



Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu

Prędkość określana względem najbliższej ścianki nazywana jest prędkością względną (płynu) w . Jeśli najbliższa ścianka porusza się względem ciał bardziej oddalonych, to prędkość tego ruchu nazywana jest prędkością unoszenia (ścianki) u . Prędkość płynu będącą sumą prędkości względnej i prędkości unoszenia nazywana jest prędkością bezwzględna (płynu) c



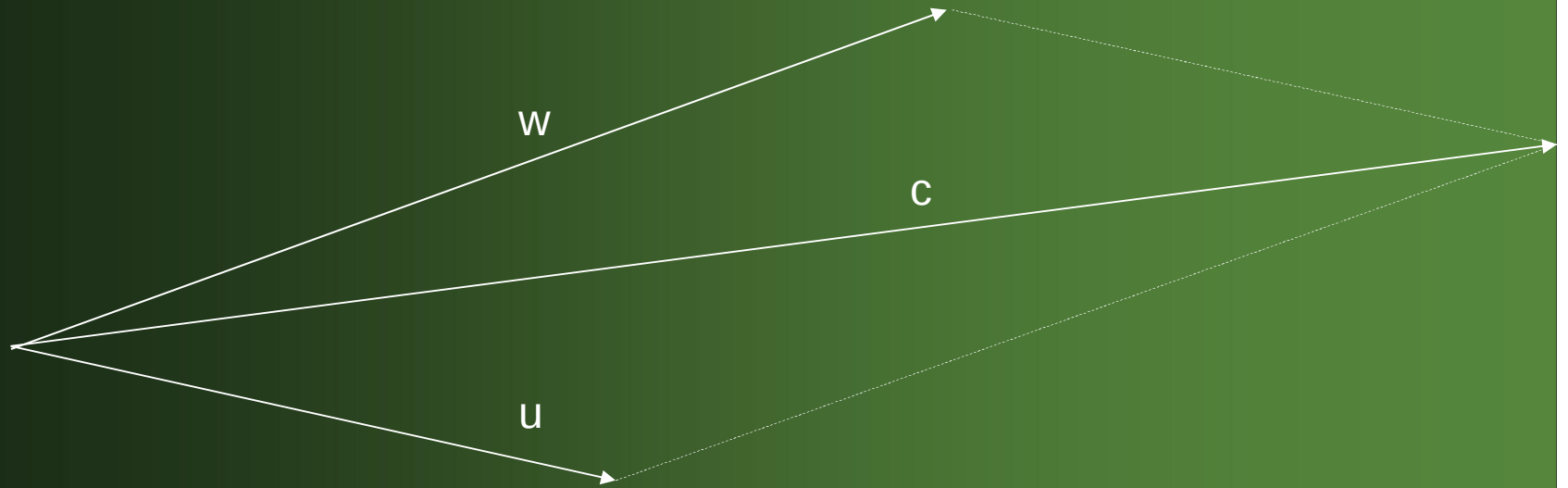
PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu



$$\vec{c} = \vec{w} + \vec{u}$$



Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu

Prędkość płynu w danym miejscu nazywamy prędkością miejscową. Prędkości miejscowe określone są względem najbliższej ścianki stałej (powierzchni ciała stałego), względem której płyn się porusza. Wykres prędkości miejscowych w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku ruchu płynu nazywamy profilem prędkości płynu .



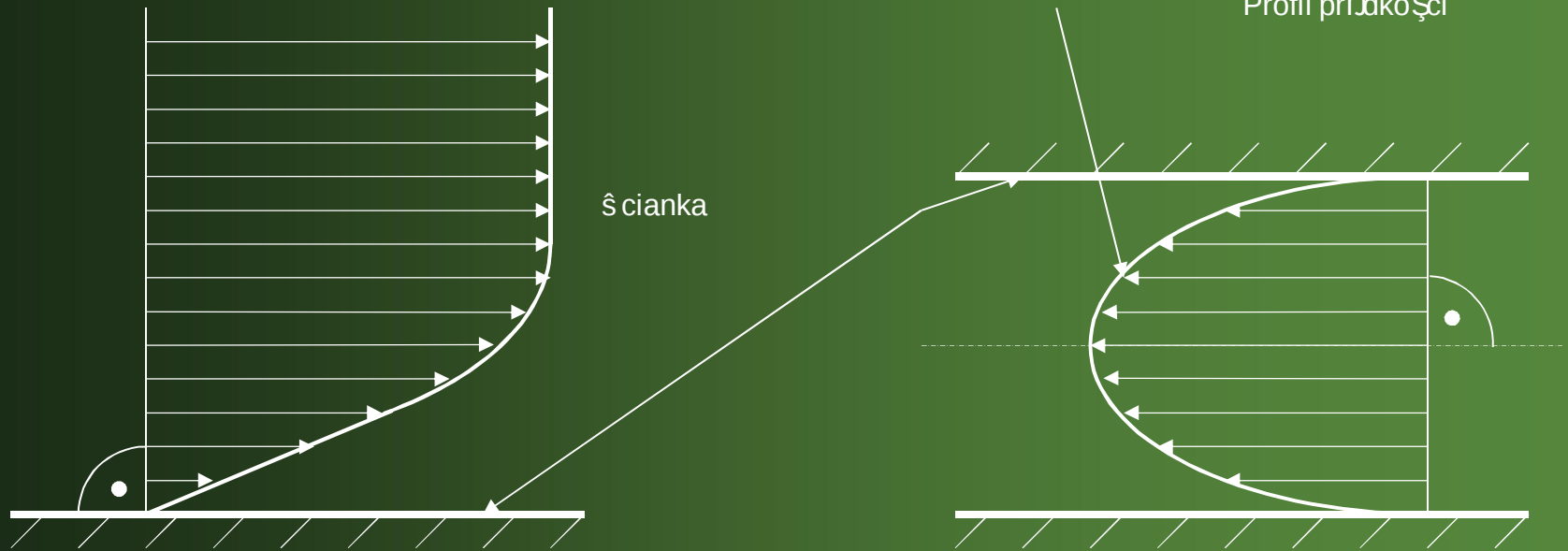
PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu





PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu

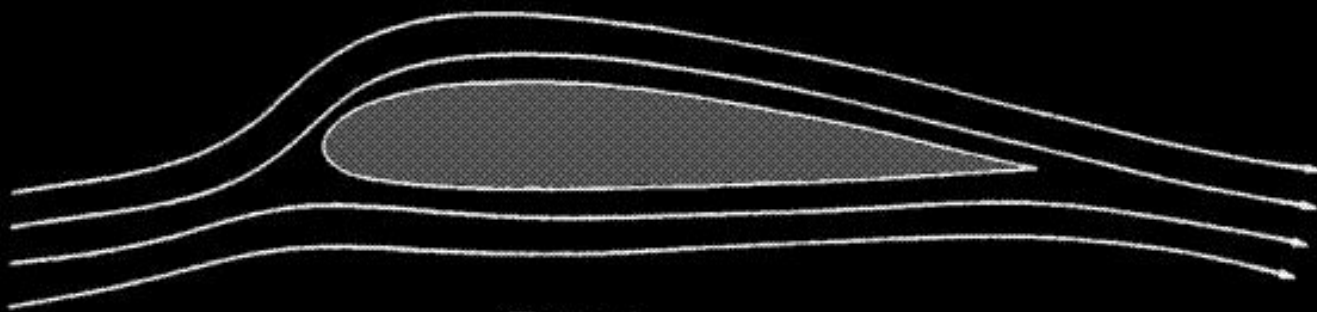


Figure 1

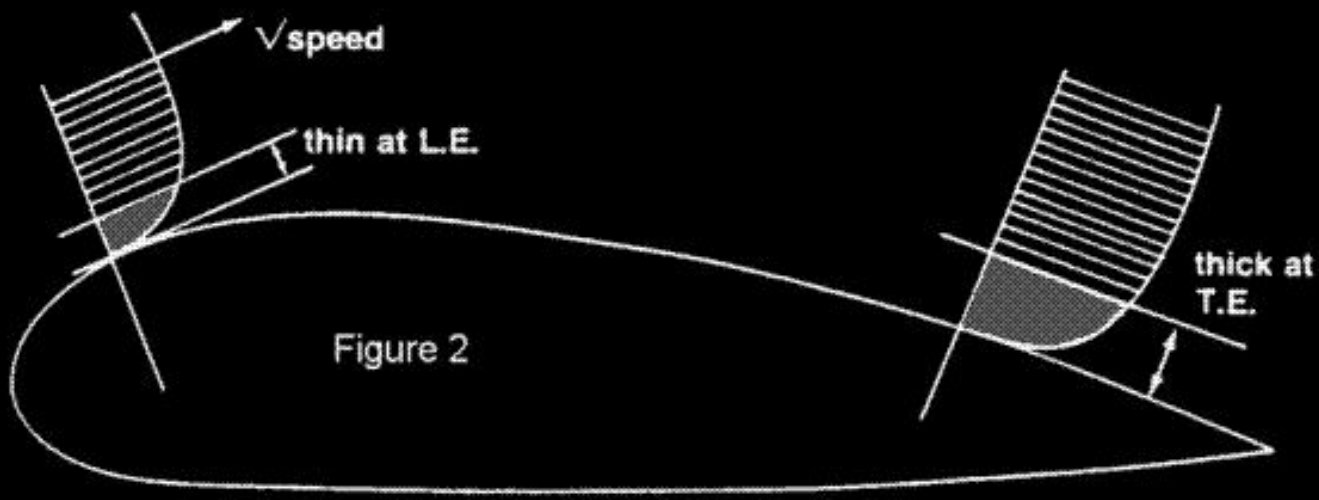


Figure 2



Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu

Dla przepływu otwartego prędkość płynu względem ścianki jest określana jako w_∞ (prędkość w nieskończoności), czyli jako prędkość płynu nie zakłócona przez ściankę w stosunkowo dużej odległości od ścianki. Dla przewodu zamkniętego nie można określić w_∞ . Prędkość średnia jest to prędkość jaką miałby płyn, gdyby w każdym miejscu prędkość byłaby taka sama.



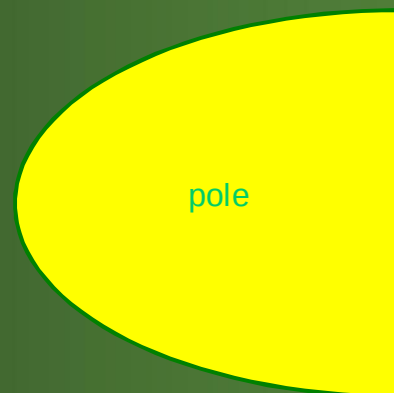
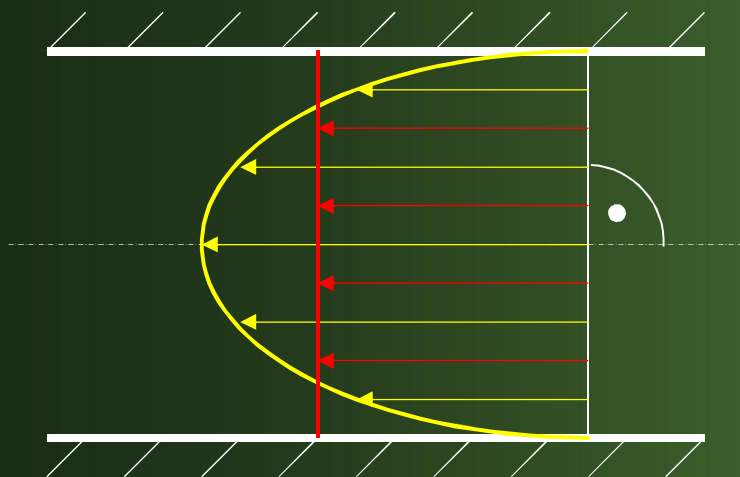
PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

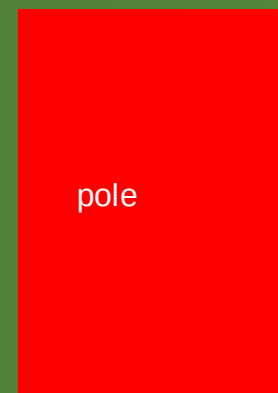
[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu



=





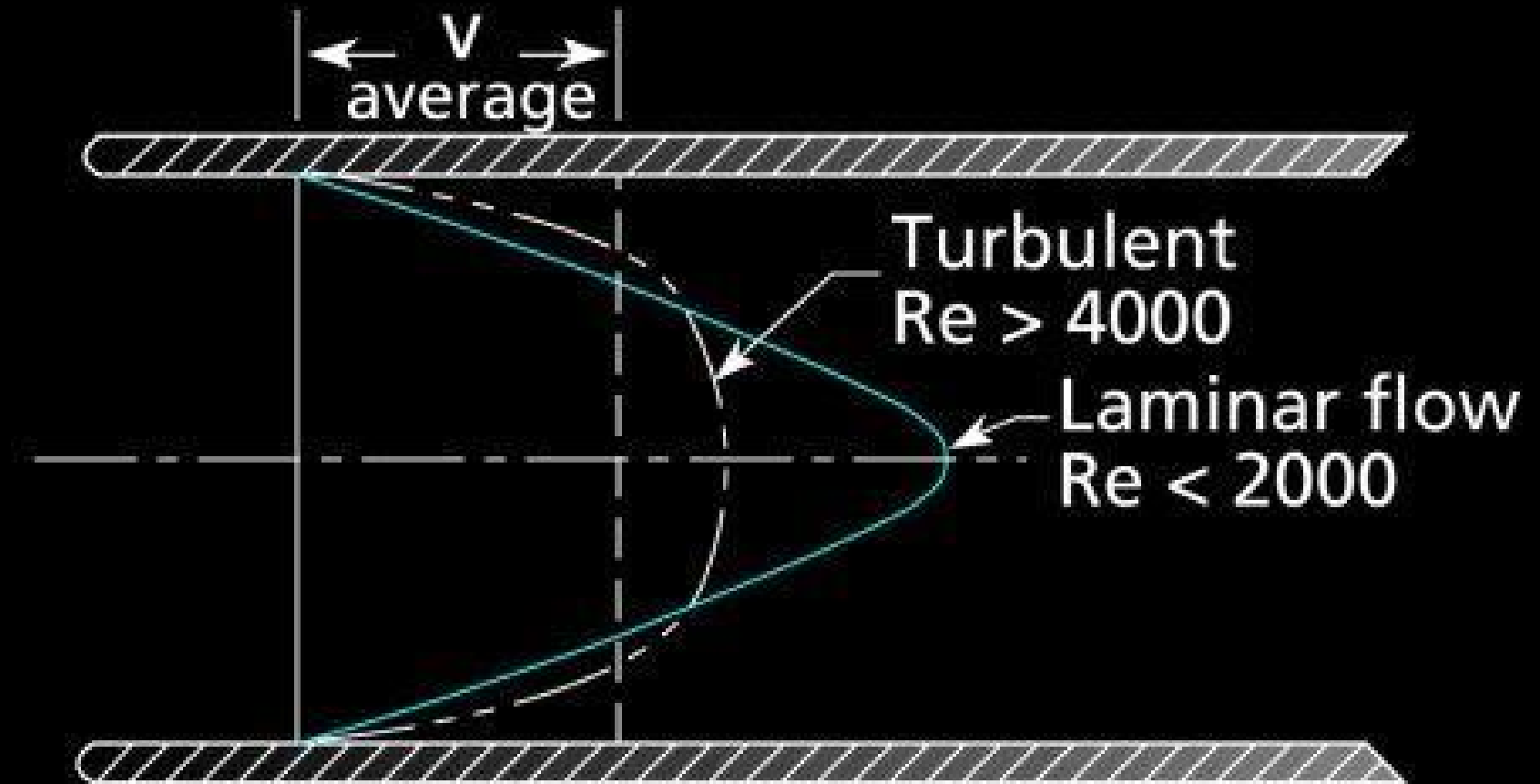
PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu





Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu

Nateżenie przepływu Q jest to ilość płynu, jak przepływa w danym przekroju poprzecznym przewodu w jednostce czasu. Dla płynu nieściśliwego ($\rho = \text{const}$) ilość płynu może być określona tak przy pomocy masy, jak i przy pomocy objętości. Nateżenie przepływu określone przy pomocy objętości płynu może być przedstawione jako objętość bryły obrotowej, której przekrojem osiowym jest pole przedstawione na rysunku (prędkość średnia)



Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{l \cdot S}{t} = w_{\text{średnie}} \cdot S \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$Q_m = \frac{m}{t} = \frac{\rho \cdot V}{t} = \rho \cdot \frac{V}{t} = \rho \cdot w_{\text{średnie}} \cdot S \left[\frac{kg}{s} \right]$$



Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu

Dla przepływu cieczy używamy natężenia przepływu (objętościowego). Dla przepływu gazu używamy masowego natężenia przepływu. Jeśli podczas przepływu gazu zmiana ciśnienia jest nieduża, zmianę gęstości gazu podczas przepływu można pominąć i traktować gaz jako płyn nieściśliwy



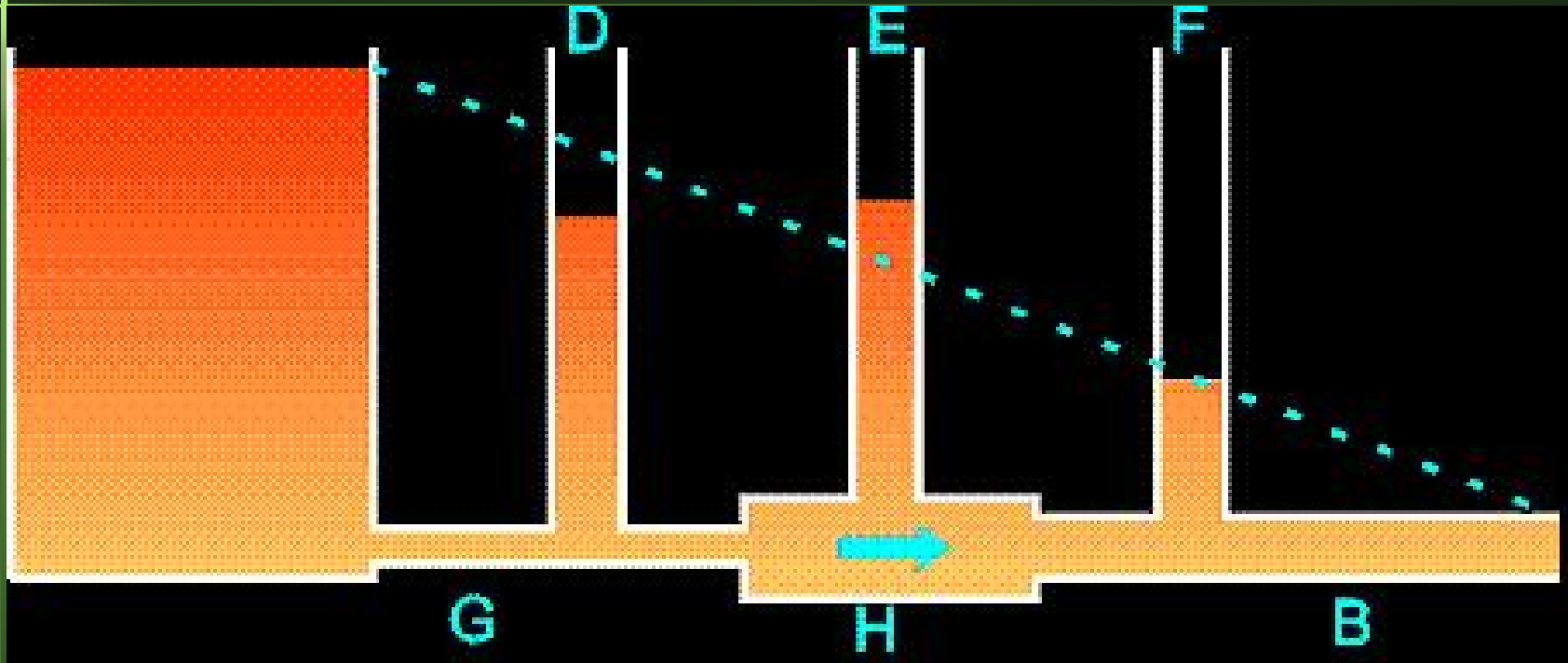
PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu





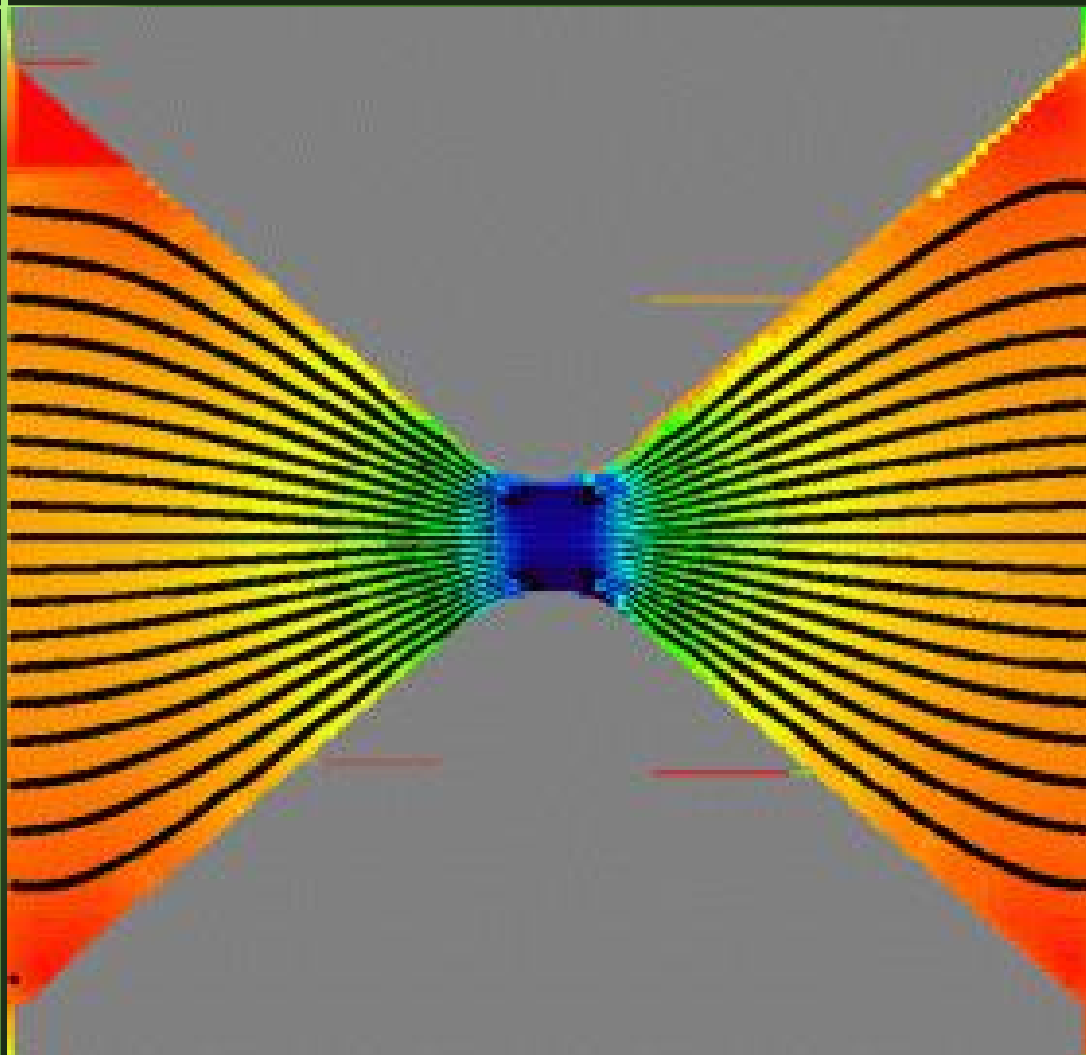
PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu





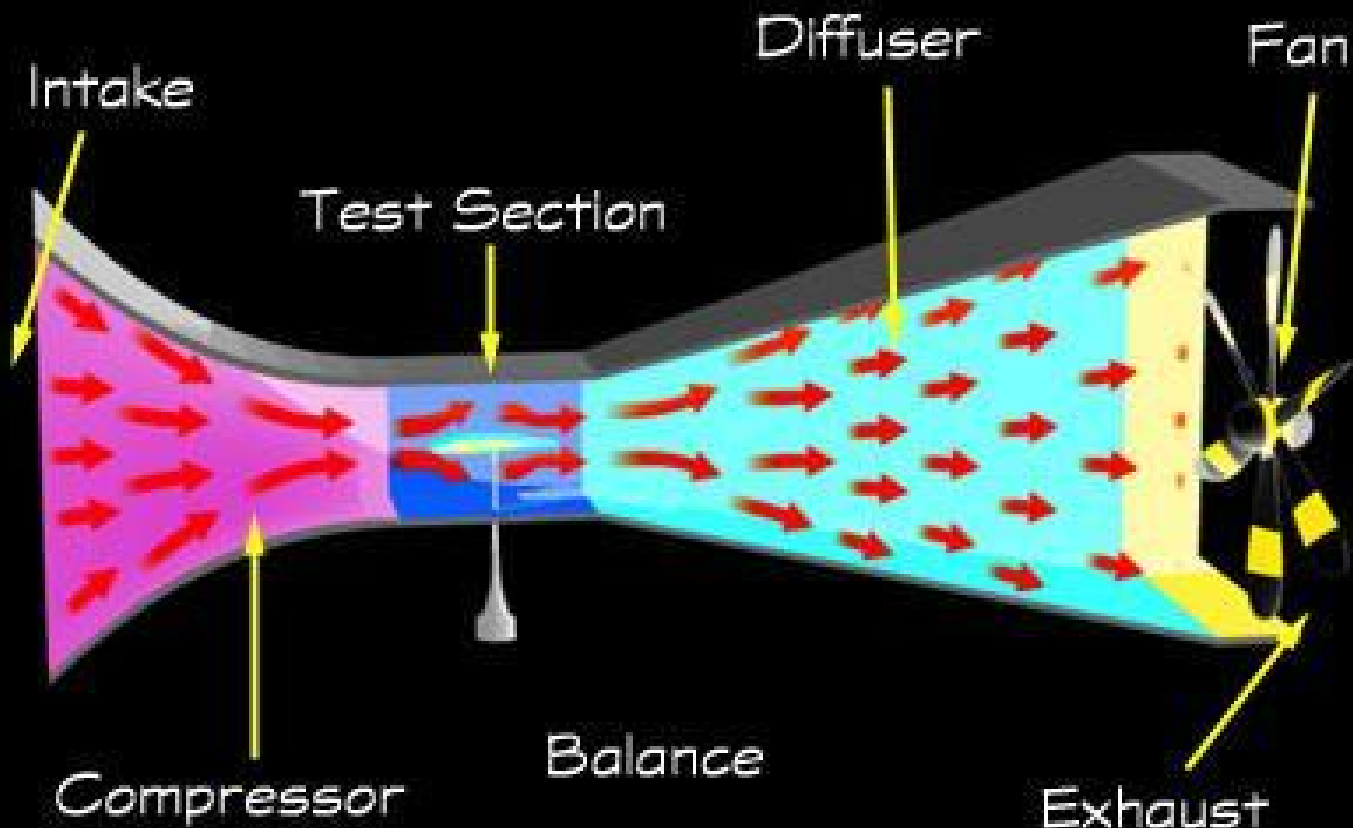
PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu





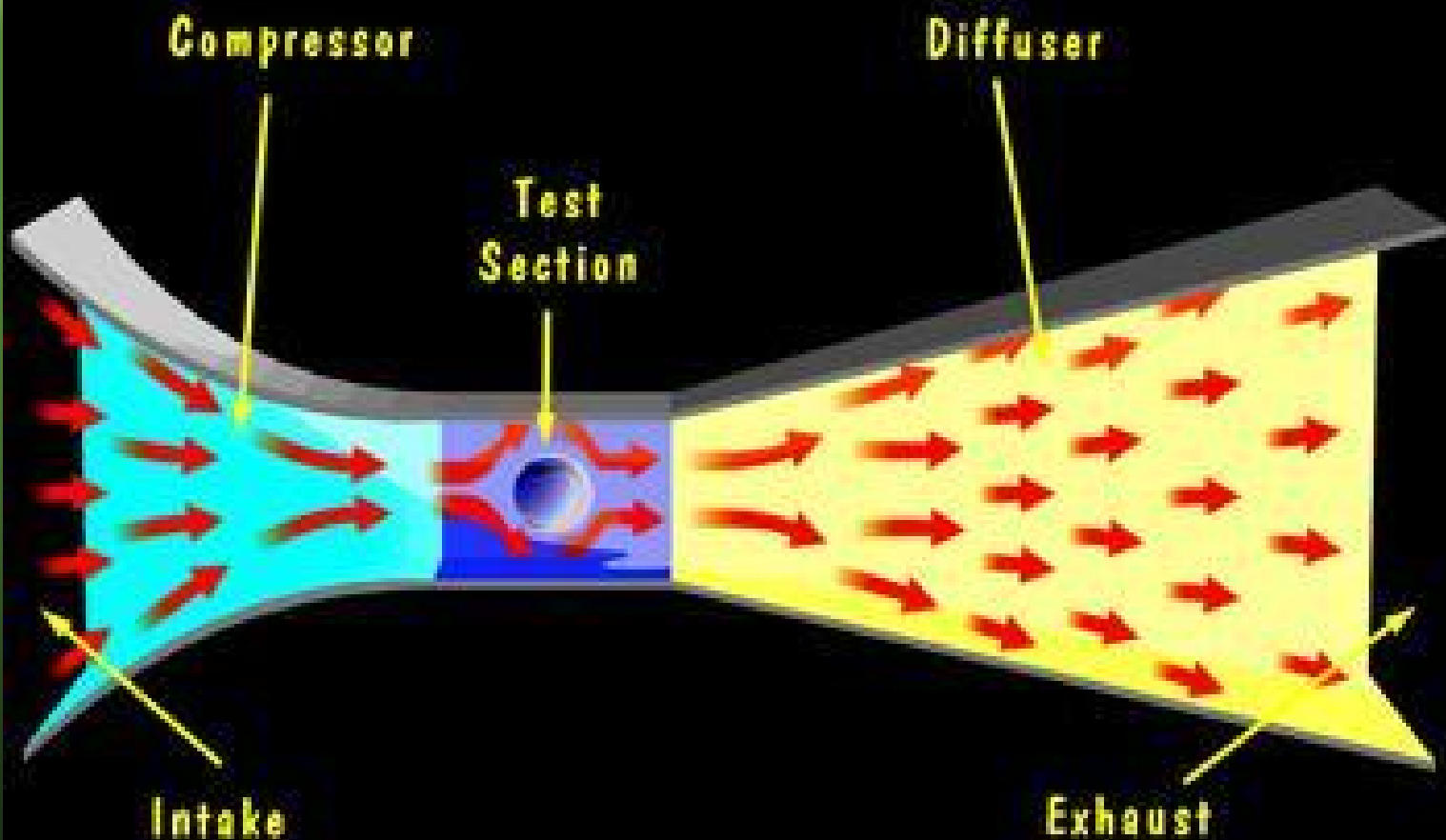
PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu





Przepływ ustalony

Przepływem ustalonym nazywamy przepływ, w którym ilość płynu w jednostce czasu jest stała

$$Q = S \cdot w = \text{const}$$

$$S_1 \cdot w_1 = S_2 \cdot w_2 = \text{const}$$



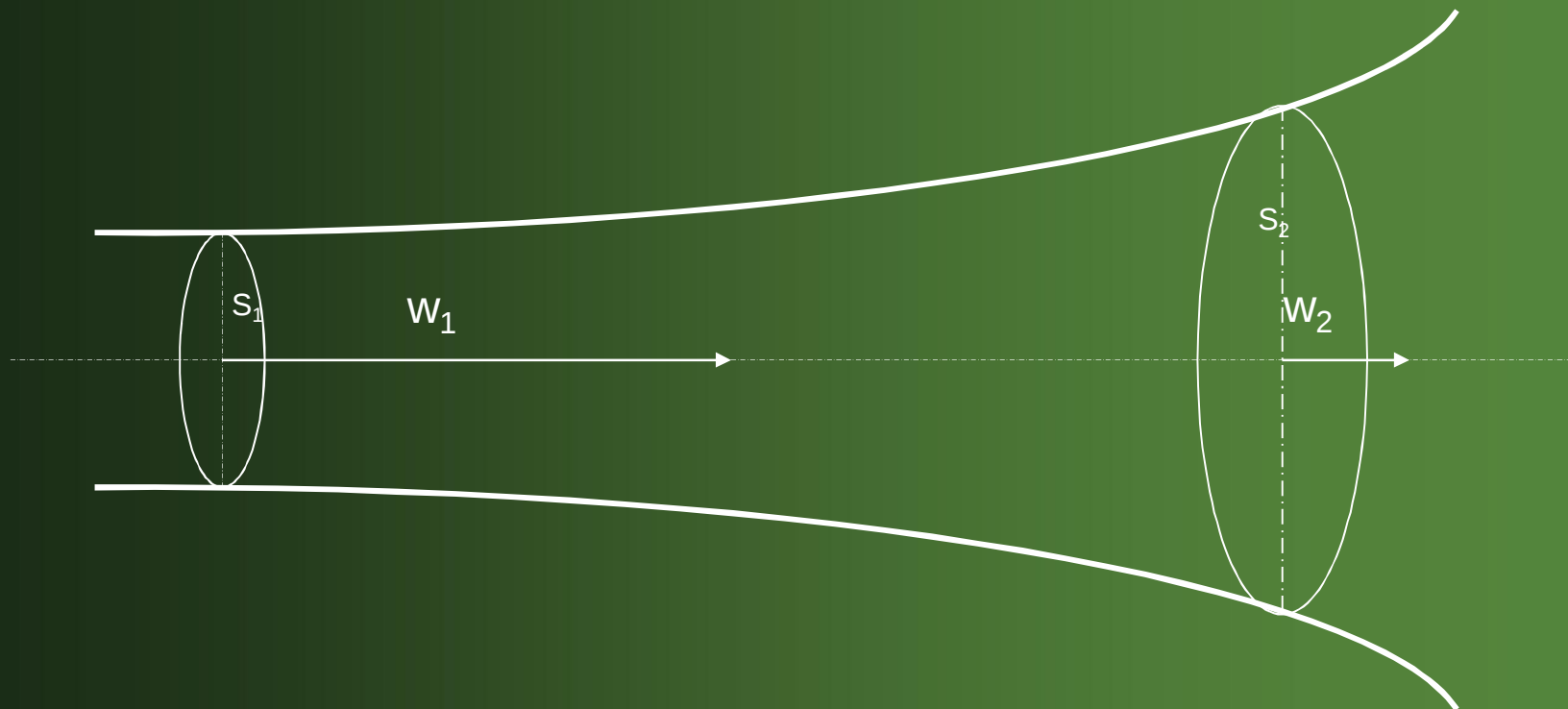
PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

zepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu





Przepływ ustalony

(płyn nieściśliwy)

Aerodynamika i mechanika lotu

W kanale przepływowym występuje przepływ zamknięty. Dla przepływu otwartego (pojedyncza ścianka) nie można określić powierzchni przekroju poprzecznego S . Równanie ciągłości strugi obowiązuje także dla przepływu otwartego. W przepływie otwartym ścianka odchodząca od strugi jest odpowiednikiem rozszerzającego się kanału przepływowego



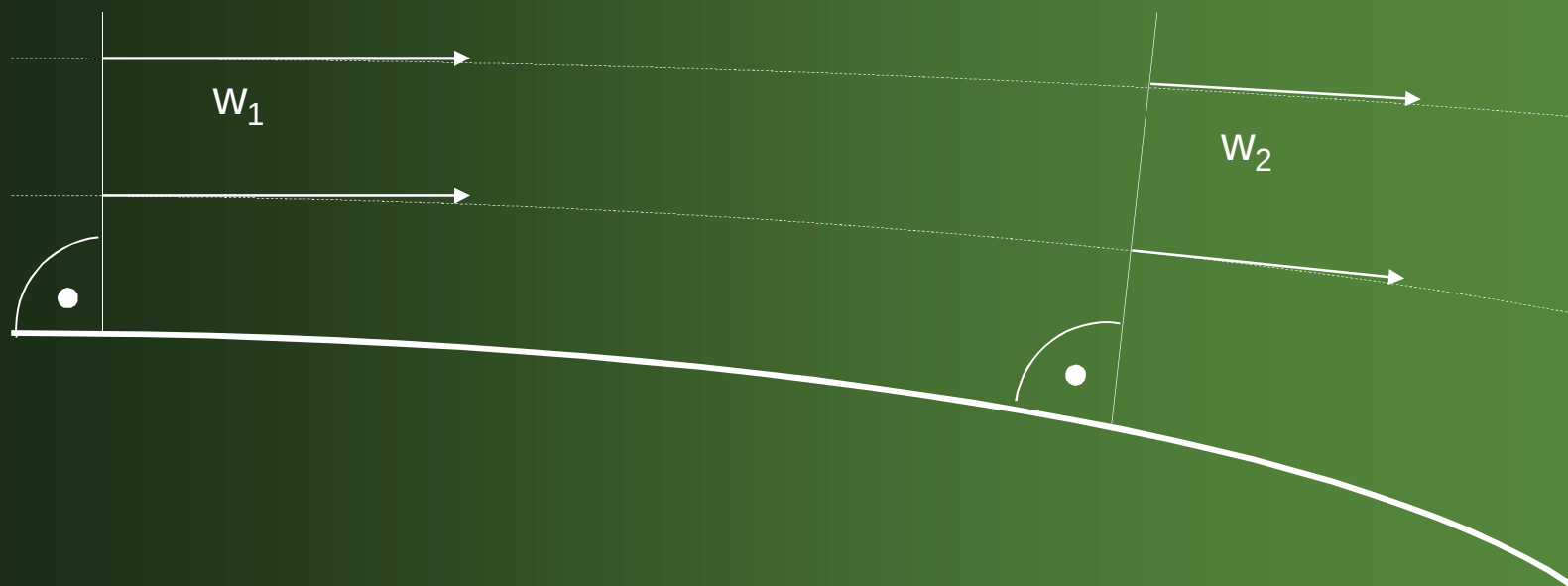
PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

zepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu





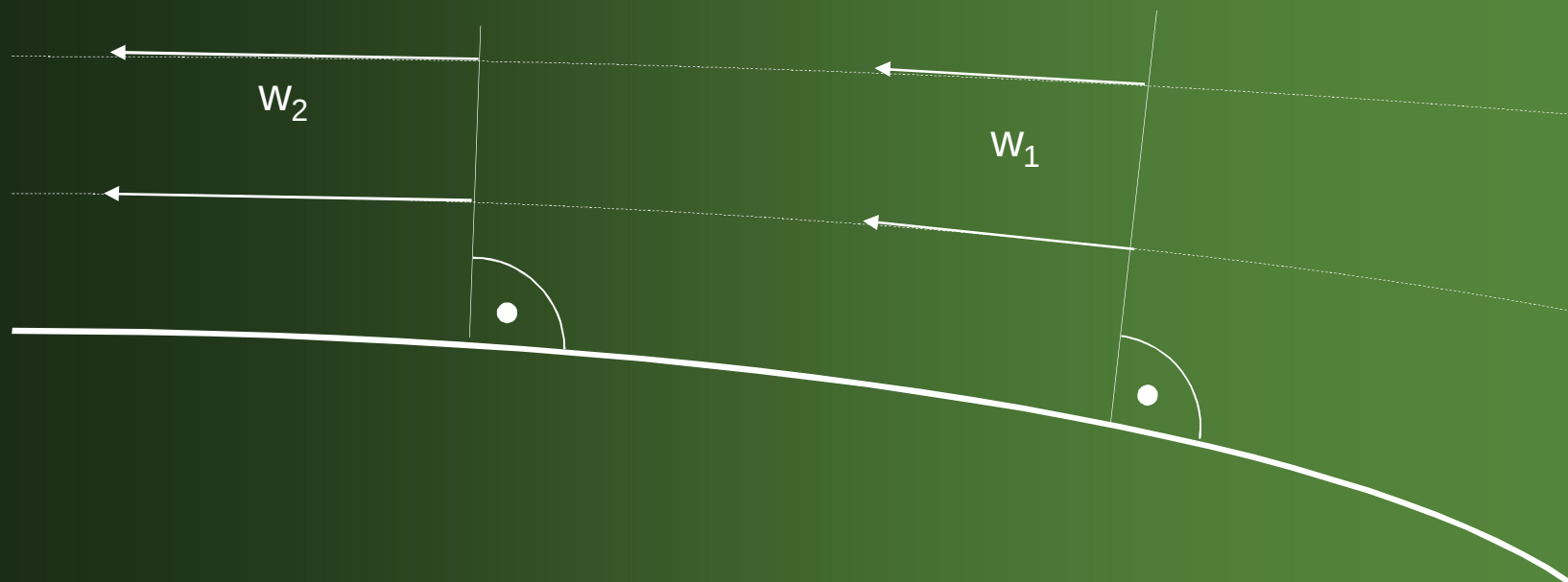
PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

zepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu





PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

zepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu

Prędkość płynu względem ścianki zależy od geometrii (kształtu) ścinaki.

Zmiana kształtu ścianki zmienia prędkość płynu



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

zepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu





zepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu

Zgodnie z II zasadą dynamiki Newtona przyśpieszenie jest skutkiem działania siły, czyli między ścianką, a płynem działają siły. Zgodnie z III zasadą dynamiki Newtona ścianka działa na płyn (zmieniając jego prędkość) i płyn działa na ściankę siłą o tej samej wartości, kierunku i przeciwnym zwrocie



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

zepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu

Wartość siły dynamicznej
działającej na ściankę
zależy od kształtu ścianki



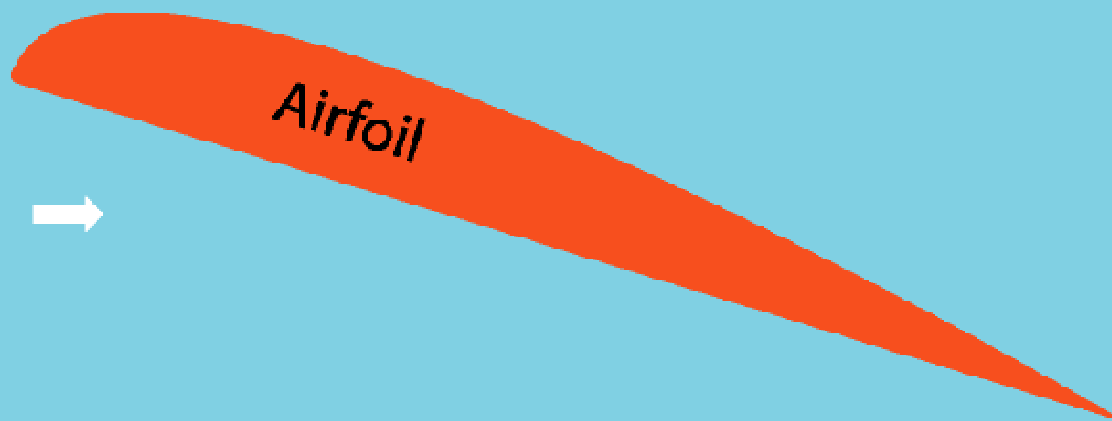
PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

zepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu





przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu

Dla płynu ściśliwego (gaz, dla którego zmiana gęstości nie może być pominięta) przepływ ustalony opisuje równanie

$$Q_m = \rho \cdot S \cdot w = \text{const}$$

$$\rho_1 \cdot S_1 \cdot w_1 = \rho_2 \cdot S_2 \cdot w_2 = \text{const}$$



zepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu

Suma energii ciśnienia i energii wewnętrznej gazu nazywana jest entalpią

$$i = \frac{p}{\rho} + u \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$



zepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu

Przyrost energii kinetycznej Δe_k
(odniesionej do jednostki masy gazu)
odbywa się kosztem spadku entalpii

$$\Delta e_k = \Delta i$$

$$\frac{w_2^2}{2} - \frac{w_1^2}{2} = i_1 - i_2$$



zepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu

Dla prędkości początkowej $w_1=0$

$$w_2 = \sqrt{2 \cdot (i_1 - i_2)}$$

$$w_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa}{\kappa - 1} \cdot R \cdot T_1 \cdot (T_1 - T_2)}$$



zepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu

$$w_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa}{\kappa - 1} \cdot \frac{p_1}{\rho_1} \cdot \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} \right]}$$

Prędkość gazu przy rozprężaniu zależy od:

- budowy cząstki gazu $\left(\frac{\kappa}{\kappa - 1} \right)$
- początkowej energii ciśnienia gazu $\left(\frac{p_1}{\rho_1} \right)$
- względnej zmiany ciśnienia gazu $\left(\frac{p_2}{p_1} \right)$



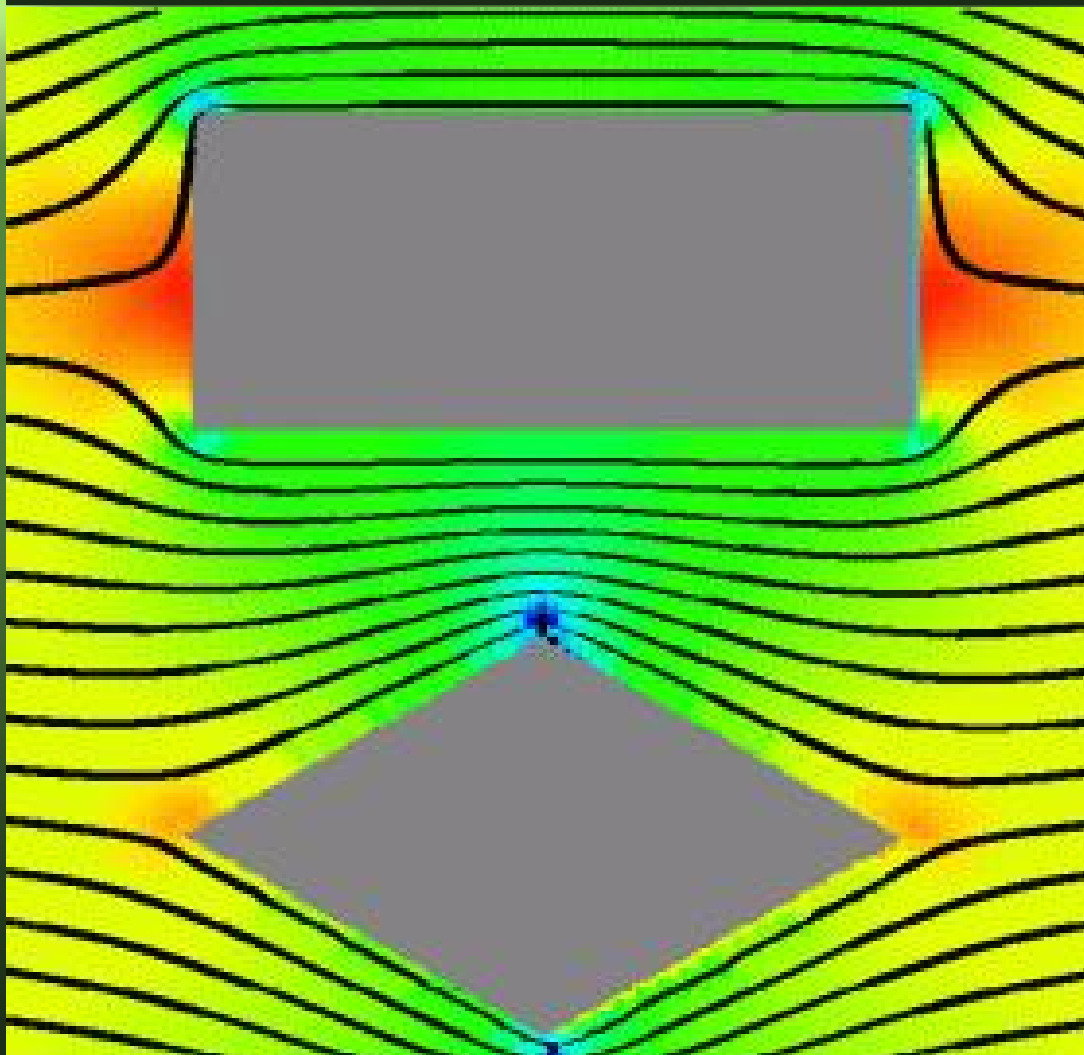
PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

zepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu





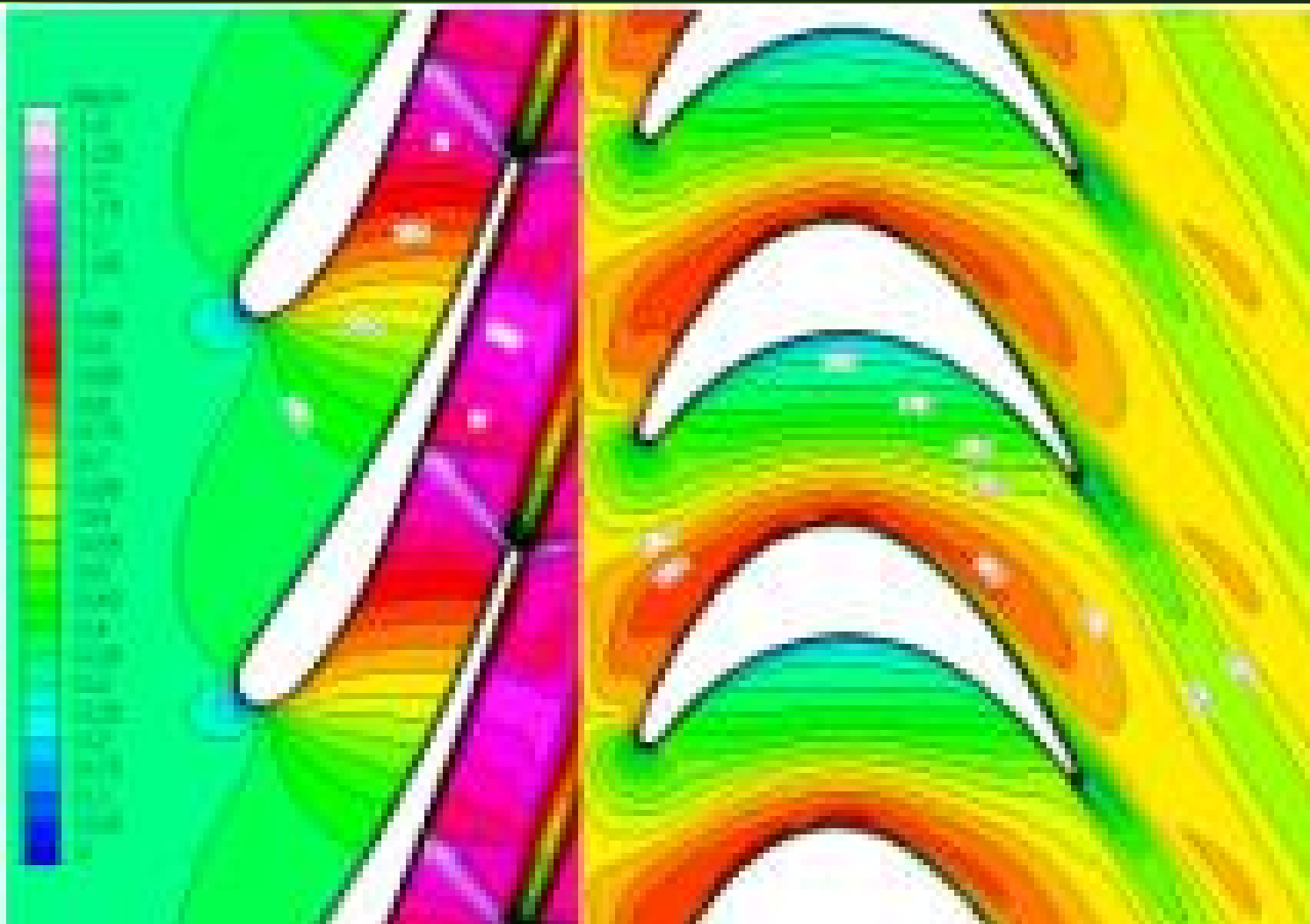
PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

zepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu





Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu

Równanie Bernoulliego jest zastosowaniem zasady zachowania energii do przepływu ustalonego płynu. Zgodnie z zasadą zachowania energii suma energii układu izolowanego (nie wymieniającego energii z otoczeniem) jest stała. Zmiana może dotyczyć tylko zamiany jednego rodzaju energii na drugi. Zastosowanie zasady zachowania energii do konkretnego przypadku można sprowadzić tylko do rodzajów energii, które podlegają zmianie. W przepływie ustalonym płynu ilość płynu przepływająca w jednostce czasu nie ulega zmianie i w związku z tym, jeśli płyn jest izolowany, to energia jednostki masy płynu także nie ulega zmianie



Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu

Rodzaje energii izolowanego, ustalonego przepływu płynu

-energia kinetyczna
$$e_k = \frac{E_k}{m} = \frac{\frac{m \cdot w^2}{2}}{m} = \frac{w^2}{2}$$

-energia ciśnienia
$$e_c = \frac{E_c}{m} = \frac{W_c}{m} = \frac{F_c \cdot s}{m} = \frac{p \cdot A \cdot s}{m} = \frac{p \cdot V}{\rho \cdot V} = \frac{p}{\rho}$$

- energia potencjalna
(pola grawitacyjnego)
$$e_p = \frac{E_p}{m} = \frac{m \cdot g \cdot h}{m} = g \cdot h$$



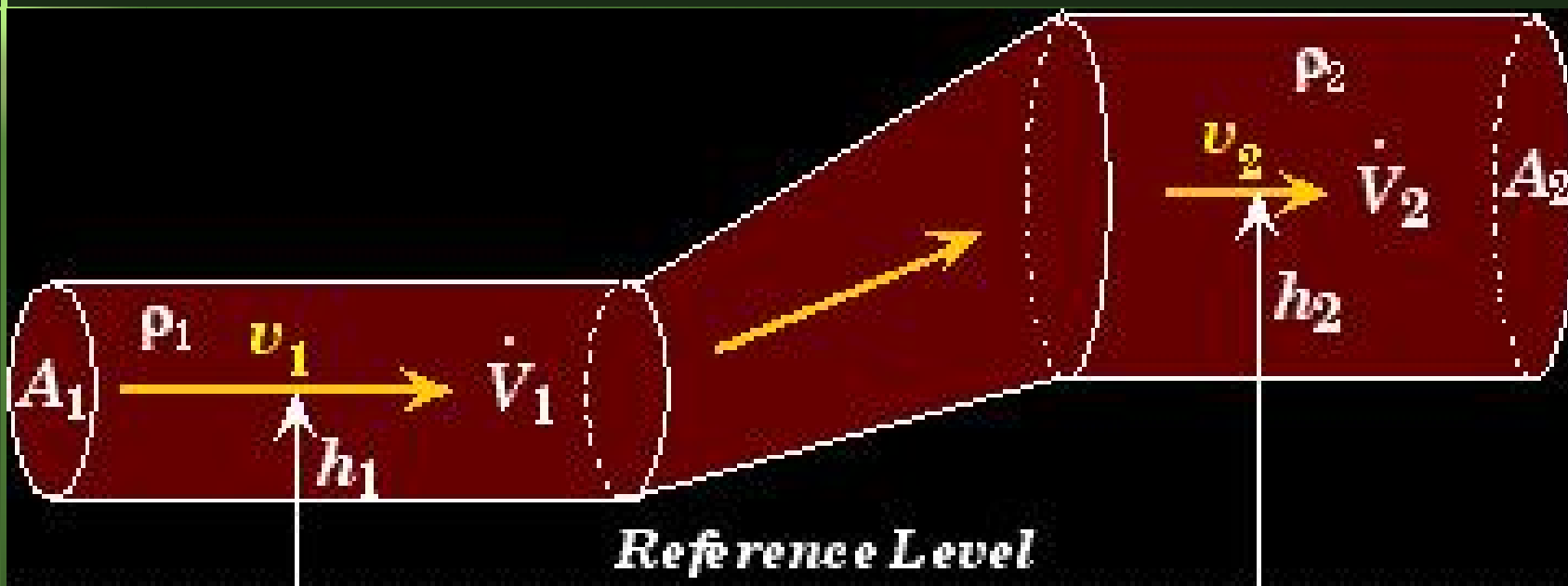
PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu





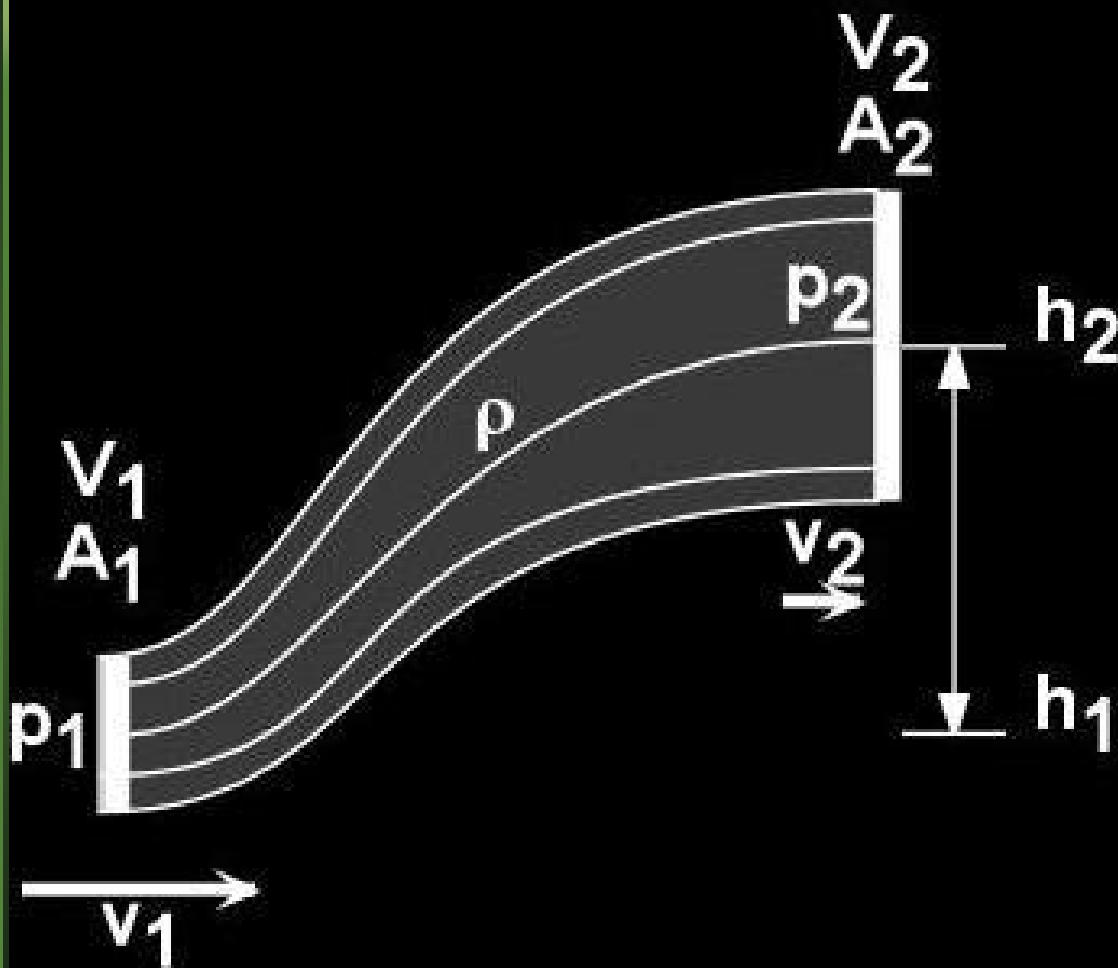
PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu





Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu

$$e_k + e_c + e_p = \text{const}$$

$$\frac{w^2}{2} + \frac{p}{\rho} + g \cdot h = \text{const}$$



Przepływ ustalony

Energy per unit volume before = Energy per unit volume after

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

Pressure
Energy

Kinetic
Energy
per unit
volume

Potential
Energy
per unit
volume

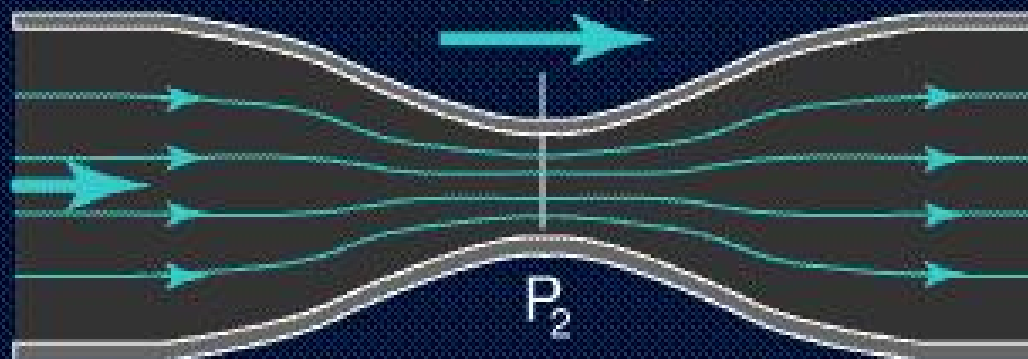
The often cited example of the Bernoulli Equation or "Bernoulli Effect" is the reduction in pressure which occurs when the fluid speed increases.

Flow velocity

v_1

Flow velocity

v_2



P_1

P_2

Increased fluid speed,
decreased internal pressure.

$$A_2 < A_1$$

$$v_2 > v_1$$

$$P_2 < P_1!$$



Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu

$$h = \text{const} \Rightarrow \frac{w^2}{2} + \frac{p}{\rho} = \text{const}$$

$$\rho \approx \text{const} \Rightarrow \frac{\rho \cdot w^2}{2} + p = \text{const}$$



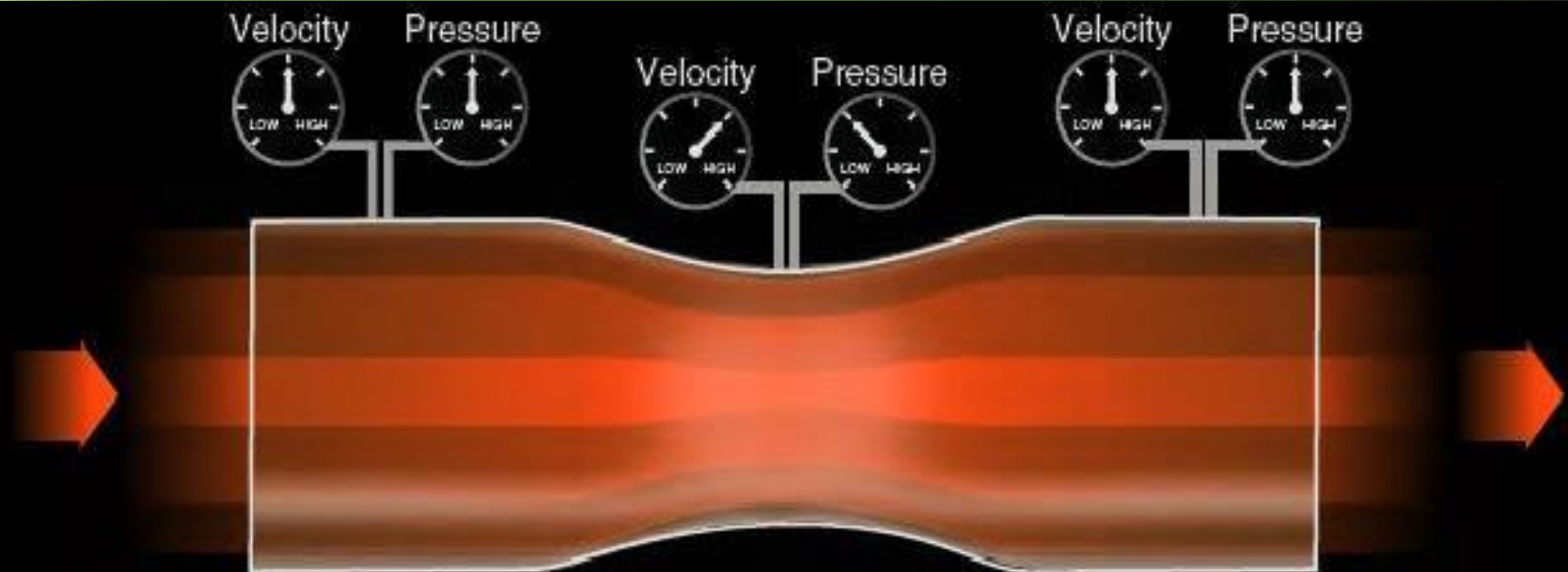
PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu





Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu

$$p_c = p + \frac{\rho \cdot w^2}{2}$$

$$\frac{\rho \cdot w^2}{2}$$

p

ciśnienie dynamiczne

ciśnienie statyczne

p_c

ciśnienie całkowite



Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu

Ciśnienie dynamiczne płynu może być zmierzone jako różnica ciśnienia całkowitego i ciśnienia statycznego

$$\frac{\rho \cdot w^2}{2} = p_c - p = \Delta p$$



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu

Ciśnienie dynamiczne umożliwia określenie
prędkości prądu

$$w = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}}$$



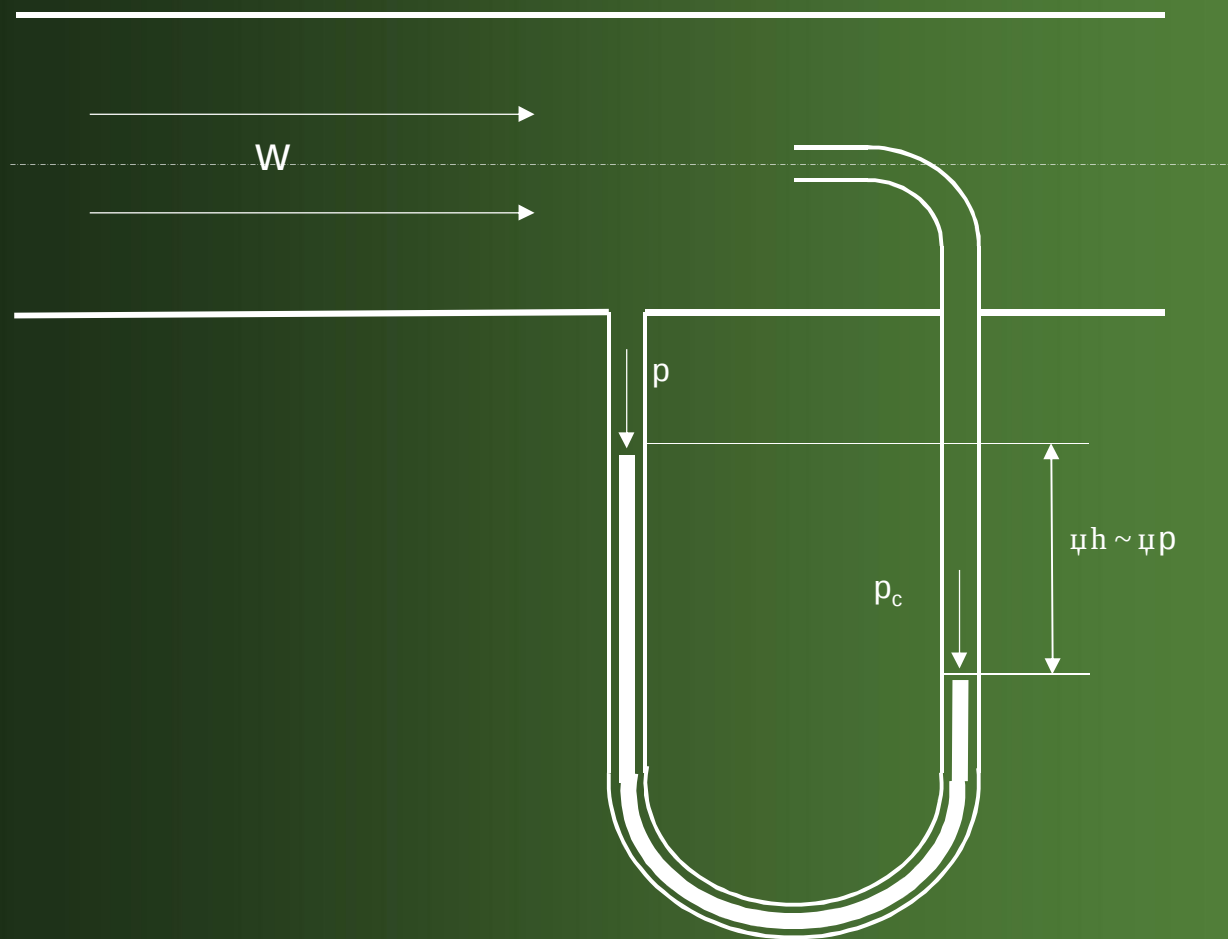
PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu





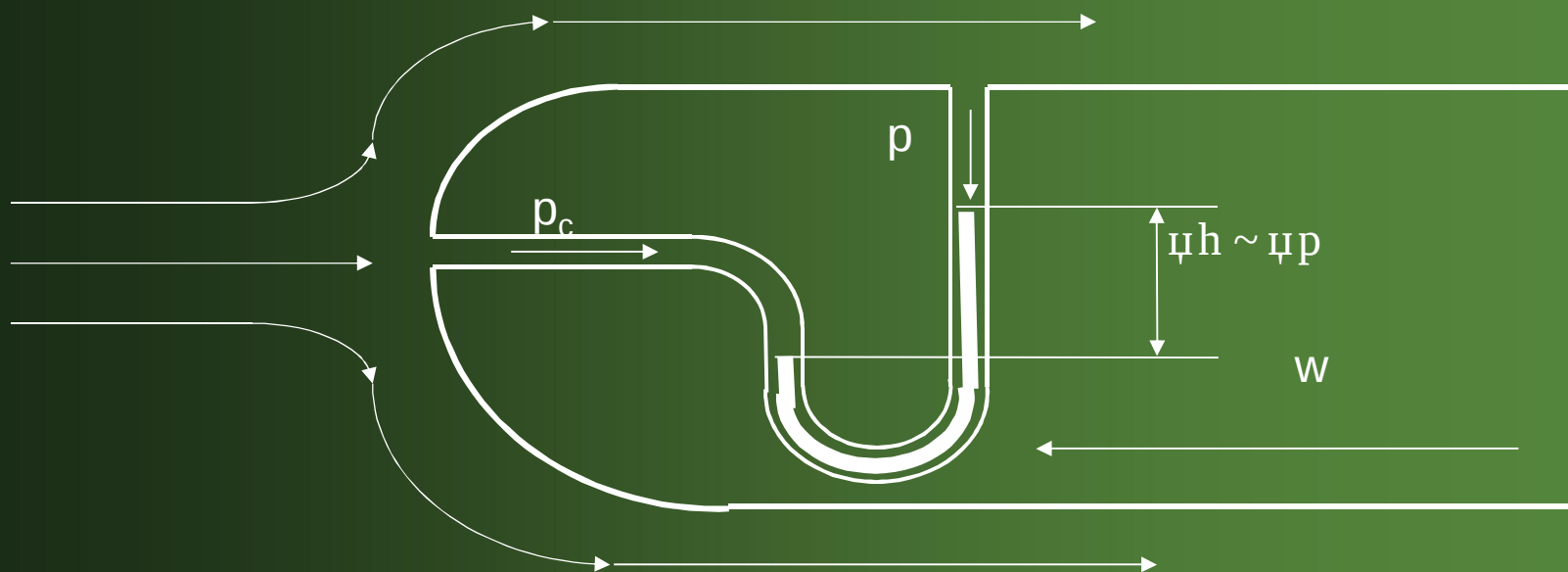
PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu





PDF
Complete

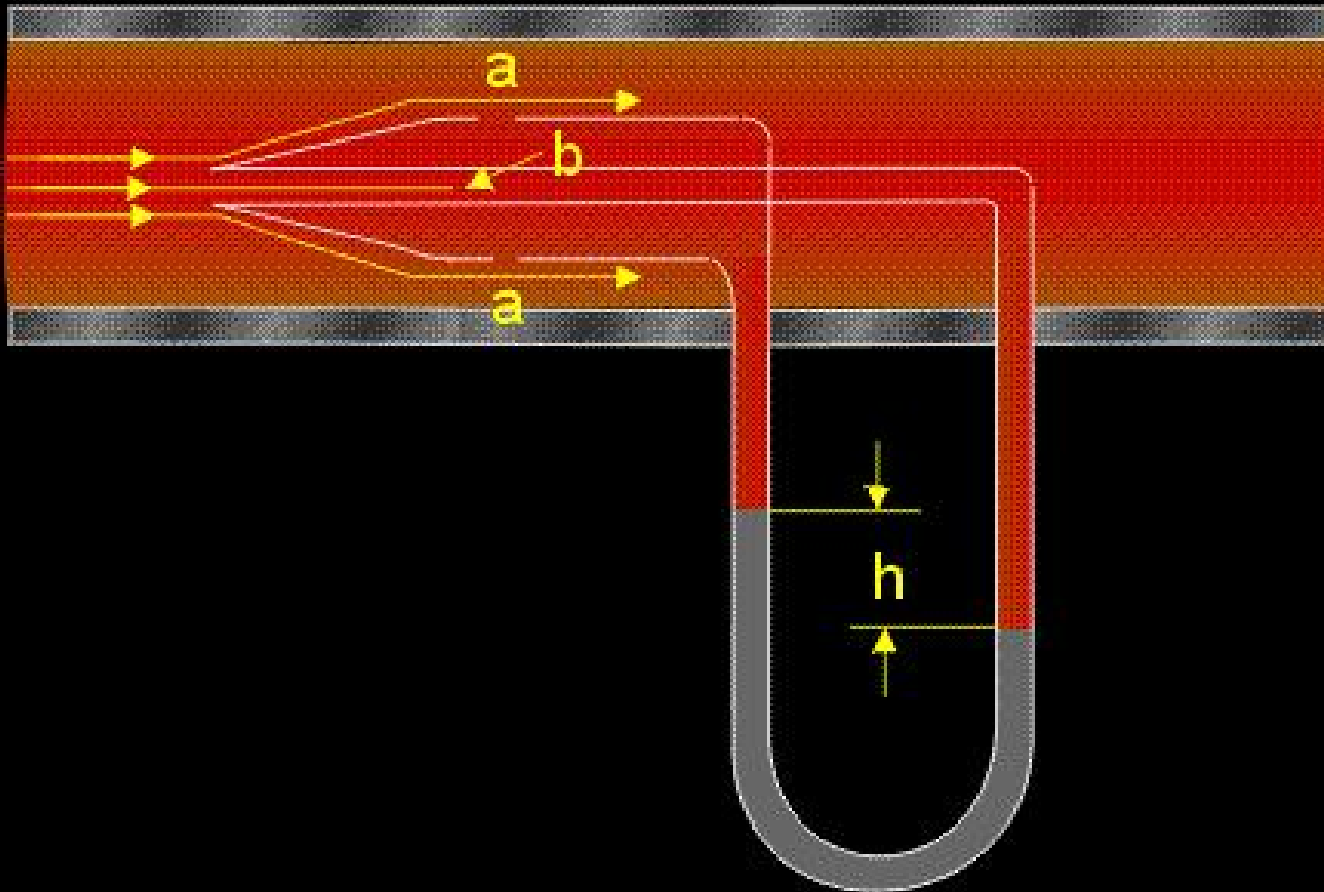
Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu

Pitot tube





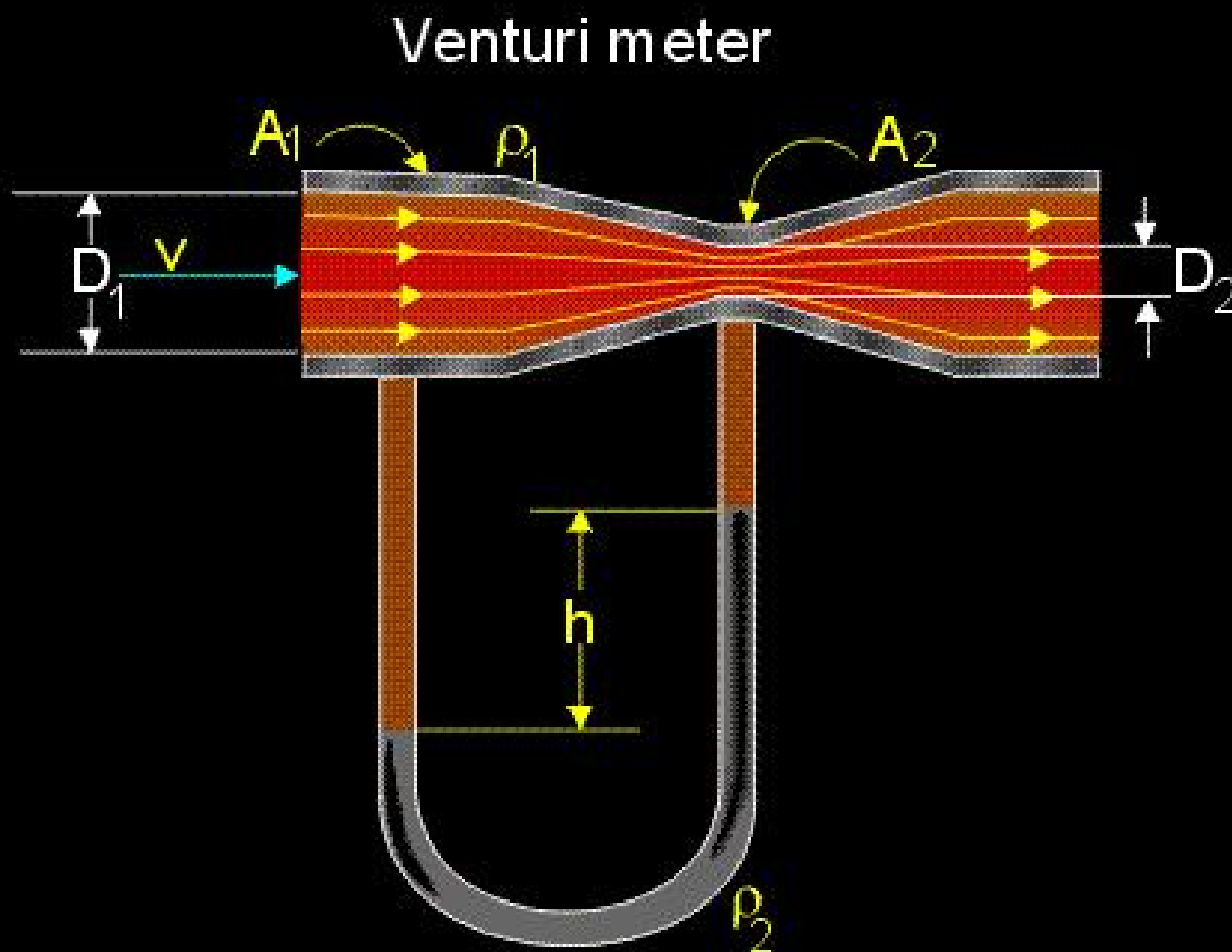
PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu





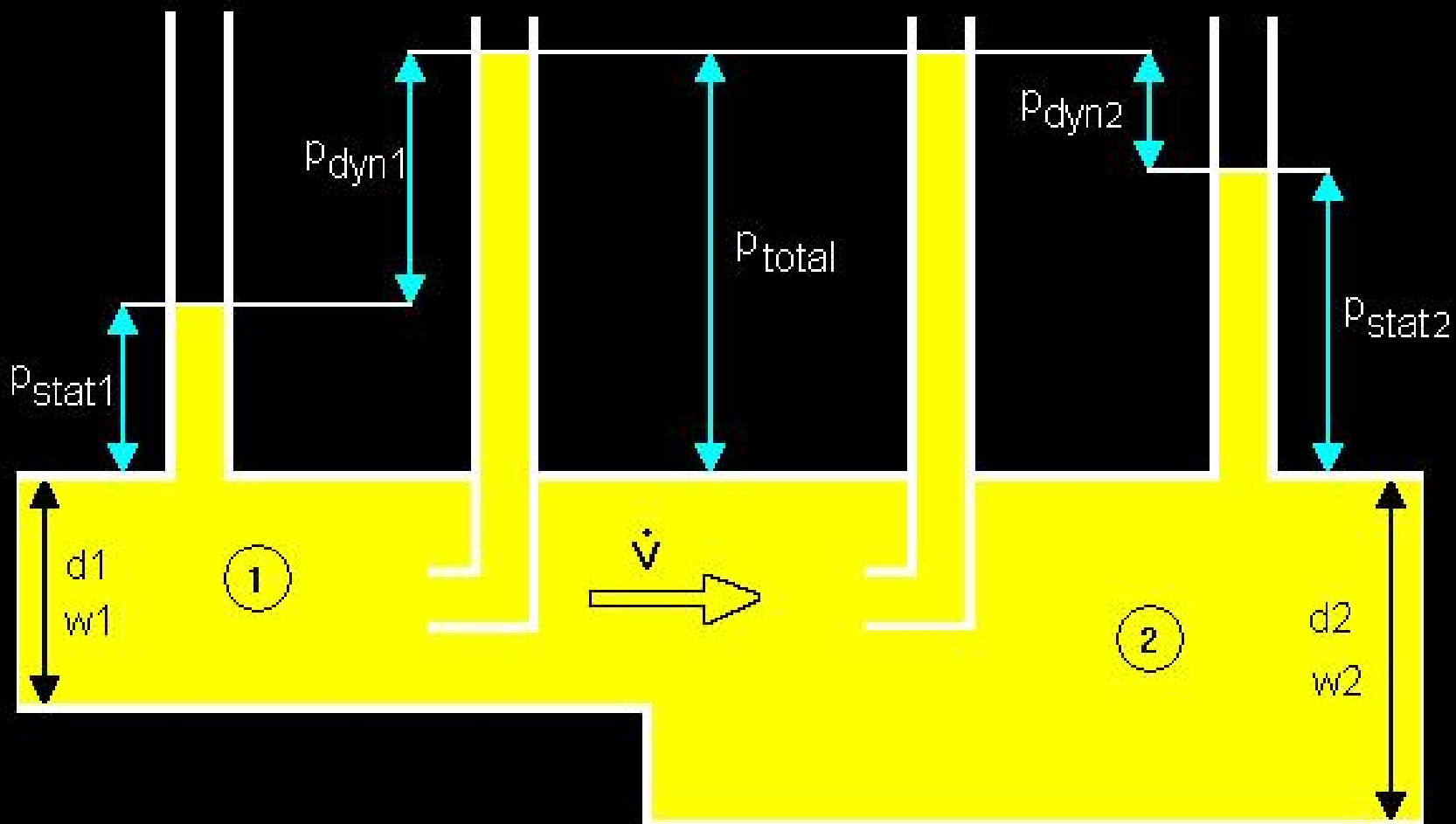
PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu





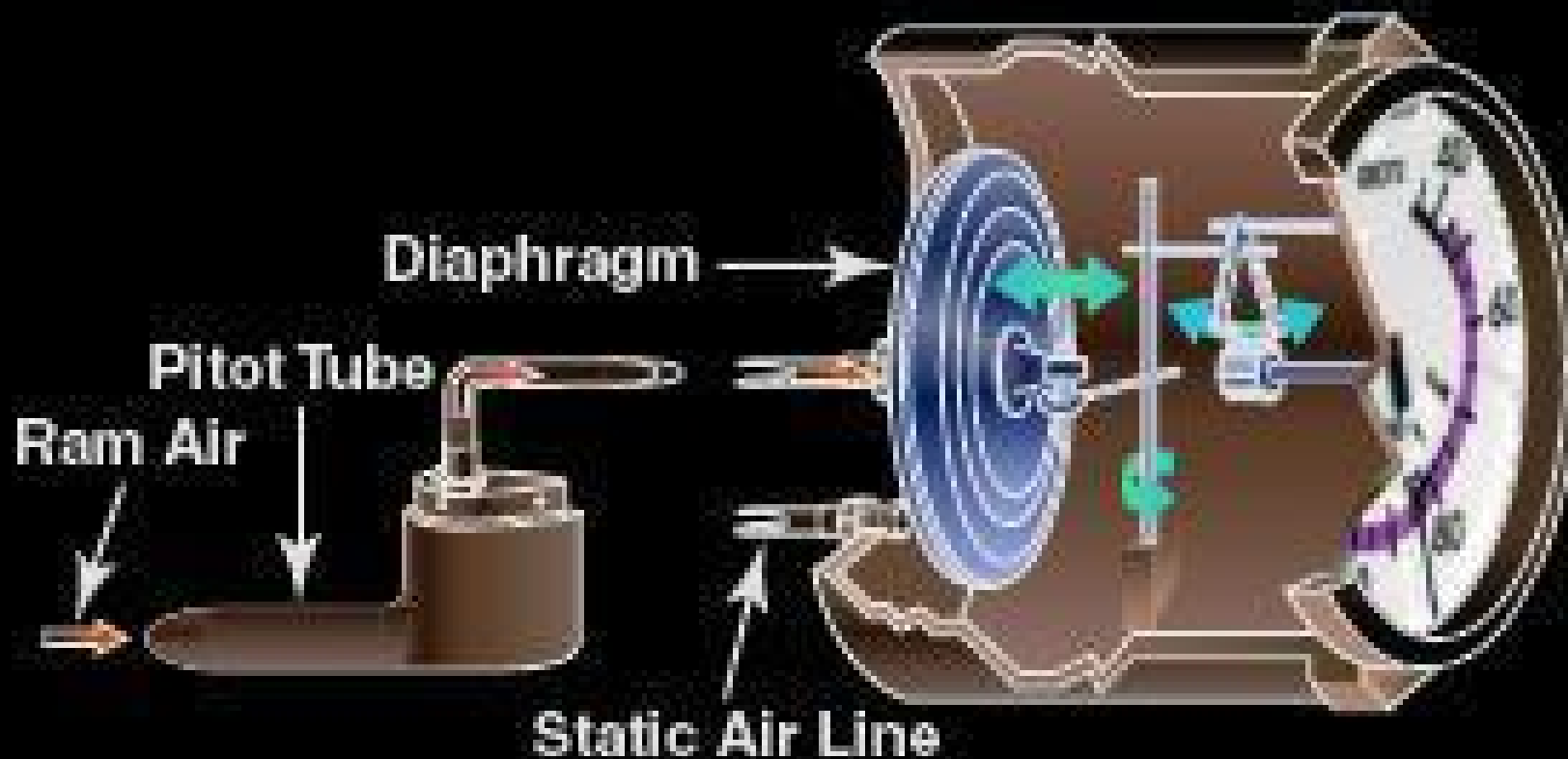
PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu





Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu

Zmiana przekroju kanału przepływowego zmienia ciśnienie i prędkość płynu. Dla płynów nieściśliwych prędkość rośnie, a ciśnienie maleje i odwrotnie

$$Q = S \cdot w = \textit{const}$$



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu

Kanał przepływowy, w którym prędkość rośnie, a ciśnienie maleje, czyli kanał przepływowy o malejącym przekroju nazywamy dyszą



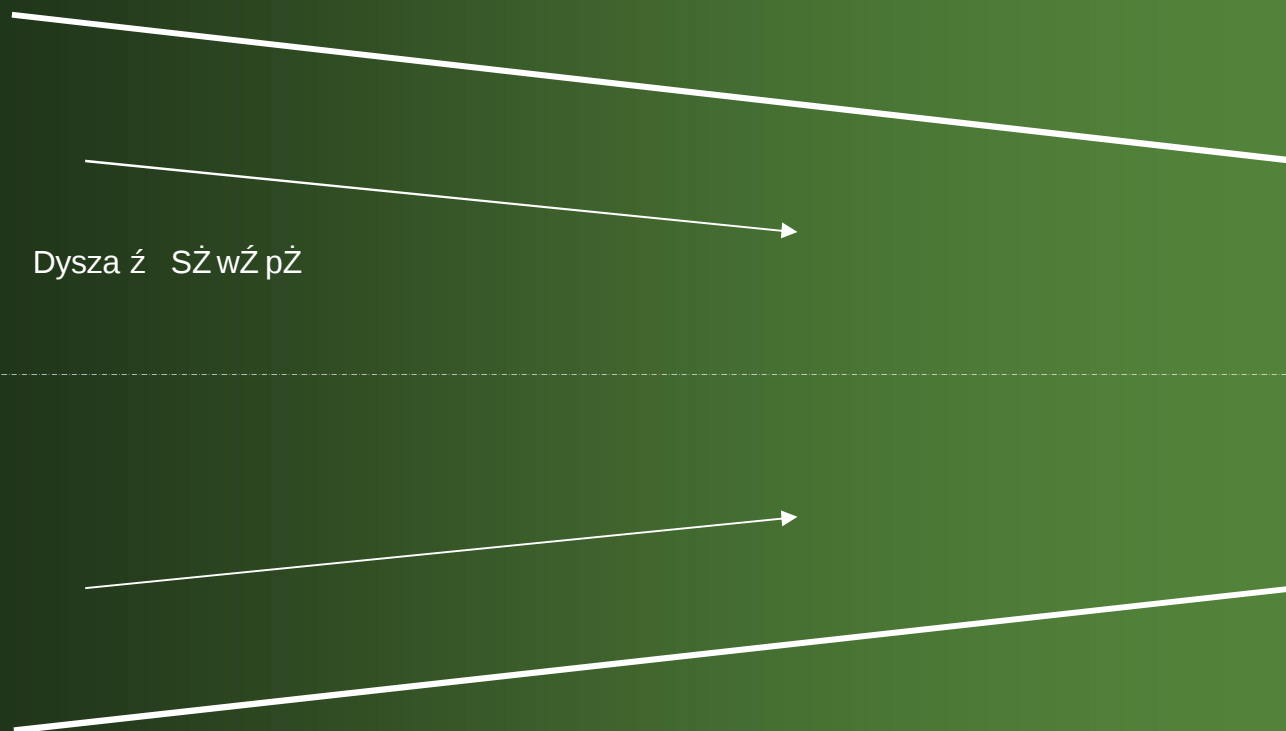
PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu





PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu

Kanał przepływowy, w którym prędkość maleje, a ciśnienie rośnie, czyli kanał przepływowy o rosnącym przekroju nazywamy dyfuzorem



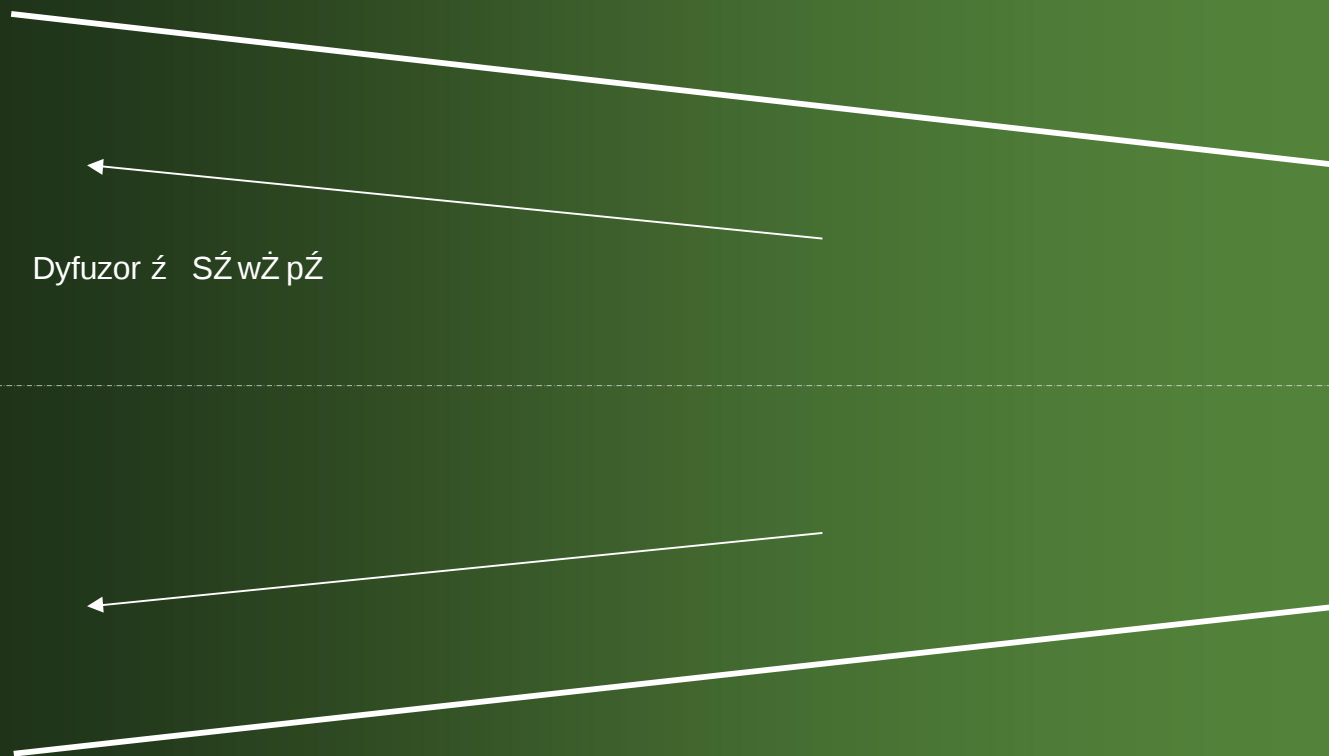
PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu





PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu

Kształt dyszy i zbiornika i kształt dyfuzora i rozbieżności dotyczy przepływu płynu nieściśnialnego (cieczy). Identyczny kształt dyszy i dyfuzora dotyczy płynu ściśnialnego (gazu), dla którego zmiana ciśnienia jest niedużą



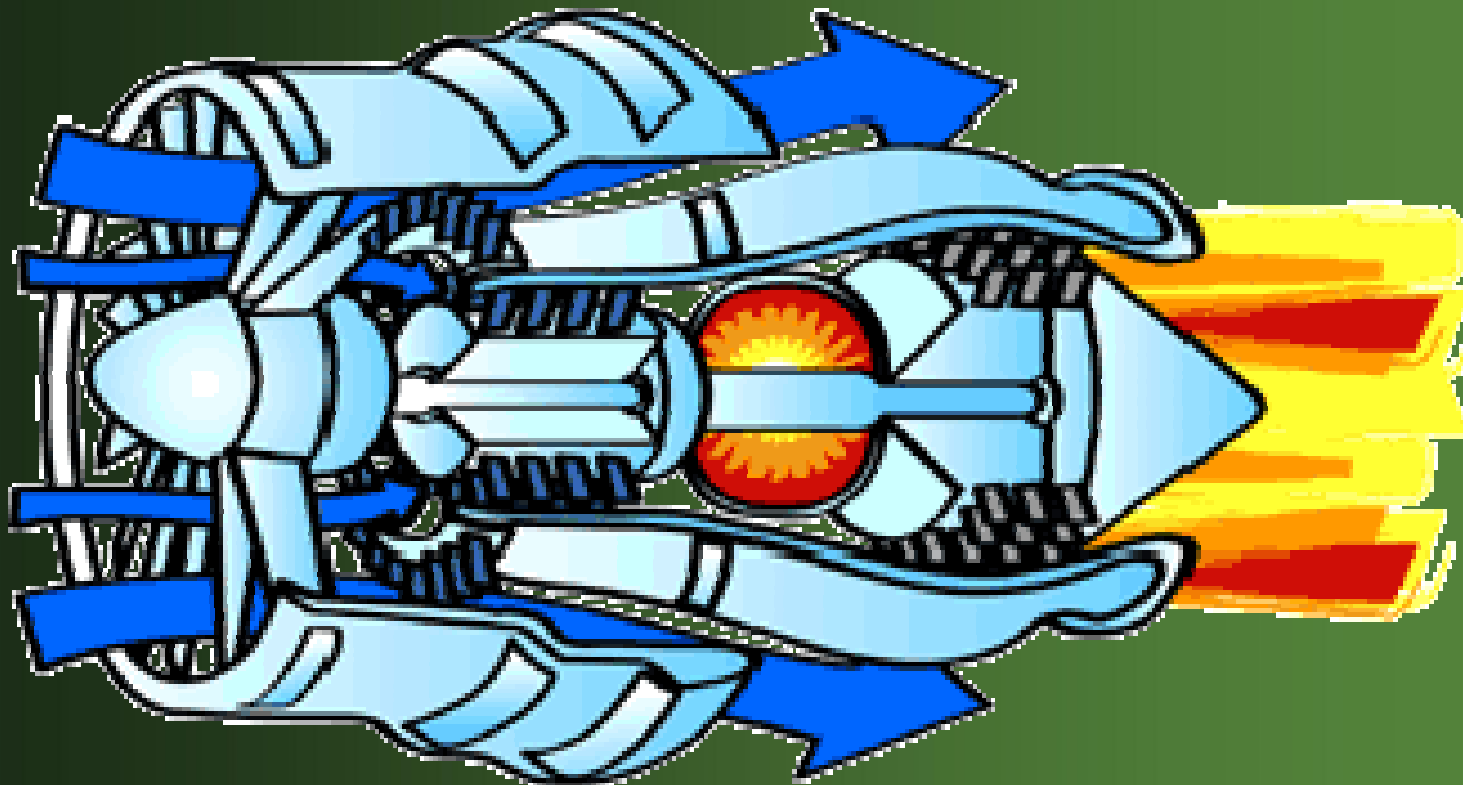
PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu





Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu

Zmiana prędkości płynu względem ścianki zmienia ciśnienie płynu. W przypadku, gdy z jednej strony ścianki panuje ciśnienie otoczenia, a drugiej strony płynie płyn, to może wystąpić sytuacja, w której ciśnienie po obu stornach ścianki będzie się różniło



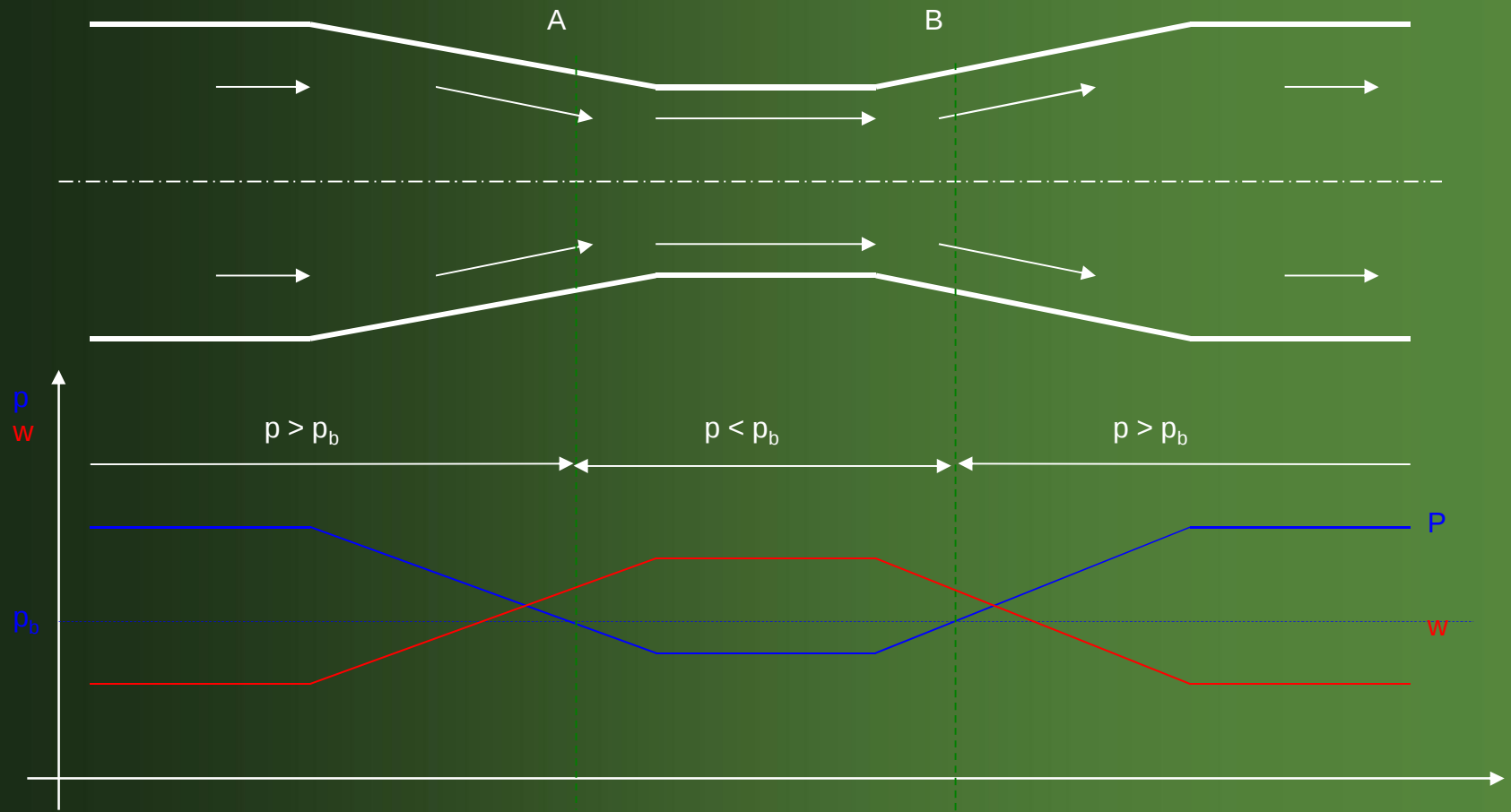
PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu





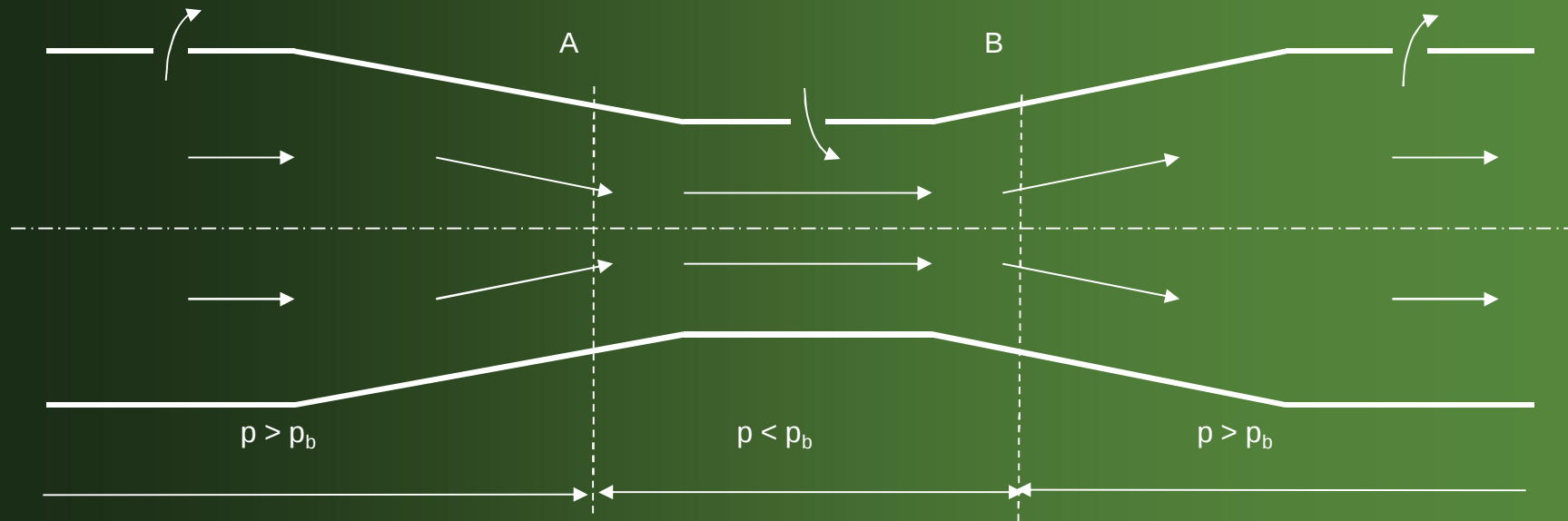
PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu





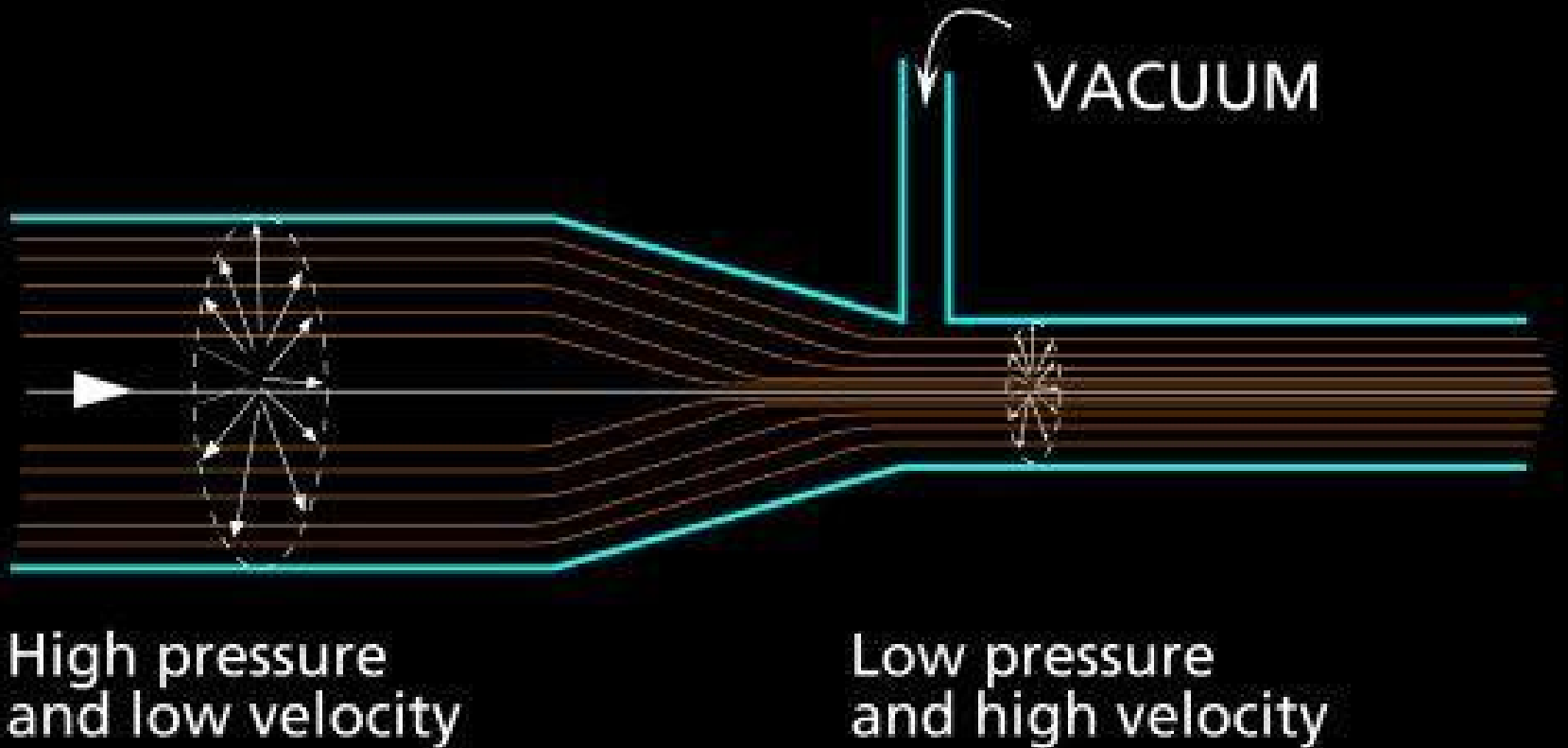
PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu





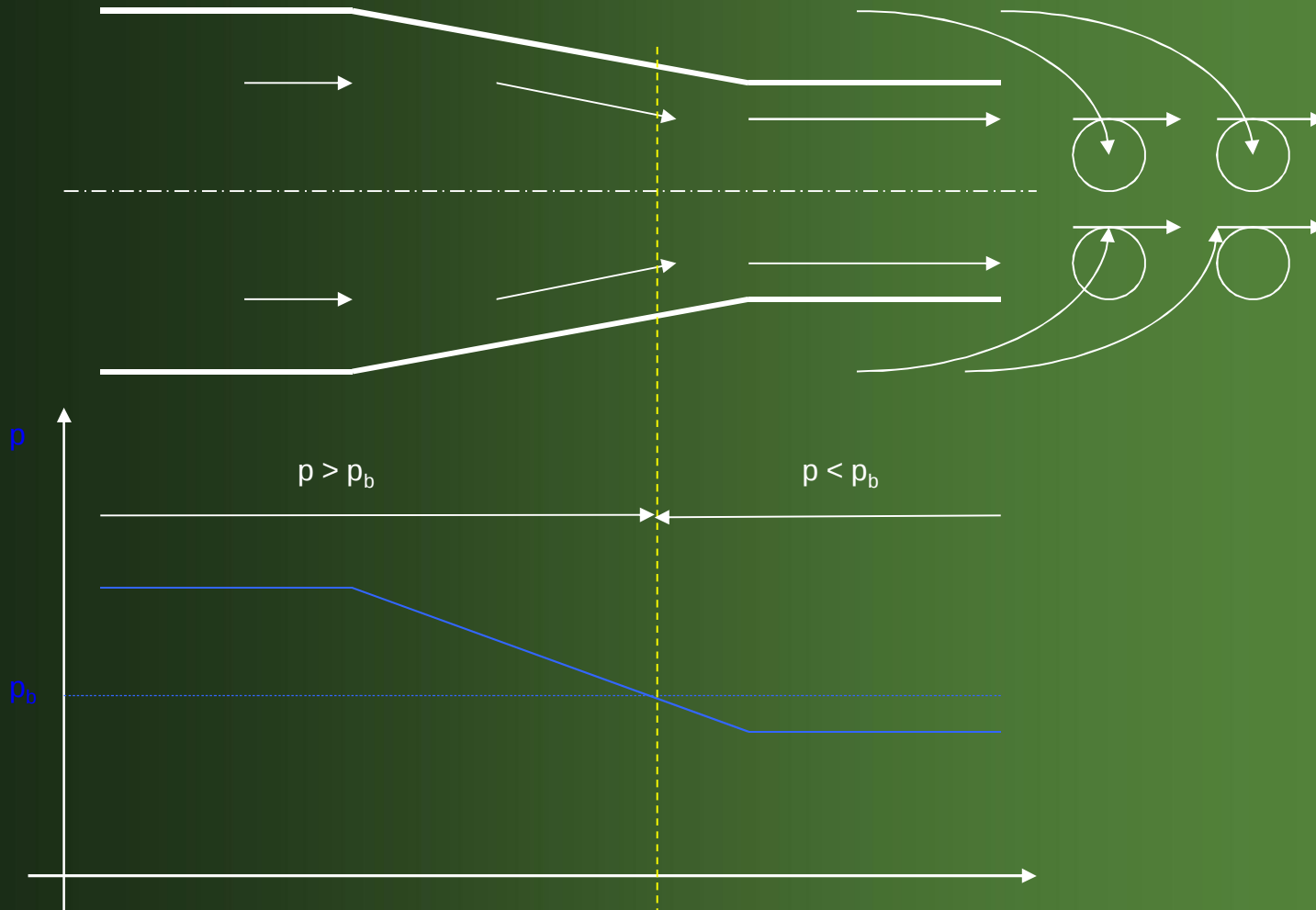
PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu





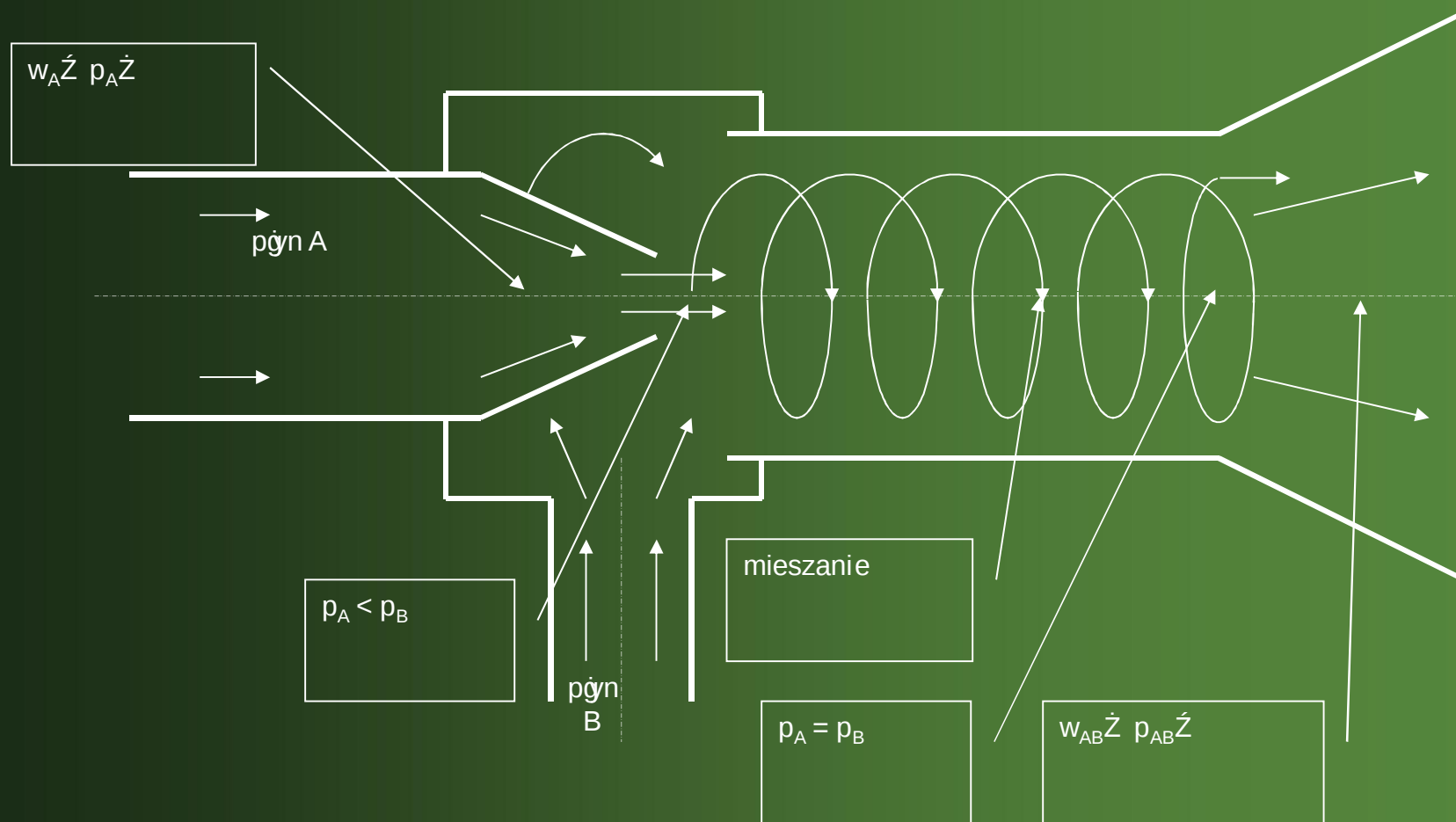
PDF
Complete

Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu





PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Przepływ ustalony

Aerodynamika i mechanika lotu

