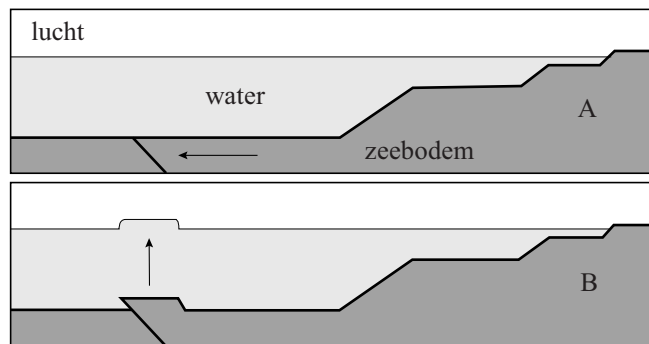


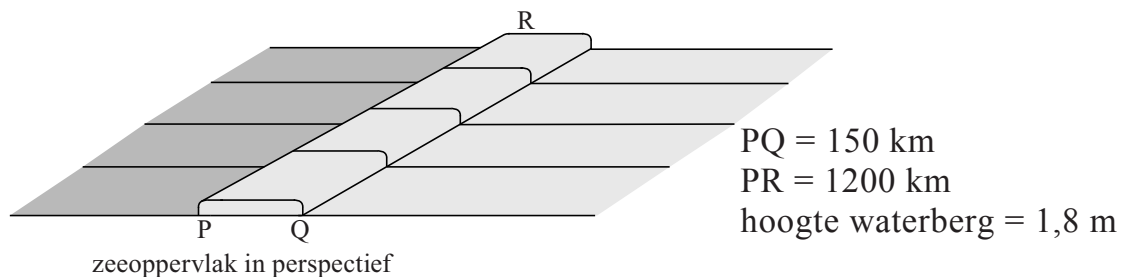
Opgave 1 Tsunami

Figuur 1 laat op een vereenvoudigde manier zien hoe een gedeelte van de zeebodem door een aardverschuiving plotseling omhoog komt. Het zeewater dat boven dat gedeelte zit, wordt omhoog gedruwd waardoor er een 'waterberg' aan het oppervlak ontstaat. Deze waterberg is meestal niet hoog, maar kan in de lengte en de breedte grote afmetingen hebben. Figuur 2 toont zo'n waterberg met zijn afmetingen, in perspectief. De figuren zijn schematisch en niet op schaal.

figuur 1



figuur 2



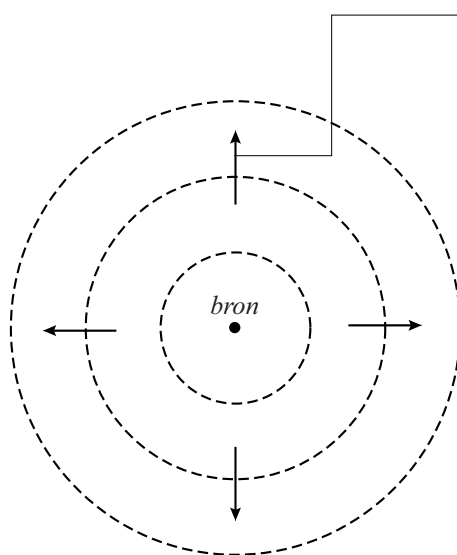
De waterberg kan een tsunami, een vloedgolf aan de kust, veroorzaken. Het mogelijke gevaar van een tsunami hangt af van de zwaarte-energie van de waterberg ten opzichte van het normale zeepeil. Als deze energie meer dan 0,5 PJ (petajoule) bedraagt, is er kans op een tsunami.

- 4p 1 Ga na met een berekening of de zwaarte-energie van de waterberg in figuur 2 de waarde van 0,5 PJ overschrijdt.

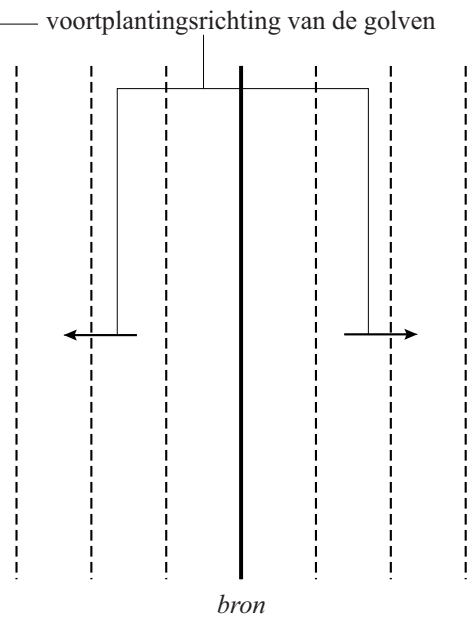
Een tsunami-golf verliest weinig aan hoogte als hij een grote afstand aflegt. Dit in tegenstelling tot een golf vanuit een puntvormige bron zoals bijvoorbeeld veroorzaakt door een steen die in een vijver valt.

In de figuren 3 en 4 worden beide situaties vergeleken.

figuur 3



figuur 4



- 2p 2 Leg uit waarom de amplitude van een golf in figuur 3 **wel** sterk afneemt en in figuur 4 (bijna) **niet**.

Figuur 5A laat zien hoe de waterberg zich naar rechts (en naar links) verplaatst als een golfberg. De snelheid v waarmee dat gebeurt, wordt gegeven door:

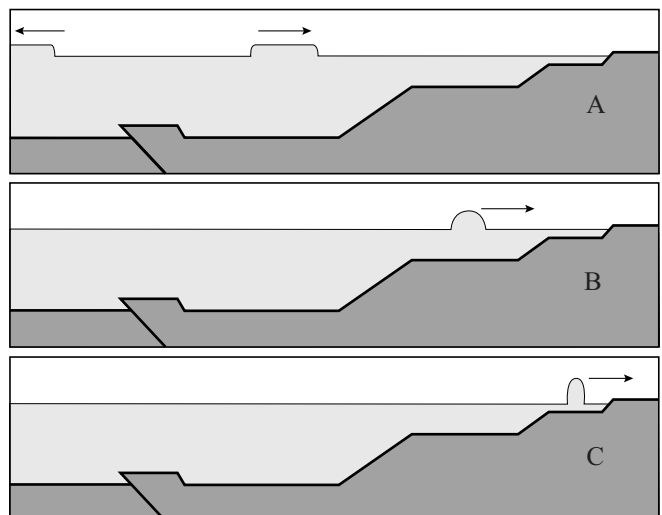
$$v = \sqrt{gd}$$

Hierin is:

- g de valversnelling;
- d de diepte van de zee.

In figuur 5B en 5C nadert de waterberg de kust, waarbij de diepte van de zee kleiner wordt. Er treden hierbij twee effecten op: de waterberg wordt smaller en de waterberg wordt hoger.

figuur 5



- 3p 3 Geef voor beide effecten een natuurkundige verklaring.

De gevolgen van een tsunami kunnen aan de kust desastreus zijn. Men zoekt dan ook naar manieren om de bevolking van gebieden in de gevarenzone vroegtijdig te waarschuwen. Eén manier werkt als volgt. Een aardverschuiving van de zeebodem veroorzaakt schokgolven door de aardkorst waarvan de voortplantingssnelheid het dubbele is van de voortplantingssnelheid van geluid in steen. Omdat deze snelheid groter is dan de snelheid van de waterberg, bereikt de schokgolf de kust eerder dan de tsunami.

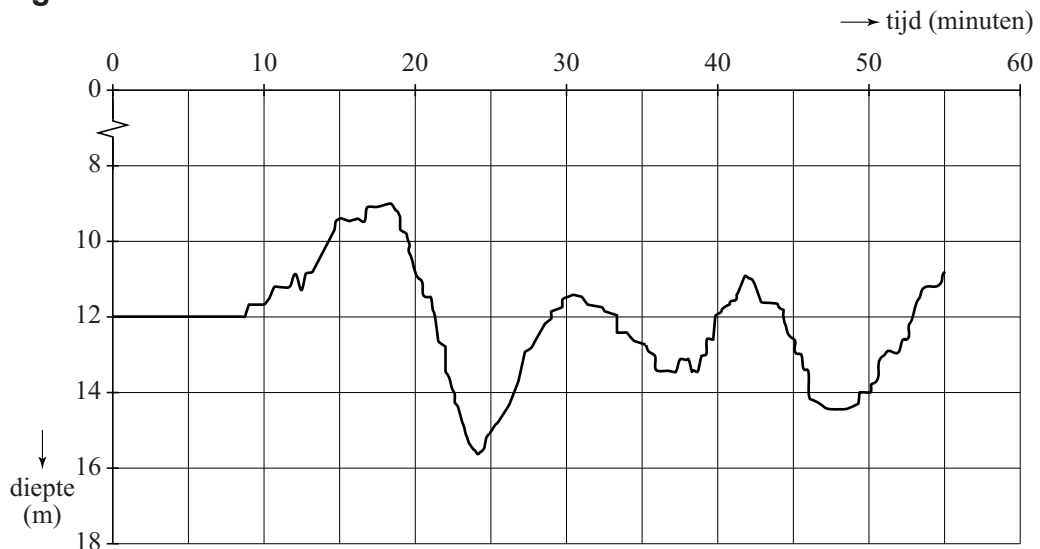
Stel dat een aardverschuiving plaatsvindt op 2500 km van een meetpunt aan de kust en dat de zee een diepte heeft van 3,0 km.

- 4p **4** Bereken het tijdsverschil tussen het waarnemen van de schokgolf en de komst van de tsunami.

In werkelijkheid verloopt het ontstaan van een tsunami vaak complexer dan in figuur 1 is weergegeven. De aardverschuiving vindt meestal in meerdere stappen plaats en soms komen ook verzakkingen van de zeebodem voor. De golf die bij de kust aankomt, is dan ook meestal uitgebreider en kan bestaan uit meerdere golfbergen en golfdalen.

Figuur 6 geeft een registratie van de waargenomen diepte van de zee onder een schip vlak voor de kust van Phuket (Thailand) bij de tsunami van 2004.

figuur 6



- 2p **5** Leg uit met behulp van figuur 6 of bij Phuket eerst een golfdal of eerst een golfberg arriveerde.

De golflengte van de tsunami bepaalt mede hoe hevig de kust wordt getroffen.

- 3p **6** Bepaal met behulp van figuur 6 de golflengte van de tsunami-golven vlak voor de kust van Phuket.