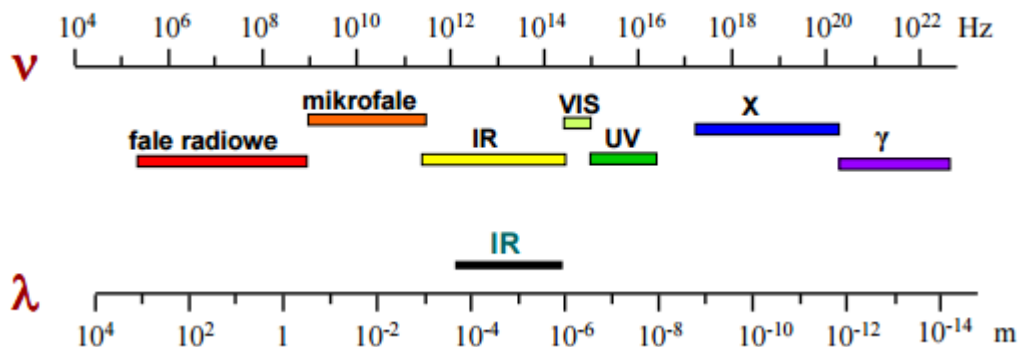




SPEKTROSKOPIA W PODCZERWIENI



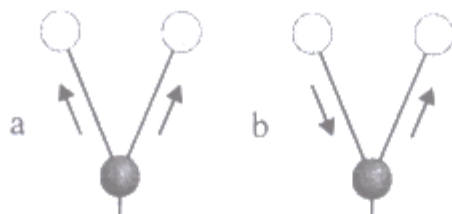
Rys. 1 Zakres widma elektromagnetycznego.

Obszar widma elektromagnetycznego o liczbie falowej (odwrotność długości fali) od ok. 14000 do 200cm^{-1} między obszarem widzialnym a mikrofalowym nazywamy podczerwienią (IR). W określeniu struktury związków organicznych największe zastosowanie posiada zakres $4000\text{--}400\text{cm}^{-1}$ (tj. obszar podczerwieni podstawowej), z którą sąsiaduje podczerwień daleka (poniżej 400cm^{-1}) oraz bliska podczerwień (powyżej 4000cm^{-1}). Energia promieniowania z zakresu podczerwieni podstawowej zawiera się między $48,0\text{--}4,8$ kJ. Absorpcja tej ilości energii jest wystarczająco duża by powodować oscylację wiązań, jest jednak za mała by powodować ich zrywanie. Molekuły wirują wokół własnej osi, a równocześnie ich atomy oscylują wokół położeń równowagi. Absorpcja promieniowania podczerwonego powoduje zmiany zarówno energii rotacyjnej jak i oscylacyjnej molekuly. Decydujący wpływ na postać widm (zwłaszcza ciał stałych i cieczy) mają wzbudzenia oscylacyjne, których energia jest większa od energii wzbudzeń rotacyjnych. Rotacje molekuł ciał stałych i cieczy są hamowane wskutek intensywnych oddziaływań międzycząsteczkowych, a wzbudzenia rotacyjne powodują jedynie zwiększenie szerokości pasm absorpcyjnych. Widma ciał stałych i cieczy noszą nazwę widm oscylacyjnych. W fazie gazowej molekuly rotują stosunkowo swobodnie, dzięki czemu w widmie gazu można zaobserwować oddzielne przejścia oscylacyjno-rotacyjne.

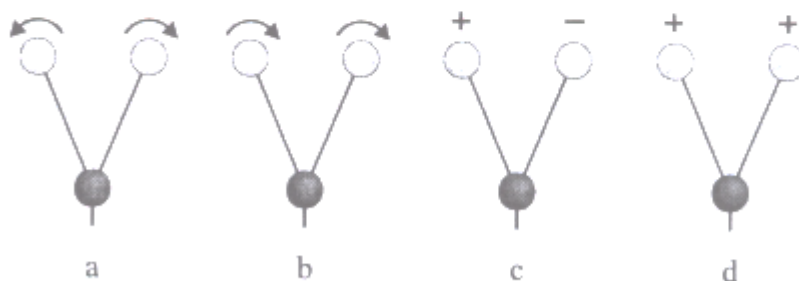
Drgania oscylacyjne w cząsteczce można podzielić na:

- rozciągające (walencyjne – oznaczone symbolem ν) symetryczne lub asymetryczne
- deformacyjne (oznaczone symbolem δ) np. skręcające, nożycowe, kołyszące.

Drgania rozciągające (walencyjne) charakteryzują się rytmicznym ruchem wzdłuż osi wiązania, tak że odległości między atomami zwiększają się i zmniejszają. W drganiach deformacyjnych zmianie ulega kąt między wiązaniami atomów.



Drgania rozciągające: a – symetryczne, b – asymetryczne



Drgania deformacyjne: a – nożycowe, b – kołyszące, c – skręcające, d – wahające (znak „+” oznacza wychylenie ponad, znak „-” pod płaszczyznę papieru)

Rys.2 Rodzaje drgań.

Drgania rozciągające i deformacyjne zachodzą z określoną częstotliwością. Gdy energia promieniowania o danej długości fali odpowiada różnicy energii pomiędzy dwoma poziomami oscylacyjnymi wówczas następuje absorpcja promieniowania. Na ogół drgania rozciągające wymagają wyższej energii niż deformacyjne. Pasma drgań rozciągających obserwujemy w widmie przy wyższych liczbach falowych niż deformacyjne. Największą wartość diagnostyczną przy interpretacji widma IR mają pasma odpowiadające drganiom rozciągającym wiązań podwójnych [$\nu(X=Y)$], potrójnych [$\nu(X\equiv Y)$] i wiązań pojedynczych wodór – heteroatom [$\nu(X-H)$], ($X, Y=C, O, N$), ponieważ pasma te pojawiają się w wąskich, nienakładających się na siebie obszarach widmowych. Zakres $4000-1500\text{cm}^{-1}$, w którym obserwuje się wymienione pasma absorpcyjne nazywamy obszarem grup funkcyjnych, właśnie ze względu na szczególną wartość diagnostyczną pasm pojawiających się w tym zakresie.



NAJWAŻNIEJSZE GRUPY FUNKCYJNE, KTÓRE MOŻNA IDENTYFIKOWAĆ W PODCZERWIENI

Widma IR są wykresem zależności przepuszczalności (transmitancji) lub absorbancji promieniowania od liczby falowej [cm^{-1}].

Pełna interpretacja widm IR jest trudna (wręcz niemożliwa), ponieważ w obrębie jednej cząsteczki występuje wiele drgań deformacyjnych i rozciągających. Widmo zawiera wiele różnych pasm odpowiadających tym drganiom. Poszczególne rodzaje wiązań mając podobną różnicę energii pomiędzy poziomami oscylacyjnymi, absorbują promieniowanie o charakterystycznej częstotliwości dając pasmo w tym samym zakresie niezależnie od innych szczegółów struktury cząsteczki. Oznacza to, że te same grupy funkcyjne (np. C=O, N-H, O-H) w różnych związkach dają charakterystyczne pasma absorpcyjne, które znajdują się w porównywalnym zakresie liczb falowych. Tabela 1 przedstawia przykłady położenia pasm absorpcji w podczerwieni dla różnych typów drgań i wiązań występujących w związkach organicznych.

W celach identyfikacyjnych obszar zakresu liczb falowych $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$ można podzielić na cztery części.

obszar 1 ok. $4000-2500 \text{ cm}^{-1}$	obszar 2 ok. $2500-2000 \text{ cm}^{-1}$	obszar 3 ok. $2000-1500 \text{ cm}^{-1}$	obszar 4 poniżej 1500 cm^{-1}
N-H O-H C-H	$\text{C}\equiv\text{C}$ $\text{C}\equiv\text{N}$	C=O C=N C=C	zakres daktyloskopowy

1. Obszar $4000-2500 \text{ cm}^{-1}$ odpowiada absorpcji wynikającej najczęściej z obecności w cząsteczce grup N-H, C-H, O-H. Pasma w tym zakresie odpowiadają drganiom rozciągającym.
2. Obszar $2500-2000 \text{ cm}^{-1}$, pasma absorpcji w tym zakresie wskazują na obecność w związku grup zawierających wiązania potrójne np. alkiny $\text{C}\equiv\text{C}$, nityle $\text{C}\equiv\text{N}$.
3. Obszar $2000-1500 \text{ cm}^{-1}$, pasma w tym zakresie pochodzą głównie od różnego rodzaju drgań rozciągających wiązań podwójnych (C=O, C=C, C=N).
4. Zakres poniżej 1500 cm^{-1} nazwany „zakresem daktyloskopowym” (fingerprint region), posiada układ pasm charakterystycznych dla danej cząsteczki. Są tutaj pasma drgań rozciągających wiązań pojedynczych np. C-C, C-O, C-N oraz wiele pasm odpowiadających drganiom deformacyjnym. Zakres ten wykorzystywany jest do identyfikacji badanej substancji na podstawie porównania jej widma IR z widmem związku wzorcowego, i tak jak w daktyloskopii identyczność zakresu „odcisku palca” stanowi potwierdzenie identyczności badanego związku z wzorcem.



Tabela 1. Położenie pasm absorpcji w podczerwieni.

Wiązanie	Typ drgania	Zakres absorpcji [cm^{-1}]
O-H <i>alkohole, fenole</i> (OH niezasocjowana)	rozciągające	3500 - 3700
O-H <i>alkohole, fenole</i> (OH tworząca wiązanie wodorowe)	rozciągające	3000 - 3500
O-H <i>kwasy</i> (OH niezasocjowana)	rozciągające	3500 - 3550
O-H <i>kwasy</i> (OH tworząca wiązanie wodorowe)	rozciągające	Szerokie pasmo 2500 - 3300
N-H <i>aminy</i>	rozciągające	3200 - 3600
C-H <i>aromat.</i>	rozciągające	3030
C-H <i>olefin.</i>	rozciągające	3010 - 3100
C-H <i>alifat.</i>	rozciągające	2850 - 3000
S-H <i>tiole</i>	rozciągające	2550 - 2600
C \equiv N <i>nitryle</i>	rozciągające	2200 - 2400
C \equiv C <i>alkiny</i>	rozciągające	2100 - 2270
C=O <i>aldehydy, ketony,</i> <i>kwasy, estry</i>	rozciągające	1600 - 1870
C=C <i>alkeny</i>	rozciągające	1600 - 1680
C=C <i>aromat.</i>	rozciągające	1500 - 1610
C=N <i>iminy, oksymy</i>	rozciągające	1500 - 1650
N-H	deformacyjne	1500-1650
O-H	deformacyjne	1200-1450
C-O	rozciągające	1050-1430
C-Cl	rozciągające	600-800



TECHNIKA POMIARU

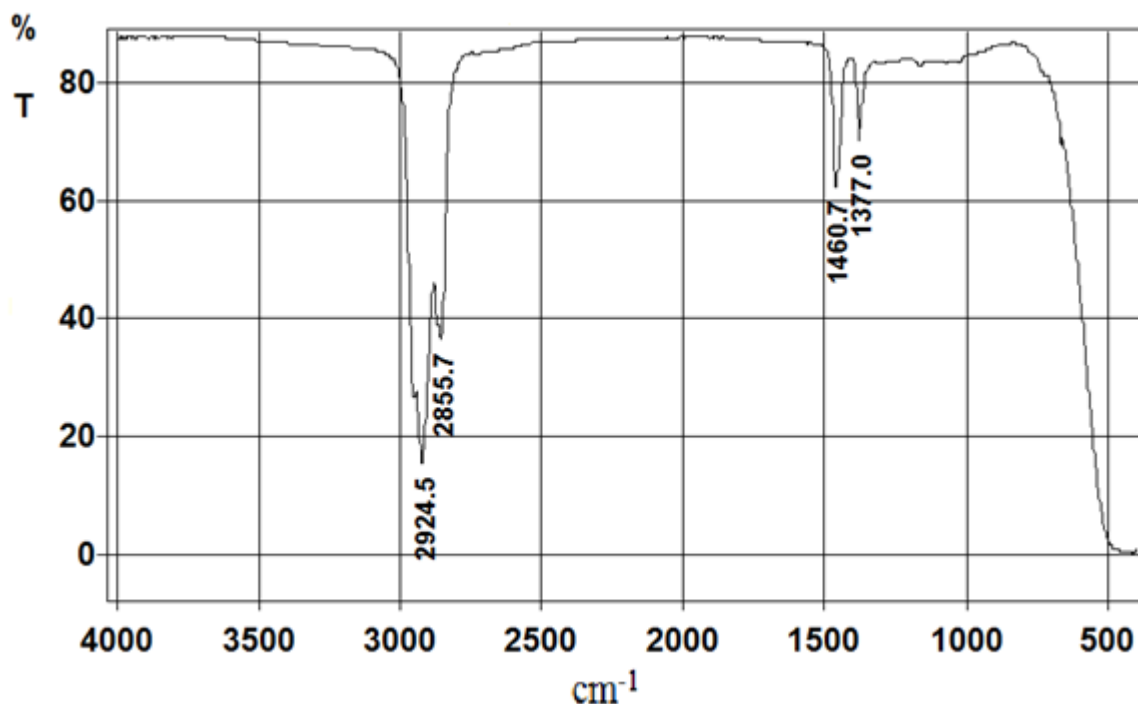
Widma absorpcyjne IR otrzymuje się mierząc zależność względnej intensywności światła przepuszczonego lub pochłoniętego od liczby falowej. Spektrofotometr IR składa się z pięciu głównych części: źródła promieniowania, komory, w której umieszcza się próbkę, fotometru, monochromatora i detektora. Źródłem promieniowania podczerwonego jest zazwyczaj ogrzewane elektrycznie do ok. 1500 °C włókno Nernsta (mieszanina tlenków: cyrkonu, itru i erbu).

W komorze dla próbek umieszczone są w kuwetach próbka i odnośnik. W spektroskopii IR można badać substancje zarówno w stanie gazowym, ciekłym i stałym. próbka nie powinna zawierać wody, ponieważ woda absorbuje silnie fale o długości ok. 3700 cm^{-1} i ok. 1630 cm^{-1} (absorpcja ta może przesłonić pasma badanej substancji).

Widma gazów można otrzymać rozprężając próbkę do opróżnionej z powietrza kuwety. Ciecze można badać w postaci czystej lub w roztworze. Ciecze czyste umieszcza się między płytkami chlorku sodu. Ściśnięcie próbki między płytkami powoduje powstanie filmu o grubości 0.01 mm lub nawet mniejszej. Płytki trzymają się na skutek działania sił kapilarnych. Potrzeba ok. 1- 10 mg substancji. Do cieczy, które rozpuszczają chlorek sodu stosuje się np. płytki z chlorku srebra.

W podobny sposób można oznaczyć widmo niektórych ciał stałych (np. o niskiej t.top.). Często wskazane jest oznaczenie widma substancji w roztworze. Najczęściej używanymi rozpuszczalnikami w spektroskopii IR są: czterochlorek węgla, dwusiarczek węgla i chloroform. Wybrany rozpuszczalnik musi być suchy, wykazywać możliwie mało pasm absorpcji własnej w badanym obszarze, oraz nie reagować z substancją rozpuszczoną. Ciała stała zazwyczaj bada się w postaci zawiesiny, pastylki lub osadzonego szklanego filmu.

Zawiesiny sporządza się ucierając ok. 5 mg ciała stałego kroplą odpowiedniej cieczy utrzymującej rozdrobnienie. Widmo tej zawiesiny można oznaczyć umieszczając ją pomiędzy dwoma płytkami z chlorku sodu. Najczęściej używanym środkiem zawieszającym jest mieszanina ciekłych wielkocząsteczkowych węglowodorów nasyconych, zwana nujolem. Nujol wykazuje pasma absorpcji w zakresie 3000 - 2800 cm^{-1} , odpowiadające drganiom rozciągającym C-H, oraz ok. 1500 - 1300 cm^{-1} odpowiadające drganiom deformacyjnym C-H. W tych przedziałach widma, stosując nujol jako środek zawieszający nie można uzyskać informacji o charakterystycznej absorpcji rozdrobnionej próbki.



Rys. 3 Widmo IR nujolu (film).

Innym środkiem dyspergującym jest sześciochlorobutadien, nie zawierający wiązań C-H (przezroczysty w przedziałach absorpcji nujolu). Całkowite widmo ciała stałego można otrzymać stosując jako środek dyspergujący nujol i sześciochlorobutadien.

Widmo ciała stałego najlepiej oznaczyć dla próbki zawartej w pastylce z halogenku pierwiastka alkalicznego. Widma ciał stałych można również wyznaczyć dla próbki w postaci filmu otrzymanego przez odparowanie kropli roztworu badanej substancji na płytce z chlorku sodu.

Do otrzymania w przybliżeniu monochromatycznego światła stosuje się pryzmaty optyczne i siatki dyfrakcyjne.

Detektory najczęściej mierzą energię promieniowania poprzez pomiar efektu cieplnego. Dwa najczęściej stosowane detektory to termopara i bolometr.



CHARAKTERYSTYKA GŁÓWNYCH PASM ABSORPCJI IR WYBRANYCH GRUP ZWIĄZKÓW ORGANICZNYCH.

Węglowodory alifatyczne Alkany

Alkany i cykloalkany wykazują pasma absorpcji w zakresie 2850-3000 cm^{-1} . Odpowiadają one drganiom rozciągającym wiązań C-H i są najbardziej charakterystyczne dla alkanów. Najczęściej dla węglowodorów nasyconych widoczne są dwa pasma.

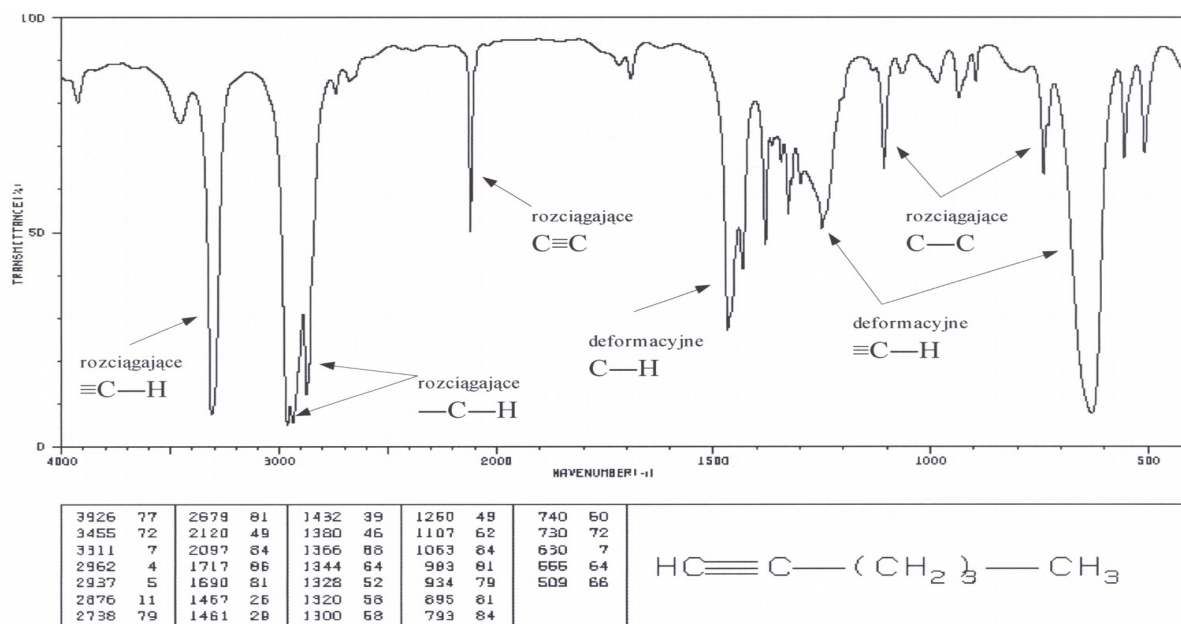
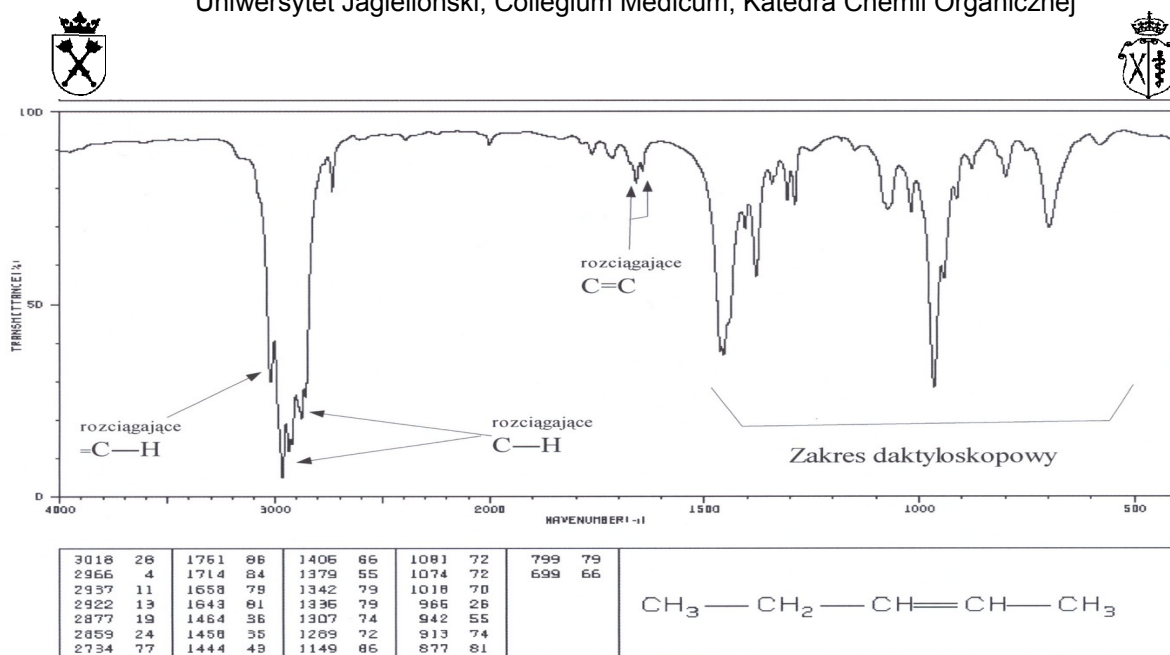
Pierwsze z nich (ok. 2962 cm^{-1}) pochodzi od asymetrycznych drgań rozciągających, drugie z pasm (ok. 2872 cm^{-1}) pochodzi od symetrycznych drgań rozciągających C-H grupy metylowej. Asymetryczne drgania rozciągające i symetryczne drgania rozciągające C-H w grupie metylenowej występują odpowiednio przy 2926 i 2853 cm^{-1} . W widmach węglowodorów alifatycznych i cyklicznych położenie tych pasm nie zmienia się o więcej niż $\pm 10 \text{cm}^{-1}$. Drgania deformacyjne C-H dają pasma przy 1100-1300 cm^{-1} . Pasma odpowiadające drganiom rozciągającym C-C są słabe i występują w zakresie 1200-800 cm^{-1} . Drgania deformacyjne C-H i rozciągającym C-C nie mają wielkiego znaczenia dla identyfikacji związku leżą w zakresie „fingerprintu”.

Alkeny

W cząsteczce alkenów występują dodatkowo (w porównaniu z alkanami) pasma drgań rozciągających C=C w obszarze 1600-1680 cm^{-1} oraz pasma drgań rozciągających 3010-3100 cm^{-1} i deformacyjne 1290-1420 cm^{-1} =C-H. Najważniejsze znaczenie identyfikacyjne posiadają pasma drgań rozciągających =C-H oraz drgań rozciągających C=C.

Alkiny

Charakterystyczne pasma absorpcyjne odpowiadające drganiom rozciągającym wiązań $\text{C}\equiv\text{C}$ występują w obszarze 2100-2270 cm^{-1} . Pasma drgań rozciągających $\equiv\text{C-H}$ leży przy ok. 3300 cm^{-1} (jest silne i ostre). W zakresie daktyloskopowym pojawiają się pasma drgań deformacyjnych $\equiv\text{C-H}$ (1220-1370 cm^{-1} oraz 610-700 cm^{-1}) mało przydatne w identyfikacji związku.



Rys. 4 Przykłady widm IR związków alifatycznych.



Węglowodory aromatyczne

Pasma drgań rozciągających C-H w związkach aromatycznych leżą nieco powyżej 3000 cm^{-1} (mogą być zakryte przez pasma innych ugrupowań występujących w tym zakresie). Serią pasm umożliwiających rozpoznanie struktury aromatycznej są pasma drgań szkieletowych powodujące rozciąganie wiązań C=C w zakresie 1450-1610 cm^{-1} . Ich liczba w zależności od podstawienia dochodzi do czterech. Pasma drgań deformacyjnych C-H występują poniżej 900 cm^{-1} , a ich położenie pozwala ocenić sposób podstawienia pierścienia aromatycznego.

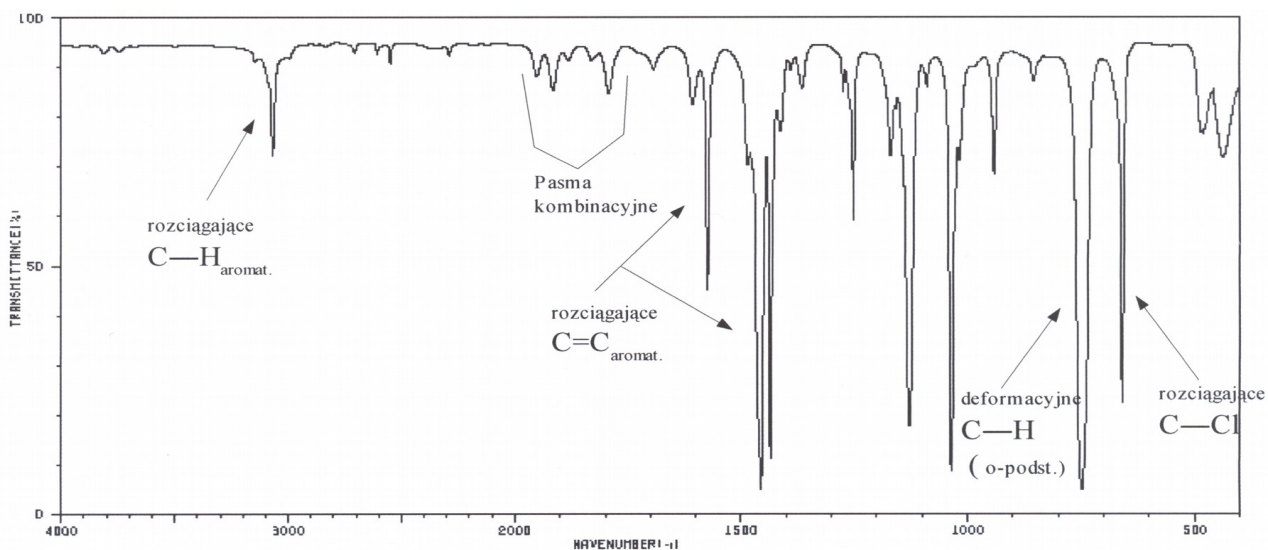
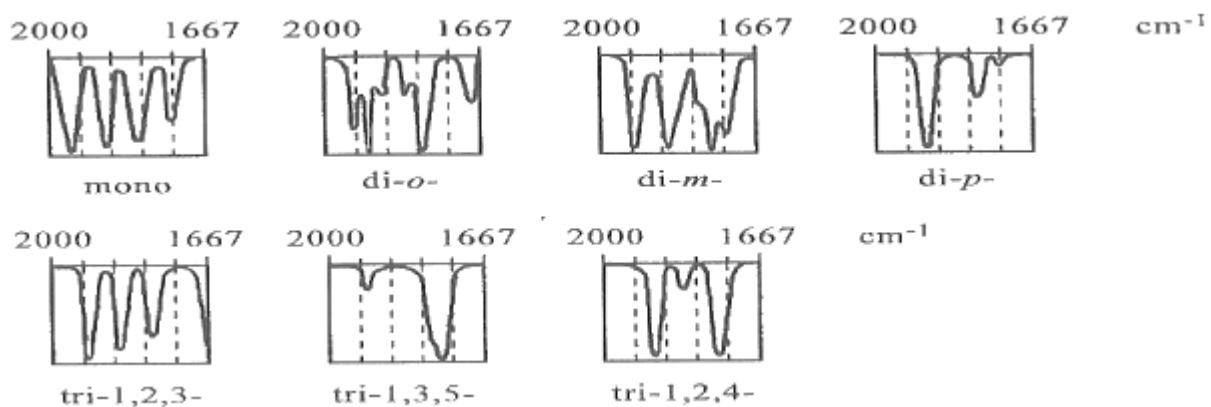
Tabela 2 Drgania deformacyjne wiązań C-H w pochodnych benzenu

<i>Typ podstawienia zw. aromatycznego</i>	<i>Zakres [cm^{-1}]</i>	<i>Intensywność pasma*</i>	
Monopodstawiony	770-730	s	
	710-690	s	
Dwupodstawiony	orto-	770-735	
	meta-	900-860	s
		810-750	s
para-	725-680 <i>widoczne</i>	(nie zawsze) m	
	860-800	s	

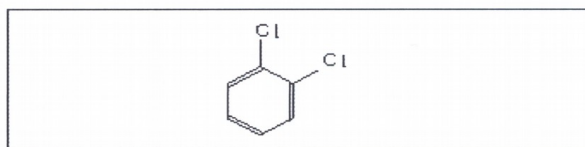
*s-silna, m-średnia



Do oceny typu podstawienia służą również pasma kombinacyjne tonów i nadtonów z zakresu 1600-2000 cm^{-1} .



3068	70	1486	68	1252	57	865	84
1951	84	1456	4	1170	70	748	4
1915	81	1435	10	1128	17	660	21
1792	81	1413	74	1009	84	487	74
1693	86	1391	86	1036	8	481	74
1607	79	1365	81	1018	88	438	70
1674	43	1274	81	941	66		

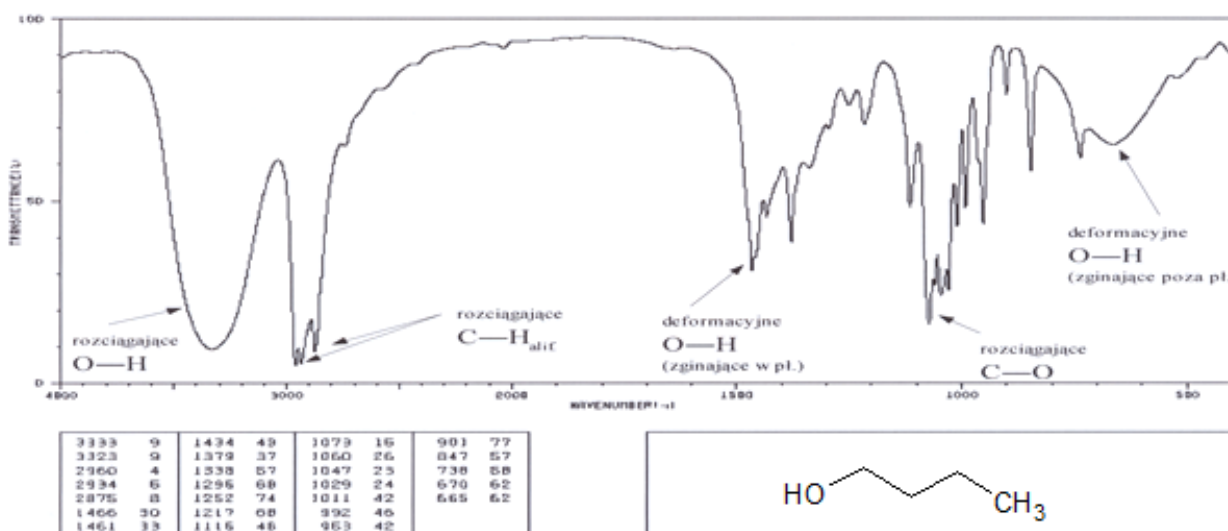


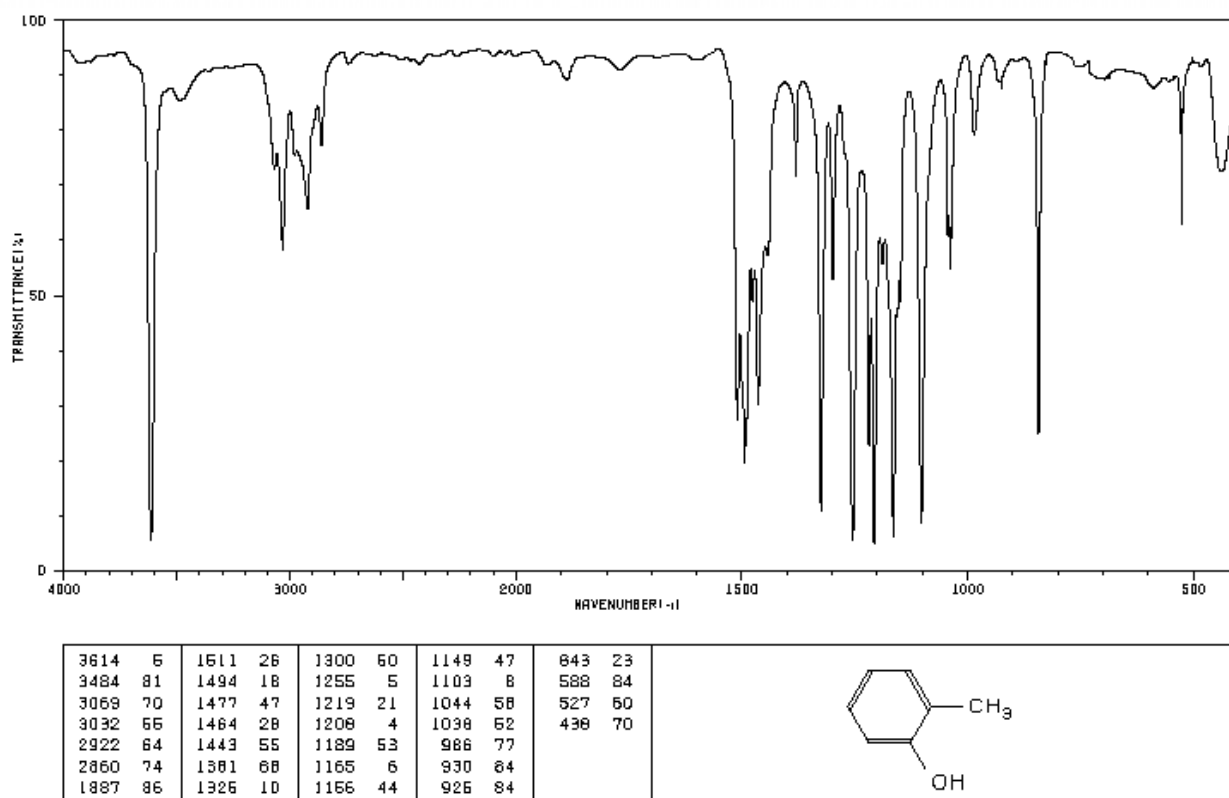
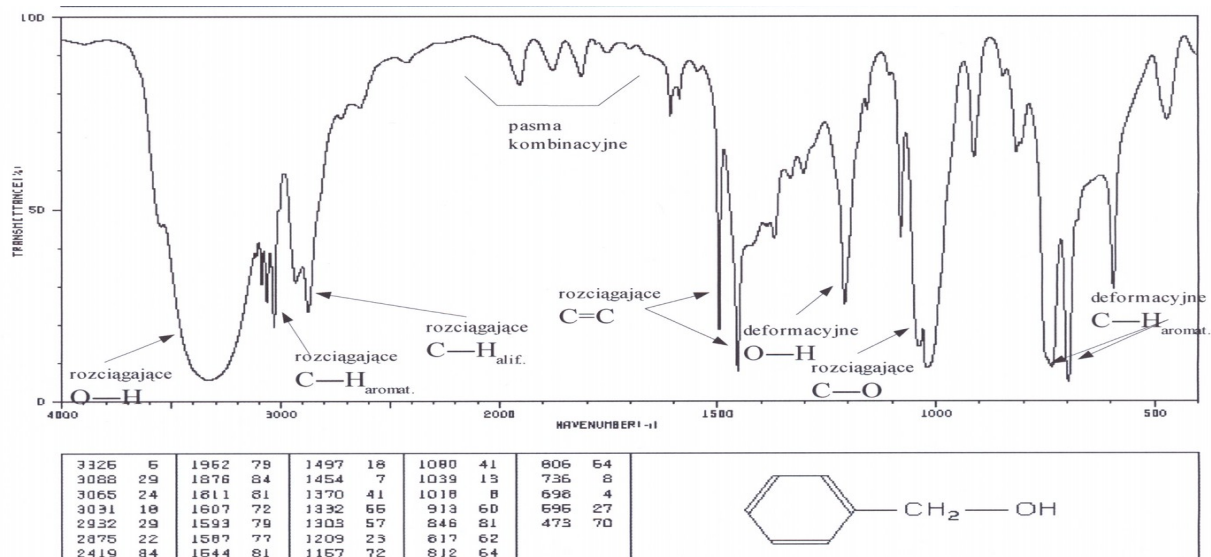
Rys. 5 Widmo IR 1,2-dichlorobenzenu.



Grupa OH (alkohole, fenole, kwasy)

Grupa O-H w alkoholach i fenolach wykazuje charakterystyczną absorpcję w zakresie 3000-3700- cm^{-1} . Występują tutaj pasma drgań rozciągających O-H. Swobodnej niezasocjowanej grupie O-H alkoholi i fenoli odpowiada wąskie pasmo absorpcyjne w zakresie 3500-3700 cm^{-1} . Pasma to obserwuje się w widmach rozcieńczonych roztworów tych związków. Jednak atom wodoru grupy O-H może łatwo tworzyć wiązanie wodorowe (z atomem tlenu lub z atomami innych grup funkcyjnych). Tworzenie wiązań wodorowych ma wpływ na kształt i położenie pasm absorpcyjnych drgań rozciągających grupy O-H. Tworzenie wiązań wodorowych prowadzi do powstania dimerów i poliasocjatów, wówczas obserwuje się szerokie pasmo w obszarze 3000-3500 cm^{-1} . Kwasy karboksylowe charakteryzują się bardzo szerokim pasmem drgań O-H (związanych z występowaniem wiązań wodorowych), którego maksimum występuje ok. 3000 cm^{-1} a zakres obejmuje 2500-3300 cm^{-1} . Położenie silnych pasm rozciągających C-O zależy od rzędowości alkoholu. Dla I-rzędowych występuje przy 1050-1075- cm^{-1} , II-rzędowych przy 1090-1125 cm^{-1} , a dla III-rzędowych przy 1120-1210 cm^{-1} . Fenole badane w stanie stałym (zawiesina, pastylka) posiadają pasma rozciągające C-O przy 1330-1390 cm^{-1} oraz 1180-1260 cm^{-1} . Pasma drgań deformacyjnych O-H leżą w obszarze 1330-1420 cm^{-1} oraz 650-770 cm^{-1} i mają małą wartość identyfikacyjną.



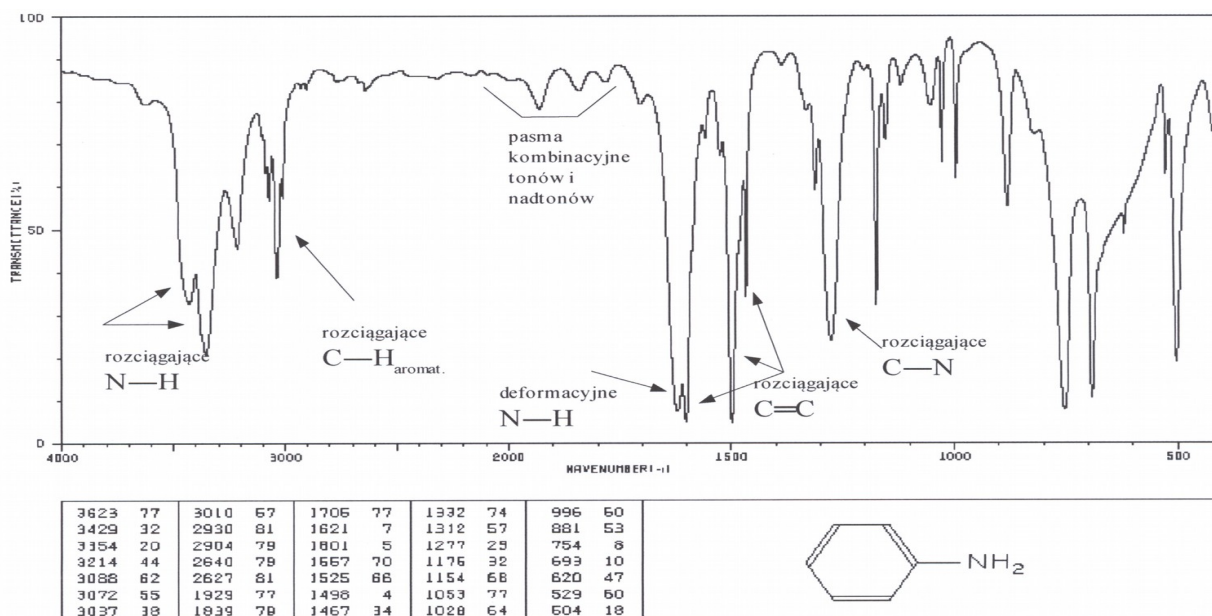


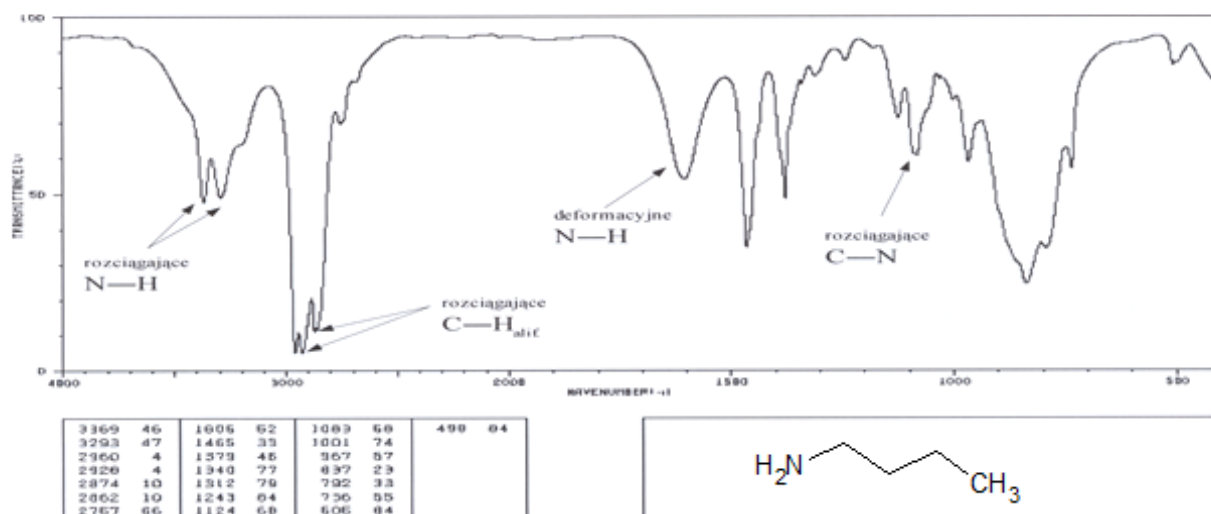
Rys. 6 Przykłady widm IR związków z grupą OH



Aminy

Dla amin charakterystyczne pasma absorpcji w podczerwieni występują w obszarze 3200-3600 cm^{-1} , 1500-1650 cm^{-1} oraz 1000-1360 cm^{-1} , są związane z drganiami wiązań N-H i C-N. Pierwszorzędowe aminy wykazują dwa pasma w zakresie 3200-3600 cm^{-1} (drgania rozciągające asymetryczne i symetryczne N-H), aminy drugorzędowe mają tylko jedno pasmo w tym zakresie a dla amin trzeciorzędowych absorpcja w tym zakresie nie występuje. Pasma te dla amin aromatycznych są znacznie intensywniejsze niż dla amin alifatycznych. Obszar 1500-1650 cm^{-1} jest charakterystyczny dla drgań deformacyjnych N-H. Dla amin pierwszorzędowych pasmo drgań deformacyjnych N-H ma duże natężenie (bywa mylone z pasmem drgań rozciągających C=O), dla amin drugorzędowych ma ono mniejsze natężenie. Ciekłe próbki pierwszo- i drugorzędowych amin wykazują średnie lub silne, szerokie pasmo absorpcji w zakresie 660-910 cm^{-1} , pochodzące od drgań wachlarzowych N-H. Drgania rozciągające C-N występują dla amin alifatycznych w zakresie 1020-1250 cm^{-1} , a dla amin aromatycznych 1260-1340 cm^{-1} .

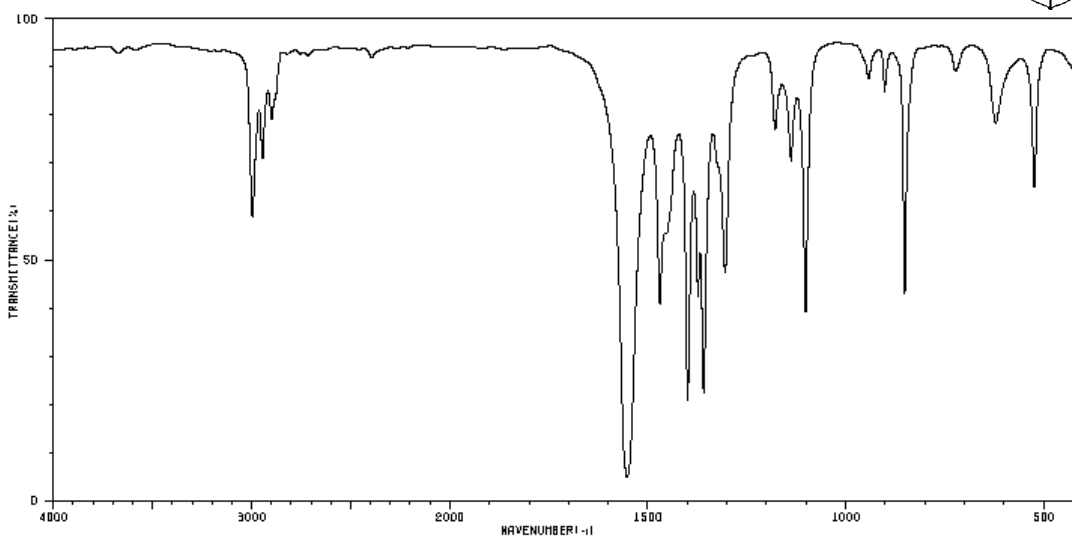




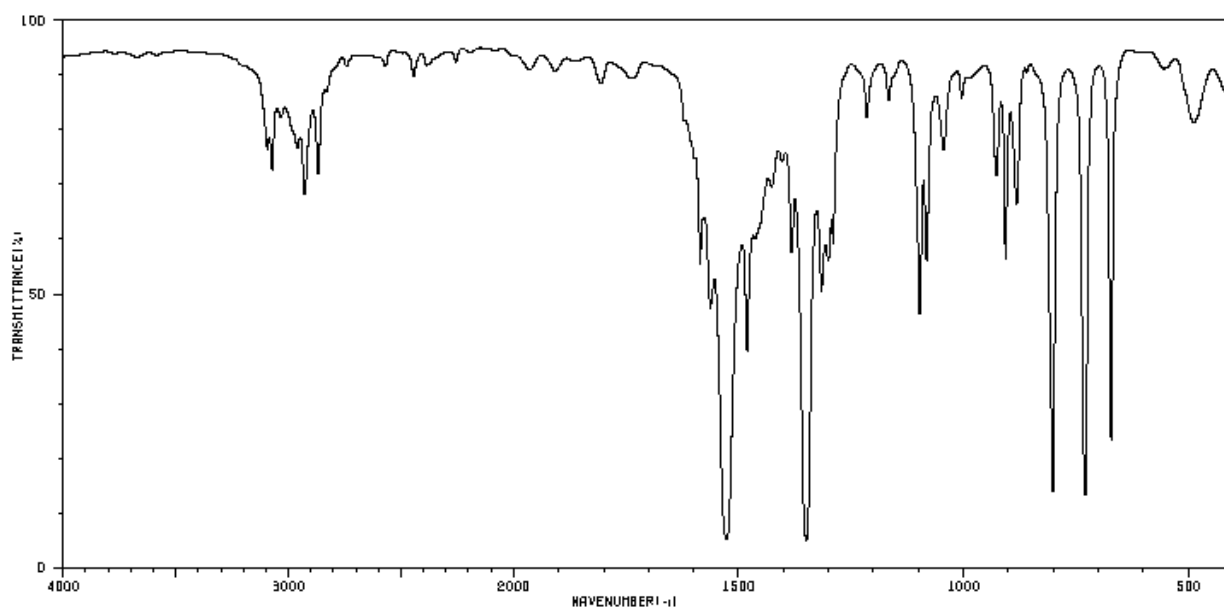
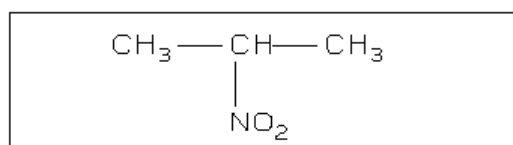
Rys. 7 Przykłady widm IR związków z grupą aminową.

Związki nitrowe

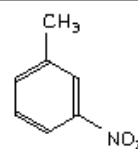
Dla związków nitrowych występują dwa charakterystyczne pasma absorpcji w obszarze $1660 - 1490 \text{ cm}^{-1}$ oraz $1390 - 1260 \text{ cm}^{-1}$. Są to pasma drgań rozciągających N-O. Nitrowe związki aromatyczne posiadają widoczne pasmo drgań rozciągających C-N w zakresie $870 - 840 \text{ cm}^{-1}$.



2996	67	1373	41	802	81
2945	68	1359	21	851	41
2899	77	1305	46	722	86
1662	4	1179	74	622	74
1470	39	1139	68	524	62
1453	53	1101	37		
1400	20	942	84		



3094	74	1740	86	1403	72	1167	81	927	68
3072	70	1735	86	1382	55	1097	44	906	53
3032	79	1588	53	1350	4	1082	59	882	54
2960	74	1662	46	1316	49	1044	74	802	13
2927	66	1527	4	1301	53	1004	81	729	12
2867	70	1482	38	1290	57	993	86	672	22
1806	84	1427	66	1216	79	988	86	488	79



Rys. 8 Przykłady widm IR związków nitrowych.



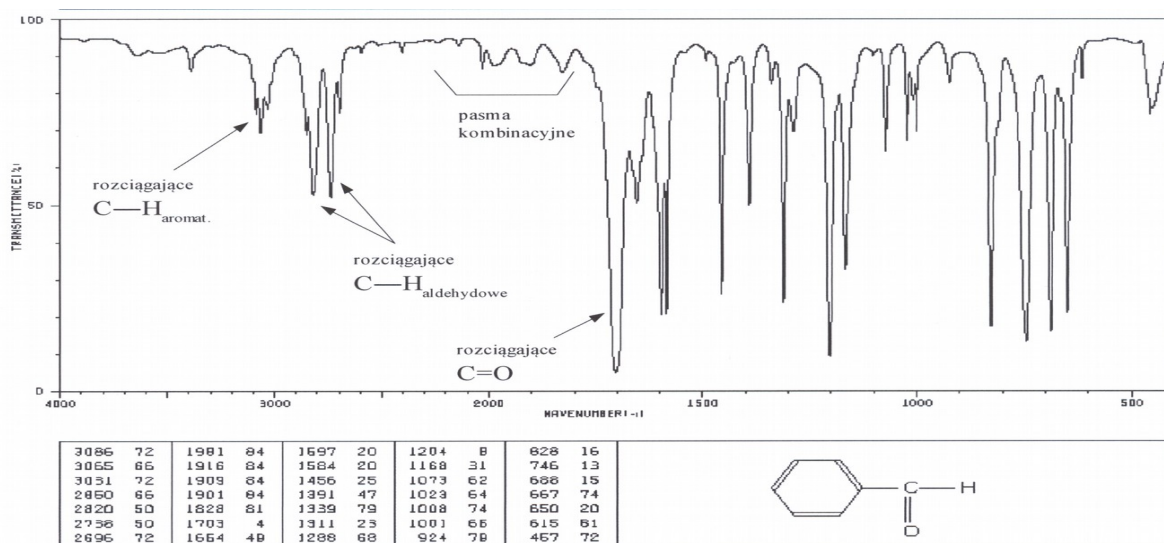
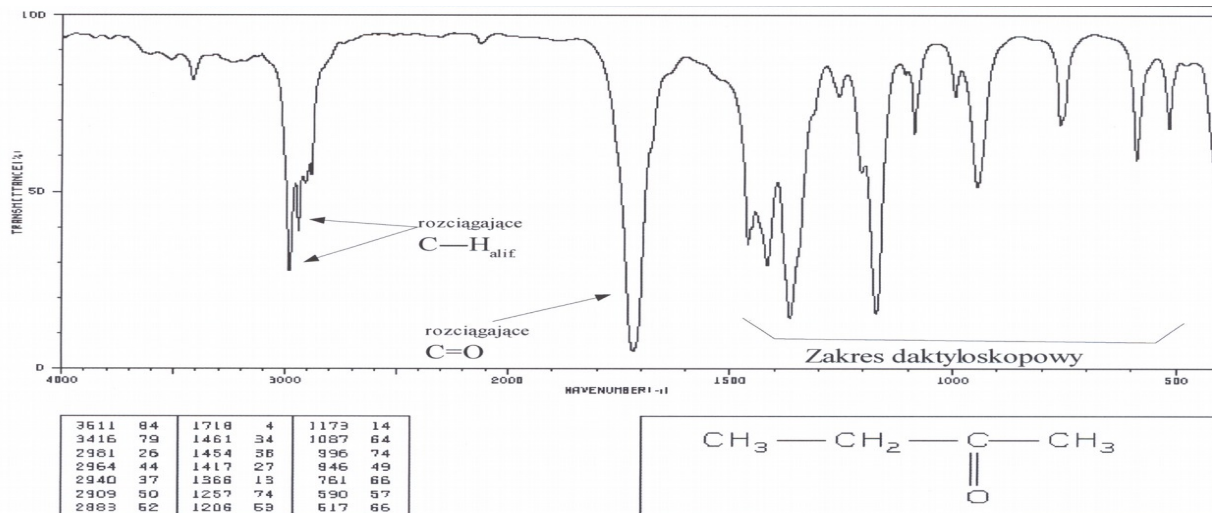
Związki zawierające grupę C=O

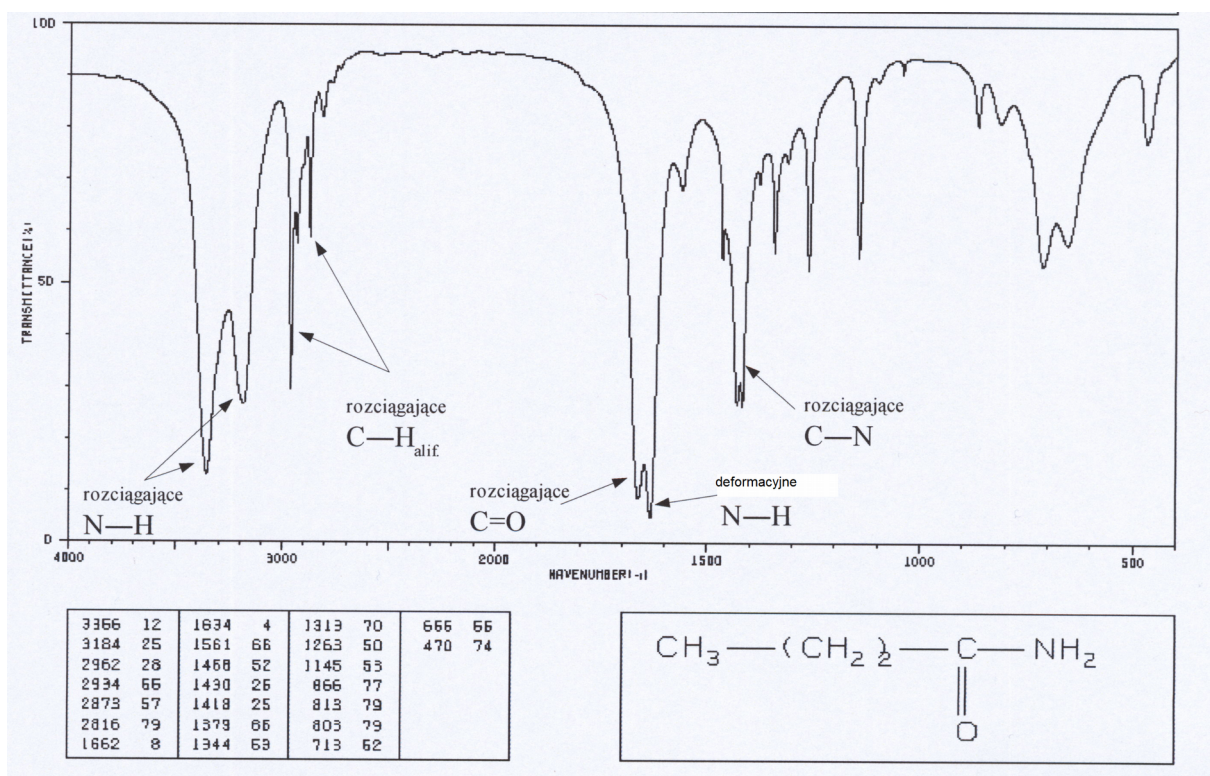
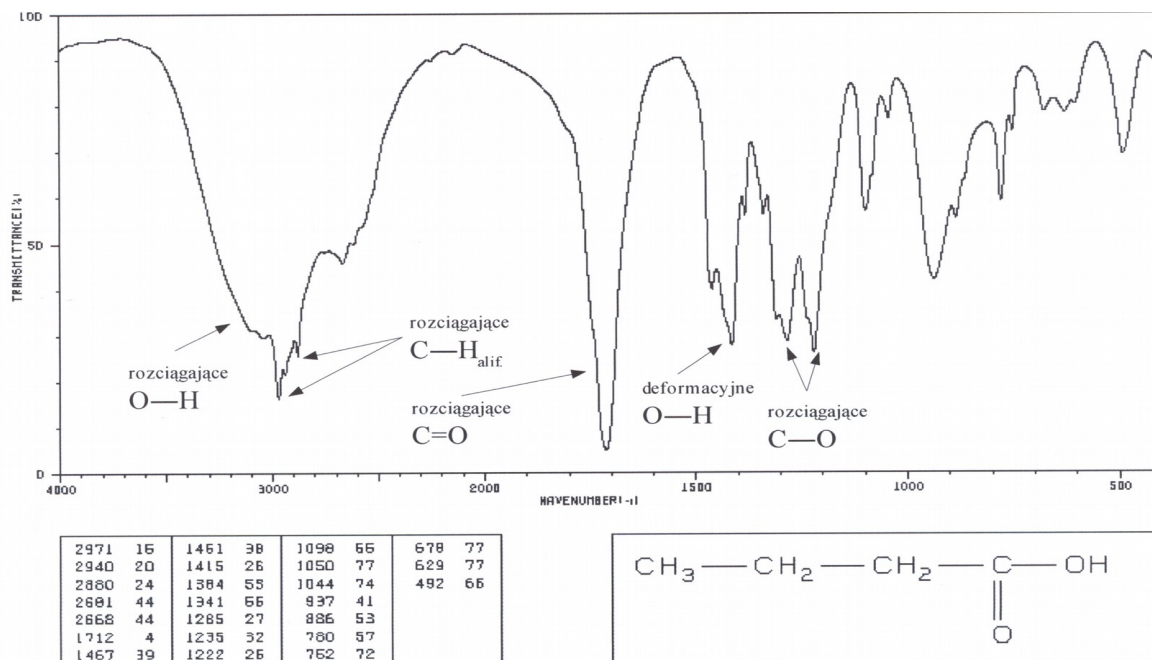
W widmach związków karbonylowych pasmo drgań rozciągających C=O występuje w zakresie 1600-1870 cm^{-1} , jest bardzo charakterystyczne ze względu na dużą intensywność. Położenie tego pasma zależy od obecności i usytuowania innych grup funkcyjnych w związku oraz rozpuszczalnika. Jednak dla poszczególnych typów związków pasmo drgań rozciągających C=O jest umiejscowione w dość wąskim zakresie.

Tabela 3 Charakterystyczne zakresy absorpcji w podczerwieni związków z grupą C=O

Typ związku	Zakres [cm^{-1}]
Aldehydy alifatyczne nasycone	1740 – 1720
Aldehydy aromatyczne	1720 – 1690
Ketony nasycone	1680 – 1660
Estry nasycone	1750 – 1735
Kwasy alifatyczne nasycone	1725 – 1700
Kwasy aromatyczne	1700 – 1680
Bezwodniki kwasowe (nasycone)	1870 – 1820
Bezwodniki kwasowe (pierścieniowe, pięcioczłonowe)	1800 – 1750
Chlorki kwasowe	~1790
Amidy	1630 – 1700
Ureidy	~1600

Dla aldehydów oprócz pasm grupy karbonylowej charakterystyczne są pasma drgań rozciągających wiązania C-H grupy funkcyjnej CHO w zakresie 2700- 2830 cm^{-1} , najczęściej w postaci dwóch ostrych pasm 2720 i 2820 cm^{-1} (pasmo to odróżnia aldehydy i ketony). Pasma drgań rozciągających wiązania C-H grupy funkcyjnej CHO często pokrywa się z pasmem drgań rozciągających C-H alif. (ok. 2700 cm^{-1}), jest jednak charakterystyczne dla C-H aldehydów – musi być widoczne w aldehydach i posiada wartość diagnostyczną.





Rys. 9 Przykłady widm IR związków z grupą C=O.



Pytania

1. Objasnij krótko pojęcia:

a) zakres daktyloskopowy b) drgania deformacyjne c) drgania rozciągające d) liczba falowa

2. Jaki jest zakres liczby falowej promieniowania podstawowej podczerwieni i jakie zmiany w cząsteczce wywołuje absorpcja tego promieniowania?

3. Jakimi parametrami opisane są osie w widmie IR?

4. Przy jakich wartościach liczby falowej w podczerwieni należałoby się spodziewać pasm świadczących o obecności:

a) grupy NH_2 b) grupy OH c) grupy CO

Od jakiego rodzaju drgań pochodzą poszczególne pasma?

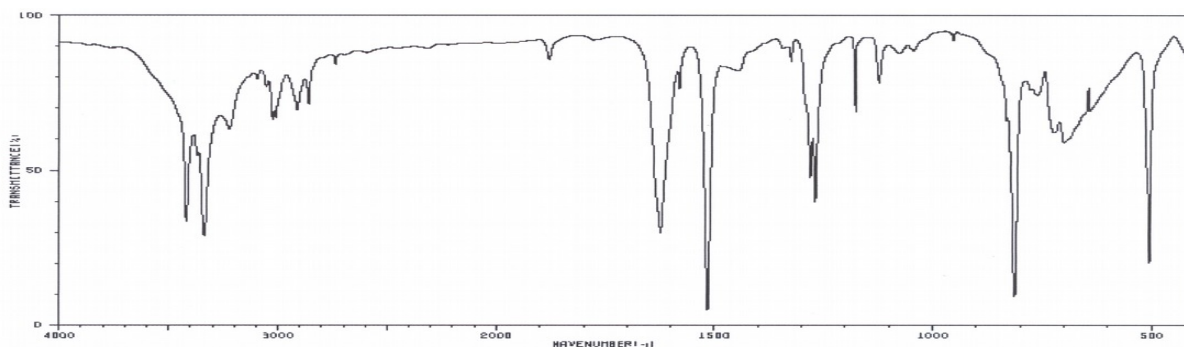
5. Czy spektroskopii IR można użyć do monitorowania reakcji utleniania 2-propanolu? Odpowiedź uzasadnij.

6. Wymień 4 charakterystyczne pasma, które pojawią się w widmie IR (w zakresie $1500\text{-}4000\text{cm}^{-1}$) i jednoznacznie potwierdzą budowę:

a) 3,5-dimetyloaniliny b) aldehydu benzoowego c) amidu kwasu benzoowego

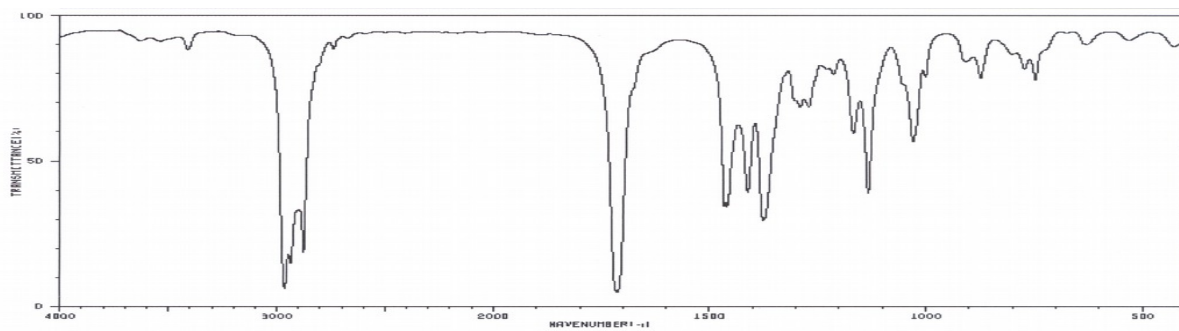
7. Poniższe rysunki przedstawiają widmo IR związków należących do: amin, kwasów, alkoholi i ketonów. Przyporządkuj odpowiednie widmo do odpowiedniego związku.

A)

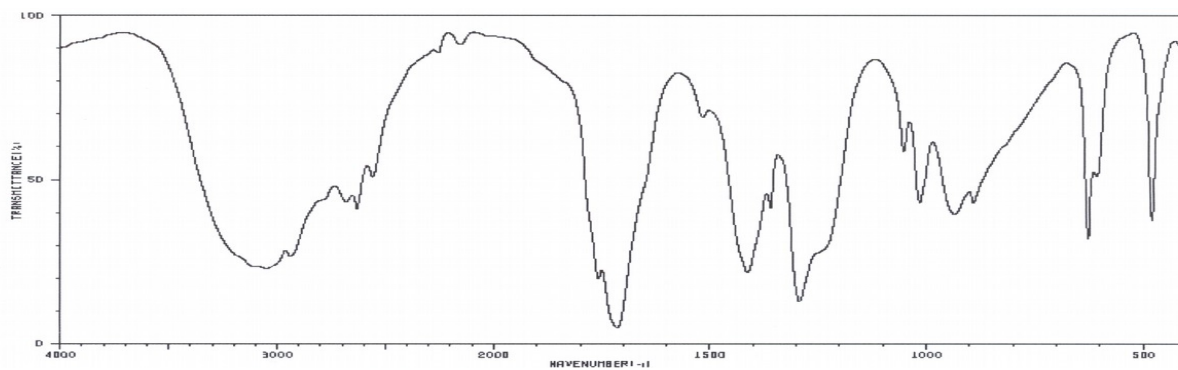




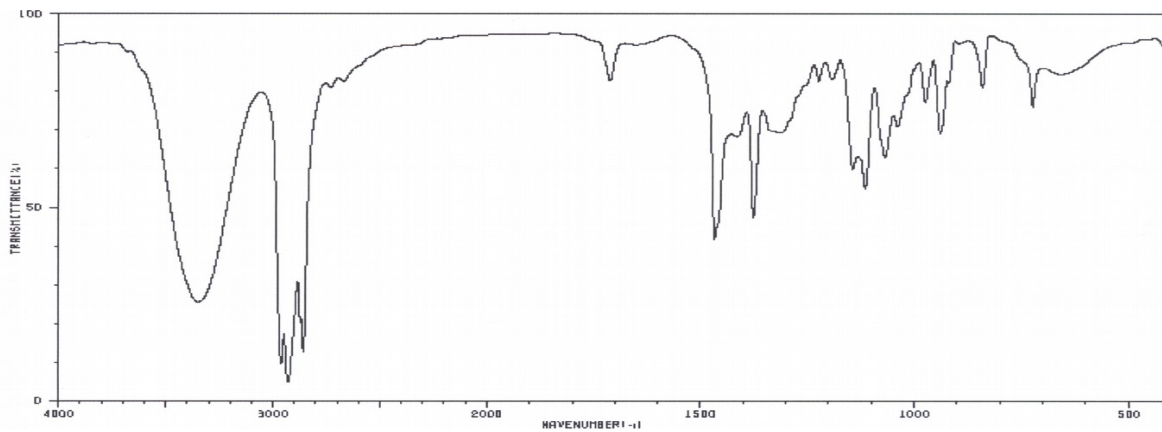
B)



C)



D)





Literatura

- 1.R.M. Silverstein, F.X. Webster, D.J. Kiemle-Spektroskopowe metody identyfikacji związków organicznych, PWN (2007)
- 2.W. Zieliński, A Rajcy (praca zbiorowa)-Metody spektroskopowe i ich zastosowanie do identyfikacji związków organicznych, WNT (1995)
- 3.J. Bojarski (praca zbiorowa)- Ćwiczenia z preparatyki i analizy organicznej CMUJ (1996)
- 4.J. McMurry- Chemia Organiczna PWN (2000)
5. H. Hart, L.E Craine, D.J. Hart, C.M. Hadad- Chemia Organiczna PZWL (2008)
6. Internetowa baza SDBSWeb:<http://riodb01.ibase.aist.go.jp/sdbs/> (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, data of access 2007-2009).