

### 3.2.10 Tání a tuhnutí

**Předpoklady:** 030201

**Pomůcky:** co nejstudenější led, teploměr vernier, vařečka, zkumavka s voskem, sklenička roztržená mrznoucí vodou, plátěný sáček, prkýnko, kladívko, plynový vaříč

**Př. 1:** Sklenička byla zcela naplněna vodou, uzavřena a vložena do mrazáku. Co se stalo? Vysvětli výsledek pokusu. Najdi jiný jev, který vede ke stejnému závěru.

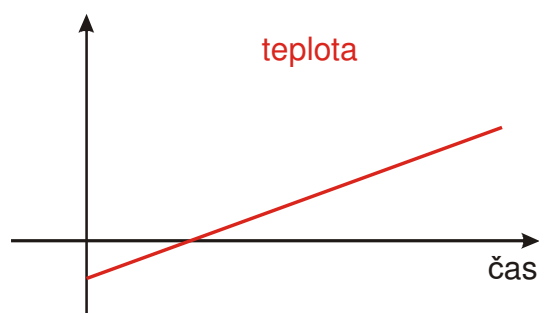
Sklenička je roztržena.

Ačkoliv voda se do skleničky vešla, led, který z ní vznikl, se do ní nevešel  $\Rightarrow$  při tuhnutí se objem vody zvětšuje (hustota ledu je menší než hustota vody).

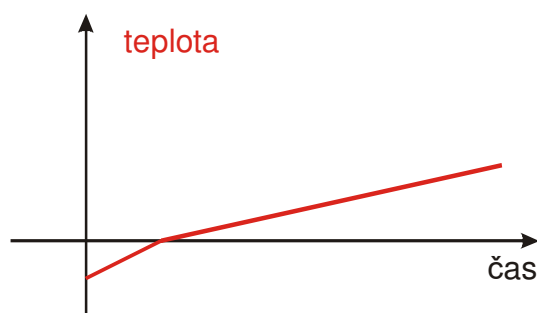
Ke stejnému závěru dojedeme, když se zamyslíme nad tím, že led plave na vodě (protože plave, musí mít menší hustotu než voda).

**Pedagogická poznámka:** Led na následující pokus roztlučím v plátěném pytlíku. Úplně nejlepší je jej roztlučit předem a nechat ho před hodinou v mrazáku. Zahřívám na plynovém vaříči, aby bylo vidět, že se nemění intenzita plamene a tedy i množství tepla dodávaného do kastrůlku (což byl první argument, když jsem používal indukční plotýnku).

**Př. 2:** Do kastrůlku dáme roztlučený led, kastrůlek položíme na zapnutý vaříč a mícháme vařečkou, ke které je připevněn teploměr. Načrtni, jak se po zapnutí vaříče bude s časem měnit naměřená teplota. Prohlédni si grafy nakreslené spolužáky. Jaké vlastnosti z nich pro vodu vyplývají?



Vody je stále stejné množství a na zahřátí je třeba stále stejné množství tepla (u vody i ledu).



Na ohřátí ledu o  $1^{\circ}\text{C}$  je třeba méně tepla než na ohřátí vody o  $1^{\circ}\text{C}$  (čára ze začátku stoupá rychleji).

**Pedagogická poznámka:** Předchozí odhady nejsou správné, jsou nejčastější. Správné řešení je příkladu 4. Během měření žákům graf neukazuji, abych neovlivňoval jejich odhady. Překreslím na tabuli několik odhadů ze sešitů a bavíme se o tom, které představují stejnou předpověď a jaká ta předpověď vlastně je.

**Př. 3:** Prohlédni si ve zkumavkách ztvrdlý vosk a zmrzlou vodu. Jak se mění hustota vosku, když tuhne? Proč? Navrhni pokusy, kterými bychom to mohli snadno ověřit.

Led udělá ve zkumavce čepičku (mrzne od krajů, zvětšuje objem  $\Rightarrow$  vytlačuje vodu, která je dále od stěny a ještě nestihla zmrznout  $\Rightarrow$  nezmrzlá voda stoupá výš a vytváří čepičku.

Vosk udělal ve zkumavce prohlubeň  $\Rightarrow$  vosk při tuhnutí zmenšuje objem (ztuhlý vosk u stěny má menší objem  $\Rightarrow$  vytváří místo pro ještě neztuhlý vosk  $\Rightarrow$  hladina vosku klesá  $\Rightarrow$  vosk vytváří prohlubeň.

Ověření: Hodíme kousek tuhého vosku do roztaveného do zkumavky s roztaveným voskem. Pokud tuhý vosk klesne, je jeho hustota větší než hustota roztaveného vosku.

**Př. 4:** Porovnej závislost teploty vody na čase se svým odhadem. Co tyto rozdíly znamenají. Zkus je vysvětlit. Nakresli ideální graf pro zahřívání ledu a dopiš do něj, co se v které jeho části děje.

Skutečný graf:

Rozdíly:

- teplota stoupá rychleji u ledu než u vody,
- růst teploty se dvakrát zastaví (přestože je vařič puštěný stále stejně a dodává pořád stejné množství tepla), jednou na  $0^{\circ}\text{C}$ , podruhé na  $98^{\circ}\text{C}$ .

Vysvětlen

- teplota stoupá rychleji u ledu než u vody  $\Rightarrow$  měrná tepelná kapacita ledu je menší než měrná tepelná kapacita vody (na ohřátí o  $1^{\circ}\text{C}$  je potřeba méně tepla). Led je pevná látka  $\Rightarrow$  je přijatelné, že na urychlování částic v ledu je třeba méně tepla než v kapalně vodě.
- růst teploty se dvakrát zastaví (přestože je vařič puštěný stále stejně a dodává pořád stejné množství tepla), jednou na  $0^{\circ}\text{C}$ , podruhé na  $98^{\circ}\text{C}$   $\Rightarrow$  při obou těchto teplotách se dodávané teplo musí spotřebovávat na něco jiného než rozkmitávání částic.
  - $0^{\circ}\text{C}$ : led se mění ve vodu  $\Rightarrow$  částice, které jsou pevně uchycené na svých místech, se musí ze svých míst uvolnit  $\Rightarrow$  je potřeba jim dodat energii,
  - $98^{\circ}\text{C}$ : voda se mění v páru  $\Rightarrow$  částice držené v kapalině se uvolňují, aby se mohli volně pohybovat  $\Rightarrow$  musíme je vysvobodit z přitahování okolních částic  $\Rightarrow$  musíme dodat energii.

Ideální graf:



**Pedagogická poznámka:** Prvotní kontrolu příkladu děláme poměrně brzy, řekneme si pouze rozdíly a otázku, co se s teplem dělo řešíme a až později.

**Př. 5:** V tabulkách je u krystalických látek uvedeno "měrné skupenské teplo tání – značka  $l_t$ " v jednotkách J/kg. Co znamená, že pro vodu je měrné skupenské teplo tání 334 000 J/kg.

Jednotlivá slova:

- teplo: energie, kterou musíme dodat nebo odebrat,
- skupenské: zřejmě jde o teplo při změně skupenství,
- měrné: jde o hodnotu týkající se nějakého standardního množství (typicky 1 kg)
- tání: hodnota se vztahuje k tání,

⇒ Pokud je měrné skupenské teplo tání vody 334 000 J/kg, znamená to, že na roztátí 1 kg ledu o teplotě tání ( $0^\circ\text{C}$ ) je potřeba dodat energii 334 000 J.

**Př. 6:** Spočti, kolik tepla musí vařič dodat ledu ze skleničky, aby se roztál. Kolik tepla bude muset dodat, aby se vzniklá voda ohřála na  $100^\circ\text{C}$ ? Ještě před výpočtem odhadni, která z těchto dvou výsledků bude větší.

Z grafu je vidět, že tání ledu trvalo kratší dobu než jeho ohřívání na bod varu ⇒ druhá hodnota by měla být větší.

Led vznikl zmrznutím 300 ml vody ⇒ jeho hmotnost je 0,3 kg.

Teplo potřebné k roztátí ledu (čím větší hmotnost, tím více tepla potřebujeme):

$$Q = m \cdot l_t = 0,3 \cdot 334\,000 \text{ J} = 100\,000 \text{ J} = 0,1 \text{ MJ}$$

Teplo potřebné na roztátí vody:  $Q = mc\Delta t = 0,3 \cdot 4200 \cdot (100 - 0) \text{ J} = 126\,000 \text{ J} = 0,126 \text{ MJ}$

Na roztátí vody ve skleničce bylo potřeba 0,1 MJ tepla, na její ohřátí k bodu varu pak 0,126 MJ.

**Př. 7:** Jak by v zimě zamrzaly rybníky, kdyby se voda chovala při tuhnutí jako vosk?

Pokud by se voda chovala jako vosk, zmenšovala by při tuhnutí svůj objem, rybníky by zamrzaly ode dna (u dna by byla vrstva ledu, u hladiny vrstva vody).

**Př. 8:** Co se stane s rostlinami, pokud je spálí mráz? Vysvětli.

Rostliny zvadnou.

Buňky obsahují velké množství vody, při mrazu se voda změní na led ⇒ zvětší svůj objem ⇒ roztrhá obaly, ve kterých byla uzavřena ⇒ velmi výrazně poničí vnitřek rostliny.

**Př. 9:** Proč se musí v chatách na zimu vypouštět voda z vodovodu?

Voda by se uvnitř trubek změnila na led, který by trubky mohl roztrhat.

**Př. 10:** Proč je rozmražené ovoce změkklé?

Podobné jako v příkladu 8. Led, který vnikne uvnitř buněk má větší objem než původní voda, a buňky roztrhá.

**Př. 11:** Jak voda dokáže trhat skály?

Voda zateče do štěrbin v kameni, při mrazu zmrzne v led, který má větší objem  $\Rightarrow$  tlačí na stěny a zvětšuje štěrbinu  $\Rightarrow$  roztrhne kámen.

**Př. 12:** Základy domů by měly být hluboké alespoň jako takzvaná nezámrazná hloubka (hloubka, do které v zimě nepromrzá půda - ve většině oblastí ČR okolo 1 m). Proč?

Pokud by pod základem zmrzla voda v zemi, změnila by se v led, který by mohl základy nadzvednout a poškodit budovu.

**Př. 13:** Proč jsou silnice po zimě rozbité? Jaký druh zimního počasí jim nejvíce škodí? V jakém stavu by před zimou měly být?

Podobné jako u trhání skal. Do štěrbin vnikne voda, zmrzne, zvětší objem a tím i štěrbinu. Nejhorší je, když voda ve štěrbinách střídavě zamrzá a rozmrzá  $\Rightarrow$  teploty se pohybují okolo nuly.

Před zimou by ve vozovce neměly být žádné štěrbin, do kterých by mohla zatékat voda (takové štěrby se přes zimu zvětší).

**Dodatek:** Ve skutečnosti je to většinou naopak. Před zimou se stav silnic neřeší a silnice se spravují až po zimě, v daleko horším stavu, za daleko větších nákladů.

**Př. 14:** Vzpomeň si, jak jsme v primě pozorovali tání ledu a tání vosku. Jaké rozdíly jsme pozorovali? Zkus rozdíly vysvětlit. Led je krystalická pevná látka (částice jsou pravidelně uspořádány v krystalové mřížce, vazby mezi částicemi jsou stejné), vosk je látka amorfní (částice nejsou uspořádány pravidelně, vazby jsou různé).

Led taje najednou (neměkne postupně), vosk taje postoupně (měkne postupně).

Led: všechny vazby stejné  $\Rightarrow$  všechny se rozpadají při stejné teplotě, při které se led ihned změnil na vodu.

Vosk: různě pevné vazby  $\Rightarrow$  rozpadají se při různých teplotách, čím víc vazeb se rozpadne, tím je vosk měkčí.

**Shrnutí:** energii musíme dodávat (odebírat) nejen při změnách teploty, ale i při změnách skupenství.