

Sergiy FILIN



GENERATORY ŚNIEGU I LODU GRANULOWANEGO

Większość osiągnięć technicznych i badań, prowadzonych obecnie w tym kierunku, jest w sposób nierozwalny związana z glaciologią stosowaną, z zastosowaniem lodu i śniegu w budownictwie, w tym z budową sportowych tras wyścigowych i rekreacyjnych. Taka strefa zastosowania generatorów śniegu narzuca specyficzne wymagania dla tych urządzeń: duże wydajności, przy zdolności pracy w trudnych warunkach pogodowych oraz niskich kosztach budowy i eksploatacji. Ale najważniejszym zadaniem tych maszyn jest produkcja lodu o ściśle określonych parametrach: gęstość, temperatura, wymiary i kształt cząstek, itp.

Zgodnie z klasyfikacją zaproponowaną przez G. Smorygina, lód o strukturze sypkiej można podzielić na trzy typy: porowaty (piana lodowa), granulowany akrecyjny (sztuczny śnieg) oraz aerowano-granulowany. Badania eksperymentalne pokazują, że najtrudniej uzyskać sztuczny lód o gęstości poniżej 500 kg/m^3 .

W dalszej części krótko zostaną scharakteryzowane podstawowe metody wytwarzania sztucznego śniegu i sprzęt do tego wykorzystywany.

Metoda dalekonośnej strugi hydraulicznej

Jest to metoda najprostsza, stosowana od roku 1963. Opiera się ona na mechanicznym rozpyleniu wody przez dyszę przelotową. W pierwszych próbach, w charakterze generatora wykorzystano zmodyfikowane urządzenie zraszające, ze zmiennymi nasadkami. Wodę o początkowej temperaturze $0,6...1,2^\circ\text{C}$ rozpylano w temperaturze otoczenia (grudzień) około -22°C . W ciągu 29 godzin pracy generatora uzyskano 5320 m^2 powierzchni zaśnieżonej, o zmiennej wysokości pokrywy: w promieniu 15 metrów od generatora wynosiła ona $1,0...1,3 \text{ m}$, w promieniu 60 metrów - $0,11 \text{ m}$, przy średniej gęstości śniegu $\rho = 540 \text{ kg/m}^3$. Wydajność masowa generatora wahała się w granicach od 50 do $150 \text{ m}^3/\text{h}$. Najlepsze wyniki uzyskano przy średnicy dyszy 20 mm i ciśnieniu wody przed dyszą $0,9...1,0 \text{ MPa}$. Wraz ze wzrostem średnicy nasadki, spadało ciśnienie i zwiększała się średnica kropli zamrażającej wody: od $0,5...2,8 \text{ mm}$ do $3...5 \text{ mm}$. Inaczej mówiąc, typowa struktura śnieżna zamieniała się na pulpową, tzn. powstawał wilgotny lód granulowany.

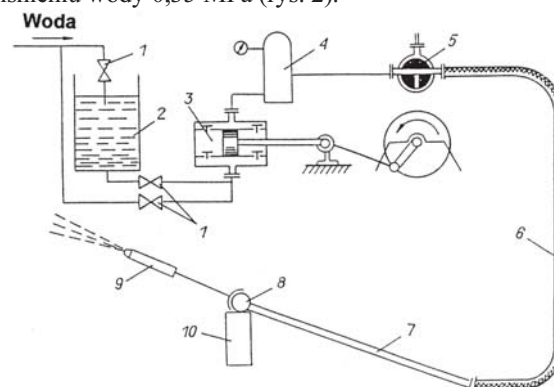
Ze względu na za wysoką gęstość produkowanego śniegu, wielokrotnie podejmowano próby udoskonalenia generatorów tego typu. Między innymi badania prowadzono na stanowisku, którego schemat przedstawiono na rys.1. Udało się uzyskać istotnie lepsze wyniki: $\rho = 400...480 \text{ kg/m}^3$, przy

średnicy kropli $0,6...0,8 \text{ mm}$ oraz długości strugi $35...40 \text{ m}$. Jednakże, metoda dalekosiężnej strugi hydraulicznej pozwala produkować suchy lód granulowany przy temperaturach powietrza otaczającego nie wyższych niż -26°C , tj. w surowym klimacie, co istotnie zawęża możliwości jej zastosowania. Przy wyższych temperaturach, generatory tego typu nadają się do wytwarzania warstw o wysokiej gęstości przy budowie przepraw lodowych i pasów startowych dla samolotów.

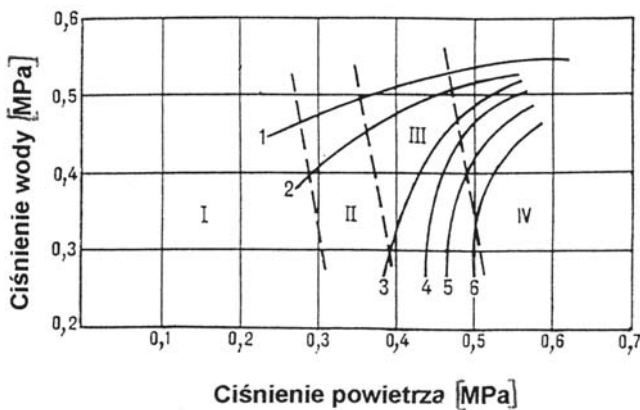
Metoda strugi pneumohydraulicznej

Urządzenia pneumohydrauliczne pozwalają produkować lód o strukturze sypkiej, przy temperaturach bliskich 0°C . Użytkuje się to dzięki obecności w strudze wody dyspergowanej sprężonym powietrzem, najmniejszych kryształów lodu. Różnorodność konstrukcji wytwornic sztucznego śniegu z wykorzystaniem sprężonego powietrza wynika z mnóstwa wariantów jego współdziałania z wodą.

Najbardziej rozpowszechnionym rozpylaczem śniegu jest **zbieżna dysza wewnętrznej mieszania**, znana również jako "armatka śnieżna". Strumienie wody i powietrza o wysokim ciśnieniu przed wylotem do atmosfery współdziałają w komorze mieszania. Stosunek natężeń przepływu wody i powietrza jest regulowany poprzez zmianę ich ciśnień. Zgodnie z charakterystyką pracy wytwornicy tego typu, suchy śnieg można uzyskać przy ciśnieniu powietrza około $0,49 \text{ MPa}$ i ciśnieniu wody $0,35 \text{ MPa}$ (rys. 2).



Rys.1. Schemat doświadczalnej wytwornicy lodu śnieżnego z wykorzystaniem metody dalekosiężnej strugi hydraulicznej: 1 - zawór, 2 - zbiornik, 3 - pompa, 4 - tłumik powietrzny, 5 - zawór trójdrożny, 6 - rurociąg wysokiego ciśnienia, 7 - rurociąg przyspieszenia, 8 - przegub, 9 - nasadka, 10 - opora



Rys.2. Charakterystyka pracy wytwornicy śniegu ze zbieżną dyszą wewnętrznego mieszania (dla temperatury powietrza $-4^{\circ}\text{C} \dots -10^{\circ}\text{C}$); 1...6 - stosunek natężenia przepływu powietrza i wody jest równy odpowiednio 124, 187, 311, 498, 560, 684; I...IV - strefy powstania śniegu: I - brak śniegu, II - bardzo wilgotny, III - wilgotny, IV - suchy

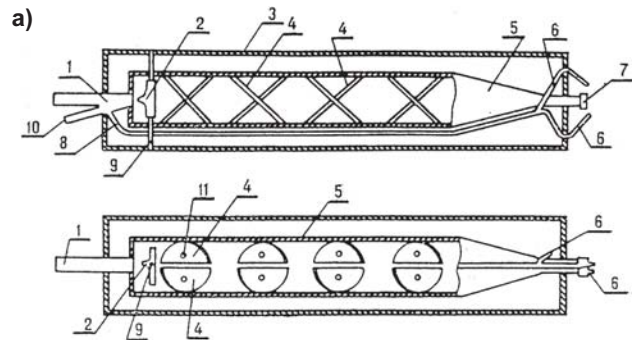
Przy wzroście ciśnienia powietrza, wzrasta jego energia, którą wykorzystuje się do dyspergowania wody. Wtedy powstają drobniejsze krople, które szybciej zamarzają. W efekcie uzyskuje się śnieg najwyższej jakości, tzn. suchy. Takiego śniegu potrzebują narciarze podczas zawodów w niesprzyjających warunkach pogodowych.

Następnym rozwiązaniem rozpylacza jest współśrodkowa dysza zewnętrznego mieszania. Mieszanie strumieni wody i powietrza następuje poza dyszą, na otwartym powietrzu. Przy eksploatacji urządzenia w terenie, wyniki uzyskiwane za pomocą tej metody są niestabilne, w związku z oddziaływaniem wiatru na strumienie współśrodkowe.

Nieco lepsze wyniki zapewnia dysza zewnętrznego mieszania z krzyżującymi się strumieniami. Tego typu armatka śnieżna zbudowana przez Chena i Kevorkiana osiąga wydajność $0,045 \text{ m}^3/\text{min}$, przy maksymalnym zużyciu powietrza $2,8 \text{ m}^3/\text{min}$. Powietrze, przy jego rozproszeniu z prędkością dźwięku na wyjściu z dyszy, schładza się do temperatury $-45,5^{\circ}\text{C}$. W trakcie przygotowania trasy narciarskiej wykorzystuje się od 10 do 20 takich wytwornic.

Liczne wynalazki w zakresie budowy wytwornic lodu śnieżnego zmierzają w kierunku zwiększenia efektywności współdziałania wody i powietrza. Przykładowo, opatentowana w USA wytwornica (rys. 3) wyróżnia się wysokim współczynnikiem wykorzystania sprężonego powietrza i dobrze przemyślanym mechanizmem mieszania strumieni. Urządzenie zawiera dwie, zbiegające się pod ostrym kątem, rury dopływu wody i sprężonego powietrza. Na rurach zainstalowano zawory regulacyjne, umożliwiające płynne mieszanie strumieni, bez tworzenia lodu i śniegu na wyjściu z rur. Uzyskana mieszanina jest kierowana do komory wtórnego mieszania, w której na ściankach, pod określonym kątem, zainstalowano eliptyczne odbijacze. Te ostatnie pełnią dwie ważne funkcje: nadają mieszaninie turbulenty ruch wirowy, oraz zatrzymują nadmiar wody podczas przemieszczania się mieszaniny w kierunku czołowej

ściany komory. Po stosunkowo długiej czasowo obecności w komorze, mieszanina spręża się przed nasadką wyjściową i jest kierowana przez nią do atmosfery. W konstrukcji nasadki przewidziano możliwość zmiany stopnia otwarcia otworu wylotowego, w zależności od warunków pogodowych. Całość urządzenia jest zawarta w obudowie izolowanej cieplnie, która chroni wytwornicę od oblodzenia zewnętrznego. Rurki ze sprężonym powietrzem, ułożone wzdłuż wtórnej komory mieszania, służą do ogrzewania szczeliny powietrznej między obudową a ściankami komory.



Rys.3. Schemat ideowy wytwornicy sztucznego śniegu: a) rzut z boku; b) rzut z góry; 1 - rura dopływu wody, 2 - odbijacz, 3 - obudowa izolacyjna, 4 - odbijacze eliptyczne, 5 - wtórna komora mieszania, 6,8 - odgałęzienia od przewodu powietrznego, 7 - nasadka, 9 - podstawa, 10 - dopływ powietrza od sprężarki, 11 - otwory w odbijaczach

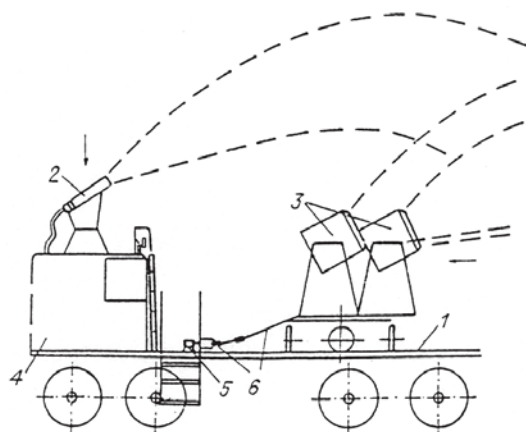
Metody wentylacyjne

Główną tendencją rozwoju współczesnych wytwornic śniegu jest obniżenie zużycia sprężonego powietrza na jednostkę rozpylanej wody, oraz zwiększenie ich wydajności. Pod tym względem przewaga należy do metod wentylacyjnych, w których woda jest rozpylana do silnego strumienia chłodzonego powietrza, wytwarzanego przez turbinę, lub wentylator. Rozróżnia się wytwornice wentylacyjne, w których dyspergowanie wody odbywa się sposobem hydraulicznym, oraz wytwornice pneumohydrauliczne, w których aerozol wodny uzyskuje się za pomocą rozpylaczy pneumohydraulicznych.

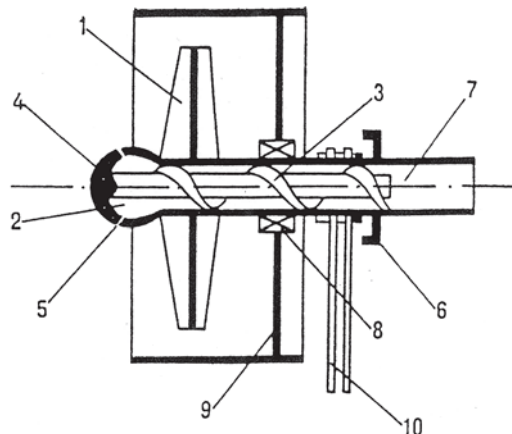
Do pierwszego typu należy wytwornica lodu granulowanego A. Kopotilowa, pokazana na rys. 4. Woda, dostarczana do lufy powietrzno-pianowej pod ciśnieniem $0,5 \dots 0,6 \text{ MPa}$, wypływa z niej z dużą prędkością, przy czym strumień rozbija się na krople o średnicy do $0,2 \text{ mm}$ i jest mieszany z powietrzem, zasysanym przez otwory dysz wtryskowych. Powstałe w ten sposób strugi powietrzno-wodne unoszone są przez strumień "zimnego" powietrza od wentylatorów, czego skutkiem jest intensywne wymieszanie rozpylanej wody z "zimnym" powietrzem atmosferycznym.

Inna wytwornica, zaproponowana przez K. Mechowa, składa się z korpusu cylindrycznego i wentylatora z wydrążonym wirnikiem-opływką, na obwodzie którego zainstalowano dysze rozpylające. Mechanizm do stworzenia naporu wody i wentylator stanowią jeden blok. Do środka wału wentylatora wbudowano ślimak, który działa jako pompa

śrubowa, zapewniając niezbędne ciśnienie w dyszach. Rozpylona i zawirowana struga wody trafia do strumienia powietrza, tłoczonego przez wentylator. Proces ten przebiega z wysoką intensywnością wymiany ciepła i masy. Dzięki temu, wytwornica charakteryzuje się obniżonym zużyciem energii na produkcję 1 kg śniegu (lodu granulowanego). Gęstość produkowanego śniegu w temperaturze $-16^{\circ}\text{C} \dots -20^{\circ}\text{C}$ wynosi $450 \dots 470 \text{ kg/m}^3$. Niedostatkim wszystkich wentylacyjnych wytwornic hydraulicznych jest niska temperatura zamarzania aerozolu wodnego.



Rys.4. Schemat ideowy wytwornicy lodu granulowanego: 1 - podwozie, 2 - lufy powietrzno-pianowe do rozpylania wody, 3 - wentylatory osiowe, 4 - izolowana cieplnie kabina, 5 - silnik, 6 - system obracania wentylatorów w płaszczyźnie poziomej



Rys.5. Wytwornica lodu granulowanego: 1 - wirnik wentylatora, 2 - wydrążony wał wirnika, 3 - ślimak, 4 - opływka, 5 - dysze rozpylaczy, 6 - uszczelka, 7 - rurciąg, 8 - łożysko wirnika, 9 - pierścień, 10 - przekładnia pasowa

Wytwornice pneumohydrauliczne różnią się od poprzednich tym, że w strumień powietrza o niskim ciśnieniu, oprócz rozpylonej wody, przez pneumohydrauliczne rozpylacze wprowadzane są zarodki krystalizacji, które inicjują zamarzanie aerozolu wodnego. Na tej zasadzie działają urządzenia produkowane seryjnie w Austrii, Niemczech i Rosji. Wytwornica śniegu firmy "Hammerle" posiada wydajność masową $37 \text{ m}^3/\text{h}$, przy temperaturze -8°C i wilgotności względnej 90%. Gęstość pro-

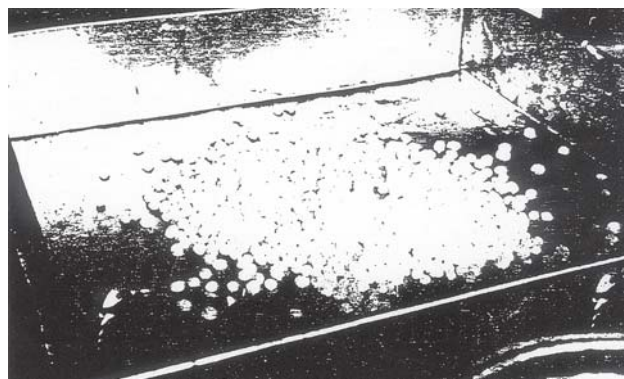
dukowanego śniegu wynosi 420 kg/m^3 . Jednym z największych w Europie producentów wytwornic śniegu jest włoska firma "Technoalpin" z Bolcano. Oferuje ona 9 modeli mobilnych wytwornic różnej wydajności, które zawierają od 5 do 12 dysz nieregulowanych i od 5 do 12 dysz regulowanych. Urządzenie może pracować w szerokim zakresie wahań ciśnienia wody (od 8 do 40 atm.), jest ono wyposażone we własną stację meteorologiczną, jego sprężarka nie zużywa oleju i nie potrzebuje obsługi.

Do wytwarzania śniegu o jeszcze mniejszej gęstości, którego parametry są zbliżone do śniegu naturalnego, stosowane są rury aerodynamiczne. Jednakże urządzenia te posiadają niską wydajność, charakteryzują się skomplikowaną budową i licznym wyposażeniem dodatkowym. Więcej informacji na temat konstrukcji wytwornic lodu o sypkiej strukturze zawiera monografia G. Smorygina.

Zupełnie inne środki techniczne stosowane są w celu wytwarzania gradu, czyli lodu granulowanego o średnicy kulek powyżej 1 mm. Wirowa wytwornica lodu, zaprojektowana w Instytucie Naukowo-Badawczym Hydrotechniki (ВНИИГ) w Sankt-Petersburgu, pozwala produkować grad z regulacją wymiarów kulek lodowych od 1,5 do 3 mm, przy wydajności do 10 kg/h (rys. 6).



Rys. 6. Wytwornica sztucznego śniegu włoskiej firmy "Technoalpin" w działaniu



Rys.7. Lód granulowany, uzyskany w wytwornicy ВНИИГ