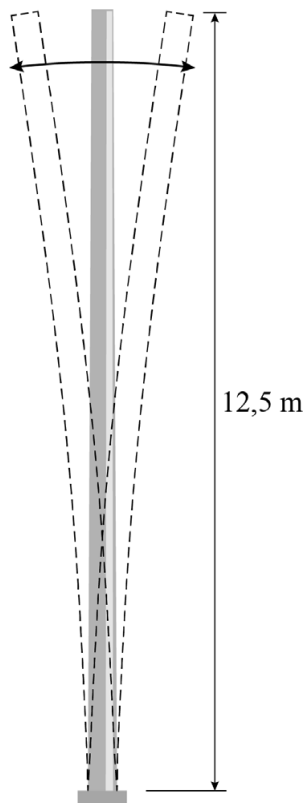


## Wiebelgenerator

Er wordt onderzoek gedaan naar een nieuwe methode om windenergie om te zetten in elektrische energie. Bij een bepaalde experimentele methode wordt een lange paal gebruikt waarin staande golven ontstaan als de paal in de wind staat. De wiebelende paal wekt elektriciteit op en wordt dan ook 'wiebelgenerator' genoemd. Voor een test is een prototype van een wiebelgenerator gemaakt met een 12,5 m lange paal. Zie figuur 1. In deze figuur is schematisch weergegeven hoe de paal in de grondtoon trilt.

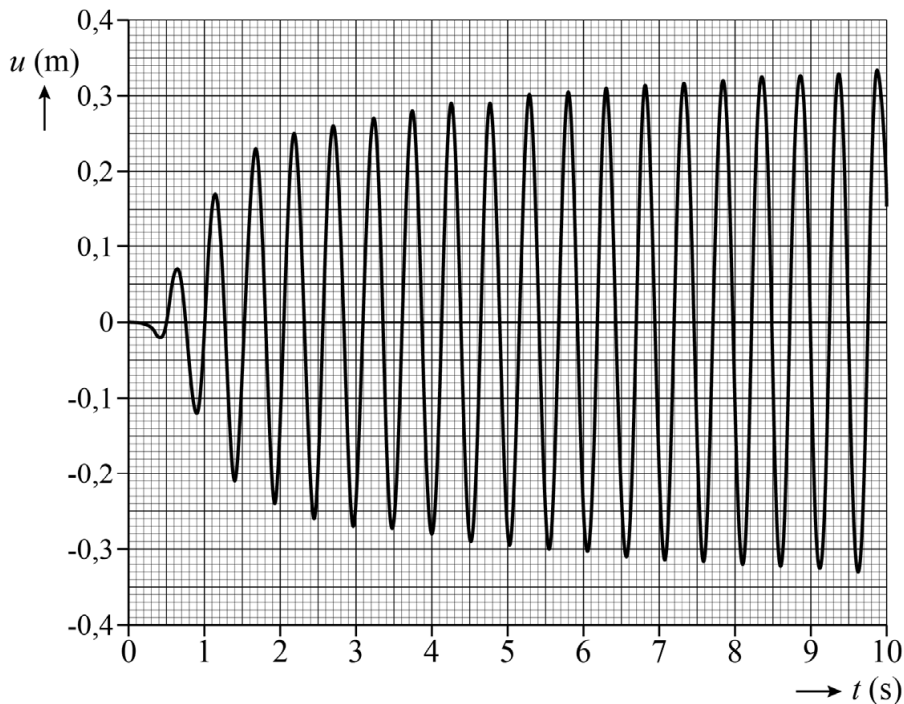
**figuur 1**



- 2p 17 Geef in de figuur op de uitwerkbijlage het patroon van knopen (K) en buiken (B) voor de eerste boventoon van de paal.

De frequentie waarmee de paal gaat trillen, is afhankelijk van de voortplantingssnelheid van de golven in de paal. Om deze snelheid te bepalen, wordt tijdens een test de paal aan het trillen gebracht in de grondtoon. Zie figuur 1. Van deze trilling wordt een  $(u,t)$ -diagram gemaakt. Zie figuur 2.

**figuur 2**



- 4p 18 Bepaal met behulp van figuren 1 en 2 de voortplantingssnelheid die uit deze test volgt. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

Als gevolg van de wind ontstaan er rond de paal wervelingen met een bepaalde frequentie  $f_w$ . Voor een zo groot mogelijke opbrengst van de wiebelgenerator moet  $f_w$  gelijk zijn aan de eigenfrequentie  $f_0$  van de grondtoon. De frequentie  $f_w$  is niet constant, maar afhankelijk van de windsnelheid. De eigenfrequentie  $f_0$  moet dus aangepast kunnen worden tijdens het veranderen van de windsnelheid. De onderzoekers denken dit te kunnen doen met een technische oplossing waarmee de veerconstante van de paal kan worden verhoogd of verlaagd.

De paal is te modelleren als een massa-veer-systeem.

Op de uitwerkbijlage staan hierover twee zinnen.

- 2p 19 Omcirkel op de uitwerkbijlage in iedere zin het juiste alternatief.

Met behulp van het model wordt berekend dat het nuttige vermogen van de wiebelgenerator bij een bepaalde lengte van de paal gelijk is aan 100 W. Men wil het rendement van de wiebelgenerator bij een windsnelheid van  $12 \text{ m s}^{-1}$  vergelijken met het rendement van een reguliere windturbine onder dezelfde omstandigheden. Voor het vermogen dat de wind overdraagt op de wiebelgenerator geldt:

$$P_{\text{wind}} = 0,30 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (1)$$

Hierin is:

- $P_{\text{wind}}$  het overgedragen vermogen;
- $\rho$  de dichtheid van lucht;
- $A$  het frontaal oppervlak van de wiebelende paal;
- $v$  de windsnelheid.

Het frontaal oppervlak voor de paal in het model wordt gesteld op  $1,2 \text{ m}^2$ . Een reguliere windturbine heeft onder dezelfde omstandigheden een rendement van 35%.

- 3p    **20**    Toon met behulp van een berekening aan of het rendement van de wiebelgenerator dat volgt uit dit model hoger of lager is dan het rendement van de reguliere windturbine.