

Slapové jevy

Tomáš Tyc

Slapové jevy jsou přírodní procesy, při kterých se zajímavým způsobem projevuje dobře známá vlastnost gravitačního působení mezi dvěma tělesy – totiž to, že gravitační přitažlivá síla slábne s jejich rostoucí vzdáleností. Nejznámějšími slapovými jevy jsou nepochybně příliv a odliv, které můžeme pozorovat u moře jako pravidelné stoupání a klesání jeho hladiny. Příliv a odliv je vyvolán gravitačním působením Měsíce (a v menší míře i Slunce) na mořskou vodu.

Jak to funguje? Země a Měsíc se vzájemně přitahují a přitom obíhají kolem společného těžiště, které je v hloubce asi 1800 km pod povrchem Země. Z pohledu pozorovatele na Zemi vlivem tohoto oběhu působí na Zemi odstředivá síla, která směřuje směrem pryč od Měsíce a přesně vyrovnává přitažlivou sílu Měsíce, viz obr. 1. Proto Země na Měsíc nespadne (a ani Měsíc na Zemi). Jinak to ale dopadne, pokud se místo na Zemi jako celek podíváme na vodu, která je v části Země k Měsíci přivrácené (bod A na obr.1). Tato voda je k Měsíci blíže než Země jako celek, proto ji Měsíc přitahuje poněkud silněji a gravitace tedy převládne nad odstředivou silou. Výsledkem bude síla působící na vodu směrem k Měsíci a tedy pryč od středu Země. A jak to bude s vodou na odvrácené straně (v bodě B)? Tato voda je od Měsíce naopak dále než Země jako celek, proto v jejím případě je gravitace Měsíce poněkud slabší než odstředivá síla. Výsledná síla bude proto směřovat pryč od Měsíce a i v tomto případě tedy pryč od středu Země. Vidíme, že pro oba body A, B platí, že voda je tažena pryč od zemského středu a v těchto bodech tedy hladina bude mít tendenci se poněkud zvednout. Podobně se dá ukázat, že v bodech C a D na obr. 1 voda naopak bude mít snahu trochu poklesnout, protože co do velikosti je sice v tomto případě přitažlivost Měsíce s odstředivou silou vyrovnána, ale obě síly mají poněkud jiný směr a výsledkem je síla směřující do středu Země.

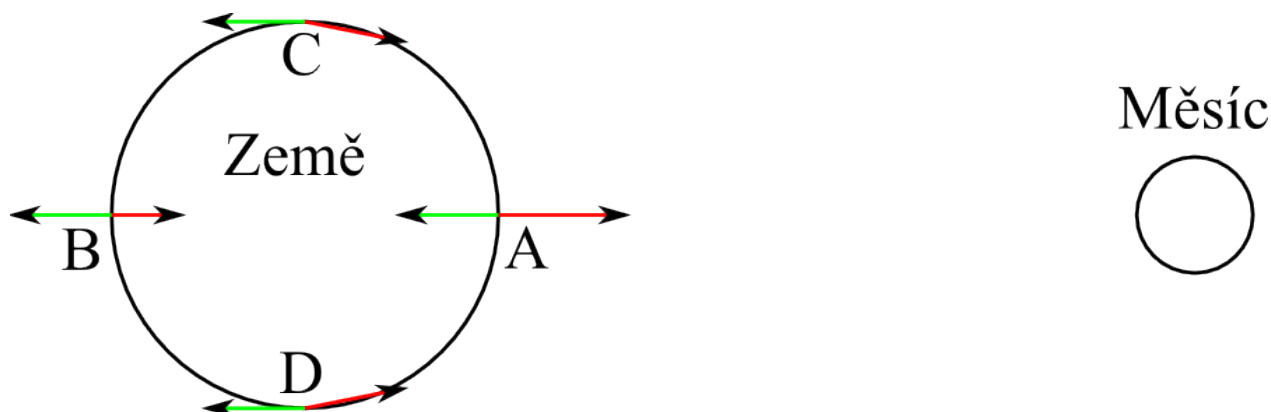
Z toho, co jsme si řekli, by se mohlo zdát, že mořská hladina bude vždy nejvíce vzedmutá tam, kde je Měsíc přímo v nadhlavníku (bod A) a v protějším bodě (B), viz obr. 2. Tak by tomu skutečně bylo, pokud by byla Země natočena k Měsíci stále stejnou stranou (podobně jako je natočen Měsíc k Zemi) a body A a B by tak byly stále na stejných místech jejího povrchu. Zvýšení hladiny v bodech A a B by v tom případě činilo asi 36 cm a její snížení v bodech C, D by bylo asi 18 cm. Země se ale otáčí kolem své osy a proto se body A a B neustále posouvají po jejím povrchu rychlostí asi 500 metrů za sekundu. Voda tedy nemá dostatek času, aby se neustále přesouvala a zaujímal novou tvar, a kromě toho jejímu přelévání brání řada překážek – pevniny, mělčiny, průlivy apod. Je proto velmi překvapivé, že právě tyto překážky způsobují, že na mnoha místech moře je příliv a odliv mnohem vyšší než zmíněných několik desítek centimetrů. Jak je to možné?

Ilustrujme si to na příkladu Bay of Fundy v Kanadě, kde je příliv a odliv největší na světě (rozdíl hladin dosahuje až 16 metrů). Bay of Fundy je dlouhý záliv (viz obr. 3), ve kterém se voda může rozhoupat podobně jako třeba ve vaně, ze které prudce vylezeme. Jeden kmit vody v tomto zálivu trvá kolem dvanácti hodin, což je blízké periodě, s jakou Měsíc nutí vodu zvedat se a zase klesat. Dojde proto k rezonanci podobně, jako když třeba dobře načasovanými malými šťouchnutími postupně rozhoupáme dítě na houpačce. Voda v celém zálivu se pak rozkmitá mnohem silněji, než by tomu mohlo být daleko od pevniny. Proto také jsou místa velkého přílivu a odlivu vždy u pobřeží, viz obr. 4. Několik snímků stejného místa za přílivu a odlivu je na obr. 5 a 6.

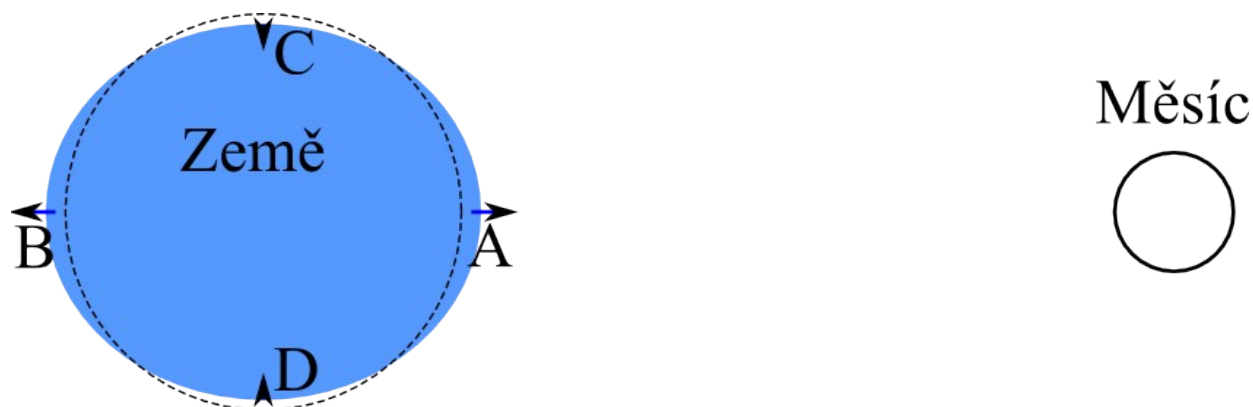
Kromě Měsíce se na slapových silách podílí i Slunce, ale slaběji. Za měsíčního úplňku a novu se efekty Měsíce a Slunce sčítají a v první a poslední čtvrti naopak odečítají, proto výška (amplituda) přílivu a odlivu během měsíce kolísá.

Je zajímavé, že slapové síly mohou i za známou skutečnost, že Měsíc je k Zemi přivrácen stále

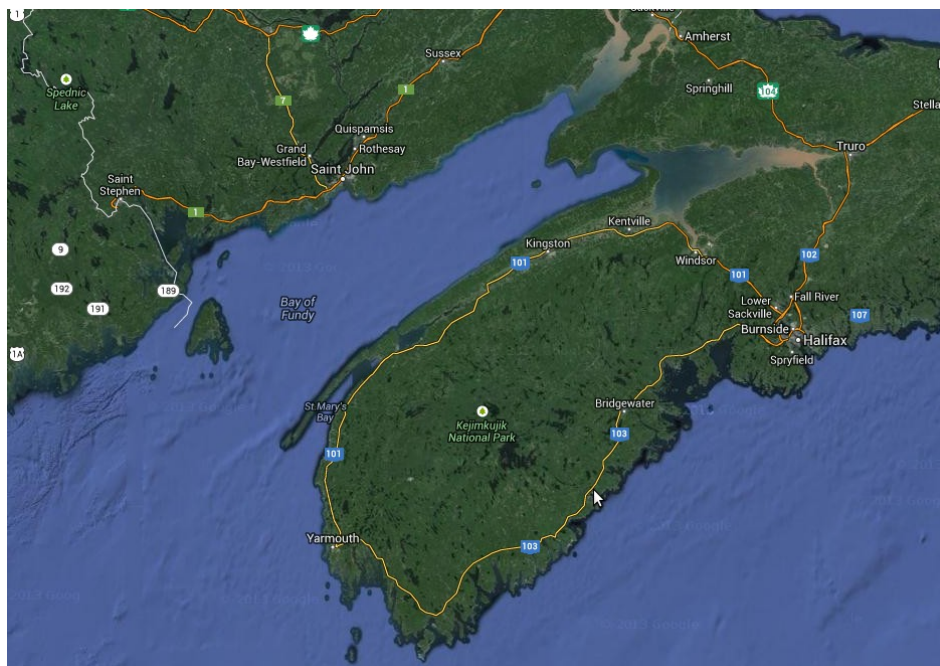
stejnou stranou. Kdysi tomu tak nebylo, ale slapové síly od Země po miliony let deformovaly Měsíc podobně, jako dnes deformují zemskou hydrosféru, a to postupně zbrzdilo rotaci Měsíce kolem jeho osy.



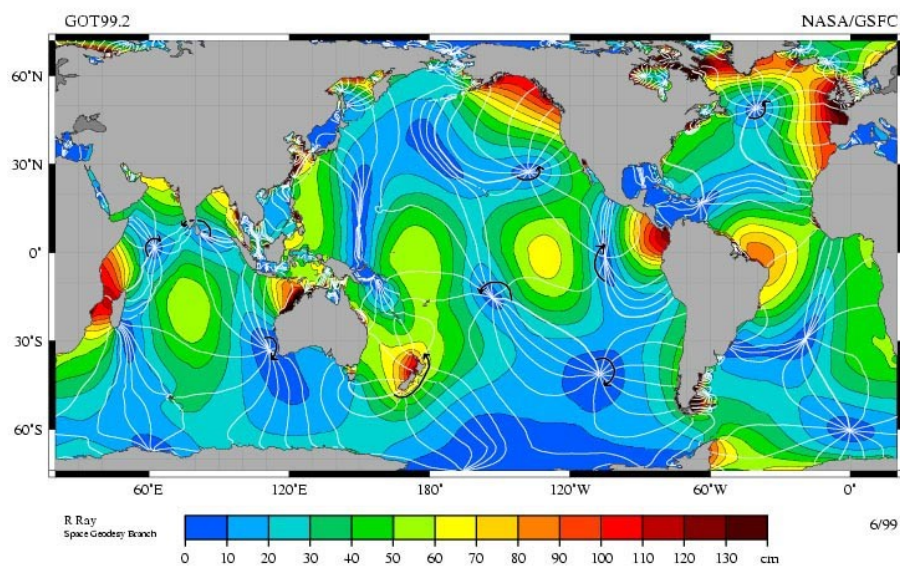
Obr. 1: Síly působící na části zemského povrchu vlivem přitažlivosti Měsíce a rotace kolem společného těžiště. Odstředivé síly jsou znázorněny zeleně, gravitační síly od Měsíce červeně. Výslednice sil v bodech A a B směřují pryč od středu Země a voda je v těchto místech nadlehčována, zatímco v bodech C a D výslednice směřují do středu Země a voda je zde tlačena ještě více k zemi. Obrázek není v měřítku, Měsíc je ve skutečnosti mnohem dále od Země.



Obr. 2: Pokud by byla Země natočena k Měsíci stále stejnou stranou, body A a B by byly stále na stejných místech jejího povrchu a mořská hladina by pak byla v těchto místech nejvíce vzedmutá (asi o 36 cm) a naopak snižena by byla v bodech C a D (asi o 18 cm). Šipky ukazují výslednice sil z obr. 1.



Obr. 3. Bay of Fundy v Kanadě, kde je největší příliv a odliv na světě. Zdroj: Google maps.



Obr. 4. Výška přílivu a odlivu v různých místech světových moří. Příliv a odliv je největší u pobřeží, kde může dojít k rezonanci mezi vlastní frekvencí kmitů mořské hladiny a frekvencí, s jakou se Měsíc snaží nutit vodu stoupat a klesat. Zdroj: Wikipedia.



Obr. 5. Stejné místo za přílivu a za odlivu ve skotském St Andrews. Snímky byly pořízeny ve stejný den s odstupem asi šesti hodin. Foto autor.



Obr. 6. Pláž West Sands v St Andrews je za přílivu široká místy pouhých několik metrů, zatímco za odlivu má kolem 300 metrů. Rozdíl výšek hladiny moře vlivem slapů zde za úplňku či novu dosahuje až pěti metrů. Foto autor.