

DOKUMENTÁRNÍ FILM HELIOS

HE LI OS



Sluneční skvrny včera, dnes a zítra

Zbyšek Mošna / Jakub Toman

Ústav fyziky atmosféry, AV ČR, v. v. i., VOŠZ a SZŠ v Praze 1
Hvězdárna a planetárium hl. m. Prahy, Česká astronomická společnost – sluneční sekce

Abstrakt

Téma „Sluneční skvrny včera, dnes a zítra“ navazuje na film Helios. Zabývá se tématem sluneční aktivity z pohledu historického bádání, ukazuje základní metody pro popis sluneční aktivity pomocí pozorování slunečních skvrn a výpočtu indexu slunečních skvrn. Žáci se seznamují s principy vědeckého výzkumu na příkladu výpočtu hodnoty aktivity Slunce a zpracování jednoduché statistiky v rámci slunečního cyklu. Dále se lekce zaměřují na souvislosti mezi sluneční aktivitou a výrony koronální hmoty, na předpověď aktivity Slunce do budoucna a vliv sluneční aktivity na planetu Zemi. Téma je rozděleno do pěti lekcí, které je možné podle výběru použít například pro výuku fyziky na ZŠ a SŠ nebo celkově během projektového dne.

Dokumentární film Helios

Vznik výukových materiálů byl inspirován dokumentárním filmem Helios (2020), který přístupnou formou seznamuje diváky s tím, jak zatmění Slunce obohacuje současnou vědu. Zároveň ukazuje, jak může vypadat práce vědců přímo v praxi. Edukační materiály lze použít i bez znalosti filmu. Doporučujeme však využít možnosti uspořádat projekci pro školu a dát studentům příležitost spojit poznatky z hodin s inspirativním příběhem významného českého vědce a pedagoga, prof. Miloslava Druckmüllera. Všechny lekce a doprovodná videa, možnost projekce kinoverze filmu a objednání diskuse s odborníky, či protagonisty filmu naleznete na www.heliosmovie.eu, nebo nám napište na heliosproskoly@gmail.com. Vše lze realizovat také v online podobě. Pokud chcete dostávat novinky o projektu, promítání a dalších materiálech pro pedagogy, stačí se zapsat do newsletteru na webu filmu, www.heliosmovie.eu.

Úvod

Téma „Sluneční skvrny včera, dnes a zítra“ obsahuje historické pozadí pozorování slunečních skvrn, ukázky zpracování pozorování slunečních skvrn a principy vědeckého výzkumu (výpočet hodnoty aktivity Slunce a zpracování statistiky v rámci slunečního cyklu). Téma se také zaměřuje na souvislosti mezi s výrony koronální hmoty a předpověď aktivity Slunce do budoucna a vliv na planetu Zemi.

Slunce pozorujeme systematicky více než 400 let, jedná se tak o jeden z nejdéle probíhajících vědeckých výzkumů. Kromě poznatků o Slunci a aktivitě v této lekci ukazujeme řešitelům základní principy vědecké a systematické práce na základě zajímavého tématu – Slunci.

Lekce:

- Jsou určeny žákům 8. a 9. tříd ZŠ a studentům středních škol.
- Navazují na projekci filmu Helios.
- Jednotlivé aktivity lze použít během vyučování nebo aplikovat i v podobě tematicky zaměřeného dne. Jednotlivé aktivity je možné použít samostatně.

Součástí tématu je **krátké informační video zaměřené na Slunce** a jeho aktivity. Video poskytuje řešitelům základní informace a popis jevů potřebných k řešení aktivit.

Seznam lekcí

Součástí tématu je **5** lekcí:

Lekce 1: Co je to sluneční skvrna?

Lekce studenty přenesse do role astronomů, kteří Slunce pozorovali a základě pozorovaného obrazu odhadovali, jak se Slunce funguje. Svá pozorování opírali o znalosti fyziky a fyzikálních jevů.

Studenti se seznamují s fyzikálními vlastnostmi slunečního povrchu a slunečních skvrn z hlediska teploty, velikosti skvrn nebo přítomnosti magnetického pole. Dále se na základě stejných znalostí jako první pozorovatelé pokoušejí objasnit vznik slunečních skvrn.

Lekce 2: Jak se poznávalo Slunce?

Tato lekce časově propojuje pokroky v pozorování Slunce s historickými událostmi ve světě. Studenti si propojují své znalosti historie a zeměpisu s vědeckými objevy.

Lekce 3: Jedna dvě, tři..., kolik je na Slunci skvrn?

Matematika nepatří mezi oblíbené předměty, ale je potřebná pro realistický pohled na svět. Lekce přibližuje vědecký pohled na pozorování Slunce z pohledu zpracování dat a práce s čísly na příkladu určení velikosti sluneční aktivity.

Lekce 4: První badatel a Kdy uvidíme polární záře?

V první části se žáci seznámí s tím, že sluneční aktivita je do určité míry pravidelná (11letý cyklus v počtu slunečních skvrn) a to, že tento cyklus může vykazovat zajímavé změny. Studenti se pokusí o předpověď sluneční aktivity (v prvním případě cykly, které si můžeme zpětně ověřit, v druhém případě jde o odhad, o kterém s jistotou budeme vědět vše až za několik let).

V druhé části se žáci seznámí s tím, že sluneční aktivita má přímý dopad na lidskou společnost a tento vliv se s rozvojem technologií neustále zvyšuje. Od efektů, které byly pozorovány na telegrafech

několik hodin po silném záblesku na Slunci v 19. století, se dostáváme k dalším projevům sluneční aktivity na moderních zařízeních a také k pozorování polárních září ve středních a nízkých zeměpisných šířkách. Porovnáním počtu slunečních skvrn v obdobích klidu a obdobích, kdy na Zemi docházelo k mimořádným situacím, studenti zjišťují, že uvedené extrémní události na Zemi dobře odpovídají obdobím s vysoké sluneční aktivity.

Lekce 5: Jak je Slunce aktivní?

Studenti se seznamují s pojmem korelace pomocí vztahu mezi počtem slunečních skvrn a pozorovaných halo CME. Studenti nejprve vytvoří graf, který znázorňuje vztah mezi oběma korelovanými veličinami a poté odhadnou počet halo CME pro dva roky, kdy znají pouze sluneční aktivitu v daných letech. Poté, co svůj odhad zkontrolují, zkusí odhadnout počet CME pro budoucí (zatím neznámou) sluneční aktivitu v letech 2021 a 2025. Na závěr studenti vymyslí další vztahy mezi korelovanými a nekorelovanými veličinami.

Lekce 1: Co je to sluneční skvrna?

Lekce vysvětluje pojem sluneční skvrna a ukazuje její základní vlastnosti jako je velikost teplota, přítomnost magnetického pole.

Žáci na základě vlastní úvahy nad obrazovým materiálem přicházejí na vlastnosti sluneční skvrny. Seznamují se s fyzikálními vlastnostmi slunečního povrchu a slunečních skvrn z hlediska teploty, velikosti skvrn nebo přítomnosti magnetického pole. Dále se na základě stejných znalostí jako první pozorovatelé pokoušejí objasnit vznik slunečních skvrn.

Žáci po shlédnutí úvodního videa pracují samostatně, v druhé části vyučující naviguje žáky ke správnému řešení.

Organizační informace:

- cílová skupina: žáci 2. stupně ZŠ, žáci SŠ
- délka lekce: 35 min
- forma práce: skupinová práce - dvojice
- pomůcky: pracovní list, úvodní video

Náplň aktivity:

Žáci pracují ve skupinách s pracovním listem a vytištěnými obrázky, na základě videa a obrázků zjišťují základní informace o sluneční skvrně.

Cíl: Zjištění základních faktů o sluneční skvrně:

- Sluneční skvrna se nachází ve fotosféře Slunce.
- Sluneční skvrna je **chladnější** oproti okolí, proto je při pozorování tmavší.
- Sluneční skvrna **vzniká vlivem magnetického pole** Slunce, jedná se o prohlubeň.
- Sluneční skvrna má různou **velikost**, může být i několikrát **větší než Země**.
- Může být **pozorovatelná** několik dní.

Pomůcky:

- Úvodní video - video „Slunce včera, dnes a zítra“.
- Karta - fotografie a obrazové materiály pro žáky - do skupiny 1 karta, na ní jsou obrázky označené čísla faktů, které žáci hledají (při jednostranném tisku se jedná o dvě karty).
- Pracovní listy - každý žák má vlastní pracovní list.

Úkol/zadání (v pracovním listu):

Při pozorování Slunce dalekohledem nebo pouhým okem můžeme vidět sluneční skvrny. Astronomové viděli bílý sluneční disk, s tmavými slunečními skvrnami. První údaje o Slunci astronomové právě zjišťovali z pozorování. Údaje z pozorování porovnávali se znalostmi z fyziky a jevy okolo sebe.

Jsi ve stejné situaci jako první pozorovatelé Slunce - máš k dispozici pouze obraz slunečního kotouče a skvrn. Zjisti 5 základních faktů o slunečních skvrnách. Fakta napiš k jednotlivým číslům. Pomoc hledej na obrázcích s texty označenými čísly a v nápovědách.

Postup realizace lekce:

- Rozdělení žáků do dvojic.
- Shlédnutí úvodního videa (obsahuje informace o Slunci a slunečních skvrnách), informace budou potřebné k řešení úkolů (6 minut).

- Každý žák dostane pracovní list, každá skupina kartu – fotografie a obrazové materiály.
- Žáci pracují samostatně v skupinách – diskuse nad podklady, hledání souvislosti mezi podklady a vlastnostmi sluneční skvrny, (15 minut).
- Vyhodnocení: fakta o sluneční skvrně a příslušné fyzikální souvislosti – učitel se ptá žáků, postupně na fakta – žáci říkají odpovědi, učitel určuje správnost a případně komentuje. Žáci si případné chyby opravují v pracovním listu, učitel odpovědi může napsat na tabuli (10 minut).

Lekce 2: Jak se poznávalo Slunce?

Lekce slouží k získání historického kontextu a souvislostí v oblasti pozorování Slunce. Při řešení úkolu žáci využijí své znalosti z dějepisu a zeměpisu a hledají souvislosti.

Žáci ve skupině pracují s kartami a přiřazují na kartu lístky podle obsahu, následuje diskuse o variantách, aktivita končí vyhodnocením s videem a učitelem.

Organizační informace:

- Cílová skupina: žáci 2. stupně ZŠ, žáci SŠ
- Délka aktivity: 30 minut
- Forma práce: skupinová práce – 7 skupin
- Pomůcky: karty, video s výsledky

Anotace do úvodu:

Lekce „Jak se poznávalo Slunce“, časově propojuje pokroky v pozorování Slunce s historickými událostmi ve světě. Žáci si propojují své znalosti historie a zeměpisu s vědeckými objevy.

Náplň lekce:

Žáci ve skupině pracují s kartami a přiřazují na kartu lístky podle obsahu, následuje diskuse o variantách, aktivita končí vyhodnocením s videem a učitelem.

Cíl: Získání historického kontextu a souvislostí z historie pozorování Slunce - vybrané události s vlivem na poznání slunečních skvrn.

Pomůcky

- Karty velké – 7 karet formátu A4 – vytisknout, pro opakované použití lze zalaminovat
- Karty malé – 7 × 4 kartiček – vytisknout a rozstříhat
- Video s výsledky

Úkol/zadání (zadává vyučující):

Před sebou máte karty znázorňující vybrané milníky pozorování Slunce. Vaším úkolem je přidat k nim údaje v podobě data, místa, jména nebo pojmu a události.

Postup realizace lekce:

- Rozdělení žáků do skupin (ideální je počet 7 skupin – každá skupina na konci představuje 1 řešení).
- Každá pracovní skupina má k dispozici sadu. Karty je potřeba dopředu připravit a lístečky rozstříhat, ideálně zalaminovat.
 - 7 velkých karet
 - 7 × 4 malých lístečků s termíny, daty a pojmy
- Úkol je zadán vyučujícím.
- Žáci pracují ve skupině – diskuse nad řešením – přiřazují lístečky na karty (15 minut).
- Vyhodnocení: každá skupina říká řešení jedné karty, ostatní kontrolují. Správně výsledky jsou kontrolovány podle videa (7 minut).
- Po videu s odpověďmi – zjištění, které skupiny měly pojmy dobře (6 minut).

Lekce 3: Jedna, dvě, tři..., kolik je na Slunci skvrn?

Lekce přibližuje vědecký pohled na pozorování Slunce z pohledu zpracování dat a práce s čísly na příkladu určení velikosti sluneční aktivity.

Žáci určují aktivitu Slunce na základě množství slunečních skvrn.

Organizační informace:

- Cílová skupina: žáci 2. stupně ZŠ, žáci SŠ
- Délka lekce: 30 minut
- Forma práce: jednotlivec, skupina
- Pomůcky: pracovní list, úvodní video

Cíl: Ukázka stanovení „čísla“ jako hodnotícího prvku pro danou událost, v našem případě jde o určení aktivity Slunce.

Pomůcky:

- Úvodní video – video „Slunce včera, dnes a zítra“.
- Pracovní listy – každý žák vlastní pracovní list.

Postup realizace lekce:

- Rozdělení žáků do skupin (3-4 žáci na skupinu).
- Každý žák má vlastní pracovní list, pracuje podle instrukcí – výpočty samostatně, zjištění výsledků ostatních – pohyb po třídě.
- Úkol č. 1 – samostatná práce (5 minut).
- Úkol č. 2 – skupina (5 minut).
- Úkol č. 3 – pohyb po třídě + zpracování (10 minut).
- Úkol č. 4 – skupina (5 minut).
- Učitel na závěr vyhodnotí aktivitu – společně se žáky proběhne diskuse nad rozdílnými výsledky (5 minut).

Lekce 4: První badatel a Kdy uvidíme polární záře

V první části se žáci seznámí s tím, že sluneční aktivita je do určité míry pravidelná (11letý cyklus v počtu slunečních skvrn). Zjistí, že tento cyklus může vykazovat zajímavé změny (konkrétně se žák seznámí s Maunderovým, Daltonovým a současným minimem v sluneční aktivitě). Žáci se pokusí o předpověď sluneční aktivity (v prvním případě cykly, které si můžeme zpětně ověřit, v druhém případě jde o odhad, o kterém s jistotou budeme vědět vše až za několik let). V druhé části se žáci seznámí s tím, že sluneční aktivita má přímý dopad na lidskou společnost a tento vliv se s rozvojem technologií neustále zvyšuje. Od efektů, které byly pozorovány na telegrafech několik hodin po silném záblesku na Slunci v 19. století, se dostáváme k dalším projevům sluneční aktivity na moderních zařízeních a také k pozorování polárních září ve středních a nízkých zeměpisných šířkách. Porovnáním počtu slunečních skvrn v obdobích klidu a obdobích, kdy na Zemi docházelo k mimořádným situacím, studenti zjišťují, že uvedené extrémní události na Zemi dobře odpovídají obdobím s vysokou sluneční aktivitou.

Organizační informace:

- cílová skupina: žáci 2. stupně ZŠ, žáci SŠ
- délka lekce: 90 min
- forma práce: skupinová práce podle pracovního listu; skupiny po dvou až čtyřech žácích
- pomůcky: pracovní list

Průběh lekce:

Evokace

Otázky pro žáky:

- Co se vám vybaví, řekne-li se polární záře?
- Viděl někdo z vás polární záři? Kdy? Kde? A chtěli byste ji vidět? Proč?
- Setkali jste se s polární září v jiné souvislosti? Ve filmu, v literatuře, na fotografiích?
- Jaké země si s výskytem polární záře spojujete? brainstorming; země, které žáci vyjmenují, zapište na tabuli

Promítněte video [1] (interakce slunečního větru se zemským magnetickým polem) a [2] (vývrh sluneční koronální hmoty - CME). Okomentujte video [1] - ukazuje vývrh koronální hmoty, její pohyb meziplanetárním prostorem a interakci se zemským magnetickým polem. Elektricky nabitě částice nejsou schopné proniknout skrze zemské magnetické pole, ale dostávají se na noční stranu Země a při přepojení magnetických indukčních čar jsou urychlovány směrem k Zemi a díky tomu se dostávají až do zemské atmosféry. Srážky nabitých částic se zemskou atmosférou vedou k rozsvícení tzv. aurorálních oválů, což jsou prstence na severní a jižní polokouli, velmi zhruba mezi 60. a 80. rovnoběžkami, ale jejich přesná poloha závisí na denní době, geomagnetické aktivitě apod.

Stručně okomentujte, že země, které jsou vhodné pro pozorování aurory (polární záře) jsou právě ty, které se nacházejí v aurorálním oválu.

Udělejte revizi zemí zapsaných na tabuli (můžete označit ty, které se nacházejí v oblastech s typickým výskytem polární záře, což jsou například: na severní polokouli Skandinávie, Finsko, Island, Grónsko, Kanada, severní USA + Aljaška, severní Rusko atd., na jižní polokouli Antarktida, Patagonie atd.)

Aurorální ovál se ovšem může při silných slunečních událostech rozšiřovat a posouvat směrem k rovníku, takže auroru můžeme výjimečně pozorovat i v dalších zemích, například ve střední Evropě, ale i v jižní Evropě, v Číně a mnoha dalších zemích - prakticky tedy na celé Zemi.

Okomentujte země, které na tabuli případně zbyly, společně doplňte další na základě předchozích poznatků.

Zadání první části

Rozdejte žákům pracovní list.

Úkolem žáků je, aby samostatně dokreslili do grafů svůj odhad, jak probíhaly sluneční cykly mezi lety 1800 a 1830, které jsou v grafu vynechané - jde tedy o 5. až 7. sluneční cyklus. Díky grafu mají žáci k dispozici údaje o tom, jaké počty slunečních skvrn byly pozorovány před tímto obdobím a po něm. Žáci (díky textu a videu a případně na základě lekce Co je to sluneční skvrna?) by měli mít povědomí o tom, že se počet slunečních skvrn mění a že je možné je pozorovat.

Žáci vytvoří skupiny po 4-5. Vzájemně si porovnají výsledky a vysvětlí, jak postupovali. Instruuje žáky, aby dostal každý ve skupině slovo. V rámci skupin by žáci měli být schopni vysvětlit, v čem se jejich grafy liší a proč tomu tak je.

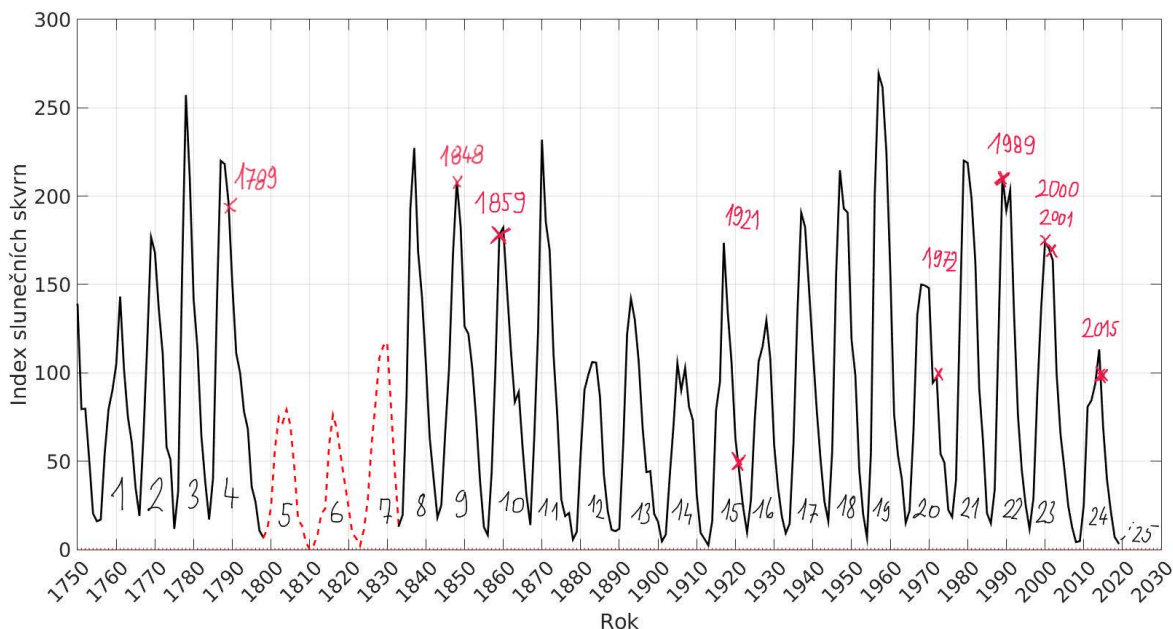
Ukažte žákům graf se skutečnými výsledky (obr. 1).

Prekvapivě v tomto období byla nízká sluneční aktivita a počet slunečních skvrn byl v porovnání s ostatními slunečními cykly velmi nízký. Je dobré zmínit, že to byl těžký úkol, pochválit správné postupy řešení, protože odhad sluneční aktivity je skutečně velmi náročný. Oceňte zejména to, pokud žáci umístí svá maxima do období skutečných maxim a vystihnou tak periodicitu slunečních cyklů, přestože třeba neodhadnou absolutní hodnoty. Cílem tohoto odhadu je ukázat, jak těžké je předpovědět budoucí děje, protože se často může stát, že se příroda chová jinak, než očekáváme.

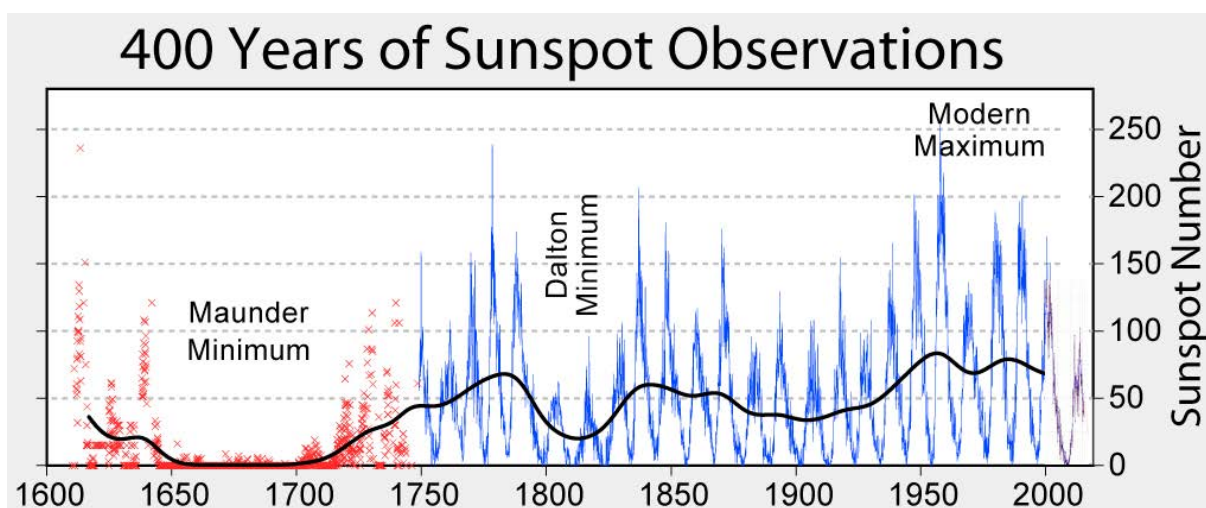
Nechte rozvinout diskusi. K nasměrování diskuse vám mohou pomoci tyto otázky:

- Jak bylo obtížné odhadnout sluneční aktivitu zpětně?
- Jak těžké je něco předpovědět na různou dobu dopředu: například počasí (teplotu a srážky) na příští den?
- Jak těžké je předpovědět počasí na příštích 14 dní? A na příští rok?
- Můžeme odhadnout přesnou teplotu za rok a zda bude daný den pršet, nebo jen zhruba odhadnout, že za rok bude maximální denní teplota podobná té, která je pro daný měsíc obvyklá?
- Můžeme něco usuzovat z toho, že počet slunečních skvrn zhruba od 19. (nebo 21.) cyklu stále klesá? Můžeme nějak odhadnout, jak budou vypadat další cykly?

V rámci diskuse žákům objasněte, že období nízké sluneční aktivity v 5. až 7. cyklu se jmenuje Daltonovo minimum. Miním v historii bylo více, další, nejvýraznější minimum sluneční aktivity, se nazývá Maunderovo minimum. Bylo pozorováno zhruba mezi léty 1645 až 1715 a zhruba se krylo s tzv. malou dobou ledovou (je možné ukázat na obrázku, případně na Wikipedii, Obr. B). Přestože Maunderovo minimum časově odpovídá malé době ledové, neexistuje vědecký konsenzus v tom, zda nízká sluneční aktivita nějak souvisí s tehdejším globálním poklesem teploty.



Obr. 1 Sluneční aktivita charakterizovaná indexem slunečních skvrn. Čísla poblíž horizontální osy (1-25) označují pořadí slunečních cyklů. Červeně čárkované jsou doplněné skutečné sluneční cykly 5-7, toto období nízké sluneční aktivity se nazývá Daltonovo minimum. Křížky znázorňují jednotlivé události pozorované na Zemi (zadání třetí části lekce).

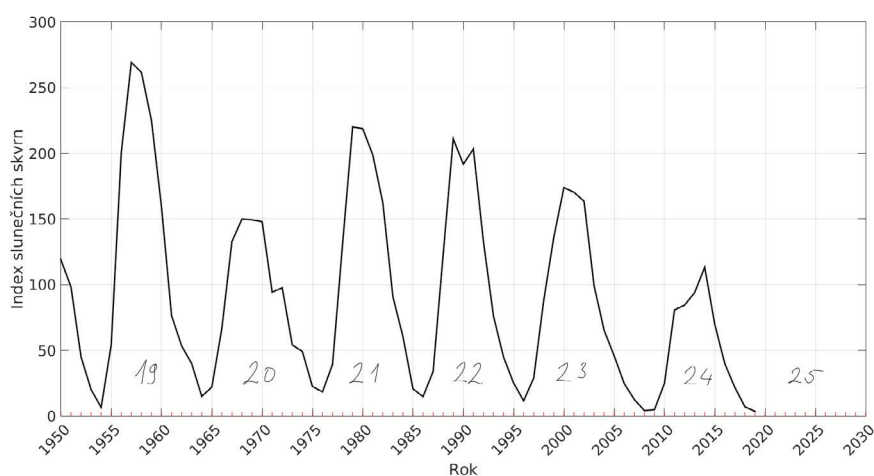


Obr. 2 Maunderovo a Daltonovo minimum - velmi nízká sluneční aktivita. Kromě těchto minim je na obrázku vidět, že ve 20. století byla sluneční aktivita výrazně vysoká a naopak v poslední době dochází k jejímu poklesu. Zdroj: Robert A. Rohde, CC BY-SA 3.0

Zadání druhé části

Žáci srovnali svůj odhad se skutečnými daty. Nyní je úkolem dokreslit do podobného grafu počet slunečních skvrn do roku 2030 (Obr. 3).

K tomuto úkolu v současné době pochopitelně neexistuje správné řešení. Cílem tedy není dosáhnout správného výsledku (což je téměř nemožné), ale zkusit vysledovat nějaké zákonitosti, které je možné ve slunečních cyklech pozorovat. Vedte s žáky diskusi. Pomocí otázek je dovedte k těmto zjištěním: např. perioda slunečního cyklu je okolo 11 let, což bude pravděpodobně dodrženo, dále to vypadá, že na začátku 20. století docházelo ke zvyšování sluneční aktivity (od 14. slunečního cyklu) a naopak od 19. slunečního cyklu dochází k jejímu soustavnému poklesu. Je tedy možné očekávat, že 25. sluneční cyklus bude ještě méně aktivní než ten 24. Protože nikdo nezná správnou odpověď, tak Obr. 2 necháváme pro učitele nevyplněný, bez „správného“ 25. cyklu. Přestože mluvíme o poměrně pravidelném střídání sluneční aktivity (slunečních cyklů), je dobré uvést, že nejde o periodickou funkci v pravém slova smyslu, takže termín „perioda slunečního cyklu“ je pouze zjednodušený popis mnohem složitějších přírodních dějů.



Obr. 3.

Při vedení diskuse a vyvození zmiňovaných poznatků můžete použít například tyto otázky:

- Co vám pomohlo při tvorbě vašeho odhadu?
- Jak dlouhá je „průměrná“ perioda slunečního cyklu?
- Vypadají všechny sluneční cykly stejně, nebo se od sebe liší?
- Jak se měnila sluneční aktivita mezi 14. a 24. slunečním cyklem?

Jako přechod k Zadání 3 je vhodné položit otázku, k čemu je odhad sluneční aktivity dobrý a zda a jak může sluneční aktivita ovlivnit současné lidské technologie?

Žáci v rámci skupinové práce vytvoří ve skupinách grafy, které vystaví ve třídě. Společně si grafy prohlédněte. Co ze srovnání vyplývá?

Na závěr studenti porovnají svoje odhady, stručně vysvětlí důvody, proč si myslí, že budoucí sluneční aktivita bude taková, jakou navrhli. Učitel by měl zdůraznit, že nikdo nezná skutečné správné řešení a že toto téma je předmětem vědeckých diskuzí. Obecný konsensus je takový, že sluneční aktivita bude (pravděpodobně) sice poměrně nízká, ale sluneční skvrny úplně nevymizí. Nikdo ale s jistotou nezná podrobnosti. Sluneční aktivita je velmi komplikovaná, ale bude ovlivňovat náš budoucí život.

Zadání třetí části

Rozdejte stránku, která je složena z různých novinových titulků a výstřžků, které se týkají mimořádných situací (např. velké polární záře a elektrické poruchy, atd., Příloha 4 lekce). U každého výstřžku je uveden letopočet. Úkolem je zakreslení data mimořádných situací do grafu sluneční aktivity, který byl použit v prvním zadání (Příloha u lekce). Žáci na to mají 5 minut, takže jde o rychlou aktivitu. Až budou mít splněno, tak projdou jednotlivé události podrobněji, pročtou si jednotlivé úryvky a vyberou tři nejzajímavější události.

Učitel postupně vyzve jednotlivé skupiny, aby představily událost, která se jim zdá nejzajímavější (každá skupina má vybrané tři události) a proč si ji vybraly.

Následují otázky do diskuze:

- Mají popsane události něco společného a pokud ano, co?
- Můžeme na základě našich zjištění odhadnout výskyt mimořádných událostí okolo roku 2025? A okolo roku 2030?

Výsledkem diskuze je zjištění, že polární záře, poruchy na elektrických zařízeních a kosmických technologiích se vyskytují většinou v obdobích vysoké sluneční aktivity okolo slunečních maxim, ale ne vždy, například rok 1921 se nachází v sestupné fázi slunečního cyklu (Obr. 1). U předpovědi zmíněných mimořádných situací pro blízkou budoucnost v roce 2025 je možné zohlednit poměrně nízké maximum sluneční aktivity v tomto roce. Pro rok 2030 je možné očekávat minimum sluneční aktivity. Výskyt mimořádných situací bude v roce 2025 pravděpodobně méně častý než během předchozích maxim, ale není možné je zcela vyloučit. Mimořádné situace v roce 2030 budou pravděpodobně ještě méně časté, ale opět není možná přesná předpověď.

Pozn.: V této aktivitě se zabýváme pouze extrémními událostmi, které prokazatelně souvisejí se sluneční aktivitou (vliv na různá elektrická zařízení nebo výskyt silných polárních září). V současnosti se skutečně zkoumá vliv sluneční aktivity i na další jevy typu vznik hurikánů, mechanismus vzniku dešťů, klimatické změny apod., ale ty jsou mimo rozsah této lekce.

Seznam jednotlivých událostí použitých v koláži:

1859 – Carringtonova událost – jedna z prvních zaznamenaných událostí, které měly přímý dopad na pozemské technologie – tehdy to byly zejména telegrafy (sršení z telegrafů, indukovaná elektřina, takže bylo možné komunikovat bez baterií, obrovské polární záře po celé zeměkouli). Na jednom z obrázků je vidět skvrna na Slunci (skvrna je větší než velikost Země). Jedna z nejsilnějších zaznamenaných událostí vůbec, dopady na dnešní technologie by byly ničivé (globální výpadky sítí, zničení satelitů atd.).

1921 (květen) – výpadek telegrafů a požáry v elektrické síti v USA během geomagnetické bouře, která následovala po vývrhu koronální hmoty (CME). Jedná se o nejsilnější událost ve 20. století, naštěstí nebyla dostatečně rozvinutá infrastruktura, takže dopad události byl omezen. Pokud by k podobné události došlo dnes, dopady by byly katastrofální. K události došlo v sestupné fázi 15. slunečního cyklu a ne přímo v maximu, což ukazuje na to, že podobné události můžeme očekávat i mimo maxima slunečních cyklů.

1972 – výpadky telefonních a dalších komunikačních technologií. Došlo k ní krátce po maximu 20. cyklu.

1989 – série slunečních erupcí (březen, listopad...) okolo maxima 22. cyklu, navíc v dlouhodobém slunečním maximu. Došlo například k polárním zářím v listopadu pozorovaných v ČR (například v Praze a dalších místech právě 17. 11. 1989) či poruchám na kosmických plavidlech.

2000 – 14. 6. Tzv. Den Bastilly (Bastille Day, podle výročí dobytí Bastilly). Extrémně silná sluneční erupce. Došlo k poruchám a zničení satelitů, polárním zářím v neobvyklých oblastech (v USA například v Texasu).

2001 – Velká porucha v elektrické síti na Novém Zélandu, který se normálně nachází mimo riziko důsledků geomagnetických bouří díky své poloze – nachází se v nízkých geografických šířkách, relativně daleko od aurorálních oblastí.

2015 – Polární záře pozorovaná například v České republice i v místech s relativně silným světelným smogem.

Většina zmíněných událostí (ne všechny) se nachází v okolí maxim slunečních cyklů, jak je vidět na Obr. 1, ale to neznamená, že k podobným jevům nemůže docházet i mimo maxima sluneční aktivity. Naopak, po delší době klidu je možné očekávat o to silnější odezvu zemské magnetosféry na relativně slabší sluneční událost.

Závěr

Sluneční aktivita charakterizovaná počtem slunečních skvrn má při prvním přiblížení následující vlastnosti: Dlouhodobě pozorujeme maxima a minima v indexu slunečních skvrn. Průměrná délka slunečního cyklu je zhruba jedenáct let, ale délky jednotlivých cyklů se mohou lišit. Pozorujeme i poměrně velké odchylky v indexu slunečních skvrn (pravděpodobně je sluneční aktivita modulována delšími cykly). Předpověď sluneční aktivity pro blízkou budoucnost (25. cyklus) není dosud uspokojivě vyřešena. Jedenáctiletá perioda pozorovaná v počtu slunečních skvrn je pouze polovinou celého slunečního cyklu, takže ke změně "tam a zpět" dojde za dvě jedenáctileté periody. Dnes již pomocí pozorování víme, že sluneční aktivita má přímý dopad na pozemské technologie. Jak je ukázáno ve videu [1], jednou z forem vazby mezi Sluncem a Zemí je právě pohyb sluneční koronální hmoty a nabitých částic slunečního větru, které způsobují změny zemského magnetického pole a mohou pronikat do zemské atmosféry. Žáci díky této části lekce dojdou k tomu, že mimořádné situace na Zemi jsou mnohem častější v obdobích vysoké sluneční aktivity, ale nemůžeme je vyloučit ani mimo tato maxima. Z důvodu zranitelnosti současných technologií (rozvodné sítě, navigační, komunikační a další satelity, kosmické lety apod.) je zkoumání Slunce pro lidskou společnost velmi důležitým úkolem.

Závěrečná aktivita (relaxace)

Na závěr se studenti podívají na video polárních září z aurorálních oblastí [3] a nechají v sobě doznívat tuto krásnou podívanou.

Zdroje:

[1] <https://www.youtube.com/watch?v=6T9BLCh6tS0> CME se pohybuje směrem k Zemi a reaguje se zemským magnetickým polem. Dochází k přepojení magnetických indukčních čar zemského pole a akceleraci částic slunečního větru z noční strany směrem k Zemi. Částice mají dostatečnou energii k tomu, aby pronikly do atmosféry. Srážky s plyny v atmosféře vedou k rozsvícení aurorálních oválů okolo 70. rovnoběžek.

[2] <https://www.youtube.com/watch?v=GrnGi-q6iWc> Vývrh koronální hmoty (CME) pozorovaný v roce 2012, tedy v období vysoké sluneční aktivity.

[3] <https://youtu.be/fVsONlc3OUY> Polární záře z různých míst (jedno z mnoha použitelných videí).

Lekce 5: Jak je Slunce aktivní?

Seznámení žáků s termínem korelace pomocí grafického znázornění vztahu mezi počtem slunečních skvrn (fází slunečního cyklu) a počtem detekovaných halo CME (výronů koronární hmoty). Poměrně nedávno byla potvrzena korelace mezi počtem slunečních skvrn a počtem halo CME pomocí pozorování koronografu na SOHO. Pomocí korelace mezi těmito veličinami je možné odhadnout, kolik halo CME bylo pozorováno pro roky se známou sluneční aktivitou. Také je možné provést odhad počtu halo CME pomocí předpovědi počtu slunečních skvrn pro blízkou budoucnost. Tento pracovní list je možné použít jako první seznámení s termínem korelace.

Organizační informace:

- cílová skupina: studenti SŠ, matematický nebo fyzikální seminář
- délka aktivity: 30–45 min
- forma práce: práce podle pracovního listu ve dvojicích. Tato aktivita navazuje na Aktivitu 4 – První badatel, ve které studenti odhadují sluneční aktivitu pro roky 2021 až 2030, takže je vhodné, aby ji studenti absolvovali, ale není to nezbytné.
- pomůcky: projektor, pracovní list

Průběh aktivity:

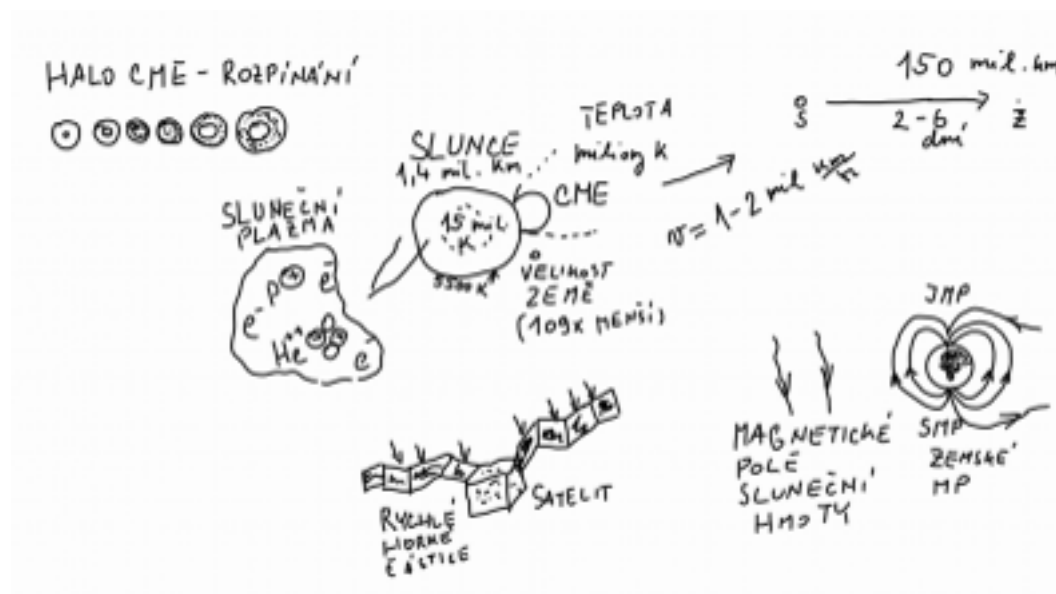
Evokace:

Učitel ukáže video CME [1] a následuje brainstorming, při kterém učitel pomáhá žákům zjistit potřebné informace a společně postupně vytvářejí myšlenkovou mapu (příklad takové mapy je na Obr. 4):

- Jak velké je Slunce? – průměr 1,4 mil. km
- Z čeho se skládá sluneční hmota? – zejména z vodíku a hélia (a v malé míře z dalších těžších prvků).
- Jaká je zhruba teplota Slunce? – záleží na tom, kde, v jádře cca 15 mil. stupňů, na povrchu okolo 6000 stupňů, ve sluneční atmosféře miliony stupňů
- V jakém je sluneční hmota skupenství? – protože je tak žhavá, tak je v tzv. čtvrtém skupenství hmoty, které se jmenuje plazma. Jde o směs nabitých částic (kladná jádra vodíku a hélia a záporné elektrony)
- Jaká je asi velikost sluneční erupce vůči velikosti Země? – protože je průměr Slunce asi 109krát větší (zaokrouhleně 100krát) než průměr Země, mohou být sluneční erupce větší než je velikost Země
- Jaká je asi vzdálenost mezi Sluncem a Zemí v milionech km? (150 mil. km)
- Když víme, že sluneční erupce může dorazit k Zemi zhruba za dva až pět dní (ale někdy rychleji, někdy pomaleji než tyto hodnoty), jaká je její rychlost? Pro čtyři dny odhadneme $v = s/t = 150 \text{ mil km} / 96 \text{ hodin} = \text{po zaokrouhlení } 150 \text{ mil km} / 100 \text{ hodin} = 1,5 \text{ milionů km/h}$ (to pro žáky může stačit, případně je možné přepočítat na 416 km/s.). Je potřeba zdůraznit, že rychlosti a časy se mohou navzájem poměrně hodně lišit, protože každá erupce se chová trochu jinak.
- Jak vypadá zemské magnetické pole? – v blízké vzdálenosti připomíná tyčový magnet, magnetické indukční čáry směřují od severního magnetického k jižnímu magnetickému pólu.
- Co se stane, pokud sluneční hmota, která má svoje magnetické pole, letí směrem k Zemi a reaguje se zemským magnetickým polem? – může dojít ke změně zemského magnetického pole, například k jeho oslabení nebo dalším změnám, to je možné měřit například citlivým kompasem, u kterého dojde k vychýlení stříelky.
- Co se stane, pokud sluneční erupce interaguje se satelity v kosmickém prostoru? – protože v kosmickém prostoru satelity nejsou chráněny zemskou atmosférou, tak může dojít k poškození elektroniky, solárních panelů, případně ke zničení těchto satelitů.

- Co se stane s elektrickými systémy, pokud se prudce mění magnetické pole Země? – podobně jako vyrábíme elektrický proud hlavně tím, že měníme magnetické pole v blízkosti vodiče, tak může docházet ke vzniku proudů a přetížení různých zařízení
- Jaká zařízení mají v sobě dlouhé vodiče? Zejména elektrické dálkové rozvody a transformátory.
- Jak vypadá sluneční erupce, která směřuje přímo k Zemi? – vzhledem k tomu, že se její rozměry zvětšují, tak ji pozorujeme jako zvětšující se „bublinu“ s jasnými okraji.

Tato úvodní aktivita by měla proběhnout svižně, protože hlavní část je soustředěna na téma korelace. Je samozřejmě možné vybrat nejdůležitější body podle uvážení učitele a některé otázky vynechat.



Obr. 4: Příklad myšlenkové mapy: velikost Slunce, teplota, složení, doba příchodu CME k Zemi, rychlost CME, magnetické pole Země, vliv částic slunečního větru na sluneční panely satelitu, rozpínání halo CME.

Učitel pak rozdává pracovní listy, na kterých jsou shrnuty potřebné informace – grafy a vysvětlení halo CME (velké výrony sluneční koronální hmoty, které se pohybují směrem k Zemi).

Zadání první části

Učitel žáky vyzve, aby pomocí tabulky 1 doplnili do grafu (Obr. 2 v pracovním listu) počet CME zmeřených v daném roce (osa y) vs. počet slunečních skvrn v daném roce (osa x). Hlavním úkolem je pomocí vytvořeného grafu odhadnout počet halo CME z let 2001 a 2008 (počet halo CME pro dané roky byl skutečně měřen, ale je znám pouze učiteli, kontrola je na Obr. 5 a v Tab. 1 se všemi hodnotami).

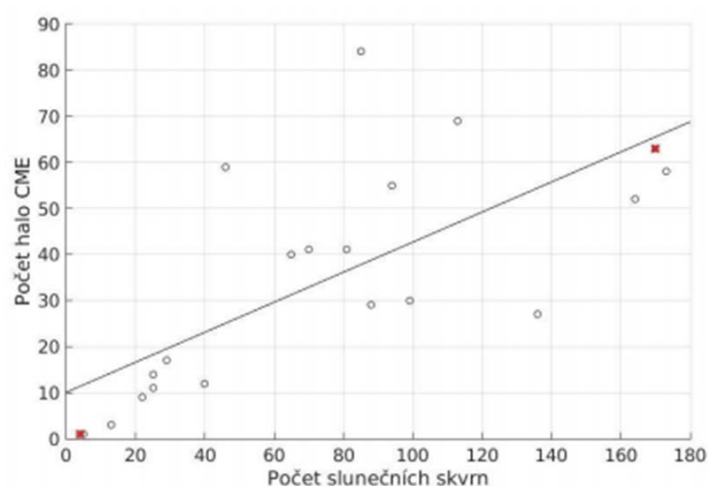
K odhadu můžou studenti přistupovat různě, jedna z možností je „zprůměrovat“ body, tedy pokusit se o vytvoření něčeho, co se blíží regresní přímce a podle ní pak odečíst počty CME pro danou sluneční aktivitu. Přestože studenti pravděpodobně nebudou regresní přímku přímo počítat, určitě dojdou k tomu, že pro nízkou sluneční aktivitu se dá čekat malý počet halo CME a pro vysokou sluneční aktivitu budeme pravděpodobně očekávat relativně velký počet CME. Odhad tedy bude proveden „podle citu“ a studenti pak svůj odhad porovnají se skutečnými změřenými počty halo CME. Učitel při kontrole výsledků (Obr. 5) může naznačit, jakým způsobem se regresní přímka počítá (je to vlastně proložení bodů nějakou vhodnou křivkou), může naznačit metodu nejmenších čtverců [4] a ukázat a vysvětlit rovnici, která regresní

přímku popisuje. Regresní přímku je možné například vytvořit v tabulkovém procesoru typu Excel. V první části studenti tedy pomocí grafu závislosti počtu halo CME na počtu slunečních skvrn docházejí k tomu, že existuje vztah mezi oběma veličinami, a jsou schopni alespoň přibližně odhadnout počet halo CME.

Žáci porovnají svoje hodnoty a učitel prozradí skutečně naměřený počet halo CME (výsledek je v Tab. 1). Studenti porovnají svůj odhad s pozorovanými hodnotami.

1997	29	17
1998	88	29
1999	136	27
2000	173	58
2001	170	63
2002	164	52
2003	99	30
2004	65	40
2005	46	59
2006	25	14
2007	13	3
2008	4	1
2009	5	1
2010	25	11
2011	81	41
2012	85	84
2013	94	55
2014	113	69
2015	70	41
2016	40	12
2017	22	9

Tab. 1 – počet slunečních skvrn a počet pozorovaných halo CME v daných letech (s vyznačenými hodnotami, které mají žáci odhadnout).



Obr. 5 – Dokreslené body z tabulky (šedá kolečka). Roky 2001 a 2008, u kterých studenti odhadují počet CME, jsou zakresleny červenými křížky. Plnou čarou je znázorněna regresní přímka popsaná jako $\text{halo CME} = 0,33 \cdot \text{počet slunečních skvrn} + 10$. Pearsonův korelační koeficient je 0,71.

Zadání druhé části

Po ověření svého odhadu studenti v druhém úkolu odhadují počet CME pro budoucnost, tedy pro roky 2021 a 2025, kdy používají odhad sluneční aktivity z Lekce 4 - První badatel. Lekce 4 není úplně nutné absolvovat, ale je potřeba odhadnout počet slunečních skvrn pro roky 2021 a 2025 pomocí grafu (Obr. 3). V tom případě je možné prozradit, že sluneční cyklus a počet slunečních skvrn má zhruba jedenáctiletou periodu a dá se čekat další pokles intenzity dalšího slunečního cyklu. Řešení druhé části závisí na odhadu budoucí sluneční aktivity, ale výsledkem by mělo být zjištění, že je možné odhadnout počet halo CME, pokud jsme schopni odhadnout sluneční aktivitu. Provedená jednoduchá statistika v této aktivitě sice používá pouze počet zaznamenaných halo CME a nepracuje s pokročilejšími parametry CME (rychlost, hustota částic), ale i tak studenty seznamuje s pojmem korelace a učí je zacházet s grafickým znázorněním vazby mezi dvěma veličinami.

Zadání třetí části

Na začátku se učitel zeptá, zda nějak souvisí hmotnost člověka s jeho výškou a pokud ano, jak. Je možné se zeptat, zda se dá čekat, že vyšší člověk bude mít průměrně vyšší hmotnost. Žáci budou pravděpodobně tvrdit, že vyšší člověk bude mít průměrně větší hmotnost. Učitel se pak může zeptat, zda tato závislost platí automaticky (tzn. vyšší člověk má vždy větší hmotnost než menší člověk). To asi platit nebude, ale přesto to vypadá, že výška s hmotností nějakým způsobem souvisí – u vyššího člověka budeme očekávat větší hmotnost než u nižšího. Takovému vztahu říkáme **korelovaný**. V pracovním listu je příklad s teplotou a prodejem zmrzliny a úkolem studentů je vymyslet další příklady korelovaných, antikorelovaných a nekorelovaných veličin. Cílem je zamyslet se nad tím, jaké veličiny a jakým způsobem spolu mohou souviset. Na závěr pak studenti navzájem za pomoci učitele představí svoje příklady a pokusí se vysvětlit důvody korelace/antikorelace/nekorelace a proč si myslí, že dané veličiny spolu souvisejí/nesouvisejí. Učitel se ptá ostatních žáků, zda s vyhodnocením korelace i s jejím zdůvodněním souhlasí.

Na závěr učitel za pomoci žáků shrne termín **korelace** – je to vztah mezi dvěma veličinami, které spolu nějak navzájem souvisí (a uvede příklady, které vymysleli studenti). Důležité je zmínit, že korelace nutně neznamená příčinný vztah. U příkladu se zmrzlinou je zvýšený prodej způsoben vyššími teplotami, ale je možné najít příklady veličin, které jsou korelované, ale velmi pravděpodobně spolu nesouvisejí (například počet čápů ve městě a počet narozených dětí v daném městě [5]).

Závěrečná aktivita (relaxace)

Video <https://youtu.be/HFT7ATLQX8> ukazuje Slunce v období vysoké sluneční aktivity a pochází z SDO (Solar Dynamics Observatory), vlnová délka 30,4 nm je v rozmezí EUV (extrémní ultrafialová) a odpovídá teplotě plazmatu 50 000 K (zdrojem je plně ionizované He).

Magnetické pole Slunce je samo o sobě neviditelné, ale je možné jej zobrazit pomocí plazmatu pohybujícího se podél magnetického pole. Jsou tak pěkně vidět magnetické smyčky vycházející ze slunečního povrchu, jejich vývoj i vliv gravitace Slunce a padání plazmatu zpět na sluneční povrch.

[1] Detailní pohled na CME z roku 2012 <https://youtu.be/GrnGi-q6iWc>

[2] Seznam Halo CME pozorovaných pomocí Sluneční observatoře SOHO https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/halo/halo.html

[3] Foto halo CME <https://www.spaceweatherlive.com/en/news/view/126/20150621-m20-and-m26-solar-flares-with-full-halo-cme>

[4] Metoda nejmenších čtverců https://cs.wikipedia.org/wiki/Metoda_nejmenších_čtverců

[5] O dětech, čápech a kauzalitě, http://www.cs.cas.cz/hanka/POKROKY/4_17/dvorak.pdf