

Spalinowego silnika rotacyjnego z wirującym tłokiem nie należy mylić z silnikami „rotacyjnymi” z wczesnego okresu lotnictwa. Były to silniki gwiazdowe, w których cylindry obracały się wokół nieruchomego wału korbowego. Ich kariera zakończyła się wraz z pierwszą wojną światową.

Po NSU, pionierem w opracowywaniu samochodów, w których zastosowano silniki rotacyjne, była Mazda. RX-7, skierowany na sprzedaż w 1978 r., był prawdopodobnie najpopularniejszym samochodem z silnikiem rotacyjnym. Przed nim jednak powstała seria samochodów osobowych, ciężarowych, a nawet au-

# SPALINOWY SILNIK ROTACYJNY WANKLA

Marek Utkin

Istnieją trzy podstawowe rodzaje prawdziwych silników rotacyjnych:

- 1) Typu Wankla, oparte o wirujący tłok.
- 2) Modele działające na zasadzie nożycowej, w których stosuje się przegrody i tłoki.
- 3) Wersje z wirującym blokiem silnika (tzw. kot i mysz).

Silniki w ogóle, nie tylko rotacyjne, są blisko spokrewnione z pompami i sprężarkami - jedne napędzają, drugie są napędzane, a więc niektóre stosowane w nich rozwiązania znane są z pomp.

## HISTORIA SILNIKÓW ROTACYJNYCH

Projekty silników rotacyjnych opracował w 1588 r. Ramelli, choć były one mocno przedwczesne - trzeba było rewolucji przemysłowej oraz powstania silnika Otto w 1876 r. i narodzin samochodu w 1896, aby stworzyć podstawy prawdziwego spalinowego silnika rotacyjnego. Przed rokiem 1910 zgłoszono ponad 2000 patentów na wirujące tłoki. Inne wczesne projekty były wykonane przez Huygensa w 1673 i Keplera.

James Watt wykonał silnik parowy z wirującym tłokiem (a raczej ruchomą przegrodą w okrągłej komorze) w 1759 r., podobnie jak Ericsson. Amerykanin John Cooley wynalazł coś w rodzaju negatywu silnika Wankla w 1903, a Umpleby do niego zastosował wewnętrzne spalanie w 1908 r., lecz nie osiągnął nigdy sukcesu. Oprócz tego Elwood Haynes opracował silnik gazowy z zaworem rotacyjnym w 1903 r.

Dopiero jednak Felix Wankel, z niemiecką starannością i dokładnością skatalogował i dopasował 862 pary różnych figur geometrycznych, z których 278 było niepraktycznych. Wankel przebadał 149 najbardziej obiecujących z pozostałych 584. W silnikach Wankla stosuje się przekładnię cykloidalną, stary i niezwykły rodzaj przekładni, używany w zegarach, pompach i sprężarkach śrubowych.

Po II wojnie dr Wankel wznowił swoje prace badawcze w 1951 r., zainteresowawszy silnikami z wirującym tłokiem NSU. Pierwszym seryjnie produkowanym samochodem z silnikiem Wankla był NSU Wankel-Spider (jednorotorowy, pojemność 497 cm<sup>3</sup>, 50 KM), którego wytwarzanie rozpoczęto w 1963 r. i produkowano do 1967. Następnym modelem był NSU Ro80.

busów, rozpoczęta przez Cosmo Sport model 1967. Nowy samochód Mazdy, RX-8, ma nowy, nagrodzony silnik rotacyjny o mocy 250 KM nazwany Renesis.

Ciekawostką jest, iż w Polsce pod koniec lat 50. i na początku lat 60. były prowadzone prace nad silnikiem rotacyjnym (chodziły słuchy o pięciokątym tłoku). Sprawa, jak wszyscy wiedzą, nie wypaliła i były w nią zamieszane ponoć i wywiady państw obcych. Dziwnym trafem motyw ten pojawił się w „Awanturze w Niekłaju” E. Niziurskiego.

## TEORIA, BUDOWA, ZASADA DZIAŁANIA

- Jest to silnik wewnętrzznego spalania: mieszanka paliwa z powietrzem jest zapalana, a siła wybuchu napędza elementy wewnątrz silnika.
- Jest to silnik czterosuwowy, występują w nim osobno: zassanie mieszanki, sprężanie, praca, wydech.
- Większość silników rotacyjnych ma trzy zasadnicze części: 2 rotory, czyli wirujące tłoki i wał mimośrodowy. Wirujące tłoki obracają się w jednym kierunku. Nie oscylują w górę ani w dół.
- Są one otoczone komorą, w której wierzchołek tłoka zatacza krzywą zwaną epitroichoidą.

**Silnik rotacyjny Wankla jest silnikiem pracującym według czterech faz cyklu Otto, czyli czterosuwowym.** W przeciwieństwie do typowego silnika tłokowego, mieszanka paliwowo-powietrzna jest przetłaczana z miejsca na miejsce, w związku z tym cztery fazy cyklu (suwy, choć tu nic się nie suwa, tylko kręci) odbywają się w różnych miejscach silnika. To jest zaletą w przypadku zastosowania wodoru jako paliwa. Odpowiednie fragmenty cyklu odbywają się jednocześnie na trzech ściankach wirującego tłoka (tj. na jednej występuje np. ssanie, na drugiej zapłon, a na trzeciej wydech).

Rotacyjny silnik spalinowy, wynaleziony przez Feliksa Wankla i udoskonalony przy udziale Waltera Froede z NSU, różni się od silnika tłokowego czterema zasadniczymi elementami:

- Rotor (wirujący tłok) zastępuje tłok w silniku pracującym ruchem posuwisto-zwrotnym.
- Wał mimośrodowy zastępuje wał korbowy silnika i korbowody silnika tłokowego.
- Komora silnika zastępuje cylinder konwencjonalnego silnika tłokowego.

## FELIX WANKEL – krótka biografia

Wielu wynalazców interesowało się problemem silnika rotacyjnego, lecz nikt nie drażył tego zagadnienia tak długo i niestrudzenie, jak Felix Wankel, który, przy współpracy z NSU, dokładnie przebadał wszystkie aspekty techniczne dotyczące szczelności, umieszczenia świec zapłonowych, okien wlotowych i wydechowych, chłodzenia, smarowania, spalania, materiałów i tolerancji wymiarowych.



### Początki

Felix Wankel urodził się 13 sierpnia 1902 r. w Lahr w Szwarcwaldzie, w Szwabii (Otto, Daimler i Benz również pochodzili ze Szwabii - czyżby jakieś lokalne geny?). Wankel zakończył szkołę wyższą w wieku lat 19., jednocześnie pracując i ucząc się. Drukował, magazynował i sprzedawał książki naukowe w Heidelbergu, równolegle pracując nad rozwiązaniami technicznymi. W okresie niemieckiej depresji utracił pracę i w 1924 r. otworzył warsztat mechaniczny. Od tego czasu rozważał pomysł silnika rotacyjnego. W 1927 r. wykonał rysunki schematu „maszyny z wirującym tłokiem bez niejednostajnie poruszających się elementów”. Pierwszy patent uzyskał w 1929 r. (DRP 507 584). Od tego czasu zgłaszał rozmaite patenty przez 60 lat. W 1933 zgłosił wniosek patentowy na silnik z wirującym tłokiem, a otrzymał go w 1936.

Jak wielu Niemców klasy średniej, zrujnowanych inflacją lat 20., Wankel wstąpił do NSDAP. Jednak, jak niemal każdy wynalazca, postąpił przeciwieństwo większości społeczeństwa i wystąpił z partii w 1932 r., a w 1933 r. naziszi doszli do władzy... W dodatku Wankel ujawnił korupcję gaulitera Wagnera, co doprowadziło go do osadzenia w więzieniu (Wankla, nie gaulitera!). Został uwolniony, dopiero gdy na jego rzecz interweniował pewien przemysłowiec i naukowiec. Ok. 1936 Wankel, zamieszkały w okolicach Jeziora Bodeńskiego, pracował nad zaworami rotacyjnymi i technologią uszczel-

nień dla Lilienthala, BMW, DVL, Junkersa i Daimlera-Benz. Opracował wtedy liczne prototypy silników z wirującym tłokiem oraz pompy i sprężarki rotacyjne. W 1945 r. znalazł się we francuskiej strefie okupacyjnej, a jego warsztaty i wyniki badań zostały prawdopodobnie zniszczone (lub wywiezione), a on sam, po raz kolejny, był więziony do 1946 r.

### Współpraca z NSU

Podczas okupacji alianckiej Felix Wankel w tajemnicy pisał swoją książkę o budowie silników rotacyjnych. W 1951 r. podjął badania na nowo, zainteresował swym projektem NSU i rozpoczął współpracę z Walterem Froede, szefem programu motocykli wyścigowych. Pierwszy rzeczywście działający silnik był typu DKM, i ruszył w lutym 1957. Do maja był w stanie pracować przez dwie godziny, wytwarzając 21 KM. Pierwszy silnik KKM ruszył w czerwcu 1958.

Felix Wankel w uznaniu za swoją działalność został odznaczony wieloma tytułami i medalami, m.in. otrzymał honorowy doktorat Uniwersytetu Technicznego w Monachium oraz najwyższe niemieckie odznaczenie cywilne, Wielki Krzyż Zasługi w Służbie Republiki, i in. Jednak jak wielu wybitnych twórców, był człowiekiem kontrastów - pod koniec życia przeprowadził się na szwajcarską stronę Jeziora Bodeńskiego, m.in. po to, aby zachować neutralność w razie ewentualnej wojny. Zająmował się czynnie działaniami na rzecz dobra zwierząt - m.in. w 1972 r. ustanowił Nagrodę Felixa Wankla za Ochronę Zwierząt w Badaniach, przyznawaną za rozwiązania mające na celu ograniczenie, zastępowanie i - na ile to możliwe - zaprzestanie eksperymentów z udziałem żywych zwierząt.

Pomimo wielkiego wkładu w technikę, a w motoryzację w szczególności, do końca życia (z przyczyn ideowych) nie posiadał prawa jazdy (niewątpliwie udział zwierząt rozjechanych przez samochody z silnikami Wankla w stosunku do ogólnej liczby jest niewielki).

Ulice nazwane imieniem Feliksa Wankla znajdują się w: Aalen, Dachau, Euskirchen, Heilbronn, Neckarsulm, Oldenburgu, Ostfildern, Rottenburgu, Schweinfurcie, Sennfeld, Stuhr (Brema) i w Zaberfeld, oraz istnieje Felix-Wankel-Ring w Lenting.

- Okna kanałów ssących i wydechowych w obudowie eliminują zawory, wałki rozrządu, krzywki, popychacze i paski rozrządu.

Silnik rotacyjny ma zauważalne zalety w stosunku do konwencjonalnego silnika tłokowego.

### Wirujący tłok porusza się wewnątrz komory silnika po epitrochoidzie

Komora silnika ma wewnątrz kształt epitrochoidy (a jeszcze dokładniej, peritrochoidy). Wykreśla tę krzywą punkt leżący na promieniu okręgu toczącego się po stronie zewnętrznej drugiego okręgu. Okrąg nieruchomy ma połowę średnicy okręgu obiegającego.

### Są dwa główne rodzaje silnika rotacyjnego: KKM i DKM.

- DKM (Drehkolbenmaschine, maszyna z krążącym tłokiem), czyli silnik o pojedynczym obiegu (SIM). Taki był pierwszy silnik rotacyjny, miał wewnętrzną obrotową komorę obracającą się wokół osi oraz rotor wykonujący ruch cykliczalny. Ta konstrukcja wymagała kompletnego zdemontowania silnika w celu wymiany świec (trzech), co było podstawowym powodem, dla którego z niej zrezygnowano. Jednak DKM chodzi również niż KKM i jest w stanie osiągać wysokie obroty, powyżej 25 000. Występują w nim niższe obciążenia na łożyskach.
- KKM (Kreiskolbenmotor, motor z wirującym tłokiem), czyli silnik o obiegu planetarnym (PLM), wyróżniająca się nieruchomą komorą. Rotor porusza się po orbii

cie i napędza wał mimośrodowy. Ten rodzaj jest łatwiejszy w produkcji, chłodzeniu i konserwacji niż DKM. Kanały ssące i wydechowe są lepiej ukształtowane. Współczesne silniki rotacyjne są typu KKM.

## CZĘŚCI

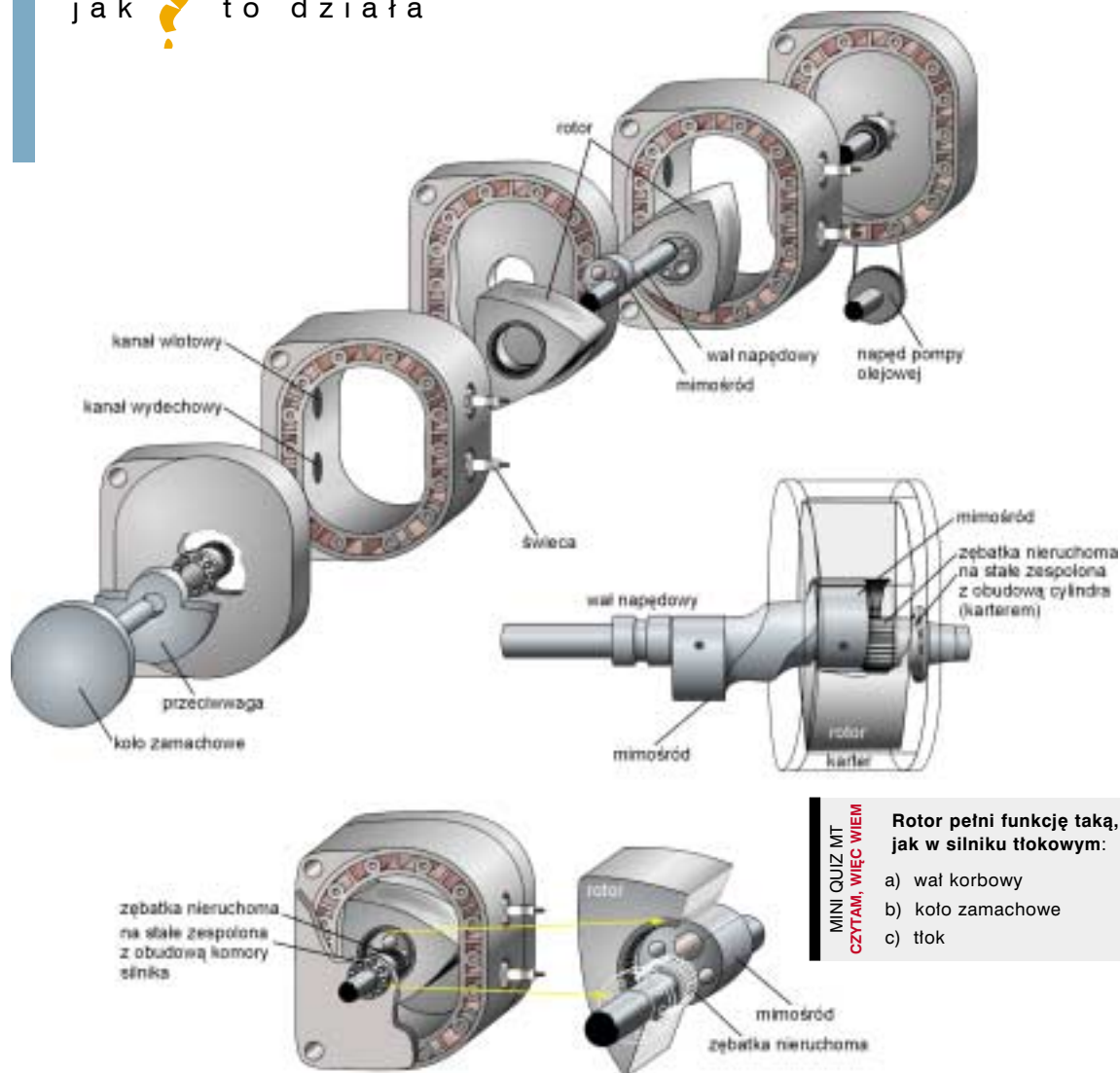
Silnik rotacyjny jest wyposażony w system zapłonowy i system paliwowy, podobne jak w konwencjonalnych silnikach tłokowych. Jeśli nie widzieliście nigdy silnika rotacyjnego w środku, przygotujcie się na niespodziankę, ponieważ nie znajdziecie zbyt wielu znanych elementów.

### Rotor

Rotor ma trzy wypukłe ścianki, a każda z nich ma w sobie zagłębienie, zwiększające pojemność skokową silnika, gdyż każda z nich działa jak tłok i umożliwia dostanie się większej ilości mieszanki paliwowej.

Na obu końcach każdej ze ścianek znajduje się metalowa listwa, uszczelniająca punkt styku rotora z komorą spalania, podobnie jak czynią to pierścienie w silnikach tłokowych. Na każdej z powierzchni bocznych rotora znajdują się pierścienie, uszczelniające boki komory spalania.

Wewnątrz rotora, po jednej stronie, znajduje się również wewnętrzne koło zębate, z zębami skierowanymi do środka. Zazębiają się one z przekładnią zamo-



MINI QUIZ MT  
CZYTAJMY WIĘC WIEM

**Rotor pełni funkcję taką, jak w silniku tłokowym:**

- wał korbowy
- koło zamachowe
- tłok

## JAK TO ZŁOŻYĆ...

Silnik rotacyjny jest pakietem złożonym z warstw. Silnik dwurotorowy ma pięć głównych warstw, które utrzymuje w całości komplet długich śrub.

Chłodziwo przepływa kanałami przechodzącymi przez wszystkie części. Dwie warstwy zamykające tę „kanapkę” z obu końców zawierają uszczelki i łożyska wału napędowego. One również łączą się szczelnie z dwiema dalszymi warstwami, w których są umieszczone rotory. Powierzchnia wewnętrzna części czołowych ma dużą gładkość, co ułatwia działanie bocznych pierścieni uszczelniających w rotorach. Okna kanału ssącego są umieszczone w każdej z części skrajnych silnika dwurotorowego.

Następną warstwą, jeśli patrzeć od zewnątrz, są warstwy zawierające rotory. One również są pokryte gładkim metalem i znajdują się w nich okna kanałów wylotowych.

Część środkowa pakietu zawiera dwa okna kanałów ssących, jeden dla każdego rotora. Rozdziela również oba rotory, w związku z czym jej zewnętrzne powierzchnie muszą być bardzo gładkie.

Pośrodku każdego rotora znajduje się również duże wewnętrzne koło zębate, które toczy się wokół mniejszego koła zębatego, zamocowanego do bloku silnika. Jest to to, co determinuje orbitę rotora. Rotor obraca się również na dużej, walcowej krzywce na wale korbowym.

## CZTERY SUWY

cowaną do obudowy. To połączenie kół zębatach wymusza tor ruchu i kierunek, w jakim rotor obraca się w komorze.

### Komora silnika

Komora silnika jest mniej więcej owalna w kształcie (dokładniej - jest to epitrochoida, czyli jakby bardzo gruba ósemka). Kształt komory spalania jest opracowany tak, aby trzy wierzchołki rotora zawsze pozostawały w kontakcie ze ścianami komory, tworząc trzy szczelne zbiorniki gazu. Każda część komory jest przypisana jednej części procesu pracy.

Kanały ssące i wydechowe są umieszczone w obudowie. W tych kanałach nie ma zaworów (trochę podobnie, jak w silniku dwusuwowym). Okno kanału wydechowego łączy się bezpośrednio z systemem wydechowym, a ssącego - z gaźnikiem.

### Wał napędowy

Wał napędowy ma wymodelowane krzywki o przekroju walcowym, umieszczone mimośrodowo, czyli przesunięte względem osi podłużnej wału. Każdy rotor jest nałożony na jedną z nich. Działają one podobnie, jak wał korbowy w silniku tłokowym. W trakcie, gdy rotor podąża swą drogą w komorze silnika i toczy się po nieruchomym kole zębatym, popycha krzywki. Ponieważ są one zamontowane mimośrodkowo względem wału napędowego, siła wywierana przez rotor na krzywki wytwarza moment obrotowy wału, przez co jest on wprawiony w ruch obrotowy.

Silniki rotacyjne są stosowane w wielu samochodach (m. in. w Ładzie Samarzel), a także do napędu samolotów, motocykli (w tym rosyjskiego Dniepra), motoroltni, motorówek, skuterów śnieżnych, kosiarek i pił spaliniowych.

Przezroczysty model silnika rotacyjnego Mazdy pod nazwą „Visible Rotary Engine” w skali 1:5 produkuje firma Mini-craft, zaś OS/Graupner wytwarza działający silnik Wankla o pojemności 5 cm<sup>3</sup> do napędu modeli samolotów. ●

### Ssanie

Faza ssania w cyklu pracy rozpoczyna się, gdy wierzchołek rotora mija okno kanału ssącego. W momencie, gdy okno kanału wlotowego otwiera się na komorę, objętość komory jest bliska minimum. Gdy rotor obraca się dalej, objętość komory rośnie, powodując wciągnięcie mieszanki paliwowo-powietrznej do komory.

Gdy następny wierzchołek komory mija okno kanału ssącego, komora się zamyka i rozpoczyna się sprężanie.

### Sprężanie

Gdy rotor kontynuuje swój ruch w komorze silnika, objętość komory zmniejsza się i mieszanka paliwowo-powietrzna się spręża. W tym czasie ścianka rotora przemieszcza się przed świecami zapłonowymi, a objętość komory jest ponownie najbliższa minimum. Wtedy następuje zapłon.

### Spalanie

Większość silników rotacyjnych ma dwie świece zapłonowe. Komora spalania jest długa, a więc czoło płomienia rozprzestrzeniałoby się zbyt wolno, gdyby była tam tylko jedna świeca. Gdy świece zapłonowe zapalają mieszankę paliwowo-powietrzna (sekwencyjnie, odpalają jedną zaraz po drugiej), ciśnienie szybko rośnie, zmuszając rotor do ruchu.

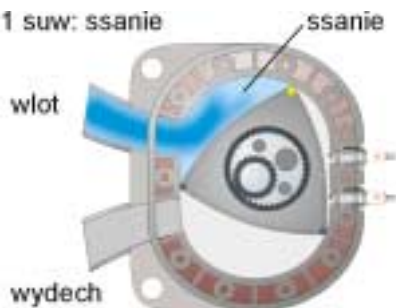
Ciśnienie spalanej mieszanki zmusza rotor do ruchu w kierunku, który spowoduje wzrost objętości komory. Gazy spalinowe rozprężają się dalej, poruszając rotor i wytwarzając energię, zanim wierzchołek rotora nie minie okna kanału wydechowego.

### Wydech

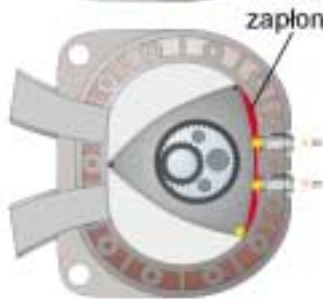
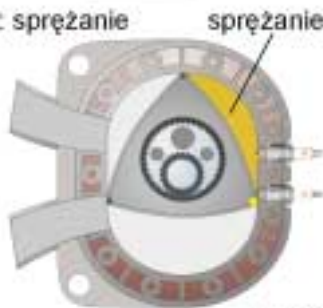
Gdy tylko wierzchołek rotora minie okno kanału wydechowego, sprężone gazy spalinowe mogą swobodnie wydostać się na zewnątrz. Gdy rotor się obraca, komora kurczy się, wytłaczając resztę gazów spalinowych przez okno kanału wydechowego. W tym czasie objętość komory zbliża się do minimum, wierzchołek rotora mija okno kanału ssącego i cały cykl rozpoczyna się od nowa.

W silniku rotacyjnym przyjemne jest to, że wszystkie trzy ścianki rotora zawsze pracują nad jedną z faz cyklu. **Podczas jednego pełnego obrotu rotora następują trzy cykle spalania. Lecz wał napędowy obraca się (dzięki przekładni zębataj i krzywkom) trzy razy na jeden cykl spalania, co sprawia, że na każdy obrót wału napędowego przypada jeden zapłon.**

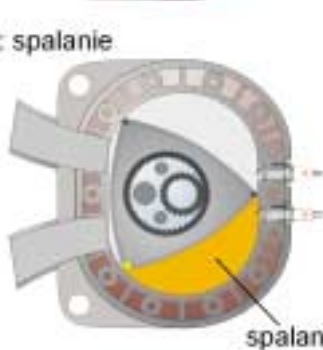
### 1 suw: ssanie



### 2 suw: sprężanie



### 3 suw: spalanie



### 4 suw: wydech

