

**BADANIE ZMIAN KSZTAŁTU, WIELKOŚCI I TEMPERATUR
WYBRANYCH ELEMENTÓW TERENOWYCH NA TERMOGRAMACH
W FUNKCJI DYSTANSU CZASOWEGO I ODLEGŁOŚCIOWEGO
ICH REJESTRACJI**

**STUDY OF CHANGES IN THE SHAPE, SIZE AND TEMPERATURE
OF SOME FIELD ELEMENTS ON THERMOGRAMS
WITH TIME AND DISTANCE DELAYS IN THEIR REGISTRATION**

Andrzej Lubecki

Katedra Fotogrametrii i Teledetekcji, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

SŁOWA KLUCZOWE: termowizja, termografia, elementy terenowe, zobrazowania termalne, podczerwień termalna, termogram, obraz termalny

STRESZCZENIE: W pracy przedstawiono rezultaty badań przeprowadzonych celem tworzenia obrazów stereotermalnych, pozyskiwanych z pojedynczej kamery termowizyjnej AGEMA LWB 880 łącznie z kamerą CCD dla orientacji. Termogramy wykonywano z różnych wysokości i odległości od badanych obiektów. Badanymi obiektami były elementy terenowe znajdujące się w zasięgu widzenia skanera termalnego. Do najczęściej występujących należą: budynki, pola uprawne, łąki, nieużytki, wody, pastwiska, lasy, zakrzaczenia i zadrzewienia, drogi. Stanowiska kamery znajdowały się na wysokościach stabilnych, stacjonarnych od 1.5 do 50 m npt. Kąt rejestracji celowej do normalnej wahał się w granicach od 10 do 45°. Rejestrowano obiekty terenowe w trzech rejonach kraju, koło Koszalina w sąsiedztwie brzegu morskiego, koło Olsztyna i w terenie górzystym w sąsiedztwie Szymbarka, koło Gorlic. Wszystkie termogramy i kolorowe obrazy wizyjne pozyskano w terenie przy udziale programu „Thermoscope”. Termogramy rejestrowano w różnych odstępach czasowych, w różnych porach dnia słonecznych, w optymalnych warunkach atmosferycznych. Elementy terenowe stanowiące obiekty badawcze porównywano z tymi samymi obiektami zarejestrowanymi na sąsiednich termogramach, wykonanych z odpowiednim pokryciem podłużnym. Analizę badanych obiektów wykonano za pomocą wyżej wspomnianego programu. Podczas analizowania poszczególnych obiektów wykorzystano możliwości tworzenia histogramów liczbowych i graficznych oraz dane statystyczne. W efekcie badań stwierdzono, że występowanie większego dystansu czasowego między poszczególnymi rejestracjami termogramów, tym trudniej uzyskać stereotermogramy w odniesieniu do pozyskiwanych termogramów tylko w dni bezchmurne.

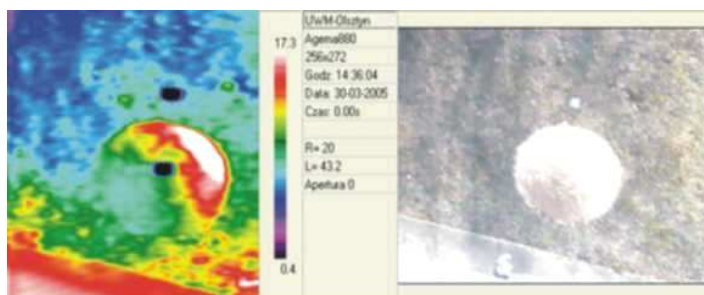
1. WSTĘP

Zobrazowania termowizyjne w ostatnim trzydziestoleciu rozpowszechniono nie tylko w zakresie gałęzi przemysłowych, ale również w takich naukach jak biologia, ekologia, ochrona środowiska, rolnictwo czy higiena żywienia ludzi i zwierząt. Na przestrzeni tych kilkudziesięciu lat metamorfozę przeszła aparatura, rozdzielczość zobrazowań i metody

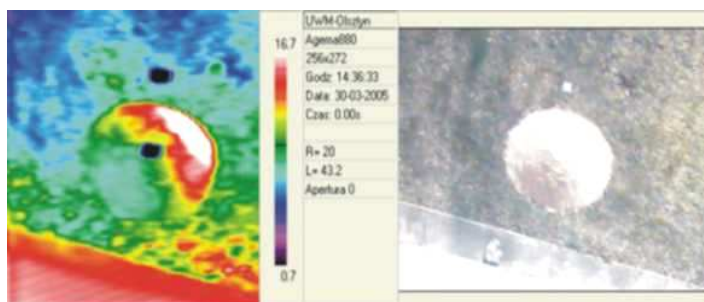
opracowań danych. Nastąpił znaczny postęp w zakresie rozdzielczości zobrażeń termalnych, budowy detektorów podczerwieni, sposobu chłodzenia detektorów oraz ich rodzajów. Spotykane są jako pojedyncze, liniowe, matrycowe. Występują jako chłodzone, niechłodzone, piroelektryczne, bolometryczne oraz fotonowe. Półprzewodnikowe jako fotoprzewodzące i fotowoltaiczne. W wielu przypadkach obrazy termalne stereoskopowe zapewniają dodatkową informację odnośnie natężenia energii cieplnej w sąsiadujących rozkładach powierzchniowych w miejscach niedostępnych. Są to obszary znajdujące się na powierzchniach wysokich budynków wzajemnie blisko siebie usytuowanych z występami czy uskoki architektonicznymi. Miejsca te mogą występować na obszarach bagien, palących się torfowisk czy hałd. Dlatego takie sytuacje wymagają przeanalizowania zmian powierzchni termicznych w czasie, podczas obserwacji stereotermogramów.

2. PORÓWNYWANIE TERMOGRAMÓW CAŁOPOWIERZCHNIOWYCH

Porównywanie poszczególnych termogramów w ich całych powierzchniach pod względem liczebności pikseli należących do poszczególnych podzakresów temperaturowych, odbywać się może za pomocą histogramów wybieranych dla ilości klas, tworzących jednocześnie węższe lub szersze przedziały temperatur. Liczbę klas można wybrać jako 10, 20, 50 lub 100. W miarę zwiększania liczby klas zmniejszają się zakresy temperaturowe w całym przedziale pomiarowym widocznym granicach barwnej skali przy każdym termogramie. Porównywane tu termogramy przedstawione na rysunkach 1 i 2 posiadają identyczne parametry rejestracji.

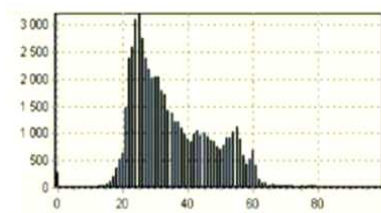


Rys. 1. Lewy pionowy termogram wykonany z bazy i jego obraz wizyjny

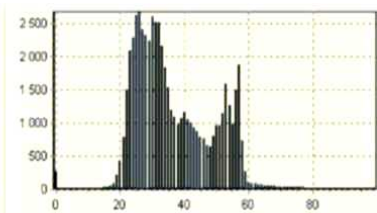


Rys. 2. Prawy pionowy termogram wykonany z bazy i jego obraz wizyjny

Histogramy lewego i prawego termogramu przedstawiono na rysunkach 1 i 2.



Rys. 3 Histogram lewego termogramu



Rys. 4. Histogram prawego termogramu

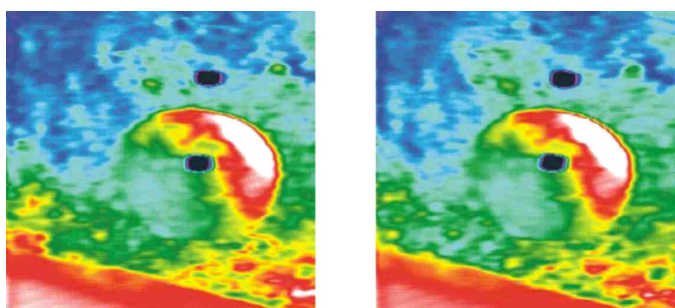
Wyniki ilościowe analizy termogramu lewego i prawego w dziesięciu klasach temperatur przedstawiono w tabelach 1, 2.

Tabela 1. Dla lewego termogramu

Klasy	Zakresy temp.	Ilość pikseli	Ilość w [%]
1	0.44 -3.14	266	0.45 %
2	3.14 -5.85	91	0.15 %
3	5.85 -8.56	2042	3.48 %
4	8.56 -11.26	24134	41.08 %
5	11.26 -13.97	13789	23.47 %
6	13.97 -16.68	9016	15.35 %
7	16.68 -19.38	7961	13.55 %
8	19.38 -22.09	1055	1.80 %
9	22.09 -24.80	358	0.61 %
10	24.80 -27.50	40	0.07 %
Suma		58752	100

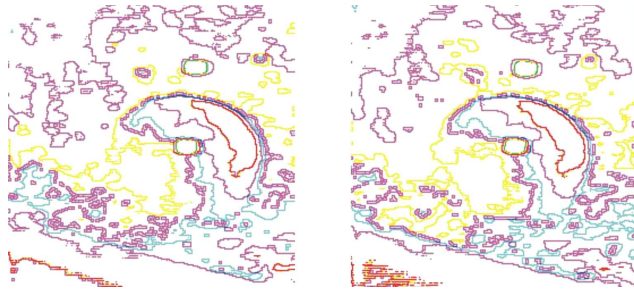
Tabela 2. Dla prawego termogramu

Klasy	Zakresy Temp.	Ilość pikseli	Ilość w [%]
1	0.44 -3.14	276	0.47 %
2	3.14 -5.85	89	0.15 %
3	5.85 -8.56	916	1.56 %
4	8.56 -11.26	21549	36.68 %
5	11.26 -13.97	16070	27.35 %
6	13.97 -16.68	8501	14.47 %
7	16.68 -19.38	10441	17.77 %
8	19.38 -22.09	600	1.02 %
9	22.09 -24.80	310	0.53 %
10	24.80 -27.50	0	0.00 %
Suma		58752	100



Rys. 5. Stereothermogram powstały z termogramów przedstawionych na rysunkach 1 i 2

Na podstawie danych liczbowych względem liczebności pikseli w 100 klasach (tu przedstawiono przykładowo w tabelach 1 i 2 dla 10 klas) określono ścisłą ich zależność. Dla takiej zależności obraz stereoskopowy termogramów jest doskonale widoczny. Przedstawiono go na termogramie 3. Model stereotermoskopowy, tzw. statyczny, zakłócany jest głównie przez chwilowe podmuchy wiatru, znaczne odstępy czasowe między kolejnymi rejestracjami termogramów, różne kąty widzenia tych samych obiektów i ich różne rozkłady termiczne.

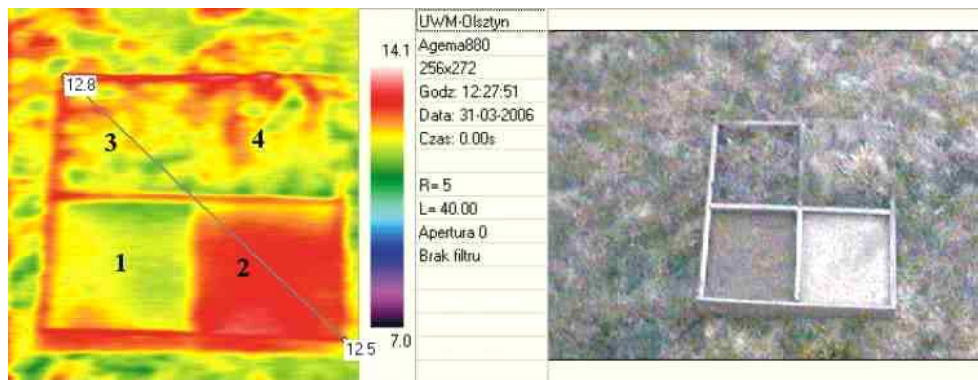


Rys. 6. Obraz stereotermogramu po zastosowaniu filtra trasowania obrysu

Wykorzystanie filtra trasowania przy porównywaniu sąsiednich termogramów stwarza możliwość analizy kształtów odwzorowanych obiektów na termogramach. Kształty obiektów na termogramach 1 i 2 są podobne w części środkowej, lecz różne w częściach narożnych. Natomiast model 3D jest w dalszym etapie doskonale zauważalny.

3. PORÓWNYWANIE TERMOGRAMÓW WZDŁUŻ LINII PRZEKROJU

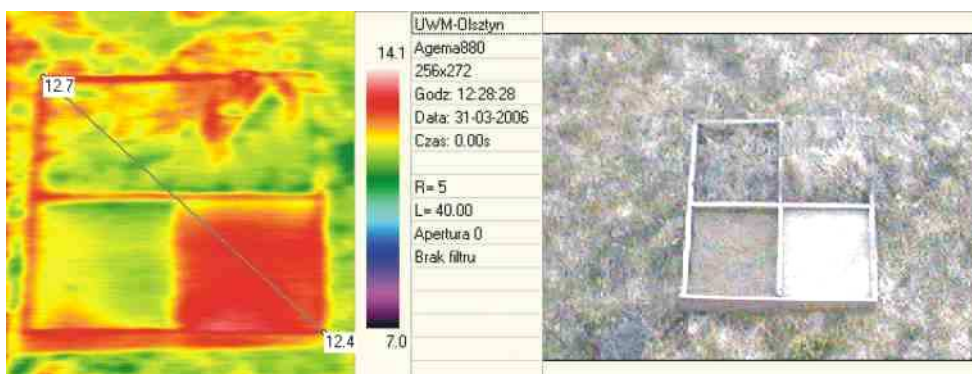
Przedstawiono tu sposób porównania termogramów między przeciwległymi krawędziami obudowy prowadzonego doświadczenia, wewnątrz którego znajdowały się cztery modele pokrycia terenowego. Były to: piasek gliniasty mocny, piasek luźny, pokrycie trawiaste z krótko strzyżoną trawą, częściowo spaloną słońcem oraz pokrycie trawiaste z wysoką trawą. Rejestrację termowizyjną wykonano 31 marca 2006 r. z wysokości 5 m, ze stanowisk stacjonarnych.



Rys. 7. Lewy termogram i cyfrowy obraz wizyjny obiektu badań

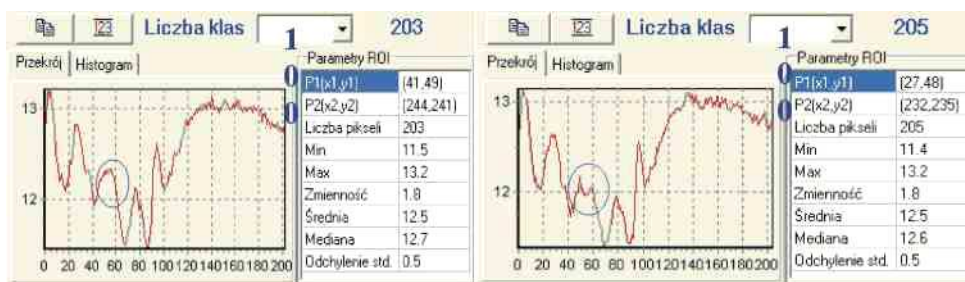
Analiza zmian natężenia energii termicznej wzdłuż linii łączącej określone punkty polega na przedstawieniu tego faktu na krzywej histogramu tworzonego w programie Thermoscope” powstałego w Politechnice Łódzkiej w 2005 roku.

Badanie zmian kształtu, wielkości i temperatur wybranych elementów terenowych na termogramach w funkcji dystansu czasowego i odległościowego ich rejestracji



Rys. 8. Prawy termogram i cyfrowy obraz wizyjny obiektu badań

Wykresy zmian termicznych, ilość pikseli przypadających na daną linię, liczbę klas oraz dane statystyczne każdego termogramu oddzielnie, przedstawiono na rysunkach 9,10.



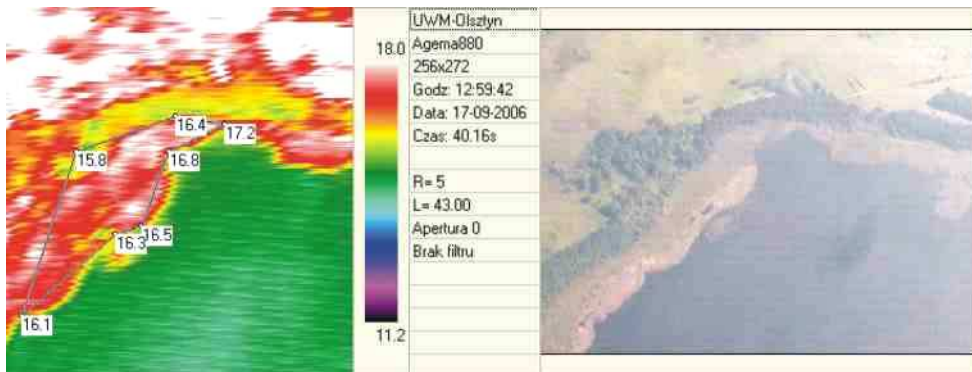
Rys. 9. Wykres zmian energii termicznej na lewym termogramie

Rys. 10. Wykres zmian energii termicznej na prawym termogramie

Obserwując przebiegi obu krzywych na przedstawionych wyżej rysunkach stwierdzono podobieństwo ich kształtu, jednak w oznaczonym kółku ich przebiegi różnią się znacznie, co wskazuje na brak ścisłej zależności a zatem brak modelu stereoskopowego, mimo, że czas między rejestracjami tych dwóch termogramów wyniósł 1 minutę 17 sekund.

4. PORÓWNYWANIE TERMOGRAMÓW LOTNICZYCH WZGLĘDEM OKREŚLONYCH OBSZARÓW

Lotnicze zobrazowania termo-wizyjne fragmentu jeziora Łuknajno koło Mikołajek przedstawiono na termogramach 6 i 7. Wykonano je z wysokości 1 100 m, 17 września 2006 r., ich czasowy dystans rejestracji w szeregu wynosił 5 s. Zobrazowania te zostaną wykorzystane do badań tego obszaru w pasie linii brzegowej jeziora celem zastosowania ich do planu ochrony Rezerwatu jez. Łuknajno. Do realizacji niniejszej pracy wykorzystano dwa sąsiednie zobrazowania z 300 wykonanych w tym zadaniu. Długość bazy terenowej zobrazowań podczas lotu z prędkością 120 km/h wynosiła 200 m.



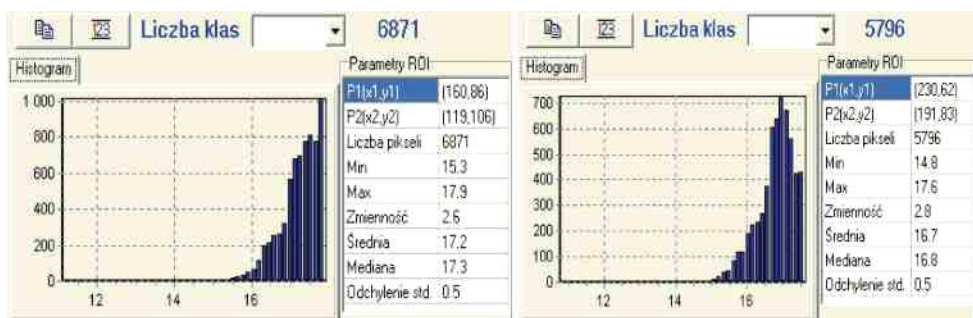
Rys. 11. Pierwszy lotniczy termogram z szeregu z zaznaczonym analizowanym obszarem i jego cyfrowy obraz wizyjny



Rys. 12. Drugi lotniczy termogram z szeregu z zaznaczonym analizowanym obszarem i jego cyfrowy obraz wizyjny

Obszar zaznaczony na termogramach jest celem analiz rozkładu natężenia energii cieplnej przy pasie brzegowym i dlatego został ty przedstawiony. Ze względu na małą rozdzielczość termogramu, brak na nim konturów obiektów terenowych. W celach identyfikacyjnych rejestrowane są jednocześnie termogramem i obraz wizyjny, barwny za pomocą kamery ccd. W tym zagadnieniu interesującą informację stanowi lokalizacja poszczególnych enklaw w zaznaczonym obszarze, na którym występują określone klasy termiczne wskazujące na przebywanie w nich ściśle ustalonych grup roślinności i zwierząt. Wgląd w model stereotermalny umożliwia dokładniejszą lokalizację tych miejsc i przeniesienie ich na model stereoskopowy wizyjny. Zapobiega to powstawaniu błędów wynikających z posługiwaniu się jednym obrazem termalnym. Histogramy termogramów (rys. 11, 12) przedstawiono na rysunkach, odpowiednio 13 i 14.

Badanie zmian kształtu, wielkości i temperatur wybranych elementów terenowych na termogramach w funkcji dystansu czasowego i odległościowego ich rejestracji



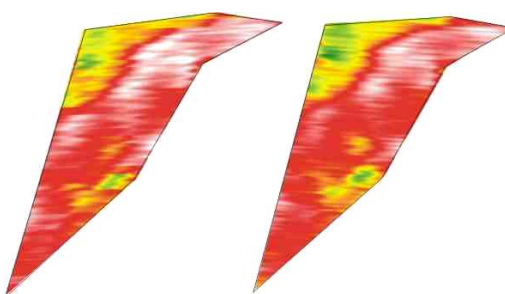
Rys. 13. Histogram termogramu (rys. 11)

Rys. 14. Histogram termogramu (rys. 12)

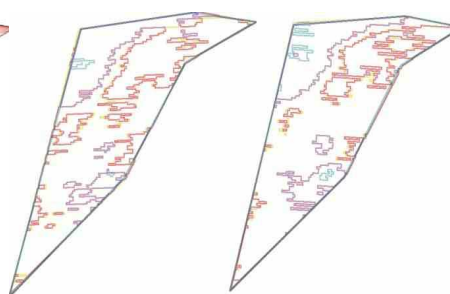
Tabela 3. Wyniki liczebności pikseli w analizowanym obszarze

Klasy	Zakres temp.	Ilość pikseli	Ilość w [%]	Lp	Zakresy temp.	Ilość pikseli	Ilość w [%]
1	11.22-11.89	0	0.00%	1	10.88-11.56	0	0.00%
2	11.89-12.57	0	0.00%	2	11.56-12.23	0	0.00%
3	12.57-13.24	0	0.00%	3	12.23-12.91	0	0.00%
4	13.24-13.91	0	0.00%	4	12.91-13.58	0	0.00%
5	13.91-14.59	0	0.00%	5	13.58-14.26	0	0.00%
6	14.59-15.26	0	0.00%	6	14.26-14.93	0	0.00%
7	15.26-15.93	0	0.00%	7	14.93-15.61	6	0.10%
8	15.93-16.60	129	1.88%	8	15.61-16.28	207	3.57%
9	16.60-17.28	845	12.30%	9	16.28-16.96	886	15.29%
10	17.28-17.95	5897	85.82%	10	16.96-17.63	4697	81.04%
Suma		6871	100	Suma		5796	100

Analizę kształtów przeprowadzono na fragmentach termogramów przedstawionych na rysunku 15, a wyniki po przeprowadzeniu filtracji trasowania i wykrywaniu krawędzi przedstawiono na rys. 16. Kształty granic rozkładu termalnego na obu fragmentach termogramów różnią się między sobą.



Rys. 15. Stereotermogram utworzony z termogramów (rys. 11 i 12)



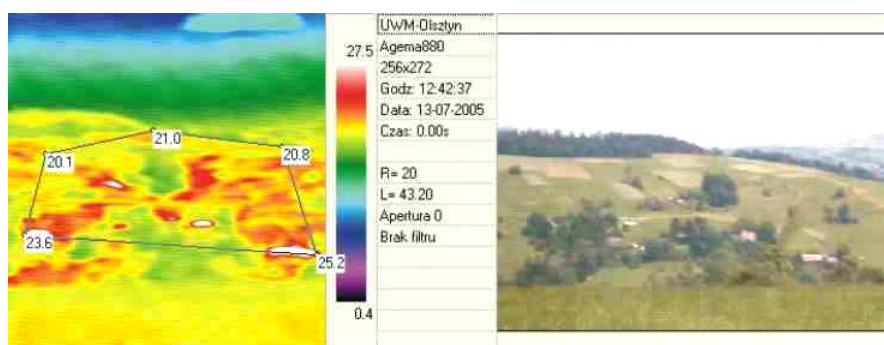
Rys. 16. Efekt procesów filtracji, trasowania i wykrywania krawędzi

Analiza graficzna i statystyczna obu termogramów potencjalnie tworzących stereotermogram wskazała na duże zróżnicowanie w liczebności pikseli wyznaczonych obszarów w ilości 1 075 pikseli, co stanowi ok. 17 % wszystkich w stosunku do średniej wszystkich pikseli w stereotermogramie. Efekt trasowania i krawędziowania przedstawiony na rysunku 7 potwierdził stwierdzenie. Wyniki otrzymane w tym przypadku określają brak możliwości powstania modelu stereotermoskopowego. Stwierdzono to naocznie. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest:

1. Mała rozdzielczość termogramów i brak możliwości wyboru tych samych punktów na obu obrazach bez ich stabilizacji w terenie przed nalotem. Stabilizacja termopunktów na terenie przy małej rozdzielczości obrazu termalnego jest niemożliwa ze względu na konieczność wykonywania termoznaków o wymiarach 2×3 m, dodatkowo podgrzewanych do temperatury minimum dwukrotnie wyższej niż wynosi temperatura powietrza podczas rejestracji lotniczej.
2. Niekorzystny wpływ na jakość obrazów termalnych ma fakt, że są one pozyskiwane na drodze skanowania w czasie 1/25 s, a nie z matrycy cyfrowej, które są oferowane w najnowszych kamerach termowizyjnych. Dodatkowo przelot płatowcem (tu Wilga PZL 104) a nie śmigłowcem zwiększa deformacje na termogramach.
3. Każdy rejestrowany termogram na pokładzie środka latającego obserwowany jest z innego punktu przestrzeni i jednocześnie zmienny jest kąt między kierunkiem od słońca do kierunku osi optycznej obiektywu kamery termalnej, co ma znaczący wpływ na obraz rozkładu natężenia energii termicznej.

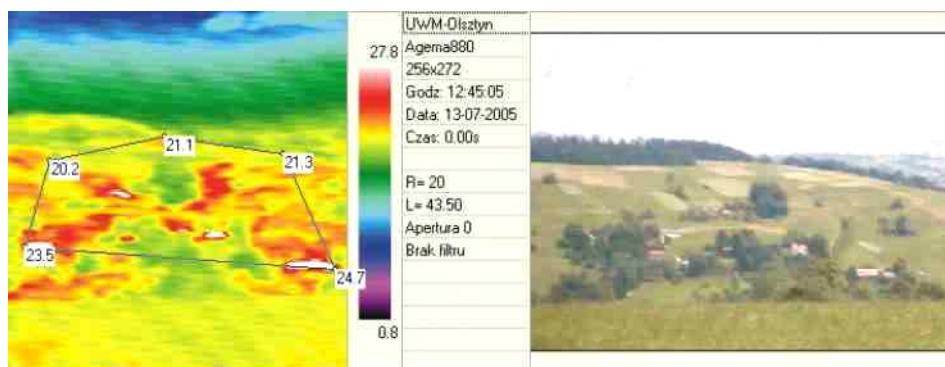
5. PORÓWNYWANIE TERMOGRAMÓW NAZIEMNYCH WZGLĘDEM WYBRANYCH ZJAWISK

Zobrazowania termalno-wizyjne przedstawione poniżej na term. 8 i 9 zarejestrowano w dniu 13 lipca 2005 roku w miejscowości Szymbark koło Gorlic ze stanowisk stacjonarnych z przeciwnego stoku. Celem zobrazowań były badania wpływu warunków klimatycznych i środowiskowych na stan termiki zachodzących na wyznaczonym obszarze. Odległość zobrazowań od stanowiska kamer do środkowej części określonego terenu wynosiła ok. 1 km. Dystans czasowy między dwoma zobrazowaniami z końców bazy wyniósł 2 minuty i 28 sekund.

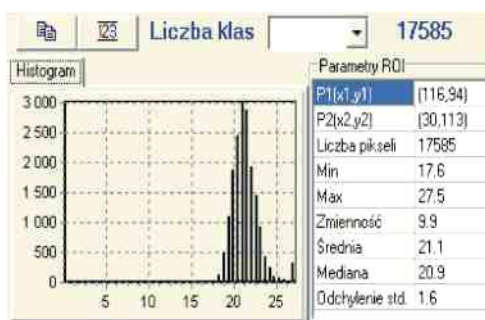


Rys. 17. Lewy termogram zarejestrowany ze stanowiska naziemnego i jego obraz wizyjny

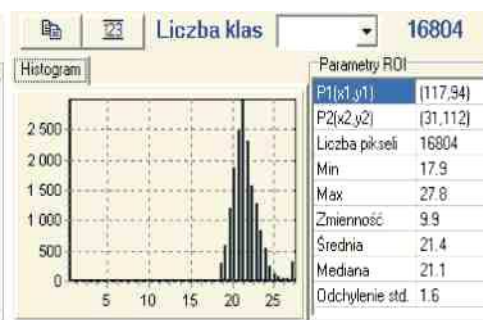
Badanie zmian kształtu, wielkości i temperatur wybranych elementów terenowych na termogramach w funkcji dystansu czasowego i odległościowego ich rejestracji



Rys. 18. Prawy termogram zarejestrowany ze stanowiska naziemnego i jego obraz wizyjny



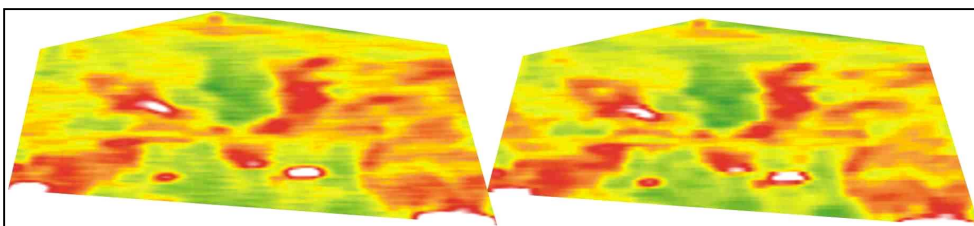
Rys. 19. Histogram lewego termogramu



Rys. 20. Histogram prawego termogramu

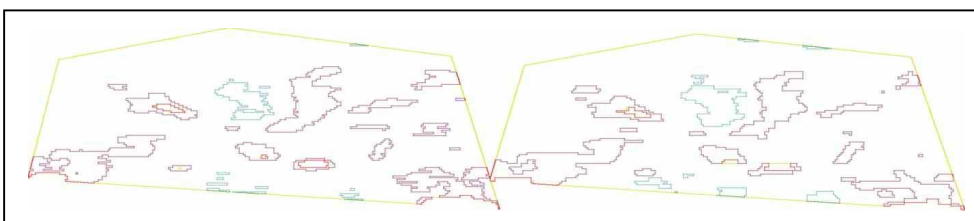
Tabela 4. Wyniki liczebności pikseli w obszarze zjawisk określonego terenu

Klasy	Zakresy temp.	Ilość pikseli	Ilość w [%]	Klasy	Zakresy temp.	Ilość pikseli	Ilość w [%]
1	0.44-3.14	0	0.00%	1	0.82-3.52	0	0.00%
2	3.14-5.85	0	0.00%	2	3.52-6.22	0	0.00%
3	5.85-8.56	0	0.00%	3	6.22-8.91	0	0.00%
4	8.56-11.26	0	0.00%	4	8.91-11.61	0	0.00%
5	11.26-13.97	0	0.00%	5	11.61-14.31	0	0.00%
6	13.97-16.68	0	0.00%	6	14.31-17.00	0	0.00%
7	16.68-19.38	0	0.00%	7	17.00-19.70	0	0.00%
8	19.38-22.09	1727	9.82%	8	19.70-22.40	2091	12.44%
9	22.09-24.80	12215	69.46%	9	22.40-25.09	11202	66.66%
10	24.80-27.50	3643	20.72%	10	25.09-27.79	3511	20.89%
Suma		17585	100	Suma		16804	100

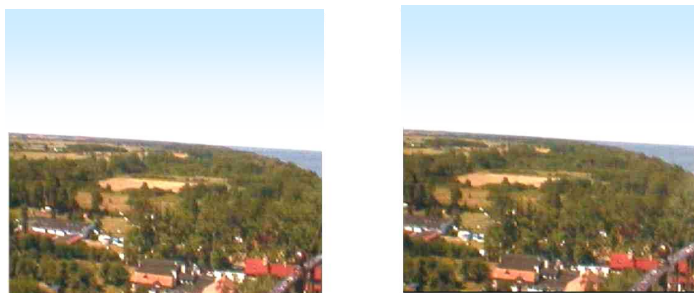


Rys. 21. Stereotermogram utworzony z termogramów (rys. 17, 18)

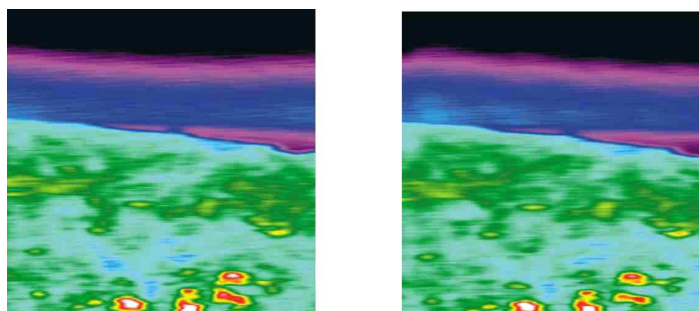
Stereotermogram przedstawia model dolnej części przeciwległego stoku, następnie część tarasową oraz w części górnej drugą górną przeciwległą część stoku. Białe plamy, obrazują silnie emitujące promieniowanie termiczne od nagranych powierzchni dachów budynków.



Rys. 22. Wyniki filtracji stereotermogramu przedstawionego na rysunku 21



Rys. 23. Stereotermogram brzegu morskiego w Gąskach k/ Koszalina

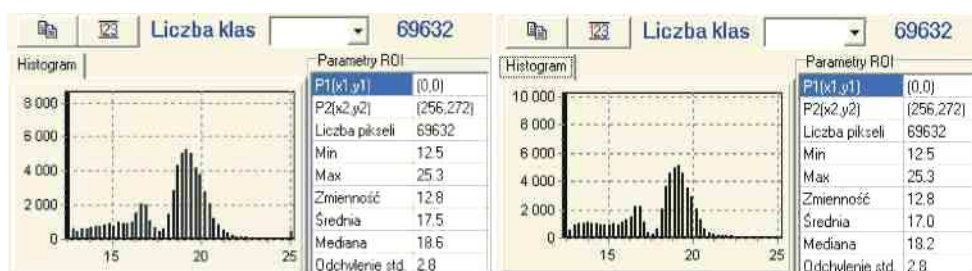


Rys. 24. Stereopara terenu nadmorskiego w Gąskach k/ Koszalina

Badanie zmian kształtu, wielkości i temperatur wybranych elementów terenowych na termogramach w funkcji dystansu czasowego i odległościowego ich rejestracji



Rys. 25. Histogramy całych powierzchni lewego i prawego termogramu z obszaru nadmorskiego miejscowości Gąsek



Rys. 26. Histogramy badanego obszaru, lewego i prawego termogramu terenu Gąski

Na bazie wszystkich możliwych cech porównawczych termogramów wykonanych ze stanowisk stabilnych, celem tworzenia stereotermogramów istotna jest ścisła zależność między parametrami termicznymi tych samych obiektów na sąsiednich termogramach, oraz między liczebnością pikseli, danymi statystycznymi obrazów, wielkością i kształtem obiektów jak również najkrótszy dystans czasowy między termogramami.

Biorąc pod uwagę otrzymane wyniki stwierdzono, że celem otrzymania prawidłowych stereotermogramów należy:

1. Zwiększyć rozdzielczość obrazów termalnych przez stosowanie kamer wysokorozdzielczych.
2. Zobrazowania termalne rejestrować ze stanowisk stacjonarnych lub z pokładów śmigłowców będących w zawisie.
3. Stosować kamery termalne matrycowe a nie skanery.
4. Wykorzystywać optymalne warunki parametrów rejestracji, Range, Level.
5. Zachować zasady tworzenia obrazów stereoskopowych łącznie z sygnalizacją termopunktów, dostosowanych wielkością do dystansu rejestracji zobrazowań.
6. Stosować minimalny dystans czasowy między rejestracjami sąsiednich termogramów w przeciwnym przypadku kształty termalnego rozkładu powierzchniowego na sąsiednich termogramach będą znacznie zróżnicowane, co uniemożliwi tworzenia modeli stereotermalnych.

6. LITERATURA

Lubecki A., 2005. Lotnicze zobrazowania termalne w 3D, *Ministerstwo Oświaty i Nauki Ukrainy, Narodowy Uniwersytet, Lwowska Politechnika, Geodezja, Kartografia, Aerofotoznimania*. Wypust (Nr) 66, Lwów, s. 204-211.

Wróbel A., Wróbel A., 2004. Stereoskopowa obserwacja termogramów. VI Krajowa Konferencja Termowizji i Termografii w Podczzerwieni. Jaszowiec 4-6 XI, s. 309-313.

STUDY OF CHANGES IN THE SHAPE, SIZE AND TEMPERATURE OF SOME FIELD ELEMENTS ON THERMOGRAMS WITH TIME AND DISTANCE DELAYS IN THEIR REGISTRATION

KEY WORDS: thermovision, thermography, field elements, thermal imaging, thermal infrared, thermogram, thermal image

Summary

A study was carried out to develop stereothermal images obtained from a single AGEMA LWB 880 type thermovisual camera in line with a CCD camera for orientation. Thermograms were made at varied heights and distances from the selected objects.

The studied objects included field elements situated within the thermal scanner sight range such as buildings, crop fields, meadows, wastelands, water bodies, pastures, forests, bush and tree communities and roads. The camera was situated at stable and stationary sites from 1.5 to 50 m above the surface. The registration angle (target) to the optic normal ranged from 10 to 45°. The registered objects were located in the following three regions of Poland: near Koszalin - by the seaside, near Olsztyn and in the mountainous area around Szymbark, near Gorlice.

All the thermograms and colour video images were obtained in the field with the use of Thermoscope software. The thermograms were registered with different time delays, at different times of sunny days and under optimum weather conditions. The studied field elements registered on thermograms were compared with their images registered at neighbouring thermograms shot according to relevant longitudinal coverage.

The studied objects were analysed with the above-mentioned software. Numerical and graphical histograms, as well as statistical data, were used in the analysis of the particular objects. Based on the results, the greater the time distance between the particular thermogram registrations was, the more difficult it was to obtain stereothermograms in relation to the studied thermograms on cloudless days.

Dr inż. Andrzej Lubecki
luan@uwm.edu.pl
tel. +48 503 819 305