

Skąd smartfon wie, gdzie się znajdujesz? (Jak działa GPS?)



## Skąd smartfon wie, gdzie się znajdujesz? (Jak działa GPS?)

Źródło: Gilles Rolland-Monnet, dostępny w internecie: <https://unsplash.com>, domena publiczna.

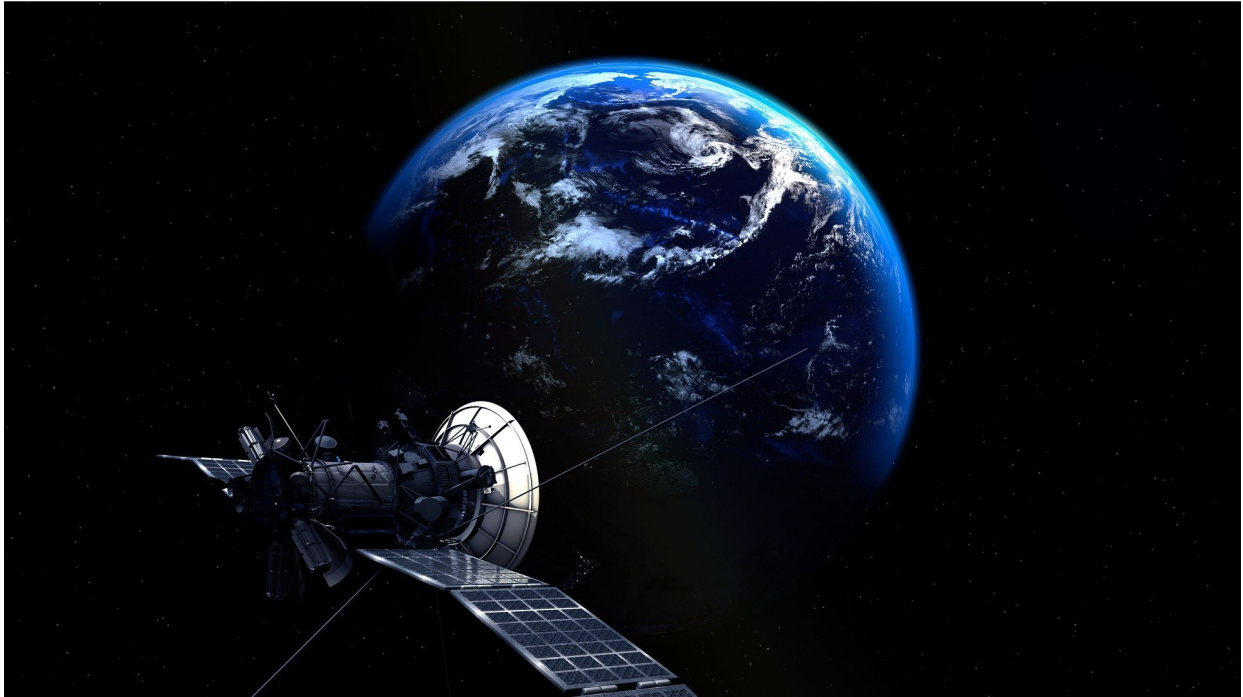
System pozycjonowania satelitarnego położenia punktu na kuli ziemskiej to osiągnięcie XX i XXI w. Dziś funkcjonuje już kilka systemów, np.: amerykański **GPS (Global Positioning System)**, rosyjski **GLONASS (Główna nawigacyjna sputnikowa systema)**, europejski **Galileo**, chiński **Beidou** czy francuski **DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite)**. Z nich jednak najstarszy i najpopularniejszy jest **GPS**.

Korzystamy z niego niemalże codziennie, często nawet nieświadomie. Wyszukujemy restaurację w okolicy, gdzie wyjdziemy na obiad ze znajomymi, sprawdzamy rozkład jazdy autobusu na pobliskim przystanku czy rejestrujemy trasę naszego treningu. **System GPS** wykorzystywany jest w bardzo wielu urządzeniach, aby ułatwić nam życie i robi to od prawie 50 lat. Na podstawie znajomości prędkości fali elektromagnetycznej i pomiaru czasu sygnału i odległości satelity od obiektu, stosując proste obliczenia, jesteśmy w stanie określić Twoje położenie na Ziemi. Aby móc to zrobić w czterowymiarowej czasoprzestrzeni konieczny jest jednoczesny odbiór sygnału z przynajmniej czterech satelitów.

### Twoje cele

- określisz podstawowe prawa odpowiedzialne za działanie GPS,
- dowiesz się jak działa GPS,
- wymienisz trzy podstawowe segmenty działania GPS,
- określisz, w jaki sposób określana jest Twoja pozycja położenia dzięki GPS smartfonu,

- przeanalizujesz, jak teoretycznie oszacować swoje położenie dzięki znajomości odległości satelitów od Twojego smartfonu,
- zaproponujesz gdzie i w jakich aplikacjach można wykorzystać GPS.



Satelita

Źródło: dostępny w internecie: [www.pexels.com](http://www.pexels.com), licencja: CC BY 3.0.

Wyznaczenie aktualnego położenia (pozycjonowanie) oraz nawigacja to dwa odwieczne problemy, z którymi radzić sobie musieli dawniej wędrowcy, podróżnicy, żeglarze, a dziś kierowcy, marynarze, piloci, turyści czyli my wszyscy.

Pierwsze prace nad stworzeniem satelitarnego systemu nawigacji rozpoczęły się w roku 1973 i miały mieć zastosowanie tylko do celów wojskowych. Pierwszy satelita systemu GPS został umieszczony na orbicie w styczniu 1978 r., a w lipcu 1995 r. system uzyskał pełną sprawność operacyjną. Od tego czasu **moduły odbierające sygnał z GPS trafiły do dziesiątek milionów urządzeń na całym świecie** – od komputerów nawigacji lotniczych do zegarków sportowych.

GPS nie wymaga od użytkownika przesyłania żadnych danych i **działa niezależnie od odbioru telefonicznego lub internetowego**, chociaż technologie te mogą zwiększyć użyteczność informacji pozycjonujących GPS.

Podstawą działania GPS jest flota 31 satelitów krążących na orbicie około 20000 km nad Ziemią, a gdy 4 z nich znajdują się nad horyzontem, moduł GPS w Twojej komórce może określić lokalizację na Ziemi z dokładnością do kilku metrów.

### Przykład 1

Oblicz ile czasu potrzebuje sygnał z telefonu komórkowego aby dotrzeć do satelity i z powrotem pomijając segment naziemny. Przyjmij odległość satelity od telefonu  $s = 20000$  km i prędkość światła  $c = 300000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ .

**Dane:**

$$s = 20000 \text{ km}$$

$$c = 300000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

**Wzory:**

$$v = \frac{s}{t}$$

$$t = \frac{s}{v}$$

$$t = \frac{s}{c}$$

**Obliczenia:**

Drogę sygnału mnożymy razy 2 ponieważ sygnał pokonuje dwukrotny dystans z telefonu do satelity i z powrotem z satelity do telefonu

$$t = 2 \cdot \frac{20000 \frac{\text{km}}{\text{s}}}{300000 \frac{\text{km}}{\text{s}}} = 0,13 \text{ s}$$

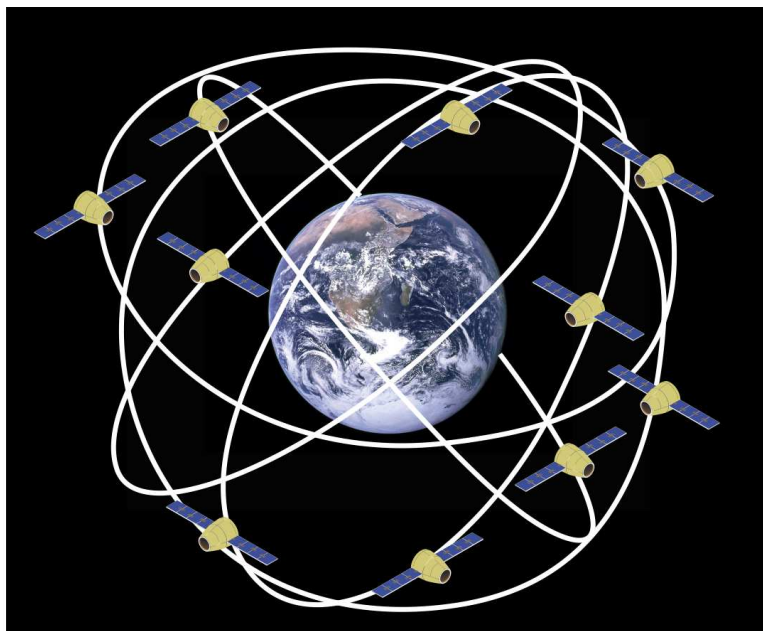
**Odpowiedź:**

Sygnał z komórki wysyłany do satelity i z powrotem potrzebuje 0,13 s na pokonanie tego dystansu zaniebując segment naziemny.

Każdy z satelitów GPS przesyła swoją lokalizację z dokładnym pomiarem czasu. Gdy Twoja komórka odbierze ten sygnał, natychmiast wie, ile czasu zajęło jego dotarcie do Ciebie. Mnożąc ten czas przez prędkość fali elektromagnetycznej poznamy odległość od satelity. Powtarzając tę procedurę z kilkoma innymi satelitami GPS w Twojej komórce obliczy Twoją długość i szerokość geograficzną oraz wysokość nad poziomem morza.

## Zasada działania

Istotą działania systemu GPS jest dokładny pomiar czasu oraz odczyt położenia satelitów na orbicie. Każdy z satelitów wyposażony jest w **zegar atomowy**. Wysyła on sygnał na dwóch częstotliwościach nośnych  $f_1 = 1575,42 \text{ MHz}$  (długość fali 19,029 cm) i  $f_2 = 1227,6 \text{ MHz}$  (długość fali 24,421 cm). W praktyce, do określenia pozycji w trójwymiarowej przestrzeni i czasu systemu konieczny jest jednoczesny odbiór sygnału z przynajmniej czterech satelitów. Dokładne współrzędne satelity są transmitowane w depeшы nawigacyjnej. W przypadku możliwości odbioru sygnału jedynie z trzech satelitów, niektóre odbiorniki mogą pracować w trybie 2D, czyli bez odczytu wysokości.



Satelity krążą wokół Ziemi

Źródło: dostępny w internecie: [www.unsplash.com](http://www.unsplash.com), licencja: CC BY 3.0.

## Elementy składowe GPS

### Segment satelitarny

Składa się z 24 satelitów (plus kilka rezerwowych) typu Navstar poruszających się po sześciu równomiernie rozmieszczonych orbitach kołowych, po cztery na każdej w równych odległościach, o czasie obiegu wynoszącym 12 godzin, na wysokości 20200 km, nachyleniu  $55^\circ$  względem równika. Zawsze widocznych pozostaje od 5 do 12 satelitów. Każdy z satelitów jest wyposażony w 4 zegary atomowe – 2 cezowe i 2 rubidowe, których dokładność synchronizacji wynosi ok.  $1 \mu\text{s}$  (mikrosekundy), a czas mierzą z dokładnością do 4 ns (nanosekundy) na dobę. Orbits satelitów są stale monitorowane przez stacje naziemne. Dla zapewnienia niemal ciągłej pracy minimum dwudziestu czterech satelitów, aktywnych jest ich obecnie 31.

### Segment kontroli, czyli stacje naziemne

Stacje naziemne składają się z sześciu stacji nadzoru (stacja główna, alternetywna stacja główna oraz cztery anteny) Sił Lotniczych USA – anteny znajdują się w okolicy równika, tak aby móc na bieżąco lokalizować satelity i obserwować ich ruch na orbitach – oraz sześciu stacji monitorujących NGA (National Geospatial-Intelligence Agency). Stacji jest zatem łącznie 12 i rozmieszczone są tak, żeby każdy działający satelita systemu był ciągle widoczny w minimum dwóch stacjach naziemnych jednocześnie.



Stacje nadzoru systemu GPS - stacja główna oraz cztery anteny

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## Segment użytkowników

Składa się z odbiorników GPS i społeczności użytkowników. Odbiorniki GPS konwertują sygnały satelitarne na położenie, prędkość i czas. W celu wyznaczenia położenia ( $X, Y, Z$ ) oraz czasu  $t$  są niezbędne sygnały pochodzące od 4 satelitów.

### Jak działa GPS?

1

Odbiornik GPS wyznacza odległość od satelity ze wzoru:

**ODLEGŁOŚĆ (DROGA) = PRĘDKOŚĆ x CZAS**

2

GPS odmierza i mierzy bardzo dokładnie **CZAS**.

3

GPS monitoruje trajektorie satelitów oraz wysyła informacje o ich parametrach; znajomość dokładnego położenia satelitów w przestrzeni jest niezbędna.

4

Trilateracja satelitarna pozwala wyznaczyć położenie obiektu na powierzchni Ziemi lub w jej przestrzeni okołozemskiej.

Jak działa GPS?

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Kwestią najważniejszą jest dokładny pomiar czasu. GPS wyznacza czas potrzebny na przebycie drogi od satelitów do odbiornika uwzględniając:

- małą dokładność zegara odbiornika,
- różne prędkości rozchodzenia się fal elektromagnetycznych w warstwach atmosfery,

- efekty relatywistyczne.

GPS odmierza czas z dokładnością  $4 \cdot 10^{-9}$  sekundy na dobę. Oznacza to, że po upływie jednej doby zegary atomowe na pokładach satelitów muszą być korygowane z dokładnością do 4 nanosekund. System działa poprawnie dzięki temu, że super dokładne pomiary czasu na odległych i ruchomych zegarach atomowych są w trybie ciągłym korygowane z uwzględnieniem przewidywań teorii względności Alberta Einsteina – efekty przewidziane szczególną i ogólną teorią względności są rzędu setek i tysięcy nanosekund, jednak nieuwzględnienie tych efektów uczyniłoby GPS bezużytecznym.

Dopiero wraz z miniaturyzacją układów scalonych oraz rozwojem produktów mobilnych GPS stał się popularny. Technologia GPS w smartfonie to nie tylko nawigacja. Technologia GPS znajduje coraz więcej zastosowań, stąd segment użytkownika tego systemu – odbiorniki użytkowników – znacznie różnią się od siebie zarówno pod względem zaawansowania technicznego jak i oferowanych funkcji.

### **Przykłady zastosowań systemu GPS:**

- ratownictwo medyczne na wodzie i lądzie,
- rolnictwo (pozycja maszyny rolniczej),
- lotnictwo (pozycja samolotu, helikoptera itp.),
- żegluga morska,
- monitoring przesyłek pocztowych (firmy kurierskie),
- transport drogowy (pozycja samochodu),
- pozycja maszyn budowlanych,
- wytyczenie obiektów budowlanych,
- geodezja, kartografia,
- monitoring samochodów typu chłodnia,
- badanie trzęsień ziemi,
- ochrona środowiska,
- ochrona mienia i policja,
- integracja z systemem [e-TOLL](#).

## **Co to jest GPS?**



Film dostępny pod adresem </preview/resource/R15wJZut5xWd7>

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Animacja nawiązująca do treści materiału

### Polecenie 1

Skąd Twój smartfon wie ile minut zajmie Ci przemieszczanie się z dworca kolejowego do wybranego hotelu? Odpowiedz na pytanie. Notatki możesz zapisać w polu poniżej.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

### Polecenie 2

Czy potrzebny jest bardzo dokładny pomiar czasu sygnału wysyłanego z satelity do Twojej komórki? Odpowiedz na pytanie. Notatki możesz zapisać w polu poniżej.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

### Polecenie 3

Czy do działania GPS Twojej komórki potrzebny jest Internet? Odpowiedz na pytanie. Notatki możesz zapisać w polu poniżej.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## Sprawdź się

### Ćwiczenie 1

Przeciągnij i upuść lub kliknij w lukę i wybierz odpowiedź z listy rozwijalnej, aby uzupełnić zdanie.

**System GPS** wykorzystywany jest w bardzo wielu urządzeniach, aby ułatwić nam życie i robi to od prawie  lat. Na podstawie znajomości ,  i , stosując proste obliczenia, jesteśmy w stanie określić  na Ziemi. Aby móc to zrobić w czterowymiarowej czasoprzestrzeni konieczny jest jednoczesny odbiór sygnału z przynajmniej  satelitów.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## Ćwiczenie 2

Określ prawdziwość poniższych zdań, zaznaczając **Prawda** lub **Fałsz**.

Zdanie	Prawda	Fałsz
Każdy satelita GPS wyposażony jest w dokładny zegar atomowy.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
GPS odmierza czas z dokładnością $6 \cdot 10^{-9}$ sekundy na dobę.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
System pozycjonowania satelitarnego położenia punktu na kuli Ziemskiej GPS to jedyny taki system satelitarny i obecnie nie ma innego podobnego systemu.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## Ćwiczenie 3

Współrzędne położenia są określane w różnych układach odniesienia. Ile satelitów jest potrzebnych do określenia położenia odbiornika i czasu? Odpowiedź zapisz w polu poniżej.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## Ćwiczenie 4

Przeciągnij i upuść lub kliknij w lukę i wybierz odpowiedź z listy rozwijalnej, aby uzupełnić zdanie.

GPS  od użytkownika przesyłania  danych i działa  od odbioru telefonicznego lub internetowego.

Istotą działania systemu GPS jest dokładny pomiar  oraz odczyt położenia satelitów na orbicie.

- |   |                                     |  |  |  |  |
|---|-------------------------------------|--|--|--|--|
| <input type="text" value="żadnych"/>    | <input type="text" value="wymaga"/> | <input type="text" value="ciśnienia"/> | <input type="text" value="niezależnie"/> | <input type="text" value="energii kinetycznej"/> | <input type="text" value="temperatury"/> |
| <input type="text" value="nie wymaga"/> | <input type="text" value="czasu"/>  | <input type="text" value="zależnie"/>  | <input type="text" value="wszystkich"/>  |  |  |

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

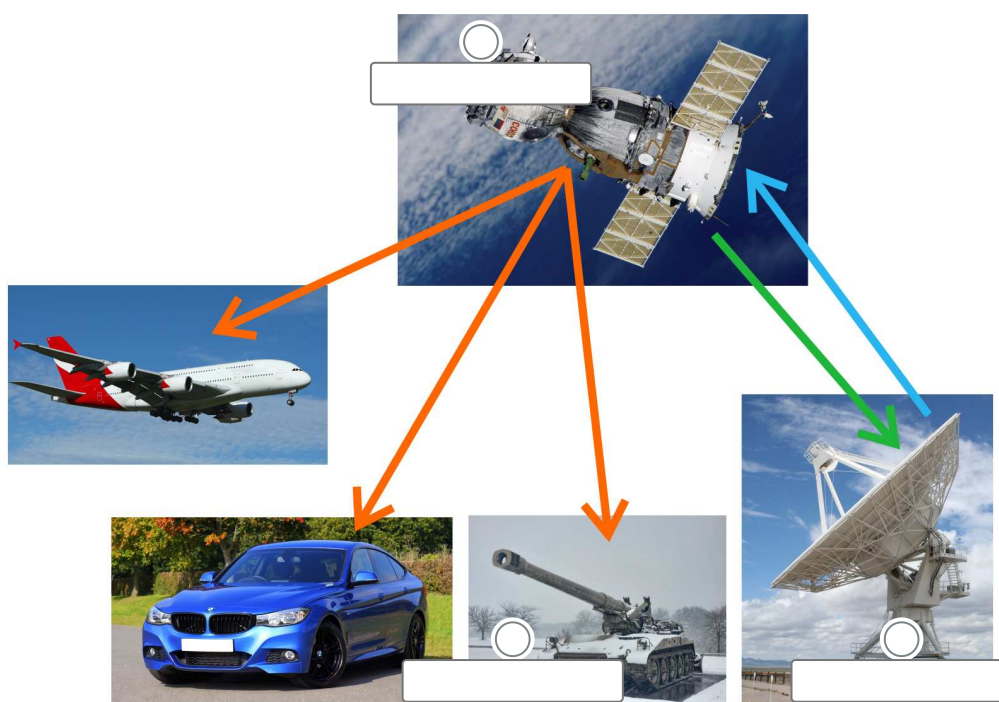
## Ćwiczenie 5

Na jakiej wysokości okrąża Ziemię flota satelitów GPS? Odpowiedź zapisz w polu poniżej.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## Ćwiczenie 6

Dopasuj odpowiednie segmenty do miejsc na ilustracji.



segment kontroli

segment kosmiczny

segment użytkownika

Źródło: dostępny w internecie: [www.unsplash.com](http://www.unsplash.com) / [www.pexels.com](http://www.pexels.com), licencja: CC BY 3.0.

## Ćwiczenie 7

Przeciągnij i upuść lub kliknij w lukę i wybierz odpowiedź z listy rozwijalnej, aby uzupełnić zdanie.

GPS to system składający się z trzech elementów: ,  i .

zachowują się jak gwiazdy w konstelacjach – wiemy, gdzie powinny się znajdować w danym momencie.

wykorzystują radary, aby upewnić się, że faktycznie znajdują się tam, gdzie myślimy, że są.

, taki jaki można znaleźć w telefonie komórkowym lub w samochodzie, nieustannie nasłuchuje sygnału z tych satelitów. Odbiorca dowiadyuje się, w jakiej odległości znajduje się od niektórych z nich.

Gdy odbiornik obliczy odległość z czterech lub więcej satelitów, dokładnie wie, gdzie się znajdujesz. Z odległości wielu kilometrów w kosmosie Twoja lokalizacja na Ziemi może zostać określona z niesamowitą precyzją! Zwykle mogą określić, gdzie jesteś w odległości kilku metrów od Twojej rzeczywistej lokalizacji.

Odbiornik

Stacje naziemne

stacji naziemnych

satelitów

Satelity

odbiorników

## Ćwiczenie 8

Przeciągnij i upuść lub kliknij w lukę i wybierz odpowiedź z listy rozwijalnej, aby uzupełnić zdanie.

GPS odmierza czas z dokładnością  $4 \cdot 10^{-9}$  sekundy na . Oznacza to, że po upływie  zegary atomowe  muszą być korygowane z dokładnością do  nanosekund. System działa poprawnie dzięki temu, że super dokładne pomiary czasu na odległych i ruchomych zegarach atomowych są w trybie ciągłym korygowane z uwzględnieniem przewidywań teorii względności Alberta Einsteina - efekty przewidziane  i  teorią względności są rzędu setek i tysięcy nanosekund, jednak nieuwzględnienie tych efektów uczyniłoby go bezużytecznym.

Zródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

## Słownik

### trilateracja

technika nawigacji; polega na pomiarze czasu, jaki jest potrzebny na dotarcie do odbiornika sygnału radiowego z przynajmniej trzech nadajników.

### system e-TOLL

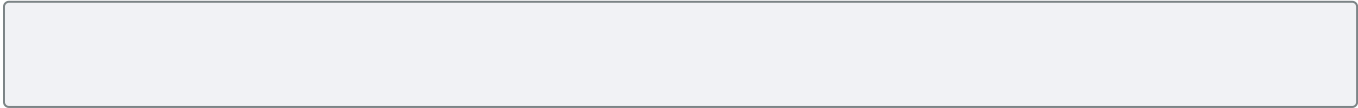
elektroniczny system poboru opłat za przejazdy po płatnych odcinkach dróg.

## Bibliografia

Sagnowska B., Szot-Gawlik D., Godlewska M., Rozenbajgier M., Rozenbajgier R., 2017, *Świat fizyki*, Warszawa, WSiP

## Notatki

Miejsce na Twoje notatki



Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.