

Naziemna produkcja sztucznego śniegu

Sylwester Arabas

Seminarium Studenckie Fizyki Atmosfery, Instytut Geofizyki, Wydział Fizyki UW



6 czerwca 2007 r.

Plan Prezentacji

1 Fizyka procesu produkcji

- Proces krok po kroku
- Różnice pomiędzy sztucznym i naturalnym śniegiem

2 Sztuczny śnieg w praktyce

- Skala produkcji
- Źródła wody i energii
- Poprawianie wydajności produkcji

3 Wpływ na środowisko naturalne

- Kontekst atmosferyczno-hydrologiczny
- Pozostałe oddziaływanie

4 Aktualia

- Wielka debata EGU
- Projekt SEASALT



Inspiracja

We must curtail
the use of artificial snow
Wielka debata EGU (Wiedeń, kwiecień 2007)



Plan Prezentacji

1 Fizyka procesu produkcji

- Proces krok po kroku
- Różnice pomiędzy sztucznym i naturalnym śniegiem

2 Sztuczny śnieg w praktyce

- Skala produkcji
- Źródła wody i energii
- Poprawianie wydajności produkcji

3 Wpływ na środowisko naturalne

- Kontekst atmosferyczno-hydrologiczny
- Pozostałe oddziaływanie

4 Aktualia

- Wielka debata EGU
- Projekt SEASALT



Proces krok po kroku

- rozpylanie wody ciekłej strugą sprężonego powietrza
- obniżenie temperatury gazu:



- krystalizacja na jądrach krystalizacji
~~ oddanie ciepła krystalizacji
- wypadanie kryształków



Proces krok po kroku



- rozpylanie wody ciekłej strugą sprężonego powietrza
- obniżenie temperatury gazu:

 - zwiększenie napięcia powierzchniowego
 - zmniejszenie ilości wolnych elektronów
 - zmniejszenie ilości wolnych cząstek

- krystalizacja na jądrach krystalizacji
~~ oddanie ciepła krystalizacji
- wypadanie kryształków



Proces krok po kroku



- rozpylanie wody ciekłej strugą sprężonego powietrza
- obniżenie temperatury gazu:
 - gwałtowne rozprężanie gazu po opuszczeniu dyszy
 - parowanie kropelek wody
~~ pobranie ciepła parowania
- krystalizacja na jądrach krystalizacji
~~ oddanie ciepła krystalizacji
 - wysokotemperaturowe ICN: np. białka pochodzenia bakteryjnego
 - niskotemperaturowe ICN: minerały i muł z wody górskiej, pyły
- wypadanie kryształków

Proces krok po kroku

- rozpylanie wody ciekłej strugą sprężonego powietrza
- obniżenie temperatury gazu:
 - gwałtowne rozprzepianie gazu po opuszczeniu dyszy
 - parowanie kropelek wody
~~ pobrańcie ciepła parowania
- krystalizacja na jądrach krystalizacji
~~ oddanie ciepła krystalizacji
 - wysokotemperaturowe ICN: np. białka pochodzenia bakteryjnego
 - niskotemperaturowe ICN: minerały i muł z wody górskiej, pyły
- wypadanie kryształków



Proces krok po kroku



- rozpylanie wody ciekłej strugą sprężonego powietrza
- obniżenie temperatury gazu:
 - gwałtowne rozprężanie gazu po opuszczeniu dyszy
 - parowanie kropelek wody
~~ pobrańcie ciepła parowania
- krystalizacja na jądrach krystalizacji
~~ oddanie ciepła krystalizacji
 - wysokotemperaturowe ICN: np. białka pochodzenia bakteryjnego
 - niskotemperaturowe ICN: minerały i muł z wody górskiej, pyły
- wypadanie kryształków

Proces krok po kroku



- rozpylanie wody ciekłej strugą sprężonego powietrza
- obniżenie temperatury gazu:
 - gwałtowne rozprężanie gazu po opuszczeniu dyszy
 - parowanie kropelek wody
~~ pobranie ciepła parowania
- krystalizacja na jądrach krystalizacji
~~ oddanie ciepła krystalizacji
 - wysokotemperaturowe ICN: np. białka pochodzenia bakteryjnego
 - niskotemperaturowe ICN: minerały i muł z wody górskiej, pyły
- wypadanie kryształków

Proces krok po kroku



- rozpylanie wody ciekłej strugą sprężonego powietrza
- obniżenie temperatury gazu:
 - gwałtowne rozprężanie gazu po opuszczeniu dyszy
 - parowanie kropelek wody
~~ **pobranie ciepła parowania**
- krystalizacja na jądrach krystalizacji
~~ **oddanie ciepła krystalizacji**
- wysokotemperaturowe ICN: np. białka pochodzenia bakteryjnego
- niskotemperaturowe ICN: minerały i muł z wody górskiej, pyły
- wypadanie kryształków

Proces krok po kroku



- rozpylanie wody ciekłej strugą sprężonego powietrza
- obniżenie temperatury gazu:
 - gwałtowne rozprężanie gazu po opuszczeniu dyszy
 - parowanie kropelek wody
~~ **pobranie ciepła parowania**
- krystalizacja na jądrach krystalizacji
~~ **oddanie ciepła krystalizacji**
 - wysokotemperaturowe ICN: np. białka pochodzenia bakteryjnego
 - niskotemperaturowe ICN: minerały i muł z wody górskiej, pyły
- wypadanie kryształków

Proces krok po kroku



- rozpylanie wody ciekłej strugą sprężonego powietrza
- obniżenie temperatury gazu:
 - gwałtowne rozprężanie gazu po opuszczeniu dyszy
 - parowanie kropelek wody
~~ **pobranie ciepła parowania**
- krystalizacja na jądrach krystalizacji
~~ **oddanie ciepła krystalizacji**
 - wysokotemperaturowe ICN: np. białka pochodzenia bakteryjnego
 - niskotemperaturowe ICN: minerały i muł z wody górskiej, pyły
- wypadanie kryształków

Proces krok po kroku



- rozpylanie wody ciekłej strugą sprężonego powietrza
- obniżenie temperatury gazu:
 - gwałtowne rozprężanie gazu po opuszczeniu dyszy
 - parowanie kropelek wody
~~ **pobranie ciepła parowania**
- krystalizacja na jądrach krystalizacji
~~ **oddanie ciepła krystalizacji**
 - wysokotemperaturowe ICN: np. białka pochodzenia bakteryjnego
 - niskotemperaturowe ICN: minerały i muł z wody górskiej, pyły
- wypadanie kryształków

Proces krok po kroku

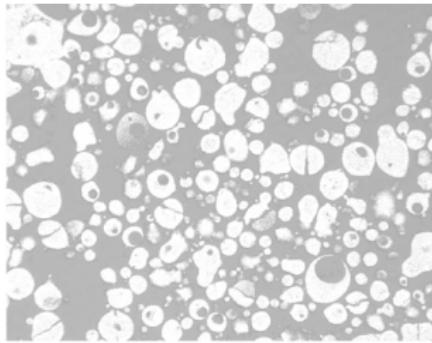


- rozpylanie wody ciekłej strugą sprężonego powietrza
- obniżenie temperatury gazu:
 - gwałtowne rozprężanie gazu po opuszczeniu dyszy
 - parowanie kropelek wody
~~ **pobranie ciepła parowania**
- krystalizacja na jądrach krystalizacji
~~ **oddanie ciepła krystalizacji**
 - wysokotemperaturowe ICN: np. białka pochodzenia bakteryjnego
 - niskotemperaturowe ICN: minerały i muł z wody górskiej, pyły
- wypadanie kryształków

Różnice pomiędzy sztucznym i naturalnym śniegiem

Jednorodność form krystalizacji

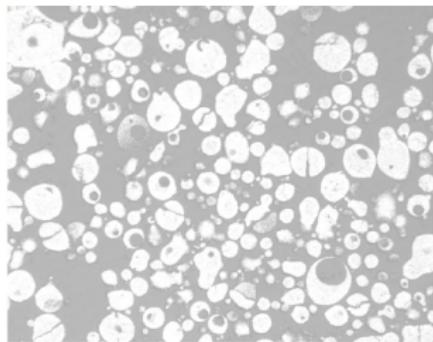
W przeciwieństwie do naturalnego śniegu, śnieg sztuczny nie przyjmuje różnorodnych form, opada w postaci **kulistych ziaren**.



Różnice pomiędzy sztucznym i naturalnym śniegiem

Jednorodność form krystalizacji

W przeciwieństwie do naturalnego śniegu, śnieg sztuczny nie przyjmuje różnorodnych form, opada w postaci **kulistych ziaren**.



Skład chemiczny

źródło: Fauve et al. 2002

Naziemna produkcja sztucznego śniegu

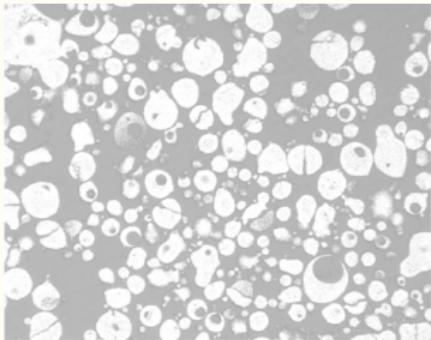


Różnice pomiędzy sztucznym i naturalnym śniegiem

Jednorodność form krystalizacji

W przeciwieństwie do naturalnego śniegu, śnieg sztuczny nie przyjmuje różnorodnych form, opada w postaci **kulistych ziaren**.

0.03mm x 2mm x 2mm



Skład chemiczny

źródło: Fauve et al. 2002

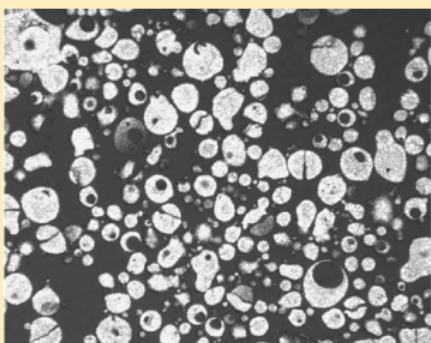


Różnice pomiędzy sztucznym i naturalnym śniegiem

Jednorodność form krystalizacji

W przeciwieństwie do naturalnego śniegu, śnieg sztuczny nie przyjmuje różnorodnych form, opada w postaci **kulistych ziaren**.

0.03mm x 2mm x 2mm



źródło: Fauve et al. 2002

Skład chemiczny

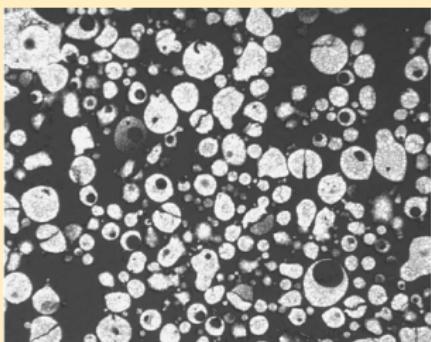


Różnice pomiędzy sztucznym i naturalnym śniegiem

Jednorodność form krystalizacji

W przeciwieństwie do naturalnego śniegu, śnieg sztuczny nie przyjmuje różnorodnych form, opada w postaci **kulistych ziaren**.

0.03mm x 2mm x 2mm



źródło: Fauve et al. 2002

Skład chemiczny

- woda pobierana ze strumieni i jezior górskich
- bogata w składniki mineralne i np. muł.
- sztuczne dodatki bogate w jądra krystalizacji

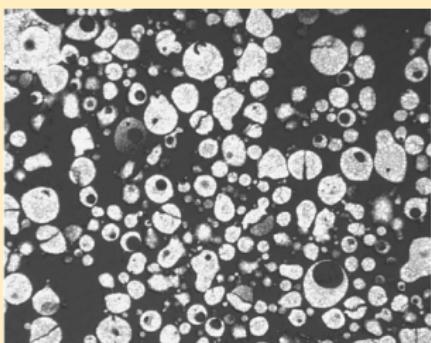


Różnice pomiędzy sztucznym i naturalnym śniegiem

Jednorodność form krystalizacji

W przeciwieństwie do naturalnego śniegu, śnieg sztuczny nie przyjmuje różnorodnych form, opada w postaci **kulistych ziaren**.

0.03mm x 2mm x 2mm



źródło: Fauve et al. 2002

Skład chemiczny

- woda pobierana ze strumieni i jezior górskich
- bogata w składniki mineralne i np. muł.
- sztuczne dodatki bogate w jądra krystalizacji

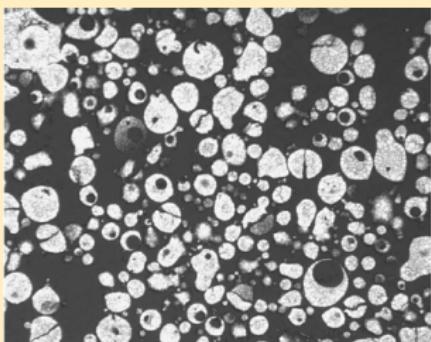


Różnice pomiędzy sztucznym i naturalnym śniegiem

Jednorodność form krystalizacji

W przeciwieństwie do naturalnego śniegu, śnieg sztuczny nie przyjmuje różnorodnych form, opada w postaci **kulistych ziaren**.

$0.03\text{mm} \times 2\text{mm} \times 2\text{mm}$



źródło: Fauve et al. 2002

Skład chemiczny

- woda pobierana ze strumieni i jezior górskich
- bogata w składniki mineralne i np. muł.
- sztuczne dodatki bogate w jądra krystalizacji

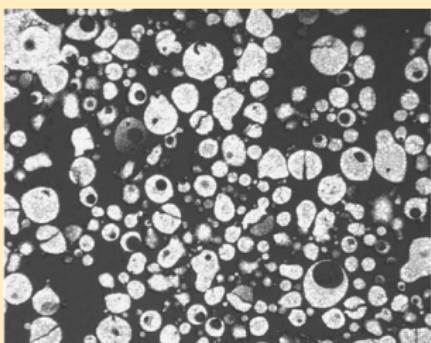


Różnice pomiędzy sztucznym i naturalnym śniegiem

Jednorodność form krystalizacji

W przeciwieństwie do naturalnego śniegu, śnieg sztuczny nie przyjmuje różnorodnych form, opada w postaci **kulistych ziaren**.

$0.03\text{mm} \times 2\text{mm} \times 2\text{mm}$



źródło: Fauve et al. 2002

Skład chemiczny

- woda pobierana ze strumieni i jezior górskich
- bogata w składniki mineralne i np. muł.
- sztuczne dodatki bogate w jądra krystalizacji

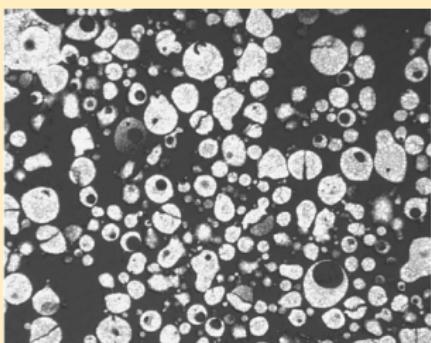


Różnice pomiędzy sztucznym i naturalnym śniegiem

Jednorodność form krystalizacji

W przeciwieństwie do naturalnego śniegu, śnieg sztuczny nie przyjmuje różnorodnych form, opada w postaci **kulistych ziaren**.

$0.03\text{mm} \times 2\text{mm} \times 2\text{mm}$



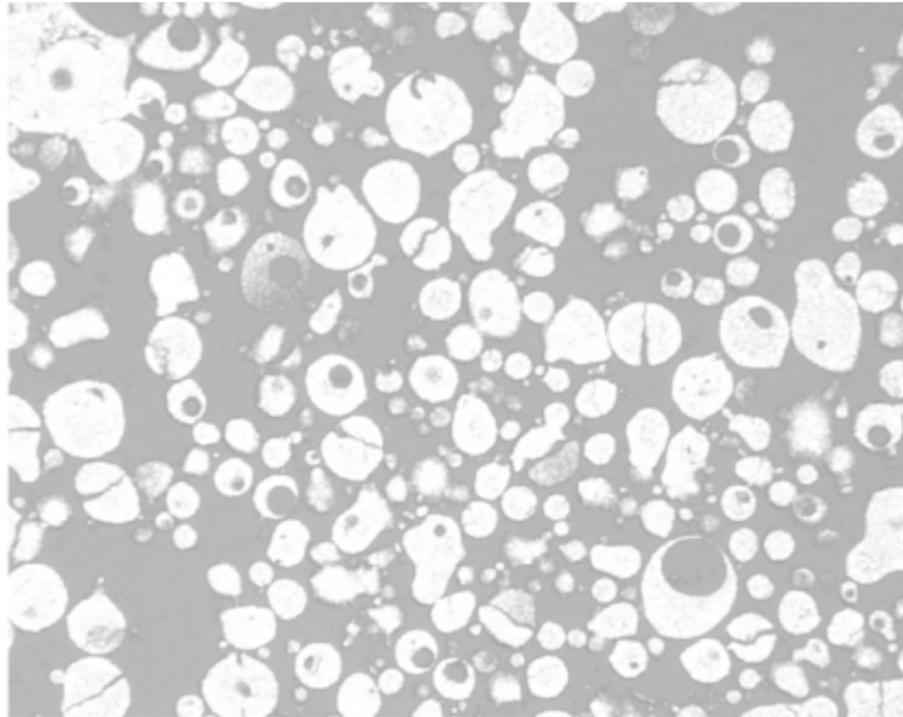
źródło: Fauve et al. 2002

Skład chemiczny

- woda pobierana ze strumieni i jezior górskich
- bogata w składniki mineralne i np. muł.
- sztuczne dodatki bogate w jądra krystalizacji



Skamieniałe zimne śniegi



pęknięcia w
ziarnach
(zmiany
ciśnienia
podczas
zamarzania)

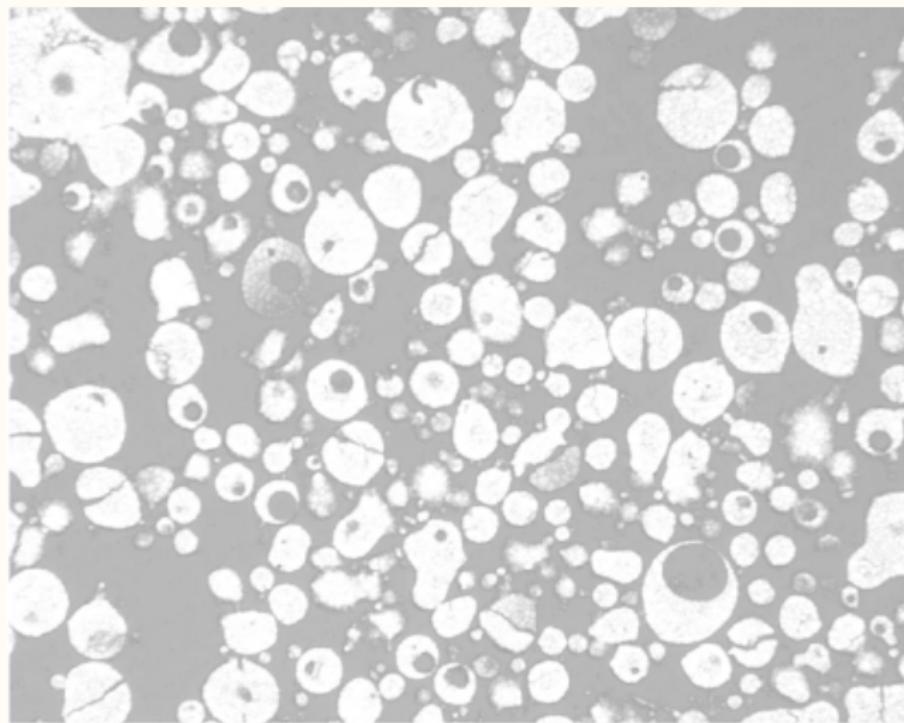
ciekła woda
wewnętrz
ziaren

źródło: Fauve et al. 2002

Naziemna produkcja sztucznego śniegu



0.03mm x 2mm x 2mm



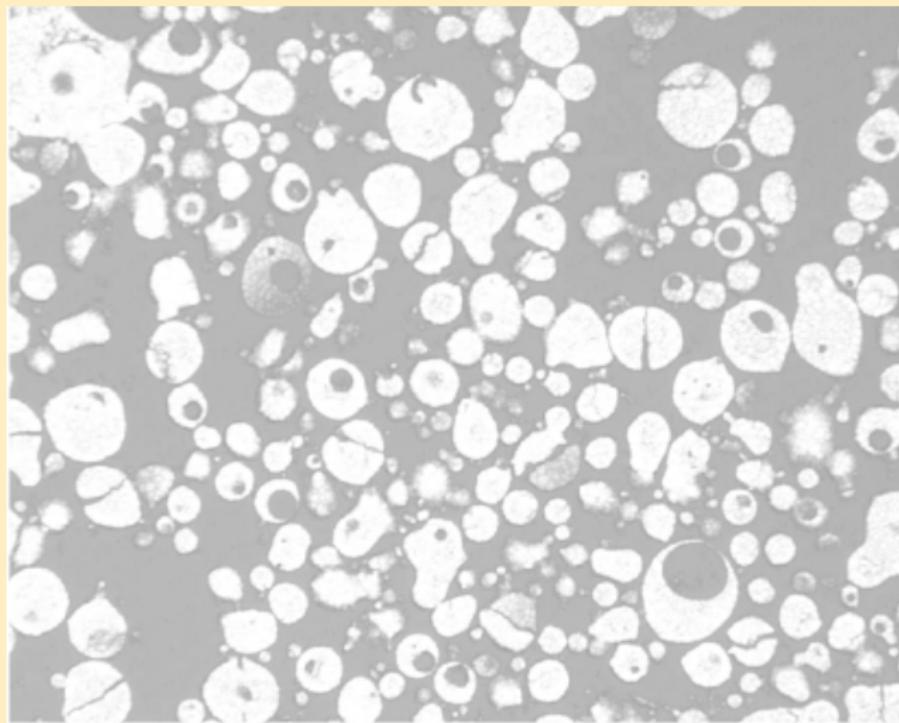
źródło: Fauve et al. 2002

pęknięcia w
ziarnach
(zmiany
ciśnienia
podczas
zamarzania)

ciekła woda
wewnętrz
ziaren



0.03mm x 2mm x 2mm



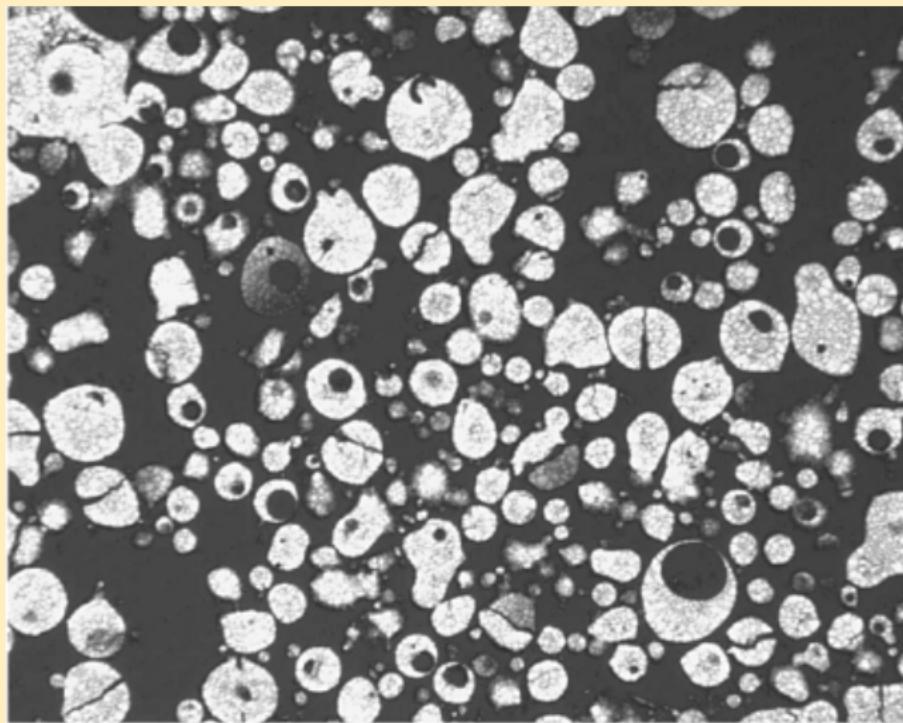
źródło: Fauve et al. 2002

pęknięcia w
ziarnach
(zmiany
ciśnienia
podczas
zamarzania)

ciekła woda
wewnętrz
ziaren



0.03mm x 2mm x 2mm



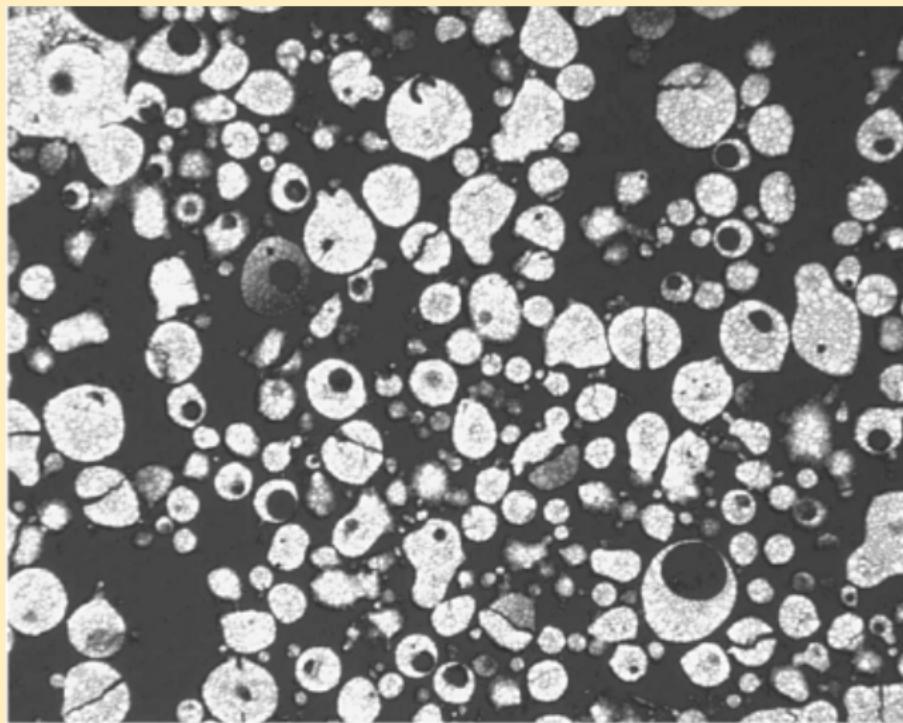
źródło: Fauve et al. 2002

pęknięcia w
ziarnach
(zmiany
ciśnienia
podczas
zamarzania)

ciekła woda
wewnętrz
ziaren



0.03mm x 2mm x 2mm



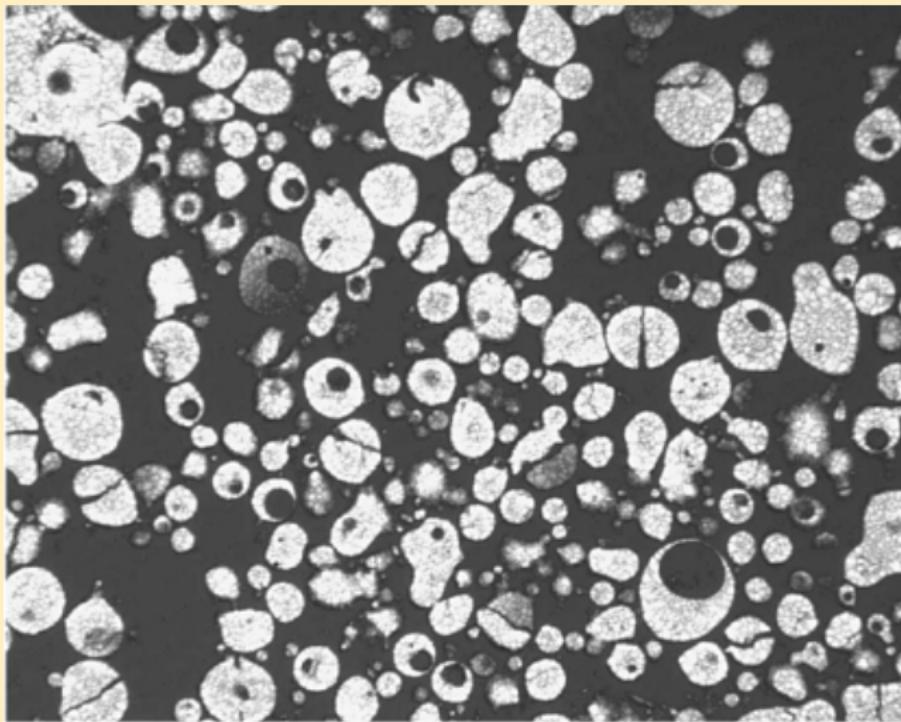
źródło: Fauve et al. 2002

pęknięcie w
ziarnach
(zmiany
ciśnienia
podczas
zamarzania)

ciekła woda
wewnętrz
ziaren



$0.03\text{mm} \times 2\text{mm} \times 2\text{mm}$



źródło: Fauve et al. 2002

pęknięcia w
ziarnach
(zmiany
ciśnienia
podczas
zamarzania)

ciekła woda
wewnętrz
ziaren



Różnice w składzie chemicznym

	Artificial snow	Natural snow
Electrical conductivity (μS)	61 ± 30	15 ± 7
Ca^{2-} (mg l^{-1})	5.34 ± 3.12	0.71 ± 0.51
K^{-} (mg l^{-1})	0.75 ± 0.43	0.75 ± 0.28
Mg^{2-} (mg l^{-1})	1.28 ± 1.32	0.09 ± 0.06
Na^{-} (mg l^{-1})	2.18 ± 2.23	1.03 ± 0.46
Cl^{-} (mg l^{-1})	3.12 ± 4.31	1.18 ± 0.69
SO_4^{2-} (mg l^{-1})	6.38 ± 5.84	0.47 ± 0.20
NO_3^{-} (mg l^{-1})	0.64 ± 0.26	0.53 ± 0.21
NH_4^{+} (mg l^{-1})	0.01 ± 0.06	0.14 ± 0.06

Na podstawie pomiarów wody wytopionej z próbek śniegu z 10 szwajcarskich kurortów narciarskich.

źródło: Rixen et al. 2003



Plan Prezentacji

1 Fizyka procesu produkcji

- Proces krok po kroku
- Różnice pomiędzy sztucznym i naturalnym śniegiem

2 Sztuczny śnieg w praktyce

- Skala produkcji
- Źródła wody i energii
- Poprawianie wydajności produkcji

3 Wpływ na środowisko naturalne

- Kontekst atmosferyczno-hydrologiczny
- Pozostałe oddziaływanie

4 Aktualia

- Wielka debata EGU
- Projekt SEASALT



Skala produkcji

Europa: 240 km² naśnieżanych stoków, przykłady (ilość armatek śnieżnych):



Pireneje, 1 grudnia 2006,

źródło: www.cctv.com

USA: 90% kurortów posiada instalacje naśnieżające (Rixen et al., 2003)



źródło: www.all-mountain.com



Naziemna produkcja sztucznego śniegu

Skala produkcji

Europa: 240 km^2 naśnieżanych stoków, przykłady (ilość armatek śnieżnych):

- Les Trois Vallées: 1900 (Wikipedia)
- Alpe d'Huez: 790 (ski-france.com)
- Paradiski (La Plagne/Les Arcs): 560 (paradiski.com)
- Chamonix: 400 (ski-france.com)
- l'Espace Killy (Tignes/Val d'Isère): 330 (ski-france.com)

USA: 90% kurortów posiada instalacje naśnieżające (Rixen et al. 2003)



Pireneje, 1 grudnia 2006,

źródło: www.cctv.com



źródło: [www.all-mountain.com](http://all-mountain.com)



Naziemna produkcja sztucznego śniegu

Skala produkcji

Europa: 240 km² naśnieżanych stoków, przykłady (ilość armatek śnieżnych):

- Les Trois Vallées: 1900 (Wikipedia)
- Alpe d'Huez: 790 (ski-france.com)
- Paradiski (La Plagne/Les Arcs): 560 (paradiski.com)
- Chamonix: 400 (ski-france.com)
- l'Espace Killy (Tignes/Val d'Isère): 330 (ski-france.com)

USA: 90% kurortów posiada instalacje naśnieżające (Rixen et al. 2003)



Pireneje, 1 grudnia 2006,

źródło: www.cctv.com



źródło: [www.all-mountain.com](http://all-mountain.com)

Naziemna produkcja sztucznego śniegu



Skala produkcji

Europa: 240 km² naśnieżanych stoków, przykłady (ilość armatek śnieżnych):

- Les Trois Vallées: **1900** (Wikipedia)
- Alpe d'Huez: **790** (ski-france.com)
- Paradiski (La Plagne/Les Arcs): **560** (paradiski.com)
- Chamonix: **400** (ski-france.com)
- l'Espace Killy (Tignes/Val d'Isère): **330** (ski-france.com)

USA: 90% kurortów posiada instalacje naśnieżające (Rixen et al. 2003)



Pireneje, 1 grudnia 2006.

źródło: www.cctv.com



źródło: www.all-mountain.com

Naziemna produkcja sztucznego śniegu



Skala produkcji

Europa: 240 km² naśnieżanych stoków, przykłady (ilość armatek śnieżnych):

- Les Trois Vallées: **1900** (Wikipedia)
- Alpe d'Huez: **790** (ski-france.com)
- Paradiski (La Plagne/Les Arcs): **560** (paradiski.com)
- Chamonix: **400** (ski-france.com)
- l'Espace Killy (Tignes/Val d'Isère): **330** (ski-france.com)

USA: 90% kurortów posiada instalacje naśnieżające (Rixen et al. 2003)



Pireneje, 1 grudnia 2006.

źródło: www.cctv.com



źródło: www.all-mountain.com



Naziemna produkcja sztucznego śniegu

Skala produkcji

Europa: 240 km² naśnieżanych stoków, przykłady (ilość armatek śnieżnych):

- Les Trois Vallées: **1900** (Wikipedia)
- Alpe d'Huez: **790** (ski-france.com)
- Paradiski (La Plagne/Les Arcs): **560** (paradiski.com)
- Chamonix: **400** (ski-france.com)
- l'Espace Killy (Tignes/Val d'Isère): **330** (ski-france.com)

USA: 90% kurortów posiada instalacje naśnieżające (Rixen et al. 2003)



Pireneje, 1 grudnia 2006.

źródło: www.cctv.com



źródło: www.all-mountain.com

Naziemna produkcja sztucznego śniegu



Skala produkcji

Europa: 240 km² naśnieżanych stoków, przykłady (ilość armatek śnieżnych):

- Les Trois Vallées: **1900** (Wikipedia)
 - Alpe d'Huez: **790** (ski-france.com)
 - Paradiski (La Plagne/Les Arcs):
560 (paradiski.com)
 - Chamonix: **400** (ski-france.com)
 - l'Espace Killy (Tignes/Val d'Isère):
330 (ski-france.com)

USA: 90% kurortów posiada instalacje naśieżające (Rixen et al. 2003)



Skala produkcji

Europa: 240 km² naśnieżanych stoków, przykłady (ilość armatek śnieżnych):

- Les Trois Vallées: **1900** (Wikipedia)
 - Alpe d'Huez: **790** (ski-france.com)
 - Paradiski (La Plagne/Les Arcs):
560 (paradiski.com)
 - Chamonix: **400** (ski-france.com)
 - l'Espace Killy (Tignes/Val d'Isère):
330 (ski-france.com)

USA: 90% kurortów posiada instalacje naśieżające (Rixen et al. 2003)



Naziemna produkcja sztucznego śniegu

Skala produkcji

Europa: 240 km² naśnieżanych stoków, przykłady (ilość armatek śnieżnych):

- Les Trois Vallées: **1900** (Wikipedia)
 - Alpe d'Huez: **790** (ski-france.com)
 - Paradiski (La Plagne/Les Arcs):
560 (paradiski.com)
 - Chamonix: **400** (ski-france.com)
 - l'Espace Killy (Tignes/Val d'Isère):
330 (ski-france.com)

USA: 90% kurortów posiada instalacje naśieżające (Rixen et al. 2003)



Naziemna produkcja sztucznego śniegu

Skala produkcji

Europa: 240 km^2 naśnieżanych stoków, przykłady (ilość armatek śnieżnych):

- Les Trois Vallées: **1900** (Wikipedia)
- Alpe d'Huez: **790** (ski-france.com)
- Paradiski (La Plagne/Les Arcs): **560** (paradiski.com)
- Chamonix: **400** (ski-france.com)
- l'Espace Killy (Tignes/Val d'Isère): **330** (ski-france.com)

USA: 90% kurortów posiada instalacje naśnieżające (Rixen et al. 2003)



Pireneje, 1 grudnia 2006;

źródło: www.cctv.com



źródło: www.all-mountain.com



Naziemna produkcja sztucznego śniegu

Skala produkcji

Europa: 240 km^2 naśnieżanych stoków, przykłady (ilość armatek śnieżnych):

- Les Trois Vallées: **1900** (Wikipedia)
- Alpe d'Huez: **790** (ski-france.com)
- Paradiski (La Plagne/Les Arcs): **560** (paradiski.com)
- Chamonix: **400** (ski-france.com)
- l'Espace Killy (Tignes/Val d'Isère): **330** (ski-france.com)

USA: 90% kurortów posiada instalacje naśnieżające (Rixen et al. 2003)



Pireneje, 1 grudnia 2006;

źródło: www.cctv.com



źródło: www.all-mountain.com



Źródła wody i energii

Źródła wody

- celowo budowane zbiorniki górskie
- naturalne strumienie i jeziora
- wodociągi!

Zużycie energii

kilka TWh na sezon w Alpach – rząd wielkości mniej niż roczna produkcja elektrowni atomowej (ekstrapolacja na podstawie danych oecd.org)



Źródła wody i energii

Źródła wody

- celowo budowane zbiorniki górskie
- naturalne strumienie i jeziora
- wodociągi!

Zużycie energii

kilka TWh na sezon w Alpach – rząd wielkości mniej niż roczna produkcja elektrowni atomowej (ekstrapolacja na podstawie danych oecd.org)



Źródła wody i energii

Źródła wody

- celowo budowane zbiorniki górskie
- naturalne strumienie i jeziora
- wodociągi!

Zużycie energii

kilka TWh na sezon w Alpach – rząd wielkości mniej niż roczna produkcja elektrowni atomowej (ekstrapolacja na podstawie danych oecd.org)



Źródła wody i energii

Źródła wody

- celowo budowane zbiorniki górskie
- naturalne strumienie i jeziora
- wodociągi!

Zużycie energii

kilka TWh na sezon w Alpach – rząd wielkości mniej niż roczna produkcja elektrowni atomowej (ekstrapolacja na podstawie danych oecd.org)



Źródła wody i energii

Źródła wody

- celowo budowane zbiorniki górskie
- naturalne strumienie i jeziora
- wodociągi!

Zużycie energii

kilka TWh na sezon w Alpach – rząd wielkości mniej niż roczna produkcja elektrowni atomowej (ekstrapolacja na podstawie danych oecd.org)



Poprawianie wydajności produkcji

Warunek temperatury minimalnej

Teoretycznie zbliżony do $T_w < 0^\circ C$. Możliwa produkcja przy dodatnich temperaturach!

Czynniki wpływające na wydajność/możliwość produkcji

- temperatura otoczenia
- wilgotność otoczenia ($\pm 4^\circ K$)
- parametry strugi (temperatura wody, stopień sprężenia)
- rozkład wielkości kropel ($\pm 2^\circ K$)
- koncentracja i rodzaj jąder krystalizacji ($\pm 3^\circ K$)

W nawiasach podane skale zmienności temperatury minimalnej w pełnym zakresie zmienności parametru



Poprawianie wydajności produkcji

Warunek temperatury minimalnej

Teoretycznie zbliżony do $T_w < 0^\circ C$. Możliwa produkcja przy dodatnich temperaturach!

Czynniki wpływające na wydajność/możliwość produkcji

- temperatura otoczenia
- wilgotność otoczenia ($\pm 4^\circ K$)
- parametry strugi (temperatura wody, stopień sprężenia)
- rozkład wielkości kropel ($\pm 2^\circ K$)
- koncentracja i rodzaj jąder krystalizacji ($\pm 3^\circ K$)

W nawiasach podane skale zmienności temperatury minimalnej w pełnym zakresie zmienności parametru



Poprawianie wydajności produkcji

Warunek temperatury minimalnej

Teoretycznie zbliżony do $T_w < 0^\circ C$. Możliwa produkcja przy dodatnich temperaturach!

Czynniki wpływające na wydajność/możliwość produkcji

- temperatura otoczenia
- wilgotność otoczenia ($\pm 4^\circ K$)
- parametry strugi (temperatura wody, stopień sprężenia)
- rozkład wielkości kropel ($\pm 2^\circ K$)
- koncentracja i rodzaj jąder krystalizacji ($\pm 3^\circ K$)

W nawiasach podane skale zmienności temperatury minimalnej w pełnym zakresie zmienności parametru



Poprawianie wydajności produkcji

Warunek temperatury minimalnej

Teoretycznie zbliżony do $T_w < 0^\circ C$. Możliwa produkcja przy dodatnich temperaturach!

Czynniki wpływające na wydajność/możliwość produkcji

- temperatura otoczenia
- wilgotność otoczenia ($\pm 4^\circ K$)
- parametry strugi (temperatura wody, stopień sprężenia)
- rozkład wielkości kropel ($\pm 2^\circ K$)
- koncentracja i rodzaj jąder krystalizacji ($\pm 3^\circ K$)

W nawiasach podane skale zmienności temperatury minimalnej w pełnym zakresie zmienności parametru



Poprawianie wydajności produkcji

Warunek temperatury minimalnej

Teoretycznie zbliżony do $T_w < 0^\circ C$. Możliwa produkcja przy dodatnich temperaturach!

Czynniki wpływające na wydajność/możliwość produkcji

- temperatura otoczenia
- wilgotność otoczenia ($\pm 4^\circ K$)
- parametry strugi (temperatura wody, stopień sprężenia)
- rozkład wielkości kropel ($\pm 2^\circ K$)
- koncentracja i rodzaj jąder krystalizacji ($\pm 3^\circ K$)

W nawiasach podane skale zmienności temperatury minimalnej w pełnym zakresie zmienności parametru



Poprawianie wydajności produkcji

Warunek temperatury minimalnej

Teoretycznie zbliżony do $T_w < 0^\circ C$. Możliwa produkcja przy dodatnich temperaturach!

Czynniki wpływające na wydajność/możliwość produkcji

- temperatura otoczenia
- wilgotność otoczenia ($\pm 4^\circ K$)
- parametry strugi (temperatura wody, stopień sprężenia)
- rozkład wielkości kropel ($\pm 2^\circ K$)
- koncentracja i rodzaj jąder krystalizacji ($\pm 3^\circ K$)

W nawiasach podane skale zmienności temperatury minimalnej w pełnym zakresie zmienności parametru



Poprawianie wydajności produkcji

Warunek temperatury minimalnej

Teoretycznie zbliżony do $T_w < 0^\circ C$. Możliwa produkcja przy dodatnich temperaturach!

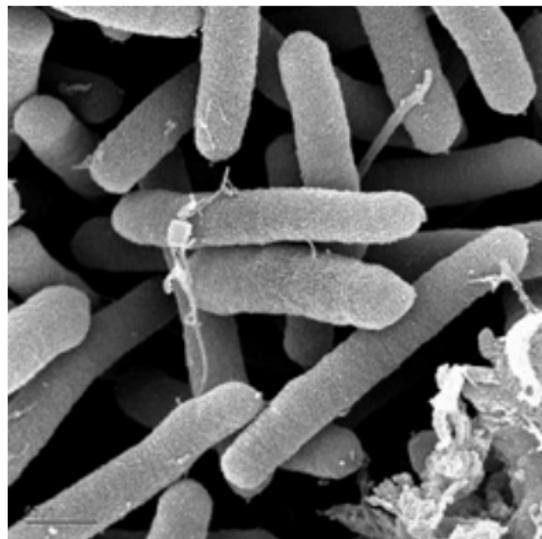
Czynniki wpływające na wydajność/możliwość produkcji

- temperatura otoczenia
- wilgotność otoczenia ($\pm 4^\circ K$)
- parametry strugi (temperatura wody, stopień sprężenia)
- rozkład wielkości kropel ($\pm 2^\circ K$)
- koncentracja i rodzaj jąder krystalizacji ($\pm 3^\circ K$)

W nawiasach podane skale zmienności temperatury minimalnej w pełnym zakresie zmienności parametru



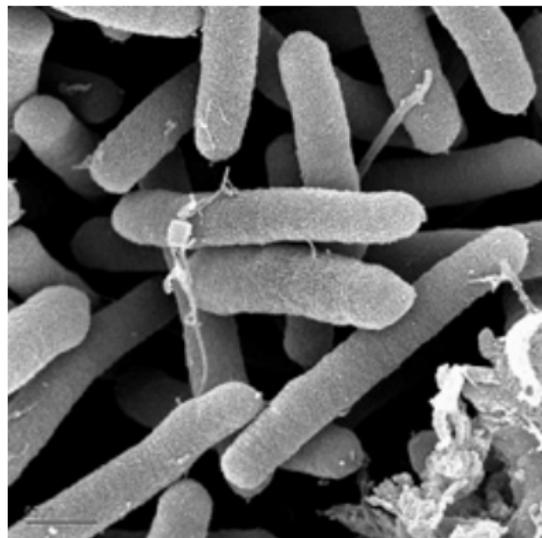
Pseudomonas syringae / Snomax®



University of California



Pseudomonas syringae / Snomax®

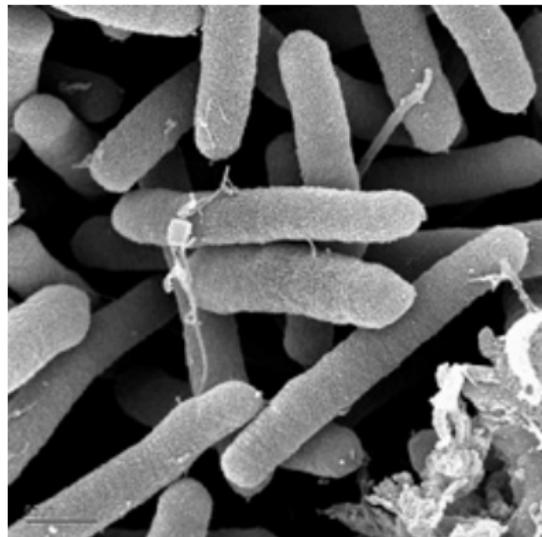


University of California



Naziemna produkcja sztucznego śniegu

Pseudomonas syringae / Snomax®



University of California



Naziemna produkcja sztucznego śniegu

Pseudomonas syringae / Snomax®

Potencjalne zagrożenia

Użycie zakazane w Niemczech i we Włoszech, w Szwajcarii i Austrii
zależnie od regionu. Masowo używany m.in. we Francji i USA



Krystalizacja na Snomax (czarna plamka w środku)

źródło: Scientific American Jan 07 /

SNOMAX Technologies



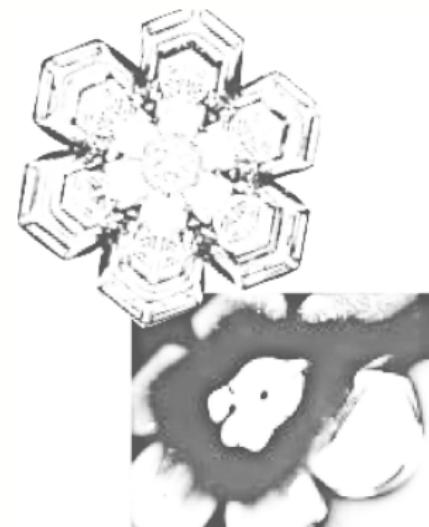
Naziemna produkcja sztucznego śniegu

Pseudomonas syringae / Snomax®

Potencjalne zagrożenia

- rozpylana bakteria chorobotwórcza
- nieskuteczna sterylizacja
- toksyny powstałe po sterylizacji
- osiadanie na roślinach ~ wzmożone zamarzanie

Użycie zakazane w Niemczech i we Włoszech, w Szwajcarii i Austrii zależnie od regionu. Masowo używany m.in. we Francji i USA



Krystalizacja na Snomax (czarna plamka w środku)

źródło: Scientific American Jan 07 /

SNOMAX Technologies

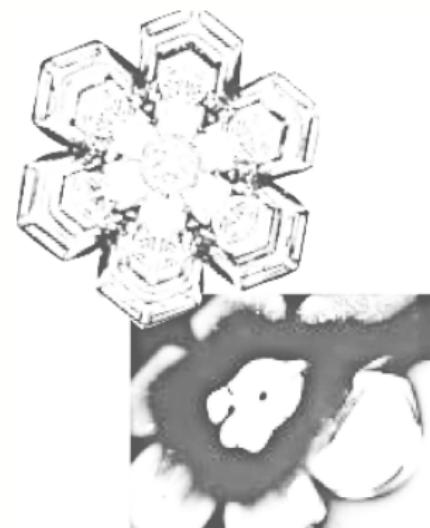


Pseudomonas syringae / Snomax®

Potencjalne zagrożenia

- rozpylana bakteria chorobotwórcza
- nieskuteczna sterylizacja
- toksyny powstałe po sterylizacji
- osiadanie na roślinach ~ wzmożone zamarzanie

Użycie zakazane w Niemczech i we Włoszech, w Szwajcarii i Austrii zależnie od regionu. Masowo używany m.in. we Francji i USA



Krystalizacja na Snomax (czarna plamka w środku)

źródło: Scientific American Jan 07 /

SNOMAX Technologies



Naziemna produkcja sztucznego śniegu

Pseudomonas syringae / Snomax®

Potencjalne zagrożenia

- rozpylana bakteria chorobotwórcza
- nieskuteczna sterylizacja
- toksyny powstałe po sterylizacji
- osiadanie na roślinach ~> wzmożone zamarzanie

Użycie zakazane w Niemczech i we Włoszech, w Szwajcarii i Austrii zależnie od regionu. Masowo używany m.in. we Francji i USA



Krystalizacja na Snomax (czarna plamka w środku)

źródło: Scientific American Jan 07 /

SNOMAX Technologies



Naziemna produkcja sztucznego śniegu

Pseudomonas syringae / Snomax®

Potencjalne zagrożenia

- rozpylana bakteria chorobotwórcza
- nieskuteczna sterylizacja
- toksyny powstałe po sterylizacji
- osiadanie na roślinach ~> wzmożone zamarzanie

Użycie zakazane w Niemczech i we Włoszech, w Szwajcarii i Austrii zależnie od regionu. Masowo używany m.in. we Francji i USA



Krystalizacja na Snomax (czarna plamka w środku)

źródło: Scientific American Jan 07 /

SNOMAX Technologies



Pseudomonas syringae / Snomax®

Potencjalne zagrożenia

- rozpylana bakteria chorobotwórcza
- nieskuteczna sterylizacja
- toksyny powstałe po sterylizacji
- osiadanie na roślinach ↵
wzmożone zamarzanie

Użycie zakazane w Niemczech i we Włoszech, w Szwajcarii i Austrii zależnie od regionu. Masowo używany m.in. we Francji i USA



Krystalizacja na Snomax (czarna plamka w środku)

źródło: Scientific American Jan 07 /

SNOMAX Technologies



Pseudomonas syringae / Snomax®

Potencjalne zagrożenia

- rozpylana bakteria chorobotwórcza
- nieskuteczna sterylizacja
- toksyny powstałe po sterylizacji
- osiadanie na roślinach ~ wzmożone zamarzanie

Użycie zakazane w Niemczech i we Włoszech, w Szwajcarii i Austrii zależnie od regionu. Masowo używany m.in. we Francji i USA



Krystalizacja na Snomax (czarna plamka w środku)

źródło: Scientific American Jan 07 /

SNOMAX Technologies



Pseudomonas syringae / Snomax®

Potencjalne zagrożenia

- rozpylana bakteria chorobotwórcza
- nieskuteczna sterylizacja
- toksyny powstałe po sterylizacji
- osiadanie na roślinach ~ wzmożone zamarzanie

Użycie zakazane w Niemczech i we Włoszech, w Szwajcarii i Austrii zależnie od regionu. Masowo używany m.in. we Francji i USA



Krystalizacja na Snomax (czarna plamka w środku)

źródło: Scientific American Jan 07 /

SNOMAX Technologies



Pseudomonas syringae / Snomax®

Potencjalne zagrożenia

- rozpylana bakteria chorobotwórcza
- nieskuteczna sterylizacja
- toksyny powstałe po sterylizacji
- osiadanie na roślinach ~ wzmożone zamarzanie

Użycie zakazane w Niemczech i we Włoszech, w Szwajcarii i Austrii zależnie od regionu. Masowo używany m.in. we Francji i USA



Krystalizacja na Snomax (czarna plamka w środku)

źródło: Scientific American Jan 07 /

SNOMAX Technologies



Pseudomonas syringae / Snomax®

Potencjalne zagrożenia

- rozpylana bakteria chorobotwórcza
- nieskuteczna sterylizacja
- toksyny powstałe po sterylizacji
- osiadanie na roślinach ~ wzmożone zamarzanie

Użycie zakazane w Niemczech i we Włoszech, w Szwajcarii i Austrii zależnie od regionu. Masowo używany m.in. we Francji i USA



Krystalizacja na Snomax (czarna plamka w środku)

źródło: Scientific American Jan 07 /

SNOMAX Technologies



Plan Prezentacji

1 Fizyka procesu produkcji

- Proces krok po kroku
- Różnice pomiędzy sztucznym i naturalnym śniegiem

2 Sztuczny śnieg w praktyce

- Skala produkcji
- Źródła wody i energii
- Poprawianie wydajności produkcji

3 Wpływ na środowisko naturalne

- Kontekst atmosferyczno-hydrologiczny
- Pozostałe oddziaływanie

4 Aktualia

- Wielka debata EGU
- Projekt SEASALT



Kontekst atmosferyczno-hydrologiczny

Ubytek wody z ekosystemów górskich

- sztuczne naśnieżanie obejmuje aktualnie około 240km^2 powierzchni stoków w Alpach
- zużycie wody: 10^9 litrów na sezon w Alpach
- do $\frac{1}{3}$ z tej wody wyparowuje
- liczby te stale rosną



Kontekst atmosferyczno-hydrologiczny

Ubytek wody z ekosystemów górskich

- sztuczne naśnieżanie obejmuje aktualnie około 240km^2 powierzchni stoków w Alpach
- zużycie wody: 10^9 litrów na sezon w Alpach
- do $\frac{1}{3}$ z tej wody wyparowuje
- liczby te stale rosną



Kontekst atmosferyczno-hydrologiczny

Ubytek wody z ekosystemów górskich

- sztuczne naśnieżanie obejmuje aktualnie około 240km^2 powierzchni stoków w Alpach
- zużycie wody: 10^9 litrów na sezon w Alpach
 - do $\frac{1}{3}$ z tej wody wyparowuje
 - liczby te stale rosną



Kontekst atmosferyczno-hydrologiczny

Ubytek wody z ekosystemów górskich

- sztuczne naśnieżanie obejmuje aktualnie około 240km^2 powierzchni stoków w Alpach
- zużycie wody: 10^9 litrów na sezon w Alpach
- do $\frac{1}{3}$ z tej wody wyparowuje
- liczby te stale rosną



Kontekst atmosferyczno-hydrologiczny

Ubytek wody z ekosystemów górskich

- sztuczne naśnieżanie obejmuje aktualnie około 240km^2 powierzchni stoków w Alpach
- zużycie wody: 10^9 litrów na sezon w Alpach
- do $\frac{1}{3}$ z tej wody wyparowuje
- liczby te stale rosną



Pozostałe oddziaływanie

Wpływ na florę i glebę górską

- – dłuższe okres utrzymywania się pokrywy śnieżnej (do 4 tygodni)
~~ skrócenie okresu wegetacji
- ± rozpylanie wody bogatej w minerały ~~ nawożenie
- + lepsza ochrona stoków górskich przed turystami
- gęstszy śnieg
 - – większa przewodność cieplna ~~ słabsza ochrona terminca
 - – mniejsza przepuszczalność gazów ~~ brak wentylacji, rozwój pleśni



Pozostałe oddziaływanie

Wpływ na florę i glebę górską

- – dłuższe okres utrzymywania się pokrywy śnieżnej (do 4 tygodni)
~~ skrócenie okresu wegetacji
- ± rozpylanie wody bogatej w minerały ~~ nawożenie
- + lepsza ochrona stoków górskich przed turystami
- gęstszy śnieg
 - – większa przewodność cieplna ~~ słabsza ochrona terminca
 - – mniejsza przepuszczalność gazów ~~ brak wentylacji, rozwój pleśni



Pozostałe oddziaływanie

Wpływ na florę i glebę górską

- – dłuższe okres utrzymywania się pokrywy śnieżnej (do 4 tygodni)
~~ skrócenie okresu wegetacji
- ± rozpylanie wody bogatej w minerały ~~ nawożenie
- + lepsza ochrona stoków górskich przed turystami
- gęstszy śnieg
 - – większa przewodność cieplna ~~ słabsza ochrona terminca
 - – mniejsza przepuszczalność gazów ~~ brak wentylacji, rozwój pleśni



Pozostałe oddziaływanie

Wpływ na florę i glebę górską

- – dłuższe okres utrzymywania się pokrywy śnieżnej (do 4 tygodni)
~~ skrócenie okresu wegetacji
- ± rozpylanie wody bogatej w minerały ~~ nawożenie
- + lepsza ochrona stoków górskich przed turystami
- gęstszy śnieg
 - – większa przewodność cieplna ~~ słabsza ochrona terminca
 - – mniejsza przepuszczalność gazów ~~ brak wentylacji, rozwój pleśni



Pozostałe oddziaływanie

Wpływ na florę i glebę górską

- — dłuższe okres utrzymywania się pokrywy śnieżnej (do 4 tygodni)
~~ skrócenie okresu wegetacji
- ± rozpylanie wody bogatej w minerały ~~ nawożenie
- + lepsza ochrona stoków górskich przed turystami
- gęstszy śnieg
 - — większa przewodność cieplna ~~ słabsza ochrona terminca
 - — mniejsza przepuszczalność gazów ~~ brak wentylacji, rozwój pleśni



Pozostałe oddziaływanie

Wpływ na florę i glebę górską

- — dłuższe okres utrzymywania się pokrywy śnieżnej (do 4 tygodni)
~~ skrócenie okresu wegetacji
- ± rozpylanie wody bogatej w minerały ~~ nawożenie
- + lepsza ochrona stoków górskich przed turystami
- gęstszy śnieg
 - — większa przewodność cieplna ~~ słabsza ochrona terminca
 - — mniejsza przepuszczalność gazów ~~ brak wentylacji, rozwój pleśni



Pozostałe oddziaływanie

Wpływ na florę i glebę górską

- – dłuższe okres utrzymywania się pokrywy śnieżnej (do 4 tygodni)
~~ skrócenie okresu wegetacji
- ± rozpylanie wody bogatej w minerały ~~ nawożenie
- + lepsza ochrona stoków górskich przed turystami
- gęstszy śnieg
 - – większa przewodność cieplna ~~ słabsza ochrona terminca
 - – mniejsza przepuszczalność gazów ~~ brak wentylacji, rozwój pleśni



Plan Prezentacji

1 Fizyka procesu produkcji

- Proces krok po kroku
- Różnice pomiędzy sztucznym i naturalnym śniegiem

2 Sztuczny śnieg w praktyce

- Skala produkcji
- Źródła wody i energii
- Poprawianie wydajności produkcji

3 Wpływ na środowisko naturalne

- Kontekst atmosferyczno-hydrologiczny
- Pozostałe oddziaływanie

4 Aktualia

- Wielka debata EGU
- Projekt SEASALT



Wielka debata EGU (Wiedeń, kwiecień 2007)

We must curtail the use of artificial snow

European Geosciences Union
General Assembly 2007



The use of artificial snow [...] is seriously damaging the environment and putting pressure on water reserves, scientists said this week. [...] Up to a third of water used evaporates and drifts to other regions.

źródło: Artificial snow causes real problems, Telegraph.co.uk 21/04/2007

To make artificial snow all day long and during the whole season is just completely irresponsible for our climate [...] by spraying it [water] through the air to create the snow, around one third of the water evaporated, forming clouds that often travelled to other regions [...] "This could also have an enormous impact on the Mediterranean Sea if river discharges continue to fall"

Artificial snow harms Alpine water system. Reuters 18/04/2007

Naziemna produkcja sztucznego śniegu



Wielka debata EGU (Wiedeń, kwiecień 2007)

We must curtail the use of artificial snow

European Geosciences Union
General Assembly 2007



The use of artificial snow [...] is seriously damaging the environment and putting pressure on water reserves, scientists said this week. [...] Up to a third of water used evaporates and drifts to other regions.

źródło: Artificial snow causes real problems, Telegraph.co.uk 21/04/2007

To make artificial snow all day long and during the whole season is just completely irresponsible for our climate [...] by spraying it [water] through the air to create the snow, around one third of the water evaporated, forming clouds that often travelled to other regions [...] "This could also have an enormous impact on the Mediterranean Sea if river discharges continue to fall"

Artificial snow harms Alpine water system. Reuters 18/04/2007

Naziemna produkcja sztucznego śniegu



Wielka debata EGU (Wiedeń, kwiecień 2007)

We must curtail the use of artificial snow

European Geosciences Union
General Assembly 2007



The use of artificial snow [...] is seriously damaging the environment and putting pressure on water reserves, scientists said this week. [...] Up to a third of water used evaporates and drifts to other regions.

źródło: Artificial snow causes real problems, Telegraph.co.uk 21/04/2007

To make artificial snow all day long and during the whole season is just completely irresponsible for our climate [...] by spraying it [water] through the air to create the snow, around one third of the water evaporated, forming clouds that often travelled to other regions [...] "This could also have an enormous impact on the Mediterranean Sea if river discharges continue to fall"

Artificial snow harms Alpine water system, Reuters 18/04/2007



Wielka debata EGU (Wiedeń, kwiecień 2007)

We must curtail the use of artificial snow

European Geosciences Union
General Assembly 2007



The use of artificial snow [...] is seriously damaging the environment and putting pressure on water reserves, scientists said this week. [...] Up to a third of water used evaporates and drifts to other regions.

źródło: Artificial snow causes real problems, Telegraph.co.uk 21/04/2007

To make artificial snow all day long and during the whole season is just completely irresponsible for our climate [...] by spraying it [water] through the air to create the snow, around one third of the water evaporated, forming clouds that often travelled to other regions [...] "This could also have an enormous impact on the Mediterranean Sea if river discharges continue to fall"

Artificial snow harms Alpine water system, Reuters 18/04/2007



Wielka debata EGU (Wiedeń, kwiecień 2007)

We must curtail the use of artificial snow

European Geosciences Union
General Assembly 2007



The use of artificial snow [...] is seriously damaging the environment and putting pressure on water reserves, scientists said this week. [...] Up to a third of water used evaporates and drifts to other regions.

źródło: Artificial snow causes real problems, Telegraph.co.uk 21/04/2007

To make artificial snow all day long and during the whole season is just completely irresponsible for our climate [...] by spraying it [water] through the air to create the snow, around one third of the water evaporated, forming clouds that often travelled to other regions [...] "This could also have an enormous impact on the Mediterranean Sea if river discharges continue to fall"

Artificial snow harms Alpine water system, Reuters 18/04/2007



Wielka debata EGU (Wiedeń, kwiecień 2007)

We must curtail the use of artificial snow

European Geosciences Union
General Assembly 2007



The use of artificial snow [...] is seriously damaging the environment and putting pressure on water reserves, scientists said this week. [...] Up to a third of water used evaporates and drifts to other regions.

źródło: Artificial snow causes real problems, Telegraph.co.uk 21/04/2007

To make artificial snow all day long and during the whole season is just completely irresponsible for our climate [...] by spraying it [water] through the air to create the snow, around one third of the water evaporated, forming clouds that often travelled to other regions [...] "This could also have an enormous impact on the Mediterranean Sea if river discharges continue to fall"

Artificial snow harms Alpine water system, Reuters 18/04/2007





źródło: www.galisoft-lb.ch



Projekt SEASALT

Signatures of Evaporation of Artificial Snow in Alpine LT

aplikacja o godziny lotów w
EUFARze w ramach E&T
ew. loty w zimie 2007/2008



Signatures of Evaporation of Artificial Snow in Alpine Lower Troposphere

Samolet: FUB Cesna 207



Cele pomiarów

sygnatury produkcji sztucznego śniegu w niższych warstwach troposfery i analiza koncentracji aerozoli nad kurortami narciarskimi

Pomiarы

DLR hygrometer ensemble
czujnik optyczny punktu rosy
czujnik pojemnościowy
czujnik Lyman-Alpha
POLIS - ground looking LIDAR
parametry meteorologiczne
Naziemna produkcja sztucznego śniegu



Projekt SEASALT

Signatures of Evaporation of Artificial Snow in Alpine LT

aplikacja o godziny lotów w
EUFARze w ramach E&T
ew. loty w zimie 2007/2008



Signatures of Evaporation of Artificial Snow in Alpine Lower Troposphere

Samolot: FUB Cessna 207



Cele pomiarów

sygnatury produkcji sztucznego śniegu w niższych warstwach troposfery i analiza koncentracji aerozoli nad kurortami narciarskimi

Pomiarы

DLR hygrometer ensemble
czujnik optyczny punktu rosy
czujnik pojemnościowy
czujnik Lyman-Alpha
POLIS - ground looking LIDAR
parametry meteorologiczne
Naziemna produkcja sztucznego śniegu



Projekt SEASALT

Signatures of Evaporation of Artificial Snow in Alpine LT

aplikacja o godziny lotów w
EUFARze w ramach E&T
ew. loty w zimie 2007/2008



Signatures of Evaporation of Artificial Snow in Alpine Lower Troposphere

Samolot: FUB Cessna 207



Cele pomiarów

sygnatury produkcji sztucznego śniegu w niższych warstwach troposfery i analiza koncentracji aerozoli nad kurortami narciarskimi

Pomiarы

DLR hygrometer ensemble

czujnik optyczny punktu rosy

czujnik pojemnościowy

czujnik Lyman-Alpha

POLIS - ground looking LIDAR

parametry meteorologiczne



Naziemna produkcja sztucznego śniegu

Projekt SEASALT

Signatures of Evaporation of Artificial Snow in Alpine LT

aplikacja o godziny lotów w
EUFARze w ramach E&T
ew. loty w zimie 2007/2008

Cele pomiarów

sygnatury produkcji sztucznego
śniegu w niższych warstwach
troposfery i analiza koncentracji
aerozoli nad kurortami
narciarskimi



Signatures of Evaporation of Artificial Snow in Alpine Lower Troposphere

Samolot: FUB Cessna 207



Pomiarы

DLR hygrometer ensemble
czujnik optyczny punktu rosy
czujnik pojemnościowy
czujnik Lyman-Alpha
POLIS - ground looking LIDAR
parametry meteorologiczne



Projekt SEASALT

Signatures of Evaporation of Artificial Snow in Alpine LT

aplikacja o godziny lotów w
EUFARze w ramach E&T
ew. loty w zimie 2007/2008



Signatures of Evaporation of Artificial Snow in Alpine Lower Troposphere

Samolot: FUB Cessna 207



Cele pomiarów

sygnatury produkcji sztucznego śniegu w niższych warstwach troposfery i analiza koncentracji aerozoli nad kurortami narciarskimi

Pomiarы

DLR hygrometer ensemble
czujnik optyczny punktu rosy
czujnik pojemnościowy
czujnik Lyman-Alpha
POLIS - ground looking LIDAR
parametry meteorologiczne



Projekt SEASALT

Signatures of Evaporation of Artificial Snow in Alpine LT

aplikacja o godziny lotów w EUFARze w ramach E&T
ew. loty w zimie 2007/2008



Signatures of Evaporation of Artificial Snow in Alpine Lower Troposphere

Samolot: FUB Cessna 207



Cele pomiarów

sygnatury produkcji sztucznego śniegu w niższych warstwach troposfery i analiza koncentracji aerozoli nad kurortami narciarskimi

Pomiary

DLR hygrometer ensemble
czujnik optyczny punktu rosy
czujnik pojemnościowy
czujnik Lyman-Alpha
POLIS - ground looking LIDAR
parametry meteorologiczne



Projekt SEASALT

Signatures of Evaporation of Artificial Snow in Alpine LT

aplikacja o godziny lotów w EUFARze w ramach E&T
ew. loty w zimie 2007/2008



Signatures of Evaporation of Artificial Snow in Alpine Lower Troposphere

Samolot: FUB Cessna 207



Cele pomiarów

sygnatury produkcji sztucznego śniegu w niższych warstwach troposfery i analiza koncentracji aerozoli nad kurortami narciarskimi

Pomiarы

DLR hygrometer ensemble
czujnik optyczny punktu rosy
czujnik pojemnościowy
czujnik Lyman-Alpha
POLIS - ground looking LIDAR
parametry meteorologiczne



Dziękuję za uwagę!



Źródła

- Wipf S. et al. (2005) *Effects of ski piste preparation on alpine vegetation*, Journal of Applied Ecology 42
- Rixen Ch, Stoeckli V., Ammann W (2003) *Does artificial snow production affect soil and vegetation of ski pistes? A review*, Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics 5
- Bravard J.P., *Impacts of climate change on the management of upland waters: the Rhone river case*, Rhone Watershed Workshop
- de Jong C., Rixen Ch., Baumgartner Ch., Arndt N.: European Geosciences Union General Assembly 2007 Great Debate: *We must curtail the use of artificial snow*
- Brown R. (1997) *Working Knowledge: Man-made Snow* Scientific American 276
- York Snow Inc. *YorkSnow Education*, www.yorksnow.com/education
- Wikipedia - The On-line Encyclopedia, www.wikipedia.org

Źródła

- Wipf S. et al. (2005) *Effects of ski piste preparation on alpine vegetation*, Journal of Applied Ecology 42
- Rixen Ch, Stoeckli V., Ammann W (2003) *Does artificial snow production affect soil and vegetation of ski pistes? A review*, Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics 5
- Bravard J.P., *Impacts of climate change on the management of upland waters: the Rhone river case*, Rhone Watershed Workshop
- de Jong C., Rixen Ch., Baumgartner Ch., Arndt N.: European Geosciences Union General Assembly 2007 Great Debate: *We must curtail the use of artificial snow*
- Brown R. (1997) *Working Knowledge: Man-made Snow* Scientific American 276
- York Snow Inc. *YorkSnow Education*, www.yorksnow.com/education
- Wikipedia - The On-line Encyclopedia, www.wikipedia.org

Źródła

- Wipf S. et al. (2005) *Effects of ski piste preparation on alpine vegetation*, Journal of Applied Ecology 42
- Rixen Ch, Stoeckli V., Ammann W (2003) *Does artificial snow production affect soil and vegetation of ski pistes? A review*, Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics 5
- Bravard J.P., *Impacts of climate change on the management of upland waters: the Rhone river case*, Rhone Watershed Workshop
- de Jong C., Rixen Ch., Baumgartner Ch., Arndt N.: European Geosciences Union General Assembly 2007 Great Debate: *We must curtail the use of artificial snow*
- Brown R. (1997) *Working Knowledge: Man-made Snow* Scientific American 276
- York Snow Inc. *YorkSnow Education*, www.yorksnow.com/education
- Wikipedia - The On-line Encyclopedia, www.wikipedia.org



Źródła

- Wipf S. et al. (2005) *Effects of ski piste preparation on alpine vegetation*, Journal of Applied Ecology 42
- Rixen Ch, Stoeckli V., Ammann W (2003) *Does artificial snow production affect soil and vegetation of ski pistes? A review*, Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics 5
- Bravard J.P., *Impacts of climate change on the management of upland waters: the Rhone river case*, Rhone Watershed Workshop
- de Jong C., Rixen Ch., Baumgartner Ch., Arndt N.: European Geosciences Union General Assembly 2007 Great Debate: *We must curtail the use of artificial snow*
- Brown R. (1997) *Working Knowledge: Man-made Snow* Scientific American 276
- York Snow Inc. *YorkSnow Education*, www.yorksnow.com/education
- Wikipedia - The On-line Encyclopedia, www.wikipedia.org



Źródła

- Wipf S. et al. (2005) *Effects of ski piste preparation on alpine vegetation*, Journal of Applied Ecology 42
- Rixen Ch, Stoeckli V., Ammann W (2003) *Does artificial snow production affect soil and vegetation of ski pistes? A review*, Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics 5
- Bravard J.P., *Impacts of climate change on the management of upland waters: the Rhone river case*, Rhone Watershed Workshop
- de Jong C., Rixen Ch., Baumgartner Ch., Arndt N.: European Geosciences Union General Assembly 2007 Great Debate: *We must curtail the use of artificial snow*
- Brown R. (1997) *Working Knowledge: Man-made Snow* Scientific American 276
- York Snow Inc. *YorkSnow Education*, www.yorksnow.com/education
- Wikipedia - The On-line Encyclopedia, www.wikipedia.org



Źródła

- Wipf S. et al. (2005) *Effects of ski piste preparation on alpine vegetation*, Journal of Applied Ecology 42
- Rixen Ch, Stoeckli V., Ammann W (2003) *Does artificial snow production affect soil and vegetation of ski pistes? A review*, Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics 5
- Bravard J.P., *Impacts of climate change on the management of upland waters: the Rhone river case*, Rhone Watershed Workshop
- de Jong C., Rixen Ch., Baumgartner Ch., Arndt N.: European Geosciences Union General Assembly 2007 Great Debate: *We must curtail the use of artificial snow*
- Brown R. (1997) *Working Knowledge: Man-made Snow* Scientific American 276
- York Snow Inc. *YorkSnow Education*, www.yorksnow.com/education
- Wikipedia - The On-line Encyclopedia, www.wikipedia.org



Źródła

- Wipf S. et al. (2005) *Effects of ski piste preparation on alpine vegetation*, Journal of Applied Ecology 42
- Rixen Ch, Stoeckli V., Ammann W (2003) *Does artificial snow production affect soil and vegetation of ski pistes? A review*, Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics 5
- Bravard J.P., *Impacts of climate change on the management of upland waters: the Rhone river case*, Rhone Watershed Workshop
- de Jong C., Rixen Ch., Baumgartner Ch., Arndt N.: European Geosciences Union General Assembly 2007 Great Debate: *We must curtail the use of artificial snow*
- Brown R. (1997) *Working Knowledge: Man-made Snow* Scientific American 276
- York Snow Inc. *YorkSnow Education*, www.yorksnow.com/education
- Wikipedia - The On-line Encyclopedia, www.wikipedia.org

