

10 Simulace sněhových a ledových struktur

Ondřej Čech, vedoucí práce doc. Ing. Martin Čadík, Ph.D.

Útvary nazývané Kajícníci (španělsky Penitentes) vznikají ve vysoké nadmořské výšce, běžně se vyskytují v Andách, také se objevují v Himalájích, pohoří Sierra Nevada, na Kilimandžáru a jiných horách s vyhovujícím klimatem, rovněž byly takovéto útvary nalezeny na Plutu a mohly by se nalézat v rovníkových oblastech Jupiterova měsíce Europa. Klima, které vyhovuje růstu Kajícníků lze popsat jako suché, studené, slunečné a stabilní. Tyto struktury tvoří skupiny štítů orientovaných obecně ve směru z východu na západ se zdmi obrácenými k severu a jihu, jejich vrcholy se orientují k zenitálnímu úhlu slunce během poledne, kdy je jeho záření nejvyšší. Poprvé tyto útvary popsal britský přírodovědec Charles Darwin, který se s nimi setkal při cestě ze Santiaga de Chile do Argentinského města Mendoza v březnu 1835. Název kajícníků pochází od jejich vzhledu, který připomíná účastníky procesí během Velikonočních svátků ve Španělsky mluvících zemích. Ti jsou oblečeni v dlouhých bílých hábitech a vysokých špičatých pokrývkách hlavy.



Pole kajícníků v Argentině, poblíž hory Aconcagua, zdroj: Wikipedie

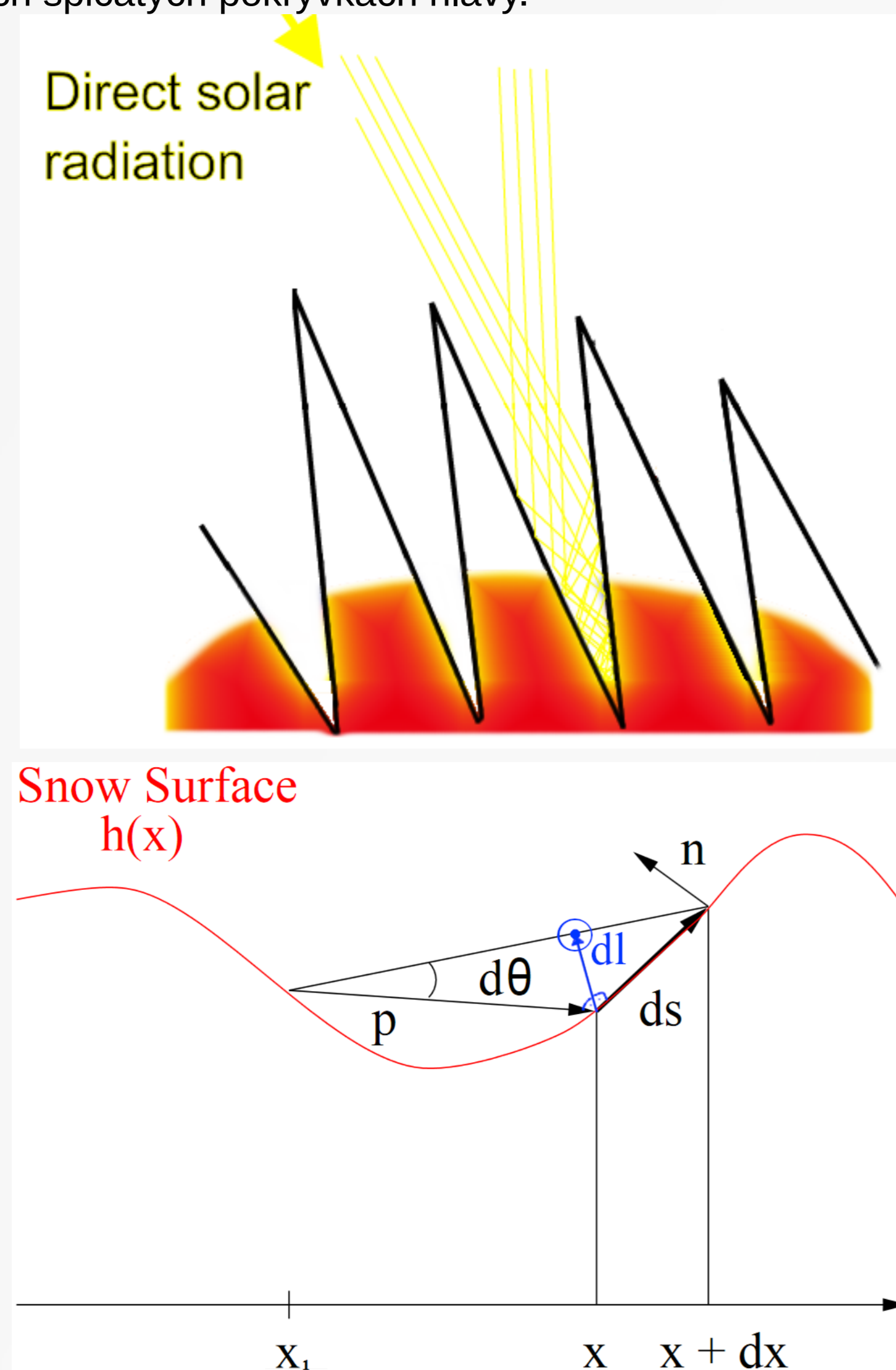


Schéma ablace povrchu sněhu. Rozptyl světla z bodu x_1 do intervalu mezi x a $x+dx$ závisí na úhlu $d\theta$. Vektor p směřuje z bodu x_1 do bodu x . Vektor n je normála k povrchu v bodě x a vektor ds je inkrement podél povrchu mezi x a $x+dx$

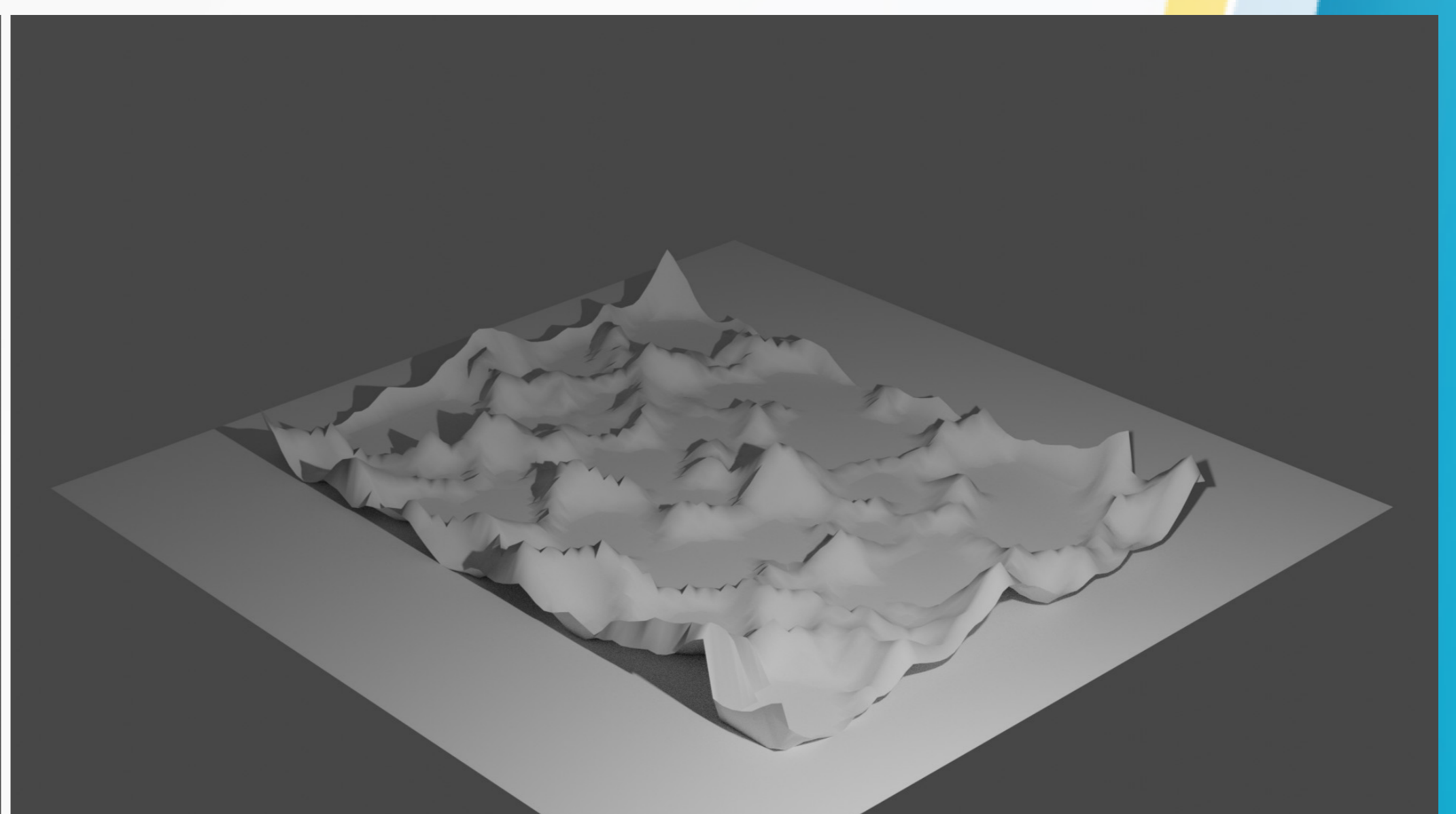
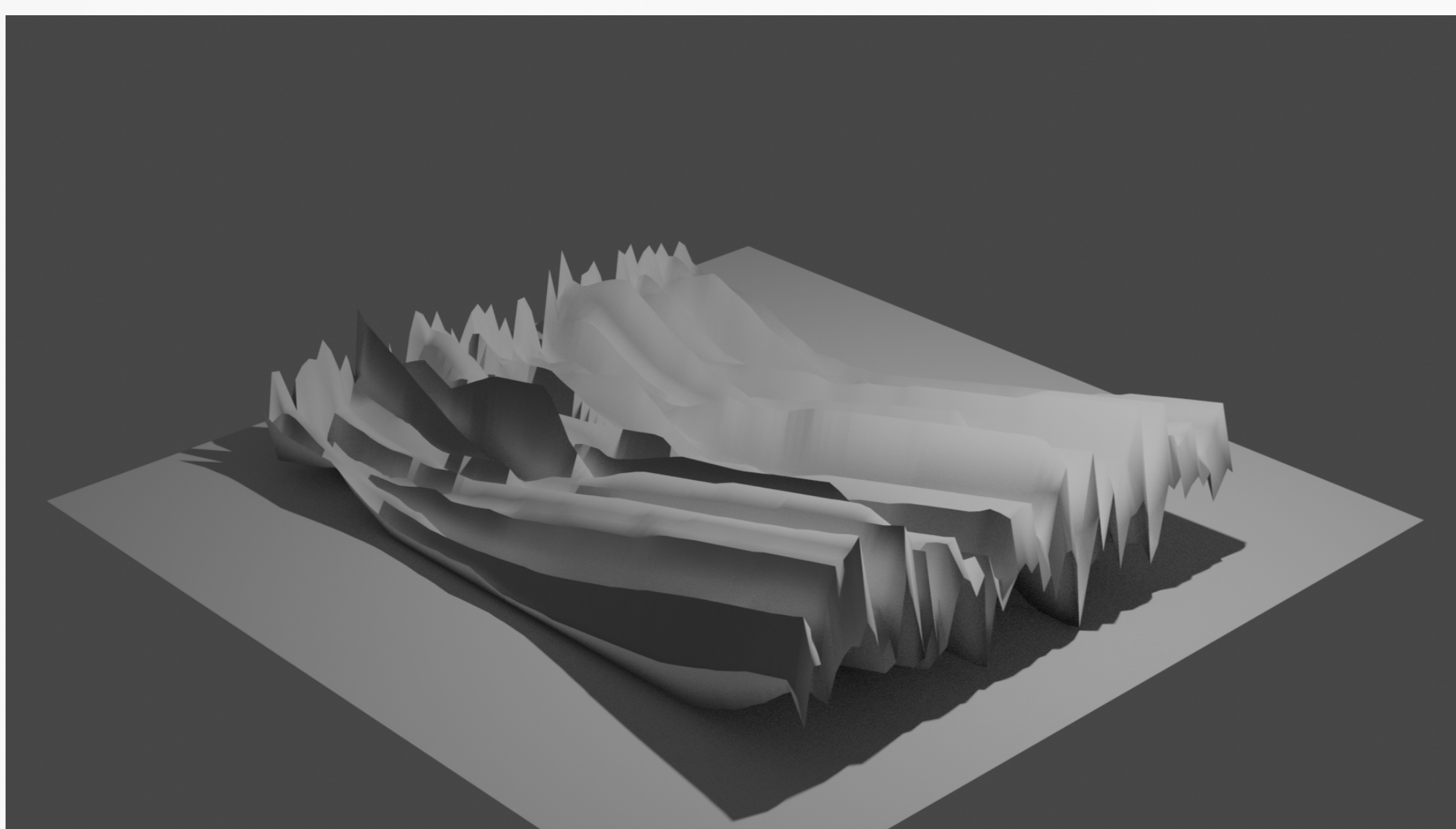
Proces, který vede ke vzniku kajícníků se nazývá diferenciální ablace. Při ní mění některé části sněhu své skupenství rychleji než jiné. Na počátku je silná vrstva sněhu, která není dokonale rovná, jsou v ní propadliny. Na tento sníh dopadá sluneční záření, které je zachycováno vícenásobnými odrazy mezi zdmi těchto sníženin více, než jinde. Propadliny se vlivem větší přijaté energie prohlubují, stávají se téměř černým tělesem, které pohlcuje většinu dopadajícího světla.

Matematický model vytvořila M. D. Betterton. Model se skládá ze dvou částí: výpočtu sněhové ablace a odrazivosti světla. Teplo, které dopadá na povrch, vede k ablaci. Výška povrchu se snižuje, jak led taje nebo sublimuje.

Tento model je jednorozměrný, Jsou vytvořeny řezy povrchem, které odpovídají funkci $h(x)$. Simulace počítá diferenciální rovnice změny výšky v daném bodě za čas jednoho kroku. Změna výšky závisí zejména na energii přenesené světelnými paprsky do okolí daného bodu z přivrácených ploch ledovce. Čím více plochy odráží světlo do daného místa, tím rychleji toto místo odtává.

Implementace spočívá v rozdělení řezu na jednotlivé body, které připomínají pixely rasterizované křivky znázorňující $h(x)$. Pro každý bod jsou poté určeny body, které do něj odrážejí světlo, pomocí vzorce z nich určena předaná energie, a následně vypočítána diferenciální rovnice.

Hlavní problém tohoto modelu spočívá v tom, že jednotlivé řezy jsou na sobě nezávislé. Tím pádem se tvoří velké rozdíly mezi sousedními řezy, což ve výsledku vytvoří realistický terén. Tento problém byl řešen tak, že kromě vodorovných řezů jsou tvořeny ještě řezy svislé, tedy kolmé k původním řezům. Takto se prohlubně rozšiřují v obou směrech plochy a tvoří daleko věrohodnější struktury.



Výsledky simulace po 576 hodinách simulace. Vlevo původní 1D model tvořený na sobě vzájemně nezávislými řezy tvoří realistický reliéf. Pouhé přidání výpočtu v kolmých řezech tvoří mnohem uvěřitelnější terén, jak ukazuje obrázek vpravo.