

Univerzita Palackého v Olomouci  
Přírodovědecká fakulta  
Katedra experimentální fyziky

# BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

## Sníh z pohledu fyziky



<b>Autor:</b>	Tereza Olbrichová
<b>Studijní program:</b>	B1701 Fyzika
<b>Studijní obor:</b>	1701R003 Fyzika se zaměřením na vzdělávání 1501R001 Biologie se zaměřením na vzdělávání 7504R000 Společný základ učitelských oborů I
<b>Forma studia:</b>	Prezenční
<b>Vedoucí práce:</b>	RNDr. Renata Holubová, CSc.
<b>Termín odevzdání práce:</b>	30. 4. 2021

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně pod vedením RNDr. Renaty Holubové, CSc. a že jsem použil(a) zdrojů, které cituji a uvádím v seznamu použitých pramenů.

V Olomouci 30. 4. 2021

.....

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala své vedoucí bakalářské práce RNDr. Renatě Holubové, CSc. za odborné vedení, cenné rady a věcné připomínky při zpracování práce. Děkuji také svým blízkým za rady při vypracování praktické části a jejich podporu.

## Bibliografická identifikace:

Jméno a příjmení autora	Tereza Olbrichová
Název práce	Sníh z pohledu fyziky
Typ práce	Bakalářská
Pracoviště	Katedra experimentální fyziky
Vedoucí práce	RNDr. Renata Holubová, CSc.
Rok obhajoby práce	2021
Počet stran	58
Počet příloh	1 (19 stránek, 17 fotografií)
Jazyk	Český (anglický)

### Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá studiem sněhu z pohledu fyziky. Cílem práce byla rešerše české i zahraniční literatury na uvedené téma a ověření některých vybraných fenoménů sněhu v praxi. Zpracovávání práce probíhalo ve čtyřech etapách – studování problematiky sněhu, mikroskopie sněhových vloček a sněhové pokrývky, dokumentace sněhu během zimního období a experiment tání. Každá etapa práce je obohacena obrázky nebo pořízenými fotografiemi. Výsledky práce ukazují různé tvary sněhových vloček padajících v zimním období, rozdíly mezi čerstvě napadlou sněhovou pokrývkou a slehlou sněhovou pokrývkou. Experiment tání sněhu ukazuje vliv na rychlost tání sněhu mechanickým porušením sněhu či přidáním chemických látek.

### Klíčová slova

Difuze, historie sněhových vloček, faseta, kvazi kapalná vrstva, metamorfóza sněhu, molekula vody, morfologický diagram, nestabilita Mullins-Sekerka, přesycení vzduchu, sněhová pokrývka, sněhová vločka, sněhový krystal, teplota, tvary vloček, vlastnosti ledu.

## Bibliographical identification:

Autor's first name and surname	Tereza Olbrichová
Title	Physics of snow
Type of thesis	Bachelor
Department	Department of Experimental Physics
Supervisor	RNDr. Renata Holubová, CSc.
The year of presentation	2021
Number of pages	58
Number of appendices	1 (19 pages, 17 photographs)
Language	Czech (English)

## Abstract

This bachelor thesis deals with the study of snow from the view of physics. The goal of this work is the search of Czech and foreign literature on the mentioned method and verification of some chosen snow phenomenons in practice. The elaboration of this thesis took place in four phases focused on studing the problematics of snow, microscopy of the snowflakes and the snow cover, documentation of snow during winter season and the experiment of melting. Each phase of the work is enriched with pictures or taken photographs. The results of the work show various shapes of the snowflakes falling during winter time and diferences between the freshly fallen cover and the flat snow cover. The experiment with the melting snow shows the impact of infringement or adding chemicals on speed of melting the snow.

## Keywords

Diffusion, snowflake history, facet, quasi liquid layer, snow metamorphism, water molekul, morphological diagram, Mullins-Ax instability, air supersaturation, snow cover, snoflake, snow crystals, snow melting, temperature, flake shape, ice properties.

# Obsah

<b>Úvod .....</b>	<b>8</b>
<b>Teoretická část .....</b>	<b>9</b>
1.1 Historie sněhových vloček .....	9
1.2 Fyzika sněhových krystalů .....	11
1.2.1 Vlastnosti vody .....	11
1.2.2 Vlastnosti ledu .....	12
1.2.3 Vznik sněhového krystalu .....	12
1.2.4 Vznik sněhové vločky .....	13
1.2.5 Základní tvar sněhových vloček .....	13
1.2.6 Růst sněhového krystalu .....	14
1.2.7 Teorie růstu faset .....	14
1.2.8 Růst ovlivněný difuzí .....	15
1.2.9 Tvar sněhových vloček .....	17
1.2.10 Druhy sněhových srážek .....	19
1.3 Sněhová pokrývka .....	21
1.3.1 Mechanické vlastnosti sněhové pokrývky .....	21
1.3.2 Optické vlastnosti sněhové pokrývky .....	22
1.3.3 Izolační a tepelné vlastnosti sněhové pokrývky .....	24
1.3.4 Zvukové vlastnosti sněhové pokrývky .....	25
1.3.5 Metamorfóza sněhu .....	25
1.3.6 Tání sněhu .....	26
1.4 Metody mikroskopování sněhových vloček .....	27
1.4.1 Mikroskopování sněhových vloček v terénu .....	27
1.4.2 Fixace sněhových vloček .....	27
<b>2 Praktická část .....</b>	<b>28</b>
2.1 Mikroskopie sněhu .....	28
2.1.1 Metodika mikroskopování .....	28
2.1.2 Vyhodnocení .....	29
2.2 Vlastnosti sněhové pokrývky .....	30
2.2.1 Metodika .....	30
2.2.2 Vyhodnocení .....	30

2.3 Tání sněhové pokrývky .....	32
2.3.1 Metodika.....	32
2.3.2 Vyhodnocení .....	32
<b>Závěr .....</b>	<b>34</b>
<b>Seznam použitých pramenů .....</b>	<b>35</b>
<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>38</b>
<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>39</b>
<b>Seznam grafů.....</b>	<b>39</b>
<b>Přílohy.....</b>	<b>40</b>

# Úvod

*„Sněhové vločky jsou maličké zázraky nekonečné krásy.“* Wilson Bentley<sup>1</sup>

Jak již popsal Wilson Bentley, jedním ze zázraků přírody jsou bílé sněhové vločky. Cílem této bakalářské práce je podrobně rozebrat tuto problematiku „přírodních zázraků“.

V teoretické části se zaměříme na podrobnou rešerši domácí a zahraniční literatury na téma sněhových krystalů, sněhových vloček a sněhové pokrývky. Při čtení teoretické části by se čtenář měl dozvědět vlastnosti a charakteristiky sněhu, podmínky vzniku sněhových krystalů a průběh vzniku sněhových vloček z pohledu difuze, teploty a dalších faktorů. Také rozebereme, jaké tvary sněhových vloček se tvoří v závislosti na vnějších faktorech a co způsobuje jejich šestiboký tvar. Nakonec teoretické části se budeme věnovat vlastnostem sněhové pokrývky, přeměnám sněhové pokrývky a jejímu tání.

V praktické části jsem si za cíl stanovila ověřit některé sněhové fenomény uvedené v teoretické části pomocí mikroskopie sněhových vloček a sněhové pokrývky, fotografií a experimentu tání. Mikroskopií sněhu ověříme, jaké různorodé tvary sněhových vloček mohou během zimy padat v okolí mého bydliště a jaké jsou rozdíly mezi pokrývkou po čerstvě napadeném sněhu a pokrývkou sněhu během probíhající metamorfózy. Fotografiemi sněhové pokrývky poukážeme na barvy sněhu a jeho vlastnosti v přirozených podmínkách. Další praktickou částí se pomocí experimentu tání podíváme na rychlost tání sněhu přidáním chemických látek nebo porušením sněhové pokrývky zatížením.

---

<sup>1</sup> FIEDLER, J. Wilson „Vločka“ Bentley byl průkopníkem mikroskopické fotografie: Snímky sněhových vloček dostal až do National Geographic. *G.cz* [online]. 9. 2. 2021 [cit 2021-3-10]. URL: <https://g.cz/wilson-vlocka-bentley-byl-prukopnikem-mikroskopicke-fotografie-snimky-snehovych-vlocek-dostal-az-do-national-geographic/>.



# 1 Teoretická část

## 1.1 Historie sněhových vloček

První zmínky o zkoumání sněhových vloček se v Evropě objevují v 17. století, kdy v roce 1611 německý matematik a astronom Johannes Kepler publikoval spis s názvem „*O šestiboké sněhové vločce*“. [12, 17, 25] V této krátké publikaci se zabýval otázkou, proč sněhové vločky zaujmou tvar šestiúhelníku. Závěrem jeho úvah byla stavba samotné vločky, která se skládá z menších částic, které jsou zodpovědné za její šestiboký tvar. [12, 17, 25]

Dalším badatelem sněhových vloček byl o 20 let později francouzský filozof, matematik a fyzik René Descartes. [18] V roce 1637 vydal stručný, avšak podrobný popis morfologie sněhových vloček, která byla součástí jeho pojednávání o povětrnostních procesech s názvem „*Les Météores*“. Na základě jím zhotovených náčrtků popsal velkou rozmanitost sněhových vloček. [12, 18]

Robert Hook, anglický přírodovědec, publikoval v roce 1665 knihu s názvem „*Micrographia*“, která obsahovala několik náčrtků sněhových vloček pozorovaných mikroskopem, který si sám sestavil. [13]

Prvním fotografem sněhových vloček se stal v 19. století americký farmář Wilson Bentley přezdívaný jako „Vločka“. V přírodních podmínkách chytal sněhové vločky na černou dřevěnou tabuli. Vločky, které se mu líbily, přenesl na mikroskopické sklíčko, mikroskopoval je a nakonec vyfotografoval. Nejenže byl prvním fotografem sněhových vloček a o jeho fotografie měl zájem celý svět, ale je také považován za průkopníka v oblasti mikroskopické fotografie. Během svého života viděl nespočet sněhových krystalů a dospěl k závěru, že žádné dvě sněhové vločky nejsou totožné. [3]

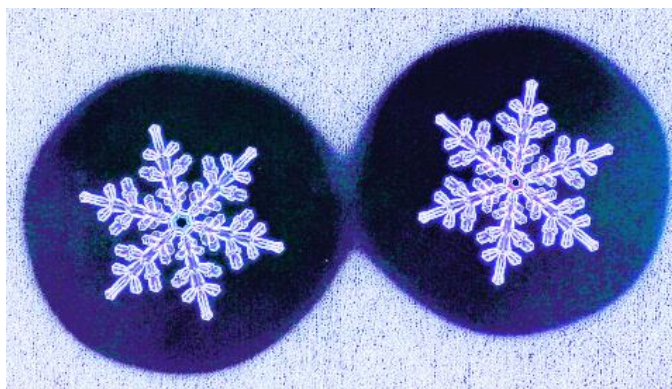


**Obr. 1:** První fotografie sněhových krystalů pořízené Wilsonem Bentleyem. [3]

Ve 20. století byla v roce 1935 americkým chemikem, biochemikem a chemickým inženýrem Linusem Paulingem popsána struktura ledu. [11] Struktura ledu ve sněhovém krystalu je prakticky totožná jako v obyčejné kostce ledu. Linus určil strukturu ledu, tedy i tvar sněhové vločky, která závisí zejména na samotné molekule vody. [8, 9]

Ve 30. letech 20. století provedl japonský jaderný fyzik Ukichira Nakaya první laboratorní studii zaměřenou na růst sněhových krystalů za různých meteorologických podmínek. Byla to první studie sněhu při kontrolovatelných podmínkách, která umožňovala pozorovat různé růstové morfologie, které se objevovaly u různých teplot a přesycení. Na základě tohoto poznatku přišel Ukichira Nakaya se závislostí morfologie sněhového krystalu na teplotě a přesycení vyobrazeném v morfologickém diagramu (graf 1). V roce 1954 vydal o svých experimentech knihu s názvem „*Snow Crystals: Natural and Artificial*“. [8, 9]

Kenneth G. Libbrecht, profesor fyziky na Kalifornském technologickém institutu (Caltech), se zaměřuje na studium fyziky sněhových krystalů, zejména na molekulární dynamiku růstu krystalů. [13] Je autorem webu „*SnowCrystals.com*“ a napsal mnoho knih na toto téma, např. „*Snowflake: Winter's Frozen Artistry*“, „*The Secret Life of a Snowflake*“, „*The Art of the Snowflake*“ a „*Ken Libbrecht's Field Guide to Snowflakes*“. [10] Na začátku 21. století byly v jeho laboratořích pomocí počítačové simulace vytvořeny dvě identické sněhové vločky označované jako dvojčata, které vznikly v laboratoři vedle sebe za stejných velmi kontrolovatelných podmínek (dostatečné regulace teploty, vlhkosti, polohování, regulace proudění vzduchu). [10, 13]



**Obr. 2:** Dvě identické sněhové vločky z laboratoří Kennetha G. Libbrecha. [10]

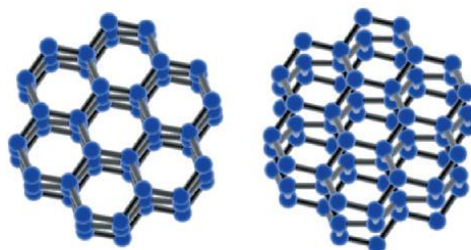
## 1.2 Fyzika sněhových krystalů

Sněhová vločka představuje shluk sněhových krystalů, které drží pohromadě. Tvaruje se do symetrických šestibokých vzorů díky vlastnostem ledu a molekule vody.

### 1.2.1 Vlastnosti vody

Molekula vody je polární sloučenina dipólového charakteru skládající se ze dvou atomů vodíku a jednoho atomu kyslíku. Mezi atomem kyslíku a atomy vodíku dochází ke vzniku polární vazby na základě rozdílů jejich elektronegativit. Molekuly vody se shlukují do větších celků na základě vodíkových vazeb, které vymezují jejich sklon a zapříčiňují anomální vlastnosti vody. [15] Molekula vody má tvar tetraedru, který je způsoben  $sp^3$  hybridizací. Uprostřed tetraedru se nachází atom kyslíku. Oba atomy vodíku tvoří vazbu s kyslíkem a jsou umístěné na vrcholech tetraedru. Mezi vazbami vodíku s kyslíkem se vytváří úhel o velikosti  $109,5^\circ$ . [16]

Voda má tři skupenství na základě vytváření nebo rozvíjení vodíkových můstků a bilance tepelné energie. V plynném skupenství se molekuly vody izolují a nedotýkají se. Nedochozí u nich ke vzniku vodíkové vazby. [16] U vody v kapalném skupenství dochází k neustálému pohybu molekul, kdy se molekuly přiblíží k sobě a vzájemně se mezi sebou srážejí. [21] Vznikají u nich vodíkové můstky, které odpovídají velikosti 3,5 můstkům na spojení mezi dvěma molekulami. Díky můstkům se zaplní skoro celý volný povrch mezi nimi a voda se chová jako kapalina. [16] Při ochlazování kapaliny se molekuly začnou zpomalovat a fixovat do jasně stanovených pozic. Molekuly vody se spojují pomocí vodíkových můstků a zapadají do sebe. [9, 21] Každá molekula vody je donorem nebo akceptorem dvou vodíkových můstků, přes které se spojují. [16] Sněhový krystal tvoří led, který krystalizuje v hexagonální soustavě, a jeho struktura i tvar závisí na molekule vody, díky které má šestiboký tvar. [9, 21] Schéma struktury ledu je zobrazené na obr. 3.

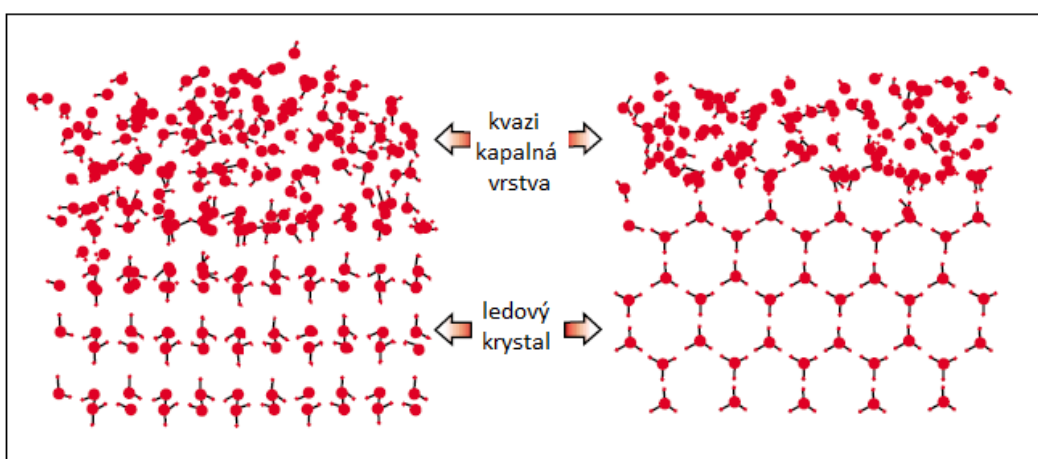


**Obr. 3:** Dva pohledy na strukturu sněhového krystalu, kde modré koule představují atomy kyslíku a černé sloupy atomy vodíku. [8]

## 1.2.2 Vlastnosti ledu

Led je pevný nestabilní materiál, který se vyznačuje schopností regelace, při které dochází k opakovanému tání a znovu zamrznání na základě změny tlaků. Struktura ledu je tak zcela závislá na vnějších podmínkách při zamrznání. [6]

Růst sněhového krystalu závisí na povrchových vlastnostech ledu, kde důležitou roli hraje vnější kvazi kapalná vrstva. Ve vnitřní vrstvě krystalu jsou molekuly k sobě pevně vázané. Na povrchu ledu ve vnější vrstvě se vytváří kvazi kapalná vrstva na základě některých chybějících molekul vody a vazeb mezi nimi. Díky pohybu molekul vody na povrchu krystalu dochází k přestavění vnější povrchové vrstvy ve vrstvu neuspořádanou, čímž se minimalizuje povrchová energie. [8] Tuto situaci popisuje obrázek 4.



**Obr. 4:** Struktura ledu s vyznačenou kvazi kapalnou vrstvou na povrchu sněhového krystalu. [8]

Pomocí kvazi kapalně vrstvy může být led kluzký a drží sněhové vločky ve sněhových koulích při sobě. Kvazi kapalná vrstva také ovlivňuje růst sněhových krystalů. Při nízkých teplotách pod  $t = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$  kvazi kapalná vrstva vymizí a zpomalí rychlost růstu krystalu. Naopak při vyšších teplotách je rychlost růstu díky přítomnosti kvazi kapalně vrstvy rychlejší. [8, 9] Podrobnější popis fungování kvazi kapalně vrstvy uvedeme v kapitole 1.2.7 o teorii růstu faset.

## 1.2.3 Vznik sněhového krystalu

Sněhové vločky vznikají v troposféře, v chladné části atmosféry nejbližší k zemskému povrchu, ve které se „vytváří veškeré počasí a teplota v ní lineárně klesá s její výškou. Troposféra obsahuje veškerou atmosférickou vlhkost“ [4]<sup>2</sup>, která je velmi důležitá

<sup>2</sup> FILIPČÍK, P. *Simulace sněžení pro virtuální realitu*. Plzeň, 2008. 30 str. Bakalářská práce na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity na katedře informatiky a výpočetní techniky ze strany 3.

pro vznik sněhové vločky. Příznivými podmínkami tvorby ledových krystalů je právě vlhkost atmosféry nad 100 %, označované také jako přesycení vzduchu. [9]

#### **1.2.4 Vznik sněhové vločky**

V atmosféře se vyskytují prachové nebo pylové částice, které představují pevná kondenzační jádra sněhových krystalů, na kterých se při přesycení vzduchu začne usazovat vodní pára. Vodní pára může rovnou kondenzovat a vytvořit pevný střed krystalu, nebo se nejdříve kolem prachové částice vytvoří kapka s podchlazenou vodou, která pak při srážce s ledovým krystalem zamrzne. [14] Pevný střed krystalu dále roste pomocí kondenzace vodní páry a srážek s kapičkami podchlazené vody, až doroste do sněhového krystalu. [8, 9, 24]

V atmosféře díky turbulentním pohybům dochází k promíchávání vzduchu. Promíchání vzduchu má vliv na intenzitu srážek. Intenzivnější srážky sněhových krystalů nejen že způsobují další růst sněhových krystalů, ale také spojování krystalů za vzniku sněhové vločky. Po určité době, kdy má sněhová vločka dostatečnou velikost, se začne snášet k zemskému povrchu. Šestiboká sněhová vločka z vyšších vrstev klesá k zemi a mění se na základě teploty. Změnou teploty a připojováním molekul vody k rostoucím krystalům vznikají složité vzory sněhových vloček. [8, 9]

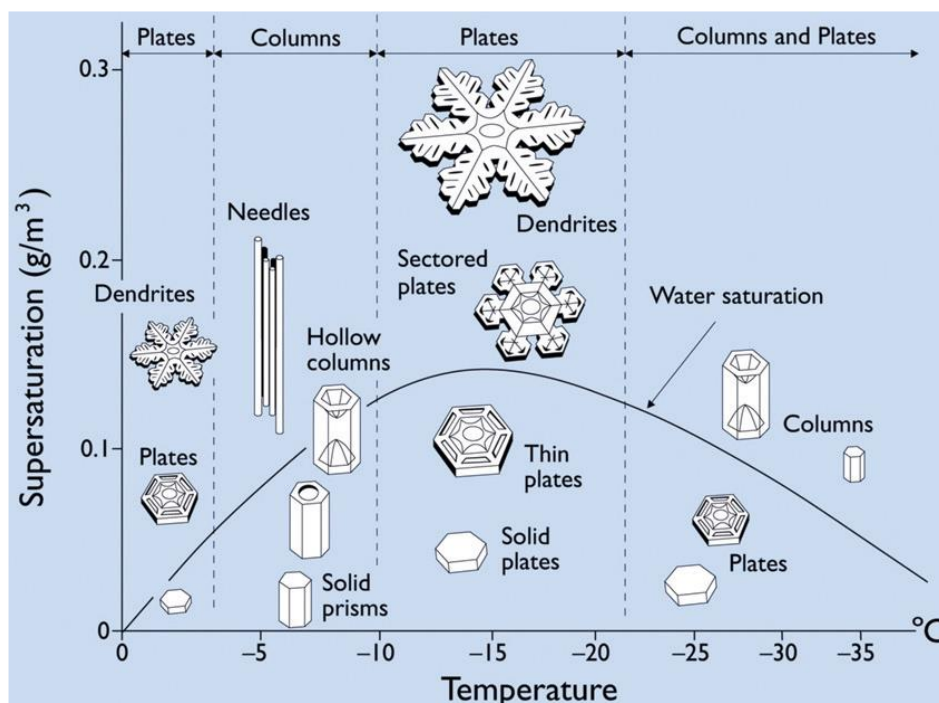
Pokud má vločka v atmosféře vhodné podmínky a teplota vrstvy vzduchu, kterou prochází, má teplotu pod bodem mrazu, dopadne až na zem. Pokud je však teplota vyšší než bod mrazu, vločka dopadne na zemský povrch v podobě vodní kapky nebo roztaje až při dopadu. V nižších vrstvách atmosféry pozorujeme, že vločky na sebe vážou atmosférický prach, který přináší tu skutečnost, že při hustém sněžení dochází k vyčištění vzduchu. [8, 9]

#### **1.2.5 Základní tvar sněhových vloček**

Základní tvar a růst sněhové vločky závisí na teplotě a přesycení vzduchu při vzniku dané vločky. Graf 1 znázorňuje morfologický diagram typů sněhových krystalů, které vznikají na vzduchu při atmosférickém tlaku jako závislost teploty prostředí na přesycení vodní párou vzhledem k ledu. Teplota zodpovídá za to, zda sněhový krystal má tvar desky nebo sloupu, a přesycení vzduchu určuje složitost struktury. [8, 9]

Z diagramu vyplývá, že při teplotách kolem  $t = -2\text{ °C}$  se tvoří destičky. Přesycení v tomto případě určuje tloušťku a rozrůstání dané desky do prostoru. Při zvyšování přesycení se ze silné a malé desky stává deska tenká a rozvětvená. Při nejvyšším přesycení vzniká tenký krystal s dendritickou deskovou strukturou. Při teplotách blízkých  $t = -5\text{ °C}$

vznikají sloupce, které jsou nejširší při nejnižším přesycení vzduchu. Se zvyšujícím přesycením tloušťka krystalu klesá a krystal se prodlužuje. Při středním přesycení jsou sloupce dokonce i duté. Při teplotách kolem  $t = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$  se zpátky vrací tvar desky a rozvětvení dané vločky stoupá s vlhkostí vzduchu. Při teplotách pod  $t = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$  vznikají při nízkém přesycení desky a s rostoucí vlhkostí se mění ve sloupce. [8, 9]



**Graf 1:** Morfológický diagram vyjadřuje závislost tvaru sněhové vločky na teplotě (temperature, osa x) a na přesycení vzduchu (supersaturation, osa y) za atmosférického tlaku. Míra přesycení vzduchu podchlazenými kapkami vody (water saturation) je vyobrazená černou křivkou uprostřed diagramu. Tvary vloček, které vznikají, zaujímají následující tvary: desky (plates), sloupce (columns), hvězdné dendrity (dendrites), pevné hranoly (solid prisms), duté sloupce (hollow columns), jehly (needles), pevné destičky (solid plates), tenké destičky (thin plates) a sektorové destičky (sectored plates). [9]

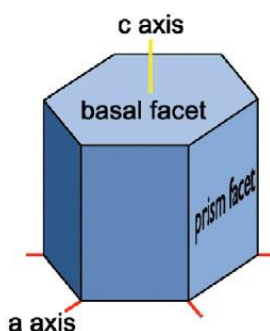
### 1.2.6 Růst sněhového krystalu

Z grafu 1 můžeme vidět, že při malé změně teplot a přesycení se morfologie krystalů rapidně mění. Led je touto vlastností velmi zajímavým materiálem, protože žádný jiný materiál nemění svou morfologii tak rychle jako právě led. Mezi faktory, které mají vliv na rychlost růstu krystalu, patří již zmíněné vlastnosti vody, fázové přeměny, teplota a přesycení vzduchu vycházející z morfológického diagramu, dále také vnitřní rychlost růstu fasety, mikroskopická dynamika zahrnující difuzi a jevy na velké vzdálenosti, jako je transport částic a tepla. Rychlost růstu krystalu je také podporována vzduchem, který proudí přes rostoucí povrch, a do určité míry hraje roli také dynamika ledové plochy a různé chemické vlivy inertních plynů, které zpomalují povrchový růst krystalu. [9]

### 1.2.7 Teorie růstu faset

Základní forma ledového krystalu je šestiboký hranol, který odpovídá krystalizaci ledu v hexagonální soustavě. Vzniklý hranol se skládá ze dvou bazálních faset a šesti hranolových (obvodových) faset, jak můžeme vidět na obr. 5. Fasetami označujeme hladké a ploché povrchy krystalu definující jeho tvar. Příčina vzniku faset je v neustálých srážkách molekul vzduchu na povrchu krystalu. [8, 9]

Počátek sněhového krystalu tvoří malé kulaté pevné jádro, které má velmi drsný kulatý povrch. Drsný povrch je donorem volných a dostupných chemických vazeb a molekuly vody k němu po srážce lehce přilnou. Díky této vlastnosti může krystal rychle růst. Fasety mají hladký povrch, který neobsahuje dost volných spojů. Molekuly vody nemohou snadno přilnout k povrchu a fasety rostou pomaleji. Růst na fasetách je možný teprve tehdy, obsadí-li se celá drsná plocha. [8, 9]



**Obr. 5:** Základní stavba jednoduchého hranolu ledu, na kterém jsou znázorněny krystalové osy (axis), bazální fasety (basal facet) a hranolové (obvodové) fasety (prism facet). [9]

Sloupcový krystal vzniká tehdy, rostou-li obvodové hranolové fasety pomaleji než bazální. Naopak při tvorbě destičky rostou rychleji obvodové fasety než bazální. Zda roste destička nebo sloupek, zcela ovlivňuje teplota. Mezi další faktory působící na růst faset patří nedokonalosti ledu, nečistoty na fasetách a kvazi kapalná vrstva. [8, 9]

Kvazi kapalná vrstva se na fasetách pod  $t = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$  netvoří. Povrch fasety je hladký a tvoří se na něm tzv. nukleační bariéra, která neobsahuje volné chemické vazby. Krystal pak roste velmi pomalu. Kvazi kapalná vrstva se začne tvořit při vyšších teplotách, což způsobí odstranění nukleační bariéry. Povrch fasety se stává drsným a molekuly vody mohou lépe přisedat na povrch. Při teplotách blízcích se bodu mrazu kvazi kapalná vrstva houstne a začne se chovat jako „tekutina“. Na rozhraní pevné látky a kvazi kapalně vrstvy chovající se jako tekutina se vytvoří hladká vrstva. Růst krystalu se zpomalí kvůli přítomnosti nukleační bariéry na pevné látce. [8, 9]

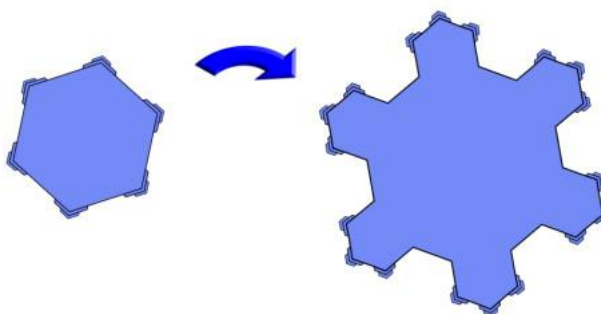
### 1.2.8 Růst ovlivněný difuzí

Růst sněhového krystalu z hlediska difuze je proces složený z difuze částic, kdy sněhové krystaly mohou zachycovat molekuly vody ze vzduchu, tepelné difuze, která odvádí latentní teplo od krystalu vzniklé při tuhnutí, a připevnění molekul k ledu určené koeficientem kondenzace  $\alpha$ . Z působení těchto tří faktorů vychází obrovská rozmanitost a složitost struktur sněhových krystalů. [9]

Difuze způsobuje změny hustot částic kolem krystalu a tím i transport částic kolem krystalu. Ačkoliv má led dobrou tepelnou vodivost a latentní teplo je od krystalu odváděné velmi rychle, je ohřev krystalu velmi nízký a způsobí rovnoměrné zvýšení teploty. Zvýšení teploty se zanedbává při růstu krystalu v prostředí s nízkým tlakem. Koeficient kondenzace  $\alpha$  popisuje rozmístění molekul vody do krystalické mřížky na povrchu krystalu ledu. Růst krystalu je omezený koeficientem kondenzace, kdy platí, že  $\alpha < 1$ . Koeficient kondenzace pro drsný a kapalný povrch je  $\alpha \approx 1$ , kdy povrch látky obsahuje velký počet volných chemických vazeb. [9]

Při růstu sněhových krystalů do složitých struktur se projevuje efekt zvaný nestabilita Mullins-Sekerka. Nestabilita Mullins-Sekerka vysvětluje, jak právě vzniklý šestiboký krystal roste pomocí vychytávání molekul vody ze vzduchu. Zmíněnou nestabilitu růstu způsobuje difuze. [8]

Na obr. 6 v levé části vidíme čerstvě vzniklý šestiboký krystal, jehož rohy vyčnívají do vzduchu a střed strany mezi rohy ne. Právě přečnívání rohů do prostoru pomáhá difundovat molekulám vody k vložce a v místech rohů vložka roste rychleji než na zbylém povrchu. Rohy svým rychlým růstem vytváří větve na šestibokém krystalu, které jsou po svém vzniku na celém povrchu drsné. Po tom, co dojde k obsazení všech volných míst molekulami vody na větvi krystalu, se větve přemění na hladkou fasetu. Vložka se dále větví opakujícím se procesem vyčníváním rohů do vzduchu a obsazováním povrchu krystalu molekulami vody za vzniku fasety, jak je vidět na obr. 6 vpravo. [8, 10]



**Obr. 6:** Schéma růstu sněhové vločky. [10]



Výsledkem tohoto procesu je vznik šestiboké sněhové vločky s šesti postranními větvemi. Postranní větve si mohou dále vytvářet své vlastní postranní větve právě vlivem nestability Mullins-Sekerka. Rychlost růstu a vázání větví závisí zejména na teplotě a přesycení vzduchu prostředí, ve kterých se daný krystal nachází. [8]

Každá vločka roste při stejných lokálních podmínkách, takže se větve vločky zakládají stejným způsobem a jsou symetrické. Jednotlivé vločky procházejí místy atmosféry s různými podmínkami teploty a přesycení a na základě nich se mění. Každá vločka má svou vlastní cestu atmosférou, a tedy i růst při jiných podmínkách. Tato skutečnost přináší velké spektrum tvarů vloček, kdy žádné dvě sněhové vločky si nemohou být tak podobné, že by byly identické. [8, 9, 12, 17]

### **1.2.9 Tvar sněhových vloček**

Na základě morfologického diagramu, který jsme si představili výše, můžeme v přírodě potkat mnoho tvarů sněhových vloček. V této kapitole si představíme základní z nich.

#### **Hvězdné dendrity**

Hvězdné dendrity jsou vločky podobající se hvězdám. Jsou poměrně velké a mají mnoho větví. V přírodě je můžeme vidět pouhým okem při chladném počasí v rozmezí teplot od  $t = -10\text{ °C}$  do  $t = -20\text{ °C}$ . [10]

#### **Sloupce a jehly**

Tvary sloupců jsou velmi časté, malé a snadno přehlédnutelné. Objevují se při teplotách kolem  $t = -6\text{ °C}$ . Jehly jsou protáhlé, dlouhé a štíhlé. [10]

#### **Zakryté sloupy**

Základní tvar zakrytých sloupců se podobá prázdné cívce. Nejdříve se při teplotě  $t = -6\text{ °C}$  vytvoří uzavřený sloup a potom se při teplotách  $t = -15\text{ °C}$  na koncích sloupku dotvoří desky. Zakryté sloupy nejsou běžné, ale můžeme je snadno najít. [10]

#### **Kapradinové hvězdné krystaly**

Kapradinové hvězdné krystaly jsou svým tvarem podobné hvězdným dendritům. Liší se od nich tím, že jsou větší. V průměru dosahují až pět milimetrů a řadí se mezi největší krystaly. Také mají mnohem více postranních větví, kdy se postranní větve větví

rovnoběžně se sousedními větvemi. Svůj název kapradinové krystaly mají díky svému tvaru připomínající kapradiny. [10]

### Krystaly diamantového prachu

Krystaly diamantového prachu představují nejmenší sněhové krystaly, které se při slunečním záření třpytí jako blyštivý prach. Vytváří se při velmi nízkých teplotách s velmi malým průměrem. [10]

### Trojúhelníkové krystaly

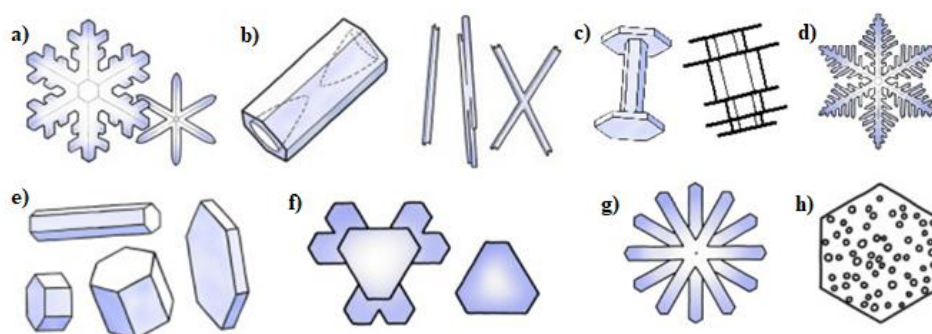
Trojúhelníkové krystaly jsou neobvyklé. Malé krystaly vznikají pomocí aerodynamických efektů ve tvaru komolých trojúhelníků. [10]

### Dvanácti-větvené sněhové krystaly

Tento typ vločky vzniká ve vzduchu spojením dvou šestiramenných sněhových krystalů, kdy se jeden krystal pootočí o  $30^\circ$  vzhledem k druhému a krystaly tak drží pohromadě. Ve skutečnosti nejsou tak vzácné a dají se najít. [10]

### Sněhový krystal jinovatky

Sněhový krystal jinovatky vzniká při srážce sněhového krystalu s kapičkami vody, které při srážce zmrznou v led. Seskupení většího množství kapiček, které na krystalu ve vzduchu zmrznou, nazýváme kroupy. [10]



**Obr. 7:** Tvary sněhových vloček: a) hvězdný dendrit, b) sloupce a hvězdice, c) zakryté sloupce, d) kapradinové hvězdné krystaly, e) krystaly diamantového prachu, f) trojúhelníkové krystaly, g) dvanácti-větvené krystaly, h) sněhový krystal jinovatky. [10]

### 1.2.10 Druhy sněhových srážek

Jak už jsme si popsali výše, u sněhových vloček velice záleží na okolních podmínkách a cestě atmosférou, kterou vločka prochází. V této kapitole jsou uvedené jednotlivé druhy sněhových srážek, které můžeme pozorovat nejen v zimních měsících.

#### Sníh

Prvním druhem sněhových srážek je sníh, „*tuhé srážky padající z oblaků, které se skládající z ledových krystalků, které mají často tvar šesticípé hvězdice.*“ [7]<sup>3</sup>

#### Sněhová zrna

Sněhová zrna jsou „*tuhé srážky složené z malých zrněk ledu, neprůhledných, obvykle zploštělého nebo podlouhlého tvaru a velikosti menší než 1 mm. Při dopadu neodskakují ani se nerozbíjejí a nejčastěji vypadávají pouze v malých množstvích z oblaků nebo z mlhy, nikdy však ne v přeháňkách.*“ [7]<sup>3</sup>

#### Děšť se sněhem

„*Z nebe padají sněhové vločky spolu s volnými kapkami. Vzniká to tak, že vločka projde přes tenkou vrstvu vzduchu s vyšší teplotou, ta může částečně tát, a tak dopadnou na zem.*“ [7]<sup>3</sup>

#### Mrznoucí děšť

„*Vločka ve vzduchu prochází přes větší tenkou vrstvu vzduchu s vyšší teplotou a při dopadu na zemský povrch roztaje celá.*“ [7]<sup>4</sup>

#### Zmrzlý děšť

„*Z nebe padají průhledné nebo průsvitné ledové částice kulového i nepravidelného tvaru o velikosti do 5 mm. Při dopadu na tvrdý povrch odskakují a bývá slyšet šum. Zmrzlý děšť vzniká zmrznutím dešťových kapek v blízkosti zemského povrchu.*“ [7]<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> KOPÁČEK, J. – BEDNÁŘ, J. – ŽÁK, M. *Jak vzniká počasí*. 2. vydání. Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum, 2019. ISBN 978-80-246-4423-3 ze strany 154.

<sup>4</sup> KOPÁČEK, J. – BEDNÁŘ, J. – ŽÁK, M. *Jak vzniká počasí*. 2. vydání. Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum, 2019. ISBN 978-80-246-4423-3 ze strany 153.

### **Ledové jehličky (diamantový prach)**

*„Jednoduché ledové krystalky ve tvaru jehlic vznikají za velmi silných mrazů. Vznášející se ve vzduchu nebo klesají malou pádovou rychlostí k zemi. Mohou se vyskytovat i při jasné obloze a bývají pozorovány především v polárních oblastech.“ [7]<sup>5</sup>*

### **Sněhové krupky**

*„Tuhé srážky složené z bílých neprůhledných ledových částic o velikosti obvykle 2–5 mm kulového tvaru. Při dopadu na tvrdý povrch odskakují a často se tříští. Vypadávají v přeháňkách při teplotách kolem 0 °C, často spolu se sněhovými vločkami, popř. s dešťovými kapkami.“ [7]<sup>5</sup>*

### **Kroupy**

*„Větší kusy ledu různého tvaru o průměru větším než 5 mm padající výhradně z bouřkových oblaků. Při rozříznutí lze identifikovat několik průzračných a neprůzračných vrstev ledu.“ [7]<sup>5</sup>*

---

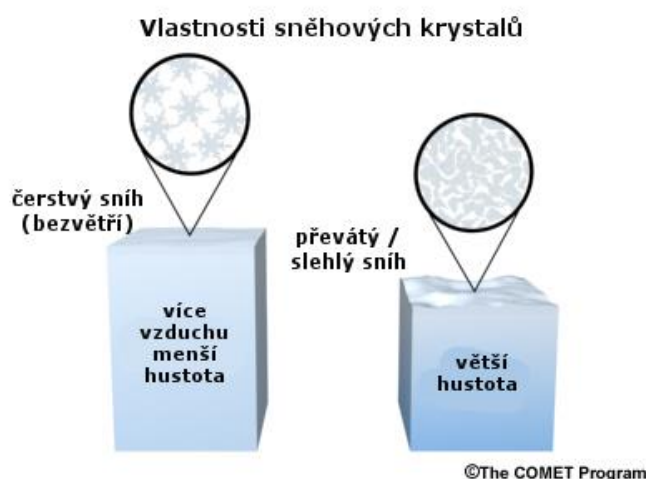
<sup>5</sup> KOPÁČEK, J. – BEDNÁŘ, J. – ŽÁK, M. *Jak vzniká počasí*. 2. vydání. Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum, 2019. ISBN 978-80-246-4423-3 ze strany 154.

## 1.3 Sněhová pokrývka

Sněhovou pokrývkou rozumíme velké množství nahromaděných sněhových vloček tvořící souvislou vrstvu po sněžení. Sněhové krystaly se začnou hromadit na zemském povrchu teprve tehdy, je-li teplota zemského povrchu pod 0 °C.

### 1.3.1 Mechanické vlastnosti sněhové pokrývky

Sněhovou pokrývku můžeme popsat pomocí výšky (mocnosti) v centimetrech. K pochopení dynamického vývoje sněhu v období hromadění nebo tání sněhu však výška sněhové pokrývky nestačí. Čerstvě nasněžený sníh obsahuje neporušené krystaly, mnoho vzduchu a jeho hustota je malá. Po lámání vloček působením větru a po přeměně struktury sněhových krystalů mají vločky zaoblenější tvar. Sněhová pokrývka slehne a má větší hustotu, což můžeme vidět na obr. 8. [22]



**Obr. 8:** Vlastnosti čerstvě napadaného sněhu a převátého sněhu. [22]

„Hustota sněhu se vyjadřuje poměrem hmotnosti k objemu. Hustota sněhu je desetkrát menší než hustota vody, protože sníh obsahuje kromě vody v pevném skupenství i vzduch. Dalším důležitým faktorem, který ovlivňuje hustotu sněhu, je množství kapalné vody.“ [22] <sup>6</sup> Podle množství kapalné vody ve sněhu se sníh dělí na suchý a mokrý. Suchý sníh má 0 % kapalné vody a mokrý sníh obsahuje kolem 3–8 % kapalné vody. [22]

Hustotu sněhu můžeme také určit jako podíl vodní hodnoty sněhu a výšky sněhové pokrývky. Vodní hodnota sněhu představuje „výšku vodního sloupce, která vznikne, pokud

---

<sup>6</sup> Snowmelt Processes: Interaction Edition. University Corporation for Atmospheric Research [online]. 1997, [cit. 2021-15-3]. URL: [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/snowmelt/navmenu.php\\_tab\\_1\\_page\\_5.0.0.htm](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/snowmelt/navmenu.php_tab_1_page_5.0.0.htm).

všechn sních necháme roztát.“ [22] <sup>7</sup> Podle hustoty rozlišujeme typy sněhu zobrazené v tabulce 1:

**Tab. 1:** Typy sněhu podle jeho hustoty. [22]

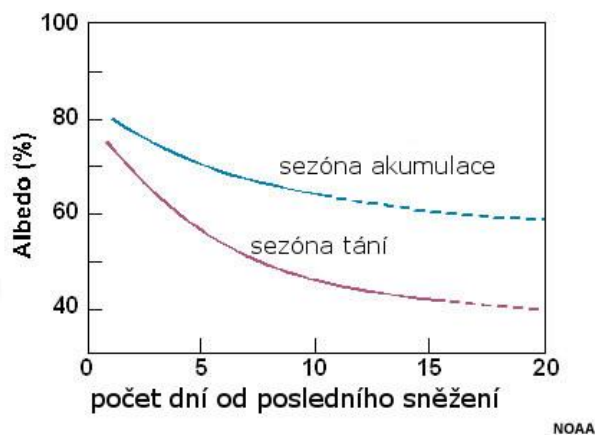
Typy sněhu podle jeho hustoty		
Typ sněhu	Objemový podíl vody	Hustota sněhu
Čerstvě napadlý sních, slabý vítr, -10°C	5%	0,05
Nový sních	5-10%	0,05 – 0,1
Ulehý sních	10-20%	0,1-0,2
Překrytalizovaný sních	20-50%	0,2-0,5
Firn	nad 50%	>0,5

### 1.3.2 Optické vlastnosti sněhové pokrývky

Ledové krystaly jsou průhledné a při průchodu světelných paprsků krystalem se uvnitř nijak neabsorbují. Pouze krystalem prochází a na rozhraní se vzduchem se lámou. Sněhovou pokrývku tvoří velké množství ledových krystalů. Světelný paprsek mění pokaždé svůj směr po průchodu krystalem, což je ve sněhové pokrývce nespočetněkrát a vždy zcela náhodně. Ve srovnání s vlnovou délkou světla jsou malé ledové krystaly stále velké. Nedochází u nich k interferenčním účinkům jako u tenkých mýdlových bublin nebo hmyzích křídel. Úhel, pod kterým je světlo rozptylováno, je malý. Odražené světlo pak vychází ze sněhové pokrývky všemi směry. [19, 20]

Sních má intenzivní bílou barvu zejména proto, že je z velké části průhledný a ledové krystaly absorbují jen velmi málo světla. Jednou ze speciálních vlastností sněhové pokrývky je míra odrazivosti dopadajících paprsků na zemský povrch označovaná jako albedo. Albedo se mění v závislosti na metamorfóze sněhu, stáří sněhu a vnějších okolnostech. Čerstvě napadený sních vykazuje albedo mezi hodnotami 80–90 %. Pokud sních stárne, dochází k přeměně sněhových krystalů, které se zmenšují, zaoblují a ztrácí svůj původní tvar, a albedo klesá. V grafu 1 je znázorněná závislost albeda na počtu dní od posledního sněžení v sezoně přibývání sněhu pohybující se kolem 60 % a v sezoně tání pohybující se kolem 40 % po uplynutí několika dní. [22]

<sup>7</sup> Snowmelt Processes: Interaction Edition. *University Corporation for Atmospheric Research* [online]. 1997, [cit. 2021-15-3]. URL: [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/snowmelt/navmenu.php\\_tab\\_1\\_page\\_5.0.0.htm](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/snowmelt/navmenu.php_tab_1_page_5.0.0.htm).



**Graf 2:** Pokles albeda v závislosti na počtu dní po sněžení pro sezonu tání a sezonu akumulace. [22]

### **Bílá sněhová pokrývka**

Pokrývka sněhu, která se podobá ledu, ztrácí svou průhlednost způsobenou rozbitím sněhových krystalů na malé, drobné a tenké ledové kry. Na základě lomu dojde k různé orientaci ledových ker a k superpozici světla z různých míst objektu. Výslednou barvou takové sněhové pokrývky bude bílá. [19]

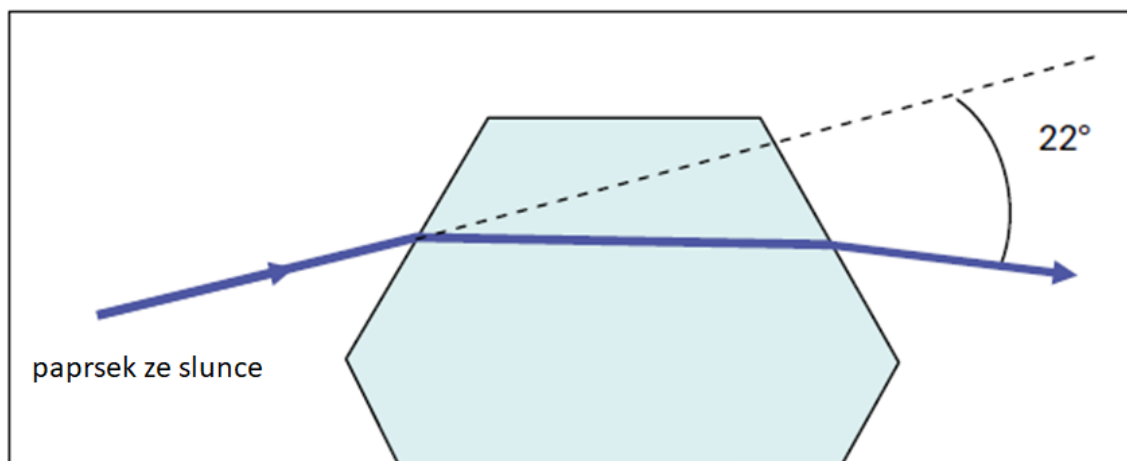
Druhým způsobem, jak dojde k porušení průhlednosti sněhových krystalů, je situace, kdy několik centimetrů silnou vrstvu ozáří slunce. Lidské oko nerozliší ani odraz, ani lom a dojde k rozptylu světla. [19]

### **Namodralá barva ledovce**

Ledovce jsou tvořené nahromaděním několika různě širokých pokrývek sněhu a vrstev ledu. Sněhové a ledové vrstvy mají málo vzduchových bublinek a díky tomu je led průhledný a propouští světlo. Při průchodu slunečního paprsku vrstvou ledovce se začnou pohlcovat dlouhé vlnové délky červené, oranžové a žluté barvy. Ledovce pak můžeme vidět jako modré. [19, 23]

### **Třpytivá sněhová pokrývka**

Sněhové krystaly, které jsou na povrchu sněhové pokrývky, mohou při ozáření sluncem vydávat barevné záblesky. K zábleskům dochází právě tehdy, chovají-li se sněhové krystaly jako 60–ti stupňové hranoly. Světlený paprsek dopadající na ledový krystal s indexem lomu 1,31 se láme do krystalu a vychází z něho na straně opačné pod úhly mezi 22° a 46°. Při nejmenších úhlech lámání v rozmezí 21,7°–22,5° dochází k nejintenzivnějšímu třpytění, kdy 21,7° odpovídá červené barvě paprsku o vlnové délce 656 nm a 22,5° fialové barvě paprsku o vlnové délce 400 nm. [19, 20]



**Obr. 9:** Nejintenzivnější třpytění šestibokého sněhového krystalu. [19]

### Speciální případ – oranžový, žlutý sníh

Oranžový či žlutý odstín sněhu poukazuje na výjimečný jev, kdy se saharský písek vlivem silných větrů dostává přes Středozemní moře a padá na naše území. Písek pokryje první vrstvy sněhové pokrývky, čímž se nám pokrývka jeví jako žlutá nebo oranžová.

### 1.3.3 Izolační a tepelné vlastnosti sněhové pokrývky

Teplota půdy se během zimy udržuje při stálé teplotě kolem 0 °C. Spodní vrstva sněhu má teploty blízké teplotě půdy a chová se jako tepelný izolant. Horní vrstva sněhu odolává měnícím se podmínkám a její teplota kolísá podle denních teplot okolního vzduchu. „*Střední vrstva sněhu se začne ohřívat teprve v okamžiku, kdy kapalná voda z tající horní vrstvy nebo z dešťových srážek umrzne uvnitř sněhové pokrývky a uvolní latentní teplo.*“<sup>8</sup>

Sníh ochraňuje půdu a organismy žijící v půdě před výkyvy teplot, udržuje stále stejné podmínky při povrchu Země a zamezuje odpaření vlhkosti do atmosféry. Pokud dojde k zamrznutí půdy, na které není žádný sníh, zastaví se pohyb vody v půdě. Zmrznutí půdy vede k velkému odtoku povrchové vody při jarním tání. Závěrem tedy můžeme říct, že sněhová pokrývka se chová nejen jako „*izolační deka*“ [22]<sup>4</sup>, ale je i zdrojem povrchové vody v jarních a letních měsících. [22]

<sup>8</sup> Snowmelt Processes: Interaction Edition. *University Corporation for Atmospheric Research* [online]. 1997, [cit. 2021-15-3].

URL: [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/snowmelt/navmenu.php\\_tab\\_1\\_page\\_5.0.0.htm](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/snowmelt/navmenu.php_tab_1_page_5.0.0.htm).



### 1.3.4 Zvukové vlastnosti sněhové pokrývky

Čerstvě napadlá sněhová pokrývky je tvořena velkým množstvím sněhových krystalů, které nejsou porušené. Pokrývky obsahuje až 90 % vzduchu a má nízkou hustotu, což způsobí, že se chová jako tlumič zvuku. [27]

Na procházce po čerstvě napadeném sněhu při každém kroku dochází k stlačení vrstvy sněhu tvořící velké množství krystalů a vzduchu. „*Při stlačení ledová zrna o sebe vzájemně drhnou a platí, že čím nižší je teplota, tím větší je tření mezi zrnky ledu.*“<sup>5</sup> Křupavý zvuk pokrývky tedy záleží na teplotě a na době výskytu sněhové pokrývky na daném místě. Nejintenzivnější křupavý zvuk vydává čerstvě napadený sníh v nejsilnějších mrazech. [27]

*„Jakmile sníh začne tát, tření mezi zrnky ledu se sníží, zejména, když už se objeví voda – proto při vyšších teplotách křupání už neslyšíme. Rovněž při delším trvání sněhové pokrývky se vzdálenosti mezi ledovými krystalky zmenšují, a klesá tak i možnost pohybu zrnků při dopadu boty.“* [27]<sup>9</sup>

### 1.3.5 Metamorfóza sněhu

Při metamorfóze sněhu dochází ke změnám struktury sněhové pokrývky způsobené neustálým vypařováním ledu s vysokým tlakem. Sníh neprochází kapalnou fází a vodní pára se usazuje na povrchu s chladnější teplotou. Ke změně struktury sněhu dochází tím rychleji, čím vyšší je teplota. [22, 26]

#### Suchá metamorfóza

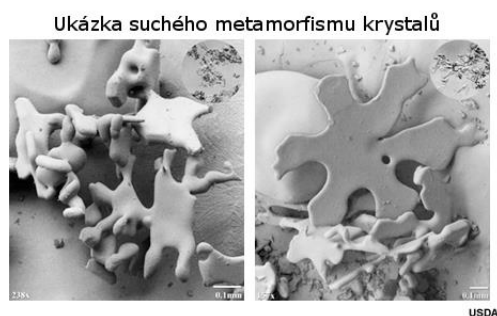
Suchá metamorfóza probíhá při teplotách pod bodem mrazu, zde není kapalná voda a led přímo přechází ve vodní páru. Suchou metamorfózu rozdělujeme na základě teplotního gradientu mezi teplotou sněhu a okolním prostředím na dva typy. [22]

Prvním typem je tzv. izotermická metamorfóza, u které je teplota sněhové pokrývky přibližně stejná jako teplota prostředí. Proces probíhá velmi pomalu, kdy se na větvích krystalů sublimuje vodní pára, která se vypaří z konců větví a způsobí zaoblení sněhového krystalu. Vodní pára se pak uloží ve zbylém volném prostoru prohlubní pokrývky. Důsledkem izotermické metamorfózy je spojování jednotlivých krystalů. Můžeme ji spatřit

---

<sup>9</sup> ŽÁK, M. Proč křupe sníh pod nohama? Je za tím jednoduchá fyzika. ČT24 [online]. 15. 2. 2021, [cit. 2021-3-15]. URL: <https://ct24.ceskatelevize.cz/veda/3270004-proc-krupe-snih-pod-nohama-je-za-tim-jednoducha-fyzika>.

v polárních oblastech ve spodních vrstvách sněhové pokrývky. Detail této pokrývky je zobrazen na obr. 10. [22, 26]



**Obr. 10:** Ukázka suché izotermické metamorfózy. [22]

Druhý typ metamorfózy se vyskytuje v místech, kde je sněhová pokrývky pouze sezónní. Spodní vrstva sněhu si udržuje relativně stálou teplotu blízko 0 °C. Naopak horní vrstva sněhu odolává výkyvům teplot v atmosféře a způsobuje tak teplotní gradient, který je pro tuto metamorfózu větší než 10 °C na metr. Teplotní gradient způsobuje únik vodních par ukrytých v mezerách ledu, kdy se vodní pára pohybuje sněhovou pokrývkou směrem nahoru. V místě, kde se vodní pára dotkne ledového krystalu, začne spodní strana ledového krystalu růst směrem dolů a současně se na horní straně krystalu odpaří vodní pára, která spojí krystal s krystalem umístěným nad ním. [22, 26]

### **Mokrá metamorfóza**

Mokrá metamorfóza se vyznačuje přeměnou sněhu při teplotě blízké bodu tání za přítomnosti kapalné vody. Kapalná voda a teplota při bodu tání zapříčiní tání, zánik malých sněhových struktur a zaoblování tvarů větších sněhových krystalů. Pokud během probíhající přeměny sněhu dojde k zmrznutí, vzniknou velké shluky ledu, které drží při sobě. [22, 25]

### **1.3.6 Tání sněhu**

Sníh se ztrácí ze zemského povrchu nejen v podobě kapalné vody, ale také vodní párou procesem sublimace. Sublimace probíhá i při teplotách pod bodem mrazu a je zcela závislá na slunečním záření. Při tání pokrývky hrají také roli suchý vzduch a vítr, které umožňují rychlejší vypařování. Kapalná voda při tání nejprve odtéká po okrajích zrn směrem k zemskému povrchu a po tom, co voda vyplní volný prostor mezi zrn, již stéká

laminárně. Rychlost tání je ovlivněna „*vnitřní strukturou sněhu, stavem sněhu před průnikem vody a množstvím vody na povrchu sněhu.*“ [22]<sup>10</sup>

## **1.4 Metody mikroskopování sněhových vloček**

Pro mikroskopii sněhu je nejlepší, když venku sněží a venkovní teplota se pohybuje pod bodem mrazu, nejlépe pod  $t = -2$  °C, kdy sněhové vločky rychle netají a dají se pozorovat delší časový interval. Příhodnými podmínkami pro zachycování vloček na podložku je středně husté sněžení, kdy vločky padají jednotlivě.

Podle dostupnosti pomůcek můžeme mikroskopovat již v terénu, vlastnime-li přenosný fotografický mikroskop. Pokud nevlastníme přenosný mikroskop a jsme vázání pouze na mikroskopování v pokojových teplotách, lze v tomto případě využít metodu fixování. [5]

### **1.4.1 Mikroskopování sněhových vloček v terénu**

K první metodě budeme potřebovat mikroskop s fotoaparát, podložní sklíčko, barevný papír nebo jiný podklad, na který necháme padat sněhové vločky. Je třeba, aby podložky byly vychlazené na teplotu okolí, aby nedocházelo k tání vloček. Po zachycení sněhové vločky na podložní sklíčko či jinou podložku přeneseme podklad pod mikroskop a mikroskopujeme. Pokud chytáme vločky na podložní sklíčko, je třeba pod sklíčko při mikroskopování vložit barevný papír (nejlépe černý), aby sněhové vločky mohly být vidět. [5]

### **1.4.2 Fixace sněhových vloček**

K fixaci sněhových vloček jsou potřebné pomůcky jako podložní sklíčko, mikroskop a bezbarvý lak. K fixování vloček je třeba, abychom na podložní sklíčko přibližně stejné teploty s okolím nastříkali vrstvu bezbarvého laku a nechali na něj dopadat sněhové vločky. Po zachycení dostatečného množství vloček necháme lak zaschnout a přeneseme do tepla k mikroskopování. Bezbarvou vločku můžeme lépe vidět, když podložní sklíčko jemně nabarvíme lihovkou. [5]

---

<sup>10</sup> Snowmelt Processes: Interaction Edition. *University Corporation for Atmospheric Research* [online]. 1997, [cit. 2021-15-3]. URL: [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/snowmelt/navmenu.php\\_tab\\_1\\_page\\_5.0.0.htm](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/snowmelt/navmenu.php_tab_1_page_5.0.0.htm).

## **2 Praktická část**

### **2.1 Mikroskopie sněhu**

Tuto kapitulu praktické části jsem věnovala mikroskopování sněhových vloček a sněhové pokrývky. Pozorováním sněhových vloček a jejich mikroskopií jsem chtěla zjistit, jaké různorodé tvary sněhových vloček mohou během zimy padat v okolí mého bydliště. Dále jsem chtěla porozumět sněhové pokrývce a na příkladech fotografií ukázat, jaký je rozdíl mezi pokrývkou čerstvě napadeného sněhu a pokrývkou sněhu během probíhající metamorfózy sněhu. Pro pozorování a porovnání vybraných sněhových pokrývek jsem se zaměřila na vrchní a spodní vrstvu sněhu.

#### **2.1.1 Metodika mikroskopie**

Pro pozorování tvarů a struktur jednotlivých sněhových vloček jsem během února využila chladné dny, kdy venku byly teploty pod  $t = -2$  °C, aby při zachycení vločky na podložní sklíčko nedocházelo k tání. Podložní sklíčka a mikroskop jsem před mikroskopováním nechala venku 30 minut, aby se vychladily na venkovní teplotu a nedocházelo tak jejich zvýšenou teplotou z místnosti k tání zachycených vloček. Během sněžení jsem podložní sklíčka vyskládala na zahradní nábytek umístěný pod otevřeným nebem vedle sebe tak, aby bylo možné zachytit co nejvíce vloček. Během pár vteřin se jednotlivé vločky začaly zachytávat na podložní sklíčka. Po jejich zachycení jsem podložní sklíčko s vločkami položila na černý papír pod digitální fotografický mikroskop Levenhuk DTX 700 LCD. Pod mikroskopem jsem pozorovala sněhové vločky. Při největším přiblížení jsem pořídila fotografie vloček, na kterých je vidět jejich tvar i struktura. Pro přiblížení pozorování sněhové vločky jsem nafotila průběh tohoto procesu.

Zkoumání sněhové pokrývky probíhalo ve dvou etapách. První mikroskopování sněhové pokrývky probíhalo ve dnech čerstvě po sněžení, kdy jsem nejdříve na podložní sklíčko odebrala povrchovou vrstvu sněhu. Pod podložní sklíčko jsem vložila černý papír a společně s ním vložila vrstvu sněhové pokrývky pod mikroskop. Po tom, co jsem zdokumentovala stav vrchní vrstvy sněhové pokrývky, jsem pomocí lopatky vykopala díru do sněhu a nabrala spodní vrstvu sněhu na podložní sklíčko. Podložní sklíčko jsem položila na černý papír, vložila pod mikroskop, pozorovala a zaznamenávala pomocí fotografií strukturu spodní vrstvy. Druhou etapu mikroskopování jsem provedla dva až čtyři dny po tom, co nesněžilo, a obdobným způsobem jsem provedla přípravu i mikroskopování.

## 2.1.2 Vyhodnocení

Mikroskopování sněhových vloček předcházelo jejich zachycení na podchlazená podložní sklička. Metodu zachycování sněhových vloček jsem zdokumentovala na obr. 11 v příloze této práce.

Při mikroskopování sněhových vloček jsem zachytila různé tvary sněhových vloček. Vyfotografované sněhové vločky jsem umístila do příloh práce od obr. 12 až po obr. 20. Nejčastějším tvarem sněhových vloček, které jsem zachytila, jsou hvězdné dendrity s různou strukturou středu, destičky, jehličky a sloupy. Naopak sněhové vločky, které jsem během letošní zimy vůbec nezaznamenala, jsou krystaly diamantového prachu a trojúhelníkové sněhové krystaly. Vzhledem k venkovním teplotám, které v zimním období nedosáhly nižších teplot než  $t = -20\text{ °C}$ , je zřejmé, že krystaly diamantového prachu se u nás nevyskytují.

Mikroskopování sněhových vloček probíhá nejprve umístěním sněhové vločky do středu zorného pole mikroskopu a zaostřením sněhové vločky při nejmenším zvětšení. Při malém zvětšení je u pozorované sněhové vločky vidět pouze obrys sněhové vločky. Postupně při zvětšování je vločka vidět detailněji. Vločka se postupně začíná zvětšovat a lépe můžeme vidět i její strukturu. Postup postupného zvětšování sněhové vločky najdeme na obr. 21 až obr. 24, kdy zvětšování sněhové vločky probíhalo od zvětšení 5 x až po zvětšení 60 x.

Obr. 25 až obr. 28 v přílohách práce jsou zaměřené na mikroskopii sněhové pokrývky. Na obr. 25 a obr. 26 najdeme fotografii svrchní a spodní vrstvy sněhové pokrývky ihned po sněžení. Svrchní sněhová pokrývka na obr. 25 obsahuje rozlámané sněhové krystaly, které se rozlámaly pomocí větru a nárazů krystalů o sebe. Spodní vrstva sněhové pokrývky na obr. 26 neobsahuje sněhové krystaly. Na fotografii je vidět, že se krystaly ve spodní vrstvě rozpadly na jednotlivé shluky ledu. Při pozorování vrchní vrstvy sněhu po delším časovém úseku bez sněžení na obr. 27 můžeme na vrchní vrstvě sněhu pozorovat suchou metamorfózu typickou pro sníh s velkým teplotním gradientem. Vrstva obsahuje sněhové krystaly, které jsou však strukturně úplně odlišné od krystalů padajících z nebe. Vznikají sublimací vodní páry ze spodních vrstev sněhové pokrývky. Vodní pára se usazuje ve sněhové pokrývce a vytváří krystaly, které rostou směrem dolů. Naopak ve spodní vrstvě sněhové pokrývky obr. 28 můžeme pozorovat mokrou metamorfózu, která je typická pro pokrývky, které střídavě tají a mrznou. Na fotografii můžeme vidět shluky ledu a sněhových krystalů typické pro tuto přeměnu.

## **2.2 Vlastnosti sněhové pokrývky**

Sněhová pokrývka je dost specifická a její chování záleží na mnoha faktorech. Během studia vlastností sněhové pokrývky mě nejvíce zaujala barva sněhové pokrývky, její přeměna a mechanické vlastnosti. Pro tuto část jsem si zvolila za cíl v přirozených podmínkách nafotit a zdokumentovat barvu sněhu a jiné zaznamenatele vlastnosti sněhové pokrývky.

### **2.2.1 Metodika**

Během února jsem pořizovala fotografie sněhové pokrývky pomocí digitálního fotoaparátu Canon EOS 77D + 18-135 IS STM. Po nashromáždění fotografií jsem je vytrídila a vybrané fotografie zaznamenávající dané vlastnosti jsem umístila do příloh této bakalářské práce začínající obr. 30 a končící obr. 38.

### **2.2.2 Vyhodnocení**

Na fotografiích obr. 29 a obr. 30 můžeme vidět rozdíl mezi čerstvě napadlou a slehlou sněhovou pokrývkou zachycenou fotoaparátem. Čerstvě napadlá sněhová pokrývka, jak je vidět na obr. 29, je tvořená neporušenými krystaly, které se shromažďují vedle sebe nebo na sebe. Sněhová pokrývka je plná vzduchu a její hustota je velmi malá. Na obr. 30 je znázorněná slehlá pokrývka sněhu, na které už nevidíme jednotlivé sněhové krystaly a vločky. Pokrývka prošla přeměnou sněhu v závislosti na podmínkách okolí. Její hustota je na rozdíl od čerstvě napadlé sněhové pokrývky o něco vyšší a neobsahuje velké množství vzduchu.

Dalším fenoménem sněhové pokrývky, který jsem zachytila, jsou malé záblesky světla na sněhové pokrývce. Tento fenomén vzniká odrazem paprsku na sněhovém krystalu pod úhly mezi  $21,7-22,5^\circ$ . Na obr. 31 jsou zachycené sněhové krystaly, které se chovají jako šestiboký hranol. Po průchodu paprsku vydávají červenou, žlutou, zelenou nebo modrou barvu. Barvy záblesku můžeme vidět při rozostření fotoaparátu na obr. 32. Naopak na obr. 33 sněhová pokrývka při slunečním záření nevykazuje žádné barevné záblesky a jeví se pouze jako bílá. Bílá sněhová pokrývka na povrchu neobsahuje sněhové krystaly. Sněhové krystaly se během metamorfózy rozlomily, rozdrtily nebo zaoblily. Rozdrcené ledové krystaly vydávají jednotnou bílou barvu, protože neabsorbují žádné sluneční paprsky a z velké části všechny odrážejí.

Barva sněhové pokrývky na místních komunikacích a kolem nich je závislá na protahování silnic, přítomnosti posypu a solení. Na obr. 34 se silnice protahuje pravidelně

a sype se štěrkem společně se solenkou. Posypem štěrku a solenky, která způsobuje tání sněhu pod bodem tání, způsobuje tmavé zbarvení sněhu na vozovce. Kolem silnice se sněhová pokrývka při častém protahování mění z bílé na tmavě hnědou. Silnice na obr. 35 je světle zbarvená. Zbarvení silnice je způsobeno tím, že silnice se v zimě pouze protahuje. Nesype se štěrkem ani solenkou. Sníh kolem vozovky je bílý. Na vozovce se sněhová pokrývka obarvuje do světle hnědé zejména proto, že nános štěrku spolu se sněhem z hlavních silnic na pneumatikách po průjezdu silnicí odpadá a dostává se na vozovku.

Sněhová pokrývka se na zemském povrchu začne akumulovat právě tehdy, má-li povrch země nižší teplotu, než je bod tání. Na obr. 36 je zachycený pohled na povrch země při teplotě  $t = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Některé vločky při dopadu na zem roztají. Jiné zůstanou vločkami a vytváří shluky, na kterých se drží a postupně své shluky zvětšují. Při teplotě pod  $t = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$  se shluky dále rozrůstají až vytvoří souvislou vrstvu. Při teplotách nad  $t = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$  se shluky vloček postupem času přemění v kapky vody.

## 2.3 Tání sněhové pokrývky

V poslední praktické části jsem se zaměřila na tání sněhové pokrývky. Pokusem jsem chtěla ověřit, jaký vliv mají přidané chemické látky a omezené mechanické vlastnosti sněhové pokrývky na tání sněhu.

### 2.3.1 Metodika

Den před oblevou jsem si na místě s nepoškozenou sněhovou pokrývkou na území naší zahrady vytvořila podmínky pro pozorování tání sněhu. Pro výběr experimentu jsem zvolila místo, na kterém převládají stejné podmínky, aby v každém vytyčeném čtverci měl tající sníh stejné okolní podmínky. Pomocí dřevěných kolíků jsem si vyznačila čtyři čtverce umístěné vedle sebe tak, že tvoří 1 dlouhý obdélník. Velikost strany čtverce jsem zvolila  $a = 1$  m. Po vytyčení stran čtverců o velikosti 1 m jsem do každého rohu čtverce zatloukla kladívkem dřevěné kolíky až do země. Provázek jsem obmotala kolem kolíků a vytvořila tak jednotlivé strany čtverce. V prvním čtverci jsem sníh udupala svou váhou, druhý čtverec jsem nechala volný s neporušeným sněhem, do třetího čtverce jsem nasypala kuchyňskou sůl a do čtvrtého čtverce jsem nasypala posypový materiál ze silnice. Další dva dny jsem dokumentovala a fotografovala digitálním fotoaparátem Canon EOS 77D + 18-135 IS STM změny sněhové pokrývky v jednotlivých čtvercích.

### 2.3.2 Vyhodnocení

Experiment tání probíhal ve třech dnech od 17. 2. do 19. 2. Přípravu experimentu jsem provedla na zahradě 17. února 2021 a zdokumentovala jsem počáteční podmínky ihned po dokončení přípravy experimentu. Záznamy zdokumentování experimentu tání sněhové pokrývky jsem zaznamenala do tab. 2. Pořízené fotografie jsou součástí příloh od obr. 37 až po obr. 45.

**Tab. 2:** Záznam dokumentování experimentu tání

Záznam	Datum focení	Čas
1.	17. 2. 2021	13:25 – 13:27
2.	18. 2. 2021	10:47 – 10:51
3.	18. 2. 2021	13:17 – 13:20
4.	18. 2. 2021	15:45 – 15:48
5.	19. 2. 2021	11:31 – 11:33
6.	19. 2. 2021	18:16 – 18:18



Během experimentu jsem pozorovala, jak mechanické porušení sněhové pokrývky a přidané chemické látky ovlivňují rychlost tání sněhu. Výsledek experimentu ukazuje, že nejdříve roztál sníh s přidanou kuchyňskou solí a sníh se šterkem a solenkou, druhý roztál zatížený sníh na začátku experimentu a nakonec roztál neporušený sníh.

Tání sněhu s přidanou kuchyňskou solí a šterkem se solenkou probíhal nejrychleji. Při tání hrála roli kuchyňská sůl a solenka. Solenka vzniká zředěním kuchyňské soli a využívá se jako šetrnější způsob posypu místních komunikací v zimním období. Solenka a kuchyňská sůl snižují bod tání, kdy sníh taje při nižších teplotách než  $t = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Sněhová pokrývka se šterkem a solenkou roztála ve stejném časovém intervalu jako sněhová pokrývka s přidanou kuchyňskou solí. Šterk v posypu silnice zaručuje větší přilnavost mezi koly aut a vozovkou a v kombinaci se solenkou taje sníh z vozovky rychleji.

Při pozorování sněhové pokrývky bez mechanického porušení a po zatížení roztála dříve pokrývka s udupaným sněhem. Udupaný sníh má větší hustotu než nepoškozený sníh. Hodnota objemového podílu vody uvnitř sněhové pokrývky je vyšší u udupaného sněhu, který se při teplotách nad  $0 \text{ } ^\circ\text{C}$  z povrchu ztrácí rychleji než neporušený sníh.

Závěrem můžeme říct, že solení silnic přináší velké výhody. Díky tomu sníh na vozovce taje rychleji a silnice je v zimě lépe průjezdná. Pokud bychom se na to podívali z trochu jiné stránky, toto chování může mít negativní vliv na rostliny rostoucí podél silnic. Některé z nich totiž nemají rády velké množství soli v půdě a jejich výskyt se při vyšším zasolení omezí. Naopak se rozšíří rostliny závislé na vyšším množství soli v půdě. I udusaný sníh hraje roli, protože obsahuje malé množství vzduchu, čímž ztrácí svou vlastnost izolace. Z pohledu rostliny jí udusaná sněhová pokrývka neposkytuje bezpečnou ochranu proti rychle měnícím se podmínkám nad sněhem a rostlina je vystavena výkyvům teplot v atmosféře. Na místech, kde dochází k pravidelnému poničení mechanické vlastnosti sněhu udusáním např. na sjezdovkách či běžeckých tratích, se postupem času obměňuje zastoupení rostlinných druhů v návaznosti na ztrátu izolační vlastnosti sněhové pokrývky.

## Závěr

Tato bakalářská práce by měla čtenáři přinést ucelený pohled na problematiku sněhových krystalů, sněhových vloček a sněhové pokrývky pomocí podrobné rešerše české a zahraniční literatury, která byla hlavním cílem této práce a je zpracovaná v teoretické části.

Velmi důležitou roli pro vznik sněhových krystalů hrají podmínky v atmosféře, které také vytváří prostor pro širokou paletu vzorů a struktur sněhových vloček. V praktické části zaměřené na mikroskopii sněhových vloček a sněhových krystalů jsme si tuto myšlenku mohli ověřit pomocí fotografií pořízených z fotografického mikroskopu během sněžení. Při akumulaci sněhu vzniká souvislá sněhová pokrývka, která vykazuje široké spektrum vlastností. V další části jsme se mohli přesvědčit, že v přirozených podmínkách se vytváří sněhová pokrývka s různými povrchovými barvami na základě vnějších podmínek, uplynulé doby od posledního sněžení a přidáním některých látek do sněhové pokrývky. Na závěr praktické části jsme ověřili, že přidané látky nebo mechanické zatížení sněhu ovlivňují a urychlují rychlost tání sněhu ze zemského povrchu.

Velkým přínosem pro tuto bakalářskou práci byla letošní zima, během které opravdu zasněžilo a sněhová pokrývka se držela déle než jeden týden. Díky tomu je tato bakalářská práce obohacená spoustou fotografií, které jsem dokázala během výskytu sněhu zachytit, a nemusím se odkazovat na obrázky a fotografie jiných autorů, kteří zachytili sněhové vločky pár let přede mnou.

Problematika sněhových krystalů a sněhové pokrývky je natolik zajímavá, že díky příležitostem dnešní doby lze k pozorování sněhu využít řadu přístrojů jako např. mikroskop, fotoaparát, lupu atd. Pomocí tohoto vybavení se otevírají brány ke zkoumání sněhu těm, kteří jsou vybaveni a mají zájem se ponořit do této oblasti zkoumání. Pokud bych se jednou rozhodla tuto práci rozšířit, chtěla bych se zaměřit zejména na to, jak přiblížit toto téma žákům základních škol a vymyslet podmínky pozorování sněhových vloček i pro ty, co si v domácích podmínkách mikroskop či lepší fotoaparát dovolit nemohou.

## Seznam použitých pramenů

- [1] *All About Snow*. National Snow and Ice Data Center [online]. Poslední revize 10. 1. 2020, [cit. 2021-3-15]. URL: <https://nsidc.org/cryosphere/snow>.
- [2] BROMOVÁ, E. Fyzika a klasická energetika: Pětihranný led. *TRÍPÓL – časopis pro studenty o vědě a technice* [online]. 30. 10. 2021, [cit. 2021-3-19]. URL: <https://www.3pol.cz/cz/rubriky/fyzika-a-klasicka-energetika/647-petihranny-led>.
- [3] FIEDLER, J. Wilson „Vločka“ Bentley byl průkopníkem mikroskopické fotografie: Snímky sněhových vloček dostal až do National Geographic. *G.cz* [online]. 9. 2. 2021 [cit. 2021-3-10]. URL: <https://g.cz/wilson-vlocka-bentley-by-prukopnikem-mikroskopicke-fotografie-snimky-snehovych-vlocek-dostal-az-do-national-geographic/>.
- [4] FILIPČÍK, P. *Simulace sněžení pro virtuální realitu*. Plzeň, 2008. 30 str. Bakalářská práce na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity na katedře informatiky a výpočetní techniky.
- [5] HAUSFRAU. Mikroskopování s dětmi – jak fotit sněhovou vločku pod mikroskopem. *Ze života u Dáblického háje. Blog o výletech a životě se třemi dětmi* [online]. 28. 1. 2019, [cit. 2021-3-15]. URL: <http://blog.cizrna.info/mikroskopovani-s-detmi-jak-fotit-snehovou-vlocku-pod-mikroskopem/>.
- [6] HEJDUKOVÁ, M. *Luminiscenční studie ledu*. Brno, 2014. 48 str. Bakalářská práce na Přírodovědné fakultě Masarykovy univerzity v Ústavu chemie. Vedoucí práce Mgr. Dominik Heger, Ph.D. URL: [https://is.muni.cz/th/oort4/Bakalarska\\_prace\\_Hejdukova.pdf](https://is.muni.cz/th/oort4/Bakalarska_prace_Hejdukova.pdf).
- [7] KOPÁČEK, J. – BEDNÁŘ, J. – ŽÁK, M. *Jak vzniká počasí*. 2. vydání. Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum, 2019. s 153-154. ISBN 978-80-246-4423-3.
- [8] LIBBRECHT, K. G. Morphogenesis on ice: The physics of snow crystals. *Eng. Sci.*, January 2001, vol. 1, s. 10-19.
- [9] LIBBRECHT, K. G. The physics of snow crystals. *Rep. Prog. Phys.*, March 2005, vol. 68, no. 4, s. 855-895. ISSN 0034-4885. DOI 10.1088/0034-4885/68/4/R03.
- [10] LIBBRECHT, K. G. *Snowcrystals* [online]. [cit. 2020-11-04]. January 1999. URL: <http://www.snowcrystals.com>.

- [11] Linus Pauling. *Wikipedia* [online]. [cit. 2021-3-15]. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Linus\\_Pauling](https://en.wikipedia.org/wiki/Linus_Pauling).
- [12] O sněhové vločce. *Druinova mystéria* [online]. [cit. 2020-11-04]. URL: [http://druinova.mysteria.cz/UKAZY\\_VE\\_VESMIRU/SNEHOVA\\_VLOCKA.htm](http://druinova.mysteria.cz/UKAZY_VE_VESMIRU/SNEHOVA_VLOCKA.htm).
- [13] OUELLETTE, J. Let It Snow: The Science of Snowflakes. *Scientific american* [online]. 26. 12. 2011, [cit. 2020-12-19]. URL: <https://blogs.scientificamerican.com/cocktail-party-physics/let-it-snow-the-science-of-snowflakes/>.
- [14] PISCALA, V. Vladimír Piskala z vědecké redakce popisuje vznik a různorodost tvarů sněhové vločky. *ČT24* [online]. 8. 1. 2021, [cit. 2021-3-21]. URL: <https://ct24.ceskatelevize.cz/3251014-vladimir-piskala-z-vedecke-redakce-popisuje-vznik-a-ruznorodost-tvaru-snehove-vlocky>.
- [15] PITTER, P. *Hydrochemie*. 4. vydání. Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2009. ISBN 978-80-7080-701-9.
- [16] PIVOKONSKÝ, M. *Hydrochemie – fyzikální a fyzikálně chemické vlastnosti vody* [online]. [cit. 2021-3-15]. URL: <http://www.pivokonsky.wz.cz/Hydrochemie17-18/hydrochemie%201.pdf>.
- [17] PŘEUČIL, P. Tajemství sněhových vloček. *21. století* [online]. 19. 2. 2008, [cit. 2020-11-04]. URL: <https://21stoleti.cz/2008/02/19/tajemstvi-snehovych-vlocek/>.
- [18] René Descartes. *Wikipedia* [online]. [cit. 2021-3-15]. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Ren%C3%A9\\_Descartes](https://en.wikipedia.org/wiki/Ren%C3%A9_Descartes).
- [19] SCHLICHTING, H. J. Wenn weisser schnee in farben funkelt. *Spektrum der Wissenschaft*, März 2017, s. 54-55. ISSN 0170-2971.
- [20] SCHLICHTING, H. J. Musterbildung im Schnee. *Phys. Unserer Zei.*, Januar 2019, vol. 50, s. 45. DOI 10.1002.
- [21] Sníh a jeho přeměny. *Alpy 4000* [online]. [cit. 2020-12-19]. URL: <https://www.alpy4000.cz/snih-a-jeho-premeny>.
- [22] Snowmelt Processes: Interaction Edition. *University Corporation for Atmospheric Research* [online]. 1997, [cit. 2021-15-3]. URL: [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/snowmelt/navmenu.php\\_tab\\_1\\_page\\_5.0.0.htm](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/snowmelt/navmenu.php_tab_1_page_5.0.0.htm).
- [23] TENZLER, D. Odkud se bere barva ledovců? *iDnes.cz* [online]. 18. 3. 2019, [cit. 2021-3-30]. URL: <https://danatenzler.blog.idnes.cz/blog.aspx?c=705147>.

- [24] VODIČKOVÁ, K. Jak vznikají sněhové vločky. *Meteopress* [online]. 21. 11. 2018, poslední revize 7. 2. 2019 [cit. 2020-11-04]. URL: <https://www.meteopress.cz/vysvetleni/jak-vznikaji-snehove-vlocky/>.
- [25] VITOUCHOVÁ, V. Johannes Kepler. *Informace* [online]. 2016, [cit. 2021-03-15]. ISSN 1805-2800. URL: [https://www.lib.cas.cz/casopis\\_informace/johannes-kepler/](https://www.lib.cas.cz/casopis_informace/johannes-kepler/).
- [26] *WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF* [online]. [cit. 2021-3-15]. URL: <https://www.slf.ch/en/index.html>.
- [27] ŽÁK, M. Proč křupe sníh pod nohama? Je za tím jednoduchá fyzika. *ČT24* [online]. 15. 2. 2021, [cit. 2021-3-15]. URL: <https://ct24.ceskatelevize.cz/veda/3270004-proc-krupe-snih-pod-nohama-je-za-tim-jednoducha-fyzika>.

## Seznam obrázků

Obr. 1:	První fotografie sněhových krystalů pořízené Wilsonem Bentleyem. [3].....	9
Obr. 2:	Dvě identické sněhové vločky z laboratoří Kennetha G. Libbrecha. [10].....	10
Obr. 3:	Dva pohledy na ledovou strukturu krystalu. [8].....	11
Obr. 4:	Struktura ledu s vyznačenou kvazi kapalnou vrstvou na povrchu. [8] .....	12
Obr. 5:	Základní stavba jednoduchého hranolu ledu. [9] .....	15
Obr. 6:	Schéma růstu sněhové vločky. [10] .....	16
Obr. 7:	Tvary sněhových vloček. [10].....	18
Obr. 8:	Vlastnosti čerstvě napadeného sněhu a převátého sněhu. [22] .....	21
Obr. 9:	Nejintenzivnější třpytění šestibokého sněhového krystalu. [19] .....	24
Obr.10:	Ukázka suché izotermické metamorfózy. [22] .....	26
Obr. 11:	Metoda zachycování sněhových vloček před mikroskopováním.....	40
Obr. 12:	Sněhová vločka ve tvaru sloupku a jehlice.....	40
Obr. 13:	Sněhová vločka ve tvaru hvězdného dendritu.....	41
Obr. 14:	Rozvětvená sněhová vločka ve tvaru hvězdného dendritu. ....	41
Obr. 15:	Segmentovaná sněhová vločka .....	42
Obr. 16:	Sněhová vločka ve tvaru desky.....	42
Obr. 17:	Sněhová vločka ze dvou kapradinových hvězdných dendritů .....	42
Obr. 18:	Kapradinové hvězdné dendrity .....	43
Obr. 19:	Sněhové vločky ve tvaru destičky a segmentovaných dendritů.....	44
Obr. 20:	Sněhová vločka ve tvaru hvězdného dendritu.....	44
Obr. 21:	Pozorování přiblížení sněhové vločky při zvětšení 20 x .....	45
Obr. 22:	Pozorování přiblížení sněhové vločky při zvětšení 35 x. ....	45
Obr. 23:	Pozorování přiblížování sněhové vločky při zvětšování 50 x.....	46
Obr. 24:	Pozorování přiblížení sněhové vločky při zvětšení 60 x. ....	46
Obr. 25:	Struktura vrchní vrstvy pokrývky čerstvě napadaného sněhu.....	47
Obr. 26:	Strukturu spodní vrstvy pokrývky čerstvě napadaného sněhu.....	47
Obr. 27:	Struktura povrchové vrstvy sněhové pokrývky bez sněžení .....	48
Obr. 28:	Struktura spodní vrstvy sněhové pokrývky bez sněžení .....	48
Obr. 29:	Čerstvě napadlá sněhová pokrývka.....	49
Obr. 30:	Sněhová pokrývka po uplynulém dni bez sněžení. ....	49
Obr. 31:	Detail třpytící sněhové pokrývky zaměřený na sněhové krystaly.....	50

Obr. 32:	Třpytivá sněhová pokrývka po nočním sněžení při slunečním záření.....	50
Obr. 33:	Bílá sněhová pokrývka bez sněžení po delší časový interval .....	51
Obr. 34:	Tmavě zbarvená sněhová pokrývka na frekventované silnici.....	51
Obr. 35:	Slabě zbarvená sněhová pokrývka na obecní komunikaci.....	52
Obr. 36:	Detail zemského povrchu při teplotě 0 °C.....	52
Obr. 37:	Fotografie experimentu tání č. 1 .....	53
Obr. 38:	Záznam experimentu č. 2.....	54
Obr. 39:	Detail sněhové pokrývky s posypovým materiálem ze silnice, záznam č. 3 ....	55
Obr. 40:	Detail sněhové pokrývky s přidanou kuchyňskou solí, záznam č. 3.....	55
Obr. 41:	Detail na neponičenou pokrývku sněhu, záznam č. 3.....	56
Obr. 42:	Detail experimentu udusané sněhové pokrývky, záznam č. 3. ....	56
Obr. 43:	Záznam experimentu č. 4 .....	57
Obr. 44:	Záznam experimentu tání č. 5.....	57
Obr. 45:	Záznam experimentu tání č. 6.....	58

## Seznam tabulek

Tab. 1:	Rozdělení sněhu podle jeho hustoty. [22].....	22
Tab. 2:	Záznam dokumentování během experimentu tání .....	32

## Seznam grafů

Graf 1:	Morfologický diagram. [9].....	14
Graf 2:	Pokles albeda v závislosti na počtu dní po sněžení. [22].....	23

## Přílohy



**Obr. 11:** Metoda zachycování sněhových vloček na podložní sklíčka před mikroskopováním.



**Obr. 12:** Zachycená sněhová vločka ve tvaru sloupku (vlevo) a jehlice (vpravo) se zvětšením 25 x.





**Obr. 13:** Sněhová vločka ve tvaru hvězdného dendritu se zvětšením 30 x.



**Obr. 14:** Rozvětvená sněhová vločka ve tvaru hvězdného dendritu se zvětšením 30 x.



**Obr. 15:** Segmentovaná sněhová vločka se zvětšením 30 x.



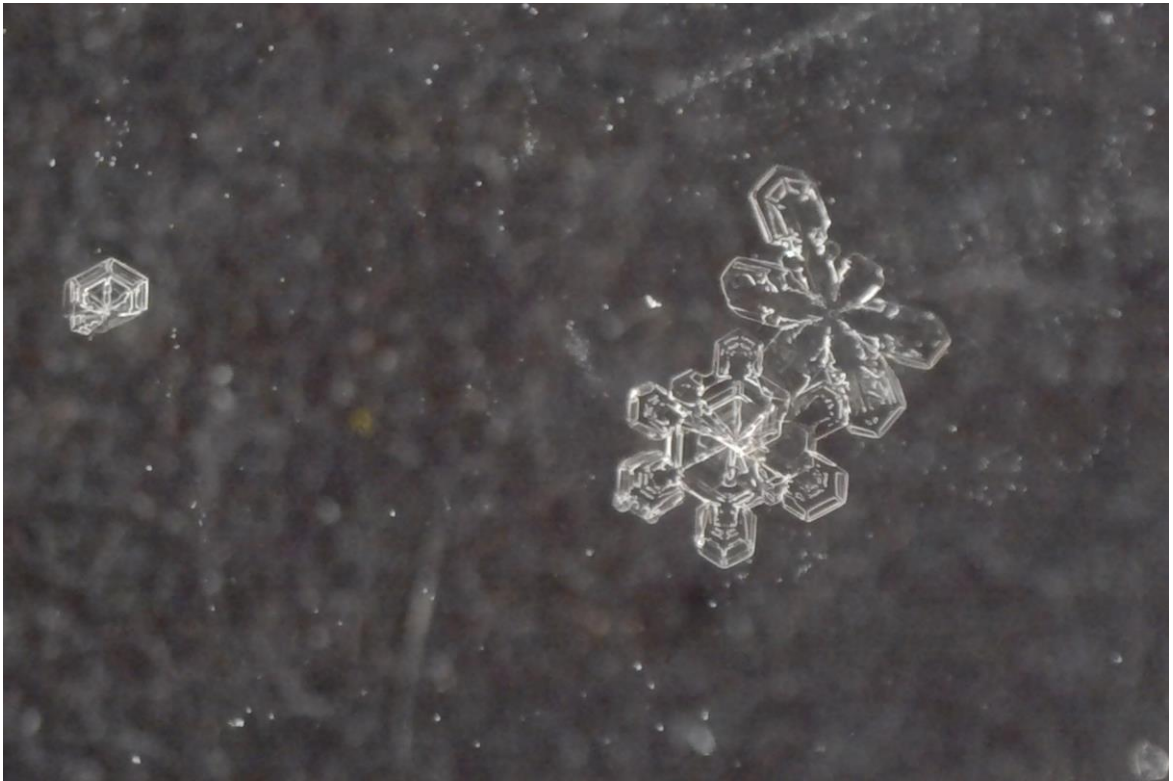
**Obr. 16:** Sněhová vločka ve tvaru desky se zvětšením 40 x.



**Obr. 17:** Sněhová vločka ze dvou kapradinových hvězdných dendritů se zvětšením 40 x.



**Obr. 18:** Kapradinové hvězdné dendrity se zvětšením 45 x.



**Obr. 19:** Sněhové vločky ve tvaru destičky (vlevo) a segmentovaných dendritů (vpravo) se zvětšením 25 x.



**Obr. 20:** Sněhová vločka ve tvaru hvězdného dendritu se zvětšením 25 x.



**Obr. 21:** Pozorování přiblížení sněhové vločky při zvětšení 20 x.



**Obr. 22:** Pozorování přiblížení sněhové vločky při zvětšení 35 x.



**Obr. 23:** Pozorování přibližování sněhové vločky při zvětšování 50 x.



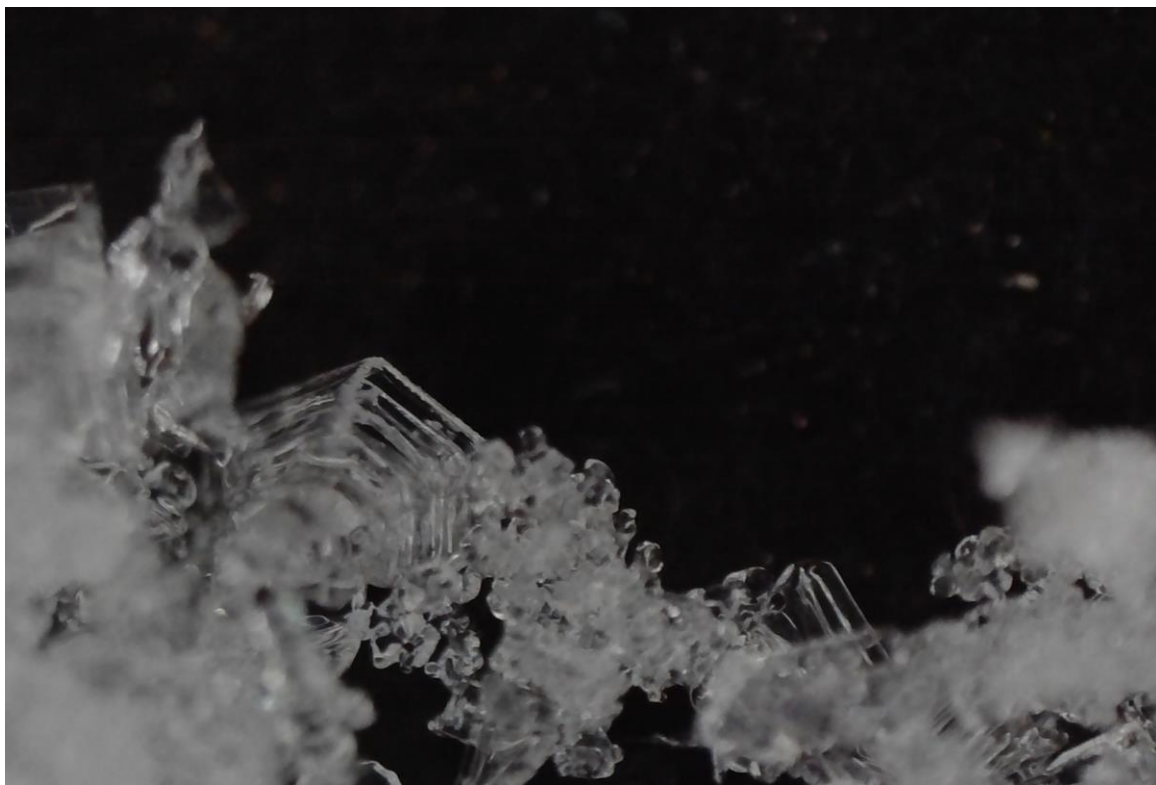
**Obr. 24:** Pozorování přiblížení sněhové vločky při zvětšení 60 x.



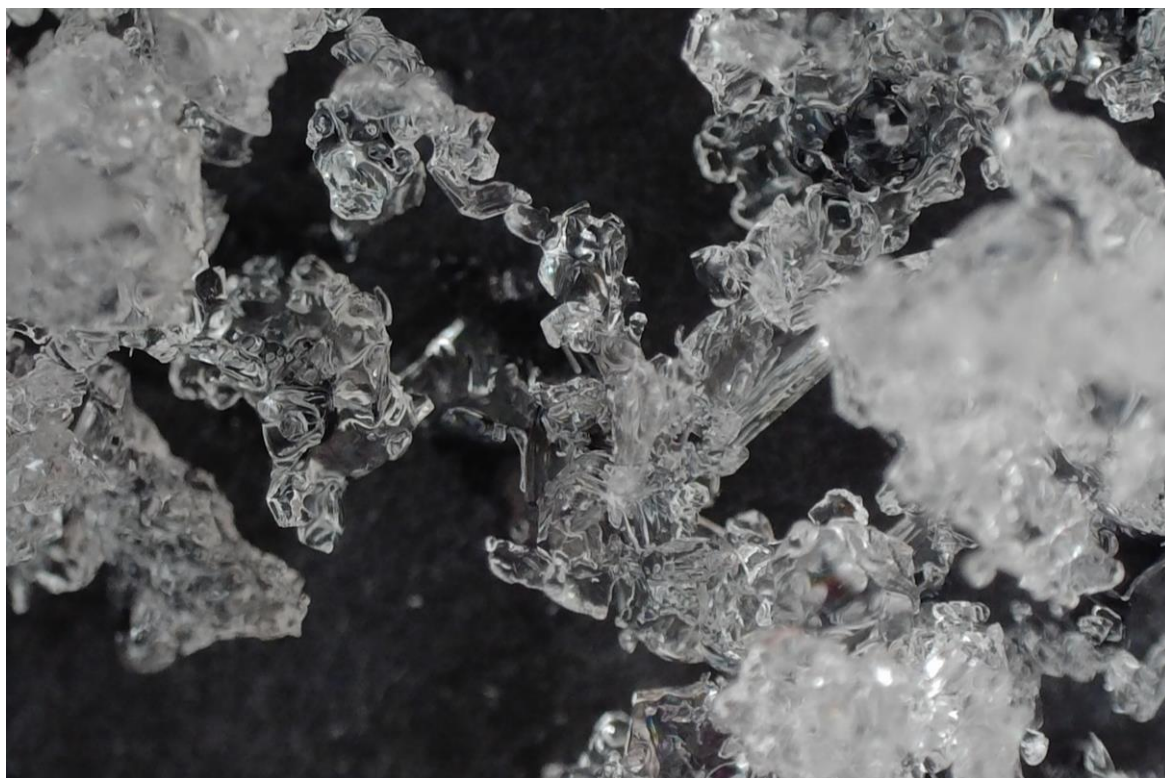
**Obr. 25:** Struktura vrchní vrstvy sněhové pokrývky čerstvě napadeného sněhu s úlomky sněhových vloček při zvětšení 30 x.



**Obr. 26:** Struktura spodní vrstvy sněhové pokrývky při akumulaci sněhu při zvětšení 20 x.

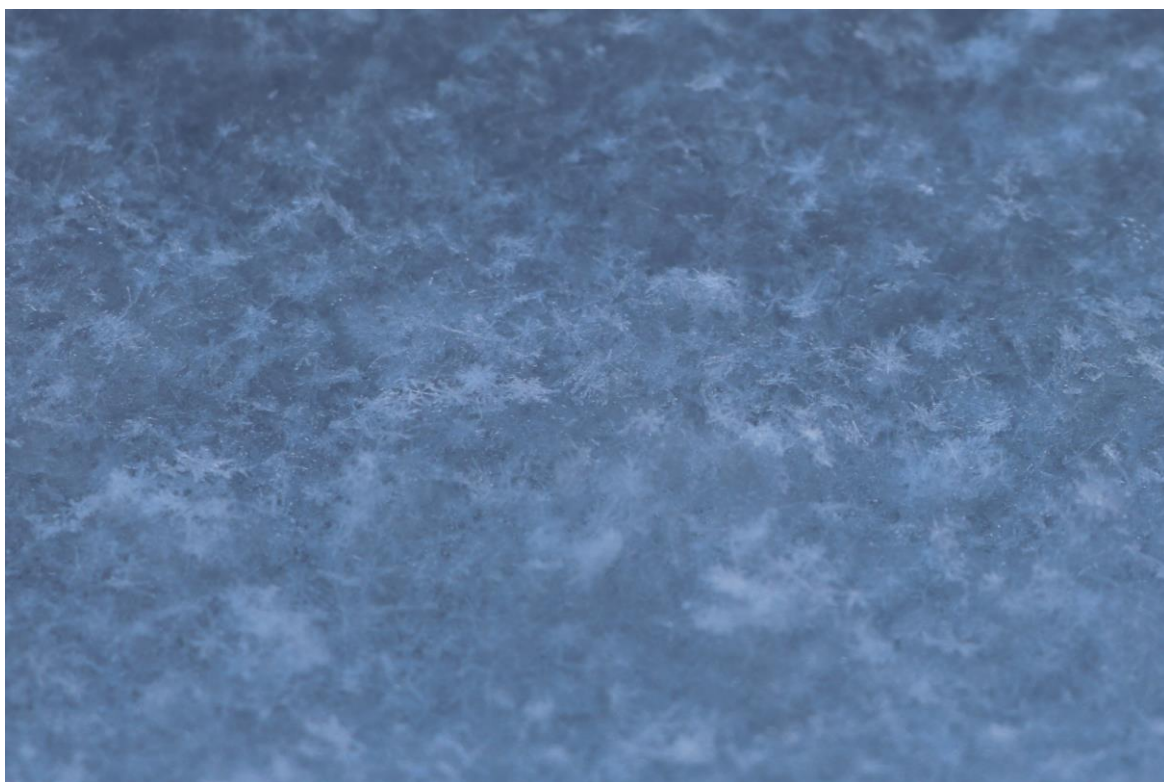


**Obr. 27:** Struktura povrchové vrstvy sněhové pokrývky bez sněžení po delší časový interval při zvětšení 20 x.

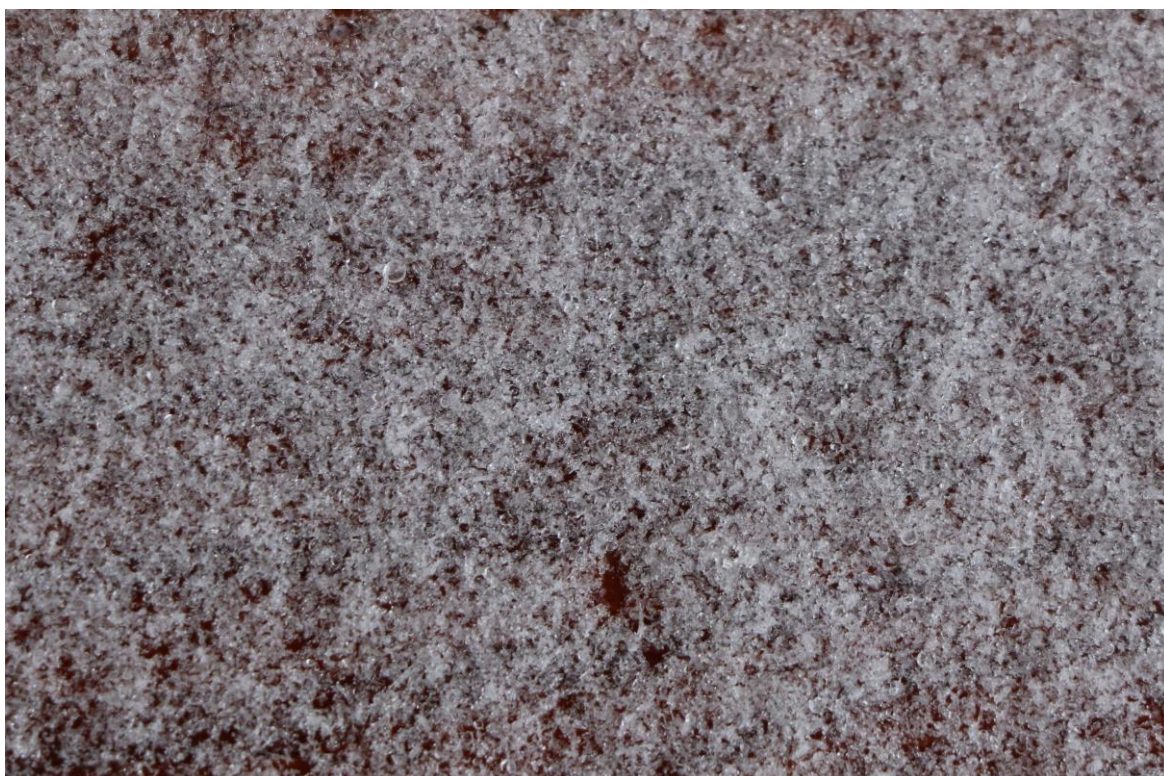


**Obr. 28:** Struktura spodní vrstvy sněhové pokrývky bez sněžení po delší časový interval při zvětšení 20 x.

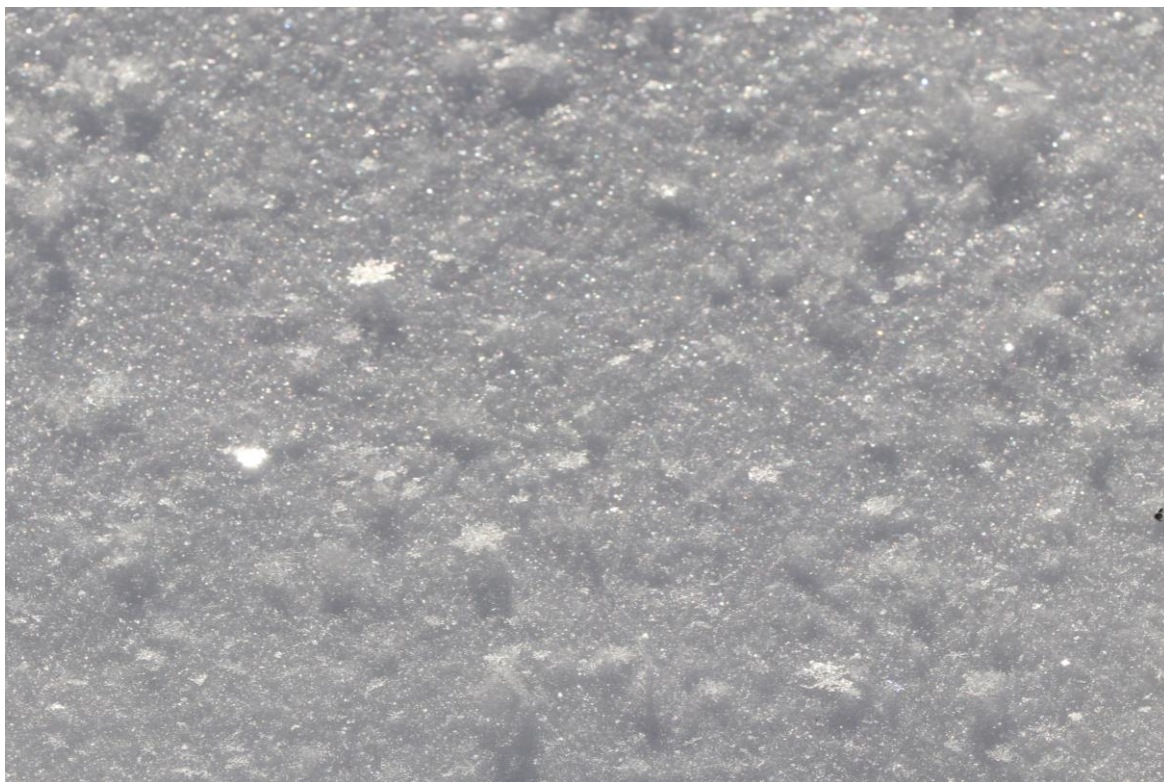




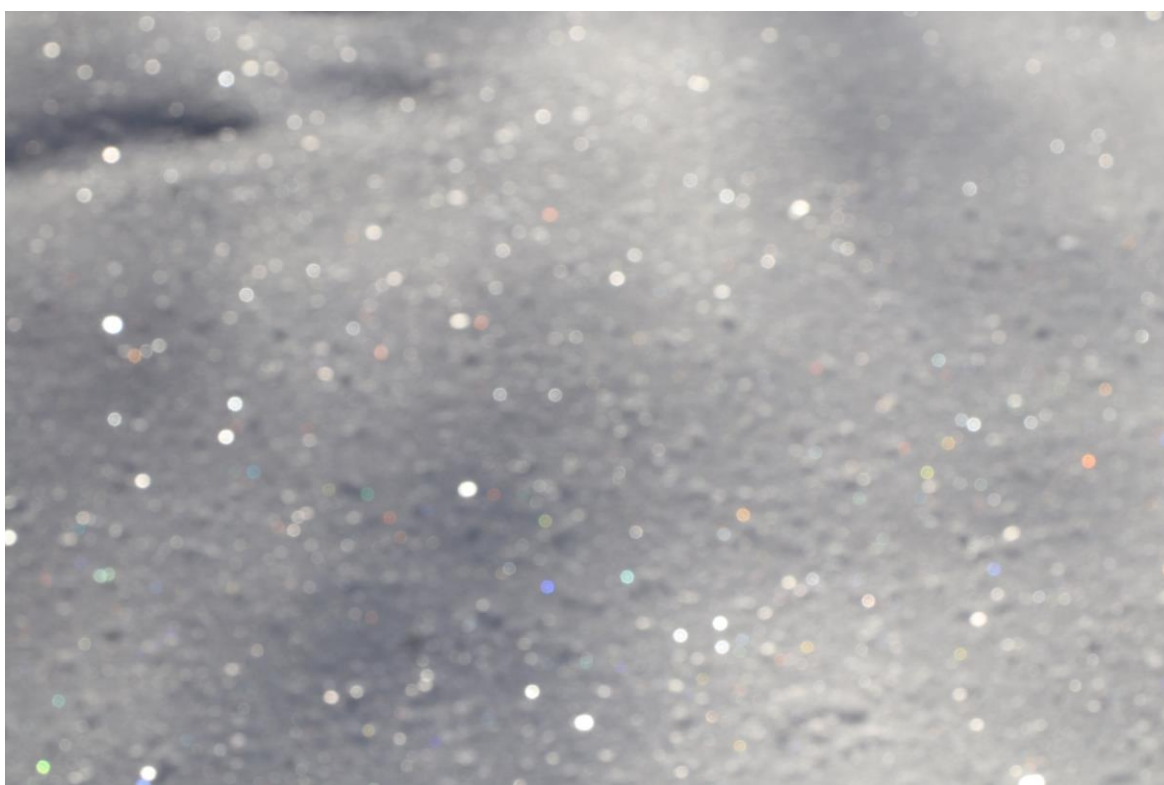
**Obr. 29:** Čerstvě napadlá sněhová pokrývka s jasně rozeznatelnými sněhovými vločkami.



**Obr. 30:** Sněhová pokrývka po dni sněžení, u které je vidět, že došlo k přeměně sněhových vloček. Sněhové vločky na pokrývce už nejsou rozeznatelné.



**Obr. 31:** Detail sněhové pokrývky při slunečním záření zaměřený na sněhové krystaly, které vydávají barevné záblesky.



**Obr. 32:** Třpytivá sněhová pokrývka po nočním sněžení při slunečním záření.



**Obr. 33:** Bílá sněhová pokrývka po dvou dnech bez sněžení při záření slunce.



**Obr. 34:** Tmavě zbarvená sněhová pokrývka na frekventované silnici i podél ní, kde se během zimy sype posyp se solenkou. Uvnitř silniční komunikace se sněhová pokrývka nevyskytuje.



**Obr. 35:** Slabě zbarvená sněhová pokrývka na obecní komunikaci, která se během zimy nesype, ale pouze odhrnuje. Sněhová pokrývka je světle zbarvená pouze na silnici. Podél silnice sníh obarven není.



**Obr. 36:** Detail zemského povrchu při teplotě 0 °C. Některé vločky vlivem teploty tají, jiné zůstávají vločkami a akumulují se.



**Obr. 37:** Fotografie experimentu tání sněhu č. 1. V nejbližším tmavém čtverci je silniční posyp se solenkou, vedle něho ve druhém čtverci sníh posypaný kuchyňskou solí, ve třetím čtverci neponičený sníh a v nejvzdálenějším čtverci sníh udupaný váhou 60 kg.



**Obr. 38:** Záznam experimentu č. 2, kde v prvním čtverci se nachází zatížený sníh, v druhém neponičený sníh, ve třetím s posypem kuchyňské soli a v posledním s posypem ze silnice.



**Obr. 39:** Detail sněhové pokrývky s posypovým materiálem ze silnice při záznamu č. 3.



**Obr. 40:** Detail sněhové pokrývky s přidanou kuchyňskou solí při záznamu č. 3.



**Obr. 41:** Detail na neponičenou pokrývku sněhu při záznamu č. 3.



**Obr. 42:** Detail experimentu udusané sněhové pokrývky při záznamu č. 3.





**Obr. 43:** Záznam experimentu č. 4, kde v prvním čtverci se nachází sníh s posypem na silnici, v druhém sníh s kuchyňskou solí, ve třetím nepoškozený sníh a v posledním čtverci sníh zatížený na začátku experimentu.



**Obr. 44:** Záznam experimentu tání sněhu č. 5, kde nejbližší čtverec představuje sníh s posypem a solenkou, druhý s kuchyňskou solí, třetí bez zásahu a čtvrtý s udusným sněhem.



**Obr. 45:** Záznam experimentu všech čtyř čtverců č. 6, kde nejbližší čtverec je s posypem ze silnice, druhý čtverec s kuchyňskou solí, třetí bez poničení a poslední po udupání.