

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA-MIEDZESZYN

PROBLEMY

ŁĄCZNOŚCI

76

1972

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

ROK 12

WARSZAWA 1972

NR 76

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
Branżowy Ośrodek
Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Redakcja Problemów Łączności

Redaktor Naczelny - mgr inż. Jerzy Rutkowski

Redaktorzy działów:

**mgr inż. Władysław Cetner, mgr inż. Adam Moniuszko,
mgr inż. Józef Możejko**

Adres Redakcji:

Instytut Łączności

Branżowy Ośrodek

Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

NA PRAWACH RĘKOPISU - DO UŻYTKU SŁUŻBOWEGO

Egz. Nr

0598

Redaktor: J. Borkowska

Montaż tekstu: B. Drabik

Dział Wydawniczy Instytutu Łączności

Format B5. Nakład 595. Wpłynęło do

Działu Wydawniczego 14.12.1971 r.

Druk ukończono w marcu 1972 r.

PROBLEMY ŁACZNOŚCI

Czesław Kalisiak

BADANIE JONOSFERY ZA POMOCĄ APARATURY NAZIEMNEJ, RAKIET I SZTUCZNYCH SATELITÓW ZIEMI

SPIS TREŚCI

	Str.
Wstęp	1
1. Zarys rozwoju badań jonosfery na świecie	9
2. Ogólne wiadomości o jonosferze i fali jonosferycznej	17
3. Badanie jonosfery za pomocą aparatury naziemnej	34
3.1. Wiadomości ogólne	34
3.2. Zasadnicze typy jonosond	38
3.3. Zalety i wady oraz różnice w jonogramach jonosond szybko- i wolnobieżnych	49
4. Podstawowe zagadnienia dotyczące interpretacji i opracowania jonogramów	50
5. Znaczenie i wymiana wyników pomiarów jonosferycznych	71
6. Badanie jonosfery za pomocą rakiet	76

Str.

7. Badania jonosfery za pomocą sztucznych satelitów ziemi	84
8. Niektóre aktualne poglądy na strukturę jonosfery na podstawie badań zagranicznych i polskich	98
Wykaz literatury	107

Czesław Kalisiak

BADANIE JONOSFERY
ZA POMOCĄ APARATURY NAZIEMNEJ,
RAKIEŃ I SZTUCZNYCH SATELITÓW ZIEMI

Ze wstępem
Stefana Jasińskiego

WSTĘP

Od dłuższego czasu obserwuje się na całym świecie szybki postęp rozwoju służb radiokomunikacyjnych. W obecnym stadium łączności radiowej służby te wykorzystują fale radiowe o propagacji ziemskiej lub też o propagacji kosmicznej.

Eksplloatowane przez te służby pasma częstotliwości ciągle się rozszerzają i sięgają obecnie zakresu mikrofal. Można obecnie uważać za pewne, że niedługo powstanie ogólnoświatowa sieć radiokomunikacyjna (telegraficzna, telewizyjna itd.), wykorzystująca sztuczne satelity Ziemi (SSZ) jako stacje przekaźnikowe lub jako elementy odbijające. Jednak, niezależnie od powyższych perspektyw, zasadniczym środkiem łączności, przy dużych odległościach, będzie nadal radiokomunikacja na falach krótkich.

Jak wiadomo, propagacja radiowych fal krótkich zależy jest, w głównej mierze, od zjonizowanego obszaru atmosfery ziemskiej, zwanego jonosferą. Obszar ten, będący

częścią ziemskiej magnetosfery, zalega na wysokościach powyżej 60 km nad powierzchnią Ziemi i ma własność załamania i tłumienia fal radiowych. Znaczenie tych własności jest doniosłe, a w wielu przypadkach decydujące na falach krótkich i dłuższych, a nawet, w pewnym stopniu, najdłuższych – kilometrowych.

Ponadto, wpływ jonosfery staje się szczególnie istotny na falach ultrakrótkich i mikrofalach ze względu na występujące w niej niestatyczne nieregularności struktury oraz formacje dyfuzyjne. Z tych powodów w rozwijających się obecnie radiokomunikacjach przestrzennych (np. satelitarnych) w pewnych okresach występują scyntyllacje amplitudy odbieranych fal, a nawet pełne ich wygaśnięcie spowodowane powstającymi w jonosferze zjawiskami natury fazowej, polaryzacyjnej, częstotliwościowej i refrakcyjnej.

Z tych względów badania jonosfery stały się nie tylko ważnym i ciekawym zadaniem różnych rozdziałów fizyki, lecz stały się równocześnie koniecznym atrybutem nowoczesnej eksploatacji radiokomunikacji.

Koncentracja elektronowa w jonosferze jest najważniejszym parametrem określającym możliwość i jakość krótkofalowej łączności radiowej, satelitarnej, radiolokacji itp. Łączność ta będzie niezawodna, jeżeli będą poznane prawa rządzące propagacją fali, znane aktualnie stany gęstości i struktury jonosfery oraz możliwości prognozowania tych stanów.

Klasyczną metodą badania jonosfery jest pionowe sondowanie falami radiowymi, o której to metodzie będzie mowa

w niniejszej pracy. Wyniki sondowania zostają zarejestrowane na wykresie, zwanym jonogramem. Odpowiednia interpretacja tego jonogramu umożliwi wyznaczenie szeregu bieżących parametrów jonosfery.

Wspomniana metoda jest skuteczna jedynie do badania poziomów zbliżonych do poziomu maksymalnej koncentracji elektronów. Ograniczenie to usunięto w ostatnich czasach przez odgórne sondowanie jonosfery do poziomu maksymalnej koncentracji, na przykład za pomocą urządzenia zainstalowanego na sztucznym satelicie Ziemi.

Jedyną w Polsce i jedną sponad dwustu w świecie stacją naziemną, zajmującą się badaniami jonosfery za pomocą pionowego sondowania, jest Obserwatorium Jonosferyczne w Zakładzie Propagacji Fal Radiowych Instytutu Łączności w Warszawie - Miedzeszynie (52° N, 21° E). Obserwatorium to rozpoczęło prace przed około 14 laty i stało się ogniwem w światowej sieci stacji naziemnych (umieszczone w "Catalogue of Ionospheric Data in World Data Centre CI" [2]).

Stacja w Miedzeszynie ma już pewne naukowe znaczenie, ponieważ nagromadziła materiał obserwacyjny pokrywający jeden pełny (tzw. jedenastoletni) cykl aktywności słonecznej. Należy zauważyć, że znaczenie naukowe stacji jonosferycznej rośnie z liczbą pokrytych cykli słonecznych przy obserwacjach dokonanych w jednym punkcie geograficznym. Znaczniejsza zmiana stanowiska stacji jest równoznaczna z zamknięciem stacji i otwarciem nowej, ponieważ dawne pomiary nie dają się transponować. Pomiary te, z biegiem czasu, deprecjonują się wskutek braku ciągłości i tym samym mogą ulec zaprzepaszczeniu.

Interpretacja samych jonogramów jest czynnością dość subtelną i wymaga odpowiedniego zasobu wiedzy, doświadczenia, a szczególnie cechy, którą można nazwać sumiennością obserwacyjną. Prognozowanie krótkoterminowe warunków propagacji wymaga dodatkowo jeszcze znacznej dozy intuicji. Biorąc pod uwagę okoliczność, że same aparatyry jonosferyczne są dość skomplikowane i delikatne w działaniu, powyższe względy jednoznacznie precyzują wymagania stawiane personelowi obsługującemu stacje jonosferyczne.

Z powyższych względów, na całym świecie, większość stacji jonosferycznych jest prowadzona przez organizacje odrębne od służb bezpośrednio eksploatujących radiokomunikacje. Trzeba dodać, że w krajach socjalistycznych, w zrozumieniu przytoczonych argumentów i po ujemnych doświadczeniach, stacje jonosferyczne prowadzone są obecnie przez instytucje naukowe.

Oprócz sondowań pionowych badacze stosują szereg innych sposobów badania jonosfery, jak na przykład pomiary wichrów jonosferycznych, pomiary pełnej zawartości elektronów w kolumnie itp. Wykorzystując możliwości operatywne, które daje ciągła służba kwalifikowanego personelu stacji jonosferycznej, na wielu stacjach prowadzi się jeszcze stałe dodatkowe pomiary w celach naukowych lub w charakterze pomocy eksploatacyjnych, jak na przykład pomiary tłumienia jonosferycznego lub sondowania ukośnego do operatywnego sprawdzania różnych tras pod względem propagacyjnym.

W dziedzinie badań jonosfery wymagana jest szeroka współpraca międzynarodowa, ponieważ jonosfera jako śro-

dowisko rozciąga się na cały glob i parametry jej w zasadzie wędrują za Słońcem, powodując, że obserwacje lokalne mają, w sensie planetarnym, wartość fragmentaryczną.

W perspektywie kilkunastu lat można w pewnym przybliżeniu przyjąć, że główne tendencje rozwojowe badań jonosfery, poza obecnie prowadzonymi badaniami, koncentrować się będą głównie na zjawiskach dynamicznych panujących w całej magnetosferze rozciągającej się do 10 - 14 promieni ziemskich od środka Ziemi.

Do prowadzenia tak szerokiego zakresu badań wielkie państwa powołały instytuty propagacji fal radiowych, a w niektórych przypadkach nawet specjalne instytuty jonosferyczne, wyposażone w liczne kadry naukowe i duże środki materialne.

Badania jonosfery w Polsce ograniczają się do bardzo skromnych poczynąń, przeważnie w niedostatecznym zakresie. Można stwierdzić, że ze względu na gospodarkę narodową badania jonosfery w Polsce potrzebne są głównie do następujących celów podstawowych:

1. Do sprawnego wykorzystywania posiadanych urządzeń radiowych działających na falach jonosferycznych lub przenikających przez obszary jonosfery, a w szczególności
 - a) do dostarczania poprzez Światowe Centrum Zbiorcze B2 w Moskwie pozostałym Centrom (w USA, W. Brytanii i Japonii) bieżących parametrów jonosfery jako materiału do sporządzania długoterminowych, światowych prognoz propagacji jonosferycznej oraz do celów naukowych i archiwalnych,

- b) do opracowywania długoterminowych prognoz dla Polski i obszarów sąsiednich oraz do operatywnego opracowywania krótkoterminowych aktualnych korekt do tych prognoz,
 - c) do operatywnego powiadamiania służb radiokomunikacyjnych o rozwoju dyfuzyjności i burz jonosferycznych wpływających na łączność satelitarną i krótkofalową.
2. Do oceny nowoczesnych systemów radiokomunikacyjnych i ich przydatności w poszczególnych warunkach.
 3. Do gospodarki falowej i prawidłowego planowania nowych sieci radiowych pracujących na falach krótkich.
 4. Do szacowania natężenia pola jonosferycznych fal średnich i krótkich.
 5. Do właściwego formułowania wymagań na odpowiednie aparaty radiowe zakupywane lub też konstruowane.
 6. Do badania możliwych powiązań pomiędzy stanem jonosfery w Polsce a parametrami górnych warstw atmosfery interesujących meteorologów.
 7. Do badania na naszym terenie istniejących powiązań pomiędzy stanem jonosfery a biometeorologią.
 8. Do badania rozkładu radiowych zakłóceń atmosferycznych na terenie Polski.
 9. Do otrzymywania jonosferycznej dokumentacji pomiarowej z różnych krajów całego świata w zamian wysyłanej przez nas.

10. Do celów poznawczych i kształceniowych, aby istniał odpowiedni zespół pracowników naukowych, wprowadzonych w rozwój postępu w badaniach jonosfery i przygotowanych do jego śledzenia, aby byli w stanie, w razie potrzeby, włączyć się do wybranych prac w ramach krajowych lub międzynarodowych w charakterze merytorycznie równoprawnych partnerów.

Uwzględniając powyższe główne argumenty, wyraźnie wynika, że zainteresowanie naszej gospodarki narodowej w badaniach jonosferycznych jest poważne i całkowicie usprawiedliwia potrzebę rozwijania tych badań w Polsce.

Obserwatorium Jonosferyczne w Miedzeszynie jest zaopatrzone w pracujące już od 14 lat urządzenia do sondowania pionowego, przy czym brak mu urządzeń do sondowania ukośnego, jako urządzeń umożliwiających operatywne sprawdzanie stanu propagacji różnych tras. Wymaganie to nabiera szczególnego znaczenia w okresie, gdy normalna międzynarodowa współpraca na polu prognoz jonosferycznych ulega zakłóceniu.

Znajomość rozkładu radiowych zakłóceń atmosferycznych na terytorium Polski i powiązanie go ze stanem jonosfery jest zagadnieniem ważnym ze względu na praktyczne potrzeby radiokomunikacji.

Obce doświadczenia z tej dziedziny nie mogą być bezkrytycznie transponowane na nasz teren bez uprzedniej weryfikacji i korekcji. Wynika stąd potrzeba rozpoczęcia w Polsce i prowadzenia przez dłuższy czas ciągłych obserwacji tych zakłóceń za pomocą na przykład sieci liczników

bliskich wyładowań atmosferycznych lub innych właściwych aparatów, ustawionych w odpowiednich punktach naszego terytorium.

Udział Polski w badaniach jonosferycznych, prowadzonych na całym świecie, powinien polegać na większym, niż dotychczas, współudziale naszych naukowców w przedsięwzięciach międzynarodowych prowadzonych na dużą skalę.

Biorąc pod uwagę rozwijającą się obecnie międzynarodową współpracę w ramach Komisji Akademii Nauk Krajów Socjalistycznych "Planetarne Badania Geofizyczne"^{x)} lub też inne odpowiednie przedsięwzięcia z dziedziny badań jonosfery, organizowane przez radziecki instytut IZMIRAN wraz z niektórymi instytutami krajów socjalistycznych, można postulować udział naszych naukowców przy opracowywaniu wyników tych badań.

Reasumując, można sądzić, że zapewnienie skromnego, lecz tak potrzebnego wzrostu kadr zatrudnionych u nas w badaniach jonosfery rozwiąże jednocześnie ważne zadanie adaptacji przez nas wyników badań obcych.

^{x)} W ramach tych badań stacja jonosferyczna w Miedzeszynie prowadzi operatywne i specjalne pomiary jonosfery na drodze przelotu nad Polską radzieckich sputników w programie organizacji "Interkosmos".

1. ZARYS ROZWOJU BADAN JONOSFERY NA ŚWIECIE

Badania jonosfery przy wykorzystaniu fal radiowych wyprzedziły znacznie badania meteorologiczne oraz badania geomagnetyzmu i zjawisk zorzy polarnej [3], [51].

Do ważnego w tym zakresie wydarzenia, przed prawie stu laty, należy Pierwszy Międzynarodowy Rok Polarny, który został zorganizowany w latach 1882-83. Trwał on 13 miesięcy. Pewna liczba państw przystąpiła wówczas do współpracy w badaniach polarnych w dziedzinie meteorologii, geomagnetyzmu i zorzy polarnej.

W okresie tego pierwszego Roku Polarne jonosfera nie była jeszcze znana. Dopiero po przeszło czterdziestu latach, w 1924 roku, Appleton i Barnett stwierdzili, że istnieje na wysokości około 100 km zjonizowana warstwa (zwana obecnie warstwą E). W rok później Appleton odkrył warstwę wyższą (zwaną obecnie warstwą F), odgrywającą zasadniczą rolę dla łączności dalekosiężnej. Dopiero po odkryciu Appletona rozpoczęły się na większą skalę w różnych państwach badania jonosfery.

W latach 1932-33 zorganizowano Drugi Międzynarodowy Rok Polarny. Trwał on również 13 miesięcy. Jego zakres był na ogół taki sam jak poprzednio - meteorologia, magnetyzm, zorze polarne; zwiększony został jednak o ważny dział - obserwacji jonosfery arktycznej.

Badanie jonosfery przy wykorzystaniu fal radiowych było metodą eksperymentalną. Nie było wówczas aparatury automatyzowanej, a wiadomości, które obecnie tak łatwo o-

trzymujemy z nowoczesnych jonogramów¹⁾, w owym czasie uzyskiwało się z szeregu pomiarów wysokości pozornych na ustalonych częstotliwościach. Chociaż badania miały ograniczony zakres, dostarczyły one dużo cennych informacji o warunkach panujących w obszarach polarnych.

Wiadomo, że dla wszelkich synoptycznych badań geofizycznych stawia się trzy podstawowe wymagania: dokładność, jednolitość i regularność.

W tym okresie wyposażenie ekspedycji różnych krajów było różnorodne i dlatego planowanie jednoczesnych obserwacji w specjalnych dniach światowych było jeszcze przedwczesne. Pomimo to wiele stacji obserwacyjnych wypełniło podstawową część wspólnego programu. Stacje utrzymywały żadaną dokładność i regularność przy wykonywaniu przewidzianych dla nich obserwacji.

Obserwacje jonosfery przeprowadzone w czasie Drugiego Roku Polarnego wykazały, że jonosfera Arktyki ulega szczególnie zaburzeniom podczas burz magnetycznych i zórz polarnych.

Dane dotyczące zmian w atmosferze uzyskiwano również za pośrednictwem balonów-sond, później balonów-radiosond, które są trudne do sterowania i jedynie w sprzyjających warunkach atmosfery osiągają pułap kilkudziesięciu kilometrów.

W pierwszym dziesięcioleciu po II wojnie światowej rozwinęły się badania atmosfery przy użyciu rakiet. Uży-

1) Jonogram - jest to zapis impulsu sondowania pionowego (wykres wysokości pozornej odbicia fali w funkcji częstotliwości).

skiwane rezultaty miały duże znaczenie naukowe.

Stopniowo, na przełomie lat pięćdziesiątych i sześćdziesiątych, nabierało coraz większego znaczenia badanie procesów odbywających się w górnej atmosferze. Jednak mimo opracowania udoskonalonych przyrządów pomiarowych i sprawnie działających aparatów telemetrycznych nie można było przy stosowaniu raket rozwinąć w pełni prac badawczych. Na przeszkodzie stawał zawsze krótki (kilkuminutowy) czas pobytu rakiety w górnej atmosferze. Wynikła stąd potrzeba wykorzystania do tych badań sztucznego satelity Ziemi.

W 1954 roku trzy światowe organizacje naukowe: Geograficzna Międzynarodowa Naukowa Unia Radiowa, Międzynarodowa Unia Geodezyjna oraz Komitet Specjalny do Spraw Międzynarodowego Roku Geofizycznego (CSAGI), wyłoniony przez Międzynarodową Radę Unii Naukowych, po raz pierwszy w historii człowieka uznali właśnie potrzebę wyrzucenia w przestrzeń sztucznych satelitów. Na apel CSAGI budową satelitów zajęły się dwa państwa: Związek Radziecki i Stany Zjednoczone.

W tym czasie przygotowywano się do wznowienia Międzynarodowego Roku Polarnego, tj. 25 lat po Drugim Roku Polarneym zamiast 50 lat, jak to było przewidywane. W ciągu tych 25 lat nastąpił niezwykle szybki postęp techniki. Arktyka stała się obszarem, na którym ześrodkowują się zainteresowania krajów przyległych - między innymi w zakresie radiokomunikacji i prognoz pogody. Ponadto Drugi Rok Polarne przypadł w czasie minimum plam na Słońcu, natomiast w latach 1957-58 spodziewano się maksymalnej ak-

tywności słonecznej, w czasie której Ziemia znajduje się pod wpływem wielu zjawisk burzowych na Słońcu. Należy tu nadmienić, że znanym i najlepiej widocznym znakiem zaburzeń słonecznych są plamy na Słońcu. Od dziesiątków lat Szwajcarskie Obserwatorium w Zurychu podaje na każdy dzień liczbę, którą przyporządkowuje się powierzchni plam i ich ilości w danym dniu.

Na rysunku 1^{x)} przedstawione są średnie roczne wartości omawianych liczb w latach 1755-1956 [5]. Z wykresu widać wyraźnie cykliczność aktywności Słońca w okresie około 11 lat.

Ze względu na rozszerzenie zakresu obserwacji poza obszary polarne zmieniono nazwę trzeciego Roku na "Międzynarodowy Rok Geofizyczny (MRG) 1957/58", który następnie przedłużono na rok 1959, nadając mu nowe miano "Międzynarodowej Współpracy Geofizycznej" (MWG 1959).

Program badań jonosferycznych w ramach MRG został ułożony przez Komitet Specjalny Międzynarodowej Radiowej Unii Naukowej (URSI). Zakres badań jonosferycznych obejmował: sondowanie pionowe, pomiary pochłaniania, pomiary wichrów itd.

Dla wielu stacji naziemnych, rozmieszczonych na całej kuli ziemskiej, trzeba było dokładnie uzgodnić organizację pracy i metody jej prowadzenia.

Komitet URSI przygotował na lata 1957-58 i następnie na rok 1959 program obserwacji z zaznaczeniem dni i okresów mających szczególne znaczenie.

x) Wszystkie rysunki są zamieszczone na końcu artykułu.

Ustalono na ten okres cztery rodzaje "Dni Światowych" lub serii dni, w których obowiązywał specjalny program obserwacji.

Ogłaszano również stan pogotowia "Alert", gdy spostrzeżono anormalne zachowanie się Słońca; to anormalne zachowanie bowiem było często przyczyną radiokomunikacyjnych nagłych zaników, zwanych również zanikami Møgel-Dellingera.

Stan pogotowia "Alert" z Ośrodka Ostrzegawczego w pobliżu Waszyngtonu ogłaszano drogą radiową. Komunikat ten obiegał cały świat; mobilizował on między innymi badaczy jonosfery, a więc i załogi stacji jonosferycznych do zwiększenia częstości i intensywności obserwacji.

Zmiany na Słońcu mają duży wpływ na stan jonizacji atmosfery, a tym samym na propagację fal radiowych.

Należy tu nadmienić, że MRG został wyznaczony na okres wzmożonej aktywności Słońca.

W czasie Regularnych Dni Światowych (RWD) i Specjalnych Dni Światowych (SWI) wykonywano na stacjach jonosferycznych pomiary co 5 minut. Jeśli natomiast zauważono zjawiska niezwykle, to obserwacje te były przeprowadzane jeszcze częściej, a nawet w sposób ciągły.

Doświadczenia wykazały, że normalne badania przeprowadzane co 15 minut wystarczają do ustalenia wyraźnego przebiegu dobowego zjawisk jonosferycznych i umożliwiają w większości przypadków wykrywanie zjawisk przejściowych.

Podstawowym założeniem programu MRG było uzyskanie dokładnych danych o budowie i właściwościach fizycznych górnych warstw atmosfery. Nie znając bowiem dokładnie jej

struktury, nie można właściwie wyjaśnić szeregu procesów.

Nową erę badań atmosfery Ziemi, w tym również jonosfery, zapoczątkował start w dniu 4.X.1957 r. radzieckiej rakiety trójstopniowej, unoszącej pierwszego sztucznego satelitę Ziemi. W oficjalnej nomenklaturze MRG rakietą nośną pierwszego "sputnika" uzyskała nazwę "Alfa 1 1957", a sam satelita - "Alfa 2 1957". Satelita utrzymywał się na orbicie nieco ponad 3 miesiące. 27 dni po zakończeniu pracy pierwszego "sputnika" radzieckiego w USA wystrzelono w dniu 31.I.1958 r. przy użyciu czterostopniowej rakiety "Jupiter C" satelitę "Explorer I", którego oficjalne miano brzmi "Alfa 1958".

Był to więc początek planowanych i szeroko realizowanych w przyszłości długotrwałych lotów sztucznych satelitów dla badań przestrzeni wokół Ziemi.

Międzynarodowy Rok Geofizyczny zapoczątkowując rozwój sztucznych satelitów i rakiet międzyplanetarnych, otworzył przypadkowo nową erę w historii ludzkości.

Charakterystyczną cechą MRG było osiągnięcie porozumienia przez Komitety biorące w nim udział w zakresie zbierania obserwacji w Światowych Ośrodkach Danych.

Materiały obserwacyjne udostępniono wszystkim krajom bez względu na to, czy brały udział w pracach MRG, czy nie.

Aby udostępnić szeroko obserwacje uzyskane w czasie MRG oraz dwu Lat Polarnych, wydawano czasopisma naukowe - "Annals of the International Geophysical Year" (Kronika Międzynarodowego Roku Geofizycznego) lub po prostu "IGY Annals" (Kronika MRG).

Organizacja i realizacja badań w MRG przebiegały w duchu życzliwej współpracy naukowców 67 krajów.

Następną imprezę naukową stanowiły Międzynarodowe Łata Spokojnego Słońca w 1964-65 r., celem której było poznanie zjawisk słoneczno-geofizycznych drogą kompleksowych badań naukowych prowadzonych w warunkach małej aktywności Słońca. Dzięki porównaniu wyników z tymi, które uzyskano podczas MRG możliwe stało się poznanie wpływu Słońca spokojnego i aktywnego na przebieg wielu zjawisk geofizycznych i radiokomunikacyjnych. Badania prowadzone były w 7 dyscyplinach naukowych pod auspicjami Specjalnego Komitetu Międzynarodowego Roku Spokojnego Słońca (SCIQSY), wchodzącego w skład Międzynarodowej Rady Unii Naukowych (ICSU).

Omawiany okres badań stworzył dogodną sposobność przedstudium niektórych szczególnych zjawisk, których ujawnienie się możliwe jest tylko podczas okresu niskiej aktywności słonecznej. A więc można było analizować na przykład powiązania pomiędzy aktywnością słoneczną i zjawiskami ziemskimi, ujawniające się w postaci magnetycznych zaburzeń jonosferycznych, zorzy polarnej itp.

Badania były prowadzone przez stacje naziemne stałe i ruchome jak również przez sztuczne satelity Ziemi oraz rakiety kosmiczne. Stacje dzieliły się na synoptyczne i badawcze. Pierwsze - dostarczały materiały obserwacyjne do Światowych Centrów Danych ze wszystkich dni, a drugie - tylko z wydzielonych specjalnych okresów.

Obserwacje synoptyczne w zakresie programu jonosferycznego były prowadzone w tym samym zakresie co podczas MRG-

- MWG, a dla niektórych rodzajów badań zostały nawet rozszerzone.

Program badań jonosferycznych obejmował m.in. prowadzenie:

- sondowania pionowego (przy użyciu stacji naziemnych stałych oraz stacji ruchomych, na przykład na dryfującym polu lodowym w Arktyce, na amagnetycznym statku "Zaria");
- pomiarów absorpcji (metodą A1 - pomiar amplitudy impulsów odbitych od jonosfery i metodą A2 - rejestracja szumów radiowych pochodzenia pozaziemskiego przy zastosowaniu riometrów);
- pomiarów dryfu¹⁾ jonosferycznego (metodą D1 - porównanie zaników dla trzech lub więcej anten ustawionych w odległości kilku długości fali od siebie i metodą D2 - obserwacje radiowe dryfujących śladów meteorów);
- pomiarów radiowych szumów atmosferycznych;
- obserwacji świstów atmosferycznych (whist-lers) i emisji niskiej częstotliwości.

Jednym z celów badań raketowych i satelitarnych było studiowanie górnej atmosfery Ziemi i jej zmian zależnych od procesów występujących na Słońcu.

W celu uzyskania wiadomości dotyczących gęstości elektronów w jonosferze prowadzone były badania profilów e-

1) Dryf - jest to ruch masy w plazmie, wywołany przez pole elektryczne skierowane w poprzek pola magnetycznego.

lektronowych warstw D, E i F przy użyciu sond wysokiej czułości, umieszczonych w raketach.

Wymiana danych naukowych była przeprowadzana w sposób podobny do przyjętego w okresie Międzynarodowego Roku Geofizycznego.

W latach 1969-70 znów przeprowadzono nowe międzynarodowe badania geofizyczne pod nazwą: "Rok Aktywnego Słońca".

Tak więc w ciągu ostatnich lat kontynuowane były na całej kuli ziemskiej intensywne badania atmosfery przez światową sieć zawierającą - jak już wspomniano poprzednio - przeszło dwieście stacji jonosferycznych (z których do ZSRR należy 36, w tym 3 stacje na Antarktydzie i w rejonie bieguna północnego). Specjalnie wyposażone statki (np. radzieckie - "Zaria", "Kurczatow") wykonywały badania na oceanach.

2. OGÓLNE WIADOMOŚCI O JONOSFERZE I FALI JONOSFERYCZNEJ

Stosowane w radiokomunikacji fale elektromagnetyczne rozchodzą się w środowisku otaczającym Ziemię, zwanym atmosferą. Atmosferę dzieli się na szereg posiadających różne własności obszarów, a mianowicie: troposferę, stratosferę, jonosferę i egzosferę. Całość przestrzeni obejmującą górną część jonosfery i egzosferę, dokąd sięga wpływ ziemskiego pola magnetycznego, nazywa się ostatnio magnetosferą [38].

Troposferę określamy obszar najbliższej powierzchni Ziemi, obejmujący warstwy powietrza do wysokości około 10 +

+ 12 km ponad poziomem morza. Nad troposferą znajduje się stratosfera obejmująca przestrzeń do wysokości około 60 + + 80 km. Wyżej rozciąga się obszar rozrzedzonych gazów tworzących jonosferę. Górną granicą tego obszaru wpływającego jeszcze wyraźnie na rozchodzenie się fal krótkich stanowią, według najnowszych danych, wysokości około 1000 + 1500 km nad Ziemią [6]. Poza jonosferą istnieje jeszcze ogromna przestrzeń, zwana egzosferą.

Na rysunku 2 przedstawiony jest schematyczny przekrój atmosfery ziemskiej [32].

Czynnikiem jonizującym atmosferę jest przede wszystkim promieniowanie Słońca, a w pewnym stopniu promieniowanie kosmiczne oraz oddziaływanie strumienia meteorów, bombardujących ją nieustannie. Jako czynnik jonizujący występują zarówno promieniowania elektromagnetyczne, jak i korpuskularne (strumienie cząstek materialnych).

Aby promieniowanie elektromagnetyczne mogło zjonizować cząstkę gazu, powinna być spełniona zależność:

$$hf \geq E \quad (1)$$

gdzie

$h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ J.s stała Plancka (wg SI),

f - częstotliwość fali jonizującej,

E - energia niezbędna do wytrącenia elektronu z atomu.

Na przykład wartość E dla dwuatomowej cząstki tlenu wynosi 12,5 elektronowoltów. Dla większości gazów joni-

zacja jest możliwa za pomocą promieni ultrafioletowych i promieni γ .

Przy zderzeniu z cząstką materialną energia kinetyczna cząstki powinna być większa od E, tj.:

$$\frac{mv^2}{2} > E \quad (2)$$

gdzie

m - masa relatywistyczna cząstki,

v - prędkość cząstki.

Promienie korpuskularne, które jonizują górne warstwy atmosfery, składają się zarówno z cząstek ciężkich (jądra atomowe), jak i cząstek lekkich (np. elektrony).

Stan zjonizowania gazu wynika z równowagi statycznej między czynnikiem jonizującym a rekombinacją elektronów i jonów do stanu neutralnych atomów. Za miarę gęstości jonizacji górnych warstw atmosfery przyjmuje się objętościową gęstość elektronową, wyrażającą się liczbą swobodnych elektronów zawartych w 1 m^3 .

Obecność spolaryzowanych cząstek w gazie zjonizowanym wpływa w odpowiedni sposób na jego właściwości elektryczne i tym samym oddziałuje na falę elektromagnetyczną rozchodzącą się w takim gazie.

Okazuje się, że na skutek zwiększenia jonizacji zmniejsza się wartość pozornej przenikalności gazu oraz występuje tłumienie fali wskutek zderzeń swobodnych elektronów z atomami.

Na skutek zderzeń powiększa się energia kinetyczna atomów, co jest równoznaczne ze wzrostem temperatury gazu.

Na różnych wysokościach gęstość jonizacji zmienia się, przy czym jest ona mała zarówno na bardzo małych, jak i na bardzo dużych wysokościach. Bowiem na małych wysokościach ciśnienie powietrza jest znaczne, ale intensywność promieniowania jest zmniejszona wskutek absorpcji w wyższych warstwach atmosfery. Natomiast na bardzo dużych wysokościach intensywność promieniowania jest wielka, jednak ciśnienie atmosferyczne jest małe.

Jeśli ze wzrostem wysokości gęstość jonizacji najpierw rośnie, a później maleje, mówimy, że istnieje warstwa jonosferyczna. Na jej utworzenie ma wpływ zmiana ciśnienia z wysokością, zmiany składu chemicznego atmosfery z wysokością i różne czynniki jonizujące.

Niejednorodna budowa chemiczna jonosfery uwidoczniła jest na rys. 3 [17].

Ponad warstwą powietrza znajdują się kolejno: warstwy dwuatomowego - tlenu i azotu oraz warstwy jednoatomowego - tlenu i azotu.

Mimo że stan jonosfery ulega ciągłym regularnym i nieregularnym zmianom, tym niemniej można przedstawić typowy rozkład gęstości elektronów w zależności od wysokości (rys. 4) [6].

Najbardziej zbliżone, jeśli chodzi o kształt krzywych rozkładu gęstości elektronów, do warunków rzeczywistych, są tzw. rozkłady: liniowy i paraboliczny.

Z rysunku 4 widzimy, że na różnych wysokościach gęstość jonizacji osiąga pewne maksima, które odpowiadają określonym warstwom zjonizowanym.

Jonosfera złożona jest z kilku takich warstw: D, E, F1

i F2. Najniższa warstwa D, o koncentracji elektronów $N \sim 10^3 + 10^4 \text{ cm}^{-3}$; nie wystarcza do odbicia lub załamania fal krótkich. Ponieważ koncentracja gazów na tych wysokościach jest bardzo duża ($\sim 10^{12} \text{ cm}^{-3}$), warstwa ta ma właściwości absorpcyjne. Następną co do wysokości maksimum jest warstwa E. Znajduje się ona na wysokościach 100+ + 130 km; koncentracja elektronów osiąga wartość $2 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-3}$.

Między warstwami E i wyżej leżącą - F1 może pojawiać się dodatkowy obszar zjonizowany, który oznacza się jako "E2".

W warstwę E wtrącony jest obszar o sporadycznej jonizacji Es (formacja o zwiększonej gęstości elektronowej), zwany też często warstwą. Wpływa ona na rozchodzenie się fal o największych częstotliwościach zakresu fal krótkich.

Największy obszar F rozciąga się od wysokości 150 km + 180 km. W dni letnie w obszarze tym pojawiają się dwa maksima. Dolne maksimum o mniejszej koncentracji ($N \sim 3 + 5 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-3}$) nazwano warstwą F1, górne - warstwą F2 ($N \sim 10^6 \text{ cm}^{-3}$). Nocą we wszystkich szerokościach i w zimowe dni na dużych i średnich szerokościach w obszarze F obserwuje się tylko jedno maksimum.

Dla propagacji fal radiowych warstwa F1, występująca w dzień, ma znaczenie raczej drugorzędne. Natomiast warstwa F2, ulegająca największym zmianom w czasie, w nocy zlewa się z warstwą F1 w warstwę F. Zarówno warstwa F2 jak i warstwa F odgrywają zasadniczą rolę w propagacji fal krótkich.

Górna granica obszaru F (powyżej maksimum koncentracji elektronów) rozciąga się do odległości około 10 pro-

mieni ziemskich. Jednak, jak już wspomniano powyżej, granica tego obszaru, gdzie koncentracja elektronów jeszcze oddziałuje na rozchodzenie się fal krótkich, jest dużo niższa, rzędu 1000 + 1500 km nad Ziemią.

Do dalszych rozważań potrzebne jest wprowadzenie pojęcia grubości warstwy jonosferycznej. Pojęcie to można odnieść do hipotetycznej warstwy, w której gęstość jonizacji zmienia się parabolicznie z wysokością.

Jeśli więc założymy paraboliczny rozkład gęstości jonizacji w warstwie, to połowiczną jej grubość określa się jako odległość w linii pionowej od płaszczyzny maksymalnej gęstości do płaszczyzny minimalnej jonizacji (rys.5) [17].

Przy stosowanych metodach sondowań jonosfery z Ziemi można określić grubość nie całej warstwy, a jej części dolnej.

W tablicy 1 podane są orientacyjne połowy grubości warstw jonosferycznych [7].

T a b l i c a 1

Grubość warstw jonosferycznych

Warstwa	Wysokość warstwy (km)	Połowiczna grubość warstwy (km)
F2	350 + 450 w lecie 250 + 350 w zimie	100 + 300 100 + 300
F1	230	30 + 80
E	100 + 130	15 + 20
D	70 + 90	-

Zostaną pokrótce omówione najważniejsze cechy warstw [7].

- Badania jonosfery za pomocą zapisów automatycznych wykazały warstwową jej strukturę i istnienie w wielu przypadkach niejednorodności, nazywane obłokami. Powierzchnia zawierająca większą liczbę niejednorodności określana jest jako szorstka. Te niejednorodności mogą znajdować się w stosunkowo dużej od siebie odległości. Odbity od takiej szorstkiej powierzchni sygnał utworzony jest z większej liczby fal odbitych od poszczególnych niejednorodności; jest on więc szerszy od nadawanego.

- W niektórych częściach jonosfery obserwuje się przemieszczanie niejednorodności, które w ciągu kilku godzin zachowuje określony kierunek. Średnia szybkość tych przemieszczeń wynosi kilkaset km/s, a maksymalna - do kilku tysięcy km/s. Tego rodzaju przemieszczenia, ze względu na wielkie prędkości, nazwano "wichrami jonosferycznymi". Wichry takie najczęściej obserwowano w warstwie E.

- Jednym z fizycznych parametrów określających stan jonosfery jest tzw. stopień mętności jonosfery. Stopień ten wyznacza się za pomocą współczynnika, wyrażonego stosunkiem energii pęczka fal rozproszonych do sumy energii fali odbitej i fali rozproszonej. Współczynnik określa stopień niejednorodności struktury obszaru odbijającego.

- W jonosferze obserwuje się dążność do równomiernego rozkładu niejednorodności poprzez dyfuzję. Matematycznie dyfuzję określa się tzw. współczynnikiem dyfuzji. W warstwach jo-

nosfery zachodzą bez przerwy powstawania i zanikania niejednorodności. Na podstawie obserwacji stwierdzono, że czas zanikania niejednorodności większych jest dłuższy.

Obłoki w warstwie E trwają dłużej niż niejednorodności w obszarze F. Na przykład obłoki o promieniu 200 + 500 m trwają w warstwie E od 2 do 15 minut.

Załamanie fal w jonosferze

Promień radiowy wnikając w jonosferę, złożoną z warstw, ulega kolejnemu stopniowemu załamaniu na każdym elementarnym odcinku drogi [8]. Tego rodzaju załamanie promienia nazywane jest refrakcją. Jeśli na warstwę dostatecznie grubą pada promień, to na skutek refrakcji zostaje od niej odbity. Natomiast, jeśli warstwa jest zbyt cienka (lub gęstość jonizacji niedostateczna), to promień przez nią przenika; jeśli promień dotrze do rejonu, gdzie gęstość jonizacji maleje z wysokością, to refrakcja następuje w kierunku odwrotnym i promień przechodzi przez warstwę.

Dla promienia radiowego z pewnym przybliżeniem można napisać szereg równań

$$n_0 \sin \vartheta_0 = n_1 \sin \vartheta_1 = n_2 \sin \vartheta_2 = \dots = n_k \sin \vartheta_k \quad (3)$$

gdzie

ϑ - kąt między kierunkiem promienia a prostopadłą do powierzchni Ziemi,

n_k - współczynnik załamania (refrakcji) danej części warstwy.

Aby promień podlegający refrakcji uległ odbiciu od warstwy, musi on na pewnym odcinku biec wzdłuż niej, czyli musi istnieć kąt $\theta_k = 90^\circ$.

Promień posuwałby się dalej po drodze poziomej, gdyby warstwa jonosferyczna była doskonale jednorodna. Promień skierowany poziomo nie jest stateczny; najmniejsze przypadkowe zmniejszenie gęstości elektronowej zagina promień ku dołowi. Współczynnik załamania fali w jonosferze zależy przede wszystkim od gęstości jonizacji, od częstotliwości fali i od natężenia pola magnetycznego. Jeśli pominie się wpływ tego pola i zderzeń między cząsteczkami powietrza oraz wibrujących elektronów, to współczynnik załamania fali określa się przybliżonym wzorem:

$$n = \sqrt{1 - \frac{81 N}{f^2}} \quad (4)$$

gdzie

N - liczba elektronów w 1 m^3 jonosfery,
 f - częstotliwość fali w Hz.

Częstotliwość krytyczna

Przy zwiększaniu częstotliwości fali padającej pionowo do powierzchni warstwy zjonizowanej będzie następowało jej odbicie na coraz większej gęstości jonizacji. Jeżeli największej gęstości jonizacji N_{\max} w warstwie odpowiada częstotliwość $f_{N_{\max}}$, wówczas fale o częstotliwości większej od $f_{N_{\max}}$ nie ulegną już odbiciu.

Największą szóstotliwość, którą warstwa jest zdolna odbić z powrotem do Ziemi, nazywamy częstotliwością krytyczną.

Ponieważ fala o częstotliwości krytycznej dochodzi do miejsca w warstwie, gdzie istnieje maksimum gęstości elektronowej, to za pomocą tej częstotliwości możemy wyznaczyć maksymalną koncentrację elektronów w warstwie.

W miejscu maksymalnej gęstości elektronowej prędkość grupowa fali (tj. prędkość, z którą przesuwa się grupa fal w przestrzeni o częstotliwościach nośnej i zawartych we wstęgach bocznych) jest równa zeru, czyli

$$v_g = c \sqrt{1 - \frac{81 N_{\max}}{f_{kr}^2}} = 0 \quad (5)$$

gdzie

v_g - prędkość grupowa fali w m/s,

c - prędkość światła w m/s,

N_{\max} - maksymalna liczba elektronów w 1 m³ jonosfery,

f_{kr} - częstotliwość krytyczna w Hz.

Z równania (5) wynika, że

$$N_{\max} = \frac{f_{kr}^2}{81} \quad (6)$$

lub

$$f_{kr} = 9 \sqrt{N_{\max}} \quad (7)$$

Poszczególnym warstwom jonosferycznym, posiadającym róż-

ną gęstość jonizacji, odpowiadają właściwe im częstotliwości krytyczne fali.

W ślad za ustawicznymi zmianami gęstości jonizacji, częstotliwości krytyczne również zmieniają swe wartości.

Regularne zmiany częstotliwości krytycznych, a więc odzwierciedlające regularne zmiany stanu jonosfery, dzielą się na: zmiany dobowe, zmiany sezonowe, zmiany związane z 27-dniowym okresem obrotu Słońca dookoła swej osi, zmiany związane z 11-letnim okresem działalności słonecznej i zmiany zależne od współrzędnych geograficznych.

Poza zmianami regularnymi występują również nieregularne zmiany częstotliwości krytycznych związane z niespodziewanymi zakłóceniami i burzami magnetyczno-jonosferycznymi.

Częstotliwość krytyczna fali na ogół zwiększa się w południe w lecie i w okresie maksimum nasilenia plam słonecznych. Na przykład dla warstwy F2 częstotliwości te są największe w południe, w zimie i przy maksimum plam słonecznych.

Przy promieniu wysłanym z powierzchni Ziemi pod kątem w kierunku warstwy jonosferycznej o wysokości h (rys.7) otrzymujemy, po przeprowadzeniu obliczeń, ważny wzór pozwalający na wyznaczenie maksymalnej częstotliwości, przy której promień zostaje jeszcze odbity przez warstwę, gdy gęstość elektronowa osiąga w niej maksimum (N_{\max}).

Wzór ten ma postać następującą:

$$f = \sqrt{\frac{81 N \left(1 + \frac{2h}{R}\right)}{\sin^2 \beta + \frac{2h}{R}}} \quad (8)$$

R - promień kuli ziemskiej.

Częstotliwość ta uzależniona jest od kąta wysłanej fali z powierzchni Ziemi.

Przy wypromieniowaniu poziomym ($\beta = 0$)

$$f_{\text{poz}} = f_{\text{pion}} \cdot \sqrt{\frac{1 + \frac{2h}{R}}{\frac{2h}{R}}} \quad (9)$$

jonosfera może odbijać częstotliwości około 3 - 4 razy większe niż przy wypromieniowaniu pionowym (np. dla warstwy F2: $f_{\text{poz}} \approx 3 f_{\text{pion}}$; dla warstwy E: $f_{\text{poz}} \approx 4 f_{\text{pion}}$).

Maksymalną częstotliwość fal odbijanych przez jonosferę przy wysyłaniu ukośnym, wyznaczoną przez wzór (8), nazywamy częstotliwością graniczną. Fale o częstotliwości większej od granicznej przenikają przez jonosferę. Należy nadmienić, że duże znaczenie praktyczne ma znajomość zależności między częstotliwością krytyczną promienia wypromieniowanego prostopadle do powierzchni Ziemi a częstotliwością graniczną promienia wysłanego ukośnie (kątem θ - rys. 7). Można bowiem obliczyć częstotliwość graniczną dla promienia ukośnego na podstawie stosunkowo łatwego pomiaru częstotliwości krytycznej promienia prostopadłego.

Zależność ta ma postać:

$$f_{\text{uk}} = f_{\text{pion}} \cdot \frac{1}{\cos \theta} = f_{\text{pion}} \cdot \sec \theta \quad (10)$$

Wzór (10) wyraża znane "prawo sekansa", które podaje zależność między dwoma częstotliwościami f_{pion} i f_{uk} fal,

osiągających jedną i tę samą wysokość rzeczywistą, czyli odbitych od poziomu jednej i tej samej gęstości elektro-nowej.

Prędkość fali w jonosferze

Fakt, że stała dielektryczna i współczynnik załamania zjonizowanego gazu są zależne od częstotliwości, dowodzi, że jonosfera jest środowiskiem dyspersyjnym, czyli rozszczepiającym, i w niej rozróżnia się prędkość fazową i prędkość grupową fal jonosferycznych.

Pod pojęciem prędkości fazowej rozchodzenia się fali płaskiej rozumiemy taką prędkość, z jaką przenosiłby się fikcyjny obserwator znajdujący się w dowolnym punkcie fali i poruszał się z nią tak, aby obserwowana faza była stała.

Prędkość fazowa fali w jonosferze wyraża się wzorem:

$$v_c = \frac{c}{n} = \frac{c}{\sqrt{1 - \frac{81 N}{f^2}}} \quad (11)$$

gdzie

c - szybkość światła,

n - współczynnik załamania fali w jonosferze.

Prędkość fazowa może być większa od szybkości światła c , gdyż współczynnik załamania (n) fali radiowej w jonosferze może być mniejszy od jedności.

Prędkość grupowa fali w jonosferze wyraża się wzorem:

$$v_g = c \cdot n = c \cdot \sqrt{1 - \frac{81 N}{f^2}} \quad (12)$$

Prędkość grupowa może być najwyżej równa szybkości światła c , gdyż współczynnik załamania fali w jonosferze n może być najwyżej równy jedności.

Między prędkością fazową i grupową fali zachodzi zależność:

$$v_c \cdot v_g = \frac{c}{n} \cdot c \cdot n = c^2 \quad (13)$$

Impuls wysłany pionowo w górę, w miarę wnikania w jonosferę, zmniejsza stopniowo swą prędkość grupową, aż w miejscu odbicia od warstwy jego prędkość jest równa zeru.

Impuls odbity, w miarę opuszczania jonosfery, stopniowo zwiększa swą prędkość i po wyjściu z niej biegnie znów z prędkością bliską $c = 300\ 000$ km/s.

Wysokość pozorna warstwy jonosferycznej

Dla określenia wysokości warstwy jonosferycznej stosuje się jedną z metod, polegającą na pomiarze czasu t , w ciągu którego impuls wypromieniowany pionowo osiągnie warstwę i po odbiciu od niej wraca do powierzchni Ziemi.

Znając prędkość rozchodzenia się fal (v) można obliczyć wysokość warstwy ze wzoru:

$$h = \frac{vt}{2} \quad (14)$$

Jeśli założymy, że prędkość ta równa się prędkości światła, to wyznaczona wysokość warstwy nie jest jej wysokością rzeczywistą, lecz pozorną. Przyczyną tego jest fakt, że w jonosferze fale rozchodzą się z prędkością grupową mniejszą od prędkości światła.

Na rysunku 7 wyjaśniono różnicę między wysokością pozorną i wysokością rzeczywistą warstwy.

AOB jest drogą rzeczywistą promienia wysłanego z Ziemi pod kątem β . Drogę pozorną stanowią dwa ramiona A'C' i C'B' trójkąta A'C'B'. Okazuje się, że rzeczywisty czas zużyty przez promień na przebyciu drogi A'OB' ze zmienną prędkością (a to wskutek zmniejszenia prędkości ze wzrostem gęstości jonizacji) jest równy czasowi, jaki promień zużyłby na przebyciu drogi A'C'B' z prędkością światła.

Również można wykazać, że jeśli promień prostopadły i promień ukośny odbijają się od tej samej warstwy jonosferycznej, to wysokości pozorne odbicia obu promieni są jednakowe.

Jednym z podstawowych zadań jest wyznaczenie gęstości ładunku elektrycznego i wysokości, na której ona występuje. Gęstość ta zmienia się zarówno w kierunku pionowym, jak i poziomym. Z pewnym przybliżeniem można opisać jonosferę zakładając, że dla określonej chwili zmiany gęstości elektronów zachodzą tylko w kierunku pionowym. Ponieważ wysokość, którą faktycznie osiąga fala w wierzchołku toru, zależy od tej gęstości elektronowej, a zatem zadanie wyznaczenia jej sprowadza się do określenia rzeczywistych wysokości odbić.

Skutecznym sposobem poznania rozkładu omawianej gęstości jest wykonywanie pomiarów radiowych na dużych wysokościach za pomocą rakiet i satelitów Ziemi. Tym niemniej, uzyskiwane przy pionowym sondowaniu jonogramy zawierające wykresy wysokości pozornej w funkcji częstotliwości są odpowiednim materiałem do studiowania rozkładu gęstości elektronów.

Do wyznaczania rozkładu gęstości elektronowej w zależności od wysokości rzeczywistej stosowano wiele metod [9]. Jedną z nich, nie uwzględniającą wpływu pola geomagnetycznego Ziemi, jest metoda Kelso (z 1952 r.). Późniejszą (z 1954 r.), uwzględniającą wpływ magnetyzmu ziemskiego, a więc dostatecznie dokładną, jest na przykład macierzowa metoda Buddena; przy obliczeniach wymaga ona użycia elektronicznej maszyny cyfrowej.

W oparciu o idee Kelso i Buddena opracował Schmerling uproszczony teoretyczny sposób redukcji jonogramów z wysokości pozornych na wysokości rzeczywiste za pomocą względnie prostych rachunków. Metoda jego nie wymaga założeń określonego przebiegu gęstości elektronowej w jonosferze i uwzględnia zarazem wpływ pola geomagnetycznego. Metoda ta pozwala interpretować jonogramy dwoma sposobami. Pierwszy sposób polega na posługiwaniu się częstotliwościami próbkującymi (sampling frequency), drugi sposób - współczynnikami R (sampling ratios).

Zarówno częstotliwości próbkujące jak i współczynniki R zostały zasadniczo obliczone dla obszaru F. W praktyce, ze względu na wystarczającą dokładność, mogą być one zastosowane również do innych warstw.

(Częstotliwości próbkujące i wartości współczynnika R dla Miedzeszyna zostały obliczone w pracy [9]).

Znany jest również sposób redukcji jonogramów z wysokości pozornych na wysokości rzeczywiste metodą wielomianową Titheridge'a.

Fala zwyczajna i fala nadzwyczajna

Pole magnetyczne Ziemi ma duży wpływ na rozchodzenie się fal w jonosferze. Wskutek oddziaływania pola magnetycznego ta część atmosfery jest środowiskiem anizotropowym (tzn. takim, którego właściwości zależą od kierunku), na skutek czego promień jonosferyczny ulega rozszczepieniu na dwa promienie o polaryzacji kołowej, o przeciwnym kierunku obrotu chwilowej płaszczyzny polaryzacji [10].

Promienie te nazywamy: zwyczajnym (f_o) i nadzwyczajnym (f_x). Promień zwyczajny ma większą prędkość grupową niż promień nadzwyczajny. Promień nadzwyczajny podlega zwiększonemu (w jonosferze) tłumieniu. Odbija się on od jonosfery na mniejszej wysokości aniżeli promień zwyczajny.

Częstotliwość krytyczna jest większa dla promienia nadzwyczajnego niż dla promienia zwyczajnego; wobec tego istnieje zakres częstotliwości, dla których jonosfera odbija jeszcze promień nadzwyczajny, gdy tymczasem promień zwyczajny już przenika przez jonosferę. Różnica pomiędzy częstotliwościami krytycznymi fali nadzwyczajnej i zwyczajnej zależy od wielkości pola geomagnetycznego i zmienia się dla warstwy F2 od 0,4 MHz na równiku do 0,8 MHz na dużych szerokościach.

Dla Miedzeszyna częstotliwość ta wynosi około 0,7 MHz.

Dla łączności radiowej zasadnicze znaczenie ma częstotliwość krytyczna fali zwyczajnej.

3. BADANIE JONOSFERY ZA POMOCĄ APARATURY NAZIEMNEJ

3.1. Wiadomości ogólne

Najbardziej rozpowszechnioną metodą systematycznego badania jonosfery jest dotychczas pionowe jej sondowanie za pomocą specjalnej aparatury, zwanej jonosondą. Aparatura ta umożliwia uzyskiwanie danych jonosferycznych, a więc przede wszystkim wielkości wysokości pozornych i częstotliwości krytycznych warstw zjonizowanych.

Taką metodę rozkładu gęstości elektronów w jonosferze z zastosowaniem techniki impulsowej zaprojektowali po raz pierwszy Breit i Tuve.

Jonosonda, służąca do tego rodzaju pracy, jest urządzeniem nadawczo-odbiorczym. Jej nadajnik zasila antenę krótkimi ciągami fal radiowych w postaci impulsów o dużej mocy. Charakterystyka anteny jest silnie kierunkowa (pionowo do powierzchni Ziemi).

Poza zakresem częstotliwości sondy i mocą wyjściową jej nadajnika ważny jest czas trwania impulsu i czas przeimpulsowania całego zakresu częstotliwości. Wybór czasu przeimpulsowania jonosondy jest uzależniony od szybkości zmian własności jonosfery.

Na rys. 9 pokazany jest przebieg impulsów modułujących w czasie z zaznaczeniem czasu trwania t impulsu, okresu powtarzania T_{po} oraz czasu przeimpulsowania T_{prze} . Przebieg prądu w.c.z. na wyjściu nadajnika pokazany jest na rys. 10.

Z rysunków widać, że nadajnik wysyła fale w równych

odstępach czasu T_{po} . Moce nadajnika wynoszą dla różnych typów jonosond od kilkuset watów do kilkudziesięciu kilowatów.

Okres powtarzania impulsów (czyli ciągów fal nadajnika) sondy zwykle wynosi 20 ms, co odpowiada częstotliwości 50 Hz. Czas trwania jednego impulsu (każdy impuls zawiera inną grupę częstotliwości) T wynosi zwykle od około 50 μ s do kilkuset mikrosekund. Częstotliwość wysyłania jest zmieniana za pomocą przestrajanego generatora, a czas przestrajania tego generatora jest równy czasowi przeimpulsowania T_{prze} .

Spotykane w praktyce sondy jonosferyczne można podzielić na dwie grupy: sondy, których przestrajanie odbywa się w sposób ciągły w zakresie częstotliwości od 1 do 20 MHz oraz sondy pracujące z przełączaniem na podzakresy od 0,65 do 25 MHz (najwyższa częstotliwość krytyczna w okresach maksymalnej jonizacji wynosi bowiem 25 MHz).

Wysyłany zenitalnie do jonosfery sygnał stanowi krótką grupę fal, czyli impuls tak krótki, aby mógł być całkowicie odebrany (zarejestrowany) drogą bezpośrednią przez pobliski odbiornik, zanim ten sam sygnał zdąży powrócić na Ziemię po odbiciu w jonosferze.

W praktyce impulsy te obserwuje się na ekranie załączonej do odbiornika lampy oscylograficznej. Skala czasu lampy jest zsynchronizowana z częstotliwością powtarzania (50 Hz), wobec czego na ekranie otrzymuje się obraz stojący.

Literą Z oznaczono widoczny na ekranie wyskok spowodowany sygnałem zarejestrowanym bezpośrednio, a literą I

wyskok spowodowany sygnałem odbitym w jonosferze, czyli echem sygnału.

Ponieważ nie znamy grubości jonosfery ani jej wysokości ponad Ziemią, ani też wewnętrznego rozkładu gęstości jonizacji, nie możemy, na podstawie czasu zużytego na pokrycie drogi do jonosfery i z powrotem, określić długości toru zakreślonego przez sygnał, a tym samym wysokości punktu odbicia.

W związku z tym wprowadza się pojęcie wysokości pozornej h' , która przy sondowaniu pionowym jest umyśloną wysokością, którą osiągnęłaby grupa fal, gdyby biegła z jednostajną prędkością światła w ciągu czasu zużytego na pokrycie toru rzeczywistego oraz uległa odbiciu od jonosfery jak od lustra. Wysokość pozorna h' jest z reguły większa od wysokości rzeczywistej h .

Ponieważ prędkość, z którą przemieszcza się punkt świetlny wzdłuż skali czasu na ekranie lampy oscylograficznej, jest wielkością znaną, można mierzyć czas t odpowiadający odstępowi pomiędzy wyskokiem Z i odbieranym echem I (rys. 11).

Długość całej drogi pozornej wynosi:

$$s' = 2h' = ct \quad (15)$$

Skala lampy nie jest kalibrowana w odstępach czasu, lecz bezpośrednio w wysokościach pozornych (w km).

I tak, na przykład wysokości pozornej 50 km odpowiada odstęp czasu $t = \frac{2h}{c} = \frac{2 \cdot 50}{300} = 0,333$ ms. Jeżeli skala czasu oscylografu jest kalibrowana znakami za pomocą oscylatora o częstotliwości 3000 Hz raz na każdy cykl,

odstęp pomiędzy wysokościami lub znakami kalibracyjnymi odpowiada 50 km wysokości pozornej.

Przeprowadzając sondowanie jonosfery otrzymujemy dla szeregu impulsów o stopniowo zwiększającej się częstotliwości ciemne (przy odpowiednim rozwiązaniu technicznym - jasne) punkty na ekranie lampy oscylograficznej, odpowiadające wartości wysokości pozornych.

Wyniki całego przebiegu sondowania przedstawia się w postaci krzywej hf (rys. 12).

Wiadomo, że jeżeli warstwa ma wyraźnie zaznaczone maksimum jonizacji, to częstotliwość fali, uzyskującej przy odbiciu wysokość tego maksimum, nazywana jest częstotliwością krytyczną warstwy.

Częstotliwość krytyczna jest również określana jako częstotliwość, do której krzywa wysokości pozornej w funkcji częstotliwości zbliża się asymptotycznie. Przy istnieniu wyraźnych odbić od warstwy, jako częstotliwość krytyczną, odczytuje się górną granicę częstotliwości śladu.

Do fotografowania charakterystyki h'f z ekranu używa się automatycznie działającej kamery fotograficznej umieszczonej przy lampie oscylograficznej. Kamera ta wykonuje zdjęcia jonogramów, gdzie oprócz krzywej h'f i częstotliwości f uwidoczniiona jest data, godzina, minuta i nazwa stacji (w Polsce notowany jest czas południka 15⁰E). Stosowane są skale częstotliwości: liniowa, logarytmiczna lub pseudologarytmiczna.

Krzywe jonogramów są otrzymywane przez ciągłe, automatyczne przestrajanie odbiornika i nadajnika jonosondy w zakresie zapisywanych częstotliwości.

Znajomość charakterystyki wysokości pozornej i częstotliwości krytycznej jest m.in. decydującym czynnikiem w wyborze częstotliwości dla radiokomunikacji.

Już od kilkudziesięciu lat używa się jonosond do pomiarów pozornej wysokości odbicia fali od jonosfery w funkcji częstotliwości.

Na świecie stosowane są różnorodne jonosondy. Zależnie od szybkości ich przestrajania rozróżnia się dwa rodzaje urządzeń, a mianowicie: jonosondy szybkobieżne i wolnobieżne.

W jonosondach szybkobieżnych zmiany badanych częstotliwości odbywają się w czasie od kilku do kilkudziesięciu sekund, w jonosondach wolnobieżnych - do około 5 minut.

3.2. Zasadnicze typy jonosond

Istnieje wiele odmian jonosond. W różnych państwach budowano je dla potrzeb własnych lub innych krajów. Omówione tu będą pokrótce niektóre ze spotykanych dotychczas typów jonosond.

A. Jonosonda typu AIS - produkcji radzieckiej

Szybkobieżna jonosonda typu AIS wraz z dodatkowymi urządzeniami nazywana jest automatyczną panoramiczną stacją jonosferyczną (rys. 13).

Stacja ta jest przeznaczona do automatycznego otrzymywania wysokościowo-częstotliwościowych charakterystyk jonosfery i zapisu ich na filmie, jak również do bezpośred-

niego obserwowania tych charakterystyk i szybkiego wyznaczenia niektórych parametrów jonosfery.

Stacja składa się z następujących części zasadniczych:

- stojak główny,
- stojak stabilizatorów,
- układ antenowy.

W stojaku głównym są wszystkie bloki właściwej aparatury, a mianowicie:

- 1) blok zasilania,
- 2) blok odbiornika i nadajnika,
- 3) blok układów odchylenia,
- 4) blok wskaźnika,
- 5) blok zasilania i pomiarów.

W stojaku stabilizatorów znajdują się dwa stabilizatory napięcia, dwa prostowniki selenowe i autotransformator.

W skład układu antenowego wchodzi dwie pionowe anteny rombów, umieszczone w jednej płaszczyźnie, pracujące kolejno, a mianowicie:

- a) duży romb - w zakresie od 1 do około 7 MHz,
- b) mały romb - w zakresie od około 7 do 18 MHz.

Oporność wejściowa dużego rombu - $550 + 720$ omów;

oporność wejściowa małego rombu - $300 + 730$ omów.

Przełączanie anten jest automatyczne za pomocą specjalnego przekaźnika.

Do nadawania i odbioru służy ta sama antena.

Inne części stacji stanowią:

- a) kamera fotograficzna, wykonująca automatycznie zdjęcia jonogramów na błonie fotograficznej;
- b) stykowy zegar uruchamiający automatycznie stację w określonych odstępach czasu;
- c) oscylograf, który może być użyty jako wskaźnik typu "A"¹⁾;
- d) zestaw przyrządów pomiarowych.

Podstawowe dane techniczne jonosondy AIS są następujące:

- a) zakres ciągłego przestrajania częstotliwości roboczych jonosondy - 1 + 18 MHz
- b) czas trwania impulsu promienionowego - 50 + 70 μ s

1) Zadaniem wskaźnika jest przetwarzanie przebiegów elektrycznych zawierających dane o przedmiotach (w naszym przypadku: warstwach jonosferycznych) odbijających energię fal elektromagnetycznych, wysyłanych przez anteny, na odpowiednie informacje (najczęściej optyczne) w postaci ciągłego łatwo zrozumiałego zobrazowania obszaru, znajdującego się pod obserwacją.

Wskaźnik typu A - jest to wskaźnik z modulacją odchyleniową (sygnał echa odchyła strumień elektronów prostopadle do toru podstawy czasu); wskaźnik ten umożliwia zrealizowanie zobrazowania jednowymiarowego.

Stacja jonosferyczna pracuje ze wskaźnikiem typu B. Wskaźnik typu B - jest to wskaźnik z modulacją jasności (sygnał echa reguluje natężenie strumienia elektronów, czyli jasność plamki świetlnej na ekranie lampy); wskaźnik ten umożliwia zrealizowanie zobrazowania dwuwymiarowego.

- c) częstotliwość powtarzania impulsów - 50 Hz
- d) czas przeimpulsowania w zakresie 1 + 18 MHz - 20 s
- e) szczytowa moc na wyjściu nadajnika - 10 + 2 kW
- f) wskaźnik jonosondy panoramiczny z liniową skalą odchylenia w funkcji częstotliwości i wysokości
- g) skala częstotliwości z dwoma podzakresami - 1 - 10 MHz
1 - 18 MHz
- h) znaki częstotliwości - co 1 MHz
- i) skala wysokości z trzema podzakresami - 0 - 250 km
0 - 750 km
0 - 1500 km
- j) znaki wysokości - co 50 km
- k) automatyczne uruchamianie stacji i fotografowanie jonogramów możliwe w dwojaki sposób:
- w systemie dwuklatkowym zdjęcia są wykonywane wg programu ustalonego za pomocą zegara uruchamiającego: wykonywane są tu 2 zdjęcia, np. co 5, 15, 30 i 45 minut;
 - w systemie ciągłym zdjęcia są wykonywane bez przerwy, kolejno jedno za drugim, co około 20 sek.;

- 1) zasilanie zasadniczo z sieci prądu zmiennego 220 V, 50 Hz; moc prądu zmiennego zasilającego stację - 1,6 kW.

Przykłady typowych jonogramów otrzymanych przy użyciu szybkobieźnej jonosondy typu AIS przedstawione są na rys. 12, 14, 15, 16, 26 i 31.

Jonogramy te obrazują występujące w różnych porach doby w lecie zmiany w jonosferze nad Miedzeszynem.

B. Jonosonda typu N.P.L. MK.II - produkcji angielskiej

Część odbiorcza i ogólny schemat blokowy wolnobieżnej jonosondy typu N.P.L. MK.II są przedstawione na rys. 17 [13] i rys. 18 [25].

W schemacie tym można wyróżnić następujące zasadnicze części:

- 1) nadajnik impulsów modulowanych,
- 2) odbiornik sprzężony z nadajnikiem za pomocą odpowiedniego urządzenia,
- 3) zespół podstawy czasu,
- 4) dzielnik częstotliwości stabilizowany generatorem kwarcowym,
- 5) zespół rejestracji,
- 6) układ antenowy.

Nadajnik ma modulowany (manipulowany) generator impulsów w.cz. przeznaczony do zasilania stopnia wzmacniacza mocy. Generator ten pokrywa cały zakres częstotliwości w pięciu podzakresach.

Odbiornik jest typu superheterodynowego z częstotliwością pośrednią 500 kHz.

Impulsy, wytwarzające znaki wysokości oraz znaki częstotliwości porównawczych co 1 MHz, są wytwarzane przez generator kwarcowy i odpowiedni dzielnik częstotliwości. Zespół dzielnika częstotliwości steruje zegar i mechanizm przełącznika, zapewniając automatyczną pracę urządzenia, niezależnie od stabilizacji częstotliwości sieci zasilania.

Nadajnik wytwarza impulsy częstotliwościowe w taki sposób, że przednie czoło każdego impulsu wpływa na układ, w którym wytwarzane są znaki wysokości, a również uruchamia układ podstawowy czasu przesuwu częstotliwości (sweep frequencies). Proces ten osiąga się dzięki specjalnym obwodom umieszczonym w zespole podstawy czasu. Omawiany zespół umożliwia również odpowiednie opóźnienie impulsów wypromieniowanych z nadajnika i doprowadza je do układu podstawy czasu zespołu przesuwającego. W ten sposób zapewniony jest odpowiedni odstęp czasu, w ciągu którego pojawiają się znaki częstotliwości.

W zespole rejestracji użyte są dwie lampy oscylograficzne, z których jedna służy do obserwacji wizualnych, a druga - do rejestracji fotograficznej.

Układ antenowy składa się z dwóch par rombów.

Podstawowe dane techniczne jonosondy typu N.P.L. MK.II są następujące:

a) nadajnik zawierający generator impulsów w.c.z.;

- b) zakres częstotliwości 0,6 - 25 MHz
pokrywany w 5 podzakresach
- 0,6 - 1,4 MHz
 - 1,4 - 3,2 MHz
 - 3,2 - 7,0 MHz
 - 7,0 - 15,0 MHz
 - 15,0 - 25,0 MHz
- c) czas trwania impulsu promieniowego (regulowany)
- 70; 110; 160;
 - 25 i 330 μ s;
- d) częstotliwość powtarzania impulsów (synchronizowana kwarcem)
- 50 Hz;
- e) czas przeimpulsowania każdego podzakresu
- około 1 min;
- czas przeimpulsowania pełnego zakresu
- około 5 min;
- f) szczytowa moc na wyjściu nadajnika przy szerokości impulsu 160 μ s
- 2,0 + 0,5 kVA;
- g) wskaźnik - 2 lampy oscyloskopowe o średnicy 6 cali z elektrostatycznym układem odchylenia i ogniskowania wiązki elektronów. Jedna lampa o poświacie niebieskiej służy do zdjęć fotograficznych jonogramów, a druga - o poświacie zielonej służy do obserwacji wizualnych.
- Do zdjęć używa się papieru fotograficznego o szerokości 70 mm.
- Skala wysokości - liniowa;
- skala częstotliwości - pseudologarytmiczna;

- h) zmiana skali wysokości - ciągle w zakresie od około 100 do 2000 km;
- i) czułość odbiornika superheterodynowego o $f_{\text{poór}} = 0,5 \text{ MHz}$ - $3 + 11 \mu\text{V}$;
- j) oporność wejściowa odbiornika - 70 omów;
- k) układ antenowy składa się z dwóch par anten kierunkowych szerokopasmowych (np. pionowych rombów) oddzielnych dla nadajnika i odbiornika;
- l) zasilanie z sieci prądu zmiennego 220 V, 50 Hz, moc prądu zmiennego zasilającego - około 1 kW.

Przykład jonogramu, uzyskanego za pomocą wolnobieżnej jonosondy, jest przedstawiony na rys. 19.

Występują warstwy zjonizowane E, F1 i F2.

Rozdzielenie warstwy F1 i F2 jest nieznaczne.

Na krzywej hf brak jest punktu wyraźnego przegięcia między śladami warstw (wg międzynarodowych oznaczeń sytuację tę oznacza się symbolem L).

Warstwa częściowo zasłonięta przez Es.

Lekkie zakłócenia w obszarze F.

$f_oE - 2,45 \text{ A}$

$f_oF1 - L$

$f_oEs - 2,75$

$h F - 290 \text{ km}$

$f_bEs - 2,7$

$h F2 - L$

$F_oF2 - 5,6$

$f_{\text{min}} - 1,5 \text{ MHz}$

$f_xF2 - 6,3$

C. Jonosonda typu C-3 - produkcji USA

Jest ona jedną ze starszych jonosond automatycznych. Podstawowe dane techniczne tej jonosondy są [30]:

- a) zakres ciągłego przestrajania - 1 + 25 MHz (skala logarytmiczna);
- b) czas trwania impulsu promieniowanego - 50 + 100 μ s;
- c) częstotliwość powtarzania impulsów - 10 + 90 Hz (regulacja ciągła);
- d) moc w impulsie - 10 kW (wartość szczytowa);
- e) znaki częstotliwości - co 1 MHz;
- f) znaki wysokości - co 50 lub co 100 km;
- g) skala wysokości z trzema podzakresami - 0 - 500 km,
0 - 1000 km,
0 - 4000 km;
- h) wskaźnik - typ B (film 35 mm), panoramiczny (film 16 mm);
- 1) zasilanie z sieci prądu zmiennego od 90 do 260 V, 50 - 60 Hz, moc prądu zmiennego zasilającego stację - około 30 A przy 115 V;

- j) anteny: nadawcza - pionowa delta z opornością obciążenia 600 omów,
odbiorcza - pionowa, typu delta z opornością obciążenia 600 omów.

W zasadzie podobna do powyższej jest automatyczna jonosonda typu C-4, produkcji USA (rys. 20); przykład jonogramu otrzymanego za jej pomocą przedstawia rys. 21 [14].

D. Jonosonda model 8000 - produkcji angielskiej

Automatyczną jonosondę model 8000 przedstawia rys.22 [15].

Podstawowe dane techniczne tej jonosondy są następujące:

- a) zakres częstotliwości - 1,8 + 28,8 MHz
w 128 częstotliwościach rozstawionych logarytmicznie w celu uzyskania stałej dokładności w całym zakresie;
- b) czas trwania impulsu - 22, 50, 100 lub 200 μ s
(dla 6 dB);
- c) kształt impulsu - \sin^2 ;
- d) częstotliwość powtarzania (P.R.F.) - 63 impulsy na s;
- e) moc wyjściowa - 4 kW wartości skutecznej w impulsie (R.M.S.);

- f) czas impulsowania - 2, 4, 8, 16 i 32 s;
 g) szerokość pasma odbiorczego - 16, 8, 4 i 2 MHz;
 h) wskaźnik - typ B.

Przykłady jonogramów, otrzymanych za pomocą jonosondy model 8000, są uwidocznione na rys. 23.

E. Jonosonda typu VIS - 1 - produkcji USA

Jonosonda typu VIS - 1 jest jedną z najbardziej nowoczesnych urządzeń do sondowania pionowego jonosfery (rys. 24) [16].

Podstawowe dane techniczne tej jonosondy są:

- a) maksymalny zakres częstotliwości - 0,5 + 30 MHz;
- b) szybkość przestrajanania - 16 szybkości przestrajanania (w skali logarytmicznej i liniowej);
- c) ograniczenie częstotliwości przestrajanania - od dołu: 0,5; 1,2; 5 i 10 MHz;
 od góry: 5; 10; 15; 20; 25 i 30 MHz;
- d) szerokość impulsów (3 dB) - 45 μ s;
- e) zakres wysokości pozornej - 0 - 1000 km, ewentualnie 0 - 1500 km (na żądanie);

- f) moc wyjściowa - 8 W przeciętnie;
 g) identyfikacja zapisu - numeryczna.

Jonosonda jest wykonana całkowicie na układach półprzewodnikowych z możliwością sterowania i odczytu poprzez łącze transmisyjne (333 Hz).

Przykłady jonogramów, otrzymanych za pomocą jonosondy typu VIS - 1, są pokazane na rys. 25 [16].

3.3. Zalety i wady oraz różnice w jonogramach jonosond szybko- i wolnobieżnych

Przebiegi w jonosferze zmieniają się szybko. Dla właściwego ujęcia tych zjawisk nadają się tylko jonosondy szybkobieżne. One właśnie umożliwiają dokładniejsze od jonosond wolnobieżnych przedstawienie chwilowego stanu jonosfery.

Poza zaletami mają one również i wady. Wykazują bowiem mniej szczegółów, mają gorszy stosunek sygnału do szumu niż jonosondy wolnobieżne oraz promieniują niepożądane częstotliwości.

Porównując jonogramy otrzymane z jonosond szybkobieżnej (np. radzieckiej typu AIS) i wolnobieżnej (np. angielskiej - prod. Radio Research Station) widzimy, że trudniejsza jest interpretacja charakterystyki hf w jonosondzie wolnobieżnej. Ma ona tylko krótkie znaczniki częstotliwości, co utrudnia odczyty. Natomiast jonosonda szybkobieżna ma pełną siatkę znaków częstotliwości i wysokości.

Różnica w wyglądzie jonogramów wynika z tego, że jonosonda szybkobieżna ma liniową, a wolnobieżna - pseudolo-

garytmiczną skalę częstotliwości. Odczyty z tej ostatniej są dokładniejsze, gdyż znaki częstotliwości są co 100 kHz, a w szybkobieżnej - co 1 MHz. Jonosonda wolnobieżna daje więcej szczegółów zwłaszcza w obszarze E, natomiast mniej dokładnie obrazuje warstwę F.

4. PODSTAWOWE ZAGADNIENIA DOTYCZĄCE INTERPRETACJI I OPRACOWANIA JONOGRAMÓW

Informacje o stanie jonosfery uzyskiwane z obserwacji stacji jonosferycznych naziemnych rozmieszczonych na całej kuli ziemskiej oraz otrzymywane poprzez rakiety i satelity Ziemi pozwalają na prowadzenie prac naukowych w zakresie poznania tej części atmosfery i na wykorzystywanie wyników tych badań między innymi w dziedzinie radiokomunikacji.

Jak już było mówione, badania jonosfery muszą być prowadzone jednocześnie w wielu krajach, a to zmusza do stosowania i przestrzegania uzgodnionych metod rejestracji i opracowywania wyników przez wszystkie stacje sondujące.

Interpretacja jonogramów we wszystkich szerokościach geograficznych ma na celu opisanie pewnych zasadniczych cech charakteryzujących jonosferę nad miejscem obserwacji.

W celu uzyskania jak największych korzyści z jonogramów dobrze skalibrowanych i dokładnych, otrzymanych za pomocą aparatury jonosferycznej spełniającej wszystkie wymagane warunki techniczne, muszą być wyniki sondowania umiejętnie i wszędzie jednakowo interpretowane, a rezul-

taty graficzne czy liczbowe przedstawione w sposób jasny i jednolity.

Niedokładnie, zbyt formalnie i powierzchownie określone charakterystyczne cechy jonogramu wprowadzają w błąd badaczy, którzy nie mają bezpośrednich informacji o stanie jonosfery.

Do 1957 roku stacje jonosferyczne stosowały różne oznaczenia i niejednakowe metody opracowania wyników pomiarów. Taki stan utrudniał sprawdzenie, analizę i wykorzystanie materiałów z badań całej sieci placówek i mógł doprowadzić do niewłaściwych wniosków oraz mógł powodować na przykład niedokładność prognoz roboczych fal dla łączności radiowej.

Dopiero dzięki zorganizowaniu Międzynarodowego Roku Geofizycznego został wprowadzony obowiązujący obecnie międzynarodowy system oznaczeń literowych i metod interpretacji zapisu jonosferycznego.

Interpretacja jonogramów polega na odczytywaniu z filmu, przy użyciu czytnika lub papieru fotograficznego, całego szeregu parametrów jonosferycznych.

W związku ze zmieniającym się w czasie zachowaniem atmosfery występują różne praktyczne zagadnienia, wspólne dla wszystkich stacji jonosferycznych. Zasadnicze zagadnienia dotyczą wyznaczania z jonogramu śladu głównego, składowej magnetyczno-jonowej, odbić ukośnych, rozpraszzeń, identyfikacji warstw.

- Charakterystyki powinny być podawane tylko dla odbicia jednorazowego, tzn. dla śladu głównego. Impulsy przebiegające dwa, trzy lub więcej razy drogę między sondą i

jonosferą są widoczne w odstępach równych podwójnej (rys. 26 [21] i 27), potrójnej lub więcej wysokości pozornej echa podstawowego.

Echa mogą niekiedy pochodzić od kolejnego odbicia między Ziemią i warstwami oraz między warstwami. Często zdarza się, że interpretacja nastrocza duże trudności na skutek wystąpienia odbić typu M i N, wówczas echa pochodzą od przebiegu fali przedstawionej na rys. 28.

Przy oznaczeniu wysokości warstwy Es przez $h'Es$ i warstwy F2 - $h'F2$, wysokości pozorne dla odbić typów M i N wynoszą:

$$h'M = 2h'F2 - h'Es \quad (17)$$

$$h'N = h'Es + h'F2 \quad (18)$$

- Dla danej warstwy jonosferycznej rozszczepienie promieniowanego impulsu na dwie składowe - zwyczajną i nadzwyczajną doprowadza do powstania dwóch różnych śladów $h'f$. Typowe przebiegi krzywych $h'f$, przedstawiające te rozszczepienia, są pokazane na rys. 29 [30].

Częstotliwości krytyczne obu gałęzi krzywej różnią się, jak wiemy, o wielkość wprost proporcjonalną do natężenia pola magnetycznego w obszarze, w którym następuje odbicie.

Przebieg o podwójnego śladu krzywej jest składową zwyczajną (f_o) i, o ile jest to możliwe, wszystkie liczbowe dane uzyskuje się z tej składowej. Nieraz zdarza się zauważyć trzecią gałąź, oznaczoną przez z, znajdującą się po stronie częstotliwości mniejszej niż gałąź o (zwyczajna).

Różnica między częstotliwościami krytycznymi z i o również zależy od natężenia ziemskiego pola magnetycznego i zmienia się zależnie od umiejscowienia stacji.

Schemat jonogramu pokazujący opóźnienie odbić składowej z w pobliżu foE przedstawiony jest na rys. 30 [30].

- Niekiedy bywa trudne odnalezienie śladu głównego na skutek występowania odbić ukośnych, tj. odbić, które powracają na Ziemię z kierunków innych niż pionowe. Ukośne ślady echa od obszaru E rozpoznaje się na podstawie ich rosnącej wysokości pozornej (odległość ukośna) oraz nagłej zmiany tych odległości, które występują często przy analizowaniu następnych jonogramów. Ślady tras ukośnych, pochodzących od obszaru F, mogą mieć wygląd podobny do śladów pochodzących z kierunku pionowego.

- Na skutek istnienia prawie zawsze niejednorodności gęstości elektronowej w jonosferze występować może zjawisko rozproszenia fal radiowych. Zjawisko to polega na tym, że fala o danej częstotliwości nie odbija się na jednym określonym poziomie, lecz na różnych, których rozrzut zależny jest od przestrzennego rozkładu niejednorodności nad miejscem sondowania. Na jonogramie ślady odbić przy danej częstotliwości są obserwowane w pewnym zakresie wysokości pozornych, a nie na jednej wysokości. Cały ślad sondowania na jonogramie staje się na skutek tego rozmyty zamiast jednolitego. To rozmycie śladu często nazywane jest umownie rozproszeniem lub odbiciem gromadnym. Miarą rozproszenia jest zakres wysokości pozornych, w których obserwowane są ślady odbić, oraz zakres często-

tliwości, w których one występują, a więc pewna powierzchnia na jonogramie i jej kształt.

Rozproszenia są widoczne na jonogramach jonosond naziemnych tylko wtedy, gdy niejednorodności leżą poniżej maksimum gęstości jonizacji warstwy F2; rozproszenie powodowane przez niejednorodności leżące powyżej maksimum gęstości jonizacji tej warstwy mogą być obserwowane przez jonosondy umieszczone na sztucznych satelitach Ziemi, których orbity przebiegają powyżej tego maksimum. Rozproszenia wprowadzają często trudności w interpretacji.

- Wprowadzenie odróżnienia w podziale obszarów E i F na warstwy przysparza nieraz dużo kłopotów w samym uzasadnieniu tego podziału. Ponadto do różnorodności struktury jonosfery dochodzą trudności pomiaru wynikłe na skutek zakłóceń, szumu i absorpcji. Przyjmuje się dlatego kryteria raczej kompromisowe. Zagadnienia występujące przy identyfikacji normalnej warstwy E dzielą się na grupy:

- zjawiska związane ze wschodem Słońca,
- zjawiska absorpcji,
- pomylenie z warstwą E sporadyczną,
- zakłócenia wskutek emisji radiofonicznych.

Zasadnicze trudności identyfikacji warstw w obszarze F zależą od przyczyn następujących:

- niepełne ukształtowanie warstwy F1 - sytuacja L,
- przesłonięcie przez warstwy niższe - sytuacja G (warstwa F2 zjonizowana słabiej niż warstwa F1), skupienie wędrownie, powodujące odbicia ukośne i rozwarstwienia oraz rozproszenia.

Zagadnienie pomiaru Es i jego interpretacji nastrończa na ogół trudności.

O naturze Es jest jeszcze mało danych, a wiadomości są ograniczone przede wszystkim do tego, jaki jest wygląd śladu Es na jonogramie. W oparciu o ten wygląd Komitet Sondowań Światowych URSI przyjął 9 standardowych typów Es (oznaczonych małymi literami). Odpowiadają one następującym nazwom typów: f (flat) - płaski, l (low - niski, c (cusp.) - z przegięciem, h (high) - wysoki, q (equatorial) - równikowy, r (retardation) - z opóźnieniem, a (auroral) - polarny (zorzowy), s (slant) - ukośny; ślad Es nie odpowiadający żadnemu z wyliczonych typów oznaczony jest literą n.

Na rysunku 31 przedstawione są typy Es [30].

Nieraz przy klasyfikowaniu śladów Es rozpoznaje się więcej niż jeden typ. Jeśli jest ich jednocześnie kilka, to wszystkie oznaczone odpowiednimi literami wpisywane są do tabeli.

Rysunek 32 zawiera jonogram przedstawiający ślad Es typu c, otrzymany za pomocą jonosondy w Miedzeszynie.

Poza wspomnianymi trudnościami, jakie występują we wszystkich stacjach sondujących na Ziemi, są jeszcze inne, z którymi w zależności od swego położenia geograficznego stacje te muszą się liczyć. Do takich trudności można zaliczyć odbicia wielokrotne wysokiego rzędu, odbicia nocne od warstwy E2, burze jonosferyczne itp.

W opracowaniu jonogramu są dwa etapy:

a) dobór charakterystycznych parametrów,

b) ustalenie prawideł, umożliwiających utożsamianie parametrów charakterystycznych i ich pomiar.

Ogólnie uznano, że przy opracowywaniu jonogramów należy uważać za konieczne uzyskanie i podanie do ogólnej wiadomości następujących parametrów:

f_{min} ; f_oE ; $h'E$; f_bE_s ; f_oE_s ; $h'E_s$; typ E_s ; f_oF_2 ;
 $M(3000)F_2$; $h'F_2$; $h'F$; f_oF_1 ; $M(3000)F_1$

przy czym:

f_{min} - najmniejsza częstotliwość rejestrowana przez jonosondę;

f_oE - częstotliwość krytyczna fali zwyczajnej dla warstwy E;

- największa częstotliwość fali, która po odbiciu prostopadłym od warstwy E wraca na Ziemię;

$h'E$ - najmniejsza wysokość pozorna odbicia od warstwy E;

f_bE_s - największa częstotliwość śladu fali zwyczajnej, przy której E_s jest rzeczywiście przezroczysta;

f_oE_s - największa częstotliwość śladu fali zwyczajnej, do której można obserwować ciągły ślad główny;

$h'E_s$ - najmniejsza wysokość pozorna śladu, wykorzystanego do wyznaczania f_oE_s i f_bE_s ;

typ E_s - typ warstwy E_s wg klasyfikacji międzynarodowej; rozróżnia się następujące typy E_s : f, l, c, h, q, r, a, s oraz n;

f_oF2 - częstotliwość krytyczna fali zwyczajnej dla warstwy F2;

- największa częstotliwość fali, która po odbiciu prostopadłym od warstwy F2 wraca na Ziemię;

$M(3000)F2$ - współczynnik transmisyjny dla warstwy F2

$$= \frac{F2-3000-MUF}{f_oF2} =$$

$$= \frac{\text{największa częstotl. użytk. dla trasy 3000 km}}{f_oF2}$$

$h'F2$ - najmniejsza wysokość pozorna odbicia fali od warstwy F2, gdzie ślad krzywej jest poziomy;

$h'F$ - najmniejsza wysokość pozorna odbicia fali od obszaru F (w dzień - jest to najmniejsza wysokość pozorna odbicia warstwy F1; gdy nie ma rozwarstwień w obszarze F, np. w nocy, to $h'F = h'F2$);

f_oF1 - częstotliwość krytyczna fali zwyczajnej dla warstwy F1;

- największa częstotliwość fali, która po odbiciu prostopadłym od warstwy F1 wraca na Ziemię;

$M(3000)F1$ - współczynnik transmisyjny dla warstwy F1

$$= \frac{F1-300-MUF}{f_oF1} =$$

$$= \frac{\text{największa częstotl. użytk. dla trasy 3000 km}}{f_oF1}$$

Ogółem jest 13 parametrów. Wartości liczbowe tych parametrów odczytuje się co godzinę.

Z powyższego wynika, że z jonogramów wyznacza się f_{min} (najmniejszą częstotliwość zarejestrowaną przez jonosondę), częstotliwości krytyczne i wysokości pozorne warstw E, Es, F1 i F2, częstotliwość ekranowania warstw wyższych przez jonizację sporadyczną Es, typy jonizacji sporadycznej Es oraz współczynniki $M(3000)F1$ i $M(3000)F2$.

Znając f_oF1 i $M(3000)F1$ oblicza się największą częstotliwość użyteczną przy transmisji ukośnej poprzez warstwę F1 dla standardowej odległości 3000 km.

Podobnie oblicza się $F2 - 3000 - MUF = M(3000)F2 \cdot f_oF2$.

W celu usunięcia trudności w wyznaczaniu parametrów jonosfery i ich klasyfikacji przyjęty został międzynarodowy system oznaczeń literowych.

Użycie symboli literowych potrzebne jest dla:

- a) uzasadnienia braku pomiaru parametru,
- b) wskazania przyczyny powodującej, że uzyskaną wartość uważa się za wątpliwą,
- c) wyjaśnienia potrzeby użycia interpolacji,
- d) podania pożytecznej informacji opisowej o jonogramie,
- e) oceny wartości liczbowej (np. że podana wartość jest mniejsza lub większa od rzeczywistej),
- f) wskazania czynności, w wyniku których uzyskano daną wartość (np. obliczenie f_oF1 na podstawie składowej X lub Z).

Symbole wymienione w pozycjach a) + d) nazywane są opisowymi, symbole zaś wymienione w pozycjach e) + f) nazywane są szacunkowymi (kwalifikacyjnymi).

Niżej podane jest zestawienie definicji symboli literowych (oznaczanych drukowanymi dużymi literami).

Zestawienie definicji symboli literowych

- Symbol A** - na pomiar parametru wpływa albo go uniemożliwia przesłanianie przez cienką warstwę niższą, np. Es.
- Symbol B** - na pomiar parametru wpływa albo go uniemożliwia pochłanianie (proste) w pobliżu f_{min} .
- Symbol C** - na pomiar parametru wpływa albo go uniemożliwia jakaś przyczyna niejonosferyczna.
- Symbol D** - a) (szacunkowy, poprzedzający wartość liczbową) - więcej niż ...
 b) (opisowy, towarzyszący wartości liczbowej) - na pomiar parametru wpływa albo uniemożliwia górna granica normalnego zakresu częstotliwości.
- Symbol E** - a) (szacunkowy, poprzedzający wartość liczbową) - mniej niż ...
 b) (opisowy, towarzyszący wartości liczbowej) - na pomiar parametru wpływa albo go uniemożliwia dolna granica normalnego zakresu częstotliwości.

- Symbol F** - na pomiar parametru wpływają albo go uniemożliwiają ślady odbić gromadnych.
- Symbol G** - na pomiar wpływa albo go uniemożliwia zbyt mała gęstość elektronowa danej warstwy w porównaniu z gęstością elektronową grubej warstwy niższej.
- Symbol H** - na pomiar parametru wpływa albo go uniemożliwia rozwarstwienie.
- Symbol I** - (poprzedzający wartość liczbową)
- brakującą wartość liczbową parametru zastąpiono wartością uzyskaną przez interpolację.
- Symbol J** - wartość parametru nie odczytana ze śladu fali zwyczajnej, a obliczona ze śladu fali nadzwyczajnej.
- Symbol L** - a) (stosowany do śladu warstwy F1)
- na pomiar parametru wpływa albo go uniemożliwia brak na jonogramie punktu wyraźnego przecięcia między śladami warstw;
b) (stosowany do śladu warstwy F2)
- nie zmierzono wielkości $h'F_2$, gdyż ślad F2 jest przedłużeniem śladu F1 bez wyraźnego przecięcia między śladami.
- Symbol M** - wartość liczbowa wątpliwa, ponieważ na jonogramie nie można rozróżnić śladów składowych: zwyczajnej i nadzwyczajnej.
- Symbol N** - w danych warunkach interpretacja jonogramu jest trudna, na przykład wskutek odbić ukośnych.

- Symbol R** - na pomiar parametru wpływa albo go uniemożliwia pochłanianie dewiacyjne w pobliżu częstotliwości krytycznej.
- Symbol S** - na pomiar parametru wpływają albo go uniemożliwiają zakłócenia radiowe lub atmosferyczne.
- Symbol T** - wartość parametru została wyznaczona na podstawie szeregu obserwacji, odczyt z właściwego jonogramu był nieprawdopodobny lub niepewny.
- Symbol U** - (poprzedzający wartość liczbową)
- wartość liczbowa niedokładna lub wątpliwa.
- Symbol V** - rozwidlenie śladu, które może wpływać na pomiar parametru.
- Symbol W** - na pomiar parametru wpływa albo go uniemożliwia to, że odbicia zachodzą na wysokościach pozornych większych od rejestrowanych przez jonogram.
- Symbol Y** - ślad odbić jest przerywany.
- Symbol Z** - na jonogramie widoczny jest ślad trzeciej składowej magnetyczno-jonowej.

Uwaga: Poza powyższymi znane są symbole: O oraz X; używa się ich przy wykonywaniu wykresów f.

Symbole używane jako szacunkowe

Zestawione w tablicy 3 symbole szacunkowe stosuje się dla:

- a) oceny wartości liczbowej (np. mniej lub więcej niż podana wartość w przybliżeniu),
- b) wskazania czynności, wskutek których otrzymana została dana wartość liczbową (obliczenie na podstawie składowych X lub Z, korekcja na podstawie wykresu f, interpolacja).

T a b l i c a 3 [50]

Symbol szacunkowy
D
E
I
J
T
U
Z

Niektóre z symboli szacunkowych można używać jako symbole opisowe.

Symbole szacunkowe umieszcza się w zestawieniu dobowym w specjalnej kolumnie (w zestawieniu miesięcznym - przed wartością liczbową).

Przy danej wartości liczbowej może znajdować się tylko jeden symbol szacunkowy.

Jeżeli wartość liczbowa poprzedza jeden z symboli wymienionych w tabl. 3, to w takich przypadkach za wartością liczbową wstawia się symbol opisowy, informujący o przyczynie niedokładności lub wykonanej czynności.

Symbole używane jako opisowe

Zestawione w tablicy 4 symbole opisowe stosuje się dla:

- a) uzasadnienia niewykonania pomiaru parametru,
- b) wskazania przyczyny, która spowodowała, że otrzymana wartość liczbowa uważana jest za wątpliwą,
- c) wyjaśnienia konieczności stosowania interpolacji,
- d) podania dającej korzyść informacji opisowej o jonogramie.

Tablica 4 [50]

Symbol opisowy																										
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	P	S	T	V	W	Y	Z						

Symbole opisowe umieszcza się w zestawieniu dobowym w specjalnej kolumnie (w zestawieniu miesięcznym - za wartością liczbową).

W poszczególnych kolumnach zestawienia, służącego do wymiany danych jonosferycznych, może znajdować się tylko jeden symbol opisowy.

Symbole używane jako szacunkowe i opisowe

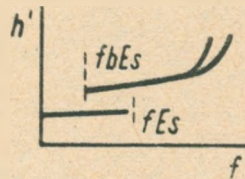
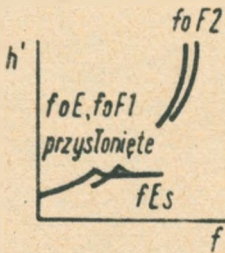
Symbole używane bądź jako szacunkowe, bądź jako opisowe uwidocznione są w tabelicy 5.

T a b l i c a 5 [50]

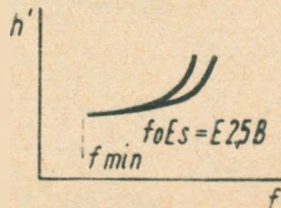
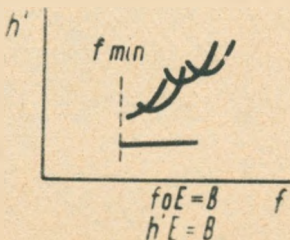
Symbole	
szacunkowy	opisowy
	D
	E
	I
	T
	Z

Przykłady stosowania symboli literowych [30]

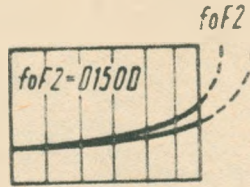
Przypadek A:



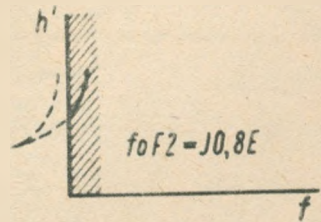
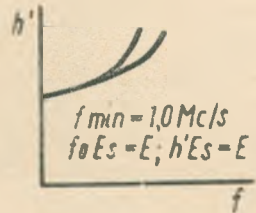
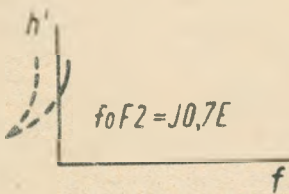
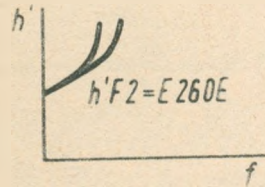
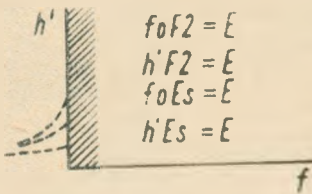
Przypadek B:



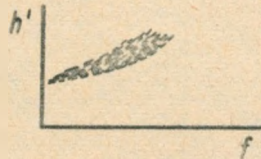
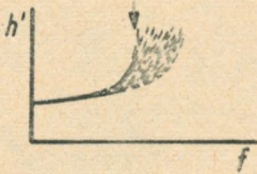
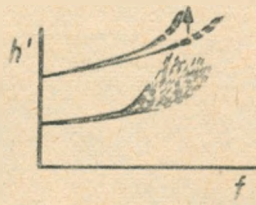
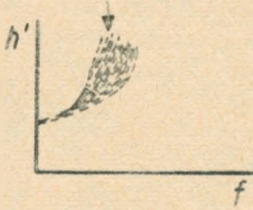
Przypadek D:



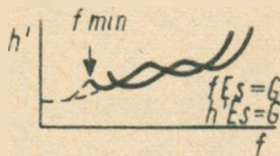
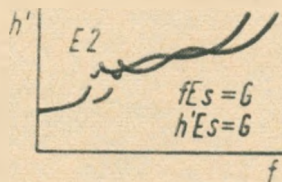
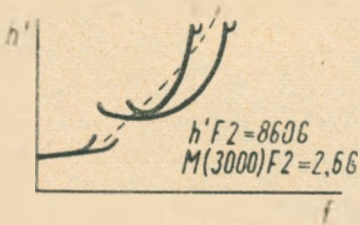
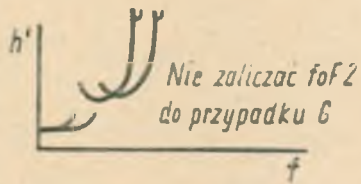
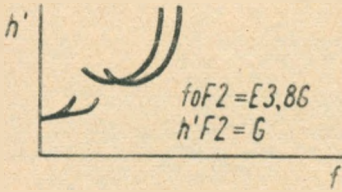
Przypadek E:



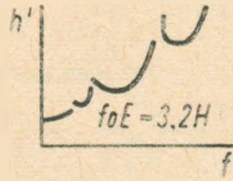
Przypadek F:



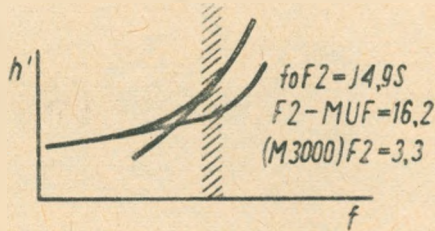
Przypadek G:



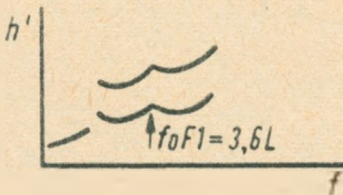
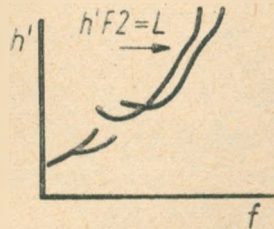
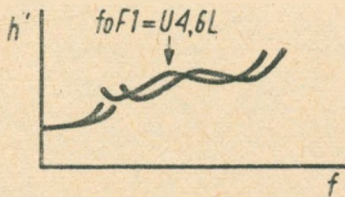
Przypadek II:



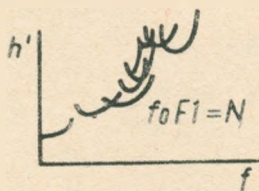
Przypadek J:



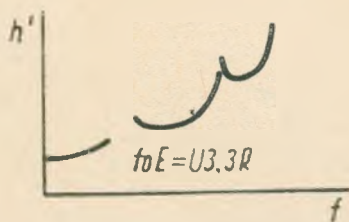
Przypadek L:



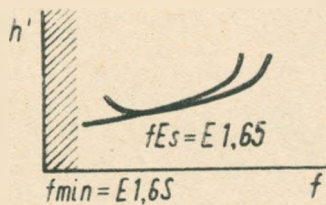
Przypadek N:



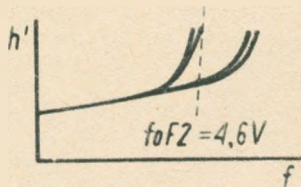
Przypadek R:



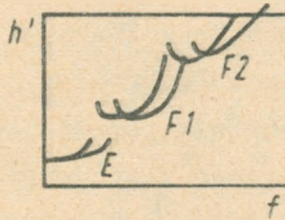
Przypadek S:



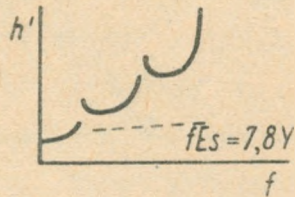
Przypadek V:



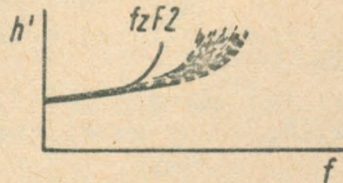
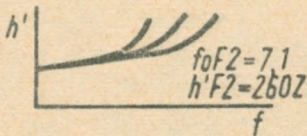
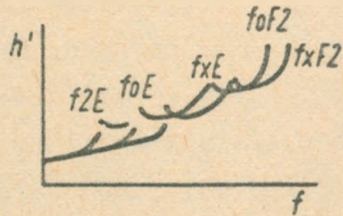
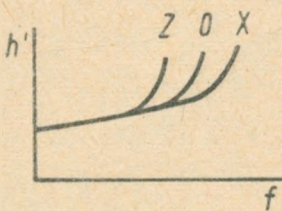
Przypadek W:



Przypadek Y:



Przypadek Z:



Zasadnicze parametry jonosfery są odczytywane bezpośrednio na jonogramie i zapisane w arkuszu dobowym albo zaznaczone na wykresie f (wykres częstotliwości w funkcji czasu). Na tym wykresie podaje się parametry odczytywane co 15 minut w ciągu doby; wykresy f ułatwiają interpretację jonogramów. Prawidła i dokładność wyznaczania parametrów jonosferycznych ustalone są międzynarodowo i podane w odpowiednich publikacjach.

Dalsze wykorzystanie danych opiera się na zestawieniach miesięcznych. Zestawienia te wykonuje się dla poszczególnych parametrów. W odpowiednich rubrykach umieszczana jest wartość liczbowa danego parametru dla określonej godziny doby; również w razie konieczności podawane są symbole opisowe i szacunkowe.

Symbole opisowe podaje się po, a symbole szacunkowe - przed wartością liczbową parametru. W dolnej części arkusza umieszcza się mediany¹⁾, kwartyle - górny²⁾ i dolny³⁾, zakresy kwartyli⁴⁾ oraz liczbę pomiarów.

Sprawozdania miesięczne wydaje się na papierze światłoczułym w postaci oddzielnych arkuszy, a następnie te sa-

1) Mediana - jest to liczba znajdująca się w środku szeregu liczb, uszeregowanych kolejno według wartości.

2) Kwartył górny - jest to medialna wartość górnej połowy liczb, uszeregowanych według wartości.

3) Kwartył dolny - jest to medialna wartość dolnej połowy liczb, uszeregowanych według wartości.

4) Zakresy kwartyli - jest to różnica pomiędzy górną i dolną wartością kwartylną.

me arkusze drukuje się w postaci biuletynów jonosferycznych pt.:

"Ionospheric data for Miedzeszyn"

i "Jonosfernyje dannyje dla Miedzeszyna".

5. ZNACZENIE I WYMIANA WYNIKÓW POMIARÓW JONOSFERYCZNYCH

W codziennej praktyce radiokomunikacyjnej mamy do czynienia z zagadnieniem wyboru częstotliwości roboczej, która byłaby najlepsza do uzyskania połączenia w aktualnych warunkach propagacyjnych. Wiemy, że o jakości łączności radiowej na dalekie odległości wpływają takie czynniki, jak parametry nadajnika (moc, poziom szumów, zniekształcenia), parametry anteny nadawczej (azymut, kąt elewacji, zysk, charakterystyka promieniowania), parametry anteny odbiorczej (podobnie jak anteny nadawczej), parametry odbiornika (np. selektywność, czułość), jak również rodzaj emisji, poziom zakłóceń atmosferycznych, interferencyjnych, przemysłowych oraz warunki propagacyjne, z którymi związana jest częstotliwość robocza. Właściwy jej wybór usprawnia łączność w ciężkich warunkach propagacyjnych; w korzystnych warunkach pozwala uniknąć używania nadajników o dużej mocy (osiągamy więc olbrzymie korzyści ekonomiczne).

Jak już wspomniano, teoretyczne pojęcie częstotliwości granicznej było określone jako maksymalna częstotliwość, przy której fala wypromieniowana pod określonym kątem elewacji zostaje jeszcze odbita od danej warstwy jonosfe-

rycznej. Z powyższym pojęciem wiąże się praktyczne pojęcie największej częstotliwości użytkowej, oznaczonej symbolem MUF¹⁾, na której jest możliwa łączność na danej trasie i w danych warunkach jonosferycznych (pojęcie MUF odnosi się często do określonej warstwy - stosowane są wówczas symbole na przykład E-MUF dla warstwy E, F2-MUF dla warstwy F2). Praca na MUF daje teoretycznie 50% prawdopodobieństwa przechodzenia fali do punktu odbiorczego. Dąży się na ogół do tego, aby zabezpieczenie łączności było przynajmniej w ciągu 90% czasu.

Zachodzące w jonosferze nieustannie zmiany gęstości elektronowej powodują, że wartość chwilowa MUF ulega odpowiednim wahanom. Praca zbyt blisko MUF jest więc niepewna. Z tego względu, jako optymalną częstotliwość roboczą, zwaną FOT²⁾ (dającą prawdopodobieństwo przechodzenia fali równe przynajmniej 90%), przyjmuje się w praktyce radiokomunikacyjnej częstotliwość wynoszącą na ogół 0,85 MUF.

Częstotliwość robocza może być obniżana do pewnej granicy. Jak wiadomo, dla każdego rodzaju emisji, w określonych warunkach zakłóceń, jest pewien minimalny poziom natężenia pola, zapewniający dostateczny odbiór sygnału; możliwe jest dla danej mocy promieniowanej określenie najmniejszej częstotliwości użytkowej, zwanej LUF³⁾.

1) MUF - Maximum Usable Frequency (obecnie zalecają CCIR i URSI nową terminologię, np. EJP - zamiast dawnej: MUF)

2) FOT - Frequence Optimum de Traffic.

3) LUF - Lowest Usable Frequency.

Częstotliwość robocza może być w zasadzie dobierana spośród częstotliwości zawartych między FOT i LUF. Wykres, przedstawiający dobowy przebieg mediany FOT i LUF dla danej trasy i dla danego okresu czasu (np. miesiąc, pora roku), wykonany dla pewnych wartości parametrów trasy, stanowi właściwą prognozę jonosferyczną; prognoza ta jest pomocna bezpośrednio przy określaniu częstotliwości roboczych.

Do wykorzystania uzyskanych przez nas danych jonosferycznych Obserwatorium w Miedzeszynie przesyła, w ramach wymiany, miesięczne sprawozdania (biuletyny) do szeregu krajów na świecie, a mianowicie: Anglii, Austrii, Argentyny, Australii, Bułgarii, Brazylii, Chin, CSRS, Danii, Filipin, Francji, Finlandii, Grecji, Holandii, Hiszpanii, Italii, Iranu, Indii, Japonii, Jugosławii, Kanady, Konga, NRD, NRF, Nigerii, Pakistanu, Rumunii, Szwecji, Szwajcarii, USA, Węgier, Wietnamu i ZSRR, w tym również do kilku Światowych Centrów Danych. Poza tym biuletyny te są wysyłane do różnych instytucji krajowych.

Rysunek 33 przedstawia jedną z tablic biuletynu "Ionospheric data for Miedzeszyn" zawierającą godzinowe wartości częstotliwości krytycznych (f_oF_2) warstwy F2 dla Miedzeszyna w lipcu 1970 r.

Rysunek 34 obrazuje krzywe wartości medialnych wysokości pozornych (h) i częstotliwości krytycznych (f_o) dla warstw F2, F1 i E dla Miedzeszyna w lipcu 1970 r.

W oparciu o wyniki pomiarów ze stacji jonosferycznych i przewidywanych wartości wskaźnika aktywności słonecznej Światowe Centra opracowują podstawowe prognozy na ógól na

każdy miesiąc z wyprzedzeniem trzymiesięcznym i wydają je w postaci biuletynów. Biuletyny te są na ogół wykorzystywane w nadrzędnych komórkach administracyjnych, naukowo-badawczych itp., które następnie przekazują gotowe prognozy do zainteresowanych instytucji, służb itd.

Do prognozowania warunków propagacji fal jonosferycznych korzysta się w Polsce z materiałów radzieckich i częściowo amerykańskich, a ostatnio - i z opracowań CCIR. Materiały te umożliwiają wyznaczenie m.in. MUF, FOT i LUF dla różnych tras, wysokości pozornych warstw, profili gęstości elektronowej, kątów elewacji fal radiowych, częstotliwości roboczych odbijających się od warstw F2, F1, E i Es.

Podstawowe prognozy radzieckie zawarte są w następujących publikacjach:

- Miesięczna prognoza propagacji fal radiowych (wydawana na trzy miesiące naprzód);
- Instrukcja obliczania częstotliwości dla krótkofalowej łączności radiowej, odbijających się od warstwy Es (stanowiąca uzupełnienie do wydawanego regularnie w.w. opracowania);
- Prognoza największych częstotliwości użytkowych przy różnej aktywności słonecznej - część I i część II (umożliwiająca przeprowadzenie obliczeń MUF na dowolną liczbę lat naprzód na podstawie prognozy aktywności słonecznej);
- Prognoza najmniejszych częstotliwości użytkowych (LUF) dla lat małej i średniej aktywności słonecznej (liczba Wolfa ≤ 80);

- Prognoza najmniejszych częstotliwości użytkowych (LUF) dla lat dużej aktywności słonecznej (liczba Wolfa >80).

Poza radzieckimi prognozami podstawowymi znane jest prognozowanie natężeń pól LUF i MUF na trasach radiowych w oparciu o techniczne Normy IFRB (A, B i C). Podstawę opracowań tych norm stanowią głównie zalecenia i sprawozdania CCIR.

Materiał na powyższy temat można znaleźć w bardzo pożytecznej książce [18].

Rysunek 35 przedstawia przykładowo opracowaną w Instytucie Łączności w Miedzeszynie prognozę propagacji fal na jeden miesiąc naprzód dla obszaru Polski [49].

W ostatnich latach, dzięki rozwojowi metod numerycznego sporządzania map jonosferycznych i możliwości coraz szerszego stosowania elektronicznych maszyn cyfrowych, opracowano "Atlas CCIR charakterystyk jonosferycznych" (Report 340) oraz opublikowano nowe wydanie Atlasu (Report 340-1). Atlas przedstawia pewne podstawowe parametry, określające radiową propagację jonosferyczną. Zawiera on współczynniki funkcji numerycznych, służące do sporządzania map parametrów jonosferycznych. Współczynniki te są utrwalone również na kartach perforowanych. Umożliwione zostało więc sporządzanie prognoz propagacyjnych za pomocą elektronicznej maszyny matematycznej (EMC). Dzięki takiemu rozwiązaniu zostaną wyeliminowane żmudne i pracochłonne obliczenia ręczne.

Drugą część Atlasu, zawierającą charakterystyki jonosferyczne w postaci map, można wykorzystywać, jeżeli nie ma się możliwości korzystania z EMC.

Rysunek 36 przedstawia jedną z map Atlasu CCIR.

Dotychczas stosowana jest u nas ręczna metoda prognozowania warunków propagacji fal jonosferycznych. Czyni się przygotowania do wykorzystania EMC do wspomnianych obliczeń.

Tłumaczenia, opracowania i wytyczne do wykorzystania Atlasu znajdują się w publikacjach [44], [45] i [46], wydanych przez Ministerstwo Łączności - Komisja Naukowa do Spraw CCIR i OIRT.

Niezależnie od sprawozdawczości jonosferycznej, związanej ze standardową pracą naszej stacji, wykonywane są specjalne opracowania oraz niekiedy przekazywane są kopie filmów z jonogramami do zagranicznych placówek naukowych z całego lub części interesującego okresu pomiarów lub z okresu trwania skoordynowanych badań jonosfery, przeprowadzanych równocześnie na stacjach naziemnych i na przelatujących sztucznych satelitach Ziemi.

6. BADANIE JONOSFERY ZA POMOCĄ RAKIET

Prowadzone przez naziemne stacje badania jonosfery za pomocą sondażu radiowego dają tylko częściowe informacje o budowie warstw leżących poniżej wysokości o maksymalnej gęstości elektronów w warstwie F2; badanie rozkładu koncentracji elektronów powyżej tej warstwy nie jest przy tej metodzie możliwe.

Braki te w dużej mierze kompensują się za pomocą pomiarów wykonywanych przy użyciu rakiet.

Rakiety, stosunkowo proste, nieduże, a więc niedrogie,

umożliwiają przeprowadzenie lokalnych obserwacji na wszystkich interesujących nas wysokościach. Stały się więc one ważnym środkiem do poznawania jonosfery. Główną wadą tego rodzaju badań jest to, że można uzyskać informacje dotyczące tylko niewielkiej części jonosfery w ciągu krótkiego okresu czasu.

Tego rodzaju poznawanie atmosfery zostało zapoczątkowane w 1945 r. przy użyciu rakiety V2. Na wielu rakietach, oprócz urządzenia do badania jonosfery, umieszczona była aparatura do pomiaru: składu chemicznego powietrza (spektrometry masowe), koncentracji jonów (pułapki jonowe), ziemskiego pola magnetycznego (magnetometry), krótkofalowego promieniowania Słońca, składu promieniowania kosmicznego i innych parametrów atmosfery; również musiała być zainstalowana aparatura radiowa do przekazywania zmierzonych danych.

Pierwsze badania miały na celu wykonanie pomiarów gęstości jonów; kilka anten zainstalowanych na rakiecie wysyłało fale radiowe o częstotliwości bliskiej częstotliwości krytycznej, a wyniki rejestrowano na stacjach naziemnych.

Do planu badań za pomocą ракет włączono przede wszystkim bezpośrednie pomiary gęstości elektronów na różnych wysokościach oraz obserwacje efektu rozproszenia również w zależności od wysokości. W późniejszym okresie plan ten objął pomiary częstotliwości zderzeń oraz badania nad warunkami rozchodzenia się fal radiowych przy dużych odległościach; badania te dotyczyły rozchodzenia się fal z Ziemi do jonosfery, jak również z rakiety do stacji na Ziemi.

W miarę pokonywania początkowych trudności, związanych z doskonaleniem przyrządów i metod badań, uzyskiwano coraz bardziej niezawodne dane.

Przykład schematu aparatury do badań jonosfery za pomocą rakiet jest podany na rys. 37 [4].

Wiadomo, że w jonosferze występują trzy podstawowe rodzaje wolnych naładowanych cząstek - jony dodatnie i ujemne oraz elektrony. Suma koncentracji jonów ujemnych i elektronów jest równa koncentracji jonów dodatnich. Jonosfera jest więc elektrycznie obojętna. W związku z tym pomiar koncentracji jonów dodatnich pozwala na określenie całkowitej koncentracji wolnych cząstek naładowanych.

Badania fal radiowych, odbitych od jonosfery lub przechodzących przez nią, dostarczają danych głównie dotyczących koncentracji elektronów, ponieważ wpływ ciężkich jonów na propagację fal radiowych jest ponad tysiąc razy słabszy od wpływu lekkich elektronów.

Ponieważ do niedawna jonosferę badano za pomocą fal radiowych, wszystkie podstawowe dane dotyczące zawartości cząstek naładowanych w jonosferze dotyczyły wyłącznie elektronów; rozkład jonów był praktycznie nie znany.

W celu przeprowadzenia pomiarów koncentracji jonów dodatnich na satelicie instaluje się urządzenia, tj. wspomniane już pułapki jonowe.

Różne kraje prowadziły i coraz bardziej rozszerzają badania przy użyciu rakiet. Na przykład ciekawe prace zostały zrealizowane przez Goddardowskie Centrum Lotów Kosmicznych w USA [27]. Przeprowadziło ono kilka eksperymentów w górnej jonosferze według programu P 21, a mianowicie

cie: wystrzelono raketę Argo 4 (NASA 8.10) i dwie rakie-
ty Skaut (P 21 i P 21A). We wszystkich trzech przypad-
kach wykonano próby z propagacją niepochłanianych fal ra-
diowych na dwóch częstotliwościach. Poza tym eksperyment
P 21 obejmował pomyślne pomiary z pułapką jonową; nato-
miast odnośnie rozchodzenia się fal wystąpiły pewne nie-
ścisłości.

Na rysunku 38 przedstawiono jeden z bardzo dokładnych
rozkładów koncentracji elektronów w górnej jonosferze,
otrzymanych za pomocą pionowej rakiety sondującej [27].
Z łagodnego przebiegu górnej części tego rozkładu i wy-
kładniczego zmniejszania się koncentracji wraz z wysoko-
ścią wynika, że dla danego miejsca i danego czasu pomia-
ru gaz elektronowo - jonowy w górnej jonosferze zachował
się prawie tak, jak neutralny. Uznano, że rozkład koncen-
tracji zależy od sumy temperatur elektronów i jonów, a
masa - od składowych jonowych.

Pokazany na rysunku 39 profil koncentracji elektrono-
wej wykrywa na wysokości około 1000 km zmianę składu jo-
nowego, wskazującą na to, że przejście to następuje od
 O^+ do He^+ , a nie od O^+ do H^+ [27].

Z tych danych eksperymentalnych można otrzymać trój-
składowy model spokojnej górnej jonosfery na średnich
szerokościach, pokazany na rys. 40 [27]. Są tu zaznaczo-
ne trzy obszary, w których przeważają O^+ , He^+ i H^+ .

Eksperymentalne obserwacje, jak również i rozważania
teoretyczne dowiodły, że wysokościowy rozkład trzech pod-
stawowych składowych jonowych, określa się temperaturą
górnej jonosfery w ten sposób, jak to pokazano na rys.41
[27].

Pomiary koncentracji jonów dodatnich przeprowadzono aż do wysokości około 3000 km przy użyciu rakiety NASA - Skaut 2, wystrzelonej w 1960 r. Interpretacja otrzymanego rozkładu dowiodła, że ważną rolę w rozkładzie jonów w górnej jonosferze odgrywają jony helu.

Rozkład koncentracji elektronowej w zależności od wysokości i temperatury elektronów mierzono także podczas lotu czterech rakiet (NASA 6.01, 6.02, 6.03 i 6.04). Przeprowadziły one pomiary w przedziale wysokości 100-400 km.

Stwierdzono, że ogólna struktura górnej jonosfery otrzymana z wyników eksperymentów w głównych zarysach zgadza się z wynikami eksperymentu NASA 8.10.

Inne typy rakiet

Rakieta ma wyposażenie pomiarowo-badawcze, jak na przykład opisane poniżej, oraz aparaturę radiową i teletetryczną wraz ze źródłem zasilania. Cały ten sprzęt jest z reguły umieszczony w przedniej części, tj. w głowicy rakiety, a to dlatego, aby jak najwięcej miejsca pozostało na materiał pędny.

Typowe wyposażenie pomiarowo-badawcze jest podane w tabl. 6 [28]. W celu przeprowadzenia specjalnych badań wyposaża się rakiety w wiele innych urządzeń pomiarowych.

Podstawowymi elementami urządzenia teletetrycznego są czujniki, które służą do bezpośredniego wykonywania pomiarów. Przetwarzają one wielkości elektryczne, przy czym wielkość mierzona może być mechaniczna, cieplna, fizyczna lub chemiczna.

Zestawienie typowej aparatury i urządzeń pomiarowych
wbudowanych na rakietach

Wielkości mierzone	Aparatura i urządzenia pomiarowe
Temperatura	Termistory Manometr do pomiaru ciśnienia na głowicy i kadłubie
Ciśnienie atmosferyczne, gęstość ośrodka	Barometr Manometry (różne) Alfatron
Gęstość ładunków elektrycznych	Sonda Langmuira
Widmo słoneczne	Spektrograf dyfrakcyjny
Masowy skład atmosfery	Lampa spektrometryczna
Nasilenie promieniowania rentgenowskiego	Licznik Geigera, komora Wilsona
Natężenie pola magnetycznego Ziemi	Magnetometry (różne)
Obraz Ziemi i inne	Kamera fotograficzna

Na świecie jest duża różnorodność zastosowań i rozwiązań konstrukcyjnych rakiet. Odegrały one pionierską rolę w badaniu atmosfery i rozwoju techniki rakieterowej.

Poniżej podane jest kilka przykładów tego rodzaju rakiet.

- Dość pokaźne wyposażenie pomiarowe miała rakietka NIKE - APACHE - prod. USA [28] (rys. 42).

Niektóre dane:

Masa głowicy	- 26,7 kg
Długość głowicy	- 1,86 m
Długość całkowita rakiety	- 8,6 m
Osiągany pułap	- 178 km
Czas trwania pomiarów podczas lotu	- około 5 min.

Wbudowane wyposażenie służyło do pomiarów i badania pola magnetycznego ziemskiego i zjawiska zorzy polarnej.

- Rakietka geofizyczna typu W-5-W - radziecka [28] była przeznaczona również do prowadzenia pomiarów jonosferycznych, fotografowania korony słonecznej i innych (rys. 43).

Niektóre dane:

Długość całkowita rakiety	- 23 m
Srednica maksymalna	- 1,66 mm
Masa użyteczna	- 1300 kg
Osiągany pułap	- 512 km

- Wyposażeniem małych i lekkich rakiet obu wersji typów LOKI i HAWK - prod. USA [28] (wykorzystywane do startu wysokościowego z balonu) była aparatura do pomiarów promieniowania kosmicznego i nadajnik telemetryczny (70 MHz, moc 0,5 W) (rys. 44).

Niektóre dane:

	a)	b)
Długość całkowita	- 2,44 m	2,52 m
Masa użyteczna	- 3,08 km	4,9 kg
Osiągany pułap	- 81 km i 109 km	81 km i 109km
Czas pracy	- 0,8 sek	1,7 sek

- Doświadczalna jednostopniowa rakiet jonosferyczna i meteorologiczna typu D0-621 opracowana w NRF [28]. Rakietę odzyskiwana jest za pomocą rozkładanych skrzydeł elastycznych, które umożliwiają sprowadzenie pojazdu prawie na miejsce startu (rys. 45).

Niektóre dane:

Długość całkowita rakiety	- 5,52 m
Srednica	- 300 mm
Rozpiętość skrzydeł rozwiniętych	- 3,26 m
Powierzchnia	- 3,05 m ²
Masa użyteczna	- 5 - 10 kg
Czas pracy	- 10 s
Pułap (obliczeniowy)	- 80 km

- W skład wyposażenia pomiarowo-badawczego brytyjskiej rakiety typu PETREL - 200 [28] wchodziły: licznik Geigera, sonda Langmuira i magnetometr (rys. 46).

Niektóre dane:

Długość całkowita rakiety	- 4,49 m
Srednica	- 1900 mm
Masa użyteczna	- 214,8 kg
Czas lotu do pułapu	- 233 sek

Te kilka podanych dla przykładu rakiet odegrały ważną rolę w historii badań atmosfery.

Obecnie budowane rakiety są o wiele potężniejsze w stosunku do poprzednich i to zarówno pod względem wymiarów, jak i przystosowania do obszernego zakresu postawionych zadań.

Nie wszystkie kraje mają środki i możliwości budowy takich obiektów. Korzystają więc z doświadczeń innych i wchodzi często w skład organizowanych wspólnie międzynarodowych badań.

7. BADANIA JONOSFERY ZA POMOCĄ SZTUCZNYCH SATELITÓW ZIEMI

W ciągu ostatnich lat nastąpił intensywny rozwój naziemnych metod pomiarów jonosferycznych. Jednak największe zmiany w tych badaniach nastąpiły z chwilą wykorzystania rakiet i satelitów Ziemi do badań jonosferycznych. Olbrzymi rozwój techniki raketowej umożliwił wysyłanie na satelitach precyzyjnej aparatury pomiarowej, dzięki czemu stało się realne wykonywanie pomiarów dużej liczby parametrów.

Dzięki satelitom mogła być zastosowana metoda sondowania jonosfery od góry, to jest znad warstwy F2 w obszarze

nieodstępnym jonosondom naziemnym. Charakterystyczną cechą sztucznych satelitów Ziemi, z punktu widzenia zastosowania do celów naukowych, jest możliwość prowadzenia długotrwałych, w odróżnieniu od rakiet, badań wielu zjawisk fizycznych nad całym obszarem kuli ziemskiej.

Ciekawe wyniki badań dostarczył na przykład satelita kanadyjski ALOUETTE [31] (rys. 47), ułokowany w 1962 r. na orbicie w przybliżeniu kołowej.

Przykład jonogramu zdjętego od góry przedstawiony jest na rys. 48a [32]. Rysunki 48b) i c) przedstawiają porównanie jonogramów otrzymanych przy użyciu panoramicznej jonosondy naziemnej i jonosondy umieszczonej na sztucznym satelicie Ziemi.

Odbiór nadawanych sygnałów z satelity również odbywał się na satelicie, przy czym otrzymane informacje o stanie jonosfery przekazywane były telemetrycznie na powierzchnię Ziemi.

W ten sposób powstała stacja jonosferyczna, poruszająca się po orbicie wokół Ziemi. Mała, w stosunku do jonosond naziemnych, moc (kilka watów) jest wystarczająca wobec małego poziomu szumów i małych zakłóceń interferencyjnych.

Schemat blokowy tego rodzaju stacji przedstawiony jest na rys. 49 [27]; działa ona na zasadzie opracowanej dla naziemnych stacji jonosferycznych.

Badania przy użyciu takich satelitów umożliwiły uzyskanie wiadomości o rozkładach jonizacji ponad poziomem maksimum jonizacji warstwy F2.

Należy nadmienić, że przy sondowaniu z góry - jonoson-

da będąc zanurzona w plazmie przy wysyłaniu impulsów w otaczającym środowisku, wywołuje nowe zjawiska nie spotykane przy sondowaniu z Ziemi.

Niektóre informacje uzyskane z sondowania

Okazuje się, że pewne obszary górnej części jonosfery są niejednorodne z powodu istnienia niewielkich nieregularności, wywołujących rozproszone odbicia.

Jonogramy równikowe wskazują na występowanie jonizacji powyżej warstwy F. Fakt ten powoduje charakterystyczne wygięcia charakterystyki (rys. 50) [27].

Na średnich szerokościach (20° + 40°) obserwuje się rzadko rozproszoną warstwę F i wygięcie (rys. 51) [27].

Przeprowadzona analiza danych potwierdziła założenia o wpływie pola geomagnetycznego na rozkład jonizacji powyżej obszaru F i ułatwiła zrozumienie rozwoju burz jonosferycznych.

Innym przykładem sondowań od góry było zrealizowane według programu NASA¹⁾ wyrzucenia dwóch satelitów Alouette, z których jeden - S 27 promieniował zmieniające się częstotliwości, drugi - S 48 - częstotliwości wybrane.

Satelita Alouette (S 27), o kształcie spłaszczonej kuli i o wadze 144,7 kg, wystrzelony został w końcu 1962 r. na orbitę wokół Ziemi na wysokość około 1000 km

¹⁾ NASA - National Aeronautical and Space Administration (w luźnym przekładzie: Krajowy Urząd do Spraw Astronautyki i Przestrzeni Kosmicznej)

(apogeum¹⁾ - 1030 km, perigeum²⁾ - 995 km). Anteny stanowiły skrzyżowanie dipoli o długości 46 m i 23 m. Sondowanie od góry przeprowadzało się około 1000 razy na dobę przy współpracy sieci stacji naziemnych.

Poza sondowaniem satelita wykonywał jeszcze inne zadania.

Satelita Alouette (S 48) ze stacją jonosferyczną wysyłającą częstotliwości wybrane miał kształt podobny do S 27. Został on wystrzelony w początku 1964 r. na taką samą orbitę, na której umieszczony był S 27 i miał wagę około 1/3 wagi S 27. Szerokość impulsów stacji i częstotliwość ich powtarzania była taka, jak u S 27.

Zarówno satelita S 27 jak i S 48 miały nadajnik impulsowy i odbiornik przystosowane do odbioru sygnałów odbitych od jonosfery. Obydwa pracowały na sygnały z Ziemi (w ciągu 10 min., po czym następowało automatycznie wyłączenie).

Zasilanie aparatury zapewniały słoneczne elementy współpracujące z kolei z niklowo-kadmowymi akumulatorami.

Dla uzyskania danych jonosferycznych zastosowano na satelitach dwie różne metody pracy, a mianowicie: w tym czasie, kiedy częstotliwość nadajnika S 27 zmieniała się w sposób ciągły od 0,5 do 11,5 MHz z prędkością około 1 MHz/s, to S 48 promieniował sześć częstotliwości: 2,85;

1) Apogeum - punkt orbity eliptycznej, najbardziej oddległy od Ziemi, którą ona opasuje.

2) Perigeum - punkt orbity eliptycznej, najbliższy Ziemi, którą ona opasuje.

3,72; 4,60; 5,47; 6,82 i 8,57 MHz (niedawno zmienione na -1,50; 2,0; 2,85; 3,72; 5,47 i 7,22 MHz).

Częstotliwość powtarzania impulsów dla obydwóch satelitów wynosiła 67 sek⁻¹. Wysyłane impulsy przez te stacje były o jednakowej szerokości - 100 usek.

Elektroniczna aparatura obydwu stacji wykonana została na półprzewodnikach i przeznaczona do aktywnej pracy na okres 1 roku.

Międzynarodowe skoordynowane pomiary za pomocą sztucznych satelitów Ziemi i stacji naziemnych

Przed czterema laty, tj. 20.12.1968 r., Polska, Bułgaria, Czechosłowacja, NRD, Rumunia, Węgry i ZSRR - zgodnie z porozumieniem - rozpoczęły realizować pierwszy wspólny program badań górnych warstw atmosfery i natury zórz polarnych za pomocą stacji naziemnych i aparatury umieszczonej na pokładzie sztucznego satelity KOSMOS-261¹⁾.

Głównym celem tego eksperymentu było badanie geoaktywnych cząstek (elektronów i protonów wywołujących zjawiska zórz polarnych), badanie zmian gęstości górnej atmosfery w czasie zórz polarnych oraz badanie zaburzeń jonosferycznych, związanych z zakłóceniami łączności radiowej. Poza tym przeprowadzono badania elektronów o wielkich energiach. Prof. dr S. Piotrowski podaje [22], że

¹⁾ KOSMOS - jest to nazwa bardzo licznej serii radzieckich satelitów badawczych i użytecznych, wyposażonych w różne przyrządy pomiarowe, przeznaczonych do rozmaitych celów, m.in. do badań jonosfery. Kolejny sztuczny satelita, wystrzelony w ZSRR w dniu 17.12.1971 r., oznaczony został jako KOSMOS-467 (rys. 52).

burze magnetyczne i zorze polarne są, według współczesnych poglądów, przejawem pewnych olbrzymich i mało znanych procesów w przestrzeni okołoziemskiej, wywołanych przez ciągły wpływ plazmy z korony słonecznej (czyli przez "wiatr słoneczny"), które w pewnych obszarach magnetosfery rozgrzewają plazmę do temperatury rzędu dziesiątków milionów stopni. W takich rozgrzanych obszarach powstają "gorące" cząstki plazmy (elektrony i protony) o energiach rzędu 10 kiloelektronowoltów, które wpadają olbrzymimi strumieniami do atmosfery; powoduje to jej "zapalenie" oraz wywołanie świecenia zórz polarnych, nierównomierną jonizację i zaburzenia w strukturze jonosfery, jak również i inne zjawiska. Cechą charakterystyczną procesów, zachodzących w przestrzeni okołoziemskiej, jest ich ścisła współzależność.

Pomiary górnych warstw atmosfery za pomocą satelity mają wiele zalet, jednak są niepełne, ponieważ są one wykonywane tylko wzdłuż orbity. Pewne badania, związane z efektami wywołanymi przez cząstki, są trudne lub niemożliwe do zrealizowania w satelicie, mogą natomiast być przeprowadzone na Ziemi, jak na przykład pomiary zmian pochłaniania fal radiowych i ich rozpraszania na niejednorodnościach gęstości elektronowej, pomiary zmian pola magnetycznego i inne.

Z tych względów bardzo cenne są zsynchronizowane i odpowiednio skoordynowane badania wykonane na satelicie i stacjach naziemnych. Taki wszechstronny charakter miał eksperyment przeprowadzony za pomocą satelity KOSMOS-261. Jak podano w pracy [43], satelitę umieszczono na orbicie

o perigeum 217 km i apogeum 670 km. Kąt nachylenia płaszczyzny orbity do równika wynosił 71° . Satelita więc regularnie przechodził stycznie do strefy zórz polarnych i poruszał się cały czas poniżej maksimum obszaru F; pozwoliło to określić właściwości jonosfery wzdłuż jego trasy naziemnymi metodami geofizycznymi. W okresach pracy satelity sieć stacji naziemnych przeprowadzała zsynchronizowane obserwacje według uzgodnionego programu. Eksperyment trwał 53 dni. Satelita wykonał 856 okrążeń Ziemi. Obiektem pomiarów były fotoelektrony, których wysoka energia cieplna nie zdążyła jeszcze rozproszyć się przy zderzeniach z cząsteczkami górnej atmosfery, a także pierwotne i wtórne elektrony zorzowe o energiach od 30 eV do setek keV. Pomiarów te wykonywano za pomocą spektrometrów scyntylacyjnych i innych przyrządów. Program skoordynowanych obserwacji naziemnych stacji zawierał pomiary zjawisk w zakresach fal krótkich, średnich, długich i bardzo długich, pomiary wysokościowo-częstotliwościowych charakterystyk jonosfery, pomiary pochłaniania metodami A2 i A3 i wiele innych.

Zsynchronizowanie obserwacji sieci naziemnych stacji z pracą i przelotami nad nimi satelity wymagało organizacji specjalnych komunikatów. Umożliwiły one wcześniejsze określanie położenia satelity i czas jego przelotu nad danym punktem Ziemi.

Otrzymane w przeprowadzonym eksperymencie dane z naziemnych pomiarów umożliwiają sporządzenie synoptycznego obrazu wielu charakterystyk górnej atmosfery i prześledzenie jej ewolucji w okresie spokojnym, a także rozwój

zaburzeń nad badanym obszarem. Takie obserwacje nie są możliwe do przeprowadzenia z satelity, znajdującego się nad terenem w ciągu kilku minut w czasie jednego okrążenia ($\sim 1,5$ godz.).

Z drugiej strony, niektóre pomiary charakterystyk cząstek w górnej atmosferze można wykonać z satelity. Tak więc te dwa rodzaje badań geofizycznych wzajemnie się uzupełniają i ich łączne skoordynowane wyniki konieczne są do rozwiązania wielu ważnych problemów fizyki górnej atmosfery i magnetosfery.

Należy nadmienić, że nasze Obserwatorium Jonosferyczne przeprowadziło 267 pomiarów specjalnych jonosfery zsynchronizowanych z przelotem satelity KOSMOS-261 nad horyzontem stacji jonosferycznej w Miedzeszynie i punktami sprzężonymi magnetycznie na półkuli południowej. Wyniki pomiarów zostały zarejestrowane na taśmie filmowej oraz przygotowano na przykład opracowanie o przebiegu sondowań jonosfery z punktu widzenia organizacyjnego oraz wstępną ocenę wyników badań w celu przedstawienia na sympozjum w Kühlungsborn w NRD [47], przygotowanie materiałów dotyczących okresu akcji z KOSMOSEM-261 dla zbiorczego ośrodka maszynowych obliczeń danych - w Bułgarii. Na podstawie badań przeprowadzonych w naszym Obserwatorium Jonosferycznym stwierdziło się, że:

"Szczególnie interesujące były pomiary w dniu 27.12. 1968 r. kiedy, w wyniku dużego wybuchu na Słońcu, nastąpił w godzinach południowych duży wzrost absorpcji w obszarze D, z następującym za tym podwyższeniem częstotliwości krytycznej regularnej warstwy E.

W początkowych dniach lutego 1969 r. następowały duże zaburzenia jonosferyczno-magnetyczne ze szczególnym

zaburzeniem ujemnym jonosfery w dniu 3 tegoż miesiąca. Prawie cały okres akcji charakteryzował się nasileniem występowania odbić rozproszonych w godzinach nocnych. Opracowane dane w Miedzeszynie były referowane na zjazdach naukowych w NRD (marzec 1969 r.) i na Węgrzech (wrzesień 1969 r.). Część danych otrzymała Bułgaria do szczegółowych obliczeń profili gęstości elektronowej za pomocą maszyn cyfrowych" (Przegląd Zagadnień Łączności IŁ. 1970 r. s. 63-64).

Jak wiemy, Obserwatorium Jonosferyczne IŁ w Miedzeszynie jest jedyną placówką w Polsce, biorącą udział w pionowym sondowaniu jonosfery.

W Bułgarii realizowano powyższe pomiary za pomocą dwóch stacji pionowego sondowania jonosfery i trzech obserwatoriów, w których wykonywano badania pochłaniania fal radiowych różnymi metodami, rejestrowano zakłócenia radiowe, przeprowadzono analizę wiatrów jonosferycznych oraz inne obserwacje.

W Czechosłowacji wykonywano pomiary jonosferyczne za pomocą sondowań, pochłaniania fal radiowych w jonosferze oraz rejestrację promieniowania elektromagnetycznego w zakresie częstości akustycznych, tzw. atmosferyków.

W NRD program badań był obszerny. Przeprowadzono pomiary pochłaniania fal radiowych o dużej częstotliwości, które zachodzi w dolnych warstwach jonosfery. Pomiary tego rodzaju wykonywano nie tylko na terenie NRD, ale także na Antarktydzie. Rejestrowano również, przy użyciu radiolokatora, odbicie fal radiowych o częstotliwości 33 MHz od zórz polarnych. Poza tym zmierzono cały szereg różnego rodzaju charakterystyk jonosfery.

W Rumunii prowadzono, podobnie jak w innych krajach, obserwację satelity KOSMOS-261. Program badań obejmował również pomiary pochłaniania fal radiowych w jonosferze.

Na Węgrzech obserwatoria geofizyczne wykonywały pionowe sondowania jonosfery, rejestrowały zakłócenia radiowe i nagłe zaburzenia jonosferyczne, mierzyły absorpcję jonosferyczną i prowadziły inne pomiary.

W ZSRR wykonywano na satelicie KOSMOS-261 pomiary elektronów i protonów o olbrzymich energiach. Obserwatoria polarne i stacje na dalekiej północy ZSRR wykonywały szeroki program badań zórz polarnych. Również prowadzono obserwacje świecenia nieba nocnego.

Różnorodny materiał, który uzyskano z wielu punktów naszej Ziemi, wymaga przeanalizowania przez uczestników biorących udział w tym pierwszym eksperymencie i wyciągnięcia wniosków.

Ukazała się już publikacja wydana przez Akademię Nauk ZSRR na temat wyżej omówionych skoordynowanych, z uwzględnieniem również naszego Obserwatorium, badań jonosfery [43].

Program wspólnych pomiarów wymienionych wyżej krajów przewidywał przeprowadzenie dalszych kompleksowych eksperymentów. Satelity te miały wmontowaną aparaturę naukową, wykonaną przez różne kraje uczestniczące w pomiarach.

W dniu 19.10.1968 r. umieszczono na orbicie okołoziemskiej satelitę INTERKOSMOS-1. Służył on badaniom krótkofalowego, rentgenowskiego i ultrafioletowego promieniowania Słońca i górnych warstw atmosfery. Aparaturę dla satelity zbudowano w NRD, Czechosłowacji i ZSRR. Między in-

nymi stwierdzono, że na wysokości około 100 km jest znacznie mniej tlenu niż dotychczas się przypuszczało.

W dniu 25.12.1969 r. wystartował satelita INTERKOMOS-2, który przeprowadzał eksperymenty w jonosferze. Chodziło o pomiary koncentracji elektronów i jonów, jak również stopnia koncentracji elektronów między satelitą i stacjami naziemnymi oraz temperatury w pobliżu satelity. Na pokładzie statku znajdowały się pułapki jonowe, sondy do pomiarów gęstości i temperatury elektronowej oraz nadajnik Majak. Aparaturę umieszczoną na satelicie opracowano w Bułgarii, NRD i ZSRR. W pomiarach brało udział, oprócz placówek zagranicznych i krajowych, również i nasze Obserwatorium w Miedzeszynie. Opracowanie wyników pozwoliło stwierdzić m.in., że wzdłuż orbity satelity temperatura elektronowa wahała się od 800° do 3000° Kelwina.

W dniu 7.8.1970 r. wprowadzony został na orbitę okołoziemską satelita INTERKOMOS-3, za pomocą którego uczeni radzieccy i czechosłowaccy przeprowadzili eksperyment związany z rejestracją fal niskiej częstotliwości. Stwierdzono (14 + 19.8.1970 r.) olbrzymie wybuchy słoneczne, którym towarzyszyło pojawienie się wokół Ziemi intensywnych strumieni protonów. Zauważono wówczas silne burze magnetyczne, zaburzenia w jonosferze i inne zjawiska geofizyczne.

Badania związane z lotem satelity prowadzono w Polsce w Centralnym Obserwatorium Geofizycznym PAN w Belsku.

W dniu 3.10.1970 r. został wystrzelony satelita INTERKOMOS-4. Była to udoskonalona wersja INTERKOMOSU-1. Aparatura zainstalowana na jego pokładzie wykonana została

przez specjalistów z ZSRR, CSRS i NRD. Głównym celem satelity była kontynuacja badań tej części promieniowania słonecznego, którą atmosfera nie przepuszcza do powierzchni Ziemi. Stwierdzono również, że na wysokości 100 km zawartość tlenu jest o wiele mniejsza niż przypuszczano dotychczas. Obserwacje INTERKOSMOSU-4 prowadzone były w Polsce, w Bułgarii, w Czechosłowacji, w NRD, w Rumunii, na Węgrzech i w ZSRR.

Poza wyżej omówionymi były umieszczane na orbicie okołoziemskiej jeszcze inne satelity. Obserwatorium Jono-sferyczne w Miedzeszynie brało udział w przeprowadzaniu skoordynowanych pomiarów za pomocą sondowania pionowego jonosfery podczas przelotów niektórych z tych obiektów kosmicznych.

Inne typy sztucznych satelitów Ziemi

Poniżej podane są również inne typy satelitów, które odegrały poważną rolę w badaniach jonosfery, warunków rozchodzenia się fal itp.

- Pierwszy w świecie radziecki satelita Ziemi (Sputnik I) (rys. 53) [29].

Niektóre dane:

Kształt kuli o średnicy	- 580 mm
Masa	- 83,6 kg
Anteny nadajników - 4 pręty o długości	- 2,4 m i 2,8 m.

Na pokładzie satelity umieszczono dwa nadajniki radio-

we pracujące na częstotliwościach 20,005 MHz i 40,002 MHz. Nadajniki te umożliwiły dokładniejsze zbadanie propagacji fal radiowych w jonosferze. Ponadto wybór długości fal (15 i 7,5 m) umożliwiał prowadzenie obserwacji radiowych satelity nie tylko przez specjalne stacje, ale również przez szerokie rzesze radioamatorów całego świata.

- Satelita FR1 - prod. francuskiej (rys. 54).

Niektóre dane:

Długość całkowita	- 1,8 m
Ciężar	- ok. 60 kg,
Anteny - 3 rodzaje:	- elektroniczna, magnetyczna, nadawcza

Satelita ten został przeznaczony do badania jonosfery, warunków rozchodzenia się fal, badania promieniowania kosmicznego, pól magnetycznych i grawitacyjnych itp., a także do pomiarów telemetrycznych. Umieszczony został na orbicie 800 + 1000 km.

- Satelita SPUTNIK III - prod. radzieckiej [29].

Satelita ten przeznaczony został do badań ciśnienia, jonowego składu atmosfery, koncentracji jonów dodatnich, natężenia pola elektrostatycznego i magnetycznego, natężenia promieniowania korpuskularnego Słońca itp.

- Satelita PROTON 1 - prod. radzieckiej [20].

Niektóre dane:

Perigeum	- 190 km
----------	----------

Apogeum	627 km,
Masa użyteczna	- 12,2 tony (bez ostatniego członu rakiety)

Zasadniczym celem wysłania satelitów tej serii było uzyskanie danych dotyczących podstawowych zagadnień z fizyki promieniowania kosmicznego o najwyższych energiach.

Pierwsza para satelitów ELEKTRON 1 i ELEKTRON 2 - prod. radzieckiej [20] - wystartowała 30.01.1964 r.

Niektóre dane satelity ELEKTRON 1:

Perigeum	- 406 km,
Apogeum	- 7.145 km,
Masa	- 1 tona.

Satelita ten został wyposażony również w przyrządy do rejestrowania promieniowania rentgenowskiego, wysyłanego przez Słońce w okresie wzrostów jego aktywności. Promieniowanie to o znacznym natężeniu towarzyszy tzw. rozbłyskom. Pomiar tego promieniowania dawał możliwość wykrycia głębszych związków między wzrostem aktywności słonecznej a zakłóceniami w górnej atmosferze Ziemi, a także możliwość określenia stopnia aktywności słonecznej.

Niektóre dane satelity ELEKTRON 2:

Perigeum	- 457 km
Apogeum	- 68.000 km
Masa	- 1 tona.

Oba satelity zawierają przyrządy do badania elektronów i protonów o różnej energii oraz mają dwa magnetometry do

pomiaru natężenia i kierunku pola magnetycznego. Do badania składu chemicznego górnej atmosfery służyły spektrometry masowe.

- Satelita S-66 - prod. USA [23]

Za pomocą tego satelity mogą być przeprowadzane pomiary gęstości elektronów w przestrzeni między nimi a Ziemią. Jednocześnie można wykonywać pomiary promieniowania słonecznego w celu określenia zależności między wielkością tego promieniowania a stopniem jonizacji warstw jonosferycznych. Badania dotyczą także wpływu wybuchów na Słońcu, rozkładu nieregularności tłumienia przez jonosferę fal radiowych w zakresie częstotliwości od 20 do 300 MHz.

8. NIEKTÓRE AKTUALNE POGLĄDY NA STRUKTURĘ JONOSFERY NA PODSTAWIE BADAŃ ZAGRANICZNYCH I POLSKICH

Jak już wspomniano, sondowanie jonosfery przez stacje naziemne oraz rakiety i sztuczne satelity Ziemi, wyposażone w skomplikowaną aparaturę pomiarową, dostarczają olbrzymi i cenny materiał umożliwiający rozszerzenie i pogłębienie naszej wiedzy o plazmie otaczającej Ziemię.

Stwierdzone, że poza jonosferą istnieje jeszcze olbrzymi obszar zjonizowany, zwany egzosferą, sięgający orientacyjnie do wysokości 10 promieni ziemskich (cała przestrzeń obejmująca jonosferę i egzosferę, dokąd sięga wpływ ziemskiego pola magnetycznego, nazywa się magnetosferą).

W tablicy 7 podane są niektóre parametry plazmy w jonosferze.

Do wysokości 100 km molekularny skład atmosfery zmienia się mało. Na wysokości około 100 km temperatura plazmy otaczającej Ziemi wynosi około 230° , na większych wysokościach wzrasta bardzo szybko do około 4 tysięcy stopni. Plazma w jonosferze, na wysokości około 100 km, jest jeszcze bardzo słabo zjonizowana, natomiast w egzosferze na wysokości około 3000 km jonizacja jej jest całkowita.

Prowadzenie pomiarów jonosfery metodą impulsową zmuszało do operowania pewnymi pojęciami, jak strefa martwa, odległość uskoku i maksymalna częstotliwość użytkowa (MUF).

Według ówczesnych pojęć radiokomunikacji nie można realizować na częstotliwościach większych od MUF lub kiedy jedna ze stacji korespondencyjnych jest w strefie martwej.

Nowsze badania zmusiły do rewizji dotychczasowych poglądów. Rozwinęła się bowiem teoria rozprożeń w jonosferze i powstały systemy wykorzystujące obecnie te rozproszenia od śladów meteorytów lub od zorzy polarnej dla celów radiokomunikacji w rejonach północnych i podbiegunowych. Rozproszenia zjawiają się także przy odbijaniu się fal radiowych od Ziemi (tzw. "backscatter", "efekt Kabanowa").

Na zmianę niektórych dotychczasowych poglądów na strukturę jonosfery również wpłynęły rezultaty badań prowadzonych, jak już wspomniano, przy użyciu rakiet i sztucznych satelitów Ziemi.

Według J.C. Seddona, przedstawiciela USA (Konferencja URSI w Londynie w 1960 r.), jonosfera nie jest złożona z

Niektóre parametry plazmy w jonosferze i egzosferze [24]

	Jonosfera							Egzosfera	
	100	200	300	400	500	700	1000	1000	1/3 - 4/R
Wysokość (km)									
Koncentracja cząstek neutralnych (cm ⁻³)	(2,5-4) · 10 ¹³	3 · 10 ¹⁰	3 · 10 ⁹	5 · 10 ⁸	5 · 10 ⁷	6 · 10 ⁶	10 ⁵	10 ⁵	?
Koncentracja elektronów, jonów (cm ⁻³)	(2-100) · 10 ³	(3-50) · 10 ⁴	(1-20) · 10 ⁶	(5-15) · 10 ⁵	(4-10) · 10 ⁵	10 ⁵	10 ⁵	10 ⁵	(3-5) · 10 ²
Temperatura w stopniach Kelvina	~ 230	450-800	1000	1500	1800	~ 2000	~ 3000	~ 3000	(5 · 10 ³)(?)
Długość drogi swobodnej cząstek neutralnych (cm)	10	8 · 10 ³	10 ⁵	7 · 10 ⁵	6 · 10 ⁶	5 · 10 ⁷	8 · 10 ⁸	8 · 10 ⁸	-
Długość drogi swobodnej elektronów (cm)	50	9 · 10 ³	7 · 10 ³	2 · 10 ⁴	4 · 10 ⁴	10 ⁵	8 · 10 ⁵	8 · 10 ⁵	3 · 10 ⁹
Liczba zderzeń między cząsteczkami neutralnymi (sek ⁻¹)	4 · 10 ³	9	0,9	~ 10 ⁻¹	~ 10 ⁻²	~ 10 ⁻³	~ 10 ⁻⁴	~ 10 ⁻⁴	~ 0
Liczba zderzeń elektronów z jonami i cząsteczkami neutralnymi (sek ⁻¹)	2 · 10 ⁵	2 · 10 ³	3 · 10 ³	10 ³	7 · 10 ²	2 · 10 ²	40	40	~ 10 ⁻²
Prędkość cieplna cząstek neutralnych, jonów (cm/sek)	4 · 10 ⁴	7 · 10 ⁴	9 · 10 ⁴	10 ⁵	1,4 · 10 ⁵	1,5 · 10 ⁵	2 · 10 ⁵	2 · 10 ⁵	~ 2,0 · 10 ⁶
Prędkość cieplna elektronów (cm/sek)	9,4 · 10 ⁶	1,5 · 10 ⁷	1,9 · 10 ⁷	2,2 · 10 ⁷	2,5 · 10 ⁷	2,9 · 10 ⁷	3,4 · 10 ⁷	3,4 · 10 ⁷	4,4 · 10 ⁷

poszczególnych warstw, a tworzy raczej kontinuum o prawie monotonicznym wzroście gęstości elektronowej z wysokością aż do maksimum gęstości jonizacji F₂; nie dotyczy to stosunkowo cienkich warstewek o dużych gradientach gęstości elektronowej. Te duże gradienty stwierdzono dzięki zastosowaniu rakiet między wysokościami 65 - 200 km ponad Ziemią. Nieraz gradienty te wynoszą nawet do 10^6 el/cm^3 na km. Te warstewki o dużych gradientach są stosunkowo cienkie i wynoszą tylko 10 + 100 m w obszarze D, a 200 + 2000 m w obszarze E.

Na ogół wzrost gęstości elektronowej w tych warstewkach nie jest większy od 20% w stosunku do gęstości elektronowej otoczenia; w warstwie E zauważono jednak dwa razy większy wzrost tej gęstości. Obserwuje się zjawisko tworzenia się dużych gradientów gęstości elektronowej na uprzywilejowanych wysokościach (85, 94, 100, 105, 111, 117 i 129 km). Bardzo często pomiędzy tymi obszarami występują odstępy sześciokilometrowe. Dzięki obserwacji smug gazów z rakiet, sztucznie wytwarzanych chmur sodowych oraz smug meteorowych, stwierdza się tę właśnie sześciokilometrową różnicę pomiędzy prądami wiatrów. Uważa się, że te gradienty gęstości elektronowej są związane z gradientem wiatrów atmosferycznych. Przeprowadzone pomiary przy użyciu rakiet zawsze wskazywały, że warstwa E jest obszarem o dużym gradiencie gęstości elektronowej, rozciągającej się znacznie w poziomie.

Przeprowadzone pomiary gęstości elektronowej w nocy dowiodły, że w nocnej jonosferze występuje tylko nieznaczna jonizacja poniżej obszaru F; nie dotyczy to jonizacji sporadycznej E_s, która jest duża, ale zajmuje cienki ob-

szar. Uzyskane wyniki z obserwacji w Arktyce pozwoliły ustalić, że o ile w cienkich warstwach sporadycznych prawie nie zmieniają się maksymalne gęstości elektronowe, to jednak istnieją znaczne zmiany czasowe gradientów gęstości elektronowej po obu stronach warstw [24].

Według J.B. Gregory odstęp pomiędzy warstewkami nie zawsze wynosi 6 km [24]. Według Titheridge'a uwarstwienia w obszarze D znajdowały się w odstępach 10 km [24].

Interesujące również informacje dostarczył satelita ALOUETTE. Między innymi okazało się, że wysyłane przez niego fale mogą rozchodzić się wzdłuż linii pola magnetycznego w okolicach ponadrdźnikowych, odbijających się na obu końcach swego toru.

Należy również podkreślić, że ostatnio nastąpił na świecie ponowny wzrost zainteresowań badaniami nad rozchodzeniem się fal bardzo długich. Między innymi pozwoli to uzyskać szersze informacje o strukturze dolnej części jonosfery, a mianowicie warstwy D.

Nawiązując do prowadzonej w Polsce działalności w zakresie badań środowiska rozchodzenia się fal elektromagnetycznych, w szczególności jonosfery, podkreślić należy osiągnięcia polskie.

Z prac teoretycznych znane są na przykład opracowania o przewidywaniu burz jonosferycznych i zakłóceń radiokomunikacyjnych [26], dyspersja fal w ośrodkach zjonizowanych; zjawisko świstów [39], fale uderzeniowe w ośrodkach zjonizowanych [40], rozchodzenie się fal w ośrodkach anizotropowych warstwowo niejednorodnych oraz obliczanie współczynnika odbicia od jonosfery żyrotropowej [41], zba-

danie rozkładu promieniowania jonizującego na tarczy słonecznej [33] i [34] i inne.

Do poważnych osiągnięć należy zaliczyć wykrycie [42] m.in. nowego mechanizmu dalekosiędnego rozchodzenia się fal jonosferycznych, a mianowicie propagacji rykoszetowej bez pośrednictwa odbić od Ziemi (tzw. "szepczącej galerii"). Odbywa się to dzięki strukturze jonosfery. Przeprowadzone badania podczas MRG, na wyprawach podbiegunowych i do Wietnamu, oraz z okazji obserwacji sztucznych satelitów Ziemi potwierdziły występowanie wspomnianego mechanizmu rozchodzenia się fal. Badania tego typu mają doniosłe znaczenie w sensie wykorzystania dla komunikacji radiowej fal o częstotliwości przewyższającej do dwóch razy częstotliwość wyznaczoną przez MUF. Należy tu nadmienić, że odnośnie "szepczącej galerii" prowadzone były również badania za pomocą amerykańskiego sztucznego satelity OV 4-1 T (wystrzelonego w dniu 3.11.1966 r.).

W okresie MRG zapoczątkowane zostało badanie ech radiowych [42]. Wynikiem tych prac jest wykrycie samoczynnych wzmocnień radiowych w jonosferze, egzosferze i dalszej przestrzeni kosmicznej. Osiągnięcia te umożliwiły opracowanie w Polsce nowej metody sondowania egzosfery z wykorzystaniem wzorcowych sygnałów czasu, nadawanych przez różne radiostacje światowe (w pracach tych uczestniczyli częściowo pracownicy naszego Obserwatorium [37]).

W okresie swego istnienia, tj. w latach 1958-1971, Obserwatorium Jonosferyczne prowadzi podstawowe i usługowe prace dla potrzeb krajowych i światowych. Działalność ta obejmuje głównie niżej wymienioną problematykę.

1. Prowadzona jest stała obserwacja jonosfery za pomocą stacji jonosferycznej; wykonano dotychczas około 1.300.000 pomiarów jonosferycznych.

2. Regularnie są przesyłane bezpośrednio lub pośrednio wyniki pomiarów jonosfery (sprawozdania, biuletyny) do Światowych Centrów Danych w Moskwie (ZSRR), w Boulder (USA), w Slough (Wielka Brytania) i w Tokio (Japonia).

Poza tym biuletyny międzeszyńskie otrzymują w drodze wymiany zainteresowane instytucje w Świacie (35 państw - - 48 adresatów zagranicznych) oraz w Polsce (16 adresatów).

Wyniki naszych badań są wykorzystywane w skali światowej do opracowań podstawowych prognoz propagacji fal przez poszczególne Centra Światowe oraz do prac naukowych przez różne instytucje krajowe i zagraniczne (np. przez Europejską Grupę Regionalną Badań Jonosferycznych - w 1971 r.).

3. Wyznacza się operatywnie zaburzenia jonosferyczne.

4. Sporządzane są prognozy długoterminowe propagacji fal jonosferycznych dla obszaru Polski oraz organizuje się operatywne korygowanie na podstawie aktualnego stanu jonosfery.

5. Obserwatorium brało udział w organizowanych międzynarodowych badaniach naukowych, jak Międzynarodowy Rok Geofizyczny, Międzynarodowa Współpraca Geofizyczna, Międzynarodowe Lata Spokojnego Słońca.

6. Pracownik Obserwatorium brał udział w wyprawie nau-

kowej na Spitzbergen dla prowadzenia badań jonosferycznych i zakłóceń atmosferycznych.

7. Również brano udział w pracach związanych z badaniami magnetosfery (współpraca IL - PAN), a mianowicie:

- poszukiwanie korelacji występowania ech egzosferycznych ze zjawiskami kosmicznymi na podstawie polskich materiałów pomiarowych (1964 r.);
- odtwarzanie ech egzosferycznych z zapisu magnetycznego na zapis fotograficzny zarejestrowanego na stacji Mołodiożnaja na Antarktydzie w okresie I kwartału 1966 r.

8. W okresie MRG podawano codziennie aktualny stan jonosfery nad Polską do wiadomości w Programie I Polskiego Radia. Poza tym bieżące dane jonosferyczne były dostarczane dorywczo dla potrzeb zainteresowanych instytucji.

9. Brano udział w konferencjach międzynarodowych w Warszawie, Moskwie, Sofii. Współpraca ta umożliwiła nam w ciągu ostatnich lat zapoznanie się z aktualnym stanem jonosfery, usprawnienie pracy jonosond i udoskonalenie interpretacji jonogramów.

10. Uczestniczono w seminariach krajowych - w Belsku [48], w Kazimierzu Dolnym oraz zagranicznych - w Simferopolu (ZSRR) i w Kühlungsborn (NRD).

Oprocz wyżej wymienionych prac do ważniejszych opracowań należy zaliczyć: zachowanie się warstw jonosferycznych E i F2 podczas zaćmienia słonecznego w dniu 15.2. 1961 r. i identyfikacji źródeł skoncentrowanego promienio-

wania jonizującego na Słońcu [33],[34], gęstości elektronowej jonizacji E sporadycznej jonosfery nad Miedzeszynem [35], zmiany rozproszenia fal radiowych w obszarze F jonosfery nad Miedzeszynem [36].

Prace te zostały oparte na materiale uzyskanym podczas pionowych sondowań jonosfery za pomocą naszej stacji jonosferycznej typu AIS.

W pracy [33] zbadano szczegółowo zachowanie się warstwy jonosferycznej E obserwowanej w Warszawie (Miedzeszyn) podczas zaćmienia słonecznego w dniu 15.2.1961 r.

W pracy [34] omówiono wyniki poczynionych obserwacji odnoszących się do obszaru F podczas wyżej wspomnianego zaćmienia słonecznego.

Praca [35] dotyczy badań gęstości elektronowej jonizacji E sporadycznej jonosfery nad Miedzeszynem.

W pracy zbiorowej [36] zbadano zmiany rozproszenia fal radiowych w obszarze F jonosfery nad Miedzeszynem.

Tak się złożyło, że w ciągu pierwszych 11 lat (1958 - 1968) swej pracy, a więc w czasie trwania jednego cyklu aktywności słonecznej, Obserwatorium Jonosferyczne w Miedzeszynie prowadziło badania jonosfery od dołu, a więc do maksimum jej gęstości elektronowej.

Drugi, 11-letni cykl tej aktywności, rozpoczął się (1969 r.) skoordynowanymi badaniami jonosfery przez naszą i inne stacje naziemne ze sztucznymi satelitami Ziemi, prowadzącymi pomiary, jak wiadomo, powyżej wspomnianej gęstości elektronowej. W ten sposób została usunięta luka w dotychczasowym poznawaniu atmosfery.

Tak więc, pomiary jonosferyczne prowadzone przez nas

w pierwszym cyklu słonecznym przekształciły się w drugim cyklu słonecznym w ogólne badania magnetosfery.

x x x

Na zakończenie pragnę podziękować Panu prof. Stefanowi Jasińskiemu za napisanie wstępu do niniejszej pracy oraz Kolegom z Zakładu Propagacji Fal Radiowych za życzliwą pomoc w realizacji niektórych fragmetów tematu, jak również Panu Dyrektorowi mgr inż. Jerzemu Rutkowskiemu i Panu spn-b. mgr inż. Władysławowi Cetnerowi za cenne uwagi w czasie ostatecznego redagowania tekstu tej pracy.

WYKAZ LITERATURY

1. Rutkowski J.: Systemy łączności satelitarnej. Biul. tech. MŁ 1970 nr 1, s. 1-11.
2. World Data Centre C1 Ionosphere. Catalogue of Data 1.VII.57-31.XII.1969. Slough, England: RSRS.
3. Kalisiak Cz.: Międzynarodowy Rok Geofizyczny początkiem polskich badań jonosfery za pomocą sondowań pionowych. Krótkofalowiec pol. 1960 cz. I nr 3, s. 9-12, 21-23 cz. II nr 4, s. 13-14, 19-23.
4. Burgees E.: Frontier to space. London. Chapman & Hall 1955. Tłum. Thor I.: U progu przestrzeni międzyplanetarnej. Warszawa PWT 1957.
5. Chapman S.: IGY: Year of discovery. The University of Michigan Press, 1959. Tłum. Kozłowski M.: Międzynarodowy Rok Geofizyczny. Warszawa PWN 1962.

6. Osnovy dolgosrocnogo radioprognozirovanija. Oprac. Żulina E.M. i in. Mockva 1969. Nauka.
7. Borowski S.: Rozchodzenie się fal elektromagnetycznych w jonosferze, Pr. IL 1959 t. 6 nr 3/16/, s.140
8. Al'pert J.L.: Rasprostranenie radiovoln i ionosfera. Mockva 1960 Izdat. Akad. Nauk SSSR.
9. Żołnowska H.: Sposób redukcji jonogramów z wysokości pozornych na wysokości rzeczywiste metodą Schmerlinga. Pr. IL 1960 t. 7 nr 4/21/, s. 93-106.
10. Doluchanov M.P.: Rasprostranenie radiovoln, Mockva Svjaz'izdat 1960. Tłum. Węgrowicz L.: Rozchodzenie się fal radiowych Warszawa PWN 1965.
11. Tor B.: Automatyczne urządzenia do sondowania jonosfery. Pr. IL 1958 t. 4 nr 3/9/, s. 35-55.
12. Techniceskoe opisanie avtomaticeskoj ionosfernoj stancii "AIS". Mockva 1957.
13. Ionospheric recorder instruction manual, Radio Research Station Slough England. Tłum. Rogiński R.: Jonosonda typu N.P.L. MK.II, Warszawa IL 1958.
14. Ionospheric recorder model C-4. Barker i Willamson, Inc., Pensylwania, USA.
15. Ionosonde model 8000. EMI-Cossor Electronics LTD, Nova Scotia.
16. Specifications VIS-1 Vertichirp Sounder Barry Research, Palo Alto, California USA.

17. Hahn S.: Podstawy radiokomunikacji. Warszawa WKiŁ 1969.
18. Lisicki W.: Propagacja fal radiowych. Warszawa WKiŁ 1962.
19. Manual on ionospheric vertical soundings for the International Geophysical Year. Oprac. Wright J.W., Knecht R.W., Davies K. Boulder Co. USA. Nat. Bureau of Standards 1956. Tłum. Rukowodstwo po vertikal'nomu zondirovaniju ionosfery. Moskwa. Izdat. Akad.Nauk SSSR 1957.
20. Wołczek O.: Na szlakach układu słonecznego. Warszawa. WNT 1968.
21. Piggott W.R.: URSI Handbook of Ionogram Interpretation and Reduction. Amsterdam. Elsevier 1961.
22. Piotrowski S.: Burze w plazmie okołoziemskiej. Problemy 1969 nr 7, s. 433-436.
23. Zygierewicz J.: Kosmiczna łączność radiowa. Warszawa. MON 1964.
24. Manczarski S.: Aktualne poglądy na strukturę jonosfery i magnetosfery. W: Rozchodzenie się bardzo długich fal. Warszawa. Pol. Akad. Nauk 1966, s. 230-271.
25. Jasiński S., Borowski S.: Pionowe sondowanie jonosfery. W: Rozchodzenie się bardzo długich fal. Warszawa. Pol. Akad. Nauk 1966, s. 272-320.
26. Jasiński S.: Obecny stan przewidywania burz jonosferycznych i zakłóceń radiokomunikacyjnych. Pr.IL 1958 t. 5 nr 1/10/, s. 47-95.

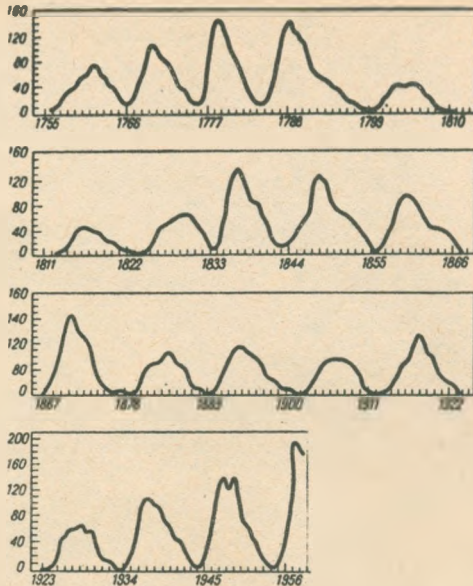
27. Electron density distribution in ionosphere and exosphere. Proceedings of the NATO Adv. Study Inst. Skeikampen, Norway, 17-26 April 1963. Amsterdam: North-Holland Publ. Co 1964. Tłum. Elektronnaja koncentracija v ionosfere i ekzosfere. Moskwa. Mir 1966.
28. Elsztein P.: Rakiety sondujące atmosferę. Warszawa. WNT 1969.
29. Aleksandrow S.G., Fiedorow R.E.: Sowieckije sputniki i kosmiczeskije karabli. Moskwa. Izd. Akad. Nauk SSSR 1961. Tłum. Jodłowski W., Wojciechowski B.: Radzieckie sztuczne satelity i statki kosmiczne. Warszawa. PWN 1964.
30. Podręcznik do pionowego sondowania jonosfery. Cz. I t. 1 i t. 2. Oprac. Kowalski W. Warszawa. IL 1962.
31. Molozzi A.R.: Instrumentation of the Ionospheric Sounder contained in the satellite 1962 Beta Alpha (ALOUETTE). Ottawa. Defence Research Telecommunications Establishment 1963.
32. Ionospheric Data. Ottawa: Defence Research Board 1962 - biuletyn. Kosmonautyka - Ilustrowana Encyklopedia dla wszystkich. WNT 1971.
33. Jasiński S.: Zachowanie się warstwy jonosferycznej E obserwowane w Miedzeszynie (Warszawa) podczas zaćmienia słonecznego w dniu 15 lutego 1961 r. Pr.IL 1962 t. 9 nr 2/27/, s. 23-39.
34. Jasiński S.: Zachowanie się warstwy jonosferycznej

F2 podczas zaćmienia słonecznego z dn. 15 lutego 1961. Pr. IŁ 1968 t. 15 nr 1/49/, s. 3-16.

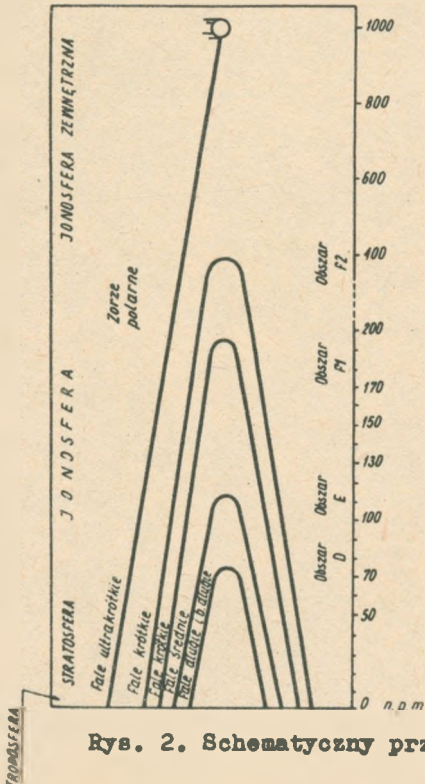
35. Rau R.: Gęstość elektronowa jonizacji E spradycznej jonosfery nad Miedzeszynem. Pr. IŁ 1967 t. 14 nr 2/46/, s. 35-57.
36. Borowski S., Jasiński S., Kalisiak Cz., Rau R.: Nocne i sezonowe zmiany rozproszenia fal radiowych w obszarze F jonosfery. Pr. IŁ 1966 t. 13 nr 1/41/, s. 23-40.
37. Borowski S., Kalisiak Cz., Rau R.: Badanie ech egzosferycznych w Międzynarodowym Roku Spokojnego Słońca. Zestaw do badania ech (radioech) egzosferycznych. Warszawa. IŁ 1969.
38. Molski J.: Niektóre badania magnetosfery prowadzone pod kątem rozszerzenia możliwości planowania radiowych łączy krótkofalowych. Warszawa. PWN 1970.
39. Turski A.: Dyspersja fal w ośrodkach zjonizowanych. Zjawisko Świstów. W: Rozchodzenie się bardzo długich fal. Warszawa. Pol. Akad. Nauk 1966, s. 166-193.
40. Bochenek K.: Fale uderzeniowe w ośrodkach zjonizowanych. W: Rozchodzenie się bardzo długich fal. Warszawa. Pol. Akad. Nauk 1966, s. 77-96.
41. Przeździecki S.: Rozchodzenie się fal w ośrodkach anizotropowych warstwowo niejednorodnych oraz obliczanie współczynnika odbicia od jonosfery żyotropowej. W: Rozchodzenie się bardzo długich fal. Warszawa. Pol. Akad. Nauk 1966, s. 97-125.

42. Manczarski S.: Badanie propagacji fal radiowych w okresie, XX-lecia PRL. Biul. Inf. Komit. Międzyn. Współpr. Geof. PAN 1964 t. 4 nr 1/30/, s. 13.
43. Mezdunarodnye koordinirovannye izmerenija geofiziceskich efektov solnečnoj aktivnosti v verchnej atmosphere. Oprac. Bence P. i in. Geomagnetizm i aeronomija 1971 t. 11 nr 1, s. 23-28.
44. Charakterystyki jonosferyczne. Zbiór aktualnie dostępnych materiałów wydanych przez CCIR oraz Akademię Nauk i Ministerstwo Łączności ZSRR. Tłum. i opr. Borowski S. i Kalisiak Cz. Warszawa. ML - Komis Nauk d.s. CCIR i OIRT 1967.
45. Borowski S., Kalisiak Cz.: Atlas CCIR charakterystyk jonosferycznych, Oslo, 1966. Wytyczne do wykorzystania Atlasu. Warszawa. ML - Komis Nauk d.s. CCIR i OIRT 1968.
46. Borowski S., Kalisiak Cz.: Atlas charakterystyk jonosferycznych. CCIRDodatki 1 - 5. Warszawa. ML - Komis Nauk d.s. CCIR i OIRT 1970.
47. Kalisiak Cz.: Omówienie przebiegu sondowań zsynchronizowanych z przelotem satelity KOSMOS 261 z punktu widzenia organizacyjnego oraz wstępna ocena wyników badań w celu przedstawienia na sympozjum w Kühlungsborn. Warszawa. IŁ 1969, s. 30.
48. Kalisiak Cz.: Pionowe sondowanie jonosfery. Referat na seminarium w Centralnym Obserwatorium Geofizycznym Polskiej Akademii Nauk w Belsku, 1971. Warszawa. IŁ 1971, rękopis.

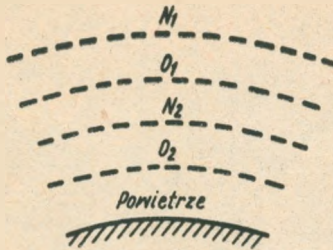
49. Kalisiak Cz.: Prognoza propagacji fal w dnie jonosferycznie spokojne. Warszawa. IŁ 1970.
50. Kalisiak Cz.: Zestawienie symboli szacunkowych i opisowych oraz wskazówki ich użycia przy opracowywaniu wyników pionowego sondowania jonosfery. Warszawa. IŁ 1961, s. 41.
51. Kalisiak Cz.: Obserwatorium Jonosferyczne w Miedzeszynie. Biul. Tech. MŁ 1962 nr 5, s. 2-5.



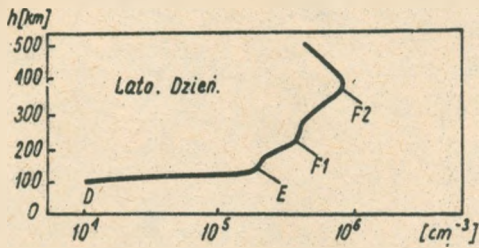
Rys. 1. Średnie roczne wartości liczb, które przyporządkowuje się powierzchni plam i ich ilości w danym dniu



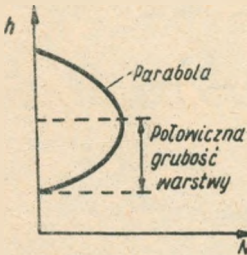
Rys. 2. Schematyczny przekrój atmosfery ziemskiej



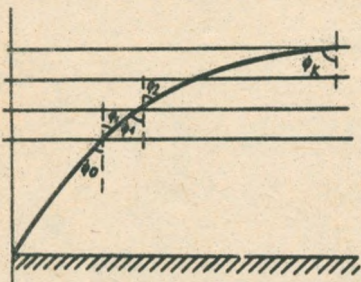
Rys. 3. Schemat składu chemicznego warstw atmosferycznych



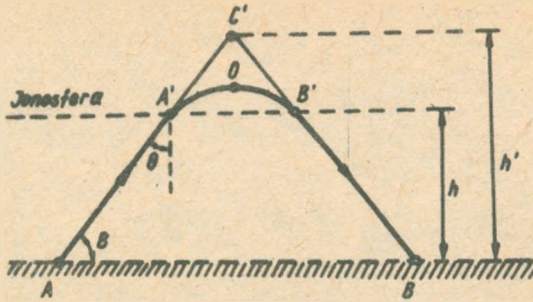
Rys. 4. Przykład rozkładu gęstości jonizacji (N) w zależności od wysokości (h)



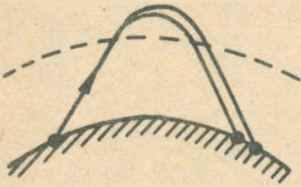
Rys. 5. Paraboliczna warstwa jonosferyczna i jej grubość



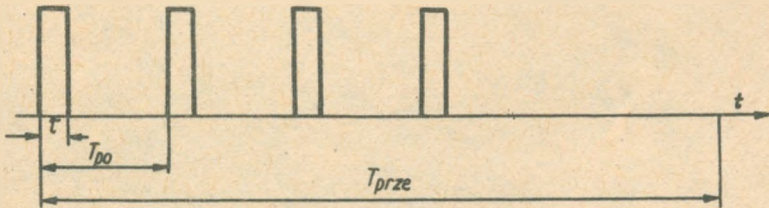
Rys. 6. Droga fali w środowisku uwarstwionym



Rys. 7. Droga promienia odbitego od jonosfery przy wysłaniu go z powierzchni Ziemi pod kątem β



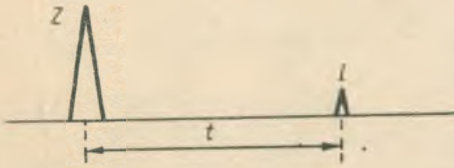
Rys. 8. Rozszczepienie się fal pod wpływem ziemskiego pola magnetycznego



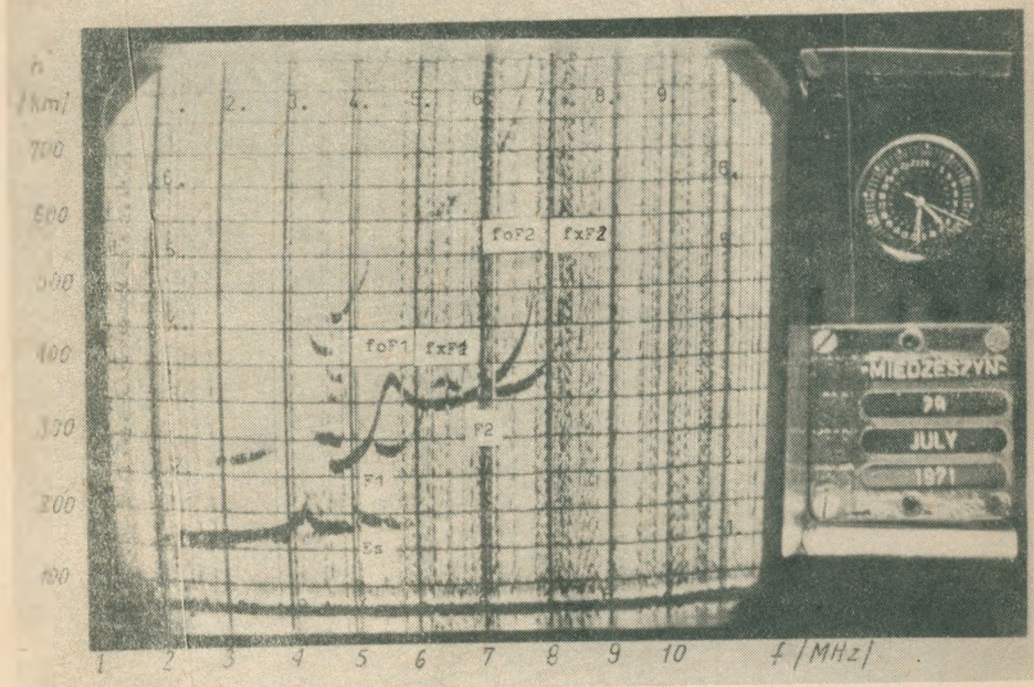
Rys. 9. Przebieg impulsów modulujących w czasie
 τ - czas trwania impulsu, T_{po} - okres powtarzania, T_{prze} - czas
 przeimpulsowania całego zakresu częstotliwości



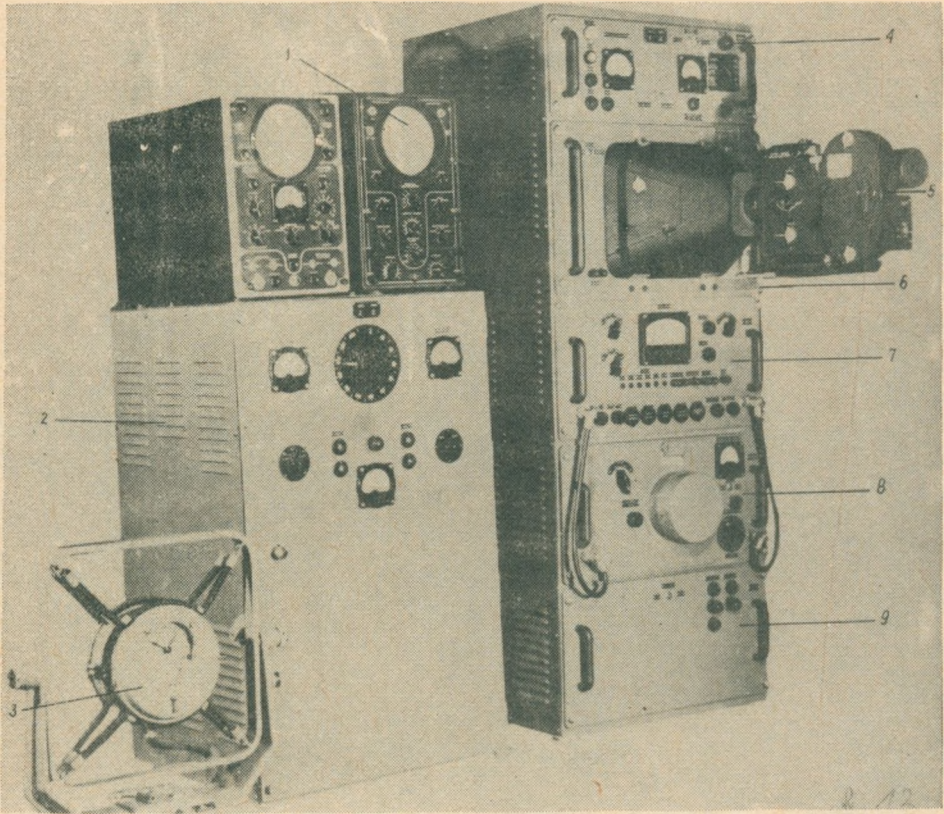
Rys. 10. Przebieg prądu w.cz. na wyjściu nadajnika



Rys. 11. Schemat impulsu sondującego Z i echa jonosferycznego I przy sondowaniu pionowym

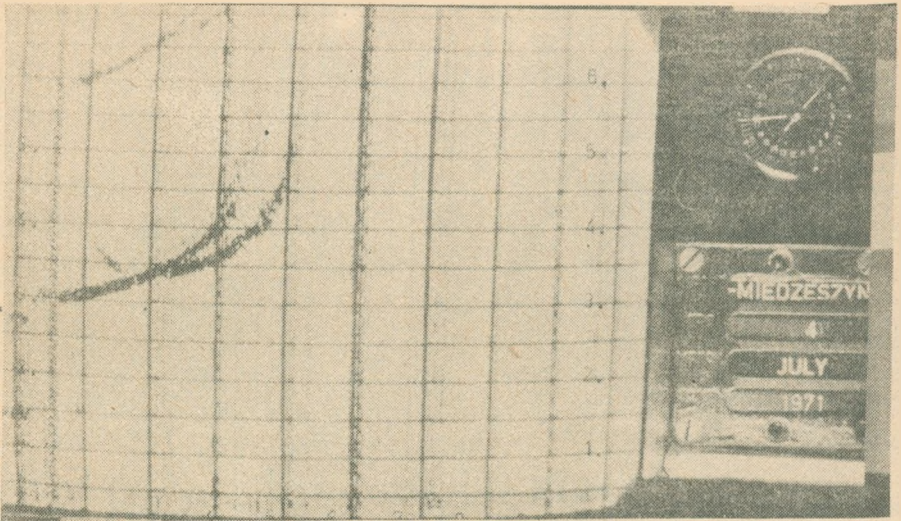


Rys. 12. Wysokościowo-częstotliwościowa charakterystyka jonosfery (h'f) (przykład)

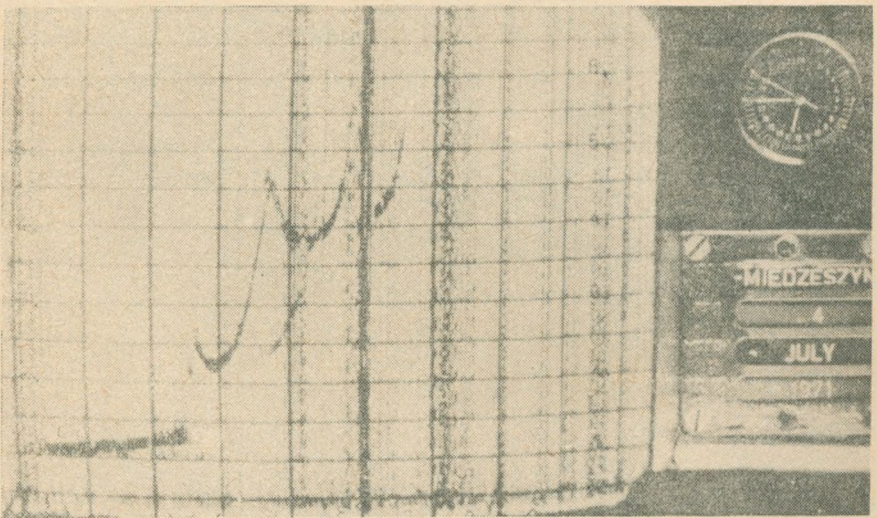


Rys. 13. Szybkobieżna jonosonda typu AIS

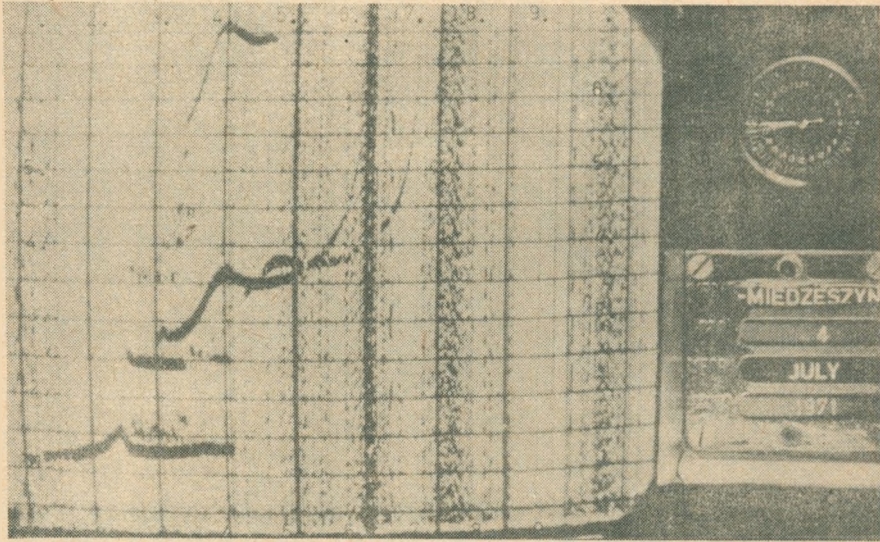
- 1 - oscylograf (wskaźnik typu A); 2 - stojak stabilizatorów;
 3 - zegar uruchamiający; 4 - blok zasilania i pomiarów; 5 - kamera fotograficzna;
 6 - blok wskaźnika z lampą oscylograficzną;
 7 - blok układów odchylenia; 8 - blok odbiornika i nadajnika;
 9 - blok zasilania



Rys. 14. Jonogram nocny jonosondy szybkobieźnej typu AIS
 Miedzeszyn, 4.07.1971, 02^h44^m
 $f_{min} - 1,6 \text{ ES}$; $h'F - 295 \text{ ES}$; $foF2 - 4,5 \text{ F}$

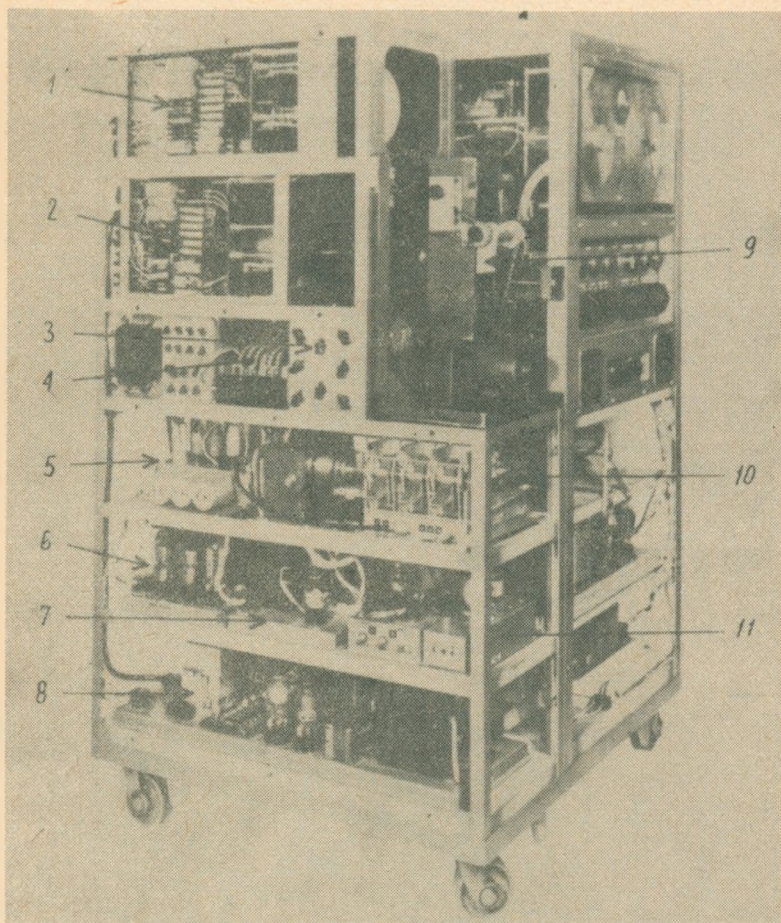


Rys. 15. Jonogram dzienny jonosondy szybkobieźnej typu AIS
 Miedzeszyn, 4.07.1971, 12^h45^m
 $f_{min} - 1,3 \text{ S}$; $h'E - 101$; $foE - 3,45 \text{ R}$; $h'F - 210 \text{ H}$; $foF1 - 4,8$;
 $h'F2 - 370$; $foF2 - 5,9$



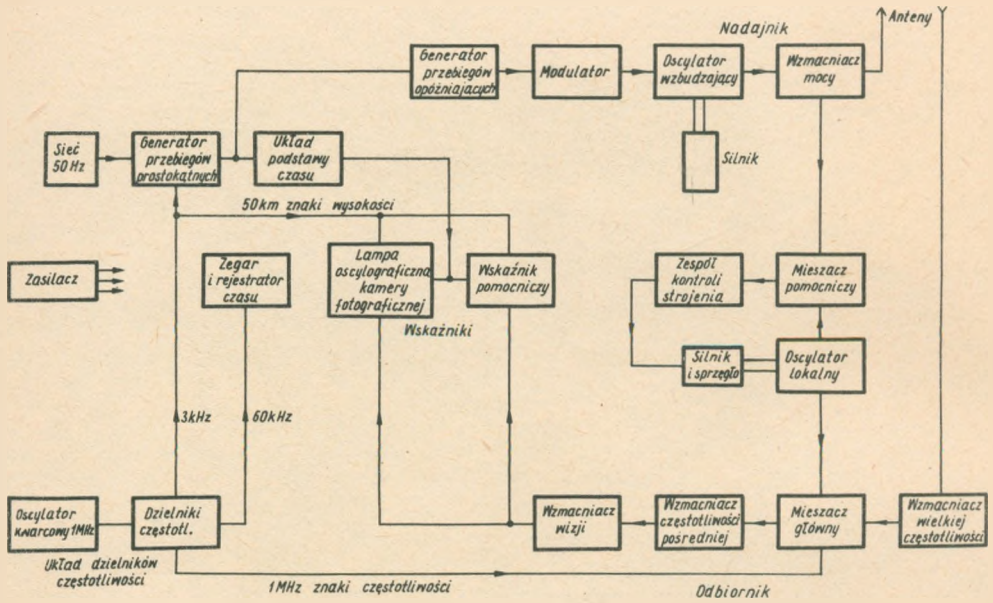
Rys. 16. Jonogram dzienny jonosondy szybkobieżnej typu AIS
Miedzeszyn, 4.07.1971, 17^h45^m

$f_{min} - 1,0$; $h'E - 105$ H; $f_oE - 2,45$ A; $h'Es - 123$; $f_bEs - 3,0$;
 $f_oEs - 3,4$; typ Es - c; $h'F - 270$ UA; $f_oF1 - 4,0$; $h'F2 - 345$;
 $f_oF2 - 6,0$

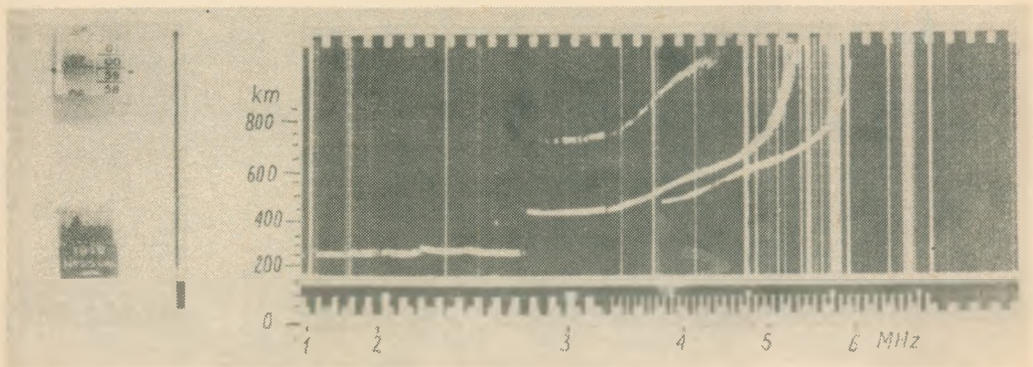


Rys. 17. Część odbiorcza wolnobieżnej jonosondy typu N.P.L. MK.II

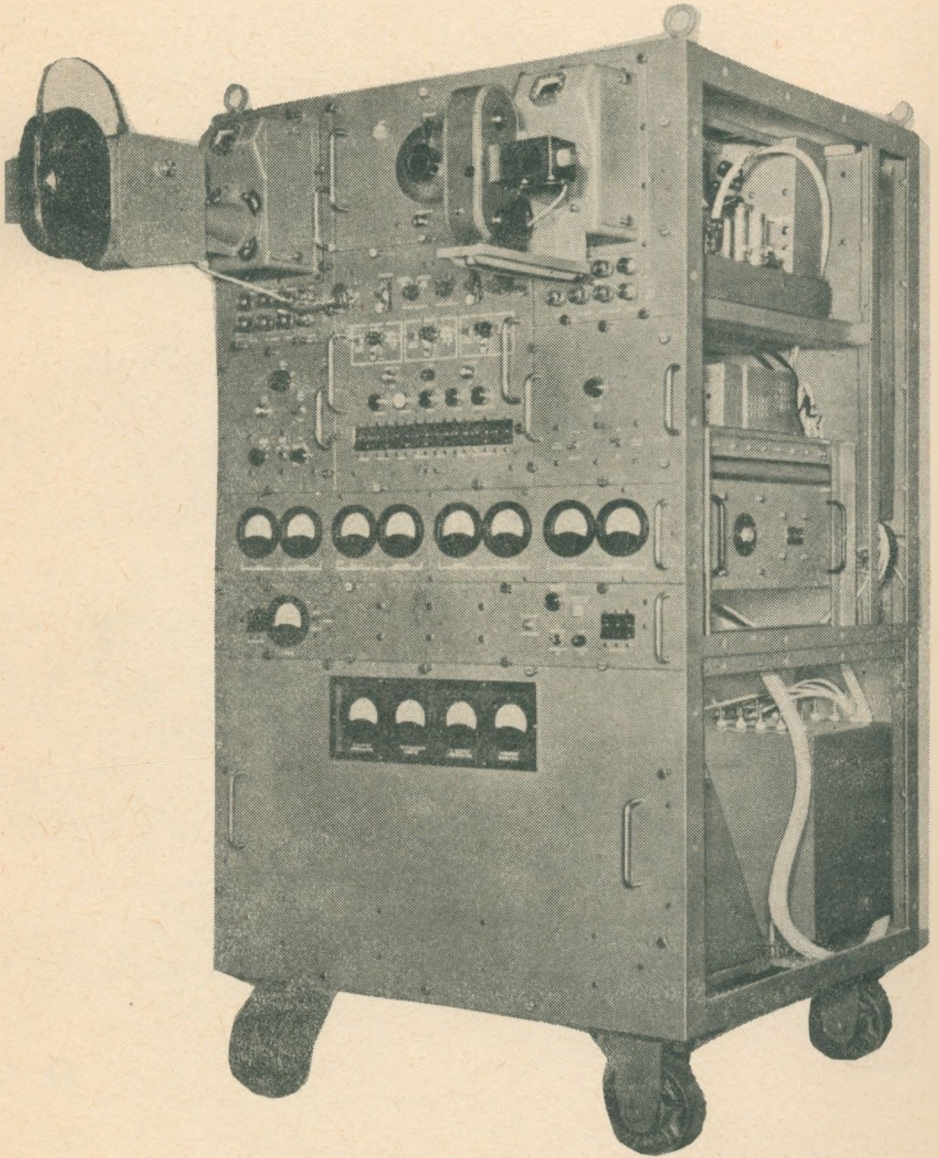
1 - blok lampy do obserwacji wizualnej, 2 - blok lampy do rejestracji fotograficznej, 3 - regulator wzmacnienia, 4 - układ programujący, 5 - wzmacniacz p.cz., 6 - zasilacz odbiorn., 7 - zasilacz układu dostrajania, 8 - zasilacz lamp oscylograficznych, 9 - kamera fotograficzna, 10 - wzmacniacz 1 stopień przemiany, 11 - układ dostrajania



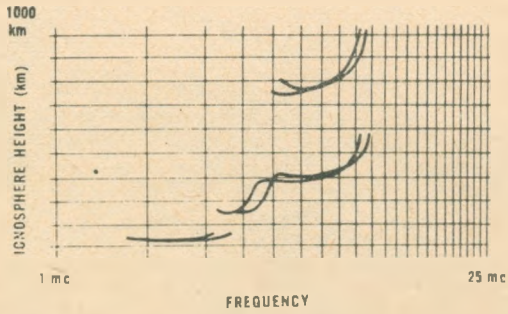
Rys. 18. Schemat blokowy wolnobieźnej jonosondy typu N.P.L. MK.II



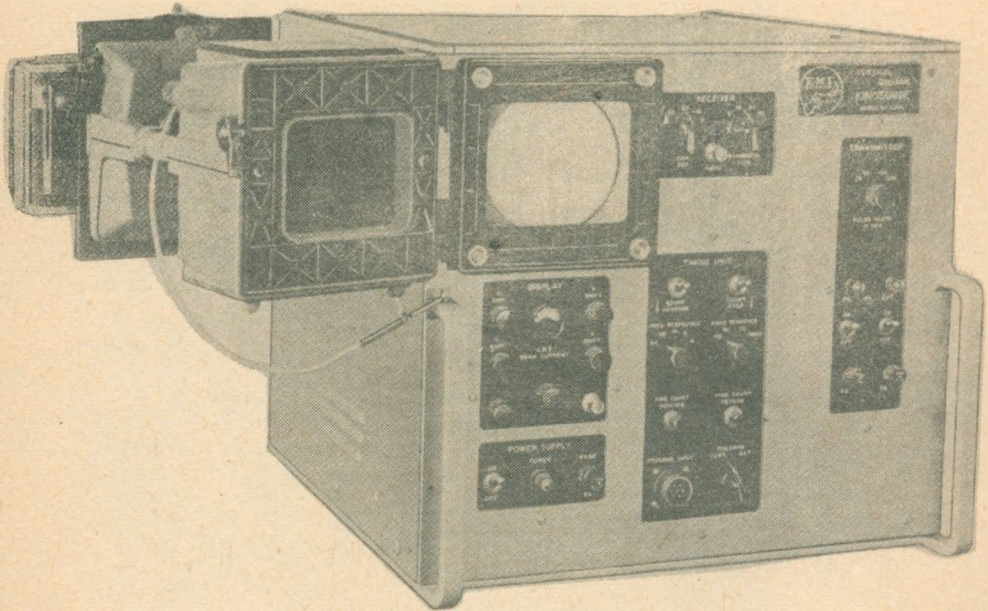
Rys. 19. Jonogram dzienny jonosondy wolnobieźnej. Radiowa stacja
Badawcza w Slough
(Radio Research Station), 23.10.1958, 06^h59^m



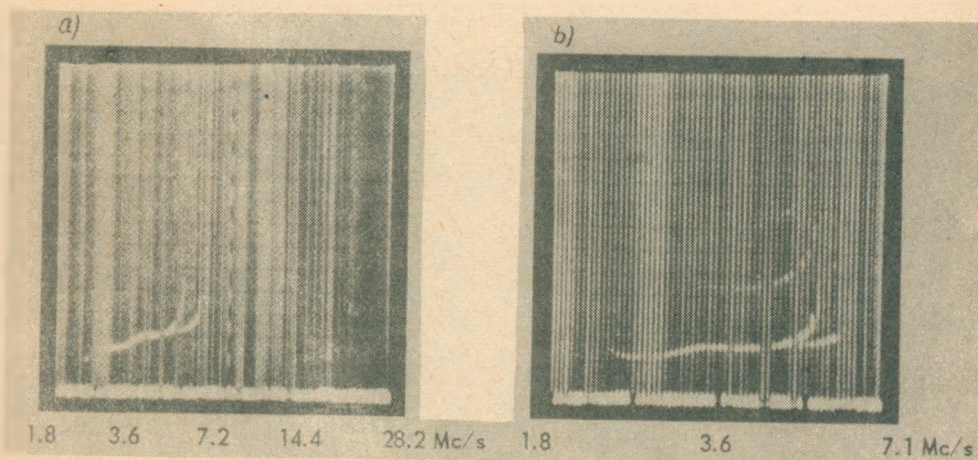
Rys. 20. Jonosonda typu C-4



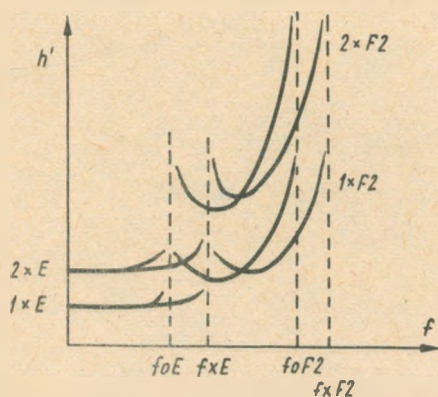
Rys. 21. Jonogram uzyskany za pomocą jonosondy typu C-4



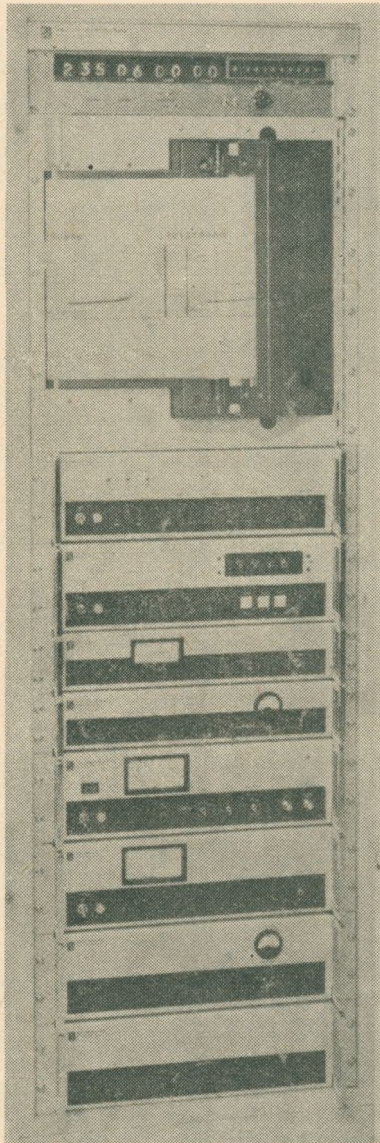
Rys. 22. Jonosonda model 8000



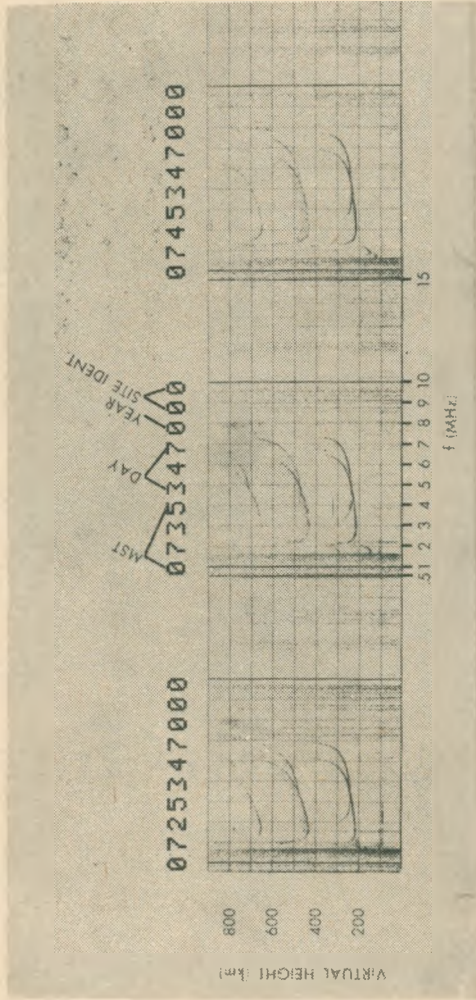
Rys. 23. Jonogramy uzyskane za pomocą jonosondy model 8000:
 a) Halifax, 16^h25^m AST 11.03.1963 r., b) Halifax, 16^h50^m AST
 11.03.1963 r.



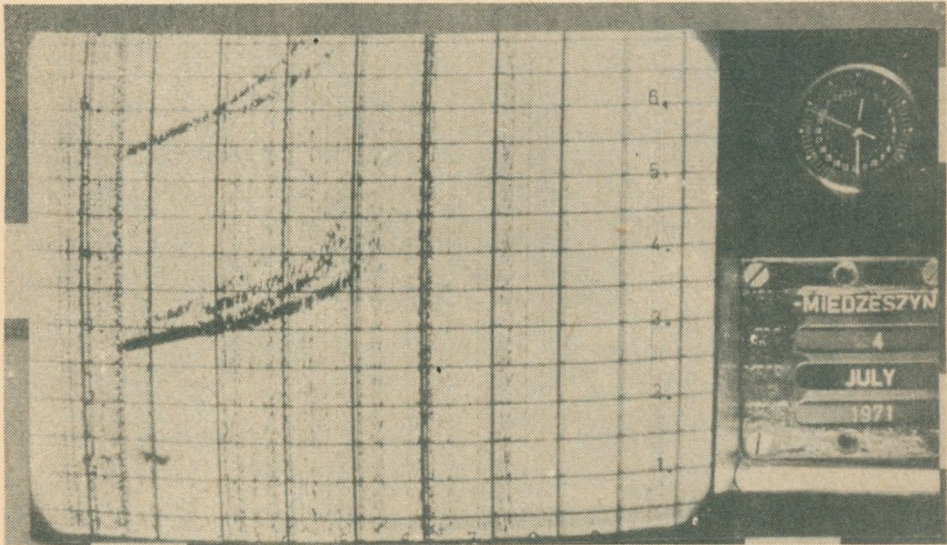
Rys. 26. Idealny jonogram reprezentujący dwukrotne odbicie warstw
 E i F2



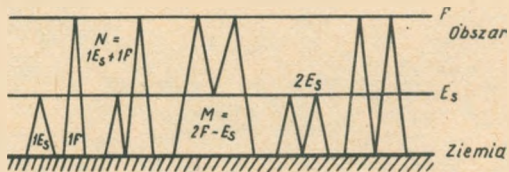
Rys. 24. Jonosonda typu VIS - 1



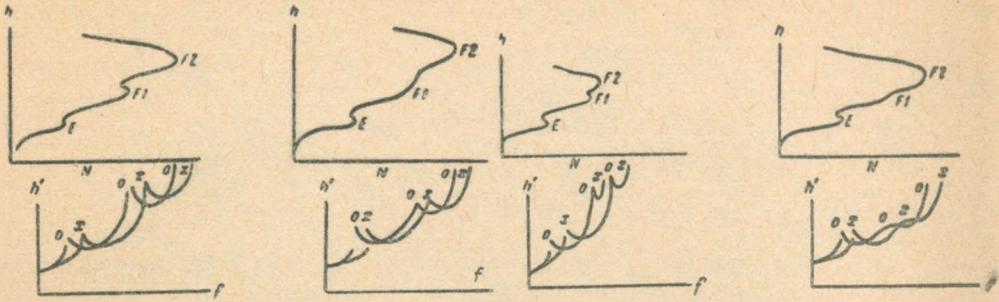
Rys. 25. Jonogramy jonosondy typu VIS - 1
Boulder, Colorado, grudzień 1970 r.



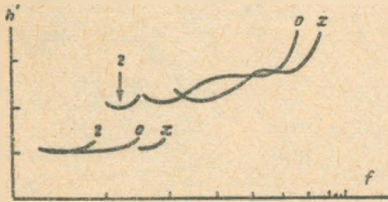
Rys. 27. Przykład odbicia dwukrotnego (dodatkowo widoczne odbicia ukośne)
Miedzeszyn, 4.07.1971 r. 00^h 30^m



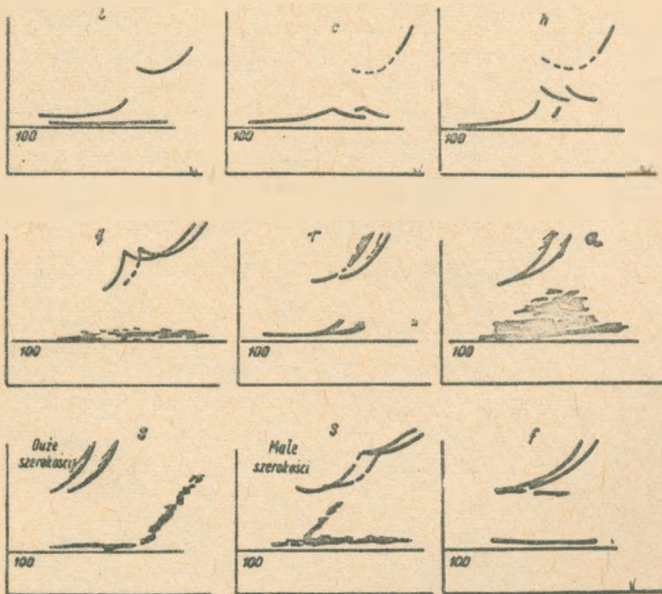
Rys. 28. Trasy promieni odpowiadające odbiciom M i N



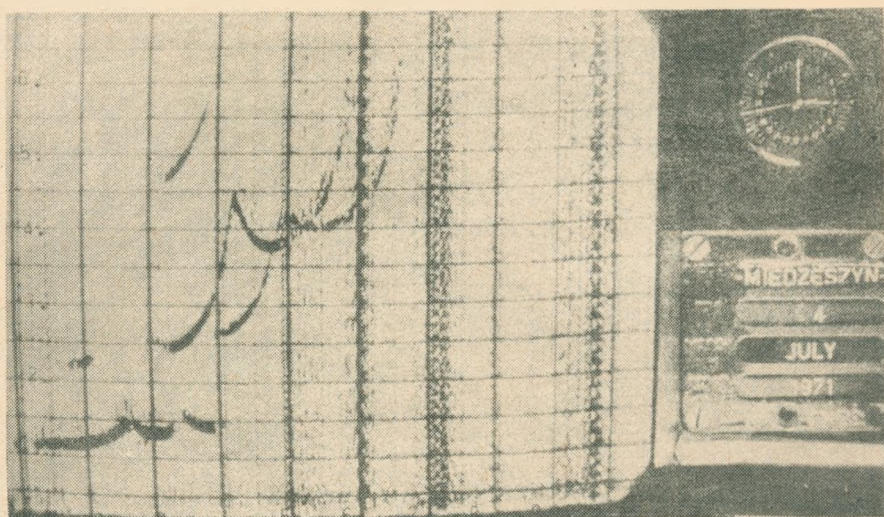
Rys. 29. Przykłady różnorodnego rozkładu gęstości jonizacji w atmosferze i odpowiednie typowe przebiegi krzywych $h'f$



Rys. 30. Schemat jonogramu pokazujący opóźnienie odbić składowej z w pobliżu foE



Rys. 31. Typy Es



Rys. 32. Przykład śladu Es - typu c
Miedzeszyn, 4.07.1971 r. 06h 00m

Ionospheric Data

Instytut Techniki, Warsaw, Poland

Characteristic Unit Date

f_{oF2} 0,1 MHz July 1970

Station
MIEDZESZYŃ

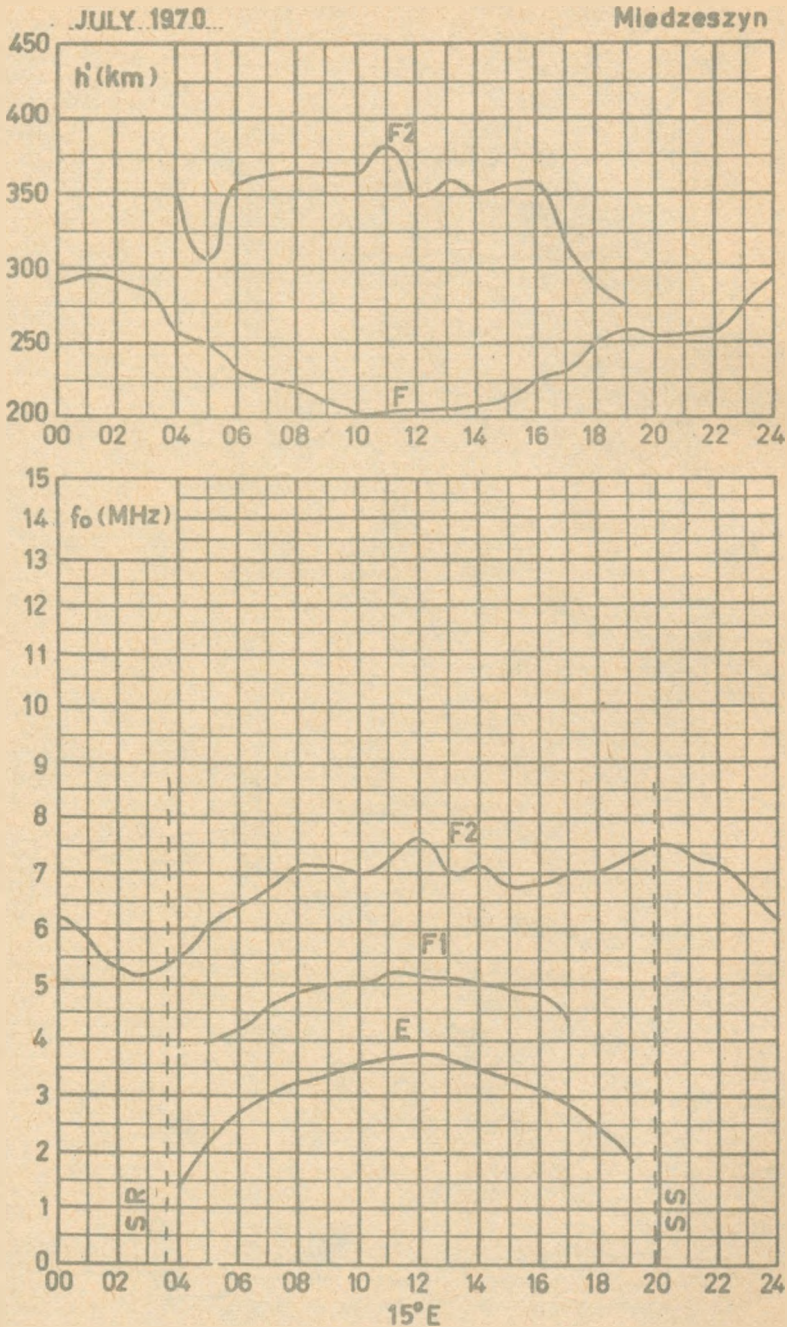
Lat. Long.
52°40'N 21°12'E

15^h Mean Time

Day	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
1	70S	68	67	66	72S	84	35	68	88	91	88	85	86	80	77	70	76	81	81	81	80	81	D70E	70	
2	68	64R	63	64	68	72S	19	79	83	90	95	97	83	75	78	73	70	74	76	76	76	C	63	60	7E
3	72S	70	63R	63	69	80N	81	60	82	88	88	90	83	83	76	73	75	74S	74S	72S	70	776S	U74S	67	
4	63R	55	50	53F	50	67	74N	74	74S	80	C	94	84	78	73	68	C	78	79	83	85	80	73S	73S	
5	70	69R	68R	63R	68P	70	76N	79	83	88	89	81	84	73	71	69	73	71	77	81	81	80	78	78	73E
6	68S	63R	59	F	59	62S	66	60	84	62k	U62N	64	72	70	67	63R	61	63	62S	63R	70	73S	84N	60	
7	62S	61	61S	60	67	66N	69	71	79	81	84N	85A	83	78	76	74	76	78	75	79	81	80	74S	71	
8	69	65	61	62	65	70	72S	73	80	80	87C	85	82	73	75	69	71	73S	74S	78	78	76S	72S	U67R	
9	64	60	53	53	56	58	60	55	62R	62R	69	57R	57F	61	61	66	62	U64R	68	60S	C	C	C	C	
10	49C	30R	33	U39N	40	40	43	E42D	E45G	52	52	59	61	62	61	59R	61	64R	U65R	57	59	69	58R	57	
11	U57R	48R	45	40	43	48	56	66	71	70	70	72	82	78	72	72	70	72A	72S	74	80	78	U76S	U73S	
12	70	63	59	53	55	61	55	63	67	65	60R	63	63	63	58	57	61	60	63	62S	63R	68	U63R	62S	
13	59N	52	51	45F	48	53N	58	58	60	57	61R	64	64	65R	65R	63	63	67	67A	70	73S	74S	72	68	
14	63	61	67	62	56	60	62	63	62R	65	64	68	63	62	60	60	60	64	64R	69	71	72	72	72	
15	C	C	57	55	60	68	66	70	70	71	69	69	71	70	71	70	U65R	64	68	75S	72S	74S	74S	67	
16	62	59	56	55	60	70	72	78	79	81N	81	73	73	69N	70	73S	75	75	76	73S	73S	U74S	76S	76S	
17	73S	68	63	57	57	68	69	72	70	76	72	72V	77	72	73	68	71	71	70	82	79	76S	73	72S	
18	61R	60S	60	57	58	69	70	67	71	70	70	61	60	61	61	59	60	63	63S	67	71	71	71	68	
19	U68R	65	60	60	61	68	68	70	78	88	85	92	76	70	71	70	68	70	70	70	76	76	76	73	63S
20	64R	62S	60	68	58	65S	68	68	67	68	71	77	78	C	70	67C	65	65R	67	75S	81	82	72R	65R	
21	63R	58R	49	49	53F	61	63S	U65R	74	A	70	64R	67	70	A	68	73	74	70	80	68R	U68R	69R	63F	
22	54R	46F	44P	43P	47	48	53	58	A	73	75	76	78	80	71	69	71	71	73S	71	19	89	68	62R	
23	60R	55	53	50	54	U57R	U53N	60R	63	60	65	64	70	64	64	64R	61R	62	66	63S	U68R	U68R	U68R	63R	
24	U68R	54R	51F	40F	47	50N	58	67	72S	C	76	76	74	72	70	70S	81	84	86R	78	69	70R	68P	68P	
25	U63F	63N	45N	44P	45	48	43	52	55	U59R	70	B	76R	U74R	70	64R	66	67	60	61	62R	56	56	60P	
26	40	38R	U37R	34P	42P	50N	C	63R	U68R	68	68	70	76	73	72	66R	66R	69	71	73	80P	72P	70	60P	
27	U48P	49P	U46P	44	48	62R	63	68	66E	71	81	74R	69	70	71	67	65	70	69	73	77S	76S	U64R	62S	
28	U52R	53	48	47	48	50	56	59	63S	65	70	68	65R	68	65R	70	67	R	70	70	74S	73S	67R	61R	
29	58	51	46P	46P	50	57	R	63R	71	67	69	82	70	72	74R	68	71	76	A	68	68R	U66R	60R	60R	
30	45	42P	40	37R	42	54	64	68	70R	84	80	84	77	72	80	74	72	75	81	82	81R	74S	67	64R	
31	60R	52	51	46	48	47R	50	53R	58R	63	67	70	A	69	A	A	64R	67	U68R	68	75S	U74R	R	71S	
U.L.	58	52	48	44	48	50	56	60	63	62	65	64	66	68	65	64	64	64	67	70	71	66	68	68	
U.L.	68	64	60	58	60	68	70	71	78	81	84	84	82	75	73	70	72	74	76	79	80	78	73	71	
Med	62	59	55	52	55	61	64	67	71	71	70	72	76	70	71	68	68	70	70	73	75	74	73	67	
M ₃₀₀₀	30	30	31	30	31	31	28	31	30	28	30	30	30	30	29	30	30	30	31	30	31	30	29	30	30
O.P.	10	12	12	14	12	18	14	11	15	19	16	20	14	07	08	06	08	10	08	12	10	07	07	08	08

Rys. 33. Godzinowe wartości częstotliwości krytycznych (foF2) warstwy F2 dla Miedzeszyń w lipcu 1970 r.

Median values

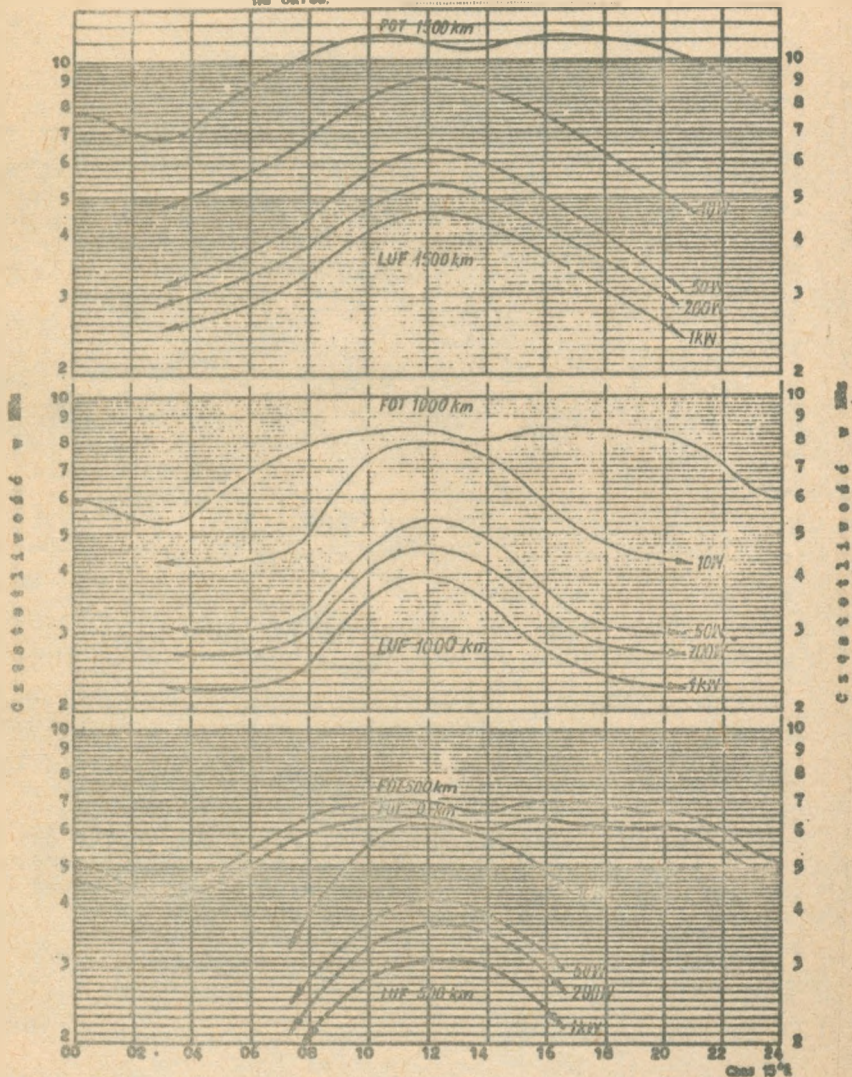


Rys. 34. Krzywe wartości medialnych wysokości pozornych (h') i częstotliwości krytycznych (f_o) dla warstw F2, F1 i E dla Miedzeszyna w lipcu 1970 r.

SR - wschód Słońca, SS - zachód Słońca

PROGNOZA
 PROPAGACJI FAŁ W DNI JONOSFERYCZNIE SPOKOJNE
 SIERPIEŃ 1971 r.

na okres:



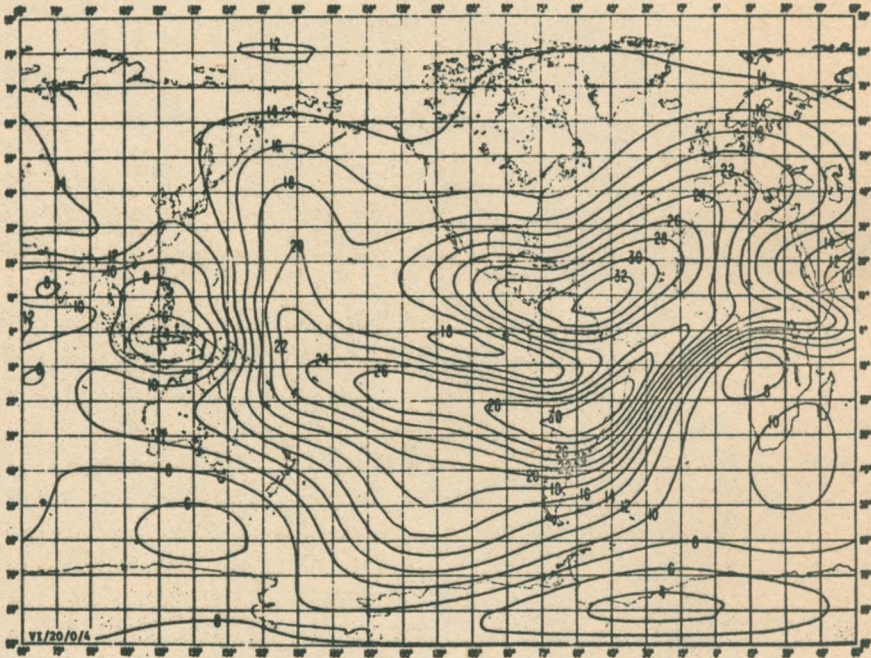
Uwagi: FOT - optymalna częstotliwość trafiku
 LUF - minimalna częstotliwość użyteczna
 dla określonej emisji

Podpis: *Chłapcz*

Wydruk, dn. 26.07. 1971 r.

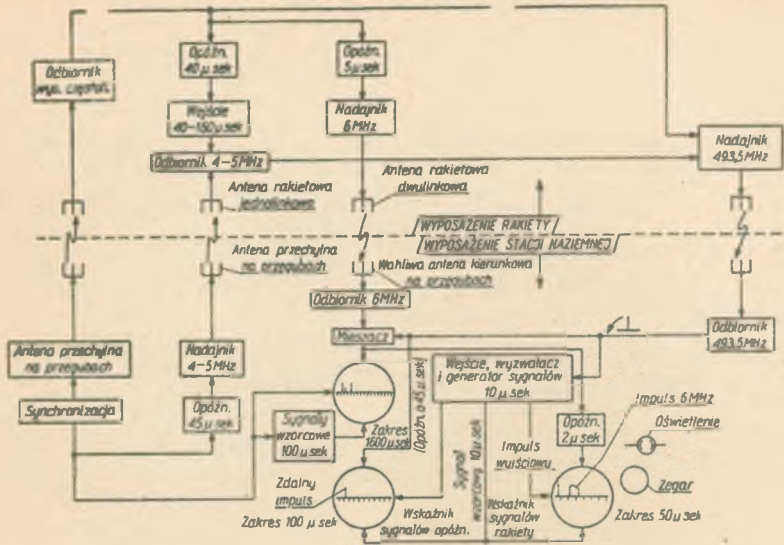
Rys. 35. Prognoza propagacji fal w dni jonosferycznie spokojne na okres sierpień 1971 r.

JUIN - JUNE - JUNIO; 20h; $R_{12} = 0$; EJP (4000) F2 (MHz)

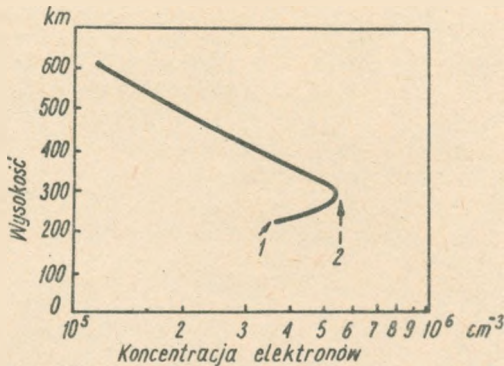


Rys. 36. Prognozowane wartości medialne EJP(4000)F2 (MHz)
na miesiąc czerwiec, $R_{12} = 0$, 20^h UT

EJP(4000)F2 - oszacowana częstotliwość połączenia dla propagacji jednoskokowej poprzez warstwę F2 na odległość wynoszącą 4000 km; R_{12} - prognozowana, średnia, ślizgowa liczba Wofa dla okresu 12 miesięcy

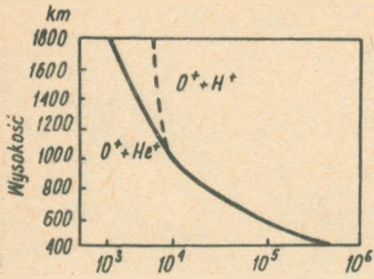


Rys. 37. Schemat aparatury do badań jonosfery za pomocą rakiet

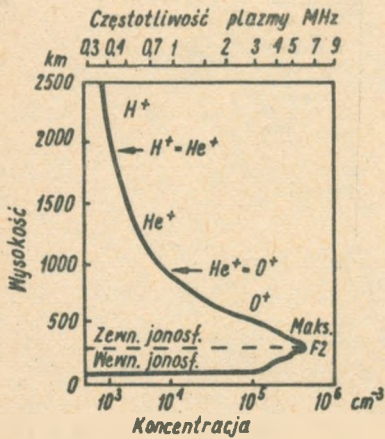


Rys. 38. Profil koncentracji elektronowej, otrzymany przy pionowym wyrzuceniu sondującej rakiety (eksperyment z rozchodzeniem się niepochłanianych fal radiowych, NASA 8.10, przylądek Wallops, Wirginia, 27.04.1961 r., 15^h02^m EST)

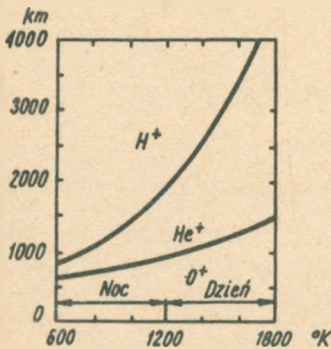
1 - moment rozwinięcia anten, 2 - wartość N_{\max} według danych sondowania naziemnego



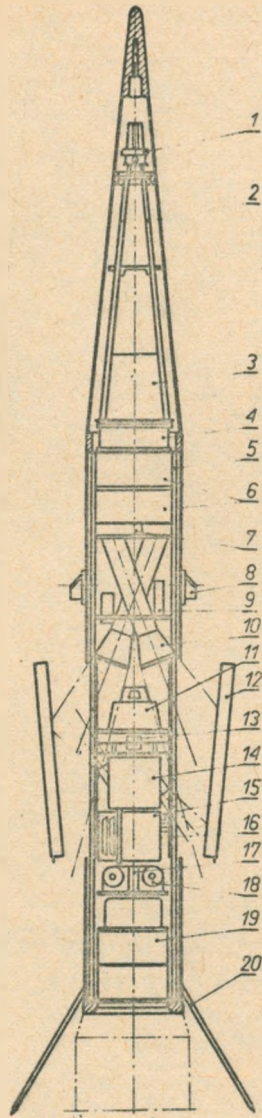
Rys. 39. Eksperymentalny rozkład koncentracji elektronowej wraz z wysokością, wskazujący na zmianę składu jonowego (NASA ST 7/P 21, przyl. Wallops, Wirginia 19.10. 1961 r., 12^h38^m EST)



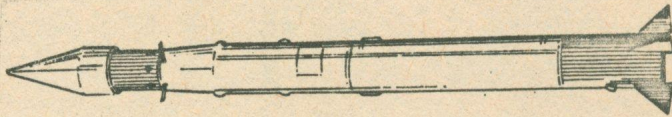
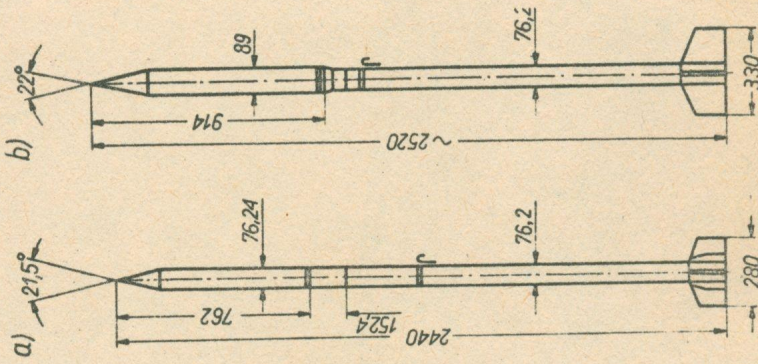
Rys. 40. Teoretyczny, trójskładowy model (Bauera) dziennej jonosfery dla średnich szerokości (temperatura w górnej jonosferze wynosi 1200°K)



Rys. 41. Rozkład podstawowych składowych jonowych w zależności od wysokości i temperatury

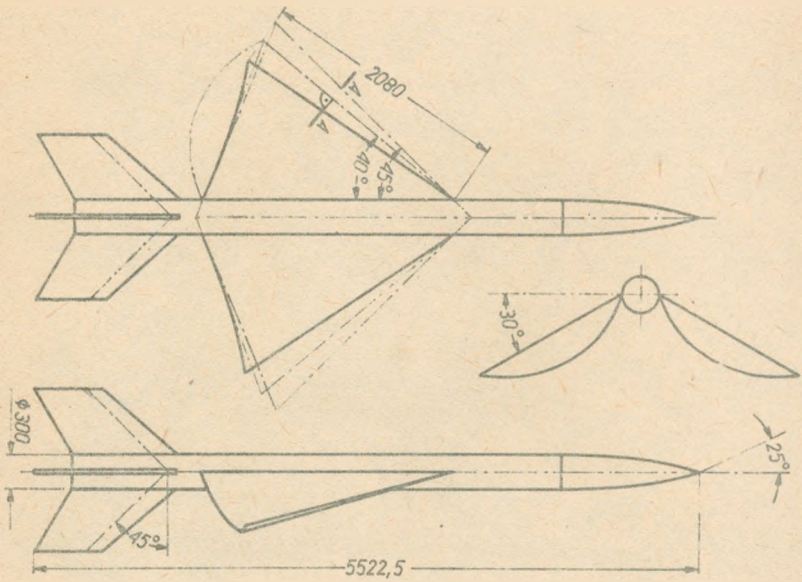


Rys. 42. Wyposażenie pomiarowe głowicy rakiety typu NIKE-APACHE
 1 - magnetometr; 2 - konstrukcja wewnętrzna; 3 - zasilanie prądem; 4 - bateria; 5 - konstrukcja; 6 - wyposażenie elektronowe magnetometru; 7 - wyposażenie elektronowe fotometru; 8 - antena radarowa; 9 - licznik protonów; 10 - fotometr; 11 - system kontrolny; 12 - okno odrzucające; 13 - automat odrzucający okno; 14 - liczniki elektronów; 15 - transponder radarowy; 16 - komutator; 17 - wyłącznik barometryczny; 18 - wyłącznik czasowy mechaniczny; 19 - aparatura telemetryczna; 20 - anteny

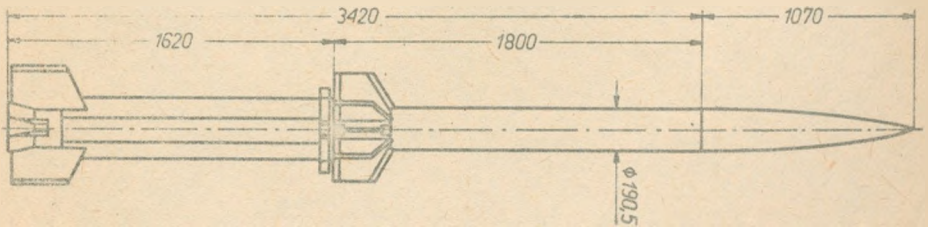


Rys. 43. Rakleta W-5-W

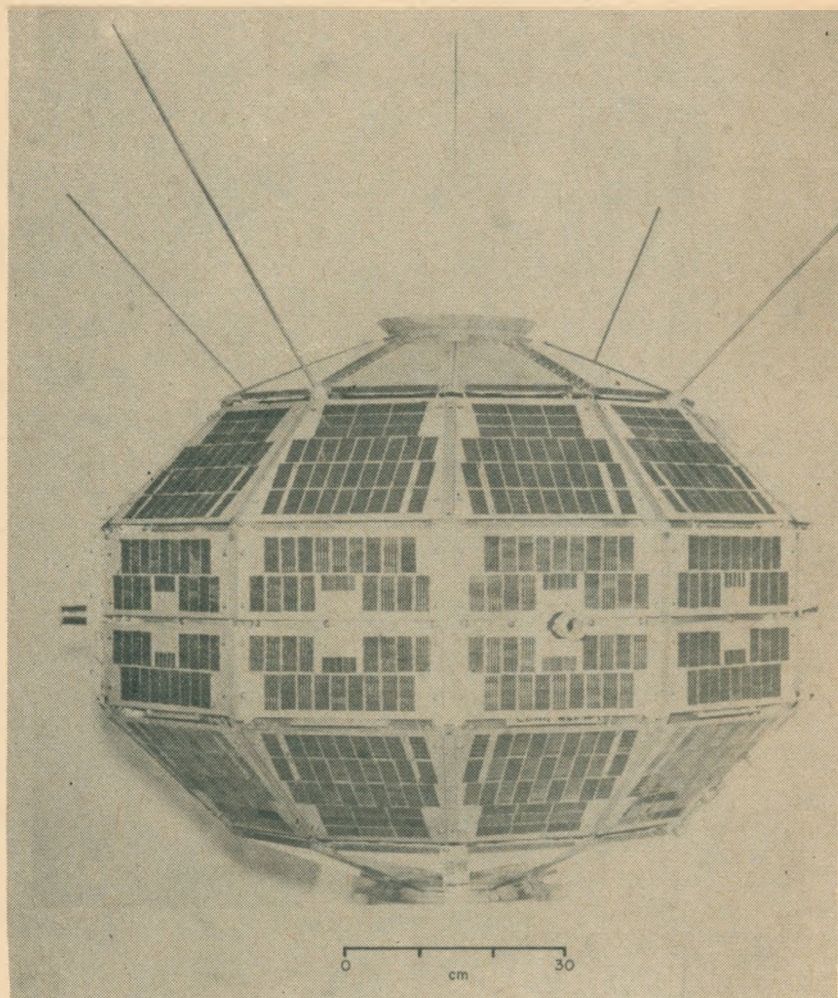
Rys. 44. Rakiety: a) typu LOKI; typu HAWK



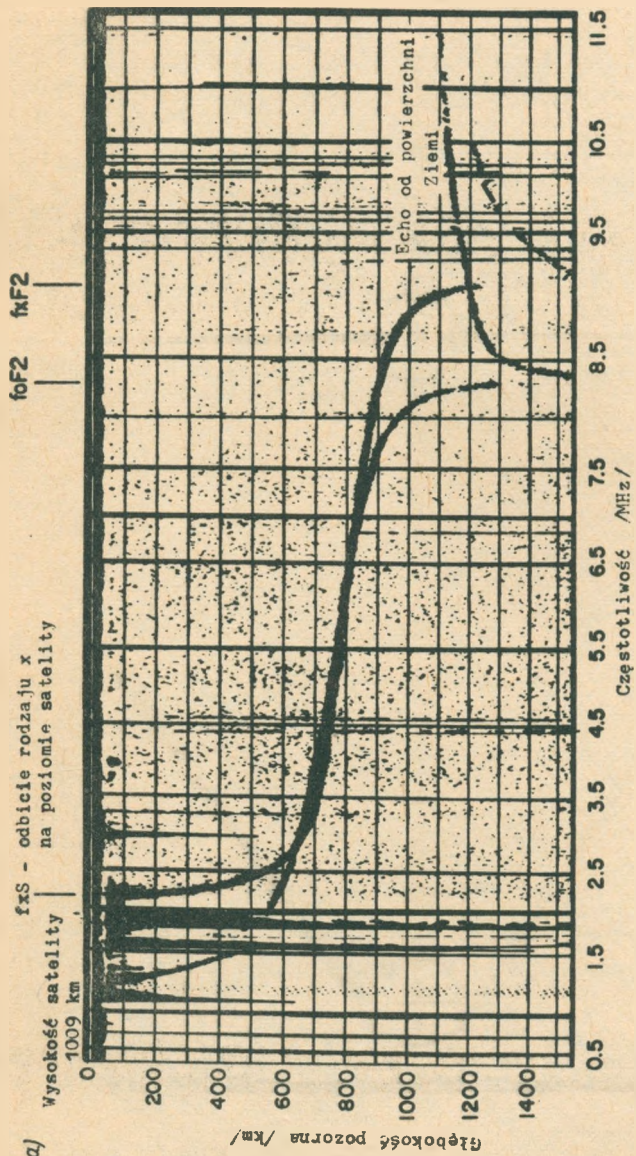
Rys. 45. Rakieta typu DO-621



Rys. 46. Rakieta typu PETREL

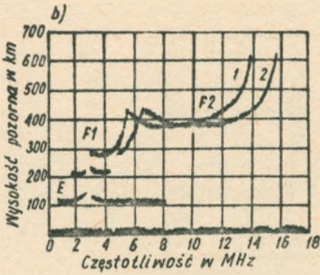


Rys. 47. Satelita ALOUETTE

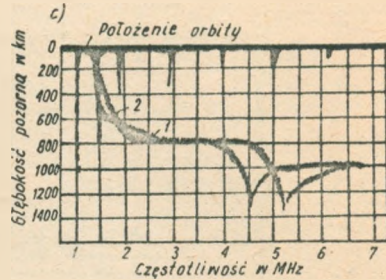


15 listopada 1962, 07^h31^m czasu Greenwich

Rys. 48a. Przykład jonogramu zdjętego z góry

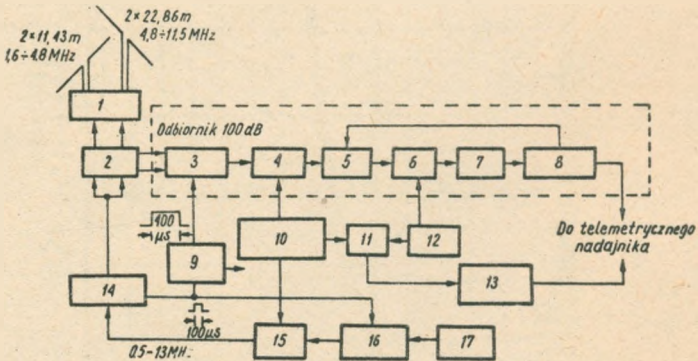


1 - fala zwykła
2 - fala nadzwyczajna



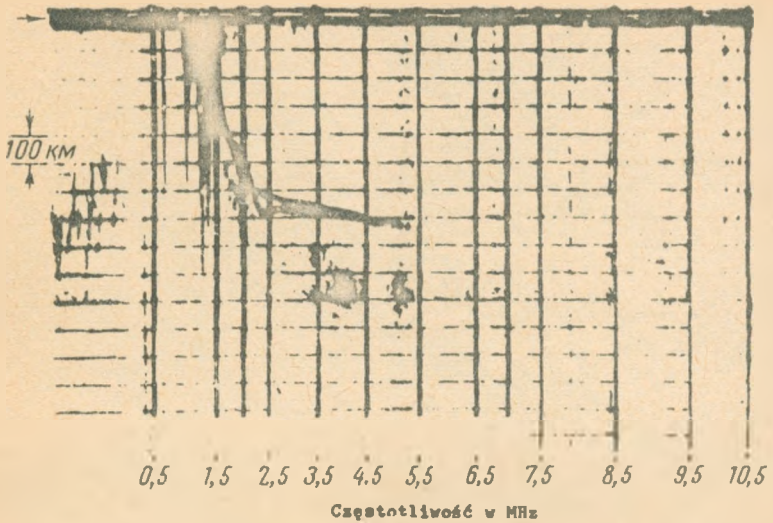
1 - fala zwykła
2 - fala nadzwyczajna

Rys. 48b) i c). Jonogramy otrzymane przy użyciu panoramicznej jonosondy naziemnej i jonosondy umieszczonej na sztucznym satelicie Ziemi

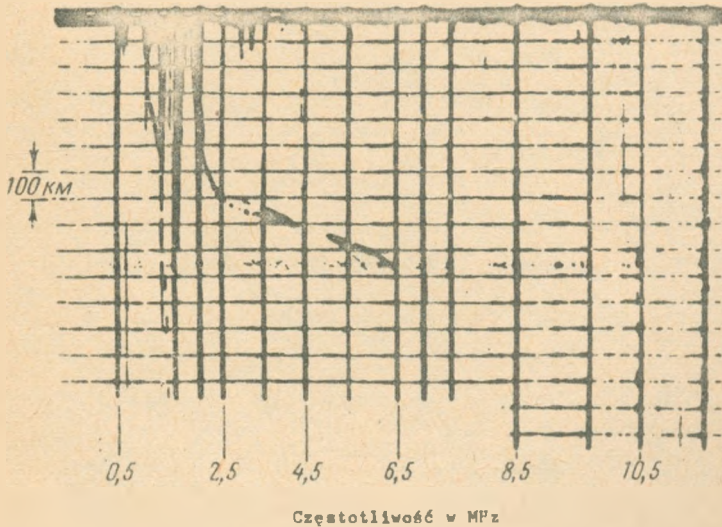


Rys. 49. Schemat blokowy stacji jonosferycznej satelity ALOUETTE

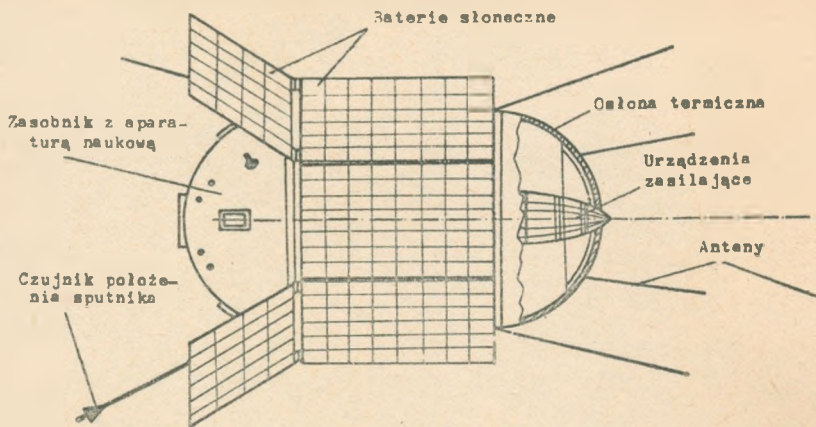
1 - obwód dopasowujący; 2 - przełącznik nadawanie-odbiór; 3 - przedwzmacniacz; 4 - mieszacz; 5 - wzmacn. poór. częst. 19 MHz; 6 - mieszacz; 7 - wzmacn. poór. częst. 0,5 MHz; 8 - detektor; 9 - generator 67 Hz; 10 - generator 19,5 - 32 MHz; 11 - mieszacz; 12 - generator 18,5 MHz; 13 - kontr. odchyl. częstotliw.; 14 - nadajnik; 15 - mieszacz; 16 - podwajacz częstotliwości (specj.)
17 - generator 9,5 MHz



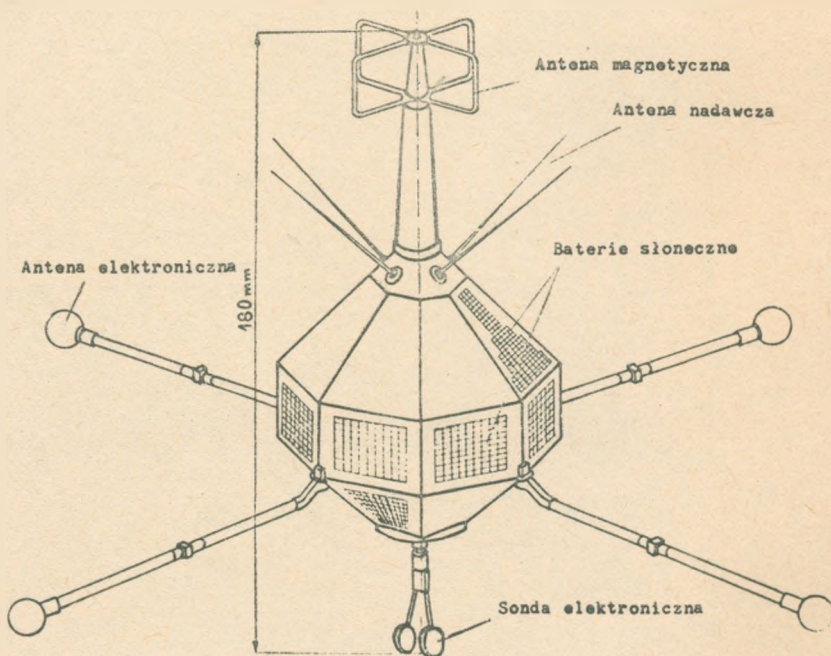
Rys. 50. Jonogram z występnym nad maksimum warstwy F 30.09.1962,
 03^h23^m GMT, 8° szer. pd. i 72° dł. zach.
 Wysokość satelity nad Ziemią - 1032 km.



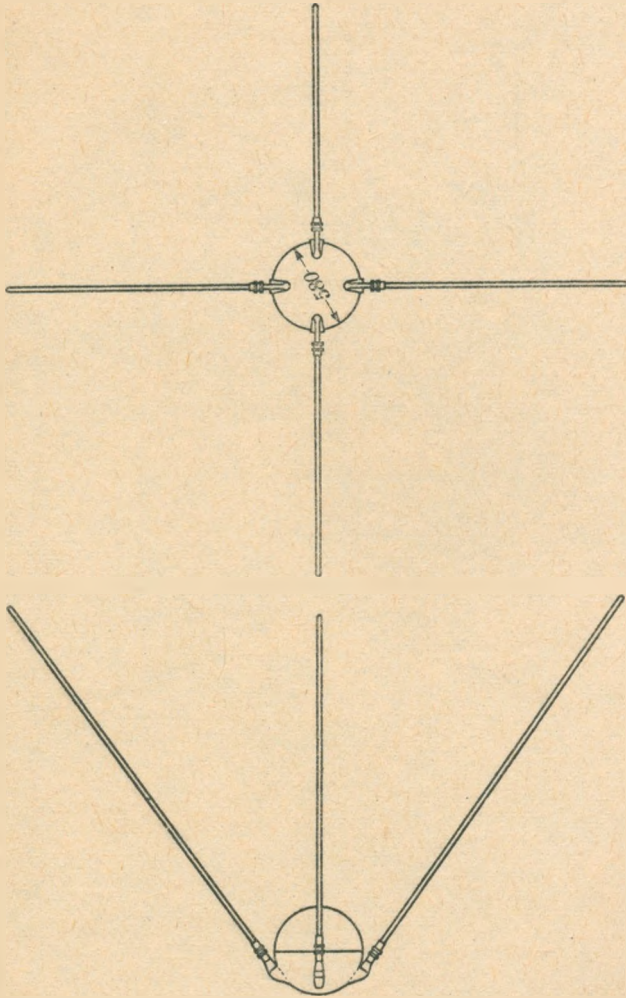
Rys. 51. Jonogram otrzymany na średnich szerokościach 5.11.1962,
 08^h19^m GMT, 29° szer. pd. i 145° dł. wsch.
 Wysokość satelity nad Ziemią - 1010 km.



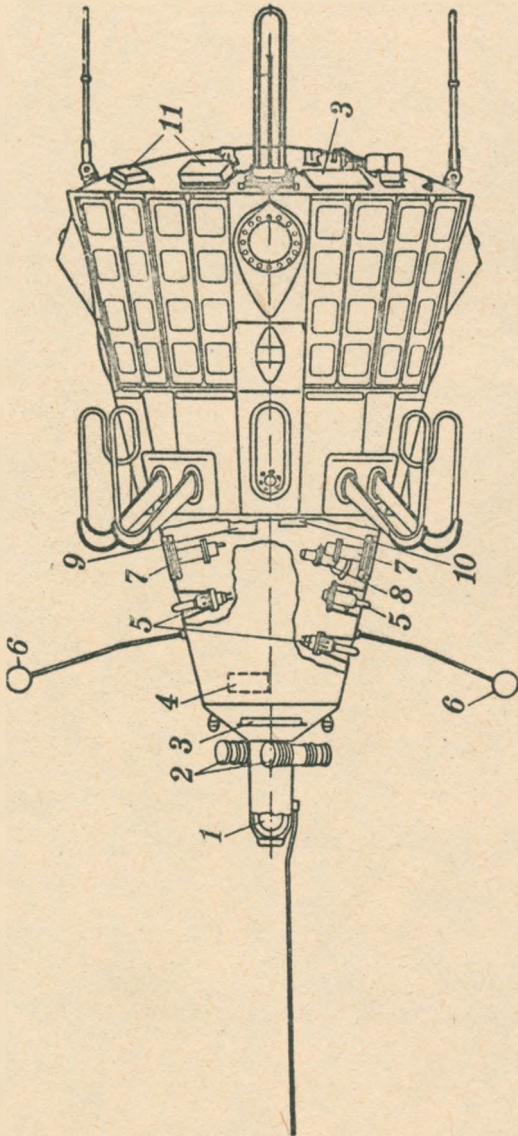
Rys. 52. Sztuczny satelita Ziemi z serii KOSMOS (radziecki)



Rys. 54. Satelita FR1

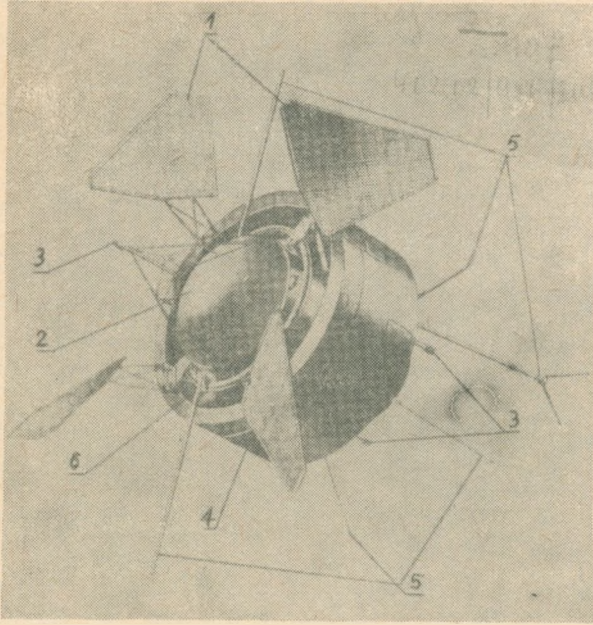


Rys. 53. Sztuczny satelita Ziemi - SPUTNIK I



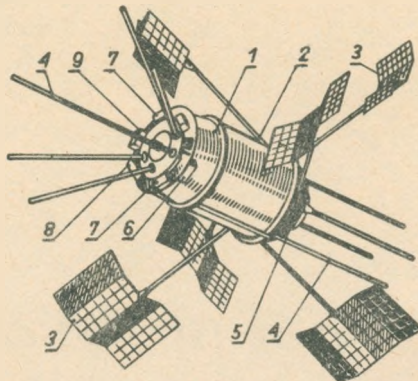
Rys. 55. Satelita SPUTNIK III z aparaturą naukową

- 1 - magnetometr, 2 - fotopowielacze do rejestracji promieniowania korpuskularnego Słońca, 3 - baterie słoneczne; 4 - przyrząd do rejestracji fotonów zawartych w promieniowaniu kosmicznym; 5 - manometry; magnetyczny i jonizacyjny; 6 - pułapki jonowe; 7 - fluksometry elektrostatische; 8 - spektrometr masowy; 9 - przyrząd do rejestracji jąder ciężkich zawartych w promieniowaniu kosmicznym; 10 - przyrząd do pomiaru natężenia pierwotnego promieniowania kosmicznego; 11 - czujniki do rejestracji mikrometeoroidów



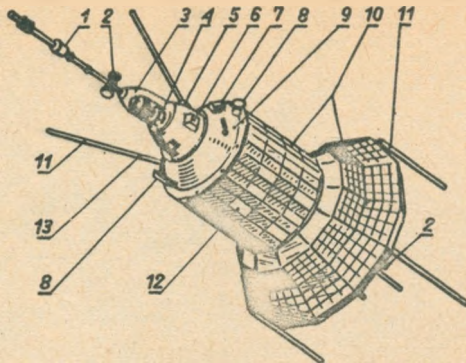
Rys. 56. Satelita - gigant PROTON 1

1 - tace z bateriami ogniw słonecznych; 2 - próżnioszczelny korpus; 3 - czujniki usytuowania w przestrzeni; 4 - osłona zewnętrzna; 5 - anteny; 6 - bateria akumulatorów



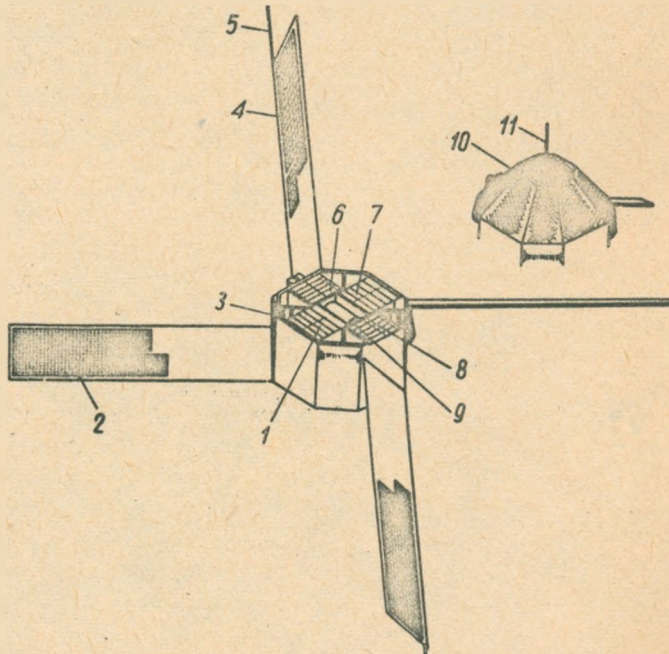
Rys. 57. Satelita ELEKTRON 1

1 - próżnioszczelny korpus satelity; 2 - przesłony układu regulacji temperatury wewnętrznej satelity; 3 - baterie ogniw słonecznych; 4 - anteny; 5 - detektor mikrometeorytów; 6 - licznik promieniowania kosmicznego; 7 - spektrometr masowy; 8 - detektor masowy; 9 - analizator elektronów promieniowania pierścieniowego Ziemi



Rys. 58. Satelita ELEKTRON 2

1 - magnetometr; 2 - czujnik szukacza Słońca; 3 - analizator cząstek naładowanych o małych energiach; 4 - detektor protonów o małej energii; 5 - analizator składu promieniowania kosmicznego; 6 - analizator elektronów promieniowania pierścieniowego Ziemi; 7 - spektrometr masowy; 8 - detektor promieniowania rentgenowskiego Słońca; 9 - próżnioszczelny korpus satelity; 10 - baterie ogniwo słonecznych; 11 - anteny; 12 - przesłony układu regulacji temperatury wewnętrznej satelity; 13 - pułapka jonowa



Rys. 59. Satelita S-66

1 - nadajnik nr 1; 2 - płyty z ogniwami słonecznymi; 3 - nadajnik nr 2; 4 - magnetometry; 5 - anteny; 6 - odbiornik rozkazów; 7 - wytwarzanie sygnałów telemetrycznych; 8 - urządzenie komutacyjne; 9 - nadajnik nr 3; 10 - reflektor, 11 - antena



Rys. 60. Konferencja międzynarodowa w Warszawie, styczeń 1969 r.
 Od lewej stoją: dr K.N. Wasiliew - gł. kierownik Stacji Jonosferycznych, prac. Akademii Nauk ZSRR (IZMIRAN); prof. S. Manczarski - sekretarz Naukowy Komitetu Międzynarodowego Roku Geofizycznego, Reprezentant Regionu Europejsko-Azjatyckiego w Międzynarodowych Latach Spokojnego Słońca, Dyrektor Zakładu Geofizyki PAN; dr A. Wernik - kierownik naukowy polskiego eksperymentu KOSMOS 261, prac. Zakładu Geofizyki PAN; dr N.W. Miednikowa - członek Światowego Komitetu Rozszerzonego Sondowania (WWSC), prac. Akademii Nauk ZSRR (IZMIRAN); prof. S. Jasiński - członek Oficjalny Komisji III URSI, członek Komisji Międzynarodowego Roku Spokojnego Słońca PAN, kierownik Zakładu Propagacji Fal Radiowych IŁ; st. asyst. mgr J. Jaworski - gł. interpretator jonogramów w Obserwatorium Jonosferycznym IŁ, adj. mgr inż. Cz. Kalisiak - kierownik techniczny polskiego eksperymentu KOSMOS 261, (obecnie: kierownik Obserwatorium Jonosferycznego IŁ)

