

### 1. část: Jak můžeme mít tak stará data

**s1:** Klimatická změna je aktuální téma, které je předmětem mnoha debat. Často probíhají emotivně a na základě domněnek. Pokud chceme vést debatu o klimatu jinak, lépe, konstruktivně, je na místě své názory opřít o data.

**s2:** Především nás zajímá, jak se mění koncentrace CO<sub>2</sub> a teplota. Zkuste odhadnout, od kdy tato data měříme. Stačí století/desetiletí, netřeba přesný rok. Pobavte se o tom během minuty ve dvojicích.

Následně poproste několik skupin o sdílení tipů, je vhodné letopočty zapsat na tabuli.

**s3:** Okomentujte graf teploty (co zobrazuje, rozsah především x-ové osy, prudký nárůst v posledním století).

**s4:** Jako milník pro měření jsme zvolili první pravidelná měření v pražském Klementinu. Teploměr sice jako lidstvo známe delší dobu, ale toto je zhruba doba, od kdy máme data teploty vzduchu. Je vidět, že přímo měřená data máme až z posledního malého kousku celého našeho grafu.

**s5:** Okomentujte graf koncentrace CO<sub>2</sub> (co zobrazuje, rozsah především x-ové osy, detail grafu zobrazený vpravo, prudký nárůst v posledním století).

**s6:** Spolehlivou a přesnou metodu měření koncentrace CO<sub>2</sub> vyvinul Charles Keeling v padesátých letech. Naše data jdou ale do starší doby kamenné, kdy mezi nejpokročilejší nástroje lidstva patřil pazourek a pěstní klín.

**s7:** Nabízí se tedy otázka, jak jsme tato data získali. Víte o tom už něco? Studenti často zmíní metodu získávání dat z ledu, ale zpravidla neznají její princip. Občas zmiňují i další paleontologické či geologické nástroje. Je vhodné uvést na pravou míru to, kterým z nich se dnes budeme věnovat.

### 2. část: Radiokarbonová metoda

**s8-11:** Kromě vysvětlení pojmu izotop by mělo zaznít, že pro chemii se izotopy stejného prvku od sebe v zásadě neliší. Fyzikálně jsou ale kvůli odlišné hmotnosti jádra různé. Liší se třeba stabilitou.

**s12:** Pro nás budou užitečné izotopy uhlíku, který se nachází ve všech živých tvorech. Vyskytuje se ve třech variantách, nejčastější je uhlík <sup>12</sup>C, který má stejně protonů a neutronů. Nás ale bude zajímat uhlík <sup>14</sup>C, který má dva neutrony navíc. Kvůli tomu je nestabilní a rozpadá se.

**s13:** Dle pokročilosti žáků je možné rovnice popisující rozpad zcela vynechat, nebo naopak s nimi aktivně pracovat. V minimální variantě je nezbytné okomentovat graf vpravo (s podobným budou žáci pracovat) a vysvětlit pojem poločas rozpadu. Vhodné je upozornit, že 100 % v tomto kontextu neznamena, že by všechnen uhlík byl tento radioaktivní <sup>14</sup>C, ale jedná se o 100 % z původního, velmi malého množství.

**s14:** Právě tuto přeměnu uhlíku <sup>14</sup>C na stabilní <sup>12</sup>C využíváme pro určování stáří. Tento radioaktivní uhlík je běžnou součástí vzduchu a tím pádem i těl rostlin a živočichů. Máme ho v sobě nicméně jen velmi málo, na každý <sup>14</sup>C připadá asi 1012 „normálních“ uhlíků. Občas se nějaký rozpadne, opět se nám ale doplní ze vzduchu/potravy. V okamžiku úmrtí člověka/zvířete, pokácení stromu apod. už ale nemůže žádný uhlík přibývat, a tak začne koncentrace <sup>14</sup>C klesat přesně podle křivky z předchozího snímku. (Všichni ji po covidu známe v té obrácené variantě, jako překvapivě rychlý exponenciální nárůst.) Když se dostaneme ke starému vzorku, můžeme naměřit současnou koncentraci <sup>14</sup>C a z toho určit, jak zhruba starý je.

Zde je vhodné odpovědět na otázky, které žáky zcela logicky napadají, např.:

- *Je pro nás nebezpečné, že v sobě máme radioaktivní uhlík? Ne, tato přeměna pro nás nebezpečná není. Okolo nás jsou různé zdroje přirozené radioaktivity, o kterých běžně ani nevíme.*
- *Změní se nějak organismus, když se v něm uhlík rozpadne? Ne, není třeba se bát. Rozpadem jen vznikne stabilní uhlík <sup>12</sup>C, složení hmoty a tkání zůstane stejné.*

### 3. část: Datování z grafu

**s15:** Každý dostanete dva listy. Na jednom je 8 vzorků s připsaným procentem zatím nerozpadnutých  $^{14}\text{C}$ . Pomocí grafů na druhém listě zjistíte jejich přibližné stáří. Grafy máte k dispozici 3, jedná se o ten samý graf, jen jinak přiblížený (do 100 000, do 50 000, do 20 000 let). Své výsledky zanepte na osu – pozor: v grafech je stáří a na ose letopočet, což je rozdíl cca 2000 let. Pracovat je možné i ve skupinkách.

**s16:** Máte-li hotovo, rozmyslete si odpovědi na tyto otázky.

- *Jaká je přesnost tohoto odečítání? Mění se? Jak a proč ano/ne?*
- *Co považujete za rozumný časový rozsah, ve kterém tuto metodu můžeme použít?*

**s17:** Doptejte se žáků na některá řešení, je vhodné vybrat např. jeden vzorek z bližší doby a jeden z dávnější historie. Je v pořádku, že skupinky mají různé výsledky. Mělo by být vidět, že u mladšího vzorku (např. vikingská loď -800) se shodují lépe než u vzorku staršího (např. člověk neandertálský cca -50 000). Zobrazte žákům řešení. Barevné intervaly pod osou ukazují, v jakém období se daný druh vyskytoval. Pro úkol bylo vybráno jedno konkrétní datum.

Nabízí se několik možných odboček a doplnění:

- Jsme schopni občas radiokarbonově datovat nejen pozůstatky těl rostlin/živočichů, ale i objekty typu pyramid. V tomto případě se zkoumaly malé organické úlomky mezi kamennými bloky. Podobně třeba u Věstonické venuše nebyla radiokarbonově datovaná přímo vzácná soška (kterou vědci přirozeně nechtěli touto metodou poškodit), ale vhodný materiál ve stejné vrstvě naleziště.
- Radiokarbonové datování určuje okamžik smrti – od pokácení stromu k postavení domu či výrobě papíru však mohla uplynout nezanedbatelná doba.
- Tato metoda datování byla použita k odhalení padělků pointilistického obrazu. Vyšetřovací zpráva neuvádí jméno umělce, proto jsme si dovolili použít jméno Paula Signaca. Zajímavé je, že podvodníci často používají barvy seškrábané z jiných obrazů požadovaného stáří. Horší to je ale se sehnáním dobového plátna. Právě rozbořením látky, na které byl obraz namalován, bylo zjištěno, že se jedná o podvrh.

**s18:** Nechte studenty odpovědět na zadané otázky a jejich myšlenky doplňte informacemi na tomto snímku. Zazní by mělo, že:

- Přesnost odečítání byla různá – pro hodnoty blízko nuly byla velmi malá, hodnoty se téměř neměnily -> každý došel k dost jinému výsledku.
- V našem případě (odečítání z grafu) bylo také poměrně těžké určit vzorek nejmladší, protože tam nám nejistota (třeba i v řádu let) vadí nejvíce. To běžně řeší přesný výpočet.
- Jak je vidět v tabulce hodnot, koncentrace klesají hodně rychle. Pro 10 000 let starý vzorek máme skoro 30 % radioaktivního uhlíku, pro 50 000 let však už jen setiny procenta. U 100 000 let se dostáváme ještě o několik řádů níž. Běžně se radiokarbonové datování používá do zhruba 50 000 let zpět. Použije-li se přesnější metoda vyhodnocování, lze se občas přiblížit 100 000, ale menší koncentrace už jsou pro nás prakticky neměřitelné.

**TIP:** Zde je zajímavá odbočka k tomu, proč je podstatně obtížnější datovat radiokarbonově nálezy z posledního století. Koncentrace  $^{14}\text{C}$ , kterou považujeme za víceméně stálou v čase, se totiž dramaticky změnila jak extrémním spalováním uhlí a ropy, tak jadernými testy v 50. a 60. letech.

### 4. část: Led a izotopy

**s19:** Nás zajímají hlavně data týkající se klimatické změny. A také data, kterými se dostaneme ještě hlouběji do minulosti. Na to se nejvíce využívá led, který slouží jako taková „konzerva“ podmínek na Zemi v době, kdy vznikl.

Puštěte žákům video z prvního odkazu a popř. i část druhého videa (stačí po 1:13). U videa jsou dostupné anglické titulky.

Je vhodné se po videu studentů doptat na srozumitelnost videa (můžou např. rychle ukázat palec dolů/nahoru, jak moc videu ne/rozuměli). Dle toho můžete škálovat komentář k následujícím snímkům.

**s20:** Celá metoda vychází z předpokladu, že jsou místa, na kterých sníh netaje, ale jen přibývá. Typicky se zkoumá led z Antarktidy nebo Grónska. Nejhlubší vrt šel do hloubky asi 3 km, což nám dalo data až do -800 000 let.

## Příloha 2: Poznámky k prezentaci

**s21:** Na spodní vrstvy sněhu padá další a další, což vytváří tlak, kterým se sněh mění na led. Na obrázku je v nízké hloubce ještě poměrně „nadýchaný sněh”. Ve větší hloubce jsou vidět jednotlivé vrstvy – mírně se liší zimní a letní sněh, což umožňuje datovat pomocí jednotlivých vrstev podobně jako u letokruhů stromů. V největší hloubce je led znečištěný bahnem a pískem.

**s22:** V ledu najdeme zamrzlé bubliny vzduchu. Můžeme dost dobře předpokládat, že se do něj už nemohl žádný plyn dostat později, takže jde o „konzervu” přesně toho vzduchu, který na Zemi byl, když daný sněh padal.

**TIP:** Zajímavá odbočka může být směrem k tomu, co dalšího v ledu vidíme – např. výbuchy sopek či poklesy lidské činnosti v důsledku velkých epidemií.

**s23–29:** A teď z tohoto ledu chceme získat klimatická data – jaká to byla? Potřebujeme znát stáří našeho ledu – to jde určit radiokarbonově nebo z vrstev ledu. Koncentraci  $\text{CO}_2$  určíme velmi jednoduše přímo z uvězněného vzduchu. Nejzajímavější to je s teplotou – pro její určení opět využijeme izotopy, tentokrát izotopy kyslíku.

**s30:** Kyslík se nejčastěji vyskytuje jako  $^{16}\text{O}$ , najdeme ale i vzácný (viz poměry na obrázku)  $^{17}\text{O}$  a  $^{18}\text{O}$ . Jak jsme říkali na začátku, chemicky jsou v zásadě stejné, všechny např. tvoří vodu a běžně se tak vyskytují v oceánech. Liší se ale v tom, jak snadno se z vody odpařují. Snadněji se vypařuje voda se standardním kyslíkem  $^{16}\text{O}$ . Aby se odpařila voda s těžším kyslíkem  $^{18}\text{O}$ , je potřeba více energie. Proto se v teplejším období dostává do ovzduší více vody s  $^{18}\text{O}$  než v chladnějších letech. Změna poměrů mezi  $^{16}\text{O}$  a  $^{18}\text{O}$  se tím pádem projeví i v ledu a my z ní můžeme zjistit teplotu planety v daném období.

### 5. část: Nepřímé měření a jeho (ne)výhody

**s31–32:** V našich klimatických grafech jsou jen zlomky dat z přímých měření. Vše ostatní jsme zjistili z ledu. Zpravidla se průměrují data z mnoha různých vrtů. Tam, kde se nám data z ledu a přímá měření překrývají, zjišťujeme, že se velmi dobře shodují.

**s33:** Na základě dnešní hodiny zkuste formulovat výhody a nevýhody/rizika, které nepřímé měření přináší. Debatujte se spolužáky ve dvojicích či malých skupinkách.

**s34:** Nápad studentů doplňte a hodinu uzavřete tím, že nepřímé měření má řadu rizik, která je třeba vzít v úvahu, na druhou stranu nám poskytují zásadní a jedinečné informace, které nám pomáhají porozumět světu okolo nás a tomu, jak se vyvíjí.