

### Opgave 4 Nachtstroomkachel

De kachel op de foto hiernaast is een zogenaamde nachtstroomkachel. Deze kachel bestaat uit grote blokken speksteen die door een elektrisch verwarmingselement van binnenuit worden opgewarmd. Het opwarmen gebeurt 's nachts omdat elektrische energie dan goedkoper is. Overdag geven de stenen hun warmte langzaam weer af.



Het verwarmingselement van de afgebeelde kachel heeft een vermogen van 5,6 kW. Het verwarmen van de stenen duurt gemiddeld 4,0 uur. Per jaar gebeurt dat zo'n 200 keer. Een kWh kost 's nachts €0,11.

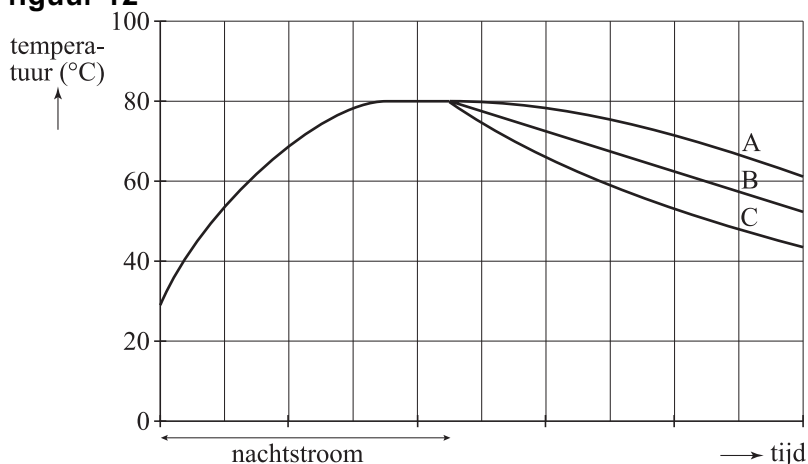
3p **13** Bereken de energiekosten in een jaar voor deze kachel.

De massa van de spekstenen van de afgebeelde kachel is 700 kg. In de eerste 30 minuten stijgt de temperatuur van de spekstenen met 12 °C. Je mag aannemen dat dan alle warmte door de stenen is opgenomen en er nog geen warmte aan de omgeving is afgestaan.

3p **14** Bereken de soortelijke warmte van speksteen.

Als de temperatuur van de stenen 80 °C is, wordt deze temperatuur gehandhaafd totdat de nachtstroomperiode eindigt. De stenen koelen daarna af. In figuur 12 is het temperatuurverloop van de stenen weergegeven.

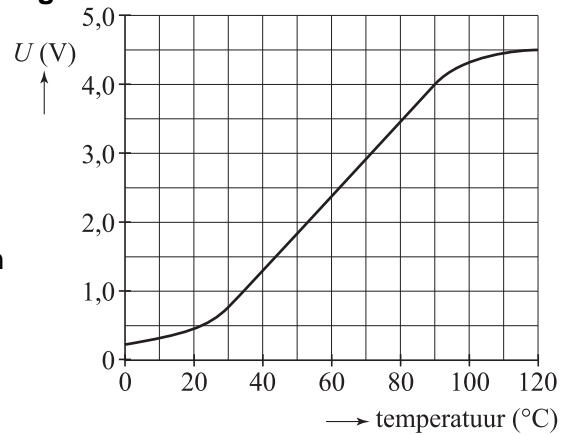
**figuur 12**



Het afkoelen van de spekstenen is op drie manieren getekend.  
2p **15** Leg uit welke van deze grafieken (A, B of C) hoort bij het afkoelen van de stenen.

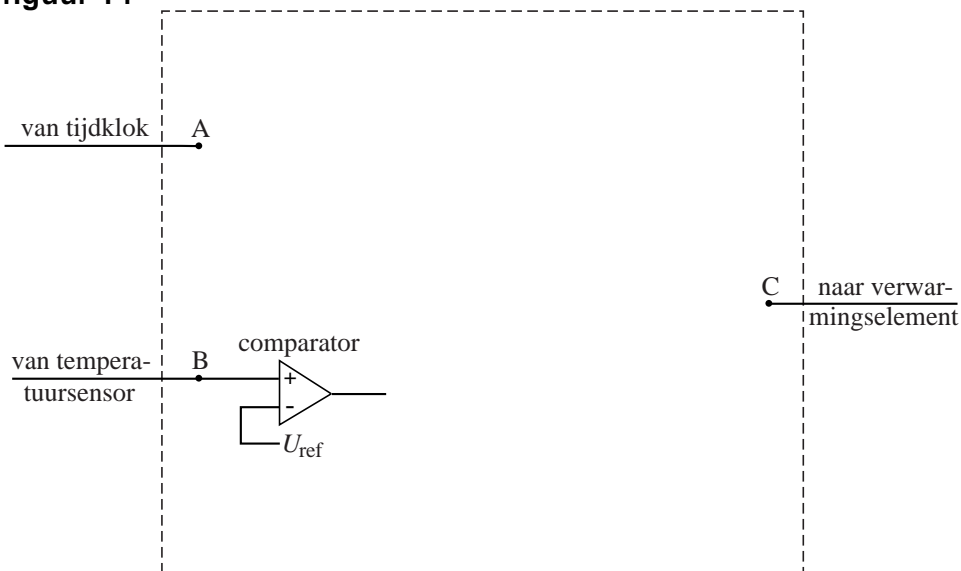
- 3p **16** De temperatuur van de stenen wordt gemeten met een temperatuursensor. Figuur 13 is de ijkgrafiek van deze sensor.
- Bepaal de gevoeligheid van de sensor bij een temperatuur van 80 °C.

figuur 13



In figuur 14 is een begin gemaakt met een schakeling die het verwarmingselement automatisch in- en uitschakelt. Op A is een tijd klok aangesloten. Het signaal bij A is hoog zolang als er elektrische energie wordt geleverd tegen nachttarief. Op B is de temperatuursensor aangesloten. Op C is het verwarmingselement aangesloten. Het verwarmingselement is alleen aan als het signaal bij C hoog is.

figuur 14



Aan de schakeling stelt men de volgende eisen.

- Als er geen elektrische energie geleverd wordt tegen nachttarief moet het verwarmingselement uit blijven.
- Als er wel elektrische energie tegen nachttarief wordt geleverd, moet het verwarmingselement alleen aan zijn wanneer de temperatuur lager is dan 80 °C.

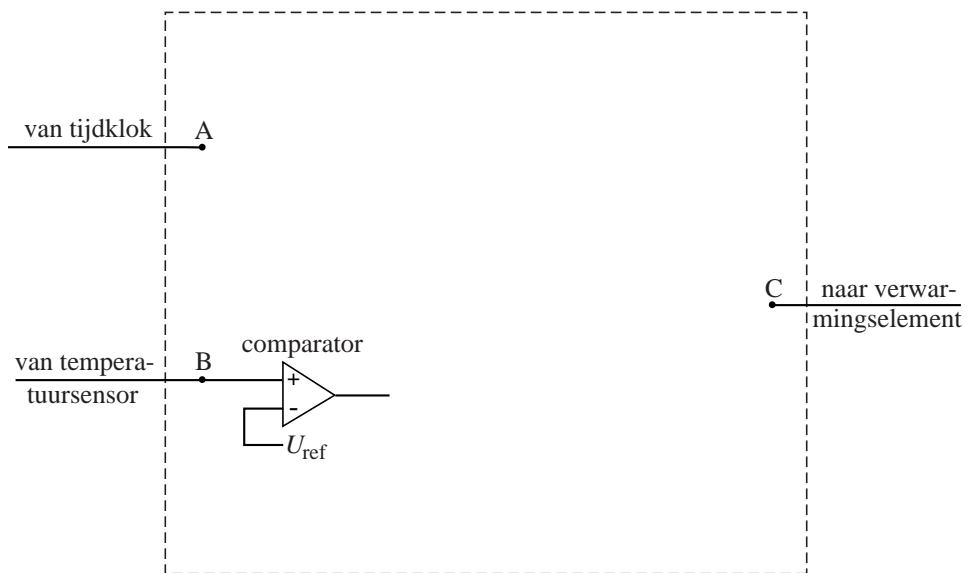
De schakeling zorgt er ook voor dat, wanneer de temperatuur van 80 °C bereikt is, deze constant gehouden wordt totdat de nachtstroomperiode eindigt.

Figuur 14 staat ook op de uitwerkbijlage.

- 4p **17** Teken in de figuur op de uitwerkbijlage de noodzakelijke verwerkers en hun verbindingen. Geef ook aan op welke waarde de referentiespanning moet worden ingesteld.

**uitwerkbijlage**

17



$U_{ref} = \dots\dots\dots$