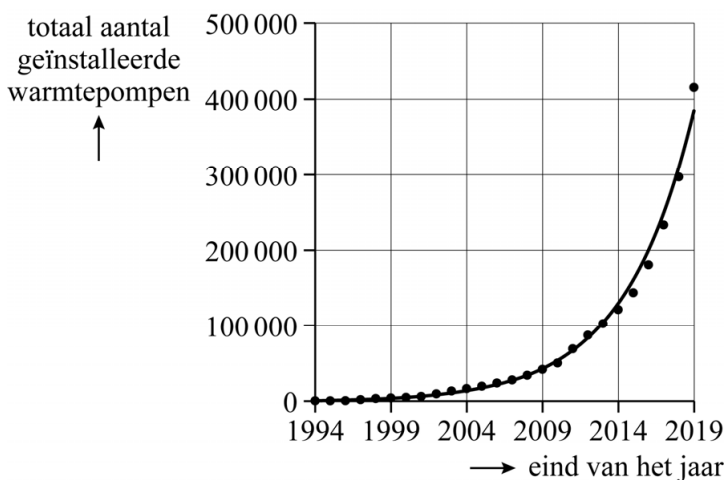


Warmtepompen

In 2019 werd een deel van de aardgasvrije woningen in Nederland verwarmd met behulp van een **warmtepomp**. Een warmtepomp is een duurzaam alternatief voor een cv-ketel op gas. Warmtepompen zijn met een grote opmars bezig. Zie figuur 1.

figuur 1



Eind 1994 waren er 1700 warmtepompen geïnstalleerd in Nederlandse woningen. Dit aantal nam bij benadering exponentieel toe tot 412 000 geïnstalleerde warmtepompen eind 2019.

- 3p **16** Bereken met behulp van deze gegevens met hoeveel procent per jaar het aantal geïnstalleerde warmtepompen in de periode 1994-2019 toenam. Geef je antwoord in één decimaal.

De grafiek in figuur 1 kan worden benaderd met de formule:

$$W = 1700 \cdot e^{0,22t}$$

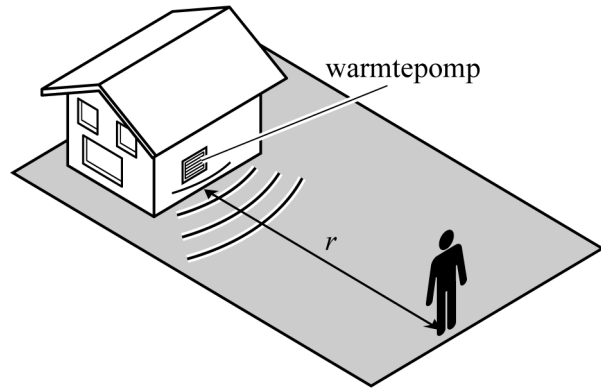
Hierin is W het totaal aantal geïnstalleerde warmtepompen en t de tijd in gehele jaren met $t = 0$ aan het eind van 1994.

Veronderstel dat de formule voor W ook na 2019 geldt.

- 4p **17** Bereken in welk jaar de jaarlijkse toename aan geïnstalleerde warmtepompen voor het eerst groter is dan 200 000.

figuur 2

In het vervolg van de opgave bekijken we warmtepompen die aan een buitenmuur gemonteerd worden. Zie figuur 2.



Een nadeel van warmtepompen is het geluid dat ze maken. Voor warmtepompen die gemonteerd zijn zoals in de situatie in figuur 2, kan het geluidsniveau op een bepaalde afstand van de warmtepomp worden benaderd met de formule:

$$L = L_{\max} - 10 \cdot \log(\pi r^2) \quad \text{met } r > 0,8$$

Hierin is L het geluidsniveau in dB (decibel) van de warmtepomp dat op r meter afstand van de warmtepomp wordt waargenomen en $L_{\max}$ is het maximale geluidsniveau van de warmtepomp in dB.

Vanwege mogelijke geluidsoverlast is wettelijk vastgelegd dat het geluidsniveau van een warmtepomp tussen 19:00 uur en 7:00 uur hoogstens 40 decibel mag bedragen op de dichtstbijzijnde grens met de burens.

Peter wil een warmtepomp aan een buitenmuur monteren in een situatie zoals in figuur 2 waarbij hij aan de wettelijke eis wil voldoen. Het maximale geluidsniveau van de warmtepomp is 53 dB.

- 3p **18** Bereken in gehele decimeters de minimale afstand tussen de warmtepomp en de dichtstbijzijnde grens met de burens waarbij aan de wettelijke eis wordt voldaan.

Als je bij een warmtepomp vandaan loopt, neemt het geluidsniveau in het begin relatief sterk af, maar vervolgens steeds minder. Een daling van het geluidsniveau met minder dan 1 dB per meter kan het menselijk oor niet waarnemen.

- 5p **19** Bereken met behulp van de formule van de afgeleide van L vanaf welke afstand, het menselijk oor de daling van het geluidsniveau niet meer kan waarnemen. Geef je antwoord in meters in één decimaal.

Let op: de laatste vraag van dit examen staat op de volgende pagina.