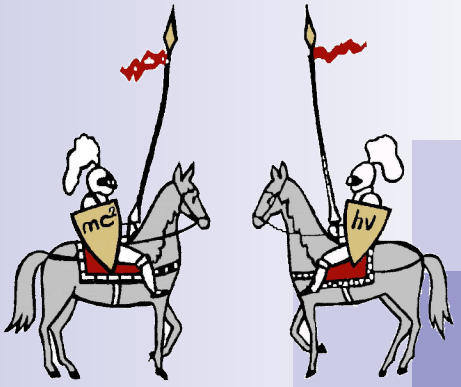


Turniej Młodych Fizyków ’2006

Zadanie №1 “Piana”

Ilja Marczenko,

Wydział Fizyki, Uniwersytet Sankt Petersburgski

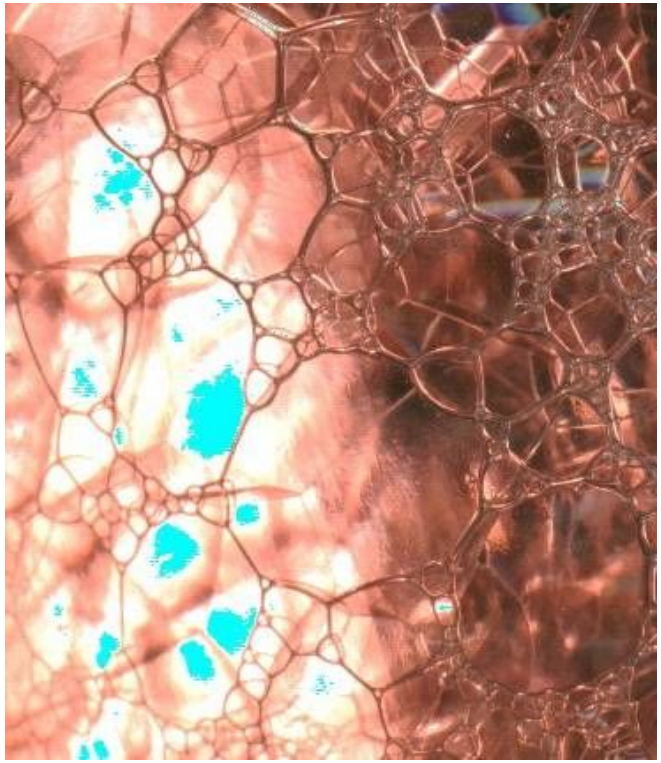
ilyamartch@mail.ru

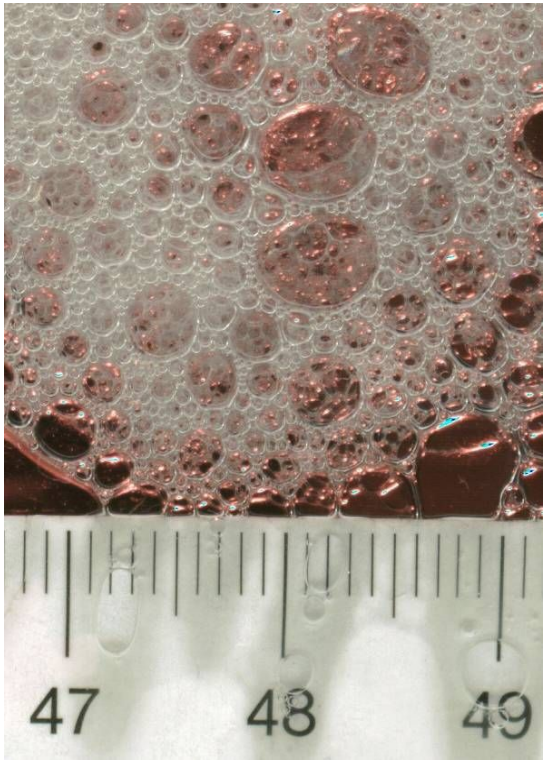
13 lutego 2007 r.

Zadanie №1 «Piana»

- Zbadaj mechanizm zaniku piany na cieczy. W jakich warunkach piana utrzymuje się najdłużej?

Analiza zadania

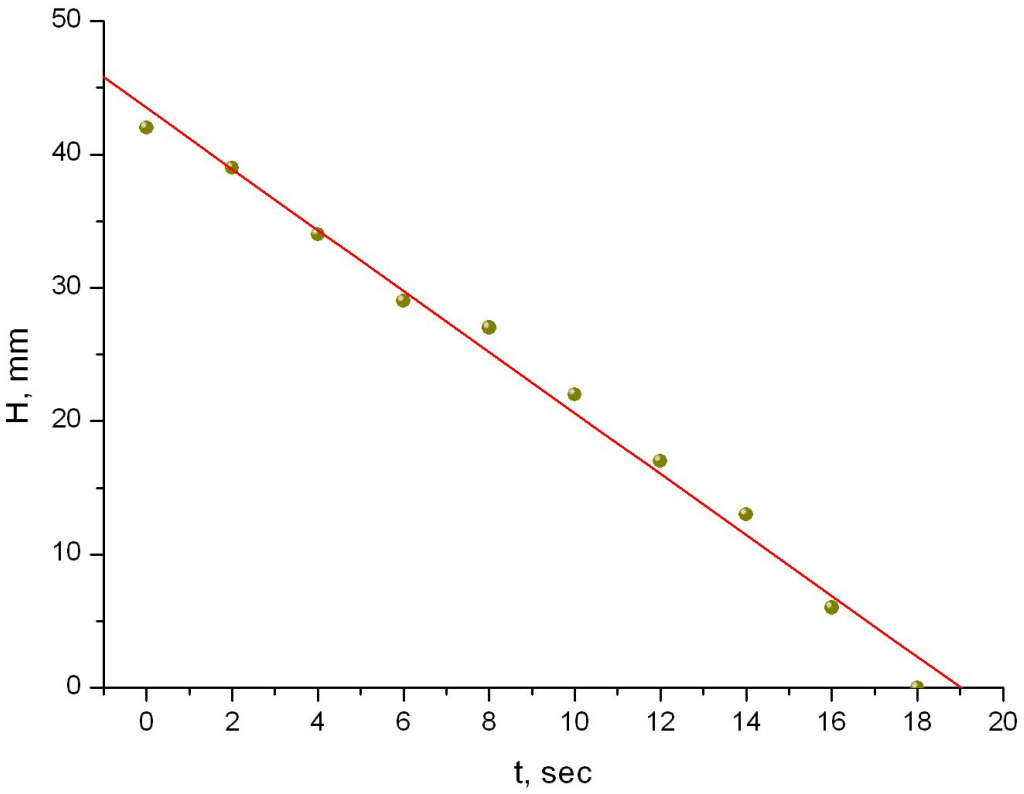




Stabilna piana – zachowuje objętość i wewnętrzną budowę.

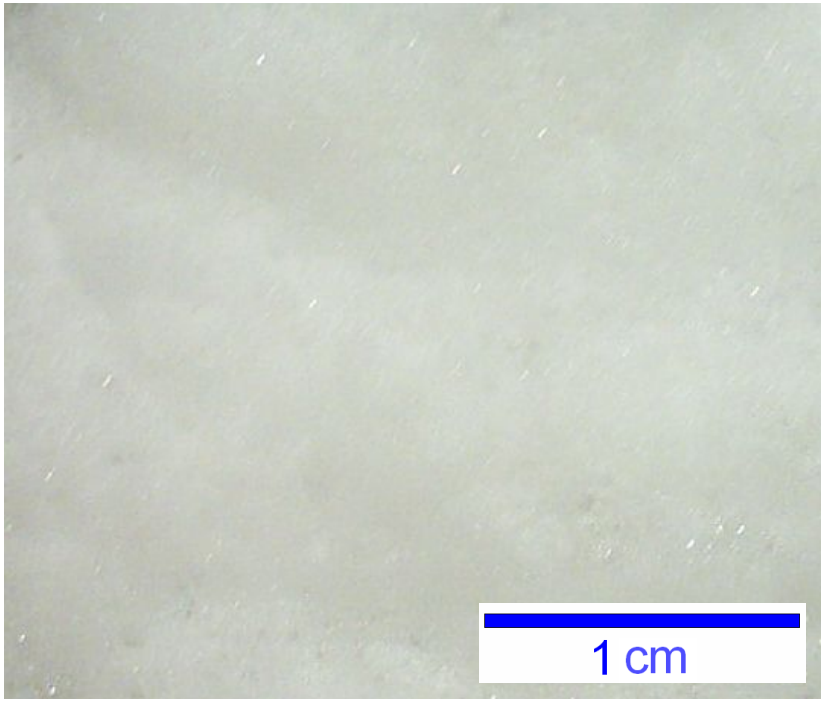
Są suche i wilgotne piany (w zależności od części gazu w pianie).

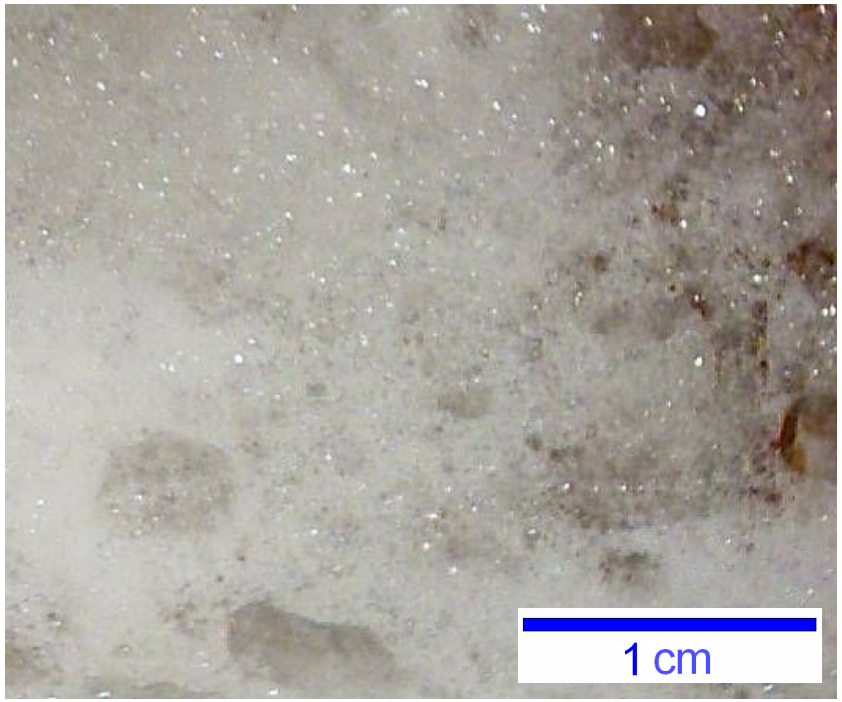
Nietrwała piana napojów gazowanych



- Napoje gazowane nie są liepkie i w nich nie ma sufaktantów.
- Piana trzyma się tylko z powodu wyodrębniania gazu.

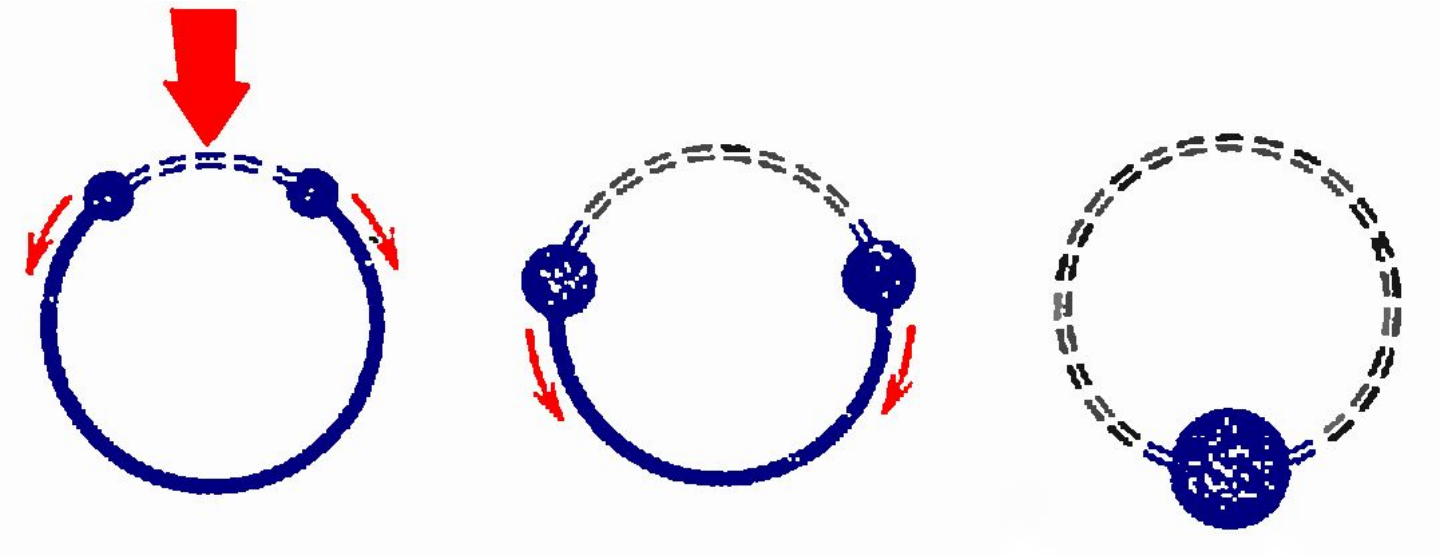
Stabilne i niestabilne piany





- Stabilność pian może być najróżniejsza.

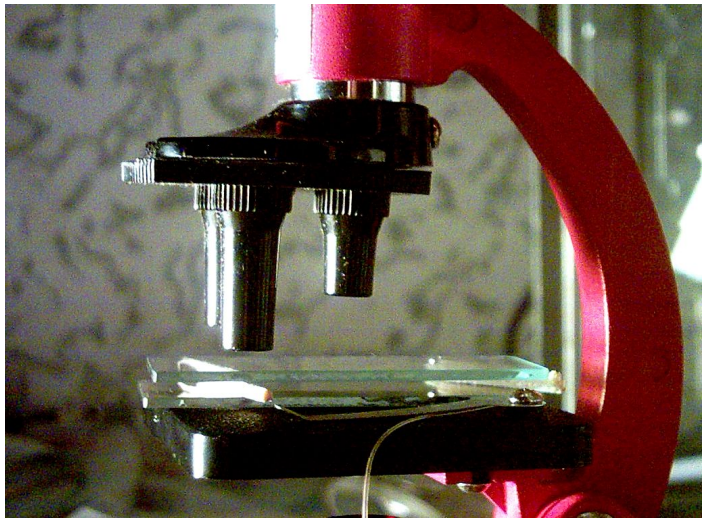
Jak pęka pęcherzyk?



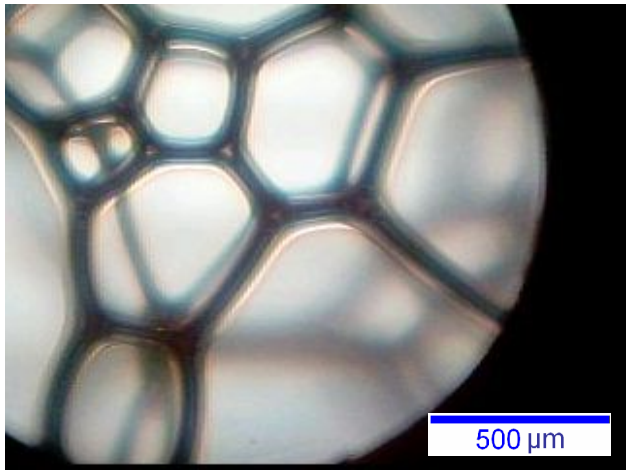
Kino 1

Przyrządy i metodyka obserwacji

Skala 0.1 – 1 mm →
komparator optyczny laboratoryjny



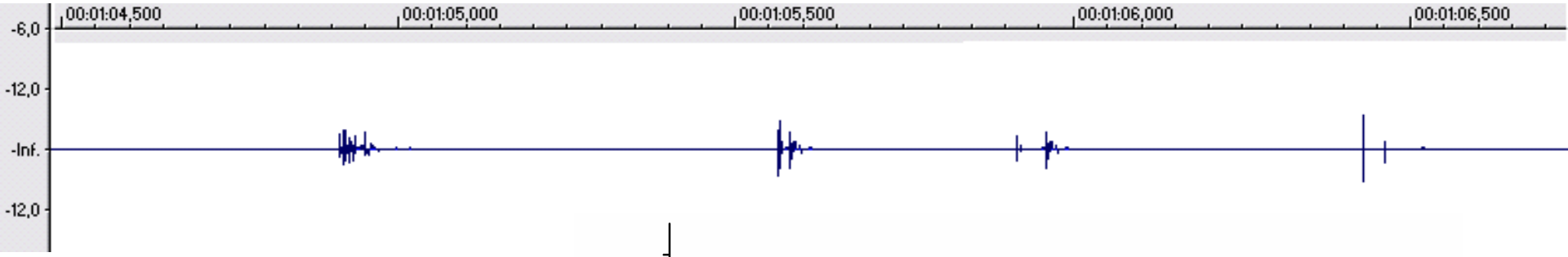
Skala 0.001 – 1 mm →
mikroskop optyczny
LOMO Analyt ® 50-900X



Mierzenie liczby pęcherzyków w jednostce objętości;
rozmiarów pęcherzyków;
liczby stron;
rozmieszczania przestrzennego.

Kino 1

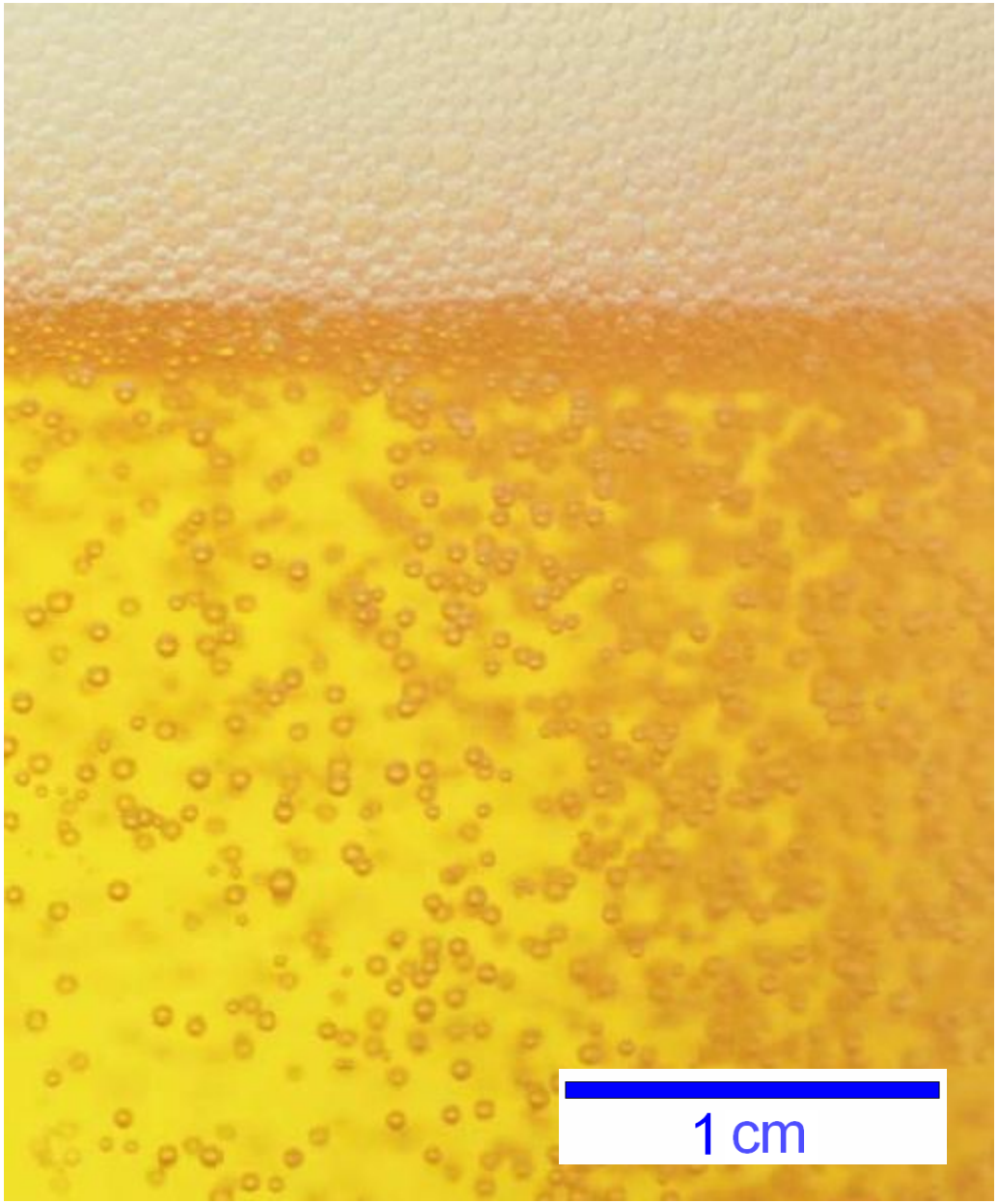
Akustyczna metoda mierzenia częstotliwości pęknięcia pęcherzyków



dźwięk1

- Pęknięcia pęcherzyków mają lawinowy charakter.

Obserwacje: piwna piana

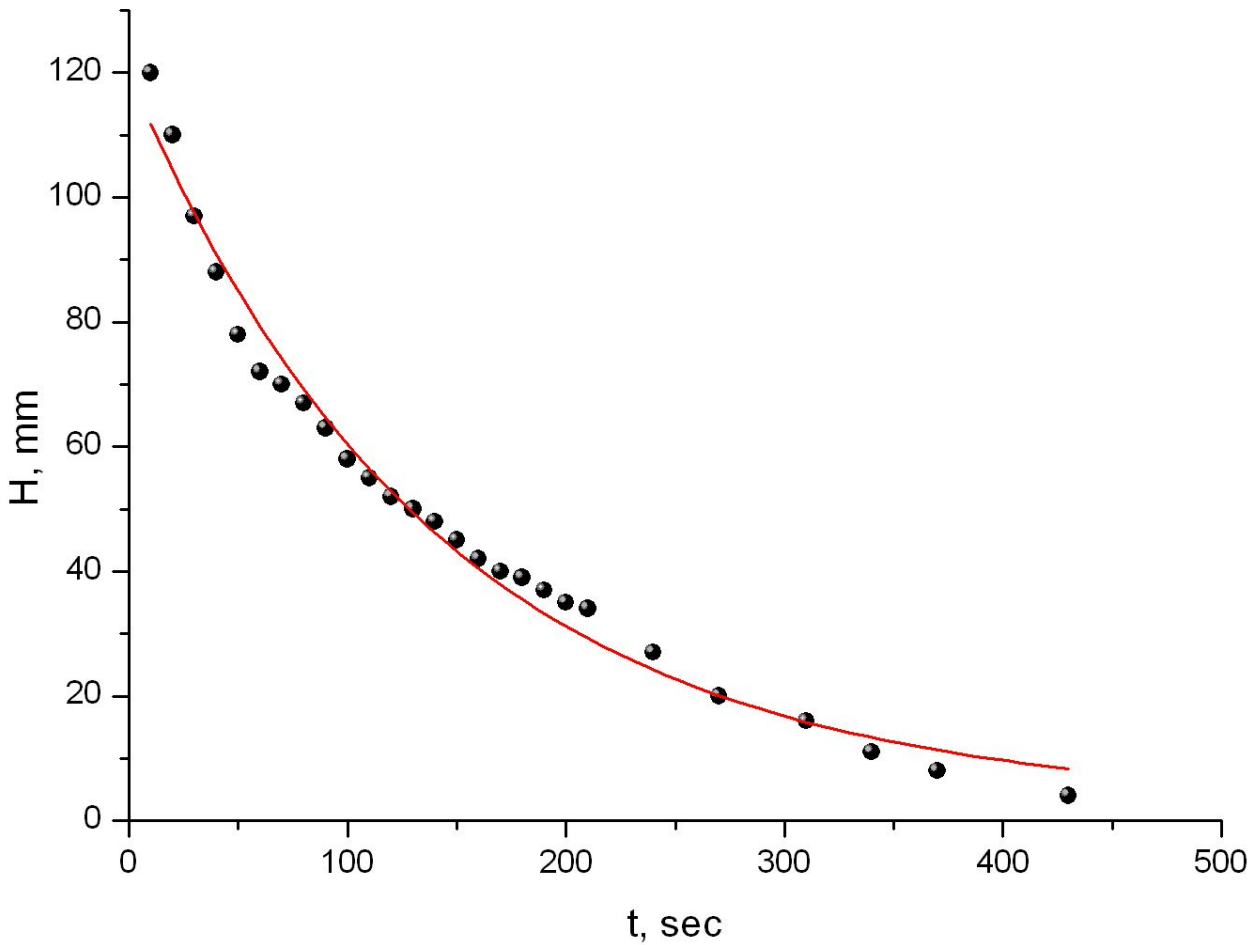


Doświadczenia z sodą

$$2CH_3-COOH+Na_2CO_3 \rightarrow 2CH_3-COONa+CO_2+H_2O$$

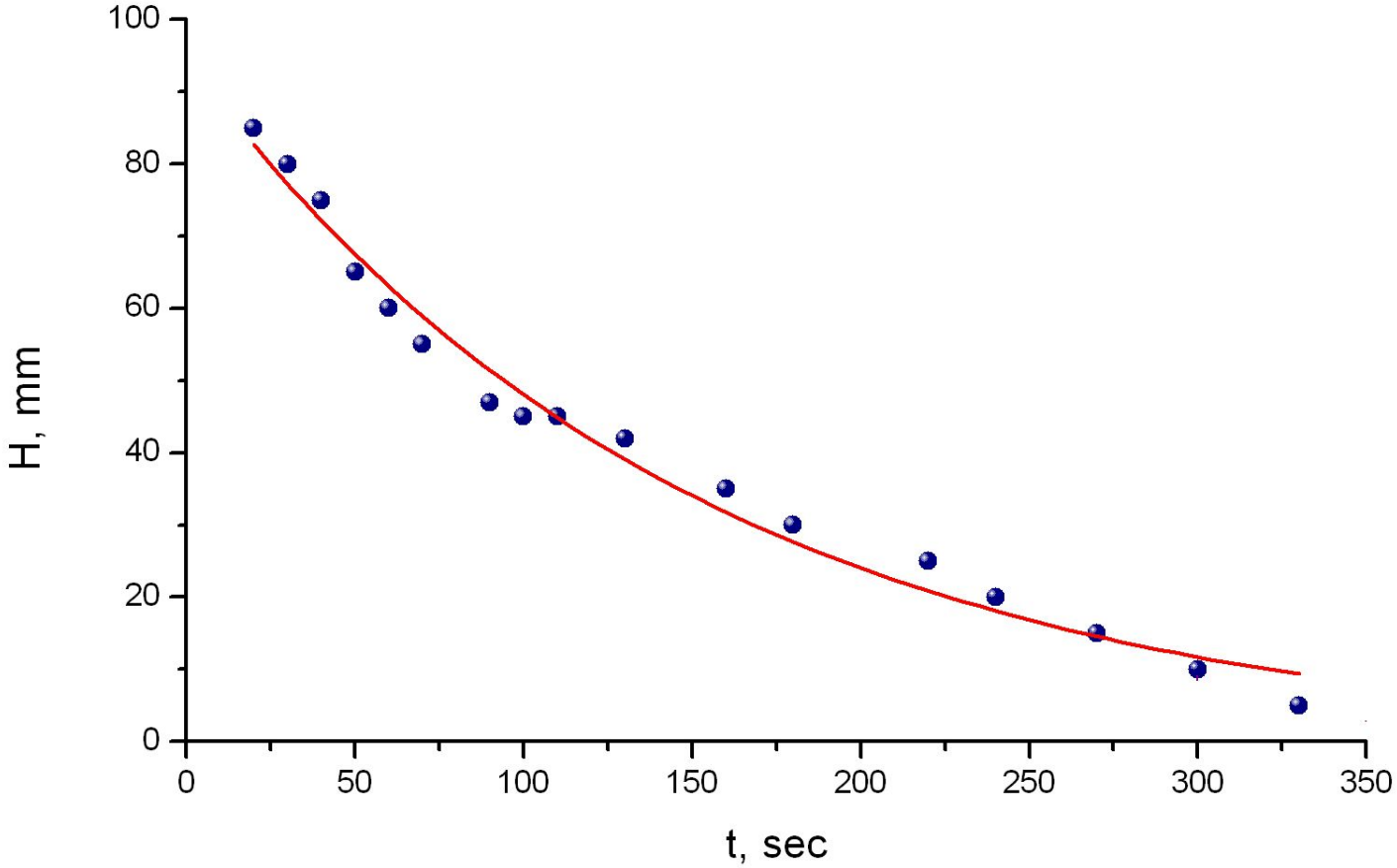
- Stabilizacja przez Fairy ®

Zależność wysokości piwnej piany od czasu



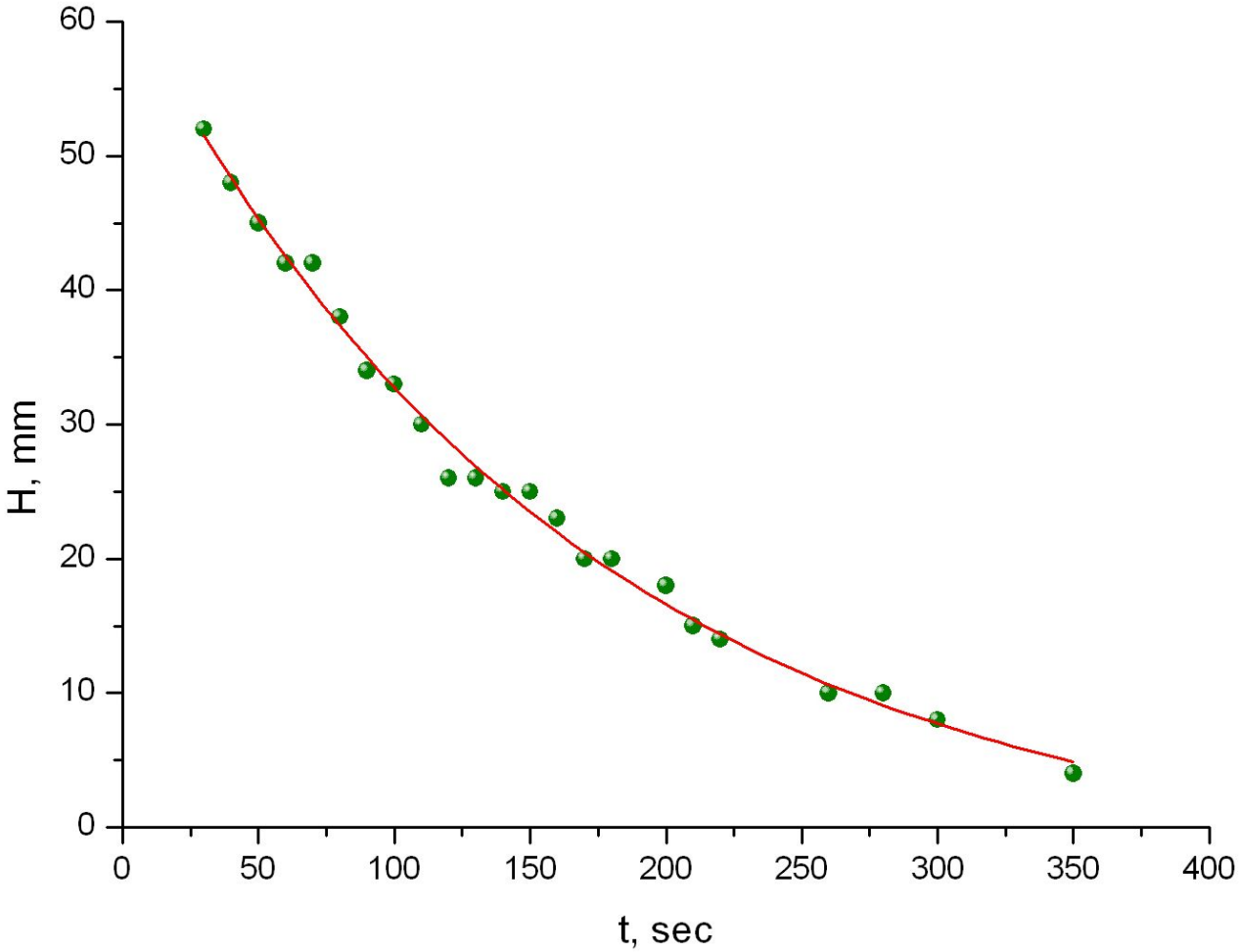
Piwo Толстяк забористое ®, funkcja rozpadu naturalnego jest przedstawiona na wykresie (czerwona krzywa).

Zależność wysokości piwnej piany od czasu



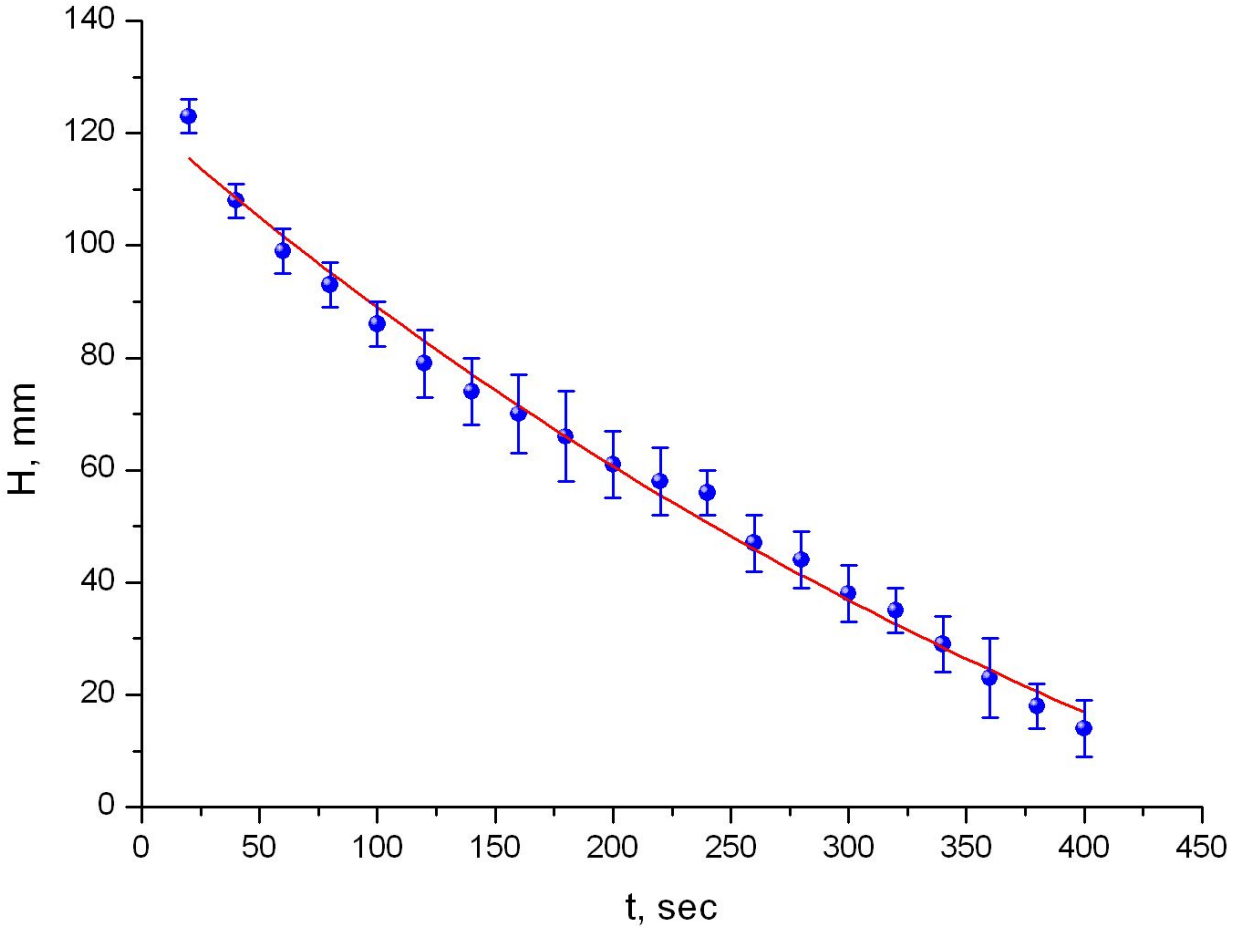
Piwo Петровское ®, funkcja rozpadu naturalnego jest przedstawiona na wykresie (czerwona krzywa).

Zależność wysokości piwnej piany od czasu



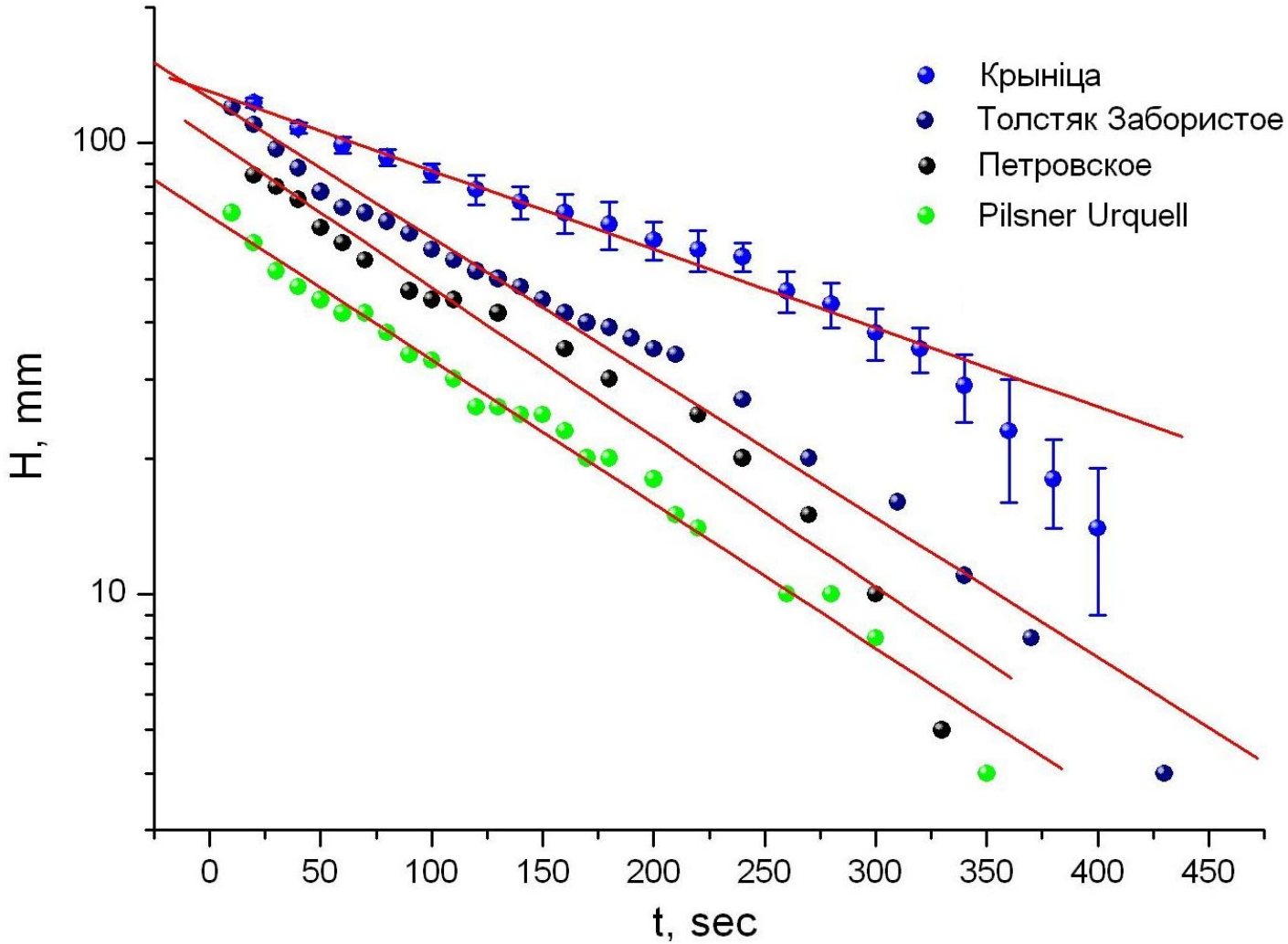
Piwo Pilsner Urquell ®, funkcja rozpadu naturalnego jest przedstawiona na wykresie (czerwona krzywa).

Zależność wysokości piwnej piany od czasu



Piwo Крыніца ®; niepewności pomiarów eksperymentalnych (5 pomiarów dla każdej kropki) i funkcja rozpadu naturalnego są przedstawiony na wykresie.

Zależność wysokości piwnej piany od czasu



Skala jest liniowo–logarytmiczna. Prawo rozpadu naturalnego ma zastosowane do opisu danych eksperymentalnych.

Prawo rozpadu naturalnego dla H (t)?

- Zależność wysokości piany od czasu:

$$H(t) = H_0 \cdot e^{\frac{-t}{\tau}},$$

gdzie **τ** – średni czas życia.

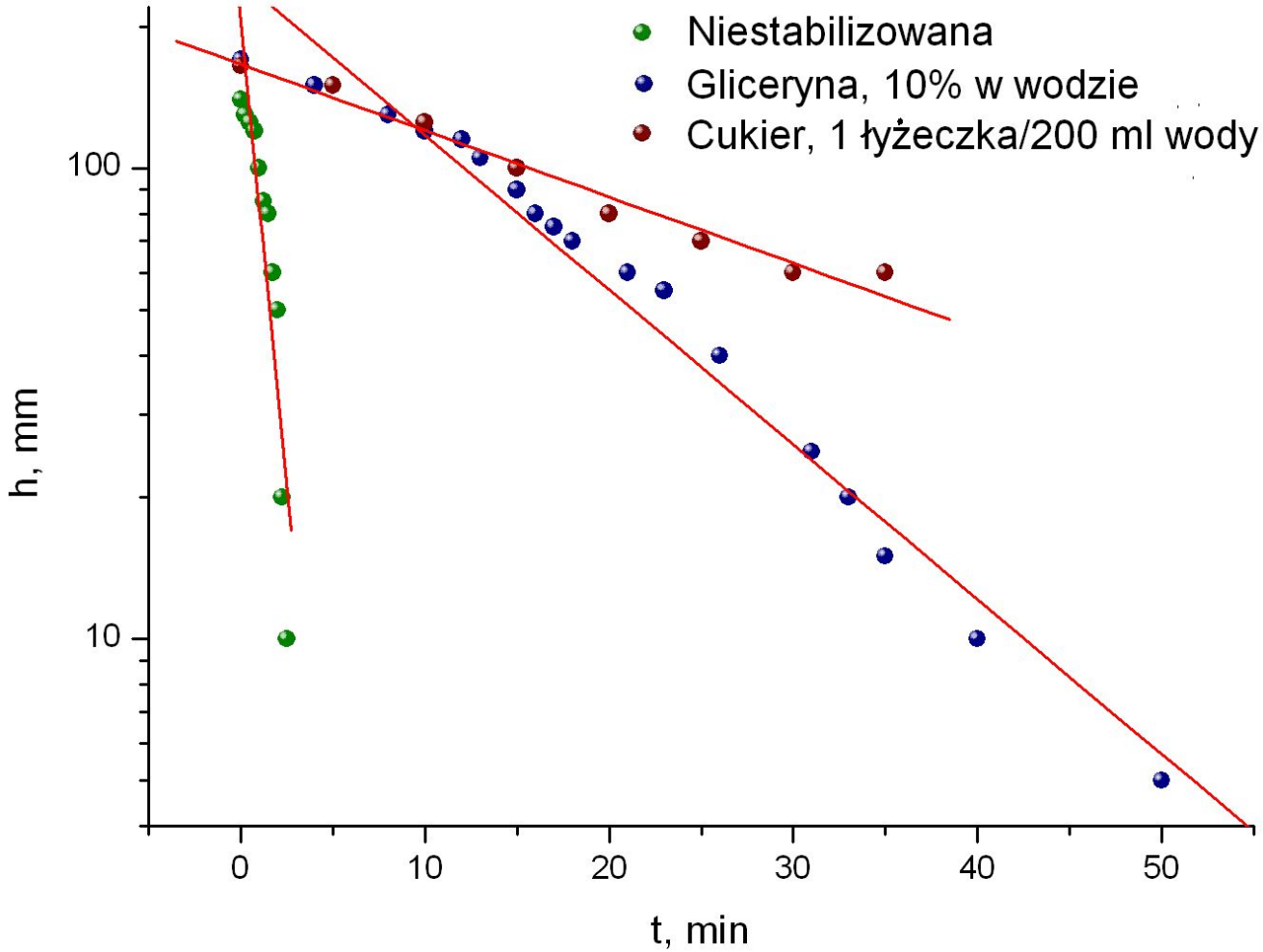
Czas połownicznego rozpadu:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \ln 2 \cdot \tau = 0{,}693\tau$$

Prawdopodobieństwo pęknięcia pęcherzyków tworzących pianę jest dla nich wszystkich jednakowe i nie zmienia się w czasie trwania procesu rozpadu?

$$\frac{-dN}{N} = \lambda \cdot dt$$

Badanie stabilizacji mydlanej piany

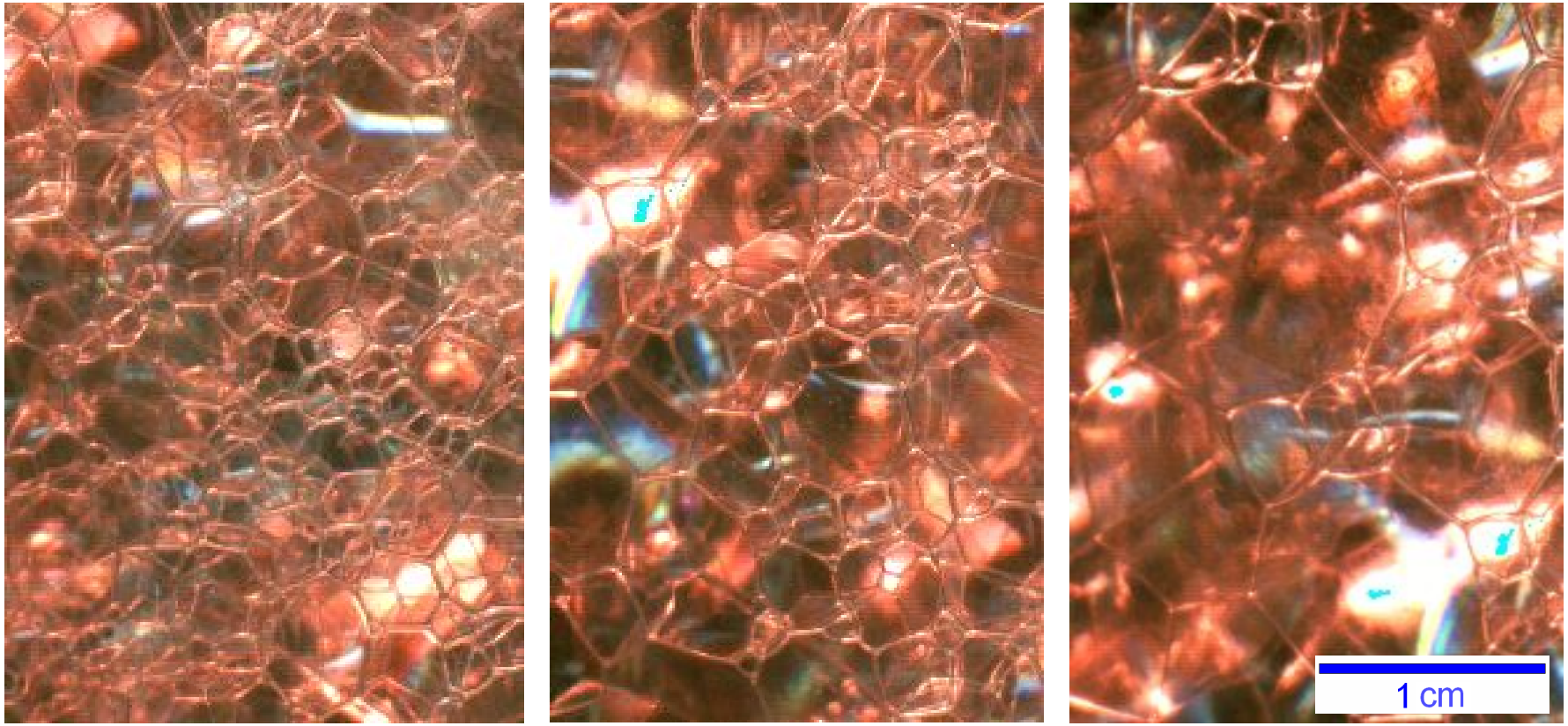


Przy stabilizacji nawet gliceryną lub cukrem, czas połownicznego rozpadu rośnie w dziesiątki raz.

Mechanizm ewolucji piany: dyfuzja

Z powodu różnicy ciśnień, gas przesuwa się między pęcherzykami.
Mały pęcherzyk → mały promień krzywizny → duże wewnętrzne ciśnienie.
Małe pęcherzyki szybko maleją.

Powiększenie średniego rozmiaru pęcherzyków

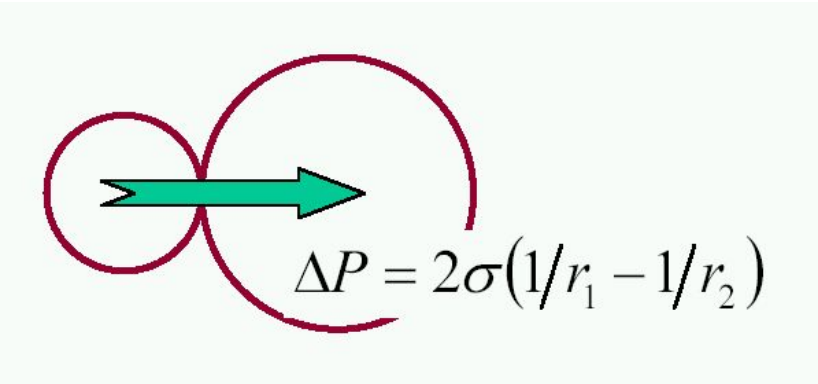


Średni rozmiar pęcherzyków rośnie, liczba pęcherzyków maleje .

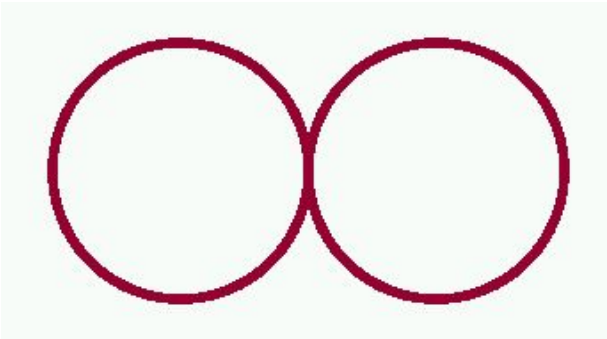
Kino 1 Kino 2

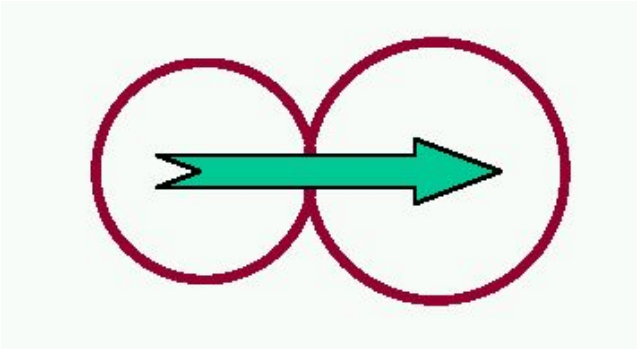
Powiększenie średniego rozmiaru pęcherzyków

Różnicą ciśnień między pęcherzykami o promieniach r_1 и r_2:

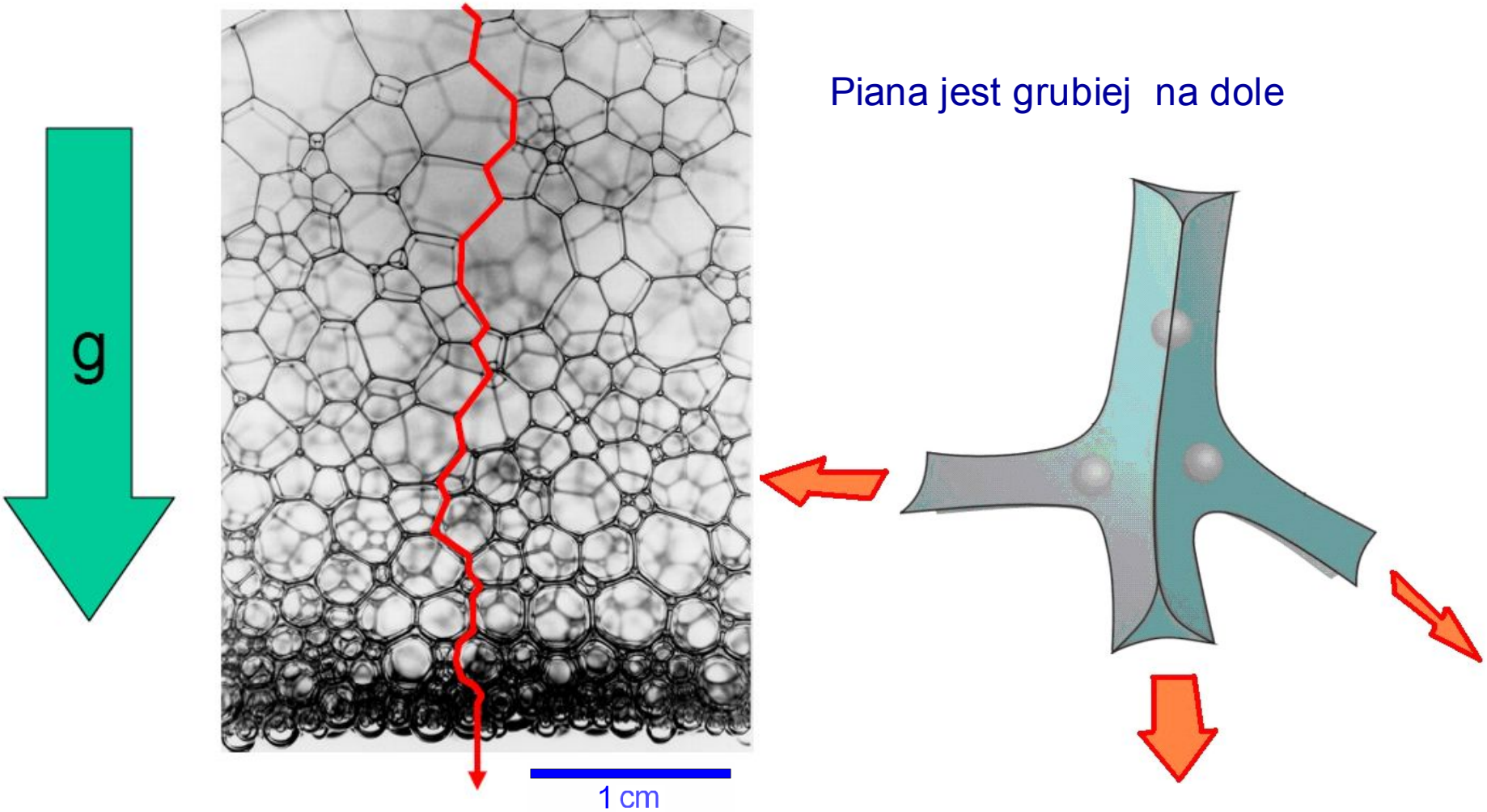


Małe fluktuacja wzmagają się:



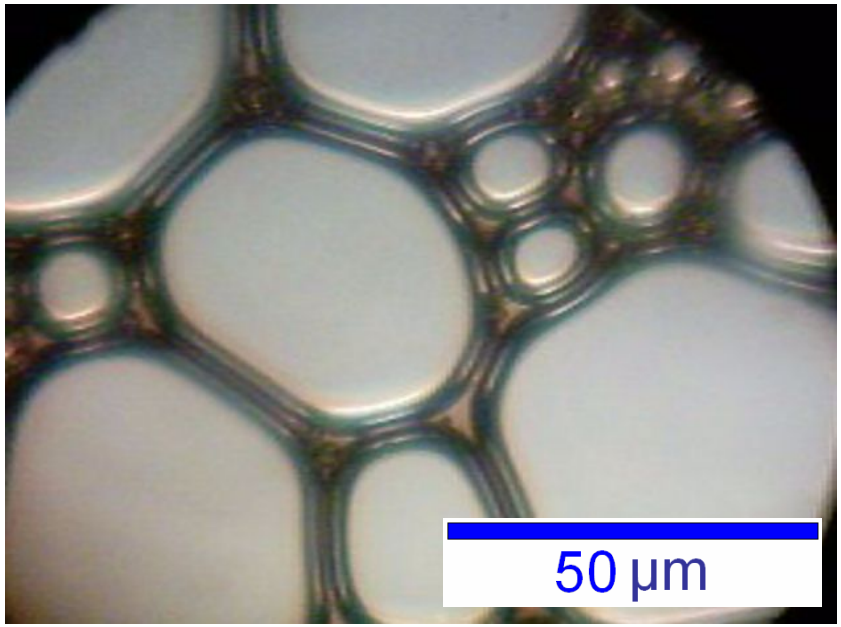


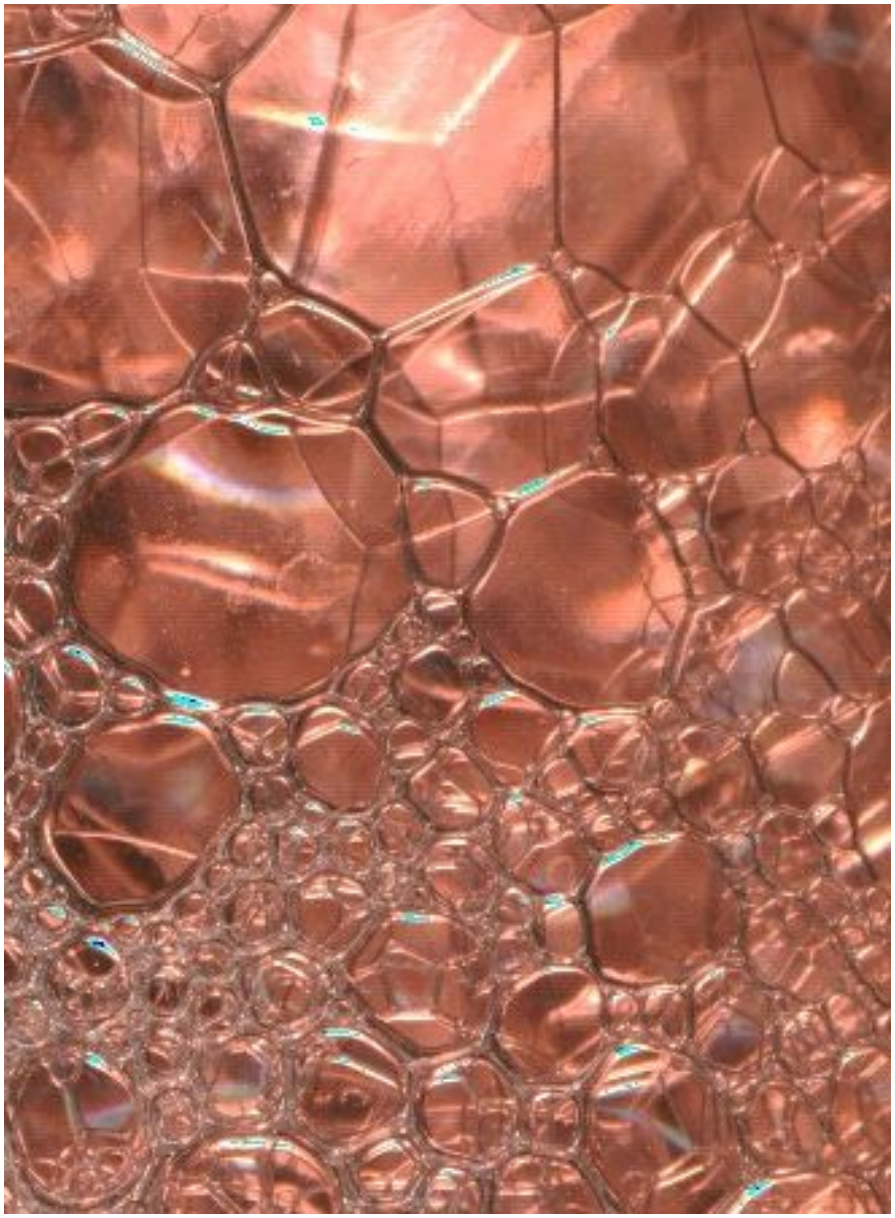
Mechanizm ewolucji piany: ściekanie cieczy na dół z powodu grawitacji



Piana jest grubiej na dole

Mechanizm ewolucji piany: ściekanie cieczy na dół





Kino 1 Kino 2

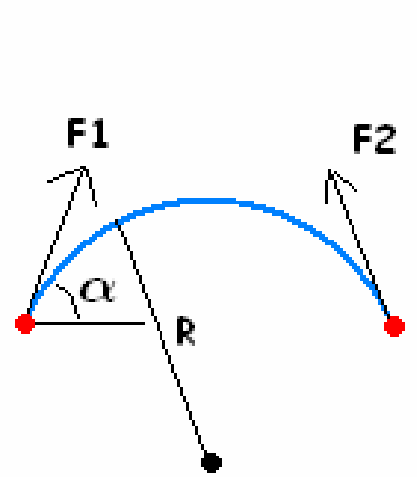
Model matematyczny struktury “suchej” piany

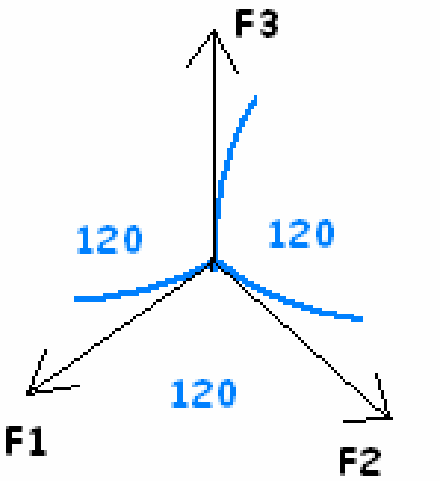
- Relacja między promieniem krzywizny i nadciśnieniem (różnicą ciśnień):

$$R = \frac{2\sigma}{\Delta P}.$$

Napięcie powierzchniowe ⟶ sily działający na “stawy” (połączenia) mędzy ściankami mydlanymi równoważą się:

F1 = F2

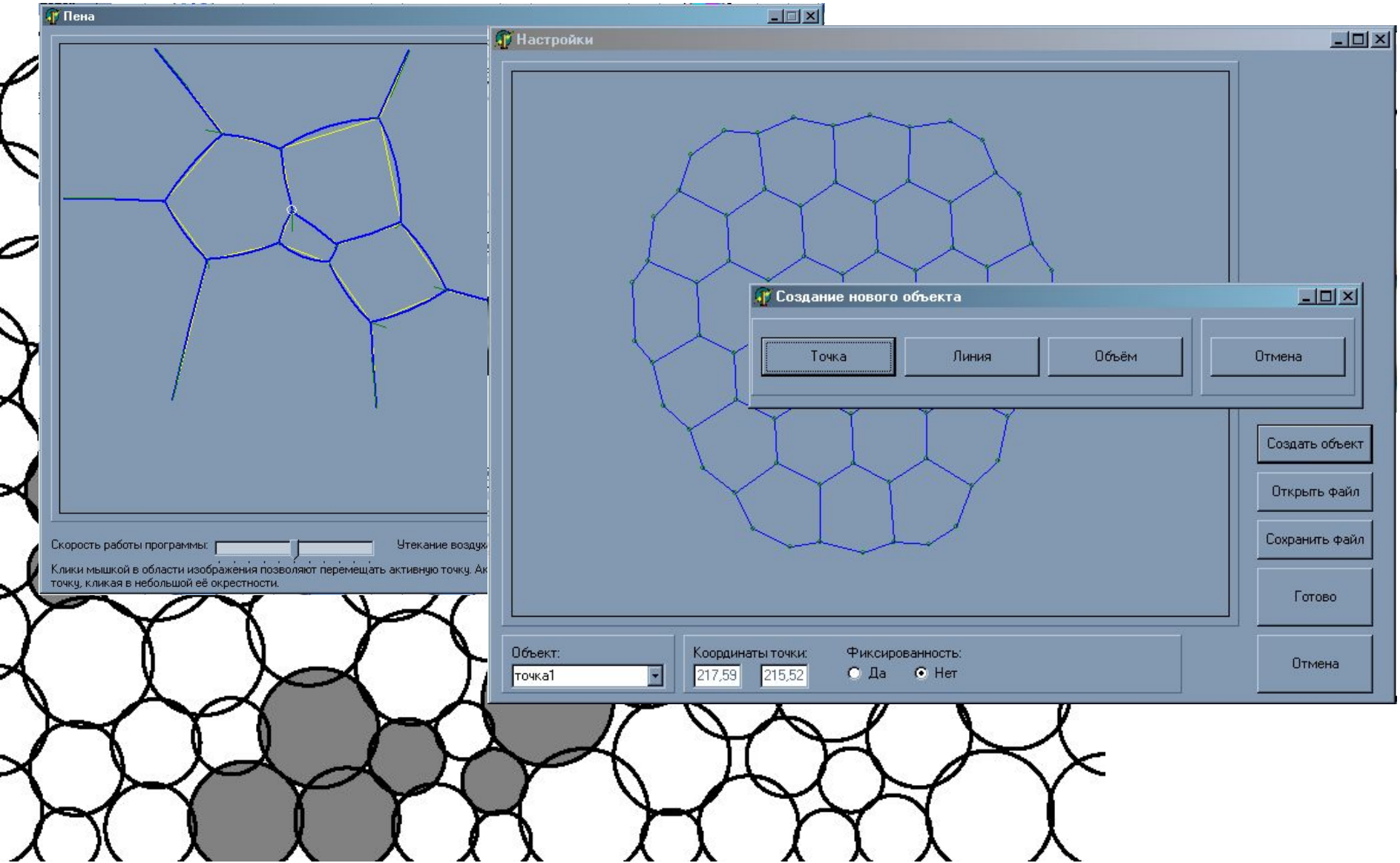




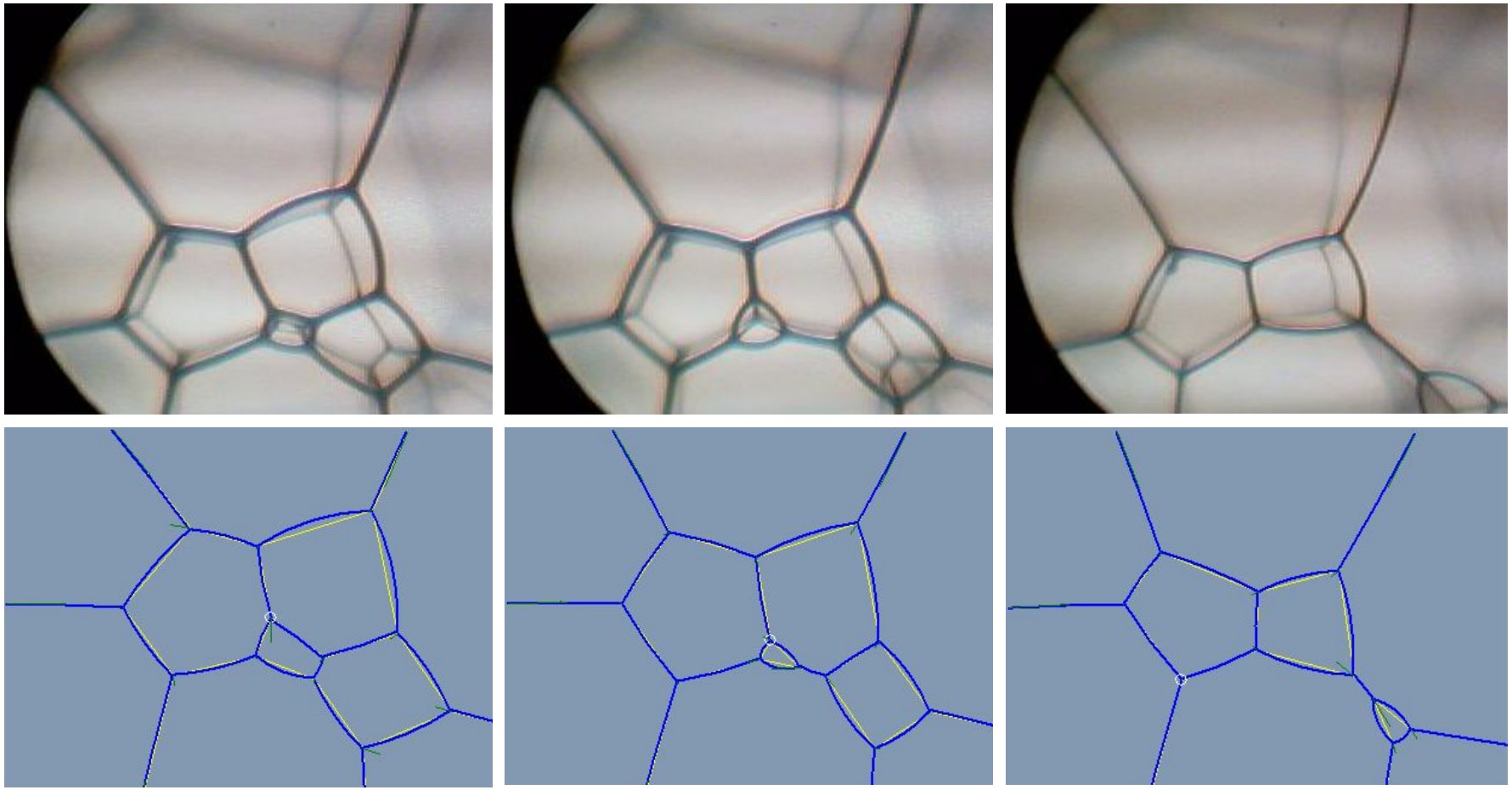
F1 = F2 = F3

Struktura będzie rozwijać się tak, że wszystkie kąty będą równe **120°**.

Modelowanie komputerowe struktury “suchej” piany



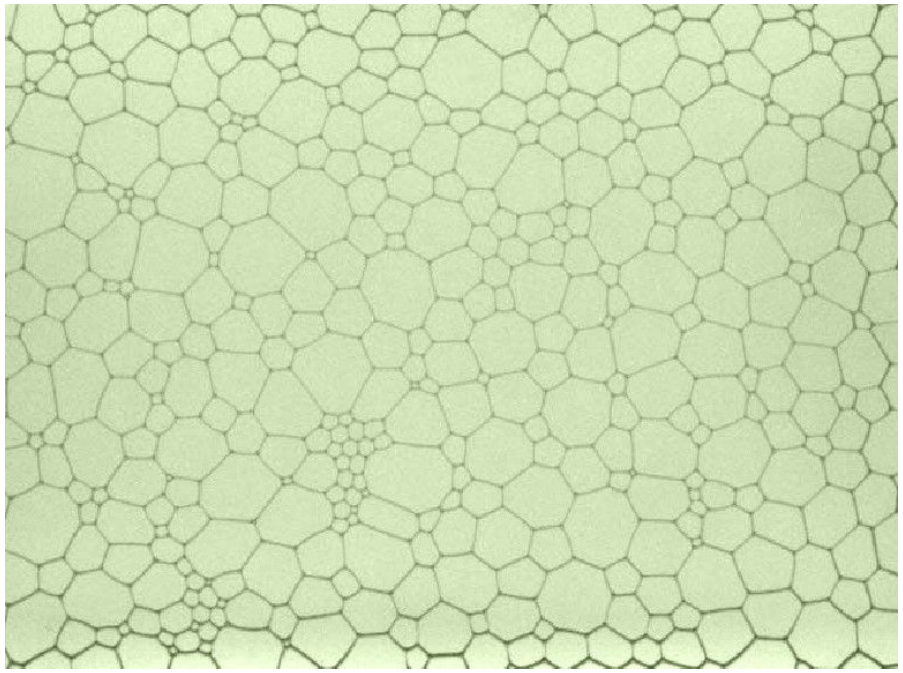
Modelowanie komputerowe struktury “suchej” piany



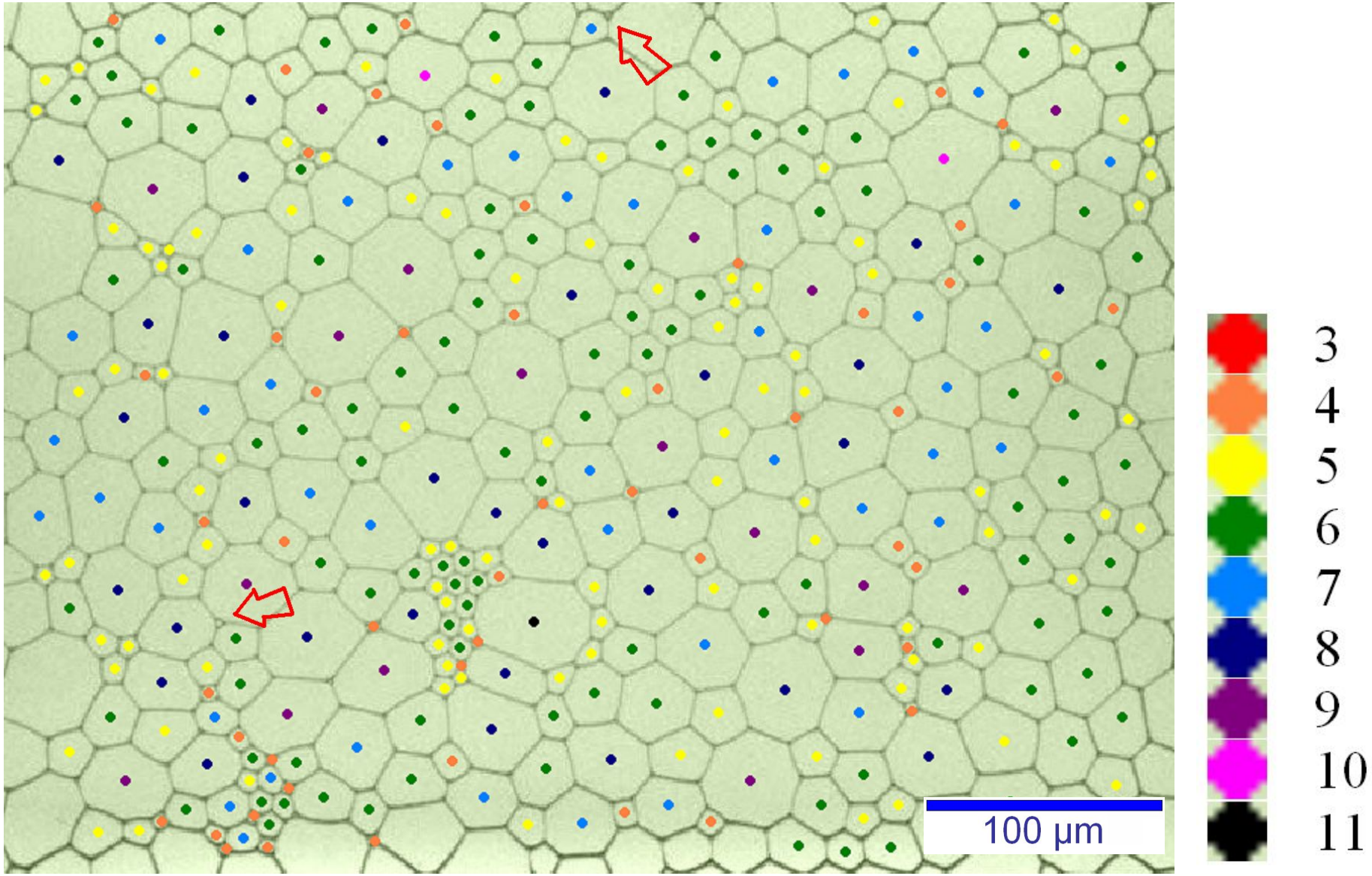
Program poprawnie modeluje do 10-15 generacji zmian topologicznych pozycji wzajemnej pęcherzyków (przy naszej niepewności pomiaru eksperymentalnego).

Statystyczne badanie dwuwymiarowej piany

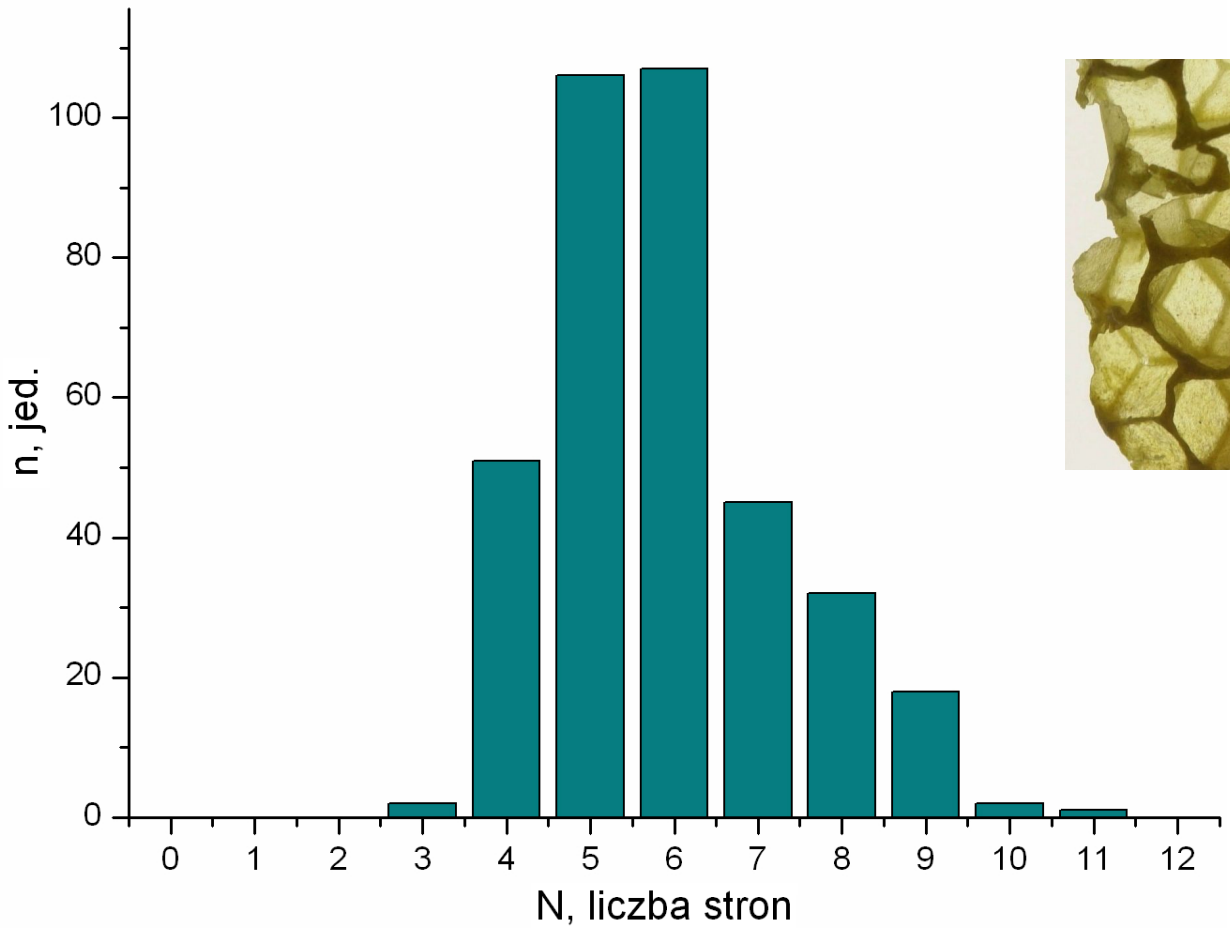
- rozkład ilości pęcherzyków dwuwymiarowej piany w zależności od liczby stron pęcherzyka, w zależności od czasu;
- rozkład wypadków nadymania/wydmuchiwania (kierunków dyfuzji) w zależności od liczby stron pęcherzyka.

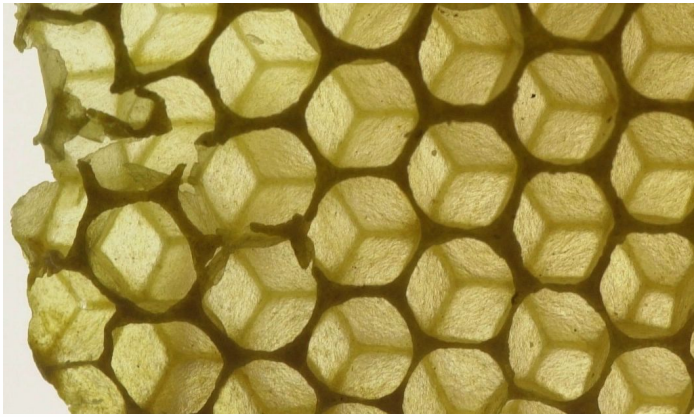


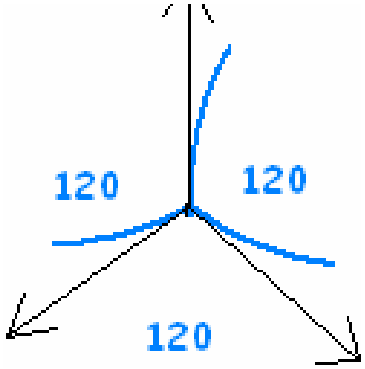
Statystyczne badanie dwuwymiarowej piany



Statystyczne badanie dwuwymiarowej piany



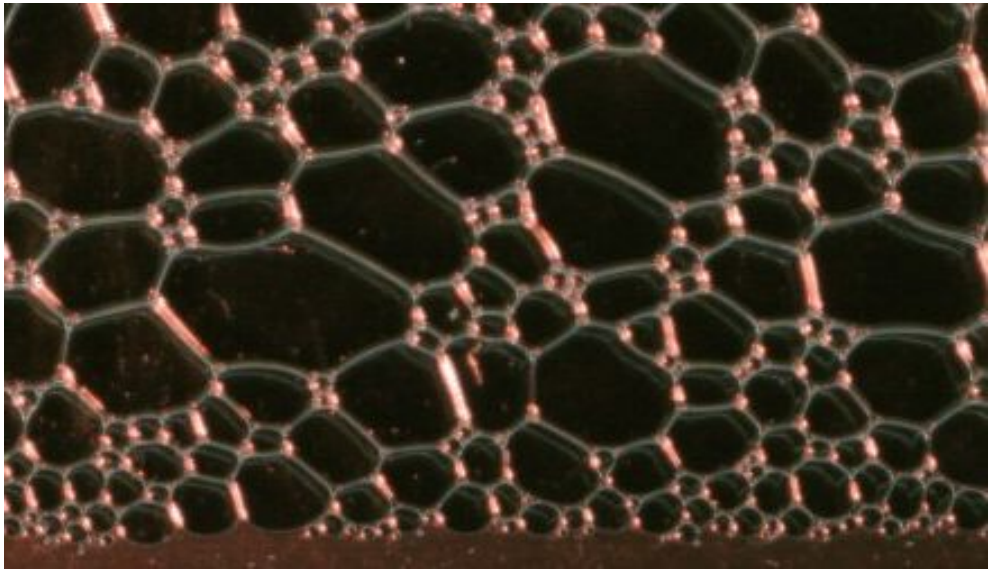




Sześciopostronne pęcherzyki posiadają energię powierzchniową najmniejszę i kąty 120^0. Są najwięcej stałe.

Statystyczne badanie dwuwymiarowej piany

Liczba stron pęcherzyka	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Wypadki $\frac{dR}{dt} < 0$	83	158	167	1	0	0	0	0	0
Wypadki $\frac{dR}{dt} > 0$	0	0	0	2	154	131	55	19	17



Kierunek dyfuzji gazowej jednoznacznie określa się ilością (liczbą) stron płaskiego pęcherzyka.

Tabela wyników eksperymentalnych

Typ piany	**Czas połowicznego rozpadu**, *s*
Piwo *Крыніца* ®	*180 ± 20*
Piwo *Петровское* ®	*110 ± 10*
Piwo *Толстяк Забористое* ®	*100 ± 10*
Piwo *Pilsner Urquell* ®	*90 ± 10*
Coca-Cola ®	≈ 2 – 5
Sucha mydlana piana	1200 ± *200*
Drobna sucha piana z *Fairy* ®	100 ± *10*
Fairy ® + gliceryna	950 ± *100*
Fairy ® + cukier	1200 ± *100*

Wyprowadzenia

1. Żywotność piany i szybkość ewolucji są związane z tym, że:

- **Pęcherzyki pękają** → trzeba stabilizować ścianki (surfaktanty + lepkie ciecze);
- **gaz przesuwa się z powodu dyfuzji** → trzeba znaleźć nierozpuszczalny gaz (na przykład, S_2F_6);
- **ciecz ścieka na dół** → trzeba powiększyć lepkość cieczy
- **ciecz paruje** → trzeba powiększyć wilgotność atmosfery

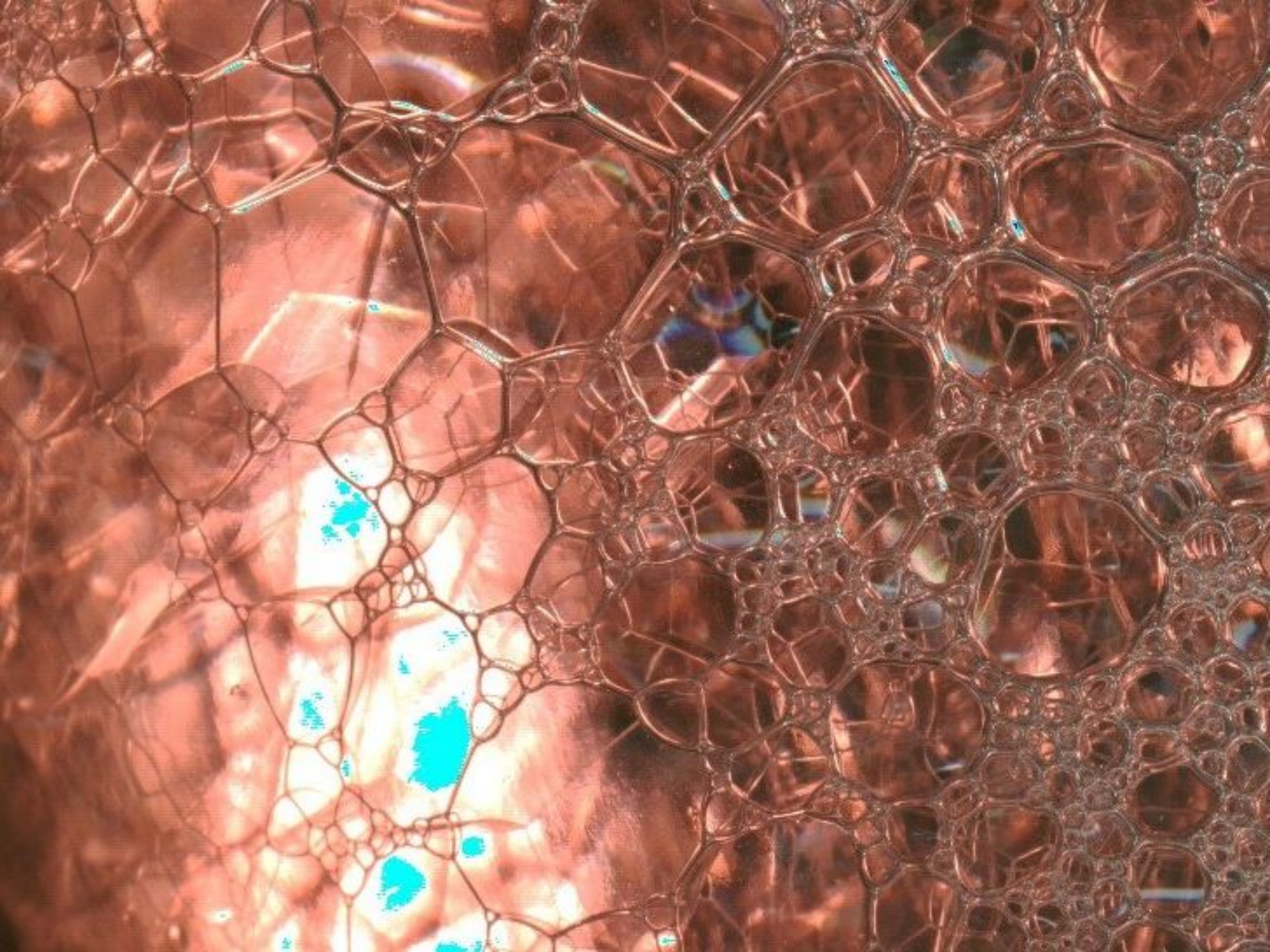
2. Szybkość rozpadu piany jest poprawnie opisywać czasem połowicznego rozpadu.

3. Program komputerowy może poprawnie modelować strukturę i ewolucję z czasem piany.

Literatura

- [1] I. Martchenko, D. Martchenko. *Internal structure and elastic properties of aqueous foams evolving in time: a computer simulation, microscopic photography and acoustic study.* Сбор. тез. молод. науч. конф. «Физика и прогресс» - Спб.: *25 – 27 окт. 2006 г., стр. 92.*
- [2] F. Graner. *Two-Dimensional Fluid Foams at Equilibrium*. In: Morphology of Condensed Matter. Lecture Notes in Physics (edited by K. Mecke, D. Stoyan), *vol. 600*, Springer-Verlag, *2002, pp.187-211*
- [3] K. Brakke. *The Surface Evolver and the stability of liquid surfaces.* Phil. Trans. R. Soc. A, *vol. 354, 1996, pp. 2143-2157.*
- [4] *Минимальные поверхности*, под ред. Р. Оссермана. – М.: Физматлит, *2003*. – стр. 222-247.
- [5] Я.Е. Гегузин. *Куда исчезает пустота*. – М.: Наука, 1987.
- [6] M. Vignes-Adler, Fr. Graner. *La vie éphémère*. Pour la Science, №293, *Mars 2002*, - pp. 48-55.
- [7] N. Wandevalle, J.F. Lentz, S. Dorbolo, F. Brisbois. *Avalanches of popping bubbles in collapsing foams*. Phys. Rev. Lett., Vol. 86, No. 1, *Jan. 2001*, pp. 179 – 182.
- [8] F. Graner, F. Yaing, E. Janiaud, C. Flament. *Equilibrium states and ground state of two-dimensional fluid foams.* Phys. Rev. E, Vol.63, 011402, *2000*.

- Kino1
- Kino2



71
72
73