

RAPORT KOŃCOWY

z realizacji tematu „Opracowanie metody inwentaryzacji lasu opartej na integracji danych pozyskiwanych różnymi technikami geomatycznymi”

**CZĘŚĆ IV – WYNIKI Z ZAKRESU ZASTOSOWANIA CYFROWYCH ZDJĘĆ
HEMISFERYCZNYCH I MOBILNEGO SYSTEMU KARTOWANIA (MMS)**

Spis treści

Wprowadzenie.....	3
1. Możliwości zastosowania w praktyce zdjęć hemisferycznych	4
2. Fotomapa koron drzew	38
3. Określenie parametrów koron drzew w stanie ulistnionym i bezlistnym na podstawie pomiarów LAI, wykonywanych z wykorzystaniem cyfrowych zdjęć hemisferycznych.....	64
4. Mobilny system kartowania (MMS) narzędziem inwentaryzacji dróg leśnych	90

Wprowadzenie

Kolejnym działem geomatyki, który poddano badaniom w ramach realizowanego tematu badawczego, były cyfrowe zdjęcia hemisferyczne. Analizowane je z punktu widzenia ich wykorzystania do pomiarów LAI (Leaf Area Index) i na tej podstawie do określania parametrów koron drzew.

Innym zakresem prac były badania systemu kartowania mobilnego (MMS), który wykorzystany był do inwentaryzacji dróg leśnych wraz z rejestrowaniem parametrów dróg zgodnie ze wymogami SILP i standardem LMN.

Prace w ramach tej części sprawozdawanego tematu wykonywał zespół: dr inż. Paweł Strzeleński (Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu), dr inż. Andrzej Jagodziński (Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Instytut Dendrologii PAN w Kórniku), mgr inż. Andrzej Choromański (Geoinvent), mgr inż. Robert Rutkowski (Geoinvent).

1. Możliwości zastosowania w praktyce zdjęć hemisferycznych

1.1 Wstęp

Wśród dynamicznie rozwijających się w ostatnich latach technologii geomatycznych, coraz częściej wykorzystywaną metodą pozyskiwania informacji o strukturze zwarcia koron drzew i krzewów w drzewostanie jest metoda zdjęć hemisferycznych. Stosowana jest ona od kilkudziesięciu lat, głównie w zakresie pomiaru indeksu powierzchni liściowej (LAI – ang. ‘Leaf Area Index’), który jest jednym z podstawowych wskaźników w badaniach ekofizjologicznych roślinności.

Metoda ta bardzo zyskała na upowszechnieniu wraz z rozwojem fotografii cyfrowej. Obecnie jedynym jej ograniczeniem jest konieczność stosowania optyki umożliwiającej rejestrację obrazu o kącie widzenia 180°. W tym celu najczęściej wykorzystuje się kamerę z obiektywem typu „rybie oko” (ang. ‘fish-eye’). W efekcie otrzymujemy informację o ilości światła docierającego do miejsca, w którym ustawiona jest kamera (w zasięgu pola widzenia obiektywu). Obok LAI możliwe także jest określenie bezwzględnej i względnej ilości światła docierającego do poszczególnych poziomów pomiarowych oraz struktury zwarcia koron.

Zasadniczym celem opracowania jest sprawdzenie możliwości wykorzystania zdjęć hemisferycznych, uzupełnionych instrumentalnymi pomiarami indeksu powierzchni liściowej (LAI - Leaf Area Index), w kontekście praktycznego wykorzystania w trakcie inwentaryzacji stanu i zasobów leśnych. Niniejszy rozdział zawiera m.in. krótką charakterystykę zastosowanych metod, zakres prac terenowych oraz wstępne opracowanie wykonanych zdjęć hemisferycznych oraz instrumentalnych pomiarów LAI.

Opracowanie powstało w wyniku prac zespołu kierowanego przez Pawła Strzebińskiego, gdzie za instrumentalne pomiary LAI odpowiadał – Andrzej M. Jagodziński (Katedra Łowiectwa i Ochrony Lasu UP w Poznaniu; Instytut Dendrologii PAN w Kórniku), a za zdjęcia hemisferyczne – Paweł Strzebiński (Katedra Urządzania Lasu UP w Poznaniu). Zakres badań przedstawiono w tabeli IV.1.

Tabela IV.1. Zakres badań

rodzaj prac
1. Prace przygotowawcze
1.1. zebranie literatury
1.2. opracowanie metodyki
1.3. sformułowanie hipotez badawczych
1.4. wybór powierzchni próbnych
2. Prace terenowe
2.1. wykonanie zdjęć hemisferycznych
2.2. wykonanie instrumentalnych pomiarów LAI
3. Prace kameralne
3.1. opracowanie zdjęć hemisferycznych
3.2. opracowanie wyników pomiarów LAI
3.3. zestawienie otrzymanych wyników z pozostałymi grupami danych
3.4. podsumowanie prac i wnioski

1.2 Teren i metodyka badań

Zarówno zdjęcia hemisferyczne i pomiary LAI wykonano na wytypowanych (i oznaczonych w terenie) 30 powierzchniach próbnych (Opis w części I opracowania).

Metody wykonywania zdjęć hemisferycznych zostały przedstawione m.in. na seminariach poprzedzających uruchomienie projektu badawczego. Szczegółowo zostały również opisane w referacie „Możliwości zastosowania w praktyce zdjęć hemisferycznych” [Strzeński, 2006a], zaprezentowanym na III Konferencji SIP w LP „Stan i perspektywy wdrażania leśnej mapy numerycznej” (Rogów 11-13 września 2006 r.) oraz w kilku publikacjach [Strzeński, 2006b; Chirrek i in., 2007; Zawila-Niedźwiecki i Strzeński, 2007; Strzeński, 2008; Strzeński i in., 2008].

Podczas wykonywania zdjęć hemisferycznych należy przestrzegać specyficznego reżimu pomiarowego, który wymaga:

- ustawiania kamery na statywie,
- ustawiania obiektywu (górną soczewką) na wysokości ok. 130 cm nad powierzchnią gruntu,

- ustawiania kamery na punktach pomiarowych zawsze w kierunku N-S,
- poziomowania kamery (z wykorzystaniem trójkątnej libelki montowanej w osiach lampy błyskowej kamery) – oś obiektywu ustawiona prostopadle do powierzchni gruntu,
- ustawiania kamery w zakresie czułości – ISO 200 (w trudnych warunkach oświetleniowych, np. po zachodzie słońca – ISO 400),
- ustawiania kamery na czasie migawki – nie dłuższym niż 1/30 (optymalnie: 1/60 – 1/250),
- ustawiania rodzaju pomiaru światła na matrycowy (lub inny obejmujący całą powierzchnię kadru),
- ustawiania parametrów rejestracji zdjęć w maksymalnej rozdzielczości – zapis plików w formacie JPEG.

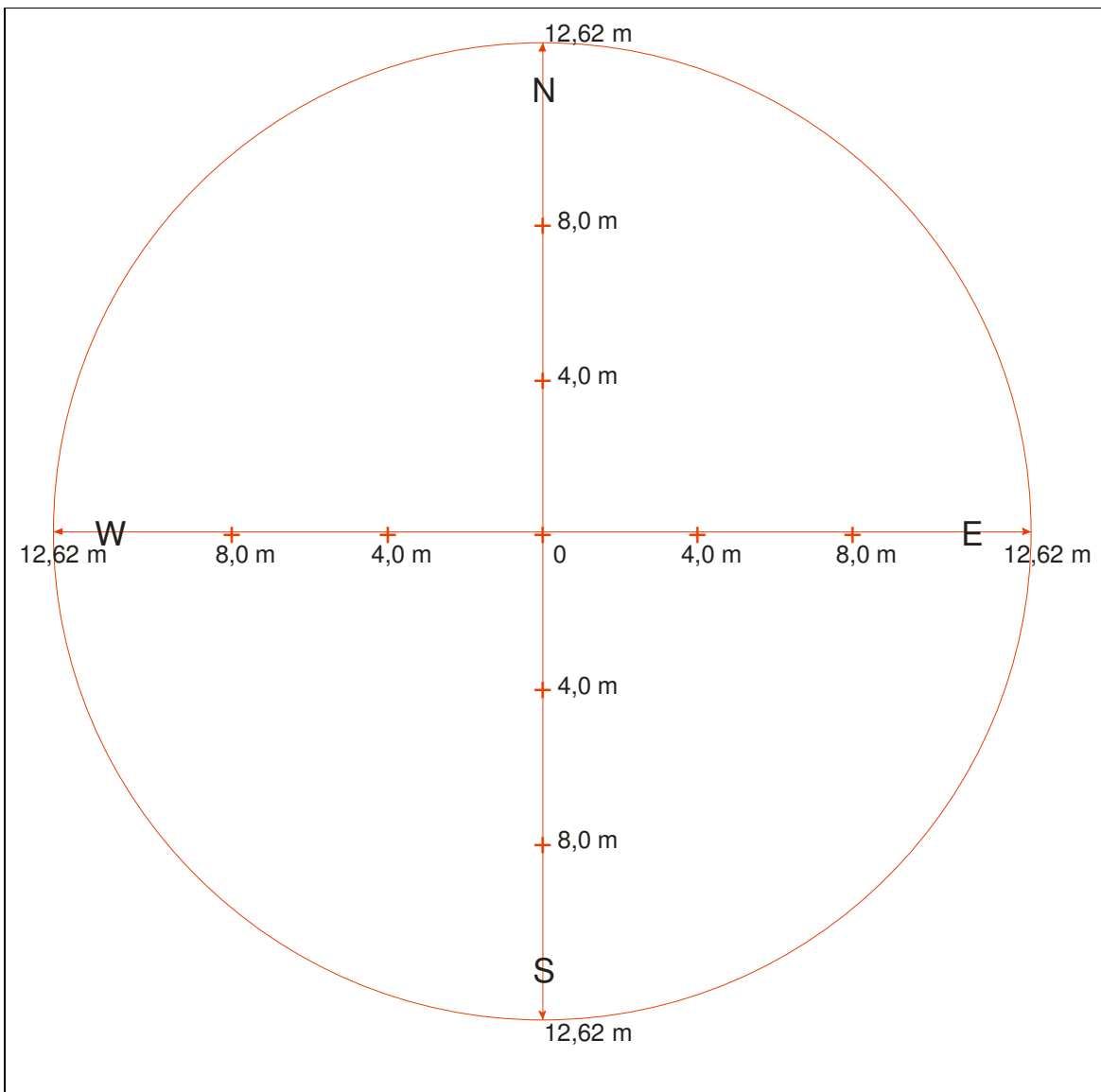
Do wykonywania zdjęć hemisferycznych wykorzystano następujący zestaw (fot. IV.1.):

- kamera cyfrowa typu SLR („lustrzanka”) – Canon EOS 20D (matryca 8 MP),
- obiektyw Canon EF-S 18-55/3,5-5,6,
- konwerter typu „fish-eye” (umożliwiający uzyskanie kąta widzenia 180°) Raynox DCR-CF 185PRO [<http://www.raynox.co.jp/english/dcr/dcrcf185pro>].

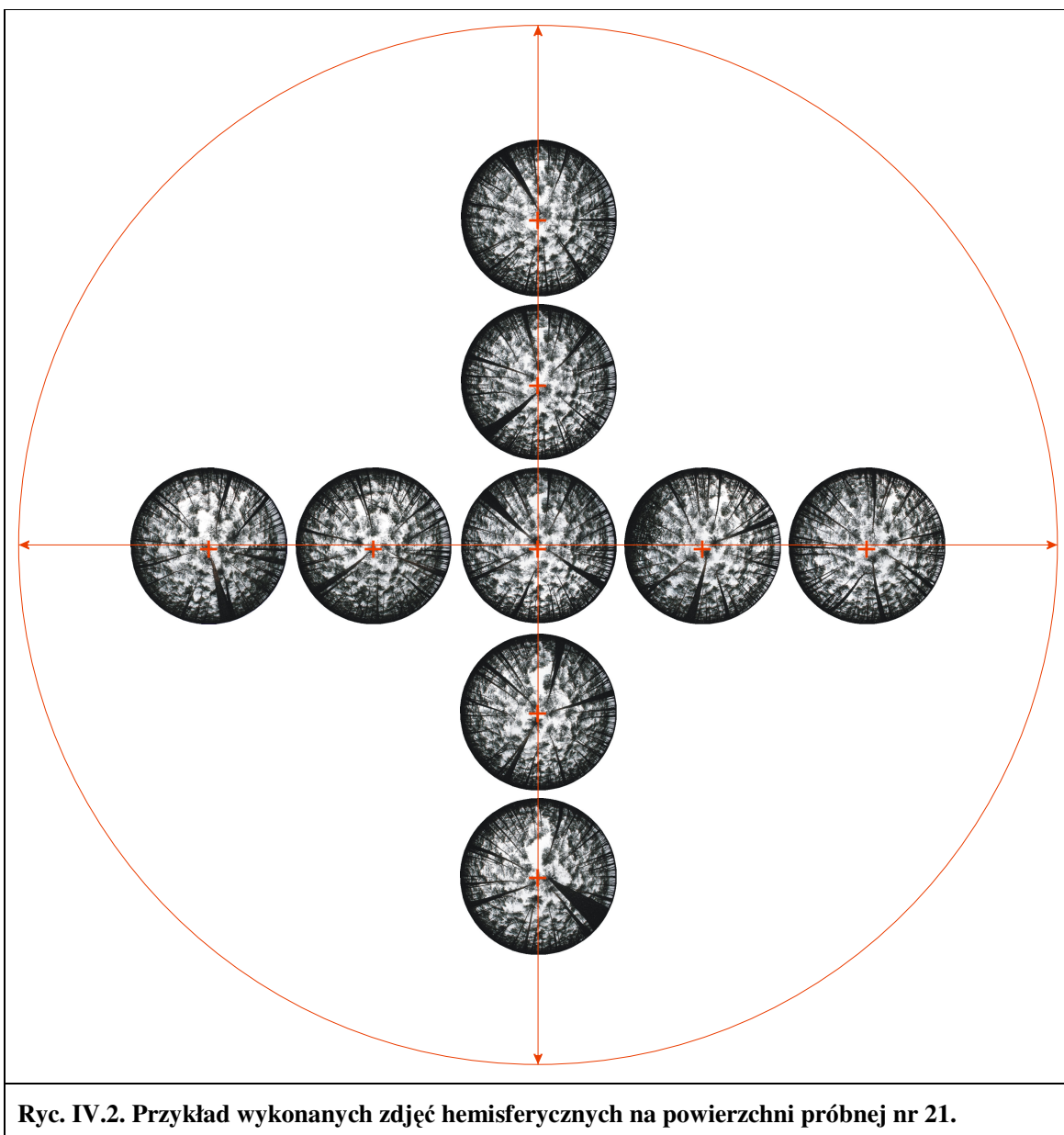


Fot. IV.1. Zestaw wykorzystywany do wykonywania zdjęć hemisferycznych: Canon EOS 20D + Canon EF-S 18-55/3,5-5,6 + konwerter Raynox DCR-CF 185PRO. (Fot. A. Damm)

Przyjęto założenie, że na każdej powierzchni próbnej zostanie założonych 9 punktów pomiarowych, z których wykonywane będą zdjęcia hemisferyczne. Schemat rozmieszczenia tych punktów przedstawia ryc. IV.1. Całość została wykonana w trzech powtórzeniach, co oznacza, że na każdej powierzchni próbnej wykonano $9 \times 3 = 27$ zdjęć.



Ryc. IV.1. Schemat rozmieszczenia punktów, z których były wykonywane zdjęcia hemisferyczne (w ramach powierzchni próbnych).



Ryc. IV.2. Przykład wykonanych zdjęć hemisferycznych na powierzchni próbnej nr 21.

Zdjęcia wykonywano w dniach od 27 do 30 września 2006 roku, przy czym zdjęcia wykonane 27 września potraktowano jako materiał testowy, który po drobnych modyfikacjach metodycznych nie został uwzględniony w dalszych analizach. Jako materiał badawczy zakwalifikowano zdjęcia wykonane w dniach od 28 do 30 września. Dodatkowo dla powierzchni o „środkowym” numerze (pow. nr 15) zdjęcia wykonano dwukrotnie (28 i 29 września), w celu:

- określenia różnic w warunkach oświetleniowych (28 IX – pełne zachmurzenie, a 29 IX – lekkie zachmurzenie z bezpośrednio widoczną koroną słoneczną),

- określenia różnic w pozycjonowaniu kamery na poszczególnych punktach pomiarowych.

W okresie od 27 do 30 września 2006 roku, łącznie dla wszystkich 30 powierzchni próbnych (z uwzględnieniem powtórzenia na pow. 15) wykonano $31 \times 27 = 837$ zdjęć hemisferycznych.

Do analiz rastrowych zdjęć hemisferycznych wykorzystywane jest oprogramowanie Gap Light Analyzer (v. 2.0) [<http://www.ecostudies.org/gla>].

Analizy statystyczne wykonywane są w programie Statistica v. 7 [StatSoft, Inc. 2005; <http://www.statsoft.com>].

1.3 Instrumentalne pomiary LAI

1.3.1 Pomiary indeksu powierzchni liściowej

Badania wykonano przy pomocy LAI-2000 Plant Canopy Analyzer [Li-Cor Inc., Lincoln, NE, USA; <http://www.licor.com>] (fot. IV.2.) Jeden z czujników światła wraz z rejestratorem został umieszczony na otwartej przestrzeni w bliskim sąsiedztwie powierzchni doświadczalnej (w odległości ponad 30 m od skraju drzewostanu) i zamontowany na wysokości 1,50 m. Pomiary światła zapisywane były automatycznie w odstępach piętnastosekundowych. Drugi zestaw pomiarowy (czujnik światła wraz z rejestratorem) wykorzystywano do pomiarów światła pod okapem drzewostanu. W celu uniknięcia wpływu bezpośredniego promieniowania słonecznego, badania wykonywano w dni pochmurne albo przed wschodem lub po zachodzie słońca, we względnie jednorodnych warunkach świetlnych [Li-Cor., 1992]. W związku z relatywnie niewielkimi powierzchniami poletek doświadczalnych, na obu czujnikach światła zainstalowano od strony operatora przesłony redukujące powierzchnię czujnika o 25%, a pomiary wykonywano, kierując czujnik zawsze w stronę środka poletka. Obliczając LAI, wykorzystano wskazówki metodyczne opublikowane w szeregu prac [Stenberg i in. 1994; Smolander i Stenberg 1996; Nackaerts i in. 2000; Jonckheere i in. 2004; Weiss i in. 2004].



Fot. IV.2. Zestaw LAI-2000 Plant Canopy Analyzer. (Fot. Paweł Strzeliński)

Pomiary indeksu powierzchni liściowej (m^2/m^2) wykonano na każdej z wcześniej wyznaczonych powierzchni badawczych. Średnie LAI dla poletka obliczano każdorazowo w oparciu o pięć serii pomiarowych (powtórzeń). Na każdą serię pomiarową składało się 12 pomiarów wykonanych pod okapem drzewostanu i odniesionych do wartości pełnego światła, zanotowanych w pamięci rejestratora pracującego na otwartej przestrzeni (pary danych zestawione według najbliższego czasu zapisu). LAI obliczano za pomocą programu C2000 [Li-Cor Inc., Lincoln, NE, USA; <http://www.licor.com>]. Do określenia LAI wykorzystano pomiary światła zanotowane dla wszystkich pięciu soczewek (7° , 23° , 38° , 53° i 68°).

1.3.2. Pomiary względnego natężenia światła rozproszonego

Pomiary względnego natężenia światła rozproszonego (DIFN - diffuse non-interceptance) wykonywano równocześnie z pomiarami indeksu powierzchni liściowej (LAI) wg tej samej metody. Za względne natężenie światła rozproszonego przyjęto iloraz natężenia światła odnotowanego pod okapem drzewostanu i natężenia światła pełnego, zmierzonego na otwartej przestrzeni (wartość ułamkowa, jednostka niemianowana).

Istotność różnic pomiędzy powierzchniami doświadczalnymi w odniesieniu do LAI i DIFN określono za pomocą jednoczynnikowej analizy wariancji (ANOVA $P > F$). Po stwierdzeniu statystycznie istotnych różnic pomiędzy analizowanymi powierzchniami, zastosowano test *Tukeya* w celu scharakteryzowania wzajemnych różnic pomiędzy średnimi wartościami LAI i DIFN dla porównywanych powierzchni. Analizę statystyczną wykonano korzystając z pakietu JMP 5.1 [SAS Institute, Cary, NC, USA; <http://www.sas.com>].

1.4 Przykładowe wyniki

1.4.1 Zdjęcia hemisferyczne

Tabela IV.2. Terminy wykonania zdjęć na poszczególnych powierzchniach próbnych.

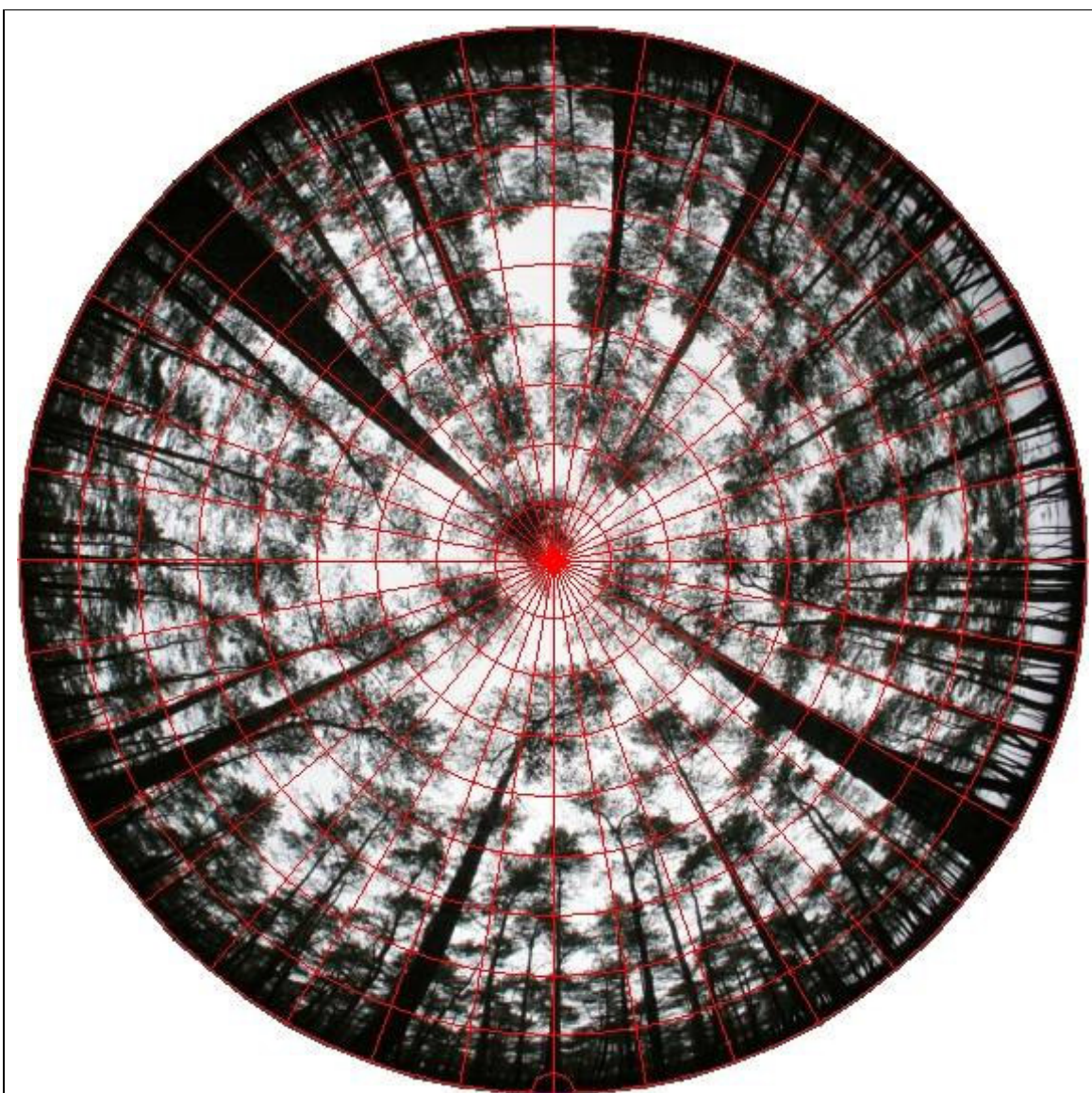
nr powierzchni próbnej	data wykonania zdjęć
13, 15, 19-24	28.09.2006
07-12, 14-18, 25-26	29.09.2006
01 - 06	30.09.2006

Uwaga: na pow. 15 zdjęcia wykonano dwukrotnie – 28.09.2006 i 29.09.2006.

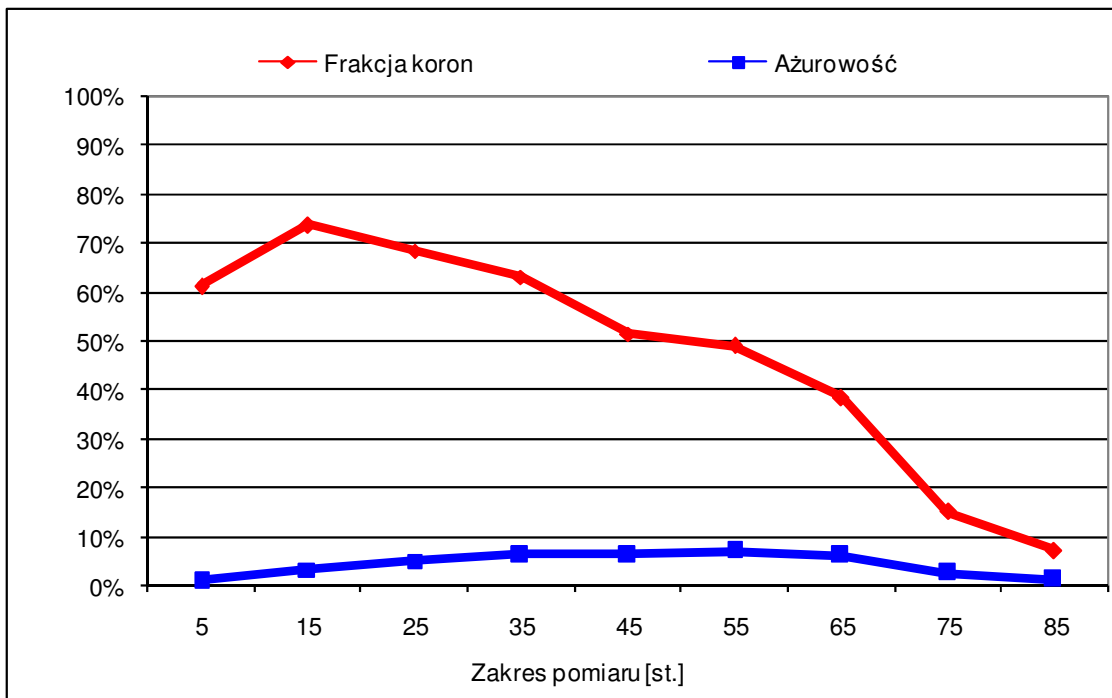
Tabela IV.3. Przykład analizy zdjęć z pow. próbnej nr 21 (przedstawione na ryc. IV.3.).

Nr zdjęcia	Ażurowość (%)	LAI 4 Ring [1]	LAI 5 Ring [2]	Promieniowanie bezpośrednie		Promieniowanie rozproszone		Promieniowanie całkowite	
				(mol/m ² /dzień)	(%)	(mol/m ² /dzień)	(%)	(mol/m ² /dzień)	(%)
7023	36,51	0,88	0,92	6,09	44,03	6,51	48,99	12,6	46,46
7024	36,37	0,88	0,92	6,07	43,90	6,48	48,76	12,55	46,28
7025	37,19	0,85	0,90	6,22	44,97	6,64	50,02	12,86	47,44
7026	36,32	0,85	0,93	6,51	47,05	6,5	48,94	13,01	47,97

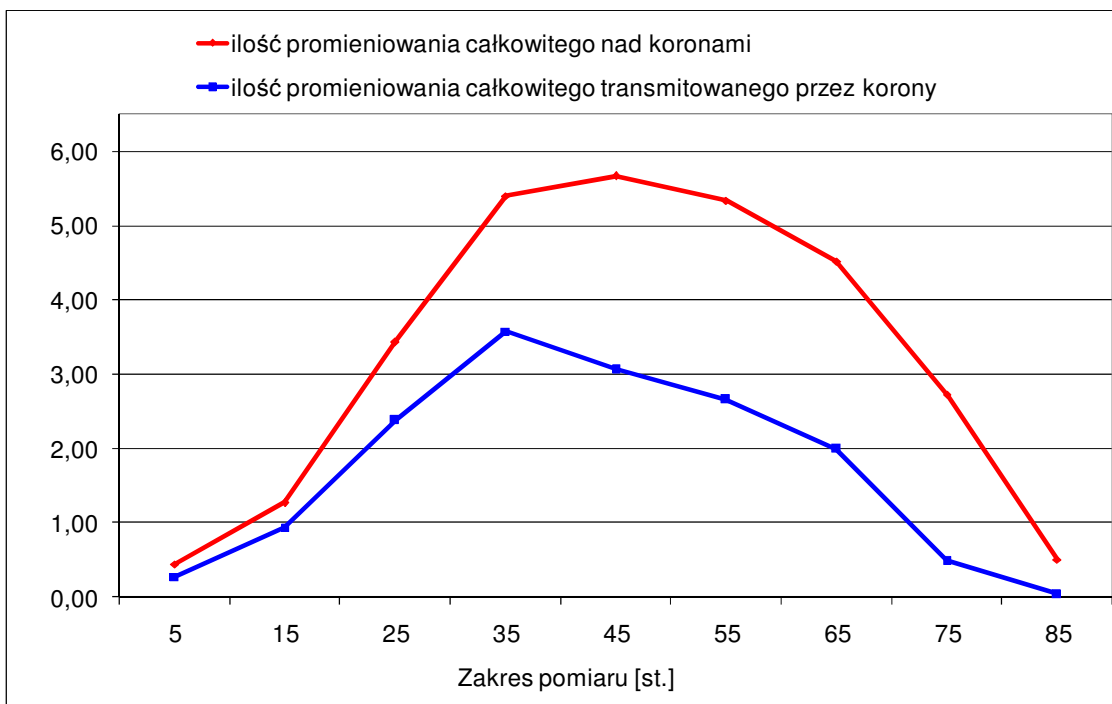
				Promieniowanie bezpośrednie		Promieniowanie rozproszone		Promieniowanie całkowite	
7027	36,35	0,85	0,93	6,52	47,18	6,51	48,98	13,03	48,06
7028	36,68	0,83	0,92	6,56	47,43	6,59	49,62	13,15	48,5
7029	36,60	0,83	0,93	6,34	45,85	6,63	49,93	12,97	47,85
7030	37,03	0,82	0,91	6,44	46,61	6,69	50,34	13,13	48,44
7031	37,09	0,81	0,91	6,44	46,6	6,74	50,75	13,18	48,64
7032	35,41	0,92	0,95	6,56	47,43	6,41	48,24	12,97	47,83
7033	36,14	0,89	0,92	6,67	48,21	6,51	49,01	13,18	48,60
7034	36,53	0,87	0,91	6,72	48,6	6,61	49,77	13,33	49,17
7035	35,5	0,91	0,94	7,11	51,43	6,36	47,92	13,48	49,71
7036	35,97	0,89	0,93	7,24	52,38	6,44	48,49	13,68	50,47
7037	37,55	0,83	0,88	7,49	54,18	6,72	50,61	14,21	52,43
7038	34,67	0,99	0,97	7,24	52,34	6,20	46,72	13,44	49,59
7039	35,53	0,96	0,94	7,38	53,36	6,34	47,71	13,71	50,59
7040	33,92	1,01	1,00	7,12	51,46	6,12	46,10	13,24	48,84
7041	37,10	0,83	0,89	7,82	56,59	6,50	48,96	14,33	52,85
7042	37,79	0,80	0,86	7,99	57,82	6,63	49,88	14,62	53,93
7043	38,54	0,77	0,84	8,22	59,45	6,82	51,31	15,04	55,46
7044	37,01	0,91	0,89	6,89	49,84	6,50	48,91	13,39	49,38
7045	36,88	0,91	0,9	6,85	49,53	6,46	48,65	13,31	49,10
7046	37,79	0,88	0,87	7,00	50,64	6,64	49,97	13,64	50,31
7047	38,69	0,81	0,84	6,96	50,35	6,81	51,28	13,77	50,81
7048	38,83	0,80	0,83	6,97	50,39	6,83	51,45	13,80	50,91
7049	39,83	0,77	0,80	7,10	51,36	7,04	53,01	14,14	52,17



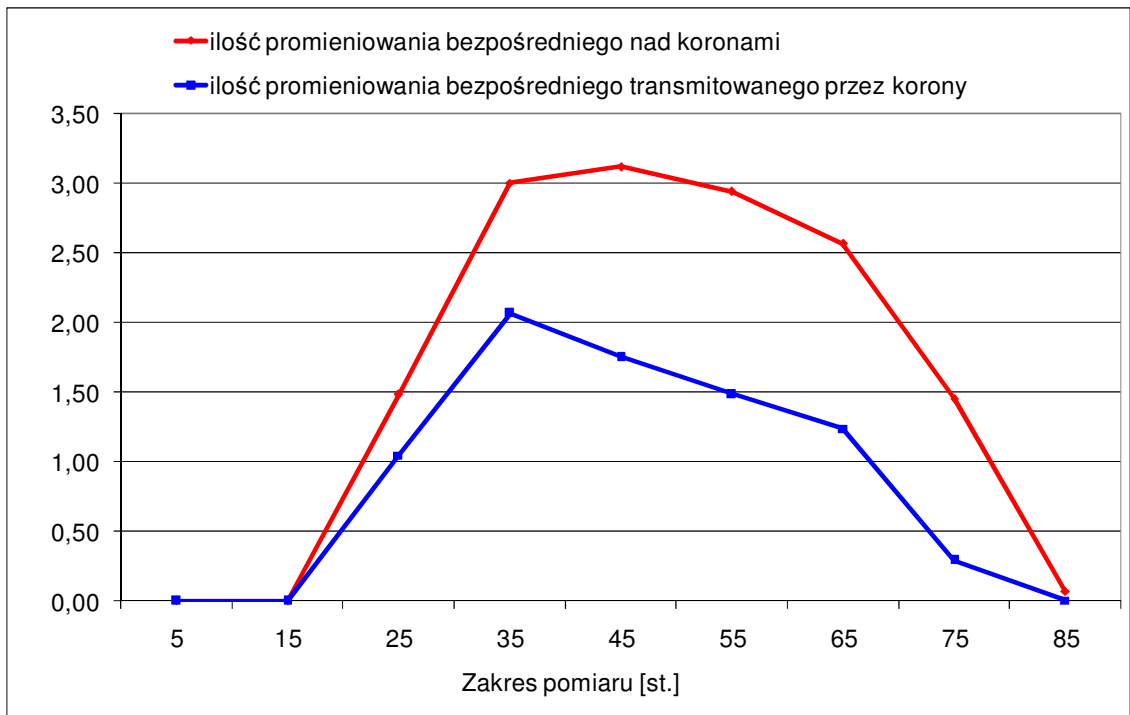
Ryc. IV.3. Przykład analizy zdjęcia hemisferycznego (pow. nr 21., zdjęcie nr 7023) z naniesioną siatką podziału na „pierścienie pomiarowe”.



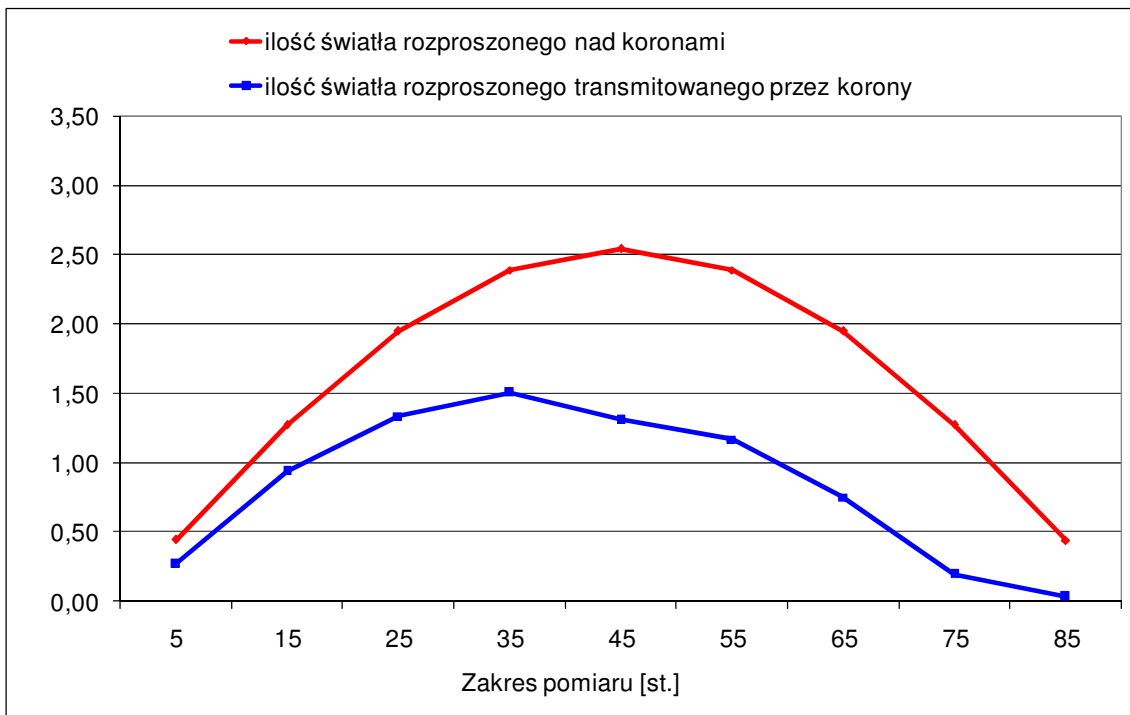
Ryc. IV.4. Przykład analizy zdjęcia hemisferycznego (pow. nr 21., zdjęcie nr 7023) – udział frakcji koron i ażurowość.



Ryc. IV.5. Przykład analizy zdjęcia hemisferycznego (pow. nr 21., zdjęcie nr 7023) – ilość promieniowania całkowitego.



Ryc. IV.6. Przykład analizy zdjęcia hemisferycznego (pow. nr 21., zdjęcie nr 7023) – ilość promieniowania bezpośredniego.



Ryc. IV.7. Przykład analizy zdjęcia hemisferycznego (pow. nr 21., zdjęcie nr 7023) – ilość światła rozproszonego.

Tabela IV.4. Przykład szczegółowej analizy poszczególnych pól siatki podziału na „pierścienie pomiarowe” zdjęcia z ryc. IV.3. (pow. nr 21., zdjęcie nr 7023).

Nr pola zenitalnego	Nr pola azymutalnego	Środek pierścienia pomiarowego (w st.)	Środek pola azymutalnego (w st.)	Fracja koron	Ażurowość
1	1	86,8	5	0	0,00%
1	2	86,8	15	0,0031	0,00%
1	3	86,8	25	0	0,00%
1	4	86,8	35	0,02795	0,01%
1	5	86,8	45	0,10608	0,03%
1	6	86,8	55	0,07573	0,02%
1	7	86,8	65	0,19959	0,06%
1	8	86,8	75	0,22521	0,07%
1	9	86,8	85	0,15784	0,05%
1	10	86,8	95	0,30642	0,09%
1	11	86,8	105	0,30403	0,09%
1	12	86,8	115	0,36269	0,11%
1	13	86,8	125	0,15114	0,05%
1	14	86,8	135	0,05664	0,02%
1	15	86,8	145	0,00207	0,00%
1	16	86,8	155	0,0031	0,00%
1	17	86,8	165	0	0,00%
1	18	86,8	175	0	0,00%
1	19	86,8	185	0	0,00%
1	20	86,8	195	0	0,00%
1	21	86,8	205	0	0,00%
1	22	86,8	215	0,00207	0,00%
1	23	86,8	225	0	0,00%
1	24	86,8	235	0,00104	0,00%
1	25	86,8	245	0,00103	0,00%

Nr pola zenitalnego	Nr pola azymutalnego	Środek pierścienia pomiarowego (w st.)	Środek pola azymutalnego (w st.)	Fracja koron	Ażurowość
1	26	86,8	255	0,00103	0,00%
1	27	86,8	265	0,00312	0,00%
1	28	86,8	275	0,00104	0,00%
1	29	86,8	285	0	0,00%
1	30	86,8	295	0	0,00%
1	31	86,8	305	0	0,00%
1	32	86,8	315	0	0,00%
1	33	86,8	325	0,0083	0,00%
1	34	86,8	335	0	0,00%
1	35	86,8	345	0	0,00%
1	36	86,8	355	0	0,00%
2	1	80,4	5	0,06416	0,02%
2	2	80,4	15	0,12389	0,04%
2	3	80,4	25	0,07743	0,02%
2	4	80,4	35	0,0442	0,01%
2	5	80,4	45	0,03744	0,01%
2	6	80,4	55	0,04535	0,01%
2	7	80,4	65	0,20133	0,06%
2	8	80,4	75	0,22541	0,07%
2	9	80,4	85	0,26659	0,08%
2	10	80,4	95	0,40044	0,12%
2	11	80,4	105	0,27765	0,09%
2	12	80,4	115	0,24558	0,08%
2	13	80,4	125	0,06961	0,02%
2	14	80,4	135	0,01982	0,01%
2	15	80,4	145	0,02876	0,01%
2	16	80,4	155	0,02102	0,01%

Nr pola zenitalnego	Nr pola azymutalnego	Środek pierścienia pomiarowego (w st.)	Środek pola azymutalnego (w st.)	Fracja koron	Ażurowość
2	17	80,4	165	0,00552	0,00%
2	18	80,4	175	0,10229	0,03%
2	19	80,4	185	0,04314	0,01%
2	20	80,4	195	0,08407	0,03%
2	21	80,4	205	0,08739	0,03%
2	22	80,4	215	0,03204	0,01%
2	23	80,4	225	0	0,00%
2	24	80,4	235	0,04204	0,01%
2	25	80,4	245	0,14381	0,04%
2	26	80,4	255	0,18232	0,06%
2	27	80,4	265	0,11861	0,04%
2	28	80,4	275	0,09735	0,03%
2	29	80,4	285	0,19469	0,06%
2	30	80,4	295	0,04093	0,01%
2	31	80,4	305	0,0674	0,02%
2	32	80,4	315	0,06608	0,02%
2	33	80,4	325	0,12832	0,04%
2	34	80,4	335	0,01881	0,01%
2	35	80,4	345	0,15138	0,05%
2	36	80,4	355	0,11861	0,04%
3	1	73,8	5	0,33763	0,10%
3	2	73,8	15	0,28488	0,09%
3	3	73,8	25	0,14486	0,04%
3	4	73,8	35	0,19276	0,06%
3	5	73,8	45	0,17396	0,05%
3	6	73,8	55	0,03855	0,01%
3	7	73,8	65	0,27018	0,08%

Nr pola zenitalnego	Nr pola azymutalnego	Środek pierścienia pomiarowego (w st.)	Środek pola azymutalnego (w st.)	Fracja koron	Ażurowość
3	8	73,8	75	0,14988	0,05%
3	9	73,8	85	0,05958	0,02%
3	10	73,8	95	0,1524	0,05%
3	11	73,8	105	0,07268	0,02%
3	12	73,8	115	0,1764	0,05%
3	13	73,8	125	0,09463	0,03%
3	14	73,8	135	0,06627	0,02%
3	15	73,8	145	0,12266	0,04%
3	16	73,8	155	0,21287	0,07%
3	17	73,8	165	0,07494	0,02%
3	18	73,8	175	0,37734	0,12%
3	19	73,8	185	0,10082	0,03%
3	20	73,8	195	0,06917	0,02%
3	21	73,8	205	0,15304	0,05%
3	22	73,8	215	0,08178	0,03%
3	23	73,8	225	0,00947	0,00%
3	24	73,8	235	0,125	0,04%
3	25	73,8	245	0,2152	0,07%
3	26	73,8	255	0,25761	0,08%
3	27	73,8	265	0,18808	0,06%
3	28	73,8	275	0,17702	0,05%
3	29	73,8	285	0,10082	0,03%
3	30	73,8	295	0,08061	0,02%
3	31	73,8	305	0,21262	0,07%
3	32	73,8	315	0,19172	0,06%
3	33	73,8	325	0,16121	0,05%
3	34	73,8	335	0,12749	0,04%

Nr pola zenitalnego	Nr pola azymutalnego	Środek pierścienia pomiarowego (w st.)	Środek pola azymutalnego (w st.)	Frakcja koron	Ażurowość
3	35	73,8	345	0,15457	0,05%
3	36	73,8	355	0,16589	0,05%
4	1	67,1	5	0,48522	0,15%
4	2	67,1	15	0,44636	0,14%
4	3	67,1	25	0,36667	0,11%
4	4	67,1	35	0,56931	0,18%
4	5	67,1	45	0,5679	0,18%
4	6	67,1	55	0,25743	0,08%
4	7	67,1	65	0,4476	0,14%
4	8	67,1	75	0,30741	0,09%
4	9	67,1	85	0,2725	0,08%
4	10	67,1	95	0,68227	0,21%
4	11	67,1	105	0,25524	0,08%
4	12	67,1	115	0,13704	0,04%
4	13	67,1	125	0,22153	0,07%
4	14	67,1	135	0,30123	0,09%
4	15	67,1	145	0,13738	0,04%
4	16	67,1	155	0,25524	0,08%
4	17	67,1	165	0,18889	0,06%
4	18	67,1	175	0,42	0,13%
4	19	67,1	185	0,40025	0,12%
4	20	67,1	195	0,17263	0,05%
4	21	67,1	205	0,32222	0,10%
4	22	67,1	215	0,2698	0,08%
4	23	67,1	225	0,05679	0,02%
4	24	67,1	235	0,36015	0,11%
4	25	67,1	245	0,34525	0,11%

Nr pola zenitalnego	Nr pola azymutalnego	Środek pierścienia pomiarowego (w st.)	Środek pola azymutalnego (w st.)	Frakcja koron	Ażurowość
4	26	67,1	255	0,66049	0,20%
4	27	67,1	265	0,23875	0,07%
4	28	67,1	275	0,59975	0,19%
4	29	67,1	285	0,418	0,13%
4	30	67,1	295	0,34321	0,11%
4	31	67,1	305	0,15718	0,05%
4	32	67,1	315	0,7321	0,23%
4	33	67,1	325	0,53837	0,17%
4	34	67,1	335	0,51788	0,16%
4	35	67,1	345	0,4037	0,12%
4	36	67,1	355	0,59875	0,18%
5	1	59,9	5	0,58801	0,18%
5	2	59,9	15	0,59713	0,18%
5	3	59,9	25	0,56883	0,18%
5	4	59,9	35	0,53646	0,17%
5	5	59,9	45	0,67185	0,21%
5	6	59,9	55	0,23177	0,07%
5	7	59,9	65	0,59583	0,18%
5	8	59,9	75	0,28125	0,09%
5	9	59,9	85	0,37257	0,11%
5	10	59,9	95	0,45893	0,14%
5	11	59,9	105	0,37549	0,12%
5	12	59,9	115	0,35455	0,11%
5	13	59,9	125	0,32292	0,10%
5	14	59,9	135	0,2166	0,07%
5	15	59,9	145	0,15234	0,05%
5	16	59,9	155	0,49544	0,15%

Nr pola zenitalnego	Nr pola azymutalnego	Środek pierścienia pomiarowego (w st.)	Środek pola azymutalnego (w st.)	Fracja koron	Ażurowość
5	17	59,9	165	0,40755	0,13%
5	18	59,9	175	0,63389	0,20%
5	19	59,9	185	0,42112	0,13%
5	20	59,9	195	0,14863	0,05%
5	21	59,9	205	0,73117	0,23%
5	22	59,9	215	0,3125	0,10%
5	23	59,9	225	0,11673	0,04%
5	24	59,9	235	0,49219	0,15%
5	25	59,9	245	0,74446	0,23%
5	26	59,9	255	0,61328	0,19%
5	27	59,9	265	0,75291	0,23%
5	28	59,9	275	0,51239	0,16%
5	29	59,9	285	0,45502	0,14%
5	30	59,9	295	0,16104	0,05%
5	31	59,9	305	0,74479	0,23%
5	32	59,9	315	0,54475	0,17%
5	33	59,9	325	0,58984	0,18%
5	34	59,9	335	0,61538	0,19%
5	35	59,9	345	0,38151	0,12%
5	36	59,9	355	0,3066	0,09%
6	1	52,2	5	0,79673	0,25%
6	2	52,2	15	0,63723	0,20%
6	3	52,2	25	0,40791	0,13%
6	4	52,2	35	0,56948	0,18%
6	5	52,2	45	0,42916	0,13%
6	6	52,2	55	0,29524	0,09%
6	7	52,2	65	0,76735	0,24%

Nr pola zenitalnego	Nr pola azymutalnego	Środek pierścienia pomiarowego (w st.)	Środek pola azymutalnego (w st.)	Frakcja koron	Ażurowość
6	8	52,2	75	0,21603	0,07%
6	9	52,2	85	0,46355	0,14%
6	10	52,2	95	0,28649	0,09%
6	11	52,2	105	0,25679	0,08%
6	12	52,2	115	0,43383	0,13%
6	13	52,2	125	0,14305	0,04%
6	14	52,2	135	0,40463	0,12%
6	15	52,2	145	0,28299	0,09%
6	16	52,2	155	0,37143	0,11%
6	17	52,2	165	0,2962	0,09%
6	18	52,2	175	0,91197	0,28%
6	19	52,2	185	0,99454	0,31%
6	20	52,2	195	0,32473	0,10%
6	21	52,2	205	0,71351	0,22%
6	22	52,2	215	0,71798	0,22%
6	23	52,2	225	0,1267	0,04%
6	24	52,2	235	0,45714	0,14%
6	25	52,2	245	0,81633	0,25%
6	26	52,2	255	0,44158	0,14%
6	27	52,2	265	0,57084	0,18%
6	28	52,2	275	0,48704	0,15%
6	29	52,2	285	0,25951	0,08%
6	30	52,2	295	0,30423	0,09%
6	31	52,2	305	0,51362	0,16%
6	32	52,2	315	0,83651	0,26%
6	33	52,2	325	0,43401	0,13%
6	34	52,2	335	0,42585	0,13%

Nr pola zenitalnego	Nr pola azymutalnego	Środek pierścienia pomiarowego (w st.)	Środek pola azymutalnego (w st.)	Frakcja koron	Ażurowość
6	35	52,2	345	0,57745	0,18%
6	36	52,2	355	0,27098	0,08%
7	1	43,6	5	0,70922	0,22%
7	2	43,6	15	0,66382	0,20%
7	3	43,6	25	0,75926	0,23%
7	4	43,6	35	0,85795	0,26%
7	5	43,6	45	0,57102	0,18%
7	6	43,6	55	0,1946	0,06%
7	7	43,6	65	0,48222	0,15%
7	8	43,6	75	0,25071	0,08%
7	9	43,6	85	0,08936	0,03%
7	10	43,6	95	0,33901	0,10%
7	11	43,6	105	0,67236	0,21%
7	12	43,6	115	0,42308	0,13%
7	13	43,6	125	0,41193	0,13%
7	14	43,6	135	0,72017	0,22%
7	15	43,6	145	0,63778	0,20%
7	16	43,6	155	0,73115	0,23%
7	17	43,6	165	0,0755	0,02%
7	18	43,6	175	0,83262	0,26%
7	19	43,6	185	0,81986	0,25%
7	20	43,6	195	0,349	0,11%
7	21	43,6	205	0,58974	0,18%
7	22	43,6	215	0,40199	0,12%
7	23	43,6	225	0,13636	0,04%
7	24	43,6	235	0,60227	0,19%
7	25	43,6	245	0,55761	0,17%

Nr pola zenitalnego	Nr pola azymutalnego	Środek pierścienia pomiarowego (w st.)	Środek pola azymutalnego (w st.)	Frakcja koron	Ażurowość
7	26	43,6	255	0,33903	0,10%
7	27	43,6	265	0,49078	0,15%
7	28	43,6	275	0,6383	0,20%
7	29	43,6	285	0,56695	0,17%
7	30	43,6	295	0,45157	0,14%
7	31	43,6	305	0,47017	0,15%
7	32	43,6	315	0,64773	0,20%
7	33	43,6	325	0,55682	0,17%
7	34	43,6	335	0,83357	0,26%
7	35	43,6	345	0,36752	0,11%
7	36	43,6	355	0,83546	0,26%
8	1	33,1	5	0,79228	0,24%
8	2	33,1	15	0,95401	0,29%
8	3	33,1	25	0,75888	0,23%
8	4	33,1	35	0,41568	0,13%
8	5	33,1	45	0,90815	0,28%
8	6	33,1	55	0,39911	0,12%
8	7	33,1	65	0,55556	0,17%
8	8	33,1	75	0,67459	0,21%
8	9	33,1	85	0,43834	0,14%
8	10	33,1	95	0,63353	0,20%
8	11	33,1	105	0,42433	0,13%
8	12	33,1	115	0,55325	0,17%
8	13	33,1	125	0,92456	0,29%
8	14	33,1	135	0,89037	0,27%
8	15	33,1	145	0,58309	0,18%
8	16	33,1	155	0,47407	0,15%

Nr pola zenitalnego	Nr pola azymutalnego	Środek pierścienia pomiarowego (w st.)	Środek pola azymutalnego (w st.)	Frakcja koron	Ażurowość
8	17	33,1	165	0,49926	0,15%
8	18	33,1	175	0,86776	0,27%
8	19	33,1	185	0,88427	0,27%
8	20	33,1	195	0,32493	0,10%
8	21	33,1	205	0,63609	0,20%
8	22	33,1	215	0,55503	0,17%
8	23	33,1	225	0,15407	0,05%
8	24	33,1	235	0,74926	0,23%
8	25	33,1	245	0,68148	0,21%
8	26	33,1	255	0,80238	0,25%
8	27	33,1	265	0,96731	0,30%
8	28	33,1	275	0,95846	0,30%
8	29	33,1	285	0,50297	0,16%
8	30	33,1	295	0,20414	0,06%
8	31	33,1	305	0,68639	0,21%
8	32	33,1	315	0,48444	0,15%
8	33	33,1	325	0,71662	0,22%
8	34	33,1	335	0,93333	0,29%
8	35	33,1	345	0,72214	0,22%
8	36	33,1	355	0,56018	0,17%
9	1	13,1	5	0,67183	0,21%
9	2	13,1	15	0,55624	0,17%
9	3	13,1	25	0,7898	0,24%
9	4	13,1	35	0,95981	0,30%
9	5	13,1	45	0,97377	0,30%
9	6	13,1	55	0,56502	0,17%
9	7	13,1	65	0,48308	0,15%

Nr pola zenitalnego	Nr pola azymutalnego	Środek pierścienia pomiarowego (w st.)	Środek pola azymutalnego (w st.)	Frakcja koron	Ażurowość
9	8	13,1	75	0,58179	0,18%
9	9	13,1	85	0,66972	0,21%
9	10	13,1	95	0,78947	0,24%
9	11	13,1	105	0,95069	0,29%
9	12	13,1	115	0,98609	0,30%
9	13	13,1	125	0,82998	0,26%
9	14	13,1	135	0,42901	0,13%
9	15	13,1	145	0,43963	0,14%
9	16	13,1	155	0,55077	0,17%
9	17	13,1	165	0,55401	0,17%
9	18	13,1	175	0,75345	0,23%
9	19	13,1	185	0,6192	0,19%
9	20	13,1	195	0,32666	0,10%
9	21	13,1	205	0,52241	0,16%
9	22	13,1	215	0,64142	0,20%
9	23	13,1	225	0,21451	0,07%
9	24	13,1	235	0,78793	0,24%
9	25	13,1	245	0,83077	0,26%
9	26	13,1	255	0,80247	0,25%
9	27	13,1	265	0,91577	0,28%
9	28	13,1	275	0,91331	0,28%
9	29	13,1	285	0,6379	0,20%
9	30	13,1	295	0,39413	0,12%
9	31	13,1	305	0,61515	0,19%
9	32	13,1	315	0,75926	0,23%
9	33	13,1	325	0,96594	0,30%
9	34	13,1	335	0,97692	0,30%

Nr pola zenitalnego	Nr pola azymutalnego	Środek pierścienia pomiarowego (w st.)	Środek pola azymutalnego (w st.)	Frakcja koron	Ażurowość
9	35	13,1	345	0,8966	0,28%
9	36	13,1	355	0,76417	0,24%

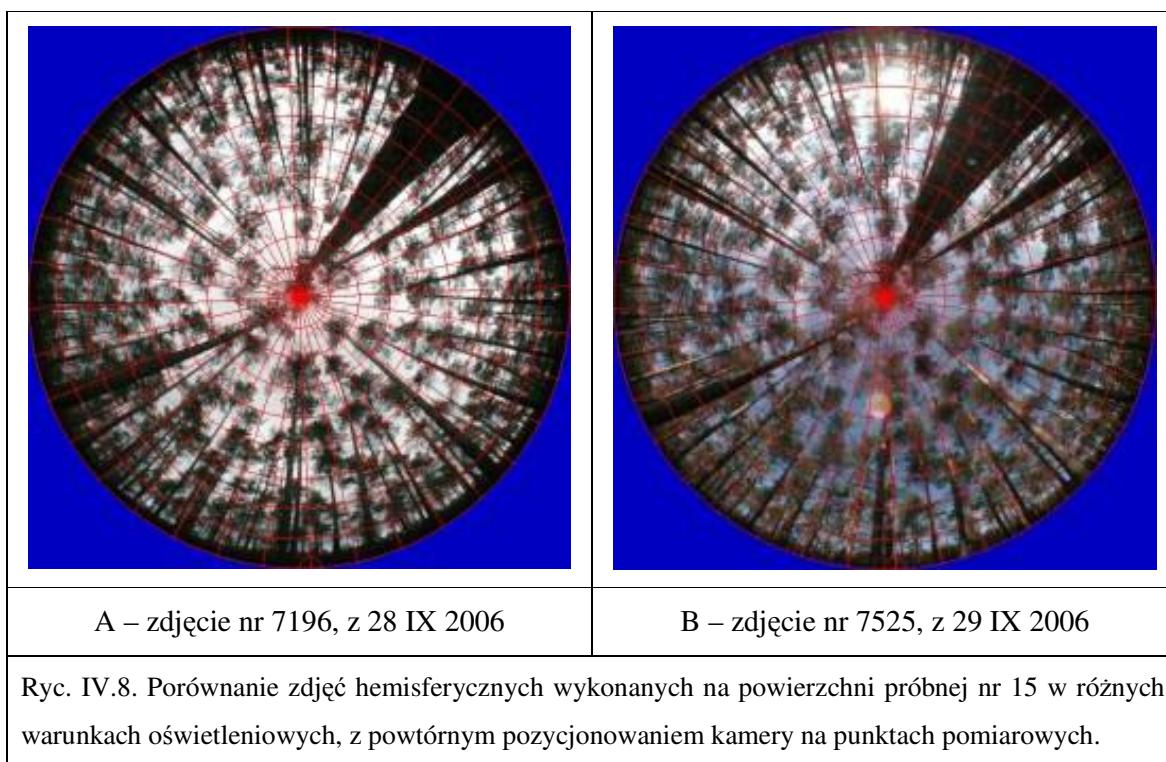


Tabela IV.5. Porównanie wyników analizy zdjęć hemisferycznych przedstawionych na ryc. IV.8.

Analizowany parametr	A – zdjęcie nr 7196, z 28 IX 2006	B – zdjęcie nr 7525, z 29 IX 2006
Ażurowość [%]	38,30	23,81
LAI 4 Ring [1]	0,84	1,64
LAI 5 Ring [2]	0,83	1,41
Promieniowanie bezpośrednie (mol/m ² /dzień)	8,12	6,69
Promieniowanie pośrednie (mol/m ² /dzień)	7,34	4,25
Promieniowanie całkowite (mol/m ² /dzień)	15,47	10,94
Promieniowanie bezpośrednie [%]	55,47	45,66

Analizowany parametr	A – zdjęcie nr 7196, z 28 IX 2006	B – zdjęcie nr 7525, z 29 IX 2006
Promieniowanie pośrednie [%]	50,17	29,05
Promieniowanie całkowite [%]	52,82	37,36

1.4.2 Instrumentalne pomiary LAI

Tabela IV.6. Indeks powierzchni liściowej (LAI; m^2/m^2) oraz względne natężenie światła rozproszonego (DIFN; jednostka niemianowana) docierającego do dna lasu na powierzchniach doświadczalnych.

Nr powierzchni	Powtórzenie	LAI [m^2/m^2]	DIFN
1	1	4,34	0,022
1	2	4,31	0,023
1	3	4,34	0,022
1	4	4,36	0,021
1	5	4,33	0,022
2	1	3,83	0,036
2	2	3,76	0,037
2	3	3,64	0,040
2	4	3,58	0,044
2	5	3,64	0,042
3	1	2,49	0,115
3	2	2,25	0,145
3	3	2,43	0,121
3	4	2,40	0,125
3	5	2,39	0,124
4	1	0,89	0,453
4	2	0,80	0,489
4	3	0,84	0,476
4	4	0,77	0,501
4	5	0,72	0,523

Nr powierzchni	Powtórzenie	LAI [m ² /m ²]	DIFN
5	1	1,21	0,340
5	2	1,10	0,376
5	3	1,07	0,384
5	4	0,87	0,455
5	5	0,90	0,449
6	1	4,22	0,024
6	2	4,09	0,027
6	3	3,97	0,030
6	4	4,12	0,026
6	5	4,07	0,028
7	1	1,58	0,279
7	2	1,59	0,267
7	3	1,67	0,240
7	4	1,45	0,290
7	5	1,54	0,265
8	1	1,27	0,351
8	2	1,34	0,327
8	3	1,43	0,299
8	4	1,56	0,271
8	5	1,47	0,300
9	1	1,51	0,273
9	2	1,52	0,276
9	3	1,49	0,282
9	4	1,47	0,290
9	5	1,41	0,304
10	1	1,28	0,339
10	2	1,37	0,308
10	3	1,50	0,269
10	4	1,41	0,291

Nr powierzchni	Powtórzenie	LAI [m ² /m ²]	DIFN
10	5	1,41	0,296
11	1	1,43	0,287
11	2	1,44	0,288
11	3	1,38	0,296
11	4	1,16	0,373
11	5	1,06	0,400
12	1	1,55	0,275
12	2	1,68	0,248
12	3	1,76	0,228
12	4	1,75	0,227
12	5	1,81	0,220
13	1	2,16	0,161
13	2	2,02	0,197
13	3	1,64	0,274
13	4	1,80	0,234
13	5	1,74	0,253
14	1	1,38	0,330
14	2	1,57	0,269
14	3	1,41	0,318
14	4	1,45	0,305
14	5	1,82	0,213
15	1	1,53	0,266
15	2	1,36	0,315
15	3	1,12	0,397
15	4	1,15	0,379
15	5	1,16	0,376
16	1	1,18	0,365
16	2	1,02	0,425
16	3	1,03	0,413

Nr powierzchni	Powtórzenie	LAI [m ² /m ²]	DIFN
16	4	1,20	0,352
16	5	1,26	0,337
17	1	1,43	0,295
17	2	1,48	0,280
17	3	1,63	0,245
17	4	1,74	0,225
17	5	1,52	0,285
18	1	1,45	0,328
18	2	1,40	0,349
18	3	1,23	0,396
18	4	1,53	0,305
18	5	1,85	0,219
19	1	1,34	0,315
19	2	1,34	0,318
19	3	1,35	0,317
19	4	1,36	0,313
19	5	1,34	0,318
20	1	1,46	0,291
20	2	1,42	0,300
20	3	1,46	0,292
20	4	1,51	0,278
20	5	1,51	0,278
21	1	1,41	0,301
21	2	1,48	0,286
21	3	1,45	0,293
21	4	1,46	0,289
21	5	1,51	0,279
22	1	2,28	0,153
22	2	2,24	0,164

Nr powierzchni	Powtórzenie	LAI [m ² /m ²]	DIFN
22	3	2,20	0,169
22	4	2,31	0,149
22	5	2,24	0,161
23	1	1,99	0,205
23	2	1,81	0,239
23	3	1,73	0,253
23	4	1,75	0,253
23	5	1,84	0,220
24	1	1,42	0,300
24	2	1,49	0,287
24	3	1,49	0,289
24	4	1,44	0,306
24	5	1,37	0,323
25	1	1,31	0,350
25	2	1,03	0,421
25	3	1,49	0,292
25	4	1,22	0,369
25	5	1,38	0,315
26	1	2,39	0,126
26	2	2,72	0,091
26	3	2,12	0,167
26	4	2,44	0,119
26	5	2,24	0,152
27	1	1,09	0,379
27	2	1,17	0,354
27	3	1,17	0,354
27	4	1,13	0,367
27	5	1,16	0,360
28	1	1,02	0,402

Nr powierzchni	Powtórzenie	LAI [m ² /m ²]	DIFN
28	2	0,97	0,423
28	3	0,99	0,413
28	4	0,98	0,418
28	5	0,98	0,419
29	1	1,19	0,348
29	2	1,05	0,397
29	3	1,13	0,364
29	4	0,98	0,423
29	5	1,17	0,353
30	1	1,01	0,406
30	2	1,16	0,356
30	3	1,02	0,404
30	4	1,13	0,366
30	5	0,99	0,414

Tabela IV.7. Średnie wartości indeksu powierzchni liściowej (LAI; m²/m²) oraz względnego natężenia światła rozproszonego (DIFN; jednostka niemianowana) docierającego do dna lasu na powierzchniach doświadczalnych. W tabeli podano wartości błędu standardowego (SE) oraz odchylenia standardowego (SD) oraz wynik jednoczynnikowej analizy wariancji i testu Tukeya.

Nr powierzchni	LAI	SE	SD	Test Tukeya	DIFN	SE	SD	Test Tukeya
1	4,336	0,008	0,018	A	0,0220	0,0003	0,0007	N
2	3,690	0,046	0,102	B	0,0398	0,0015	0,0033	N
3	2,392	0,040	0,088	C	0,1260	0,0051	0,0113	M
4	0,804	0,029	0,065	M	0,4884	0,0118	0,0263	A
5	1,030	0,064	0,143	KLM	0,4008	0,0222	0,0496	BC
6	4,094	0,040	0,090	A	0,0270	0,0010	0,0022	N
7	1,566	0,036	0,080	EFG	0,2682	0,0084	0,0187	HIJK
8	1,414	0,050	0,113	GHI	0,3096	0,0136	0,0305	EFGHI
9	1,480	0,019	0,044	FGH	0,2850	0,0056	0,0124	GHIJK

Nr powierzchni	LAI	SE	SD	Test Tukeya	DIFN	SE	SD	Test Tukeya
10	1,394	0,036	0,080	GHI	0,3006	0,0115	0,0257	FGHIJ
11	1,294	0,077	0,173	GHIJK	0,3288	0,0240	0,0536	CDEFGH
12	1,710	0,045	0,101	DEF	0,2396	0,0100	0,0224	IJK
13	1,872	0,095	0,213	D	0,2238	0,0202	0,0451	KL
14	1,526	0,080	0,180	FGH	0,2870	0,0211	0,0473	GHIJK
15	1,264	0,079	0,176	HIJKL	0,3466	0,0244	0,0547	BCDEFG
16	1,138	0,048	0,107	IJKL	0,3784	0,0173	0,0386	BCDE
17	1,560	0,056	0,125	EFG	0,2660	0,0133	0,0297	HIJK
18	1,492	0,102	0,228	FGH	0,3194	0,0292	0,0654	DEFGH
19	1,346	0,004	0,009	GHIJ	0,3162	0,0010	0,0022	DEFGH
20	1,472	0,017	0,038	FGH	0,2878	0,0043	0,0096	FGHIJK
21	1,462	0,017	0,037	FGH	0,2896	0,0037	0,0082	FGHIJK
22	2,254	0,019	0,042	C	0,1592	0,0036	0,0081	LM
23	1,824	0,046	0,103	DE	0,2340	0,0094	0,0211	JKL
24	1,442	0,023	0,051	FGH	0,3010	0,0065	0,0146	FGHIJ
25	1,286	0,078	0,174	GHIJK	0,3494	0,0223	0,0500	BCDEFG
26	2,382	0,102	0,227	C	0,1310	0,0132	0,0296	M
27	1,144	0,015	0,034	IJKL	0,3628	0,0047	0,0105	BCDEF
28	0,988	0,009	0,019	LM	0,4150	0,0036	0,0081	AB
29	1,104	0,039	0,088	JKL	0,3770	0,0143	0,0320	BCDE
30	1,062	0,035	0,077	JKLM	0,3892	0,0117	0,0263	BCD
ANOVA	<i><0,0001</i>				<i><0,0001</i>			

1.5 Podsumowanie i wnioski

Cyfrowe zdjęcia hemisferyczne są bardzo przydatnym materiałem do określania podstawowych parametrów koron drzew, m. in. przy badaniach związanych z oceną wpływu zwarcia i zagęszczenia na rozwój młodego pokolenia drzew. Możliwe jest także wykorzystywanie LAI w ocenie biomasy igieł/liści, co z kolei jest niezwykle przydatnym wskaźnikiem wspomagającym ocenę sekwestracji węgla w ekosystemach leśnych.

LAI szacowany na bazie zdjęć hemisferycznych może być weryfikowany np. poprzez tzw. instrumentalne pomiary LAI (z wykorzystaniem specjalistycznego sprzętu), równania allometryczne czy zbiór aparatu asymilacyjnego bezpośrednio z drzew lub z dna lasu.

Z doświadczeń wynika, że indeks powierzchni liściowej może znaleźć szerokie zastosowanie, poza tym, które znalazł już w badaniach ekologicznych, biogeochemicznych i meteorologicznych, także w urządzaniu lasu. Spośród dwóch omówionych metod pomiaru LAI metoda zdjęć hemisferycznych wydaje się być perspektywiczna do wprowadzenia w pracach urządzeniowych.

2. Fotomapa koron drzew

2.1 Opis metody

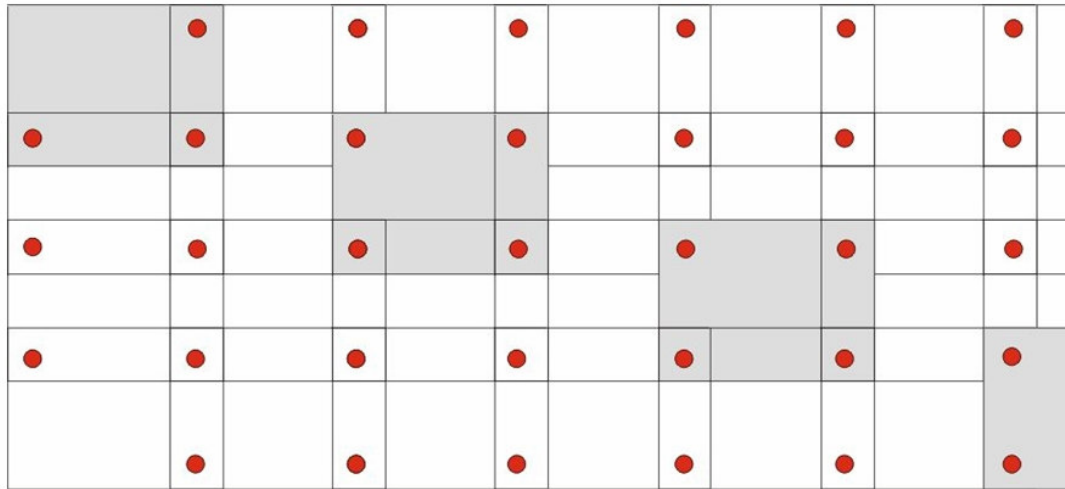
Technologia cyfrowej fotografii w przeciwieństwie do fotografii analogowej umożliwia wykonywanie bardzo dużej liczby zdjęć w stosunkowo krótkim czasie przy minimalnych kosztach pozyskania i dalszej obróbki obrazów. W niniejszym opracowaniu technologię tą wykorzystano do utworzenia zobrazowania rzutów koron, co umownie nazwano **fotomapą koron drzew** [Strzeliński, 2006b].

Liczba punktów (odległość pomiędzy nimi), z których wykonywane są zdjęcia, dobrano w zależności od wielkości badanej powierzchni (drzewostanu) oraz przeciętnej wysokości drzew.

Zdjęcia wykonywano z zachowaniem następujących warunków:

- zdjęcia wykonywano kamerą zamontowaną na statywie,
- obiektyw (górną soczewką) ustawiano na wysokości 150 cm (nad powierzchnią gruntu),
- ustalano i oznaczano kierunek N-S (za pomocą busoli i tyczki pomiarowej),
- na każdym stanowisku pomiarowym poziomowano kamerę (z wykorzystaniem trójzakresowej libelki montowanej w sankach lampy błyskowej kamery),
- kamerę ustawiano w zakresie czułości – ISO 400 (podczas słonecznego dnia – ISO 100),
- kamerę ustawiano na czasie migawki – nie dłuższym niż 1/125,
- kamerę ustawiano na maksymalnej rozdzielczości,
- ustawiano zapis plików w formacie JPEG.

Dodatkowo, w celu ustalenia punktów wspólnych dla sąsiednich zdjęć, wykorzystano tyczki, które w terenie rozmieszczano w taki sposób, aby były widoczne w narożnikach kadrów (ryc. IV.9.).



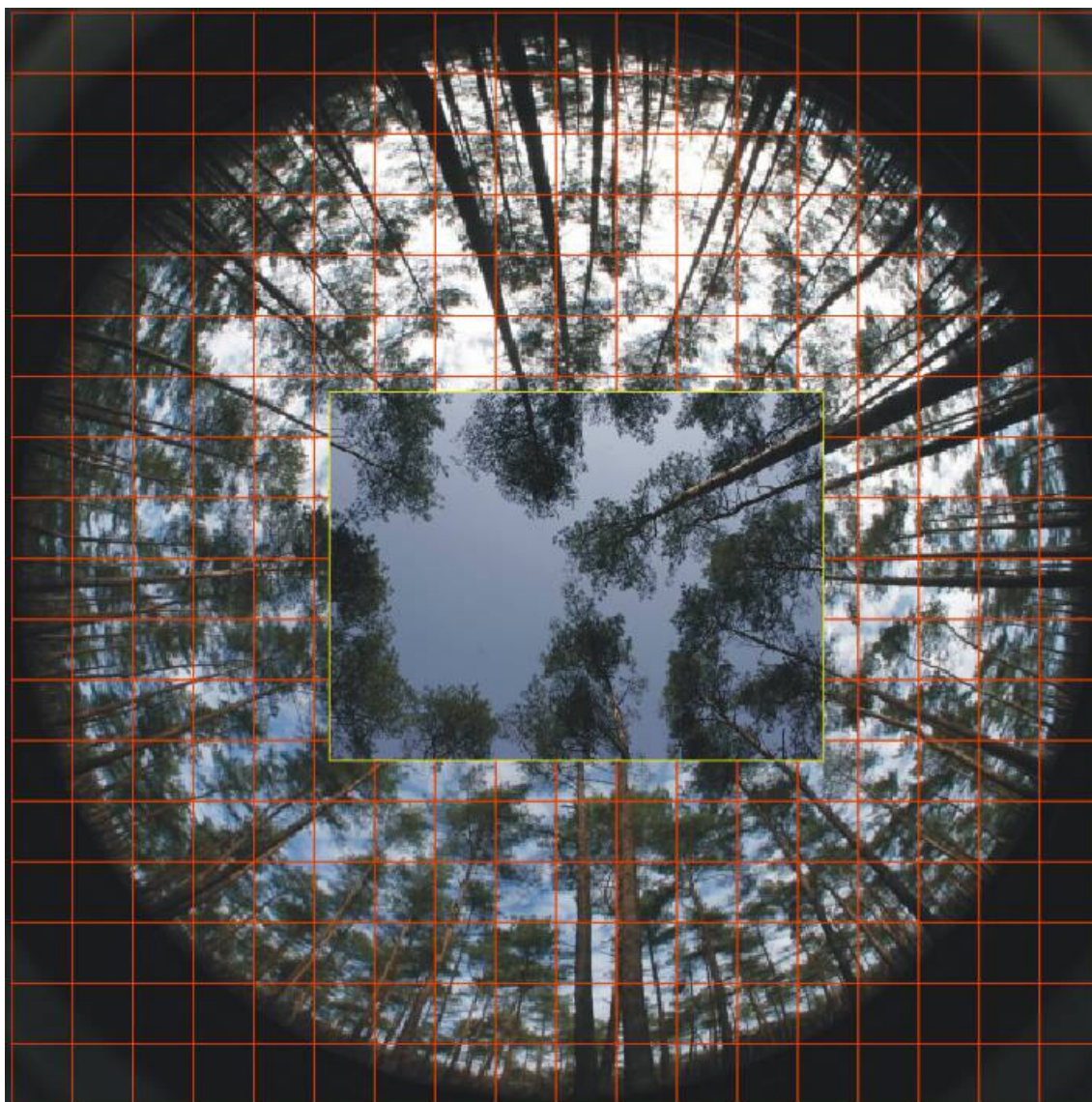
Ryc. IV.9. Schemat rozmieszczenia tyczek w narożnikach poszczególnych kadrów.



Fot. IV.3. Zdjęcie hemisferyczne nr 7440, wykonane ze środka pow. nr 17. Wykorzystano zestaw Canon EOS 20D z obiektywem Canon EF-S 18-55/3,5-5,6 oraz konwerterem typu „fish-eye” Raynox DCR-CF 185PRO; uzyskany kąt widzenia – ponad 180°.



Fot. IV.4. Zdjęcie nr 0660, wykonane ze środka pow. nr 17. Wykorzystano zestaw Canon EOS 20D z obiektywem Canon EF 17-40/4,0 L; uzyskany kąt widzenia – ok. 85°.



Ryc. IV.10. Porównanie wielkości i przestrzeni objętej kadrem zdjęcia hemisferycznego (w zakresie czerwonej siatki) oraz zdjęcia wykorzystywanego do fotomapy koron (w zakresie żółtej ramki).

Przy sporządzaniu fotomapy koron testowano dwa zestawy kamer cyfrowych – jeden (zestaw nr 1) składający się z:

- kamery cyfrowej typu SLR („lustrzanka”) – Canon EOS 20D (matryca 8 MP),
- obiektywu Canon EF 17-40/4,0 L,

oraz drugi (zestaw nr 2), składający się z:

- kamery cyfrowej typu SLR („lustrzanka”) – Canon EOS 20D (matryca 8 MP),

- obiektywu Canon EF-S 18-55/3,5-5,6,

Jednakże ze względu na jakość testowanej optyki, zrezygnowano z zestawu nr 2. Obiektyw Canon EF 17-40/4,0 L charakteryzuje się m.in. wysoką jakością szkieł i nieporównywalnie mniejszymi zniekształceniami na obrzeżach kadru w stosunku do obiektywu Canon EF-S 18-55/3,5-5,6.

Do opracowania materiałów wykorzystano oprogramowanie CorelDRAW Graphics Suite - Version 12.0 PL (w szczególności moduły: Corel PHOTO-PAINT 12, CorelDRAW 12, CorelTRACE 12).

Tworzenie fotomapy koron drzew można podzielić na następujące etapy:

1. Kadrowanie i złożenie poszczególnych zdjęć do postaci mozaiki
2. Opracowanie graficzne mozaiki
3. Wektoryzacja obrazu rastrowego
4. Porównanie z obrazami koron zarejestrowanymi innymi metodami

Zdjęcia wykonano na poligonie badawczym na terenie Nadleśnictwa Milicz. Lokalizację wszystkich powierzchni wykorzystywanych w projekcie głównym przedstawiają ryciny 1.-4. z rozdziału pt.: „Możliwości zastosowania w praktyce zdjęć hemisferycznych”. W niniejszym opracowaniu wykorzystano materiał zarejestrowany na pow. nr 17. Zdjęcia wykonano w okresach od 19 do 20 listopada 2006 roku z powtórzeniem i uzupełnieniem niektórych materiałów w dniach 24 i 25 marca 2007 roku (tabela IV.7.).

Tabela IV.7. Zakres badań.

Nazwa i opis zadania	
1.	Prace przygotowawcze
1.1.	zebranie literatury
1.2.	opracowanie metodyki
1.3.	wybór powierzchni próbnych
2.	Prace terenowe - wykonanie zdjęć
3.	Prace kameralne
3.1.	opracowanie graficzne zdjęć

3.2. wektoryzacja koron

4. Prace terenowe i kameralne

4.1. weryfikacja i ewentualne uzupełnienie zdjęć wykonanych w 2006 roku

4.2. wykonanie fotomapy koron drzew

4.3. zestawienie otrzymanych wyników z pozostałymi grupami danych (pozostałych wykonawców)

4.4. podsumowanie prac i wnioski

2.1.1 Kadrowanie i złożenie poszczególnych zdjęć do postaci mozaiki

Ze względu na potrzebę zminimalizowania zniekształceń geometrycznych pojawiających się na zdjęciach wykonywanych z użyciem obiektywów szerokokątnych typu zoom zastosowano wysoki procent nakładania – zarówno poprzecznego (ok. 82%), jak i podłużnego (ok. 65%).



Ryc. IV.11. Przykładowe nałożenie na siebie trzech zdjęć (z opcją przenikania).

Do bezpośredniego tworzenia mozaiki wykorzystano środki – kadry zdjęć oryginalnych, które obejmowały ok. 4% powierzchni środka kadru (ryc. IV.12.).



Ryc. IV.12. Porównanie oryginalnego zdjęcia z wielkością kadru (szary obszar w centrum zdjęcia) wykorzystywanego do złożenia mozaiki.

W celu szybszej i łatwiejszej obróbki materiału (ze względu na parametry i wydajność wykorzystywanego sprzętu komputerowego) oryginalne pliki sformatowano do niższej rozdzielczości tak, aby wynikowe pliki (mozaiki) nie przekraczały swoim rozmiarem 250 MB. W efekcie, wykorzystywane do mozaiki kadry charakteryzowała rozdzielczość 700x500 pikseli i rozmiar ok. 250-350 kB (ryc. IV.13.).

Do stworzenia mozaiki wykorzystano łącznie 310 zdjęć.



Ryc. IV.13. Maksymalne powiększenie kadru (wykorzystywanego do złożenia mozaiki) bez utraty jakości (widocznej struktury rastra).

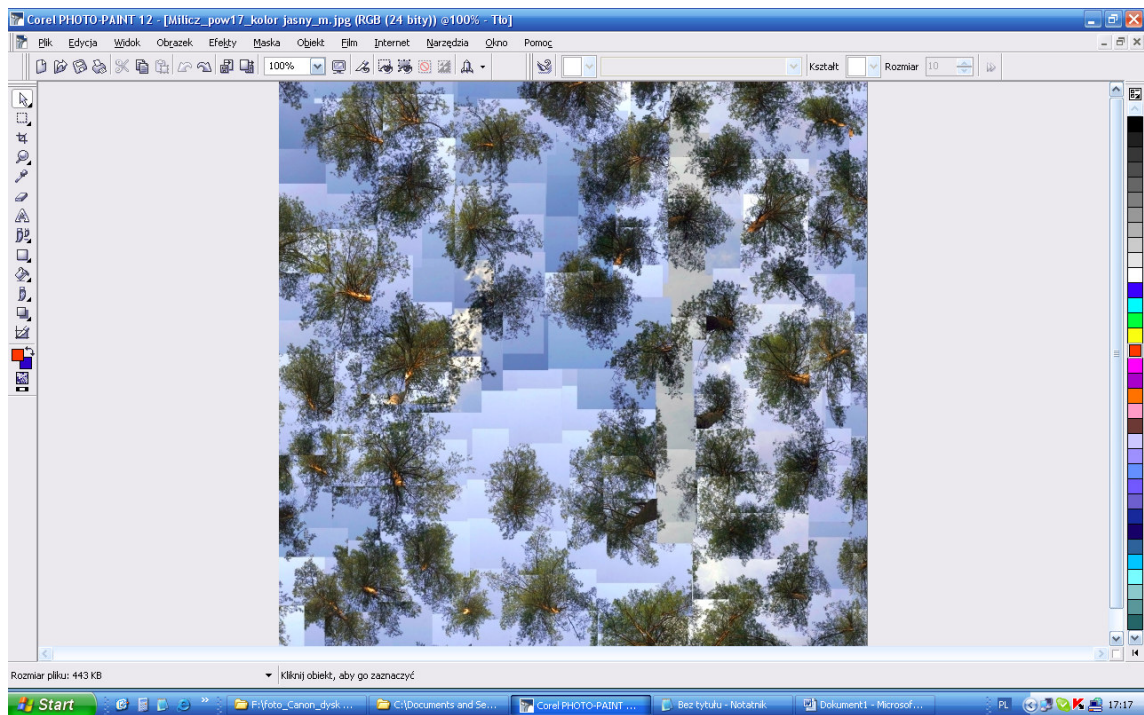
Uzyskany wynik wydaje się być zadowalający pod względem jakości optycznej (rozdzielczości), co ilustruje zrzut ekranu prezentujący fragment korony z nałożoną siatką odpowiadającą odległości 1 m (w doniesieniu do powierzchni gruntu) (ryc. IV.14.).



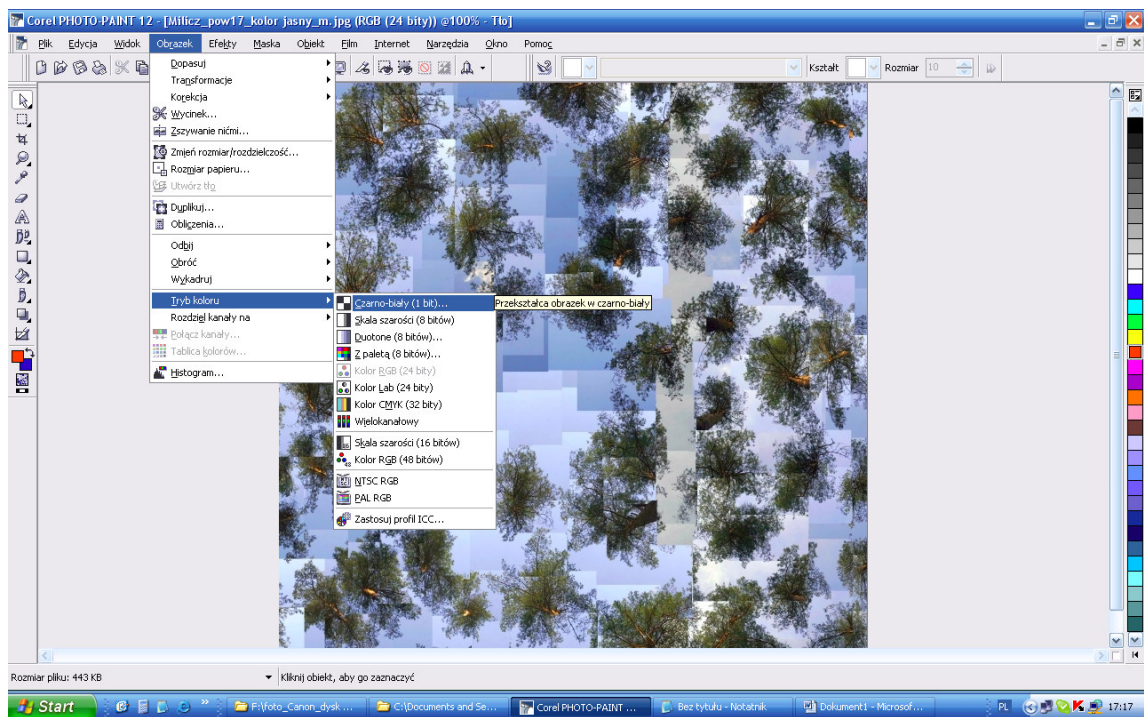
Ryc. IV.14. Fragment korony z nałożoną siatką odpowiadającą odległości 1 m.

2.1.2 Opracowanie graficzne mozaiki

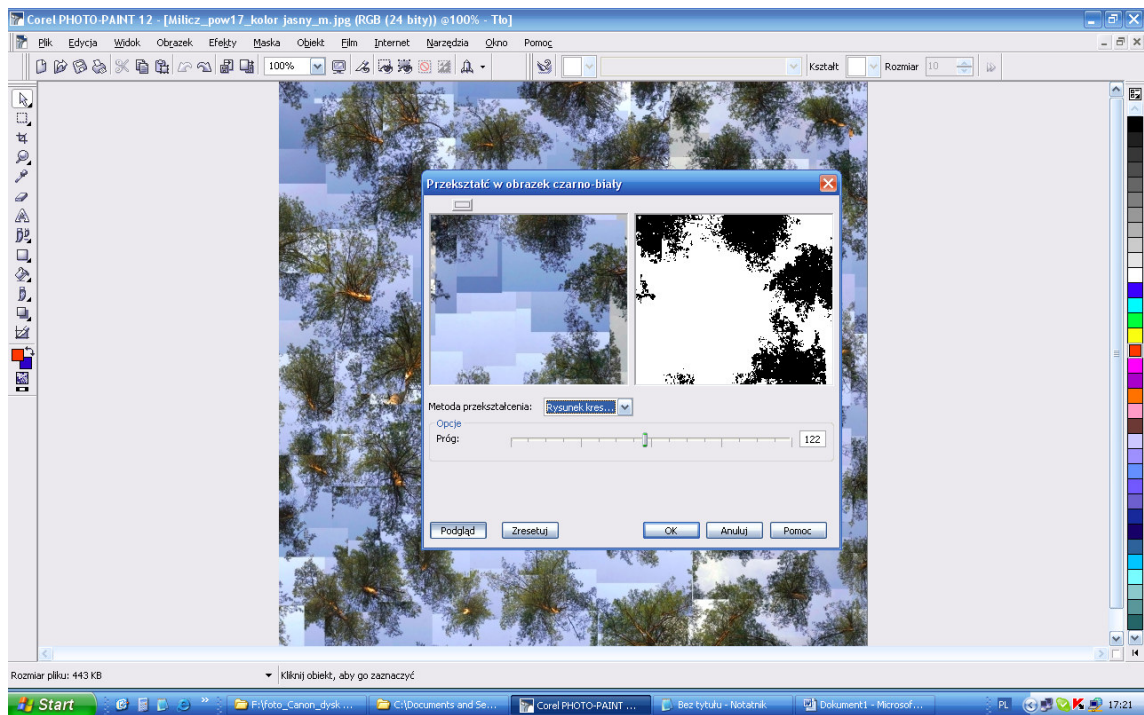
Podrozdział zawiera zilustrowane przykładami poszczególnymi krokami przetwarzania mozaiki zdjęć koron – z postaci obrazu rastrowego RGB (bez wyrównania tonalnego) do postaci wektorów odzwierciedlających granice koron.



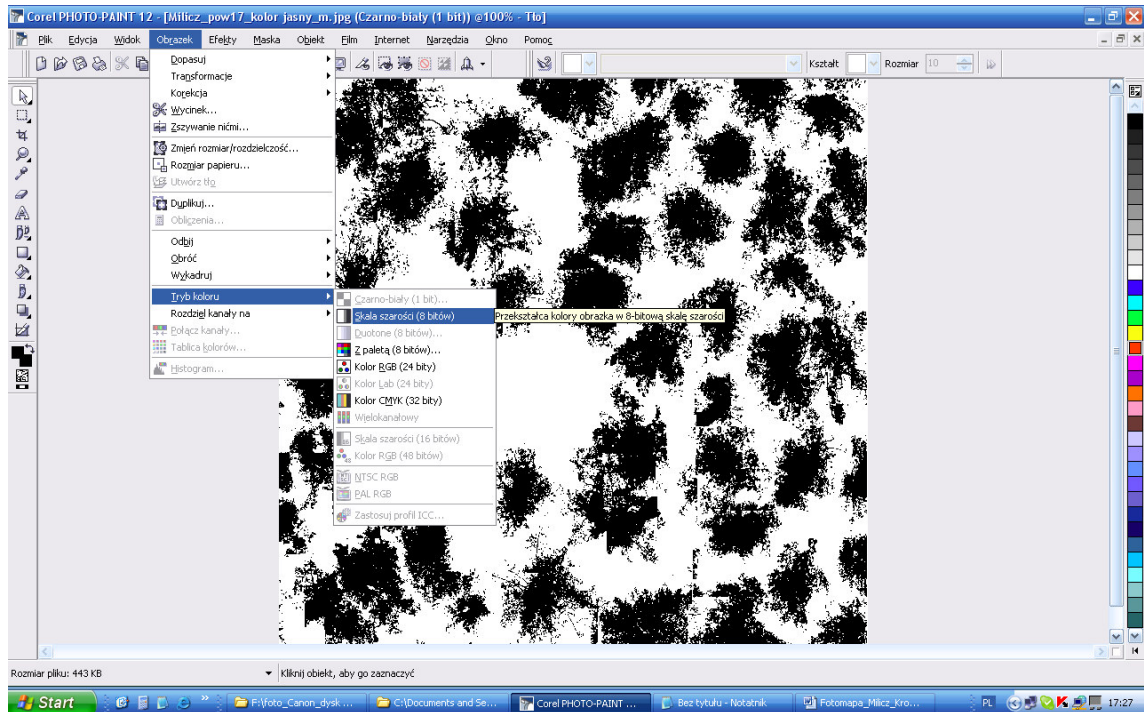
Ryc. IV.15. Dane wejściowe – obraz KOLOR.



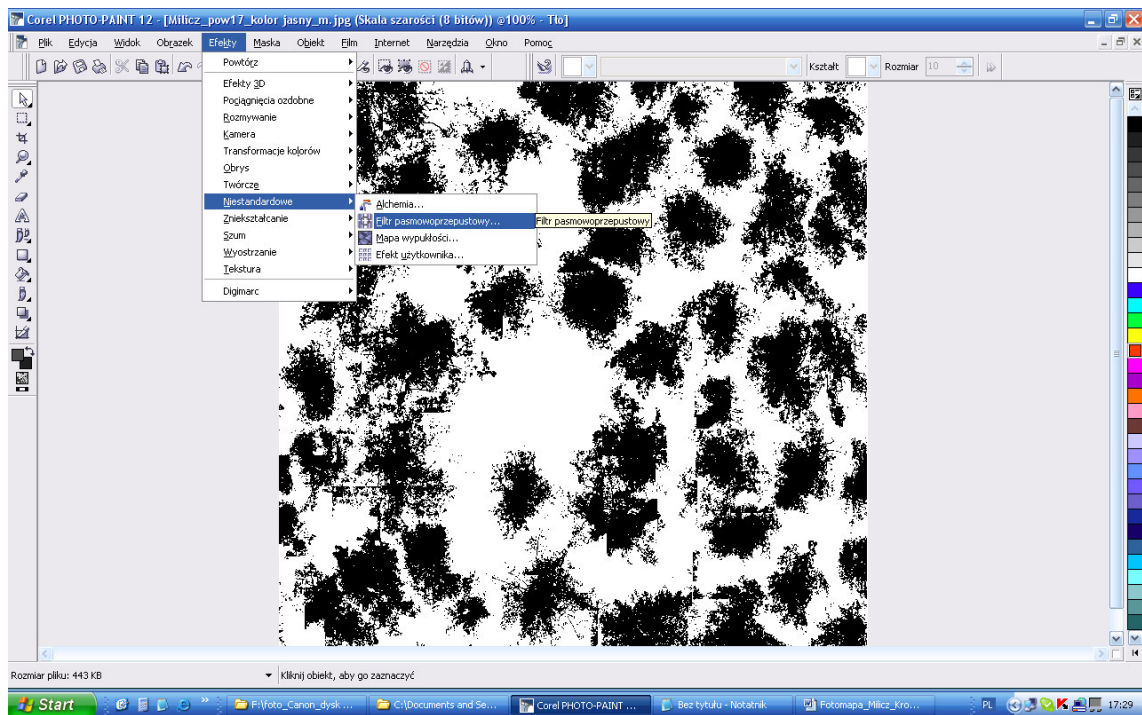
Ryc. IV.16. Przetwarzanie na obraz B&W (czarno-biały).



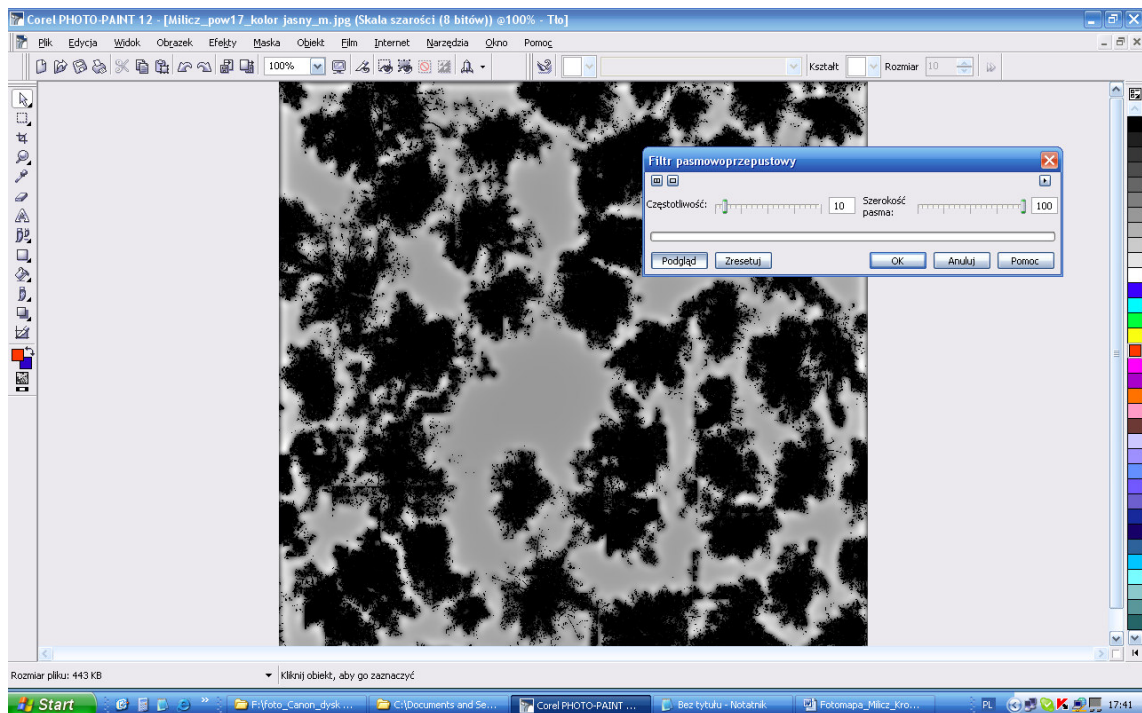
Ryc. IV.17. Metoda przekształcania: Rysunek kreskowy (ważne odpowiednie ustawienie progu – aż do zaniknięcia „szwów”).



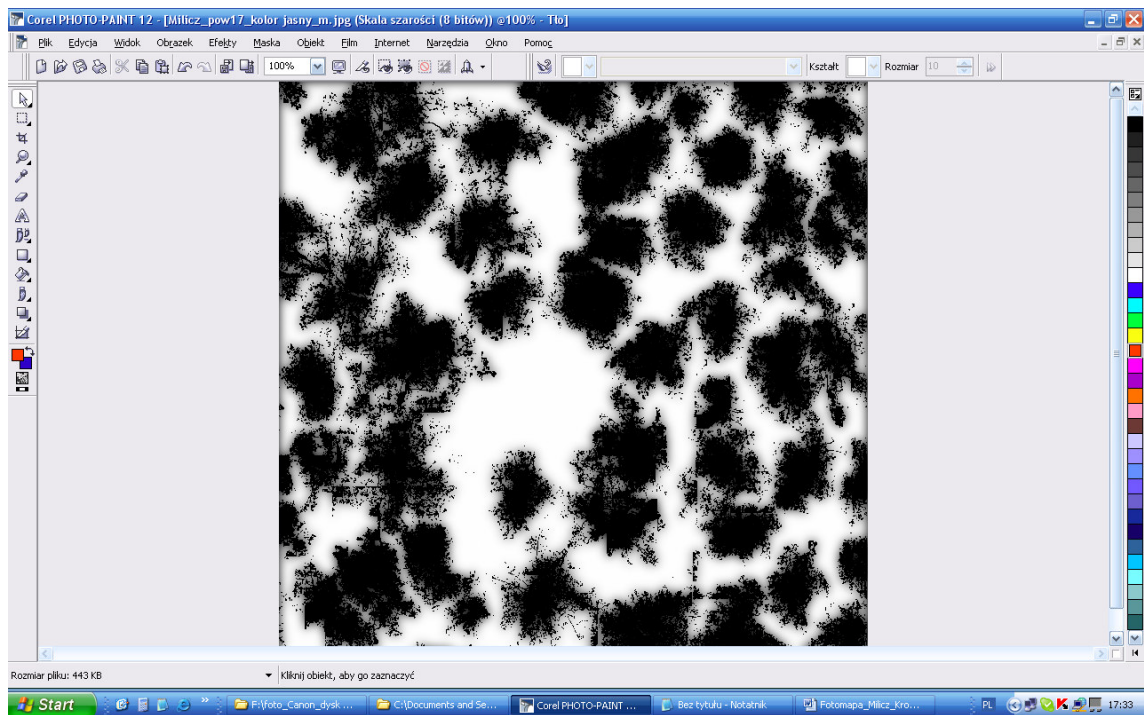
Ryc. IV.18. Przekształcenie obrazu B&W w odcienie szarości (jest to niezbędne do dalszych korekt za pomocą opcji „Efekty”).



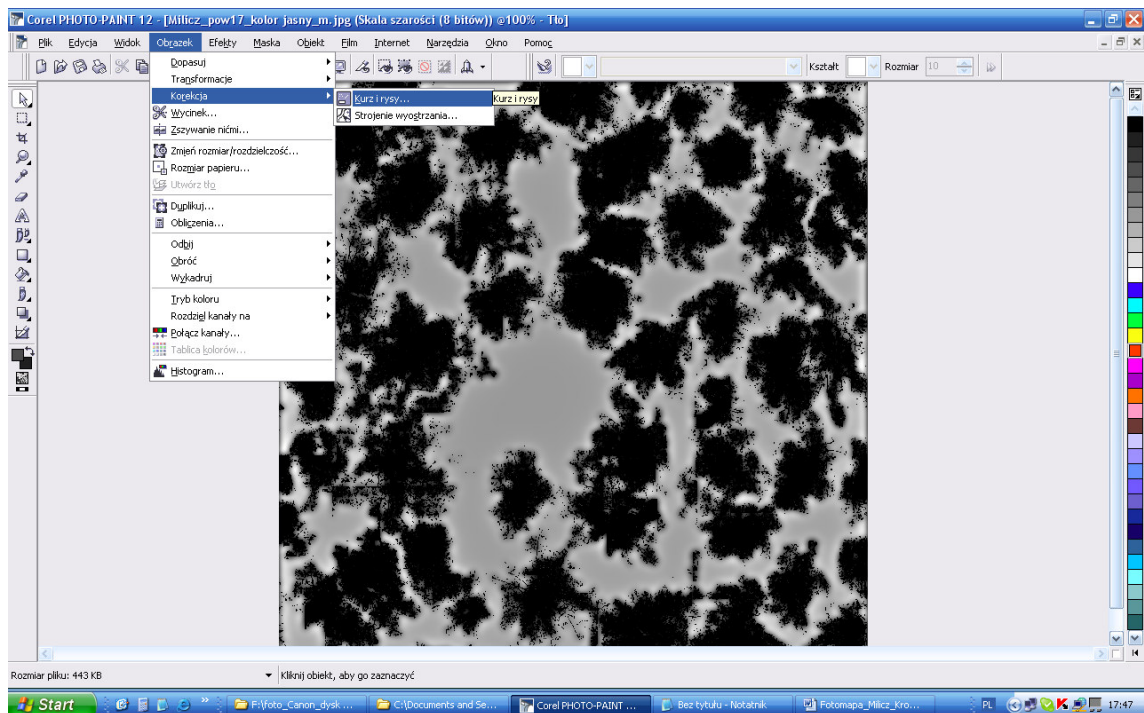
Ryc. IV.19. Przekształcenie obrazu grey za pomocą filtra pasmowoprzepustowego.



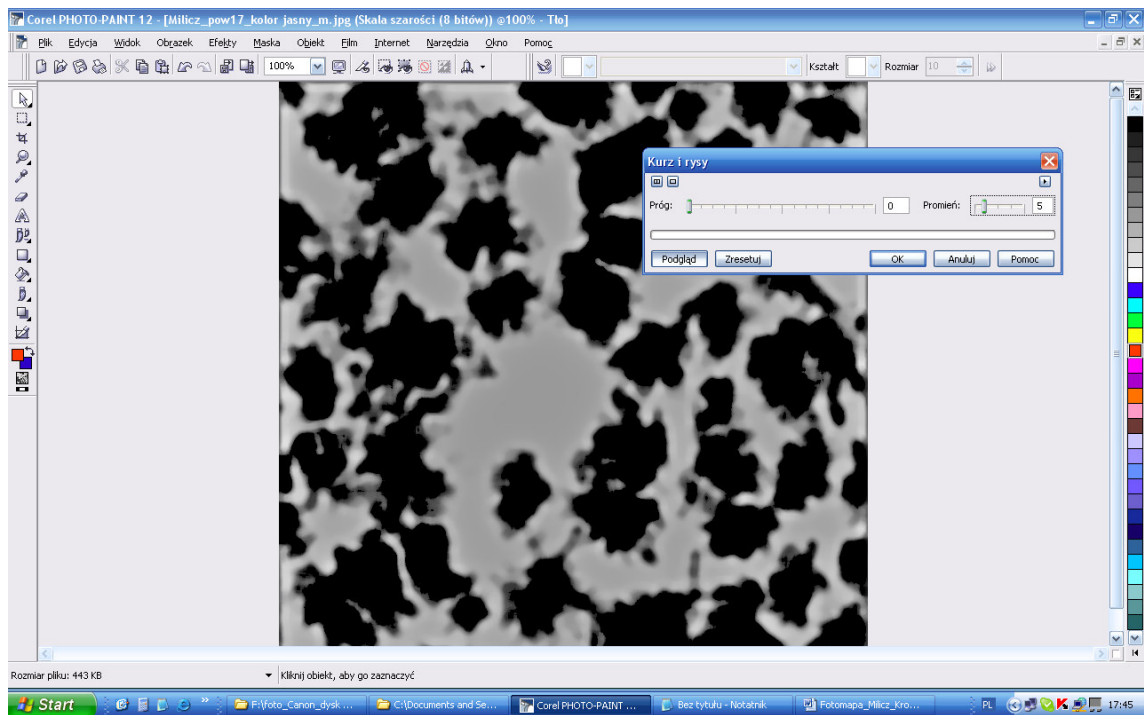
Ryc. IV.20. Przekształcenie obrazu grey za pomocą filtra pasmowoprzepustowego – ustawienia filtra (zalecane – pomiędzy „0” a „10”).



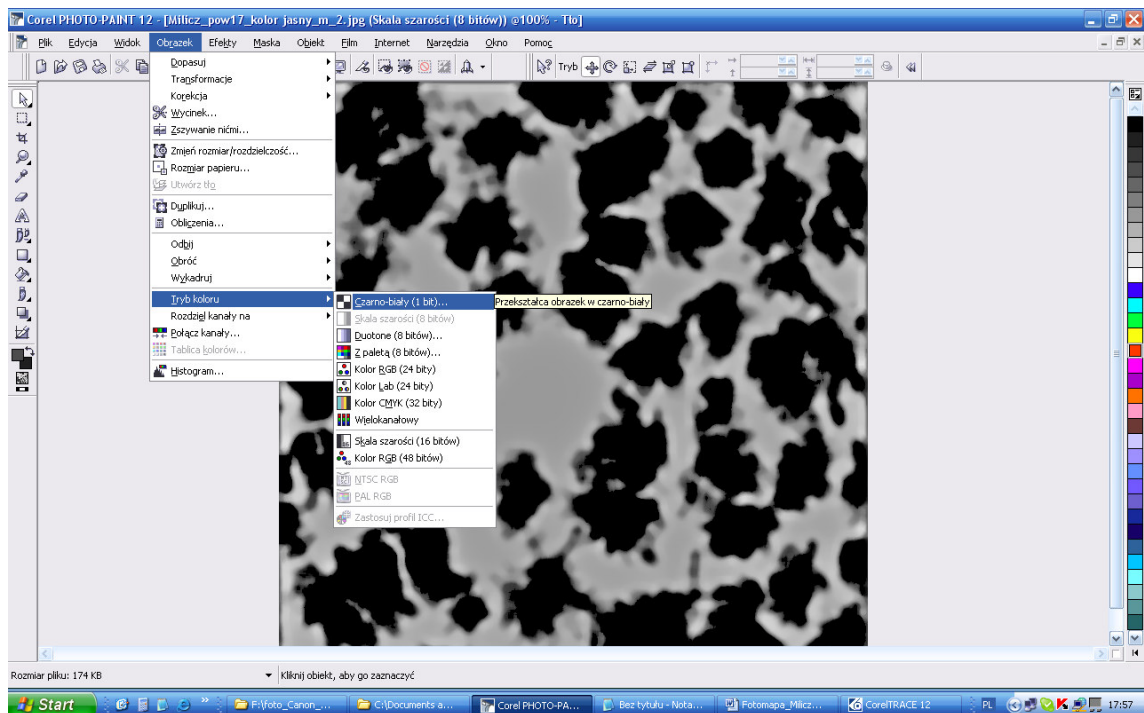
Ryc. IV.21. Efekty/Niestandardowe/Filtr pasmowoprzepustowy – efekt.



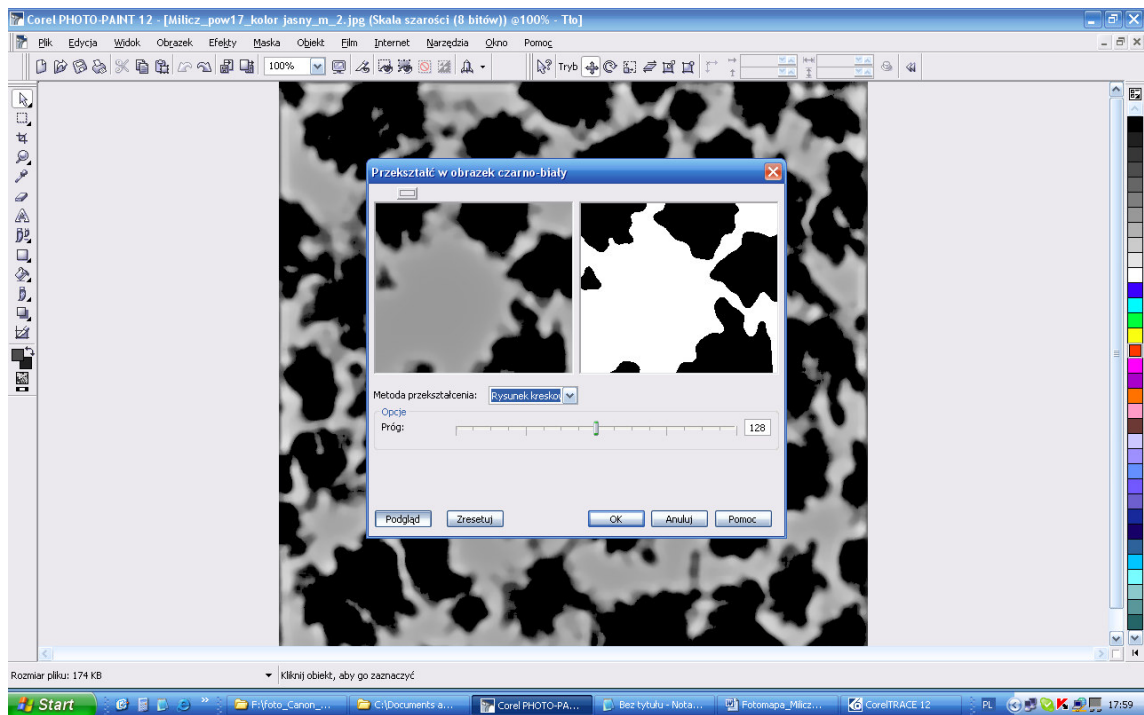
Ryc. IV.22. Usuwanie elementów zbędnych przy wektoryzacji – narzędzie „Kurz i rysy”.



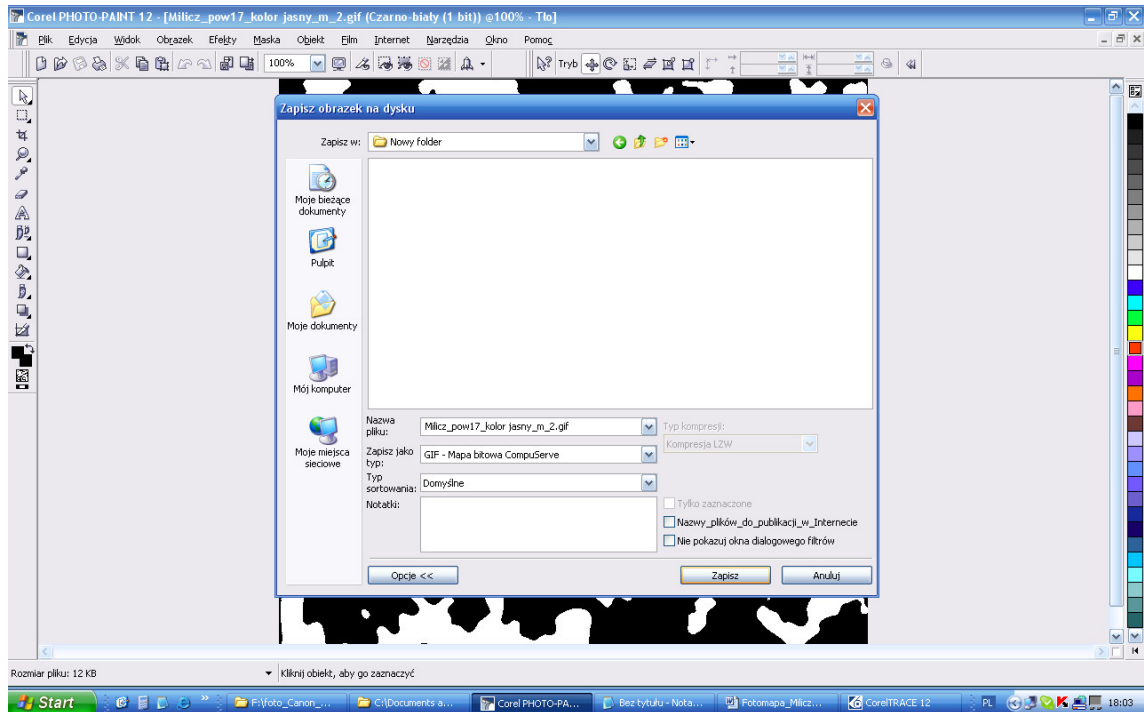
Ryc. IV.23. Ustawienie narzędzia „Kurz i rysy” – zalecany przedział – pomiędzy „2” a „5”.



Ryc. IV.24. Powtórne przekształcenie w obraz B&W.



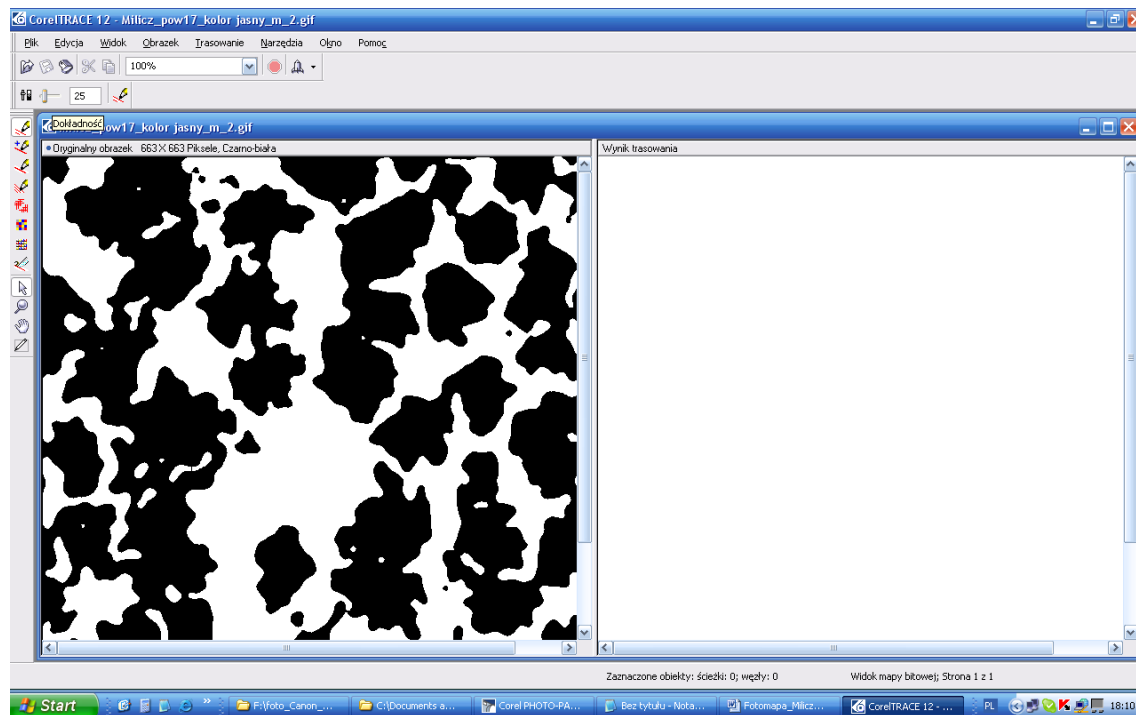
Ryc. IV.25. Ustawienie progu – można zastosować standardowo ustawienie – na połowę zakresu („128”).



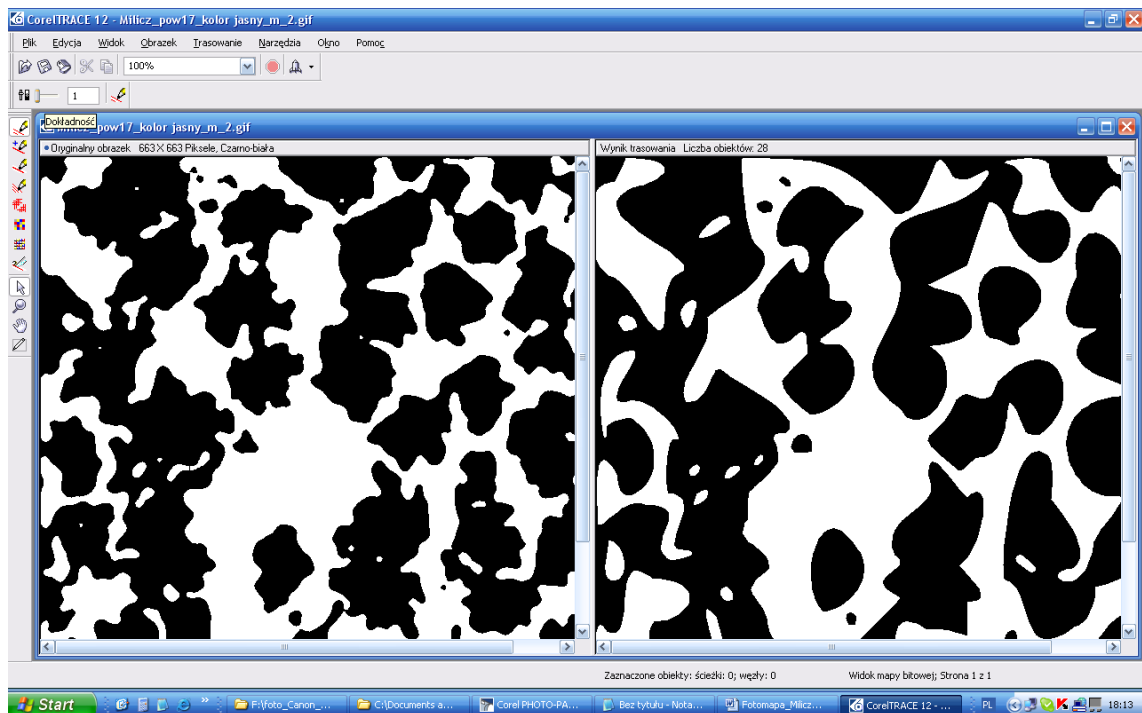
Ryc. IV.26. Zapisanie obrazu do formatu „gif”.

2.1.3 Wektoryzacja obrazu rastrowego

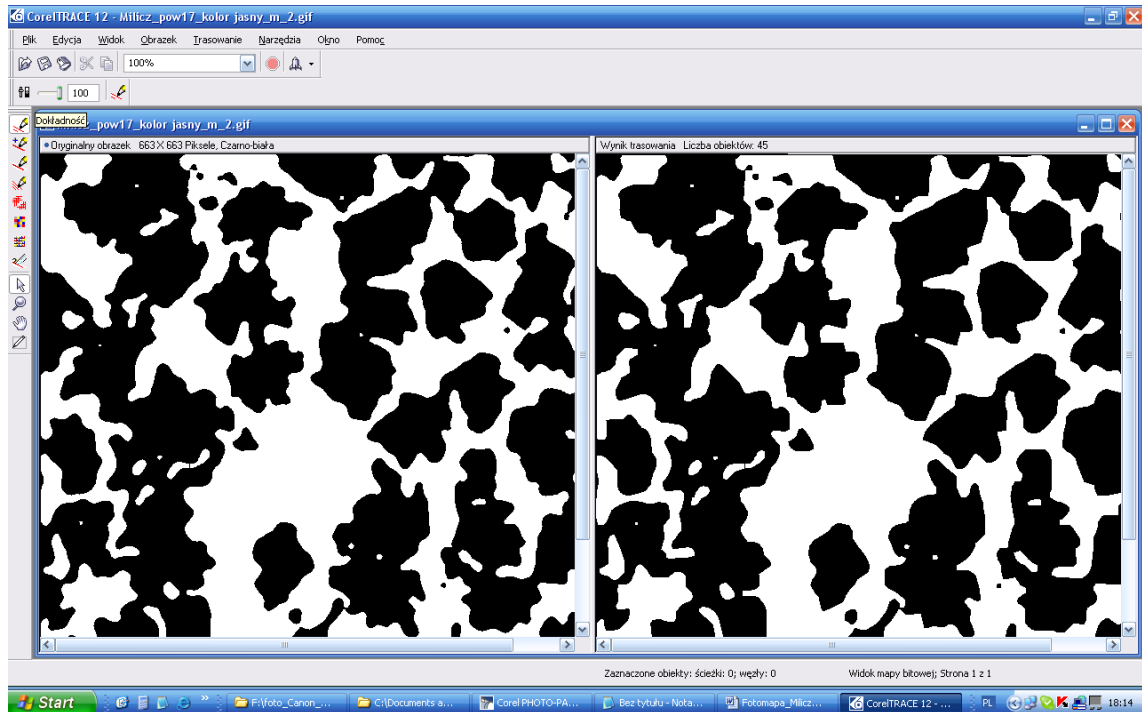
Na ryc. od IV.27. do IV.35. przedstawiono poszczególne kroki i efekty wektoryzacji przetworzonej mozaiki zdjęć.



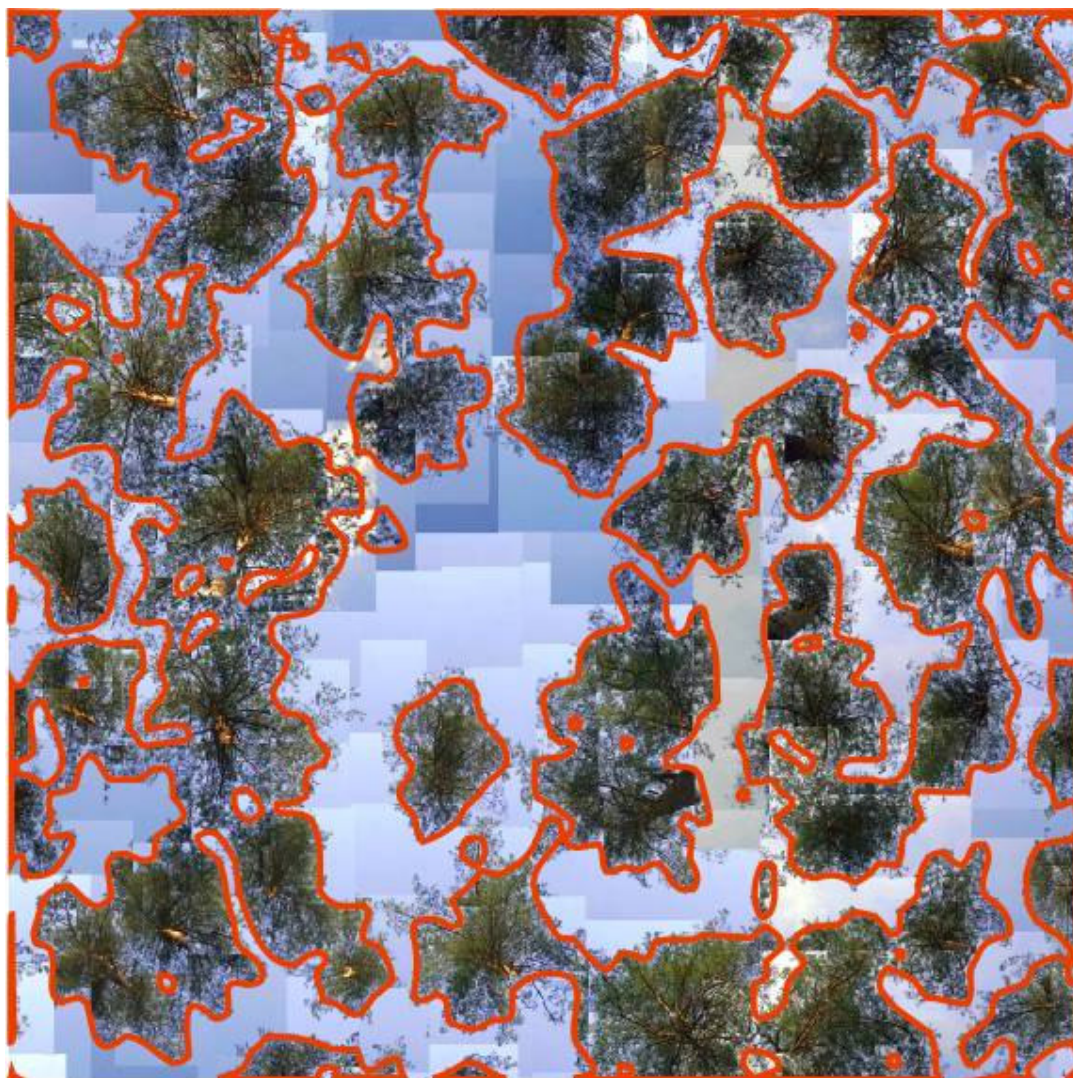
Ryc. IV.27. Wektoryzacja (trasowanie) w programie CorelTRACE – ustawienie rogu dokładności (zalecany: próg maksymalny).



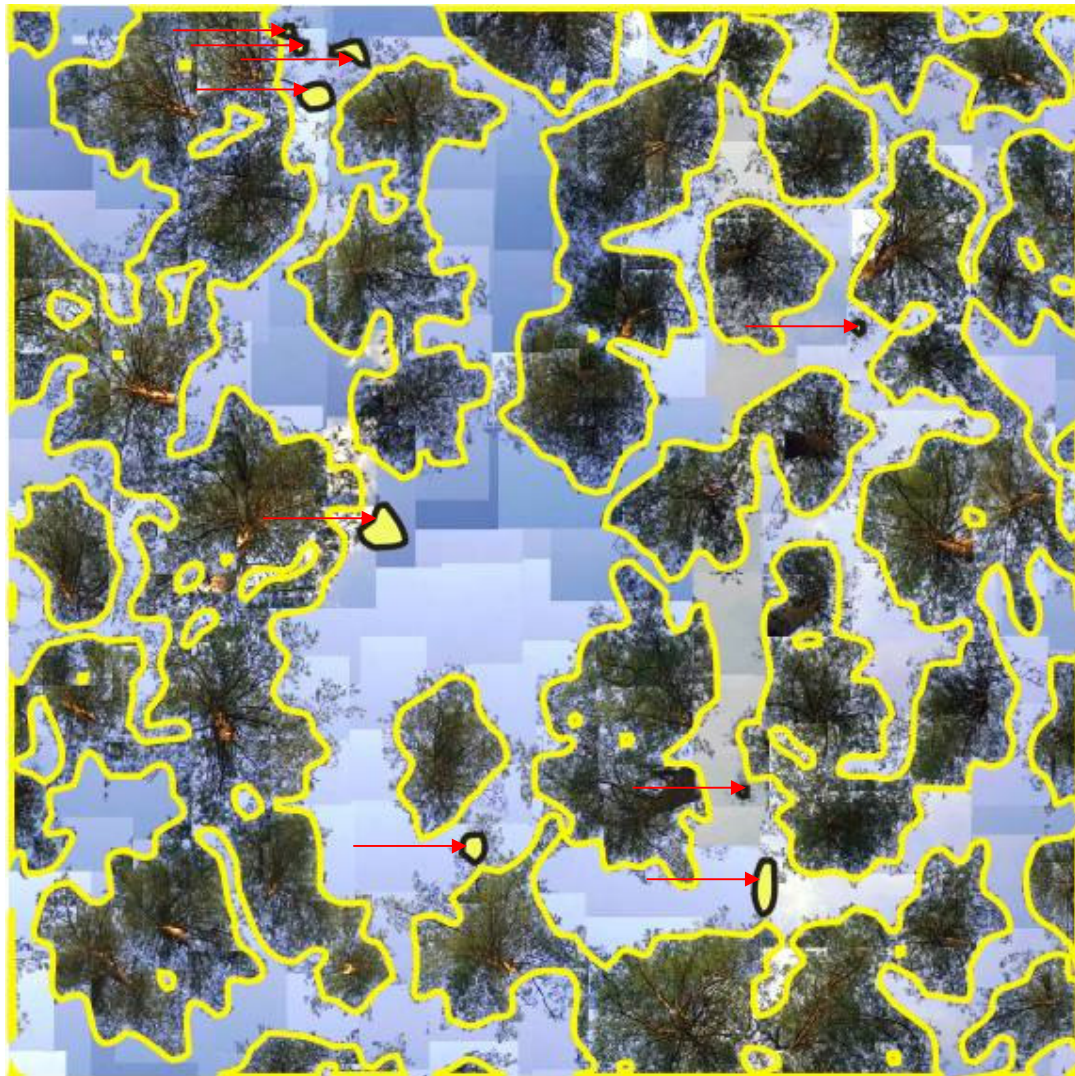
Ryc. IV.28. Wektoryzacja (trasowanie) w programie CorelTRACE – ustawienie rogu dokładności na wartość „1” – tu: 28 obiektów.



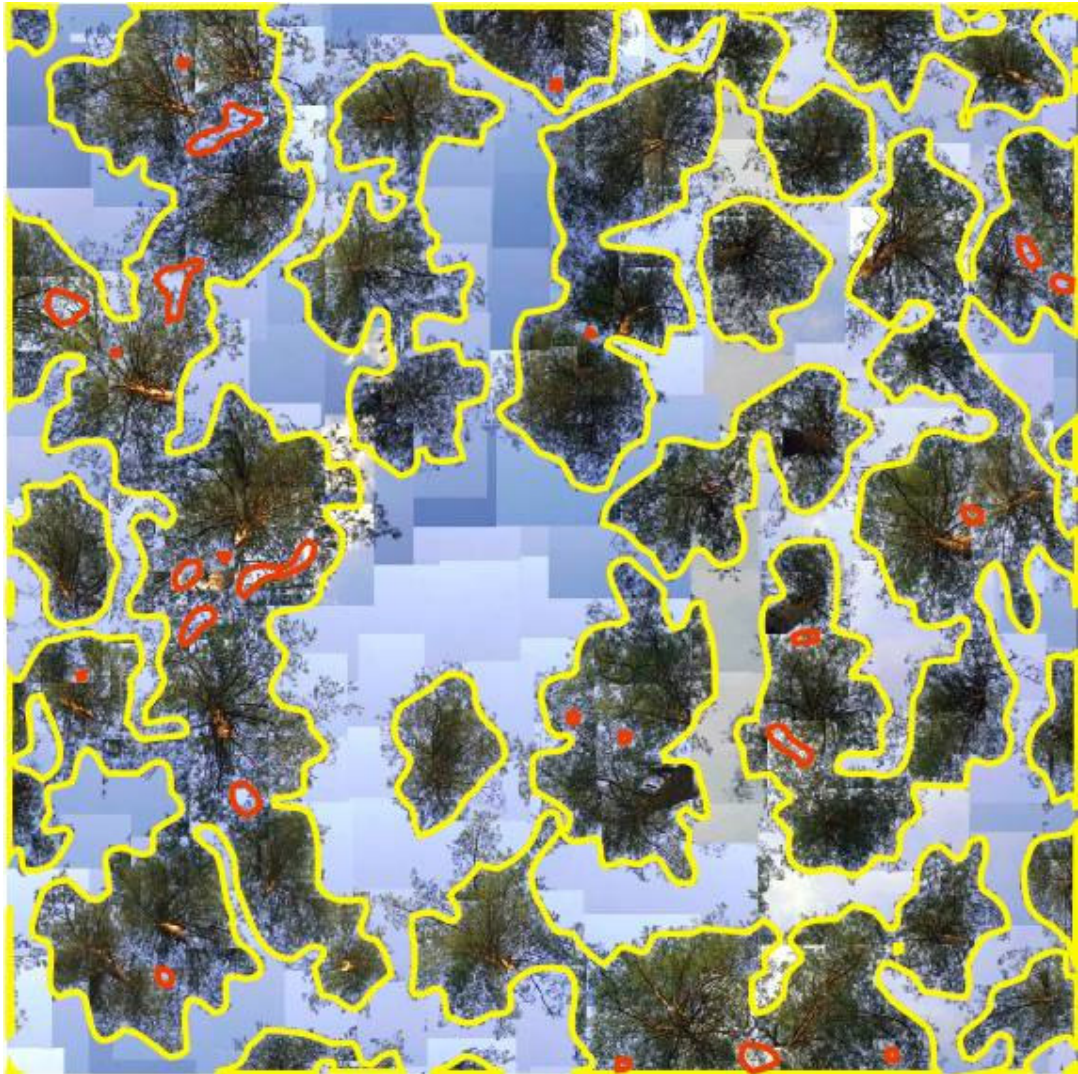
Ryc. IV.29. Wektoryzacja (trasowanie) w programie CorelTRACE – ustawienie rogu dokładności na wartość „100” – tu: 45 obiektów.



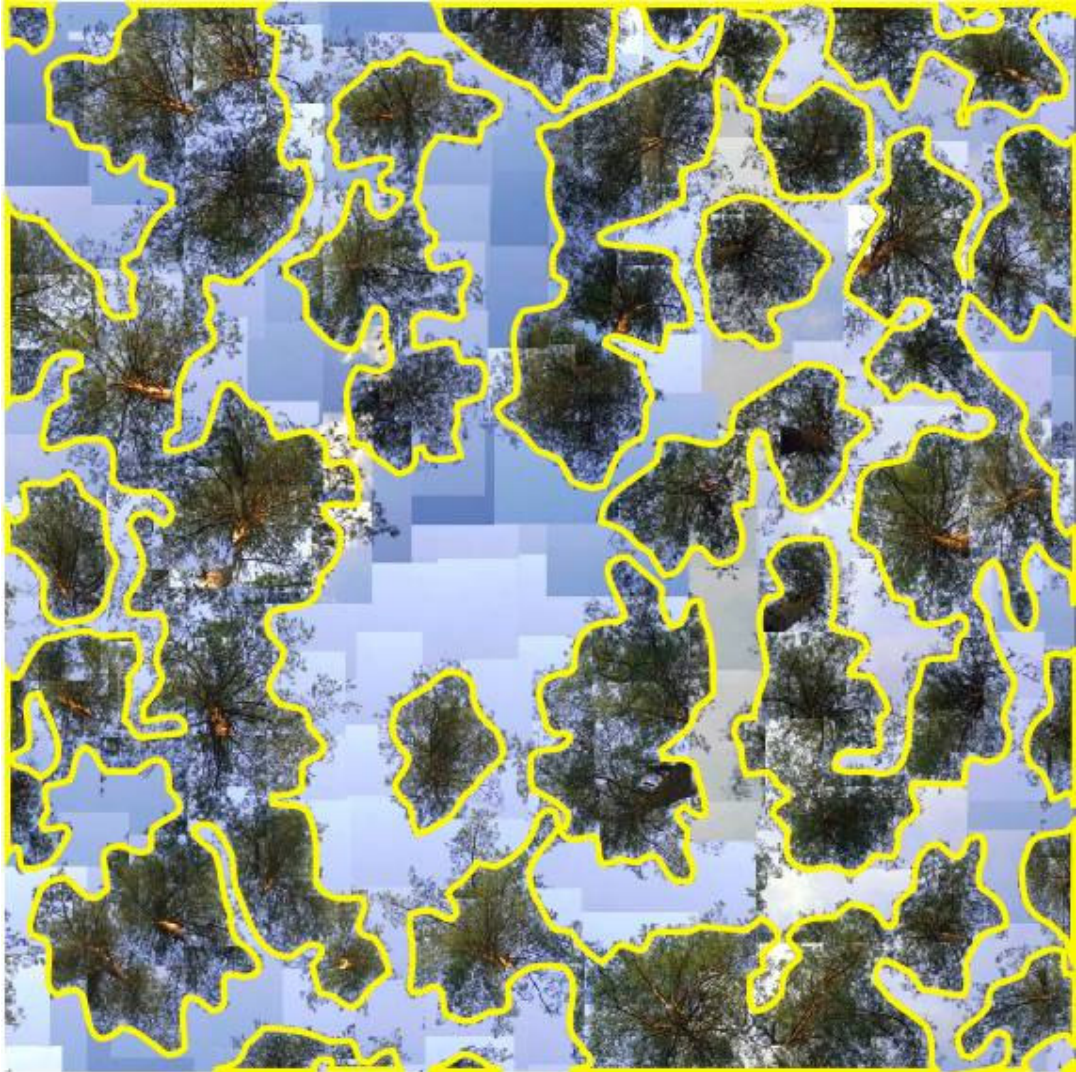
Ryc. IV.30. Wektory granic koron (dla wybranego progu intensywności piksela).



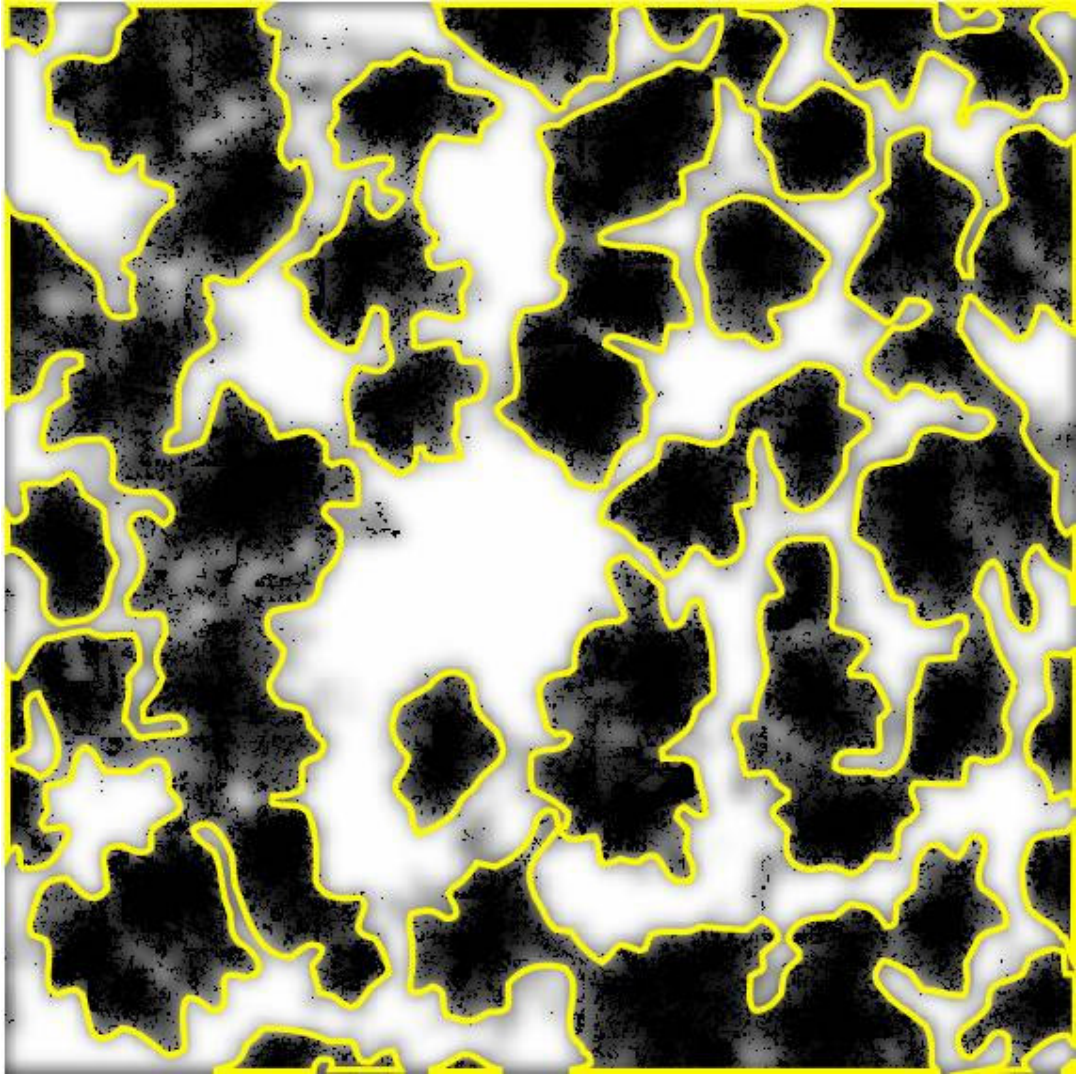
Ryc. IV.31. Wybór wektorów (wskazane czerwonymi strzałkami) nie odzwierciedlających granic koron i jednocześnie nie leżących ‘wewnątrz’ granic koron.



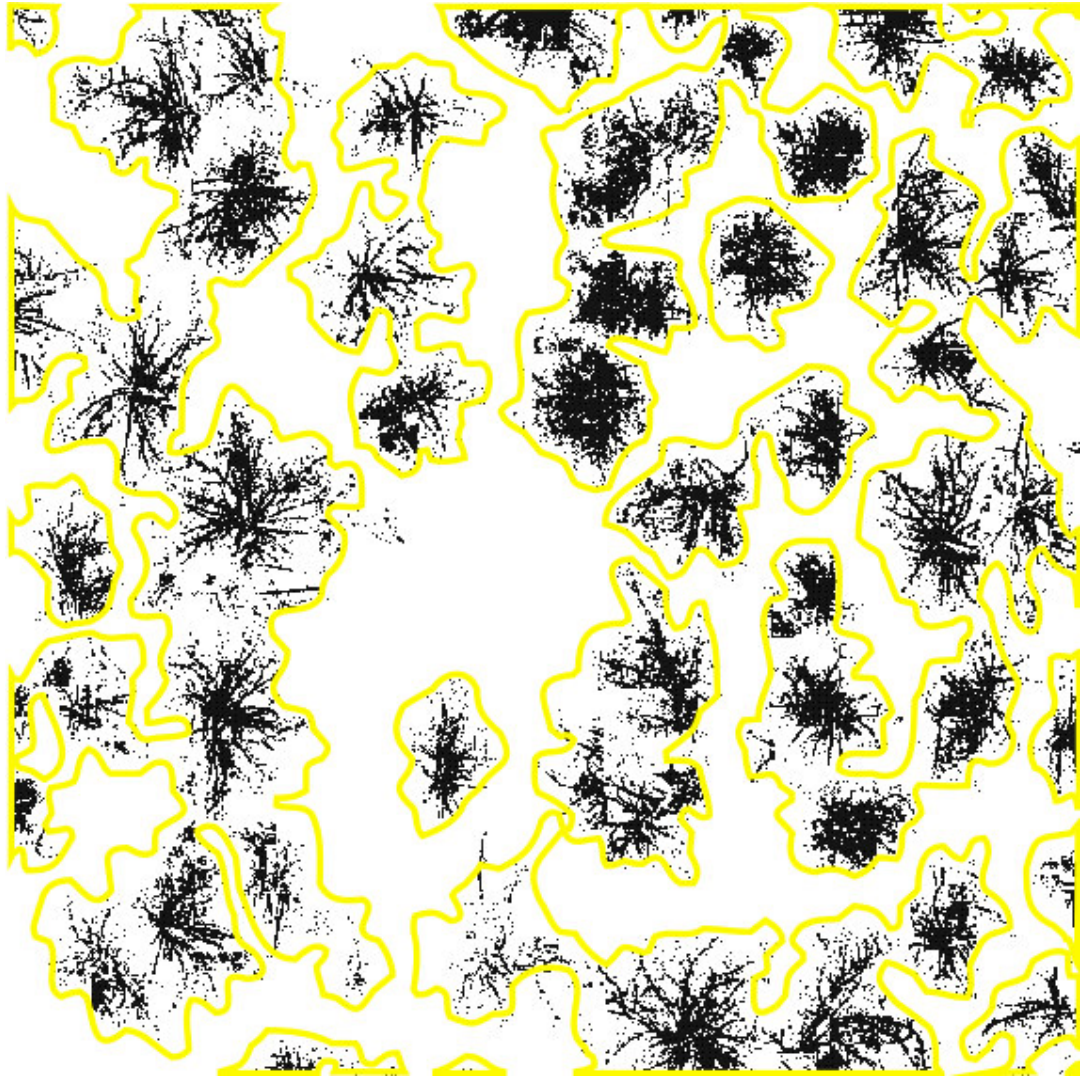
Ryc. IV.32. Wybór wektorów (kolor czerwony) nie odzwierciedlających granic koron i jednocześnie leżących ‘wewnątrz’ granic koron (mogą być interpretowane, jako przerzedzenia korony lub luki pomiędzy połączonymi koronami).



Ryc. IV.33. Wektory granic koron po korekcie.



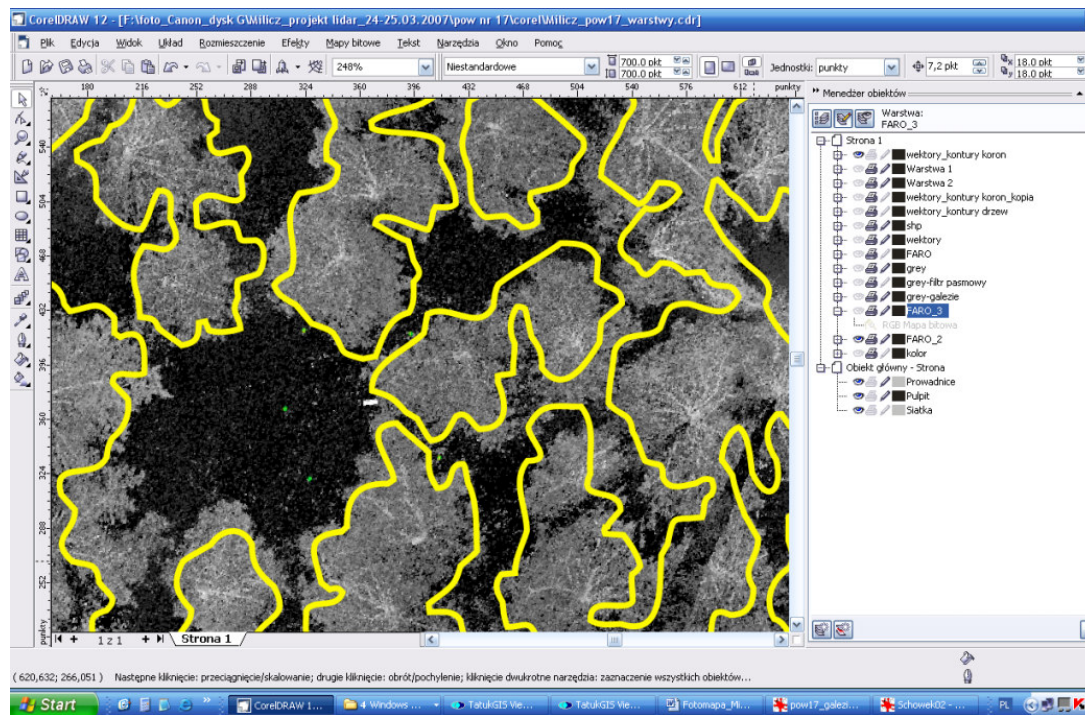
Ryc. IV.34. Wektory granic koron na tle obrazu intensywności pikseli koron (po przetworzeniu filtrem pasmowym).



Ryc. IV.35. Wektory granic koron na tle obrazu intensywności pikseli odzwierciedlających ugałężenie koron i największe zagęszczenie aparatu asymilacyjnego.

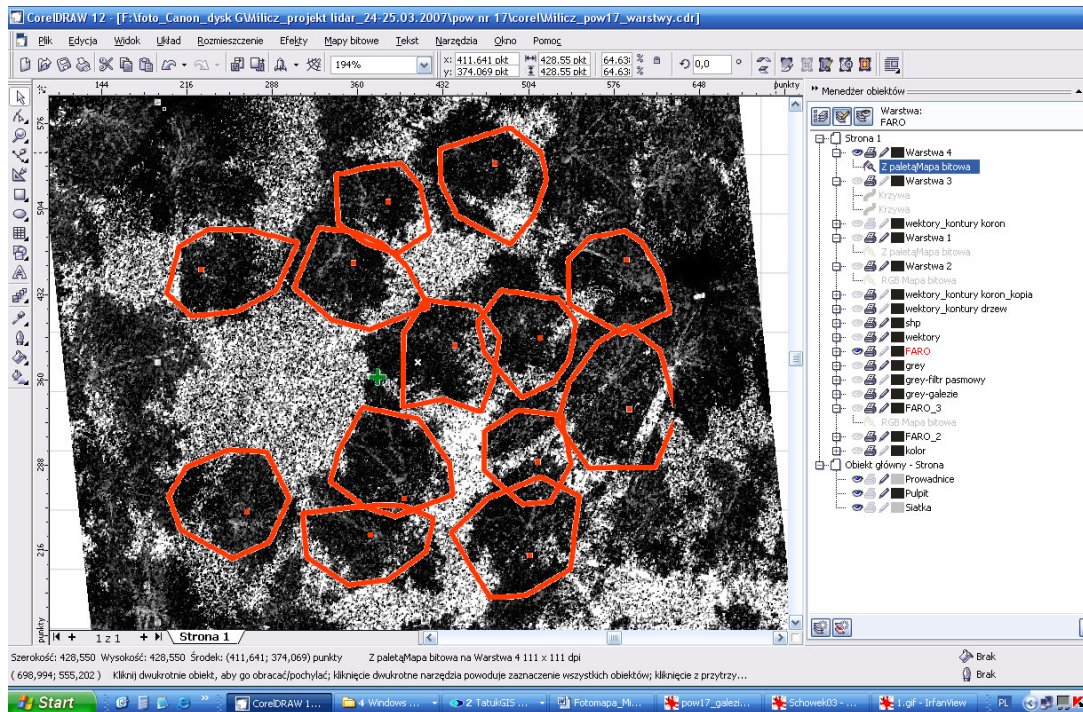
2.1.4 Porównanie zobrazowań koron drzew uzyskanych różnymi metodami

Jedną z możliwości porównania dokładności odwzorowania przebiegu granic koron drzew jest nakładanie na siebie wektorów pochodzących z różnych źródeł i skalibrowanych do wspólnej skali. Na ryc. 28. przedstawiono próbkę – fragment powierzchni odwzorowanej za pomocą laserowego skanera naziemnego FARO LS 880 (na ryc. IV.36. – w postaci odcieni szarości, gdzie jaśniejsze obszary odwzorowują korony drzew) oraz nałożony na ten obraz wektory granic koron (kolor żółty). Jak widać Obraz z lasera w znacznej mierze pokrywa się z wektorami opracowanymi na podstawie fotomapy.

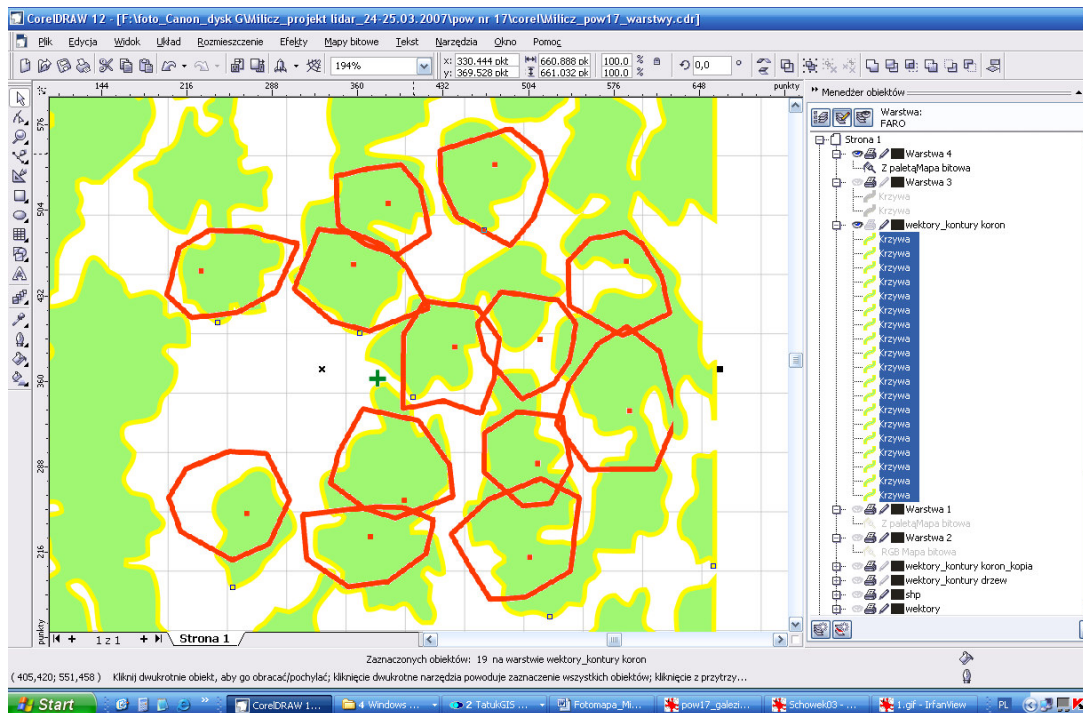


Ryc. IV.36. Efekt nałożenia wektorów granic koron na obraz wygenerowany ze skanera FARO.

Innym sposobem na porównanie dokładności jest nałożenie na siebie wektorów odwzorowujących granice koron, pochodzących z różnych źródeł. Na ryc. IV.37. i IV.38. przedstawiono m.in. wektory, które powstały w wyniku pomiaru rzutów koron wykonanych przez firmę TAXUS i zapisanych do postaci plików *.shp. Zgodność przebiegu granic koron jest podobna (choć nieco gorsza), jak w przypadku porównania z danymi wygenerowanymi na podstawie lasera FARO.



Ryc. IV.37. Nałożenie wektorów rzutów koron wg. TAXUS (czerwona linia) na obraz z lasera FARO.



Ryc. IV.38. Nałożenie wektorów rzutów koron wg. TAXUS (czerwona linia) na wektory z fotomapy koron drzew (żółta linia z zielonym wypełnieniem).

2.2 Podsumowanie i wnioski

1. Opracowanie fotomapy koron drzew dla powierzchni ok. 200 m² zajmuje ok. 5 roboczodni, w tym ok. 6-8 godz. na wykonanie zdjęć oraz ok. 50 godz. na graficzne opracowanie materiału. Najbardziej czasochłonną czynnością jest tworzenie mozaiki – czyli odpowiednie połączenie skadrowanych zdjęć ze sobą tak, aby zachowana była „ciągłość” gałęzi na szwach kadrów.
2. Opracowanie fotomapy koron drzew – nawet dla niewielkiej powierzchni (tu 144 m²) jest zadaniem czasochłonnym, lecz dającym zadowalające rezultaty w sensie dokładności (zwłaszcza w porównaniu do danych z lasera FARO oraz wektorów rzutów koron wg. danych firmy TAXUS).
3. Opracowana fotomapa koron drzew charakteryzuje się wysoką jakością zobrazowania (piksel subcentymetrowy).
4. Testowana metoda, pomimo znacznej pracochłonności wydaje się być obiecująca. Należy jednak przetestować nowe rozwiązania metodyczne, polegające m.in. na zastosowaniu mniejszych procentów nakładania poprzecznego i podłużnego, co zmniejszy zarówno pracochłonność terenową, jak i kameralną.
5. Należy także przetestować wykonywanie zdjęć o wyższej rozdzielczości, co pozwoli być może na bardziej precyzyjne analizy w odniesieniu do aparatu asymilacyjnego.

3. Określenie parametrów koron drzew w stanie ulistnionym i bezlistnym na podstawie pomiarów LAI, wykonywanych z wykorzystaniem cyfrowych zdjęć hemisferycznych

3.1 Wstęp

Zasadniczym celem opracowania było sprawdzenie możliwości wykorzystania cyfrowych zdjęć hemisferycznych do określania podstawowych parametrów koron drzew w stanie ulistnionym i bezlistnym na podstawie pomiarów indeksu powierzchni liściowej (LAI – ang. Leaf Area Index). Indeks powierzchni liściowej jest jednym z podstawowych parametrów drzew i drzewostanów możliwych do oceny na podstawie pomiarów z wykorzystaniem technik optycznych. Parametr ten jest bardzo przydatny w ocenie biomasy aparatu asymilacyjnego, co z kolei może okazać się niezwykle przydatnym wskaźnikiem wspomagającym ocenę sekwestracji węgla w ekosystemach leśnych [Chirrek i in., 2007]. Natomiast ocena LAI i porównanie tego wskaźnikach dla tych samych powierzchni analizowanych w stanie ulistnionym i bezlistnym określania pozwoli na zwiększenie dokładności i oszacowanie błędu pomiarowego dla stosowanej metody cyfrowych zdjęć hemisferycznych.

3.2 Zakres badań

Przed przystąpieniem do realizacji zaproponowano zakres badań przedstawiony w tabeli IV.8.

Tabela IV.8. Zakres badań.

Nazwa i opis zadania	
1.	Prace przygotowawcze
1.1.	zebranie literatury
1.2.	opracowanie metodyki
2.	Prace terenowe
2.1.	wybór powierzchni
2.2.	wykonanie zdjęć hemisferycznych
3.	Prace kameralne
3.1.	opracowanie zdjęć
3.2.	obliczenia LAI
3.3.	obliczenia pozostałych parametrów koron

- 3.4. zestawienie otrzymanych wyników z pozostałymi grupami danych (pozostałych wykonawców)
- 3.5. podsumowanie prac i wnioski

3.3 Teren badań

Cyfrowe zdjęcia hemisferyczne wykonano na wcześniej wytypowanych (i oznaczonych w terenie) powierzchniach próbnych zlokalizowanych na terenie Nadleśnictwa Milicz. Spośród wszystkich trzydziestu powierzchni założonych w ramach projektu głównego do niniejszego opracowania wybrano tylko te, na których występowały gatunki liściaste. Są to powierzchnie oznaczone numerami od 1 do 6. Ich lokalizację w części I opracowania.

3.4 Zarys metod

Metody wykonywania zdjęć hemisferycznych zostały opisane we wcześniejszym rozdziale pt.: „Możliwości zastosowania w praktyce zdjęć hemisferycznych” oraz w kilku publikacjach [Strzeliński, 2006a; Strzeliński, 2006b; Chirrek i in., 2007; Zawila-Niedźwiecki i Strzeliński, 2007; Strzeliński, 2008; Strzeliński i in., 2008].

Do wykonywania zdjęć hemisferycznych wykorzystano następujący zestaw:

- kamera cyfrowa typu SLR („lustrzanka”) – Canon EOS 20D (matryca 8 MP),
- obiektyw Canon EF-S 18-55/3,5-5,6,
- konwerter typu „fish-eye” (umożliwiający uzyskanie kąta widzenia 180°) Raynox DCR-CF 185PRO [<http://www.raynox.co.jp/english/dcr/dcrcf185pro>].

Przyjęto założenie, że na każdej powierzchni próbnej zostanie założonych 9 punktów pomiarowych, z których wykonywane będą zdjęcia hemisferyczne. Schemat rozmieszczenia tych punktów w opisie terenu badań w części I opracowania.

Zdjęcia wykonywano w dniach od 24 do 25 marca 2007 roku. Termin ten został wybrany ze względu na konieczność odczekania do dnia, gdy opadły liście z wszystkich drzew i krzewów (zwłaszcza z dębów i grabów, z których liście często opadają dopiero po zimie). W analizowanym okresie, łącznie dla 6 powierzchni próbnych wykonano $6 \times 27 = 162$ zdjęcia hemisferyczne.

Jako materiał porównawczy wykorzystano zdjęcia wykonane w dniu 30 września 2006 roku, czyli w okresie, gdy drzewa na powierzchniach były w stanie ulistnionym. Do analiz rastrowych zdjęć hemisferycznych wykorzystano oprogramowanie Gap Light Analyzer (v.

2.0) [<http://www.ecostudies.org/gla>]. Analizy statystyczne wykonano w programie Statistica v. 7 [StatSoft, Inc. 2005; <http://www.statsoft.com>].

3.5 Przykładowe wyniki

Ze względu na znaczną liczbę zdjęć, która wykonana została w ramach niniejszego tematu w opracowaniu przedstawiono przykład analizy dla jednej powierzchni pomiarowej. Jest to powierzchnia nr 2, zlokalizowana w oddziale 137a, w 87-letnim, jednopiętrowym drzewostanie bukowym, o przeciętnej wysokości 30,3 m i przeciętnej pierśnicy 32,1 cm.

Tabela IV.9. Terminy wykonania zdjęć na poszczególnych powierzchniach próbnych.

nr powierzchni próbnej	data wykonania zdjęć	
	I termin (stan ulistniony)	II termin (stan bezlistny)
1	30.09.2006	25.03.2007
2	30.09.2006	24.03.2007
3	30.09.2006	25.03.2007
4	30.09.2006	25.03.2007
5	30.09.2006	24.03.2007
6	30.09.2006	24.03.2007



(A) zdjęcie z 30.09.2006



(B) zdjęcie z 24.03.2007

Fot. IV.5. Drzewostan na pow. nr 2. w stanie ulistnionym, widok ze środka powierzchni w kierunku północnym (tyczka na górnym zdjęciu wyznacza kierunek północny).

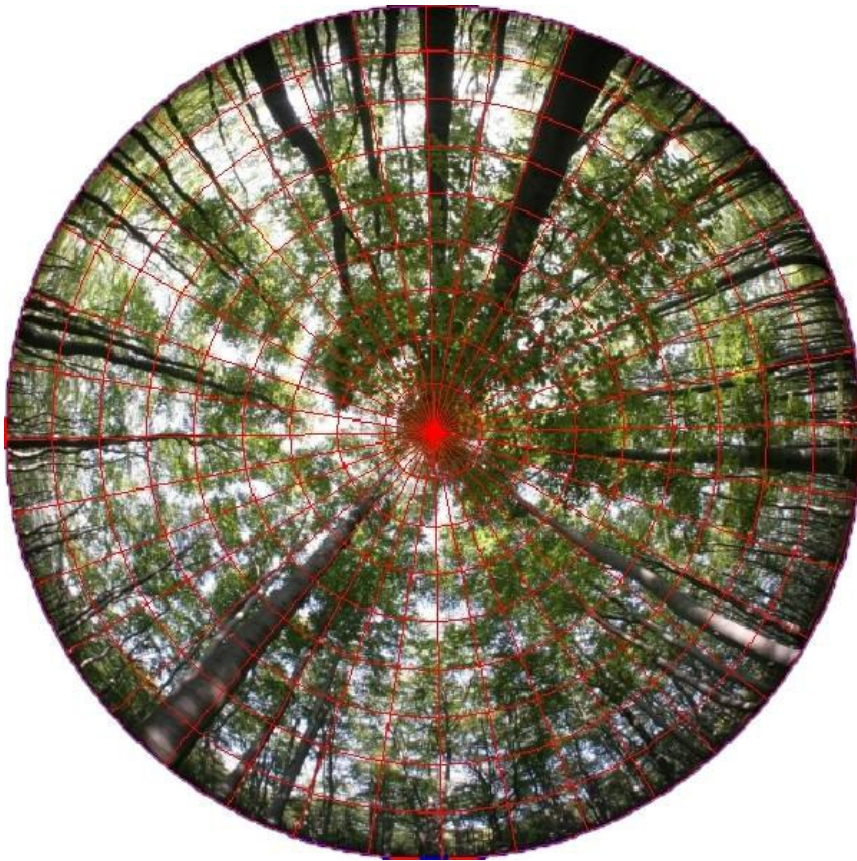


(A) zdjęcie nr 8001 z 30.09.2006

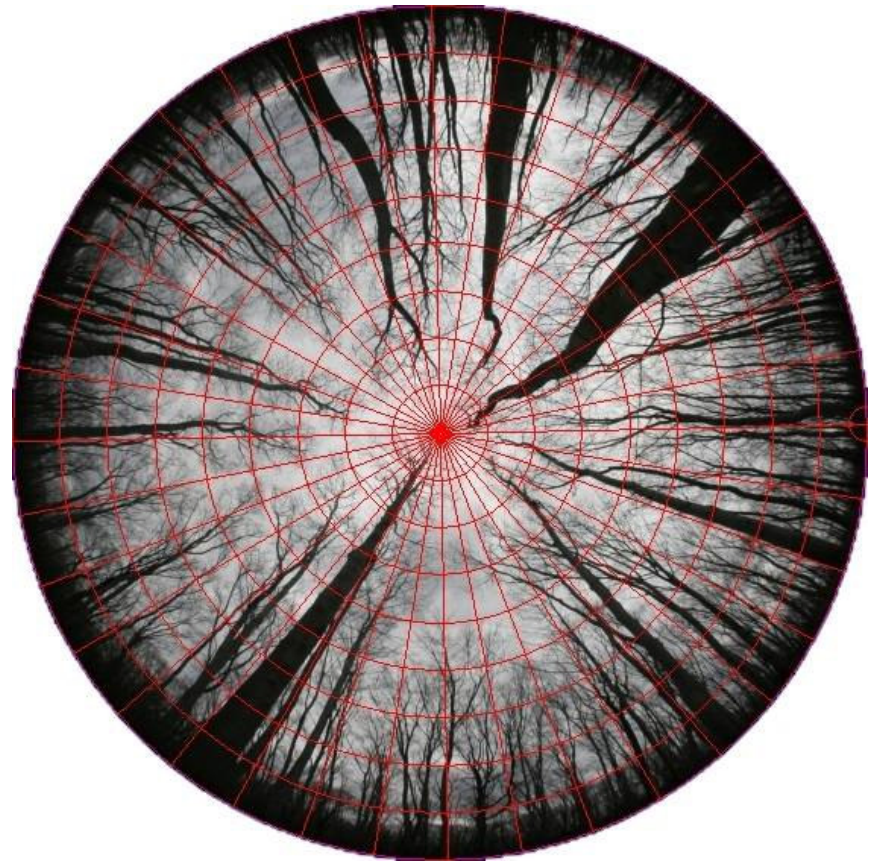


(B) zdjęcie nr 1185 z 24.03.2007

Fot. IV.6. Cyfrowe zdjęcia hemisferyczne, wykonane w dwóch powtórzeniach – w stanie ulistnionym (A) i w stanie bezlistnym (B); Nadleśnictwo Milicz, pow. nr 2.



A (pow. nr 2., zdjęcie nr 8001)

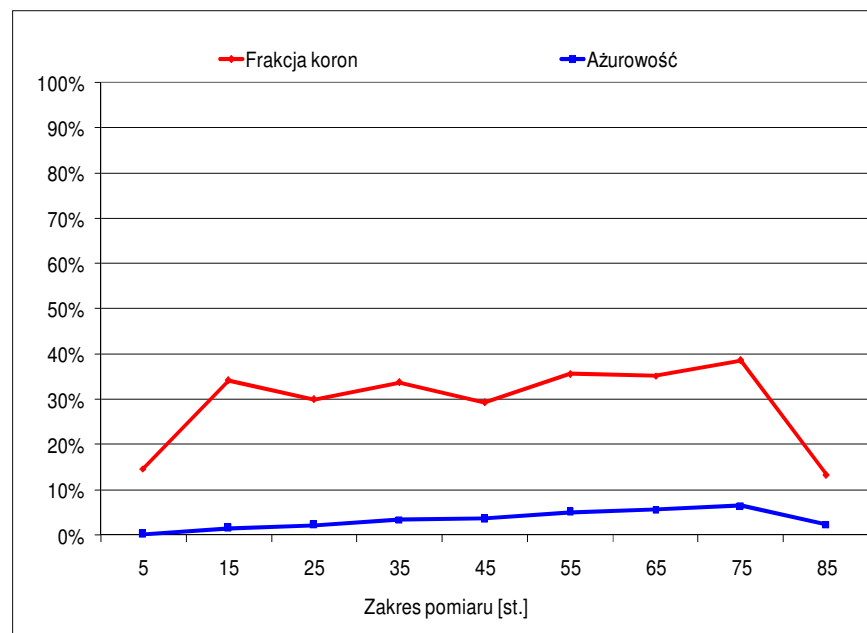


B (pow. nr 2., zdjęcie nr 1185)

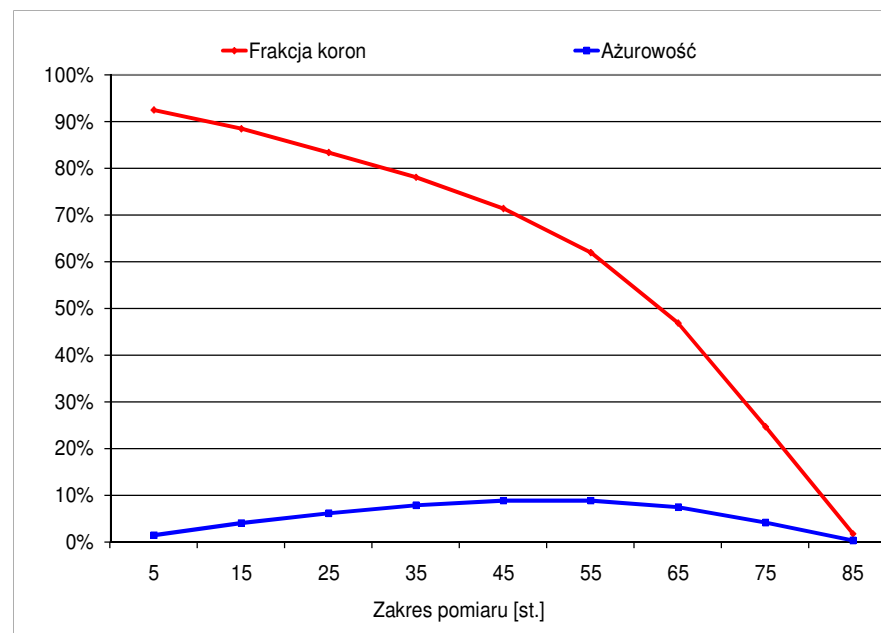
Ryc. IV.39. Przykład analizy zdjęcia hemisferycznego w stanie ulistnionym z naniesioną siatką podziału na „pierścienie pomiarowe”.

Uwaga: pierścienie pomiarowe (9 pierścieni) są obliczane od centrum zdjęcia (zenit = 90°) do płaszczyzny horyzontu (0°); na podanym przykładzie każdy pierścień to zakres 10° .

Poniższe wykresy (ryc. IV.40-IV.42.) prezentują wyniki analizy udziału frakcji koron (obliczone jako nieważona liczba pikseli) i dane o ażurowości (sinus ważony) wykreślone w odniesieniu od kąta zenitalnego (90°). Zarówno frakcja koron (obliczona w programie GLA jako stosunek pikseli „otwartego” nieba do wszystkich pikseli przez zakres nieba) jak i dane o ażurowości są wyrażone w postaci udziału procentowego. Analizę ograniczono do zakresu najbardziej zbliżonego pierścieniom pomiarowym określanym jako LAI 4 Ring (od 90° do 60°) i LAI 5 Ring (od 90° do 75°).



A (pow. nr 2., zdjęcie nr 8001)



B (pow. nr 2., zdjęcie nr 1185)

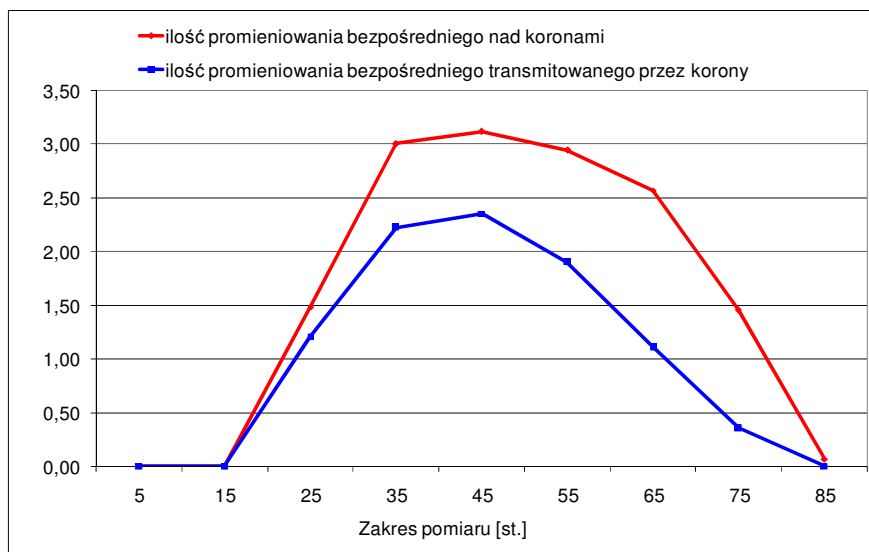
Ryc. IV.40. Przykład analizy zdjęcia hemisferycznego drzewostanu w stanie ulistnionym (A) oraz w stanie bezlistnym (B) – udział frakcji koron i ażurowość.

Uwaga:

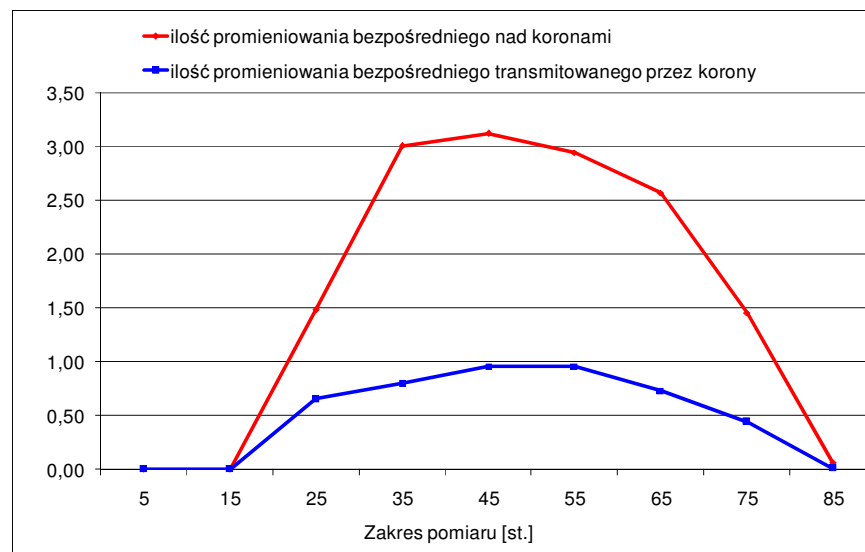
„Zakres pomiaru” – oznacza pomiar [w stopniach] od zenitu (90°) do płaszczyzny horyzontu (0°); liczby na osi X oznaczają środki pierścieni pomiarowych (zgodnie z podziałem na ryc. 1.),

„Ażurowość” – jest składową cząstkową wartości dla poszczególnych zakresów pomiaru; suma z całego zakresu oznaczają łączną ażurowość dla zdjęcia,

„Frakcja koron” – jest obliczana oddzielnie dla każdego zakresu pomiarowego.

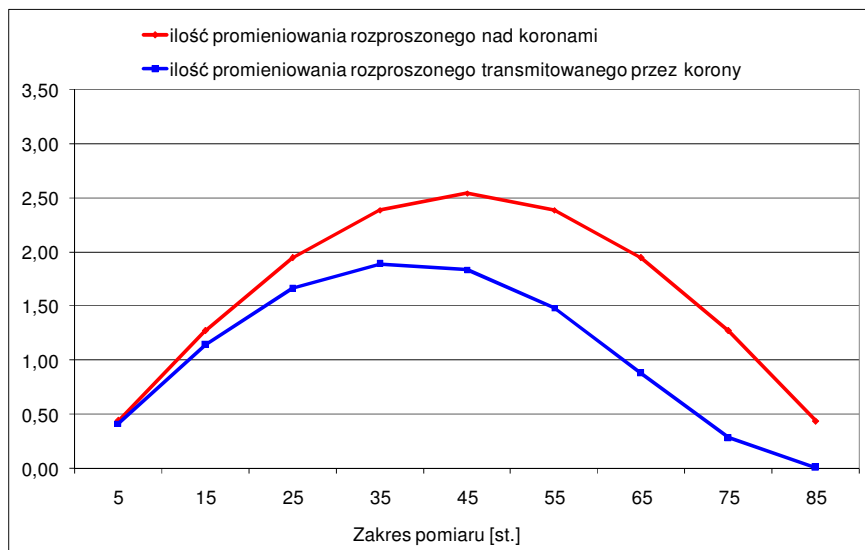


A (pow. nr 2., zdjęcie nr 8001)

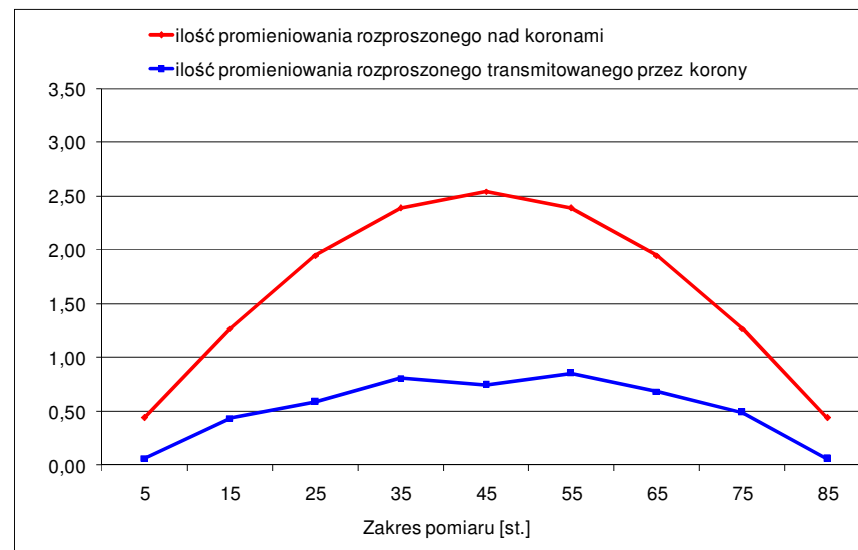


B (pow. nr 2., zdjęcie nr 1185)

Ryc. IV.41. Przykład analizy zdjęcia hemisferycznego – promieniowanie bezpośrednie.



A (pow. nr 2., zdjęcie nr 8001)



B (pow. nr 2., zdjęcie nr 1185)

Ryc. IV.42. Przykład analizy zdjęcia hemisferycznego w stanie ulistnionym – światło rozproszone.

Tabela IV.10. Porównanie wyników analizy zdjęć hemisferycznych przedstawionych na fot. IV.6A (drzewostan w stanie ulistnionym) oraz na fot. IV.6B (drzewostan w stanie bezlistnym).

Analizowany parametr	(A) zdjęcie nr 8001 z 30.09.2006	(B) zdjęcie nr 1185 z 24.03.2007	Różnica
Ażurowość [%]	30,69	48,62	-17,93
LAI 4 Ring [1]	1,52	0,47	1,05
LAI 5 Ring [2]	1,25	0,55	0,70
Promieniowanie bezpośrednie (mol/m2/dzień)	6,74	9,32	-2,58
Promieniowanie pośrednie (mol/m2/dzień)	4,72	9,6	-4,88
Promieniowanie całkowite (mol/m2/dzień)	11,46	18,93	-7,47
Promieniowanie bezpośrednie [%]	46,02	63,66	-17,64
Promieniowanie pośrednie [%]	32,24	65,61	-33,37
Promieniowanie całkowite [%]	39,13	64,63	-25,50

Uwaga:

[1] – zawiera zintegrowane wyniki dla kąta pomiędzy zenitem a 60° nad horyzontem,

[2] – zawiera zintegrowane wyniki dla kąta pomiędzy zenitem a 75° nad horyzontem.

Tabela IV.11. Przykład szczegółowej analizy poszczególnych pól siatki podziału na „pierścienie pomiarowe” zdjęć z ryc. IV.5A. (zdjęcie nr 8001) oraz z ryc. IV.5B. (zdjęcie nr 1185).

Nr pola zenitalnego (pierścienia pomiarowego)	Nr pola azymutalnego	Środek pierścienia pomiarowego (w st.)	Środek pola azymutalnego (w st.)	Frakcja koron (8001)	Frakcja koron (1185)	Ażurowość (8001)	Ażurowość (1185)
1	1	86,8	5	0,07447	0,00105	0,02%	0,00%
1	2	86,8	15	0,01501	0,00316	0,00%	0,00%
1	3	86,8	25	0,03422	0,00421	0,01%	0,00%
1	4	86,8	35	0,03949	0	0,01%	0,00%
1	5	86,8	45	0,00427	0	0,00%	0,00%
1	6	86,8	55	0,00965	0	0,00%	0,00%
1	7	86,8	65	0,02671	0,00422	0,01%	0,00%

Nr pola zenitalnego (pierścienia pomiarowego)	Nr pola azymutalnego	Środek pierścienia pomiarowego (w st.)	Środek pola azymutalnego (w st.)	Frakcja koron (8001)	Frakcja koron (1185)	Ażurowość (8001)	Ażurowość (1185)
1	8	86,8	75	0,19251	0	0,06%	0,00%
1	9	86,8	85	0,16667	0	0,05%	0,00%
1	10	86,8	95	0,22581	0,01464	0,07%	0,00%
1	11	86,8	105	0,11016	0	0,03%	0,00%
1	12	86,8	115	0,17754	0	0,05%	0,00%
1	13	86,8	125	0,34685	0	0,11%	0,00%
1	14	86,8	135	0,24625	0	0,08%	0,00%
1	15	86,8	145	0,21238	0	0,07%	0,00%
1	16	86,8	155	0,35722	0	0,11%	0,00%
1	17	86,8	165	0,09422	0	0,03%	0,00%
1	18	86,8	175	0,15	0	0,05%	0,00%
1	19	86,8	185	0,15213	0	0,05%	0,00%
1	20	86,8	195	0,16399	0	0,05%	0,00%
1	21	86,8	205	0,02246	0	0,01%	0,00%
1	22	86,8	215	0,04482	0	0,01%	0,00%
1	23	86,8	225	0,03846	0	0,01%	0,00%
1	24	86,8	235	0,0075	0	0,00%	0,00%
1	25	86,8	245	0,03526	0	0,01%	0,00%
1	26	86,8	255	0,02888	0	0,01%	0,00%
1	27	86,8	265	0,02654	0	0,01%	0,00%
1	28	86,8	275	0,09247	0	0,03%	0,00%
1	29	86,8	285	0,0107	0	0,00%	0,00%
1	30	86,8	295	0,01176	0	0,00%	0,00%
1	31	86,8	305	0,00213	0	0,00%	0,00%
1	32	86,8	315	0,0439	0	0,01%	0,00%
1	33	86,8	325	0,10459	0	0,03%	0,00%

Nr pola zenitalnego (pierścienia pomiarowego)	Nr pola azymutalnego	Środek pierścienia pomiarowego (w st.)	Środek pola azymutalnego (w st.)	Frakcja koron (8001)	Frakcja koron (1185)	Ażurowość (8001)	Ażurowość (1185)
1	34	86,8	335	0,01604	0,00211	0,00%	0,00%
1	35	86,8	345	0,00749	0,00316	0,00%	0,00%
1	36	86,8	355	0,01739	0,01695	0,01%	0,01%
2	1	80,4	5	0,1082	0,03608	0,03%	0,01%
2	2	80,4	15	0,32534	0,05399	0,10%	0,02%
2	3	80,4	25	0,42009	0,02584	0,13%	0,01%
2	4	80,4	35	0,28914	0,03479	0,09%	0,01%
2	5	80,4	45	0,431	0,11298	0,13%	0,03%
2	6	80,4	55	0,19454	0,22135	0,06%	0,07%
2	7	80,4	65	0,11503	0,27447	0,04%	0,08%
2	8	80,4	75	0,60457	0,07537	0,19%	0,02%
2	9	80,4	85	0,30813	0,30146	0,10%	0,09%
2	10	80,4	95	0,37344	0,31454	0,12%	0,10%
2	11	80,4	105	0,47831	0,33408	0,15%	0,10%
2	12	80,4	115	0,50114	0,31685	0,15%	0,10%
2	13	80,4	125	0,68679	0,09203	0,21%	0,03%
2	14	80,4	135	0,63914	0	0,20%	0,00%
2	15	80,4	145	0,65068	0	0,20%	0,00%
2	16	80,4	155	0,67466	0	0,21%	0,00%
2	17	80,4	165	0,17829	0	0,06%	0,00%
2	18	80,4	175	0,30385	0	0,09%	0,00%
2	19	80,4	185	0,40547	0,0248	0,13%	0,01%
2	20	80,4	195	0,54452	0,0225	0,17%	0,01%
2	21	80,4	205	0,34361	0,00225	0,11%	0,00%
2	22	80,4	215	0,256	0,00224	0,08%	0,00%
2	23	80,4	225	0,10294	0,00336	0,03%	0,00%

Nr pola zenitalnego (pierścienia pomiarowego)	Nr pola azymutalnego	Środek pierścienia pomiarowego (w st.)	Środek pola azymutalnego (w st.)	Frakcja koron (8001)	Frakcja koron (1185)	Ażurowość (8001)	Ażurowość (1185)
2	24	80,4	235	0,33333	0	0,10%	0,00%
2	25	80,4	245	0,25399	0,01237	0,08%	0,00%
2	26	80,4	255	0,31086	0,02812	0,10%	0,01%
2	27	80,4	265	0,05956	0,10124	0,02%	0,03%
2	28	80,4	275	0,15096	0,0372	0,05%	0,01%
2	29	80,4	285	0,11301	0,01125	0,03%	0,00%
2	30	80,4	295	0,13326	0,14719	0,04%	0,05%
2	31	80,4	305	0,04897	0,03143	0,02%	0,01%
2	32	80,4	315	0,09502	0,00671	0,03%	0,00%
2	33	80,4	325	0,2226	0,03258	0,07%	0,01%
2	34	80,4	335	0,08447	0,17098	0,03%	0,05%
2	35	80,4	345	0,10514	0,03487	0,03%	0,01%
2	36	80,4	355	0,14286	0,04612	0,04%	0,01%
3	1	73,8	5	0,09379	0,10036	0,03%	0,03%
3	2	73,8	15	0,20919	0,14133	0,06%	0,04%
3	3	73,8	25	0,40651	0,36516	0,13%	0,11%
3	4	73,8	35	0,45181	0,16806	0,14%	0,05%
3	5	73,8	45	0,26731	0,35132	0,08%	0,11%
3	6	73,8	55	0,54051	0,64124	0,17%	0,20%
3	7	73,8	65	0,1368	0,88942	0,04%	0,27%
3	8	73,8	75	0,82147	0,2937	0,25%	0,09%
3	9	73,8	85	0,51381	0,68333	0,16%	0,21%
3	10	73,8	95	0,59398	0,454	0,18%	0,14%
3	11	73,8	105	0,44324	0,5285	0,14%	0,16%
3	12	73,8	115	0,58041	0,34248	0,18%	0,11%
3	13	73,8	125	0,90436	0,32658	0,28%	0,10%

Nr pola zenitalnego (pierścienia pomiarowego)	Nr pola azymutalnego	Środek pierścienia pomiarowego (w st.)	Środek pola azymutalnego (w st.)	Frakcja koron (8001)	Frakcja koron (1185)	Ażurowość (8001)	Ażurowość (1185)
3	14	73,8	135	0,68606	0,09832	0,21%	0,03%
3	15	73,8	145	0,80458	0,04768	0,25%	0,01%
3	16	73,8	155	0,79056	0,05589	0,24%	0,02%
3	17	73,8	165	0,32971	0,02973	0,10%	0,01%
3	18	73,8	175	0,65697	0,06905	0,20%	0,02%
3	19	73,8	185	0,59318	0,0908	0,18%	0,03%
3	20	73,8	195	0,64087	0,11401	0,20%	0,04%
3	21	73,8	205	0,52593	0,2148	0,16%	0,07%
3	22	73,8	215	0,37831	0,33969	0,12%	0,10%
3	23	73,8	225	0,11543	0,15468	0,04%	0,05%
3	24	73,8	235	0,15599	0,03695	0,05%	0,01%
3	25	73,8	245	0,34867	0,37455	0,11%	0,12%
3	26	73,8	255	0,55368	0,44471	0,17%	0,14%
3	27	73,8	265	0,23409	0,275	0,07%	0,08%
3	28	73,8	275	0,45904	0,12545	0,14%	0,04%
3	29	73,8	285	0,06643	0,07601	0,02%	0,02%
3	30	73,8	295	0,18017	0,33174	0,06%	0,10%
3	31	73,8	305	0,17433	0,13707	0,05%	0,04%
3	32	73,8	315	0,08242	0,08993	0,03%	0,03%
3	33	73,8	325	0,27262	0,18117	0,08%	0,06%
3	34	73,8	335	0,1586	0,38526	0,05%	0,12%
3	35	73,8	345	0,21135	0,0547	0,07%	0,02%
3	36	73,8	355	0,03879	0,12857	0,01%	0,04%
4	1	67,1	5	0,10646	0,2925	0,03%	0,09%
4	2	67,1	15	0,45281	0,43434	0,14%	0,13%
4	3	67,1	25	0,34606	0,62767	0,11%	0,19%

Nr pola zenitalnego (pierścienia pomiarowego)	Nr pola azymutalnego	Środek pierścienia pomiarowego (w st.)	Środek pola azymutalnego (w st.)	Frakcja koron (8001)	Frakcja koron (1185)	Ażurowość (8001)	Ażurowość (1185)
4	4	67,1	35	0,31673	0,07305	0,10%	0,02%
4	5	67,1	45	0,14487	0,4382	0,04%	0,14%
4	6	67,1	55	0,34227	0,70943	0,11%	0,22%
4	7	67,1	65	0,13138	0,95712	0,04%	0,30%
4	8	67,1	75	0,87372	0,26103	0,27%	0,08%
4	9	67,1	85	0,32648	0,80326	0,10%	0,25%
4	10	67,1	95	0,84211	0,3525	0,26%	0,11%
4	11	67,1	105	0,26658	0,40025	0,08%	0,12%
4	12	67,1	115	0,3734	0,70943	0,12%	0,22%
4	13	67,1	125	0,96429	0,61839	0,30%	0,19%
4	14	67,1	135	0,2141	0,22971	0,07%	0,07%
4	15	67,1	145	0,74808	0,34088	0,23%	0,11%
4	16	67,1	155	0,61294	0,21059	0,19%	0,07%
4	17	67,1	165	0,40026	0,33417	0,12%	0,10%
4	18	67,1	175	0,45891	0,26441	0,14%	0,08%
4	19	67,1	185	0,64892	0,4125	0,20%	0,13%
4	20	67,1	195	0,56888	0,58965	0,18%	0,18%
4	21	67,1	205	0,22265	0,47044	0,07%	0,15%
4	22	67,1	215	0,44828	0,55542	0,14%	0,17%
4	23	67,1	225	0,06154	0,17978	0,02%	0,06%
4	24	67,1	235	0,13027	0,05535	0,04%	0,02%
4	25	67,1	245	0,19133	0,44641	0,06%	0,14%
4	26	67,1	255	0,54209	0,63556	0,17%	0,20%
4	27	67,1	265	0,40617	0,52005	0,13%	0,16%
4	28	67,1	275	0,32478	0,50625	0,10%	0,16%
4	29	67,1	285	0,07526	0,27904	0,02%	0,09%

Nr pola zenitalnego (pierścienia pomiarowego)	Nr pola azymutalnego	Środek pierścienia pomiarowego (w st.)	Środek pola azymutalnego (w st.)	Frakcja koron (8001)	Frakcja koron (1185)	Ażurowość (8001)	Ażurowość (1185)
4	30	67,1	295	0,18414	0,32579	0,06%	0,10%
4	31	67,1	305	0,09821	0,2267	0,03%	0,07%
4	32	67,1	315	0,09615	0,22097	0,03%	0,07%
4	33	67,1	325	0,09719	0,23648	0,03%	0,07%
4	34	67,1	335	0,28426	0,40605	0,09%	0,13%
4	35	67,1	345	0,03197	0,29256	0,01%	0,09%
4	36	67,1	355	0,06068	0,4599	0,02%	0,14%
5	1	59,9	5	0,17608	0,51001	0,05%	0,16%
5	2	59,9	15	0,58768	0,66095	0,18%	0,20%
5	3	59,9	25	0,39382	0,68519	0,12%	0,21%
5	4	59,9	35	0,23087	0,14493	0,07%	0,04%
5	5	59,9	45	0,08886	0,45928	0,03%	0,14%
5	6	59,9	55	0,15416	0,64427	0,05%	0,20%
5	7	59,9	65	0,05503	0,99604	0,02%	0,31%
5	8	59,9	75	0,59812	0,29272	0,18%	0,09%
5	9	59,9	85	0,11962	0,82763	0,04%	0,26%
5	10	59,9	95	0,64887	0,45394	0,20%	0,14%
5	11	59,9	105	0,50268	0,42084	0,16%	0,13%
5	12	59,9	115	0,48054	0,71958	0,15%	0,22%
5	13	59,9	125	0,86461	0,55863	0,27%	0,17%
5	14	59,9	135	0,30585	0,33378	0,09%	0,10%
5	15	59,9	145	0,66265	0,83267	0,20%	0,26%
5	16	59,9	155	0,83715	0,44386	0,26%	0,14%
5	17	59,9	165	0,40187	0,51523	0,12%	0,16%
5	18	59,9	175	0,86078	0,68553	0,27%	0,21%
5	19	59,9	185	0,77823	0,80507	0,24%	0,25%

Nr pola zenitalnego (pierścienia pomiarowego)	Nr pola azymutalnego	Środek pierścienia pomiarowego (w st.)	Środek pola azymutalnego (w st.)	Frakcja koron (8001)	Frakcja koron (1185)	Ażurowość (8001)	Ażurowość (1185)
5	20	59,9	195	0,65462	0,60554	0,20%	0,19%
5	21	59,9	205	0,38844	0,41799	0,12%	0,13%
5	22	59,9	215	0,31544	0,71278	0,10%	0,22%
5	23	59,9	225	0,04111	0,35915	0,01%	0,11%
5	24	59,9	235	0,19705	0,10672	0,06%	0,03%
5	25	59,9	245	0,15705	0,44386	0,05%	0,14%
5	26	59,9	255	0,57124	0,83841	0,18%	0,26%
5	27	59,9	265	0,48118	0,61974	0,15%	0,19%
5	28	59,9	275	0,34446	0,48198	0,11%	0,15%
5	29	59,9	285	0,14343	0,39446	0,04%	0,12%
5	30	59,9	295	0,08456	0,41667	0,03%	0,13%
5	31	59,9	305	0,07507	0,38076	0,02%	0,12%
5	32	59,9	315	0,14362	0,48865	0,04%	0,15%
5	33	59,9	325	0,10977	0,56522	0,03%	0,17%
5	34	59,9	335	0,25976	0,71863	0,08%	0,22%
5	35	59,9	345	0,29239	0,50331	0,09%	0,16%
5	36	59,9	355	0,19009	0,62632	0,06%	0,19%
6	1	52,2	5	0,23455	0,62448	0,07%	0,19%
6	2	52,2	15	0,46132	0,81969	0,14%	0,25%
6	3	52,2	25	0,25316	0,7625	0,08%	0,24%
6	4	52,2	35	0,2	0,13001	0,06%	0,04%
6	5	52,2	45	0,07518	0,61496	0,02%	0,19%
6	6	52,2	55	0,29296	0,74306	0,09%	0,23%
6	7	52,2	65	0,06188	0,85853	0,02%	0,26%
6	8	52,2	75	0,50421	0,37812	0,16%	0,12%
6	9	52,2	85	0,19188	0,88235	0,06%	0,27%

Nr pola zenitalnego (pierścienia pomiarowego)	Nr pola azymutalnego	Środek pierścienia pomiarowego (w st.)	Środek pola azymutalnego (w st.)	Frakcja koron (8001)	Frakcja koron (1185)	Ażurowość (8001)	Ażurowość (1185)
6	10	52,2	95	0,45184	0,64924	0,14%	0,20%
6	11	52,2	105	0,18143	0,52427	0,06%	0,16%
6	12	52,2	115	0,31039	0,76111	0,10%	0,23%
6	13	52,2	125	0,72817	0,54357	0,22%	0,17%
6	14	52,2	135	0,53759	0,46537	0,17%	0,14%
6	15	52,2	145	0,27324	0,80556	0,08%	0,25%
6	16	52,2	155	0,68592	0,60194	0,21%	0,19%
6	17	52,2	165	0,42958	0,63158	0,13%	0,19%
6	18	52,2	175	0,8133	0,7619	0,25%	0,24%
6	19	52,2	185	0,66713	0,89546	0,21%	0,28%
6	20	52,2	195	0,73558	0,94452	0,23%	0,29%
6	21	52,2	205	0,46414	0,7	0,14%	0,22%
6	22	52,2	215	0,32394	0,79391	0,10%	0,25%
6	23	52,2	225	0,05532	0,37812	0,02%	0,12%
6	24	52,2	235	0,08169	0,14722	0,03%	0,05%
6	25	52,2	245	0,15893	0,47573	0,05%	0,15%
6	26	52,2	255	0,40449	0,83102	0,12%	0,26%
6	27	52,2	265	0,4902	0,72689	0,15%	0,22%
6	28	52,2	275	0,48159	0,68363	0,15%	0,21%
6	29	52,2	285	0,20675	0,79196	0,06%	0,24%
6	30	52,2	295	0,13764	0,825	0,04%	0,25%
6	31	52,2	305	0,34648	0,52697	0,11%	0,16%
6	32	52,2	315	0,20142	0,54571	0,06%	0,17%
6	33	52,2	325	0,17324	0,5125	0,05%	0,16%
6	34	52,2	335	0,27465	0,96255	0,08%	0,30%
6	35	52,2	345	0,11831	0,47091	0,04%	0,15%

Nr pola zenitalnego (pierścienia pomiarowego)	Nr pola azymutalnego	Środek pierścienia pomiarowego (w st.)	Środek pola azymutalnego (w st.)	Frakcja koron (8001)	Frakcja koron (1185)	Ażurowość (8001)	Ażurowość (1185)
6	36	52,2	355	0,1174	0,80252	0,04%	0,25%
7	1	43,6	5	0,08284	0,73907	0,03%	0,23%
7	2	43,6	15	0,25991	0,86975	0,08%	0,27%
7	3	43,6	25	0,40413	0,82081	0,12%	0,25%
7	4	43,6	35	0,41056	0,05102	0,13%	0,02%
7	5	43,6	45	0,29912	0,83815	0,09%	0,26%
7	6	43,6	55	0,40323	0,93324	0,12%	0,29%
7	7	43,6	65	0,08467	0,83454	0,03%	0,26%
7	8	43,6	75	0,17968	0,45455	0,06%	0,14%
7	9	43,6	85	0,10472	0,8961	0,03%	0,28%
7	10	43,6	95	0,24454	0,59913	0,08%	0,18%
7	11	43,6	105	0,20206	0,53835	0,06%	0,17%
7	12	43,6	115	0,16667	0,9552	0,05%	0,29%
7	13	43,6	125	0,54639	0,71574	0,17%	0,22%
7	14	43,6	135	0,48467	0,57514	0,15%	0,18%
7	15	43,6	145	0,23348	0,90131	0,07%	0,28%
7	16	43,6	155	0,76946	0,73149	0,24%	0,23%
7	17	43,6	165	0,26215	0,64791	0,08%	0,20%
7	18	43,6	175	0,28529	0,68398	0,09%	0,21%
7	19	43,6	185	0,46302	0,88921	0,14%	0,27%
7	20	43,6	195	0,6652	0,92475	0,21%	0,29%
7	21	43,6	205	0,42625	0,91618	0,13%	0,28%
7	22	43,6	215	0,29619	0,83673	0,09%	0,26%
7	23	43,6	225	0,15103	0,66329	0,05%	0,20%
7	24	43,6	235	0,16276	0,23077	0,05%	0,07%
7	25	43,6	245	0,08029	0,42816	0,02%	0,13%

Nr pola zenitalnego (pierścienia pomiarowego)	Nr pola azymutalnego	Środek pierścienia pomiarowego (w st.)	Środek pola azymutalnego (w st.)	Frakcja koron (8001)	Frakcja koron (1185)	Ażurowość (8001)	Ażurowość (1185)
7	26	43,6	255	0,32106	0,78788	0,10%	0,24%
7	27	43,6	265	0,63717	0,96248	0,20%	0,30%
7	28	43,6	275	0,49054	0,95335	0,15%	0,29%
7	29	43,6	285	0,22124	0,98408	0,07%	0,30%
7	30	43,6	295	0,20906	0,96243	0,06%	0,30%
7	31	43,6	305	0,03387	0,70554	0,01%	0,22%
7	32	43,6	315	0,08759	0,51734	0,03%	0,16%
7	33	43,6	325	0,09838	0,69666	0,03%	0,22%
7	34	43,6	335	0,49633	0,9463	0,15%	0,29%
7	35	43,6	345	0,13108	0,5267	0,04%	0,16%
7	36	43,6	355	0,14265	0,82828	0,04%	0,26%
8	1	33,1	5	0,05199	0,81682	0,02%	0,25%
8	2	33,1	15	0,19172	0,95758	0,06%	0,30%
8	3	33,1	25	0,30534	0,33837	0,09%	0,10%
8	4	33,1	35	0,26114	0,45331	0,08%	0,14%
8	5	33,1	45	0,43779	0,95639	0,14%	0,30%
8	6	33,1	55	0,21659	0,99697	0,07%	0,31%
8	7	33,1	65	0,06912	0,82831	0,02%	0,26%
8	8	33,1	75	0,28287	0,67625	0,09%	0,21%
8	9	33,1	85	0,07209	0,90827	0,02%	0,28%
8	10	33,1	95	0,298	0,6997	0,09%	0,22%
8	11	33,1	105	0,27786	0,62273	0,09%	0,19%
8	12	33,1	115	0,22581	0,97734	0,07%	0,30%
8	13	33,1	125	0,36391	0,94578	0,11%	0,29%
8	14	33,1	135	0,6677	0,86617	0,21%	0,27%
8	15	33,1	145	0,54587	0,99697	0,17%	0,31%

Nr pola zenitalnego (pierścienia pomiarowego)	Nr pola azymutalnego	Środek pierścienia pomiarowego (w st.)	Środek pola azymutalnego (w st.)	Frakcja koron (8001)	Frakcja koron (1185)	Ażurowość (8001)	Ażurowość (1185)
8	16	33,1	155	0,74426	0,92018	0,23%	0,28%
8	17	33,1	165	0,52301	0,69289	0,16%	0,21%
8	18	33,1	175	0,58841	0,90075	0,18%	0,28%
8	19	33,1	185	0,62844	0,8048	0,19%	0,25%
8	20	33,1	195	0,58896	0,99848	0,18%	0,31%
8	21	33,1	205	0,68855	0,96828	0,21%	0,30%
8	22	33,1	215	0,43011	0,83434	0,13%	0,26%
8	23	33,1	225	0,32412	0,78045	0,10%	0,24%
8	24	33,1	235	0,06759	0,26929	0,02%	0,08%
8	25	33,1	245	0,03072	0,5994	0,01%	0,19%
8	26	33,1	255	0,15749	0,69138	0,05%	0,21%
8	27	33,1	265	0,55215	0,97594	0,17%	0,30%
8	28	33,1	275	0,58525	0,9985	0,18%	0,31%
8	29	33,1	285	0,2916	0,95152	0,09%	0,29%
8	30	33,1	295	0,08295	0,85347	0,03%	0,26%
8	31	33,1	305	0,09786	0,69127	0,03%	0,21%
8	32	33,1	315	0,09737	0,5188	0,03%	0,16%
8	33	33,1	325	0,30275	0,81846	0,09%	0,25%
8	34	33,1	335	0,38132	0,96536	0,12%	0,30%
8	35	33,1	345	0,05061	0,68684	0,02%	0,21%
8	36	33,1	355	0,03201	0,90526	0,01%	0,28%
9	1	13,1	5	0,13154	0,93093	0,04%	0,29%
9	2	13,1	15	0,44657	0,87363	0,14%	0,27%
9	3	13,1	25	0,35987	0,35737	0,11%	0,11%
9	4	13,1	35	0,09062	0,73386	0,03%	0,23%
9	5	13,1	45	0,1035	0,98273	0,03%	0,30%

Nr pola zenitalnego (pierścienia pomiarowego)	Nr pola azymutalnego	Środek pierścienia pomiarowego (w st.)	Środek pola azymutalnego (w st.)	Frakcja koron (8001)	Frakcja koron (1185)	Ażurowość (8001)	Ażurowość (1185)
9	6	13,1	55	0,05071	0,79121	0,02%	0,24%
9	7	13,1	65	0,01438	0,88365	0,00%	0,27%
9	8	13,1	75	0,01754	0,99687	0,01%	0,31%
9	9	13,1	85	0,00472	0,98891	0,00%	0,31%
9	10	13,1	95	0,07051	0,89482	0,02%	0,28%
9	11	13,1	105	0,12939	0,74103	0,04%	0,23%
9	12	13,1	115	0,18979	0,87461	0,06%	0,27%
9	13	13,1	125	0,14921	0,92913	0,05%	0,29%
9	14	13,1	135	0,19237	0,95133	0,06%	0,29%
9	15	13,1	145	0,14696	1	0,05%	0,31%
9	16	13,1	155	0,39303	0,98428	0,12%	0,30%
9	17	13,1	165	0,79712	0,86677	0,25%	0,27%
9	18	13,1	175	0,9104	0,99525	0,28%	0,31%
9	19	13,1	185	0,72583	0,99843	0,22%	0,31%
9	20	13,1	195	0,55024	0,99844	0,17%	0,31%
9	21	13,1	205	0,54459	0,99373	0,17%	0,31%
9	22	13,1	215	0,46264	0,94646	0,14%	0,29%
9	23	13,1	225	0,29618	0,92465	0,09%	0,29%
9	24	13,1	235	0,37718	0,40973	0,12%	0,13%
9	25	13,1	245	0,49042	0,71855	0,15%	0,22%
9	26	13,1	255	0,37959	0,9373	0,12%	0,29%
9	27	13,1	265	0,46541	0,98098	0,14%	0,30%
9	28	13,1	275	0,6891	0,98587	0,21%	0,30%
9	29	13,1	285	0,5607	0,97972	0,17%	0,30%
9	30	13,1	295	0,33652	0,97962	0,10%	0,30%
9	31	13,1	305	0,13968	0,99055	0,04%	0,31%

Nr pola zenitalnego (pierścienia pomiarowego)	Nr pola azymutalnego	Środek pierścienia pomiarowego (w st.)	Środek pola azymutalnego (w st.)	Frakcja koron (8001)	Frakcja koron (1185)	Ażurowość (8001)	Ażurowość (1185)
9	32	13,1	315	0,02544	0,9686	0,01%	0,30%
9	33	13,1	325	0,3147	0,72057	0,10%	0,22%
9	34	13,1	335	0,2504	0,90094	0,08%	0,28%
9	35	13,1	345	0,16613	0,85423	0,05%	0,26%
9	36	13,1	355	0,0864	0,91918	0,03%	0,28%

Tabela IV.12. Porównanie średnich wartości frakcji koron oraz sum ażurowości dla poszczególnych pierścieni pomiarowych dla zdjęć hemisferycznych przedstawionych na ryc. IV.39A. (zdjęcie nr 8001) oraz na ryc. IV.39B. (zdjęcie nr 1185).

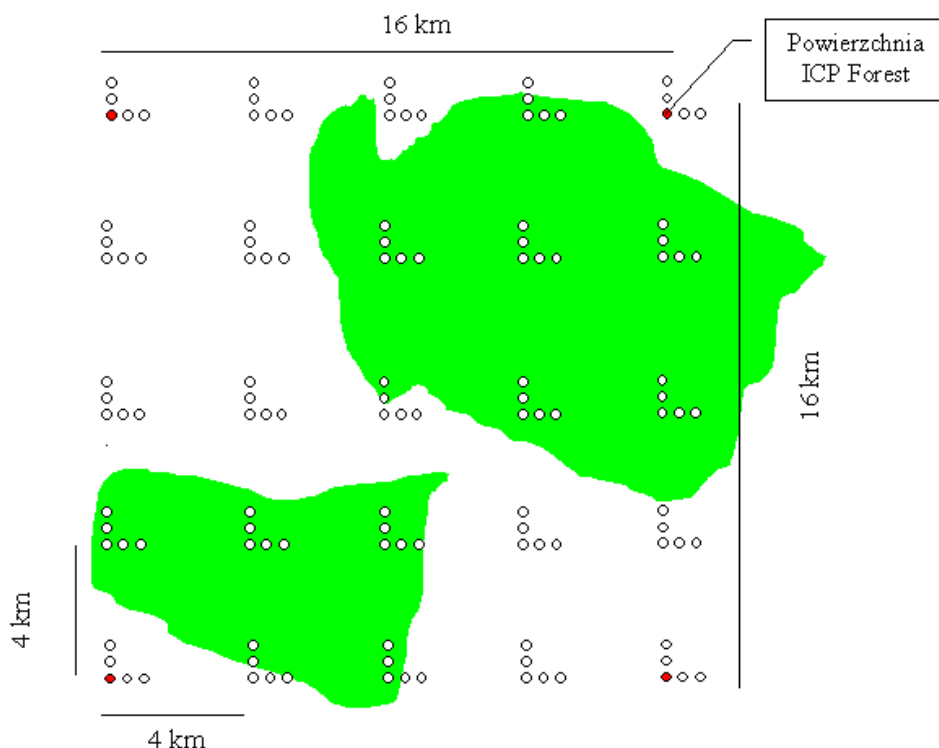
Nr pola zenitalnego (pierścienia pomiarowego)	Środek pierścienia pomiarowego (w st.)	Frakcja koron (8001)	Frakcja koron (1185)	różnica	Ażurowość (8001)	Ażurowość (1185)	różnica
1	86,8	0,0919	0,0014	0,0906	0,0003	0,0000	0,0003
2	80,4	0,3052	0,0808	0,2244	0,0009	0,0002	0,0007
3	73,8	0,4006	0,2539	0,1467	0,0012	0,0008	0,0005
4	67,1	0,3443	0,4132	-0,0689	0,0011	0,0013	-0,0002
5	59,9	0,3666	0,5464	-0,1798	0,0011	0,0017	-0,0006
6	52,2	0,3368	0,6548	-0,3180	0,0010	0,0020	-0,0010
7	43,6	0,2927	0,7374	-0,4447	0,0009	0,0023	-0,0014
8	33,1	0,3198	0,8019	-0,4820	0,0010	0,0025	-0,0015
9	13,1	0,3072	0,8884	-0,5812	0,0009	0,0027	-0,0018
średnia		0,3072	0,4865	-0,1792	0,0009	0,0015	-0,0006

Wyniki przedstawione w tabelach 3-5 obrazują nie tylko różnice pomiędzy udziałem frakcji koron, ażurowością i LAI w drzewostanie ulistnionym oraz po zrzućeniu liści, uzyskanymi w oparciu o analizę zdjęć hemisferycznych. Tego typu analizy pozwalają także

zwiększyć dokładność szacowania LAI. W rzeczywistości LAI uzyskany na podstawie analizy zdjęcia hemisferycznego przedstawionego na fot. 2A. zawiera nie tylko dane o aparacie asymilacyjnym, ale także dane o pniach i gałęziach. Niestety zwykle zredukowanie informacji ze zdjęcia w stanie ulistnionym o LAI określone w stanie bezlistnym również nie daje rzeczywistego LAI. Jest to efekt m. in. przesłaniania części liści przez pnie i gałęzie.

3.6 *Możliwości zastosowania zdjęć hemisferycznych w urządzaniu lasu*

Podstawowym zakresem, w którym powinny być wykorzystywane cyfrowe zdjęcia hemisferyczne są prace wykonywane w ramach wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasu (WISL) [Instrukcja wykonywania ..., 2004]. Dla uproszczenia prac proponuje się, aby na każdej powierzchni WISL wykonane zostało jedno zdjęcie hemisferyczne – ze środka powierzchni. Jedynie dla powierzchni wchodzących w skład sieci ICP Forest (siatka 16 x 16 km) (ryc. IV.43.) celowe jest wykonanie większej liczby zdjęć. Pozwoli to na pełne zobrazowanie zmienności struktury zwarcia koron i indeksu powierzchni liściowej.



Ryc. IV.43. Schemat powierzchni zakładanych w ramach wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasu z lokalizacją powierzchni ICP Forest. (Źródło: Instrukcja wykonywania ..., 2004).

Do wykonywania zdjęć hemisferycznych wykorzystywać można wiele różnych modeli kamer cyfrowych i dopasowaną do nich odpowiednią optykę. Ze względu na konieczność

maksymalnej redukcji kosztów należy wykorzystać konwerter typu „rybie oko” (umożliwiający uzyskanie kąta widzenia 180°) Raynox DCR-CF 185PRO [<http://raynox.co.jp/english/dcr/dcrcf187pro/index.htm>]. Listę modeli rekomendowanych przez producenta konwertera DCR-CF 185PRO można sprawdzić na stronie internetowej producenta.

Najprostszym i najtańszym rozwiązaniem umożliwiającym wykonanie cyfrowych zdjęć hemisferycznych jest zastosowanie cyfrowego kompaktu, z odpowiednim pierścieniem do zamocowania opisanego konwertera Raynox DCR-CF 185PRO. Kolejnym rozwiązaniem jest zastosowanie cyfrowej lustrzanki małoobrazkowej, obiektywem pracującym w zakresie ogniskowych pomiędzy 18 a 22 mm oraz konwerterem Raynox DCR-CF 185PRO. Z kolei najbardziej profesjonalnym, lecz jednocześnie najbardziej kosztownym rozwiązaniem, jest zastosowanie cyfrowej lustrzanki z obiektywem typu „circural fish-eye” (np. Canon EOS 5D + Sigma 8 mm f/3.5 DG EX) (fot. IV.7.).



Fot. IV.7. Zestaw do wykonywania zdjęć hemisferycznych: Canon EOS 5D (matryca 12 MP) + Sigma 8 mm f/3.5 DG EX FISH EYE. (Fot. Paweł Strzeliński)

Do analiz rastrowych zdjęć hemisferycznych zaleca się wykorzystywać oprogramowanie Gap Light Analyzer (v. 2.0) [<http://www.ecostudies.org/gla>]. Zaletami tego oprogramowania jest licencja typu freeware oraz częste cytowanie w publikacjach z zakresu

ekologii ekosystemów leśnych. Pozostałe oprogramowanie, które można wykorzystywać do analiz zdjęć hemisferycznych to:

- CI-110 [<http://www.cid-inc.com>],
- HemiView and the Digital Plant Canopy Imager [<http://www.delta-t.co.uk>],
- RGBFisheye [<http://www.gifu-u.ac.jp/~ishidam/RGBFisheye02.htm>],
- WinSCANOPY [<http://www.regent.qc.ca>].

Z grupy tej najbardziej wszechstronnym narzędziem jest program WinSCANOPY, który ma prawdopodobniej najwięcej cytowań w literaturze fachowej. Niestety jest to program, którego jedna licencja kosztuje ok. 3500 \$.

3.7 Podsumowanie i wnioski

Wykonanie zdjęć hemisferycznych dla jednej powierzchni (9 punktów pomiarowych) zajmuje jednej osobie ok. 30-40 min. Niestety czas ten dotyczy tylko optymalnych warunków pogodowych lub sytuacji, gdy promienie słoneczne nie padają bezpośrednio na obiektyw (np. tarcza słoneczna jest przesłonięta przez roślinność). Najbardziej czasochłonną czynnością w pracach terenowych jest wyznaczenie pozycji, z których wykonywane są zdjęcia (poza punktem środkowym). Celowe jest więc trwałe i widoczne ustabilizowanie pozostałych ośmiu punktów w ramach każdej powierzchni badawczej. Pozwoli to zwiększenie dokładności pozycji w kolejnych latach, gdy powtarzane będą pomiary.

Metoda cyfrowych zdjęć hemisferycznych nadaje się do praktycznego wykorzystania w trakcie inwentaryzacji stanu i zasobów leśnych, zwłaszcza w zakresie oceny indeksu powierzchni liściowej. Przy stosunkowo niewielkich nakładach finansowych można ją wdrożyć także do prac prowadzonych w ramach Wielkopowierzchniowej Inwentaryzacji Stanu Lasu.

Analizowanie wskaźnika LAI określanego dla drzewostanów w stanie ulistnionym i bezlistnym pozwala na zwiększenie dokładności i oszacowanie błędu pomiarowego dla stosowanej metody cyfrowych zdjęć hemisferycznych.

4. Mobilny system kartowania (MMS) narzędziem inwentaryzacji dróg leśnych

4.1 Wstęp

Standard Leśnej Mapy Numerycznej (SLMN) opisuje obiekty liniowe, które wykorzystuje się (obligatoryjnie lub fakultatywnie) w przestrzennych bazach danych Lasów Państwowych. Należą do nich między innymi drogi różnych kategorii, które muszą być podzielone na odcinki o określonej szerokości i nawierzchni. SLMN stwierdza, że obiekty liniowe będące w stanie posiadania Lasów Państwowych oraz pozostałe jednorodne tematycznie obiekty liniowe, w zasięgu terytorialnego działania nadleśnictwa, tworzą jedną warstwę informacyjną, opisującą np. drogi leśne i publiczne. Ich parametry opisowe znajdują się w bazie danych LAS, będącej częścią Systemu Informatycznego Lasów Państwowych (SILP).

Standard Leśnej Mapy Numerycznej przewiduje tworzenie liniowych warstw pochodnych: granice oddziałów, granice siedlisk, linie ostępowe, liniowe elementy uzbrojenia terenu, ciekі, szlaki turystyczne, komunikacja, komunikacja do analiz sieciowych oraz drogi przeciwpożarowe. Spośród nich najbardziej rozbudowaną listę atrybutów posiada *komunikacja do analiz sieciowych*. W jej skład wchodzi szerokość i rodzaj drogi, jej nachylenie, rodzaj nawierzchni, stan techniczny, maksymalna prędkość i obciążenie pojazdów mogących się po niej poruszać, maksymalna wysokość, długość i szerokość przewożonych ładunków, maksymalne nachylenie i maksymalny nacisk jednostkowy.

Jak wykazuje praktyka, nie zawsze wszystkie wymienione informacje opisowe znajdują się w bazie danych, a niekiedy bywają kłopoty z ich aktualizacją. Istnieje więc potrzeba opracowania szybkiej i dokładnej metody inwentaryzacji tych obiektów liniowych, które odgrywają istotną rolę w bieżącej działalności nadleśnictw. Należą do nich szczególnie drogi pożarowe i inne służące prowadzeniu akcji ratowniczych oraz drogi do wywozu drewna i prowadzenia bieżącej działalności.

4.2 Mobilny system kartowania(MMS) narzędziem inwentaryzacji dróg leśnych – opis technologii

Jednym ze sposobów inwentaryzacji tych obiektów może być mobilny system kartowania- Mobile Mapping System (MMS) zaprojektowany i wykonany w Polskim Przedsiębiorstwie Wydawnictw Kartograficznych (PPWK). System ten, będący polskim

patentem, to technologia szybkiego i efektywnego pozyskiwania aktualnych danych przestrzennych obejmujących pas drogowy wraz z jego najbliższym otoczeniem.

System tworzą:

- samochód pomiarowy wyposażony w skanery lidarowe dostarczające chmury punktów oraz zestawy kamer dostarczających obrazy o pokryciu stereoskopowym (fot. IV.8 i IV.9),



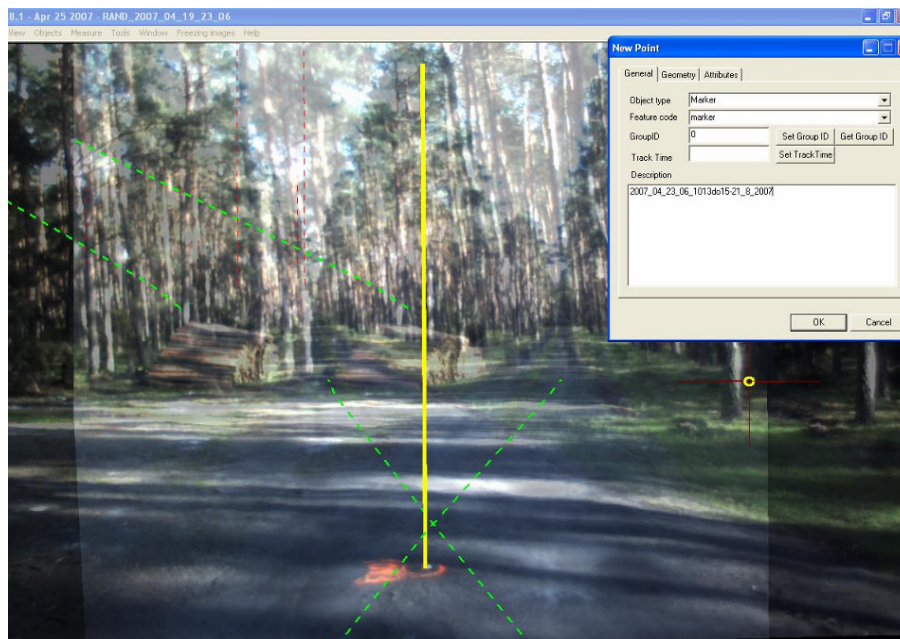
Fot. IV.8. Samochód pomiarowy wyposażony w zestaw skanerów oraz kamer fotogrametrycznych.



Fot. IV.9. Panel sterowania MMS wewnątrz samochodu pomiarowego..

- urządzenia określające geograficzną lokalizację rejestrowanych obrazów,
- oprogramowanie umożliwiające przetwarzanie pozyskanych danych do postaci kompatybilnej z geograficznymi bazami danych (GIS).

Pozycja samochodu obliczana jest w oparciu o dane pochodzące z trzech źródeł: pomiaru lokalizacji samochodu urządzeniami GPS, pomiaru przejechanego dystansu (odometr) oraz pomiaru zmiany kątów i przyspieszeń względem trzech osi (żyroskop, inercyjny system nawigacji - INS-Inertial Navigation System). Dane pozyskane z kamer MMS interpretowane są w oprogramowaniu fotogrametrycznym Object Aquisition Stereo Image System - OASIS (fot. IV.10). Pozwala ono na trójwymiarowe pomiary oparte na obrazie stereoskopowym oraz wizualizację danych. Tym samym jednokrotne zobrazowanie umożliwia wielokrotną interpretację i weryfikację pomiarów. Opracowane dane zostają zapisane w bazach GIS, w wielu powszechnie akceptowalnych formatach (ryc. IV.44).



Fot. IV.10. Zarejestrowane przez MMS obrazy analizowane są na modelu stereoskopowym z wykorzystaniem oprogramowania OASIS .



Ryc. IV.44. Wynikiem pomiarów dokonywanych z wykorzystaniem oprogramowania OASIS może być m.in. geobaza dróg, której część graficzna jest wykonana w standardzie LMN, a część opisowa może być eksportowana do SILP (LAS).

4.3 Informacje ogólne o projekcie

Pomiary z użyciem technologii MMS w polskich lasach rozpoczęły się w 2004. Były to doświadczalne przejazdy zrealizowane w Nadleśnictwie Skierniewice. Służyły testowaniu systemu i jego kalibracji. W roku 2006 w Nadleśnictwie Milicz, obrębie Milicz sfilmowano około 30km dróg. W utworzonej bazie wprowadzono warstwy: osi dróg, szerokości, graniczników, grodzień, łuków $r < 11m$, krawędzi drzewostanów, drzew. Były to pierwsze próby budowy struktury bazy, która mogłaby korespondować z bazami SILP i SLMN. W kolejnych projektach, w latach 2006-2008 prace te były kontynuowane, co doprowadziło do opracowania struktury bazy danych opisowych i geometrycznych możliwych do pozyskania z wykorzystaniem technologii MMS, ortofotomapy oraz numerycznego modelu terenu uwzględniającej wymogi SILP i SLMN.

W omawianym okresie eksperymenty nad zastosowaniem MMS przeprowadzono w kilku nadleśnictwach (Tab. IV.13).

Tab. IV.13. Zestawienie zakresów działań realizowanych na poligonach badawczych

Nadleśnictwo	Data	Ilość km	Cel
Skierniewice	2004	10	Sprawdzenie i kalibracja systemu.
Milicz	2004-2007	50	Poligony do badania dokładności, parametrów sensorów, prędkości przejazdu
Miękinia	2007	35	Poligon do oceny możliwości łączenia danych z MMS ortofotomapy i NMT(DTM) oraz NMPT(DSM)
Chojna	2007	30	Poligon do oceny dokładności LMN oraz integracji danych ortofotomapy sporządzonej dla potrzeb planu urządzania lasu i danych z MMS
Sławno	2006	10	Prezentacja technologii
Szczecinek	2007	20	Poligon do oceny metod inwentaryzacji dróg, klasycznej i MMS
Świeradów	2006-2007	300	Poligon do analiz sieciowych
Szklarska	2006-2007	200	Poligon do analiz sieciowych
Czarnobór	2008	100	Poligon do analiz dojazdów pożarowych
Połczyn	2008	20	Poligon do integracji danych z MMS oraz z mapy do celów projektowych

Z uwagi na kompleksowe podejście do problemu inwentaryzacji dróg leśnych doświadczenia zebrane podczas realizacji powyższych projektów stały się podstawą metody inwentaryzacji obiektów liniowych w lasach z wykorzystaniem wybranych narzędzi geomatycznych.

4.4 Koncepcja i metodyka prac. Materiały i metoda.

Metoda jest sposobem, w jaki musimy postępować w pewnej dziedzinie, tzn. sposobem, w jaki musimy porządkować nasze działanie, a mianowicie przyporządkować je pewnemu celowi. Porządkowanie, w przypadku opisywanej pracy, polegało na takim pozyskiwaniu oraz gromadzeniu danych (w zaprojektowanej strukturze bazy), żeby możliwe było wykonywanie na nich analiz służącym decyzjom w planowaniu finansowo-gospodarczym.

Metoda zastosowana w opisywanym projekcie wynikała z następujących założeń:

- obiekty liniowe w lasach można efektywnie inwentaryzować wykorzystując dane pozyskane za pomocą lotniczego skaningu laserowego, zdjęć lotniczych i mobilnego systemu kartowania (MMS)
- dane z tych źródeł można integrować uzyskując efekt synergii, w wyniku którego poprawiamy dokładność pomiarów, eliminujemy efekt „miejsc niewidocznych” oraz zmniejszamy koszty w realizacji planów finansowo-gospodarczych.

Uwzględniając powyższe założenia przyjęto następujący sposób postępowania:

1. Wykonanie koncepcji badań
2. Wybranie poligonów do badań
3. Wybranie narzędzi geomatycznych
4. Określenie parametrów technicznych pomiaru
5. Wykonanie pomiarów
6. Zestawienie wyników
7. Podsumowanie i wnioski

W koncepcji przyjęto, że badania wykonane zostaną na dwóch drogach jednej gruntowej, drugiej utwardzonej ze względu na zróżnicowanie szczegółów w pasie drogowym. Referencyjnymi danymi będą wyniki pomiarów osnów geodezyjnych założonych na wybranych drogach. Zostanie wykonany wielokrotny pomiar dróg z wykorzystaniem technologii MMS. Wykorzystane zostaną także dwie ortofotomapy oraz numeryczny model terenu, na których interpretowane będą osie dróg. Badania będą dotyczyły:

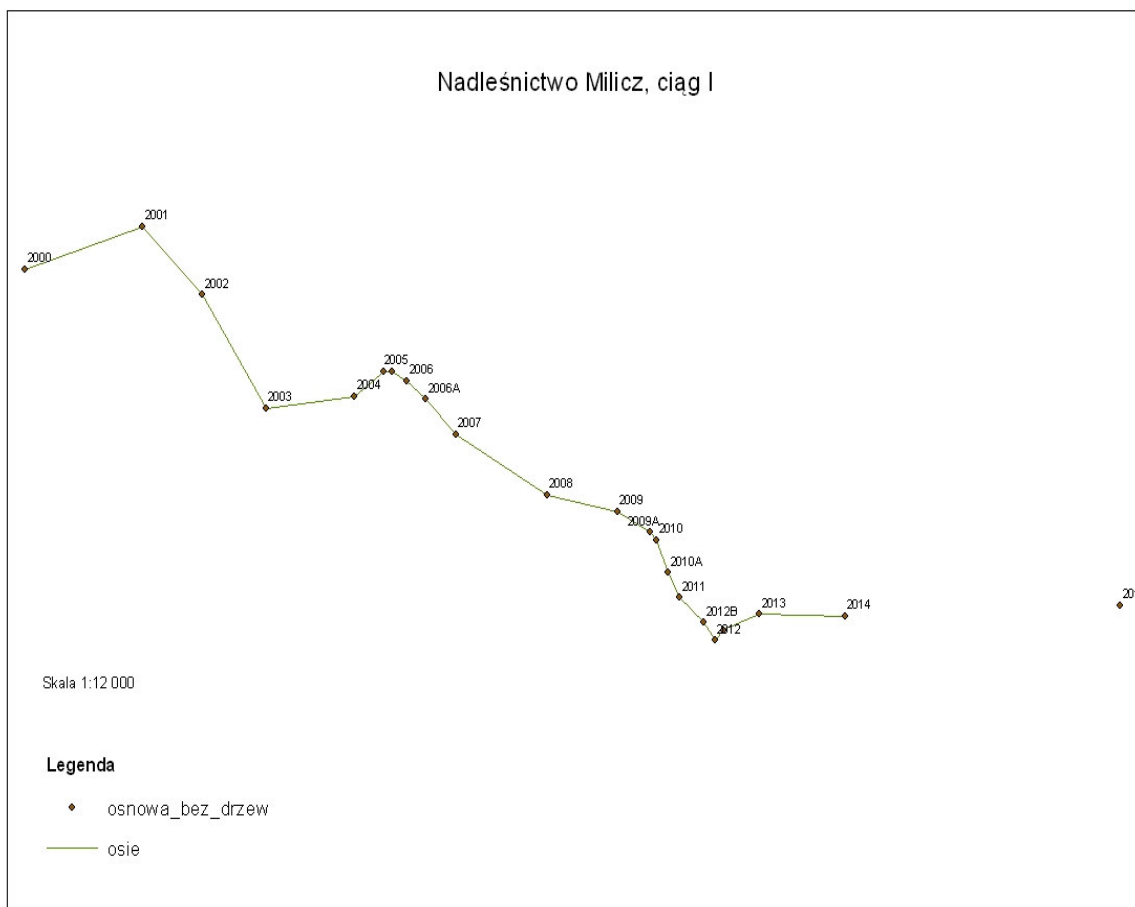
- Analizy błędów położenia osi dróg i pomiaru pierśnic

- Analizy parametrów dróg możliwych do pozyskania
- Analizy kosztów

Szczegółowe badania przeprowadzono dla dwóch odcinków dróg w Nadleśnictwie Milicz:

1. Na drodze publicznej - od drogi krajowej nr 15 do parku w Postolinie - Drogi I (punkty osnowy 2000, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2013, 2014, 2005A, 2006A, 2009A, 2010A, 2012A, 2012B (17 punktów)

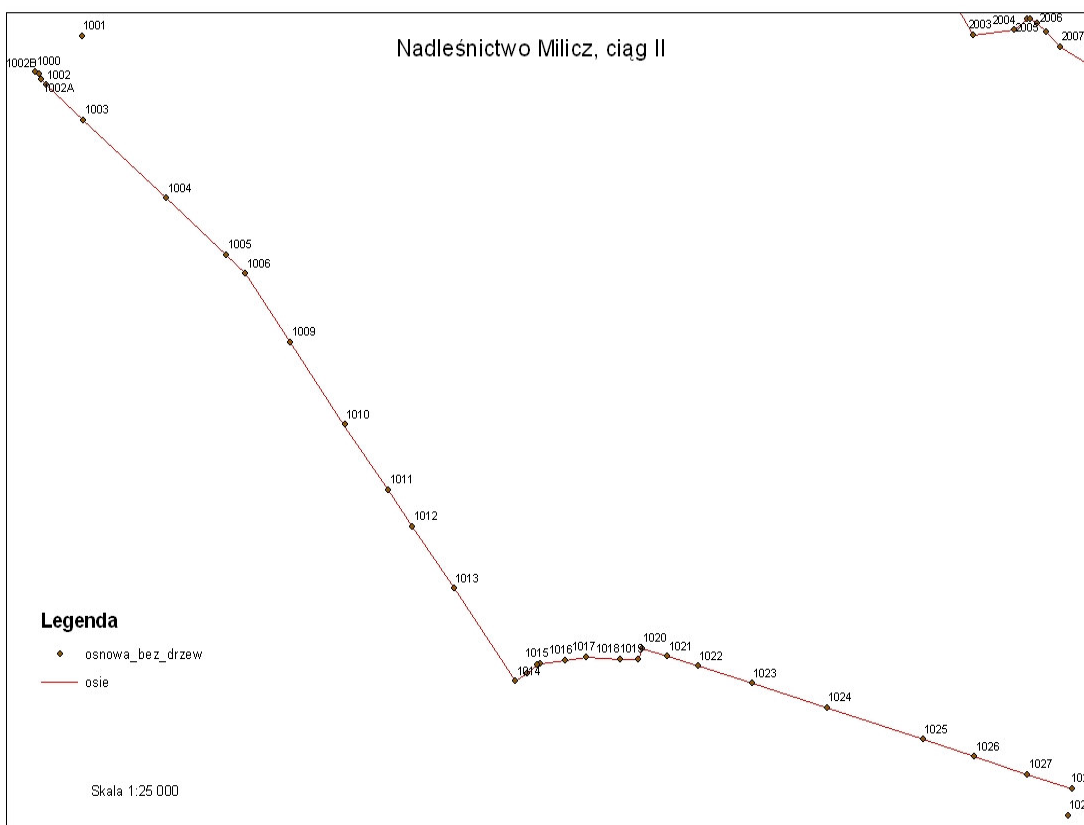
zapisana w LMN jako złożenie odcinków 10619, 10617, 10843 (ryc. IV.45).



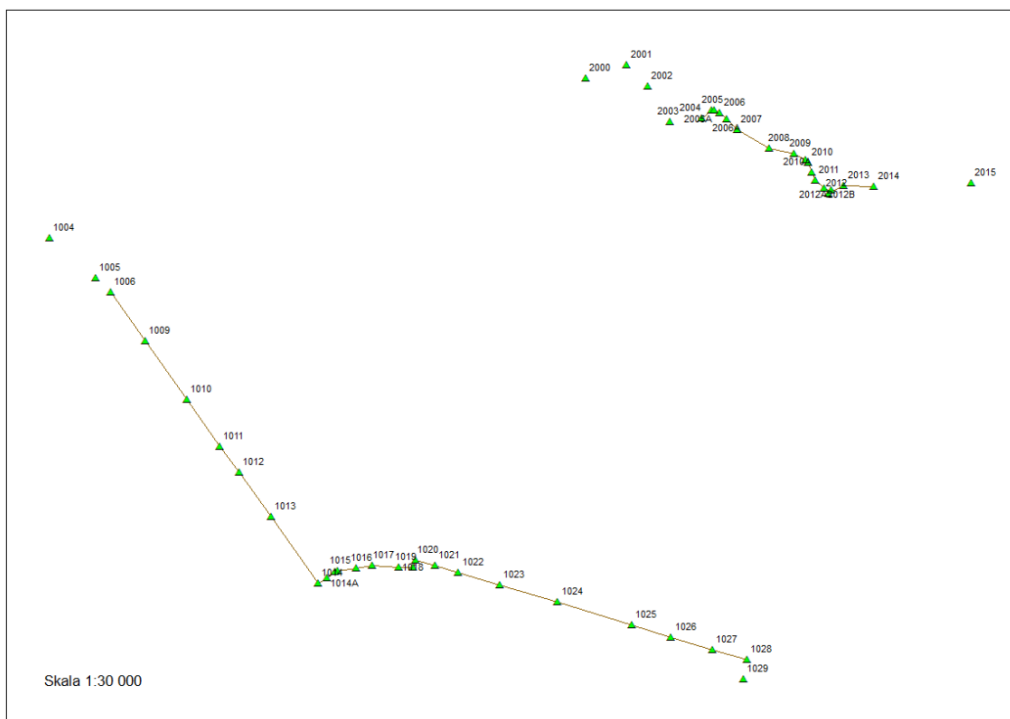
Ryc. IV.45. Osnowa drogi I, do której odnoszono pomiary z MMS oraz interpretacje osi dróg z ortofotomap i numerycznego modelu terenu.

- 2. Na drodze leśnej - od drogi krajowej nr 15, poprzez skrzyżowanie Gwiazda do Gruszczyki – Drogi II (punkty osnowy 1000, 1004, 1005, 1006, 1009, 1010, 1011, 1012, 1013, 1014, 1015, 1016, 1017, 1018, 1019, 1020, 1021, 1022, 1023, 1024, 1025, 1026, 1027, 10028, 1002A, 1002B, 1014A, 1014B (30 punktów)

zapisana w LMN jako złożenie odcinków 7384, 7358, 7343, 10536 (ryc. IV.46).



Ryc. IV.46. Osnowa drogi II , do której odnoszono pomiary z MMS oraz interpretacje osi dróg z ortofotomap i numerycznego modelu terenu.



Ryc. IV.47. Osnowy dróg I i II, do których odnoszono pomiary z MMS oraz interpretacje osi dróg z ortofotomap i numerycznego modelu terenu.



Ryc. IV.48. Oś oraz powierzchnia jednej z dróg, na których mierzono osnowy, na tle ortofotomap. Z lewej: ortofotomapa wykonana na podstawie analogowych barwnych zdjęć w podczerwieni, z pikselem 0,40m. Z prawej: ortofotomapa wykonana na podstawie cyfrowych zdjęć w barwach naturalnych, z pikselem 0,15m

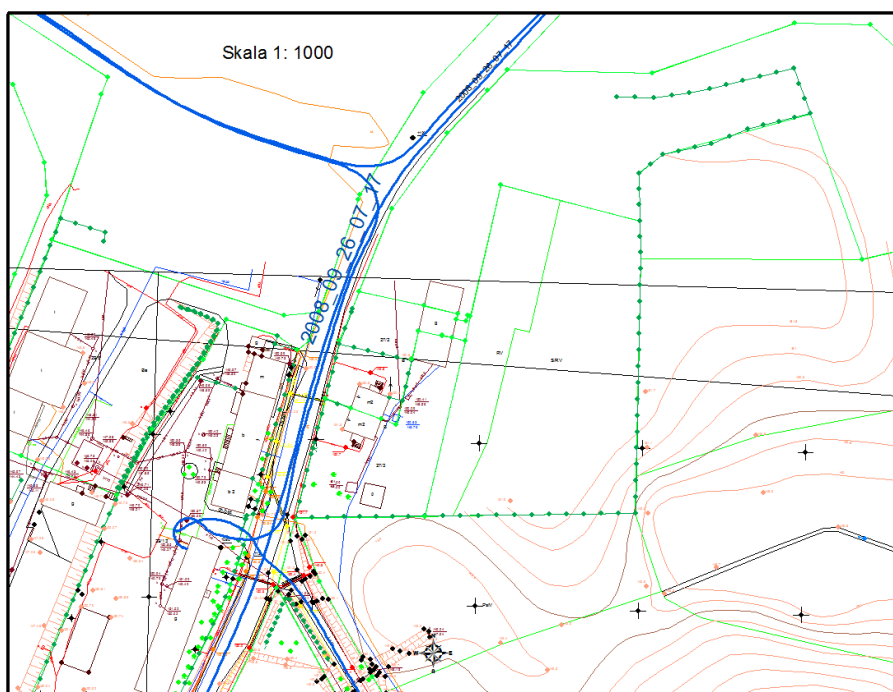
W 2007 roku wykonano pomiar terenowy osnów tych dróg (ryc IV.45-47) oraz kolejno w kwietniu, maju i czerwcu pomiary z wykorzystaniem technologii MMS. Na filmach z poszczególnych przejazdów – tzw. traków - pomierzono punkty osnowy, osie i szerokości dróg, granice lasu, rowy oraz wybrane elementy punktowe (hydranty, tablice informacyjne). Dokonano również pomiarów usytuowania 185 drzew oraz ich pierśnic .

Materiały będące przedmiotem badań zostały zebrane w Nadleśnictwach Milicz, Świeradów, Szklarska Poręba i Miękinia w Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych we Wrocławiu oraz Nadleśnictwie Czarnobór w Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Szczecinku. Zgromadzono je w postaci geobazy o następującej strukturze :

1. Warstwa „punkty”
 - Osnowa
 - Punkty przecięć
 - Osnowa MMS

2. Warstwa „linie”
 - Linie osnowy
 - Osie MMS
 - Osie ortofotomapy
 - Osie lidar
 - Linie do cięcia

3. Warstwa „powierzchnie”
 - Powierzchnie dróg
 - Zabudowa
 - Mijanki
 - Mosty



Ryc. IV.49. Wizualizacja fragmentu geobazy dróg z uwzględnieniem projektu technicznego infrastruktury na przykładzie Nadleśnictwa Czarnogór.

Wyniki pomiarów osi dróg MMS oraz interpretacji osi dróg na ortofotomapach (z pikselem 40cm, opracowanej na podstawie barwnych zdjęć w podczerwieni oraz z pikselem 15cm, opracowanej na podstawie cyfrowych zdjęć w barwach naturalnych) i numerycznym modelu terenu (zbudowanym na podstawie lotniczego skaningu laserowego), odnoszono do wyników pomiarów geodezyjnych, wykonanych równoległe na wybranych odcinkach dróg. Ponieważ pomiary terenowe były wykonane z błędem położenia, $m_p = 10\text{cm}$, lepszym o rząd wielkości od błędów położenia uzyskiwanych w projektach testowych, potraktowano je jako dane referencyjne. Wszystkie dane sprowadzano do jednego układu współrzędnych – PUWG 1992.

Na filmach z poszczególnych przejazdów, wykorzystując oprogramowanie OASIS, pomierzono punkty osnowy, osie dróg, szerokości dróg oraz pierścice oznaczonych drzew. Zbiór wyników pomiarów stanowił materiał do analizy błędów, którą wykonano w czterech etapach:

1. Zebranie danych referencyjnych:

- pomiary terenowe punktów osnowy,
- pomiary terenowe pierśnic,

2. Pomiar zarejestrowanych punktów osnowy oraz pierśnic z wykorzystaniem technologii MMS.

3. Analizy dokładności pomiarów z MMS w relacji do danych referencyjnych.

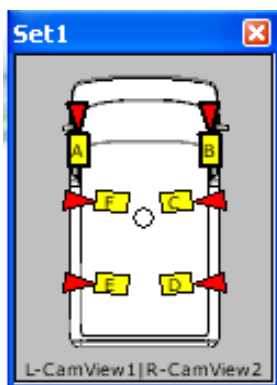
4. Analizy dokładności pomiarów interpretowanych osi dróg z :

- ortofotomap wykonanych ze zdjęć lotniczych analogowych i cyfrowych,
- numerycznego modelu terenu zbudowanego na podstawie skaningu lotniczego.

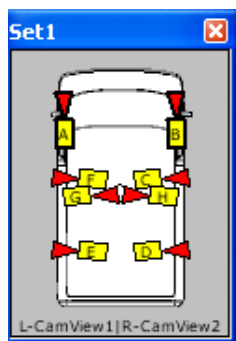
Parametry techniczne pomiarów

Do pomiarów MMS wykorzystano kamery cyfrowe CCD Sony dfw-sx 910, o rozdzielczości 1280x960 pikseli, montowane parami. Migawka o czasie ekspozycji 1:2000 wyzwalana była sygnałem zewnętrznym. Kamery wykonywały 3 zdjęcia na sekundę, zsynchronizowane ze sobą, co zapewniało, że rzeczywista baza stereogramu była równa odległości między kamerami i wynosiła od 1,5 do 1,8m. Na samochodzie zamontowane były również skanery laserowe SICK LMS 291-S05, usytuowane prostopadle do osi podłużnej samochodu, pozwalające na rejestrację chmury punktów w zakresie 180°, z gęstością próbkowania 1-0,25°, miarą zbieżystości promienia laserowego: 10mm na odległości 80 m .

Podczas rejestracji obrazów w kwietniu i maju 2007 gromadzono obrazy z 3 par kamer, kamer pojedynczych oraz skanerów(ryc. IV.50.). Pierwsza para zamontowana była w osi podłużnej samochodu, drugą i trzecią parę zamontowano prostopadle do osi samochodu. Pojedyncze kamery ustawione były pod kątem 45° w płaszczyźnie prostopadłej do osi samochodu, po obu jego stronach. Skanery zamontowano po obu stronach z możliwością rejestracji odbić w płaszczyźnie prostopadłej do osi samochodu.



Ryc. IV.50. Usytuowanie kamer podczas rejestracji obrazów w kwietniu i maju 2007



Ryc. IV.51. Usytuowanie kamer podczas rejestracji obrazów w czerwcu 2007

W przejeździe z czerwca rejestrowano obrazy z 3 par kamer, z których pierwsza para zamontowana była w osi podłużnej samochodu, druga i trzecia para zamontowano skośnie do osi samochodu (ryc. IV.51.) Skanery zamontowano po obu stronach z możliwością rejestracji odbić w płaszczyźnie prostopadłej do osi samochodu.

Samochód, na którym zamontowano kamery i skanery wyposażony był w urządzenia określające geograficzną lokalizację obrazów. Były to:

1. Odbiornik GPS Omni STAR 3200 LR12 - wykorzystuje on różnicową metodę pomiaru (dGPS). Odbiorniki te korzystają z danych z około 70 globalnych stacji referencyjnych odbierających wszystkie sygnały GPS z satelitów widocznych powyżej 5 stopni nad horyzontem. W stacjach tych porównywane są ich stałe współrzędne ze współrzędnymi otrzymanymi i na podstawie różnicy obliczany jest błąd-poprawka. Poprawki te są obliczane co sekundę i przesyłane do najbliższej stacji kontrolnej (NCC – Network Control Center), gdzie są sprawdzane oraz w czasie rzeczywistym przekazywane do odbiorników GPS.

2. Żyroskopy laserowe Fiber Optic Vertical Gyro VG700CB - są światłowodowymi żyroskopami mierzącymi kąty skręcenia poruszającego się samochodu.
3. Odometr DMI firmy SICK – który dostarcza informacji o przebytych dystansie. Wysyła on 360 impulsów na jeden obrót koła dzięki czemu można obliczyć ile impulsom odpowiada każdy przebyty metr mierzonej drogi.

Drugim źródłem danych, które uwzględniono przy budowie zestawu danych były ortofotomapy Nadleśnictwa Milicz wykonane w 2005 i 2006 roku.

Wykorzystywano także numeryczny model terenu zbudowany na podstawie lotniczego skaningu laserowego. Wykonano go w 2007 rok dla obszaru 8206 ha., z następującymi parametrami:

- zagęszczenie 4 punkty na m²
- dokładność 0,60m

Przy finalnym formułowaniu metody uwzględniono następujące etapy działań w celu inwentaryzacji elementów liniowych w nadleśnictwie:

1. Projekt sieci drogowej uwzględniającej wymogi inwestycyjne, ochrony przeciwpożarowej i transportu drewna.
2. Określenie parametrów technicznych pomiaru – projekt danych sieciowych .
3. Sporządzenie projektu struktury bazy danych zasilającej SILP(SIP), możliwych do pozyskania z MMS. W projekcie uwzględniono wymóg zgodności ze standardem Leśnej Mapy Numerycznej Nadleśnictwa Milicz.
4. Pozyskanie danych z MMS.
5. Przygotowanie filmów do pomiarów.
6. Rejestracja zdarzeń drogowych.
7. Redakcja kompletnej bazy ewidencyjnej.
8. Przeniesienie posiadanych przez Nadleśnictwo danych dodatkowych, archiwalnych do opracowanej struktury.

9. Opracowanie projektu aplikacji w tym formularzy i raportów ułatwiających korzystanie z bazy przez użytkowników.

10. Model danych sieciowych.

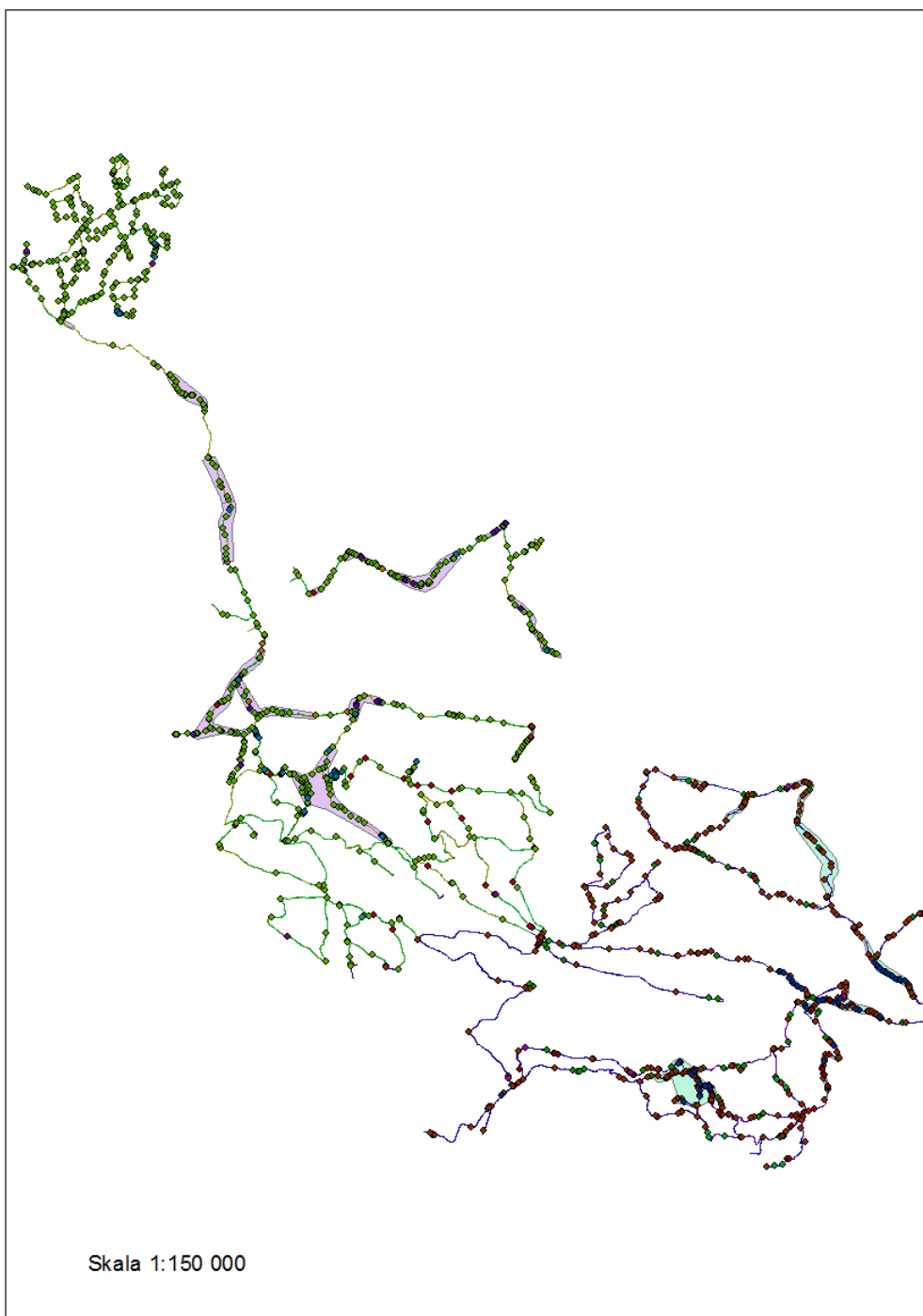
Tego typu podejście umożliwiło wykonanie trzech modeli sieci dróg:

- modelu do badania błędów położenia zbudowanego dla dróg Nadleśnictwa Milicz (ryc. IV.51).



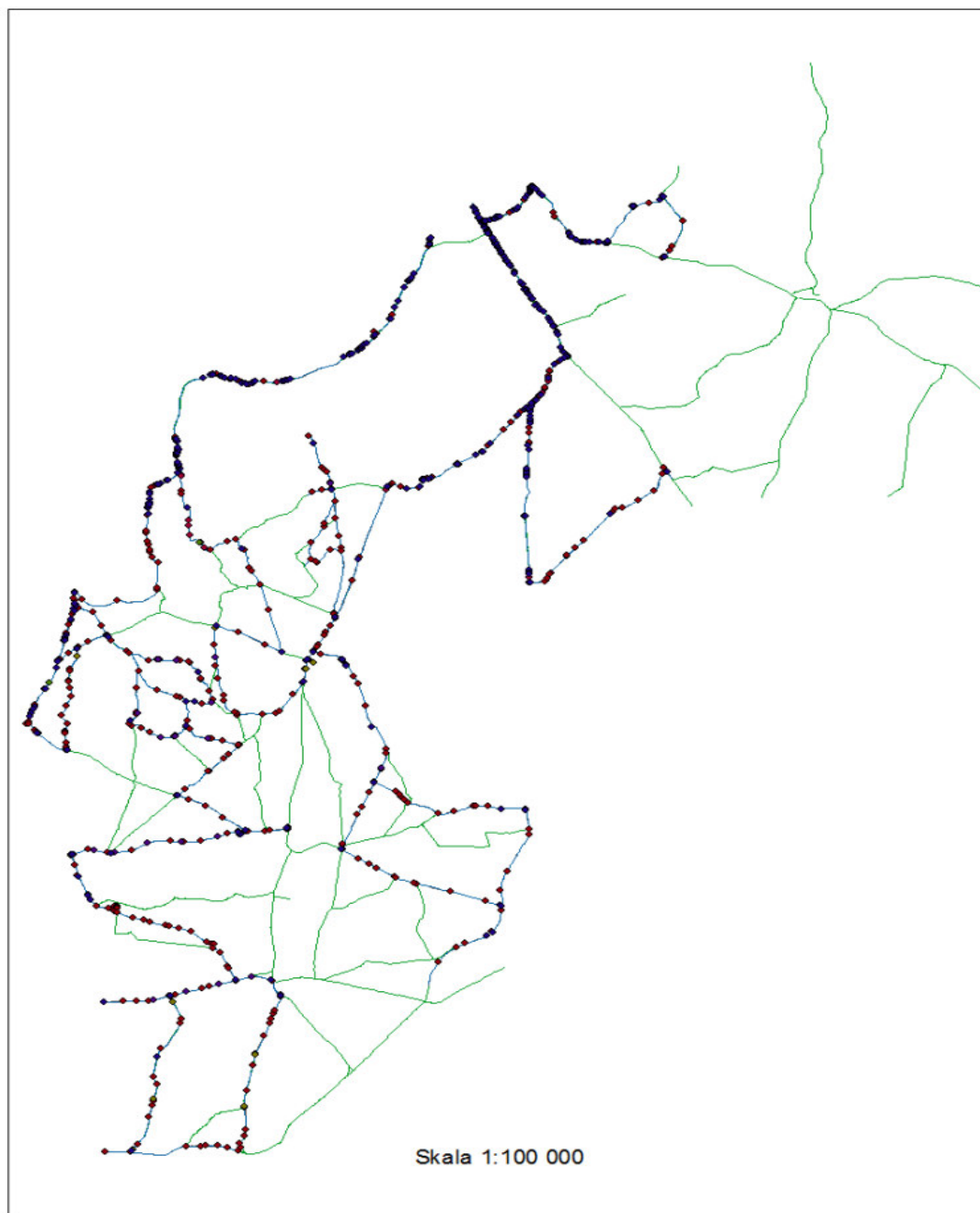
Ryc. IV.52. Wizualizacja modelu sieci dróg dla Nadleśnictwa Milicz

- modelu do sporządzenia analiz z zakresów transportu drewna, inwestycji oraz turystyki Nadleśnictwa Swieradów i Szklarska Poreba



Ryc. IV.53. Wizualizacja modelu sieci dróg dla Nadleśnictw Świeradów Zdrój i Szklarska Poręba.

- modelu dojazdów pożarowych dla Nadleśnictwa Czarnobór (ryc. IV.53).



Ryc. IV.54. Wizualizacja modelu sieci dróg dla Nadleśnictwa Czarnobór.

4.5 Wyniki

Wyznaczenie błędów średnich wykonano w oparciu o współrzędne x, y punktów ciągów poligonowych otwartych, założonych na obszarze doświadczalnym. Pomiar współrzędnych punktów ciągu przeprowadzono metodami geodezyjnymi tj. pomiarem GPS na punktach nawiązania oraz pomiarem długości boków ciągu i kątów na jego wierzchołkach. Otrzymano następujące dokładności pomiaru osnowy i elementów sytuacji (drzew):

1. współrzędne punktów na końcach projektowanych ciągów poligonowych określono przy zastosowaniu obserwacji GPS z błędem średnim ± 2 cm
2. punkty pośrednie obu ciągów określono poprzez wykonanie pomiaru poligonowego metodą 3 statywów z błędem średnim ± 5 cm
3. współrzędne poszczególnych pikiet uzyskano poprzez pomiar kąta kierunkowego i odległości do czoła drzewa z błędem średnim ± 5 cm.

Z analizy podanych wartości wynika, że ostateczna dokładność współrzędnych określonych punktów nie przekracza dopuszczalnego błędu przyjętego w instrukcji G-4 dla I grupy tj. ± 10 cm. Uzyskane dokładności pomiarów geodezyjnych pozwoliły na potraktowanie ich jako bezbłędnych w stosunku do pomiarów z wykorzystaniem technologii MMS, co pozwoliło na wyznaczenie błędów prawdziwych pomiarów przeprowadzonych Systemem Kartowania Mobilnego.

Wyniki otrzymane z rejestracji MMS poddano analizie dokładności, porównując je z:

Wyniki otrzymane z rejestracji MMS poddano analizie dokładności, porównując je z:

- pomiarami współrzędnych punktów osnowy geodezyjnej (47 punktów),
- pomiarami położenia osi dróg powstałych z połączenia punktów osnowy (358 pomiarów),
- pomiarami pierśnic 185 drzew.

Analizie dokładności poddano również różnice pomiarów osnow geodezyjnych, porównując je z:

- pomiarami osi dróg wykonanymi na podstawie cyfrowej ortofotomapy z pikselem 15cm (73 pomiary),
- pomiarami osi dróg wykonanymi na podstawie analogowej ortofotomapy z pikselem 40cm (79 pomiarów),
- pomiarami osi dróg wykonanymi na podstawie numerycznego modelu terenu wykonanego ze skaningu laserowego (90 pomiarów),

Analizy te wykazały, iż wykorzystanie MMS pozwala uzyskać wyniki o średnim błędzie pomiaru osi drogi 2,44m, a gdy wykorzystana są dane wieloźródłowe nie większym niż 2,0 m (tabela IV.14).

Tabela IV.14. Wyniki analizy dokładności uzyskanych wyników

Powierzchnia obszaru testowego [ha]	Długość całkowita dróg na obszarze testowym [km]	Długość dróg na jednostkę powierzchni [km/ha]	MMS	Ortofotomapa	NMT	Dane zintegrowane
			Średni błąd pomiaru osi drogi [m]	Średni błąd pomiaru osi drogi [m]	Średni błąd pomiaru osi drogi [m]	Średni błąd pomiaru osi drogi [m]
15000	500	0,03	2,44	2,0	3,0	2,0

Niezależnie od analiz dokładności określania wymiarów i położenia dróg, analizowano możliwość określania ich parametrów, które są (lub mogą być) gromadzone w relacyjnych bazach danych o obiektach liniowych nadleśnictwa. Wynik tej analizy przedstawiono w tabeli 2, opisując zestaw danych możliwych do pozyskania z rejestracji MMS, z ortofotomapy, skaningu laserowego oraz metody łączącej wyniki z MMS, ortofotomapy oraz NMT. Tabela ta zawiera także specyfikacje atrybutów, które można wykorzystać do aplikacji związanych z oceną inwestycji, wywozu drewna, ochrony przeciwpożarowej lasu i zagospodarowania turystycznego.

Tabela IV.15. Wykaz parametrów dróg, które można otrzymać na podstawie analizy danych geomatycznych, w relacji do możliwości sporządzania analiz przestrzennych (na podstawie tabeli „drogi” zawartej w SILP-LAS)

Drogi	Możliwość zebrania danych z MMS	Możliwość zebrania danych z ortofotomapy	Możliwość zebrania danych z MMS i ortofotomapy	Możliwość zebrania danych ze skaningu	Zakresy analiz - udział atrybutów			
					Ocena inwestycji	Transport drewna	Ppoż.	Turystyka
Kod_obiektu	z bazy istniejącej		z bazy istniejącej		*			
szerokosc_pasa_drogowego	tak	tak	tak	tak	*	*	*	*
rodzaj_drogi					*			*
Funkcja	tak		tak		*		*	*
sposób_użytkowania					*			*
Jednostka					*			
Rodz_nawierzchni	tak	tak	tak	tak	*	*	*	*
Ilość					*			
Powierzchnia	tak	tak	tak	tak	*	*	*	
Mijanki	tak	tak	tak	tak	*	*	*	
składnica_przydrozna/przejsć.	tak	tak	tak	tak	*	*		
Rów_przydrożny	tak		tak	tak	*			*
Max_zakres_predkości	tak		tak		*	*	*	
przepust_drogowy	tak		tak	tak	*			
Max_zakr_wys_ładunku				tak	*	*	*	
Max_zakr_dług_ładunku	tak			tak	*	*	*	
Max_zakr_szer_ładunku	tak		tak	tak	*	*	*	
Wodospust	tak		tak	tak	*		*	*
Długość	tak	tak	tak	tak	*	*	*	
Max_zakr_huków_poz		tak		tak	*	*	*	

					Zakresy analiz - udział atrybutów			
Szerokość	tak	tak	tak	tak	*		*	
Max_zakres_łuków_pion				tak	*	*	*	
Max_zakr_nac_jedn_na_podł-oże	ze znaków		ze znaków		*	*	*	
Max_zakres_nac_hylenia					*	*	*	*
Stan_techiczny					*	*	*	
nawierzchnia_naturalna	tak		tak		*		*	*
Naw_profilowana	tak		tak		*		*	*
Naw_wzmocniona_żwirem	tak		tak		*		*	*
Naw_wzmocniona_żuzłem	tak		tak		*		*	*
Naw_utwardzona_powierzch.	tak		tak		*		*	*

Przedstawiona w tabeli IV.15 lista cech dróg leśnych stanowi podstawę do zestawienia atrybutów sieciowych, które umożliwiają wykonywanie analiz przestrzennych przede wszystkim z zakresu inżynierskiego zagospodarowania lasu. Pozwalają one również wykonywać analizy przestrzenne w zakresie komunikacyjnego udostępniania lasów wielofunkcyjnych.

Zgromadzone dane stały się także podstawą do sporządzenia modeli danych sieciowych dla dróg leśnych. Modele te zbudowano w celu:

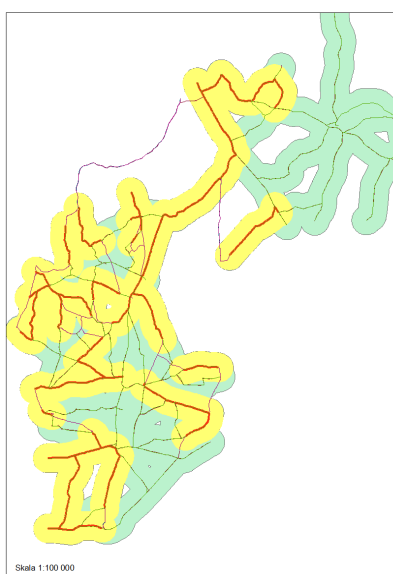
- badania błędów położenia dla dróg Nadleśnictwa Milicz (rys.12.)
- sporządzenia analiz z zakresów transportu drewna, inwestycji oraz turystyki dla dróg Nadleśnictw Świeradów Zdrój i Szklarska Poręba (rys.13.)
- analiz dojazdów pożarowych dla Nadleśnictwa Czarnobór (rys.14)

Modelami objęto odpowiednio 30,500 oraz 100 km dróg Nadleśnictw Milicz, Świeradów

i Szklarska Poręba oraz Czarnobór. W budowaniu sieci uwzględniono również dane z warstwy *komunikacja do analiz sieciowych* zawartej w LMN, które zostały zweryfikowane i poprawione. Operacje te wykonano przy użyciu oprogramowania ArcGIS. W powstałej sieci określono komponenty fizyczne i logiczne. Zestaw atrybutów sieciowych oparto o tabelę *drogi w infrastrukturze* z podsystemu LAS Systemu Informatycznego Lasów Państwowych. Wyodrębniono atrybuty:

- kosztów (np. za koszt uznawano czas przejazdu),
- ograniczeń (np. promień zakrętu <11 m, czy spadek drogi >4%),
- hierarchii (np. droga ppoż. w stosunku do pozostałych),
- opisujące (np. znaki określające nośność mostów i przepustów).

Określono atrybuty parametryzowane (np. szerokości pojazdów) oraz uwzględniające dane wysokościowe (służące określeniu spadków poszczególnych odcinków dróg). Zbudowano również multimodalny system sieciowy w celu analiz dotyczących zagospodarowania turystycznego. Uwzględniono w nim różne rodzaje sieci komunikacyjnej przeznaczonej dla pieszych, rowerzystów i pojazdów o różnej nośności. Wszystkie te operacje miały na celu umożliwienie dokonywania sieciowych analiz drogowych dotyczących działalności gospodarczej nadleśnictw (i ewentualnie wyższych szczebli zarządzania LP) w aspekcie komunikacji (wywóz drewna pojazdami o różnym tonażu, dostępność lasu dla pojazdów straży pożarnej) i dostępności lasów (turystyka, edukacja).



Ryc. IV.55. Wizualizacja analizy dojazdów pożarowych w Nadleśnictwie Czarnobór (I kategoria palności, odległość dojazdów 750m)

Ponadto podjęto próbę określania parametrów drzew rosnących przy drodze, oddalonych od jej krawędzi nie więcej niż 25 m. Zestaw parametrów pozwalających charakteryzować zadrzewienia na podstawie wybranych technik geomatycznych przedstawiony jest w tabeli 3. Wynika z niej między innymi, że błąd pomiarów wysokości drzew waha się od 0,5 do 1,5 m, w zależności od zastosowanej metody, a pierśnicy – nie przekracza 3 cm. Zestaw ten został sporządzony z uwzględnieniem ortofotomapy z pikselem 15cm oraz numerycznego modelu terenu o dokładności 0,60m.

Tabela IV.16. Zestawienie parametrów drzew możliwych do określenia na podstawie metod geomatycznych

Cechy zadrzewień	Zródło danych			
	MMS	Ortofotomapa lotnicza	Skaning laserowy NMT	MMS + ortofotomapa lotnicza
	Błąd (m)	Błąd (m)	Błąd (m)	Błąd (m)
Położenie	2,44	0,45	1	0,45
Gatunek	+	+	-	+
Wysokość	1,5	1	0,5	1
Średnica (obwód)	0,03	-	0,01	0,03
Wielkość korony (x,y)	0,5	0,45	0,5	0,45
Wielkość korony (x,y,z)	2,0	-	2,0	2,0
Struktura pionowa	1,5	-	0,5	1,5

Na zakończenie prac dokonano analiz kosztów zastosowania ortofotomapy, numerycznego modelu terenu (uzyskanego ze skaningu laserowego) oraz MMS. Gromadząc i akumulując dane z MMS i ortofotomapy można osiągnąć efekt synergii objawiający się zwiększeniem dokładności, charakterystycznej dla ortofotomapy w miejscach widoczności

drogi oraz zachowanie dokładności MMS w miejscach braku widoczności drogi na ortofotomapie.

W takim przypadku koszt opracowania 1 ha zgromadzonych danych wynosi od 18 do 25 zł. Na wielkość tej kwoty wpływają: koszt opracowania ortofotomapy, NMT oraz rejestracji i pomiarów MMS.

4.6 Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz można wysnuć następujące wnioski dotyczące inwentaryzacji obiektów liniowych (dróg) z wykorzystaniem metody wykorzystującej technologię MMS, zdjęcia stereoskopowe oraz skaniny laserowe:

- techniki geomatyczne pozwalają na efektywne zbieranie i gromadzenie danych o drogach w lasach, pozyskując atrybuty zgodnie z wymogami SILP i LMN,
- nowe rozwiązania technologiczne integrujące dane z GPS i INS pozwalają zwiększyć dokładność pozycjonowania samochodu pomiarowego, a tym samym dokładność określanych parametrów rośnie do 1m,
- wykorzystując dane wieloźródłowe można uzyskiwać dokładności lepsze niż 1m, optymalizując ekonomicznie gromadzenie danych i dostosowując powstające informacje do potrzeb użytkowników.

Powyższe stwierdzenia pozwalają sądzić, iż wykorzystanie technologii MMS w praktyce leśnej zaowocuje:

- uzyskaniem dobrej jakości danych przestrzennych o drogach z zapewnieniem topologii, koniecznej do przeprowadzania analiz sieciowych i biznesowych, umożliwiających efektywne zarządzanie, jak też stanowiących platformę do negocjacji leśników z odbiorcami drewna,
- usprawnieniem działań straży pożarnych, oraz zarządzania sytuacjami kryzysowymi, jak też zarządzania bieżącą działalnością nadleśnictw,
- umożliwieniem nawigacji po drogach leśnych jako naturalnego uzupełnienia nawigacji po drogach publicznych.
- Koszt wykonania opracowania 1ha zgromadzonych danych można przyjąć od 18 do 25zł, w tym udział opracowania 1 ha: $MMS\ 200 - 300zł/km * 0,03km/ha = 6-9zł/ha$; ortofotomapy 3-5zł/ha, NMT ze skaningu laserowego 9-11zł/ha.

Poziom cen 2008r.

Mając na uwadze powyższe można sformułować wniosek, że przedstawiona metoda inwentaryzacji obiektów liniowych w lasach nadaje się do wdrożenia praktycznego

4.7 Wnioski odnośnie do ewentualnych, dalszych etapów prac

1. Ze względu na szybki rozwój technologii szczególnie systemów INS należy kontynuować badania, w których zostano zastosowane nowe rozwiązania MMS umożliwiające wykorzystanie ich w celach ewidencyjnych, geodezyjnych i urzędzeniowych.
2. Dalszych badań wymaga wykorzystanie MMS do określania masy drzew stojących i leżących oraz do szacowania biomasy.
3. Prace badawcze i wdrożeniowe dotyczące wykorzystania nowych technologii geomatycznych należy kontynuować również z powodu przejawiania troski o swoiste ZUL-e geomatyczne, analogicznie tak jak dba się o ZUL-e zajmujące się zagospodarowaniem czy pozyskaniem drewna. W ten sposób Lasy Państwowe mogą wpływać na kształtowanie tego rynku (zwiększając szybkość pozyskiwania informacji i ich dokładność), a tym samym obniżać koszty działalności podstawowej i dodatkowej.