

## Problem wysokości wieży w elektrowni wiatrowej

*W artykule omówiono wpływ wysokości wieży na efektywność pracy, rentowność i perspektywy rozwoju elektrowni wiatrowych. Uzasadniono celowość budowy wysokich wież kratowych oraz przedstawiono sposób taniego i bezpiecznego montażu wież kratowych o wysokościach powyżej 100 m.*

### 1. WPROWADZENIE W PROBLEMATYKĘ ELEKTROWNI WIATROWYCH

---

W ciągu ostatnich 100 lat nastąpił ponad dwunastokrotny wzrost zapotrzebowania na energię [1]. Szacuje się, że zasoby nieodnawialnych źródeł energii opartych na surowcach kopalnych wystarczą na kilkadziesiąt lat. Według powszechnie panujących poglądów konwencjonalna energia, oparta na kopalniach, jest silnie szkodliwa dla środowiska. Większe zagrożenie dla ludzi i środowiska stanowią jednak produkty odpadowe energetyki konwencjonalnej (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, pyły itp.).

Głównym celem budowania elektrowni wiatrowych jest wytwarzanie energii elektrycznej w sposób czysty w celu zmniejszenia emisji dwutlenku węgla do atmosfery.

W Polsce w najbliższych latach prognozowany jest silny rozwój energetyki opartej na proekologicznych, odnawialnych źródłach energii [3 i 4], które występują w przyrodzie w sposób ciągły, niezależnie od stopnia ich używania. Odnawialne źródła energii technicznie możliwe do wykorzystania to głównie: energia mechaniczna wiatru, energia mechaniczna wody, energia termiczna i pływy morza, energia słoneczna, energia geotermiczna, energia biomasy itd. [5].

Energia wiatru to „energia czysta” i ogólnie łatwo dostępna. Potencjał energetyczny energii wiatrowej w Europie na lądzie i na morzu jest bardzo duży [6]. Według Europejskiej Agencji Środowiska (European Environment Agency) przewidywany potencjał energii wiatrowej możliwy do uzyskania w Europie

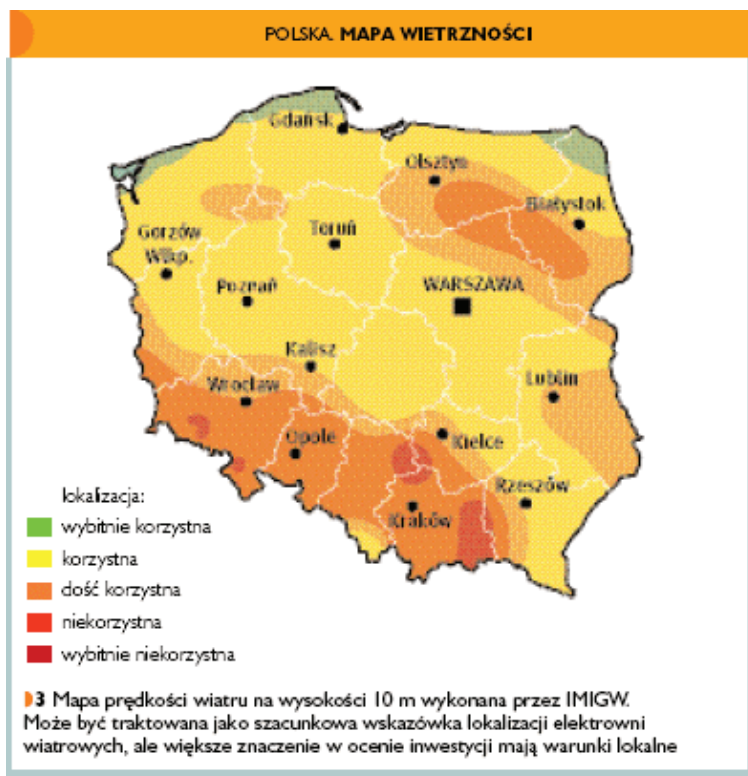
w roku 2020 jest trzy razy większy od obecnego europejskiego zapotrzebowania na energię elektryczną.

Na chwilę obecną energetyka wiatrowa jest wprowadzanie jednym z droższych sposobów walki z nadmiarem gazów cieplarnianych, lecz pozwala wyeliminować straty związane z degradacją środowiska naturalnego (efekt cieplarniany), które byłyby niewyobrażalnie większe. Główną wadą energii wiatrowej jest jej sezonowość, co generuje koszty. Elektrownie wiatrowe, w zależności od lokalizacji, wytwarzają prąd jedynie przez 20-40% czasu, natomiast koszty inwestycyjne dotyczą 100% mocy zainstalowanej.

Za kryterium opłacalności stosowania na danym terenie elektrowni wiatrowych przyjęto występowanie średniej prędkości wiatru (mierzonej na wysokości ok. 10 m nad ziemią) większej od 4÷5 m/s.

Efektowna praca elektrowni wiatrowej jest ściśle związana z prędkością wiatru, na co wpływa lokalizacja elektrowni oraz wysokość wieży [5]. Energia rośnie z trzecią potęgą prędkości wiatru. Przy powierzchni gruntu prędkość wiatru jest równa zero. Siły tarcia sprawiają, że tylko ¼ energii kinetycznej wiatru przypada na wysokości do 100 m, a pozostałe ¾ przypada na wiatry wiejące na wysokościach większych niż 100 m. Od wysokości wieży zależą nie tylko parametry pracy elektrowni wiatrowej, ale również jej rentowność.

Polska uchodzi za kraj, gdzie warunki do pozyskania energii wiatru nie są zbyt korzystne. Za najlepsze miejsca do tego typu inwestycji uważa się pas nadbałtycki, rejon Suwałk oraz Podkarpacie. W Polsce wiatry wieją średnio z prędkością 3,4 m/s latem i 3,8 m/s zimą [1].



Rys. 1. Mapa prędkości wiatru w Polsce (wg IMGW)



Rys. 2. Widok farmy wiatrowej (wieże rurowe) [2]

Z kolei bardzo duże prędkości wiatru mogą być niebezpieczne dla konstrukcji elektrowni wiatrowych, dlatego przy prędkościach wiatru większych od 25 m/s wyłącza się i wyhamowuje turbinę elektrowni.

## 2. WIEŻE STOSOWANE W ELEKTROWNIACH WIATROWYCH

Turbozespoły elektrowni wiatrowych są montowane w gondolach na wieżach stalowych lub betono-

wych. Obecnie najczęściej stosowane są stalowe wieże rurowe o wysokości do ok. 100 m (ok. 80% rynku europejskiego) lub wieże stalowe kratowe (kratownicowe), a znacznie rzadziej betonowe. Przy wysokościach większych od 100 m budowa wież rurowych nie jest ekonomicznie uzasadniona.

Konstrukcja wież kratowych jest sprawdzona, trwała i znana już od XIX wieku (np. wieża Eiffla o wysokości 300,5 m, wybudowana w 1889 r.). Zbudowano setki tysięcy wież kratowych, na których zamontowano linie energetyczne wysokich napięć oraz zainstalowano tysiące turbin wiatrowych.



Rys. 3. Widok farmy wiatrowej (wieże kratowe) [2]

Budowle kratowe, z wolno obrotowymi trzyłopatkowymi wirnikami o zmiennych kątach natarcia, pod względem poziomu natężenia wytwarzanych dźwięków są znacznie cichsze od rurowych [7 i 8].

Koszty demontażu i recyklingu wież kratowych w porównaniu do wież rurowych są niższe ze względu na znacznie mniejsze fundamenty oraz łatwość demontażu kątowników (rozbiórka rur o dużych średnicach jest bardziej skomplikowana).

### 3. WIEŻE – KONSTRUKCJE I WYSOKOŚCI

Według aktualnych trendów preferowana jest budowa elektrowni wiatrowych o możliwie wysokich wieżach i dużych mocach zainstalowanych.

Obecnie coraz częściej budowane są elektrownie wiatrowe z wieżami kratowymi o wysokości 160 m (i wyższe) ze względu na występujące na tych wysokościach znacznie większe prędkości wiatru.

Prędkość wiatru wzrasta w postępie geometrycznym wraz z wysokością wzniosu nad teren [6].

Zamontowanie turbiny wiatrowej na wieży 160-metrowej (zamiast na standardowej wieży rurowej 100-metrowej) pozwala uzyskać przyrost produkcji energii na poziomie kilkudziesięciu procent – przy zwiększonych kosztach inwestycji rzędu kilkunastu procent.

Wysokość 160 m jest obecnie nieosiągalna dla wież rurowych i betonowych. Wieże rurowe ze względów technologicznych (brak dźwigów o odpowiedniej wysokości) nie mogą być wyższe niż 100 m. Wieże kratowe nie mają ograniczeń wysokości, a przy wysokościach większych niż 100 m są znacznie tańsze od wież rurowych. Wynika to z dwóch zasadniczych powodów – do ich budowy zużywa się mniej żelbetu (mniejsze fundamenty) oraz mniej stali. Ponadto dość łatwo transportuje się je na plac budowy w postaci kątowników oraz łatwo i stosunkowo tanio montuje.

### 4. OPIS KONCEPCJI MONTAŻU WIEŻY KRATOWEJ

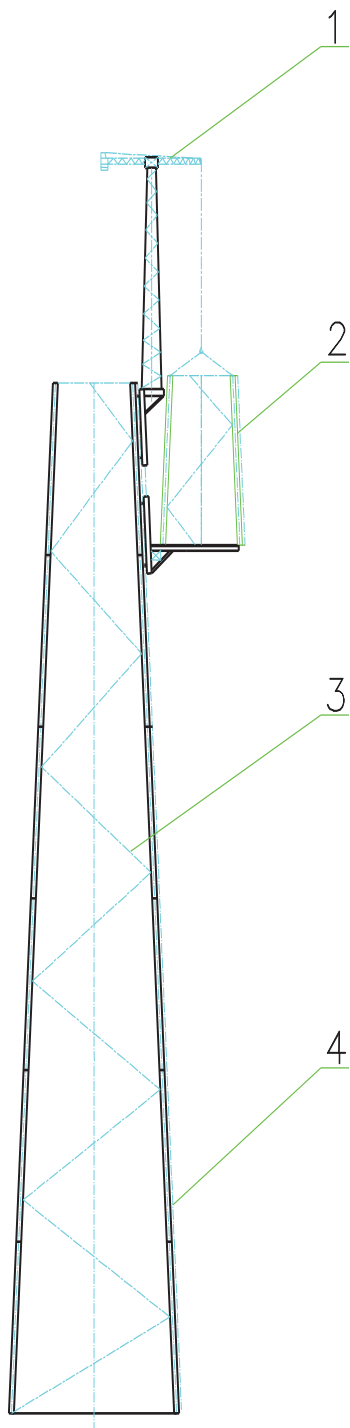
Poszczególne odcinki wieży kratowej są prefabrykowane na ziemi, zabezpieczane antykorozyjnie (ocynkowane ogniowo) i następnie kolejno montowane (nieprzesuwne połączenia śrubowe).

Zwykle montaż niższych elementów wieży 160-metrowej (do wysokości ok. 60 m) przeprowadza się z wykorzystaniem klasycznych dźwigów, a kolejne elementy mogą być montowane przy pomocy żurawi pełzających (pełzaków) z pominięciem dźwigów specjalnej konstrukcji.

Przez długi czas do rozwiązania pozostawał problem taniego montażu elementów wieży kratowej od wysokości ok. 60÷100 m do wysokości 160 m oraz montaż gondoli i łopat wirnika na szczycie wieży.

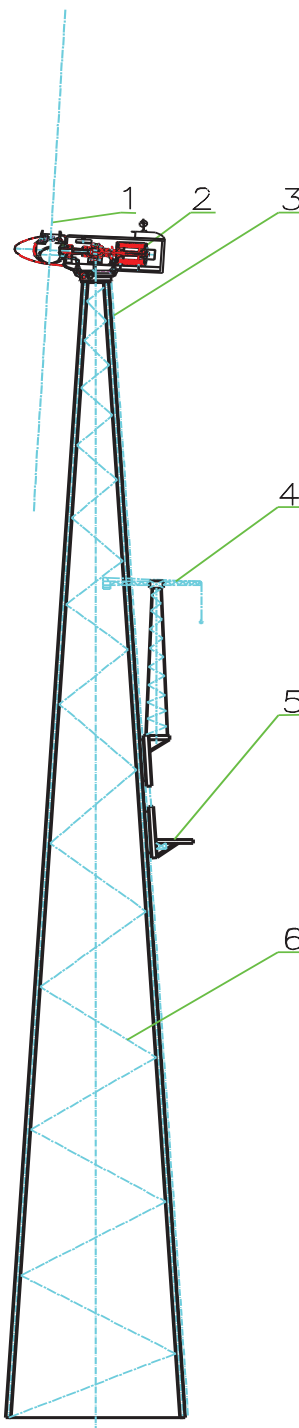
Ze względu na masę gondoli i wysokość poszczególnych przęseł wieży zastosowanie typowego żurawia

wia pelzającego (np. ŻPH-646) było niemożliwe. Konieczne było zastosowanie specjalnie opracowanego pelzaka, z autonomicznym napędem hydraulicznym, poruszającego się po prowadnicach rurowych umieszczonych na jednym z boków wieży (rys. 4 i 5).

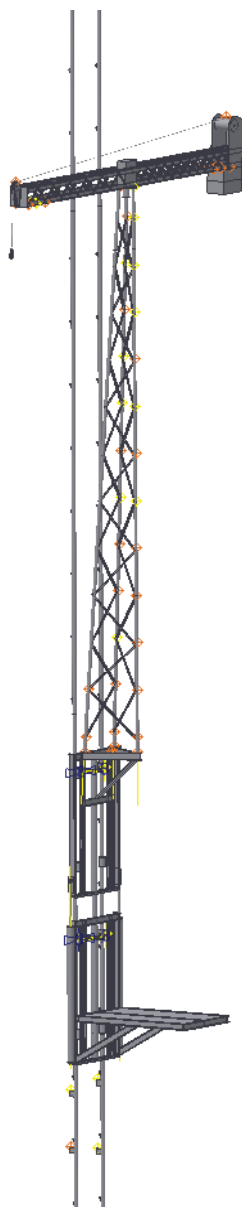


Rys. 4. Szkic elektrowni wiatrowej – montaż [2]

1 – pelzak, 2 – podnoszony element elektrowni,  
3 – wieża kratowa, 4 – prowadnice rurowe



Rys. 5. Elektrownia wiatrowa po zmontowaniu [2]  
1 – śmigła wirnika, 2 – gondola z turbogeneratorem,  
3 – prowadnice rurowe, 4 – zespół żurawia pelzaka,  
5 – zespół podestu pelzaka, 6 – wieża kratowa



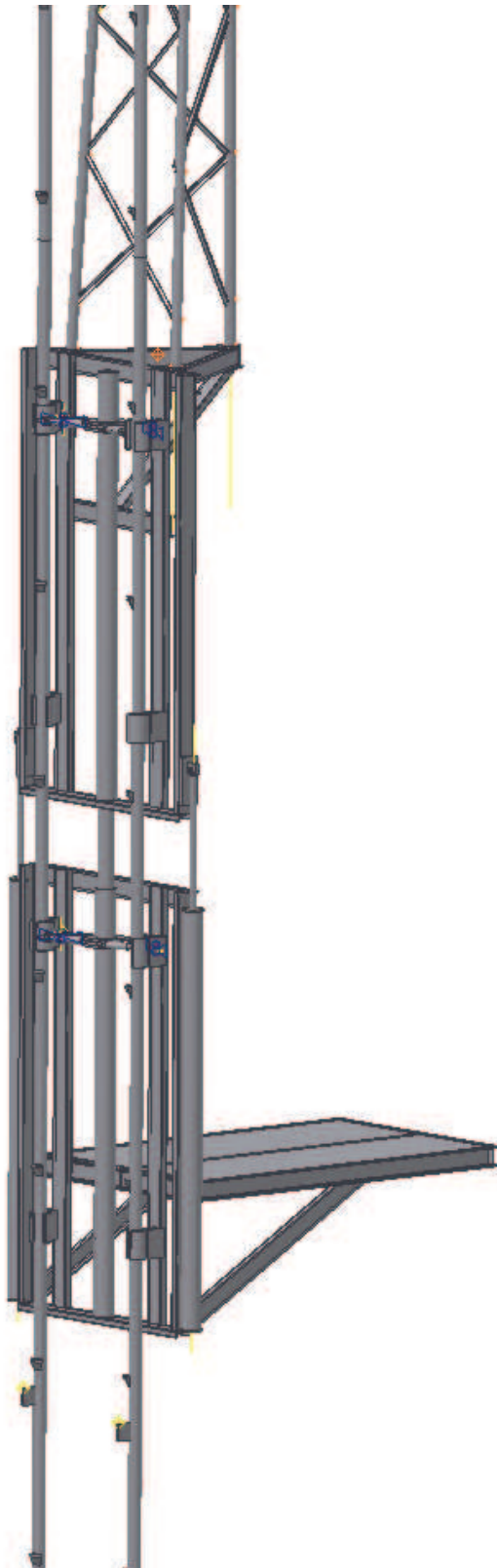
Rys. 6. Żuraw pełzający na prowadnicach rurowych [2]

Przy pomocy żurawia pełzającego mogą być tanio i bezpiecznie montowane wieże kratowe o praktycznie dowolnej wysokości. Żuraw pełzający (rys. 5) składa się z zespołu żurawia umieszczonego u góry oraz z umieszczonego na dole zespołu podestu, które połączone są ze sobą przesuwnie. Krokowy ruch zespołów pełzaka jest naprzemienny – gdy przesuw jednego zespołu jest blokowany, drugi zespół przesuwany jest w górę przy pomocy siłowników o dużym skoku itd. W rozwiązaniu tym blokada przesuwu żurawia pełzającego względem konstrukcji masztu realizowana jest wyłącznie przez silny zacisk uchwytów zaciskowych na prowadnicach. Przy odpowiednich warunkach zasilania umożliwia to żurawiom krokowe przemieszczanie się po prowadnicach. Problemem są bardzo duże siły, z jakimi uchwyty muszą zaciskać się na prowadnicach, co deformuje powierzchnie prowadnic.

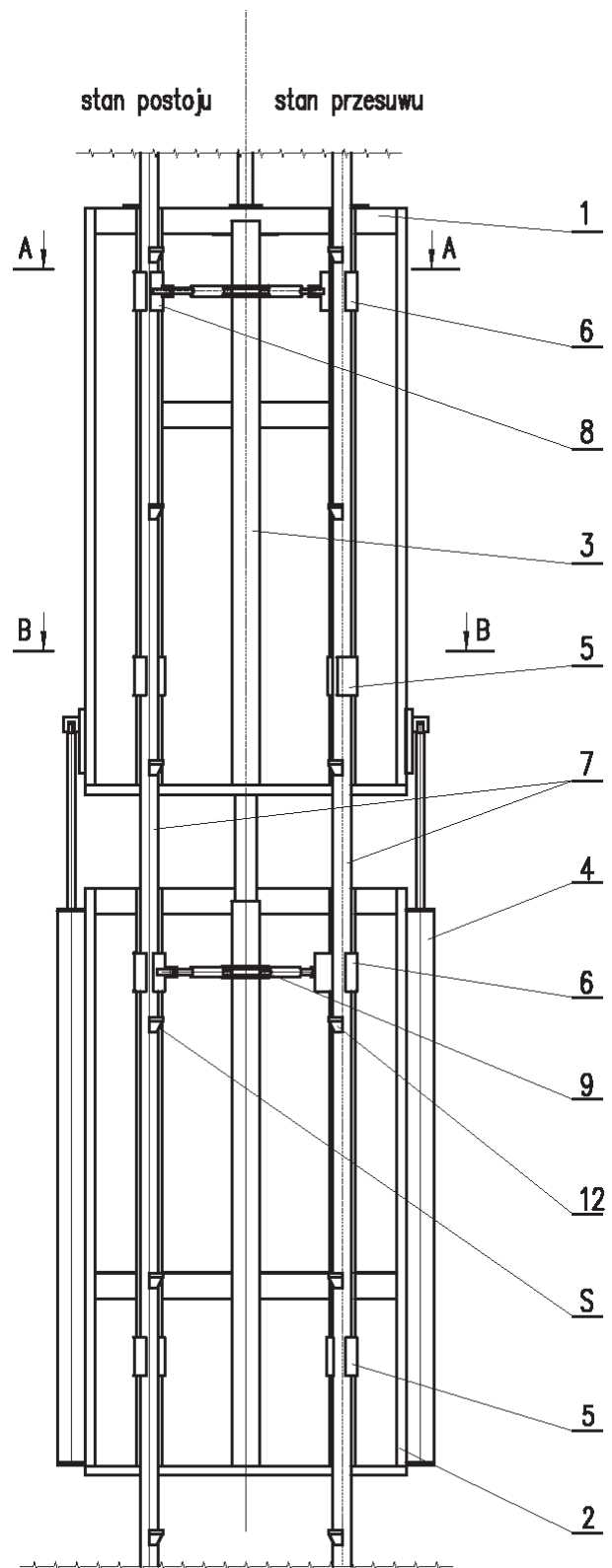
Po przemieszczeniu pełzaka blisko końca najwyższego aktualnie zmontowanego elementu wieży (rys. 4) znajdujący się na podeście pełzaka kolejny element elektrowni wiatrowej jest umieszczany przy pomocy żurawia pełzaka na miejscu przeznaczenia i montowany.

W ten sposób (pewnie, bezpiecznie i tanio) można przy pomocy żurawia pełzającego, bez użycia specjalnego dźwigu, zmontować kolejno wszystkie zespoły elektrowni wiatrowej na wieży kratowej o dowolnej wysokości.

Należy pamiętać, że zastosowanie specjalnych dźwigów do montażu elektrowni wiatrowych już o wysokościach do 110 m jest niezwykle kosztowne (koszt sięga 30÷50% kosztów elektrowni wiatrowej), a obecnie dźwigi o wysokościach podnoszenia wyższych od 110 m są praktycznie nieosiągalne.



Rys. 7. Pelzak żurawia pelzającego na prowadnicach rurowych [2]



Rys. 8. Żuraw pelzający (pelzak) [2]  
 1 – zespół żurawia, 2 – zespół podestu, 3 – prowadnica teleskopowa, 4 – silownik podestu, 5 – uchwyt stały, 6 – uchwyt prowadzący, 7 – prowadnica rurowa, 8 – uchwyt ruchomy, 9 – silownik, 12 – zaczep



nie na prowadnicy rurowej w taki sposób, że w stanie postoju zaczep umieszczony jest kolizyjnie w stosunku do umieszczonego przesuwnie uchwyty ruchomego. W stanie przesuwu zaczep umieszczony jest bezkolizyjnie w stosunku do uchwyty ruchomego i przesuw w dół jest blokowany.

Do uchwyty ruchomego zamocowana jest sprężyna, zapewniająca stały docisk uchwyty ruchomego do prowadnicy rurowej. Siła naciągu sprężyny jest mniejsza od sił wywieranych przez siłownik. Zaczep posiada w dolnej części stożkowe ścięcie, które pozwala zarówno w stanie postoju, jak i w stanie spoczynku na przesuw zespołu żurawia i zespołu podestu siłownikami podestu w kierunku „do góry”. Blokiwanie możliwości przesuwu w dół jest wykonalne również w przypadku braku zasilania siłownika, gdy docisk uchwyty ruchomego do powierzchni prowadnicy rurowej realizowany jest wyłącznie sprężyną dociskową. W stanie postoju sprężyna skutecznie zabezpiecza pełzak przed zsunieniem (ruch w dół).

Rysunek 8., wraz z przynależnymi przekrojami uwiidocznionymi na rysunkach 9. i 10., przedstawia żuraw pełzający w widoku od strony wieży kratownicowej w dwóch ustawieniach. Po lewej stronie osi przedstawione jest ustawienie w stanie postoju, a po prawej – w stanie przesuwu. Uchwyty stałe i uchwyty prowadzące zamocowane są przesuwnie na prowadnicach rurowych. Każdy uchwyt prowadzący ma zamocowany wahliwie uchwyt ruchomy, który może być dociskany siłownikiem i sprężyną dociskową do prowadnicy rurowej. Zaczepy są zawsze umieszczone na prowadnicach rurowych bezkolizyjnie w stosunku do zainstalowanego przesuwnie uchwyty stałego i uchwyty prowadzącego. W stanie postoju uchwyt ruchomy jest umieszczony kolizyjnie w stosunku do zaczepów, a w stanie przesuwu uchwyt ruchomy może być odsuwany od zaczepów dla umożliwienia przesuwu przy ruchu pełzaka w górę po prowadnicach. Uchwyt ruchomy jest umieszczony kolizyjnie w stosunku do zaczepów w czasie przesuwu w dół. Stożkowe ścięcie na zaczepie pozwala zarówno w stanie postoju, jak i w stanie spoczynku na przesuw zespołu żurawia i zespołu podestu w górę. Przesuw pełzaka w dół jest możliwy wyłącznie przy położeniu uchwyty ruchomego w pozycji „stan przesuwu”. W stanie postoju przesuw w dół jest blokowany. Prowadnice rurowe mocowane są na konstrukcji wieży kratowej przy pomocy żeber.

## 5. WNIOSKI

Korzystne jest stosowanie elektrowni wiatrowych z możliwie wysokimi wieżami.

Aktualnie często budowane są elektrownie wiatrowe z wieżami o wysokości 100÷160 m ze względu na występujące na tych wysokościach wyższe prędkości wiatru.

Budowa elektrowni wiatrowej z wieżą rurową o wysokości większej od 100 (110) m jest ekonomicznie nieopłacalna. Dla większych wysokości powinny być stosowane wieże kratowe.

Opracowany został tani i bezpieczny sposób montażu wysokich wież kratowych, przy pomocy żurawia pełzającego, bez konieczności stosowania specjalnych dźwigów.

Zamontowanie turbiny wiatrowej na wieży 160-metrowej (zamiast na standardowej wieży rurowej 100-metrowej) pozwala uzyskać przyrost produkcji energii na poziomie kilkudziesięciu procent – przy zwiększonych kosztach inwestycji rzędu kilkunastu procent.

Budowle kratowe generują mniejszy hałas niż rurowe.

### Literatura

1. Lewandowski W.: *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, WNT, Warszawa 2006.
2. Drwięga A., i inni: *Turbina wiatrowa o mocy nominalnej 1,8÷2,5 MW o podwyższonej wieży kratowej i specjalnym systemie montażu*. ITG KOMAG, Gliwice 2012 (praca niepublikowana).
3. Ministerstwo Gospodarki. *Założenia polityki energetycznej Polski do roku 2020*, Warszawa 2000.
4. *Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dn. 30.05.2003 w sprawie zakupu energii elektrycznej i ciepła z odnawialnych źródeł energii*.
5. Głowacz Z., Piech K., Głowacz W.: *Przegląd nowoczesnych technologii do pozyskiwania energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych*, Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 2011, nr 11 (489), str. 48-60.
6. Vries E.: *Multibrid 5 MW offshore wind turbine prototype due later this year*, *Renewable Energy Word*, May-June 2003, Vol.6, Numbre 3, str.138÷139.
7. Jones J.: *Wind not just for turning – wind turbine blades*, *Renewable Energy Word*, May-June 2003, Vol.6, Numbre 3, str.128÷137.
8. Twidell J.: *Wind turbines - Technology fundamentals*, *Renewable Energy Word*, May-June 2003, Vol.6, Numbre 3, str.102÷111.

Artykuł został zrecenzowany przez dwóch niezależnych recenzentów