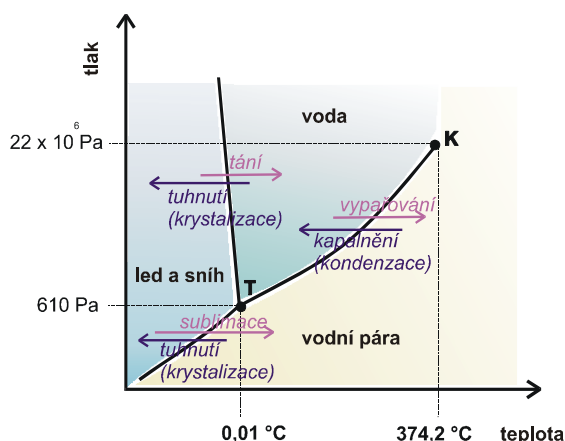


CHLAZENÍ TROCHU JINAK – VÝROBA TECHNICKÉHO SNĚHU

Stejně jako ve světě, i na českých horách se v posledních letech stále častěji setkáváme se zasněžovací technikou. Sněžná děla umožňují provozovatelům lyžařských vleků maximálně využít a dokonce i na podzim a na jaře prodloužit zimní sezónu a dosáhnout vyšších zisků. Zatímco dříve byli závislí jak na teplotách tak na množství srážek, nyní se druhý z uvedených faktorů stává nepodstatným. V našich podmínkách platí, že pokud je provozovatel lyžařské trati schopen dodat dostatečné množství vody, o chlazení se po většinu zimního období postará sama příroda. Podívejme se jak technický sníh vzniká.

Za běžných podmínek se setkáváme se třemi skupenstvími (fázemi) vody – kapalinou, plynem (vodní párou) nebo vodou ve skupenství pevném (led či sníh). Dobrou pomůckou pro popis chování chemicky čisté vody je tzv. fázový diagram, který je znázorněn na Obr. 1. Každý bod roviny fázového diagramu znázorňuje stav vody při dané teplotě a tlaku. Bod označený písmenem T se nazývá trojný bod a označuje stav, ve kterém se mohou vyskytovat všechna tři skupenství zároveň. Bod K je kritický bod, po jehož překročení může voda být už jen ve formě vodní páry. Jednotlivé křivky diagramu znázorňují hodnoty tlaku a teploty, při kterých se voda nachází ve dvou různých fázích zároveň. Křivka syté páry určuje stavy, ve kterých může existovat kapalina spolu s vodní párou, křivka tání tvoří rozhraní mezi fází pevnou a kapalnou a křivka sublimace vymezuje za jakých teplot a tlaků přechází fáze pevná v plynnou. Pro vysvětlení mechanismů tvorby ledu či sněhu jsou důležité poslední dvě ze zmíněných křivek.

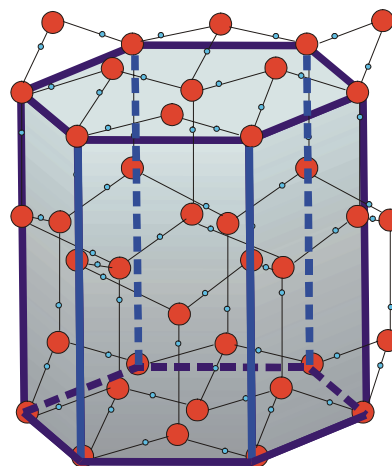


Obr.: 1: Fázový diagram vody

Z fázového diagramu je zřejmé, že přechod vody z jednoho skupenství do druhého je možný jen při změně teploty či tlaku nebo obou těchto veličin zároveň. (Přitom je třeba si uvědomit, že tlakem zde není míněn atmosférický tlak, ale tlak vodní páry, tlak uvnitř kapaliny či tlak působící na pevnou

látku). Vliv teploty na změny skupenství vody všichni důvěrně známe. Vliv tlaku se dá ilustrovat například známou skutečností, že voda v Papinově hrnci vře při teplotě vyšší než 100 °C (což je teplota varu vody při normálním atmosférickém tlaku), a že bruslení nám umožňuje tenká vrstvička vody, která se vytváří pod bruslí díky tomu, že při led vyšším tlaku taje (voda má při vyšším tlaku nižší teplotu tuhnutí).

Poměrně zajímavá je skutečnost, že některé látky, včetně vody, se mohou nacházet v kapalném stavu i při teplotách nižších než teplota tuhnutí – v takovýchto případech mluvíme o přechlazené kapalině. Například chemicky čistou vodu zbavenou vzduchu lze ochladit až na -40 °C. Jakmile však do takto podchlazené kapaliny vhodíme kousek ledu, nějakou nečistotu či jen pohneme nádobou s touto kapalinou, kapalina téměř okamžitě ztuhne. Vzácně lze tento jev pozorovat například na lahvi s destilovanou vodou ponechané přes zimu v garáži.



Obr. 2: Krytalická mřížka vody.

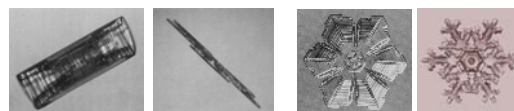
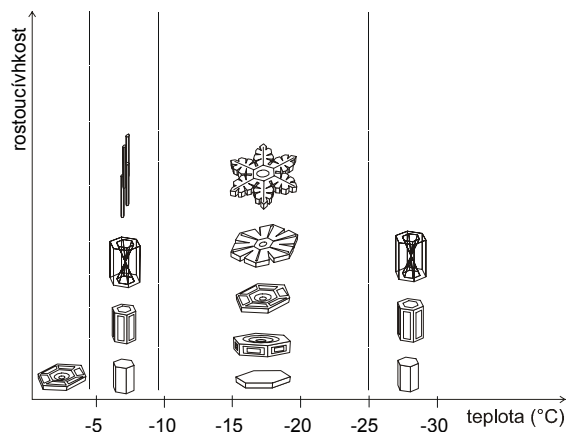
Jak už bylo naznačeno voda se dostane do skupenství pevného dvěma způsoby. Buď ochlazením kapaliny (potom vzniká led) nebo ochlazením vodní páry (vzniká sníh). Během ochlazení dochází nejprve ke snižování teploty vody až k teplotě tuhnutí při daném tlaku. Až potom, pokud i nadále odvádíme teplo, může dojít ke změně skupenství. Chceme-li snížit teplotu 1 g vody o 1 °C musíme jí odebrat energii 4,18 J (= 1 kalorie).

Molekuly vody v kapalném i plynném skupenství jsou náhodně rozdělené v prostoru. Prvním krokem při tuhnutí vody je vznik krystalizačního (nukleačního) jádra, zárodka. V chemicky čisté látce se jím stává shluk několika molekul, které jsou pravidelně uspořádané a mezi nimiž se vytvoří pevná vazba. Vznik takovéto vazby je doprovázen uvolněním určitého množství energie, tzv.

skupenského tepla tuhnutí. Každý gram vody uvolní během svého tuhnutí energii 334 J (80 kalorií). Tím vzroste energie okolních molekul, což je pro celou soustavu molekul vody nevýhodné a zárodek se zpravidla opět rozpadá. Pokud je však tato energie ze soustavy odvedena, zárodek se po dosažení určité „kritické“ velikosti stává stabilním. Čím větší je podchlazení soustavy molekul, tím menší je kritický rozměr zárodků a tím je i pravděpodobnější jejich vznik. Za běžných podmínek voda obsahuje množství minerálních i organických nečistot, které mohou působit stejně jako krystalizační jádra a vázat na sebe okolní molekuly vody. V některých případech – zejména pokud je třeba zasněžovat za teplot blízkých 0 °C – se množství nukleátorů ve vodě zvyšuje přidáním prostředku, který je vyroben na bázi bakterií *Pseudomonas syringae*. Množství nukleátorů je možné ovlivnit i magnetickou úpravou vody.

Struktura krystalické mřížky vody je zobrazena na Obr. 2. Větší červené kroužky naznačují polohu atomů kyslíku, malé tečky polohu atomu vodíku. Dále je v obrázku znázorněn tvar „základní buňky“ ohraničující nejmenší skupinu atomů jejíž uspořádání se v celém objemu krystalu ledu nebo sněhu pravidelně opakuje. Růst krystalu se děje postupným přidáváním dalších molekul na povrch krystalizačního jádra. Povrch rostoucího krystalu přitom představuje plochu volných chemických vazeb. Energie povrchu se sníží pokud se na něj naváže další atom. Množství uvolněné energie přitom závisí na místě, ve kterém se atom připojí. Směr růstu krystalu je tedy dán tím, co je pro soustavu molekul nejvýhodnější z hlediska zachování minima energie a velmi záleží na podmínkách, za kterých krystalizace probíhá, zejména na teplotě a koncentraci molekul vody v okolí rostoucího krystalu. Tato skutečnost je příčinou velké variability tvaru sněhových vloček a ledových krystalů jak je naznačeno na Obr.3.

Při teplotách vyšších než -5 °C a v poměrně širokém rozmezí teplot kolem -15 °C se molekuly vážou především na svislé stěny šestibokého hranolu naznačeného na Obr. 2 a vznikají sněhové vločky tvarem připomínající destičky. Při teplotách zhruba od -5 do -10 °C a kolem -30 °C se naopak více molekul váže na plochy podstav hranolů a tvoří se vločky ve tvaru šestibokých hranolků. Přitom se stoupající vlhkostí, která vlastně znamená větší množství molekul vody v okolí tvořící se vločky (lepší „dostupnost stavebního materiálu“), roste pravděpodobnost připojení molekuly na hraně nebo vrcholu krystalu a vznikají sněhové vločky složitějších tvarů. Příčina tohoto jevu ještě není zcela uspokojivě vysvětlena.



Obr. 3: Proměnlivost tvaru sněhových vloček v závislosti na teplotě a vlhkosti

Přírodní sníh se tvoří v mracích. Podmínky, při kterých se tak děje vedou zpravidla ke vzniku vloček s dendritickou strukturou (dendrit = výběžek, větvička), oněch hvězdiček nad jejichž krásou a složitostí snad všichni občas žasneme. Podmínky, při kterých se vyrábí technický sníh (Obr. 4) mají za následek tvorbu vloček s jednodušší strukturou. Vlastnosti technického sněhu se proto od vlastností čerstvě napadaného přírodního sněhu poněkud liší. Mimo jiné je technický sníh „trvalejší“.



Obr. 4: Sněžné dělo v akci

Technický sníh lze vyrábět při teplotách kolem -2,5 °C a nižších. Množství sněhu, které lze vyrobit je závislé na venkovní teplotě a vlhkosti vzduchu. Sněžná děla jsou zpravidla vybavena několika okruhy trysek. První, tzv. nukleační okruh se poněkud liší od ostatních okruhů trysek (Obr. 5a,b). Rozdíl spočívá nejen v počtu a nasměrování trysek, ale hlavně v tom, že zatímco do ostatních okruhů je vhnána pouze voda, nukleační okruh rozstříkuje směs vody a tlakového vzduchu. Díky tomuto

provzdušnění se voda rozptýluje na velmi jemné kapky, které i při relativně vysokých teplotách rychle mrznou. V případě současného použití několika okruhů pak slouží jako jeden ze zdrojů krystalizačních jader pro vodu vyletující z trysek ostatních okruhů. Nasměrování nukleačních trysek do středu proudu vodních kapek vyletujících z ústí sněžového děla je velmi dobře vidět na Obr. 6.



Obr. 5a):
Rozmístění trysek v nukleačním okruhu sněžného děla (např. ARECO má 20 trysek)



Obr. 5b):
Rozmístění trysek v ústí sněžného děla – detailní záběr. Je zde zřetelný rozdíl mezi rozmístěním trysek a charakterem vodních kapek vyletujících z trysek vnějšího, nukleačního okruhu a okruhů ostatních.



Obr.6:
Tvar proudu vodních kapek vyletujících ze sněžného děla.

Kvalita vyrobeného sněhu závisí na tom jak důkladně kapky vody promrznou během svého letu

od okamžiku opuštění trysky až po okamžik dopadu na zem. Po dopadu na zem je sníh ještě částečně mokrý a po určitou dobu musí probíhat jeho „zrání“.

Proces promrzání je ovlivňován mnoha faktory. Především teplotou a vlhkostí vzduchu. Tyto parametry nelze příliš ovlivnit. Určitou možností je využití výkyvných systémů, které otáčejí dělem během jeho činnosti do stran a tím kromě rozprostření sněhu na svahu do větší plochy zajišťují také intenzivnější ochlazování vodních kapek stále „novým“ studeným vzduchem. Podobný efekt má využití tzv. tower – věží, které umožňují umístit sněžné dělo výš a tím prodloužit dobu, po kterou mrznoucí kapka padá k zemi.

Dalším faktorem je teplota a složení použité vody. Ideální je neupravená voda odebíraná z přírodního zdroje (příliš čistá voda obsahuje menší množství nečistot, které by mohly posloužit jako krystalizační jádra) o teplotě 0,5 - 2 °C.

Velmi důležitá je i velikost kapek produkovaných sněžným dělem – řádově přibližně 100 µm. Větší kapka nestihne dostatečně promrznout, příliš malá kapka se zase může během letu odpařit nebo je větrem odnesena mimo sjezdovku.

Ze všeho co bylo uvedeno je zřejmé, že vlastní výroba technického sněhu neznamena žádnou ekologickou zátěž pro naše hory, neboť je ve své podstatě výsledkem důvtipného využití fyzikálních zákonů.

Mgr. Věra Záhorová
Univerzita Pardubice

Foto: Karel Klapač