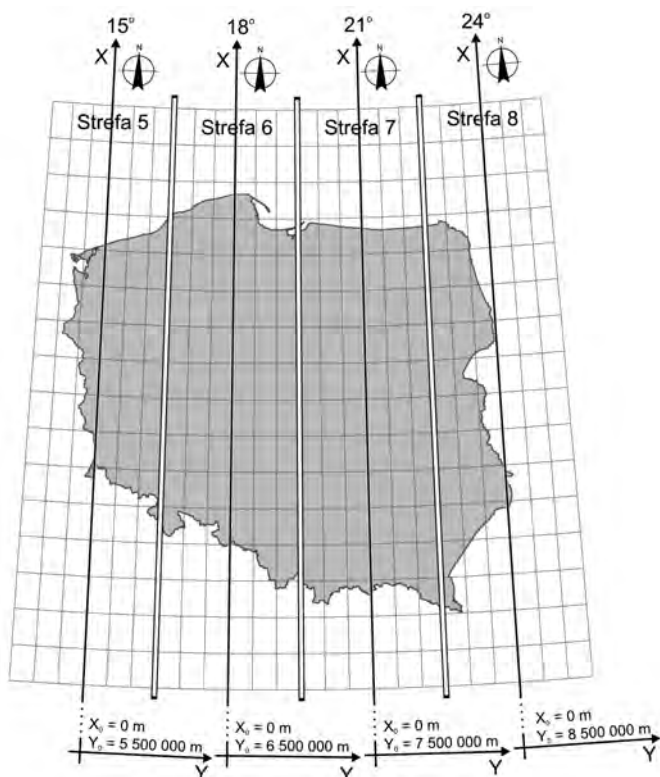
Jednolitość układu oraz łatwość jego implementacji w narzędziach pozyskania i przetwarzania danych przestrzennych były głównymi przesłankami, które zadecydowały o przyjęciu tego układu jako osnowy matematycznej LMN.

4.3.4. Układ PUWG 2000

Układ 2000 został zaprojektowany dla zastosowań wielkoskalowych (głównie mapy o charakterze zasadniczym w skalach od 1:500 do 1:5000). Obszar Polski podzielony jest na cztery trzystopniowe strefy odwzorowawcze, tworzące cztery odrębne układy współrzędnych płaskich: 2000/15, 2000/18, 2000/21 oraz 2000/24. Strefy odwzorowawcze ponumerowane zostały (licząc od zachodu) następująco: 5, 6, 7, 8. W każdej strefie południk środkowy odwzorowuje się na pobocznicy walca siecznego (współczynnik zmiany skali na południku wynosi 0,999923). Podobnie jak w układzie 1992, tak i tu powierzchnią odniesienia jest układ ETRF '89 (ryc. 4.12).

Tabela 4.5.
Parametry układu 2000

Układ 2000 (3°)	Strefa 5	Strefa 6	Strefa 7	Strefa 8
Typ odwzorowania kartograficznego	Gaussa-Krügera			
Rzędna X punktu głównego [m]	0 (punkt przecięcia południka środkowego z równikiem)			
Odcięta Y punktu głównego [m]	5 500 000,00	6 500 000,00	7 500 000,00	8 500 000,00
Azymut osi X	0° (pokrywa się z obrazem południka środkowego)			
Azymut osi Y	90° (pokrywa się z obrazem równika)			
Szerokość geograficzna B punktu głównego	0°			
Długość geograficzna L punktu głównego	15°	18°	21°	24°
Współczynnik skali w punkcie głównym (na południku środkowym)	0,999923			



Ryc. 4.12. Zasięg stref odwzorowawczych układu 2000

4.3.5. Inne państwowe układy odniesienia. Układy lokalne

Poza opisanymi w poprzednich rozdziałach układami, w polskiej kartografii stosowanych jest wiele innych definicji układów odniesienia. Na uwagę zasługują układ UTM, używany obecnie w wojskowych wydawnictwach kartograficznych, związany z przyjęciem standardów NATO, oraz układ GUGiK 1980, w którym opracowano dla całego kraju mapę topograficzną w skali 1:100 000.

Układ UTM jest zbliżony w swej definicji do układu 1942 (również przyjęto poprzeczne odwzorowanie Merkatora). Istotną różnicą jest zastosowanie różnego od jedności (0,9996) współczynnika skali na południku środkowym stref odwzorowawczych. Ponadto w układzie UTM za powierzchnię odniesienia przyjęto elipsoidę WGS '84.

Układ GUGiK 1980 wprowadzono jako alternatywę utajnionego w latach 50. układu 1942, jako osnowę matematyczną „cywilnych” map to-

pograficznych. Za powierzchnię odniesienia przyjęto Pułkowo '42. Zastosowano jednolite dla obszaru Polski odwzorowanie quasi-stereograficzne.

Wiele zadań geodezyjnych realizowanych jest ponadto w lokalnych układach współrzędnych [WARSZAWA 25, WARSZAWA 75, WROCŁAW-GROMNIK, ZIELONA GÓRA, KOSZALIN, RAUENBERG (TORUŃ), RZESZÓW]. Ze względu na stosunkowo niewielki obszar stosowania tych układów, w zadaniach geodezyjnych nie ma konieczności wprowadzania redukcji odwzorowawczych do obserwacji. Był to zasadniczy cel stosowania tych układów jako alternatywy w stosunku do układów państwowych.

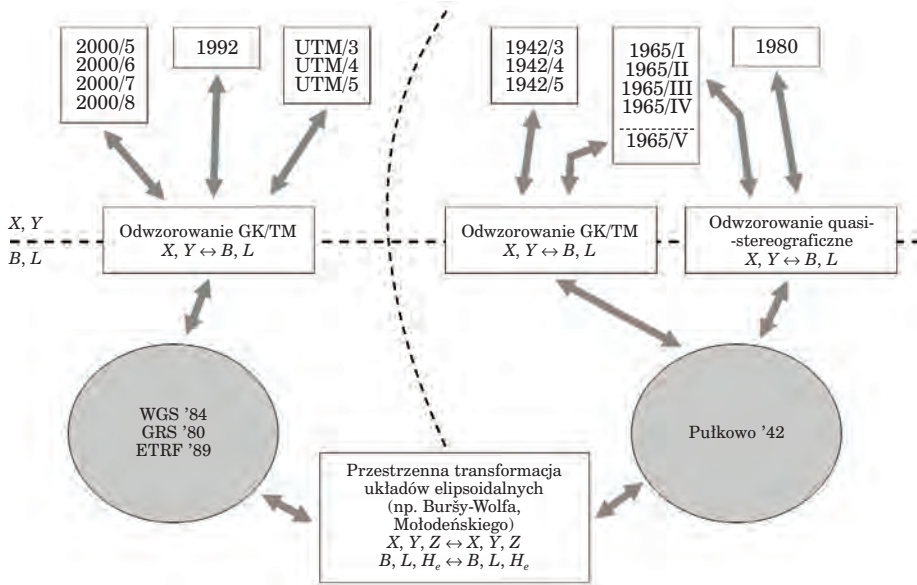
Geneza tych realizacji jest różna i trudno jest poszukiwać dokładnych definicji poszczególnych rozwiązań.

W celu przeliczenia współrzędnych pomiędzy układami lokalnymi a układami państwowymi stosowane są różne reguły transformacyjne. Parametry tych reguł wyznaczone są w sposób empiryczny na podstawie znanych współrzędnych wybranych punktów dostosowania w obu transformowanych układach. Liczba oraz rozmieszczenie punktów dostosowania, postać równań transformacyjnych i maksymalny błąd transformacji, spowodowany między innymi zniekształceniami odwzorowawczymi, determinują maksymalny dozwolony obszar stosowania takiej metody przeliczania współrzędnych.

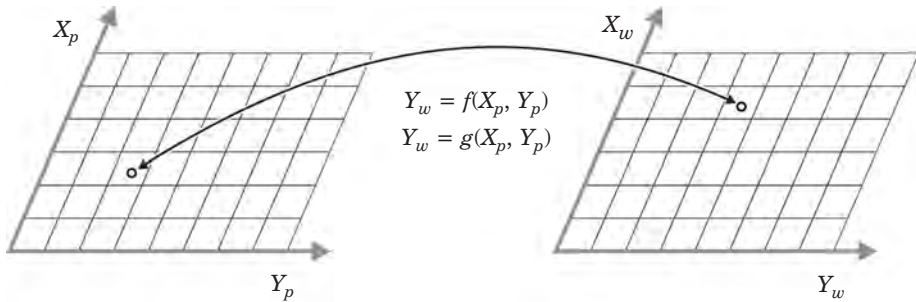
4.4. Metody przeliczania i transformacje pomiędzy układami

Zamiana układu współrzędnych danych kartograficznych odbywa się na drodze precyzyjnego przeliczenia współrzędnych na podstawie znanych definicji (równań matematycznych) zarówno układu pierwotnego, jak i układu wtórnego. Taka metoda przeliczeń charakteryzuje się bardzo wysoką dokładnością. Ideowy model procedur przeliczeniowych pomiędzy różnymi układami przedstawia ryc. 4.13.

Dzięki ujawnieniu parametrów układu PUW 1965 oraz współczynników transformacji Pułkowo '42 – WGS '84, na rynku pojawiło się wiele aplikacji, realizujących zadanie przeliczania współrzędnych. Na szczególną uwagę zasługuje program Transpol v. 1.0, rozprowadzany przez GUGiK wraz z wytycznymi technicznymi G-1.10. **We wszystkich nadleśnictwach dostępna jest aplikacja TraKo, opracowana na zlecenie Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych, dedykowana do prac związanych z leśną mapą numeryczną, która umożliwia transformację warstw geometrycznych pomiędzy układami współrzędnych danych kartograficznych, a także konwersji pomiędzy wieloma formatami GIS.**



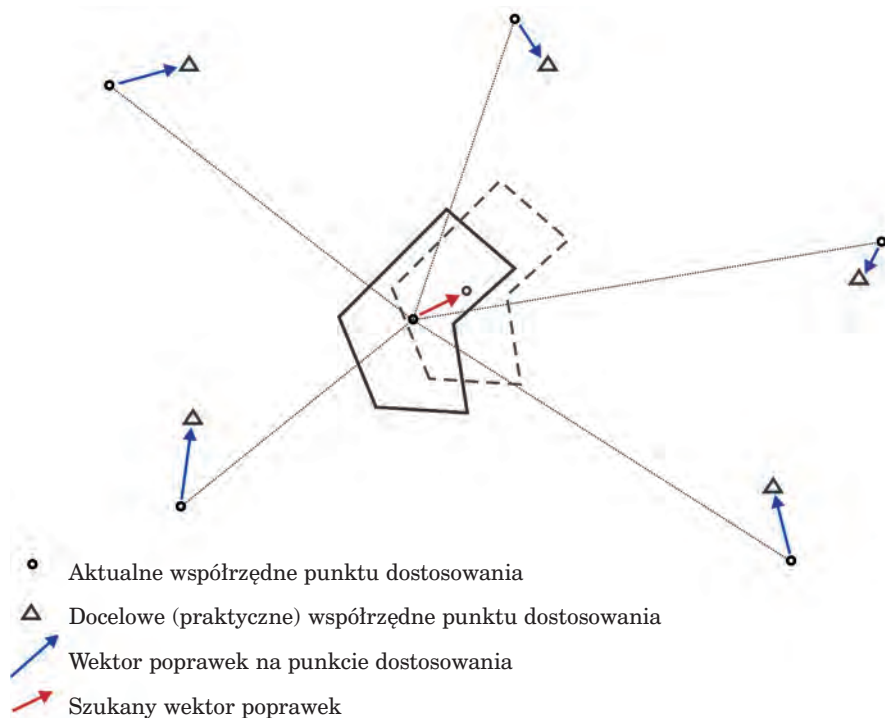
Ryc. 4.13. Schemat przeliczania współrzędnych pomiędzy układami



Ryc. 4.14. Zasada transformacji płaskiej układów topograficznych

W sytuacji, gdy definicja jednego z układów współrzędnych jest nieznana, na przykład któregoś z układów lokalnych, reguły matematyczne pozwalające przeliczyć współrzędne wyznaczone są empirycznie na podstawie znanych współrzędnych punktów dostosowania. Najczęściej wykorzystuje się transformację „płaską” układów topograficznych $(X, Y)_p \leftrightarrow (X, Y)_w$ z zastosowaniem równań wielomianowych (ryc. 4.14).

W zależności od rozpiętości transformowanego opracowania dobiera się odpowiednio stopień wielomianu. Dla niewielkich obszarów (do 25 km²) dozwolone jest stosowanie transformacji przez podobieństwo (Helmerta),



Ryc. 4.15. Wyznaczanie poprawek posttransformacyjnych

dla większych, ze względu na większe wartości zniekształceń odwzorowawczych, konieczny jest wyższy stopień równań transformacyjnych.

Przeliczenie współrzędnych z zastosowaniem ścisłych równań definiujących układy odniesienia daje tylko rozwiązanie teoretyczne. Gdyby na przykład istniejący punkt osnowy geodezyjnej (o znanych współrzędnych 1965) pomierzyć techniką GNSS w układzie WGS '84, to po przeliczeniu tak wyznaczonych współrzędnych z powrotem do układu 1965 nie uzyskamy identycznych wartości. Różnice (dochodzące nawet do 1 m) są spowodowane błędnością układu pierwotnego (historycznego), którego realizację (zbiór punktów osnowy geodezyjnej) wyznaczano w procesie pomiarowo-obliczeniowym w warunkach ograniczonych technik pomiarowych i obliczeniowych. Podobna sytuacja wystąpi podczas aktualizacji współczesnymi technikami pomiarowymi GNSS materiału kartograficznego, sporządzonego na podstawie układu współrzędnych 1965 i przeliczonego (bez zastosowania dodatkowych korekt) do nowego układu 2000.

Omawiane powyżej zagadnienie narzuca konieczność badania i ewentualnie niwelowania rozbieżności pomiędzy rozwiązaniem teoretycznym i praktycznym. W praktyce sprowadza się to do kontroli wartości odchyień

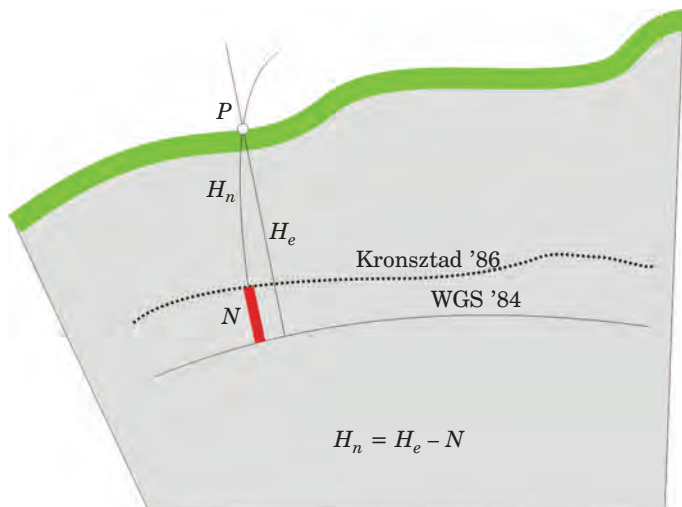
na punktach dostosowania i w sytuacji, kiedy zostaną przekroczone przyjęte wartości graniczne, ich minimalizowania na drodze wprowadzania do przeliczonego zbioru dodatkowych korekt posttransformacyjnych (ryc. 4.15).

4.5. Wysokość normalna. Wyznaczanie wysokości na podstawie pomiarów GNSS

Wysokość normalna H_n jest to odległość punktu od powierzchni geoidy niwelacyjnej, mierzona wzdłuż linii pionu. W Polsce powierzchnią zerowej wysokości jest geoida Kronsztad '86. Wysokość elipsoidalna H_e to odległość punktu od powierzchni elipsoidy, mierzona wzdłuż linii pionu geometrycznego (ryc. 4.16).

Różnica pomiędzy wysokością elipsoidalną a normalną jest odstępem N geoidy od elipsoidy. Na obszarze Polski wartość waha się w granicach od 28 do 43 m i jest wyznaczana w sposób empiryczny na podstawie pomiarów grawimetrycznych i GNSS.

Główny Urząd Geodezji i Kartografii udostępnia numeryczną mapę odstępów geoidy od elipsoidy WGS '84 w siatce $dB = 0,01^\circ$ na $DL = 0,01^\circ$ jako załącznik do instrukcji technicznej G-2. Na podstawie tej mapy, podstawiając pomierzone wartości współrzędnych geograficznych B, L , można



Ryc. 4.16. Wysokość normalna a wysokość elipsoidalna

wyinterpolować wartość odstępu $N(\mathbf{B}, \mathbf{L})$. Wysokość normalną H_n uzyskuje się po pomniejszeniu pomierzonej wysokości elipsoidalnej o wartość odstępu. Procedura przeliczania wysokości zaimplementowana jest w programie **Transpol**.

$$H_n = H_e - N(B, L)$$

5. Ewidencja gruntów a leśna mapa numeryczna

5.1. Wprowadzenie

prof. dr hab. HERONIM OLENDEREK – Szkoła Główna
Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Leśny, Katedra Urządzania Lasu,
Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa

Zasady organizacji i funkcjonowania służby geodezyjnej w Polsce regulowane są przez ustawę z 17 maja 1989 r. „Prawo geodezyjne i kartograficzne” oraz przepisy wykonawcze. Ustawa, według treści na 1 lipca 2009 r., zawiera 30 delegacji do wydania przepisów wykonawczych. W okresie obowiązywania ustawy wydano łącznie 26 rozporządzeń i znowelizowano 22 rozporządzenia. Mimo 48 działań, opartych na 30 delegacjach, do chwili obecnej nie zrealizowano czterech delegacji, w tym dwu obligatoryjnych (Skołbania 2009).

Ostatnie lata charakteryzuje zmieniająca się sytuacja techniczno-technologiczna. Również w dziedzinie geodezji i kartografii (geomatyki) nastąpiła prawdziwa rewolucja. Nie było dotychczas znaczącej reakcji na tę sytuację, jeśli chodzi o tworzenie nowego prawa. Przełom następuje w bieżącym roku w związku z procesem legislacyjnym ustawy o infrastrukturze informacji przestrzennej, wprowadzającej założenia unijnej dyrektywy INSPIRE do polskiego prawa. Ustawa wymusza szereg zmian w funkcjonowaniu polskiej geodezji, także w ustawie „Prawo geodezyjne i kartograficzne”, co musi mieć istotny wpływ na treści udostępnione Czytelnikowi w niniejszej publikacji. Sytuacja prawna polskiej geodezji, szczególnie w zakresie infrastruktury przestrzennej (w tym jej udostępniania) może być za kilka miesięcy zupełnie inna. Jest szansa, że zmiany pójdą w kierunku stworzenia warunków do tworzenia również w Polsce społeczeństwa informacyjnego.

W ciągu 20 lat funkcjonowania ustawy „Prawo geodezyjne i kartograficzne” stosunkowo często nowelizowano rozporządzenia dotyczące organizacji Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii, opłat za czynności związane z prowadzeniem zasobu oraz uprawnień zawodowych.

Centralnym organem administracji rządowej, właściwym odnośnie do geodezji i kartografii, jest Główny Geodeta Kraju (GGK), mający do dyspozycji Główny Urząd Geodezji i Kartografii. Na poziomie wojewódzkim funkcjonuje wojewoda z wojewódzkim inspektorem nadzoru geodezyjnego i kartograficznego (pracuje w zespole na poziomie wydziału lub części wydziału urzędu wojewódzkiego). Jest również marszałek z geodetą wojewódzkim, mającym do dyspozycji zespół zorganizowany na poziomie departamentu (lub części departamentu) urzędu marszałkowskiego.

W powiecie działa starosta (prezydent miasta na prawach powiatu), wykonujący zadania przy pomocy geodety powiatowego z zespołem zorganizowanym na poziomie wydziału (ewentualnie części wydziału) starostwa powiatowego.

Główny Geodeta Kraju oraz wojewoda wchodzi w skład administracji rządowej; są organami nadzoru geodezyjnego i kartograficznego. Organami samorządu terytorialnego, a jednocześnie organami administracji geodezyjnej i kartograficznej, są marszałek oraz starosta. W strukturach starostwa powiatowego i urzędu marszałkowskiego występują trzy warianty podporządkowania administracji geodezyjnej i kartograficznej:

- bezpośrednio staroście (marszałkowi),
- członkowi zarządu,
- naczelnikowi (dyrektorowi) wydziału (departamentu).

Przy Głównym Geodecie Kraju działają: Państwowa Rada Geodezyjna i Kartograficzna oraz Komisja Standaryzacji Nazw Geograficznych poza Granicami Rzeczypospolitej Polskiej. Rada funkcjonuje w obszarze opiniodawstwa i doradztwa, komisja natomiast ma wyraźnie określony zakres działań zgodny z nazwą.

Prawo geodezyjne i kartograficzne definiuje **ewidencję gruntów i budynków (kataster nieruchomości)** jako jednolity dla kraju, systematycznie aktualizowany zbiór informacji o gruntach, budynkach i lokalach, o ich właścicielach, o innych osobach fizycznych lub prawnych, władających tymi gruntami, budynkami i lokalami. Obejmuje ona informacje dotyczące:

- 1) gruntów – ich położenia, granic, powierzchni, rodzajów użytków gruntowych oraz ich klas gleboznawczych, oznaczenia ksiąg wieczystych lub zbiorów dokumentów, jeżeli zostały założone dla nieruchomości, w skład której wchodzi grunty;
- 2) budynków – ich położenia, przeznaczenia, funkcji użytkowych i ogólnych danych technicznych;
- 3) lokali – ich położenia, funkcji użytkowych oraz powierzchni użytkowej.

Przez gleboznawczą klasyfikację gruntów rozumie się podział na klasy bonitacyjne ze względu na ich jakość produkcyjną, ustaloną na podsta-

wie cech genetycznych gleb. W ewidencji wykazuje się także właściciela lub władającego, z miejscem zamieszkania lub siedzibą, informację o wpisaniu do rejestru zabytków; powinna być również wpisana wartość nieruchomości.

Ewidencję gruntów i budynków prowadzą starostowie. W części dotyczącej lasów prowadzi się ją z uwzględnieniem przepisów o lasach.

Dane zawarte w ewidencji gruntów i budynków stanowią podstawę planowania przestrzennego, wymiaru podatków i świadczeń, oznaczenia nieruchomości w księgach wieczystych, statystyki publicznej, gospodarki nieruchomościami. Postać numeryczna ewidencji gruntów to inaczej system informacji o terenie, czyli baza danych przestrzennych dotyczących określonego obszaru oraz procedury i techniki służące systematycznemu zbieraniu, aktualizowaniu i udostępnianiu danych. Szczegóły na temat prowadzenia ewidencji określa Rozporządzenie Ministra Rozwoju Regionalnego i Budownictwa z dnia 29 marca 2001 w sprawie ewidencji gruntów i budynków oraz instrukcja techniczna G-5.

Jednostkami powierzchniowymi podziału kraju na potrzeby ewidencji są: jednostka ewidencyjna, obręb ewidencyjny, działka ewidencyjna.

Jednostkę ewidencyjną stanowi obszar gruntów położonych w granicach administracyjnych gminy, miasta, dzielnicy. Jednostka ewidencyjna dzieli się na obręby (wieś, sołectwo z przyległymi obszarami LP, miasto, dzielnica). Działkę ewidencyjną stanowi ciągły obszar gruntu, położony w granicach jednego obrębu, jednorodny pod względem prawnym, wydzielony z otoczenia za pomocą linii granicznych. Na terenach LP działką może być oddział leśny.

Polska jest podzielona na około 50 tysięcy obrębów i 30 milionów działek.

Założenie ewidencji polega na wykonaniu czynności technicznych i organizacyjnych, mających na celu:

- utworzenie komputerowych baz danych ewidencyjnych oraz operatu ewidencyjnego,
- uruchomienie systemu komputerowego umożliwiającego aktualizację baz danych ewidencyjnych, tworzenie raportów obrazujących dane ewidencyjne oraz udostępnienie danych ewidencyjnych.

Wyróżniamy następujące, podstawowe raporty obrazujące dane ewidencyjne:

- rejestr gruntów,
- rejestr budynków,
- rejestr lokali,
- kartoteka budynków,
- kartoteka lokali,
- mapa ewidencyjna.

Treść mapy ewidencyjnej:

- 1) granice: państwa, jednostek zasadniczego trójstopniowego podziału terytorialnego państwa, jednostek ewidencyjnych, obrębów, działek;

- 2) oznaczenia punktów granicznych, z wyróżnieniem punktów, których położenie określone zostało w odpowiednim trybie i z wymaganą dokładnością, a spośród nich – punktów trwale stabilizowanych w terenie;
- 3) kontury użytków gruntowych i ich oznaczenia;
- 4) kontury klas gleboznawczych i ich oznaczenia;
- 5) kontury budynków;
- 6) numery działek ewidencyjnych;
- 7) granice rejonów statystycznych i ich oznaczenia;
- 8) dane opisowo-informacyjne, w szczególności:
 - nazwy jednostek zasadniczego trójstopniowego podziału terytorialnego państwa,
 - oznaczenia jednostki ewidencyjnej i obrębu,
 - nazwy ulic, placów, uroczysk, cieków, zbiorników wodnych i innych obiektów fizjograficznych,
 - numery dróg publicznych, nadane na podstawie przepisów o drogach publicznych,
 - numery porządkowe i ewidencyjne budynków.

W ewidencji ustalono 15 grup rejestrowych, grupujących jednorodnych właścicieli nieruchomości i władających. Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe tworzy oddzielną podgrupę w grupie 1 (podgrupa 1.2).

Do zadań starosty należy, między innymi, modernizacja ewidencji. Ma ona charakter ciągły, polegający na uzupełnianiu baz danych, modyfikacji danych do wymagań zgodnych z rozporządzeniem, poprawie funkcjonowania systemu informatycznego. Wymagania te są bardzo liberalne. Rozporządzenie zakłada, że granic i pomiaru punktów załamania linii granicznych nie musi się ustalać w trakcie modernizacji, jeżeli dokładność położenia tych punktów nie jest gorsza niż 3,0 m w obrębach wiejskich i 0,60 m w obrębach miejskich.

Określanie powierzchni działek z dokładnością do 1 m² jest fikcją. Podstawowym problemem, szczególnie w obrębach wiejskich, jest rozgraniczenie nieruchomości, przede wszystkim stabilizacja punktów granicznych (a właściwie jej brak).

Ewidencja gruntów funkcjonuje na powierzchni całego kraju, ewidencja budynków – w ok. 10 procentach. Brak jest informacji o określeniu wartości nieruchomości.

Art. 19.2 prawa geodezyjnego mówi, że *szczegółowe zasady wykonywania specjalistycznych prac geodezyjnych i kartograficznych, przeznaczonych na potrzeby resortów, określają właściwi ministrowie i kierownicy urzędów centralnych w porozumieniu z Głównym Geodetą Kraju*. Z dumą należy stwierdzić, iż na podstawie tej delegacji wydano jedynie **zasady opracowania mapy zasadniczej Lasów Państwowych**.

Jedno z rozporządzeń ustala, że do 31 grudnia 2007 r. dla całego kraju powinna być założona **geodezyjna sieć uzbrojenia terenu (GESUT)**. Szacuje się, że sieć założono dla nie więcej niż 10% obszaru kraju.

Od 1999 r. funkcjonuje rozporządzenie w sprawie **rozgraniczenia nieruchomości**. Nie ma do niego poważniejszych zastrzeżeń.

Państwowy Zasób Geodezyjny i Kartograficzny jest to zbiór map, materiałów fotogrametrycznych i teledetekcyjnych, rejestrów, wykazów, informatycznych baz danych, katalogów danych geodezyjnych i innych opracowań powstałych w wyniku wykonywania prac geodezyjnych. Prowadzenie zasobu należy do Głównego Geodety Kraju (zasób centralny), marszałków województw (zasób wojewódzki), starostów (zasób powiatowy). Z wpływów ze sprzedaży materiałów i wnoszonych opłat tworzy się Fundusz Gospodarki Zasobem Geodezyjnym i Kartograficznym.

Prawo stanowi, iż dla obszaru całego kraju sporządza się i aktualizuje **mapę zasadniczą** oraz **mapy topograficzne** stanowiące podstawę do wykonywania innych rodzajów map. Koszty sporządzania mapy zasadniczej, ewidencji gruntów i budynków oraz map topograficznych pokrywają budżet państwa oraz Fundusz Gospodarki Zasobem Geodezyjnym i Kartograficznym.

Uzupełnieniem ustaw i rozporządzeń są instrukcje i normy techniczne. Wyróżniamy instrukcje wydane przez GUGiK oraz instrukcje branżowe (np. wydane przez Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad, Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych). Jest ich w sumie kilkadziesiąt (jako ważne przykłady należy wymienić: K-1 Mapa zasadnicza, G-5 Ewidencja gruntów, G-7 Geodezyjna ewidencja sieci uzbrojenia terenu). Podstawy prawne obligatoryjności stosowania instrukcji i norm nie zawsze są jednoznaczne.

Ogromnym problemem są opłaty za czynności związane z prowadzeniem Państwowego Zasobu Geodezyjnego i Kartograficznego oraz inne prace wykonywane przez służbę geodezyjną (uzgadnianie sieci uzbrojenia terenu, ewidencja i inne). Rozporządzenia kilkakrotnie modyfikowano (1990, 1992, 1997, 1998, 2000, 2004). W prasie geodezyjnej prowadzona jest burzliwa dyskusja na ten temat.

5.2. Geodezja numeryczna

prof. dr hab. HERONIM OLENDEREK – Szkoła Główna
Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Leśny, Katedra Urządzania Lasu,
Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa

Geodezja i kartografia (geomatyka) jest dyscypliną, na którą bardzo istotny wpływ ma rozwój nowoczesnych technologii. Nie tylko przyszłość będzie cyfrowa, cyfrowa jest już teraźniejszość. Tachimetry elektroniczne, odbiorniki GPS, komputery osobiste spowodowały całkowitą zmianę procesu wykonywania pomiarów, przetwarzania danych, istotnie skracając czas od pomiarów do mapy, podnosząc ich jakość.

Dzięki zobrazowaniom satelitarnym i sieciom rozległym pozyskiwanie danych nabrało charakteru globalnego. Liczba użytkowników technologii geoprzestrzennych szybko rośnie. Użytkowników GIS w roku 2001 było, według szacunków, dwa miliony; w 2007 r. Google ogłosił, iż jest ich ponad 250 milionów (Iwaniak 2007). W Polsce, i nie tylko, na rozwój geodezji numerycznej ma wpływ konieczność wdrażania dyrektywy INSPIRE, czyli budowa infrastruktury informacji przestrzennej (SDI – Spatial Data Infrastructure). Infrastruktura informacji przestrzennej to zespół środków o charakterze prawnym, organizacyjnym, finansowym i technologicznym, mających na celu ułatwienie dostępu do danych przestrzennych. SDI można traktować jako zakończenie procesu informatyzacji zasobów danych przestrzennych.

Ustawa o infrastrukturze informacji przestrzennej określa zasady budowy i prowadzenia następujących baz danych:

- państwowego rejestru podstawowych osnów geodezyjnych, grawimetrycznych i magnetycznych;
- ewidencji gruntów i budynków (kataster nieruchomości);
- geodezyjnej ewidencji sieci uzbrojenia terenu;
- państwowego rejestru granic i powierzchni jednostek podziału terytorialnego kraju;
- państwowego rejestru nazw geograficznych;
- ewidencji miejscowości, ulic i adresów;
- rejestru cen i wartości nieruchomości;
- obiektów topograficznych dla opracowań w skalach 1:10 000–1:100 000;
- danych ogólnogeograficznych dla opracowań w skalach 1:200 000 i mniejszych;
- danych szczegółowych osnów geodezyjnych;
- zobrazowań lotniczych i satelitarnych;
- mapy zasadniczej dla obszarów miast oraz zwartych, zabudowanych i przeznaczonych pod zabudowę terenów wiejskich;
- metadanych opisujących zbiory danych wymienionych powyżej oraz powiązanych z nimi usług.

Główny Geodeta Kraju zobligowany jest do przygotowania kilkunastu aktów wykonawczych. Ich treść uszczegółowi działalność Służby Geodezyjnej i Kartograficznej w Polsce. Merytoryczną podstawą przy opracowywaniu rozporządzeń będą rezultaty badań uzyskane w wyniku realizacji projektu współfinansowanego w ramach Mechanizmu Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego pt. „Wypracowanie i wdrożenie innowacyjnych metod integracji danych katastralnych, mapy zasadniczej i Bazy Danych Topograficznych oraz modernizacja usług publicznych świadczonych przez Służbę Geodezyjną i Kartograficzną” (Mączewski 2009).

Wyniki badań będą podstawą budowy modelu danych zarządzanych przez Służbę Geodezyjną i Kartograficzną oraz procesów organizacyjnych i rozwiązań technicznych. Baza danych georeferencyjnych będzie zawierała następujące elementy:

- 1) na poziomie kraju:
 - Bazę Danych Ogólnogeograficznych;
- 2) na poziomie województwa:
 - Topograficzną Bazę Danych;
- 3) na poziomie powiatu:
 - Bazę Danych Obiektów Topograficznych Objętych Zakresem Mapy Zasadniczej,
 - Bazę Danych Geodezyjnej Sieci Uzbrojenia Terenu,
 - Bazę Danych Ewidencji Gruntów i Budynków,
 - Bazę Danych Szczegółowych Osnów Geodezyjnych.

Cztery ostatnie elementy tworzą zintegrowaną powiatową bazę danych referencyjnych.

Baza Danych Ogólnogeograficznych (BDO) została opracowana na zlecenie Głównego Geodety Kraju. Wykorzystano wojskową bazę VMap poziomu 1. W BDO zgromadzono dane odpowiadające poziomowi szczegółowości tradycyjnych map ogólnogeograficznych w skali 1:250 000. W wyniku generalizacji stopnia podstawowego tworzone są stopnie szczegółowości odpowiadające skalom: 1:500 000, 1:1 000 000, 1:4 000 000. Główną funkcją BDO jest integracja informacji z baz danych krajowych instytucji, obejmujących swym zasięgiem obszar całego kraju, czyli:

- Krajowego Rejestru Urzędowego Podziału Terytorialnego Kraju – TERYT (Główny Urząd Statystyczny),
- Państwowego Rejestru Granic (Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej),
- Banku Danych Drogowych (Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad),
- Komputerowej Mapy Podziału Hydrograficznego Polski (Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej),
- Krajowego Systemu Obszarów Chronionych (Ministerstwo Środowiska).

BDO doskonale nadaje się do przedstawiania danych statystycznych, ogólnokrajowych studiów rozbudowy infrastruktury (np. drogowej, kolejowej, przesyłu energii), wizualizacji miejsc zasięgów działania organów jednostek administracji rządowej i samorządowej, zasięgu kłesk żywnościowych, zasięgów obszarów chronionych. BDO może być wykorzystana przez Lasy Państwowe na poziomie dyrekcji regionalnych lub Dyrekcji Generalnej do prowadzenia analiz przestrzennych, jednak tylko w opracowaniach w małej skali. Prezentacja obiektów i zjawisk możliwa jest na ośmiu warstwach tematycznych: podział administracyjny, osadnictwo i obiekty antropogeniczne, hydrografia, rzeźba terenu, obszary i obiekty chronione, nazwy geograficzne. BDO zawiera również dane wysokościowe w formacie GRID.

Topograficzna Baza Danych (TBD) rozumiana jest jako jednolity w zakresie modelu pojęciowego, urzędowy, ogólnokrajowy system gromadzenia i udostępniania danych topograficznych, na który poza danymi składają się: odpowiedni system finansowania, organizacja, narzędzia in-

formatyczne oraz niezbędne instrukcje i wytyczne techniczne (Bac-Brownicz i Dzikowska 2008). Składa się z baz: TOPO – wektorowa baza danych topograficznych, oparta na technologii GIS, NMT – sekcyjna baza numerycznego modelu terenu, ORTOFOTO – sekcyjna baza ortofotomapy. Treść TBD to: hydrografia, drogi, koleje, uzbrojenie terenu, roślinność, zabudowa, granice jednostek podziału terytorialnego kraju, rzeźba. Prace nad TBD trwają od roku 2003. Szczegółowość bazy danych odpowiada skali 1:10 000. Odpowiednie wytyczne techniczne GUGiK wydał w 2003 r.

Ortofotomapa została opracowana w Polsce w dwóch standardach: I (piksel terenowy 0,5–1,0 m, błąd położenia sytuacyjnego 1,5–2,5 m), II (piksel terenowy 0,25 m, błąd położenia sytuacyjnego 0,75 m). Łącznie istnieje pokrycie dla całego kraju, aktualizowane w okresach pięcioletnich.

Centralny Bank Osnów Geodezyjnych obejmuje osnowy poziome, wysokościowe, grawimetryczne oraz algorytmy umożliwiające przeliczenie współrzędnych między różnymi układami (w dyspozycji CODGiK).

Państwowy Rejestr Granic (PRG) jest urzędowym, numerycznym zbiorem danych geometrycznych i opisowych o przebiegu granic i powierzchni jednostek podziału terytorialnego państwa (aktualizowany na 1 stycznia każdego roku, w dyspozycji CODGiK).

Państwowy Rejestr Nazw Geograficznych zawiera ok. 170 tys. nazw obiektów wraz z charakterystykami, podającymi m.in. rodzaj obiektu, współrzędne geograficzne, położenie na obszarze jednostki administracyjnej (w dyspozycji CODGiK).

TERYT2 jest propozycją integracji rejestru TERYT, prowadzonego przez GUS, z Państwowym Rejestrem Granic i EGiB (bazą danych ewidencji gruntów i budynków).

Mapa wektorowa poziomu drugiego (VMapL2) jest numeryczną bazą danych, zawierającą informacje o przestrzennym położeniu obiektów terenowych wraz z ich opisem i parametrami technicznymi. Szczegółowość VMapL2 odpowiada mapie topograficznej 1:50 000. Mapa ta wykonywana jest w ramach porozumienia zawartego pomiędzy Głównym Geodetą Kraju a Szefem Zarządu Geografii Wojskowej Sztabu Generalnego Wojska Polskiego. Model pojęciowy VMapL2 obejmuje 110 klas obiektów zgrupowanych w 10 użytkowych warstwach tematycznych. Planowana jest aktualizacja bazy na podstawie ortofotomapy. Ma ona (większość arkuszy) aktualność z lat 80. XX w. W latach 2004–2007 zaktualizowane zostało 10% (ortofotomapa i wywiad terenowy); produkt nazwano VMapL2+.

Mapa hydrograficzna Polski w skali 1:50 000 i Mapa sozologiczna Polski w skali 1:50 000 są przygotowywane w postaci cyfrowej i wydawane przez Głównego Geodetę Kraju na podkładach VMapL2 według wytycznych technicznych GIS-3 Mapa hydrograficzna Polski w skali 1:50 000 i GIS-4 Mapa sozologiczna Polski w skali 1:50 000, wydanych w 2005 r. Szczegóły dotyczące TBD, BDO oraz map hydrograficznych

i sozologicznych można znaleźć na stronie internetowej GUGiK (www.gugik.gov.pl).

Szczegółowa mapa geologiczna Polski, Mapa hydrogeologiczna Polski, Mapa geologiczno-gospodarcza Polski oraz Mapa geosrodowiskowa Polski – wszystkie w skali 1:50 000, wydawane przez Państwowy Instytut Geologiczny. Można je nabywać w wersji wektorowej, rastrowej lub w formie wydruku. Informacje na temat tych map dostępne są na stronie internetowej Instytutu (www.pgi.gov.pl).

Numeryczne opracowania wielkoskalowe to baza danych ewidencji gruntów i budynków (EGiB) przekształcana w kataster nieruchomości, mapa zasadnicza, baza geodezyjnej sieci uzbrojenia terenu (GESUT), System Identyfikacji Działek Rolnych (LPIS – Land Parcel Identification System).

Modernizacja **ewidencji gruntów i budynków** ma charakter ciągły. Polega przede wszystkim na zamianie formy analogowej na postać numeryczną, zarówno w części opisowej, jak i kartograficznej. Już w 1977 r. zapadły pierwsze decyzje GUGiK dotyczące kompleksowej modernizacji ewidencji gruntów. W roku 1979 ruszyły prace pilotażowe nad informatycznym podsystemem do ewidencji gruntów. Czołową rolę odegrało, powstałe w 1974 r., kierowane przez Jerzego Gaździckiego, Centrum Informatyczne Geodezji i Kartografii oraz Okręgowe Przedsiębiorstwo Geodezyjno-Kartograficzne w Lublinie ze Stanisławem Zarembą, głównym wykonawcą prac, których efektem był system EWGRUN. Dzisiaj ewidencja gruntów i budynków jest obsługiwana przez kilkadziesiąt różnych programów. Zdecydowana większość ośrodków powiatowych używa oddzielnych i niezintegrowanych systemów do prowadzenia części opisowej i geometrycznej. Szacuje się, że zintegrowane oprogramowanie wykorzystuje ok. 40% powiatów (przede wszystkim EWID 2000). Jeśli chodzi o część opisową, liderem jest EGB (EGBV lub EGB 2000), a dalej EWOPIS. Część geometryczna to dominacja EWMAP-y, a następnie Geo-Info. Przyszłość ewidencji gruntów i budynków w Polsce związana jest ze Zintegrowanym Systemem Katastralnym, łączącym w sobie ewidencję gruntów i budynków, księgi wieczyste i ewidencję podatkową w ścisłym powiązaniu z podstawowymi, innymi rejestrami publicznymi.

Mapa zasadnicza to wielkoskalowe opracowanie kartograficzne (1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000), zawierające aktualne informacje o przestrzennym rozmieszczeniu obiektów ogólnogeograficznych oraz o elementach ewidencji gruntów i budynków, a także sieci uzbrojenia terenu: nadziemnych, naziemnych i podziemnych. Mapa zasadnicza może być opracowana w postaci klasycznej lub numerycznej. Powinna być przedstawiona w systemie nakładek tematycznych:

- E – nakładka ewidencji gruntów i budynków,
- U – nakładka sieci uzbrojenia terenu,
- S – nakładka sytuacyjna,
- W – nakładka rzeźby terenu,

– R – nakładka realizacyjnych uzgodnień projektowych.

Nie jest znany procent pokrycia kraju aktualną mapą zasadniczą, nie wiadomo również, jaka część map ma postać numeryczną. Ocenia się, że stan aktualizacji i komputeryzacji map zasadniczych jest zły.

W związku z dopłatami dla rolników z funduszy pomocowych Unii Europejskiej utworzono bazę danych **System Identyfikacji Działek Rolnych** (ang. Land Parcel Identification System – **LPIS**). Nastąpiło to w ramach projektów prowadzonych przez Agencję Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa oraz Główny Urząd Geodezji i Kartografii.

LPIS jest częścią Zintegrowanego Systemu Zarządzania i Kontroli (ang. Integrated Administration and Control System – **IACS**), którego celem jest jednoznaczna w skali kraju identyfikacja i określenie położenia deklarowanych przez rolników działek rolnych, a także kontrola prawidłowości zadeklarowanych powierzchni, łącznie z oceną i sprawdzeniem zasadności kwalifikacji oraz kontrolą liczby złożonych wniosków na każdą działkę lub jej część. Bazę LPIS tworzą dane z ewidencji gruntów. Teraz może być pomocna w modernizacji ewidencji.

Tworzony będzie system udostępniający informację w sieci Internet o materiałach kartograficznych i danych GIS, znajdujących się w zasobie centralnym, zasobach wojewódzkich i powiatowych.

Sytuacja, która wytworzyła się obecnie w zakresie prowadzenia baz danych przestrzennych przez państwową Służbę Geodezyjną i Kartograficzną, jest skomplikowana. Porządkowane są przepisy prawne, następuje informatyzacja zasobu. Brak jest jednolitych programów do prowadzenia zasobu geodezyjnego. Na przykład zlecenie budowy, wdrożenia i serwisowania zintegrowanego systemu informatycznego do obsługi zasobu geodezyjnego i kartograficznego w stolicy znajduje się dopiero na etapie przetargów. Musi nastąpić: lepsze powiązanie danych przestrzennych, eliminacja redundancji danych na szczeblu powiatu, województw i kraju, koordynacja branżowych baz danych, a także powstających w administracji publicznej, opracowanie wspólnych przepisów prawnych i standardów technologicznych dla różnych poziomów tworzenia baz danych. Przede wszystkim konieczna jest harmonizacja baz danych. Podstawą powinny być – mam nadzieję, że będą – wspólne, ogólnie dostępne dane referencyjne, uwzględniające nie tylko topografię, ale również działki katastralne i punkty adresowe. Można mieć nadzieję, iż działania podejmowane w kierunku utworzenia Zintegrowanego Systemu Informacji o Nieruchomościach, integrującego ewidencję gruntów i budynków, księgi wieczyste, ewidencję podatkową i inne rejestry publiczne, zakończą się również powodzeniem.

Dane przestrzenne (geoinformacja), będące w posiadaniu Służby Geodezyjnej i Kartograficznej, powinny być użyteczne społecznie, dostępne i wykorzystywane jako referencyjne przez wszystkie branże. Wzmocni to rolę geodezji, nakładając na geodetów nowe zadania, wymagające nie tylko rzetelności zawodowej i sprawności organizacyjnej, ale także ciągłego wprowadzania nowych rozwiązań technologicznych.

5.3. Mapa stanu posiadania nadleśnictwa

mgr inż. ADAM PAJDA – Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej,
Oddział w Przemyślu

Stan posiadania Lasów Państwowych to lasy, grunty i inne nieruchomości stanowiące własność Skarbu Państwa i pozostające w zarządzie, trwałym zarządzie lub użytkowaniu wieczystym jednostek organizacyjnych Lasów Państwowych. Zarządzenie nr 67 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 17 lipca 2001 r. w sprawie sposobu ewidencjonowania lasów, gruntów i innych nieruchomości w Lasach Państwowych określiło sposób założenia i prowadzenia ewidencji gruntów, budynków i lokali. Weszło w życie z dniem 1 stycznia 2002 r., z zastrzeżeniem, że założona ewidencja budynków i lokali na zasadach określonych w niniejszym zarządzeniu zostanie dostosowana do wymogów Rozporządzenia Ministra Rozwoju Regionalnego i Budownictwa z dnia 29 marca 2001 r. w sprawie ewidencji gruntów i budynków (Dz.U. nr 38, poz. 454 z późn. zm.). Funkcjonujące w nadleśnictwach księgi ewidencji gruntów (w formie papierowej) zostały zamknięte według stanu na 31 grudnia 2001 r., a dane w nich zawarte – przeniesione do Systemu Informatycznego Lasów Państwowych (SILP) poprzez przypisanie numerów działek ewidencyjnych wraz z numeracją konturów użytków do wydzieleń leśnych.

Stan posiadania nadleśnictwa wykazywano w księdze ewidencji gruntów, a obrazowaniem graficznym tego stanu była mapa gruntów. Zgodnie z obowiązującymi wówczas przepisami w sprawie ewidencji gruntów w Lasach Państwowych (zarządzenie nr 47 Dyrektora Generalnego LP z dnia 31 grudnia 1993 r.), mapami gruntów były:

- mapy gospodarcze – dla gruntów posiadających pełną dokumentację,
- kopie map ewidencyjnych powszechnej ewidencji gruntów – dla gruntów bez prawnej dokumentacji oraz pozostających we współwłasności.

Mapy te wykonywane były w systemie analogowym – mapy gospodarcze na planszach kreślarskich z wkładką aluminiową, kopie zaś map ewidencyjnych jako odbitki ozalidowe lub kserokopie wielkoformatowe.

Nowe zarządzenie dopuszcza jeszcze postać analogową mapy ewidencji gruntów, ale docelową formą jest mapa numeryczna, zgodna z procedurą zakładania ewidencyjnych map numerycznych w nadleśnictwach, określoną w zarządzeniu nr 60 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 28 czerwca 1999 r. ze zmianą w zarządzeniu nr 10 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 8 lutego 2001 r.

Kompleksowe podejście do systemu informacji przestrzennej Lasów Państwowych zawarte zostało w Zarządzeniu nr 74 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 23 sierpnia 2001 r. w sprawie zdefiniowania standardu leśnej mapy numerycznej dla poziomu nadleśnictwa oraz wdrożenia systemu informacji przestrzennej w nadleśnictwach. Zarządze-

nie nr 5 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 13 stycznia 2003 r. w sprawie zmiany zarządzenia nr 74 wprowadziło nowy podpunkt 1.3 do załącznika nr 2 w punkcie 1, dotyczący graficznego zobrazowania stanu posiadania, brzmiący następująco: *Podkład geodezyjny leśnej mapy numerycznej powinien być wykonany przed rozpoczęciem prac nad planem urządzenia lasu. Wskazane jest, aby materiały źródłowe miały postać numeryczną i w szczególności obejmowały warstwę działek ewidencyjnych, użytków gruntowych, graniczników oraz bazę opisową rejestru gruntów. Całość wyżej wymienionych materiałów powinna odzwierciedlać stan ewidencji powszechnej.* Ta zmiana spowodowała konieczność wykonywania numerycznych map ewidencyjnych Lasów Państwowych lub pozyskiwania z zasobu ODGiK istniejących map numerycznych danych obrębów ewidencyjnych i ich konwersję do struktury Standardu LMN.

Podkład geodezyjny LMN, jako numeryczna mapa ewidencji gruntów, teoretycznie należy wykonać dla wszystkich nadleśnictw w ciągu 10 lat (okres rewizji urzędzeniowej), czyli do 2013 r. Numeryczne mapy ewidencyjne Lasów Państwowych powinny zostać przekazane i włączone do Państwowego Zasobu Geodezyjnego i Kartograficznego. W nowym cyklu urzędzeniowym wykonywane więc powinny być jedynie aktualizacje LMN w zakresie danych ewidencyjnych pozyskiwanych z zasobów PODGiK. Zmienione dane dotyczyć będą głównie przetworzonych współrzędnych punktów granicznych granic działek i granic użytków, spowodowanych przeliczeniem współrzędnych na państwowy układ współrzędnych „2000” oraz realizowanymi przez starostów pomiarami uzupełniającymi, wykonywanymi podczas kompleksowych modernizacji ewidencji gruntów i budynków poszczególnych obrębów ewidencyjnych.

Funkcjonujący w Lasach Państwowych system informatyczny (SILP) jest na bieżąco aktualizowanym systemem baz danych opisowych. Należało więc prowadzić bieżącą aktualizację bazy graficznej LMN. Prace te są zlecane przez nadleśnictwa podmiotom zewnętrznym lub realizowane we własnym zakresie.

Zarządzenie nr 67 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 17 lipca 2001 r. uchyliło Zarządzenie nr 23 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 19 sierpnia 1996 r. w sprawie obsługi geodezyjnej nadleśnictwa. Pozyskanie danych do aktualizacji mapy numerycznej stanu posiadania nadleśnictwa, czyli danych z powiatowych ośrodków dokumentacji geodezyjnej i kartograficznej, zostało w wielu nadleśnictwach zaniechane, co doprowadziło do znacznej dezaktualizacji bazy graficznej LMN.

Mapa numeryczna stanu posiadania nadleśnictwa wykonywana jest przez uprawnione jednostki wykonawstwa geodezyjnego na podstawie danych znajdujących się w Państwowym Zasobie Geodezyjnym i Kartograficznym. Tworzenie takiej mapy musi być zgodne z:

- Ustawą „Prawo geodezyjne i kartograficzne” z dnia 17 maja 1989 r. z późniejszymi zmianami,

- Rozporządzeniem Ministra Rozwoju Regionalnego i Budownictwa z dnia 29 marca 2001 r. z późniejszymi zmianami w sprawie ewidencji gruntów i budynków,
- Rozporządzeniem Ministra Rozwoju Regionalnego i Budownictwa z dnia 16 lipca 2001 r. z późniejszymi zmianami w sprawie zgłaszania prac geodezyjnych i kartograficznych, ewidencjonowania systemów i przechowywania kopii zabezpieczających bazy danych, a także ogólnych warunków umów o udostępnianie tych baz.

Przed przystąpieniem do budowania mapy numerycznej należy zgłosić prace geodezyjne do właściwego terytorialnie Powiatowego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej oraz uzgodnić warunki wykonania pracy z ODGiK, organami prowadzącymi powszechną ewidencję gruntów oraz ze zleceniodawcą (nadleśnictwem). Po wykonaniu prac technicznych, wynikających z technologii przyjętej przez wykonawcę mapy, należy dostosować powstałą bazę geometryczną do obowiązującego Standardu Leśnej Mapy Numerycznej oraz przekazać ją w uzgodnionym formacie danych do Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej, a także do organu prowadzącego ewidencję gruntów i budynków.

Mapa numeryczna stanu posiadania nadleśnictwa zawierać powinna następujące dane:

- punkty osnów geodezyjnych,
- elementy ewidencji gruntów i budynków (granice jednostek terytorialnego podziału państwa, granice podziału ewidencyjnego, granice nieruchomości gruntowych i działek, punkty graniczne, granice użytków gruntowych, kontury klas bonitacyjnych, obrysy budynków, numery oraz inne oznaczenia identyfikujące wyżej wymienione obiekty),
- elementy sieci uzbrojenia terenu (urządzenia inżynierijno-techniczne nadziemne, urządzenia inżynierijno-techniczne podziemne, w tym punkty położenia armatury naziemnej przewodów uzbrojenia technicznego, pomierzone „podziemne” linie przebiegu przewodów uzbrojenia terenu).

Tak przygotowana mapa numeryczna ewidencji gruntów, odwzorowana w obowiązującym państwowym układzie współrzędnych „2000” lub funkcjonującym nadal układzie „1965”, po przetransformowaniu do układu współrzędnych „1992” – wymaganego dla Standardu LMN – stanowi podstawę do dalszych prac związanych z wykonaniem bądź aktualizacją istniejącej leśnej mapy numerycznej. Geometryczna baza ewidencji gruntów, jako podstawa leśnej mapy numerycznej, musi być aktualizowana danymi z pomiarów uzupełniających lub nowych opracowań dotyczących przeliczenia współrzędnych przekazywanych do Państwowego Zasobu Geodezyjnego i Kartograficznego.

Pomiary oraz przeliczenia współrzędnych, dokonywane podczas prac związanych z kompleksową modernizacją ewidencji gruntów i budynków (realizowaną przez starostów), rozgraniczaniem nieruchomości, podziałem działek, aktualizacją użytków gruntowych oraz aktualizacją sytuacji

wewnętrznej nadleśnictwa, dostarczają współrzędnych geodezyjnych (X, Y) każdego pomierzonego punktu i mogą być wprowadzone do bazy geometrycznej. Następująca wówczas aktualizacja bazy o nowe dane jest spójna z istniejącymi danymi i nie powoduje deformacji obiektów podstawowych leśnej mapy numerycznej.

Zarządzenie nr 13 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 20 marca 2007 r. w sprawie przenoszenia informacji pomiędzy planem urządzenia lasu dla nadleśnictwa i Systemem Informatycznym Lasów Państwowych (SILP) oraz w sprawie bieżącej aktualizacji stanu lasu w SILP wprowadziło do stosowania zawarte w załączniku nr 1 wytyczne dotyczące powyższej tematyki. *Wytyczne precyzują zakres oraz metodykę przekazywania danych na potrzeby planu urządzenia lasu dla nadleśnictwa (zwanego dalej planem UL) oraz danych pobieranych do baz SILP z planu UL. Wskazania dotyczą również danych geometrycznych, stanowiących integralny element planu UL. W zakresie aktualizacji SILP i bazy geometrycznej wytyczne odnoszą się do integralności baz, elementów związanych z jakością danych baz SILP i leśnej mapy numerycznej (zwanej dalej LMN) oraz systematyzują pojęcia i tryb wykonywania aktualizacji.*

Szczegółowe omówienie tematyki aktualizacji SILP i LMN nastąpi w następujących rozdziałach, tutaj chciałem zasygnalizować problemy napotymane przy aktualizacji stanu posiadania.

Narastającymi problemami dotyczącymi aktualizacji stanu posiadania nadleśnictwa – zarówno bazy opisowej SILP, jak i bazy graficznej LMN – są:

- uproszczone procedury modernizacji ewidencji gruntów i budynków, wynikające z wprowadzenia do ustawy „Prawo geodezyjne i kartograficzne” dodatkowego artykułu o numerze 24a (o czym dalej);
- przejście w zarząd Lasów Państwowych lasów i gruntów przeznaczonych do zalesienia, znajdujących się w zasobach Państwowego Funduszu Ziemi.

Na podstawie Ustawy z dnia 28 listopada 2003 r. o zmianie ustawy o gospodarce nieruchomościami oraz o zmianie niektórych innych ustaw (Dz.U. z 2004 r. nr 241, poz. 1492), która weszła w życie 22 września 2004 r., wprowadzono do ustawy „Prawo geodezyjne i kartograficzne” dodatkowy artykuł 24a. W artykule tym jest omówiona przeprowadzana przez starostę modernizacja ewidencji gruntów i budynków danego obrębu ewidencyjnego, sposób powiadamiania stron o rozpoczęciu prac geodezyjnych, wyłożeniu projektu operatu opisowo-kartograficznego oraz jego ogłoszeniu w dzienniku urzędowym województwa. Informacja o rozpoczęciu prac geodezyjnych oraz o trybie postępowania związanego z modernizacją ewidencji gruntów i budynków podawana jest do wiadomości publicznej na oficjalnej stronie internetowej starosty oraz poprzez wywieszenie na okres 14 dni na tablicy ogłoszeń w siedzibie starostwa powiatowego. Projekt operatu opisowo-kartograficznego podlega na okres 15 dni wyłożeniu do wglądu zainteresowanych, a informację o miejscu i terminie wyłożenia

umieszcza się na tablicy ogłoszeń w siedzibie starostwa oraz właściwego urzędu gminy na co najmniej 14 dni przed wyłożeniem oraz ogłasza w prasie o zasięgu krajowym. Każdy, czyjego interesu prawnego dotyczą dane zawarte w tym projekcie, może zgłaszać uwagi do protokołu, o których przyjęciu lub odrzuceniu rozstrzyga pracownik starostwa, informując zgłaszającego uwagi. Po upływie 15-dniowego okresu wyłożenia projekt operatu opisowo-kartograficznego staje się operatem ewidencji gruntów i budynków, a informację o tym starosta ogłasza w dzienniku urzędowym województwa. W terminie 30 dni od dnia ogłoszenia strony zainteresowane mogą zgłaszać zarzuty do tych danych; o ich uwzględnieniu lub odrzuceniu starosta rozstrzyga w drodze decyzji. Zarzuty zgłoszone po tym terminie traktowane są jako wnioski o zmianę danych ewidencji gruntów i budynków.

Powyższa procedura uświadamia, jak istotne jest stałe monitorowanie ogłaszanych przez starostwa powiatowe w zasięgu działania nadleśnictwa modernizacji ewidencji gruntów i budynków oraz udział pracowników odpowiedzialnych za prowadzenie stanu posiadania w wyłożeniu projektu operatu opisowo-kartograficznego i zgłaszaniu do niego uwag.

Do czasu nowelizacji prawa geodezyjnego i kartograficznego w zakresie zakładania i modernizacji ewidencji gruntów i budynków obowiązywały przepisy Rozporządzenia Ministra Rozwoju Regionalnego i Budownictwa z dnia 29 marca 2001 r. z późniejszymi zmianami w sprawie ewidencji gruntów i budynków, które modernizację zatwierdzały decyzją starosty otrzymywaną przez każdy podmiot będący uczestnikiem postępowania, a o czynnościach geodezyjnych w trakcie modernizacji ewidencji strony zawiadamiane były za zwrotnym potwierdzeniem odbioru. Procedury te bardzo utrudniały, a czasami wręcz uniemożliwiały zakończenie modernizacji ewidencji gruntów i budynków danego obrębu ewidencyjnego.

Zgodnie z art. 74, ust. 3 ustawy z dnia 28 września 1991 r. o lasach, lasy i grunty przeznaczone do zalesienia, znajdujące się w zasobach Państwowego Funduszu Ziemi, przechodzą w zarząd Lasów Państwowych. Przejście tych gruntów w zarząd Lasów Państwowych następuje z mocy prawa, bez konieczności potwierdzania tego faktu decyzją administracyjną – deklaratoryjną. Niemniej, z uwagi na fakt, że przedmiot tego zarządu określany jest dopiero w protokole zdawczo-odbiorczym, sporządzonym na okoliczność przekazania przez wojewodę władania lasami i gruntami przeznaczonymi do zalesienia, dokonanie zmian w operacie ewidencyjnym powinno nastąpić na podstawie tego protokołu. Do czasu sporządzenia protokołu w operacie ewidencyjnym powinien być wykazywany wyłącznie Skarb Państwa jako właściciel nieruchomości. Takie stanowisko reprezentowane przez GUGiK – zgodne z interpretacją Lasów Państwowych oraz potwierdzone wyrokami sądowymi – przez dłuższy czas funkcjonowało w ewidencji gruntów i budynków.

W ostatnim czasie, od roku 2005, starostwa powiatowe występowały do wydziałów ksiąg wieczystych sądów rejonowych o wpis zarządu Lasów

Państwowych dla działek z zasobu PFZ, a sądy tych wpisów dokonywały, powołując się na postanowienie Sądu Najwyższego III CK 134/04 z dnia 10 grudnia 2004 r., mówiące, że: *Przepis ustawy – np. art. 74 ustawy o lasach – może stanowić samodzielną podstawę dokonania wpisu w księdze wieczystej nieruchomości. W takim przypadku wystarczające jest złożenie wniosku zawierającego wskazanie podstawy prawnej, bez załączania dokumentów potwierdzających zasadność wpisu.* Zawiadomienie o wpisie zarządu na rzecz PGL LP otrzymywali nadleśnictwo oraz wnioskodawca, a na tej podstawie starostwo powiatowe wprowadzało zmiany w ewidencji gruntów i budynków dotyczące podmiotu.

W wyniku takiego postępowania nadleśnictwo stawało się zarządcą gruntów często o niewiadomej powierzchni i nieznannej lokalizacji – dane te mogło pozyskać w terminie późniejszym, występując do właściwego wojewody celem spisania protokołu zdawczo-odbiorczego, sporządzanego na okoliczność przekazania przez wojewodę władania lasami i gruntami przeznaczonymi do zalesienia. O fakcie posiadania w swoim zarządzie takich gruntów nadleśnictwo dowiadywało się od urzędu gminy, gdy złożona przez nadleśnictwo deklaracja podatkowa nie zgadzała się pod względem powierzchni i rodzaju użytków z danymi rejestru gruntów, udostępnianego gminie do celów podatkowych przez starostwo powiatowe.

Opisana sytuacja dowodzi, że odłączenie leśnej mapy numerycznej od geometrycznej bazy ewidencyjnej powodowałoby trudności lub wręcz niemożliwość jej aktualizacji zgodnie z wymogami obowiązujących przepisów prawnych i instrukcji technicznych dotyczących prac geodezyjno-kartograficznych. Pozyskanie danych z Państwowego Zasobu Geodezyjnego i Kartograficznego jest niezbędne do prawidłowej aktualizacji LMN w zakresie ewidencji gruntów i budynków. Dlatego też celowe jest wykonywanie, w ramach prac przygotowawczych na potrzeby projektu planu urządzenia lasu, prac geodezyjnych związanych z tworzeniem lub aktualizacją mapy numerycznej stanu posiadania nadleśnictwa.

5.4. Topograficzna Baza Danych a leśna mapa numeryczna

mgr inż. ROBERT RUTKOWSKI – GeoInvent sp. z o.o.

5.4.1. Wprowadzenie

W 1957 r. Sherman i Tobler opublikowali artykuł o pozyskiwaniu danych do kartograficznej bazy danych, w którym zwrócili uwagę na potrzebę wykorzystywania tych samych danych do różnych celów oraz na

planowanie pozyskiwania danych w taki sposób, aby można było zaspokoić potrzeby jak największej liczby użytkowników. Według autorów, pozwalało to zarówno na zmniejszenie kosztów pozyskiwania danych, jak i na uproszczenie sposobów ich wykorzystywania. Pięćdziesiąt lat temu trudno było przewidzieć, że artykuł jest proroczy i porusza podstawowe problemy, które wystąpią po upływie półwiecza w systemach informacyjnych. Problemy te zostały zasygnalizowane we wstępnych założeniach do dyrektywy INSPIRE, w których zwrócono uwagę na konieczność projektowania infrastruktury informacji przestrzennej w taki sposób, aby zapewnić przechowywanie, udostępnianie oraz utrzymywanie danych przestrzennych w sposób umożliwiający między innymi łączenie w jednolity sposób danych pochodzących z różnych źródeł, korzystanie z danych zgromadzonych na jednym szczeblu organów publicznych przez inne organy publiczne oraz łatwe wyszukiwanie danych i ich ocenę na podstawie metadanych.

Obecnie w Polsce trwają prace nad ustawą o infrastrukturze informacji przestrzennej, która ma dokonać transpozycji dyrektywy INSPIRE na grunt krajowy. Jak zdefiniowano w art. 1 ustawy, określa ona zasady tworzenia infrastruktury informacji przestrzennej do wspomagania działań mających na celu zrównoważony rozwój kraju i ochronę środowiska oraz działań mogących oddziaływać na środowisko, przez powszechne udostępnianie i praktyczne stosowanie informacji przestrzennej. Zasady, o których mowa, dotyczą:

- danych przestrzennych i metadanych infrastruktury informacji przestrzennej,
- interoperacyjności zbiorów danych przestrzennych,
- usług danych przestrzennych,
- wspólnego korzystania z danych przestrzennych,
- współdziałania i koordynacji w zakresie infrastruktury informacji przestrzennej.

Infrastruktura informacji przestrzennej, tworzona na podstawie ustawy, stanowi część infrastruktury informacji przestrzennej Unii Europejskiej (Projekt ustawy... 2009).

Tematy danych przestrzennych, będące załącznikiem do ustawy o infrastrukturze, podzielone są na trzy grupy tematyczne, obejmujące bardzo szeroki zakres danych o obiektach i zjawiskach zachodzących w geoprzestrzeni. Obejmują one zarówno dane o topografii terenu, jak i dane dotyczące użytkowania terenu, zagospodarowania przestrzennego, stref zagrożenia naturalnego, regionów biogeograficznych, rozmieszczenia gatunków, siedlisk i obszarów przyrodniczo jednorodnych, a więc elementów, które zawierają zarówno baza SILP, wspomagana przez bazę geometryczną leśnej mapy numerycznej (LMN), jak i Topograficzna Baza Danych (TBD).

Wprowadzana ustawa wymusza podejmowanie działań, których celem jest integracja istniejących baz danych w sposób umożliwiający różnym użytkownikom wspólne korzystanie z zestandaryzowanych zbiorów da-

nych przestrzennych. Przykładem takich działań jest projekt celowy, zrealizowany przez Instytut Przyrodniczy we Wrocławiu, pn. „Metodyka i procedury integracji, wizualizacji, generalizacji i standaryzacji baz danych referencyjnych dostępnych w zasobie geodezyjnym i kartograficznym oraz ich wykorzystania do budowy baz danych tematycznych”. Wśród wielu rozwiązań szczegółowych, pozwalających na zrealizowanie ogólnej koncepcji Wielorozdzielczej Bazy Danych Topograficznych (WBDT), w projekcie wymieniono *zdefiniowanie zasad wykorzystania przy budowie WBDT danych z leśnej mapy numerycznej oraz przekazywanie i wykorzystanie danych WBDT w LMN*.

Tego rodzaju działania, przy współudziale Lasów Państwowych, otwierają szansę na uspołnienie bazy TBD oraz bazy SILP i LMN, co w rezultacie pozwoli na ujednoczenie danych, ich interoperacyjność, efektywne skrócenie opracowania i aktualizacji baz oraz radykalne zmniejszenie kosztów poprzez wzajemne wykorzystanie raz zebranych danych.

5.4.2. Topograficzna Baza Danych (TBD)

Podstawą prawną, upoważniającą do wykonywania Topograficznej Bazy Danych (TBD), jest ustawa z dnia 17 maja 1989 r. „Prawo geodezyjne i kartograficzne” oraz Rozporządzenie Ministra Rozwoju Regionalnego i Budownictwa z dnia 12 lipca 2001 r. w sprawie szczegółowych zasad trybu założenia i prowadzenia krajowego systemu informacji o terenie. Jak zaznaczono w obowiązujących Wytycznych Technicznych (GUGiK 2003), TBD rozumiana jest jako jednolity w zakresie modelu pojęciowego, urzędowy, ogólnokrajowy system gromadzenia i udostępniania danych topograficznych, na który poza danymi składają się: odpowiedni system finansowania, organizacja, narzędzia informatyczne oraz niezbędne wytyczne i instrukcje techniczne. Stanowi ona naturalną kontynuację dotychczasowych opracowań topograficznych, wykorzystuje nowe metody pozyskiwania, przetwarzania i dystrybucji danych i jest osadzona w tworzonej obecnie polskiej infrastrukturze informacji przestrzennej.

Celem budowy TBD jest możliwość zasilania aktualnymi danymi topograficznymi specjalistycznych urzędowych systemów informacji przestrzennej, takich jak systemy wspomaganie służb ratowniczych, osłony przeciwpowodziowej, planowania przestrzennego czy ochrony środowiska. Budowa i utrzymywanie TBD w założonej aktualności ma też na celu zapobieganie nieskoordynowanemu, wielokrotnemu pozyskiwaniu i aktualizacji tych samych danych przez różne ośrodki, co prowadzi nieuchronnie do obniżenia jakości danych przy jednoczesnym wzroście kosztów ich zbierania.

Wytyczne techniczne „Baza danych topograficznych” prezentują organizację przepływu danych, wykorzystując schemat pokazujący wzajemne

relacje pomiędzy poszczególnymi elementami TBD (ryc. 5.4.1), (GUGiK 2003). Schemat obrazuje proces zasilania bazy nowymi danymi, nie obejmuje jednak procesu aktualizacji.

5.4.2.1. Założenia modelu pojęciowego wektorowej bazy TBD

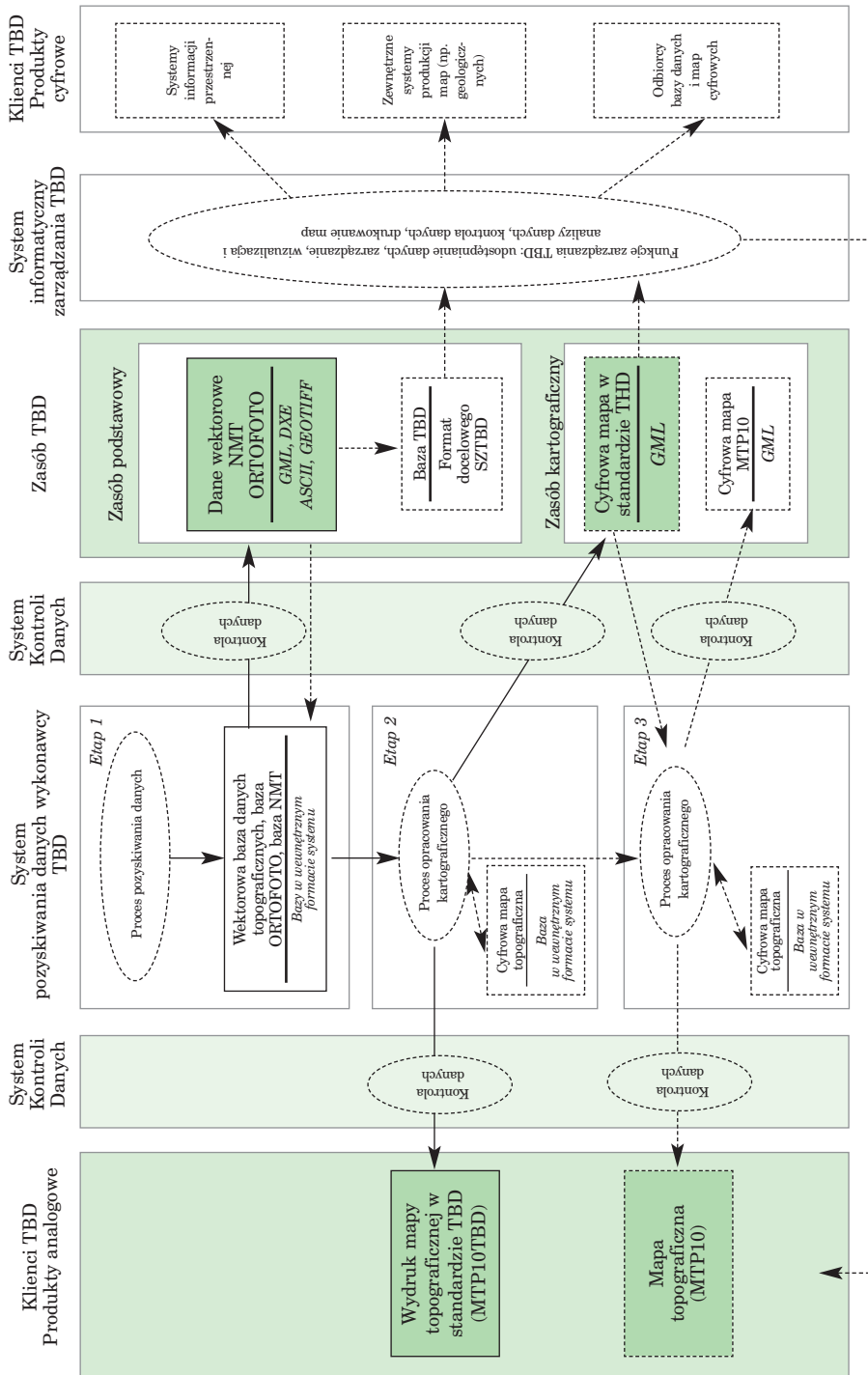
Model pojęciowy bazy TBD został skonstruowany w taki sposób, aby umożliwić opis terenu ze szczegółowością zbliżoną do opisu dostarczanego przez mapę topograficzną w skali 1:10 000. Umożliwia również przedstawienie terenu na różnych poziomach uogólnienia i zapewnia możliwość integracji danych właściwych tym poziomom. Pozwala też wykorzystywać dane z systemów informacji o terenie, takich jak mapy ewidencyjne, leśna mapa numeryczna czy GESUT. Model umożliwia również współistnienie danych o różnej dokładności geometrycznej.

Z przyczyn zarówno organizacyjnych, jak i finansowych nie ma obecnie możliwości utworzenia dla całego terytorium Polski i utrzymania w aktualności TBD o rozdzielczości i dokładności odpowiadającym mapom topograficznym w skali 1:10 000. Realne możliwości cywilnej służby geodezyjnej i kartograficznej, zweryfikowane w ostatnich latach, są wielokrotnie mniejsze od tych, które są potrzebne, by zapewnić wytworzenie i utrzymanie bazy na tak wysokim poziomie informacyjnym. Ten stan rzeczy spowodował powstanie koncepcji drugiego (ograniczonego) poziomu Topograficznej Bazy Danych (TBD2) przy następujących założeniach:

- obniżenia zakresu informacyjnego bazy podstawowej TBD1 z zachowaniem kompletności opisu terenu,
- spójności modelu pojęciowego z TBD w pełnym zakresie szczegółowości,
- pozyskiwania danych w większym stopniu metodami kameralnymi,
- ograniczenia czasu i kosztów opracowania do ok. 50% kosztów TBD1.

5.4.2.2. Idea Wielorozdzielczej (Wieloreprezentacyjnej) Bazy Danych Topograficznych (WBTD)

Równoległy rozwój nie powiązanych ze sobą kilku baz topograficznych, takich jak Topograficzna Baza Danych (TBD), Baza Danych Ogólnogeograficznych (BDO) oraz Wojskowa Mapa Wektorowa (VMap), utrudniał w dużej mierze możliwość wykorzystywania narzędzi GIS w zarządzaniu tymi bazami. Dodatkową komplikacją był brak mechanizmów wymiany danych z istniejącymi już rejestrami państwowymi: Państwowym Reje-



Ryc. 5.4.1. Ogólny schemat przepływu danych w TBD

strem Granic, Państwowym Rejestrem Nazw Geograficznych, Rejestrem Jednostek Podziału Terytorialnego Kraju TERYT itd. (GUGiK 2003). Ten stan rzeczy spowodował rozwój koncepcji zbudowania Wielorozdzielczej Bazy Danych Topograficznych dla obszaru kraju. Koncepcja zakłada budowę całego systemu baz WBDT z TBD1 i TBD2 w centrum, zamiast jednej bazy zintegrowanej, i opiera się na założeniach maksymalnego wykorzystania istniejących zasobów oraz zachowania autonomiczności poszczególnych baz danych. W to założenie doskonale wpisuje się System Informatyczny Lasów Państwowych wraz z uzupełniającym go systemem leśnej mapy numerycznej, co zostało uwzględnione we wspomnianym wyżej projekcie celowym UP we Wrocławiu.

5.4.3. Leśna mapa numeryczna

Z uwagi na wielokrotne występowanie w niniejszej książce definicji i opisu systemu leśnej mapy numerycznej, nie jest on szczegółowo opisywany w tym rozdziale, należy jednak przypomnieć zasadnicze kwestie z nim związane.

System został wprowadzony zarządzeniem nr 74 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 23 sierpnia 2001 r. z późniejszymi zmianami (ostatnie wprowadzone zarządzeniem nr 34 Dyrektora Generalnego LP z dnia 20 kwietnia 2005 r.). Zgodnie z założeniami standardu mapa funkcjonuje w systemie plików i przechowywana jest na komputerze osobistym (warstwy liniowe i poligonowe), a jedynie za pomocą relacji wiąże informację zawartą w wielodostępowej, relacyjnej bazie SILP. Taka konfiguracja nie zapewnia ochrony integralności danych za pomocą mechanizmów bazodanowych. Integralność danych należy zatem zabezpieczyć w inny sposób (Łabaj, Krzemińska 2009).

5.4.4. Relacje pomiędzy Topograficzną Bazą Danych a leśną mapą numeryczną

W ostatnich latach można zaobserwować szybki rozwój leśnictwa precyzyjnego, definiowanego jako planowanie, zarządzanie oraz prowadzenie działań i operacji uwzględniających specyfikę obszaru w celu podniesienia jakości drewna i jego wykorzystania, redukcji odpadów, zwiększenia profitów z zachowaniem jakości środowiska. Rozwój ten powoduje nieustanny wzrost zapotrzebowania zarówno na dane o wyższej jakości (dokładność, rozdzielczość), jak i na nowy rodzaj danych, dotychczas nie pozyskiwanych (skaniny laserowe, dane z mobilnych systemów kartowania itp.). Wiąże się to z koniecznością szybkiego i elastycznego modyfikowania systemów in-

formacji przestrzennej oraz struktur baz danych. Spowoduje to z kolei wzrost znaczenia interoperacyjności danych, a to z uwagi na coraz większe koszty ich pozyskiwania. Konieczne więc jest łączenie interesów odrębnych grup użytkowników we wspólnych projektach i współdzielenie się posiadanymi danymi, co pozwoli na obniżanie kosztów najdroższego elementu SIP, jakim jest pozyskiwanie danych, i poprawienie tym samym wskaźnika ROI (Return of Investment – zwrot z inwestycji), określającego w ostatecznym rozrachunku opłacalność każdego przedsięwzięcia.

Nowa polityka leśna państwa zakłada rozwój leśnictwa zgodnego z naturą, opartego na trwałym i zrównoważonym rozwoju, tzw. leśnictwa wielofunkcyjnego, kształtującego różne modele leśnictwa oraz rozwijającego i optymalizującego wszystkie funkcje lasu. Niezbędne więc stało się inwentaryzowanie nie tylko lasu, ale także i jego otoczenia (Korpetta 2000). Biorąc to pod uwagę, wydaje się, że wybrane elementy bazy TBD mogą zostać wykorzystane do uzupełnienia bazy danych LMN o dane spoza obszarów leśnych. Z kolei przy aktualizacji warstw TBD, takich jak użytki, drogi, linie oddziałowe, leśna mapa numeryczna może dostarczać danych na odpowiednim poziomie zarówno pod względem ich jakości, jak i szczegółowości. Poprzedzić to musi jednak proces uspołnienia baz, począwszy od zakresu, a skończywszy na jakości, przy czym jakość nie jest już rozumiana jako wyłącznie dokładność położenia obiektów, ale uwzględnia też takie parametry, jak kompletność, spójność logiczna, dokładność czasowa, dokładność tematyczna. Procedury kontroli i tworzenia informacji o jakości cyfrowych zbiorów danych definiują, obowiązujące już w Polsce, normy ISO.

Wykorzystanie TBD w tworzeniu lub aktualizacji LMN nie tylko pozwoli na przyspieszenie tych procesów i na redukcję kosztów. Umożliwi także poszerzenie bazy LMN o dane dotychczas nie wykorzystywane.



a



b

Ryc. 5.4.2. Wizualizacja baz TBD (a) i LMN (b) dla tego samego obszaru

Bazy danych przestrzennych TBD i LMN łączą relacje w takich obszarach, jak:

- zakres treści,
- wzajemne pokrycie,
- układy współrzędnych,
- jakość danych,
- źródła danych.

Ogólną wizualizację obu baz z tego samego terenu przedstawia ryc. 5.4.2.

Analizując zawartość i wzajemne relacje tych baz, nie można nie zauważyć korzyści płynących z ich integracji. Należy jednak wspomnieć, że obie bazy różnią się obecnie zasadniczo pod względem pokrycia kraju. Podczas gdy LMN jest już stosowana na całym obszarze Polski, ostateczna koncepcja TBD, czy dokładniej WBDT, w zasadzie dopiero powstaje i procent pokrycia kraju tą bazą jest niewielki. Z tego można wnioskować, że w pierwszym okresie tworzenia i integracji baz w znacznie większym stopniu TBD będzie korzystać z danych LMN niż odwrotnie.

6. Źródła danych dla systemu informacji przestrzennej

6.1. Materiały źródłowe

dr ANDRZEJ TALARCZYK – Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej,
Zarząd

mgr inż. BOŻYDAR NEROJ – Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej,
Zarząd

6.1.1. Wstęp

6.1.1.1. Definicja systemu informacji przestrzennej

Istnieją różne definicje pojęcia „system informacji przestrzennej” (SIP). Na potrzeby niniejszego rozdziału można przyjąć, że jest to wspomagany komputerowo system do przetwarzania i analizy informacji przestrzennej – danych, które wśród swoich właściwości mają atrybuty geograficzne, pozwalające na ich identyfikację na podstawie położenia. Mówiąc obrazowo, SIP to „mapa w komputerze”. Należy jednak mieć świadomość, że analogia do tradycyjnej mapy dotyczy wyłącznie sposobu prezentacji danych przestrzennych, które ze względu na specyfikę ludzkiej percepcji wygodnie jest przedstawiać w postaci dwuwymiarowego rysunku. Bardziej właściwe jest traktowanie SIP jako bazy danych, wyposażonej w aspekt przestrzenny.

Informacja przestrzenna ma następujące właściwości: lokalizację, atrybuty, relacje przestrzenne.

- **lokalizacja** to informacja pozwalająca przypisać dane do określonego miejsca w przestrzeni (położenie);
- **atrybutami** nazywa się informacje opisowe dotyczące obiektu w przestrzeni;
- **relacje przestrzenne** to właściwości informacji dotyczące pojedynczych obiektów (np. ich kształt) lub grup obiektów (sąsiedztwo z innymi obiektami, przyleganie, przecinanie się itd.).

6.1.1.2. Reprezentacja rzeczywistości geograficznej

Zadaniem systemów informacji przestrzennej jest odwzorowanie świata rzeczywistego. Zakres i szczegółowość odwzorowania zależy od celu, w jakim tworzymy dany SIP, ograniczeń w technologiach pozyskiwania danych informatycznych. Zatrzymajmy się na chwilę nad problemem: w jaki sposób informacja geograficzna o świecie zewnętrznym jest reprezentowana za pomocą komputera?

Zgodnie z przedstawionymi powyżej właściwościami informacji przestrzennej, proces tworzenia obiektów geograficznych w SIP obejmuje trzy fazy: tworzenie reprezentacji rzeczywistości geograficznej, przypisanie atrybutów do reprezentacji geograficznej, ustalenie relacji przestrzennych pomiędzy reprezentacjami rzeczywistości geograficznej.

Reprezentację geograficzną osiąga się przy użyciu **modelu danych**, czyli metody używanej do przedstawienia obiektów należących do świata rzeczywistego w komputerze. Dwoma popularnymi modelami danych przestrzennych są **model wektorowy** i **model rastrowy**. Zagadnienie to zostało szczegółowo omówione w rozdziale 3, tu zatrzymamy się tylko nad pewnymi aspektami obu modeli, istotnymi z punktu widzenia danych źródłowych do leśnej mapy numerycznej.

W modelu wektorowym obiekt przestrzenny reprezentowany jest przez zestaw punktów, czyli par współrzędnych (X, Y), ewentualnie połączonych relacjami przestrzennymi. W modelu tym stosuje się abstrakcyjne elementy przestrzenne: punkt, linię, poligon (wielobok). W wypadku linii i poligonu wchodzące w skład takich obiektów punkty powiązane są relacjami przestrzennymi, np.: gdzie jest początek, a gdzie koniec linii, jaka jest kolejność punktów, z których zbudowany jest obiekt itd.

Model wektorowy jest dobry do przedstawiania wyraźnie zdefiniowanych obiektów, takich jak linie, drogi, granice, rzeki, drzewa, płoty itd. Relacje przestrzenne odzwierciedlają w nim pewne aspekty opisu rzeczywistości, np. kierunek prądu rzeki czy fakt, że rzeka wpływa do jeziora.

Model rastrowy z kolei można sobie wyobrazić jako regularną siatkę komórek, z których każda reprezentuje fragment powierzchni Ziemi. Ważną cechą tego modelu jest **rozdzielczość przestrzenna**, czyli wielkość fragmentu reprezentowanego przez komórkę. Komórka może mieć przypisaną wartość reprezentującą określony atrybut tego fragmentu terenu, np. wysokość n.p.m., rodzaj pokrycia terenu, odbiciowość itd.

Model rastrowy jest odpowiedni do reprezentacji atrybutów zmieniających się w sposób ciągły. Przykładem danych rastrowych są zdjęcia lotnicze i satelitarne lub numeryczne modele terenu.

Leśna mapa numeryczna jest standardem opartym na modelu wektorowym. Pozyskanie danych do LMN może się więc wiązać z koniecznością ich przekształcenia do tego modelu. Dane rastrowe służą jako punkt wyjścia do pozyskania informacji w procesie zwanym **wektoryzacją** (patrz niżej) lub też jako podkład kartograficzny przy wizualizacji danych przestrzennych.

6.1.2. Dane z ewidencji gruntów i budynków

Poniżej omówiono pokrótce rodzaje danych przestrzennych używanych w systemie informacji przestrzennej Lasów Państwowych i źródła ich pochodzenia. Dane te były używane do tworzenia leśnych map numerycznych dla nadleśnictw w procesie budowania systemu obejmującego cały kraj. Obecnie wymienione poniżej dane są wykorzystywane zarówno przy aktualizacji leśnej mapy numerycznej w trakcie obowiązywania planu urządzenia lasu oraz podczas opracowywania nowego planu, jak i przy tworzeniu dodatkowych opracowań mapowych w nadleśnictwach i na wyższych szczeblach zarządzania w Lasach Państwowych.

6.1.2.1. Dane geodezyjne w posiadaniu nadleśnictw i BULiGL

Archiwalne dane pomiarowe z urzędzenia definitywnego, znajdujące się w oddziałach BULiGL. Ze względu na nowy przebieg granic państwowych po II wojnie światowej – w tym zajęcie Kresów Wschodnich przez ZSRR i włączenie do PRL obszarów należących uprzednio do Niemiec (tzw. Ziemie Zachodnie), a także z powodu zmian własnościowych wprowadzonych dekretemi PKWN z 6 września 1944 r. oraz 17 stycznia 1945 r., zaistniała konieczność ponownego ustalenia stanu posiadania Lasów Państwowych. W tym celu na przełomie lat 40. i 50. przeprowadzono tzw. prowizoryczne urządzenie lasu, a od roku 1956 rozpoczęto urządzenie definitywne, które miało na celu ostateczne ustalenie granic i powierzchni lasów państwowych na podstawie pomiarów geodezyjnych. W tym celu, równoległe ze sporządzaniem planów urządzenia lasu, dokonano pomiarów geodezyjnych gruntów Lasów Państwowych. Jest to jedyne takie opracowanie obejmujące swoim zasięgiem cały kraj.

Archiwalne dane dotyczące współrzędnych punktów geodezyjnych i działek, używane do budowy i aktualizacji LMN, znajdujące się w oddziałach BULiGL (na ogół PUWG 1965 lub PUWG 2000). W okresie budowania pierwszych map numerycznych dla nadleśnictw (zarówno zgodnych z SLMN, jak i powstających kilka lat wcześniej map pilotażowych) wykonawcy tych opracowań uzupełniali stan posiadanych baz danych geodezyjnych o współrzędne punktów, ustalone podczas prac prowadzonych w wyniku obsługi geodezyjnej nadleśnictw.

Wypisy i wyrysy z ewidencji gruntów (dotyczące w większości gruntów przejętych oraz bieżące podziały geodezyjne), pochodzące z powiatowych ośrodków dokumentacji geodezyjnej i kartograficznej. Lasy Państwowe zgodnie z ustawą o lasach przejmowały grunty znajdujące się w użytkowaniu Agencji Nieruchomości Rolnej Skarbu Państwa i innych jednostek Skarbu Państwa. Jedynymi załącznikami mapowymi do tych

gruntów były wypisy i wyrisy z map ewidencyjnych. Niestety, ten materiał charakteryzuje umiarkowana przydatność ze względu na brak współrzędnych graniczników, częsty brak uwidocznienia sytuacji zewnętrznej, nieokreśloną projekcję wyrysu.

Współrzędne punktów geodezyjnych z bieżąco wykonywanych prac geodezyjnych (wydruki w układzie 65 lub w formie numerycznej – C-geo, SHP, EWMAPA i inne) w zasobach nadleśnictw. Nadleśnictwa, zlecając prace geodezyjne na swoim terenie, mogą pozyskiwać jako produkt dodatkowy wersje elektroniczne wykonanych prac. Jest to doskonały materiał do aktualizacji LMN. Gromadzenie takich danych w nadleśnictwie daje możliwość samodzielnej aktualizacji mapy oraz pozwala na jej łatwą i bezbłędną aktualizację w trakcie sporządzania nowego planu urządzenia lasu.

6.1.2.2. Dane w powiatowych ośrodkach dokumentacji geodezyjnej i kartograficznej

Rodzaje danych możliwych do pozyskania w powiatowych ośrodkach dokumentacji geodezyjnej i kartograficznej:

Wykazy współrzędnych punktów geodezyjnych – na ogół w formie papierowej, aczkolwiek ostatnio coraz częściej można pozyskać takie dane jako pliki tekstowe.

Analogowe mapy zasadnicze i ewidencyjne – w formie wydruków papierowych.

Warstwy numeryczne działek oraz użytków – w formie cyfrowej w formacie SWDE (Standard Wymiany Danych Ewidencyjnych). Ośrodki często udostępniają dane w swoim formacie roboczym, np. ESRI Shapefile, DWG/DXF, EWMAPA, GeoInfo. Większość informacji nadal udostępniana jest w układzie PUWG 1965, natomiast obowiązującym układem geodezyjnym jest PUWG 2000. Pozyskanie danych w PUWG 1992 – obowiązującym w SLMN – jest możliwe, ale są to wówczas dane przetworzone z PUWG 1965 lub PUWG 2000.

Wyżej opisane dane można pozyskać dla prac urzędniowych na podstawie Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 19 lutego 2004 r. w sprawie wysokości opłat za czynności geodezyjne i kartograficzne oraz udzielanie informacji, a także za wykonywanie wyrysów i wypisów z operatu ewidencyjnego (Dz.U. nr 37, poz. 333). Wysokość opłat za dane dla prac urzędniowych reguluje tabela III, lp. 5: *Opracowania dla urządzenia lasu – 45,00 złotych oraz dodatkowo kwota 1,50 złotego za każdy rozpoczęty hektar powyżej jednego. W objaśnieniu do tabeli czytamy: W przypadku (...) opracowania polegającego na wykonaniu mapy numerycznej terenu Lasów Państwowych wysokość opłat ustala się według tabeli III lp. 5, stosując współczynnik 0,1.*

W celu pozyskania danych, na podstawie umowy o wykonanie projektu planu urządzenia lasu dla nadleśnictwa, wykonawca prac sporządza wnioski do właściwego powiatowego ODGiK, wskazując za podstawę naliczania opłat powyżej cytowane rozporządzenie.

W wypadku pozyskiwania danych do innych prac geodezyjnych obowiązują ogólne procedury i ceny ustalone w przywołanym wyżej rozporządzeniu Ministra Infrastruktury.

Obecnie (połowa 2009 r.) toczy się dyskusja na temat stanu prawnego w zakresie opłat za czynności geodezyjne i kartograficzne. Z jednej strony istnieją interpretacje prawne negujące legalność pobierania opłat, między innymi za dane z Państwowego Zasobu Geodezyjnego i Kartograficznego do celów związanych z realizacją takich prac, jak urządzenie lasu, z drugiej jednak strony Główny Geodeta Kraju przedstawił opinię podtrzymującą ważność rozporządzenia z 19 lutego 2004 r. Ostatecznego rozstrzygnięcia tej kwestii można się spodziewać po wydaniu orzeczenia przez Trybunał Konstytucyjny.

6.1.2.3. Dane o charakterze ewidencyjnym dostępne publicznie

Projekt Geoportal.gov.pl (w skrócie: Geoportal) jest przedsięwzięciem realizowanym przez Głównego Geodetę Kraju na poziomie krajowym, regionalnym i lokalnym. Jest to sieć węzłów Krajowej Infrastruktury Informacji Przestrzennych, świadczących usługi wyszukiwania, udostępniania i analizy danych przestrzennych. Geoportal udostępnia dane o charakterze ewidencyjnym, które nie mogą być podstawą do wykonywania czynności o charakterze geodezyjnym. Są materiałem pomocnym przy budowie i aktualizacji leśnej mapy numerycznej, do porównania istniejącego stanu LMN z kształtami i przebiegami granic działek geodezyjnych, ortofotomapą oraz innym podkładem rastrowym dostępnym w serwisie. W wypadku stwierdzenia rozbieżności prawidłowym sposobem postępowania jest pozyskanie współrzędnych punktów geodezyjnych z ośrodka dokumentacji geodezyjnej i kartograficznej jako jedyne oficjalnie dopuszczalne materiały źródłowe przy tworzeniu geodezyjnych podstaw leśnej mapy numerycznej.

Dane Geoportalu pokrywają dziś dużą część kraju, ale są aktualizowane z pewnym opóźnieniem w stosunku do danych znajdujących się w powiatowych ośrodkach dokumentacji geodezyjnej i kartograficznej.

Geoportal jest narzędziem udostępniającym dane poprzez serwery WMS (Web Map Service), co pozwala na bezpośrednie podłączenie tego źródła danych do aplikacji GIS. Poniżej prezentujemy sposób pobierania danych z Geoportalu na przykładzie środowiska ESRI ArcGIS. Analogiczne metody podłączania danych można zastosować w każdym środowisku GIS obsługującym standard WMS.

W środowisku ArcCatalog wywołujemy funkcję Add WMS Server (ryc. 6.1.1).

W kolejnym kroku wpisujemy adres serwisu, który chcemy uruchomić (ryc. 6.1.2). W wypadku Geoportalu adres http://sdi.geoportal.gov.pl/wms_orto/wmservice.aspx jest adresem usługi udostępniającej ortofotomapę. Usługi dostępne w Geoportalu przedstawia tabela 6.1.1.

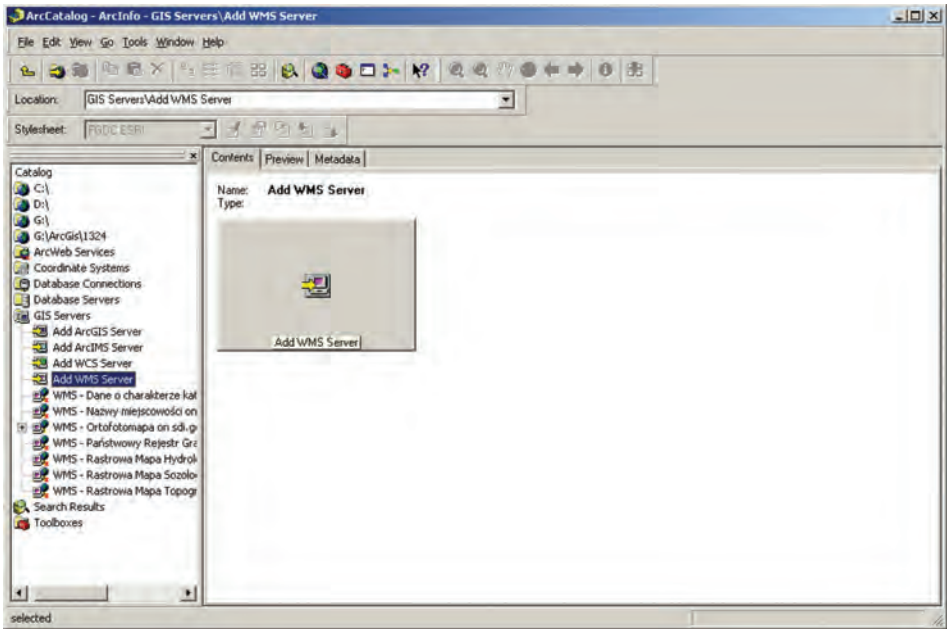
Po podłączeniu usługi do środowiska ArcGIS możemy korzystać z danych w sposób analogiczny do danych rastrowych przechowywanych lokalnie (ryc. 6.1.3).

Tabela 6.1.1.
Usługi dostępne w serwisie Geoportal.gov.pl
(stan na lipiec 2009 r.).

Adres serwera WMS	Opis zawartości
http://sdi.geoportal.gov.pl/wms_orto/wmservice.aspx	Ortofotomapa panchromatyczna z okresu 2002–2005
http://sdi.geoportal.gov.pl/wms_topo/wmservice.aspx	Rastry topograficzne w skalach 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000
http://sdi.geoportal.gov.pl/wms_sozo/wmservice.aspx	Mapa sozologiczna 1:50 000
http://sdi.geoportal.gov.pl/wms_hydro/wmservice.aspx	Mapa hydrologiczna 1:50 000
http://sdi.geoportal.gov.pl/wms_prg/wmservice.aspx	Państwowy rejestr granic
http://sdi.geoportal.gov.pl/wms_dzkat/wmservice.aspx	Dane o charakterze katastralnym, działki i numery działek
http://sdi.geoportal.gov.pl/gm_wms_prng/request.aspx	Nazwy miejscowości

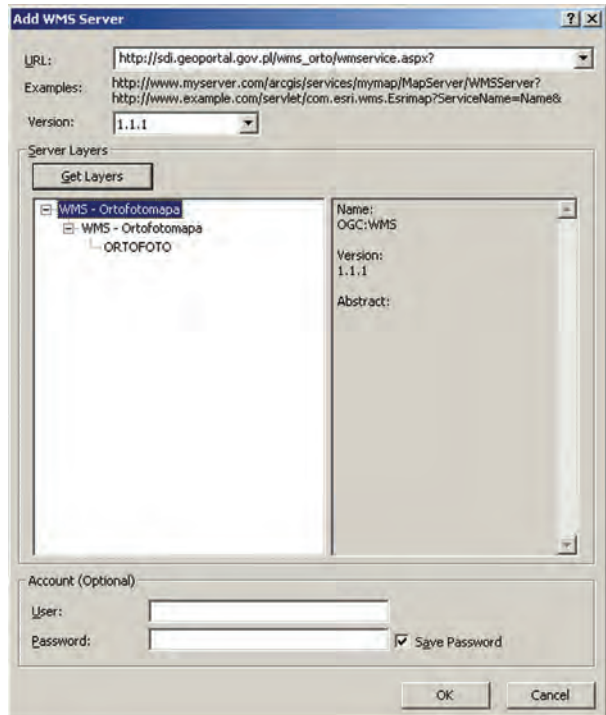
Usługi w serwisie Geoportal.gov.pl są rozwiązaniem stosunkowo nowym w Polsce. W wypadku zmian adresów serwerów WMS można aktualne dane odnaleźć na stronach internetowych, np.:

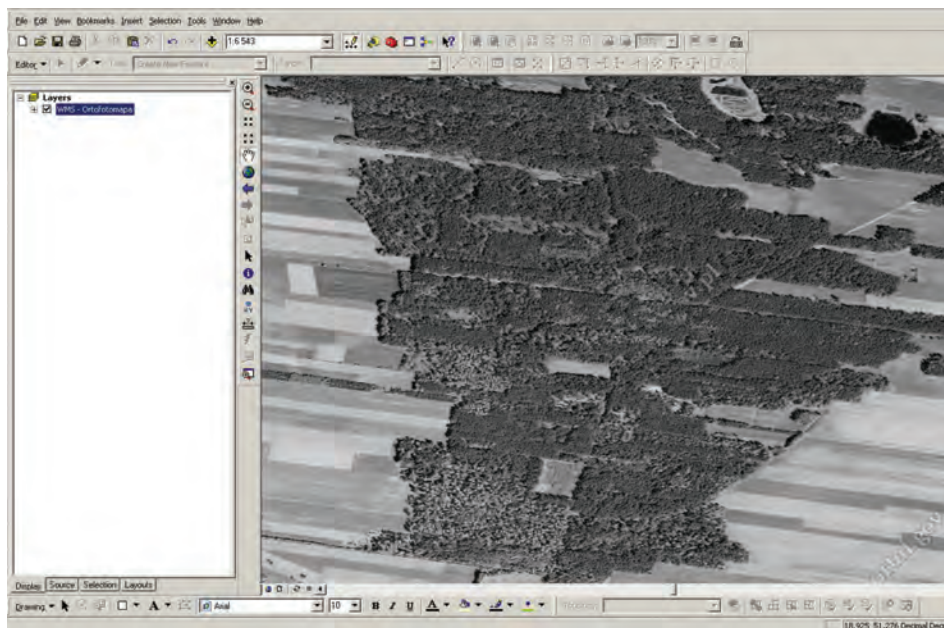
- <http://maps.geoportal.gov.pl/webclient>
- <http://gisdiary.wordpress.com>



Ryc. 6.1.1. Wywołanie funkcji podłączania serwera WMS w ArcGIS

Ryc. 6.1.2. Definicja podłączanej usługi WMS w ArcGIS





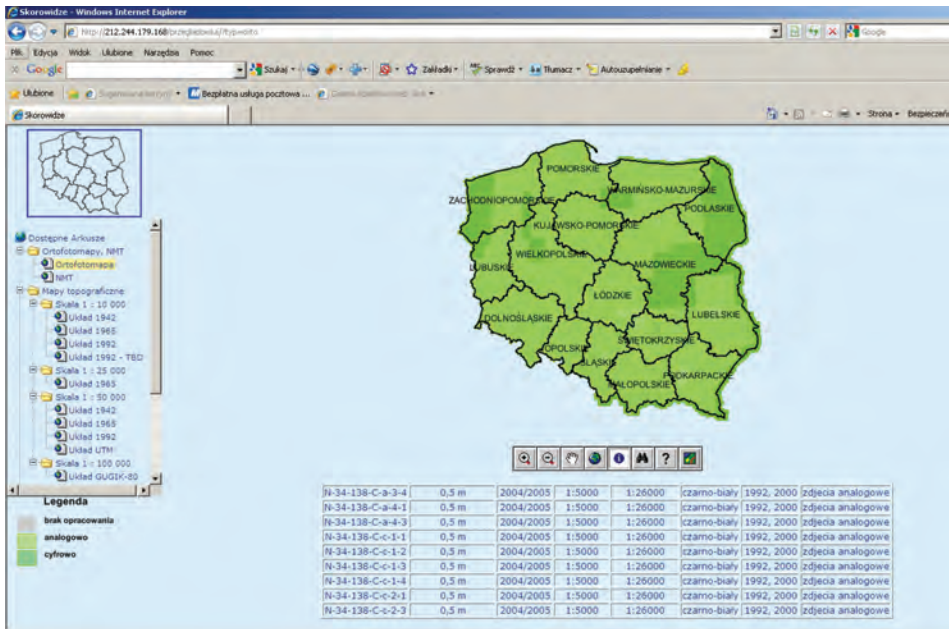
Ryc. 6.1.3. Wynik podłączenia usługi WMS w aplikacji ESRI ArcMap

6.1.3. Dane fotogrametryczne i teledetekcyjne

6.1.3.1. Ortofotomapy lotnicze i satelitarne w Państwowym Zasobie Geodezyjnym i Kartograficznym

Pełna informacja dotycząca danych znajdujących się w państwowym zasobie dostępna jest na stronie internetowej Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej <http://www.codgik.gov.pl>. Po wybraniu z menu skorowidza należy przejść do mapy przeglądowej kraju, gdzie mamy możliwość wybrania interesującego obszaru. Informacje, które możemy uzyskać na stronie ośrodka, zawierają: godło mapy, wielkość piksela, aktualność, skalę ortofotomapy, skalę zdjęcia, kolor, układ współrzędnych i źródło.

Należy zauważyć, że aktualność dostępnego materiału rozkłada się obecnie (sierpień 2009 r.) w różnych regionach kraju na lata 2002–2007. W większości dostępna jest ortofotomapa panchromatyczna, wykonana na podstawie analogowych zdjęć lotniczych o wielkości piksela ok. 0,5 m. Tylko obszary wzdłuż wschodniej granicy kraju dysponują ortofotomapą wykonaną na podstawie scen satelitarnych o pikselu wielkości 1 m. Jednak dokładną informację o konkretnym arkuszu mapy otrzymamy, korzystając ze wskazanego skorowidza.



Ryc. 6.1.4. Skorowidz dostępnych ortofotomap w serwisie internetowym Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej

6.1.3.2. Pozyskiwanie ortofotomap ze zdjęć lotniczych

Z każdym rokiem zwiększają się możliwości wykonywania ortofotomap lotniczych i satelitarnych na indywidualne zlecenie, obserwuje się także spadek ich cen.

Standardem, który utrwalił się w leśnictwie w ostatnich latach, stało się opracowanie ortofotomap w barwach naturalnych (RGB) oraz w bliskiej podczerwieni (NIR). Wykonanie obrazowań w obu zakresach spektralnych daje możliwość większej analizy danych niż w wypadku dostępnych w zasobach państwowych ortofotomap panchromatycznych.

Podstawową zaletą ortofotomap w leśnictwie jest określanie granic kompleksów leśnych. Możliwe jest również określanie granic poszczególnych rodzajów drzewostanów. Tego typu analizy można wykonać za pomocą opracowań RGB i panchromatycznych. Opracowania w bliskiej podczerwieni umożliwiają dodatkowo ocenę stanu zdrowotnego lasu, występowania gradacji owadów czy też skutków pożarów obszarów leśnych.

Bardzo istotnym elementem opracowań lotniczych jest wielkość terenu na piksel, która przy standardowych opracowaniach w skali 1:13 000 wynosi najczęściej 0,5 m. Wielkość ta jest wystarczająca dla opracowań z zakresu urządzania lasu, jeżeli jednak potrzeby użytkownika zmierzają w kierunku opracowań z zakresu ochrony lasu i określaniu jego stanu

zdrowotnego, należy rozważyć dokładniejsze zobrazowania. W takim wypadku można wykorzystać ortofotomapy o wielkości piksela 0,15 m. Obecne możliwości techniczne firm dostarczających ortofotomapy zezwalają na otrzymanie zobrazowania o wielkości 0,05 m. Należy jednak rozważyć proporcję między dokładnością rozpoznawalnych szczegółów terenowych a wielkością danych zgromadzonych na nośnikach elektronicznych. Z punktu widzenia opracowań dla leśnictwa rozsądnym wyborem jest piksel o wielkości 0,5 m oraz opracowania RGB i NIR równocześnie.

Elementem współistniejącym z ortofotomapą jest numeryczny model terenu, który warto pozyskać razem z opracowaną ortofotomapą.

W sierpniu 2009 r. cena ortofotomapy lotniczej oscylowała w granicach 100–150 zł za 1 km² w zależności od wielkości opracowania. Dla pojedynczego nadleśnictwa przeciętnej wielkości należy się raczej spodziewać ceny w górnym zakresie. Ceny te są porównywalne z opracowaniami satelitarnymi, jednak ortofotomapy lotnicze dają dokładniejszy materiał do analiz. Po stronie plusów należy wymienić większą rozdzielczość terenową piksela niż w opracowaniach satelitarnych oraz elastyczność jeśli chodzi o terminy wykonywania zobrazowań, które nie zależą w tak dużym stopniu od czynników atmosferycznych (można fotografować nawet podczas zachmurzenia, obniżając wysokość lotu). Po stronie minusów zapisać można większy koszt bezwzględny niż w opracowaniach satelitarnych. Należy też brać pod uwagę duże utrudnienia natury prawno-proceduralnej w wykonaniu nalożów wzdłuż wschodniej granicy kraju w pasie przygranicznym.

6.1.3.3. Pozyskiwanie zdjęć satelitarnych

Przez ostatnie kilka lat rynek wysokorozdzielczych zobrazowań satelitarnych w sektorze leśnym zdominowała firma Techmex SA, która dostarczała zobrazowania z satelity Ikonos, zarządzanego przez firmę GeoEye, umieszczonego na orbicie w 1999 r. Zobrazowania z tego satelity mają zasięg 11 × 11 km. Maksymalna rozdzielczość zobrazowania wynosi ok. 0,8 m w wypadku zdjęć panchromatycznych, 4 m – zobrazowań wielospektralnych (barwy naturalne i bliska podczerwień) oraz 1 m – zobrazowań kombinowanych (pan-sharpened). Numeryczny model terenu, wykorzystywany przez Techmex SA do tworzenia ortofotomap satelitarnych, nie jest zbyt szczegółowy i jego stosowanie do innych celów jest bardzo ograniczone. W ostatnim okresie (początek 2009 r.) cena gotowej ortofotomapy RGB i NIR kształtowała się na poziomie 100 zł za 1 km².

Aktualność materiału zależy od sprecyzowania umowy z wykonawcą. Techniczne możliwości wykonania opracowania (harmonogram przelotów satelity nad dowolnym punktem kraju) teoretycznie pozwalają uzyskać gotową ortofotomapę satelitarną w ciągu kilku tygodni. Praktyka pokazuje jednak, że w wypadku ortofotomap dla leśnictwa czas uzyskania odpo-

wiedniego materiału może się znacznie wydłużyć. Jednym z głównych problemów jest optymalny dla zastosowań leśnych termin wykonania zobrażeń. Ze względu na rozwiniętą roślinność najlepsze okresy roku wypadają od kwietnia do czerwca oraz od września do października. Z tym się niestety wiąże utrudnienia związane z występowaniem zachmurzenia i kondensacji pary wodnej, nawet w pogodne dni, co bardzo ogranicza okienko czasowe do wykonania zdjęć. Ponieważ Polska znajduje się w strefie klimatu przejściowego, obszar naszego kraju charakteryzuje się mało stabilną pogodą, co w połączeniu z faktem, że satelita Ikonos znajduje się nad wybranym obszarem raz na trzy do pięciu dni poza nadir (a co 144 dni w nadirze), powoduje, że wykonanie zobrażeń może się przeciągnąć o wiele tygodni czy nawet miesięcy. Praktyka pokazuje, że dla celów związanych z leśnictwem trudno jest uzyskać zobrażenia satelitarne odpowiedniej jakości w krótkim czasie.

Oceniając ogólnie możliwości zastosowania zobrażeń satelitarnych w leśnictwie, materiał ten spełnia podstawowe zadania. Po stronie plusów należy wymienić niewygórowaną cenę, teoretyczną możliwość szybkiego zobrażenia. Przy wschodniej granicy kraju jest to źródło zobrażeń pozbawione przeszkód formalnych, z jakimi muszą się liczyć operacje lotnicze. Minusy to duża niepewność w realizacji zadania, związana z okresami, w których zdjęć wykonać nie można z powodu złych warunków atmosferycznych lub ograniczeń w dostępie do satelity.

W Internecie dostępne są zdjęcia i ortofotomapy archiwalne z okresu 2001–2003. Można je nabyć za stosunkowo niewygórowaną cenę. Operatorzy innych satelitów również dysponują materiałem archiwalnym. Niemniej ze względu na fakt, że od wykonania archiwalnych zobrażeń minęło już wiele miesięcy lub lat, nie nadają się one do określania bieżącego stanu zdrowotnego lasu. Możliwe jest ich wykorzystanie do określania granic kompleksów leśnych i poszczególnych drzewostanów, ale tylko pod warunkiem niewystępowania na danym terenie klęsk żywiołowych i innych rozległych zmian w przebiegu granicy polno-leśnej, oraz rozmieszczenia innych elementów topograficznych, a także do przeprowadzania analiz przestrzennie-czasowych (porównawczych). Biorąc pod uwagę znaczny zasięg obszarów uszkodzonych przez wiatr na terenie całego kraju, materiały te mogą być traktowane jedynie jako historyczne, zwykle niewykorzystywane w bieżącej działalności nadleśnictw.

Rynek zobrażeń satelitarnych cechuje się znaczną dynamiką i nie jest wykluczone, że już w niedługim czasie od wydania niniejszej publikacji będzie można obserwować duże zmiany, zarówno jeśli chodzi o dostępność materiału, jak i jego cenę. Od 2008 r. Techmex SA oferuje zobrażenia z satelitów QuickBird oraz WorldView-1 o rozdzielczości odpowiednio 0,61 i 0,5 m. We wrześniu 2008 r. firma GeoEye umieściła na orbicie satelitę GeoEye-1, dostarczającego zobrażeń panchromatycznych o rozdzielczości 0,4 m i wielospektralnych o rozdzielczości 1,65 m. Na lata 2011–2012 planowane jest wystąpienie satelity GeoEye-2, który zapewni

ma rozdzielczość 0,25 m. W związku z rozwojem rynku należy się spodziewać obniżenia kosztu pozyskania materiału w rozdzielczości 0,5–1 m, wystarczającej do dzisiejszych zastosowań w leśnictwie.

6.1.3.4. Skanowanie laserowe i radarowe

Od kilku lat trwają prace koncepcyjne i doświadczalne nad wykorzystaniem lotniczego skanowania laserowego (LIDAR) i radarowego (AIMR) do pozyskiwania informacji o terenie i pokrywie roślinnej, informacji charakteryzującej się dużą rozdzielczością i wiernością zobrazowania. Technologia ta jest stosowana do tworzenia trójwymiarowych modeli terenu i obecnej na nim roślinności. Teoretycznymi zastosowaniami mogłyby być:

- szacowanie miąższości drzewostanu,
- ocena zdrowotności drzewostanu,
- określenie biomasy,
- uzyskanie dokładnej informacji o ukształtowaniu terenu, cechach geologicznych i morfologicznych, niedostępnych przy użyciu klasycznych zobrazowań.

Obecnie zastosowania praktyczne danych zbieranych za pomocą lotniczego skanowania laserowego i radarowego nie są zbyt wielkie, a to ze względu na niewystarczającą teoretyczną podbudowę naukową i znaczne koszty tej technologii, przekraczające wielokrotnie koszt zbierania potrzebnych informacji przy użyciu innych metod. Należy się jednak spodziewać rozwoju nowych technik zdalnego zbierania informacji o terenach leśnych w nieodległej przyszłości.

Więcej informacji na temat zastosowań teledetekcji i pomiarów fotogrametrycznych zamieszczono w rozdziale 14 niniejszej publikacji.

6.1.4. Numeryczny model terenu

6.1.4.1. NMT w Państwowym Zasobie Geodezyjnym i Kartograficznym

CODGiK posiada w swoich zasobach numeryczny model terenu, który obecnie (lipiec 2009 r.) obejmuje prawie cały obszar Polski, z wyjątkiem wschodnich fragmentów województw podlaskiego i lubelskiego oraz pasa w pobliżu granicy z Ukrainą w województwie podkarpackim. Model charakteryzuje się zmiennymi parametrami w zależności od arkusza. Interwał waha się pomiędzy 15 a 40 m, a średni błąd – pomiędzy 0,2 a 0,5 m, maksymalnie 0,75 m. Model został opracowany na podstawie analogowych i w niewielkim stopniu cyfrowych zdjęć lotniczych w skali 1:13 000 lub 1:26 000 z lat 2002–2007.

6.1.4.2. ASTER Global Digital Elevation Map

Dnia 29 czerwca 2009 r. japońskie Ministerstwo Gospodarki, Handlu i Przemysłu wspólnie z NASA udostępniły nowy numeryczny model terenu, opracowany na podstawie zdjęć satelitarnych. Do stworzenia modelu wykorzystano 1,5 mln zdjęć z archiwum ASTER. Pokrywa on powierzchnię lądową pomiędzy 83° szerokości geograficznej północnej, a 83° szerokości geograficznej południowej. Szacowana dokładność modelu wynosi 30 m w poziomie i 20 m w pionie (średni błąd kwadratowy na ogół pomiędzy 10 a 25 m).

Model dostępny jest na stronach internetowych NASA pod adresem: <http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>.

6.1.4.3. Numeryczny model terenu generowany z map topograficznych

W sytuacjach, gdy dla danego obszaru nie było dostępnego numerycznego modelu terenu, dane wysokościowe pozyskiwano z warstwice analogowych map topograficznych w skali 1:10 000. Mapy były skanowane, warstwice digitalizowane, a następnie przekształcane do jednego z modeli wysokościowych. Dokładność tak wytworzonego modelu była niezbyt duża, co pokazały ostatnio analizy porównawcze z wynikami lidarowego skanowania laserowego, wykonanego przez Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej Oddział w Białymstoku na terenie Nadleśnictwa Żednia (Marek Ksepko, informacja własna). Szczególnie duże odchylenia notowano w miejscach o znacznej stromiznie, które były najmniej wiernie odwzorowane na mapie topograficznej. Niemniej w sytuacji braku dostępu do innych danych jest to nadal podejście kwalifikujące się do rozważenia przy planowaniu prac nad mapą numeryczną.

6.1.4.4. Numeryczny model terenu na bazie wyników skanowania lotniczego

Szczególnym przypadkiem zastosowania technologii lotniczego skanowania laserowego jest pozyskanie wysokorozdzielczego obrazu powierzchni koron drzew (tzw. numeryczny model koron) oraz numerycznego modelu terenu – powierzchni ziemi pod drzewostanem. Jak dotąd względy ekonomiczne nie pozwalają na powszechne stosowanie tej technologii do uzyskiwania informacji o terenie, należy się jednak spodziewać, że będzie ona stosowana coraz częściej wraz z obniżeniem kosztów nalotów, rozwojem prac teoretycznych w tej dziedzinie i ulepszaniem oprogramo-

wania do przetwarzania i analizy dużych ilości danych otrzymywanych ze skanowania.

Więcej informacji na temat lotniczego skanowania lidarowego zamieszczono w rozdziale 14.5 niniejszej publikacji.

6.1.5. Pomiary GPS

Odbiorniki GPS stały się powszechnym narzędziem wspomagającym pracę leśników i urzędników. Sprzęt, który zdominował rynek, można podzielić na dwie kategorie. Przeważająca grupa użytkowników wybiera urządzenia PDA (palmtopy) z wbudowanym odbiornikiem GPS, uzupełnionym o aplikacje GIS. Wśród aplikacji tego typu dominują w polskim leśnictwie ArcPad firmy ESRI oraz aplikacje mLas Inżynier i tMap firmy Taxus SI. Programy te zyskały swoją pozycję dzięki możliwości pracy na warstwach wektorowych w formacie ESRI Shapefile, a to ze względu na fakt, że ten format jest obowiązujący w SLMN. Dodatkowym atutem jest praca bezpośrednio w układzie PUVG 1992, ustalonym jako obowiązujący w Lasach Państwowych. Niewielką grupę użytkowników zyskały sobie inne odbiorniki GPS, głównie produkcji amerykańskiej, które wymagają zastosowania formatów danych różnych od obowiązujących w SLMN i nieposiadających wbudowanych algorytmów konwersji z geograficznego układu współrzędnych WGS '84 do układów współrzędnych używanych w Polsce. Przykładem mogą być odbiorniki firmy Garmin, pracujące z danymi we własnym formacie binarnym, którego specyfikacja nie jest oficjalnie przez producenta udostępniana. Możliwość porównania wyników pomiarów z danymi zawartymi w LMN jest możliwa dopiero po przekonwertowaniu danych pozyskanych z odbiornika do formatu ESRI Shapefile i odwzorowania do PUVG 1992. Z tego względu wariant ten jest stosowany przez niewielką grupę użytkowników, niemniej jakość pomiarów jest tej samej klasy, co grupy opisanej powyżej.

Praktyka pomiarów GPS w leśnictwie sprowadza się do wyznaczania granic wydziełów leśnych, granic powierzchni nie stanowiących wydziełów oraz obiektów punktowych zlokalizowanych w lasach. Doświadczenia z taksacji terenowej lasu wskazują, że istotną kwestią jest właściwe planowanie pomiarów. Prace pomiarowe nie powinny być wykonywane w momentach niekorzystnej konstelacji satelitów GPS. Należy podkreślić fakt, że niekorzystna konstelacja sprowadza się do kilkudziesięciu minut w ciągu dnia roboczego, ograniczenie to nie jest więc istotnym elementem utrudniającym pomiary w ciągu całego dnia, powinno być jednak brane pod uwagę jako czynnik wpływający na dokładność pomiarów. Pomiary elementów punktowych wykonywane są z włączonym uśrednianiem pozycji, elementy zaś liniowe mierzone są dynamicznie, bez uśredniania, które utrudniałoby wykonanie efektywnego pomiaru. Praktyka musi

znaleźć rozsądne wyważenie pomiędzy dokładnością a efektywnością pracy. Kontrolując parametry sygnału GPS oraz zastosowany podkład wektorowy i rastrowy, wprawny operator może przy użyciu standardowego odbiornika klasy turystycznej dokonać pomiaru o dokładności poniżej 10 m. Dokładność ta jest wystarczająca dla większości prac z zakresu inwentaryzacji lasu i zasobów leśnych. Wyniki otrzymane z pomiarów uśrednionych dla obiektów punktowych charakteryzują się na ogół lepszymi parametrami, jednak przy sprzęcie tej klasy nie można uzyskać wiarygodnych pomiarów o dokładności większej niż 5 m. Wykorzystanie dostępnej w Polsce nieodpłatnie poprawki położenia z systemu stacji korekcyjnych ASG-PL daje wyniki z błędem poniżej 1 m, ale na terenach otwartych. Na gruntach leśnych należy przyjąć założenie, że dokładność standardowego ręcznego odbiornika GPS nie jest większa niż 5–10 m. Wyniki pomiarów GPS w lasach zawsze należy na bieżąco konfrontować z dostępnym materiałem referencyjnym, np. punktów geodezyjnych czy też ortofotomapy. W pomiarze gniazd często stosuje się metodę wyznaczenia środka gniazda za pomocą GPS, jego zaś kształt mierzony jest za pomocą pomiaru offsetowego przy zastosowaniu zintegrowanego dalmierza laserowego.

Oddzielną grupą urządzeń GPS są odbiorniki o dokładności geodezyjnej. Geodezja wypracowała szereg technik pozwalających na osiągnięcie centymetrowej dokładności pomiarów i takiej wiarygodności otrzymywanych danych, że mogą one być przyjmowane do Państwowego Zasobu Geodezyjnego i Kartograficznego. Urządzenia te są o jeden bądź kilka rzędów wielkości droższe od odbiorników turystycznych, praca z nimi jest znacznie bardziej czasochłonna i wymaga specjalistycznego przygotowania. Zwiększoną dokładność pomiarów uzyskuje się przez pracę zestawów kilku odbiorników, stosowanie stacji referencyjnych, korekcji danych po pomiarach (postprocessing), sam sprzęt charakteryzuje się też znacznie większą czułością i zaawansowanymi algorytmami przetwarzania sygnału.

Więcej informacji na temat systemów pozycjonowania satelitarne i ich wykorzystania w leśnictwie zamieszczono w rozdziale 15.

6.1.6. Inne pomiary terenowe

Stałym elementem aktualizacji elementów taksacyjnych w pracach z zakresu zarządzania lasu jest wykonywanie pomiarów z użyciem dalmierzy laserowych i profesjonalnych busoli. Wyniki tych pomiarów na bieżąco wprowadzane są do szkiców terenowych w trakcie prac i służą za materiał podkładowy (po kalibracji w dedykowanym oprogramowaniu) do aktualizacji leśnej mapy numerycznej. Nieocenionym materiałem pomocniczym w określaniu granic wyłączeń jest ortofotomapa. Przygotowanie mapy wektorowej z podkładem ortofotomapy zdecydowanie podnosi jakość opracowań podczas sporządzania planu urządzenia lasu.

6.1.7. Digitalizacja i wektoryzacja map

W procesie budowania i aktualizacji leśnej mapy numerycznej często występuje sytuacja, w której jedyne dostępne dane źródłowe mają postać analogową – skanu mapy, szkicu terenowego na zorientowanym i skalibrowanym podkładzie itd. Należy wówczas dokonać **digitalizacji** takiego materiału, czyli jego przekształcenia do postaci cyfrowej, która może być następnie wykorzystana przy budowie mapy numerycznej. Z wyjątkiem map stosowanych jako podkład przy wizualizacji w praktyce wykonuje się **wektoryzację**, czyli przetworzenie informacji umieszczonych na mapie analogowej do wektorowego modelu danych.

W przeszłości do wektoryzacji używano dedykowanych stołów roboczych, za pomocą których informacje o współrzędnych obiektów przenoszono bezpośrednio z kopii papierowej mapy do postaci cyfrowej. Tą metodą wykonana została w 1999 r. pierwsza mapa numeryczna w Nadleśnictwie Kliniska. Wraz ze wzrostem możliwości wiernego skanowania wielkoformatowego i wydajności systemów komputerowych czynności wektoryzacji przeniesiono do wyspecjalizowanego oprogramowania komputerowego. W niektórych przypadkach możliwe jest wykonywanie wektoryzacji automatycznej (gdy algorytm programu komputerowego rozpoznaje umieszczone na mapie obiekty i tworzy ich wektorowe reprezentacje) lub pół-automatycznej (wstępnie rozpoznane komputerowo obiekty podlegają korekcie wykonywanej przez operatora).

6.1.8. Informacje opisowe

Koncentrując się na aspekcie przestrzennym danych umieszczanych w systemach informacji przestrzennej, nie należy zapomnieć, że aby przestrzenna baza danych była w pełni funkcjonalna i przydatna, z obiektami przestrzennymi powinny być powiązane opisujące je dane (atrybuty). Dopiero połączenie danych o lokalizacji obiektu z jego opisem tworzy wartość informacyjną systemu informacji przestrzennej.

Głównymi źródłami informacji opisowej dla leśnej mapy numerycznej są bazy programu Taksator i System Informatyczny Lasów Państwowych (SILP).

Taksator jest programem stanowiącym własność Lasów Państwowych, bezpłatnie udostępnianym wykonawcom planów urzędzenia lasu, a format jego bazy jest obligatoryjny przy przekazywaniu urządzeniowych danych opisowych. Dane te są następnie umieszczane w SILP. Każdy obiekt przestrzenny w leśnej mapie numerycznej ma przypisany adres leśny. Użytkownik LMN w nadleśnictwie na podstawie tego adresu może uzyskać informacje opisowe na temat dowolnego obiektu, pochodzące z bazy SILP. Zadanie to ułatwiają w dużej mierze dedykowane aplikacje

do pracy z leśną mapą numeryczną, takie jak e-Las, eLMapa, Mapnik, Mapan.

6.2. Dokładność danych przestrzennych

dr inż. GRAŻYNA KAMIŃSKA – Szkoła Główna Gospodarstwa
Wiejskiego, Wydział Leśny, Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki
i Ekonomiki Leśnictwa

Dokładność to stopień zbliżenia do wielkości prawdziwej. Charakteryzuje zarówno położenie obiektów przestrzennych (dokładność współrzędnych), prawidłowość określenia wartości atrybutów (dokładność atrybutowa), aktualność danych (dokładność czasowa), jak i wierność odtworzenia przestrzeni (dokładność semantyczna). Dane przestrzenne opisują czas, miejsce i atrybuty. Złożoność środowiska przyrodniczego sprawia, że ilość danych pozyskiwanych, przetwarzanych, analizowanych i udostępnianych musi być ograniczona.

Na nauce i praktyce ciąży obowiązek identyfikacji i oceny zagrożeń środowiska, poszukiwania związku między przyczyną a skutkiem, prognozy oraz możliwości oddziaływania za pomocą różnych przedsięwzięć. Do dyspozycji są metody umożliwiające modelowanie matematyczne oraz kartograficzne, proponowanie analiz i prognoz dotyczących stanów środowiska.

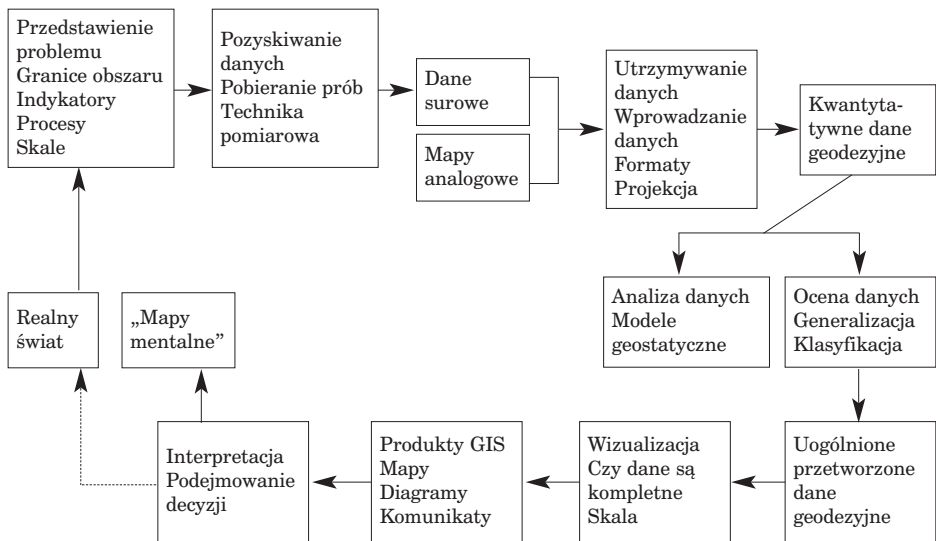
Rycina 6.2.1 przedstawia schemat procesu od pomiaru do podjęcia decyzji, możliwy do przeprowadzenia przy wykorzystaniu GIS.

Każdy z tych etapów bazuje na danych, pierwotnych lub (i) wtórnych, i tworzy nowe, wtórne dane przestrzenne. Przy realizacji każdego z tych etapów mogą być generowane nowe błędy, wpływające na wynik końcowy, a w rezultacie na podejmowaną decyzję.

6.2.1. Źródła błędów danych przestrzennych

Według Geographic Information Systems (1992) najbardziej typowe źródła błędów w GIS to:

1. Na etapie gromadzenia danych:
 - błędy danych w trakcie gromadzenia ich w terenie,
 - błędy w istniejących mapach stosowanych jako źródło danych,
 - błędy w analizie (interpolacji) danych z obrazów satelitarnych.
2. Na etapie wprowadzania danych:
 - niedokładności digitalizacji spowodowane przez operatora, sprzęt lub oprogramowanie,



Ryc. 6.2.1. Od wielkości pomierzonej do podjęcia decyzji za pomocą GIS (źródło: Hootmans 1996)

- niedokładności (brak jednoznacznych kryteriów) w identyfikacji obiektów geograficznych (np. o nieostrych granicach).
- 3. Na etapie magazynowania danych:
 - niedostateczna dokładność numeryczna (np. za mała liczba cyfr po przecinku w liczbie wyrażającej współrzędne geograficzne lokalizacji danego obiektu),
 - niedostateczna dokładność przestrzenna (np. związana z rastrowym kodowaniem danych).
- 4. Na etapie obróbki (analizowania) danych:
 - przyjęcie nieodpowiednich klas,
 - błędy w granicach (we wzajemnej lokalizacji) obiektów,
 - błędy powstające przy nakładaniu warstw.
- 5. Na etapie wyprowadzania danych:
 - niedokładność skalowania,
 - niedokładność urządzeń wyjściowych,
 - zła jakość nośników wyprowadzania danych (folii, papieru, dyskietek itp.).
- 6. Na etapie zastosowania rezultatów:
 - niedokładne zrozumienie informacji,
 - zastosowanie informacji w innym celu niż ten, dla którego ją stworzono.

Źródła możliwych do wystąpienia błędów związanych z GIS-em Burrough (1990) ujmuje w trzy podstawowe grupy:

- I. Oczywiste źródła błędów:
 - 1) wiek danych,
 - 2) warstwa powierzchniowa – częściowa lub kompletna,
 - 3) skala map,
 - 4) gęstość obserwacji,
 - 5) odpowiedni dobór danych,
 - 6) format,
 - 7) dostępność,
 - 8) koszt.
- II. Błędy powstałe z powodów naturalnej zmienności lub wynikające z przeprowadzonych pomiarów:
 - 1) dokładność lokalizacji (zjawiska, danych),
 - 2) dokładność danych – ilościowa i jakościowa,
 - 3) źródła błędów w danych:
 - błędy metody pomiarowej i sprzętu,
 - predyspozycje obserwatora,
 - naturalna zmienność zjawiska.
- III. Błędy powstałe w czasie przetwarzania danych:
 - 1) błędy numeryczne wynikające z ograniczeń reprezentowania liczb w komputerze;
 - 2) błędy powstałe w trakcie analiz topologicznych:
 - nie mające sensu logicznego, a dające się przeprowadzić w komputerze,
 - problemy związane z nakładaniem map;
 - 3) problemy z klasyfikacją i generalizacją danych:
 - metodologia,
 - definicja przedziałów klas,
 - interpolacja.

Grupa I obejmuje błędy najbardziej oczywiste i najłatwiejsze do sprawdzenia.

Grupa II podaje bardziej subtelne źródła błędów, które często mogą być wykryte dopiero podczas opracowywania danych. Przy określaniu problemu należy zdefiniować zarówno obszar, jak i wymagane indykatory, procesy, skalę przestrzenną oraz czasową. Następnym etapem jest pozyskanie danych, przy czym częstość ich pobierania powinna uwzględniać zarówno przestrzenną, jak i czasową zmienność systemu (by nie zatracić drobnej zmienności i zmian w czasie). Pobieranie prób oraz stosowanie konkretnej techniki pomiarowej oraz dokładność lokalizacji stacji pomiarowych to kolejne źródła potencjalnych błędów, wchodzących do analiz gisowskich.

Grupa III jest prawdopodobnie najistotniejsza, ponieważ zawiera pomyłki i błędy oraz błędne zrozumienie, które mogą wynikać z pewnych rodzajów opracowań. Błędy te są najtrudniejsze do wykrycia, wymagają dużej wiedzy nie tylko na temat danych, lecz także struktur danych i używanych algorytmów. W konsekwencji mogą dotyczyć większości użytkowników.

Tabela 6.2.1.

Przykład błędów numerycznych, możliwych do wystąpienia podczas obliczeń komputerowych (źródło: Burrough 1990)

Lp.	BBC Micro	IBM personal computer		
	BASIC	FORTRAN-77	BASIC	
	Pojedyncza dokładność	Pojedyncza dokładność	Pojedyncza dokładność	Podwójna dokładność
1.	1.0000002	1.000000	1.000000	1.00000020000001
2.	1.0000004	1.000000	1.000001	1.00000040000006
3.	1.0000008	1.000000	1.000001	1.00000080000028
4.	1.0000016	1.000000	1.000002	1.00000160000120
5.	1.0000032	1.000000	1.000004	1.00000320000496
6.	1.00000641	1.000010	1.000008	1.00000640002016
7.	1.00001281	1.000020	1.000015	1.00001280008128
8.	1.00002563	1.000030	1.000031	1.00002560032640
9.	1.00005126	1.000060	1.000061	1.00005120130818
10.	1.00010252	1.000120	1.000122	1.00010240523794
11.	1.00020506	1.000240	1.000244	1.00020482096271
12.	1.00041016	1.000490	1.000488	1.00040968387704
13.	1.00082048	1.000980	1.000977	1.00081953559496
14.	1.00164164	1.001950	1.001955	1.00163974282851
15.	1.00328598	1.003910	1.003913	1.00328217441356
16.	1.00658276	1.007840	1.007841	1.00657512149601
17.	1.01320885	1.015740	1.015744	1.01319347521471
18.	1.02659216	1.031740	1.031735	1.02656101821766
19.	1.05389147	1.064480	1.064478	1.05382752412407
20.	1.11068724	1.133110	1.133113	1.11055245060146
21.	1.23362614	1.283940	1.283944	1.23332674553692
22.	1.52183344	1.648510	1.648513	1.52109486125669
23.	2.31597703	2.717600	2.717595	2.31372957694150
24.	5.36374959	7.385320	7.385325	5.35334455521391
25.	28.7698096	54.543000	54.543020	28.65829792683842
26.	827.701947	2974.940000	2974.941000	821.29804006343120
27.	685090.513	8850270.000000	8850273.000000	674530.4706120335000

Wielu ludzi nie docenia faktu, że używanie komputera zmienia i uszeregowuje zapisane dokładności. Dokładność komputera dla zapisanych liczb ma istotne konsekwencje zarówno przy operacjach arytmetycznych, jak i przechowywaniu danych. Poważne błędy w obliczeniach mogą wystą-

pić wtedy, gdy potrzebne wyniki uzyskiwane są przez np. odejmowanie czy mnożenie dwóch wielkich liczb. Ilustracją niech będzie tabela 6.2.1, pokazująca wyniki mnożenia kwadratowego liczby 1.0000001 przez różne komputery.

Wykorzystanie tych samych materiałów źródłowych i danych do realizacji tego samego zagadnienia, ale z użyciem różnych programów, modułów systemów komputerowych prowadzi do różnych wyników. Przykładem niech będą wartości zestawione w tabeli 6.2.2, pokazujące dokładność numerycznego modelu terenu, zbudowanego przez procedury zaszyte w trzech różnych systemach, bazujące na tych samych danych.

Tabela 6.2.2.
Dokładność NMT a wykorzystane oprogramowanie
(źródło: Ryder, Voyadgis 1996)

Analiza wysokości co...	Metody	Całkowita dokładność (%)
5 metrów	ARC/INFO	63,2
	ERDAS IMAGINE	50,8
	WES	51,7
30 metrów	ARC/INFO	74,6
	ERDAS IMAGINE	70,3
	WES	76,1
100 metrów	ARC/INFO	73,1
	ERDAS IMAGINE	63,4
	WES	71,6

Tabela 6.2.2 przedstawia część wyników testu, polegającego na określeniu nachylenia terenu (w różnym układzie i z podziałem na kategorie) i porównanie z wynikami pomiarów bezpośrednich (GPS i pomiar laserowy). Materiał źródłowy był ten sam, a uzyskane przy użyciu różnych algorytmów całkowite dokładności (liczone dla wszystkich kategorii) miały ułatwić wybór najlepszego systemu i zastosowanie go do celów wojskowych (USA Army Systems).

Techniki wprowadzania danych i ich przechowywania, metody analiz mogą być błędne lub niedokładne. Wymienić tu można niedokładność przy digitalizacji albo straty informacji na skutek konwersji danych, np. raster – wektor, czy generalizacji (upraszczanie, wygładzanie, agregacja i inne), błąd oszacowania, będący wynikiem interpolacji, niepewności w ocenie z powodu zastosowania różnych funkcji albo klasyfikacji, czy użycie nieodpowiednich technik wizualizacji.

Monitorowanie wielu elementów środowiska (np. powietrza, gleby, wody, zanieczyszczeń) ma charakter punktowy. Określenie dystrybucji zja-

wiska wymaga przejścia na dane powierzchniowe. W związku z tym stosuje się różne metody interpolacyjne, dzięki którym określone są wartości szacunkowe w miejscach, gdzie próba terenowa nie była pobierana. Towarzyszy temu założenie, że autokorelacja przestrzenna jest tym silniejsza, im mniejsza jest odległość między lokalizacją danych. Interpolacja przestrzenna pozwala obliczyć na podstawie danych punktowych wartości zjawiska na całym analizowanym obszarze. Uzyskany w ten sposób wynik charakteryzuje się ciągłymi, a nie skokowymi zmianami wartości w przestrzeni, bardziej typowymi i właściwymi dla opisywanej rzeczywistości. Jak dobrać jej postać, by dokładność oszacowanych (wyinterpolowanych) wartości była jak największa?

Ocenę różnych metod interpolacji najlepiej oprzeć na porównaniu wyinterpolowanych wartości szacunkowych z dodatkowymi pomierzonymi wartościami (co nie zawsze może być wykonalne). Metoda, zwana „Kreuzvalidierung”, daje pewną możliwość ominięcia dodatkowych pomiarów. Stosując ją, odrzuca się jedną wartość pomiarową z całego zbioru danych i zastępuje się ją wartością szacunkową, wyliczoną na podstawie otaczających dane miejsce wartości pomierzonych. W ten sposób otrzymuje się dla każdego miejsca wartość pomierzoną i szacunkową. Na ich podstawie można określić zarówno błąd metody interpolacji, jak i sprawdzić, w których obszarach gęstość pobierania próby jest niewystarczająca.

Dla wielu analiz, np. przecinania albo modelowania różnych parametrów, wykorzystuje się dane powierzchniowe, pochodzące z interpolacji danych punktowych. Istniejące już dane czy modele wysokościowe zawierają błędy, które wpływają na analizy wykonywane na ich podstawie. Stosowanie modeli przynosi dalsze źródła błędów bez względu na to, czy jest to błędny model z dobrymi parametrami, czy właściwy model ze złymi parametrami.

Ze względu na zmienność i złożoność przyrody nie osiągnie się nigdy stuprocentowej dokładności danych dotyczących środowiska oraz modeli. Każdy model jest obciążony niepewnością, która ogranicza jego wierność odwzorowania zjawisk zachodzących w środowisku przyrodniczym. Po to, aby można było określić zakres niepewności uzyskanego wyniku, należy dokumentować jakość oraz zmienność danych wejściowych. Aby dać sobie radę z niepewnymi wynikami i móc je wykorzystać do konkretnych decyzji, należy przy rozpatrywaniu każdego z problemów określić wymagania jakościowe, ewentualnie zakres błędów.

6.2.2. Wybrane zagadnienia z teorii błędów

Przedstawione poniżej przykłady nawiązują do pomiarów geodezyjnych, ale ten sam sposób oceny dokładności może być zastosowany do danych pochodzących z różnych źródeł.

6.2.2.1. Błędy pomiarowe i ich klasyfikacja

Pomiary wykonuje się niemal zawsze po to, aby na podstawie otrzymanych wartości obliczyć inne. Nie jest możliwe uzyskanie w wyniku pomiaru prawdziwej wartości mierzonej wielkości. Stosowanie coraz bardziej precyzyjnego sprzętu pomiarowego, udoskonalanie metod pomiarów i rejestracji danych zwiększa dokładność uzyskiwanych wyników, tzn. zbliża do wielkości prawdziwej, której osiągnięcie nie jest jednak możliwe.

Wszystkie pomiary charakteryzują się pewnymi niedokładnościami, zwanymi błędami. Ich źródeł należy szukać w niedoskonałości ludzkich zmysłów, niedoskonałości instrumentów pomiarowych oraz w niekorzystnym wpływie środowiska.

Nieuchronne błędy dzielą się na błędy grube, systematyczne i przypadkowe. **Błędy grube**, inaczej pomyłki, charakteryzują wartości w znaczny sposób odstające od mierzonej wielkości. Źródłem takiego błędu jest zawsze obserwator. Powinny być usuwane z pomiarów. **Błędy systematyczne** powodują przesunięcie wszystkich wykonanych obserwacji (pomiarów) o stałą wartość i znak. Można i należy je wyeliminować przez właściwą rektyfikację instrumentów, stosowanie odpowiedniej procedury obserwacyjnej lub na drodze rachunkowej. Niedokładności, które pozostają po wyeliminowaniu błędów grubych i systematycznych, to **błędy przypadkowe**. Usunięcie ich z pomiaru nie jest możliwe, chociaż można zminimalizować ich wpływ przez wykonanie dodatkowych obserwacji i wyrównanie.

Przykład:

Pomiar wszystkich kątów poziomych w wieloboku pozwala na ich wyrównanie, bo znana jest wartość prawdziwa ich sumy.

Gdyby znana była wartość prawdziwa pewnej wielkości (L), to każdą wykonaną obserwację (l_i) można by scharakteryzować błędem prawdziwym (ε_i):

$$\varepsilon_i = L - l_i$$

Ponieważ L na ogół nie jest znane, również nieznaną jest wartość ε_i . Wielkość prawdziwą można oszacować. Uważa się, że średnia arytmetyczna (X) jest najlepszym oszacowaniem nieznannej wielkości. Najlepszym z kolei oszacowaniem błędu prawdziwego jest błąd pozorny v_i , definiowany jako różnica między wartością najbardziej prawdopodobną, czyli średnią arytmetyczną z wielokrotnego pomiaru (n) tej samej wielkości, a konkretną obserwacją:

$$v_i = X - l_i$$

$$X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i$$

Błędy prawdziwe i pozorne zawierają informacje o jakości wykonanych pomiarów. Ponieważ te pierwsze na ogół nie są znane, dokładność pomiarów oceniana jest na podstawie błędów pozornych.

6.2.2.2. Wybrane wskaźniki oceny dokładności pomiaru

Podstawowym kryterium oceny dokładności pojedynczego pomiaru jest błąd średni m opisany wzorem

$$m = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}$$

Prawdopodobieństwo jego nieprzekroczenia wynosi ok. 0,68. Błędy większe od trzykrotnego błędu średniego uważa się za błędy grube i pomiary nimi obciążone powinny być powtórzone. Trzykrotny błąd średni nosi nazwę **błędu granicznego**.

W praktyce jako kryterium oceny dokładności wykonanych pomiarów bywa stosowany również **błąd względny**. Jest to stosunek błędu średniego do wyrównanej wielkości L .

Podane wyżej wzory są słuszne przy założeniu, że wielokrotny pomiar danej wielkości wykonywany był w tych samych warunkach, tym samym sprzętem, przez tego samego obserwatora. Obserwacje takie noszą nazwę **obserwacji jednakowo dokładnych**. Zmiana któregośkolwiek z tych elementów wymusza wprowadzenie do charakterystyki dokładności czynników pozwalających na wzajemne porównanie wykonanych pomiarów. Są nimi wagi, określające stopień zaufania do wykonanych obserwacji niejednakowo dokładnych. Wagi (p) są liczbami niemianowanymi, proporcjonalnymi do liczby wykonanych obserwacji i odwrotnie proporcjonalnymi do kwadratu błędu średniego.

Przykłady:

N obserwatorów pomierzyło odcinek AB; pierwszy wykonał pomiar k_1 razy, uzyskując wartość średnią równą l_1 , kolejny – k_2 , uzyskując wielkość l_2 itd. Jaka jest najbardziej prawdopodobna długość tego odcinka?

Pomierzono ten sam kąt sprzętem o różnej dokładności (m_1, m_2, \dots, m_n), uzyskując wartości $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$. Jaka jest najbardziej prawdopodobna wartość kąta?

Wagi opisują wzory:

$$p_1 : p_2 : \dots : p_i = k_1 : k_2 : \dots : k_n \quad p_1 : p_2 : \dots : p_n = \frac{1}{m_1^2} : \frac{1}{m_2^2} : \dots : \frac{1}{m_n^2}$$

a wartość najbardziej prawdopodobna (\hat{X}), zwana średnią ważoną lub ogólną średnią arytmetyczną, przyjmie postać:

$$\hat{X} = \frac{p_1 l_1 + p_2 l_2 + \dots}{p_1 + p_2 + \dots} = \frac{\sum pl}{\sum p}$$

błąd średni typowego spostrzeżenia:

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum pvv}{n-1}}$$

błąd średni i -tego spostrzeżenia o wadze p_i :

$$m_i = \sqrt{\frac{\sum pvv}{p_i(n-1)}}$$

błąd średni średniej arytmetycznej ogólnej:

$$m_{\hat{X}} = \sqrt{\frac{\sum pvv}{\sum p(n-1)}}$$

6.2.2.3. Prawo przenoszenia się błędów średnich

Przenoszenie się błędów to proces polegający na ocenie błędów obliczonych wielkości, będących funkcją wielkości mierzonych. Jeżeli funkcja wiążącą l_n obserwacji ma postać liniową, jej błąd średni zależy od błędów średnich wielkości pomierzonych w sposób następujący:

$$m_F = \sqrt{m_{l_1}^2 + m_{l_2}^2 + \dots + m_{l_n}^2}$$

Przykład:

Na określenie odległości AB złożyły się pomiary kilku jej fragmentów (a, b, c, \dots), wykonane przy użyciu różnych metod pomiarowych (m_a, m_b, m_c, \dots). Wielkość $AB = a + b + c + \dots$, jaki jest jej błąd średni?

W wypadku funkcji nieliniowej niezbędne jest jej rozwinięcie za pomocą szeregu Taylora, przy czym ogranicza się je do wyrazów liniowych. Dla danej funkcji $F = f(a, b, c, \dots)$ o zmiennych niezależnych a, b, c, \dots i ich błędach średnich m_a, m_b, m_c, \dots błąd funkcji określa wzór (prawo Gaussa przenoszenia się błędów):

$$m_F = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial a}\right)^2 m_a^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial b}\right)^2 m_b^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial c}\right)^2 m_c^2 + \dots}$$

Matematyczna postać prawa przenoszenia się wag jest następująca:

$$\frac{1}{p_F} = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial a}\right)^2 \frac{1}{p_a} + \left(\frac{\partial F}{\partial b}\right)^2 \frac{1}{p_b} + \left(\frac{\partial F}{\partial c}\right)^2 \frac{1}{p_c} + \dots}$$

Przykład:

Wyznaczyć położenie punktu P (współrzędne X, Y), pomierzonego metodą busolową z punktu osnowy o znanych współrzędnych X_o, Y_o . Dane: azymut A i m_A , długość boku d i m_d , znana jest też dokładność punktu dowiązania (m_{X_o}, m_{Y_o}). Określić błąd położenia punktu P .

Rozwiązanie:

Poszukiwane współrzędne wiążą z danymi następujące zależności:

$$X_p = X_o + d \cos A \quad Y_p = Y_o + d \sin A$$

a zgodnie z prawem przenoszenia się błędów:

$$m_{X_p} = \sqrt{m_{X_o}^2 + (\cos A)^2 m_d^2 + (-d \sin A)^2 m_A^2}$$

$$m_{Y_p} = \sqrt{m_{Y_o}^2 + (\sin A)^2 m_d^2 + (d \cos A)^2 m_A^2}$$

$$m_P = \sqrt{m_{X_p}^2 + m_{Y_p}^2}$$

Każdą geodezyjną metodę pomiarową opisuje równanie, będące funkcją wielkości liniowych i (lub) kątowych. Metody: biegunowa, busolowa, wcięć kątowych, liniowych, domiarów prostokątnych to klasyczne metody, pozwalające na wyznaczenie położenia punktu oraz ocenę jego dokładności. Metody: niwelacji geometrycznej i trygonometrycznej to najważniejsze metody umożliwiające wyznaczenie różnic wysokości wraz z oceną jej dokładności. Zasady, które wiążą mierzone wielkości, opierają się na geometrii. Wyznaczenie współrzędnych płaskich (X, Y) czy przestrzennych (X, Y, Z) to rozwiązanie takiego zadania. Jest ono związane z przyjętym układem odniesienia (osnową), której zarówno współrzędne, jak i ich dokładność powinny być znane. Wyznaczenie współrzędnych oparte na pomiarach GPS to również zadanie z geometrii (przestrzenne wcięcie wstecz), związane z osnową (sztuczne satelity), której pozycję w przestrzeni można wyznaczyć na podstawie transmitowanych efemeryd.

Wyborem metody pomiarowej, sprzętu, punktów odniesienia, sposobem wyrównania można wpływać na dokładność wyniku końcowego.

Przykład:

Pomiary GPS nie dają wysokości, z jakimi spotykamy się na co dzień. Wysokości te są liczone nie od średniego poziomu morza, lecz od elipsoidy. Wysokości elipsoidalne z pomiarów GPS można przeliczyć na wysokości względem średniego poziomu morza, uwzględniając odstęp geoidy od elipsoidy, który na obszarze Polski wynosi od 28 do 43 m. Takie podejście, zwane metodą absolutną, nie zapewnia dużych dokładności. Inny sposób to pomiary względne, polegające na wyznaczeniu różnicy wysokości między

dwoma punktami (użycie dwóch odbiorników). Z jednoczesnych pomiarów GPS wyznaczana jest różnica wysokości elipsoidalnych (wolna od wielu błędów związanych z tą techniką pomiaru), którą należy poprawić o różnicę odstępów między geoidą a elipsoidą. Wielkość ta na terenie Polski przyjmuje wartość ok. 10 cm na 1 km.

Wyznaczone współrzędne płaskie X , Y , opisując położenie punktów, zarówno określają obiekty punktowe, jak i budują obiekty liniowe (np. granice) oraz powierzchniowe. Ich dokładność i zastosowanie prawa Gaussa dostarczyć może informacji o błędzie lokalizacji punktu, o błędzie określenia odległości czy długości, o błędzie określenia powierzchni. Trzy współrzędne X , Y , Z zwiększają możliwości zarówno opisu przestrzeni, jak i parametrów z nią związanych (np. o wysokość obiektów, objętość mas ziemi, zapas).

Źródłem danych do określenia współrzędnych mogą być wszystkie znane i przyszłe technologie geomatyczne. Dokładność wyznaczenia związana jest z algorytmem ich uzyskania wraz z oceną kolejnych kroków.

6.2.3. Dokładność źródeł danych

6.2.3.1. Dokładność danych geodezyjnych

Wszystkie klasyczne pomiary geodezyjne powinny być odniesione do zbioru punktów o znanych współrzędnych. Mogą je stanowić osnowy już istniejące lub nowe, zakładane w celu uchwycenia relacji przestrzennych elementów badanego obiektu. Znajomość ich charakterystyki dokładnościowej jest niezbędna. Poniżej przedstawiono istotne dane związane z tym źródłem pozyskania danych.

Dokładność punktów osnowy państwowej

Pozioma osnowa geodezyjna w Polsce dzieli się na osnowę podstawową, szczegółową i pomiarową. Sieć podstawowa służy do nawiązania i wyrównania sieci szczegółowych. Sieci szczegółowe – do nawiązania i wyrównania sieci pomiarowych, nawiązania zdjęć fotogrametrycznych, numerycznych modeli terenu do państwowego systemu odniesienia. Osnowy pomiarowe służą za podstawę pomiarów szczegółowych, inżynierskich, katastralnych i innych.

Podstawowe i szczegółowe sieci dzielą się na trzy klasy, które charakteryzują następujące błędy średnie:

- osnowa pozioma I klasy: dokładność wyznaczenia współrzędnych poziomych – do 2 cm, pionowych – ok. 3 cm (sieć EUREF) oraz poziomych – 0,5–1,0 cm i pionowych – 1,0–1,5 cm (sieć POLREF);
- osnowa szczegółowa II klasy: błędy średnie po wyrównaniu nie przekraczają 5 cm;
- osnowa szczegółowa III klasy: błędy średnie po wyrównaniu nie przekraczają 10 cm;

- osnowa pomiarowa musi być dowiązana do punktów osnowy poziomej I–III klasy. Błąd położenia najmniej dokładnego punktu nie może przekroczyć $\pm 0,10$ m.

Osnowę wysokościową stanowią: osnowa podstawowa I i II klasy, dla której wysokości punktów wyznaczone są metodą niwelacji precyzyjnej z dokładnością $\pm 1,0$ mm/km i $\pm 2,0$ mm/km, oraz osnowa szczegółowa III i IV klasy – wysokości wyznaczone są metodą niwelacji technicznej z dokładnością $\pm 4,0$ mm/km i $\pm 10,0$ mm/km. Osnowy pomiarowe charakteryzuje błąd mniejszy niż 10 cm/km.

Dokładność pomiarów geodezyjnych

Dokładność pomiarów sytuacyjnych, wysokościowych, sytuacyjno-wysokościowych nierozzerwalnie związana jest z wybraną metodą pomiarową i użyciem konkretnego instrumentu pomiarowego.

Dokładność pomiaru kierunku:

- I klasa – teodolity o najwyższej dokładności – błąd średni pomiaru $0,7''$,
- II klasa – teodolity o wysokiej dokładności pomiaru – błąd średni pomiaru $2''$,
- III klasa – teodolity o średniej dokładności pomiaru – błąd średni pomiaru $7''$,
- IV klasa – teodolity o niskiej dokładności pomiaru – błąd średni pomiaru $30''$.

Dokładność pomiaru odległości:

- taśma geodezyjna – 1–5 cm/100 m,
- pomiary optyczne – 2–15 cm/100 m,
- pomiary elektroniczne – od kilku mm/km w zależności od klasy instrumentu.

Dokładność wyznaczenia azymutu:

- magnetycznego za pomocą busoli – około $15''$,
- geograficznego za pomocą żyroskopu – od kilkunastu do kilkudziesięciu sekund.

Dokładność wyznaczenia różnicy wysokości

Odczyt z instrumentów precyzyjnych (niwelatory cyfrowe) wykonuje się z dokładnością do 0,01 mm. Błąd średni pomiaru różnicy wysokości na odcinku 100 m zawiera się w granicach $\pm 0,10$ – $0,14$ mm. Niwelatory techniczne umożliwiają odczyt z dokładnością do 1 mm, dla metody ze środka uzyskuje się dokładność ± 2 mm na odcinku 100 m i ok. ± 10 mm dla niwelacji wprzód.

Dokładność pomiaru kątów i odległości są najważniejszymi parametrami tachimetru. Firmy oferują modele o różnej precyzji pomiaru. Dla pomiaru kierunku są to przeważnie wartości: $1''$, $2''$, $3''$, $5''$ lub 3^{cc} , 6^{cc} , 10^{cc} , 15^{cc} . Dla pomiaru długości (celowanie na lustra) błąd stały wynosi 2 lub 3 mm plus 2 lub 3 mm na każdy mierzony kilometr. Te dwie najważniejsze funkcje tachimetru są bardzo dobrze dopracowane. Dokładność wyznaczenia różnicy wysokości metodą niwelacji trygonometrycznej wynosi ok. 2 cm; duży udział w tym błędzie ma pomiar wysokości instrumentu i lustra.

Dokładność wyznaczenia pozycji techniką GPS

Zawiera się od kilkunastu metrów dla metody absolutnej do 1 cm dla metody względnej.

O końcowej dokładności pomiaru, obok metody pomiarowej i klasy sprzętu, decydują: obserwator (poprawność wykonania wszystkich czynności, jego predyspozycje) i środowisko, którego wpływ może diametralnie tę dokładność zmienić. Duże dokładności uzyskiwane techniką GPS na terenach otwartych nie znajdują potwierdzenia np. w warunkach leśnych.

6.2.3.2. Dokładność danych obrazowych

Dostęp do informacji obrazowej, jej aktualność, cyfrowa postać danych, oprogramowanie ułatwiający realizację opracowań – wszystko to sprawia, że to pierwotne źródło rastrowych danych przestrzennych jest tak ważne. Systemy teledetekcji satelitarnej dostarczają najczęściej danych charakteryzujących się wielkością piksela w zakresie od 0,5 m do 1 km. Rozdzielczość przestrzenna zdjęć lotniczych jest rzędu od 0,1 m do 5 m. Zakres rejestrowania promieniowania elektromagnetycznego decyduje o możliwości wykorzystania pozyskanych danych. Dane satelitarne są szczególnie przydatne w badaniach dużych obszarów, w ramach projektów małoskalowych. W opracowaniach średnio- i wielkoskalowych (w pomiarach i kartowaniu szczegółowym) preferowane są zdjęcia lotnicze.

W dziedzinie klasycznych opracowań fotogrametrycznych nastąpiło przejście na technologie cyfrowe. Nadal dominującym źródłem danych jest klasyczna kamera pomiarowa. Tradycyjne zdjęcia lotnicze w procesie skanowania są zamieniane na postać cyfrową.

Na dokładność opracowań zdjęć lotniczych mają wpływ:

- jakość geometryczna oryginalnych zdjęć lotniczych,
- skala i rodzaj zdjęć lotniczych,
- sposób przetworzenia zdjęć na postać cyfrową,
- proces strojenia stereogramów,
- jakość fotopunktów,
- cechy obiektu będącego przedmiotem pomiarów,
- warunki oświetlenia w czasie wykonywania zdjęć,
- indywidualne predyspozycje obserwatora.

Zdjęcie analogowe po optymalnym zeskanowaniu skanerem fotogrametrycznym oraz obraz z kamery cyfrowej (o tym samym wymiarze piksela terenowego, co zdjęcie) różnią się przestrzenną zdolnością rozdzielczą w proporcji 1:1,8 na korzyść obrazu cyfrowego. Różnice pojemności informacyjnej obu systemów obrazowania to różne możliwości pomiarowe i interpretacyjne.

Dokładność sytuacyjna opracowania zdjęć analogowych liniowo zależy od skali zdjęcia (M_z) i dokładności pomiaru na zdjęciu (m_{pom}), dla obrazów

cyfrowych jest wprost proporcjonalna do terenowego wymiaru piksela (P_{teren}).

$$m_{syt.a.} = M_z m_{pom} \quad m_{syt.c.} = k P_{teren} \quad k \approx 0,5 - 0,9$$

Błąd pomiaru na zdjęciach oraz współczynnik k silnie zależą od kontrastu obrazu. W wypadku opracowań automatycznych istotny wpływ na jakość obrazów ma ich jakość radiometryczna.

Dokładność opracowania wysokościowego zdjęć lotniczych zależy od skali tych zdjęć, ich stosunku bazowego (wysokość lotu W /baza podłużna B) i dokładności pomiaru paralaksy (m_x).

$$m_{wys} = M_z \frac{W}{B} m_x$$

Zależność ta pozostaje aktualna dla kamer cyfrowych; błąd pomiaru paralaksy można przedstawić w funkcji rozmiaru terenowego piksela:

$$m_{wys.c} = k \frac{W}{B} P_{teren} \quad k \approx 0,3 - 0,8$$

Uwzględniając podane, empirycznie potwierdzone zależności można określić przewidywaną dokładność geometryczną sytuacyjnego i wysokościowego opracowania zdjęć i lotniczych obrazów cyfrowych (Kurczyński 2006).

Zasób treści zdjęć zależy przede wszystkim od ich przestrzennej zdolności rozdzielczej. Określa ona możliwości interpretacyjne, warunkuje, w jakim stopniu obiekty topograficzne mogą być odczytane i pomierzone na zdjęciach. Tabela 6.2.3 zestawia parametry zdjęć analogowych i systemów cyfrowych do wytworzenia map sytuacyjno-wysokościowych.

Tabela 6.2.3.
Parametry zdjęć lotniczych i systemów cyfrowych do opracowania map sytuacyjno-wysokościowych o treści topograficznej
(źródło: Kurczyński 2006)

Skala mapy topograficznej	Skala zdjęć lotniczych	Piksel terenowy obrazu cyfrowego (m)
1: 2000	1:10 000	0,25
1: 5000	1:18 000	0,45
1:10 000	1:26 000	0,65
1:25 000	1:40 000	1,00
1:50 000	1:70 000	1,75

Przetwarzanie teledetekcyjnej informacji obrazowej ma na celu uzyskanie lepszego obrazu do interpretacji tematycznej lub na potrzeby kartograficzne. Wiąże się z usuwaniem wpływu czynników środowiska, błędów wynikających z własności sensorów, platform teledetekcyjnych, rejestrowanych obiektów. Korekcja radiometryczna i geometryczna są oferowane przez firmy dystrybuujące obrazy satelitarne. Poprawianie jakości, zmiana kontrastu i jasności, filtracje, operacje międzykanałowe, klasyfikacja treści, mozaikowanie tworzą nową jakość danych przestrzennych. Programy teledetekcyjne zawierają funkcje oceny dokładności klasyfikacji.

Ortofotomapa cyfrowa jest produktem kartometrycznym, wygenerowanym z pojedynczych obrazów poddanych procesowi przetworzenia (ortorektyfikacji) i nawiązanym do układu współrzędnych przyjętego odwzorowania kartograficznego. Średni błąd położenia szczegółów sytuacyjnych na ortofotomapie powinien być mniejszy od 0,3 mm w skali ortofotomapy i nie przekraczać 2–3 pikseli obrazu. Proces ortorektyfikacji wiąże się ze stratą informacji na poziomie 10–20%. Dla zachowania właściwych relacji między rozdzielczością obrazu a rozdzielczością ortofotomapy piksel obrazu czy skanowanego zdjęcia powinien być mniejszy o tę wartość od piksela generowanej ortofotomapy. Dokładność wyrażona w wielkości 2–3 pikseli determinuje dokładność numerycznego modelu terenu, niezbędnego w procesie ortorektyfikacji.

Obrazy satelitarne z wartością terenową piksela równą 30 m umożliwiają utworzenie ortofotomap w skali 1:150 000, 20 m – 1:100 000, 15 m – 1:75 000, 10 m – 1:50 000, 5 m – 1:25 000, 1,8–2,5 m – 1:10 000, 1 m – 1:5000. Międzynarodowa organizacja OEEPE określiła powiększenie skalowe ortofotomapy – od 4,5 do 5 w stosunku do skali zdjęć, w jakich jest generowana. W praktyce do opracowania ortofotomap projektuje się zdjęcia w skali 2,5–3,5 razy mniejszej od zakładanej. W szczególnych warunkach można opracowywać je w skali do 8 razy większej ze zdjęć panchromatycznych i do 5 razy większej ze zdjęć barwnych. Minimalne charakterystyki dokładnościowe ustalono na: piksel terenowy $\leq 1,0$ m, średni błąd położenia sytuacyjnego $\leq 2,5$ m. Dla części Polski, gdzie funkcjonuje mapa ewidencyjna w skali 1:5000, przyjęto: piksel terenowy 0,5–1,0 m; średni błąd położenia sytuacyjnego $\leq 1,5$ –2,5 m. Dla terenów o dużym rozdrobieniu (skala 1:2000) wymiar terenowy piksela 0,25 m, średni błąd położenia sytuacyjnego $\leq 0,75$ m (Będkowski, Adamczyk, Mikrut 2006).

6.2.3.3. Dokładność danych kartograficznych

Jakość mapy określają: jej treść (pełność i zgodność z rzeczywistością), skala i podstawy matematyczne (celowość ich wyboru), dokładność lokalizacji, aktualność, szata graficzna (doskonałość środków wyrazu). Mapy jako źródła danych przestrzennych mogą więc być analizowane zarówno

w kontekście dokładności lokalizacji, jak i dokładności atrybutów, aktualności danych, wierności odtworzenia przestrzeni.

Kartometryczna dokładność mapy to dokładność wzajemnego rozmieszczenia punktów, na którą wpływają:

- błędy danych wyjściowych, na podstawie których ją sporządzono (pomiaru bezpośrednie, zdjęcia lotnicze i satelitarne, istniejące mapy);
- zniekształcenia odwzorowawcze;
- generalizacja kartograficzna;
- błędy przeniesienia punktów z materiału wyjściowego na oryginał mapy (błędy naniesienia osnowy, szczegółów, interpolacji warstwic);
- błędy z powodu zastosowania znaków umownych, deformacji papieru, zniekształceń powstających przy drukowaniu.

Podstawową mapą w Polsce jest mapa zasadnicza. Budowana jest i aktualizowana na podstawie bezpośrednich pomiarów terenowych.

Dokładność pomiaru szczegółów terenowych I grupy (m.in. granic administracyjnych, granic działek, budowli, uzbrojenia naziemnego) względem osnowy wynosi $\pm 0,10$ m, szczegółów II grupy (np. urządzeń parków, boisk, uzbrojenia podziemnego terenu) – $\pm 0,30$ m, szczegółów III grupy (m.in. granic użytków, konturów klasyfikacji gruntów, podziału powierzchniowego) – $\pm 0,50$ m. Błąd określenia wysokości wynosi od 1 do 10 cm. Dokładność współrzędnych jest zachowana w wypadku numerycznej formy mapy zasadniczej. Forma analogowa uwzględnia skalę (1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000), a więc i dokładność graficznego opracowania, proces generalizacji.

Współczesne instrukcje ustalają dopuszczalne wielkości błędów średnich położenia przedmiotów i konturów na mapie.

Dokładność przedstawienia obiektów sytuacyjnych na pierworysach i czystorysach map topograficznych w skali 1:10 000 i 1:5000 powinna spełniać następujące warunki:

- błędy średnie położenia punktów geodezyjnej osnowy poziomej oraz osnowy matematycznej naniesionych na mapę nie mogą przekraczać $\pm 0,15$ mm;
- dokładność położenia szczegółów sytuacyjnych I grupy w odniesieniu do najbliższych punktów osnowy nie może przekraczać $\pm 0,5$ mm, a w terenach górzystych i o zwartym zalesieniu – $\pm 0,75$ mm;
- dokładność położenia pozostałych punktów sytuacyjnych nie może przekraczać $\pm 1,0$ mm.

Przy opracowywaniu map topograficznych na podstawie map w większych skalach dokonuje się montażu materiałów podstawowych (błąd montażu $\pm 0,2$ mm) – błąd położenia punktów sytuacyjnych I grupy nie powinien przekraczać $\pm 0,75$ mm, w wypadku terenów zakrytych i górskich – $\pm 1,0$ mm.

Na wszystkich mapach topograficznych średnie błędy w położeniu wysokościowym warstwic względem punktów osnowy wysokościowej nie mogą przekroczyć:

- dla terenów o nachyleniu do 2° – $1/3$ wielkości zasadniczego cięcia warstwicowego,
- dla terenów o nachyleniu od 2° do 6° – $2/3$ wielkości zasadniczego cięcia warstwicowego,
- dla terenów o nachyleniu powyżej 6° – pełnej wielkości zasadniczego cięcia warstwicowego.

Cięcia warstwicowe 1 m, 2 m, 5 m, 10 m są stosowane odpowiednio dla skal: 1:5000, 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000.

Dane geometryczne dotyczące tego samego obiektu, pozyskane z map różniących się choćby jednym z następujących elementów: skalą, powierzchnią odniesienia, odwzorowaniem, przeznaczeniem, źródłem danych – mogą się różnić.

Dokładność geometryczna mapy numerycznej zależy od etapów jej powstania. Będzie inna, jeśli danymi wyjściowymi były dane pierwotne (pomiar geodezyjne, materiały fotogrametryczne i teledetekcyjne), jeszcze inna – jeśli były to dane wtórne (mapy analogowe). Oszacowanie tej dokładności jest możliwe w przypadku, gdy znane są błędy poszczególnych etapów.

Mapa to obraz bardziej lub mniej zgeneralizowanych informacji gospodarczych, przyrodniczych, społecznych. Wiarygodna treść, dobór materiałów kartograficznych, zastosowanie odpowiednich sposobów prezentacji, poprzedzone właściwymi analizami, charakteryzują dane przestrzenne zarówno geometrycznie, jak i atrybutowo. Aktualność map topograficznych i tematycznych jest zgodna z aktualnością danych źródłowych. W zależności od tempa zmian elementów ogólnogeograficznych (mapy topograficzne) i wybranych treści (mapy tematyczne) aktualność ta może być różna. Nieaktualność mapy jest jej wielkim atutem przy badaniach zmian.

6.2.3.4. Dokładność numerycznego modelu terenu

Dane źródłowe do generowania numerycznego modelu rzeźby terenu można otrzymać, wykorzystując:

- bezpośredni pomiar w terenie,
- technologię kartograficzną (na podstawie istniejących map),
- technologię fotogrametryczną, w tym lotniczy skaning laserowy oraz opracowanie zdjęć i obrazów satelitarnych.

Rzeźba terenu przedstawiana jest w postaci elementów powierzchniowych, będących siecią nieregularnych trójkątów (TIN), opartych na punktach pomiarowych, lub za pomocą regularnej sieci, zwykle kwadratów (DMT). Regularna sieć powstaje zazwyczaj nie przez pomiar, lecz przez interpolację między rozproszonymi punktami pomiarowymi. Doświadczenia pokazały, że pod względem dokładności obie formy (TIN, DTM) są równoważne.

Dokładność modelu to błąd średni wysokości wyinterpolowanej. Na błąd ten składają się:

- błędy danych źródłowych (m_{pom});
- wielkość oczka siatki, determinująca reprezentatywność powierzchni terenu (d);
- czynnik opisujący charakter terenu (α)

$$m_{DTM}^2 = m_{pom}^2 + (\alpha \cdot d)^2$$

Dla terenów łatwych (o gładkiej powierzchni) α przyjmuje wartość 0,004–0,007, dla terenów średnich – 0,010–0,020, dla terenów trudnych (o nieregularnych i stromych powierzchniach) – 0,022–0,044.

Danych źródłowych dostarczyć mogą bezpośrednie pomiary w terenie: niwelacja powierzchniowa, tachimetria, pomiary GPS. Odpowiedni dobór sprzętu i metody pomiaru mogą zapewnić dane o wysokiej dokładności.

Materiałem wyjściowym mogą być również mapy (skanowanie mapy i digitalizacja warstwic). Od jej dokładności zależy głównie dokładność modelu. Badania wykazały, że DTM z siatką regularną 50×50 m charakteryzuje się następującą dokładnością (Kurczyński 1998):

- w terenie płaskim 1,7 m,
- w terenie pofałdowanym 6,7 m,
- w terenie górzystym 13,3 m.

Wadą tego źródła danych są trudności z rekonstrukcją skarp, nasypów, pokazywanych na mapach znakami umownymi, oraz niewystarczające opisy wysokości na terenach zabudowanych. Zaletą – dostępność informacji dla terenów zalesionych.

Wyniki pomiarów fotogrametrycznych na podstawie zdjęć lotniczych uznawane są za najlepsze źródło danych do generowania DTM. Błąd pomiaru wysokości na autografie analitycznym lub analogowym jest wprost proporcjonalny do wysokości (H_f), z której wykonano zdjęcia:

$$m_{pom} = 0,01 - 0,015\% H_f$$

Na dokładność modelu istotny wpływ ma gęstość wykonanych pomiarów. Jej wielkość wynikową można określić jako:

$$m_{DTM} = 0,02 - 0,04\% H_f$$

dla terenu płaskiego i pofałdowanego oraz

$$m_{DTM} = 0,1 - 0,2\% H_f$$

dla terenu górzystego (Kurczyński 1998).

Dokładność DTM, opartych na danych pochodzących z autografu cyfrowego (bardzo duża liczba pomierzonych punktów, automatyczne odfiltrowanie obserwacji odstających), jest porównywalna lub wyższa niż danych z autografu analitycznego i wynosi przy zdjęciach skanowanych z pikselem $15\mu\text{m}$:

$$m_{DTM} = 0,01\% H_f$$

dla terenu płaskiego i pofałdowanego, oraz

$$m_{DTM} = 0,025\% H_f$$

dla terenu górzystego.

6.2.4. Podsumowanie

Zamieszczone powyżej informacje, wzory, wartości to przykłady ilustrujące dokładność lub drogę dojścia do jej określenia, głównie z punktu widzenia położenia, lokalizacji przestrzennej. Ale nie tylko. Dokładność atrybutowa może być związana z dokładnością wyznaczenia współrzędnych (wysokość, powierzchnia, objętość). Wartości cech mierzalnych rejestrują urządzenia, obrazują dane teledetekcyjne i kartograficzne z pewnymi charakterystycznymi dla nich dokładnościami. Modele, uwzględniając wpływ różnych zmiennych, przypisują ich funkcjom różne wagi. Zrozumienie struktury przestrzennej zjawiska jest podstawą doboru odpowiedniej strategii próbkowania, metody interpolacji, odpowiedniej reprezentacji danych przestrzennych.

Jak najdokładniej ocenić wiarygodność końcowych przetworzeń? Metody geodezyjne pozwolą z bardzo dużą i znaną dokładnością wyznaczyć punkty w terenie, jednak określenie wartości zjawiska musi objąć obszar uwzględniający błąd określenia położenia punktu od danych wyjściowych, poprzez wszystkie przetworzenia, na dokładności geodezyjnego wyniesienia kończąc.

7.

Proces budowania leśnej mapy numerycznej

mgr inż. BOŻYDAR NEROJ – Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej, Zarząd

dr ANDRZEJ TALARCZYK – Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej, Zarząd

7.1. Początki map numerycznych w polskim leśnictwie

Prace nad zintegrowanym systemem wspomaganie decyzji, gromadzącym kompleksowe dane na temat całokształtu działalności Lasów Państwowych w formie rozbudowanego systemu baz danych i aplikacji wspomagających, Lasy Państwowe prowadziły od 1991 r. Opracowane rozwiązanie nazwano Systemem Informatycznym Lasów Państwowych (SILP). Naturalnym następstwem pojawienia się tak rozległego zbioru informacji opisowych o lasach stało się podjęcie wysiłków na rzecz wykorzystania zdobyczy wiedzy w zakresie GIS w leśnictwie.

Prace badawczo-rozwojowe w tej dziedzinie, podejmowane co najmniej od lat 80. XX w. przez ośrodki naukowe, szczególnie SGGW i IBL, zostały zasygnalizowane w rozdziale 1 niniejszej publikacji przez H. Olenderka i K. Okłę. W tym miejscu ograniczymy się do przedstawienia najważniejszych prób praktycznych zastosowań GIS w leśnictwie oraz działań, które doprowadziły do stworzenia praktycznego zestawu wytycznych, którym stał się Standard Leśnej Mapy Numerycznej.

Wczesne prace badawczo-rozwojowe w kierunku tworzenia leśnych map numerycznych podjęto na początku lat 90. XX w. w Biurze Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej (BULiGL), na uczelniach rolniczo-leśnych, w Instytucie Badawczym Leśnictwa oraz w firmach prywatnych.

Pierwsze próby wykorzystania dostępnego wówczas, mocno niedoskonałego oprogramowania GIS do tworzenia map numerycznych terenów leśnych prowadzono w BULiGL. Testowano m.in. oprogramowanie firmy

ESRI ArcView w wersji 3.0, Bentley Microstation, a także zintegrowany system informatyczny do prac urządzeniowych produkcji czeskiej, TOPOL. Specyfika czeskiego zestawu map towarzyszących urzędowaniu i typologii leśnej niezupełnie pokrywała się z naszą i mimo sprawnie działającego systemu w warunkach czeskich trudno byłoby zastosować to rozwiązanie u nas. Autorzy niniejszego rozdziału osobiście testowali program TOPOL. Należy podkreślić, że jest to program rozwijany do dziś, bardzo dobrze wspomagający czeskie leśnictwo i rolnictwo.

Pierwsze prace polegające na tworzeniu map numerycznych terenów leśnych miały charakter pionierski. Nie istniała jeszcze lub nie była dostępna do cywilnych zastosowań teoria map numerycznych i przestrzennych baz danych. Na ówczesnym etapie rozwoju technologii pojęciem „mapa numeryczna” (cyfrowa, komputerowa itd.) określano w zasadzie dowolne zobrazowanie terenu za pomocą komputera, bez różnicowania, czy jest to przestrzenna baza danych z zachowaną kartometrycznością, czy też zwykły rysunek (szkic) mapowy, wykonany za pomocą programu graficznego.

Szczególną uwagę należy zwrócić na pierwsze mapy numeryczne wytworzone w ramach prac naukowo-badawczych na zlecenie Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych przez naukowców z SGGW i IBL w nadleśnictwach Brzeziny, Ujsoły i Wipsowo. Więcej na ten temat w rozdziale 1.1.2.

W Nadleśnictwie Świerklaniec (RDLP Katowice) leśna mapa numeryczna została oddana do użytku w kwietniu 1997 r. Zbudowano ją na bazie map gospodarczo-przeładowych w skali 1:10 000, od czego przy pracach w następnych nadleśnictwach odstąpiono, przede wszystkim ze względu na brak zgodności z geodezją powszechną. Mapa była jednak z powodzeniem używana do zarządzania gospodarką leśną i bardzo pomocna w podejmowaniu procesów decyzyjnych. Doświadczenie Świerklańca, mimo że nie wykazywało zgodności z danymi będącymi w posiadaniu ośrodków geodezji i kartografii, było bardzo udane, głównie ze względu na zaangażowanie pracowników nadleśnictwa w korzystanie z mapy w codziennej pracy. Mapa wykonana była w środowisku MapInfo i w nim była obsługiwana. Jako swego rodzaju anegdotę można przytoczyć historię powstania mapy numerycznej podczas wykonywania planu urządzenia lasu dla tego nadleśnictwa (siedem lat później). Mapa leśna Świerklańca korespondowała bardzo dobrze z adresami leśnymi bazy SILP i pod tym względem wszystko było sprawnie sprzężone, po dołączeniu jednak danych geodezyjnych okazało się, że działki ewidencyjne są już niemożliwe do połączenia w jedną mapę. Aby system był spójny, należało dopasować sytuację leśną i geodezyjną, co pociągnęło za sobą duże nakłady na prace geodezyjne. Funkcjonowanie nadleśnictw w erze przed wprowadzeniem GIS było spokojnym życiem bez pewnej wiedzy na temat zgodności podziału leśnego i geodezyjnego. Można zaryzykować stwierdzenie, że to wprowadzenie systemu GIS uwidocznilo rozbieżności, których wcześniej nie dostrzegano tak wyraźnie w codziennej pracy. Te same rozbieżności wpłynęły również

na zbudowanie warstwy obiektów podstawowych w takiej postaci, jaką dziś definiuje SLMN.

Rozległe prace nad przystosowaniem istniejących wówczas technologii GIS do potrzeb leśnictwa i tworzeniem pierwszych map numerycznych w nadleśnictwach prowadziło także Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej. Oddział BULiGL w Przemysłu opracował mapę numeryczną dla Nadleśnictwa Radymno. Mapa została wykonana w środowisku EWMAPA, które wybrano jako oprogramowanie na potrzeby prac geodezyjnych. Niestety, ta droga nadawała się jedynie do opracowań geodezyjnych, natomiast nie spełniła oczekiwań jeśli chodzi o system GIS leśnej mapy numerycznej. Na potrzeby urządzania lasu w Oddziale BULiGL w Przemysłu rozwinięto rozszerzenie dla EWMAPA-y, wykorzystujące wyciąg danych z bazy opisu taksacyjnego. Dzięki tym zabiegom generowano wydruki map gospodarczych, gospodarczo-przeglądowych, w tym również tematycznych map drzewostanowych. Zaletami opracowania była zgodność wydruków z podkładem geodezyjnym i automatyczne generowanie informacji na mapy leśne. Kierunek działań podjętych przy tym rozwiązaniu opierał się na zgodności z ewidencją powszechną i realizacji załączników kartograficznych do planu urządzania lasu, natomiast celem jako takim nie była budowa GIS.

Kilka innych oddziałów BULiGL wykonywało własne mapy cyfrowe jako materiał pomocniczy przy pracach urzędzeniowych. Były to rozwiązania autorskie, niestandardyzowane, często mające charakter raczej opracowań kartograficznych niż przestrzennej bazy danych. Dzięki temu jednak w BULiGL pojawiła się grupa ekspertów GIS, której członkowie odegrali później znaczną rolę w formułowaniu i rozwoju Standardu Leśnej Mapy Numerycznej. Byli to pracownicy BULiGL, Lasów Państwowych bądź innych firm i instytucji.

Więcej na temat numerycznych map eksperymentalnych, tworzonych dla innych nadleśnictw, można przeczytać w rozdziale 1.1.2.

Doświadczenie zebrane w latach 90. posłużyło do sformułowania wstępnych kryteriów, którym powinna odpowiadać leśna mapa numeryczna wykorzystywana w nadleśnictwie. Zostały one opublikowane jako zarządzenie Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych nr 23 z 18 maja 1998 r. Zarządzenie nadało ramy rosnącemu zainteresowaniu leśnym GIS w nadleśnictwach. Nie oznacza to jednak, że wszystkie nadleśnictwa, w których utworzono mapy numeryczne zgodne z zarządzeniem, otrzymały mapę do użytkowania. Wynikało to z faktu ciągłego rozpoznawania GIS w nadleśnictwach i w wielkim stopniu zależało od kadry, wykazującej większe zainteresowanie mapami numerycznymi.

W tym miejscu warto podkreślić istotną rolę wyższych uczelni leśnych, przede wszystkim Wydziału Leśnego SGGW, w upowszechnianiu wiedzy na temat GIS wśród leśników. Tematyka ta zaczęła być obecna na konferencjach branżowych, naradach, pojawiały się publikacje w prasie leśnej. Wszystko to zaowocowało rosnącym zainteresowaniem systemami informacji przestrzennej wśród przedstawicieli administracji leśnej.

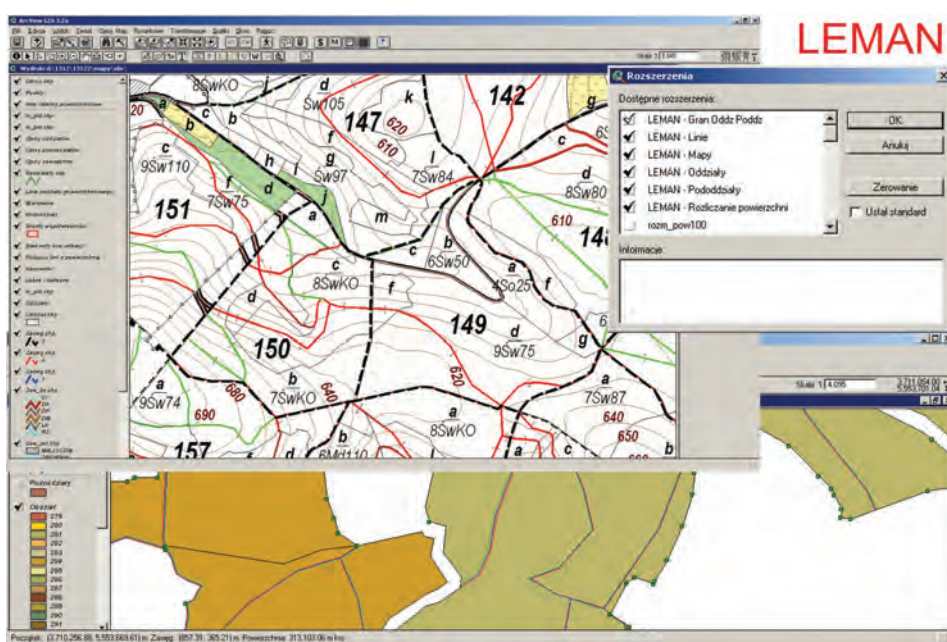
W latach 1998–1999 firma Taxus SI wykonała mapę numeryczną Nadleśnictwa Złotów. Było to pierwsze opracowanie zgodne z wytycznymi zarządzenia nr 23 z 18 maja 1998 r. Doświadczenie zebrane podczas prac na tym obiekcie były istotnym materiałem przy projektowaniu SLMN. Równocześnie z budową mapy dla Nadleśnictwa Złotów Oddział BULiGL w Brzegu w czasie tworzenia nowego planu urządzenia lasu pracował nad mapą dla Nadleśnictwa Jawor. Była to jedna z pierwszych map stworzonych zgodnie z powyższym zarządzeniem. Mapy Złotowa i Jawora stały się swego rodzaju wzorcem dla większości wykonawców map leśnych dla poziomu nadleśnictwa, aż do czasu publikacji SLMN w 2001 r.

Wstępna standaryzacja wykonywanych dla nadleśnictw map numerycznych pozwoliła na stworzenie dedykowanych aplikacji do korzystania z leśnej mapy numerycznej. W środowisku leśnym przyjęło się nazywać je przeglądarkami, a to dlatego, że ich pierwszym zastosowaniem było przeglądanie zainstalowanej w nadleśnictwie mapy. Na rynku pojawiły się dwie produkujące przeglądarki: Mapnik oraz Mapan. Obie były intensywnie rozwijane. Ich istnienie dostarczyło leśnikom prostych narzędzi do korzystania z leśnej mapy numerycznej, co w znaczącym stopniu przyczyniło się do wzrostu popularności GIS w leśnictwie. W zgodzie z duchem czasu i zmianami w SILP oraz SLMN powstały nowe przeglądarki: eLas oraz eLMapa.

7.2. ArcView i LEMAN – początek GIS dla nadleśnictw

Wydanie zarządzenia nr 23 pozwoliło na usystematyzowanie i ujednolicenie prac nad systemami informacji przestrzennej wdrażanymi w nadleśnictwach. BULiGL, główny wykonawca prac urzędniowych, opracowało na własne potrzeby aplikację LEMAN (LEśna MApa Numeryczna), która jest używana z sukcesem przez wiele lat do produkcji leśnych map numerycznych. Aplikacja ta, cały czas rozwijana, jest ważnym elementem ciągu technologicznego w BULiGL. Najnowszym jej wariantem jest wersja 3, która nie ma już wiele wspólnego ze swoim pierwowzorem z końca lat 90., cały czas jest aktualizowana i modernizowana. Pierwszy LEMAN był aplikacją opartą na środowisku ESRI ArcView 3.0, napisaną w języku programowania Avenue.

Główną zaletą tej aplikacji było zautomatyzowanie i zestandaryzowanie czynności wykonywanych przy budowie leśnej mapy numerycznej, głównie wektoryzacji, rozliczania powierzchni wydzielen leśnych, łączenia bazy geometrycznej z bazą opisową. Powstanie tego narzędzia było krokiem naprzód w technologii produkcji leśnej mapy numerycznej, przyspieszyło i ułatwiło pracę, polepszając jakość produktu. Oprogramowanie powstało w Zarządzie BULiGL. Z perspektywy czasu można stwierdzić, że



Ryc. 7.1. Środowisko LEMAN na platformie ArcView serii 3

efektem dodatkowym tego przedsięwzięcia było wykształcenie prężnej grupy fachowców, którzy później odegrali znaczącą rolę w dalszym rozwoju GIS i rozwiązań informatycznych jako pracownicy BULiGL czy innych firm (głównie Taxus SI sp. z o.o.).

Ideą przyświecającą tworzeniu mapy numerycznej było uzyskanie funkcjonalności usprawniającej pracę urzędników. Pierwsze lata budowy map temu właśnie były podporządkowane.

7.2.1. Podkład geodezyjny

7.2.1.1. Podkład ewidencyjnej mapy numerycznej

Doświadczenia BULiGL, poprzedzające wytyczenie ścieżki technologicznej, wskazywały na skanowanie i kalibrację rastrów map ewidencyjnych lub gospodarczych jako najefektywniejszy sposób zamiany map analogowych na wektorowe. Skanowanie wykonywane było u zewnętrznych wykonawców, specjalizujących się w skanowaniu obrazów wielkoformatowych na urządzeniach zapewniających utrzymanie odpowiednich parametrów na potrzeby geodezyjne. Kolejny etap, polegający na kalibrowaniu rastrów, realizowano w BULiGL. Najpopularniejszym rozwiązaniem było

oprogramowanie firmy Tessel: Raster Edit, a później Super Edit. Oprogramowanie to daje możliwość zastosowania różnych algorytmów kalibracji przy wykorzystaniu danych wektorowych punktów geodezyjnych. Obecnie kalibrację rastrów wykonuje się coraz częściej za pomocą oprogramowania ESRI ArcGIS serii 9.

Digitalizacja punktów geodezyjnych wykonywana była w różnych środowiskach programistycznych, takich jak LEMAN, EWMAPA, C-Geo czy GeoInfo. Związane to było z lokalnymi wymaganiami ośrodków geodezji i kartografii lub technologią, którą dysponowali wykonawcy map. Oprogramowanie zostało stworzone zgodnie z wymaganiami instrukcji urzędowania lasu i praktyką wykonywania prac. Założenie początkowe to budowa podkładu geodezyjnego, na który składały się warstwy punktów granicznych (graniczniki opisane na analogowych mapach gospodarczych oraz wykazy współrzędnych z zasobów ośrodków geodezyjnych), oddziałów leśnych (w praktyce działek geodezyjnych, przy wektoryzacji których dodawano atrybuty numeru oddziału i działki geodezyjnej) oraz wydziałów leśnych. Rozszerzenia te nosiły odpowiednio nazwy: LEMAN-Graniczniki, Oddziały, Pododdziały. W początkowej fazie tworzenia LMN była to najistotniejsza część robocza budowy podkładu do dalszych prac. Często część prac, dotyczącą warstw graniczników i oddziałów (działek geodezyjnych), realizowano w działach geodezji jako przygotowawcze prace geodezyjne, poprzedzające urządzenie nadleśnictwa. Warto podkreślić dużą świadomość leśników, która doprowadziła do stworzenia ewidencyjnych map numerycznych, przekazywanych do zasobu ośrodków geodezyjnych. Ewidencyjne mapy numeryczne powstawały np. w Oddziale BULiGL w Przemyślu, w środowisku EWMAPA. Na dalszych etapach prac automatycznie importowano dane do aplikacji LEMAN. Niestety, mimo wyraźnych korzyści płynących z utworzenia numerycznej mapy ewidencyjnej istniała kwestia formalna skutecznie ograniczająca opisaną ścieżkę. Nakłady na wykonanie ewidencyjnej mapy numerycznej, przekazywanej do zasobu, zbiegły się z cyklicznie pojawiającym się w Lasach Państwowych kryzysem finansowym, który wymusił znalezienie alternatywnej, tańszej ścieżki tworzenia map numerycznych w Lasach Państwowych.

7.2.1.2. Pierworys numeryczny mapy gospodarczej

Gospodarcza mapa numeryczna była tworzona według tej samej ścieżki, co ewidencyjna mapa numeryczna, z wyjątkiem przekazywania danych do ośrodków. W taki sposób powstała ogromna większość map numerycznych w nadleśnictwach. Wyprzedzenie ewidencji powszechnej pociągnęło za sobą rozbieżności między opracowaniami w ewidencji i lasach.

Opisując początki, należy uświadomić sobie trudności związane z jakością materiałów, którymi dysponowały Lasy Państwowe, przejmując

grunty Skarbu Państwa z takich jednostek, jak Agencja Własności Rolnej Skarbu Państwa czy Agencja Mienia Wojskowego. Część materiałów kartograficznych kończyła się na wypisach z ewidencji lub pochodziła z map tworzonych w lokalnych odwzorowaniach, utrudniających ich właściwą lokalizację na mapach numerycznych.

Skutkiem opisanej sytuacji są fragmenty map numerycznych, wpasowanych w sytuację map topograficznych w skali 1:10 000. Nie są to duże fragmenty map, jednak to one stały się solą w oku użytkowników i wykonawców map numerycznych w lasach.

7.2.2. Proces budowania LMN

7.2.2.1. Wektoryzacja sytuacji wewnętrznej

Po utworzeniu warstw graniczników i oddziałów leśnych kolejnymi elementami w procesie powstawania mapy numerycznej było wygenerowanie na podstawie skanów zaktualizowanej mapy gospodarczej warstw wydzieleń, elementów liniowych, wyłączeń nieliterowanych (luki, kępy itp.). Warstwy te wektoryzowano w utworzonych do tego celu osobnych rozszerzeniach do programu ArcView, pogrupowanych w grupy tematyczne. Obiekty powierzchniowe należały do elementów, których wektoryzacja została szybko opanowana przez większość operatorów. Najtrudniejsze było przygotowanie warstwy linii, która została zaprojektowana jako zbiór obiektów złożonych z trzech krawędzi. Taka konstrukcja wywodzi się ze sposobu rozumienia mapy jako papierowego wydruku, utrwalonego w urządzaniu lasu od ponad stu lat. Zastosowanie technik budowania mapy numerycznej miało na tym etapie dać narzędzia, które przede wszystkim sprostałyby wymogowi tworzenia w zautomatyzowany sposób wydruków map wyglądających tak, jak ich pierwowzory kreślone ręcznie. W tej kwestii panowała pełna zgodność zarówno wykonawców map, jak i ich odbiorców w Lasach Państwowych.

7.2.2.2. Rozliczanie powierzchni

Z punktu widzenia urządzania lasu kwestia rozliczenia powierzchni była zawsze problemem zasadniczym. Począwszy od ręcznej planimetracji powierzchni wydzieleń i elementów liniowych, istniał problem rozbieżności pomiędzy powierzchnią działek geodezyjnych a sumą powierzchni wydzieleń leśnych. Zastosowanie technik wektoryzacji i tworzenia map numerycznych nie rozwiązało tego problemu, okazało się bowiem, że pojawił się kolejny czynnik utrudniający rozliczenie powierzchni – różnica

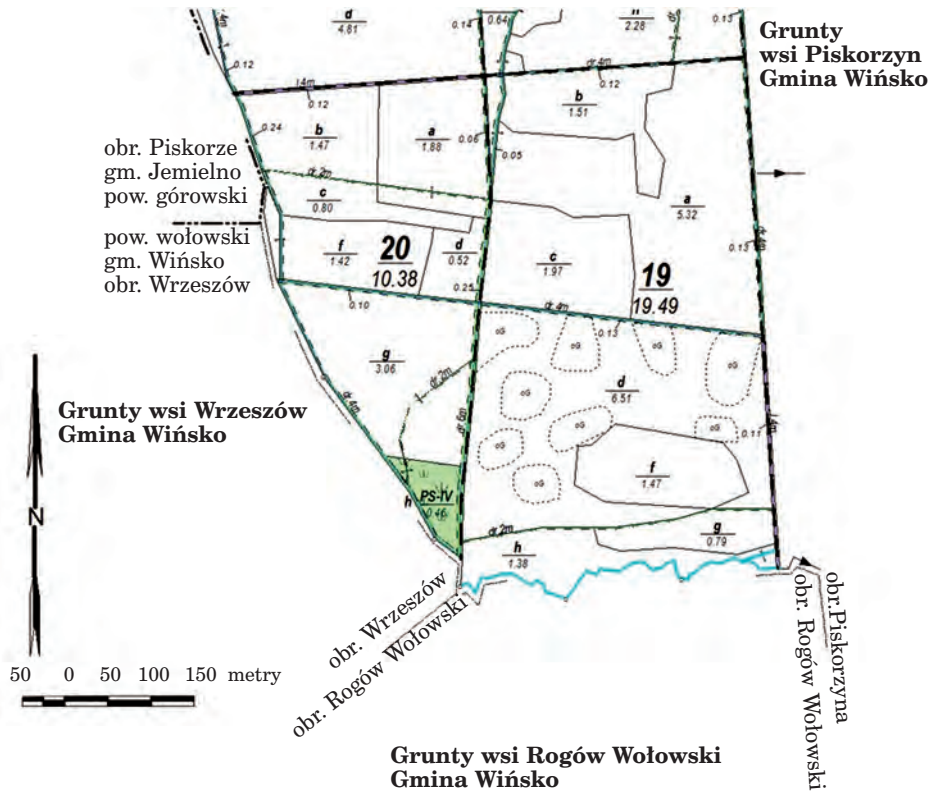
między powierzchnią ewidencyjną działki a powierzchnią geometryczną wektoryzowanego obiektu. Ponadto od obliczonej powierzchni geometrycznej wydzieleń należało odjąć powierzchnię elementów liniowych leżących na wydzieleniach. Ze względu na złożoność problemu rozliczania powierzchni konieczne było stworzenie osobnego narzędzia do zarządzania tym procesem. Aplikacja rozliczająca była rozbudowywana i udoskonalana przez długi czas. W trakcie zmian w procesie technologicznym zmieniono platformę informatyczną i język programowania, niemniej zasady rozliczania powierzchni bazują do dziś na założeniach z początkowych wersji LEMAN-a.

7.2.2.3. Mapa cięć

Plan cięć jest jednym z podstawowych elementów planu urządzenia lasu. Żmudna i złożona praca projektanta użytkownika rębnego i przedrębego została wspomozona narzędziami sięgającymi do bazy danych opisu taksacyjnego z graficzną wizualizacją danych dla drzewostanów potencjalnie typowanych do użytkowania. Dużym ułatwieniem było też powiązanie przedstawianych informacji z ostępami. Opracowane w BULiGL rozszerzenie cięcia (jeszcze w czasie trwania III rewizji urządzania lasu) było na tyle udanym projektem, że po odpowiednich modyfikacjach, związanych z wdrożeniem do użytkowania programu Taksator, nadal służy celom, do których zostało stworzone.

7.2.3. Redakcja map

Ostatnim etapem prac nad mapami leśnymi podczas przygotowywania planu urządzenia lasu jest ich redakcja kartograficzna. Rozszerzenie do środowiska ESRI ArcView, początkowo zwane LEMAN Mapy, a później LEMAN Wydruki, służy do dziś w BULiGL do tworzenia warstw opisowych i rysunkowych, koniecznych do wykonania kompozycji map do wydruków. Rozszerzenie zostało utworzone w sposób pozwalający na generowanie odpowiednich opisów i symboli oraz na automatyczne generowanie legend w zależności od skali, w jakiej przygotowana jest mapa. Ponadto sporządzane są automatycznie lub półautomatycznie zestawy danych do map tematycznych z zakresu instrukcji urządzania lasu. Podstawowa funkcjonalność, dostępna już w początkowych wersjach rozszerzenia LEMAN Mapy, dawała możliwość tworzenia map drzewostanowych i siedlisk. W miarę rozwoju oprogramowania dopracowano się szablony dla innych map tematycznych, osiągając pełną obsługę map z zakresu instrukcji urządzania lasu.



Ryc. 7.2. Fragment kompozycji mapy gospodarczej wykonanej w środowisku LEMAN

7.3. MapInfo oraz Mapan w leśnym GIS

Równoległą ścieżką GIS kroczyła prywatna firma Krameko z Krakowa, która – będąc wykonawcą prac urzędzeniowych – stworzyła własne dedykowane rozszerzenia w środowisku MapInfo. Efektem prac z mapą były oczywiście wydruki map i wsparcie procesu technologicznego w opracowywaniu planu urządzenia lasu. Alternatywna ścieżka pozostawała przez długi czas warsztatem tworzenia opracowań GIS w Krameko. Pochodną MapInfo, obecną w nadleśnictwach, była przeglądarka map numerycznych Mapan, powstała jako narzędzie do obsługi map numerycznych. Należy podkreślić jej konkurencyjność i zasługi dla rozwoju rynku przeglądarek map leśnych. Ponadto wykonywała pewne funkcje, których brakowało w przeglądarce Mapnik, stworzonej przez firmę Taxus SI i rozwijanej we współpracy z BULiGL. Wielu leśników doceniło jej zalety w ob-

słudze mapy dla poziomu nadleśnictwa. Po wprowadzeniu Standardu Leśnej Mapy Numerycznej Mapan był nadal jedną z dwóch czołowych aplikacji na rynku przeglądarek leśnych.

7.4. Powstanie i zmiany Standardu Leśnej Mapy Numerycznej

Uwieńczeniem wysiłków wielu osób zaangażowanych w tworzenie leśnego GIS było opracowanie Standardu Leśnej Mapy Numerycznej, który został wprowadzony do stosowania w Lasach Państwowych zarządzeniem Dyrektora Generalnego LP nr 74 z dnia 23 sierpnia 2001 r. Kilka lat później stał się częścią instrukcji urządzania lasu IV rewizji. Od tego momentu wszystkie nowo budowane mapy musiały mieć identyczną strukturę i spełniać zdefiniowane w SLMN normy.

W stosunku do wytycznych sformułowanych w zarządzeniu nr 23 standard wprowadził określone wymagania techniczne.

W zarządzeniu nr 23 z 18 maja 1998 r. podano informację o decyzji dotyczącej prac nad stworzeniem Standardu Leśnej Mapy Numerycznej. Zarządzenie zawierało następujące wytyczne:

- mapa będzie wykonana na bazie map gospodarczych 1:5000 (przy wykorzystaniu współrzędnych geodezyjnych, o ile są dostępne, i skali-browanych rastrów map topograficznych);
- układ współrzędnych geodezyjnych 1965;
- nie precyzuje się formatu danych, lecz zakłada wniesienie odpowiedniej wymiarowości (punkt, linia, poligon) oraz odpowiednich atrybutów (adres leśny, szerokość i rodzaj elementów o charakterze liniowym, kody obiektów);
- dopuszcza się uzgodnienie między wykonawcą a zlecającym zakresu, w jakim mapa będzie wykonana.

Standard, opublikowany w zarządzeniu nr 74, wniósł istotne zmiany w wymaganiach stawianych mapie numerycznej. Po pierwsze, stała się ona obligatoryjna i musiała zawierać dane ściśle określone w załącznikach do zarządzenia:

- podkład mapy to obligatoryjnie istniejąca w państwowej ewidencji mapa numeryczna; w przypadku braku takiej mapy podkład buduje się na podstawie współrzędnych punktów geodezyjnych i skalibrowanych rastrów map gospodarczych;
- układ współrzędnych geodezyjnych 1992,
- format danych w postaci plików ESRI Shapefile wraz z opisanymi dla każdej warstwy mapy atrybutami oraz kodami zamieszczonymi w słownikach dla leśnej mapy numerycznej;
- podział warstw mapy na obligatoryjne i fakultatywne.

Zarządzenie nr 23 dawało możliwość tworzenia obiektów geometrycznych, obrazujących obszary w całym zasięgu nadleśnictwa, ale w praktyce często tworzone je tylko dla gruntów w zarządzie LP. Zarządzenie nr 74 spowodowało konieczność dobudowania obiektów geometrycznych reprezentujących grunty w zasięgu nadleśnictwa we wszystkich warstwach obligatoryjnych.

Pierwsze leśne mapy numeryczne, utworzone wcześniej zgodnie z wytycznymi zawartymi w zarządzeniu nr 23, podlegały powszechnej akcji dostosowania do SLMN. Pojawiły się bardzo istotne zagadnienia techniczne, o których nie było mowy we wcześniejszych opracowaniach. Istniejące mapy numeryczne charakteryzowały się dużymi odstępstwami od wymagań SLMN. Strażnikiem zgodności z SLMN stała się aplikacja kontrolna LMN, używana przez Lasy Państwowe przy odbiorach prac. Na poziomie regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych techniczną i merytoryczną zgodność przekazywanych warstw mapy numerycznej z SLMN sprawdzały zespoły specjalistów.

Pierwsze mapy cierpiały na choroby wieku młodzieńczego wszelkich opracowań informatycznych. Największą bolączką były błędy topologii warstw poligonowych oraz liniowych. Mankamentem były też kłopoty związane z brakiem spójności między warstwami, problemem zaś bez końca pozostawało uzgadnianie granic pomiędzy nadleśnictwami. Standard mapy, oparty na obiektach podstawowych, spowodował konieczność uzupełnienia istniejących map o obiekty w zasięgu terytorialnym nadleśnictwa, często nie przygotowywane poprzednio.

Na bazie wymagań SLMN powstawały kolejne opracowania, dostosowujące istniejące mapy do SLMN. Wśród głównych wykonawców prac dostosowawczych znaleźli się: BULiGL, Krameko, Taxus SI, SmallGIS. Niewielka część map została dostosowana przez mniejsze firmy prywatne. Wkład wymienionych firm w proces budowania GIS dla lasów jest istotny, ponieważ zaowocował wyłonieniem się nowej gałęzi poza dostosowywaniem do SLMN, mianowicie oprogramowania do aktualizacji LMN. Lasy Państwowe wyposażyły się w wymagany standardem pakiet programów: do kontrolowania poprawności mapy (Kontrola LMN), do konwersji formatu zapisu danych geometrycznych i transformacji między układami współrzędnych (TraKo) oraz w aplikację do aktualizacji mapy (Aktualizator LMN). Były to aplikacje wciąż obciążone na etapie wdrożenia licznymi usterkami, które w wielu wypadkach nie zostały usunięte do dziś (zwłaszcza dotyczy to Aktualizatora LMN), niezbyt przyjazne w użytkowaniu. Można zaryzykować twierdzenie, że ich niedostateczna przyjazność dla szeregowego użytkownika w nadleśnictwie (zwłaszcza aplikacji Aktualizator LMN) wpłynęła w pewnym stopniu na ograniczone stosowanie leśnej mapy numerycznej w administracji leśnej. Zautomatyzowana kontrola leśnej mapy numerycznej na etapie odbioru z pewnością przyczyniła się do poprawienia jakości map przekazywanych do nadleśnictw, mimo dyskomfortu, który mogli odczuwać ich wykonawcy. Wraz z ograniczonymi

możliwościami w stosunku do aplikacji ArcView czy MapInfo wszystko to umożliwiło rozwój usług z zakresu aktualizacji map w firmach zewnętrznych.

7.5. Aktualizacja mapy

Mapa przekazana do użytkowania w nadleśnictwie była zgodna z bazą opisu taksacyjnego tylko po zainstalowaniu nowej bazy opisu taksacyjnego na początku obowiązywania planu urządzenia lasu w nadleśnictwie. W toku prac podczas realizacji planu, których skutkiem były podziały wydziełów, powstawanie nowych obiektów nie stanowiących wydziełów lub inne działania odwołujące się do obiektów występujących w bazie i na mapie, istniała konieczność aktualizacji leśnej mapy numerycznej nadleśnictwa. Ze względu na nowość, którą były aktualizacja i problemy techniczne opisane wcześniej, leśne mapy numeryczne w nadleśnictwach były aktualizowane najczęściej przez ich pierwotnych wykonawców, w mniejszym zaś wymiarze przez inne firmy zewnętrzne. Tylko nieliczne nadleśnictwa decydowały się na samodzielną aktualizację. Natomiast prace terenowe związane z aktualizacją mapy wykonywane były najczęściej siłami własnymi nadleśnictw.

W BULiGL dostosowano narzędzia aplikacji LEMAN do korzystania z zestawu tablic importowanych z bazy SILP i aktualizowano mapy na podstawie materiałów dostarczonych z nadleśnictw. Aktualizacja za pomocą narzędzi służących do budowy mapy dawała dobre efekty przy założeniu jej okresowego wykonywania. Praktycznie dopracowano się modelu aktualizowania raz w roku, po aktualizacji bazy SILP.

Bardzo ciekawym oprogramowaniem, które odebrano z dużym zainteresowaniem w nadleśnictwach, okazało się rozszerzenie SprintMap firmy SmallGIS dla platformy ArcGIS. Sprzężenie mapy z danymi bazy SILP pozwoliło aktualizować mapę w sposób efektywny. Uzupełnieniem oferty były szkolenia dla pracowników Lasów Państwowych, które poprawiły skuteczność wykorzystania leśnej mapy numerycznej.

Trudności, z którymi borykały się nadleśnictwa, należą dziś już w znacznym stopniu do przeszłości, ponieważ brak narzędzi do kalibracji zaktualizowanego podkładu mapowego został w uproszczony sposób rozwiązany w aplikacji Aktualizator LMN. Również wielu operatorów w nadleśnictwach zostało wyposażonych w specjalistyczne oprogramowanie do edycji map numerycznych, np. w pakiety ArcGIS z odpowiednimi rozszerzeniami.

7.6. Zasadnicze zmiany w procesie budowania LMN nadleśnictwa

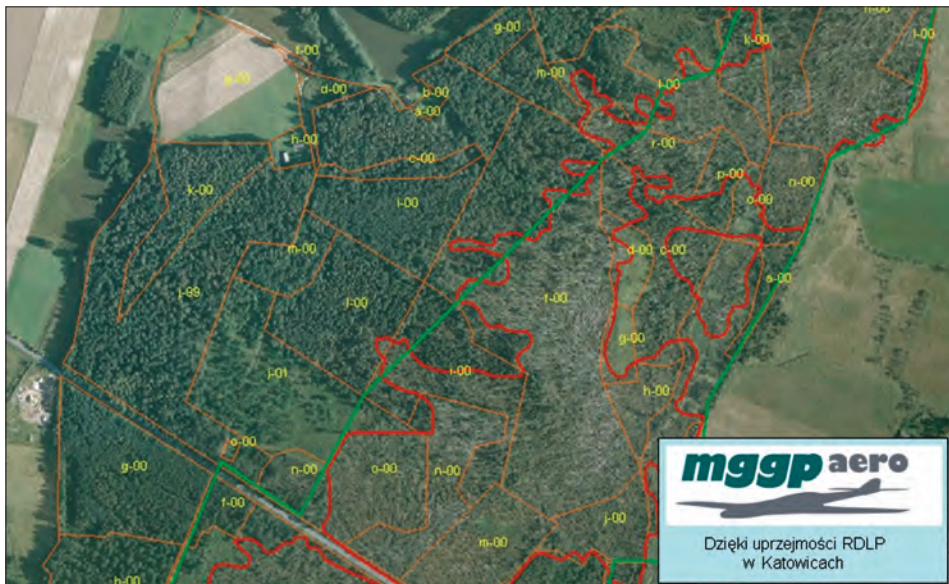
7.6.1. Zmiany w treści SLMN i ewolucja procesu odbierania mapy

Pierwsze poprawki do Standardu LMN dotyczyły rodzaju i nazewnictwa warstw numerycznych oraz ich atrybutów. Powodem zmian było m.in. pojawienie się nowej „Instrukcji urządzania lasu” w 2003 r., która wymusiła zdefiniowanie w SLMN warstw osobliwości przyrodniczych punktowych i powierzchniowych, mających już odzwierciedlenie w bazie danych SILP. Ponadto modyfikacje słowników obiektów istniejących w SLMN zmieniły podejście do niektórych z nich. Przykładem może być obiekt typu „most”, początkowo umieszczany w warstwie innych obiektów punktowych, a obecnie traktowany jako obiekt liniowy. Również kod rośliny chronionej w sposób naturalny przeszedł z innych obiektów punktowych do osobliwości przyrodniczych.

Ponieważ w polskim leśnictwie od lat 90. przyjęto koncepcję wykonywania prac urzędzeniowych przez podmioty spoza Lasów Państwowych, regionalne dyrekcje LP musiały ustalić procedury i sposoby kontroli przekazywanego im materiału, w tym map numerycznych. Początkowo wykonawca i odbierający koncentrowali się niemal wyłącznie na stronie technicznej opracowania. Poprawność geometryczna, układ współrzędnych, zastosowane kody były podstawowymi kontrolowanymi parametrami. Później doświadczenie obu stron i sprawność aplikacji kontrolujących poprawność wymienionych elementów sprawiły, że główny ciężar kontroli i odbioru przeniósł się na zawartość merytoryczną mapy. Śmiało można powiedzieć, że w związku z tą ewolucją jakość merytoryczna map w bardzo istotnym stopniu wzrosła.

7.6.2. Ortofotomapa

Już podczas wykonywania pierwszych map numerycznych wykorzystywano dostępne ortofotomapy lub fotomapy. Dopiero jednak od 2004 r. można mówić o znacznie zwiększonych zakupach przy okazji prac urzędzeniowych. Zastosowanie ortofotomap było kolejnym krokiem milowym w podnoszeniu jakości wykonywanych lub aktualizowanych map. Na początku sprawdzano położenie kompleksów leśnych oraz zgodność przebiegu podziału powierzchniowego. Najważniejszą cechą okazała się aktualność ortofotomap. Najlepszą opcją jest pozyskanie zdjęć wykonanych tuż przed pracami urzędzeniowymi. Taki materiał znakomicie podnosi jakość inwentaryzacji i precyzyjnego oddania sytuacji na gruncie.



Ryc. 7.3. FOTOSZKIC USZKODZONYCH DRZEWOSTANÓW PO PRZEJŚCIU HURAGANU

Nieoceniona jest ortofotomapa (nawet mniej precyzyjny fotoszkieł) w sytuacjach kryzysowych. Na ryc. 7.3 widzimy fotoszkieł wykonany w ok. 10 dni po huraganie, który nawiedził w 2007 r. lasy RDLP Katowice. Kolorem zielonym przedstawiono szacunkową granicę wyrwanych drzewostanów, wyznaczoną bez materiału lotniczego, a czerwonym – uszczegółowienie granicy dzięki fotoszkiełowi.

7.6.3. Pomiary GPS

Równoległe ze stosowaniem ortofotomap zaczęto wykorzystywać odbiorniki GPS. Początki jak zwykle były skromne, ale dziś śmiało można powiedzieć, że każdy taksator używa GPS do weryfikacji granic wydziałów, kształtu luk i gniazd, położenia obiektów punktowych, takich jak pomniki przyrody, stanowiska osobliwości przyrodniczych, lub innych elementów opisanych w programie ochrony przyrody. Pomiary GPS są szczególnie cenne dla fragmentów terenu, które są rozbieżne między podkładem ewidencyjnym a ortofotomapą, jako wskazówka do dalszych działań wspierających podnoszenie dokładności i jakości opracowania. Jeżeli nie mamy aktualnej ortofotomapy, a tak dziś najczęściej bywa, pomiary GPS mogą być przy aktualizacji map nieocenionym sprzymierzeńcem. Rozwiązania techniczne stosowane do realizacji tych zadań są bardzo zróżnicowa-

ne, ale śmiało można dziś mówić o zadowalającej dokładności prac – oczywiście po odpowiednim przeszkoleniu wykonawców.

7.6.4. Wprowadzenie nowych rozwiązań technologicznych opartych na środowisku ArcGIS

Etap budowania pierwszych map w BULiGL można nazwać erą ArcView serii 3, natomiast obecnie należałoby mówić o linii ArcGIS serii 9. W związku z zakończeniem procesu budowy leśnej mapy numerycznej w Lasach Państwowych na obszarze całego kraju, wykonywane obecnie prace urządzeniowe bazują na materiałach zarówno opisowych, jak i graficznych aktualizowanych w nadleśnictwach. Warstwy mapy podlegają raczej kompleksowej aktualizacji, w mniejszym stopniu budowie od podstaw, dlatego rozwój oprogramowania LEMAN podąża w kierunku nowych rozwiązań, wspierających zastosowania kartograficzne, a także w stronę wydruku załączników mapowych w planie urządzenia lasu. Dzięki trwającemu już ponad 10 lat rozwojowi narzędzi można stwierdzić, że strona techniczna jest już bardzo dobrze opanowana przez wykonawców, przez co proces tworzenia nowej mapy stał się bardziej merytoryczny.

7.7. Podsumowanie

Doświadczenie wielu lat, zarówno wykonawców planów urządzenia lasu, jak i specjalistów w Lasach Państwowych, doprowadziło do wypracowania bardzo przyzwoitego standardu wykonywania leśnych map numerycznych oraz szerokiego ich wykorzystywania w procesie zarządzania Lasami Państwowymi. Docenione to zostało także przez leśników spoza granic Polski.

Mimo wszystko kilka niedogodności i rozbieżności pozostało. Nadal na mapach niektórych nadleśnictw obecne są niepoprawione zaległości po wdrożeniu uaktualnień do SLMN, takie jak np. możliwość przypisania tej samej informacji w różnych warstwach (np. rośliny chronione w osobliwościach przyrodniczych lub innych obiektach punktowych), czy pewne niedoskonałości w słownikach obiektów bazy SILP, utrudniające zamieszczenie na mapie nietypowych obiektów.

Najistotniejszą w tej chwili kwestią pozostaje integracja map na wyższym poziomie niż nadleśnictwo. Zasadniczą sprawą wydaje się rozwiązanie tego problemu w trwających obecnie pracach związanych z centralizacją bazy SILP. Również niewątpliwy sukces, którym jest istnienie w skali

całego kraju mapy numerycznej dla Lasów Państwowych, też okazuje się kłopotem podczas integracji z geodezją powszechną, która dopiero dogania GIS w LP. Problem uzgadniania obiektów między opracowaniami już nas dotyka, jednak skuteczny sposób jego rozwiązania wciąż jest przed nami.

8.

Baza opisowa w leśnej mapie numerycznej

mgr inż. ADAM KONIECZNY – Taxus SI sp. z o.o.

8.1. Różne formy opisowej bazy danych

Baza geometryczna (zwana też bazą geograficzną) jest cyfrowym odzwierciedleniem mapy, tzn. każdy obiekt na mapie jest zakodowany w postaci zbioru znaków i cyfr. Obiekty punktowe, liniowe i powierzchniowe, prezentowane na mapie, mają oprócz określonych współrzędnych definiujących ich lokalizację i kształt również pewne cechy opisowe, jakościowe i ilościowe, określane mianem atrybutów. To właśnie zestaw tych cech tworzy opisową bazę danych. Sposób ich zorganizowania, przechowywania i połączenia z obiektami geometrycznymi bywa bardzo różny.

Najprostszą postacią bazy opisowej jest bezpośrednio przypisanie atrybutów obiektom geometrycznym na etapie definiowania struktury tych danych. Atrybuty te stają się wówczas integralnym elementem geometrii, są wprowadzane i modyfikowane zwykle wraz z edycją obiektów geometrycznych. Taka formuła dotyczy raczej małego zestawu atrybutów, związanych bezpośrednio z opisywanym obiektem, takich jak nazwa lub kod obiektu, identyfikator numeryczny, dane topologiczne obiektu lub też charakterystyka pola, w jakim obiekt jest przechowywany.

W praktyce każdy z trzech podstawowych komponentów geograficznej bazy danych (lokalizacja przestrzenna, lokalizacja topologiczna oraz atrybuty) występuje w postaci odrębnych tablic lub plików; łączy je tylko identyfikator.

Inna postać bazy opisowej to baza stanowiąca podstawę większego systemu informatycznego, działającego, w sensie technicznym, niezależnie od

systemu informacji przestrzennej. Mogą to być różnej wielkości i różnego przeznaczenia systemy wspierające zarządzanie przedsiębiorstwem, hurtownie danych, systemy wspomaganie decyzji. W większości takich baz duża część gromadzonych danych ma charakter przestrzenny. Ze względu jednak na specyfikę tych systemów i różny czas ich powstawania bazy te nie przechowują obiektów geometrycznych; pod względem logicznym istnieje możliwość połączenia zawartych tam danych z bazą geograficzną. Taka sytuacja istniała przez wiele lat w Lasach Państwowych, gdzie baza danych systemu LAS stanowiła znakomitą pod względem bogactwa i aktualności gromadzonych w niej danych bazę opisową dla systemu informacji przestrzennej. Większość danych w tej bazie ma charakter przestrzenny. Wszystkie informacje odnoszące się do adresu leśnego bezpośrednio lub pośrednio (np. poprzez pozycję planu) można w sposób graficzny pokazać na mapie. Pod względem logicznym nie ma tu żadnych przeszkód. Od strony technicznej konieczne są jednak rozwiązania pozwalające na łączenie danych pochodzących z dwóch różnych baz, zarządzanych przez różne systemy bazodanowe, a często działających w środowisku innego systemu operacyjnego. Na szczęście łączenie danych przestrzennych z opisowymi to nie jedyne miejsce, gdzie tego typu integracja różnych technicznie rozwiązań staje się niezbędna. Po pierwszym etapie budowania różnych systemów informatycznych w oderwaniu od całego systemu informacyjnego przedsiębiorstw nadchodził zwykle czas integrowania istniejących baz w jedną logiczną całość. Powstały odpowiednie standardy i narzędzia informatyczne, pozwalające na komunikowanie się bardzo odległych technologicznie systemów.

Ostatnia postać bazy opisowej to część generalnej bazy danych, w której przechowywane są zarówno dane o charakterze opisowym, jak i dane geometryczne. Ze względu na możliwość przechowywania i zarządzania obiektami geometrycznymi może ona nosić nazwę przestrzennej bazy danych lub geobazy. Jest to na ogół rozwiązanie rozbudowane, w którym jedna centralna baza danych (lub raczej jeden system zarządzania bazą, bo baz może być wiele i w różnych lokalizacjach) udostępnia dane różnym aplikacjom, w tym aplikacjom obsługującym dane przestrzenne. Jest to zdecydowanie najlepsza forma integrowania danych opisowych z danymi geometrycznymi ze względu na wydajność połączeń, możliwość utrzymania spójności i aktualności danych i wykorzystania jednolitych, zaawansowanych technologicznie mechanizmów zarządzania danymi w bazie w odniesieniu zarówno do danych opisowych, jak i geometrycznych.

Jest to rozwiązanie obecnie wdrażane w Lasach Państwowych w ramach projektu tzw. centralizacji baz danych.

8.2. Baza danych i system zarządzania bazą danych

Najprostsza definicja bazy danych mówi, że jest to zbiór danych uporządkowanych w określony sposób. W myśl takiej formuły bazą danych może być książka telefoniczna, elaborat z opisami taksacyjnymi czy plik wykazów odbiorczych drewna. Jest to prawda, mówiąc jednak o bazie danych, mamy na myśli zwykle cyfrowy zapis danych, a więc zbiory danych znajdujące się w komputerze.

Skomputeryzowana baza danych to kolekcja powiązanych danych, przechowywanych wspólnie z uwzględnieniem kontroli redundancji (nadmiarowości), udostępnianych jednej lub wielu aplikacjom. Dane są przechowywane w taki sposób, że są one niezależne od aplikacji, które na nich działają, a wspólny interfejs jest wykorzystywany do wprowadzania nowych danych oraz modyfikacji i pobierania istniejących.

Dane są surowymi faktami i obserwacjami, które są zapisane w bazie. Mają one małą wartość, jeśli brak im struktury, kontekstu i powiązania.

Informacja to rezultat analizy przeprowadzonej na danych. Zwykle dane powinny być uporządkowane, zsumowane lub zredukowane, aby mogły być przedstawione w sposób czytelny i łatwy do interpretacji.

W praktyce baza danych identyfikowana jest z kompletnym produktem informatycznym, określanym jako system zarządzania bazą danych (Database Management System – DBMS). DBMS jest to program komputerowy, ułatwiający zarządzanie bazą danych.

Podstawowe funkcje, które powinien spełniać taki system, to:

- tworzenie, modyfikacja i usuwanie struktur danych w bazie. DBMS powinien mieć mechanizm pozwalający na tworzenie definicji pól, rekordów i struktury zbiorów niezbędnej do przechowywania danych;
- dodawanie, modyfikacja i usuwanie rekordów (wierszy) z tabel bazy danych;
- pobieranie informacji z bazy. DBMS powinien być wyposażony w mechanizm wydobywania danych w formie odpowiedniej dla osób podejmujących decyzje;
- zarządzanie bezpieczeństwem i integralnością danych. Obsługa transakcji. Tworzenie i odtwarzanie kopii bezpieczeństwa;
- tworzenie aplikacji. Większość DBMS ma własne języki programowania, pozwalające na tworzenie aplikacji automatyzujących.

Obecnie większość systemów operujących na danych wykorzystuje bazy danych. Na pewnym etapie rozwoju systemów informatycznych bazy danych konkurowały z rozwiązaniami opartymi na plikach danych, które mogły być obsługiwane wyłącznie z poziomu specjalistycznych aplikacji. Szczególnie w pakietach oprogramowania GIS dominował ten drugi kierunek. Na ogół każdy program obsługiwał własny format plików przechowy-

jących dane geometryczne. Wykorzystanie baz danych do przechowywania obiektów geometrycznych to kierunek zyskujący coraz więcej zwolenników. Zalety baz danych, które przesądziły o ich powszechnym stosowaniu, to:

- redukcja redundancji (powielania) danych,
- zachowanie integralności danych,
- niezależność danych,
- bezpieczeństwo danych,
- efektywne zarządzanie.

8.3. Typy baz danych

Baza danych może być zorganizowana w różny sposób. Najbardziej rozpowszechnionym dzisiaj modelem baz danych jest model relacyjny. Nie jest to jednak jedyny znany model bazy danych. W historii DBMS (od 1970 r.) opracowano następujące typy implementacyjnych modeli baz danych:

- hierarchiczny,
- sieciowy,
- relacyjny,
- obiektowy,
- obiektowo-relacyjny.

W dalszej części rozdziału przedstawiono wszystkie te modele, przy czym dwóm pierwszym poświęcono najmniej uwagi ze względu na ich raczej historyczne już znaczenie. Zrozumienie sposobu zorganizowania baz relacyjnej i obiektowej oraz ich połączenia w jedną bazę relacyjno-obiektową pozwala poznać zasady funkcjonowania geobazy, najbardziej przyszłościowej technologii tworzenia rozbudowanych systemów informacji przestrzennej.

8.3.1. Model hierarchiczny

W modelu hierarchicznym dane mają strukturę, którą można najprościej opisać jako odwrócone drzewo. Jedna z tabel pełni rolę „korzenia”, a pozostałe mają postać „gałęzi”, biorących swój początek w „korzeniu”. Relacje są tutaj reprezentowane w kategoriach ojciec – syn. Oznacza to, że tabela-ojciec może być powiązana z wieloma tabelami-synami, lecz pojedynczy syn może mieć tylko jednego ojca. Tabele mogą być powiązane jawnie, przez wskaźniki lub przez fizyczną organizację rekordów wewnątrz tabel. Aby uzyskać dostęp do danych w modelu hierarchicznym, użytkownik zaczyna od „korzenia” i przeszukuje całe drzewo danych aż do interesującego go miejsca.

Zaletą takiego modelu bazy jest dość duża szybkość działania, gdyż poszczególne tabele są ze sobą bezpośrednio powiązane. Jednak sztywny układ hierarchiczny był niewygodny przy obsłudze bardziej skomplikowanych zależności i często powodował powstawanie nadmiarowych danych.

Hierarchiczny model bazy danych był z powodzeniem stosowany w systemach zapisu taśmowego. Na przykład w nieistniejącym już Centrum Informatyki Rolnictwa i Leśnictwa (ROLKOM) w takiej strukturze przechowywane były dane tzw. Banku Danych.

8.3.2. Model sieciowy

Sieciowy model bazy danych został stworzony głównie w celu rozwiązania problemów z modelem hierarchicznym. Tutaj, podobnie jak poprzednio, strukturę bazy możemy sobie wyobrazić jako odwrócone drzewo. Różnica polega jednak na tym, że w wypadku modelu sieciowego kilka drzew może mieć wspólne rozgałęzienia i tworzyć sieć powiązań, a każde drzewo stanowi część ogólnej struktury bazy danych.

Relacje w modelu sieciowym są realizowane poprzez kolekcje – konstrukcje, które łączą dwie tabele przez przypisanie jednej z nich roli właściciela, a drugiej członka. Dużym postępem w stosunku do modelu hierarchicznego jest to, że między dwiema tabelami można zdefiniować dowolną liczbę powiązań, a każda tabela może wchodzić w skład wielu różnych kolekcji (tabela-członek może mieć więcej niż jedną tabelę-właściciela). Również sposób przeszukiwania danych jest wygodniejszy – można rozpocząć od dowolnej tabeli, a następnie poruszać się w górę lub w dół po tabelach z nią powiązanych. Natomiast sporą wadą tego rozwiązania jest fakt, że baza danych nie może funkcjonować bez obsługujących ją programów, gdyż wspomniane kolekcje są strukturami niejawnymi – definiowanymi wewnątrz aplikacji.

8.3.3. Model relacyjny

Relacyjny model danych został opracowany przez dr. E.F. Codda, badacza zatrudnionego przez firmę IBM. W lipcu 1970 r. opublikował on dzieło swojego życia, zatytułowane „Relacyjny model logiczny dla dużych banków danych”.

Pojęcie relacji pochodzi z matematyki, a konkretnie z teorii mnogości, ponieważ założenia relacyjnego modelu baz danych są oparte na zasadach matematycznych.

W modelu relacyjnym dane przechowuje się w tabelach, każda tabela składa się z rekordów oraz pól. Fizyczna kolejność pól i rekordów w tabe-

li jest całkowicie bez znaczenia. Każdy rekord jest wyróżniany przez pole (lub zestaw pól) zawierające unikatową wartość (klucz podstawowy). Ta cecha umożliwia egzystencję danych niezależnie od sposobu, w jaki przechowuje je komputer. Innymi słowy, użytkownik nie musi znać fizycznego położenia rekordu, który chce odczytać. To odróżnia relacyjny model danych od modeli hierarchicznego i sieciowego, gdzie bardzo duży nacisk kładziono na struktury, których rozmieszczenie użytkownik musiał opinać, by móc odczytać interesujące go dane.

Podstawową strukturą relacyjnej bazy danych jest tabela. Wszystkie tabele składają się z wierszy i kolumn, czyli rekordów i pól. Pola są wykorzystywane do przechowywania jednostkowych danych, a każde z nich reprezentuje pewną cechę tematu tabeli. Rekord składa się z pełnego zestawu pól tabeli, niezależnie od tego, czy pola te zawierają jakieś wartości, czy nie.

Jak już wspomniano, każdy rekord powinien być identyfikowany na podstawie pola (lub zestawu pól), zwanego kluczem podstawowym. Innym rodzajem klucza jest klucz obcy. Jest to pole zawierające wartości klucza podstawowego z innej tabeli i służące do tworzenia relacji. Dla niektórych tabel klucz złożony z „naturalnych” atrybutów może być na tyle niepraktyczny, że wygodniej jest przypisać jej dodatkowy atrybut identyfikujący, który nazywa się kluczem sztucznym. W bazie systemu LAS takim kluczem sztucznym dla wydzielenia jest tzw. numer wewnętrzny, tzn. numer kolejny generowany przez komputer.

Relacją nazywamy powiązanie pomiędzy parą tabel. Istnieje ona wtedy, gdy dwie tabele są połączone przez klucz podstawowy i klucz obcy.

Aby lepiej zrozumieć zasadę funkcjonowania relacji, można wyobrazić sobie potrzebę zapisania w bazie danych kilku podstawowych informacji opisujących drzewostan: adres leśny, powierzchnię, typ siedliskowy oraz listę gatunków z udziałem, bonitacją i zasobnością.

Dokument źródłowy (formularz) do zapisania takich informacji wyglądałby zapewne tak jak większość tego typu dokumentów, tzn. składałby się z główki zawierającej informacje ogólne – adres, powierzchnia, typ siedliskowy – oraz z listy gatunków. Każdy wiersz listy zawierałby informacje: gatunek, udział, bonitacja, zasobność.

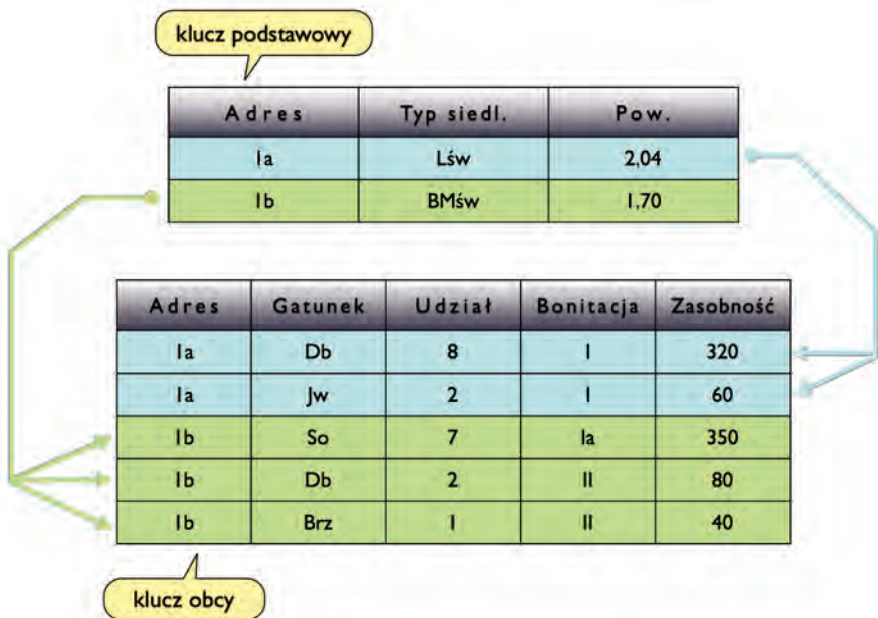
Tabela w relacyjnej bazie danych ma strukturę stałą, tzn. każdy wiersz tabeli (rekord) ma taki sam zestaw pól. Nie ma więc możliwości wpisania jednego wiersza z informacjami pochodzącymi z główki dokumentu, a kolejnych wierszy – z listy gatunków. Można by zbudować tabelę, w której każdy rekord składałby się z pól pochodzących z główki oraz pól z tabeli. Jednak w takiej sytuacji trzeba by w każdym wierszu opisującym gatunek powtarzać te same informacje z główki dokumentu.

Rozwiązaniem tego problemu jest zapisanie informacji pochodzących z główki do jednej tabeli, a informacji pochodzących z listy gatunków – do drugiej. Powstaną więc dwie tabele – pierwsza z listą główek (wydzielenie) i druga z listą gatunków (gatunek). W pierwszej chwili wydaje się to nie-

logiczne, bo rozdzielane są informacje, które tworzą przecież jeden dokument – opis jednego drzewostanu. Informacje te powiązane są jednak na powrót za pomocą relacji.

Relacja ta powinna wiązać jeden wiersz z tabeli główek z kilkoma wierszami z tabeli gatunków. Będzie to więc relacja typu jeden do wielu. Aby pomiędzy tabelami zaistniała relacja, w obydwu tabelach muszą istnieć pola zawierające tę samą wartość. W tym celu w tabeli nadrzędnej (wydzielenie) musimy określić klucz podstawowy. W tym wypadku może to być adres leśny. W tabeli podrzędnej musi się więc pojawić klucz obcy – będzie to również pole „adres leśny”. Każdy rekord tabeli „gatunek” otrzyma więc dodatkowo pole „adres leśny”, poprzez które zostanie powiązany z tabelą „wydzielenie”. Klucz obcy nie musi zawierać wartości unikatowej – każdy gatunek z tego samego wydzielenia będzie miał taki sam adres.

Wykorzystując tę prostą zasadę pokazaną w przykładzie, tworzy się bardzo rozbudowane struktury danych. Zarządzane są one przez systemy zapewniające wydajność i bezpieczeństwo danych.



Ryc. 8.1. Struktura tabeli relacyjnej bazy danych

W 1985 r. dr E.F. Codd opublikował 12 reguł, które definiują idealną relacyjną bazę danych. Warto je przytoczyć, gdyż pozwalają na lepsze zrozumienie funkcjonalności i zasad konstruowania relacyjnych baz danych:

1. Wszystkie dane w bazie są reprezentowane tylko w jeden sposób w postaci wartości zapisanej w kolumnie i wierszu tabeli.
2. Dostęp do danych jest jednoznaczny. Osiąga się to poprzez połączenie nazwy tabeli, wartości klucza głównego (PK) i nazwy kolumny.
3. Określone pole może pozostać puste. Wiąże się to z obsługą wartości pustych (null), które należy odróżnić od pustego ciągu znaków (ciągu znaków, który nie ma żadnej litery) lub wartości 0 w polu numerycznym.
4. Opierając się na modelu relacyjnym, baza danych zapewnia dostęp do informacji o własnej strukturze w ten sam sposób, jak do przechowywanych danych. Realizuje się to poprzez zestaw dodatkowych, systemowych tabel, przechowujących informację o strukturze bazy (definicje tabel, indeksów, wbudowanych procedur itp.). Dostęp do tych tabel odbywa się w identyczny sposób, jak do tabel „roboczych”, przechowujących dane. W wypadku przechowywania danych geometrycznych zestaw tabel jest rozszerzony o nowe tabele definiujące rodzaj wymiarowości, pola przechowujące geometrię, georeferencję itp.
5. Baza danych ma jasno zdefiniowany język programowania, obsługujący taką funkcjonalność, jak definiowanie danych, manipulowanie danymi, integrowanie danych, obsługa transakcji itp. Wszystkie relacyjne bazy danych używają implementacji języka SQL jako narzędzia obsługi bazy danych. Rozszerzenie funkcjonalności bazy danych o możliwość przechowywania geometrii zwiększa też możliwości języka SQL o funkcje pozwalające operować na danych o charakterze przestrzennym.
6. Dane mogą być prezentowane użytkownikowi w postaci logicznej kombinacji zestawu pól z jednej lub kilku tabel, zwanych widokami (views). Widoki można nazwać abstrakcyjnymi tabelami, gdyż z punktu widzenia użytkownika mogą się one zachowywać jak zwykłe tabele z możliwością modyfikowania danych. Ostatecznie dane modyfikowane są w oryginalnych tabelach, gdyż widok nie tworzy kopii danych, lecz jedynie zmienia sposób, w jaki dane są widziane przez użytkownika.
7. Dane mogą być dostępne w postaci zestawu składającego się z wielu tabel i wierszy. Ta reguła dotyczy takich funkcji, jak dodawanie, modyfikacja czy usuwanie danych i zakłada możliwość zmiany całego zestawu danych w kilku tabelach za pomocą pojedynczej operacji.
8. Użytkownik jest odizolowany od fizycznych metod odczytu i zapisu danych. Zmiany na poziomie fizycznym (np. zamiana pojedynczego dysku na macierz dyskową) nie powinny powodować potrzeby jakichkolwiek zmian w aplikacji bazodanowej.
9. Zmiany bazy na poziomie logicznym nie powinny powodować potrzeby zmiany aplikacji i zapytań działających na tej bazie. Reguła ta sugeruje, że aplikacje i zapytania powinny raczej opierać się na widokach, które mogą zachowywać swoją strukturę pomimo zmian relacji lub struktury tabel wchodzących w skład danego widoku. W praktyce za-

- również aplikacje, jak i zapytania odwołują się często bezpośrednio do tabel, co powoduje, że spełnienie tej reguły jest trudne.
10. Mechanizmy zapewniające poprawność danych (prawidłowe zależności wewnątrz tabel i pomiędzy nimi) muszą być integralnym elementem bazy danych. Warunki zapewniające poprawność, zwane ograniczeniami (constraints), zapisane są w odpowiednich tabelach. Jeżeli kontrola spójności danych jest bardziej złożona i wymaga wykonania fragmentu kodu, wówczas warunki kontrolne powinny być zapisane w bazie w postaci tzw. procedur wbudowanych. Dzięki temu kontrole te są zawsze wykonywane, bez względu na to, z jakiego poziomu dane są wprowadzane do bazy lub modyfikowane (aplikacja, instrukcja SQL, import itp.).
 11. Struktura i mechanizmy integracji relacyjnej bazy danych zapewniają niezależność dostępu do danych przez użytkownika od fizycznej dystrybucji bazy danych. Użytkownik nie musi wiedzieć, czy ma do czynienia z bazą umieszczoną w całości na jednym serwerze, czy też rozproszonymi fragmentami znajdującymi się na różnych komputerach.
 12. W relacyjnej bazie danych nie ma możliwości zmiany danych i ich struktur inaczej, jak tylko za pomocą języka operującego na całych zestawach rekordów (SQL). Dostęp w inny sposób, za pomocą języków niskiego poziomu, wyczytujących dane poza mechanizmami bazy danych, są nieuprawnione. Dotyczy to też obiektów geometrycznych przechowywanych w bazie. Pobieranie, zapis i modyfikacja tych obiektów odbywa się za pomocą języka SQL, rozszerzonego o dodatkowe funkcje.

8.3.4. Model obiektowy

Bazy relacyjne, pomimo niewątpliwych zalet, mają też swoje wady. Zwykła, relacyjna baza danych udostępnia w rekordach standardowe typy pól. Mogą się w nich znaleźć dane numeryczne, tekstowe czy logiczne. Użytkownik takiej bazy nie ma praktycznie żadnej możliwości zdefiniowania nowych typów pól. Poza tym musi się liczyć ze „sztywną” strukturą rekordów w tablicach bazy – każdy rekord jest zorganizowany w ten sam sposób. W związku z tym już samo zapamiętywanie pewnych informacji (na przykład multimedialnych: grafiki, dźwięku, animacji itp.) w tablicach bazy relacyjnej jest co najmniej kłopotliwe. Przygotowanie nowych rodzajów pól dla wszystkich możliwych typów danych jest rzeczą niewykonalną.

Obiektowe bazy danych (Object Oriented Databases – OODBMS) zostały opracowane głównie w celu przechowywania kompleksowych danych. Ich budowa pozwala na przechowywanie obiektów oddających bardziej złożoną strukturę rzeczywistości. Obiektowo zorientowane technologie rozwinęły się głównie w postaci nowych języków programowania. Lata 90. to czas konstruowania narzędzi umożliwiających pisanie programów

z wykorzystaniem techniki obiektowej. Kompilatory języków C++, Smalltalk, Java i innych diametralnie zmieniły proces konstruowania nowej aplikacji oraz jej testowania. Pewne cechy wspomnianych języków umożliwiły zbudowanie tzw. obiektowych baz danych.

Fundamentalnym składnikiem takiej bazy danych jest obiekt, będący podstawową jednostką reprezentującą dane. Obiekty mają właściwości (odpowiednik pól). Pola obiektu mogą się zmieniać. W skład obiektu wchodzi także możliwe do wykonania na polach funkcje. Noszą one nazwę metod. Metodą jest na przykład procedura obliczania bonitacji, zawarta w obiekcie „opis taksacyjny wydzielenia”. Kiedy mamy do czynienia z obiektami, użyteczne staje się wprowadzenie pojęcia klasy. Klasa jest projektem obiektu. Każdy pojedynczy obiekt jest tzw. instancją (wystąpieniem) swojej klasy. Systemy obiektowe dysponują mechanizmem dziedziczenia. Polega on na możliwości wyodrębnienia podklas z dowolnej klasy. Podklasy przejmują (dziedziczą) właściwości i metody klasy macierzystej. Mogą też otrzymać nowe właściwości i metody. Na przykład z klasy „wydzielenie”, posiadającej właściwości: adres leśny, adres administracyjny, powierzchnia itd., można wyłączyć dwie podklasy: wydzielenie leśne i wydzielenie nieleśne. Każda z tych podklas będzie miała zestaw właściwości i metod z klasy „wydzielenie” oraz dodatkowo charakterystyczne dla danej podklasy (np. wydzielenie leśne) właściwości: typ siedliskowy, gospodarstwo, metody obliczające elementy taksacyjne itd.

Innym ważnym założeniem paradygmatu modelowania obiektowego jest hermetyzacja (ukrywanie informacji). Polega ona na ukrywaniu pewnych danych składowych lub metod obiektów danej klasy tak, aby były one (i ich modyfikacja) dostępne tylko dla metod wewnętrznych danej klasy.

W programowaniu obiektowym obiekty tworzone są dynamicznie jako podstawowy element konstrukcji programu. Podobnie jak dla typu liczb naturalnych czy typu zmiennych znakowych, dla których zdefiniowane są pewne operacje, jak np. dodawanie czy konkatenacja (łączenie ciągów znaków), a nie są zdefiniowane inne, jak np. operacje logiczne, tak dla obiektów programista decyduje o wykonalności pewnych operacji oraz definiuje ich funkcyjną postać. Obiektowe bazy danych zapisują (utrwalają) obiekty w takiej postaci, w jakiej są one używane przez program. Znika konieczność tzw. mapowania struktur relacyjnej bazy danych na świat obiektów.

Pozostaje jeszcze do rozwiązania problem zapytań. Bazy obiektowe to systemy sterowane za pomocą zdarzeń. Zapytania do bazy są żądaniem wykonania określonej metody. Należy przygotować zestaw metod, których wykonanie spowoduje wyekstrahowanie określonej informacji ze zbiorów danych.

Duża elastyczność i pojemność informacyjna, uzyskane dzięki mechanizmowi dziedziczenia, to mocne strony baz obiektowych. Jak wynika z dotychczasowych rozważań, tak zdefiniowane struktury danych pozwalają na lepsze modelowanie rzeczywistości. Dlaczego więc obiektowe bazy nie zdobyły rynku rozwiązań bazodanowych? Jest kilka przyczyn:

- brak standardów specyfikacyjnych i implementacyjnych. Użytkownik znający jeden z systemów relacyjnych baz danych bez problemu poradzi sobie z każdym innym (oczywiście na poziomie dostępu do danych i ich przetwarzania). W wypadku baz obiektowych każdy system to kompletnie inny produkt z innym interfejsem i koniecznością posługiwania się obiektowym językiem programowania;
- wyższy stopień komplikacji w porównaniu z prostym modelem relacyjnym;
- zapotrzebowanie na obsługę bardziej skomplikowanych struktur i formatów danych. Szybko zauważyli to dostawcy systemów zarządzania relacyjnymi bazami danych i uzupełnili bazy relacyjne o możliwość obsługi tych danych;
- jedynie proste przeszukiwanie przechowywanych obiektów, które umożliwiałaby większość obiektowych baz danych. Rozbudowane zapytania, znane z modelu relacyjnego, są na razie nieosiągalne.

8.3.5. Model obiektowo-relacyjny

Większość współcześnie pracujących systemów zarządzania relacyjnymi bazami danych to tak naprawdę ORDBMS, a więc obiektowo-relacyjne systemy zarządzania bazą danych. Co to oznacza?

W obiektowo-relacyjnych bazach danych w typowo relacyjną strukturę wbudowane są nowoczesne mechanizmy zarządzania obiektami, rodem z baz obiektowych.

Obiektowo-relacyjna baza danych spełnia następujące wymagania:

- zachowuje pełną funkcjonalność baz relacyjnych;
- rozszerza zakres typów danych o nowe typy, pozwalające na przechowywanie m.in. danych multimedialnych, danych geometrycznych itp.;
- umożliwia tworzenie nowych typów danych na bazie typów już istniejących;
- przechowuje kompleksowe obiekty w sposób tabelaryczny. Osiąga się to poprzez wbudowanie abstrakcyjnego typu danych (zawierającego definicję struktur i powiązanych metod – jak w bazach obiektowych);
- SQL pozostaje podstawowym językiem tworzenia zapytań i manipulowania danymi. Ostatnie standardy języka SQL uwzględniają operacje na strukturze obiektowo-relacyjnej.

Aby zrozumieć koncepcję abstrakcyjnego typu danych, wróćmy do przykładu podanego przy opisie relacyjnej bazy danych. Opis wydzielenia w wypadku bazy relacyjno-obiektowej może się składać z pojedynczej tabeli z takimi elementami, jak adres, powierzchnia, typ siedliskowy, oraz z listy gatunków. Lista gatunków jest w tym wypadku nowym typem danych, składającym się z typów podstawowych: gatunek (string), udział (integer), bonitacja (string), zasobność (real). Dodatkowo wszystkie

gatunki tego wydzielenia mogą być zapisane w jednym rekordzie tabeli „wydzielenie” poprzez zastosowanie tablicy o zmiennej liczbie wierszy (vararrays).

Opisana właściwość bazy relacyjno-obiektowej sprawia, że staje się ona doskonałym miejscem do przechowywania danych o charakterze przestrzennym. Mechanizmy relacyjnej bazy gwarantują dużą wydajność i prostotę obsługi, natomiast nowe typy pól pozwalają na zapisanie do pojedynczego rekordu tabeli obiektów składających się z kilku podoobiektów (np. multipolygon), a każdy z nich – z wielu werteksów. Dlatego właśnie ten model bazy jest powszechnie wykorzystywany do budowy baz danych przechowujących dane geometryczne.

8.4. Geobaza

Tym mianem określana jest baza danych przechowująca obiekty geometryczne. W tym celu wykorzystywany jest zwykle relacyjno-obiektowy model danych. Jednak podobnie jak w wypadku bazy relacyjnej, o której funkcjonalności decyduje system zarządzania bazą (DBMS), tak też w wypadku geobazy jej zdolność do przechowywania obiektów geometrycznych i operowania na nich wynika z rozszerzenia funkcjonalności DBMS o moduł określany jako geoDBMS.

Moduł geoDBMS:

- korzysta z pełnej, podstawowej funkcjonalności DBMS;
- obsługuje przestrzenny model danych jako szczególną postać typu danych użytkownika;
- rozszerza funkcjonalność języka zapytań (SQL) o funkcje operujące na danych przestrzennych;
- wspiera przestrzenne indeksowanie, mechanizm optymalizujący zapytania i operacje na danych przestrzennych.

W wypadku bazy danych Informix™ funkcjonalność geoDBMS dostarczona jest przez moduł Spatial DataBlade. Takie rozwiązanie przyjęte zostało podczas budowy geobazy w projekcie centralizacji baz danych w Lasach Państwowych, stąd w dalszej części podane zostaną informacje odnoszące się do tej właśnie technologii, choć warto mieć na uwadze, że podobną funkcjonalność oferują również inni producenci baz danych.

Moduł, którego pełna nazwa brzmi: IBM Informix Spatial DataBlade, rozszerza funkcjonalność systemu zarządzania bazą IBM Informix Dynamic Server o funkcje obsługi danych o charakterze przestrzennym. Moduł ten implementuje specyfikację Open GIS Consortium, Inc. (OGC) o nazwie SQL3, wykorzystującą abstrakcyjny typ danych (ADTs), wspomniany przy okazji prezentowania modelu relacyjno-obiektowego. Ten typ danych pozwala na przechowywanie danych geometrycznych, takich jak granice wydzieleń, działek ewidencyjnych, przebieg dróg, cieków itd. Tak skonstruowana geobaza realizuje nowe podejście do danych przestrzen-

nych. Dotychczasowe systemy GIS koncentrowały się na obsłudze danych przestrzennych, natomiast baza opisowa traktowana była jako zewnętrzny, dołączany element systemu. Geobaza integruje dane przestrzenne i opisowe, umożliwiając jednolity dostęp przy wykorzystaniu języka SQL. Moduł Spatial DataBlade dostarcza funkcje SQL umożliwiające porównywanie wartości zapisanych w polach przechowujących dane geometryczne, co pozwala określić, czy obiekty się przecinają, zawierają, czy też wchodzą w inne relacje. Te funkcje pozwalają odpowiadać na takie pytania, jak np. „w jakich wydzieleniach znajduje się planowany pas zrębowy” nie na podstawie relacji atrybutowych (klucz główny – obcy), ale przestrzennych (zawieranie, nakładanie itd.). Twórcy aplikacji mogą używać zapytania SQL, aby połączyć informację o obszarach objętych pożarami z przebiegiem dróg, linii kolejowych, typami siedliskowymi lasu, składem gatunkowym w wydzieleniu itp. w celu zidentyfikowania miejsc zagrożonych powstaniem pożaru.

Specjalna tabela o nazwie `spatial_references` przechowuje informacje o projekcji użytej dla poszczególnych tabel (obiektów geometrycznych) zapisanych w geobazie. Pozwala to na translację sferycznej geometrii na płaski system współrzędnych X, Y . Różne tabele mogą przechowywać dane geometryczne z innym rodzajem projekcji. Każda kolumna przechowująca geometrię (kolumna przestrzenna) powinna mieć przypisaną definicję projekcji z tabeli `spatial_references`.

Tabela przestrzenna to tabela, która zawiera jedną lub więcej kolumn przestrzennych. W systemie centralizacji baz danych Lasów Państwowych, ze względu na zgodność z innymi rozwiązaniami serwerowymi GIS, przyjęto zasadę, że pojedyncza tabela przestrzenna zawiera tylko jedną kolumnę przestrzenną.

W wypadku geobazy tabele przestrzenne i tabele opisowe znajdują się zwykle we wspólnej strukturze danych, choć geobaza może przechowywać wyłącznie dane przestrzenne i komunikować się z danymi opisowymi znajdującymi się w innych bazach. Wspólna, zwykle centralna baza danych umożliwia też różne zorganizowanie relacji danych przestrzennych i opisowych.

Pełna integracja danych polega na uzupełnieniu tabel z danymi opisowymi o kolumny przestrzenne. Na przykład do tabeli przechowującej wydzielenia (`f_subarea`) w bazie danych systemu LAS można dodać kolumnę przechowującą geometryczny kształt wydzielenia.

Inny sposób to wyodrębnienie tabel przestrzennych i opisowych w ramach tej samej bazy. W tym wypadku powinna zostać stworzona osobna tabela przechowująca dane geometryczne, łącząca się z tabelą opisową na podstawie relacji (mechanizm przedstawiony przy opisie relacyjnych baz danych). Zamiast dodawać kolumnę przestrzenną do tabeli `f_subarea`, tworzy się osobną tabelę (`g_subarea`), przechowującą dane przestrzenne oraz posiadającą identyfikator, pozwalający połączyć się z tabelą `f_subarea`.

W systemie centralizacji baz danych wybrano to drugie rozwiązanie, gdyż daje większą swobodę operowania na danych. Niektóre aplikacje działają wyłącznie na danych opisowych, inne operują tylko na danych geometrycznych; wówczas znacznie mniejsza część bazy jest obciążana operacjami odczytu lub zapisu. Oparte na identyfikatorach relacje pozwalają w łatwy i efektywny sposób połączyć w jednym zapytaniu dane opisowe i geometryczne. Dodatkowo wykorzystywany jest wspomniany wcześniej mechanizm tworzenia tzw. widoków, w których dane geometryczne i opisowe połączone są we wspólnych, „wirtualnych” tabelach. I tak dla wydzielenia tworzony jest widok `vg_subarea`, posiadający kolumnę przestrzenną z tabeli `g_subarea` oraz szereg kolumn opisowych, pochodzących z tabeli `f_subarea`.

Typy danych przestrzennych, udostępnione przez Spatial DataBlade, są zgodne z definicją OGC, zawartą w publikacji *OpenGIS Features for ODBC (SQL) Implementation Specification*.

Typ danych `ST_geometry` jest abstrakcyjną superklasą, wszystkich zaś podklas dziedziczących można użyć do zdefiniowania typu pola. Wprawdzie możliwe jest również zdefiniowanie kolumny ogólnego typu `ST_Geometry`, nie można jednak do niej wprowadzać obiektów tego typu. Zamiast tego możliwe jest zapisanie obiektów dowolnej podklasy (punktów, linii, poligonów).

Typy danych przestrzennych podzielone są na dwie kategorie:

- podklasa podstawowych typów geometrii,
- podklasa homogenicznych kolekcji.

Podstawowe typy geometrii to:

- `ST_Point`,
- `ST_LineString`,
- `ST_Polygon`.

Homogeniczne kolekcje to:

- `ST_MultiPoint`,
- `ST_MultiLineString`,
- `ST_MultiPolygon`.

`ST_Point` to zerowymiarowy obiekt geometryczny, zajmujący pojedynczą pozycję w układzie współrzędnych, używany do reprezentowania obiektów punktowych, takich jak pomniki przyrody, wieże ppoż., punkty czerpania wody itp. `ST_point` ma pojedynczą parę współrzędnych X , Y , jest zawsze typem prostym, może zawierać współrzędną Z oraz wartość (M).

`ST_LineString` to jednowymiarowy obiekt przechowywany jako sekwencja punktów definiujących linię. Obiekty typu `ST_LineString` są wykorzystywane do prezentowania dróg, cieków, linii oddziałowych itp. Dodatkowo w stosunku do właściwości odziedziczonych z klasy `ST_Geometry`, `ST_LineString` ma właściwość określającą długość obiektu.

`ST_Polygon` jest dwuwymiarowym obiektem powierzchniowym, przechowywanym jako sekwencja punktów definiujących jeden pierścień ograniczający obszar zewnętrzny oraz 0 lub więcej pierścieni wewnętrznych.

ST_Polygon reprezentuje wydzielenia leśne, oddziały, działki ewidencyjne itp. Jest zawsze obiektem prostym. Pierścień zewnętrzny i ewentualne pierścienie wewnętrzne tworzą granicę obiektu. Przestrzeń otoczona pierścieniami tworzy wnętrze poligonu. St_Polygon ma dodatkową właściwość definiującą powierzchnię obiektu.

Typy ST_MultiPoint, ST_MultiLineString, ST_MultiPolygon są kolekcjami obiektów odpowiednio ST_Points, ST_LineString, ST_Polygon.

Zapisywanie i odczytywanie danych przestrzennych w geobazie możliwe jest przy użyciu jednego z czterech zewnętrznych formatów geometrii:

- IBM Informix load format,
- OGC well-known text (WKT),
- OGC well-known binary (WKB),
- ESRI Shapefile format.

Z wyjątkiem pierwszego, wszystkie te formaty wymagają użycia funkcji konwersji podczas operacji zapisu i odczytu danych. Moduł Spatial DataBlade ma funkcje konwersji danych do każdego z wymienionych formatów.

WKT jest to tekst w formacie ASCII, w którym geometria jest zapisana w postaci ciągu znaków, zawierających przede wszystkim listę współrzędnych. Do konwersji służą takie funkcje, jak ST_GeomFromText(), ST_PointFromText() czy ST_LineFromText(). Funkcje te tworzą obiekty geometryczne typu ST_geometry, ST_Point czy ST_LineString z ich tekstowej reprezentacji. Funkcje te mogą być wykorzystane w różnego typu językach programowania, również prostych, nieobiektowych językach skryptowych, gdyż nie wymagają definicji żadnych specjalnych struktur.

WKB jest to strumień bitów. Ta postać danych pozwala na wymianę geometrii w formie binarnej pomiędzy aplikacją kliencką a geobazą. Funkcje ST_GeomFromWKB(), ST_PointFromWKB(), ST_LineFromWKB() pozwalają utworzyć odpowiednie obiekty geometryczne na podstawie reprezentacji WKB.

Format ESRI Shape jest szeroko wykorzystywany w Lasach Państwowych, gdyż Standard Leśnej Mapy Numerycznej przyjął go za format wymiany danych. Obsługa tego formatu przez moduł IBM Informix Spatial DataBlade jest więc bardzo przydatna w systemie centralizacji baz danych. Takie funkcje, jak SE_GeomFromShape(), SE_PointFromShape(), SE_LineFromShape(), SE_PolyFromShape() pozwalają zapisać odpowiednie obiekty geometryczne w geobazie po ich odczytaniu z pliku Shape.

W systemie centralizacji baz danych istnieje wymiana danych pomiędzy geobazą a formatem Shape w dwóch strukturach – strukturze wykonawcy oraz strukturze warstw pochodnych. Wymiana w postaci struktury wykonawcy odbywa się w dwóch kierunkach (odczyt i zapis do geobazy) i umożliwia edycję danych na lokalnym komputerze. Dane po zaktualizowaniu wysyłane są na serwer. Polecenia SQL umożliwiają zmianę wartości w kolumnach przestrzennych dokładnie w ten sam sposób, jak w każdej innej kolumnie tabeli. Jednak w wypadku danych przestrzennych ty-

powyższy mechanizm polega na pobraniu obiektów geometrycznych z tabeli, zmianie tych obiektów w aplikacji klienckiej (na stacji roboczej) i powrocie uaktualnionych danych na serwer. Wynika to głównie z potrzeby zastosowania zaawansowanych narzędzi edycyjnych, pozwalających na zmianę kształtu obiektów geometrycznych.

Struktura warstw pochodnych pobierana jest z serwera i zapisywana lokalnie w postaci plików Shape w celu umożliwiania pracy z szeregiem aplikacji działających do tej pory w trybie lokalnym (np. przeglądarki LMN).

8.5. Wybór SQL

W relacyjnych i relacyjno-obiektowych bazach danych dostęp do danych uzyskuje się za pomocą instrukcji SQL.

SQL jest standardowym językiem używanym do wprowadzania, usuwania, modyfikowania oraz odczytywania informacji z bazy danych.

Najczęściej używaną instrukcją języka SQL jest zapytanie SQL. Proste zapytanie składa się z czterech podstawowych składników: wyrażenia `SELECT...`, `FROM`, klauzuli `JOIN`, klauzuli `WHERE` oraz klauzuli `ORDER BY`. Nazwy pól, jakie zapytanie ma zwracać, są wpisane po słowie kluczowym `SELECT`, a tabele, do których pola te należą – po słowie `FROM`. Do jednego lub większej liczby pól możemy zastosować kryteria wyboru, wpisane w klauzuli `WHERE`, a wyniki posortować według zawartości dowolnego pola (lub pól), stosując klauzulę `ORDER BY`.

Przykładowe proste zapytanie SQL może mieć postać:

```
SELECT gatunek, wiek, zasobność  
FROM gatunki  
WHERE wiek > 80  
ORDER BY gatunek
```

W instrukcji `SELECT` mogą występować dwie tabele, może też być ich więcej, połączonych relacją. Połączenie odbywa się w klauzuli `JOIN`, gdzie podaje się warunek wiążący tabele. Klauzula `JOIN` może mieć kilka wersji zależnych od tego, w jaki sposób wybierane są wiersze z łączonych tabel:

```
SELECT wydzielenie.typ_siedliskowy,gatunki.gatunek  
FROM wydzielenie INNER JOIN gatunki ON wydzielenie.adres_leśny  
= gatunki.adres_leśny
```

Instrukcja `SELECT` może być znacznie bardziej rozbudowana – o opcje grupowania danych, filtrowania wyników czy zagnieżdżenia instrukcji. Jest to, mimo prostoty, bardzo silne narzędzie do obróbki baz danych.

W wypadku geobazy w zapytaniach SQL można używać przestrzennych kolumn oraz funkcji działających na obiektach geometrycznych.

```
SELECT adres_leśny, geom  
FROM g_wydzielenie
```

gdzie *geom* to kolumna przechowująca obiekty geometryczne w tabeli przestrzennej *g_wydzielenie*. Wynikiem takiego zapytania będzie lista adresów leśnych oraz odpowiadających im obiektów geometrycznych, wyświetlanych domyślnie w formacie WKT (format tekstowy zawierający pary współrzędnych poszczególnych werteksów, w tym wypadku poligonu). Bardziej praktycznym rozwiązaniem jest przesłanie wyniku takiego zapytania do programu, który potrafi wizualizować na mapie obiekty przekazane w formacie WKT (lub innym spośród wymienionych wcześniej).

Inna możliwość wykorzystania kolumny przestrzennej to sprawdzanie warunków logicznych filtrujących wybierane dane:

```
SELECT adres_leśny
FROM g_wydzielenie
WHERE ST_Area (geom) > 50 000
```

To zapytanie zwróci listę adresów leśnych wydzieleń, których powierzchnia, policzona na podstawie wielkości poligonu, jest większa od 50 tys. m², czyli 5 ha. Zastosowano w niej funkcję *ST_Area*, obliczającą powierzchnię obiektu poligonowego. Jest to przykład rozszerzenia możliwości języka SQL o funkcje przestrzenne.

Bardziej skomplikowane warunki można konstruować, działając na dwóch tabelach lub większej ich liczbie:

```
SELECT wskazania_gosp.adres_leśny, wskazania_gosp.nr_działki
FROM wskazania_gosp, drogi
WHERE wskazania_gosp.rodzaj_czynn = „IA” AND
drogi.kod = „DROGI P” AND
ST_Intersects (wskazania_gosp.geom, ST_Buffer(drogi.geom, 40))
```

Powyższe zapytanie zwraca listę adresów leśnych i numerów działek zrębowych, na których zaplanowana jest rębnia zupełna IA, położonych w odległości mniejszej niż 40 m od drogi publicznej. Od strony geometrycznej w zapytaniu tworzony jest bufor (funkcja *ST_Buffer*) o szerokości 40 m z każdej strony drogi, a funkcja *ST_Intersects* sprawdza, czy poligon działki zrębowej przecina utworzony bufor. Jeśli tak, oznacza to, że jakiś fragment działki zrębowej znajduje się w odległości mniejszej niż 40 m od drogi.

Lista funkcji, które mogą być użyte podczas zapytań SQL, jest długa i pozwala na wykonanie bardzo zaawansowanych operacji przestrzennych na danych bez potrzeby wykorzystania specjalistycznego pakietu GIS.

Oprócz zapytania *SELECT* w standardzie SQL występują jeszcze inne instrukcje:

- *CREATE* – tworzenie nowych elementów struktury (tabel, indeksów itp.),
- *ALTER* – modyfikowanie istniejącej struktury,
- *UPDATE* – modyfikowanie danych,
- *INSERT* – dodawanie nowych danych,
- *DELETE* – kasowanie danych.

Wszystkie te instrukcje pozwalają również działać na danych przestrzennych. Umożliwiają one zakładanie lub modyfikowanie tabel zawierających kolumny przestrzenne, dodawanie lub usuwanie obiektów geometrycznych oraz ich modyfikowanie, np. usunięcie pojedynczego wierzchołka z linii lub poligonu.

```
INSERT INTO osobliwosci_przyrodnicze (adres_leśny, nr, kod, geom)
VALUES („123 -a -00”, 1, „GŁAZY”, ST_PointFromText('point
(276672.40 436833.42)', 5))
```

Powyższa instrukcja pozwala wprowadzić bezpośrednio do bazy danych dane o lokalizacji głązu narzutowego wraz z utworzeniem punktowego obiektu geometrycznego na podstawie znanych współrzędnych. Funkcja `ST_PointFromText` tworzy obiekt punktowy na podstawie wartości współrzędnych X i Y .

Jak widać z przytoczonych przykładów, znajomość reguł zarządzania relacyjną bazą danych pozwala zarówno na wygodne i efektywne zarządzanie informacją przestrzenną, przechowywaną w tej bazie, jak i na prostą oraz wielostronną integrację danych przestrzennych z danymi opisowymi.

9. Standard Leśnej Mapy Numerycznej

mgr inż. TOMASZ GRZEGORZEWICZ – Dyrekcja Generalna
Lasów Państwowych,
Wydział Urządzania Lasu i Geoinformatyki

Na początku lat 90. minionego wieku w Lasach Państwowych wdrożono System Informatyczny Lasów Państwowych, nazywany w skrócie SILP. Jego wprowadzenie stworzyło podwaliny pod budowę systemów informacji przestrzennej dla nadleśnictw, które stanowią dystrybucję przestrzenną danych tabelarycznych w nim zapisanych. Pierwszym krokiem w tym kierunku było zlecenie przez Dyrekcję Generalną Lasów Państwowych opracowania tematu: „Zastosowanie systemu informacji przestrzennej (SIP) w leśnictwie”. Temat realizowano w trzech nadleśnictwach pilotażowych, dla których budowano kompleksowe systemy informacji przestrzennej: Brzeziny (realizacja przez Szkołę Główną Gospodarstwa Wiejskiego), Wipsowo (Instytut Badawczy Leśnictwa – Zakład Badań i Systemów Informacji Przestrzennych), Ujsoły (Instytut Badawczy Leśnictwa – Zakład Urządzania Lasu). W rezultacie:

- powstały bazy geometryczne dla trzech wspomnianych nadleśnictw,
- zakupiono sprzęt i oprogramowanie narzędziowe,
- rozpoczęto wykorzystywanie SIP w Nadleśnictwie Brzeziny.

Przełomowy dla procesu wprowadzania map numerycznych i systemów informacji przestrzennej w leśnictwie polskim był rok 1997. Wtedy to w Waplewie odbyła się konferencja naukowo-techniczna: „Urządzanie lasu podstawą zrównoważonej gospodarki leśnej”, która udowodniła słuszność proponowanych rozwiązań. Utworzone zostały również dwa zespoły: zespół ds. informacji przestrzennej w leśnictwie i Centralnego Banku Da-

nych, powołany przez podsekretarza stanu w MOŚZNiL, oraz zespół ds. przenoszenia informacji pomiędzy planem urządzania lasu a SILP, powołany przez Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych. Ich ustalenia pozwoliły na określenie kierunków, metodyki i etapów rozwoju SIP w leśnictwie polskim. Równolegle prowadzono w Biurze Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej prace pilotażowe nad wdrożeniem map numerycznych. Zakończyły się one opracowaniem w 1998 r. aplikacji LEMAN, umożliwiającej budowę leśnych map numerycznych.

W dniu 18 maja 1998 r. Dyrektor Generalny Lasów Państwowych wydał zarządzenie nr 23 w sprawie wstępnych założeń technicznych dla wykonawców leśnej mapy numerycznej oraz jej ewidencjonowania. Definiowało ono kryteria, którym powinna podlegać leśna mapa numeryczna tworzona w okresie przed zdefiniowaniem jej standardu. Zarządzenie to pozwoliło rozpocząć proces wprowadzania map numerycznych do nadleśnictw na szerszą skalę. Równocześnie z ukazaniem się zarządzenia prowadzono prace nad opracowaniem projektu Standardu Leśnej Mapy Numerycznej (SLMN). Ostatecznie został on wydany w formie Zarządzenia nr 74 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 23 sierpnia 2001 r. w sprawie zdefiniowania Standardu Leśnej Mapy Numerycznej dla poziomu nadleśnictwa oraz wdrażania systemu informacji przestrzennej (SIP) w nadleśnictwach. Jego treść ulegała kilkakrotnie modyfikacjom, które polegały przede wszystkim na uszczegóławianiu niektórych zapisów i uściślaniu pewnych pojęć.

Najważniejszą część SLMN stanowią załączniki do zarządzenia nr 74. Jest ich dziewięć i noszą następujące tytuły:

- Załącznik nr 1 – Struktura bazy geometrycznej,
- Załącznik nr 2 – Materiały źródłowe,
- Załącznik nr 3 – Dane przekazywane,
- Załącznik nr 4 – Kontrola,
- Załącznik nr 5 – Legenda,
- Załącznik nr 6 – Kody,
- Załącznik nr 7 – Archiwizacja,
- Załącznik nr 8 – Aktualizacja,
- Załącznik nr 9 – Eksploatacja.

Załącznik nr 1 – Struktura bazy geometrycznej

Załącznik zawiera szczegółowy opis formatu i struktury warstw tworzących bazę geometryczną SIP nadleśnictwa. Wyróżnia dwa zasadnicze rodzaje warstw: podstawowe i pochodne. Warstwy podstawowe zostały podzielone na warstwy obligatoryjne i fakultatywne. Te pierwsze mają ściśle określoną w SLMN strukturę, zakres informacyjny, procedury tworzenia, kontroli i aktualizacji. Warstwy fakultatywne SLMN dzieli na warstwy o określonej strukturze, zdefiniowanej w SLMN, oraz na warstwy fakultatywne o niestandardowej strukturze. Decyzję o utworzeniu warstw fakultatywnych podejmuje nadleśnictwo. Decyduje ono również o strukturze

i zakresie informacyjnym warstw fakultatywnych o niestandardowej strukturze.

Lista atrybutów warstw podstawowych została zredukowana do niezbędnych identyfikatorów. Obiekty o charakterze poligonowym i liniowym przechowywane są w prostym formacie wektorowym ESRI Shapefile. Dane o obiektach o charakterze punktowym zostały w całości zapisane w bazie SILP.

Warstwy podstawowe pozwalają na generowanie tzw. warstw pochodnych. Powstają one z warstw obligatoryjnych i warstw fakultatywnych o określonej strukturze. Do ich utworzenia służy aplikacja do aktualizacji mapy numerycznej o nazwie Aktualizator LMN. Podstawową funkcją warstw pochodnych jest udostępnienie informacji zawartych w geometrycznej bazie danych dla oprogramowania użytkowego w nadleśnictwie. Aktualność i poprawność warstw pochodnych wynika z aktualności i poprawności warstw podstawowych.

Załącznik nr 2 – Materiały źródłowe

Załącznik ten precyzuje zakres materiałów, które należy dostarczyć wykonawcy bazy danych systemu informacji przestrzennej. Materiały dotyczą dwóch zakresów przedmiotowych. Pierwszy, związany ściśle z ewidencją gruntów i budynków, to tzw. podkład geodezyjny. Drugi, dotyczący warunków, w jakich nadleśnictwo prowadzi gospodarkę leśną, to tzw. podkład urządzeniowy.

Zgodnie z treścią załącznika, obowiązkowe jest wykorzystanie – jako źródła tworzenia SIP dla nadleśnictwa – istniejących numerycznych map ewidencyjnych, stanowiących zasób poszczególnych jednostek samorządowych bądź nadleśnictw. W wypadku braku dokumentacji numerycznej dopuszcza się wykorzystanie pierwowrysów map gospodarczych oraz współrzędnych punktów załamań granicy ewidencyjnej.

Podkład urządzeniowy stanowią przede wszystkim mapy tematyczne na podkładzie map topograficznych i map leśnych oraz warstwy informacyjne dotyczące m.in.: zasięgu terytorialnego działania nadleśnictwa, granic krain i dzielnic przyrodniczo-leśnych, obiektów o charakterze liniowym mających znaczenie dla gospodarki leśnej, zagospodarowania turystycznego, ochrony przeciwpożarowej, ochrony lasu, ochrony przyrody, nasiennictwa i selekcji, gleb i siedlisk oraz obiektów inwentarzowych.

Fakultatywnie – jako materiały pomocnicze do podkładu urządzeniowego – mogą być również wykorzystane dane do celów numerycznego modelu terenu oraz istniejące materiały fotogrametryczne.

Załącznik nr 3 – Dane przekazywane

Adresatami tego załącznika są wykonawcy SIP dla nadleśnictwa. Określa on format i strukturę danych, podmioty realizujące SIP, które mają obowiązek przekazania do nadleśnictw po zakończeniu prac. Precyzuje, które warstwy muszą być wykonane obligatoryjnie, a które fakultatywnie.

Podaje nazwy warstwy oraz plików je tworzących. Definiuje wymiarowość obiektów (punkty, linie, poligony), wchodzących w skład warstw.

Ponadto zapisy tego załącznika informują, że:

- przekazywane przez wykonawcę warstwy muszą być zlokalizowane w układzie PUWG 1992,
- współrzędne obiektów na warstwach powinny być matematycznie zaokrąglone do dwóch miejsc po przecinku,
- przekazywane warstwy geometryczne podlegają procedurom kontrolnym.

Załącznik nr 4 – Kontrola

W tym załączniku określony został tryb i sposób przeprowadzania kontroli danych geometrycznych i opisowych, przekazywanych do nadleśnictwa.

Kontroli dokonuje komisja, powoływana przez dyrektora właściwej dla nadleśnictwa regionalnej dyrekcji Lasów Państwowych. Do wykonania kontroli służy aplikacja o nazwie Kontrola LMN. Sprawdzeniu podlegają warstwy określone w SLMN jako „obligatoryjne” i „fakultatywne o określonej strukturze”. W wyniku kontroli powstaje raport, który stanowi podstawę odbioru systemu informacji przestrzennej.

Zakres kontroli wykonywanych aplikacją Kontrola LMN obejmuje tzw.:

- kontrole wstępne – dotyczące istnienia plików oraz poprawności ich formatu i struktury;
- kontrole atrybutowe – dotyczące poprawności użytych kodów i spójności danych;
- kontrole geometryczne – dotyczące wymiarowości, poprawności styków, topologicznej poprawności obiektów itp.;
- kontrole geometryczno-atributowe – dotyczące relacji przestrzennych obiektów wewnątrz warstw obligatoryjnych i pomiędzy nimi.

Kontroli bez wykorzystania aplikacji kontrolnej podlegają następujące elementy:

- zgodność ilościowa i jakościowa obiektów w porównaniu z przekazanymi materiałami źródłowymi,
- poprawność układu współrzędnych.

Załącznik nr 5 – Legenda

W załączniku tym zdefiniowano legendę dla leśnej mapy numerycznej. Celem załącznika jest standaryzacja wizualizacji szczegółów map leśnych, zwłaszcza wielkoformatowych map drukowanych.

Załącznik został podzielony na siedem punktów:

- punkt 1 definiuje numerycznie paletę barw w dwóch systemach ich opisywania, tj. RGB i CMYK;
- punkty 2, 3 i 4 przedstawiają zestaw kolorów i deseni, których wykorzystanie jest zalecane przy tworzeniu najistotniejszych dla gospodarki leśnej map tematycznych;
- punkt 5 definiuje grubość linii wykorzystywanych w leśnych mapach numerycznych;

- punkty 6 i 7 definiują zestaw symboli dla obiektów geometrycznych zawartych w słowniku obiektów geometrycznych.

Załącznik nr 6 – Słownik obiektów geometrycznych

Załącznik stanowi zestawienie ponad 460 kodów obiektów geometrycznych. Nadano mu formę tabeli, która zawiera następujące informacje:

- kod obiektu geometrycznego;
- opis obiektu;
- rodzaj warstwy, na której dany obiekt może się znaleźć (punkty, linie, inne obiekty powierzchniowe);
- skrót opisu obiektu na mapie.

Załącznik nr 7 – Archiwizacja

Załącznik definiuje tryb i zasady wykonywania kopii bezpieczeństwa, archiwizacji, udostępniania i ochrony danych leśnej mapy numerycznej.

Załącznik nr 8 – Aktualizacja

Załącznik wskazuje na konieczność aktualizacji leśnej mapy numerycznej jako elementu SIP. Ważnym zapisem załącznika jest następujące stwierdzenie:

Aktualizacja bazy geometrycznej prowadzona równoległe z aktualizacją bazy opisowej systemu LAS stanowi podstawę prowadzenia stanu posiadania w nadleśnictwie.

Zapis ten oznacza, że SIP w nadleśnictwie powinien być wiarygodnym i aktualnym źródłem danych dotyczących gruntów Skarbu Państwa, będących w zarządzie PGL Lasy Państwowe.

Załącznik nr 9 – Eksploatacja

W załączniku opisano, w jaki sposób należy zarządzać leśną mapą numeryczną. Wyznacza on minimalne wymagania sprzętowe, które uznano za konieczne do tego, aby SIP w nadleśnictwie prawidłowo funkcjonował.

Ponadto załącznik określa warunki, jakie powinny spełniać przeglądarki leśnej mapy numerycznej.

Nowy standard

W chwili redagowania niniejszej publikacji obowiązywał w Lasach Państwowych opisany powyżej Standard LMN. Należy jednak podkreślić, że podjęta została decyzja o konieczności zredagowania nowego SLMN. Złożyły się na to następujące przyczyny:

1. Zmiany w LMN wynikające z procesu centralizacji SILP. Obejmują one m.in.:
 - integrację baz SILP i LMN w jednej bazie danych,
 - wyodrębnienie z warstw zbiorczych tabel przechowujących dane podzielone tematycznie.

- zdefiniowanie relacji topologicznych pomiędzy obiektami,
 - przechowywanie w bazie obiektów powstałych z obiektów podstawowych (wydzielenia, oddziały, użytki, działki itp.),
 - uniezależnienie danych ewidencji gruntów i budynków od podziału gospodarczego lasu,
 - rezygnację z warstw przechowujących dane źródłowe do budowy numerycznego modelu terenu,
 - rezygnację z przechowywania w bazie danych dla nadleśnictwa szczegółowej warstwy szkółki leśnej.
2. Nowelizacja „Instrukcji urządzania lasu”:
- konieczność zapewnienia zgodności zapisów w SLMN z nowelizowanym tekstem IUL (definicje obiektów, kartografia),
 - dezaktualizacja zapisów (m.in. dotyczących stanowiska operatora LMN).
3. Zakończenie procesu wdrażania LMN:
- aktualny SLMN był pisany na potrzeby tworzenia LMN (struktura danych, materiały źródłowe, komisyjny odbiór, przeglądarka).
- Aktualną treść SLMN oraz odniesienia do źródeł jego zmian można znaleźć na stronie www.geomatyka.lasy.gov.pl.

10. Aktualizacja leśnej mapy numerycznej

mgr inż. TOMASZ GRZEGORZEWICZ – Dyrekcja Generalna
Lasów Państwowych, Wydział Urządzania Lasu
i Geoinformatyki

10.1. Wstęp

Systemy informacji przestrzennej (SIP) są próbą „przetłumaczenia” pewnych rzeczywistych układów przestrzennych na postać numeryczną. Poprzez połączenie informacji o kształcie obiektów, zależnościach, które pomiędzy nimi występują, oraz informacji opisującej ich właściwości, pozwalają one modelować aktualny stan przestrzeni, poddawać ją różnym analizom, symulować pewne jej stany itp. Coraz dokładniejsze i doskonalsze systemy informacji przestrzennej wciąż są jednak tylko rejestracją stanu wspomnianych układów na pewien moment. Ta niedoskonałość SIP, w zderzeniu ze zmiennością, którą cechują się układy naturalne, powoduje konieczność aktualizowania tych pierwszych.

Nie inaczej jest w wypadku leśnej mapy numerycznej (LMN). Jako część (w połączeniu z Systemem Informatycznym Lasów Państwowych) systemu informacji przestrzennej nadleśnictwa, aby pełnić właściwie swą rolę, wymaga aktualizacji. Pod tym pojęciem należy rozumieć proces, który ma na celu przystosowanie bazy geometrycznej do zmian przestrzennych, które zaszły w nadleśnictwie od czasu jej powstania lub wprowadzenia ostatnich poprawek do chwili obecnej. Zmiany takie mogą być następstwem prowadzenia planowej gospodarki leśnej, działania czynników biotycznych i abiotycznych (zwykle o charakterze klęskowym, np. gradacje, pożary), zmian w stanie posiadania nadleśnictwa itp. Aktualizacja bazy geometrycznej powinna być prowadzona łącznie z aktualizacją powiązanej z nią bazy opisowej. Taką bazą dla LMN jest Sys-

tem Informatyczny Lasów Państwowych (SILP). Gdy obie te bazy, LMN i SILP, są synchronicznie aktualizowane, możemy mówić o procesie aktualizacji systemu informacji przestrzennej dla nadleśnictwa.

10.2. Mapa numeryczna a mapa analogowa

Odkąd wykorzystywanie zasobu, którym są lasy, nabrało cech racjonalnie prowadzonej gospodarki, mapa stała się nieodłącznym narzędziem każdego leśnika. Informuje ona m.in. o stanie lasu, pomaga w planowaniu i podejmowaniu decyzji. Poza szeregiem niewątpliwych zalet ma wady, w tym jedną zasadniczą. Mapa analogowa obrazuje stan obiektu w chwili jej sporządzenia. Ta cecha, w połączeniu z dynamiką zmian zachodzących w toku prowadzenia gospodarki leśnej, powoduje, że informacje, które mapa niesie ze sobą, stają się nieaktualne. Z uwagi na właściwości fizyczne map analogowych możliwość ich aktualizacji jest znacznie ograniczona lub wręcz żadna.

Mapa numeryczna, jako część systemu informacji przestrzennej, wprowadza zupełnie nową jakość w sposobie zobrazowania zasobów leśnych. Po wydrukowaniu ma wszystkie zalety tradycyjnych map. Ponadto pozwala również na:

- wierne przechowywanie danych, z zachowaniem dokładności pomiarów;
- wykonywanie różnorodnych opracowań tematycznych;
- przedstawianie różnorodnych danych, zaczerpniętych z opisowej bazy danych;
- wykonywanie różnego rodzaju analiz;
- automatyczne wyliczenie długości odcinków i powierzchni wieloboków oraz odległości pomiędzy dowolnymi punktami.

Poza wymienionymi powyżej zaletami mapa numeryczna ma także cechę, którą trudno przecenić. Dysponując odpowiednim narzędziem edycyjnym, możemy poddać ją procesowi aktualizacji. W tym miejscu należy podkreślić, że ta właściwość map numerycznych prawdopodobnie w największym stopniu decyduje o przydatności systemów informacji przestrzennej jako narzędzia wspomagającego prowadzenie nowoczesnej gospodarki leśnej.

10.3. Aktualizacja – dobra praktyka i obowiązek

Nadleśniczy prowadzi samodzielnie gospodarkę leśną w nadleśnictwie na podstawie planu urządzenia lasu oraz odpowiada za stan lasu. Tak brzmi pierwsze zdanie art. 35 ustawy o lasach z dnia 28 września 1991 r. Czytając dalej treść artykułu, dowiadujemy się, jakie zadania spoczywają na każdym nadleśniczym. Padają takie słowa, jak: *reprezentuje, kieruje, zarządza, powołuje, odwołuje, inicjuje, koordynuje, nadzoruje, organizuje.* Niepotrzebna jest duża wiedza z dziedziny ekonomii czy zarządzania, aby stwierdzić, że ustawa o lasach wymaga od współczesnego nadleśniczego, poza szeroką wiedzą z zakresu leśnictwa, posiadania cech typowo menedżerskich.

Do prawidłowego zarządzania bardzo zróżnicowanymi obszarami, do których należą lasy, nadleśniczy-menedżer powinien dysponować trzema elementami. Pierwszy z nich to zasób ludzki, który tworzą pracownicy nadleśnictw, zarówno terenowi, jak i biurowi. Drugi – narzędzia do prowadzenia szeroko pojętej gospodarki leśnej. Trzeci – informacje o zarządzanym obiekcie (lesie), których źródłem w dużej mierze są systemy informacji przestrzennej. Dobry menedżer nadleśniczy powinien potrafić koordynować współdziałanie powyższych elementów poprzez m.in. dążenie do tego, aby każdy z nich odznaczał się jak najwyższą jakością. Miernikiem jakości informacji jest m.in. jej aktualność. Dobrą praktyką w każdym nadleśnictwie powinna więc być dbałość o aktualizację danych SIP. Dopiero zaktualizowany SIP pozwoli w pełni wykorzystać go w roli szybkiego źródła kompleksowej i dokładnej informacji, która wspomogłaby procesy decyzyjne, dotyczące np.:

- planowania czynności gospodarczych przewidzianych w planach urządzenia lasu;
- przeciwdziałania szkodom powodowanym przez czynniki biotyczne i abiotyczne;
- przeciwdziałania szkodnictwu leśnemu;
- usuwania skutków klęsk żywiołowych;
- właściwej organizacji pracy, w tym podziału na leśnictwa czy wywozu drewna;
- udostępniania lasu i regulowania ruchu turystycznego;
- inwestycji drogowych, budowlanych itp.;
- lokalizacji różnego rodzaju obiektów (m.in. tablic informacyjnych, punktów czerpania wody, wież ppoż., obiektów małej retencji itp.);
- wielu innych krótko- i długoterminowych działań, które będą miały wpływ na stan zarządzanego przez nadleśnictwa majątku Skarbu Państwa.

Należy podkreślić, że efekty decyzji podejmowanych przez nadleśniczych są często widoczne dopiero po wielu latach. Dlatego tak ważne jest,

aby miały one solidne podstawy i były poparte rzetelną informacją o aktualnym stanie lasu.

Aktualność danych składających się na SIP w nadleśnictwie jest ważna nie tylko jako element właściwego zarządzania majątkiem Skarbu Państwa, powierzonym Lasom Państwowym. Żyjąc w społeczeństwie informacyjnym, należy na aktualność danych spojrzeć również w innym aspekcie, który jest tak samo istotny lub może nawet ważniejszy, bo związany z wizerunkiem Lasów Państwowych. Otóż coraz częściej nadleśnictwo i inne jednostki Lasów Państwowych nie są jedynymi beneficjentami korzyści, które niesie za sobą SIP. Z informacji w nim zawartych korzystają tzw. firmy zewnętrzne, instytucje samorządowe, ośrodki naukowe, szkoły, prywatne osoby. O rosnącym zainteresowaniu danymi o lasach zarządzanych przez Lasy Państwowe świadczy, wzrastająca z każdym rokiem, liczba wniosków z prośbami o udostępnienie zasobów zgromadzonych w nadleśnictwach. Należy podkreślić, że udostępnianie informacji o lesie jako elemencie środowiska jest obowiązkiem, który nakłada na Lasy Państwowe Ustawa z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko. W ślad za tym obowiązkiem idzie również odpowiedzialność za jakość udostępnianych danych, czyli także za ich aktualność.

Warto też wspomnieć o projekcie ustawy o infrastrukturze informacji przestrzennej, będącej implementacją dyrektywy INSPIRE. Najkrócej mówiąc, zakłada on, że instytucje tworzące zasoby w postaci danych przestrzennych udostępnią je w celu stworzenia portalu, który posłuży przekazywaniu kompleksowej informacji o środowisku oraz ułatwi wymianę danych. Również z tego powodu zaistnieje konieczność przekazywania przez Lasy Państwowe wiarygodnych (aktualnych) danych z własnych zasobów.

Powagi kwestiom związanym z obowiązkiem aktualizowania SIP dodaje fakt, że od niedawna stały się one przedmiotem kontroli kompleksowej Inspekcji Lasów Państwowych. W jej ramach sprawdzeniu podlegają m.in. takie zagadnienia, jak sposób wykonania aktualizacji, jej terminowość, zgodność danych LMN z SILP, dbałość o bezpieczeństwo danych (wykonywanie kopii zapasowych oraz ich przekazywanie do RDLP). Kontrola ta jest jednocześnie wyrazem troski Lasów Państwowych o aktualność danych SIP.

10.4. Terminy wykonywania aktualizacji

Konieczność aktualizowania leśnej mapy numerycznej, wpisana do dobrej praktyki nadleśnictwa, jest obowiązkiem wynikającym z obowiązujących przepisów. Pojawia się jednak pytanie dotyczące terminów jej wykonywania. Odpowiedź znajduje się w załączniku nr 8 do Standardu Leśnej

Mapy Numerycznej (SLMN). Mimo że nie wskazuje on bezpośrednio na daty wykonywania aktualizacji, to uważnie czytając treść załącznika, można wywnioskować, kiedy proces aktualizacji LMN należy przeprowadzić. Na terminy wykonywania aktualizacji wskazują następujące zapisy:

- Aktualizację obu baz – geometrycznej i opisowej – należy prowadzić równoległe (pkt 1.3 załącznika nr 8 do SLMN),
- Aktualizacja bazy geometrycznej prowadzona równoległe z aktualizacją bazy opisowej systemu LAS stanowi podstawę prowadzenia stanu posiadania w nadleśnictwie (pkt 1.4 załącznika nr 8 do SLMN),
- Aktualizowanie całego SIP jest obowiązkowe przy każdej aktualizacji systemu LAS (pkt 1.7 załącznika nr 8 do SLMN).

Swoistym przypieczętowaniem zapisów załącznika nr 8 do SLMN jest Zarządzenie nr 13 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z 20 marca 2007 r. w sprawie przenoszenia informacji pomiędzy planem urządzenia lasu dla nadleśnictwa i Systemem Informatycznym Lasów Państwowych (SILP) oraz w sprawie bieżącej aktualizacji stanu lasu w SILP. Wynika z niego jasno, że właściwie każda zmiana wprowadzona do SILP pociąga za sobą konieczność aktualizacji mapy numerycznej. Podkreślić należy, że powyższe zapisy traktują aktualizację jako obowiązek. Ponadto oba procesy, aktualizacja SILP i SIP, muszą być zbieżne w czasie. Nie może zaistnieć sytuacja, kiedy to SILP jest aktualizowany w jednym terminie, a SIP w innym. Według SLMN, SIP ma być aktualizowany przy każdej (a nie po każdej) aktualizacji systemu LAS. Praktyka pokazuje niestety, że powyższe zapisy często nie są przestrzegane. Właściwie normą jest, że terminy aktualizacji baz SILP i SIP są rozbieżne. Nierzadko różnice sięgają kilku miesięcy. Przyczyn takiego stanu rzeczy można wskazać kilka.

Pierwszą i zasadniczą jest fakt, że mimo iż teoretycznie system informacji przestrzennej nadleśnictwa traktuje się jako całość, to praktycznie składa się on z dwóch baz: geometrycznej (mapa numeryczna) i opisowej (SILP). Są one relacyjnie powiązane ze sobą, ale informatycznie funkcjonują w różnych środowiskach programistycznych. W konsekwencji możliwe jest przeprowadzenie aktualizacji tych baz niezależnie od siebie. Baza SILP funkcjonuje w nadleśnictwach znacznie dłużej niż mapy numeryczne. W związku z tym jest ona lepiej znana pracownikom nadleśnictw, przez co nie mają oni obaw, że „coś zepsują”. Mapy numeryczne wciąż są postrzegane jako „wiedza tajemna”, mimo że dzięki systematycznie prowadzonym szkoleniom takie podejście jest coraz rzadziej spotykane. Specyfika danych zapisanych w SILP powoduje również, że część procedur aktualizacyjnych można zautomatyzować, co znacznie ułatwia ich przeprowadzanie. Zaktualizowanie mapy numerycznej jest bardziej pracochłonne, przy czym należy zauważyć, że przyczyna tej pracochłonności nie wynika bezpośrednio ze specyfiki samych danych geometrycznych. Jest to raczej konsekwencja nazbyt skomplikowanej struktury, w jakiej przechowywane są dane LMN. SLMN przewiduje aż trzy takie struktury, tzw.:

- wykonawcy,
- aktualizacji,
- warstw pochodnych.

Aktualizacja danych jest możliwa na dwóch z nich: wykonawcy i aktualizacji.

Nie bez znaczenia dla aktualizacji SIP jest również dobór aplikacji do obsługi LMN i SILP. W wypadku SILP, który oparty jest na rozwiązaniu serwerowym, dostęp do edycji danych i ich przeglądania rozwiązywany jest narzędziami administracyjnymi. Administrator SILP decyduje, czy dany użytkownik może tylko przeglądać dane, czy również je modyfikować. Ponadto oprogramowanie obsługujące serwery bazodanowe zwykle zawiera gotowe aplikacje pozwalające edytować dane zapisane w bazie. Aplikacje te można również w taki sposób modyfikować, aby odpowiadały one specyficie obsługiwanej bazy. Ułatwia to znacznie jej obsługę. Dane z map numerycznych, jak dotąd, nie są obsługiwane za pośrednictwem serwerów. Wciąż mają postać plików przechowywanych na komputerach lokalnych. Z tego powodu możliwości dystrybucji informacji, które zawierają, są znacznie ograniczone. Do niedawna, aby przeglądać dane z LMN, konieczne było kopiowanie danych z jednego komputera na drugi, przy czym każda kopia danych wymagała zakupu oddzielnej licencji na aplikację do obsługi mapy. Dostęp do LMN w nadleśnictwie możliwy był w związku z tym jedynie na kilku stanowiskach komputerowych, a w skrajnych przypadkach – tylko na jednym. Sytuacja ta zmieniła się w momencie wdrożenia przeglądarki serwerowej eLas, która nie pozwala jednak na pełną obsługę mapy. Ułatwia ona dostęp do usługi przeglądania danych, ale nie umożliwia ich edycji. Ta wciąż musi się odbywać za pomocą aplikacji działającej lokalnie na komputerach.

Mówiąc o aplikacji do aktualizacji map numerycznych w nadleśnictwie, należy wspomnieć, że również ona nie pozostaje bez wpływu na jakość pracy z LMN. Nosi nazwę Aktualizator LMN. Jest to aplikacja będąca własnością Lasów Państwowych, co niewątpliwie jest zaletą, gdyż nie istnieją ograniczenia licencyjne na jej dystrybucję w jednostkach LP. Aktualizator LMN powstał jako aplikacja dedykowana (właściwie wyłącznie) edycji map numerycznych w nadleśnictwach. Jest aplikacją samodzielną, nie tzw. nakładką na inny produkt komercyjny. Niestety, mimo tych wszystkich udogodnień, nie cieszy się uznaniem użytkowników, głównie ze względu na małą ergonomiczność i niestabilność w działaniu. Obecnie, mimo pewnych umocowań w SLMN, jest w coraz mniejszym stopniu wykorzystywana i wypierają ją produkty komercyjne. Na obronę Aktualizatora LMN można tylko powiedzieć, że w momencie, kiedy zdecydowano się na jego wdrożenie, rynek aplikacji geomatycznych w Polsce był jeszcze mało rozwinięty, co powodowało, że były one trudno dostępne, a ich ceny – stosunkowo wysokie.

Szansą na poprawę tej sytuacji jest prowadzony obecnie proces centralizacji SILP. Nastąpi integracja obu baz: geometrycznej i opisowej, powsta-

nie swego rodzaju geobaza, która pozwoli na dystrybucję i edycję danych geomatycznych za pośrednictwem rozwiązań serwerowych z wszystkimi jego zaletami, o których wspomniano wcześniej.

10.5. Aktualizacja w praktyce

Wydawać by się mogło, że w związku z tak dużą liczbą niedogodności bazy geometryczne w nadleśnictwach są aktualizowane rzadko lub wręcz w ogóle nie są aktualizowane. Nic bardziej mylnego. Aktualizacje wykonywane są praktycznie we wszystkich nadleśnictwach. Wciąż jeszcze w wielu jednostkach istnieje spora rozbieżność w czasie pomiędzy aktualizacją SILP a SIP. Z roku na rok zdarza się to jednak coraz rzadziej. Aktualizacja nie jest wykonywana właściwie tylko wtedy, gdy dane nadleśnictwo jest w trakcie prac urzędzeniowych. Ale i tu aktualizacja następuje niejako w wyniku tych prac.

Na wykonywanie aktualizacji wpływ mają różne czynniki. Dwa spośród nich mogą mieć znaczenie zasadnicze. Pierwszy, będący elementem procesu zarządzania oraz prowadzenia gospodarki leśnej, to rzeczywista potrzeba nadleśnictw dysponowania aktualną informacją o lesie. Drugi ma związek z nałożonymi na nadleśnictwa obowiązkami, przy czym należy podkreślić, że wynikają one nie tylko z przepisów nakazujących wykonywanie aktualizacji (załącznik nr 8 do SLMN). Dotyczą także sytuacji, kiedy jednostki nadrzędne (RDLP i DGLP), realizując zadania własne czy wynikające ze zobowiązań Lasów Państwowych wobec instytucji zewnętrznych, zgłaszają do nadleśnictw zapotrzebowanie na aktualne dane.

Nie bez znaczenia dla wykonywania aktualizacji SIP jest zapis, który znalazł się w punkcie 1.8 załącznika nr 8 do SLMN. Brzmi on następująco:

Aktualizacja bazy geometrycznej może być prowadzona siłami własnymi nadleśnictwa lub zlecana podmiotom zewnętrznym. Do aktualizacji musi być wykorzystana aplikacja do aktualizacji SIP dostarczana przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych.

Z możliwości zlecenia aktualizacji podmiotom zewnętrznym skorzystało w roku 2007 ok. 75% wszystkich nadleśnictw. Przyczyn takiego stanu rzeczy należy upatrywać we wspomnianych wcześniej kłopotach z Aktualizatorem LMN, ale nie tylko. Składają się na nie również następujące fakty:

- osoby zajmujące się w nadleśnictwach administracją LMN (operator LMN) wykonują prace z tego zakresu jako zadania dodatkowe i w związku z tym, mając taką możliwość, wolą zlecić wykonanie aktualizacji map na zewnątrz;
- aktualizacja baz geometrycznych wykonywana jest najczęściej raz w roku, co powoduje, że mimo prowadzonych szkoleń z aktualizacji wiedza zdobyta na szkoleniach nie zostaje ugruntowana praktyką;

- wciąż praktykowana jest w nadleśnictwach zasada, że operatorem LMN w nadleśnictwie zostaje osoba pracująca jako stażysta, który po odbyciu stażu zmienia stanowisko lub nawet miejsce pracy.

Druga część zapisu, zawarta w przytoczonym wcześniej fragmencie SLMN, dotycząca obligatoryjności wykorzystania Aktualizatora LMN, jest różnie interpretowana. Przeważa opinia, że zapis ten oznacza w praktyce możliwość wykonywania aktualizacji bazy geometrycznej wyłącznie za pomocą Aktualizatora LMN. Kiedy jednak uważnie przeanalizujemy jego treść, to znaczenie słów „musi być wykorzystana” niekoniecznie oznacza obowiązek wykonywania Aktualizatorem LMN całego procesu aktualizacji mapy numerycznej, lecz tylko jego części (np. wykorzystanie do wygenerowania warstw pochodnych ze zaktualizowanych warstw w strukturze wykonawcy). Argumentem przemawiającym za taką właśnie interpretacją tego zapisu jest możliwość zlecenia aktualizacji podmiotom zewnętrznym. Traciłaby ona sens, gdyby rzeczywiście Aktualizator LMN miał pełnić rolę jedynej aplikacji do aktualizacji map numerycznych nadleśnictw. Z tej prostej przyczyny, że do pracy z Aktualizatorem LMN konieczne jest bezpośrednie połączenie z bazą SILP, co w praktyce oznaczałoby, że podmiot przyjmujący zlecenie na aktualizację LMN musiałby ją wykonywać w biurze nadleśnictwa.

Mapy numeryczne pojawiały się stopniowo, w miarę postępu prac nad opracowywaniem planów urządzenia lasu. Nadleśnictwa w różny sposób podchodziły do aktualizacji baz geometrycznych. Jedne ją przeprowadzały (siłami własnymi bądź zlecając wykonanie aktualizacji), inne nie. Wraz ze wzrostem liczby nadleśnictw, w których wdrożono mapy, zaczęły pojawiać się podmioty oferujące różne usługi w zakresie ich aktualizacji. Obecnie można już mówić o swego rodzaju rynku aktualizacyjnym, obejmującym nie tylko usługi polegające na wykonywaniu aktualizacji baz geometrycznych. W ofercie firm pojawiły się różnego rodzaju aplikacje, które:

- pozwalają wykonać pełną aktualizację mapy, będące alternatywą dla Aktualizatora LMN;
- ułatwiają pozyskiwanie w terenie danych źródłowych do wykonania aktualizacji (głównie wykorzystując technologię GPS);
- wspomagają wykonywanie wydruków, w tym szkiców zrębowych i odnowieniowych.

Część firm prowadzi również system cyklicznych szkoleń z zakresu aktualizacji oraz obsługuje aplikacje do jej wykonania. Nowym wyzwaniem dla rynku aktualizacyjnego będzie wdrożenie scentralizowanego SILP, w dużej mierze opartego na technologii WWW. Technologia ta powinna wyraźnie poprawić możliwość dostępu użytkowników do zasobów systemu, a tym samym ułatwić jego aktualizację. Z pewnością nie pozostanie to bez wpływu na wspomniany rynek. Kwestią otwartą jest, czy będzie to wpływ pozytywny, czy negatywny.

Rozważając problematykę aktualizacji LMN, nie sposób nie wspomnieć o dwóch zagadnieniach mających wymiar praktyczny. Chodzi mianowicie

o to, kiedy (w jakich sytuacjach) i na podstawie jakich materiałów powinno się aktualizację wykonywać.

Zakładając, że jeśli – z punktu widzenia zarówno nadleśnictwa, jak i innych użytkowników map numerycznych – należy dążyć do sytuacji, w której mamy do czynienia z możliwie aktualnym systemem informacji przestrzennej, to właściwie każda najdrobniejsza zmiana, mająca wpływ na jego aktualność, powinna być niezwłocznie wprowadzana do systemu. Mielibyśmy wtedy do czynienia z tzw. aktualizacją bieżącą. Teoretycznie jest ona możliwa, jednak w praktyce stosuje się ją rzadko lub nawet wcale, bieżącej bowiem aktualizacji nie sprzyja obecny system funkcjonowania map numerycznych w nadleśnictwach. Przyjmuje on, że za aktualizację mapy odpowiada (często) jednoosobowo administrator LMN. W związku z tym prowadzenie jej na bieżąco wiązałoby się ze zbyt dużą pracochłonnością. Z tego względu aktualizacja map numerycznych nadleśnictw ma charakter okresowy. Wykonywana jest najczęściej w cyklu rocznym, na dzień 1 stycznia danego roku za rok ubiegły. Pozostaje kwestią dyskusyjną, czy nie jest to zbyt rzadko.

To, jak często wykonywana jest aktualizacja, powinno być uzależnione od indywidualnych potrzeb nadleśnictw. Wyznaczenie jednak pewnych sztywnych terminów ma tę zaletę, że wprowadza pewną przewidywalność. Jest ona istotna z punktu widzenia użytkowników map numerycznych, wykorzystujących je na szerszą skalę niż pojedyncze nadleśnictwo. Wydaje się, że optymalnym rozwiązaniem byłoby przyjęcie założenia, że całościową aktualizację wykonuje się raz w roku (np. na dzień 1 stycznia). Niezależnie od niej należałoby wskazać pewne zdarzenia, które mają na tyle istotny wpływ na funkcjonowanie nadleśnictwa, że ich zajście powinno skutkować wprowadzeniem do systemu zmian, które zostały przez nie wywołane. Do takich zdarzeń można by zaliczyć m.in.:

- przejęcia gruntu,
- sprzedaż lub przekazania gruntu,
- zmiany granic podziału administracyjnego kraju,
- zmiany granic podziału administracyjnego LP,
- zmiany adresu leśnego,
- wyjaśnienia rozbieżności i korekty błędów.

Dla właściwego wykonania aktualizacji istotne jest gromadzenie materiałów, które posłużą jako źródło wprowadzanych zmian. Nabierają one szczególnego znaczenia w sytuacji, kiedy ma się do czynienia z aktualizacją okresową. Zachodzi wtedy potrzeba odtworzenia zdarzeń, które zaszły kilka miesięcy wcześniej.

Materiały źródłowe do aktualizacji LMN można podzielić na trzy zasadnicze grupy. Pierwsza dotyczy zmian związanych ze stanem posiadania, do których należy zaliczyć:

- przejęcia, przekazania i sprzedaże gruntów;
- korekty granic działek;
- korekty granic użytków gruntowych;

- inne zmiany nie powodujące zmian przebiegu granic (np. zmiany numeracji działek, nazw użytków gruntowych).

Materiały źródłowe dla tej grupy zmian stanowi wszelkiego rodzaju dokumentacja geodezyjna, m.in.:

- kopie map ewidencyjnych i wypisy z rejestru gruntów,
- szkice przebiegu granic,
- wykazy współrzędnych punktów granicznych,
- wykazy współrzędnych punktów granic użytków gruntowych.

Druga grupa dotyczy zmian powstałych w wyniku działań gospodarczych, czyli powstania nowych lub korekty istniejących wydzielen i szczegółów sytuacji wewnętrznej (drogi, rowy, gniazda, luki, kępy itp.). Materiałami źródłowymi dla tej grupy zmian mogą być m.in.:

- fragmenty map gospodarczych lub wydruki z LMN z wniesionymi – na podstawie domiarów prostokątnych – skorygowanymi bądź nowymi granicami raptularz pomiarów busolowych wraz ze szkicem,
- wyrys z interpretacji fotogrametrycznej zdjęcia lotniczego bądź wysokorozdzielczego zobrazowania satelitarnego wraz z kopią fragmentu tego zdjęcia,
- wyrys z interpretacji tzw. zdjęć niemetrycznych,
- plik eksportowy z pomiarów GPS.

Do ostatniej grupy materiałów źródłowych należą materiały dotyczące zdarzeń innych niż wymienione powyżej. Zdarzenia te mają zazwyczaj charakter jednorazowych działań (zwykle inwentaryzacyjnych) bądź są następstwem wystąpienia czynników kłęskowych (huraganowych wiatrów, okiści, pożarów i gradacji owadów).

Gromadząc materiały źródłowe do aktualizacji leśnej mapy numerycznej, należy dołożyć wszelkich starań, aby były one możliwie kompletne, czytelne, interpretacyjnie jednoznaczne i niezniszczone. Dobrą praktyką jest prowadzenie tzw. „Rejestrów zmian danych geometrycznych”. Wytyczne do ich prowadzenia wydał w marcu 2007 r. Dyrektor Generalny Lasów Państwowych.

11.

Numeryczny model terenu (NMT)

dr hab. inż. KRZYSZTOF BĘDKOWSKI, prof. SGGW
– Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Leśny,
Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa

Numeryczny model terenu jest dyskretną (punktową) reprezentacją wysokości topograficznej powierzchni terenu wraz z algorytmem interpolacyjnym umożliwiającym odtworzenie jej kształtu w określonym obszarze. Algorytm interpolacyjny służy do wyznaczania wysokości Z dowolnego punktu, którego położenie w obszarze modelu jest określone za pomocą pary współrzędnych płaskich X, Y . W literaturze można spotkać skrótów pochodzące od nazw polskich: NMT, CMT – cyfrowy model terenu, CMRT – cyfrowy model rzeźby terenu, lub angielskich – DTM (Digital Terrain Model) bądź DEM (Digital Elevation Model).

11.1. Rodzaje modeli terenu

Istnieją trzy główne formy zapisu numerycznego modelu terenu.

Nieregularna sieć trójkątów – tzw. TIN (ang. Triangulated Irregular Network). Teren opisany jest za pomocą trójkątów przylegających do jego powierzchni (ryc. 11.1b). Wierzchołkami trójkątów są punkty o znanych wysokościach. Siatka trójkątów jest konstruowana za pomocą tzw. algorytmu Delaunaya. Wysokość dowolnego punktu, leżącego w obszarze modelu, jest wyznaczana na podstawie wysokości wierzchołków trójkąta, wewnątrz którego leży punkt (ryc. 11.2):

$$Z_D = \frac{(Z_A S_A + Z_B S_B + Z_C S_C)}{S_A + S_B + S_C}$$

gdzie:

Z_A, Z_B, Z_C – rzędne terenu w punktach A, B, C trójkąta,

S_A, S_B, S_C – pola powierzchni odpowiednich trójkątów dzielących trójkąt ABC na trzy części.

Regularna siatka kwadratów, prostokątów lub trójkątów (ang. Grid). Wysokości punktów tworzących regularną siatkę są wyznaczane za pomocą różnych metod interpolacji, na podstawie pewnej liczby punktów o znanych współrzędnych X, Y, Z . Istnieje wiele sposobów interpolacji. Bardzo popularna jest metoda oparta na odwrotności odległości między punktami (ang. IDW – Inverse Distance Weighted). W metodzie tej przyjmuje się, że punkty leżące blisko interpolowanego węzła siatki mają większy wpływ na jego wysokość niż punkty leżące dalej. Zasadę tą można wyrazić za pomocą wzoru (ryc. 11.3):

$$Z_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n \left(\frac{1}{d_k^\alpha} Z_k \right)}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{d_k^\alpha}}$$

gdzie:

Z_{ij} – wartość wysokości w danym węźle siatki,

d_k – odległość od węzła siatki do punktu o znanej wysokości Z_k ,

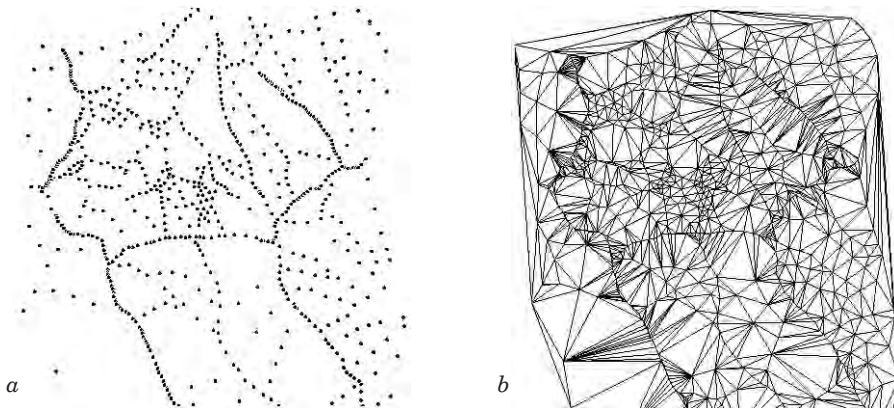
α – wykładnik potęgi (najczęściej $\alpha = 2$, rzadziej stosuje się $\alpha = 3, 4$ lub $\alpha = 1$),

n – liczba punktów, które wykorzystano do obliczenia wartości wysokości w danym węźle siatki.

Wysokość każdego węzła obliczona jest na podstawie pewnej, założonej z góry, liczby punktów (np. nie mniej niż 4 oraz nie więcej niż 8). Punkty te są poszukiwane wokół węzła według określonych reguł – np. brane są pod uwagę wszystkie punkty znajdujące się w pewnej odległości. Jeśli w danym przypadku punktów jest zbyt dużo, zmniejszany jest promień poszukiwań, aż do osiągnięcia maksymalnej dopuszczalnej ich liczby. W wypadku zbyt małej liczby punktów zwiększa się odpowiednio promień wokół węzła. Jeśli punkty o znanej wysokości są rozmieszczone bardzo nierównomiernie, np. wyraźnie jest ich więcej z jednej strony węzła, wówczas można stosować algorytm, który zapewni dobór w obliczeniach punktów ze wszystkich stref wokół węzła (ryc. 11.4).

Model hybrydowy jest modelem Grid, uzupełnionym o dodatkowe elementy, którymi są specyficzne formy terenu, takie jak: linie szkieletowe (grzbiety, doliny), linie nieciągłości (skarpy, urwiska, wyrobiska, wąwozy), powierzchnie wyłączone z modelu (zbiorniki wodne, teren pod budynkami), lokalne ekstrema (wierzchołki i zagłębienia) i inne.

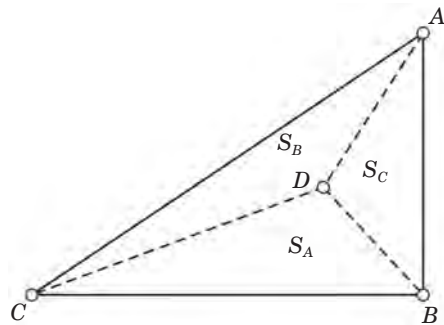
Wybór sposobu zapisu numerycznego modelu terenu zależy głównie od przeznaczenia modelu, stosowanych technik pozyskiwania danych okre-



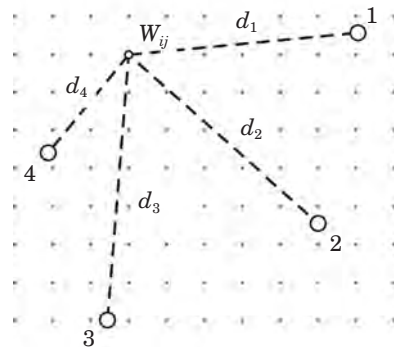
Ryc. 11.1. Punkty o znanych wartościach wysokości (a) oraz zbudowana na ich podstawie nieregularna siatka trójkątów TIN (b)

ślających kształt powierzchni i pożądaną dokładności odwzorowania terenu. Ważnym czynnikiem, np. w aplikacjach udostępniających dane przez sieć Internet, może być objętość danych.

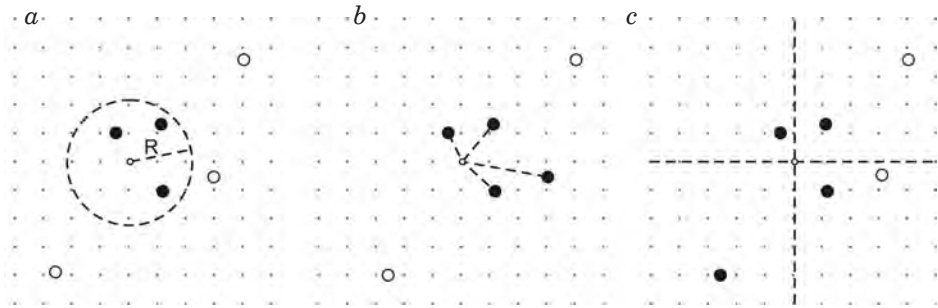
Poważnym problemem praktycznym jest dobór odpowiednich algorytmów interpolacyjnych. Zagadnienie to w zasadzie do dzisiaj nie doczekało się jednoznacznego i powszechnie akceptowanego rozwiązania. Niekiedy stosuje się w tym celu wielomiany. Wagi lub funkcje wagowe, występujące w równaniach, pozwalają uwzględnić fakt niejednakowego wpływu poszczególnych punktów na wysokość punktu, którego wysokość jest obliczana. Zaawansowane procedury uwzględniają korelację pomiędzy punktami modelu. Należy tu np. metoda opracowana przez Krausa (2000), który wyróżnia trzy składowe, wpływające na wynik interpolacji wysokości terenu: trend – w postaci funkcji wielomianowej, część skorelowaną – wyszczególnia tu



Ryc. 11.2. Wyznaczanie wysokości punktu w modelu TIN



Ryc. 11.3. Wyznaczanie wysokości Z_{ij} w węzle siatki modelu Grid



Ryc. 11.4. Strategie doboru punktów do interpolacji wartości wysokości w węzle siatki: a) uwzględniane są punkty znajdujące się w kole o promieniu R , b) wysokość jest obliczana na podstawie określonej liczby (tutaj: czterech) najbliższych punktów, c) dobierana jest taka sama liczba punktów z każdej ćwiartki przestrzeni wokół węzła

wariancje i kowariancje, opisujące korelację między punktami, oraz odchyłki (poprawki). Metodą opartą na analizie zależności przestrzennej między danymi jest także popularny „kriging”, aczkolwiek metoda ta ma zastosowanie raczej do interpolowania powierzchniowych rozkładów wartości danych nietopograficznych – np. stężeń substancji, temperatury, wilgotności, opadów itp.

11.2. Źródła danych do budowy NMT

Numeryczny model terenu może być zbudowany z wykorzystaniem danych uzyskanych za pomocą różnych technologii pomiarowych:

- bezpośredniego pomiaru w terenie (niwelacja, tachimetria, GPS) – tzw. technologii geodezyjnej,
- przetworzenia istniejących opracowań kartograficznych,
- fotogrametrycznie (stereodigitalizacja, korelacja obrazów lub lotniczy skaning laserowy),
- z zastosowaniem interferometrii radarowej.

Każda z metod charakteryzuje się określoną dokładnością oraz ma właściwy dla niej zakres zastosowań. Odróżnić należy zagadnienie dokładności NMT od dokładności określenia rzędnych punktów terenowych, na podstawie których model był zbudowany.

11.2.1. Pomiary bezpośrednie

Podstawową metodą pomiaru bezpośredniego, wykorzystywaną do zbierania danych do budowy numerycznego modelu terenu, jest **pomiar tachimetryczny**. Współcześnie w pracach geodezyjnych wykorzystywane są tachimetry elektroniczne o dużej dokładności pomiaru. Można uznać, że błędy instrumentalne są na tyle małe, że nie mają praktycznie wpływu na dokładność wyznaczenia współrzędnych pikiet. Jednak w niektórych wypadkach znaczenie może mieć identyfikacja szczegółu terenowego. Innym sposobem pomiaru bezpośredniego jest **niwelacja geometryczna** metodą punktów rozproszonych. Obydwie metody nadają się do pozyskiwania danych dotyczących niedużych obszarów. W technologiach geodezyjnych zastosowanie znalazły także **systemy pozycjonowania globalnego** (GPS – Global Positioning System). Proces pomiarowy jest w dużym stopniu zautomatyzowany. Ograniczeniem jest obecnie nadal niska precyzja pomiaru, która może wynikać z niekorzystnej geometrii satelitów, błędów spowodowanych przez jonosferę i troposferę oraz błędy orbitalne. Na terenach zalesionych dodatkowym czynnikiem ograniczającym są zniekształcenia sygnału spowodowane przez drzewostan. Zwiększenie dokładności poziomej i pionowej można uzyskać za pomocą odbiorników wysokiej klasy (niestety jeszcze stosunkowo drogie), przez wydłużenie czasu pomiaru oraz zastosowanie tzw. pomiarów różnicowych DGPS.

11.2.2. Przetwarzanie materiałów kartograficznych

Kartograficzna technologia pozyskiwania danych do budowy NMT polega na digitalizacji warstwic na istniejących mapach sytuacyjno-wysokościowych. Dodatkowo wprowadzane są pojedyncze punkty o znanych rzędnych, linie szkieletowe i linie nieciągłości (skarpy, urwiska itp.). Digitalizacja wykonywana jest obecnie na zeskanowanych mapach. Dokładność NMT budowanego w technologii kartograficznej zależy od dokładności materiałów źródłowych i wykonywanych czynności: mapy, skanowania, kalibracji map, precyzji digitalizacji (błędy osobowe), a także dalszych etapów przetwarzania – zastosowanego algorytmu, przyjętej gęstości siatki wynikowego modelu itp. Technologia kartograficzna znajduje zastosowanie głównie na obszarach zalesionych, na których nie można wykonać pomiarów za pomocą innych, bardziej wydajnych metod.

11.2.3. Opracowania fotogrametryczne

Opracowania fotogrametryczne na potrzeby budowy NMT są wykonywane głównie na podstawie zdjęć i obrazów uzyskiwanych z pułapu lotniczego lub satelitarnego. Stosunkowo rzadko wykonywane są opracowania

rzeźby terenu w fotogrametrii naziemnej. Pomiarzy fotogrametryczne wykonuje się najczęściej w modelach stereoskopowych jako tzw. **stereodigitalizację**, wyznaczając współrzędne pojedynczych punktów lub bezpośrednio kreśląc przebieg warstwic. Dokładność opracowań fotogrametrycznych jest funkcją wielu czynników, wynikających z przyjętych parametrów technicznych (rodzaj zobrazowań, skala, wysokość lotu i inne) oraz charakteru obiektu pomiaru.

Techniką pozyskiwania danych do budowy NMT, która zyskuje ostatnio dużą popularność, jest lotniczy **skaniny laserowy**. Znajduje zastosowanie szczególnie na terenach zalesionych, gdzie są trudności ze stosowaniem innych metod fotogrametrycznych. Dzięki dużej liczbie impulsów możliwe jest zarejestrowanie sygnałów odbitych od gruntu i po odpowiednim odfiltrowaniu wykorzystanie ich do budowy modelu. Dokładność pomiarów wysokościowych za pomocą skanera laserowego jest bardzo wysoka. Pewnym ograniczeniem tej techniki jest mała szerokość pasa objętego rejestracją, stąd konieczność wielokrotnego przelotu nad analizowanym obszarem. Skanowanie laserowe staje się obecnie głównym narzędziem do pozyskiwania danych do precyzyjnych modeli terenu, a także modeli pokrycia terenu (rozdz. 14.5.1). Udowodniono, że skaniny laserowy, w zastosowaniu do obszarów zalesionych, dostarcza danych do budowy modeli terenu o jakości lepszej od modeli opartych na materiałach kartograficznych.

Metoda **korelacji obrazów** stosowana jest w fotogrametrii jako metoda wspomagająca przy wykonywaniu orientacji modeli stereoskopowych – do pozycjonowania kursora na znaczkach tłowych lub odnajdywania punktów analogicznych na zdjęciach (orientacja wzajemna). Opracowano także algorytmy służące do automatycznego generowania NMT na podstawie korelacji obrazów tworzących parę stereoskopową. Algorytmy takie są zawarte w oprogramowaniu współczesnych fotogrametrycznych stacji roboczych. Metodę wykorzystano np. przy opracowywaniu globalnych modeli (pokrycia) terenu SPOT DEM oraz ASTER GDEM. Idea tego sposobu przetwarzania obrazów opiera się na występowaniu drobnych różnic w położeniu obrazów obiektów trójwymiarowych na dwóch zdjęciach wykonanych z różnych punktów w przestrzeni. Przesunięcia fragmentów obrazu dokładnie oddają na płaskich zdjęciach trzeci wymiar zarejestrowanych obiektów. Metoda polega na porównywaniu obrazu lewego z prawym w celu odnalezienia odpowiadających sobie fragmentów. Miarą podobieństwa jest współczynnik korelacji, który obliczany jest na podstawie wartości jasności porównywanych ze sobą pikseli obrazów. Dotychczas za pomocą korelacji obrazów opracowywano głównie modele terenu w małych skalach. Badania naukowe potwierdzają, że także w opracowaniach wielkoskalowych można uzyskać dokładność porównywalną lub nawet wyższą od osiągniętej fotogrametrycznie na autografach analitycznych.

11.2.4. Interferometria radarowa

Obrazy radarowe powstają poprzez wysyłanie wiązki mikrofal i pomiar powracającego echa. System radarowy SLAR (Side Looking Airborne Radar) pozwalał na uzyskiwanie obrazów powierzchni Ziemi niezależnie od oświetlenia słonecznego, także skrytej pod pokrywą chmur. Rejestrowane były różnice czasu powrotu sygnału. Opracowany później radar SAR (Synthetic Aperture Radar) rejestrował zarówno amplitudę, jak i fazę powracającego echa. Poprzez złożoną analizę obrazu pierwotnego, którym jest tzw. hologram mikrofalowy, utworzony przez interferujące (nakładające się) odbicia wielu sygnałów, otrzymuje się obraz radarowy wtórny. Rozdzielczość takiego obrazu uzyskiwanego z pułapu kosmicznego wynosi 10–100 m. Istotnym osiągnięciem dalszych etapów rozwoju obrazowania radarowego było wdrożenie technologii tworzenia zobrazowań stereoskopowych. Powstają one na zasadzie rejestracji obrazów z dwóch punktów w przestrzeni – za pomocą jednego satelity, z różnych miejsc jego orbity, lub równocześnie z dwóch satelitów na sąsiednich orbitach. Zauważono, że różnice odległości między anteną a obiektami przekładają się silnie na fazę powracającego sygnału. Fakt ten wykorzystuje tzw. interferometria radarowa (inSAR – SAR Interferometry), w której stosuje się jedną antenę nadawczą i dwie odbiorcze, odsunięte od siebie o pewną odległość. Wielkość rozsunięcia anten jest znana – tworzy ono pewną bazę, której wielkość oraz inne elementy orientacji przestrzennej uwzględnia się przy przetwarzaniu obrazów radarowych. Porównywane ze sobą obrazy z dwóch anten mają zapisaną w każdym pikselu amplitudę i fazę. Różnice porównywanych faz tworzą interferogram złożony z prążków interferencyjnych. Ideę inSAR zrealizowano praktycznie w 2000 r. podczas lotu promu kosmicznego Endeavour. Anteny systemu radarowego znajdowały się wówczas w odległości 60 m, co uzyskano za pomocą specjalnego wysuwanego ramienia.

11.3. Numeryczne modele pokrycia terenu

Pod pojęciem numeryczny model pokrycia terenu (NMPT) należy rozumieć, przez analogię do numerycznego modelu terenu (NMT), dyskretną (punktową) reprezentację pewnej powierzchni, która wraz z algorytmem interpolacyjnym opisuje kształt powierzchni rozpiętej na obiektach znajdujących się na powierzchni terenu (budynkach, budowlach, drzewach i krzewach) lub bezpośrednio na terenie.

Proces pomiaru dowolnych powierzchni naturalnych prowadzi do generalizacji ich kształtu. Najdokładniejsze wyniki można uzyskać za pomocą bezpośrednich pomiarów terenowych, z wykorzystaniem metod i narzędzi geodezyjnych, jednak z uwagi na dużą pracochłonność mają one ograniczo-

ne zastosowanie. Współcześnie problem gromadzenia dużej liczby danych z przestrzeni warstwy koron rozwiązano za pomocą innych, omówionych wcześniej technik pomiaru lub sposobów opracowania istniejących materiałów fotogrametrycznych: interferometrii radarowej, skaningu laserowego, korelacji obrazów.

Górna granica drzewostanu, którą opisuje numeryczny model warstwy koron (NMWK), nie jest tak precyzyjnie określona jak granica dolna, oparta na poziomie gruntu. NMWK ma charakter granicy umownej, wirtualnej, o następujących cechach:

- częste i „nagle” zmiany kierunku nachylenia;
- duże „różnice wysokości” oraz „spadki”;
- obszary nieciągłości, spowodowane np. obecnością luk;
- duża dynamika, zmienność w czasie.

Precyzyjne modele warstwy koron służą przede wszystkim do inwentaryzacji wielkości zapasu drzewostanów. Na ich podstawie można także określić fazy rozwojowe lasu naturalnego i prognozować jego dalszy rozwój. Obecnie w centrum zainteresowania badań dotyczących pomiarów warstwy koron są zagadnienia dotyczące:

- doboru odpowiednich algorytmów do interpolacji modeli warstwy koron,
- automatyzacji identyfikacji i rejestracji położenia wierzchołków drzew,
- wyznaczania zasięgu koron drzew (segmentacji),
- zastosowania metod korelacji obrazów do automatycznego generowania modelu warstwy koron,
- wyznaczania numerycznych charakterystyk warstwy koron,
- zastosowania NMWK do określania cech drzewostanu, istotnych w zarządzaniu lasu (liczba drzew, zwarcie, zapas, wysokość drzew i inne).

11.4. Globalne modele terenu

Numeryczne modele terenu, opracowywane dla całego globu, mają duże znaczenie w badaniach hydrologicznych, geologicznych, archeologicznych, w planowaniu przestrzennym, transporcie, telekomunikacji i wielu innych dziedzinach. Pozwalają lepiej analizować obszary, dla których brak było dotychczas dobrych danych topograficznych lub dane te, szczególnie w rejonach granicznych, były nieporównywalne z uwagi na różny sposób ich uzyskania i przetworzenia. Operatorzy systemów satelitarnych oferują dane dotyczące ukształtowania powierzchni naszego globu, które uzyskiwane są za pomocą zaawansowanych technik przetwarzania danych obrazowych – korelacji obrazów (SPOT DEM, ASTER GDEM), interferometrii radarowej (SRTM) – lub kompilacji danych topograficznych z wielu źródeł (GTOPO30). Razem z innymi bazami danych, np. Globcover, opisującą pokrycie terenu, stanowią bogate źródło wzajemnie uzupełniających się danych. Należy się spodziewać, że w stosunkowo bliskiej perspektywie do-

stępnym będzie wiele danych o coraz lepszej jakości, które będą wykorzystywane do analiz prowadzonych na potrzeby gospodarki leśnej. W dalszej części omówiono krótko modele udostępniane bezpłatnie w sieci Internet.

11.4.1. Numeryczny globalny model terenu GTOPO30

GTOPO30 został opracowany przez U.S. Geological Survey EROS Data Center (Sioux Falls, USA). Udostępniony w 1993 r., jest regularnie ulepszany w miarę dołączania nowych, dokładniejszych danych. GTOPO30 ma rozdzielczość przestrzenną ok. 1 km (moduł siatki wynosi 30"). Obejmuje cały glob, a rzędne wysokościowe wyrażają w pełnych metrach, w każdym oczku modelu, wysokość nad średnim poziomem morza. Wartości te zawierają się w granicach od -407 do 8752 m. Obszary mórz otrzymały wartość -9999, a tereny nadmorskie mają przypisaną minimalną rzędną 1 m. Model nie odwzorowuje obiektów (wysp) o powierzchni mniejszej niż 1 km². Dla ułatwienia dystrybucji na drodze elektronicznej, został podzielony na 33 sekcje. Obszar wyznaczony przez szerokość geograficzną od 60°S do 90°N oraz długość geograficzną od 180°W do 180°E podzielono na 27 części. Pozostałych sześć odwzorowuje ukształtowanie terenu Antarktydy. GTOPO30 opracowano z wykorzystaniem ośmiu różnych źródeł danych wysokościowych, zarówno rastrowych, jak i wektorowych, z których najważniejszymi były Digital Terrain Elevation Data (50% powierzchni) oraz USGS 1-degree DEM (29,9%). Obszerna dokumentacja modelu, źródeł danych, rodzaju i formatów danych wynikowych, sposobu dystrybucji itp. opublikowana jest w Internecie (<http://eros.usgs.gov/products/elevation/gtopo30/README.html>). Porównanie modelu GTOPO30 z innymi modelami globalnymi przedstawiono w tabeli 11.1.

11.4.2. Numeryczny globalny model terenu SRTM

Dane dotyczące ukształtowania terenu o jakości odpowiadającej mapom średnioskalowym uzyskano podczas 11-dniowej misji promu kosmicznego Endeavour w lutym 2000 r. Na pokładzie promu znajdowały się dwa systemy radarowe, pracujące w pasmach mikrofalowych C oraz X. Uzyskano dane umożliwiające opracowanie numerycznych modeli terenu dla obszaru między 60° szerokości geograficznej północnej i 56° szerokości geograficznej południowej (tab. 11.1). Opracowaniem danych z pasma C mikrofal zajmuje się Jet Propulsion Laboratory (USA), natomiast danych z pasma X – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (Niemcy). Modele terenu, określone jako SRTM-1, mają rozdzielczość przestrzenną o module

$\Delta\phi = \Delta\lambda = 1''$ układu odniesienia WGS-84, co na obszarze Polski odpowiada siatce w przybliżeniu $20\text{ m} \times 30\text{ m}$. Opracowano także dane SRTM-3 o trzykrotnie niższej rozdzielczości liniowej, z modułem $\Delta\phi = \Delta\lambda = 3''$ ($60\text{ m} \times 90\text{ m}$ na obszarze Polski). Modele SRTM są udostępnione bezpłatnie na wielu serwerach, w różnych formatach danych (np. <http://dds.cr.usgs.gov/srtm>).

NASA wspólnie z National Imagery and Mapping Agency (NIMA) opracowały także produkt oznaczony jako SRTM30, który jest kombinacją modeli z misji SRTM oraz modelu GTOPO30, wzbogaconą o dodatkowe dane. Organizacja przestrzenna modelu jest zgodna z GTOPO30. Dane można uzyskać z serwera <http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/gtopo30.html>.

11.4.3. Numeryczny globalny model pokrycia terenu ASTER GDEM

Ministerstwo Gospodarki, Handlu i Przemysłu (METI) Japonii oraz NASA udostępniły w dniu 29 czerwca 2009 r. ASTER Global DEM – Global Digital Elevation Model (tab. 11.1). Korzystać z niego mogą wszystkie osoby i instytucje, których działalność praktyczna lub badania naukowe dotyczą społecznie ważnych obszarów: katastrof naturalnych, zdrowia, energii, klimatu, pogody, ekosystemów, rolnictwa i bioróżnorodności. Model opracowano na podstawie obrazów, które dostarczył instrument ASTER – Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer, umieszczony na pokładzie satelity Terra. W projekcie wykorzystano archiwum 1,5 mln obrazów. Pojedyncza scena, o rozdzielczości przestrzennej 15 m, obejmuje obszar około $60\text{ km} \times 60\text{ km}$. Informację dotyczącą ukształtowania pokrycia terenu uzyskano za pomocą techniki korelacji obrazów. Model ASTER GDEM opisuje pokrycie terenu na obszarze

Tabela 11.1.

Porównanie globalnych modeli terenu i modeli pokrycia terenu (źródło: <http://www.ersdac.or.jp/GDEM/E/2.html>)

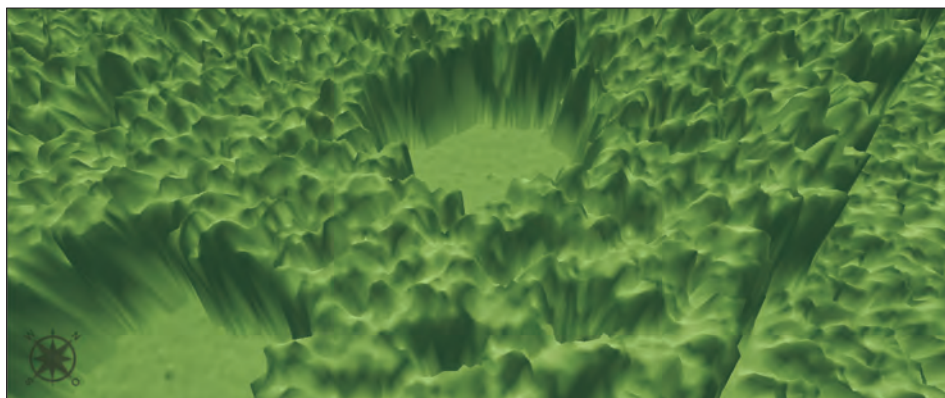
Charakterystyka	SRTM	ASTER GDEM	GTOPO30
Rozdzielczość	90 m	30 m	1000 m
Dokładność modelu (odchylenie standardowe)	10 m	7–14 m	30 m
Zasięg	60° N – 56° S	83° N – 83° S	cały glob
Obszary, dla których brak modelu	obszary o dużym nachyleniu terenu	obszary niedostępne z powodu pokrywy chmur (uzupełniono innymi danymi)	nie ma

zawartym pomiędzy 83° szerokości geograficznej północnej i 83° szerokości geograficznej południowej. Składa się z 22 600 segmentów, z których każdy odpowiada wycinkowi terenu o wielkości $1^\circ \times 1^\circ$. Rozdzielczość modelu wynosi 30 m (wynika z podziału jednego stopnia na 3600 sekund). Dane są zapisane w formacie GeoTIFF. W momencie uruchamiania projektu zakładano uzyskanie dokładności 20 m dla współrzędnych wysokości oraz 30 m dla położenia (95% ufności), co udało się osiągnąć dla dużej części analizowanego obszaru. METI i NASA określają pierwszą wersję danych jako eksperymentalne i o znaczeniu naukowym.

11.5. Produkty pochodne numerycznych modeli terenu i innych danych przestrzennych

Numeryczny model terenu w powiązaniu z innymi danymi może być wykorzystany do różnorodnych analiz przestrzennych. Na podstawie NMT tworzone są przekroje pionowe, mapy ekspozycji, spadków terenu, widoczności, zasięgu zlewni. Są one podstawą analiz ekologicznych (np. oceny nasłonecznienia) lub ryzyka erozji gruntu, występowania lawin i osuwisk, zagrożeń powodziowych, rozprzestrzeniania się pożarów itp. Pomagają także w planowaniu infrastruktury służącej gospodarce wodnej, sieci dróg leśnych lub doborze odpowiednich technologii prac, np. przy pielęgnacji lub użytkowaniu rębnym drzewostanów.

Specjalne znaczenie mają widoki perspektywiczne (ryc. 11.5), które umożliwiają obejrzenie modelu terenu w różnych rzutach perspektywicz-



Ryc. 11.5. Widok perspektywiczny (numeryczny model warstwy koron drzew),
(źródło: oprac. K. Stereńczak 2008)

nych. Kształt widoku zależy od azymutu i kąta obserwacji oraz przyjętego współczynnika przewyższenia (przerysowania) modelu, który wyraża stopień zwiększenia skali pionowej względem skali poziomej modelu. Widoki perspektywiczne mogą być uzupełnione obrazami satelitarnymi lub lotniczymi, ewentualnie można nałożyć na nie warstwy kodujące wartości wysokości terenu za pomocą odpowiednio dobranej legendy barwnej. Dla lepszego uwypuklenia rzeźby terenu stosuje się cieniowanie. Różne odcienie koloru są przypisywane do stref wysokości lub do wystawy względem stron świata.

Numeryczny model terenu jest podstawowym produktem wykorzystywanym w technologii produkcji ortofotomap. Jest źródłem informacji niezbędnych do odpowiedniej rektyfikacji obrazów (ortorektyfikacji), mającej na celu usunięcie zniekształceń (przesunięć radialnych) wynikających ze zróżnicowania wysokościowego obiektów. Najlepsze ortofotomapy, tzw. true orto, produkowane są z użyciem numerycznych modeli pokrycia terenu, co pozwala np. na usunięcie zniekształceń wynikających z różnicy rzędnych terenu i koron drzew. Tak korygowane obrazy na ogół dobrze pasują do warstw wektorowych systemów informacji przestrzennej, zawierających granice działek, dróg, obrysy budynków itp.

11.6. Numeryczne modele terenu w leśnictwie

Przydatność informacji o rzeźbie terenu, uzyskanej z NMT, jest uzależniona od rodzaju i jakości danych wykorzystanych do budowy modelu. Im wierniej model odzwierciedla powierzchnię terenu, tym szersze jest jego zastosowanie. Pomaga on w podejmowaniu poprawnych decyzji zarówno w pracach urządzeniowo-leśnych, z zakresu hodowli, fitosocjologii, gleboznawstwa, klimatologii, jak i użytkowania lasu. Szczególnie przydatny jest w stanach kłeskowych, np. powodzi, gdy decyzje muszą być podejmowane bardzo szybko.

Wykorzystanie numerycznego modelu terenu możemy podzielić na lokalne i ogólne. Przez lokalne zastosowanie należy rozumieć wykorzystanie danych z NMT dla pojedynczego obiektu, np. powierzchni doświadczalnej, wyłączenia leśnego, oddziału, leśnictwa i nadleśnictwa. Natomiast zastosowanie ogólne odnosi się do takich powierzchni, jak cały kraj, kraina przyrodniczo-leśna, dzielnica przyrodniczo-leśna, mezoregion ekologiczno-klimatyczny, województwo, region czy regionalna dyrekcja Lasów Państwowych.

Rzeźba terenu jest jednym z podstawowych elementów kształtujących warunki środowiska przyrodniczego i z tego powodu powinna być brana pod uwagę w planowaniu gospodarczym przeprowadzanym w ramach

urządzenia lasu. Wraz z danymi opisującymi drzewostany i siedliska zapisane w postaci numerycznej informacje o rzeźbie terenu mogą być wykorzystywane do lokalizacji szkółek, doboru składu gatunkowego upraw, podsadzeń i poprawek, określania szerokości działek zrębowych. Znajomość charakterystyki rzeźby terenu oraz wymagań gatunków drzew pozwala na unikanie szkód i strat powodowanych przez przymrozki (odpowiednia lokalizacja szkółek leśnych), stwarzanie właściwych warunków odnowienia i wzrostu gatunkom wrażliwym w młodości na przymrozki (sadzenie ich w odpowiednim terminie i we właściwym otoczeniu, zapewnienie odpowiedniej wielkości gniazd i szerokości działek zrębowych), dokładne obliczenie niezbędnej liczby sadzonek do odnowienia lub zalesień określonych obszarów.

Ukształtowanie terenu stanowi istotny czynnik ograniczający przy pozyskaniu drewna. Ma to znaczenie szczególnie w procesie zrywki i wywozu, kiedy to znacznie wpływa na koszty prac. Wykorzystując NMT w pracach planistycznych, możemy wytyczyć optymalne szlaki zrywkowe i wywozowe oraz obliczyć koszty tych operacji. NMT może być wykorzystywany w pracach związanych z inżynieryjnym zagospodarowaniem lasu, przy projektowaniu dróg, melioracji wodnych, turystycznego udostępniania lasu. Drogownictwo leśne uzyskuje informacje zarówno na temat długości planowanej trasy, zróżnicowania wysokościowego, jak i profilu. Dział melioracji wodnej ma możliwość przeprowadzenia symulacji zagrożenia powodziowego, zlokalizowania terenów zalewowych oraz zbiorników retencyjnych i spiętrzania wody. Niezbędny jest przy przygotowywaniu projektów związanych z tzw. małą retencją – przedsięwzięciem realizowanym na dużą skalę przez Lasy Państwowe. Obok funkcji gospodarczych las pełni również funkcje rekreacyjne – dane o rzeźbie terenu oraz opisujące drzewostan i siedlisko pozwalają wyodrębnić obszary o szczególnych walorach rekreacyjnych.

Prace naukowo-badawcze na terenie lasów prowadzone są najczęściej przez kilka lat lub nawet dziesięciolecia. Powoduje to konieczność, przy projektowaniu powierzchni, uwzględnienia wielu czynników, tak aby po latach dane uzyskane z tych powierzchni były wiarygodne. NMT ułatwia lokalizację powierzchni próbnych oraz pozwala na znalezienie zależności między wynikami eksperymentu a rzeźbą terenu.

Zauważmy jeszcze, że zastosowanie zapisu i przetwarzania danych w technice NMT nie ogranicza się wyłącznie do danych topograficznych (wysokościowych). Jeżeli analizowane zjawisko ma charakter ciągły, jak np. rozkład temperatur, wilgotności gleby, poziomu lustra wód gruntowych, liczebność populacji owadów itp., to możliwe jest jego odwzorowanie w postaci rozkładu powierzchniowego.

12.

Analizy przestrzenne

12.1. Rodzaje analiz przestrzennych

dr JOANNA ADAMCZYK – Szkoła Główna Gospodarstwa
Wiejskiego, Wydział Leśny, Katedra Urządzania Lasu,
Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa
mgr inż. ADAM KONIECZNY – Taxus SI sp. z o.o.

Pojęcie analiz przestrzennych często ujmowane jest w wąskim rozumieniu, wynikającym z użytkowania popularnych funkcji oprogramowania GIS. W wypadku systemów wektorowych oznacza ono przede wszystkim proste operacje, takie jak nakładanie warstw czy buforowanie. Wielu autorów (m.in. de Smith i in. 2009) twierdzi, że wynika to ze sposobu użycia terminu „analiza przestrzenna” w ramach Open Geospatial Consortium (OGC), zapisanego w specyfikacji funkcji podstawowych (Simple Features Specification), będącej obowiązującym standardem przy tworzeniu narzędzi GIS. Dla danych rastrowych termin ten oznacza zazwyczaj zestaw czynności na pikselach jednego lub więcej obrazów, najczęściej kojarzonych z filtrowaniem lub algebrą map, będących zastosowaniem prostych reguł, na podstawie których powstaje nowa reprezentacja przestrzenna. Przykładem jest obliczenie wartości piksela na podstawie średniej z wartości pikseli sąsiadujących lub pikseli o tej samej lokalizacji, pochodzących z nałożonych obrazów rastrowych. Do tego dołączane są statystyki opisowe, takie jak liczba pikseli, średnie, wariancje, minimum, maksimum i inne. Nie ulega wątpliwości, że są to najbardziej podstawowe techniki używane przez większość profesjonalistów. Jak jednak zostanie to wykazane poniżej, do tego zestawu należy dodać cały szereg technik analiz przestrzennych, które w omówionym powyżej sposobie rozumienia zostały pominięte.

Termin „analiza” przestrzenna jest szeroko używany w literaturze i podręcznikach dotyczących systemów informacji przestrzennej. Pojęcie to ogólnie

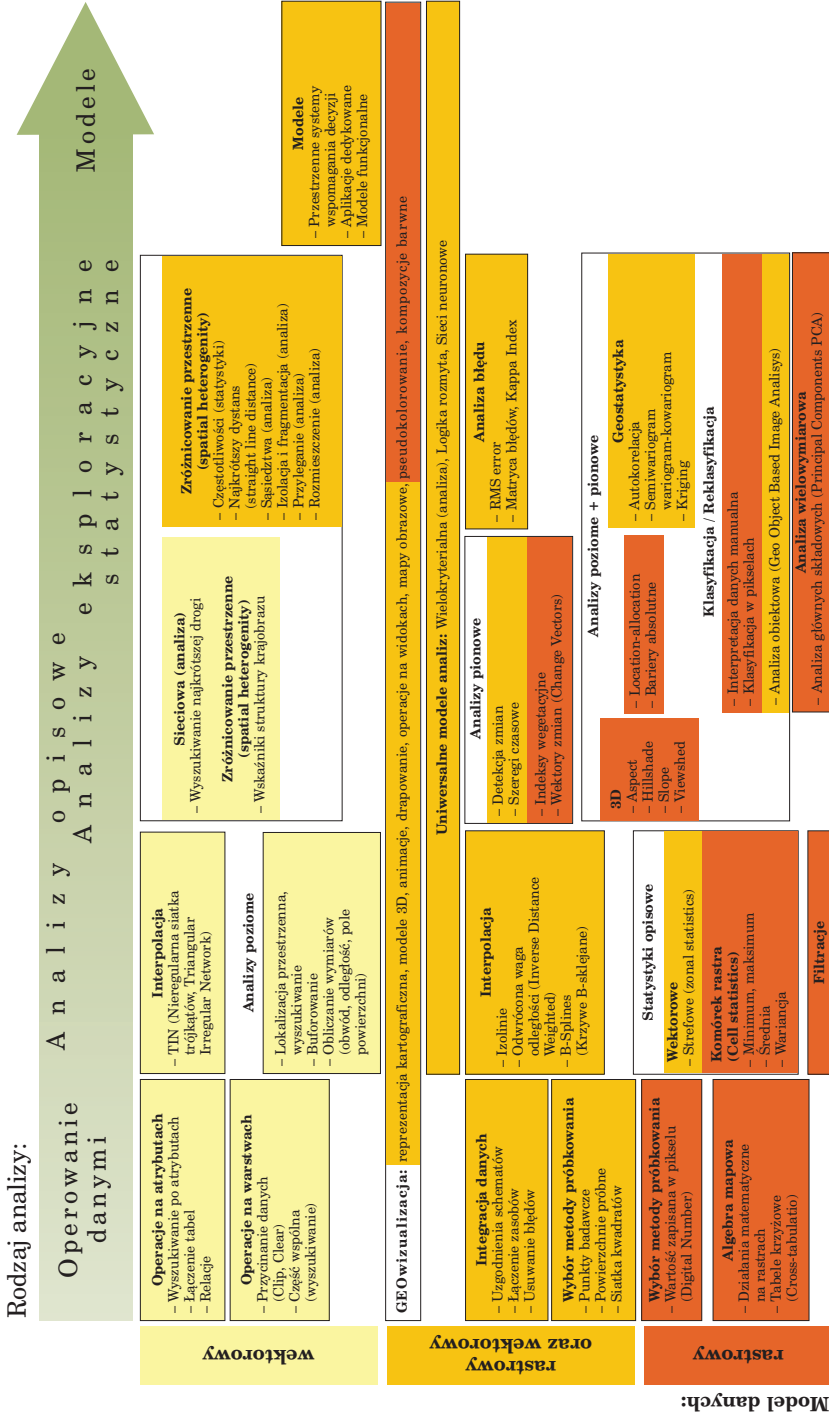
nie kojarzone jest z zestawem technik i modeli, które wykorzystują odniesienie przestrzenne danych (Haining 2003). Mają one *generalną zdolność do manipulowania danymi przestrzennymi w celu uzyskania innej ich formy oraz wydobycia dodatkowego znaczenia jako rezultatu przetworzeń* (Bailey 1994). Wykorzystywane są zatem w procesie pozyskiwania, modelowania oraz przetwarzania danych przestrzennych w celu podkreślenia użytecznej informacji, sugerowania rozwiązań problemów przestrzennych oraz wspomagania podejmowania decyzji.

Pojęcie to jest również często kojarzone z *zastosowaniem metod statystycznych w rozwiązywaniu geograficznych (przestrzennych – przyp. autorów) problemów badawczych* (Gattrell 1987). Wielokrotnie jednak podkreśla się, że aby spełnić cytowaną powyżej definicję, należy potraktować ją szerzej. Zawiera ona przynajmniej trzy główne elementy (Hainig 2003):

1. Modelowanie kartograficzne. Zakłada się, że każdy zestaw danych jest reprezentowany w formie mapy. Operacje bazujące na mapach (również angażujące algebrę map) służą do generowania z nich nowych map. Jako przykład podawane są następujące operacje: buforowanie, nakładanie na siebie map poprzez użycie operatorów logicznych (.AND.; .OR.; .XOR.), definiujących kryteria, które powinny zostać spełnione dla dwóch zmiennych lub arytmetycznych (+; -, ×, /), służących do wykonywania operacji na zmiennych poprzez porównanie przestrzenne.
2. Modelowanie matematyczne. Pozwala na ujęcie w opisie matematycznym zależności pomiędzy obiektami rozpatrywanymi w modelu, np. rozmieszczenie przestrzenne jednego z gatunków zwierząt może mieć wpływ na dystrybucję i przemieszczanie się innego.
3. Analiza statystyczna. Zastosowanie metod statystycznych związane jest z koniecznością próbkowania cech przestrzeni oraz z budowaniem na tej podstawie ocen stanu istniejącego, modeli predykcyjnych. Najważniejsze pojęcia metodyczne rozpatrywane w kontekście analizy statystycznej są następujące:
 - technika próbkowania,
 - wybór metody analizy odpowiedniej do rozwiązywanego problemu,
 - błąd metody.

Ryc. 12.1.1 przedstawia przykłady najpopularniejszych analiz przestrzennych w próbie ich klasyfikacji z punktu widzenia poziomu zaawansowania technicznego:

1. Operowanie danymi (Data Manipulation). Są to typowe działania na danych, najczęściej związane z wyszukaniem odpowiednich danych, zmianą ich zasięgu przestrzennego i innymi operacjami służącymi przygotowaniu ich do analiz.
2. Analizy opisowe (Descriptive Analysis). Odpowiadają na podstawowe pytania zadawane w odniesieniu do obiektów i zjawisk zlokalizowanych przestrzennie: „co?”, „gdzie?” i „jak dużo?”. W ten sposób opisywany jest obecny stan interesujących nas elementów przestrzeni.



3. Analizy eksploracyjne (Exploratory Analysis). Służą do wydobycia treści zawartej w danych, będącej wyrazem zależności, które mogą potwierdzić postawione hipotezy.
4. Metody statystyczne. Wydzielone z metod eksploracyjnych jako bardziej zaawansowane technicznie, jednak zasada ich wykorzystania jest taka sama.
5. Modele. Używane przede wszystkim w celu wyjaśniania i predykcji zjawisk. Symulacja przebiegu procesów oraz relacji przestrzennych odbywa się za pomocą zestawu założeń, pojęć i zależności między nimi. Na ogół wyrażane są w języku matematyki, gdyż taki sposób zapisu daje możliwość jego doświadczalnego sprawdzenia.

Warto zauważyć, że analizy opisowe i eksploracyjne mogą być przeprowadzane przy użyciu podobnych metod; różnica między nimi polega na celu i poziomie złożoności zastosowanej metody. Na przykład do analizy opisowej znacznie częściej używa się metody obliczania wymiarów niż geostatystyki.

Przedstawione na omawianym rysunku metody analiz opisowych i eksploracyjnych zostały pogrupowane z punktu widzenia liczby i rodzaju wymiarów, w których są prowadzone. Przyjęto przy tym następującą definicję metod:

- Analizy poziome. Metody, w których problemy rozpatrywane są w dwóch wymiarach przestrzennych, powiązanych z powierzchnią analizowanego terenu. Należą do najbardziej popularnych metod geomatyki. Wykonywane są zarówno dla opisu danych, jak i ich eksploracji. Do tej grupy należą również zaawansowane metody statystyczne. Większość metod omówionych w dalszej części rozdziału to w swej istocie analizy poziome.
- Analizy pionowe. Podstawowy problem rozpatrywany jest w trzecim wymiarze tematycznym. Wykonywane są porównania pomiędzy atrybutami zapisanymi w różnych warstwach informacyjnych.
- Analizy poziome i pionowe. Metody służące do rozwiązywania problemów, które uwzględniają zależność pomiędzy wymiarami poziomymi, dotyczącymi relacji przestrzennych (najczęściej na powierzchni terenu), a pionowymi – cechami zapisanymi w atrybutach opisowych, w jednym lub więcej. Stają się coraz bardziej popularne, a to ze względu na zwiększenie oferowanych możliwości analitycznych oraz coraz większe możliwości oprogramowania geomatycznego.

Metodyka analiz przestrzennych zależna jest od modelu danych, na którym jest przeprowadzana: wektorowego, rastrowego. Jednak na schemacie (ryc. 12.1.1) można zauważyć, że zależność ta utrzymuje się głównie w mniej złożonych analizach; analizy zaawansowane wykonywane są coraz częściej na modelu mieszanym lub przy wykorzystaniu obu modeli.

Poniżej przedstawiono przegląd najpopularniejszych analiz przestrzennych, zaprezentowanych również na ryc. 12.1.1. Pogrupowano je według wspólnych zagadnień metodycznych, podając przykłady analiz (narzędzi) najczęściej kojarzących się z nimi.

12.1.1. Operacje na atrybutach i warstwach

Grupa ta zawiera wszystkie podstawowe czynności, które muszą być przeprowadzone na warstwach GIS oraz ich atrybutach po to, żeby później można je było wykorzystać w analizach przestrzennych. Czynności te są związane z sortowaniem i wyszukaniem danych, ustaleniem ich zasięgu przestrzennego oraz integracją (przycinanie, część wspólna, usuwanie błędów). Pomimo swojego przygotowawczego charakteru (preprocessing) operacje te zaliczane są do analiz przestrzennych, gdyż mogą w nich pełnić różne role:

- jeżeli wykonywane są na pełnym zestawie danych, pełnią funkcję przygotowawczą do przeprowadzenia analizy przestrzennej;
- w każdym procesie analizy omawiane operacje na danych wykorzystywane są jako jej elementy wplatające się w cały proces analizy lub modelowania danych;
- niektóre analizy przestrzenne złożone są przede wszystkim z omawianych operacji.

Do prostych operacji na danych zaliczane są również działania na atrybutach przypisanych do warstw wektorowych, służące zbudowaniu zasobu danych opisowych, potrzebnych potem w analizie przestrzennej, takie jak: wyszukiwanie potrzebnych atrybutów, łączenie tabel, budowanie relacji. Operacje te znane są użytkownikom tzw. przeglądarek map numerycznych – aplikacji działających od wielu lat w jednostkach Lasów Państwowych. Podstawowa funkcjonalność tych programów sprowadza się do wyświetlenia szeregu danych pochodzących z bazy opisowej systemu LAS, odnoszących się do wskazanego na mapie wydzielienia, lub też odwrotnie – wyselekcjonowania na mapie wydzieleń, wybranych na podstawie wartości określonych atrybutów.

12.1.2. Algebra mapowa

Proste działania algebry mapowej są również zaliczane do operacji na danych, mających charakter przygotowawczy. Technicznie analizy te spełniają podobne funkcje w całym procesie analiz przestrzennych, jak operacje na danych wektorowych. Dane rastrowe jednak, z punktu widzenia oferowanych możliwości analitycznych, mają istotną przewagę nad danymi wektorowymi. Zapis informacji w strukturze pikseli oferuje znacznie lepsze możliwości reprezentacji danych o rozkładzie przestrzennym, dzięki czemu ułatwiona jest analiza związków zachodzących między obiektami. Termin „algebra” odpowiada, że sposób manipulowania danymi jest definiowany w postaci prostej reguły matematycznej (algebraicznej), wskazującej rodzaj operacji wykonywanej na macierzach rastra.

Analizy rastrowe przebiegają na ogół w dość typowy sposób. Definiowana jest jedna lub kilka warstw „wejściowych” oraz zwykle jedna warstwa zawierająca postać wynikową. Podczas bardziej rozbudowanych, kilkietapowych analiz ważne jest zachowanie odpowiedniej staranności i porządku w nazewnictwie i sposobie przechowywania poszczególnych warstw zawierających zarówno pośrednie, jak i ostateczne wyniki. Bardzo pomocne jest wówczas tworzenie modeli lub skryptów porządkujących wykonywane następujących po sobie operacji. Przykłady analiz przeprowadzanych w ramach algebry mapowej: dodawanie stałej liczby do macierzy rastra, działania algebraiczne na macierzach oraz tabele krzyżowe.

Dodawanie (mnożenie) stałej liczby do macierzy rastra. Operacja odbywa się na pojedynczej warstwie poprzez dodanie lub przemnożenie wartości zapisanych w pikselach rastra przez skalar (stałą wartość). Wykonuje się ją najczęściej w celu otrzymania porównywalnych wartości w różnych warstwach rastrowych.

Operacje pomiędzy rastrami. Polegają na wykonaniu operacji algebraicznych na dwóch lub wielu warstwach. Może to być sumowanie wartości zapisanych w nakładających się pikselach rastra. Przykładem takiej prostej analizy jest lokalizacja miejsc do odnowienia naturalnego, która pozwala na klasyfikację wybranego obszaru pod kątem warunków sprzyjających takiej formie odnawiania lasu. W analizie biorą udział warstwy rastrowe, reprezentujące takie cechy, jak wiek drzewostanu, zwarcie, gatunek, żyzność siedliska (na podstawie typu siedliskowego, typu i gatunku gleby oraz stopnia uwilgotnienia), gatunek istniejącego młodego pokolenia, gatunek podszytu. Warto również uwzględnić warstwę numerycznego modelu terenu. Miejsca nadające się do zainicjowania odnowienia naturalnego powinny się charakteryzować wysoką żyznością i wilgotnością gleby. Wymagane jest występowanie w drzewostanie gatunku, którego odnowienie będzie wspierane. Ważny jest brak młodego pokolenia – jeśli już występuje, nie ma potrzeby inicjowania odnowienia. Czynnikiem utrudniającym jest występowanie podszytu. Sprzyjające jest małe zwarcie drzewostanu oraz duże nasłonecznienie (wystawa południowa). Wszystkie te parametry podczas analizy sprowadzone są do wartości liczbowych (np. w skali od 1 do 10), a następnie poszczególne warstwy są sumowane. Wynikiem jest nowa warstwa, wskazująca fragmenty drzewostanów, w których należy wykonać zabiegi gospodarcze. W podobny sposób można wyznaczyć powierchnie do wykonania innych zabiegów gospodarczych – czyszczeń, trzebieży czy rębni.

Tabele krzyżowe. Analiza pozwala na skonfrontowanie specyficznych wartości z dwóch warstw, w wyniku czego powstaje nowa warstwa zawierająca unikalne kombinacje. Jest to mechanizm analogiczny do tworzenia „tabeli przestawnej”, znanej użytkownikom arkuszy kalkulacyjnych. Przykładem może być nałożenie warstwy typów siedliskowych lasu i warstwy gatunków panujących. W efekcie otrzymuje się warstwę, na któ-

rej określona wartość wskazuje na występowanie konkretnego gatunku na określonym typie siedliskowym lasu.

12.1.3. Wybór metody próbkowania

Mimo że samo próbkowanie przestrzeni jest elementem zbierania danych, wybór metody próbkowania został zaliczony do wstępnych analiz przestrzennych. Jest to istotna analiza, gdyż wybór metody próbkowania może zdeterminować wyniki analiz przeprowadzonych na otrzymanych danych. Bardzo często wybierana jest na drodze analizy charakterystyk przestrzeni, która ma być poddana badaniom. Jest to spowodowane koniecznością reprezentowania przestrzeni przyrodniczej, której kompleksowość nie daje się ująć w ramy uniwersalnego schematu.

Zazwyczaj wyniki próbkowania uzyskiwane są w postaci danych wektorowych (punktowych, poligonowych czy rzadziej liniowych) oraz przypisanych do nich atrybutów. Ten model przyjmowany jest ze względu na zajmowaną przestrzeń dyskową oraz typowy sposób przechowywania wyników badań terenowych. Próbkowanie może również dotyczyć wartości zapisanych w warstwie GIS: rastrze (liczba zapisana w pikselu, Digital Number) lub danych wektorowych. Różnica polega na sposobie doboru technik próbkowania:

1. Powierzchnia terenu próbkowana jest za pomocą technik wybiórczych – punktowo lub w ramach powierzchni badawczych; bardzo rzadko podejmowana jest decyzja prowadzenia próbkowania w takim zagęszczeniu, żeby wyniki mogły być zbliżone do powierzchni ciągłej. Wyjątkiem są pomiary wykonywane za pomocą skanowania laserowego.
2. Wartości zapisane w rastrze coraz rzadziej próbkowane są za pomocą technik wybiórczych. Częściej prowadzi się pomiary przy użyciu siatki kwadratów lub innego rodzaju poligonów pokrywających całą powierzchnię rastra. Obecnie technika pozwala na wykonywanie podsumowań wartości wszystkich pikseli zapisanych w rastrze.
3. Niektóre zastosowania badawcze wymagają próbkowania danych wektorowych. Najczęściej wykonywane są obliczenia wartości na jednostkę powierzchni, przy czym próbkowanie prowadzone jest w siatce kwadratów lub innego rodzaju poligonach pokrywających całą lub wybraną powierzchnię próbkowanej warstwy.

Istnieje wiele podejść do próbkowania przestrzeni przyrodniczej, zależnych od natury badanych zjawisk. Najprostsza metodą jest wykonywanie obserwacji w taki sposób, żeby otrzymać najlepszą estymację średniej warunkowań w ramach badanego obszaru. Wybór metody próbkowania zazwyczaj odbywa się pomiędzy pobieraniem prób w ramach regularnej siatki lub w rozkładzie losowym. Istnieją również rozwiązania hybrydowe (np. siatka z losowym wyborem odległości pomiędzy kolumnami lub wier-

szami). Niektóre sytuacje mogą wymagać arbitralnego dopasowania lokalizacji punktów prób do warunków zachodzących w terenie, np. w wypadku, gdy jakieś istotne dane miałyby zostać pominięte. Wybór metody wymaga zatem dokładnego rozeznania uwarunkowań terenowych i może zostać poprzedzony analizą przestrzenną.

Metoda próbkowania została zastosowana w programie Taksator do wyboru powierzchni próbnych, służących do pomiaru zasobności drzewostanów. Wykorzystywana jest warstwa wydzieleni leśnych oraz regularna siatka kwadratów. Spośród potencjalnych lokalizacji (w każdym węźle siatki) losowany jest wymagany pod względem statystycznym zestaw węzłów w określonych wydzieleniach.

12.1.4. Interpolacja

Interpolacja jest analizą w bezpośredni sposób wykorzystującą pomiary terenowe oraz inne rodzaje próbkowania przestrzeni poprzez przewidywanie wartości w punktach nie objętych pomiarami. Dokonuje się tego z założeniem, że punkty położone blisko siebie w przestrzeni mają bardziej zbliżone wartości niż znajdujące się w większej odległości. Procedura ta stosowana jest w następujących celach:

- przetworzenia punktów próbkowania w ciągły model pokrycia przestrzeni przez badane zjawisko;
- konwersji danych rastrowych z jednego poziomu rozdzielczości w inną (resampling). Zazwyczaj oznacza to redukcję rozdzielczości do mniejszej;
- konwersji jednej reprezentacji danych ciągłych w drugą, np. pomiędzy różnymi modelami reprezentacji danych wysokościowych, takimi jak TIN w GRID albo kontury warstw w GRID;
- wyznaczenia konturów danych dla reprezentacji graficznej zawartości bazy danych.

Wyniki interpolacji w bezpośredni sposób zależą od jakości próbkowania, a konkretnie od wyboru właściwej metody, gęstości próbkowania, różnorodności przestrzennej prób, dokładności pomiarów. Do grupy analiz opisowych, prezentujących atrybuty danych przestrzennych, zaliczane są proste metody interpolacji, takie jak m.in.: TIN (Triangular Irregular Network – nieregularna sieć trójkątów), IDW (Inverse Distance Weighted – średnia ważona odległością).

Metody interpolacji stosowane są zarówno w celu modelowania powierzchni terenu, jak i przewidywania rozkładu przestrzennego zjawisk o charakterze ciągłym, próbkowanych w przestrzeni, np. propagacja zanieczyszczeń. W leśnictwie powinny być wykorzystane np. w metodyce ustalania stref uszkodzeń przemysłowych czy też podczas wykonywania map glebowo-siedliskowych.

12.1.5. Statystyki opisowe

Statystyki opisowe stanowią metodę służącą do podsumowania wartości zapisanych w danych przestrzennych. Przeprowadza się je na danych rastrowych, również przy użyciu stref (poligonów) zapisanych w modelu wektorowym. Oprogramowanie GIS umożliwia przedstawienie raportów opisowych, zawierających podstawowe charakterystyki statystyczne, takie jak np.: minimum, maksimum, średnia, wariancja, największa i najmniejsza wartość. Mogą one być ujęte w formie tabelarycznej oraz jako reprezentacja przestrzenna w strefach, dla których zostały pomierzone.

Paleta zastosowań statystyk opisowych jest bardzo szeroka. Na przykład za pomocą statystyk strefowych (zonal statistics) można utworzyć charakterystykę statystyczną struktury gatunkowej drzewostanu. Analiza może być przeprowadzona m.in. w zapisanych w warstwie wektorowej granicach wydzielen na warstwie zawierającej np. wyniki klasyfikacji obrazu satelitarnego (rastrowej lub wektorowej).

12.1.6. Analizy rastrowe i rastrowo-wektorowe

Jak wspomniano, znacznie większe możliwości analityczne w badaniu różnicowania przestrzennego oferują analizy rastrowe. Mają one również znacznie bardziej zaawansowaną podbudowę teoretyczną. Sposób manipulowania danymi różni się w zależności od tego, jakiego rodzaju zależności przestrzenne mają być badane. Możliwe jest koncentrowanie się na wartościach zapisanych w pojedynczych pikselach, analizie wartości w grupie sąsiadujących pikseli, wyróżnianiu w obrębie rastra grup pikseli o tych samych wartościach lub rozważaniu zależności pomiędzy wszystkimi pikselami rastra. Jak można zaobserwować na ryc. 12.1, podejście to przewija się w większości grup analiz przestrzennych opisowych i eksploracyjnych.

Funkcje lokalne (local functions). Każda z operacji wykonywana jest na pojedynczym pikselu, a sąsiadujące nie mają wpływu na rezultat. Funkcje lokalne obejmują operacje algebraiczne (trygonometryczne, wykładnicze, logarytmiczne itp.), reklasyfikację, selekcję, operacje statystyczne. Bardzo ważną grupę stanowią tutaj analizy statystyczne na warstwach powstałych w różnych okresach – detekcja zmian i porównanie szeregów czasowych. Zapisane warstwy, zawierające np. dane o gatunkach i wieku drzewostanu, pozwalają wychwycić trendy związane ze zwiększaniem się udziału pewnych gatunków i zanikaniem innych. Ważnym elementem jest też możliwość śledzenia zmian struktury wiekowej. Pozwala to na tworzenie prognoz i identyfikację zagrożeń. Inną metodą wykonywaną w opisany sposób są indeksy wegetacyjne, które opierają się na porównywaniu zapisanej w poszczególnych kanałach obrazu cyfro-

wego informacji dotyczącej pokrycia roślinnego. Popularnym narzędziem tego porównania jest algebra mapowa.

Operacje opierające się na porównaniu wielu warstw rastrowych zaliczane są do tzw. pionowych analiz przestrzennych, gdyż porównywana między nimi jest wartość zapisana w pikselu, stanowiąca w tym wypadku trzeci wymiar informacyjny.

Funkcje zogniskowane (focal functions). Operacje wykonywane są na pikselu i jego sąsiedztwie. Pozwalają na identyfikację miejsc zróżnicowanych pod kątem określonej cechy. Jest to znakomity test obszarów leśnych z punktu widzenia wypełniania wymogu bioróżnorodności.

Przykładem analizy zogniskowanej jest statystyka sąsiedztwa. Pojęcie to określa grupę sąsiadujących pikseli, dla których wykonywane są obliczenia statystyczne, takie jak wartość minimalna i maksymalna, średnia, mediana, suma czy odchylenie standardowe. Proces rozpoczyna się od wyznaczenia sąsiedztwa każdego piksela. Mogą do tego być użyte różne kształty granic, np. kwadrat, koło, klin itp. Później identyfikowane są piksele wewnątrz sąsiedztwa i obliczana jest ich statystyczna wartość. Następnie przypisywana jest ona pikselowi leżącemu w centrum sąsiedztwa na warstwie wynikowej. Typowym zastosowaniem tej procedury jest wyznaczenie pikseli rastra, tworzących granicę pomiędzy obszarami o różnych wartościach. Do tego celu często stosowane są filtry, podkreślające lokalne różnice wartości (tzw. filtry górnoprzepustowe). Po wykonaniu takiej analizy dla warstwy przechowującej np. wiek poszczególnych drzewostanów można zidentyfikować granice, na których następuje duży kontrast wieku pomiędzy sąsiadującymi jednostkami powierzchni. Są to miejsca szczególnie narażone na działanie biotycznych i abiotycznych zagrożeń, takich jak wiatr czy owady.

Funkcje grupowe (zonal functions). Operacje wykonywane są na grupie (zonie) pikseli o tej samej wartości. Piksele tworzące grupę nie muszą ze sobą sąsiadować. Wynikiem operacji jest określenie pola powierzchni, obwodu grupy czy standardowych miar statystycznych (podobnie jak w wypadku sąsiedztwa). Przykładem takich analiz są statystyki strefowe. Analiza wykonywana jest na dwóch warstwach. Pierwsza służy do zdefiniowania stref (zon). Tworzą je wszystkie piksele rastra, mające tę samą wartość identyfikującą, nawet jeśli ze sobą nie sąsiadują. Druga warstwa zawiera wartości podlegające analizie w ramach strefy. W efekcie powstaje tabela z wierszami odpowiadającymi unikalnym wartościom identyfikatorów strefy, a w kolumnach przedstawiane są wielkości statystyczne badanej cechy, takie jak wartość minimalna i maksymalna, zakres, średnia, odchylenie standardowe i suma. Przykładem takiej analizy może być określenie warunków związanych z wysokością n.p.m. dla gatunków drzew w terenie górskim. Jeśli strefa zostanie zdefiniowana za pomocą identyfikatora wskazującego na gatunek panujący drzewostanu (pojedyncza strefa będzie obejmować wszystkie fragmenty warstwy, gdzie dany gatunek występuje jako panujący), a warstwą poddawaną analizie będzie

numeryczny model terenu z cechą wysokość n.p.m., wówczas w efekcie przeprowadzonej analizy powstanie tabela zawierająca zestawienie gatunków panujących w drzewostanach na badanym obszarze wraz z takimi obliczonymi wartościami, jak np. średnia, maksymalna i minimalna wysokość n.p.m. dla gatunku.

Funkcje globalne (global functions). Wykonywane są na całym rastrze. Badana jest relacja wybranych pikseli lub obiektów wektorowych ze wszystkimi pozostałymi pikselami rastra. Przykładami mogą być następujące operacje: wyliczanie odległości euklidesowej, odległości ważonej kosztem czy określanie sąsiedztwa. Przykładem na wykorzystanie odległości ważonej kosztem jest analiza odległości zrywki. Przeprowadzenie tej analizy wymaga przygotowania warstwy, której piksele przechowywać będą zakumulowany koszt, np. pokonania danego fragmentu terenu. Im teren trudniejszy do pokonania (podłoże, nachylenie itp.), tym koszt staje się większy. Samo wyznaczenie odległości odbywa się w podobny sposób, jak najkrótszego dystansu. Jednak podczas sumowania pikseli dzielących początek i koniec dystansu brana jest pod uwagę nie tylko ich liczba, ale i przechowywana wartość. W analizie można uwzględnić np. takie informacje, jak wiek drzewostanu, obecność podszytu, gatunek i wiek młodego pokolenia, typ pokrycia gleby. Wykorzystuje się również numeryczny model terenu. Wynikiem analizy jest m.in. wyznaczenie stref odległości zrywki, umożliwiające identyfikację miejsc zbyt odległych lub o utrudnionym dostępie. Odległość wyrażona jest w rzeczywistych jednostkach odległości, powiększonych o współczynniki wynikające z różnego typu utrudnień. W ten sposób obliczana jest tzw. odległość wyrażona kosztem. Tak przygotowana warstwa pozwala na wytyczenie szlaków zrywkowych.

Innym przykładem funkcji globalnej jest określanie sąsiedztwa. Jest to analiza podobna do wyznaczania najkrótszego dystansu, jednak piksele rastra zamiast przechowywać wartość określającą dystans do obiektu, przechowują kod (wartość) tego najbliższego obiektu. Tworzone są w ten sposób obszary o jednakowym kodzie, wskazującym na najbliższy położony obiekt. Technika ta znana jest także jako analiza Voronoi lub Thiessena. Prosta analiza tego typu pozwala na podstawie lokalizacji leśniczówek wygenerować optymalny z punktu widzenia odległości podział obszaru nadleśnictwa na poszczególne leśnictwa.

12.1.7. Analizy poziome

Pierwsza z grup analiz poziomych najczęściej jest stosowana w celach opisowych, czyli uzyskiwania odpowiedzi na najbardziej podstawowe pytania dotyczące rodzaju, lokalizacji i liczby obiektów. Należą do niej metody, pozwalające na:

- wyszukiwanie obiektów – po ich atrybutach lub lokalizacji przestrzennej;

- obliczanie wymiarów przestrzennych obiektów: powierzchni, obwodu, odległości i innych;
- buforowanie w celu określenia np. stref oddziaływania obiektu.

Jako przykład poziomych analiz eksploracyjnych, odbywających się w modelu wektorowym, podano dwie metody, znacznie różniące się zastosowaniem, o podobnych jednak ograniczeniach w badaniu relacji przestrzennych, związanych z naturą modelu wektorowego.

Analiza sieciowa stosowana jest dla liniowych obiektów wektorowych. Służy do badania właściwości sieci, utworzonych przez człowieka lub naturalnych, w celu zrozumienia przepływów w nich zachodzących oraz przeprowadzenia analiz lokalizacji. Może być używana w wielu zastosowaniach, związanych np. z wyborem optymalnej drogi (popularne serwisy nawigacyjne) czy rozwiązywaniem problemów z zakresu hydrologii, np. dotyczących przepływów. Metoda jest przydatna w analizach uwarunkowań istniejących w ramach sieci, nie może być jednak stosowana w odniesieniu do obiektów liniowych w sytuacjach, gdy konieczne jest zbadanie uwarunkowań związanych z czynnikami zewnętrznymi, np. przy wyznaczaniu przebiegu nowych sieci. W takich przypadkach zaleca się stosowanie eksploracyjnych analiz rastrowych.

Drugim przykładem w omawianej grupie analiz są wskaźniki krajobrazu, jedno z narzędzi badania różnicowania przestrzennego. Obecnie oblicza się je przy użyciu warstw wektorowych, w przeszłości stosowano do tego celu również raster, jednak z metody tej zrezygnowano ze względu na większą operacyjność modelu wektorowego. Ich wyznaczanie jest jednym z przykładów wykorzystania wyników klasyfikacji obrazów teledetekcyjnych. Wskaźniki stosowane są w opisie podstawowych cech płatów w krajobrazie (powierzchni dyskretnej, każdej o przypisanym jednym atrybucie, np. pokrycia terenu). Podstawowe cechy uzyskiwane w wyniku takiego opisu to m.in.: powierzchnia, obwód, liczba płatów, np. w określonej klasie pokrycia terenu. Możliwe jest również wykonanie analiz eksploracyjnych, służących do testowania hipotez ekologicznych dotyczących funkcji w krajobrazie oraz kierunków zachodzących zmian, na podstawie:

- charakterystyk płatów – złożoność kształtu, strefy wewnętrzne, struktura wewnętrzna;
- relacji pomiędzy płatami – izolacja i sąsiedztwo, kontrast pomiędzy typami płatów, rozproszenie płatów tej samej klasy w przestrzeni i w stosunku do innych elementów krajobrazu, interakcje, analizy sąsiedztwa;
- relacji ogólnych w krajobrazie – różnorodność, połączenia, zmieszanie.

12.1.8. Analizy pionowe

Porównania zachodzące pomiędzy atrybutami zapisanymi w różnych warstwach informacyjnych mogą być przeprowadzane w różnych modelach danych: wektorowym, rastrowym i mieszanym.

W warstwach wektorowych, w poligonach powierzchni podstawowych, zapisane są porównywane atrybuty, np. gatunki oraz siedlisko czy pokrycie terenu z dwóch różnych terminów. W takim wypadku w analizie używane są metody opisane powyżej jako proste operacje na danych. Warstwy są np. integrowane, przecinane, znajdowana jest wspólna część. Do tego wykonywane są statystyki opisowe.

Podobnie przebiega operacja analizy pionowej na danych rastrowych. Możliwości udostępniane przez ten model są jednak znacznie szersze. Możemy porównywać dane w całej zmienności dla każdego piksela. Dodatkowo istnieje możliwość uniknięcia problemu zmiennej powierzchni odniesienia (MAUP – Modifiable Areal Unit Problem), najczęściej wynikającego z połączenia danych pochodzących z różnych źródeł w modelu wektorowym, gdzie nawet podobne pojęciowo jednostki przestrzenne gromadzone są według różnej metodyki i na podstawie innych materiałów referencyjnych. Prowadzi to do rozbieżności w przestrzennej lokalizacji obiektów i ich granic. Najpopularniejsze porównania prowadzone w modelu rastrowym związane są z danymi wieloterminowymi. Metodyka wykonywania takich porównań nazywana jest detekcją zmian. Porównywane mogą być zarówno obrazy teledetekcyjne, jak i obrazy zawierające wartości dyskretne. Do tego celu używane są proste techniki algebry mapowej (dodawanie, dzielenie) oraz obrazowej (kompozycje barwne). Wynik jest przedstawiany w formie wizualizacji, sporządza się również statystyki opisowe.

Warto też zwrócić uwagę na bardziej złożone pionowe analizy wykonywane wyłącznie przy użyciu rastrów, takie jak indeksy wegetacyjne, pozwalające na wydobycie cech ekologicznych przestrzeni przyrodniczej, np. obszarów pokrytych bądź nie pokrytych przez rośliny zielone, poprzez porównanie pojedynczych kanałów teledetekcyjnych. Porównanie to przeprowadzane jest za pomocą algebry mapowej. Wektory zmian (Change Vectors) – jest to technika pozwalająca na pokazanie nie tylko istniejącej zmiany, ale również jej kierunku, co znacznie ułatwia ocenę ilościową.

12.1.9. Analizy poziome oraz pionowe

W niniejszym rozdziale do metod pozwalających na analizę zależności pomiędzy wymiarem przestrzennym a atrybutami zapisanymi w trzecim wymiarze zaliczono:

- analizy prowadzone w trójwymiarze związanym z numerycznym modelem terenu (3D lub 2D+, gdzie parametr wysokości połączony jest z dwuwymiarową informacją tematyczną),
- analizy uwzględniające dodatkowo wymiar tematyczny.

Analizy prowadzone na numerycznym modelu terenu, będącym wynikiem interpolacji, mają za zadanie eksplorowanie właściwości przestrzen-

nych zależnych od stosunków wysokościowych. Do tego typu analiz należą popularne narzędzia GIS, wyrażające w modelu rastrowym takie właściwości, jak ekspozycja, nachylenie, strefy spadków. Istnieje też możliwość eksplorowania właściwości widoku trójwymiarowego za pomocą stref widoku czy przekroju wysokościowego przez teren. Do takich analiz należą m.in. prezentowane w rozdziale 12.4 przykłady analiz prowadzonych na numerycznym modelu terenu w Nadleśnictwie Swieradów.

Do analiz w trzecim wymiarze tematycznym zaliczamy m.in. procedury związane z klasyfikacją obrazu teledetekcyjnego. Mogą być one wykonywane zarówno metodą manualną (interpretacja przeprowadzana przez operatora w wyniku ręcznej digitalizacji zaobserwowanych zasięgów obiektów), jak i metodami zautomatyzowanymi na podstawie wartości zapisanych w pikselach oraz za pomocą analizy obiektowej (GEObia – GEO Object Based Analysis). Wielowymiarowość klasyfikacji polega na rozważaniu zarówno wartości zapisanych w pikselach obrazu teledetekcyjnego, jak i ich relacji do obiektów sąsiadujących oraz całego obrazu. Klasyfikacja obrazów teledetekcyjnych jest szeroko stosowaną metodą przetwarzania danych ciągłych (prawie ciągłych), zapisanych w obrazie teledetekcyjnym na obraz dyskretny zawierający granice obiektów będących przedmiotem zainteresowania operatora. Najpopularniejszymi obiektami pozyskiwanymi w ten sposób są klasy pokrycia terenu lub granice istotnych obiektów terenowych, np. zabudowy, zbiorników wodnych, dróg. Znane są również liczne próby stosowania klasyfikacji do rozpoznawania gatunków drzewostanów, także wykorzystania analizy obiektowej w celu charakteryzowania cech drzewostanów, takich jak różnorodność.

Najbardziej zaawansowanym metodycznie przykładem analiz przestrzennych, realizowanych w przestrzeni uwzględniającej zależność pomiędzy wymiarem przestrzennym a atrybutami, jest geostatystyka. Termin ten używany jest na określenie rodziny metod statystyki przestrzennej, opracowanych do analizy danych, które oprócz atrybutów opisowych mają również lokalizację w przestrzeni. Jednym z najważniejszych założeń metody jest podobieństwo obiektów o zbliżonej lokalizacji przestrzennej oraz zmniejszanie się podobieństwa w miarę zwiększania się odległości między nimi. W metodzie tej dane punktowe (próby terenowe lub inne pomierzone wartości) podlegają interpolacji przestrzennej (predykcji wartości w miejscach nie pomierzonych), w związku z czym przetwarzane są w dane ciągłe (rastrowe).

Mimo że metody geostatystyki, takie jak kriging, wykorzystywane są w celu wykonania interpolacji, w metodyce różnią się one znacznie od omówionych wcześniej metod deterministycznych. Istotą tej różnicy jest traktowanie wejściowych punktów danych jako specyficznej próby statystycznej dla pewnej określonej funkcji modelującej próbkowaną powierzchnię. O ile istnieje taka możliwość, próba jest wcześniej analizowana pod kątem uzyskania możliwie najbardziej dopasowanej do jej specyfiki estymacji tejże powierzchni. Analizy geostatystyczne mają zatem znacznie szersze za-

stosowania eksploracyjne w badaniu zbiorów danych przestrzennych. Dokładne wyjaśnienie metody znajduje się w rozdziale 12.2.

Bardzo ciekawym zastosowaniem metod geostatystyki była, wykonana przez Mozgawę i innych (2007), analiza dynamiki gradacji strzygoni choińki na obszarze Puszczy Noteckiej w okresie 1946–2003. Podstawą badań była, będąca w posiadaniu IBL, baza danych o stopniach zagrożenia drzewostanów Puszczy Noteckiej, zawierająca bardzo długi ciąg obserwacji stanu populacji owadów z okresu 1946–2004, przeprowadzonych w wielu punktach 4771 oddziałów Puszczy Noteckiej. W ramach projektu zaproponowano metodykę przetworzeń geostatystycznych danych przestrzenno-czasowych. Opierała się ona na wykorzystaniu map tematycznych, reprezentujących zjawiska przyrodnicze w postaci map semiwariancji powierzchniowej i kroskowariancji powierzchniowej. Analizę geostatystyczną prowadzono dla centrów gradacyjnych, wyznaczonych jako obszary prawdopodobnej lokalizacji ognisk gradacyjnych. Postawiono hipotezę, że istnieje złożona struktura przestrzenna, związana ze stopniami zagrożenia (przestrzenne zróżnicowanie i wzajemna zależność wartości zagrożenia, mierzonych w środku oddziałów) i etapami gradacji, której rozpoznanie pozwoli na poszerzenie wiedzy o mechanizmach powstawania gradacji. Podstawowym celem metodycznym transformacji wyników obserwacji terenowych na formę możliwie prostych map tematycznych było ułatwienie rozpoznania wzorców przestrzennych stopni zagrożenia lasu na obszarze Puszczy Noteckiej. W rezultacie badań zidentyfikowano powtarzające się rytmicznie obszary gradacyjne oraz obszary o podwyższonej odporności biologicznej, na których w okresie 60 lat nie stwierdzono ognisk gradacyjnych.

12.1.10. Analiza wielowymiarowa

Przykładem analiz wykonywanych w wielu wymiarach może być analiza głównych składowych (Principal Component Analysis – PCA), stosowana m.in. w eksploracji właściwości obrazu teledetekcyjnego (rastra), prowadzonej w celu wykonania korekcji radiometrycznej (np. usunięcia szumów). Jest to jedna z metod statystycznych analizy czynnikowej, służąca odnajdywaniu struktur w zbiorze zmiennych losowych. Zbiór danych, składający się z N obserwacji, z których każda obejmuje K zmiennych, jest interpretowany jako chmura N punktów w przestrzeni K -wymiarowej. Układ współrzędnych jest tak obracany, żeby wyrażał wariacje kolejnych współrzędnych – czynione jest to w postaci tzw. składowych głównych. Osie głównych składowych dobierane są tak, aby wyznaczały kierunki o największej zmienności wartości pikseli. Do tego celu wykorzystywana jest analiza wariacyjno-kowariancyjna. Utworzone obrazy nazywane są głównymi składowymi lub komponentami. Kolejne obrazy zawierają coraz mniej istotnej

informacji teledetekcyjnej. Na przykład po przetworzeniu obrazów uzyskiwanych ze skanera MSS satelity Landsat (cztery kanały) niemal cały ładunek informacji mieści się na ogół w dwóch pierwszych składowych. Dalsze składowe zawierają łącznie często mniej niż 1% informacji. Liczba utworzonych obrazów może być w związku z tym mniejsza od liczby oryginalnych kanałów. Metoda PCA jest więc wykorzystywana także do usuwania niepotrzebnej, powtarzającej się (redundancyjnej) informacji w celu zmniejszenia objętości przechowywanych danych poprzez odrzucanie ostatnich czynników. W wielu przypadkach metoda ta pozwala na merytoryczną interpretację czynników, zależną od rodzaju danych, co pozwala lepiej zrozumieć ich naturę. Analiza taka jest możliwa do wykonania pod warunkiem relatywnie małej liczby zmiennych.

12.1.11. Analiza błędów

Analiza błędów jest niezbędnym elementem każdej z analiz przestrzennych. Prowadzona na etapie początkowym podczas wstępnych przetworzeń danych jest szczególnie istotna, gdyż każda analiza przestrzenna jest tak dobra, jak zastosowane dane. Analiza błędów jest potrzebna również do oceny wyniku bardziej zaawansowanych metod analiz przestrzennych, szczególnie tych, które opierają się na statystyce lub elementach subiektywnego wyboru przeprowadzonego przez operatora. Przykładami analiz błędów, stosowanych na różnych etapach procesu analizy przestrzennej, są (Adamczyk, Będkowski 2008):

- obliczenie błędów średniokwadratowego (RMS error – root-mean-square error) – miara odchylenia wartości dwóch punktów kontrolnych na obrazie wejściowym oraz na mapie lub innym obrazie wzorcowym. W pewnym sensie charakteryzuje on dopasowanie dobrane przez nas stopnia wielomianu do zniekształceń obrazu. Ocena RMS wykonywana jest m.in. jako istotny element kalibracji rastra;
- ocena dokładności klasyfikacji – stosuje się w tym celu tzw. pola weryfikacyjne, analogiczne do pól treningowych (na podstawie których przeprowadzona jest klasyfikacja), reprezentatywnych dla danej klasy obiektów terenowych. Podstawę oceny ilościowej może stanowić tzw. macierz błędów (ang. error matrix), w której określa się, jak piksele z poszczególnych pól weryfikacyjnych zostały zaklasyfikowane. Stosowane są m.in. następujące miary błędów klasyfikacji: udział pikseli sklasyfikowanych poprawnie, dokładność użytkownika (user's accuracy), dokładność producenta (producer's accuracy), błąd przeszacowania, błąd niedoszacowania, współczynnik Kappa (Kappa Index of Agreement), wyrażający łączny błąd klasyfikacji.

12.1.12. Przestrzenne systemy wspomaganie decyzji

Systemy wspomaganie decyzji to programy komputerowe, ukierunkowane z jednej strony na wspomaganie decydenta przy wykorzystaniu modeli analitycznych z dostępem do baz danych, z drugiej zaś na interaktywną współpracę człowieka z komputerem. Potrzeba zastosowania takiego systemu powstaje wtedy, gdy nie można do końca zdefiniować problemu lub w pełni określić celów analizy. System wspomaganie decyzji składa się typowo z trzech elementów: systemu zarządzania bazą (geobazą), systemu zarządzania modelami decyzyjnymi oraz interfejsu użytkownika, zawierającego generator raportów. Jeżeli rozwiązywany problem związany jest z lokalizacją obiektów lub zjawisk, można mówić o przestrzennym systemie wspomaganie decyzji. Celem działania takiego systemu jest zapewnienie decydentowi wyczerpujących scenariuszy, ułatwiających podjęcie właściwej decyzji, a nie, jak się często uważa, dostarczenie definitywnej odpowiedzi na postawiony problem. W praktyce systemy tego typu budowane są jako dedykowane aplikacje, w pełni samodzielne lub też wykorzystujące istniejące na rynku oprogramowanie GIS.

Najpopularniejszą metodą wspomagającą podejmowanie decyzji jest analiza wielokryterialna. Jest ona definiowana (Malczewski 1999) jako narzędzie decyzyjne i matematyczne, służące do rozwiązywania złożonych problemów. Analizy wielokryterialne prowadzone są najczęściej bezpośrednio przez zainteresowanych ekspertów i wykorzystują ich wiedzę. Metoda pozwala na agregowanie wielu kryteriów, na podstawie których rozwiązywany jest problem. Zestaw decyzji i alternatyw jest często nazywany zestawem potencjalnych alternatyw. Kryterium jest funkcją zdefiniowaną na tym zestawie, reprezentującą preferencje operatora z jakiegoś punktu widzenia. Wynikiem analizy jest ocena alternatyw z punktu widzenia stopnia spełnienia zadanych kryteriów. Wiele kryteriów łączonych jest w jeden wynik w postaci indeksu. Analizowane mogą być zarówno kryteria dyskretne (OR, AND), jak i ciągłe – mapy przestrzennego rozkładu współczynników.

Analiza wielokryterialna jest metodą bardzo uniwersalną, gdyż jest dobrze określona i ma otwartą formułę. Oznacza to, że za jej pomocą można analizować dowolny zakres danych i kryteriów, zdefiniowany z zastosowaniem dowolnych wartości i wag. Metodyka analiz oraz wyniki są niezależne od użytych technik pozyskiwania danych. Stosowane w niej metody są, ogólnie rzecz biorąc, dzielone na dyskretne oraz ciągłe, w zależności od przyjętych modeli alternatyw. Wyniki mogą być porównywane z innymi źródłami informacji. W zależności od potrzeb mogą one zostać przedstawione w różnych formach reprezentacji: mapowej, liczbowej, statystycznej.

Pierwszym krokiem w analizowaniu kryteriów dyskretnych jest wykonanie tzw. tabeli oceny (performance table), podsumowującej wagę poszczegól-

nych kryteriów w formie bonitacji punktowej. Potem, według zdefiniowanej reguły decyzyjnej, wykonywane jest porównanie kryteriów, które prowadzi do agregacji kryteriów w celu wyznaczenia indeksu obrazującego stopień spełnienia wymogów analizy (nierzadko wyrażonego w sposób rozmyty). Bardzo często zastosowanie metod dyskretnych wymaga przetworzenia danych z modelu ciągłego, co jest realizowane poprzez klasyfikację przeprowadzaną według określonych reguł. Na przykład ciągły model rozprzestrzeniania się zanieczyszczenia powietrza może zostać przetworzony w informację o charakterze dyskretnym poprzez wyznaczenie stref stężeń.

Punktem startowym w analizie metodami ciągłymi jest zbudowanie zestawu uwarunkowań oraz funkcji optymalizacyjnych. Wyniki analiz zapisane są w modelu ciągłym, umożliwiającym przedstawienie problemu w sposób rozmyty.

Proces analizy wielokryterialnej jest szeroko stosowany między innymi w podejmowaniu decyzji inwestycyjnych, wymagających przeanalizowania wielu uwarunkowań: terenowych, środowiskowych, społecznych, ekonomicznych. Większość z nich ma wymiar przestrzenny, w związku z czym bardzo często wykonywane są mapy rozmieszczenia wag poszczególnych uwarunkowań, które porównywane są ze sobą różnymi metodami, np. za pomocą algebry mapowej. Wyniki tak przeprowadzonej analizy prezentowane są w formie mapy zagregowanego wskaźnika przydatności terenu do konkretnej inwestycji.

Systemy wspomaganie decyzji często oparte są na modelach funkcjonalnych, będących matematyczną (statystyczną) reprezentacją procesów przestrzennych. Jednym z projektów zakrojonych na bardzo szeroką skalę jest zbudowany przez US Forest Service oraz Uniwersytet w Wisconsin model LANDIS (Mladenoff 2004). Jest to model funkcjonalny, symulujący krajobraz leśny, służący przewidywaniu wielkoobszarowych zmian zachodzących w dużych przedziałach czasowych (powyżej 10 lat). Specjalizuje się w symulowaniu procesu dynamicznego przestrzennie i obejmuje takie procesy, jak: dynamika na poziomie gatunkowym, sukcesja oraz różne wpływy zewnętrzne zakłócające rozwój lasu, produktywność siedliska. Model oparty jest na indywidualnej symulacji rozwoju każdego z gatunków drzew, zdeterminowanej przez zmienne prawdopodobieństwa, model rozwoju, odpowiedź na wpływy zewnętrzne. Na tej podstawie budowana jest strategia sukcesji dla każdego z gatunków. Przewidziano następujące zastosowania modelu:

- predykcje typu „co, jeżeli?”,
- symulacje zmian struktury krajobrazu leśnego w ciągach czasowych z uwzględnieniem podstawowych czynników na nie wpływających,
- przewidywanie wpływu zarządzania na strukturę krajobrazu – problemów i zmian,
- edukacja – czynniki kształtujące strukturę krajobrazu, efekty kumulacji.

Model dostępny jest w postaci aplikacji na stronie internetowej projektu (<http://www.landis-ii.org/project>), niestety obejmuje skład gatunkowy

specyficzny dla Ameryki Północnej. Sposób prowadzenia symulacji wart jest jednak prześledzenia, ze względu na historyczną rolę modelu w rozwoju metod geomatyki.

Innym przykładem tego typu systemu funkcjonującego w polskim leśnictwie jest wykorzystywane na etapie prac urządzania lasu oprogramowanie do wspomagania rozplanowania powierzchni zrębowych. Na starcie programu ustala się ograniczenia i parametry, które wykorzystywane są następnie w modelu generującym rozmieszczenie działek zrębowych. Do definiowanych ograniczeń należą:

- rodzaje rębni w zależności od warunków siedliskowych (typ siedliskowy, wariant uwilgotnienia, gospodarczy typ drzewostanu);
- elementy czasowe – okres odnowienia oraz nawrót cięć, również intensywność cięcia dla każdej rębni w zależności od warunków siedliskowych;
- warunki przestrzenne – maksymalna szerokość i maksymalna powierzchnia działki zrębowej (pasa manipulacyjnego) w zależności od rębni i gospodarstwa.

Do definiowanych parametrów programu należą:

- sposób wyboru drzewostanów do użytkowania rębego – automatyczny lub według wskazówki taksatora;
- minimalna wielkość powierzchni, poniżej której stosuje się rębnię zastępczą;
- sposób wyznaczenia granicznego wieku dla drzewostanów rębnych.

Po określeniu wymienionych warunków rozpoczyna się interakcyjna praca z programem. Według zdefiniowanego modelu program wykonuje kolejne etapy rozplanowania działek zrębowych. Po każdym etapie możliwa jest zmiana proponowanego rozwiązania poprzez wykorzystanie narzędzi edycyjnych odpowiednio przygotowanych dla określonego etapu rozwoju modelu. Możliwe jest też powtórzenie procesu po zmianie ograniczeń lub parametrów programu. W kolejnych etapach wykonywane są następujące operacje:

- generowanie ostępów,
- generowanie kierunków cięć,
- wybór drzewostanów do użytkowania,
- generowanie bloków drzewostanów rębnych,
- generowanie pasów zrębowych,
- wybór pasów zrębowych,
- optymalizacja planu.

Zarówno operacje wykonywane na obiektach geometrycznych, jak i procedury obliczeniowe wykraczają poza zakres narzędzi dostępnych w popularnych narzędziach GIS.

Podczas wyznaczania działek zrębowych do planu cięć automatycznie wyliczany jest etat „nabrany” dla każdego z gospodarstw. Wyliczone i „nabrane” wielkości użytkownik może porównać w tabeli. Optymalizacja może przebiegać na dwa sposoby: ręczne wskazywanie lub usuwanie kolejnych

pasków przeznaczonych do użytkowania. Powoduje ona korektę tabeli z etatami albo odwrotnie – korekta wartości w tabeli powoduje automatyczne dodanie lub usunięcie pasków zrębowych na mapie.

Inną odmianą systemów wspomaganie decyzji są systemy oparte na metodach sztucznej inteligencji (SI). Stosowane są one wtedy (Tracz 2001), gdy do rozwiązania mamy zadania o charakterze złożonym i nietypowym, wymagające analizy informacji niepełnej i niepewnej. Mają one potencjał działania inteligentnego, realizowanego za pomocą systemu komputerowego. Główną cechą metod sztucznej inteligencji jest wnikliwa obserwacja zjawiska w całej jego złożoności. Stanowi to istotną zaletę SI w porównaniu z innymi metodami analiz. Do metod sztucznej inteligencji zaliczane są między innymi następujące, coraz bardziej popularyzowane w geomatyce leśnej metody:

- systemy ekspertowe, posługujące się wiedzą pozyskaną od człowieka-eksperta, symulujące sposób jego rozumowania. Są one szczególnie predysponowane do rozwiązywania problemów o charakterze klasyfikacyjnym, diagnostycznym, związanych z analizą danych;
- sztuczne sieci neuronowe – systemy wzajemnie połączonych prostych elementów przetwarzających informacje, zwanych sztucznymi neuronami. Mają one zdolność przetwarzania niekompletnych danych i wy-



Ryc. 12.1.2. Optymalizacja rozplanowania cięć

tworzenia rezultatów przybliżonych. Pozwalają na modelowanie dowolnie złożonych funkcji nieliniowych. Ich zaletą jest szybkie i efektywne przetwarzanie dużych ilości danych.

Szczegółowe omówienie metod sztucznej inteligencji oraz przykłady zastosowań zostały opisane w rozdziale 12.3.

12.1.13. Geowizualizacja

Szczególną uwagę warto zwrócić na pojęcie geowizualizacji, które znajduje się niejako obok wymienionych grup analiz przestrzennych, dotycząc jednocześnie każdej z nich. W świetle wyżej omówionych definicji dziedzina ta powinna być również zaliczana do analiz przestrzennych. Geowizualizacja danych przestrzennych (Commission of GeoVisualization 2009) wymaga zastosowania map, obrazów lub widoków trójwymiarowych. Zakłada się, że przynajmniej dwa z wymiarów przestrzennych tych danych reprezentuje przestrzeń fizyczną, np. powierzchnię Ziemi. Jest to istotna różnica w porównaniu z innymi reprezentacjami przestrzennymi odnoszącymi się do zależności pomiędzy abstrakcyjnymi danymi. Trzeci wymiar w geowizualizacji dotyczy przede wszystkim atrybutów: czasowego i innych tematycznych. Uwzględnia się zatem znacznie bardziej złożoną strukturę danych przestrzennych niż w wypadku zaangażowania jedynie danych w przestrzeni dwuwymiarowej. Czynności powiązane z geowizualizacją obejmują: interpretację, tworzenie, operowanie obrazami, mapami, diagramami i wykresami, modelami trójwymiarowymi statycznymi oraz dynamicznymi, obrazami satelitarnymi o wszystkich rozdzielczościach, również dołączonymi atrybutami w postaci tabelarycznej.

Rozwój tego sposobu prezentacji danych stanowi wyzwanie dla reprezentacji kartograficznej, poszerza jej znaczenie o inne aspekty geowizualizacji. W efekcie w nowoczesnych systemach GIS dane reprezentowane są przy użyciu obu metod: tradycyjnej reprezentacji kartograficznej – bazującej na zastosowaniu barw, tekstur, symboli, diagramów, oraz innych technik wizualizacji, takich jak animacje map oraz interaktywne widoki trójwymiarowe. Co więcej, mapy używane są w kombinacji z niegeograficznymi technikami wizualizacji, takimi jak np. wykresy punktowe (scatterplot) oraz współrzędne równoległe. Geowizualizacja może być zatem rozumiana jako równoległe użycie wielu technik reprezentacji danych, pozwalające na uzyskanie wglądu w dane z różnych perspektyw. Takie podejście stało się rodzajem standardu w geomatyce.

Narzędzia geowizualizacji używane są w trakcie całego procesu, nawet bardzo złożonej analizy przestrzennej, do eksploracji danych, identyfikacji układów oraz relacji przestrzennych, budowania modeli, wizualizacji dynamicznych interakcji pomiędzy modelami oraz prezentowania wyników. Dzięki stworzeniu nowej jakości geowizualizacji możliwe stało

się spełnienie jednego z najważniejszych postulatów zastosowania informacji geograficznej – uczynienia obrazu przestrzeni łatwego do zrozumienia i interpretacji.

Pakiety oprogramowania GIS doskonalone są pod kątem funkcjonalności związanej z wizualizacją. Powszechne jest udostępnianie funkcji pozwalających na tworzenie różnego rodzaju widoków – statycznych lub rotujących, naciąganie (drapowanie) obrazów na reprezentację powierzchni trójwymiarowej, animacje oraz loty nad powierzchnią modelu, dynamiczne tworzenie linków. Nadal jednak wyzwaniem są narzędzia obsługujące operacje na widokach oraz wizualizacjach, które pozwalałyby na dokonywanie, na przykład, pomiarów geometrycznych czy eksplorowanie widoków przestrzenno-czasowych. Szczególnie ciekawy jest ostatni rodzaj narzędzi, rozwijający się w ostatnich latach bardzo intensywnie, umożliwiający prowadzenie analiz porównawczych, szczególnie istotnych w czasach gromadzenia danych o powierzchni Ziemi w seriach czasowych.

12.2. Geostatystyka w leśnym SIP

dr inż. WIKTOR TRACZ – Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego,
Wydział Leśny, Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki
Leśnictwa

12.2.1. Pojęcie geostatystyki

Geostatystyka może być określona jako statystyka przestrzeni (statystyka przestrzenna). Obejmuje zbiór metod analizy danych, które oprócz cech obiektów uwzględniają także ich lokalizację w przestrzeni geograficznej.

W tradycyjnej statystyce zmienność analizowanej cechy wyraża się za pomocą prostych miar statystycznych – wartości średniej, odchylenia standardowego, wariancji. W geostatystyce wykorzystuje się fakt, że obiekty i zjawiska, które znajdują się blisko od siebie, są zazwyczaj bardziej podobne niż te, które położone są od siebie dalej. Taką zależność nazywa się **korelacją przestrzenną** pomiędzy dwiema cechami.

Wykorzystanie danych o lokalizacji próby można zastosować do bardziej precyzyjnego określenia wartości cechy w dowolnym miejscu obszaru. Dane o lokalizacji pozwalają określić **autokorelację przestrzenną** – zależności pomiędzy wartościami jednej cechy, zmieniającej się wraz z odległością.

Wiele obiektów i zjawisk przyrodniczych ma **charakter ciągły przestrzennie**. Ciągłość przestrzenna oznacza, że w każdym punkcie na ob-

szarze występowania istnieje wartość jakiejś cechy obiektu lub zjawiska. Z powodów najczęściej ekonomicznych nie można dokonać pomiaru cechy ciągłej we wszystkich miejscach jej występowania. Można tego dokonać jedynie w skończonej, niewielkiej liczbie punktów. Dostępność wartości cechy w określonych punktach pomiarowych daje możliwość oszacowania wartości cechy w pozostałych punktach obszaru. Oszacowanie to najczęściej realizuje się za pomocą specjalnych, tzw. probabilistycznych metod interpolacji, których dostarcza geostatystyka.

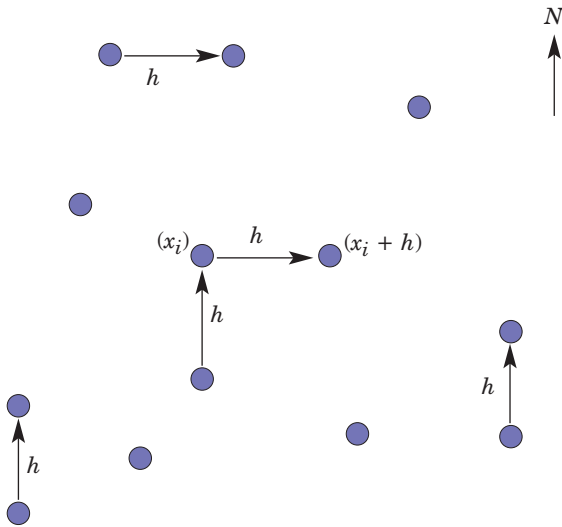
Od początku lat 90. ubiegłego wieku geostatystyka jest stosowana głównie do opisu struktury przestrzennej i oszacowania wartości cech w miejscach nie pomierzonych. Geostatystyka bierze pod uwagę przestrzenną dystrybucję cechy i bada zależność wartości cechy od odległości pomiędzy punktami, w których wartości te zostały pomierzone. Dlatego metody geostatystyki zarówno pozwalają opisać statystycznie, jak i ułatwiają zinterpretować przestrzenną dystrybucję analizowanej cechy. Przestrzenna dystrybucja cechy analizowana jest w określonych przedziałach odległości oraz w różnych kierunkach.

Są metody geostatystyki umożliwiające analizę nie tylko danych ilościowych, ale również jakościowych. Zaletą niektórych metod jest brak wymogu co do normalności rozkładu danych analizowanej cechy. Geostatystyka dostarcza też unikalnych metod poprawienia dokładności szacowania jednej cechy z wykorzystaniem innej. Metody geostatystyczne pozwalają poza tym na precyzyjną ocenę niepewności wykonanych szacunków wartości cechy w miejscach, w których nie były one mierzone w terenie.

12.2.2. Podstawy teoretyczne

Zarówno w geostatystyce, jak i w statystyce tradycyjnej wielkości cechy, które mierzymy lub przekształcamy w jakiś sposób w trakcie badań, nazywamy zmiennymi. Geostatystyka zajmuje się badaniem tzw. zmiennych zregionalizowanych, to znaczy zmiennych związanych z położeniem w przestrzeni geograficznej, które opisują wartości cechy występującej na określonym obszarze. Jak już wspomniano, w geostatystyce wykorzystuje się ogólną prawidłowość, że im bliżej są punkty pomiarowe, tym bardziej zbliżone są do siebie wartości zmiennej zregionalizowanej w tych punktach. Dla dowolnej pary punktów o lokalizacji (x_i) oraz (x_i+h) zmienne losowe $Z(x_i)$ oraz $Z(x_i+h)$ są związane zależnością korelacyjną wynikającą z przestrzennej ciągłości analizowanego zjawiska.

Podstawowymi narzędziami geostatystyki są: analiza wykresów rozrzutu, analiza statystycznych miar ciągłości przestrzennej zjawisk, metody krigingu. W geostatystyce wykorzystuje się takie miary ciągłości przestrzennej, jak semiwariancja (do analizy jednej zmiennej) i cross-kowariancja (do analizy dwóch zmiennych).

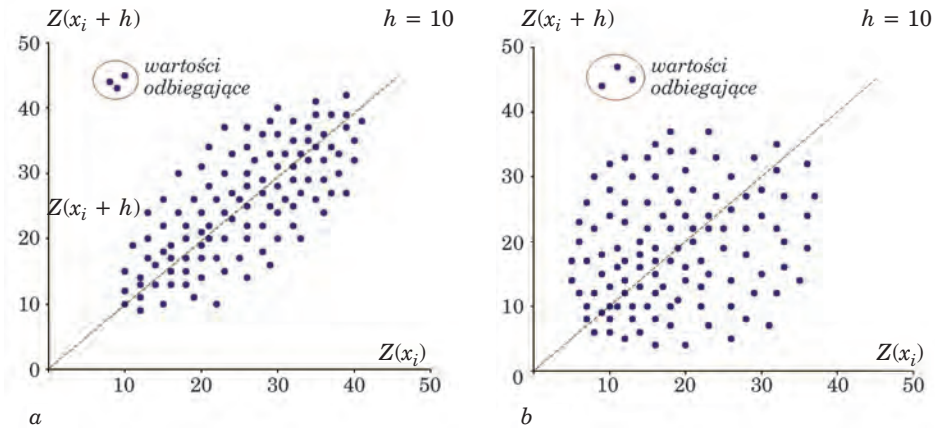


Ryc. 12.2.1. Lokalizacja w przestrzeni i oznaczenie dwóch kierunków pomiędzy punktami położonymi w odległości h

Zależności przestrzenne w zbiorze danych mogą być przedstawione za pomocą tzw. **wykresów rozrzutu**. Jest to wykres wszystkich pomierzonych wartości jednej cechy zregionalizowanej w punkcie (x_i) oraz punkcie $(x_i + h)$ w określonym kierunku w przestrzeni geograficznej. Punkt $(x_i + h)$ jest oddalony od punktu (x_i) o wartość h , która nazywa się **odległością separacji** (ryc. 12.2.1). Dla mniejszych wartości h punkty na wykresach rozrzutu skupiają się blisko siebie (wokół linii biegnącej pod kątem 45° do osi X). Można wtedy wnioskować o silniejszych zależnościach przestrzennych analizowanej zmiennej w bliżej położonych punktach przestrzeni. Jeśli zależność przestrzenna słabnie (co zwykle można zaobserwować dla większych wartości h), to punkty na wykresie rozrzutu są bardziej rozproszone (ryc. 12.2.2). Tworząc wykresy rozrzutu dla innych kierunków między punktami pomiarowymi w przestrzeni, zauważymy, że punkty na wykresie mogą się inaczej rozkładać. Oznacza to, że zależności przestrzenne dla tej samej analizowanej zmiennej w innym kierunku są inne, czyli mogą się szybciej lub wolniej zmieniać wraz z odległością.

Ważną zaletą wykresów rozrzutu jest możliwość wskazania na wartości odbiegające – bardzo małe lub bardzo duże (ryc. 12.2.2). Kilka z nich może znacząco wpływać na wartości statystyk sumarycznych czy współczynnik korelacji. Na wykresie rozrzutu mogą się pojawić dwie i więcej niezależnych chmur punktów. Oznacza to, że w zbiorze danych pomiarowych występują podzbiory o różnych zależnościach przestrzennych. Dzieli się wtedy taki zbiór danych na kilka jednorodnych zbiorów i analizuje osobno.

Najczęściej stosowaną miarą ciągłości przestrzennej jest **semiwariancja**. Semiwariancja jest charakterystyką, która umożliwia określenie autokorelacji przestrzennej występującej w rozpatrywanym zbiorze danych, czyli zależności pomiędzy wartościami jednej cechy, zmieniające się wraz z odległością. Jest to miara podobieństwa wartości analizowanej cechy, obserwowanej w miejscach w określonej odległości (odległościach) od



Ryc. 12.2.2. Wykresy rozrzutu dla dwu różnych wartości h

siebie. Rozróżnia się dwa typy semiwariancji: empiryczną (zwaną też eksperymentalną) i teoretyczną. **Semiwariancję empiryczną** wylicza się na podstawie danych pomiarowych – wartości analizowanej cechy i danych o lokalizacji pomiaru tych wartości – dla określonej liczby odległości separacji h i dla wszystkich lub wybranych kierunków w przestrzeni geograficznej. Semiwariancja empiryczna to połowa średniej kwadratu różnic wartości cechy w lokalizacjach odległych o h . Definiuje ją wzór:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [Z(x_i) - Z(x_i + H)]^2 \quad [*]$$

gdzie:

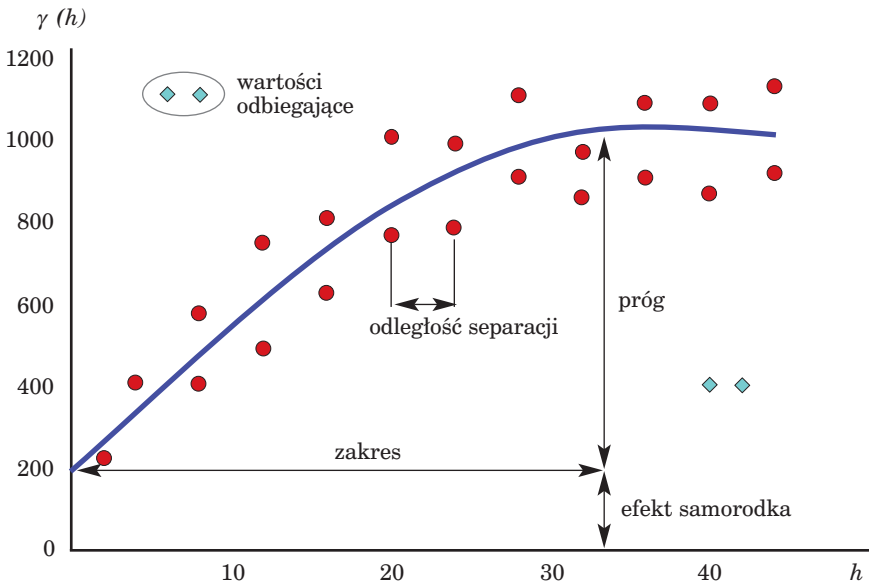
- $\gamma(h)$ – semiwariancja dla par punktów położonych w odległości h
- $Z(x_i)$ – wartość zmiennej w punkcie x_i
- $Z(x_i + h)$ – wartość zmiennej w punkcie oddalonym o odległość h od punktu x_i
- n – liczba par punktów odległych o h

Przykład. Analizując występowanie defoliacji na obszarze kompleksu leśnego, mierzy się wartość stopnia defoliacji w kilkunastu miejscach tego kompleksu, zapisując jednocześnie współrzędne tych miejsc. Następnie liczy się odległości pomiędzy wszystkimi punktami pomiarowymi. Przyjmuje się określoną wartość odległości separacji h . Przyjmuje się też liczbę odległości separacji, określając tym samym maksymalny zakres analizy. Jeśli kompleks leśny ma długość, dajmy na to, 1000 m, a $h = 100$ m, to aby analizować zmienność przestrzenną defoliacji na obszarze całego kompleksu leśnego, należy przyjąć liczbę odległości separacji równą 12–14.

Następnie wylicza się semiwariancję empiryczną dla wartości h równej w metrach 10 we wszystkich kierunkach. Czyli dla wszystkich par punktów odległych o $h = 10$ ze wzoru [*] wylicza się wartość $\gamma(10)$. Tak samo postępuje się dla pozostałych wartości h : 20, 30, ..., 100.

Kolejnym nieodłącznym etapem analizy korelacji przestrzennej jest sporządzenie wykresu **semiwaniancji empirycznej**, który nazywa się semiwariogramem empirycznym (ryc. 12.2.3). Na osi X odkłada się wartości odległości separacji h , a na osi Y – wartości wyliczonej semiwariancji empirycznej dla poszczególnych h i wszystkich kierunków. Semiwariogram empiryczny może wskazać też wartości odbiegające.

Do rozkładu wartości semiwariancji empirycznych (rozkład punktów na semiwariogramie empirycznym) dobiera się jeden z podstawowych modeli matematycznych, np. sferyczny, wykładniczy, gaussowski lub liniowy. W ten sposób modeluje się **semiwaniancję teoretyczną**. Semiwariogramy mogą mieć różne kształty. Analiza ich przebiegu (wariografia) jest w geostatystyce autonomiczną metodą analizowania ciągłości przestrzennej zjawisk. Modelowanie semiwariogramu teoretycznego polega na doborze wartości parametru tak, aby najlepiej dopasować jego przebieg do danych pomiarowych (chmury punktów semiwariogramu empirycznego). Najlepsze dopasowanie gwarantuje najmniejsze błędy oszacowania korelacji przestrzennej.

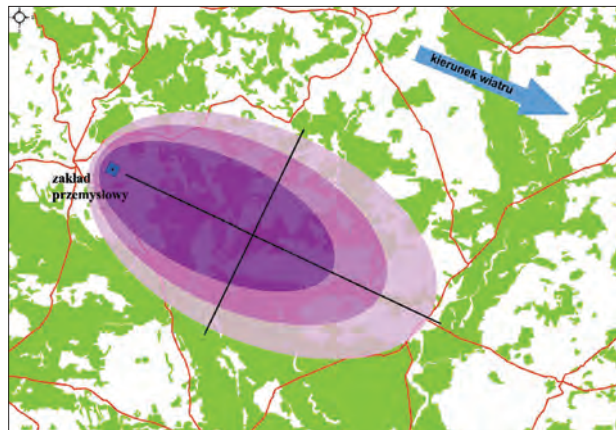


Ryc. 12.2.3. Semiwariogram empiryczny (czerwone punkty), semiwariogram teoretyczny (granatowa linia) i wartości odbiegające (zielone punkty)

- Semiwariogram można opisać za pomocą następujących parametrów:
- zakres (ang. range) – maksymalna odległość między punktami w przestrzeni, dla której istnieje jeszcze korelacja przestrzenna;
 - próg (ang. sill) – maksymalna wartość semiwariancji dla analizowanego zbioru danych; jest osiągalna dla określonej odległości między punktami w przestrzeni, dla której istnieje jeszcze korelacja przestrzenna;
 - efekt samorodka (ang. nugget) – przesunięcie (na osi Y – wartość semiwariancji), które może być spowodowane przez błąd pomiaru lub korelację przestrzenną dla odległości mniejszych niż wybrana wartość parametru „odległość separacji”;
 - odległość separacji (ang. lag) – definiowana przez użytkownika minimalna odległość między dwoma dowolnymi punktami w przestrzeni, która wyznacza zakres analizy korelacji przestrzennej.

Dla wielu zjawisk ich zmienność jest różna w różnych kierunkach przestrzeni geograficznej. Występuje wtedy zjawisko anizotropii. Jako przykład można podać uszkodzenie lasów, spowodowane zanieczyszczeniami przemysłowymi i komunalnymi powietrza. Szkodliwe związki wyrzucające w powietrze będą się przemieszczać najczęściej w kierunku wiatru przeważającego na danym obszarze. Dlatego w tym kierunku (dłuższa oś elipsy na ryc. 12.2.4) zależność pomiędzy wartościami opisującymi uszkodzenie lasów będzie zachodziła dla większych odległości niż dla kierunku prostopadłego do przeważającego kierunku wiatru. W wypadku zjawisk o charakterze anizotropowym konieczne jest sporządzenie semiwariogramów dla różnych kierunków – **semiwariogramów kierunkowych**. Semiwariogram kierunkowy jest semiwariogramem teoretycznym, utworzonym dla wybranych kierunków w przestrzeni.

Dobłą graficzną formą ilustrującą dystrybucję przestrzenną analizowanej cechy jest **semiwariogram powierzchniowy**. Ilustruje on zmienność przestrzenną cechy w dowolnym kierunku w przestrzeni dla wszystkich przyjętych odległości separacji. Semiwariogram powierzchniowy składa się z pewnej liczby ułożonych obok siebie kwadratów – wielkość ich boków odpowiada przyjętej odległości separacji h . Punkt środkowy semiwariogramu powierzchniowego reprezentuje zerową odległość

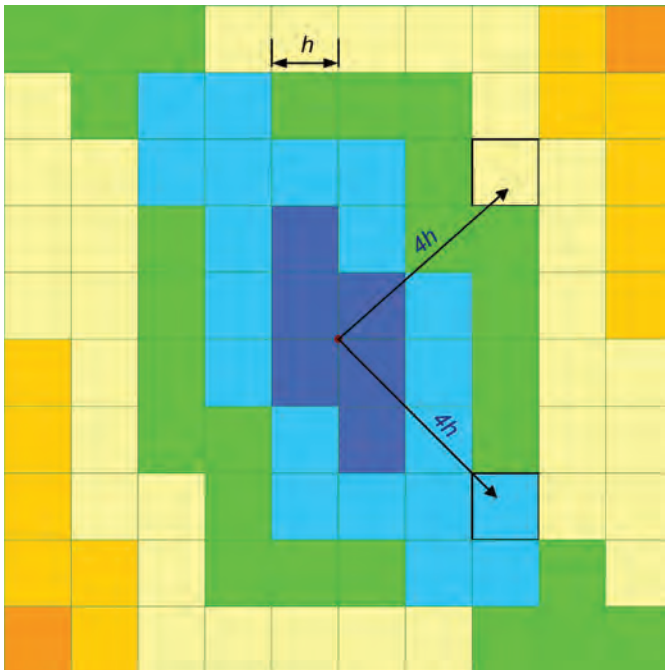


Ryc. 12.2.4. Anizotropia rozkładu zanieczyszczeń przemysłowych w przestrzeni

separacji między punktami. Przesuwając się w wybranym kierunku na semiwariogramie powierzchniowym, który jest tożsamy z kierunkiem w przestrzeni, można zaobserwować, jak kształtuje się zależność przestrzenna analizowanej cechy dla wybranych odległości. Barwy o tonacji chłodnej wskazują na większą zależność, a barwy ciepłe – na mniejszą (ryc. 12.2.5). Zmienność przestrzenna cechy, przedstawiona na ryc. 12.2.5, w odległości np. $4h$ jest większa w kierunku północno-wschodnym niż w kierunku południowo-wschodnym, co może oznaczać zjawisko anizotropii, przedstawione na ryc. 12.2.4.

Kriging jest geostatystyczną procedurą oszacowania wartości cechy we wszystkich miejscach analizowanego obszaru. W procedurze krigingu wykorzystuje się zarówno wartości pomierzone w terenie, jak i semiwariogram teoretyczny, który – jak wcześniej wspomniano – jest modelem zmienności przestrzennej cechy. W krigingu wylicza się wartości cechy w każdym punkcie obszaru, dokonując interpolacji probabilistycznej. Kriging jest jedyną metodą interpolacji, która dostarcza oceny błędów wyniku interpolacji.

Cross-kowariancja jest procedurą określenia zależności przestrzennej pomiędzy dwiema cechami. Jest miarą podobieństwa wartości dwu zmiennych zregionalizowanych (opisujących dwie analizowane cechy), występujących w określonej odległości (odległościach) od siebie. Może być przydatna do analizowania zmienności przestrzennej cechy głównej z wykorzystaniem innej, skorelowanej z nią cechy pomocniczej.



Ryc. 12.2.5.
Semiwariogram
powierzchniowy

Kokriging jest procedurą interpolacji probabilistycznej. Polega na oszacowaniu wartości cechy głównej z wykorzystaniem skorelowanej z nią cechy lub cech pomocniczych. Dane dotyczące cech pomocniczych są często dostępne i mogą być liczniejsze niż dane opisujące cechę główną. Kokriging wykorzystuje autokorelację wszystkich zmiennych oraz cross-kowariancję cechy głównej z cechami pomocniczymi. Kokriging daje zwykle dokładniejsze wyniki interpolacji niż kriging. Stosowanie kokrigingu jest uzasadnione wtedy, gdy dane opisujące cechy pomocnicze są łatwiejsze (tańsze) do pozyskania niż dane dotyczące cechy głównej.

12.2.3. Warunki praktycznego zastosowania geostatystyki w leśnym SIP

Literatura podaje szereg typowych zastosowań geostatystyki. Najważniejsze to:

- określenie zmienności przestrzennej i (lub) czasowej jakiejś cechy zjawiska;
- szacunek wartości cechy ilościowej w dowolnym punkcie w przestrzeni i (lub) momencie czasu;
- ocena błędu oszacowania wartości cechy ilościowej w dowolnym punkcie obszaru zainteresowania;
- oszacowanie wartości ekstremalnych cechy, możliwych w danym punkcie obszaru;
- określenie prawdopodobieństwa przynależności danego punktu lub obszaru do określonej kategorii;
- określenie prawdopodobieństwa przekroczenia w danym punkcie lub obszarze określonej wartości progowej cechy ilościowej.

Podstawową przesłanką zastosowania metod geostatystyki w leśnym SIP jest stwierdzenie, że rozpatrywane zjawisko przestrzenne ma charakter ciągły. W wypadku niektórych zjawisk, występujących w środowisku przyrodniczym, nie ma wątpliwości co do ich ciągłości przestrzennej. Potencjalne pola zastosowań dotyczą sporządzania map dystrybucji przestrzennej, na przykład:

- populacji owadów,
- defoliacji,
- wilgotności ściółki,
- parametrów gleby,
- bonitacji.

Wymienione powyżej zastosowania geostatystyki zakładają ciągłość zjawisk przestrzennych w obrębie przyjętej za jednorodną powierzchni leśnej, którą można traktować jako ciągłe pole losowe. Mając na uwadze charakterystyczny podział przestrzeni lasu na drzewostany, należy odpowiedzieć na pytanie, czy uzasadnione jest stosowanie metod geostatystyki

dla drzewostanów zbliżonych do siebie pod względem cech taksacyjnych, lecz rozdzielonych w przestrzeni. Pozytywna odpowiedź umożliwiłaby zastosowanie geostatystyki do analizy przestrzennej zmienności warstw stratyfikacyjnych. Wyjaśnienie powyższego problemu, związanego z ciągłością pól losowych, z których pobierana jest próba, wymaga zarówno wiedzy eksperckiej w zakresie dystrybucji zjawisk przestrzennych w lasach, jak i wiedzy merytorycznej z zakresu geostatystyki.

12.3. Zastosowanie sieci neuronowych i systemów ekspertowych w leśnym SIP

dr inż. WIKTOR TRACZ – Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Leśny, Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa

Sztuczne sieci neuronowe i systemy ekspertowe zalicza się do dziedziny sztucznej inteligencji. **Sztuczna inteligencja** najpowszechniej określana jest jako realizacja za pomocą komputera zadań, które w wypadku człowieka nazywane są działaniem inteligentnym. Sposób działania sztucznej inteligencji polega na rozwiązywaniu przez komputer trudnych zadań, często przy niekompletnej i niepewnej informacji, podobnie jak to czyni człowiek w codziennym życiu. Zadania trudne to takie, do rozwiązania których nie dają się skutecznie zastosować tradycyjne metody analizy danych. Siła metod sztucznej inteligencji kryje się w tym, że główną cechą tej dziedziny jest wnikliwa obserwacja natury we wszystkich jej przejawach: zachodzących w niej procesów, istniejących struktur, sposobów radzenia sobie z przeciwnościami. Do metod sztucznej inteligencji zalicza się: sztuczne sieci neuronowe, systemy ekspertowe, algorytmy genetyczne, przetwarzania oparte na logice rozmytej, robotykę, uczenie się maszyn, inżynierię wiedzy. Każda z metod należących do sztucznej inteligencji jest oparta na innym zaobserwowanym w przyrodzie procesie czy stanie.

System ekspertowy (SE) jest systemem komputerowym, którego działanie jest wzorowane na sposobie rozwiązywania problemów stosowanym przez ludzi. System ekspertowy wykonuje skomplikowane zadania z określonej dziedziny tak dobrze jak człowiek, będący ekspertem w tej dziedzinie. SE stosuje się wtedy, gdy informacja (wiedza) o rozwiązywanym zagadnieniu jest niepewna lub niekompletna. To samo dotyczy zagadnień, które nie są w sposób jednoznaczny sformalizowane, czyli nie istnieje model matematyczny bądź algorytmy rozwiązujące zadania danego zagadnienia. Warto zauważyć, że jest to typowa sytuacja dla eksperta podejmującego decyzje. Opierając się na swoim doświadczeniu, wiedzy i intuicji, jest on

w stanie zaproponować właściwe rozwiązanie analizowanego problemu. Zapisana w SE wiedza człowieka-eksperta z wybranej dziedziny może być wielokrotnie używana w sposób ekonomicznie efektywny, gdyż nie jest przy tym wymagana obecność eksperta. Istnieje również możliwość agregacji w jednym SE dobrej jakości, specyficznej wiedzy zespołu ekspertów oraz rozpowszechnienie jej do wielu miejsc, w których realizuje się działania wymagające wykorzystania tej wiedzy.

System ekspertowy składa się z kilku podstawowych elementów: bazy wiedzy, maszyny wnioskującej, interfejsu użytkownika, bloku pozyskania wiedzy, bloku wyjaśnień.

Baza wiedzy zawiera wiedzę z dziedziny określonego zagadnienia i jest odseparowana od reszty systemu.

Maszyna wnioskująca służy do sterowania procesem wnioskowania i wyrowadzenia wyników. Rozdzielenie bazy wiedzy i mechanizmów wnioskowania jest wyraźną zaletą SE. Umożliwia łatwą aktualizację bazy wiedzy bez ingerencji w mechanizmy wnioskowania. Co więcej, można zastosować istniejące mechanizmy wnioskowania (tzn. maszynę wnioskującą) do rozwiązywania innego zadania, wykorzystując inną bazę wiedzy, która zawiera wiedzę dotyczącą tego zadania.

Blok pozyskania wiedzy wykorzystuje się do wprowadzenia do bazy wiedzy nowej i modyfikacji istniejącej wiedzy.

Blok wyjaśnień służy do objaśniania toku wnioskowania i uzyskania wniosku końcowego przez system ekspertowy. SE są często wyposażane w funkcje typowe dla innych systemów komputerowych, na przykład mogą współpracować z bazami danych, udostępniać funkcje matematyczne, komunikować się z bazą modeli i wiele innych.

Realizacja SE obejmuje: określenie realizowanej funkcji, ustalenie źródeł pozyskiwania wiedzy, wybór metody pozyskania wiedzy, wybór reprezentacji pozyskanej wiedzy w bazie wiedzy, wybór metody wnioskowania, wybór narzędzia do realizacji SE (programu komputerowego, języka programowania), pozyskanie wiedzy, budowę i testowanie systemu. Rozpoznaje się kilka funkcji, które są realizowane przez SE. Są to: diagnoza, interpretacja, monitorowanie, planowanie, prognozowanie, projektowanie, sterowanie, szkolenie. Często pierwszym krokiem realizacji SE jest wybór narzędzia do ich realizacji. System ekspertowy można stworzyć, używając dowolnego języka programowania, również jednego z języków programowania sztucznej inteligencji. Zaletą takiego wyboru jest elastyczność tworzenia systemu zgodnego z naszą potrzebą, a wadą – duży nakład pracy. Do realizacji SE można również wykorzystać tak zwane systemy szkieletowe, które są gotowymi, funkcjonującymi systemami ekspertowymi z pustą bazą wiedzy. W tym wypadku nie zachodzi potrzeba wyboru metod reprezentacji wiedzy i wnioskowania, ponieważ stanowią one część takiego systemu. W każdej sytuacji mamy do czynienia z pozyskaniem wiedzy dotyczącej rozwiązywanego zadania. Wiedzę można pozyskać z materiałów publikowanych, korzystając z usług doradczych czy sys-

temów doradczych. Najczęstszym jednak sposobem pozyskiwania wiedzy jest jej przejęcie od człowieka, który jest ekspertem w określonej dziedzinie. Wiedzę od eksperta pozyskuje się w postaci heurystyk – wszelakich praw, kryteriów i zasad, które umożliwiają wybranie najbardziej efektywnego kierunku działania, prowadzącego do rozwiązania danego zadania. Jakość i skuteczność SE zależy w głównej mierze od jakości i kompletności wiedzy (zgromadzonej w bazie wiedzy), potrzebnej do rozwiązania zadania.

Systemy ekspertowe najlepiej sprawdzają się w dobrze zdefiniowanych, wąskich i mało zmiennych dziedzinach. Najważniejsze zalety SE to naturalny sposób komunikowania się użytkownika z systemem oraz łatwość rozumowania prowadzonego wnioskowania i konkluzji. System może śledzić własne działanie, objaśniając użytkownikowi sposób osiągnięcia wyników i przyczyny podejmowania pewnych działań. Odseparowanie bazy wiedzy i mechanizmów wnioskowania ułatwia modyfikowanie modelu rozwiązania, gdy dostępne są nowe istotne informacje o problemie. Stosunkowo dobrze rozwinięte techniki oznaczania niepewności lub niedokładności pozwalają na dokładniejsze przedstawienie problemu, który należy rozwiązać (czasami nawet są jedynym możliwym sposobem). Największym mankamentem SE jest problem pozyskania wiedzy. Ekspert dziedziny, którego wiedza zasila bazę wiedzy SE, nie zawsze jest dostępny, często występuje wiele trudności przy współpracy z nim, a niektóre aspekty wiedzy nie dają się łatwo sformalizować.

Zastosowanie SE jest bardziej efektywne w porównaniu z innymi metodami wtedy, gdy występują takie przesłanki, jak:

- niemożliwość sformułowania kompletnej wiedzy na temat rozwiązywanego problemu w postaci dokładnego algorytmu,
- duży wysiłek związany z pozyskaniem kompletu danych i wiedzy oraz przekształceniem jej w odpowiednią reprezentację,
- przewaga wiedzy w postaci heurystyk nad dobrze zdefiniowanymi procedurami algorytmicznymi,
- przewaga danych typu symbolicznego nad danymi numerycznymi,
- potrzeba podejmowania decyzji mimo braku kompletnej informacji (wiedzy),
- niepewność wiedzy,
- problemy, w których może wystąpić eksplozja kombinatoryczna.

Sztuczna sieć neuronowa (sieć neuronowa – SN) jest systemem wzajemnie połączonych prostych elementów przetwarzających informację, zwanych neuronami sztucznymi. Zasada działania SN polega na symulacji pracy komórek nerwowych mózgu człowieka. Budowa i zasady pracy neuronów sztucznych opierają się na budowie neuronu żywego. Neuron sztuczny jest układem o wielu wejściach i jednym wyjściu. Neurony te grupuje się w większe zespoły zwane warstwami. Struktura wewnętrzna, wraz z określonym sposobem propagacji sygnału między neuronami, tworzy architekturę sieci neuronowej. Można wyróżnić trzy główne typy ar-

chitektur SN: jednokierunkowe (np. perceptron wielowarstwowy, sieci RBF, GRNN), rekurencyjne (np. sieć Hopfielda), komórkowe (np. sieć SOM Kohonena). Najczęściej sieć składa się z warstwy wejściowej, warstwy wyjściowej oraz jednej lub kilku warstw wewnętrznych. Jedynie sieci Kohonena składają się z warstwy wejściowej, która jest jednocześnie warstwą wyjściową, i warstwy konkurencyjnej. Wiedza w SN przechowywana jest w jej wewnętrznych odwzorowaniach, określonych przez wartości wag, i jest przywoływana w czasie zastosowania sieci. Wartości wag są przydzielane w procesie uczenia, zmierzającym do nauczenia sieci rozwiązania danego zadania.

SN wykazują pewne właściwości podobne do procesów myślowych zachodzących u człowieka. Stanowią one cechy charakterystyczne i zarazem zalety SN w porównaniu z innymi metodami:

- zdolność przetwarzania niekompletnych danych;
- możliwość modelowania zależności nieliniowych;
- szybkie i efektywne przetwarzanie dużych ilości danych;
- możliwość przetwarzania informacji rozmytych, chaotycznych, a nawet sprzecznych;
- skojarzeniowy dostęp do informacji zawartej w sieci (adresowanie za wartością, a nie miejscem), tzw. pamięć skojarzeniowa;
- duża tolerancja na błędy w analizowanych danych.

SN potrafi się uczyć na danych empirycznych opisujących problem.

Realizacja SN obejmuje: określenie realizowanej przez sieć funkcji, wybór architektury sieci (liczba warstw, liczba neuronów w każdej warstwie, postać funkcji aktywacji neuronu), pozyskanie i wstępne przetwarzanie danych, podział zbioru danych na podzbiory: uczący i testowy, przeprowadzenie uczenia sieci wraz ze sprawdzaniem dobroci (jakości) nauczonej sieci oraz wybór optymalnego rozwiązania.

Sieciami neuronowym przypisane są następujące funkcje:

- klasyfikacja, która tworzona jest przez podział zbioru danych na kategorie skojarzenia każdego obiektu z kategorią;
- rozpoznawanie, rozumiane jako klasyfikowanie wejścia, mimo że nie odpowiada ono żadnemu z przechowywanych wzorców;
- prognoza, czyli określenie przyszłych zachowań lub stanów systemu na podstawie ciągu wartości z przeszłości;
- sterowanie, realizowane inteligentnie bez konieczności opracowania modelu, oparte wyłącznie na doświadczeniu;
- optymalizacja, w tym rozwiązywanie liniowych i nieliniowych równań;
- estymacja, czyli realizacja następujących zadań: aproksymacji, interpolacji, filtrowania.

Główną zaletą SN jest zdolność do uczenia się oraz zdolność przetwarzania informacji niekompletnych. Główną wadą natomiast, że prawie niemożliwe jest prześledzenie procesu wnioskowania i dochodzenie do wyniku końcowego stosowanego przez sieć podczas rozwiązywania zadania.

Przesłankami wyboru systemów ekspertowych bądź sieci neuronowych do rozwiązania danego zadania są, z jednej strony, cechy zadania, a z drugiej – właściwości i zalety SE czy SN.

Wiele zjawisk przyrodniczych (w tym leśnych) ma złożony i zmienny charakter, co utrudnia efektywną analizę ich stanu i dynamiki zmian. Trudno jest też opisać formalnie (językiem matematyki) zależności przyczynowo-skutkowe warunkujące takie zjawiska. Typowe cechy złożonych zagadnień są następujące:

- nieliniowość zmian w czasie,
- niekompletna wiedza merytoryczna na temat funkcjonowania zjawiska,
- niepewność niektórych danych pochodzących z inwentaryzacji terenowych,
- często niekompletność danych wynikająca np. z wysokich kosztów inwentaryzacji,
- występująca jedynie opisowa (nienumeryczna) forma charakteryzowania zjawisk.

Wszystkie wymienione wcześniej cechy SE i SN (które są jednocześnie mocnymi stronami tych metod) są zbieżne z potrzebami analizy złożonych zagadnień przyrodniczych.

Metody SE i SN nie są też pozbawione słabych stron, które czasami uniemożliwiają ich zastosowanie. Tam, gdzie jedna metoda nie wystarczy, można zastosować kilka, działających razem. Mamy wtedy do czynienia z systemem hybrydowym. Systemy hybrydowe łączą kilka technik komputerowych w jednym systemie. Cechuje je zwiększony potencjał analityczny, ponieważ korzystają z zalet każdej wchodzącej w ich skład metody. SE i SN mogą być integrowane w jednym systemie również z innymi technikami komputerowymi. Na przykład SN, może być użyta w celu pozyskania wiedzy dla SE, który źle sobie radzi z tym zadaniem. Można wskazać kilka sposobów współpracy systemów ekspertowych i sieci neuronowych:

- SE może być używany do uczenia SN. W tym wypadku SE służy do przygotowania danych uczących dla sieci neuronowej;
- SN może wstępnie przetwarzać dane wejściowe dla SE na postać bardziej dogodną do dalszego przetwarzania. Może wówczas następować wstępne uogólnienie i oczyszczenie danych wejściowych z szumu informacyjnego;
- SE może kontrolować dane przepływające przez różne sieci neuronowe. W tym wypadku SE zarządza wieloma SN, wybierając tę, która najlepiej odpowiada wymaganiom w danym momencie lub jest przystosowana do wykonania pewnej operacji;
- SE może przyjmować dane wychodzące z SN lub zestawu sieci neuronowych i zastosować własny sposób ich interpretacji;
- SE może na żądanie objaśniać działanie całego systemu, włącznie z działaniem i interpretacją wyników SN;
- SN może być wykorzystana do pozyskania wiedzy dla SE. W podejściu tym wykorzystuje się właściwości samoorganizowania SN oraz uczenia się bez nadzoru.

Systemy informacji przestrzennej (SIP) są przeznaczone do wspomagania rozwiązywania zadań przestrzennych. Stosuje się je coraz częściej nie tylko do ewidencji czy inwentaryzacji, ale również do optymalizacji działań i prognozowania zjawisk w przestrzeni. SIP jest narzędziem niezastąpionym w analizach przestrzennych, a stąd i w analizach zjawisk oraz obiektów przyrodniczych mających charakter przestrzenny. Jeśli zadania takie wykazują cechy zadań złożonych (opisanych wyżej), to do ich rozwiązania z powodzeniem można zastosować SE i SN.

SE i SN mogą współpracować z SIP na kilka sposobów. Mogą dostarczać wyników rozwiązań przeznaczonych bezpośrednio do prezentacji w SIP lub wyników pośrednich, które mogą być wykorzystane w dalszych analizach realizowanych za pomocą SIP. Wyniki analiz przeprowadzonych w SIP mogą być przetwarzane przez SE i (lub) SN, a potem wizualizowane w postaci mapowej w SIP. Na przykład wartości cechy ciągłej, uzyskane w wyniku interpolacji w SIP, mogą być razem z innymi danymi przetwarzane przez SN, która realizuje prognozę, a następnie wyniki prognozy przedstawione w postaci wizualizacji na mapie. Inny przykład to opracowanie prezentacji mapowej w SIP wyników klasyfikacji realizowanej przez SE.

Analiza potrzeb i problemów gospodarki leśnej potwierdza możliwość i celowość zastosowania metod SE i SN. Wykorzystywanie w leśnictwie SE i SN zarówno samodzielnie, jak i do wspomagania analiz przestrzennych w SIP nie należy do rzadkości. Jako przykłady można podać następujące zastosowania (na razie jeszcze teoretyczne, chociaż niektóre z nich były już badane naukowo):

- przewidywanie miejsc występowania silnych wiatrów (SIP, SN),
- prognoza rozwoju pożaru oraz jego potencjału zniszczeń (SIP, SE),
- prognoza wilgotności ściółki (SIP, SN),
- analiza i prognozowanie zmian stanu roślinności (SIP, SE),
- ocena zagrożenia przez szkodniki drzew leśnych (SIP, SN, SE),
- ewidencja i ocena stanu środowiska naturalnego (SIP, SE i SN),
- wybór właściwego modelu symulacyjnego zakwaszenia wód (SIP, SE),
- prognoza aktywności turystycznej w parkach narodowych (SIP, SN),
- projektowanie przebiegu drogi leśnej (SIP, SE),
- klasyfikacja typów roślinności na wielospektralnych obrazach satelitarnych (SN),
- oszacowanie biomasy z wykorzystaniem zobrazowania radarowego (SN),
- oszacowanie zwarcia koron i liczby pni na obrazach teledetekcyjnych (SN),
- identyfikacja szkodników drzew leśnych i dobór metody ich zwalczania (SE),
- określenie sortymentów gatunków drzew iglastych (SE).

Metody sztucznej inteligencji w jednych sytuacjach wspierają metody tradycyjne, a w innych zastępują je, ponieważ dają lepsze wyniki lub są łatwiejsze w stosowaniu. Można wyodrębnić trzy zasadnicze sposoby integracji różnych metod analizy danych (realizowanych w postaci programów i systemów komputerowych), w tym też SE i SN z SIP:

- integracja luźna – sposób najczęściej spotykany, bo najłatwiejszy w realizacji, ale zarazem najmniej efektywny i pracochłonny w użyciu. Jest oparty na wymianie danych za pomocą tzw. plików wymiany (plików określonych typów, które potrafi odczytać i zapisać każdy z komponentów systemu);
- integracja ścisła – sposób, który zapewnia posiadanie wspólnego obszaru pamięci zewnętrznej; komponenty systemu mają wspólny interfejs użytkownika;
- integracja poprzez wbudowanie funkcjonalności komponentów w tworzony system. Systemy o takim sposobie integracji są najbardziej efektywne, ale najtrudniejsze do zrealizowania.

Obecny stan wykorzystania technologii informatycznych w Lasach Państwowych, technologii wspomagających zarządzanie informacją nieprzestrzenną (SILP) oraz informacją przestrzenną (LMN), zapewnia dostępność w postaci cyfrowej wielu danych, dotyczących różnorodnych aspektów gospodarki leśnej. Uporządkowana struktura tych danych umożliwia zastosowanie różnych metod analizy danych, w tym SE i SN. Metody SE i SN są dobrze rozwinięte i stosowane w praktyce leśnej na świecie. W gospodarce leśnej w Polsce są jednak słabo znane i niestosowane. Wynika to z kilku przyczyn. Nowe metody i narzędzia z zakresu informatyki, mimo posiadania przez LP jednego z największych w Polsce branżowych systemów informatycznych, nie są łatwo przyjmowane. Stwierdzenie i zrozumienie oczywistego faktu, że efektywne prowadzenie gospodarki leśnej wymaga opanowania i wykorzystania nowych metod, w tym opartych na technikach komputerowych, może nie wystarczyć. Za zrozumieniem możliwości i korzyści płynących z zastosowania metody idzie analiza możliwości jej wdrożenia do praktyki. Najczęstszym i najtrudniejszym problemem wdrażania nowych technologii są finanse. Pozytywną stroną jest to, że w Lasach Państwowych koszty opracowania prototypu ponosi się raz, a wykorzystywany on jest we wszystkich lub w większości nadleśnictw.

12.4. Analizy przestrzenne w praktyce leśnej

mgr inż. RADOMIR BAŁAZY – Nadleśnictwo Świeradów

12.4.1. Wstęp

Systemy informacji przestrzennej stanowią nierozzerwalną część życia codziennego, począwszy od sytuacji, kiedy chcemy się dowiedzieć, gdzie należy skręcić, by najszybciej dojechać do domu, aż po złożone analizy przestrzenne, które ukierunkowują rozwój największych gospodarek świata.

ta. Ludzka chęć poznania i uporządkowania przestrzeni przy jednoczesnym rozwoju globalnych systemów komunikacji, nawigacji oraz logarytmicznym wzroście mocy obliczeniowej komputerów sprawia, że technologie GIS przeżywają dziś rozkwit i jednocześnie powszednieją. Może właśnie dlatego w czasach, gdy świat targany jest kryzysem, techniki pozwalające wybrać najlepsze i najoszczędniejsze rozwiązania w możliwie krótkim czasie zdobywają taką popularność, zysk bowiem, nie tylko w wymiarze pieniężnym, pozostaje wciąż najważniejszym argumentem.

Próba zaprezentowania Czytelnikowi kilku wybranych analiz, zarówno tych, które mogłyby się przydać w codziennej pracy leśnika, jak i tych, które tworzy się raz w życiu na potrzeby unikalnych projektów czy też prezentacji naukowych, ogranicza się do doświadczeń jednego tylko nadleśnictwa – Świeradów. Mieliśmy to szczęście, że w ramach Programu Interreg IIIA i napisanego przez nas projektu pt. „Koordynacyjne Centrum Edukacji i Promocji Przyrodniczo-Leśnej w Świeradowie-Zdroju” udało się zbudować zaawansowany system informacji przestrzennej dla Leśnego Kompleksu Promocyjnego „Sudety Zachodnie”. Powstał on m.in. na bazie takich narzędzi geomatycznych, jak: lotniczy skaning laserowy, cyfrowe zdjęcia lotnicze oraz inwentaryzacja dróg metodą kartowania mobilnego (MMS – Mobile Mapping System). Projekt objął w większości górzysty i zalesiony obszar nadleśnictw Świeradów i Szklarska Poręba oraz dodatkowo Karkonoski Park Narodowy – całość o powierzchni ok. 1100 km². Prezentowane analizy opierają się głównie na danych pozyskanych powyższymi metodami oraz oczywiście na warstwach LMN. Większość z nich, częściowo dzięki oprogramowaniu, którym dysponuje nadleśnictwo, nie wymagała dużego nakładu pracy czy wiedzy. Mimo że nie są może reprezentatywne dla codziennej pracy innych nadleśnictw, to – mam nadzieję – w przededniu powszechnego dostępu do coraz lepszych danych (jak lidar, zdjęcia cyfrowe czy MMS) okażą się dla Czytelnika ciekawe.

12.4.2. Przykłady analiz

Nowoczesne oprogramowanie GIS, bazujące na odpowiednio przygotowanych danych geometrycznych i opisowych, pozwala rozwiązać dowolny problem przestrzenny, angażując przy tym znacznie mniej kosztów niż metody tradycyjne. Nie bez znaczenia jest również czas tworzenia poszczególnych opracowań, zwykle bardzo krótki, oraz ich dokładność. Przedstawione analizy z zakresu hydrologii, geologii, inżynierii drogowej i codziennej pracy leśnika są zaledwie ułamkiem możliwości nowoczesnych technik geomatycznych. Jako przykładowe wybrano sześć różnych analiz:

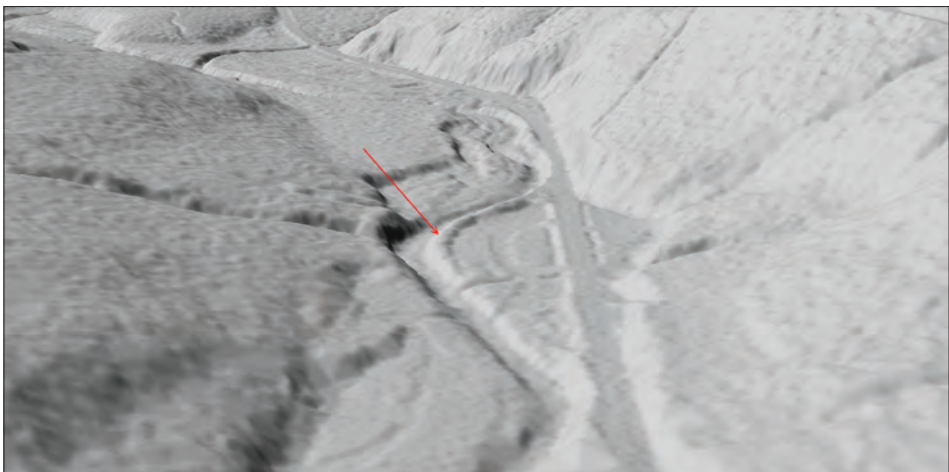
1. Symulacja zalania szkółki leśnej w Nadleśnictwie Świeradów – analiza, której celem była próba odtworzenia sytuacji powodziowej z roku 2006,

- czyli zweryfikowanie dokładności i użyteczności wykorzystywanego modelu terenu.
2. Przykłady obliczeń inżynierskich na potrzeby projektowanej drogi.
 3. Model przestrzenny nadajnika radiowo-telewizyjnego przy wyborze miejsca pod wieżę widokową.
 4. Przykład wyboru lokalizacji pod plantację limbową.
 5. Analiza potencjalnej erozji w masywie „Stogu Izerskiego” w kontekście projektowanej ścieżki edukacyjnej.
 6. Wybór optymalnej trasy projektowanej nartostrady z punktu widzenia inwestora i gospodarki leśnej.

12.4.2.1. Symulacja zalania szkółki leśnej w Nadleśnictwie Świeradów

Pierwsza z prezentowanych analiz była z założenia próbą oceny dokładności numerycznych modeli terenu (powstałych na podstawie skanowania lidarowego) poprzez odtworzenie sytuacji powodziowej z roku 2006. Oczywiście, każdy zestaw danych charakteryzowany jest obszernym opisem, dotyczącym m.in. dokładności (informacja metadanaowa), czasami jednak dopiero prosta symulacja pozwala wyobrazić sobie dokładność odwzorowania.

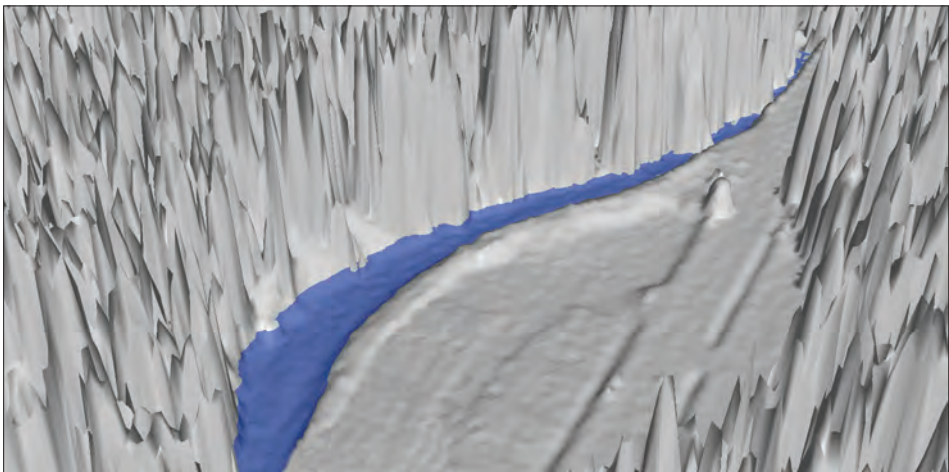
Podstawą wykonanej analizy były archiwalne zdjęcia powodzi w roku 2006 i numeryczny model terenu z roku 2007. Ponieważ w tym czasie wybudowano wał przeciwpowodziowy, należało go usunąć z modelu (ryc. 12.4.1), (Bałazy i in. 2008).



Ryc. 12.4.1. Lokalizacja ziemnego wału przeciwpowodziowego wybudowanego latem 2007 r.



Ryc. 12.4.2. Porównanie symulowanego na NMT stanu wody z jej poziomem zarejestrowanym na zdjęciu, wykonanym 6 sierpnia 2006 r.



Ryc. 12.4.3. Wykorzystanie NMT do weryfikacji prawidłowości wykonania wału przeciwpowodziowego. Prezentowany stan wody odpowiada jego poziomowi notowanemu 6 sierpnia 2006 r.

Po korekcie terenu, przeprowadzonej w celu odtworzenia sytuacji z roku 2006, dodano warstwę roślinności i zasymulowano zalanie fragmentu szkółki leśnej „falą powodziową” do poziomu odpowiadającemu stanowi faktycznemu.

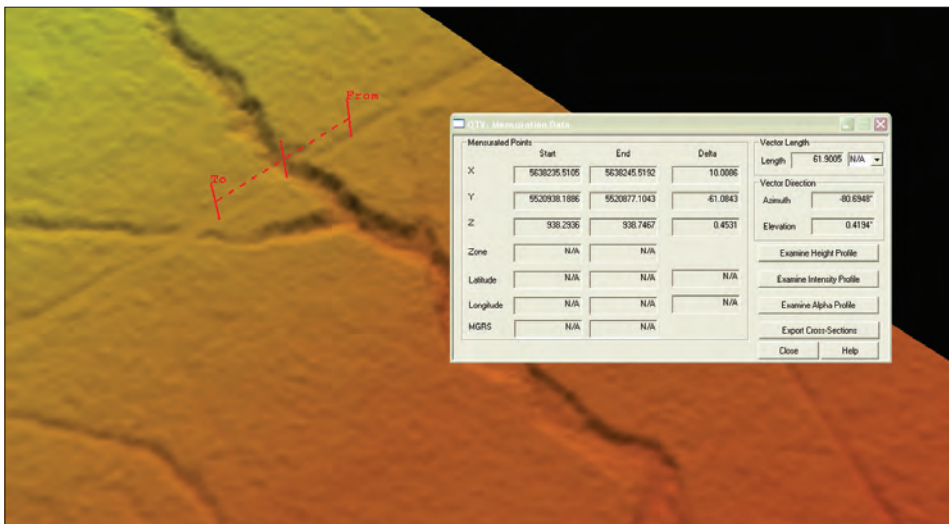
Zweryfikowana na podstawie zdjęć i modelu dokładność okazała się bardziej niż zadowalająca (ryc. 12.4.2), (Zawiła-Niedźwiecki i in. 2008).

Już pobieżna ocena zalanego fragmentu pozwala sądzić, że w tym miejscu była ona wyższa od zakładanej w specyfikacji (40 cm w osi x , y i 15 cm w osi z). Uwieńczeniem tej prostej analizy było ponowne przywrócenie istniejącego wału przeciwpowodziowego i podniesienie wody w rzece Kwisie (ryc. 12.4.3). Analiza udowodniła, że wysokość wału zabezpiecza szkółkę przed falą powodziową.

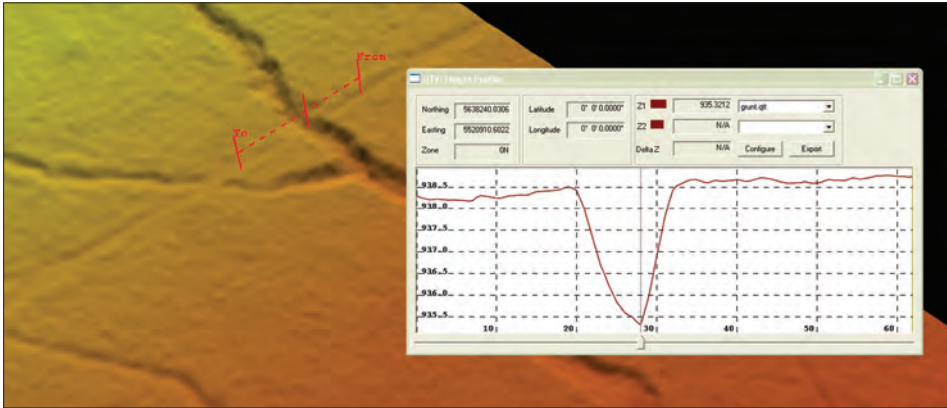
12.4.2.2. Przykłady obliczeń inżynierskich na potrzeby projektowanej drogi

Kolejnym przykładem możliwych zastosowań dokładnych modeli terenu była wstępna analiza fragmentu koryta potoku, która umożliwiła oszacowanie skali przyszłych prac drogowych. Odpowiednie oprogramowanie komputerowe pozwala precyzyjnie obliczyć wysokość wszystkich punktów przekroju (w tym wypadku całość ok. 938 m n.p.m.), (ryc. 12.4.4), oraz wykreślić sam przekrój koryta z dokładnością do kilku (kilkunastu) centymetrów (ryc. 12.4.5).

Warto podkreślić, że prezentowane modele można bez problemów eksportować np. do formatów CAD, szeroko wykorzystywanych przez architektów i inżynierów. Umożliwia to nie tylko prostą wymianę plików, ale przede wszystkim obniża znaczne koszty sporządzania pomiarów geodezyjnych (Strzeliński i in. 2008).



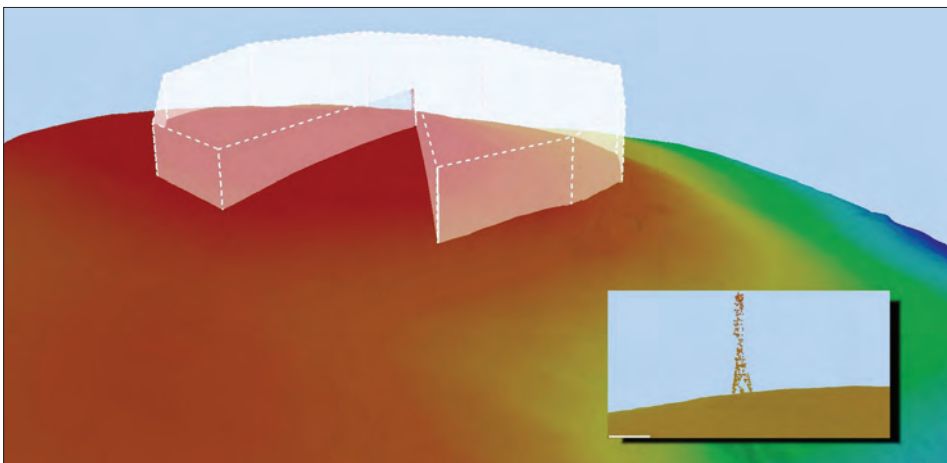
Ryc. 12.4.4. Podstawowe parametry wytyczonego fragmentu terenu



Ryc. 12.4.5. Przekrój podłużny z widocznym korytem ponadtrzymetrowej głębokości

12.4.2.3. Model przestrzenny nadajnika radiowo-telewizyjnego przy wyborze miejsca pod wieżę widokową

Modele przestrzenne w technologii 3D są z oczywistych względów znacznie bardziej czytelne niż w układzie kartezjańskim. Widać to zwłaszcza na poniższym przykładzie (ryc. 12.4.6), który obrazuje analizę, jakiej podano zasięg promieniowania pochodzącego z nadajnika radiowo-telewi-



Ryc. 12.4.6. Widok nadajnika radiowo-telewizyjnego w masywie „Stogu Izerskiego”

zynego w celu wyboru bezpiecznego miejsca pod budowę wieży widokowej. Nowoczesne metody wizualizacji umożliwiły uwzględnienie rozchodzenia się fal radiowych, ukształtowania terenu i wysokości projektowanej wieży ppoż. na modelu przestrzennym. Efekt końcowy symulacji wskazuje w tym wypadku pole możliwych lokalizacji wieży, uwzględniając wszystkie wymienione zmienne.

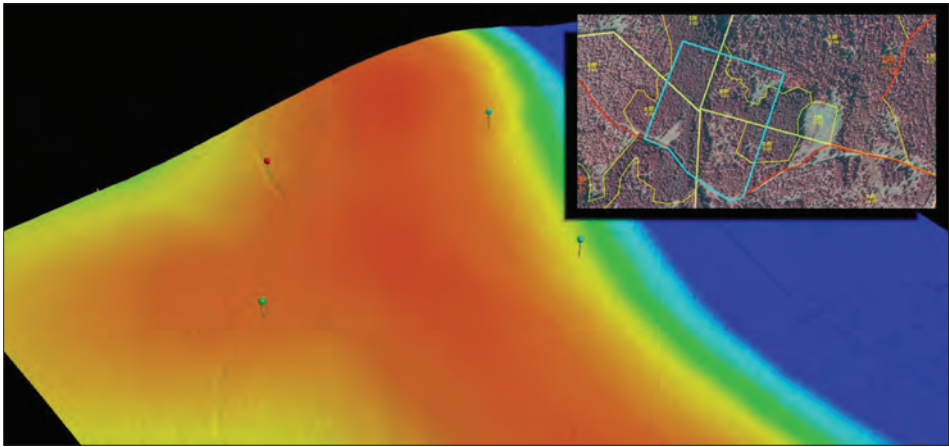
12.4.2.4. Przykład wyboru lokalizacji pod plantacją limbową

Kolejnym poligonem, na którym testowaliśmy nowe technologie, była plantacja limbowa. Zgodnie z obowiązującymi w Lasach Państwowych procedurami przystąpiono do selekcji powierzchni spełniającej wszystkie warunki, takie jak np. kształt zbliżony do kwadratu i płaski, równy grunt. Wybrane na podstawie lustracji terenowej oddziały, jak się wydawało, spełniały wszystkie postawione kryteria. Powierzchnię dodatkowo zweryfikowano na ortofotomapie, wybierając do usunięcia najmniej wartościowe fragmenty drzewostanu. Jak się jednak okazało, bardzo duże zwarcie drzew na potencjalnej powierzchni (ryc. 12.4.7) uniemożliwiło służbom terenowym trafne określenie jednolitego, równego areалу, czego skutkiem była różnica wysokości między punktami skrajnymi, sięgająca nawet dwóch metrów.

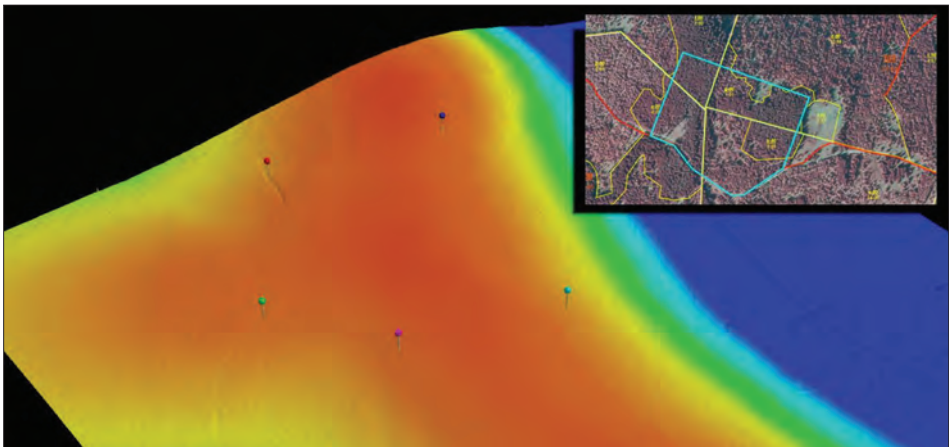


Ryc. 12.4.7. Wybrany do usunięcia drzewostan

Ponownie przystąpiono do określenia granic powierzchni, korzystając już jednak z NMT. Analiza pierwotnej lokalizacji wykazała istotne różnice wysokościowe pomiędzy skrajnymi punktami projektowanej plantacji (ryc. 12.4.8). Ponowna korekta położenia granic, najpierw na modelu terenu, a następnie na ortofotomapie, dała wreszcie ostateczną odpowiedź na pytanie, gdzie można znaleźć miejsce bardziej optymalne do lokalizacji powierzchni uprawy (ryc. 12.4.9). Niniejszy przykład pokazuje również, że dopiero zastosowanie zarówno zdjęć cyfrowych, jak i numerycznego modelu terenu umożliwiło kompleksową analizę wybranego problemu.



Ryc. 12.4.8. Pierwotna lokalizacja powierzchni na NMT i ortofotomapie



Ryc. 12.4.9. Ostateczna lokalizacja powierzchni na NMT i ortofotomapie

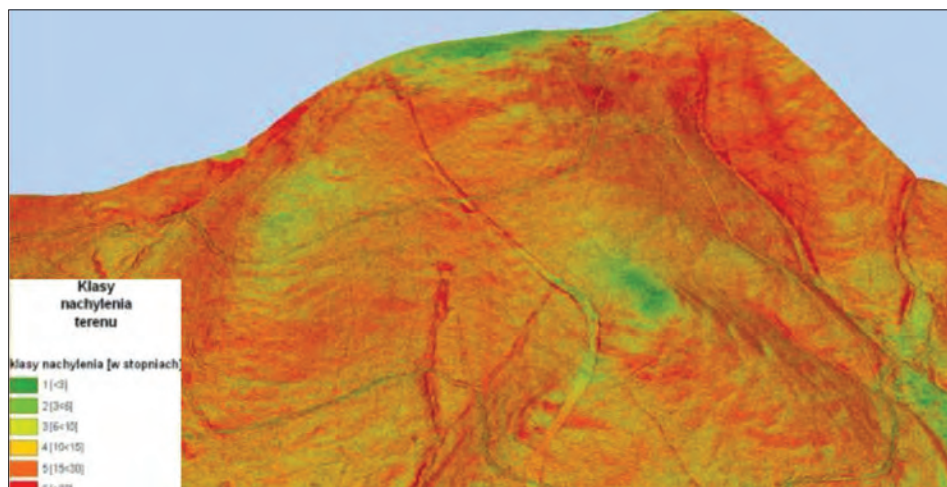
12.4.2.5. Analiza potencjalnej erozji w masywie „Stogu Izerskiego” w kontekście projektowanej ścieżki edukacyjnej

Następną z prezentowanych analiz była próba oceny potencjalnej erozji w rejonie masywu „Stogu Izerskiego”, gdzie planowana jest ścieżka edukacyjna. Do przeprowadzenia symulacji wykorzystano numeryczny model terenu, na podstawie którego wyróżniono sześć klas nachylenia terenu (ryc. 12.4.10). Na model nałożono mapę glebowo-siedliskową wykonaną przez BULiGL, pozostawiając w selekcji jedynie wierzchnie warstwy gleby (ryc. 12.4.11). Wszystkie występujące w tym fragmencie gatunki gleb przeanalizowano pod kątem ich przynależności do grup granulometrycznych i podatności na erozję (tab. 12.4.1). Wynikiem klasyfikacji był model terenu z kolejną nałożoną warstwą, obrazującą większą lub mniejszą podatność na erozję. Jak się okazało, w analizowanym rejonie wszystkie gleby należą do jednej grupy.

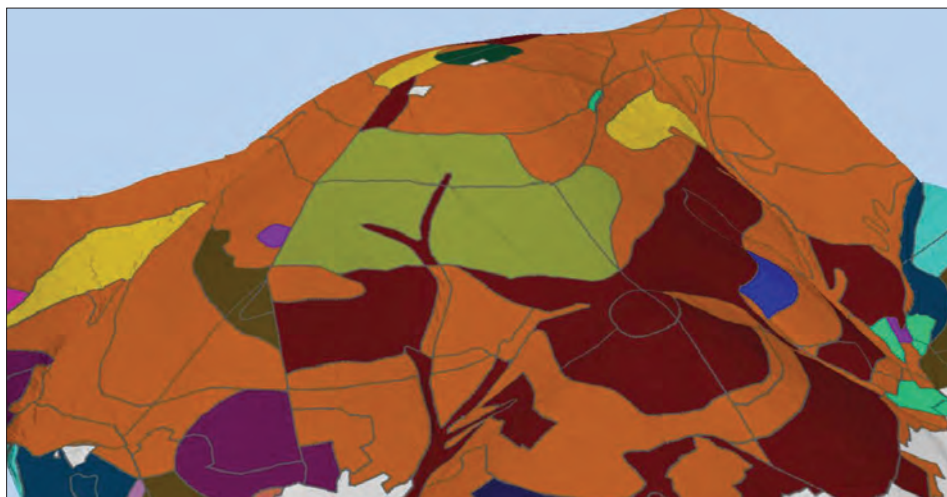
Tabela 12.4.1.
Klasyfikacja gleb ze względu na podatność na erozję

Grupy granulometryczne gleb	Nachylenie terenu					
	<3°	3°–6°	6°–10°	10°–15°	15°–30°	>30°
	Stopnie zagrożenia gleb erozją					
	1	2	3	4	5	6
Utwory pyłowe zwykłe, piaski gliniaste (lekkie i mocne) pylaste	1	2	3	4	5	6
Piaski gliniaste lekkie i mocne, gliny lekkie pylaste, pyły ilaste, gliny lekkie i gliny średnie, gleby szkieletowe	0	1	2	3	4	5

Wynikiem dodawania dwóch rastrów – nachylenia terenu i przynależności do jednej z grup ze względu na zagrożenie erozją – była warstwa obrazująca stopnie zagrożenia erozją (ryc. 12.4.12).



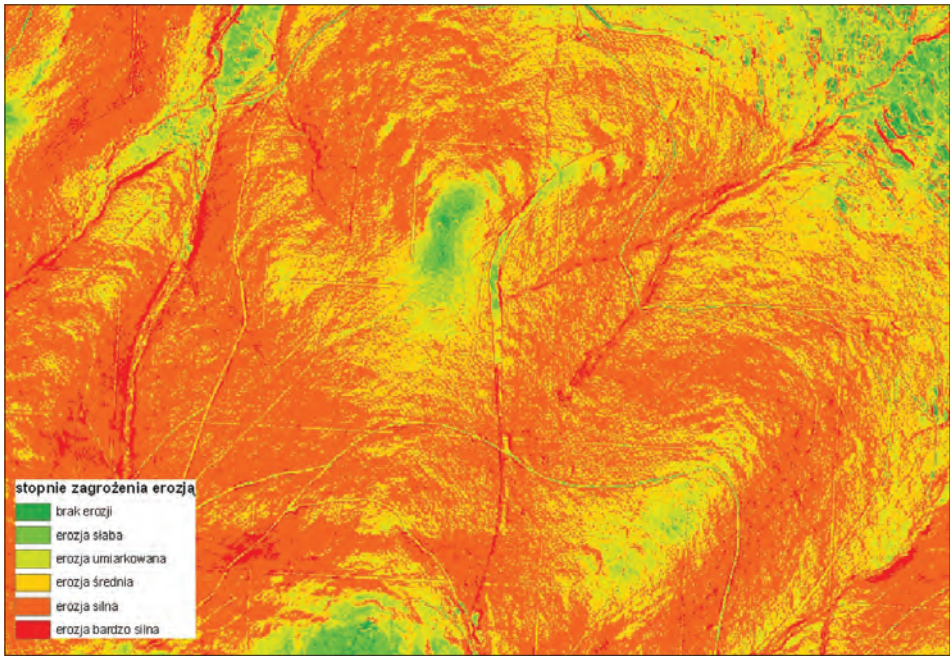
Ryc. 12.4.10. Numeryczny model terenu z nałożonymi klasami nachylenia terenu



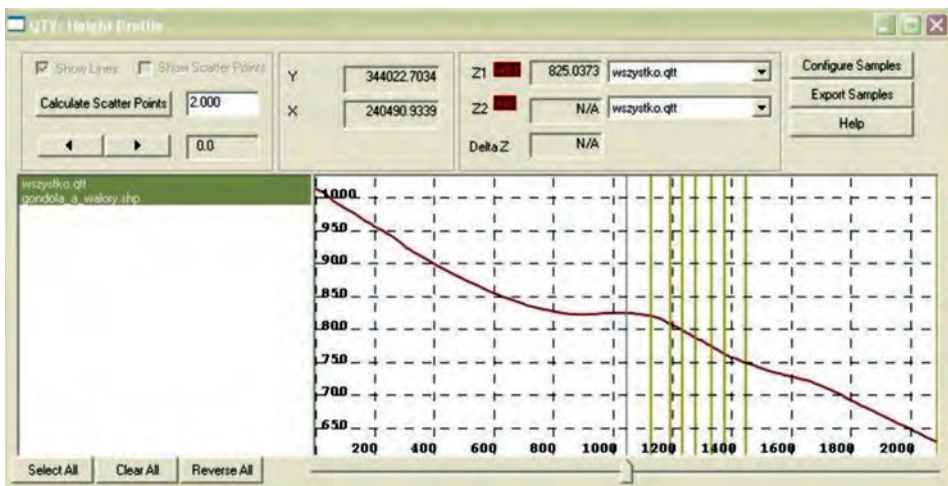
Ryc. 12.4.11. Numeryczny model terenu z nałożonymi poligonami reprezentującymi wierzchnie warstwy gleb

12.4.2.6. Wybór optymalnej trasy projektowanej nartostrady

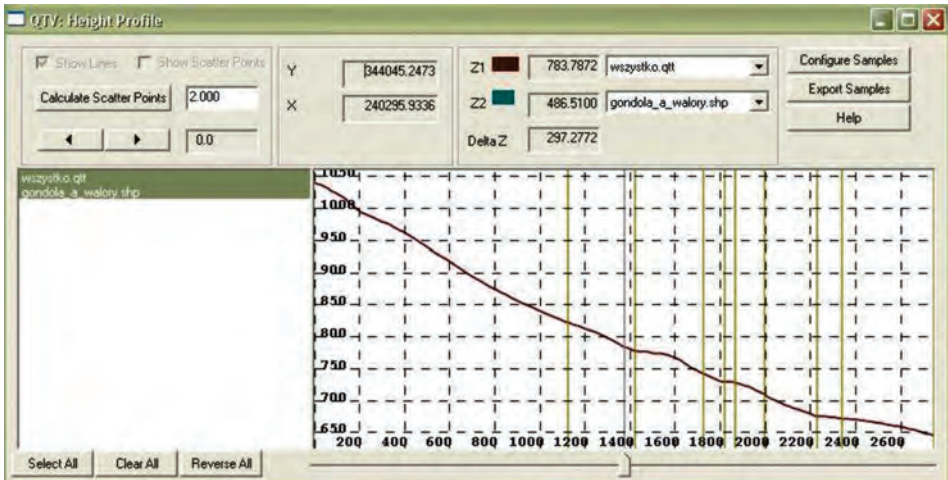
Ostatnim i, rzec by można, sztandarowym przykładem analiz przestrzennych jest próba wyznaczenia na etapie projektowania optymalnych tras narciarskich, **spełniających oczekiwania** narciarzy, nie szkodzą-



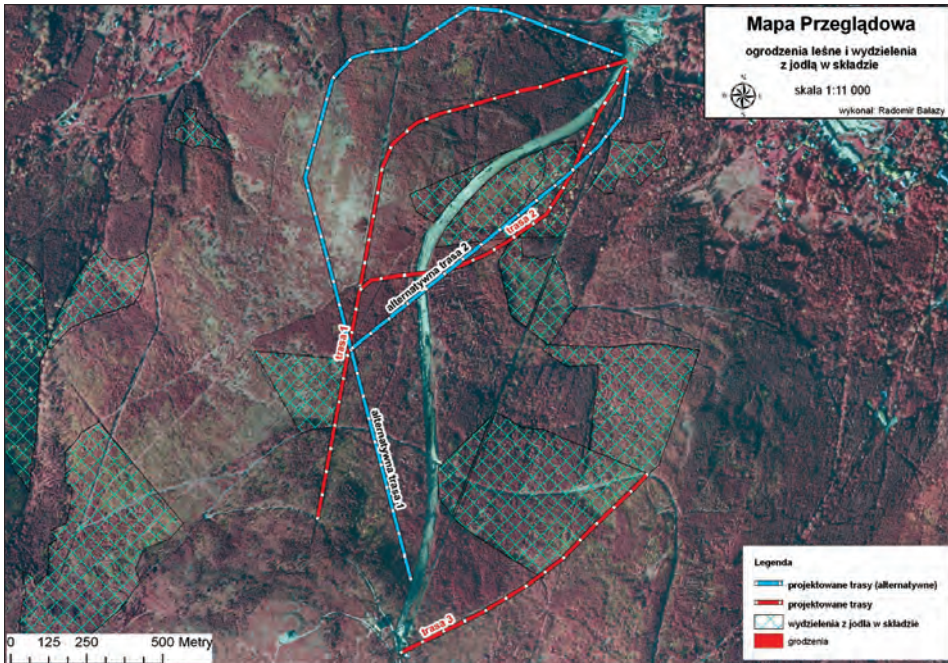
Ryc. 12.4.12. Mapa zagrożenia erozją potencjalną



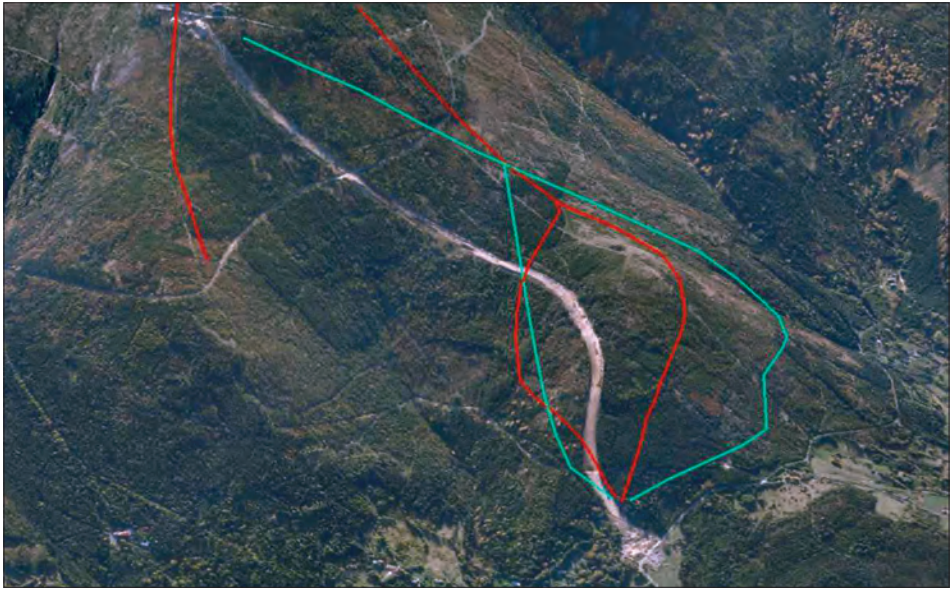
Ryc. 12.4.13. Profil podłużny projektowanej trasy nr 1



Ryc. 12.4.14. Profil podłużny alternatywnego przebiegu trasy nr 1



Ryc. 12.4.15. Fragment mapy poglądowej wydzieleni, w których występują ogrodzenia z jodłą



Ryc. 12.4.16. Model fotorealistyczny z przebiegiem projektowanych tras

cych przyrodzie i nie utrudniających pracy leśnikom. Baza danych posiadanych przez Lasy Państwowe, warstwy leśnej mapy numerycznej oraz dane, którymi dysponowało nadleśnictwo, umożliwiły wieloaspektową symulację wpływu tras na wybrane czynniki. Wzięto pod uwagę m.in. lokalizację obszarów szczególnie cennych przyrodniczo, obowiązujące i projektowane obszary Natura 2000, ostoje zwierzyny, zabiegi hodowlane, ogrodzenia z jodłą w składzie, ekspozycję stoków, nachylenie i wiele innych. Na ryc. 12.4.15 i 12.4.16 widzimy zaledwie kilka map tematycznych, które posłużyły ostatecznie do optymalizacji proponowanego pierwotnie przebiegu tras narciarskich w masywie „Stogu Izerskiego”.

12.4.3. Podsumowanie

Analizy GIS są tylko jednym z elementów prawidłowo funkcjonującego systemu informacji przestrzennej. Dodajmy przy tym, że są znacznie mniej pracochłonne niż np. gromadzenie danych. Mimo to w Lasach Państwowych wciąż przykładamy do nich, podobnie jak do publikacji danych w formie graficznej czy kartograficznej, zbyt małą wagę. Doszukiwać by się tu można różnych przyczyn takiej sytuacji, wydaje się jednak, że najtrafniejsze byłoby spostrzeżenie Paula Longleya z jego książki „GIS. Teoria i praktyka”:

Wdrożenie systemów geoinformacyjnych w działalności przedsiębiorstwa wymaga przede wszystkim zdolności menedżerskich na dwóch płaszczyznach, po pierwsze wiedzy o zarządzaniu GIS, po drugie wiedzy o zastosowaniach GIS w zarządzaniu.

Jednakże mimo ogromnej bazy danych, dostępu do oprogramowania i rzeszy entuzjastów, Lasy Państwowe wciąż nie potrafią w pełni wykorzystać tak ważnego elementu systemu informacji przestrzennej, jakim jest analiza. To właśnie na tym etapie należy znaleźć odpowiedź na pytanie istotne z punktu widzenia zarządzania firmą, nurtujące, niestety, tylko niektórych: jak zarządzać Lasami Państwowymi najtaniej, najlepiej i najbardziej optymalnie, używając popularnych narzędzi geomatycznych?

Dlaczego nikt nie pyta?

Być może dlatego, że sytuacja finansowa Lasów Państwowych jest nadal na tyle dobra, by leśna mapa numeryczna i jej aktualizacja były jedynie przykrym obowiązkiem wynikającym z resortowych zarządzeń, a nie narzędziem codziennej pracy. Może też dlatego, że wciąż brakuje nam wiedzy i pomysłów, jak z tak ogromnej bazy danych korzystać. Pamiętać przy tym trzeba, że system informacji przestrzennej Lasów Państwowych, m.in. dzięki Standardowi Leśnej Mapy Numerycznej, może być wzorem dla większości polskich przedsiębiorstw nie tylko na tle rozproszonych i niespójnych rozwiązań ogólnokrajowych.

13.

Kartograficzne metody prezentacji

dr TOMASZ OLENDEREK – Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Leśny, Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa

Kartograficzna metoda prezentacji (metoda prezentacji kartograficznej) to sposób postępowania polegający na odpowiednim przekształceniu, a następnie wizualizacji danych na mapie. W zależności od poziomu pomiarowego danych metody dzielimy na jakościowe oraz ilościowe. Do podstawowych metod jakościowych zaliczyć należy metodę zasięgów, metodę chorochromatyczną oraz metodę sygnatur. Z metod ilościowych należy wymienić: metodę kropkową, kartogram, kartodiagram oraz metodę izolinii. Wybór właściwej metody prezentacji dla odpowiedniej kategorii danych, a następnie prawidłowe jej zastosowanie jest jednym z podstawowych etapów redakcji każdej mapy.

Jednym ze sposobów przekształcania (transformacji) danych jest zmiana ich charakteru – na przykład dane absolutne (powierzchnia leśna w województwie) można wyrazić w sposób względny, w postaci wskaźnika (lesistość, liczona jako procent powierzchni leśnej w ogólnej powierzchni województwa – ryc. 13.4). Innym przykładem może być zmiana sposobu ujęcia danych – dane wyrażone w sposób ciągły (dotyczące lesistości w poszczególnych województwach) można pogrupować w klasy – przedziały (ryc. 13.4.).

Wizualizacja danych polega między innymi na określeniu rodzaju znaku graficznego (punkt, linia, powierzchnia), doborze odpowiednich zmiennej graficznych (wizualnych) oraz, co bardzo ważne, prawidłowej konstrukcji legendy.

Wśród zmiennych graficznych najczęściej tradycyjnie wymienia się: wielkość, jasność, kolor, kształt oraz orientację. Ponieważ coraz większa grupa osób korzysta z map wyświetlanych na ekranach komputerów (rezygnując z możliwości ich wydruku), czynione są próby dopasowania tej listy do możliwości regulacji obrazu na monitorach. Do ostatecznego rozwiązania problemów jest jednak jeszcze bardzo daleko.

Jedną z podstawowych zalet map leśnych redagowanych na podstawie danych zawartych w systemie informacji przestrzennej ma być „poprawa ich jakości merytorycznej”. Wyrażam nadzieję, że rzeczywiście tak się stanie. Niestety, wykorzystywane na razie w tych celach programy komputerowe nie zawsze ułatwiają (czy nawet umożliwiają) wykonanie map poprawnych z punktu widzenia podstawowych zasad sztuki kartograficznej. Jednym z najbardziej istotnych kryteriów jakości takich programów powinna być możliwość poprawnego zastosowania kartograficznych metod prezentacji.

Dobry, w zakresie stosowania metod prezentacji kartograficznej, program do redakcji map powinien zatem zapewnić: łatwe i szybkie przekształcanie danych, możliwość zmiany rodzaju znaku graficznego, możliwość manipulacji podstawowymi zmiennymi graficznymi w odpowiednio szerokim zakresie oraz możliwość wykonania poprawnej legendy.

Nie wszystkie kartograficzne metody prezentacji są równie łatwe w realizacji. Część z nich wymaga specyficznych, często trudno dostępnych danych. Stosowanie innych wymaga z kolei większego doświadczenia zarówno redaktora (wykonawcy) mapy, jak i jej czytelnika (użytkownika). Do stosunkowo bezpiecznych metod zaliczyć należy przede wszystkim metody jakościowe oraz kartogram i kartodiagram skokowy. Metody te zostaną więc opisane bardziej szczegółowo w dalszej części tekstu. Spośród metod „niepewnych” wymienić należy metodę kropkową, kartodiagram ciągły oraz metodę izolinii. Przy ich stosowaniu znacząco rośnie niebezpieczeństwo, że treść mapy zostanie przez użytkownika odczytana niezgodnie z intencją jej twórcy, szczególnie gdy obaj nie będą dysponowali odpowiednią wiedzą i doświadczeniem.

Więcej informacji na temat stosowania kartograficznych metod prezentacji można znaleźć w podręczniku „Wprowadzenie do kartografii i topografii” pod redakcją Pasławskiego (2006).

13.1. Metoda zasięgów

Jeżeli chcemy oznaczyć na mapie obszar występowania danego zjawiska, wówczas stosujemy z reguły metodę zasięgów. Można wydzielić następujące typy zasięgów: liniowy, sygnaturowy oraz plamowy.

Zastosowanie zasięgu liniowego polega na oznaczeniu granicy występowania danego zjawiska (patrz: oznaczenie rezerwatów na ryc. 13.1). Waż-



Ryc. 13.1. Metoda zasięgów i metoda sygnatur (źródło: „Ochrona przyrody w Nadleśnictwie Kowal”. LKP „Lasy Gostyńsko-Włocławskie” – folder promocyjny)

ne jest przy tym, aby nie było wątpliwości, po której stronie linii rozciąga się ograniczane przez nią zjawisko. Ten sposób oznaczenia powierzchni pozwala na jednej mapie wyróżnić obszary występowania różnych, nawet zachodzących na siebie zjawisk lub obiektów. Dzięki oszczędności miejsca nie wyklucza on także użycia innych metod powierzchniowych na tej samej mapie. Na mapach leśnych zasięgi liniowe stosuje się na przykład do oznaczania kęp, luk i gniazd na mapie gospodarczej lub lasów ochronnych i rezerwatów na mapie przeglądowej drzewostanów.

Czasami powierzchnię występowania danego zjawiska pokrywa się regularnie rozmieszczonymi znakami punktowymi przypominającymi sygnatury. Nie są to jednak sygnatury we właściwym tego słowa znaczeniu, gdyż nie oznaczają konkretnych obiektów. Metody tej użyto na ryc. 13.2, aby przedstawić łąki. Zaletą zasięgów sygnaturowych jest to, że podnoszą poziom pogładowości mapy. Czasami, z powodów estetycznych lub jeżeli konkretny przebieg zjawiska jest trudny do ustalenia, można pominąć linię konturu (granicy), (patrz: oznaczenie bagien na ryc. 13.1).

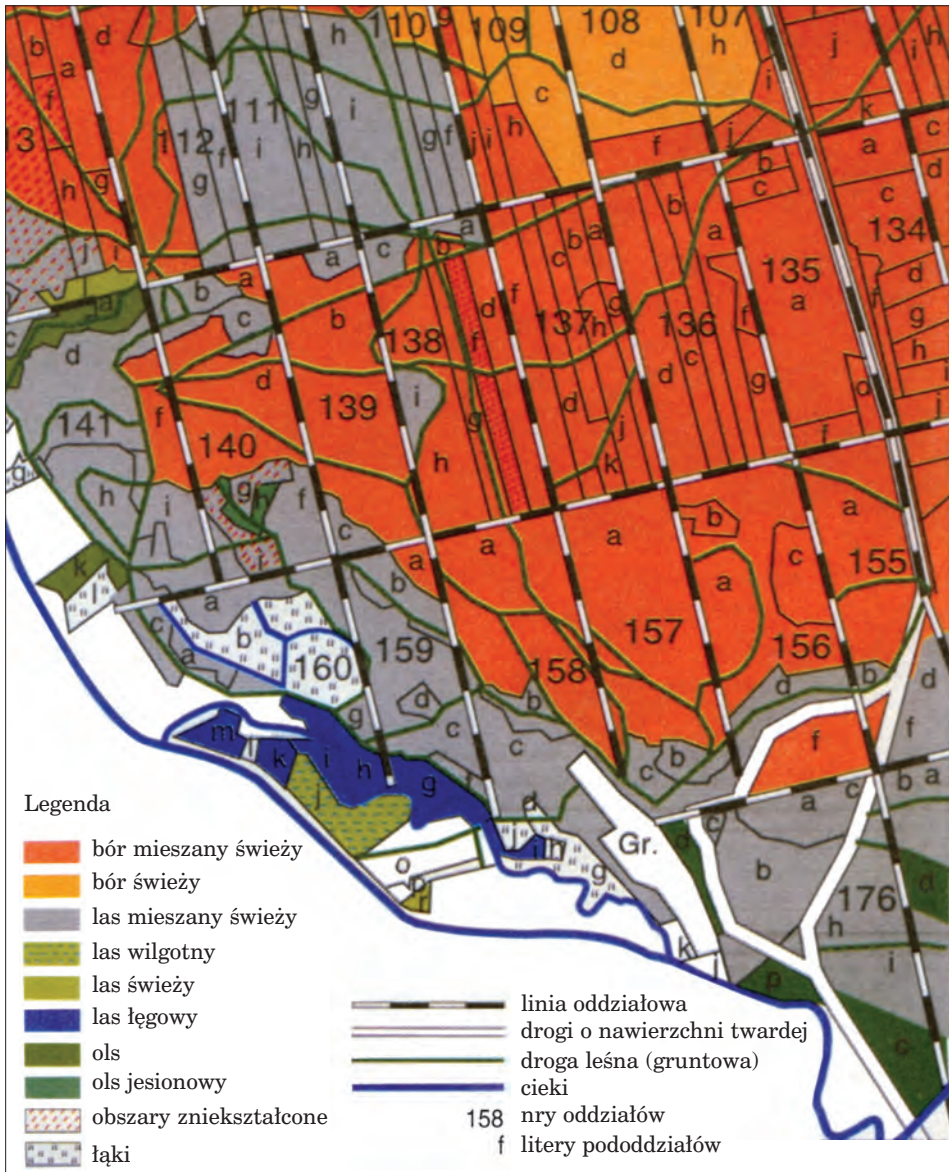
Zasięg plamowy polega na wypełnieniu barwą obszaru występowania danego zjawiska. Jest on znacznie wyraźniejszy od zasięgu liniowego, ogranicza jednak możliwość przedstawienia innych zjawisk metodami powierzchniowymi. Właśnie ze względu na dużą wyrazistość zasięgu plamowego często opuszcza się linię jego konturu. Zasięgiem plamowym przedstawiono lasy, zabudowania i jeziora na ryc. 13.1 oraz miasta, zbiorniki wodne, obszary leśne i rezerваты przyrody na ryc. 13.3. Zróżnicowanie graficznego oznaczania zasięgów pozwala na oznaczenie na jednej mapie kilku pokrywających się zasięgów, nawet gdy oznaczają one zupełnie różne cechy – patrz: ryc. 13.1 i 13.2.

W granicach danego zasięgu zjawisko może występować w sposób ciągły lub wyspowy. Różnice te powinny być wyjaśnione w legendzie mapy. Zwykle w wypadku ciągłości objaśnienie jest wyrażone jednym słowem (np. „lasy”, „bagna”, „jeziora”). W wypadku nieciągłości używa się dodatkowych określeń typu: „z przewagą”, „zasięg występowania”.

13.2. Metoda chorochromatyczna

Jeśli zajmujemy się pewną cechą lub zjawiskiem, które występują na całym obszarze prezentowanym na mapie (na przykład typ siedliskowy lasu, rodzaj użytkowania ziemi), i chcemy pokazać ich przestrzenne zróżnicowanie, czyli – innymi słowy – wyróżnić w miarę jednolite pod względem jakościowym jednostki przestrzenne, wówczas zalecane jest stosowanie metody chorochromatycznej.

Opracowanie mapy tą metodą przebiega w kilku etapach. Omówię je na przykładzie mapy pokazanej na ryc. 13.2, stanowiącej pochodną przeglądowej mapy siedlisk.



Ryc. 13.2. Metoda chorochromatyczna, metoda zasięgów i metoda sygnatur
 (źródło: „Ścieżka przyrodniczo-leśna Dolina Redy”.
 LKP „Lasy Oliwsko-Darżlubskie” – folder promocyjny)

Najpierw należy opracować legendę, czyli wybrać grupy klasyfikacyjne (w omawianym przykładzie – typy siedliskowe lasu), zredagować dokładnie tekst objaśniający (nazwy siedlisk) i skonstruować system odpowied-

nich znaków powierzchniowych. Powinien być to spójny system odpowiednio różniących się od siebie barw lub deseni, zgodny z zasadą pogładowości oznaczeń oraz z tradycyjnie przyjętymi konwencjami.

Następnym krokiem powinno być dokładne ustalenie przestrzennych jednostek odniesienia. Przebieg granic jednostek ustalany jest zwykle za pomocą jednego z trzech sposobów: mogą to być jednostki naturalne, wynikające bezpośrednio z występowania przedstawianego zjawiska (tak jak to jest w wypadku mapy siedlisk, których granice pokrywają się z granicami pododdziałów), można wykorzystać istniejące, sztuczne jednostki administracyjne (na przykład oddziały leśne, leśnictwa, nadleśnictwa itp.), można wreszcie utworzyć jednostki geometryczne, najczęściej w postaci siatki kwadratów.

Kolejnym krokiem jest zakwalifikowanie każdej z jednostek do wcześniej określonych grup klasyfikacyjnych.

Dopiero wówczas sklasyfikowane jednostki wyróżnia się graficznie za pomocą ustalonych wcześniej znaków powierzchniowych albo za pomocą opisu (patrz: oznaczenie leśnictw na ryc. 13.3).

Należy zawsze uważnie sprawdzić efekt końcowy – czy na przykład nie występują przypadki „zlewania się” w jeden obszar jednostek o zbyt małym zróżnicowaniu graficznym. Jeżeli tak się dzieje, należy koniecznie zmodyfikować system znaków i wykonać nową mapę. Przykładem zbyt małego zróżnicowania graficznego są oznaczenia lasu łęgowego i cieków na ryc. 13.2.

13.3. Metoda sygnatur

Podczas redagowania mapy w odpowiednio małej skali musimy liczyć się z tym, że na niektóre obiekty lub zjawiska przypadają bądź tak mały (lub tak wąski) obszar, że wykorzystanie odpowiedniej metody powierzchniowej okaże się niemożliwe. W celu poprawnej ich prezentacji należy wtedy zastosować metodę sygnaturową.

Metoda ta, ogólnie rzecz biorąc, polega na oznaczeniu na mapie pozycji obiektów rzeczywistych za pomocą znaków punktowych lub liniowych w sposób odpowiedni do charakterystyki cech jakościowych tych obiektów. Położenie znaków na mapie określa jednoznacznie i precyzyjnie rozmieszczenie obiektów w rzeczywistości.

W trakcie opracowywania map metodą sygnaturową ważny jest zarówno dobór odpowiednich znaków, jak i właściwe ich rozmieszczenie. Istotne jest także prawidłowe skonstruowanie legendy.

W zależności od rodzaju znaku graficznego wyróżnia się sygnatury punktowe i liniowe. Do pokazania cech przedstawianego obiektu stosuje się znaki o różnym kształcie, kolorze (znaki oznaczające podobne obiekty – patrz: oznaczenie hoteli i moteli na ryc. 13.1 – powinny mieć ten sam ko-

lor) czy jasności. Zazwyczaj wielkość wszystkich znaków punktowych na mapie jest podobna. Ze względu na kształt wydziela się sygnatury geometryczne, symboliczne, obrazkowe i literowe.

Sygnatury geometryczne (patrz: oznaczenie miejscowości na ryc. 13.3) mają kształt prostych figur, takich jak kwadrat, koło, trapez itp. Dużą zaletą sygnatur geometrycznych jest łatwość grupowania ich według kształtu przewodniego wówczas, gdy chcemy podkreślić pewne kategorie obiektów lub ich podobieństwo. Inną zaletą znaków geometrycznych jest możliwość łatwej interpretacji dokładnego położenia obiektu (z reguły jest to środek ciężkości danej figury).

Sygnatury obrazkowe (patrz: przykład oznaczenia typów rezerwatów na ryc. 13.1 lub zabytków kultury na ryc. 13.3) nawiązują kształtem do zewnętrznego wyglądu reprezentowanego obiektu. Ten rodzaj znaków stosowany jest wówczas, gdy istotne jest nie tyle dokładne ich umiejscowienie, ile raczej sugestywne oddziaływanie na czytelnika mapy.

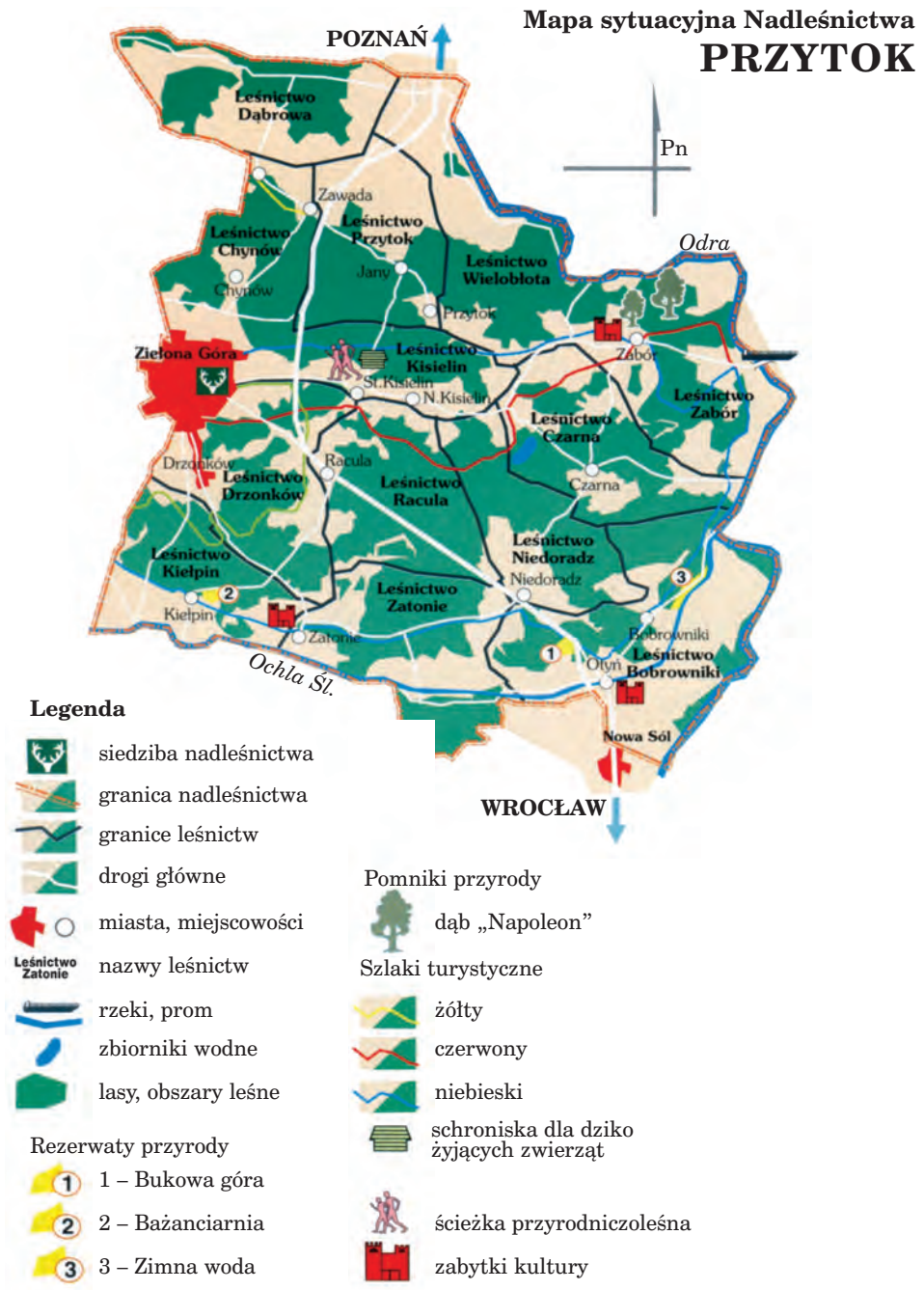
Sygnatury symboliczne (patrz: oznaczenie schroniska dla zwierząt na ryc. 13.3) są najczęściej rozwinięciem sygnatur geometrycznych w celu zwiększenia pogładowości znaku. Także mocno uproszczona sygnatura obrazkowa może przechodzić w sygnaturę symboliczną, zatem granica między tymi rodzajami znaków niekiedy się zaciera.

Stosunkowo rzadko używane sygnatury literowe mają postać liter (zwykle nie więcej niż dwóch), umieszczanych w miejscu występowania danych obiektów na mapie – patrz: oznaczenia parkingów lub hoteli na ryc. 13.1. Wpisane są one tam dodatkowo w figury geometryczne.

Projektując znaki kartograficzne, zawsze warto mieć na uwadze tradycyjnie stosowane rozwiązania oraz przyzwyczajenia użytkowników map, a nie swoje własne. Trzeba się liczyć z tym, że znaki stosowane na mapach leśnych (patrz: oznaczenie siedziby nadleśnictwa na ryc. 13.1. oraz ryc. 13.3) mogą być trudno zrozumiałe dla nieleśników. Do nieporozumień prowadzić może również oznaczanie linii oddziałowej (patrz: ryc. 13.2), które osobie posługującej się mapami turystycznymi kojarzyć się może z linią kolejową.

Także właściwe umieszczenie sygnatur na mapie ma istotne znaczenie dla prawidłowego jej odbioru. Sygnatury punktowe powinny być na ogół umieszczane równolegle do poziomej ramki mapy. Podobnie rozmieszcza się opisy sygnatur punktowych – na przykład nazwy miejscowości. Opisy sygnatur liniowych powinny być umieszczane równolegle do ich przebiegu, nad danym znakiem (dobry przykład: opis rzeki Odry na ryc. 13.3, zły: opis Ochli Śląskiej). Ważne jest takie usytuowanie każdego opisu, aby czytelnik nie miał żadnych wątpliwości, do którego obiektu się on odnosi.

Trzeba wreszcie pamiętać, że sygnatury można też umieszczać w szeregu pod nazwą, na przykład miejscowości, informując o obiektach znajdujących się w jej granicach: na przykład parkingach lub hotelach. Takie umieszczenie sygnatur punktowych wynikać może z braku miejsca na mapie lub z braku informacji o dokładnym położeniu obiektów. Wówczas jed-



Ryc. 13.3. Metoda sygnatur i metoda zasięgów
 (źródło: „Nadleśnictwo Przytok”; Lasy Państwowe – folder promocyjny)

na sygnatura informować może o kilku obiektach, na przykład sygnatura hotelu może oznaczać, że w danej miejscowości znajduje się kilka hoteli. Oczywiście, w takim wypadku nie należy topograficznie umieszczać znaków nawet wtedy, gdy znamy położenie części obiektów danej kategorii. Mogłoby to wprowadzić w błąd czytelnika mapy.

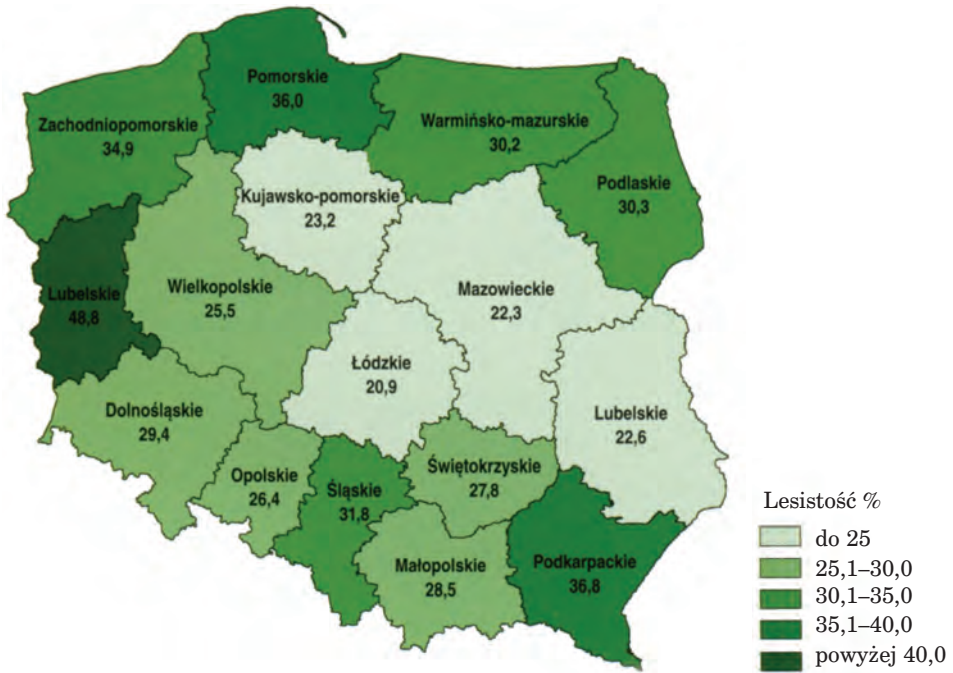
Niekiedy nie można uniknąć nakładania się lub przecinania znaków na mapie. Należy wtedy kierować się zasadą, że znaki powierzchniowe nie powinny zasłaniać znaków liniowych, znaki zaś liniowe – punktowych. Sposób przecinania się różnych znaków liniowych może być dodatkową informacją, na przykład o istnieniu wiaduktu nad linią kolejową. Częstym błędem na mapach jest brak konsekwencji w sposobie przecinania się sygnatur liniowych. Na przykład na ryc. 13.3 na samej górze powinna się znaleźć warstwa granic, niżej warstwa szlaków turystycznych, dalej warstwa dróg, a na najniższym poziomie warstwa rzek. Dodatkowo percepcję sygnatur liniowych utrudnia fakt, że różnią się one przeważnie tylko barwą lub grubością – lepiej by było zróżnicować te znaki również kształtem, oznaczając na przykład szlaki turystyczne linią przerywaną.

Sposób objaśniania sygnatur w legendzie jest dość prosty, jednak funkcjonują tu pewne zwyczaje, których uszanowanie nie tylko podniesie walory estetyczne mapy, ale może pomóc odbiorcom w sprawnym jej użytkowaniu. Przede wszystkim rozmiary i barwy znaków umieszczonych w legendzie muszą być takie same, jak na mapie. Przyjęto też, że znaki opisuje się w legendzie zazwyczaj w liczbie mnogiej (patrz: granice leśnictw, zabytki kultury na ryc. 13.3), chyba że dany obiekt występuje na mapie pojedynczo (patrz: granica nadleśnictwa, prom na ryc. 13.3).

Ważną sprawą jest także właściwy porządek znaków w legendzie. Na ogół powinny być one zgrupowane w działach tematycznych. Innym ważnym kryterium jest podział według postaci znaków (na punktowe, liniowe i powierzchniowe). O kolejności znaków w legendzie powinna też decydować hierarchia ważności obiektów. Dobrym przykładem są legendy do map na ryc. 13.1. oraz na ryc. 13.2., nieco gorszym – do mapy na ryc. 13.3. Prawidłowe uporządkowanie większej liczby, na przykład kilkudziesięciu znaków, może sprawić trudności. Istnieje na szczęście wiele dobrych wzorców – mogą być nimi mapy turystyczne lub plany dużych miast uznanych wydawnictw kartograficznych.

13.4. Metoda kropkowa

Metoda ta przypomina nieco metodę sygnatur punktowych. Różnica polega na tym, że każdemu znakowi (jest to prawie zawsze kropka) przyporządkowujemy stałą liczbę jednostek kartowanej cechy – tak ustalona waga kropki musi być większa od jedności. Następnie należy umieścić kropki na mapie tam, gdzie dane zjawisko występuje. Użytkowanie takiej mapy



Ryc. 13.4. Metoda kartogramu (źródło: „Las wobec efektu cieplarnianego”; Centrum Informacyjne Lasów Państwowych – folder promocyjny)

nie polega na zliczaniu kropek, lecz na porównawczej ocenie ich stopnia zagęszczenia.

Prawidłowe przygotowanie oraz czytanie map kropkowych wymaga nieco większych umiejętności, a także specyficznego rodzaju danych oraz oprogramowania. Na razie jeszcze metoda ta nie znalazła w leśnictwie szerszego zastosowania.

13.5. Metoda kartogramu

Jest to sposób przedstawienia średniej intensywności zjawiska w granicach określonych jednostek przestrzennych (pól podstawowych, pól odniesienia). Ze względu na swą prostotę jest najpopularniejszą metodą spośród ilościowych metod prezentacji. Poprawność wykonania kartogramu zależy od czterech podstawowych czynników: podziału terytorium na pola odniesienia, charakteru prezentowanych danych, sposobu grupowania danych oraz formy graficznej mapy.

Wybór pól odniesienia zależy od posiadanych danych źródłowych oraz od przeznaczenia mapy. Podobnie jak w wypadku metody chorochromaty-

cznej, tak i tu możliwe są pola o różnym charakterze (naturalne, administracyjne, geometryczne) oraz o różnej wielkości, co ma istotny wpływ na stopień szczegółowości całej prezentacji. Wnioski wynikające z mapy, dla której przyjęto pola o mniejszej (np. wydzielenia) lub większej wielkości (np. leśnictwa), będą słuszne tylko dla takiego właśnie poziomu agregacji danych. Niezależnie od przyjętego rozwiązania na mapie muszą być widoczne granice wszystkich pól podstawowych nawet wtedy, gdy należą one do tej samej klasy (przedziału), co pola sąsiednie.

Dane wykorzystywane w tej metodzie prezentacji powinny odnosić się do pól podstawowych. Powinny to być dane względne, a najlepiej – odniesione do powierzchni tych pól (na przykład lesistość – patrz rozdział wstępny). Dopuszczalne jest także wykorzystanie w mianowniku innej stałej (na przykład liczba leśników na 10 000 mieszkańców). Prezentowanie za pomocą kartogramu danych absolutnych (bezwzględnych) uważane jest za błąd, chyba że są one przedstawiane na podstawie pól odniesienia o stałej (lub zbliżonej) powierzchni. Może to mieć miejsce szczególnie wtedy, gdy pól takich jest na naszej mapie bardzo dużo, na przykład kilkaset, i nie bardzo da się zastosować metodę kartodiagramu.

Istotną cechą większości kartogramów jest grupowanie danych statystycznych w klasy. Przystępując do wyznaczania przedziałów, należy rozważyć zarówno ich liczbę, jak i sposób wyznaczania granic. Optymalnie kartogram powinien liczyć nie więcej niż siedem przedziałów, maksymalnie kilkanaście. Najczęściej stosowane są przedziały o stałej rozpiętości (ryc. 13.4 – z wyjątkiem klasy najwyższej), o jednakowej liczebności lub tak zwane klasy optymalne, charakterystyczne dla konkretnego zjawiska lub cechy. Za granice przedziałów przyjmuje się zwykle liczby zaokrąglone (ryc. 13.4). Warto pamiętać, że dla niektórych cech (na przykład wiek drzewostanów) przyjmuje się tradycyjnie stosowane przedziały klasowe.

Podstawową zmienną graficzną, różnicującą jednostki przestrzenne, będzie w wypadku kartogramu zmienna jasności, przy czym barwa najciemniejsza powinna odpowiadać najwyższym wartościom zbioru danych. W wypadku zastosowania desenia wyróżnikiem może być na przykład grubość poszczególnych linii lub ich gęstość. Typowym błędem jest różnicowanie kolejnych klas za pomocą różnych kolorów.

Ważne jest także zaprojektowanie odpowiedniej legendy. Bloczki odpowiadające poszczególnym klasom powinny mieć kształt prostokątów (a nie kwadratów), podobnie jak w metodzie zasięgów lub chorochromatycznej. Jeżeli mają być one ułożone jeden nad drugim, to bloczki odpowiadające najwyższym wartościom powinny znaleźć się na górze (narzuca się tutaj analogia ze skalą na termometrze). Dobrym przykładem jest tutaj legenda na ryc. 13.6, złym – na ryc. 13.4. Jednym z bardziej ciekawych i pożytecznych rozwiązań jest uzależnienie wielkości bloczków w legendzie od rozpiętości poszczególnych przedziałów, szczególnie wtedy, gdy różnice pomiędzy tymi wartościami są stosunkowo duże.

13.6. Metoda kartodiagramu

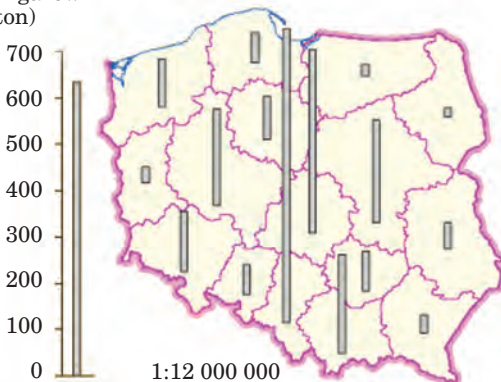
Kartodiagram jest mapą, na której ilościowa charakterystyka obiektów lub zjawisk przedstawiona jest za pomocą diagramów, czyli figur, których wielkość jest proporcjonalna do wartości liczbowej przedstawianej cechy.

Jest to bardzo uniwersalna metoda prezentacji. W odróżnieniu od kartogramu, wykorzystuje się ją zwykle do pokazywania danych o charakterze absolutnym (bezwzględny). Mogą być to dane odniesione zarówno do punktów, linii (na przykład natężenie ruchu na drogach leśnych), jak i powierzchni – pól podstawowych. W niniejszym opracowaniu skupię się na ostatnim typie, najczęściej stosowanym.

Kartodiagramy mogą mieć postać słupków, wtedy wartość cechy w danej jednostce określa ich wysokość. Może jednak się zdarzyć, że poszczególne słupki wychodzą poza granice pól odniesienia, które reprezentują – jak na ryc. 13.5. Dlatego często uzależnia się wartość kartowanej cechy od powierzchni figury geometrycznej. Zazwyczaj są to figury o prostych kształtach, takie jak koła czy kwadraty. Na mapach o poglądowym charakterze można spotkać także diagramy obrazkowe (na przykład w kształcie drzew), trudniej jest jednak wtedy odczytać ich dokładne rozmiary. Rzadziej spotykane są kartodiagramy, w których wartość cechy zależy od objętości figury, na przykład kuli czy sześcianu. W wypadku kartodiagramu liniowego o wartości cechy decyduje grubość linii.

Metodą kartodiagramu mogą być przedstawiane dane ujęte zarówno w sposób ciągły, jak i skokowy. W pierwszym wypadku (ryc. 13.5) każdy diagram znajdujący się na mapie będzie miał indywidualny wymiar, zgodny z rzeczywistą wartością danej cechy. W efekcie na mapie może nie być

Emisja przemysłowych
zanieczyszczeń powietrza
– pyłów i gazów
(w tys. ton)



Ryc. 13.5. Metoda kartodiagramu; skala mapy zmieniona (źródło: praca uczestnika studium poddyplomowego w SGGW „Zastosowanie SIP w leśnictwie i ochronie przyrody”)

diagramów o tej samej wielkości. Kartodiagram skokowy otrzymujemy poprzez podział wartości cech dla poszczególnych jednostek przestrzennych na klasy. Następnie przydzielamy każdej klasie jeden diagram o ustalonej wielkości – podobnie jak w wypadku kartogramu.

Zwykle na mapie nie podaje się już liczb określających wartości danej cechy w polach odniesienia, tak jak to uczyniono na ryc. 13.4 (dobry przykład – ryc. 13.5).

Kartodiagramy ciągłe są teoretycznie dokładniejsze, jednak ich przydatność obniża fakt, że wiele programów komputerowych nie pozwala na wykonanie prawidłowej legendy do takiej mapy, która byłaby przy tym zrozumiała dla przeciętnego czytelnika. Dla bezpieczeństwa zaleca się zatem rozważenie możliwości sporządzenia kartodiagramu skokowego z odpowiednio dużą liczbą klas. Zasady konstrukcji takiej legendy są wówczas podobne jak w wypadku kartogramu.

Bardzo użyteczną cechą kartodiagramu jest jednoczesna możliwość przedstawienia drugiej cechy o charakterze jakościowym. Możemy do tego wykorzystać inne zmienne graficzne, takie jak kształt, kolor lub orientację.

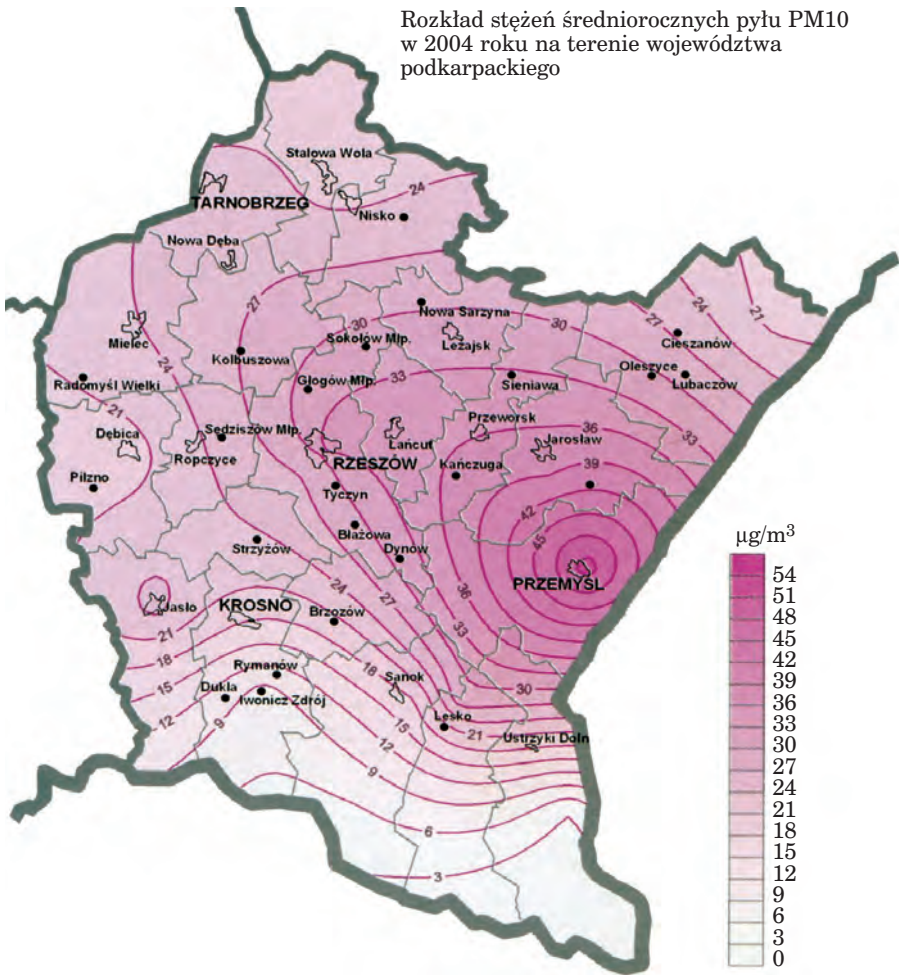
13.7. Metoda izolinii

Jeżeli chcemy przedstawić na mapie zjawisko o charakterze ciągłym (na przykład wysokość nad poziomem morza lub rozkład zanieczyszczeń) i dysponujemy konkretnymi wartościami liczbowymi z pomiarów w określonych punktach, wówczas możemy zaprezentować jego zróżnicowanie przestrzenne za pomocą metody izolinii. Izolinia to linia łącząca na mapie jednakowe wartości liczbowe danej cechy. Linie takie wyznaczane są na podstawie interpolacji pomiędzy punktami pomiarowymi.

Ważnym etapem jest ustalenie z góry przyjętych wartości dla kolejnych izolinii. Najczęściej zachowywane są stałe interwały wartości pomiędzy izoliniami. Do wyjątków należą małoskalowe mapy wysokości nad poziomem morza, gdzie interwały rosną wraz ze wzrostem wysokości. Dodatkową informację na temat wiarygodności mapy można podać, pokazując sieć punktów pomiarowych, na podstawie których opracowany został przebieg izolinii.

Izolinie opisujące określone zjawiska mają swoje indywidualne nazwy. I tak, linie równych wysokości nad poziomem morza nazywane są izohipsami, poziomiami lub warstwicami; linie jednakowych ciśnień to izobary; linie jednakowych odległości od danego punktu lub linii to ekwidystanty.

W celu zwiększenia przejrzystości map wykonywanych tą metodą powierzchniowo pomiędzy kolejnymi izoliniami pokrywa się barwami. Podobnie jak w kartogramie, tak i tu obowiązuje zasada zmiany jasności barw dla kolejnych klas. Znaki te powinny być w odpowiedni sposób objaśnione w legendzie, zwłaszcza prostokątne bloczki należy połączyć i opisać linie pomiędzy nimi (patrz ryc. 13.6.).



Ryc. 13.6. Metoda izolinii (źródło: „Stan środowiska w województwie podkarpackim w 2004 roku”; Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Rzeszowie)

Metoda izolinii jest jedną z najtrudniejszych metod prezentacji. Nawet tak stosunkowo dobrze rozpoznaną cechę jak rzeźba terenu wcale nie jest łatwo poprawnie pokazać za pomocą tej metody, mimo możliwości wykorzystania w tym celu zaawansowanych programów komputerowych. Przy sporządzaniu map tą metodą zalecana jest jak najdalej posunięta ostrożność.