

Diagnostyka świec żarowych przy wykorzystaniu termowizji

Konrad Zajkowski, Małgorzata Sikora, Krystian Siwek

Przedstawiono inowacyjny sposób diagnostyki świec żarowych za pomocą termowizji. Artykuł pokazuje alternatywny sposób ich diagnostyki, bez potrzeby ich wymontowywania. Zostały załączone zdjęcia z kamery termowizyjnej świec żarowych kilku aut o silniku diesla.

Słowa kluczowe: diagnostyka, świece żarowe, promieniowanie elektromagnetyczne, termowizja.

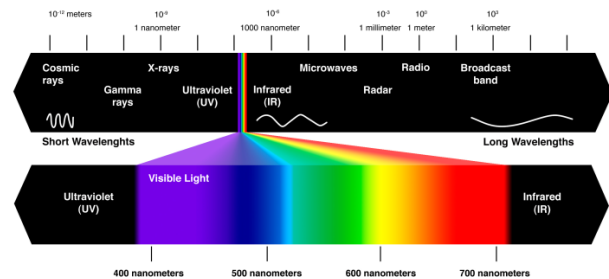
Wstęp

Z biegiem czasu kamery termowizyjne coraz bardziej zyskują na popularności. Znajdują wykorzystanie w takich dziedzinach jak budownictwo, energetyka, elektronika, medycyna, a nawet są wykorzystywane w celach militarnych przez wojsko. Najczęściej znajdują zastosowanie przy wykrywaniu nieszczelności izolacji i ocieplenia budynku, uszkodzeń linii energetycznych, czy też w diagnostyce stanów zapalnych u ludzi i zwierząt. Wszystkie wymienione pomiary mogą być przeprowadzone w sposób bezinwazyjny. Pozawala to na całkowity brak ingerencji w działanie danego urządzenia, a w przypadku medycyny takie pomiary mogą zostać wykonane w sposób bezkontaktowy, nie wpływając na stan zdrowia pacjenta.

Kamery termowizyjne służą do pomiarów temperatury na podstawie długości fal elektromagnetycznych emitowanych przez ciała. Promieniowanie ciepłe emitowane przez ciała jest promieniowaniem elektromagnetycznym, o długości fal odpowiadającej promieniowaniu podczerwemu. Ze względu na długość fali wyróżnia się następujące rodzaje promieniowania:

- $\lambda < 10^{-5} \mu\text{m}$ – promieniowanie kosmiczne (gamma)
- $10^{-5} \mu\text{m} < \lambda < 10^{-2} \mu\text{m}$ – promieniowanie X (Roentgena)
- $10^{-2} \mu\text{m} < \lambda < 0,35 \mu\text{m}$ – promieniowanie ultrafioletowe (UV)
- $0,35 \mu\text{m} < \lambda < 0,75 \mu\text{m}$ – promieniowanie widzialne
- $0,75 \mu\text{m} < \lambda < 10^3 \mu\text{m}$ – promieniowanie podczerwone (IR)
- $\lambda > 10^3 \mu\text{m}$ – promieniowanie radiowe [1]

Rodzaje promieniowania oraz zakresy długości fal zostały przedstawione na rysunku 1.



Rys. 1. Zakresy widzialności promieniowania świetlnego

Kluczowym parametrem, który gwarantuje precyzyjne wskazanie temperatury przy pomiarach termowizyjnych stanowi emisyjność. Współczynnik emisyjności e może zostać zdefiniowany, jako stosunek energii emitowanej przez obiekt o danej temperaturze do ilości energii wyemitowanej przez ciało doskonale czarne w tej samej temperaturze. Wielkość tą opisuje zależność:

$$e = \frac{\Delta P}{\Delta S}, \quad (1)$$

gdzie: ΔP – moc promieniowania, ΔS - pole powierzchni.

Kolejną istotną wielkością jest zdolność absorpcyjna ciała α , która może zostać określona, jako stosunek energii pochłoniętej w wyniku absorpcji przez ciało P_a do całkowitej energii padającej na to ciało P , co przedstawia zależność:

$$\alpha = \frac{P_a}{P}. \quad (2)$$

Promieniowanie elektromagnetyczne charakteryzuje prawo Stefana-Boltzmana, opisujące całkowitą zdolność emisyjną ciała doskonale czarnego. Prawo to opisuje następujące równanie [2]:

$$\phi = \sigma T^4, \quad (3)$$

gdzie: ϕ -strumień energii wypromieniowany z jednostki powierzchni ciała [W/m^2], σ -stała Stefana-Boltzmana ($\approx 5,67 \cdot 10^{-8}$) [$\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \text{K}^4$], T - temperatura [K]

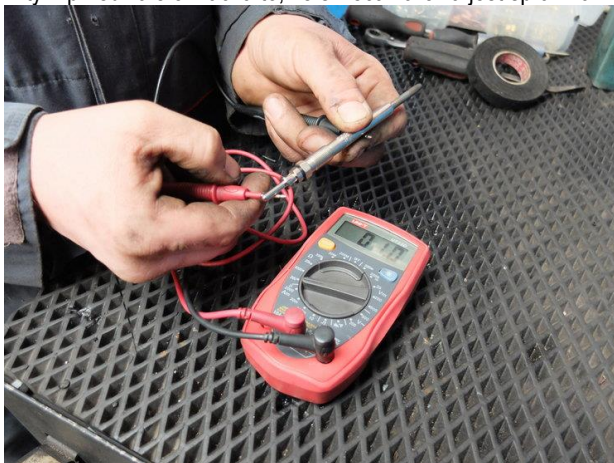
2. Tradycyjne sposoby diagnostyki świec żarowych

Świece żarowe są wykorzystywane w silnikach diesla, mają na celu ułatwienie rozruchu silnika spalinowego w niskich temperaturach otoczenia oraz stabilizację wolnych obrotów pracy silnika. Ich użycie zmniejsza emisję szkodliwych substancji w spalinach podczas rozruchu zimnego silnika. Świece żarowe pełnią funkcję grzałek, które zostały wbudowane w ściankę głowicy silnika. Jej element grzewczy umieszczony jest we wnętrzu tak zwanego kolektora ssącego. Pod wpływem prądu elektrycznego płynącego od akumulatora świece żarowe rozgrzewają się, co skutecznie ułatwia rozruch silnika.



Rys. 2. Świeca żarowa z silnika turbo diesla

Podczas tradycyjnej diagnostyki działania świec należy je wykręcić. W celu określenia ich stanu należy zmierzyć ich rezystancję za pomocą miernika elektronicznego np. typu multimetr. Wartość rezystancji takich świec powinna wahać się w granicach od 1 do 1,5 $[\Omega]$. Jeżeli wynik pomiaru będzie się mieścić w tym przedziale oznacza to, że świeca żarowa jest sprawna.



Rys. 3. Pomiar rezystancji świecy żarowej

W kolejnej metodzie diagnostyki stanu świecy żarowej można wykorzystać akumulator samochodowy. Jedną końcówką świecy zostaje podpięta pod (+), druga natomiast przyłożona do masy pojazdu. Prawidłowo działająca świeca rozgrzewa się do czerwoności.



Rys. 4. Świeca żarowa rozgrzana do czerwoności

Wykonanie diagnostyki za pomocą kamery termowizyjnej stanowiło by o wiele szybszą, bezinwazyjną metodę. Po zdjęciu pokrywy silnika należy wykonać zdjęcie kamerą termowizyjną. Świecę osiągnącą znacznie niższą temperaturę od pozostałych można uznać za uszkodzoną.

3. Metodyka pomiarów

Do pomiarów wykorzystano kamerę termowizyjną KT-140 firmy Sonel, którą przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 5. Kamera termowizyjna KT-140

Tab.1. Najważniejsze parametry kamery KT-140 [3]

Właściwości termiczne obrazowania	
Rodzaj dekodera	Matryca mikrobolometryczna niechłodzona (160x120 pikseli, 25 μ m)
Zakres spektralny	8-14 μ m
Czułość termiczna	$\leq 0,1$ $^{\circ}$ C przy 30 $^{\circ}$ C
Pole widzenia/ ogniskowa	Automatyczne/ Manualne
Odświeżenie obrazu	50Hz
Przedstawienie obrazu	
Wyświetlacz zewnętrzny	LCD FTF 3,6 cala, rozdzielczość 640*480
Pomiar	
Zakres temperatur	-20 $^{\circ}$ C do 250 $^{\circ}$ C
Minimalna odległość	10 cm od badanego obiektu
Dokładność	+/- 2 $^{\circ}$ C lub 2% odczytu
Korekcja emisyjności od 0,01 do 1,00 (w krokach 0,01)	Zmienna od 0,01 do 1,00 (w krokach 0,01)
Właściwości pomiaru	Automatyczna korekcja na podstawie odległości wilgotności względnej, transmisji atmosferycznej i optyki zewnętrznej

Korekcja transmisji optycznej

Automatyczna na podstawie sygnałów z czujników

Duże znaczenie podczas pomiarów ma fakt, że promieniowanie mierzone przez kamerę nie zależy jedynie od temperatury obiektu, lecz jest także funkcją jego emisyjności. Obserwowany obiekt odbija również promieniowanie emitowane przez otoczenie. Promieniowanie pochodzące z obiektu oraz promieniowanie odbite może być pochłonięte przez ośrodek, w którym obiekt się znajduje. Aby móc dokładnie zmierzyć temperaturę, konieczne jest skompensowanie wpływu różnych źródeł promieniowania. Do diagnostyki nie jest konieczna znajomość poniższych parametrów, ale warto je wyznaczyć w celu dokładniejszych pomiarów.

- Emisyjność;
- Temperatura otoczenia;
- Temperatura atmosfery;
- Odległość od obiektu;
- Względna wilgotność powietrza.

Do określenia współczynnika emisyjności świec wykorzystano czarną taśmę o znanej emisyjności $\epsilon=0,95$. Metoda ta jest łatwa oraz nie wymaga użycia dodatkowych urządzeń. Taśma o znanej emisyjności została naklejona na badany element. Po naklejeniu i odczekaniu aż temperatura taśmy ustabilizuje się, została zmierzona jej temperatura. Kolejny pomiar wykonano na elemencie badanym tuż obok taśmy wzorcowej. Następnie w systemie kamery termowizyjnej skorygowano współczynnik emisyjności tak aby obiekt badany miał taką samą temperaturę jak taśma wzorcowca. Pomiar przeprowadzono przy temperaturze otoczenia 6 stopni i wilgotności względnej 70%.

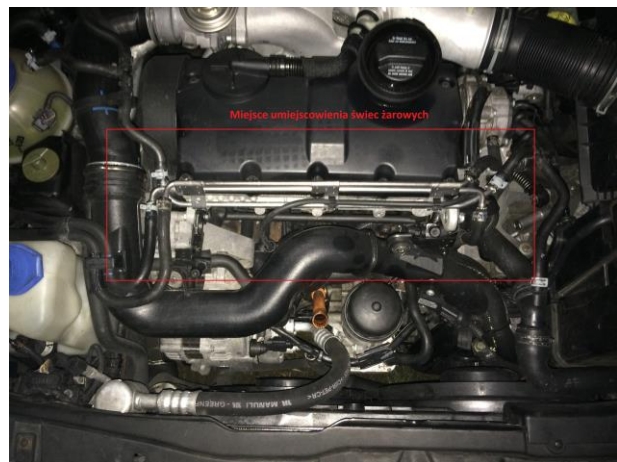
4. Badania eksperymentalne

Diagnostykę świec żarowych za pomocą kamery termowizyjnej przeprowadzono na 4 różnych pojazdach. Zbadano auta różnych marek: audi A4 B7, audi A4 B5, volvo s90 oraz Volkswagen Bora. W celu zapewnienia najniższej temperatury silnika auta przez około 24 godziny nie były użytkowane. Nagrzane miejsca na głowicy od świec były najbardziej widoczne dopiero na zimnym silniku. Świece żarowe w aucie zostały rozgrzane poprzez przekręcenie kluczyków w stacyjce o jedną pozycję. Tą czynność dla jak najlepszych efektów wykonano kilkakrotnie, po czym zostało wykonane zdjęcie termowizyjne świec. Oczywiście tą metodą nie można zmierzyć temperatury świec żarowych, ponieważ są one wbudowane w głowicę. Jednak można zbadać temperaturę, głowicy w miejscu umocowania świec.

Jako pierwszy pojazd został zbadany Volkswagen Bora. Na rysunku 6 został przedstawiony samochód, a na rysunku 7 jego silnik o mocy 150 KM oraz umiejscowienie świec żarowych w silniku wzdłużnym.

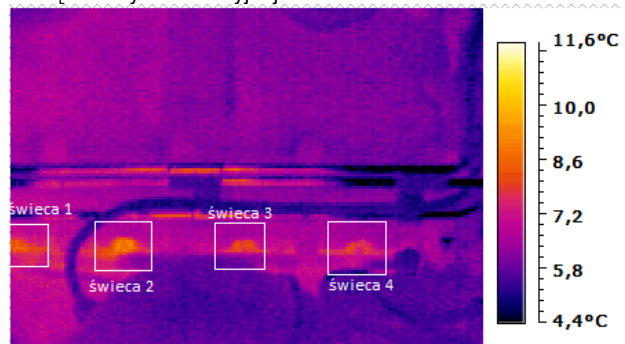


Rys. 6. Volkswagen Bora 1.9Tdi 150KM z 1999 roku



Rys. 7. Silnik Volkswagena Bory

Poniżej przedstawiono zdjęcie tego obszaru wykonane za pomocą kamery termowizyjnej.



Rys. 8. Zdjęcie termowizyjne świec żarowych w Volkswagenie Bora

Z wykonanego pomiaru odczytano temperatury korpusu, będącego w bezpośrednim sąsiedztwie poszczególnych świec: $T_1 = 10,2^\circ\text{C}$, $T_2 = 10,7^\circ\text{C}$, $T_3 = T_4 = 9,7^\circ\text{C}$. Odpowiada to sytuacji czterech prawidłowo działających świec żarowych. Z tego pomiaru wynika, że temperatury świec 3 oraz 4 posiadają nieco mniejszą temperaturę niż pozostałe dwie świece. Może to oznaczać że w przyszłości jako pierwsze będą podlegać wymianie z powodu nieprawidłowego działania.



Rys. 9. Audi A4 B7 1.9Tdi 115KM z 2007 roku

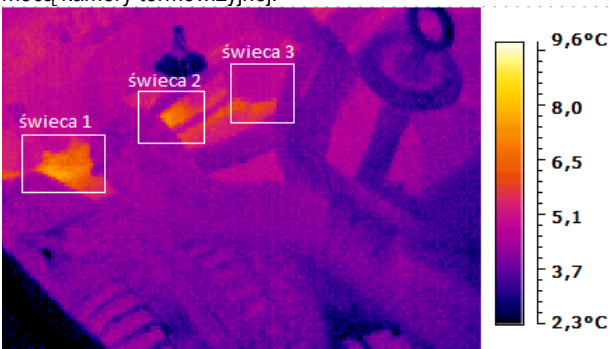
Audi posiada identyczną jednostkę silnika jak Bora. Wzdłużny silnik A4 sprawia, że dostępność do świec żarowych jest znacznie bardziej ograniczona niż to jest w przypadku poprzecznego silnika Bory. Dlatego też w sposób bezinwazyjny nie można było wykonać zdjęcia termowizyjnego wszystkich świec żarowych. W tym przypadku zdjęcie wykonane z góry nie dało takiego samego efektu jak przy pierwszym badanym aucie, gdzie widoczne były wszystkie żarowe.

Poniższa fotografia przedstawia poprzeczny silnik Audi A4 B7 z 2007 roku o mocy 115KM i umiejscowienie świec żarowych w tym silniku.



Rys. 10. Zdjęcia z góry Silnika Audi A4 B7

Poniżej przedstawiono zdjęcie tego obszaru wykonane za pomocą kamery termowizyjnej.



Rys. 11. Zdjęcie termowizyjne świec żarowych w Audi A4 B7

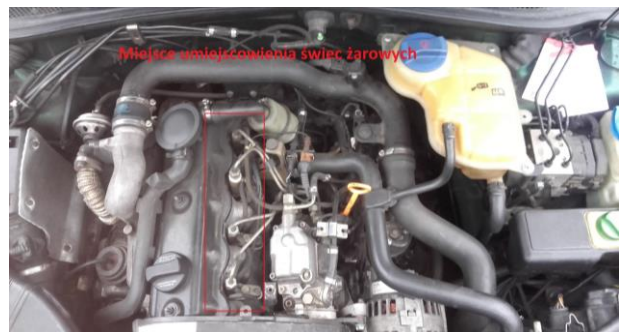
Na powyższym zdjęciu zostały przedstawione trzy świece żarowe, które działają w sposób prawidłowy. Temperatury korpusów

w tym przypadku wynoszą: $T_1 = 9,5^\circ\text{C}$, $T_2 = 9^\circ\text{C}$, $T_3 = 7,5^\circ\text{C}$. Świeca numer 3 ma znacznie niższą temperaturę od pozostałych dwóch świec, gdzie punkt o najwyższej temperaturze został najprawdopodobniej zasłonięty przez kawałek przewodu silnika.

Następnie został ponownie zbadany silnik o układzie poprzecznym. Daje to możliwość sprawdzenia czy widoczność świec w tym silniku będzie również ograniczona. Mowa jest o starszym modelu Audi z taką samą pojemnością co w poprzednim przypadku. Na poniższym zdjęciu został zaprezentowany silnik Audi A4 B5, a na nim zaznaczone zostały miejsca, gdzie znajdują się świece żarowe.

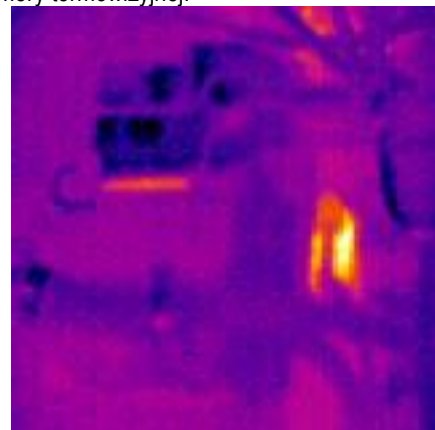


Rys. 12. Audi A4 B5 1.9TDI z 1999 roku



Rys. 13. Silnik Audi A4 B5

Poniżej przedstawiono zdjęcie tego obszaru wykonane za pomocą kamery termowizyjnej.



Rys. 14. Audi A4 B5 1.9TDI z 1999 roku (zdjęcie termowizyjne)

Na powyższym zdjęciu termowizyjnym nie można w sposób jednoznaczny określić, czy świece żarowe działają w sposób nieprawidłowy. Ten przypadek podczas badań jest jedyny, gdzie nie widać prawidłowej pracy świec żarowych. Po mimo ich rozgrzewania, na zimnym silniku wciąż dla termowizji były one niewidoczne. Warto zaznaczyć, że silnik odpalał w sposób prawidłowy bez większych trudności.

Ostatnim pojazdem w badaniach był Volvo. Jest to auto z największym silnikiem 2,4 oraz o największej mocy 163Kw. Silnik ten podobnie jak ten z Volkswagena Bory jest silnikiem wzdłużnym, z tą różnicą, że posiada on pięć świec żarowych.

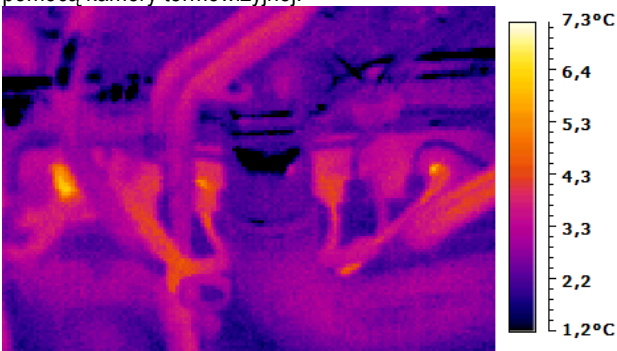


Rys. 15. Volvo s60 2,4 D5 163Kw z 2003 roku



Rys. 16. Silnik samochodu Volvo s60 2,4 D5 z 2003 roku

Poniżej przedstawiono zdjęcie tego obszaru wykonane za pomocą kamery termowizyjnej.



Rys. 17. Volvo rozgrzane kable, które połączone są ze świecami żarowymi (zdjęcie termowizyjne)

Zaistniała tutaj zupełnie inna sytuacja niż w poprzednich modelach. Ciepło zostało odnotowane tym razem na innej części niż

głowica auta. Kable uzyskały temperaturę wyższą niż korpusy świec żarowych. Ten przypadek uniemożliwia wykonanie diagnozy metodą termowizyjną. Na załączonym powyższym zdjęciu można zauważyć, że kabel odchodzący od drugiej świecy od prawej strony posiada najniższą temperaturę. Może to oznaczać jak w przypadku Volkswagena Bory, że ta świeca może zostać zastąpiona nową jako pierwsza.

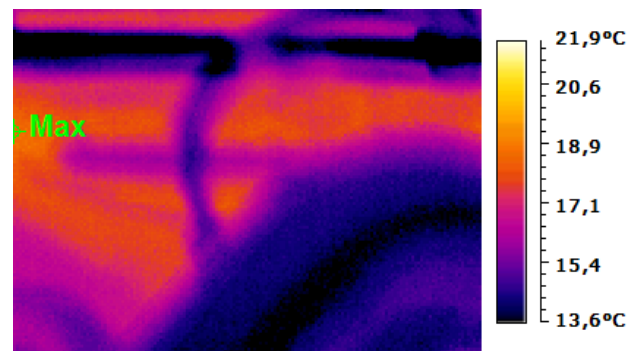
Wnioski

Diagnoza świec żarowych za pomocą termowizji znacznie przyspiesza pracę w warsztacie samochodowym. Umożliwia wykonanie badań w sposób bezinwazyjny. Jednak ta metoda, może okazać się kłopotliwa dla pewnych typów silników. Pokazuje to najlepiej przykład starszej wersji Audi A4 B5, gdzie zaistniała trudność wskazania działających świec na zdjęciu.

W przypadku nowszej wersji Audi A4 B7 świece żarowe mogły zostać zbadane bez większych trudności. Na załączonych zdjęciach termowizyjnych widać prawidłowe działanie 3 z 4 świec żarowych.

Auta o dobrym dostępie mają większą szansę na precyzyjne sprawdzenie świec żarowych za pomocą termowizji. Dwa modele Volvo i Bora posiadają silnik poprzeczny. Taki układ silnika pozwala na łatwiejszy dostęp do świec niż silnik wzdłużny. W Volkswagenu Bora wyraźnie było widać temperaturę nagrzanej głowicy od świec, co pozwalało na wskazanie słabszej świecy. W przypadku Volvo sytuacja została skomplikowana przez to, że temperatura kabli zasilających świece była dominująca. Jednak wciąż była możliwość zdiagnozowania świec żarowych.

Wadą tej metody diagnostycznej jest wymóg niskiej temperatury korpusu silnika. Rozgrzany silnik nie pozwala na wykonanie omawianej diagnostyki termowizyjnej. Elementy korpusu głowicy jakie rozgrzewają się od świec żarowych osiągają temperaturę do 10°C.



Rys. 18. Rozgrzany silnik Volkswagena Bora. $T_{max}=21,9^{\circ}\text{C}$

Diagnostyka w przypadku rozgrzanego silnika jest zakłócona, co potwierdza powyższe zdjęcie termowizyjne, gdzie silnik w trakcie badania był rozgrzany do temperatury około 20°C.

Bibliografia

1. Houghton J.J., *Fizyka podczerwieni*, PWN, Warszawa 1975
2. Strona internetowa <http://www.sonel.pl/pl> (dostęp 2017r.)
3. Poradnik BOSH Service <http://elektronik-samochodowy.pl> (dostęp 2017r.)
4. Dyga G., Trawiński G., *Diagnostyka układów elektrycznych i elektronicznych pojazdów samochodowych*, WSiP, Warszawa 2014

Autorzy:

Konrad Zajkowski - Politechnika Koszalińska, ul. Raclawicka 15-17, 75-620 Koszalin, konrad.zajkowski@tu.koszalin.pl

Małgorzata Sikora - Politechnika Koszalińska, ul. Raclawicka 15-17, 75-620 Koszalin, malgorzata.sikora@tu.koszalin.pl

Krystian Siwek - student kierunku Energetyka, Politechnika Koszalińska, ul. Raclawicka 15-17, 75-620 Koszalin, ciano9107@gmail.com

Diagnosis of glow plugs using thermography

Shows innovation method for the diagnosis of glow plugs using thermal imaging. The article shows an alternative method of diagnosis, without having to remove them from the vehicle. They have attached photos of the infrared camera of glow plugs of several cars with diesel engine.

Key words: diagnostics, glow plugs, electromagnetic radiation, thermography