

4. STALOWE MASZTY ANTENOWE TELEFONII KOMÓRKOWYCH – PROBLEMY PROJEKTOWE I REALIZACYJNE

1. CHARAKTERYSTYKA STALOWYCH MASZTÓW ANTENOWYCH

Bardzo szybki rozwój technologiczny, w tym technologii komórkowych, stawia przed właścicielami operatorów telefonii komórkowych wyzwanie zapewnienia swoim klientom odpowiednich warunków korzystania z ich usług, w tym możliwie jak najlepszy zasięg. Maszty antenowe – źródła zasięgu – stawiane głównie z dala od siedisk mieszkalnych były niewystarczające. Zaczęto szukać sposobu i miejsc, gdzie można byłoby usytuować dodatkowe anteny, zapewniając przy tym lepszy i różnorodny zasięg. Rozpoczęto montaż na istniejących budynkach i budowlach, taki sposób był o wiele tańszy niż stawianie nowych samodzielnych masztów, co jest też niemożliwe, jeśli chodzi o usytuowanie budowli w centrum miasta.



Rys. 1. Zespół masztów antenowych na budynku biurowca Novita w Zielonej Górze (fot. A. Kucharczyk)

Fig. 1. Group of aerial masts on the Novita office building in Zielona Góra (photo A. Kucharczyk)

ANNA KUCHARCZYK
Uniwersytet Zielonogórski
ADAM ZBOROWSKI
Infra.tel Berlin

Stalowe maszty antenowe zaliczają się do budowli typu wieżowego i masztowego, których główną cechą charakterystyczną jest bardzo duży stosunek wysokości do przekroju poprzecznego. Przedmiotowe konstrukcje wykonuje się jako podpory anten, sieci anten lub jako promieniujące anteny. Wysokość trzonu jest podyktowana głównie względami technologicznymi, natomiast przekroje statecznością i wytrzymałością.

Konstrukcje masztowe dla użytku operatorów telefonii komórkowych montowane są na obiektach, takich jak:

- budynki o różnym przeznaczeniu, np. mieszkalnym, magazynowym, przemysłowym itp. (rys. 1),
- kominy (rys. 2),
- silosy,
- turbiny wiatrowe.



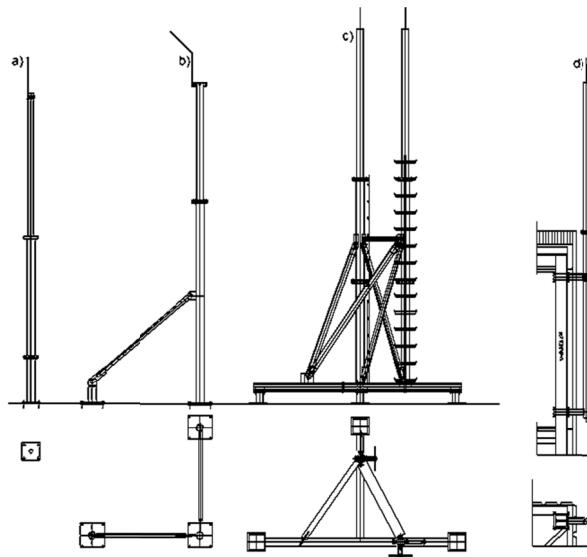
Rys. 2. Maszty antenowe zamontowane na kominie w Nowej Soli (fot. A. Kucharczyk)

Fig. 2. Aerial masts installed chimney in Nowa Sól (photo A. Kucharczyk)

Rodzaje masztów montowanych na obiektach budowlanych

Ze względu na wysokość masztu oraz miejsce montażu można wyróżnić różne rodzaje masztów pod względem konstrukcyjnym (rys. 3):

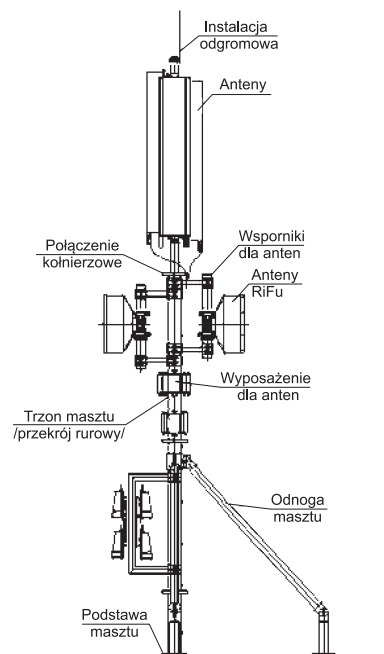
- maszt jako samodzielny trzon z posadowieniem na płycie stalowej (a);
- maszt z odnogami (b);
- maszt montowany do ściany za pomocą wsporników (d);
- maszty połączone stężeniem na stalowym stelażu (c).



Rys. 3. Rodzaje masztów (opis w tekście). Góra – widoki, dół – rzuty
 Fig. 3. Types of masts (description in the text). Top – views, bottom – plan

Budowa masztu

Typowy maszt składa się z następujących części (rys. 4):



Rys. 4. Budowa masztu

Fig. 4. Construction of the mast

2. OBCIĄŻENIA ODDZIAŁUJĄCE NA KONSTRUKCJĘ MASZTU

Tabela 1. Obciążenia oddziałujące na konstrukcję masztu

Table 1. Loads affecting on the mast

Lp.	Typ obciążenia	Rodzaje obciążeń	
		Opis	
1	Ciężar własny konstrukcji	–	
2	Obciążenie stałe	Ciężar własny anten, wsporników dla anten, kabli, wyposażenia systemowego dla anten, drabinki itp.	
3	Obciążenie oblodzeniem (zgodnie z normą [5])	– określenie gęstości lodu zalegającego na maszcie i elementach wyposażenia; – wpływ kształtu konstrukcji na kształt oblodzenia elementów; – wpływ warunków meteorologicznych na danym terenie; – wpływ ukształtowania terenu.	
4	Obciążenie wiatrem (zgodnie z normą [3])	– określenie strefy obciążenia wiatrem; – określenie kategorii terenu; – wyznaczenie bazowego ciśnienia prędkości wiatru q_b ; – wyliczenie szczytowego ciśnienia prędkości wiatru q_p ; – wyznaczenie współczynnika konstrukcyjnego $c_s c_d$; – wyznaczenie powierzchni odniesienia A_{ref} ; [*] – wyznaczenie współczynnika oporu aerodynamicznego c_f ; [*] – wyliczenie wartości obciążenia wiatrem. [*]	

* należy wyznaczyć dla elementów masztu i wyposażenia z oblodzeniem i bez.

Kombinacje obciążeń

Zgodnie z obowiązującą normą [1] w trakcie projektowania uwzględniamy następujące kombinacje obciążeń:

$$\gamma_G G + \gamma_W W_{oE} \quad (1)$$

$$\gamma_G G + \gamma_Q (W_{oE} + Q_{k,ice}) \quad (2)$$

$$\gamma_{G,inf} G + \gamma_W W_{oE} \quad (3)$$

Kombinacje (1) i (2) powinny być przeliczone w obu kierunkach geometrii przekroju masztu. Ponadto norma [5] rozpatruje dwie kombinacje obciążeń dla symetrycznego i niesymetrycznego oblodzenia:

– dominujące oblodzenie i towarzyszący wiatr:

$$\gamma_G G_k + \gamma_{ice} Q_{k,ice} + \gamma_W k \psi_k Q_{k,W} \quad (4)$$

– dominujący wiatr i towarzyszące oblodzenie:

$$\gamma_G G_k + \gamma_W k Q_{k,W} + \gamma_{ice} \psi_{ice} Q_{k,ice} \quad (5)$$

gdzie:

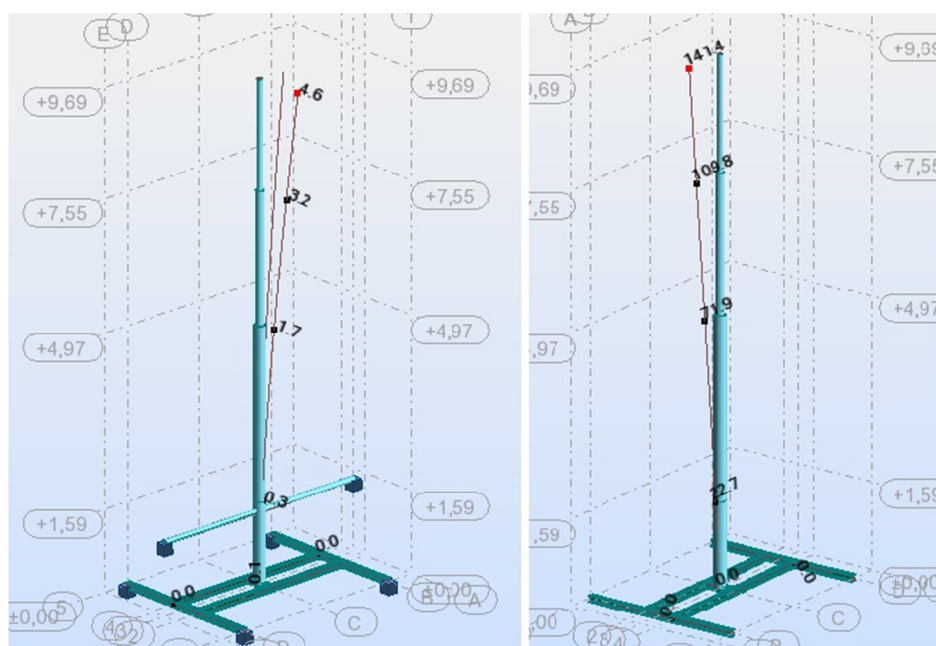
- γ_G – współczynnik częściowy dla obciążenia stałego,
- G_k – wartość charakterystyczna obciążenia stałego
- γ_Q – współczynnik częściowy dla obciążenia zmiennego,
- γ_W – współczynnik częściowy dla obciążenia wiatrem,
- W_{oE} – wartość charakterystyczna obciążenia wiatrem,
- $Q_{k,ice}$ – wartość charakterystyczna obciążenia oblodzeniem,
- $\gamma_{G,inf}$ – współczynnik częściowy dla górnej/dolnej wartości obciążenia stałego,
- k – współczynnik zmniejszający charakterystyczne ciśnienie wiatru w czasie oblodzenia,
- ψ_W i ψ_{ice} – współczynnik kombinacji obciążeń (równy 0,5).

3. PROBLEMY PROJEKTOWE I REALIZACYJNE

Przy projektowaniu konstrukcji, czy to będą budynki mieszkalne, hale przemysłowe czy maszty, należy mieć na uwadze wiele kwestii związanych z projektowaniem i wykonywaniem obiektów budowlanych. Wpływ ma na to nie tylko sam rodzaj projektowanej konstrukcji, ale też przyjęty schemat statyczny, wpływ obciążeń zewnętrznych, warunki środowiskowe, jak i warunki stawiane w miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego oraz w obowiązujących przepisach prawa i normach. Poniżej na przykładach przedstawiono problemy pojawiające się w trakcie procesu projektowania i realizacji omawianych w artykule budowli, jakimi są maszty antenowe. Wszystkie obliczenia zostały wykonane w programie Frilo Nemetshek v.10, a sprawdzanie warunków nośności i stateczności – zgodnie z obowiązującymi normami projektowymi.

Problemy projektowe

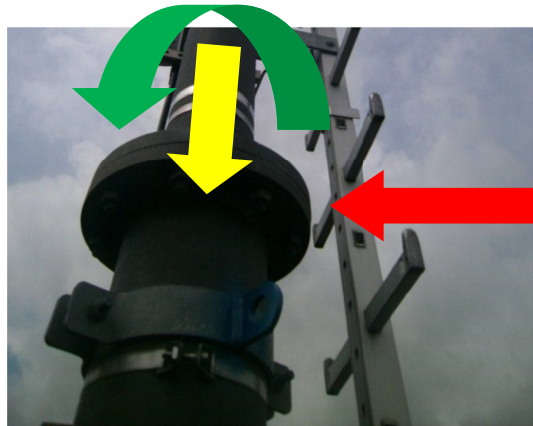
Maszty antenowe stawiane są nie tylko na płaskich stropodachach budynków, ale także montowane są do istniejących drewnianych więźb dachowych. Przy zmianie wyposażenia, np. anten, zwiększają się siły oddziałujące na konstrukcje masztu (zgodnie z teorią II rzędu), w związku z tym należy zmienić przekroje trzonów masztów, wydłużyć je lub zmienić podstawę masztu, by spełniała warunki nośności i technologiczne. Przykładowo, w maszcie opartym na więźbie dachowej zastosowano mocowanie do więźby, aby uniknąć znacznych przemieszczeń konstrukcji. Tym samym wzmocniono również więźbę dachową. Porównanie przemieszczeń pokazano na rysunku 5.



Rys. 5. Porównanie przemieszczeń masztu bez zamocowania do więźby dachowej (z prawej) i z zamocowaniem (z lewej)

Fig. 5. The mast displacement comparison without being attached to the roof structure (right) and with the mounting (left)

W omawianym przykładzie wymienione trzony wykazują wyężenie przekroju w granicach 80%, natomiast rury łączące maszt z konstrukcją wieży dachowej 90%. Maszt jest wykonany ze stali klasy S235. Połączenia kolejnych części trzonu masztu wykonano jako doczołowe, śrubowe klasy 10.9. Na połączenia działały siły normalne ściskające, tnące oraz momenty (rys. 6).

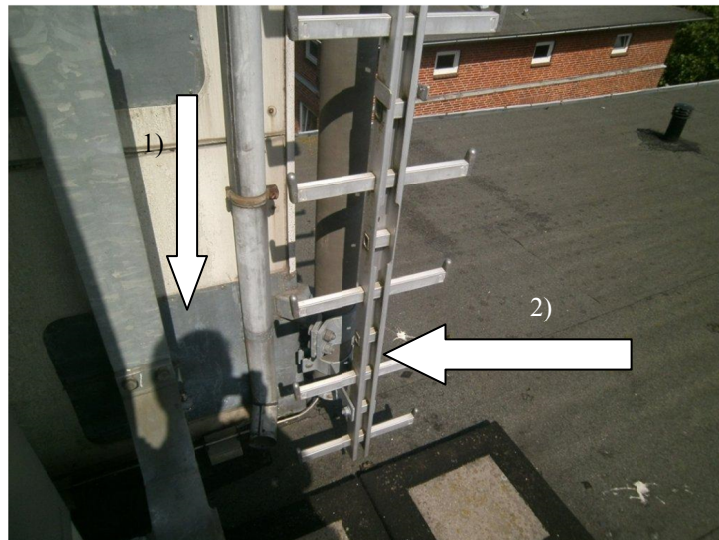


Rys. 6. Widok połączenia z siłami na nie działającymi

Fig. 6. The view of the connection with forces

Przy występowaniu sił wewnętrznych (rys. 6), a w szczególności momentu zginającego, należało sprawdzić przeniesienie sił rozciągających przez śruby $F_{t,Ed}$, uwzględniając przy tym wpływ momentu oraz nośność na ścinanie $F_{v,Ed}$, a także nośność spoin łączących trzon z kołnierzem. Nośność połączeń oscyluje w granicach 70-90% wykorzystania.

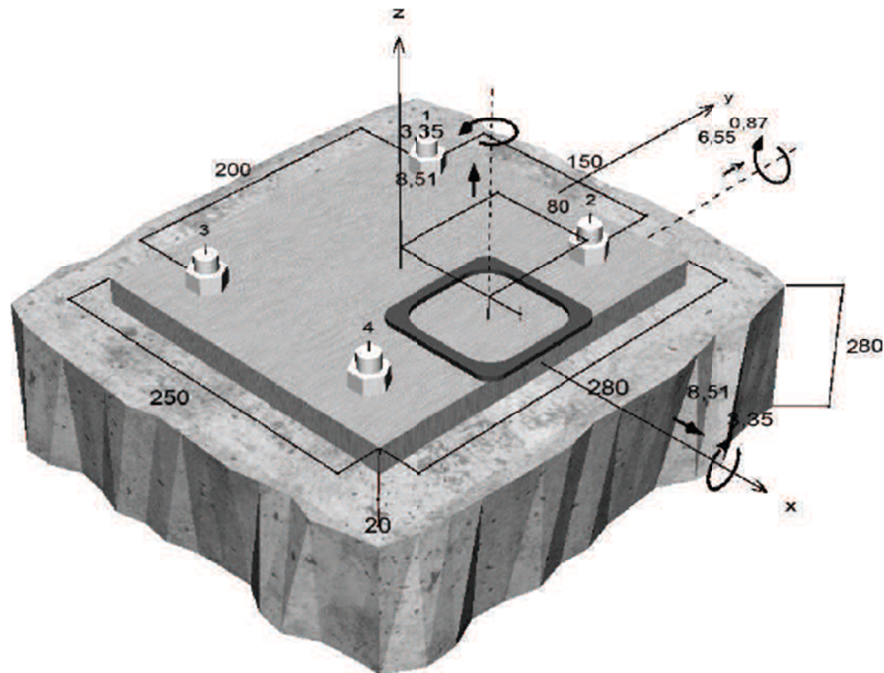
Kolejnym problemem, jaki może się pojawić w trakcie projektowania, jest sytuacja, gdy montujemy maszt bezpośrednio do ściany budynku (rys. 7).



Rys. 7. Widok połączenia masztu ze ścianą budynku

Fig. 7. The view of the mast connection with the building wall

Taki rodzaj połączenia należy wymiarować dwuetapowo: 1) połączenie płytki ze ścianą budynku oraz 2) połączenie za pomocą zacisku z trzonem masztu (rys. 7). Na płytkę mocowaną do ściany budynku działają siły pokazane na rysunku 8.



Rys. 8. Rysunek montażowy płytki mocowanej do ściany wraz z działającymi na nią siłami
Fig. 8. Drawing of the mounting plate fixed to the wall with the forces

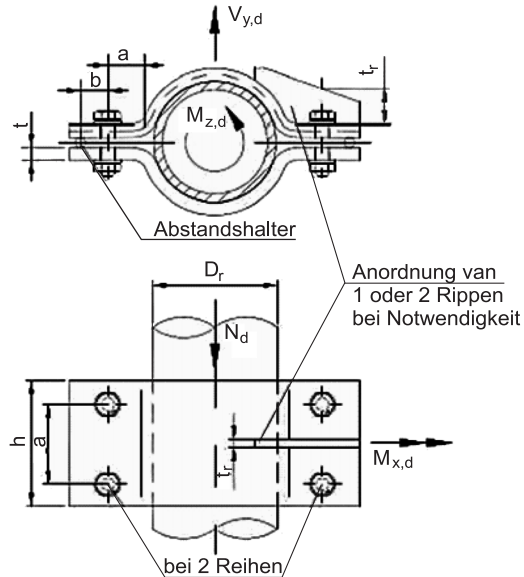
Przy projektowaniu tego elementu należy uwzględnić:

- siły kotwiące,
- zniszczenie stalowych łączników przez siły rozciągające,
- nośność betonu na wrywanie ze względu na działanie sił rozciągających,
- nośność łączników kotwiących na ścinanie,
- nośność betonu na wrywanie z powodu działania sił poprzecznych.

Ogromny wpływ na połączenia tego typu ma stan techniczny ściany czy stropodachu, na którym będzie maszt montowany. Zdarza się, że istnieje konieczność wymiany części stropodachu na nowy o większej wytrzymałości.

Przy wymiarowaniu zacisku trzonu masztu należy również rozpatrywać złożony stan naprężeń, działający wielokierunkowo (rys. 9), jak i tarcie występujące między tymi dwoma elementami.

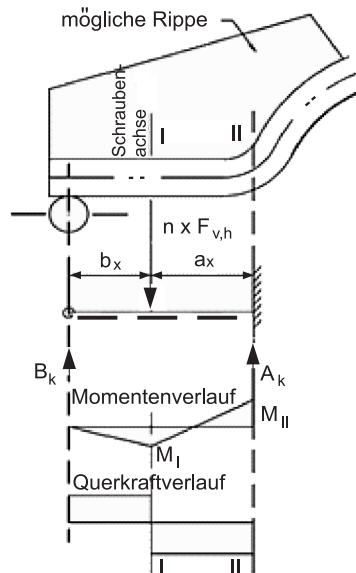
W tym przypadku największą wartością charakteryzuje się siła ścinająca. Zatem powinno się sprawdzić warunki nośności podobnie jak w połączeniu doczołowym trzonu masztu. Ponadto należy sprawdzić nośność samego zacisku ze względu na zginanie i ścinanie. Na części prostej, jak i na zgięciu pojawiają się dosyć znaczne siły wewnętrzne, głównie siły tnące.



Rys. 9. Siły działające w połączeniu

Fig. 9. Forces acting in the connection

Wpływ na to ma geometria samego zacisku (rys. 10), jak i siły przenoszone przez łączniki. Aby zapobiec zsunięciu się masztu w dół, można przyspawać do trzonu małe blaszki lub płaskowniki, a naprężenia w spoinach zapewnią prawidłowe utrzymanie masztu w mocowaniu.



Rys. 10. Siły działające w zacisku

Fig. 10. Forces acting in the ring

Przy projektowaniu masztów antenowych na kominach, należy uwzględnić wszystkie wcześniej wymienione aspekty, ponadto dochodzi zwymiarowanie obejmy wokół trzonu komina. Istotne znaczenie ma stan techniczny trzonu komina. Obejma w tym przypadku pracuje na rozciąganie i może być zaprojektowana jako element sprężany.

Problemy wykonawcze masztów antenowych

Poza występowaniem problemów podczas procesu projektowania, pojawia się także wiele trudności w trakcie stawiania czy wymiany elementów masztu.

Pierwszą trudnością, jaka się pojawia, jest wysokość, na jakiej montowane są maszty. Rozwiązuje się ją poprzez zastosowanie specjalistycznych urządzeń do transportu pionowego, takich jak dźwigi czy żurawie. Jeśli chodzi o żurawie, najczęściej stosuje się żurawie samochodowe, z powodu ograniczonego miejsca przy budynku. Mniejsze elementy można transportować za pomocą ludzkiej siły oraz dźwigami osobowymi w budynku.

Przy montażu elementów masztów na obiektach, które nie posiadają w swoim wyposażeniu dźwigów, buduje się pomosty robocze. Należy tutaj zaznaczyć, że elementy konstrukcyjne są tu o wiele mniejsze niż te montowane na dachach budynków. Samą wysokość zyskuje się przez wykorzystanie wysokiej budowli, na której są montowane maszty. Transport może odbywać się za pomocą dźwigów, jak w przypadku budynków. Przy dużych wysokościach korzysta się z usług wykwalifikowanych alpinistów (rys. 11).



Rys. 11. Montaż masztów antenowych na kominie przez grupę alpinistów
źródło: fot. www.pracealpinistyczne.com

Fig. 11. The installation of aerial masts on the chimney by group of climbers
source: www.pracealpinistyczne.com

Następną trudnością jest montaż masztów na istniejących dachach czy wieżbach. Należy mieć na uwadze wpływ na wrażliwy system technologiczny i konstrukcyjny dachów. Działania montażowe narażają je na zagrożenia związane np. z nieszczelnościami dachu przy wykonywaniu przejść na kable. Ponadto samo montowanie masztu generuje

kilkanaście przejść (otwory) przez pokrycie dachowe i konstrukcje, co znacznie obniża wytrzymałość konstrukcji i wcześniej wspomnianą szczelność przekrycia dachowego.



Rys. 12. Przejście na kabły typu Roxtec w konstrukcji stropodachu, źródło: Infra.tel

Fig. 12. Cable type crossing Roxtec in the roof construction, source: Infra.tel

3. WNIOSKI KOŃCOWE

Maszty antenowe do telefonii komórkowych, mimo swoich czasami prostych konstrukcji, potrafią sprawić wiele problemów w trakcie projektowania i wykonywania. Należy pamiętać o sprawdzeniu nośności samej konstrukcji masztów oraz połączeń z fundamentem i połączeń między danymi elementami masztu. W trakcie projektowania należy wykazać się dużą wiedzą z zakresu zarówno samej statyki, jak i wymiarowania elementów stalowych i połączeń.

LITERATURA

- [1] PN-EN 1990 Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji.
- [2] PN-EN 1991-1-1 Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-1: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach.
- [3] PN-EN-1991-1-4 Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-4: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania wiatru.
- [4] PN-EN-1993-1-1 Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.

-
- [5] PN-EN 1993-3-1 Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 3-1: Wieże, maszty i kominy. Wieże i maszty.
 - [6] Łubiński M., Żółtowski W., 2004. Konstrukcje metalowe. Część II. Wyd. Arkady Warszawa.
 - [7] Matuszkiewicz M., 2010. Obliczanie kratowych masztów z ociągami według PN-EN 1993-3-1. Inżynieria i Budownictwo 4.
 - [8] Matuszkiewicz M., 2012. Obciążenie oblodzeniem konstrukcji masztu. Inżynieria i Budownictwo 3.

STEEL MASTS FOR CELL PHONE AERIALS – DESIGN AND PERFORMING PROBLEMS

Summary. Aerial masts used by cell phone operators started strongly entered in architectural landscape of cities. It departs increasingly from building self-masts and begins make use of existing buildings roofs to put up these structures.

The article briefly say about masts designing rules (types of loads, which should be included, static schemes and types of masts) and problems referring to the examples of realizations, which shows in designing and performing process.