Troposfera ziemska jest niezbędną do życia najniższą warstwą atmosfery, która pełni istotną rolę w codziennych aktywnościach człowieka. Co więcej, jest niezwykle zmienna w czasie i przestrzeni i to w niej zachodzi większość zjawisk pogodowych takie jak opady, burze czy cyklony tropikalne (CT). Ich prawidłowe prognozowanie i obserwowanie są istotne zarówno ze względu na straty finansowe jak i niebezpieczeństwo dla ludzi, które mogą spowodować. W tym celu wykorzystywane są różnorodne instrumenty i metody pomiarowe. Jako istotne wsparcie należy tu wyróżnić technikę Globalnego Systemu Nawigacji Satelitarnej (GNSS) dzielącą się na dwa moduły: satelitarny (technikę radio-okultacji (RO) i naziemny.

Odbierany sygnał GNSS jest powszechnie wykorzystywany przez użytkowników w nawigacji, pozycjonowaniu i chronometrażu, ale także przyczynił się do rozwoju meteorologii. W tym celu wykorzystywane są opóźnienie i ugięcie transmitowanego sygnału wynikające ze zróżnicowanej gęstości powietrza, i w konsekwencji indeksu refrakcyjności, na drodze między satelitą GNSS a odbiornikiem. Większość całkowitej refrakcyjności atmosferycznej wynika z jej gazowych komponentów, które służą operacyjnie i przyczyniają się do podniesienia jakości prognozy pogody. Natomiast wpływ hydrometeorów, czyli skondensowanych cząstek pary wodnej, takich jak chmury, śnieg, deszcz czy grad, jest znacząco niższy (około 3%) i zazwyczaj pomijany w przetwarzaniu obserwacji GNSS. Założenie to może być jednak niepoprawne w przypadku zjawisk pogodowych z intensywnym deszczem i duże zachmurzeniem i prowadzić do błędnego odzwierciedlenia stanu troposfery.

W satelitarnej technice obserwacji troposfery RO, wschodzący lub zachodzący satelita niskoorbitujący (LEO) odbiera sygnał GNSS i dokonuje skanu atmosfery, dostarczając przy tym profile meteorologiczne o wysokiej jakości i rozdzielczości pionowej. Jednakże rozdzielczość przestrzenna i czasowa są ograniczone ze względu na potrzebę wystąpienia odpowiedniej wzajemnej geometrii pozycji satelitów RO i GNSS, by obserwacja mogła być wykonana. Natomiast naziemne pomiary GNSS wykonywane są permanentnie i z dużą rozdzielczością przestrzenną, jednakże ich rozdzielczość pionowa jest niska. Dlatego niezwykle istotna jest integracja obserwacji satelitarnych z naziemnymi, które wykazują odrębne cechy, a połączone mogą dać lepsze rezultaty niż każda z technik oddzielnie.

Mając na uwadze powyższe kryteria, głównym celem niniejszej rozprawy jest wykorzystanie właściwości propagującego sygnału GNSS, które mają swoje odzwierciedlenie w refrakcyjności i kącie ugięcia, w monitorowaniu i modelowaniu troposfery, w szczególności podczas niekorzystnych warunków pogodowych. Przeprowadzone badania pokazują, że liczne i wysokiej jakości profile RO mogą być efektywnym narzędziem do badania struktury pionowej CT. Ponadto połączenie obserwacji satelitarnych z naziemnymi może być niezwykle cenne w przypadku analizy silnych gradobić i detekcji współwystępujących anomalii temperatury i wzmożonego transportu pary wodnej. Co więcej, analizy potwierdziły znaczącą rolę hydrometeorów zarówno w satelitarnych jak i naziemnych pomiarach GNSS. Istotny wpływ ciekłej wody i lodu zawartych w chmurach CT na kąt ugięcia rejestrowanego w technice RO był widoczny w prawie połowie przypadków. Odpowiednio w pomiarach naziemnych, symulowane w modelach pogodowych opóźnienie sygnału wywołane przez hydrometeory może osiągnąć kilkadziesiąt mm, przekraczając docelową dokładność asymilowanych obserwacji. Podsumowaniem pracy są sugerowane kierunki dalszego rozwoju teledetekcji GNSS przedstawione na przykładzie wykorzystaniu uczenia maszynowego w profilowaniu troposfery.

The Earth's troposphere is essential for life lowest atmospheric layer, where takes place everyday human activity. Furthermore, it is highly variable in time and space environment, where occurs most of the weather phenomena including precipitation, severe storms and Tropical Cyclones (TC). Correct and reliable prediction and monitoring of such events are a subject of great importance due to economic damage or threat to people that they can cause. Many sensors, instruments, and methods are involved to satisfy these demands, where one can distinguish Global Navigation Satellite System (GNSS) technique, which depending on the receiver location, can be divided into space (Radio Occultation (RO)) and ground-based modules.

GNSS signal is commonly used by users not only in navigation, positioning and timing but also in meteorology due to its sensitivity to atmospheric conditions. In this regard, the signal's delay and bending are introduced as a result of the change in the air density and consequently diverse refractivity index on the propagation path between GNSS satellite and either space- or ground-based receiver. The refractivity can be divided into a few parts: hydrostatic, wet, caused by hydrometeors, and by other particles covering sand, volcanic ash, and aerosols.

The gaseous components of the atmosphere are responsible for most of the total refractivity and routinely benefit meteorological applications. Whereas, the contribution of hydrometeors, defined as products of water vapour deposition or condensation such as clouds, rain, snow, or hail, is considerably smaller (around 3%) and usually ignored in GNSS processing. However, this assumption may be invalid and lead to an incorrect picture of the atmospheric state, especially during weather with heavy rains and dense clouds.

In RO technique, rising or setting low Earth orbit (LEO) satellites receive transmitted GNSS signal and scan the atmosphere providing globally distributed high-quality, high-resolution vertical meteorological profiles. Nevertheless, the horizontal and time resolutions are limited due to constraint of appropriate geometry between LEO and GNSS satellites to record RO event. On the other hand, the dense networks of ground-based GNSS stations provide continuous accurate measurements but usually restricted to vertically integrated values. Therefore, it is particularly important to integrate satellite and ground-based observations, which show distinct characteristics and combined can give better results than separate use of each technique.

Within the framework of the above criteria, the present dissertation aims to utilise the properties of propagating GNSS signal, as concerns refractivity and bending angle, to advance monitoring and modelling of the troposphere, in particular during severe weather events. The study shows that numerous high-quality, high-vertical resolution RO profiles are a powerful tool in studying TC vertical structure. Subsequently, the combination with complementary ground-based GNSS measurements is beneficial in an investigation of severe hail cases associated with cold anomalies and increased water vapour transport. Furthermore, the analyses proved that hydrometeors have a non-negligible impact on both RO and ground-based GNSS retrievals. The bending introduced by ice and liquid water contained in TC clouds exceeds the RO measurements uncertainty in almost half of the cases. Correspondingly in ground-based observations, the hydrometeors delays simulated in weather models during TC can reach tens of mm, which is above the target accuracy of assimilated observations. Eventually, the study highlights the prospects of GNSS remote sensing based on machine learning employed in RO tropospheric profiling.