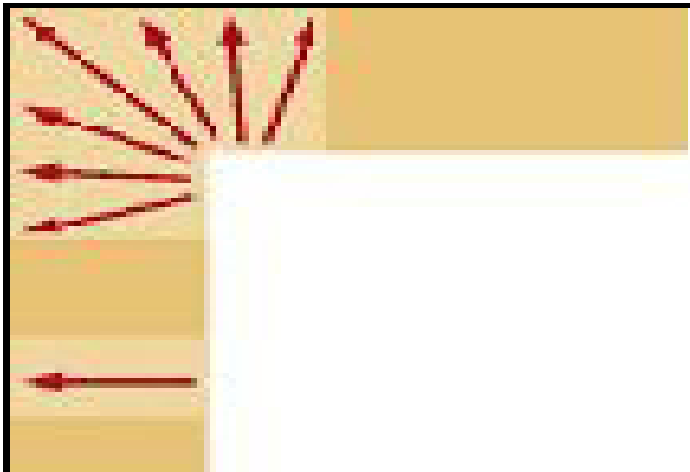
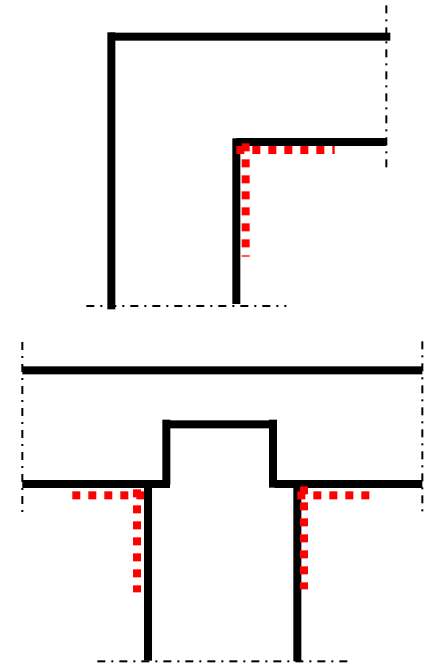


# Narożniki

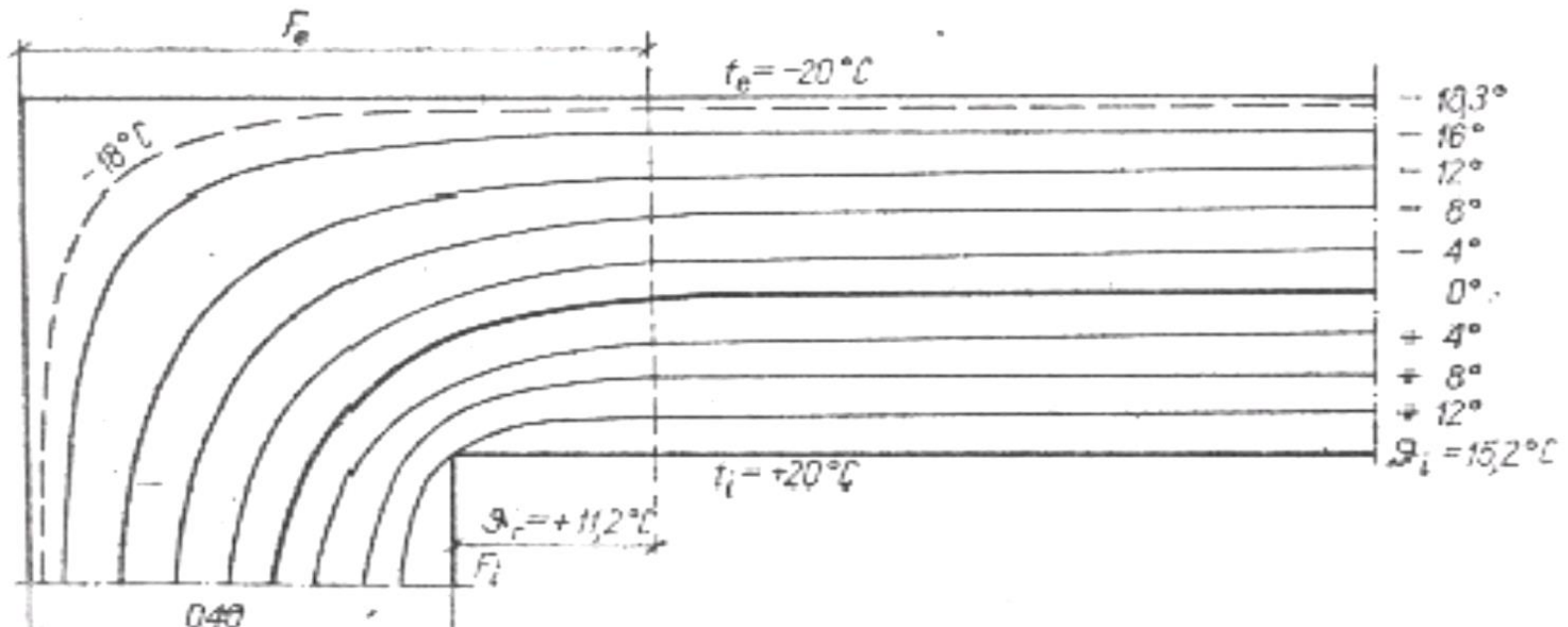
Niebezpieczeństwo kondensacji pary wodnej występuje także na wewnętrznych powierzchniach w narożnikach przegród oraz w miejscach styków ścian wewnętrznych z zewnętrznymi. Temperatura w tych miejscach jest zawsze niższa niż w innych częściach zbiegających się przegród

Zarówno ze względów sanitarnych, jak i technicznych istotne znaczenie ma stopień obniżenia temperatury na wewnętrznej powierzchni narożnika przegród zewnętrznych. Obniżenie temperatury można określić za pomocą pola temperatur



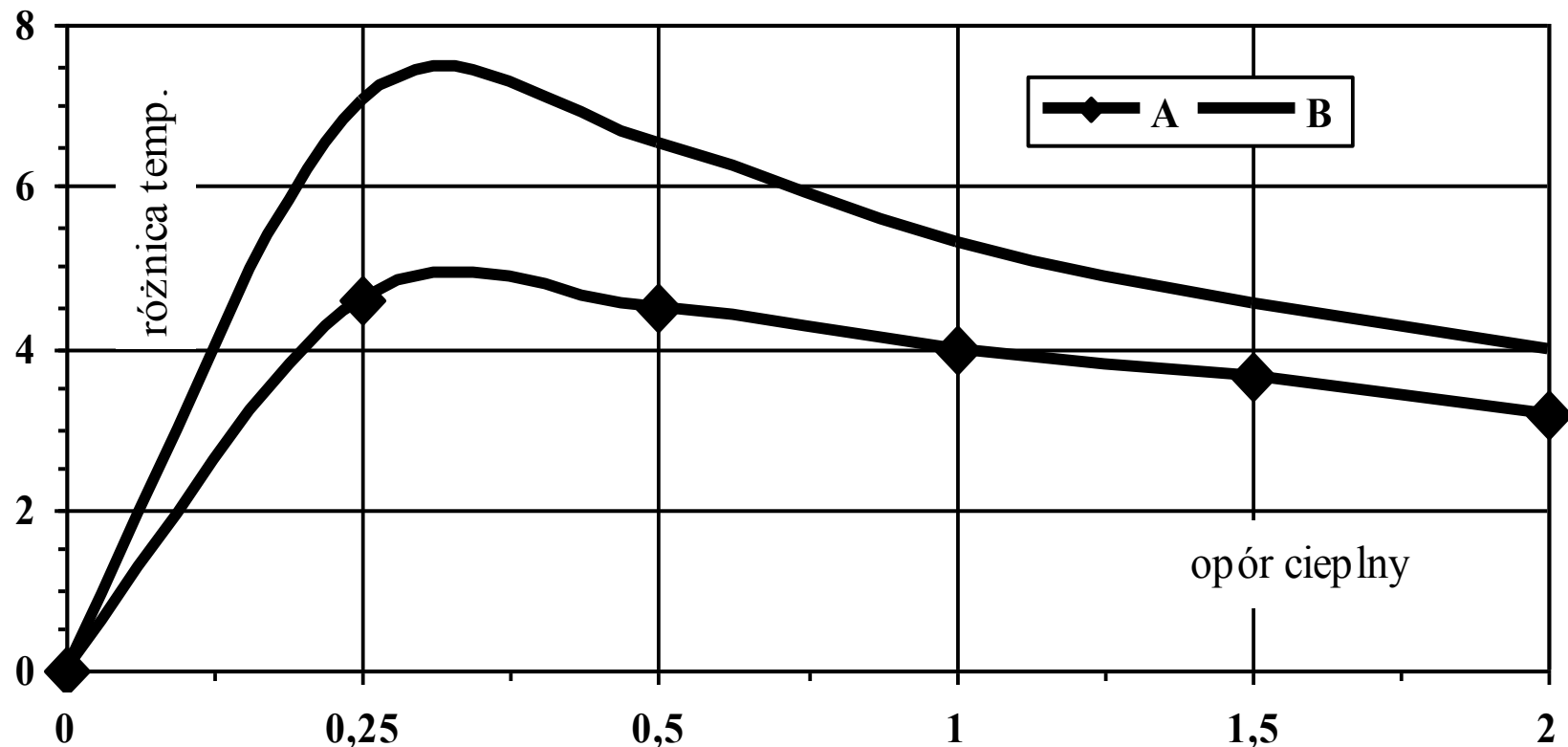
Wyróżnia się dwie główne przyczyny obniżenia temperatury w narożnikach, a mianowicie: **współczynnik napływu ciepła jest w nim mniejszy oraz powierzchnia wewnętrzna napływu ciepła jest mniejsza od powierzchni jego odpływu**

Temperatura powierzchniowa w narożniku jest zawsze niższa niż w dalszych częściach ścian. Z dala od ściany utrzymuje się temperatura  $+15,2^{\circ}\text{C}$  a w narożniku tylko  $+11,2^{\circ}\text{C}$ . Wskutek obniżenia temperatury w narożniku zwiększa się strumień ciepły. narożnika izotermy są ułożone równoległe do powierzchni ,a w narożniku zaginają się



Różnica temperatur powierzchni wewnętrznej z dala od narożnika oraz w narożniku jest funkcją różnych czynników; w kątach prostych (lub ostrych) jest ona większa niż w kątach rozwartych (lub zaokrąglonych), zaś w ściankach jednorodnych nie zależy od ich grubości, lecz od oporu cieplnego i współczynnika jego napływu

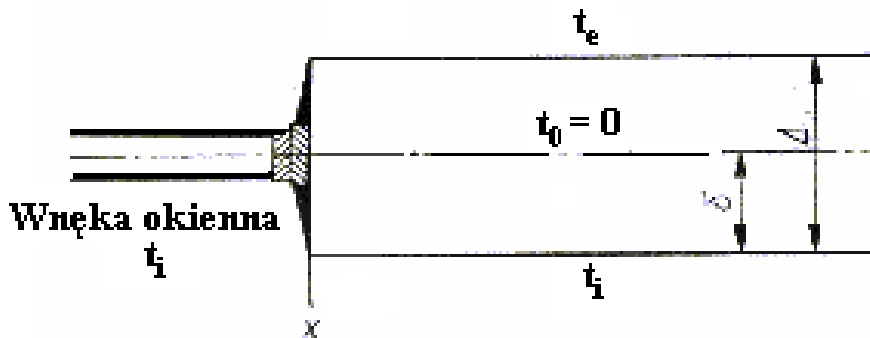
Dla celów praktycznych sporządzić można wykres obniżenia temperatury w narożniku w stosunku do powierzchni wewnętrznej ściany jednorodnej poza narożniki w funkcji jej oporu cieplnego przy różnicy temperatur  $(t_i - t_e) = 40 \text{ K}$



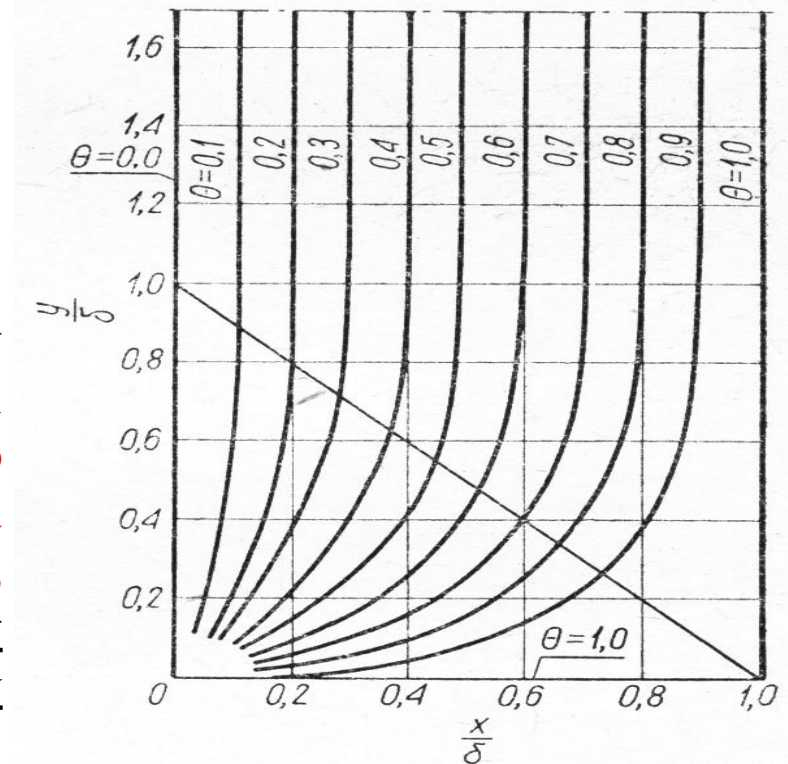
**A -  $\alpha_i = 8,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , B -  $\alpha_i = 5,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ; opór cieplny wyrażono w  $(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$ , a różnicę temperatur w K**

# Przenikanie ciepła przez przegrodę z otworem okiennym

Wnękę otworu okiennego przy warunkach granicznych pierwszego rodzaju można traktować jako podstawę grubego żebra. Temperatura jego podstawy jest jednakowa, taka jak na powierzchni wewnętrznej ściany. Po drugiej stronie osi ościeżnicy okiennej, tj. na drugiej bocznej powierzchni żebra, panuje również stała temperatura, jednak różna od temperatury powierzchni wewnętrznej. Zadanie to można rozdzielić na dwa oddzielne zagadnienia i rozwiązać je korzystając z metody superpozycji.



Wykresem można posługiwać się nim przy określaniu warunków cieplnych we wnękach okiennych. Wyniki obliczeń dwuwymiarowego pola temperatur tej części przegrody, która znajduje się przy otworze okiennym, wskazują, że podłużny przekrój przegrody przeprowadzony wzdłuż osi ościeżnicy praktycznie pokrywa się z izotermą



# Zamknięte szczeliny powietrzne

Częste jest występowanie w przegrodach szczelin powietrznych, o grubości z reguły do kilku centymetrów. Z uwagi na małą wartość współczynnika przewodnictwa cieplnego zamknięta szczelina stanowi warstwę termoizolacyjną. Należy jednak podkreślić, że niski współczynnik przewodnictwa cieplnego [około  $0,023 \text{ W/(mK)}$ ] odnosi się do powietrza znajdującego się w bezruchu (a więc – powietrza zawartego w porach materiału). Tymczasem powietrze znajdujące się w szczelinach znajduje się ciągłym ruchu.

- 1. Przy cieplejszej powierzchni unosi się ono ku górze, a przy chłodniejszej opada w dół. Występuje tu zatem wymiana ciepła przez konwekcję, której intensywność rośnie wraz ze wzrostem grubości szczeliny.*
- 2. W szczelinie takiej występuje również wymiana ciepła przez promieniowanie, która ma największy udział w całkowitej wymianie ciepła.*
- 3. Przy pionowych szczelinach o grubości do 5 mm powietrze jest w bezruchu, a zatem nie występuje w nich konwekcja.*
- 4. Ponadto, dla zmniejszenia konwekcji w szczelinach o większej grubości umieszczonych w przegrodach pionowych, powinno się stosować poziome przegrody na każdym piętrze budynku.*
- 5. Ponieważ opór cieplny szczeliny powietrznej jest większy przy niższych temperaturach, szczelinę taką lokalizować się powinno w pobliżu powierzchni zewnętrznej.*
- 6. W szczelinach poziomych przy ruchu ciepła z dołu do góry występuje konwekcja, natomiast przy odwrotnym kierunku przepływu strumieni ciepła ruch konwekcyjny ustaje.*

Dostępne są tabele, w których podawane są *opory cieplne pionowych i poziomych szczelin powietrznych*

Grubość szczeliny, cm	Szczeliny pionowe, R, (m <sup>2</sup> K)/W	Szczeliny poziome, (m <sup>2</sup> K)/W	
		ruch ciepła z dołu do góry	ruch ciepła z góry do dołu
0,5	0,11	0,10	0,11
1,0	0,14	0,13	0,15
2,0	0,16	0,14	0,18
3,0	0,17	0,14	0,20
4,0	0,17	0,15	0,21
5,0	0,17	0,15	0,22
6,0	0,17	0,15	0,22
10,0	0,17	0,15	0,23
15,0	0,17	0,15	0,23
20,0	0,17	0,15	0,24

# Procesy przepływu (ruchu) wilgoci

Istnieją materiały w praktyce nienasiąkalne i nie zmieniające własności pod wpływem wilgoci (wyłączając korozję chemiczną), np. zbite kamienie naturalne, tworzywa sztuczne, bitумы, szkło, metale, itp.

Jednak w znacznej ilości przegród, szczególnie przegród zewnętrznych, wilgoć powoduje istotne zmiany w zakresie np. izolacyjności cieplnej, zmniejszenia (obniżenia) trwałości przegród w wyniku np. ich przemarzania, sprzyja rozwojowi mikroorganizmów (pleśni, grzybów), wzrostowi wilgotności powietrza wewnętrznego oraz wywołuje okresowe i trwałe stany chorobowe (syndrom budynku „chorego”). Pod wpływem wilgoci w materiałach pochodzenia roślinnego ma miejsce tzw. korozja biologiczna, a w materiałach pochodzenia mineralnego występują uszkodzenia struktury materiału, szczególnie w niskich temperaturach. Z analiz wyłącza się wilgoć (wodę) związaną z materiałami w ścisłych stosunkach ilościowych (można ją oddzielić jedynie poprzez prażenie materiałów w wysokich temperaturach). Analizy dotyczą zatem wilgoci występującej głównie w postaci pary wodnej w porowatych materiałach i temperatur, w których nie zachodzą reakcje rozpadu kryształów i dehydratacji wody. Będą to więc typowe warunki klimatyczne i warunki użytkowania pomieszczeń

# Pochodzenie wilgoci

## PRZYCZYNY POJAWIANIA SIĘ WILGOCI

### TECHNOLOGIA PRODUKCJI

*Wilgoć związana z produkcją materiałów i przegród oraz realizacją obiektów*

Np. przegrody z betonów wykonywane na budowie (duże ilości wody zarobowej) przegrody z betonów komórkowych (mokra autoklawizacja), przegrody z cegły (zaprawa zawiera duże ilości wody)

### OPADY ATMOSFERYCZNE

*Woda deszczowa wnika intensywnie do przegród, a także występuje podciąganie kapilarne*

Np. ulewne i krótkotrwałe deszcze powodują mniejsze zawilgocenie przegrody z cegły podciągają wodę głębiej i intensywniej niż z betonów, niekorzystne są opady dla stropodachów, złe warunki składowania

### WODY GRUNTOWE

### SORPCJA I DYFUZJA PARY WODNEJ

*Wilgotność powietrza otaczającego może być przyczyną chłonięcia wilgoci (różnica ciśnień cząstkowych pary wodnej – jest podstawą występowania procesu dyfuzji)*

Np. obniżenie się temperatur w przegrodach (lub w ich wnętrzu) poniżej temperatury punktu rosy spowoduje wykroplenie wilgoci, co w konsekwencji wywołuje stany patologiczne

### KONDENSACJA PARY WODNEJ



# Formy występowania wilgoci

Przyjmując, że wilgocią nazywamy zawartość wody w materiale niezależnie od stanu jej skupienia, rozróżnia się 3 podstawowe formy występowania wilgoci:

- ❑ w fazie gazowej – jako para wodna występująca w porach materiału,
- ❑ w fazie ciekłej – występuje w ściankach porów i kapilarów materiału budowlanego,
- ❑ również w fazie ciekłej – na powierzchni i wewnątrz porów i kapilarów

*Wilgoć ta związana może być z powierzchniami siłami Van der Waalsa lub siłami kapilarnymi*

## Wilgoć związana siłami Van der Waalsa

Jest to wilgoć sorpcyjna (sorpcja – pochłanianie wilgoci z otaczającego powietrza).  
Rozróżnia się:

- adsorpcję (pochłanianie wilgoci przez powierzchnię materiału),
- absorpcję (pochłanianie wilgoci przez masę materiału),
- desorpcję (oddawanie wilgoci przez materiał do atmosfery)

# Proces sorpcji składa się z trzech faz

## I FAZA

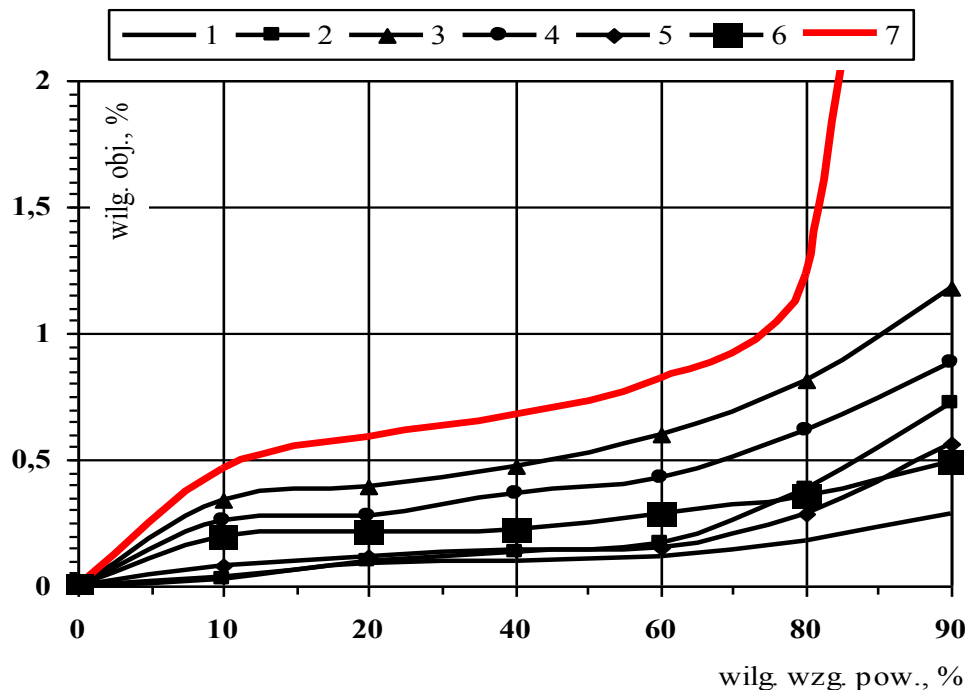
na powierzchni porów (kapilar) tworzy się cienka warstwa monomolekularna - co odpowiada na wykresach izoterm sorpcji odcinkowi wypukłemu przy wilgotności względnej powietrza od 0% do około 15%

## II FAZA

na powierzchni porów (kapilar) tworzy się warstwa polimolekularna - co odpowiada na wykresach izoterm sorpcji odcinkowi wypukłemu przy wilgotności względnej powietrza do około 80%

## III FAZA

występuje kondensacja kapilarna, co charakteryzuje się gwałtownym wzrostem wilgotności względnej powietrza powyżej 80% (schemat przebiegu izotermy sorpcji dla wzorca)



1. wełna mineralna (100 kg/m<sup>3</sup>)
2. wełna szklana na lepiszczu poliestrowym (165 kg/m<sup>3</sup>)
3. płyta z wełny mineralnej (175 kg/m<sup>3</sup>)
4. j.w (400 kg/m<sup>3</sup>)
5. cegła (1840 kg/m<sup>3</sup>)
6. beton komórkowy (400 kg/m<sup>3</sup>)
7. materiał wzorcowy (np. bibuła filtracyjna)

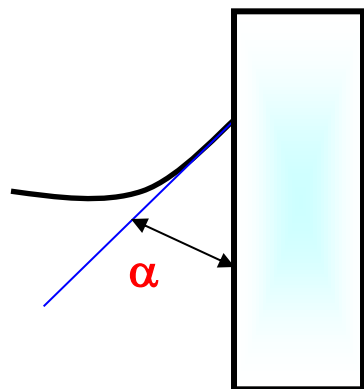
Zjawisko kondensacji kapilarnej spowodowane jest tym, że wilgoć nad meniskiem kapilar jest mniejsza niż nad powierzchnią "wolnej" wody (następuje tu obniżenie ciśnienia pary wodnej nasyconej). Wilgotność względna odpowiadająca stanowi kondensacji zależy także od promienia kapilar:

- kondensacja kapilarna występuje tylko w porach o maksymalnym promieniu  $0,1 \mu\text{m}$ ,
- makrokapilary o promieniu większym od  $10^{-5} \text{ cm}$  są wypełnione wodą tylko przy bezpośrednim z nią kontakcie.

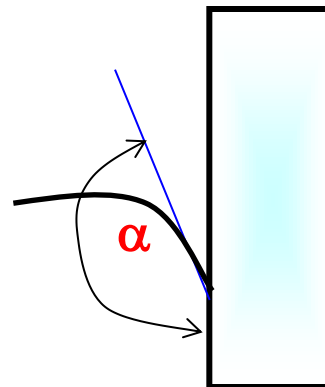
Wilgotność sorpcyjna tylko w niewielkim stopniu zależy od temperatury

## Wilgoć związana siłami kapilarnymi

Nazywana jest wilgocią kapilarną i ma silny związek ze zjawiskiem zwilżania materiałów budowlanych, których miara jest kąt " $\alpha$ " wskazany na poniższych schematach



materiały z cieczą  
zwilżającą -  $0 < \alpha < \pi/2$   
(są to  
materiały  
hydrofilowe)



materiały z  
cieczą  
niezwilżającą -  
 $\pi/2 < \alpha < \pi$

W wyniku działania sił napięcia powierzchniowego przy powierzchni kapilar poziom wody ulega "zakrzywieniu" ( i tworzy się, w zależności od stosunku wartości napięcia powierzchniowego na powierzchni rozdziału faz stałej, ciekłej i gazowej, menisk wklęsły lub wypukły. Gdy na powierzchni ścianek kapilary zostanie zaadsorbowana woda, kąt zwilżania zależy nie tylko od jej własności, ale również od własności materiału tych ścianek. W przypadku wody o temperaturze 0°C graniczna wartość kąta  $\alpha$  wynosi  $\cos \alpha = 0,715$ , zaś ze wzrostem temperatury rośnie (w temperaturze około 100°C  $\Rightarrow \cos \alpha \cong 0,9$ ).

Przyjmując, że kapilara ma w przybliżeniu przekrój kołowy o promieniu "r", to dla cieczy zwilżającej ściankę kapilary menisk przybiera kształt wklęsłej półkuli i zgodnie z równaniami **Younga i Laplace'a** można zdefiniować różnicę ciśnień " $\Delta p$ " panującą po obu stronach tego menisku (co opracował **Rayleigh**):

$$\Delta p = \frac{2\sigma \times \cos \alpha}{r} \quad \text{gdzie } \sigma \text{ jest napięciem powierzchniowym}$$

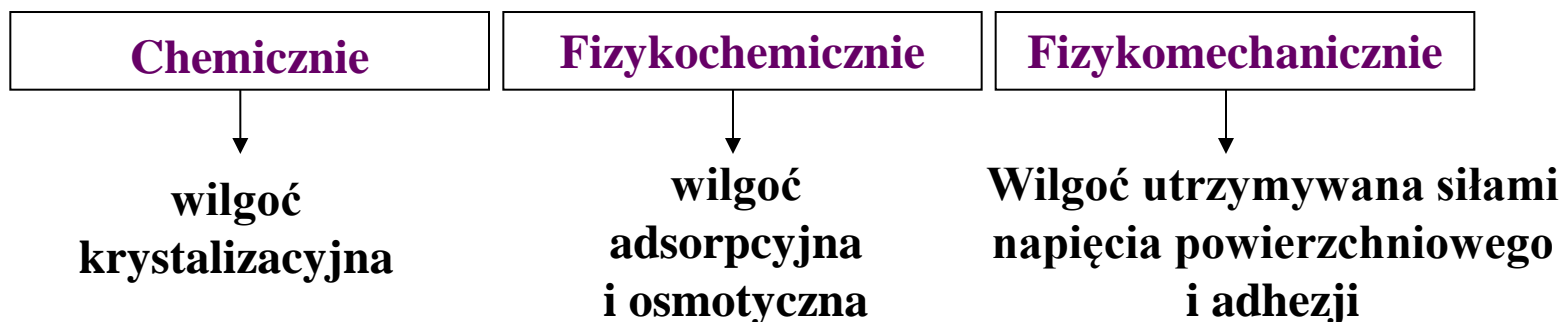
**Uwaga:** różnica ciśnień warunkuje wznoszenie się cieczy (wody) w kapilarze, aż do jej zrównoważenia siłami masowymi (grawitacją)

Całkowitego wypełnienia porów wodą w wyniku działania podciągania kapilarnego z reguły nie uzyskuje się, co wynika z "uwięzienia" w nich powietrza. Nie dotyczy to jednak materiałów włóknistych łatwo ulegających całkowitemu nasyceniu przy zetknięciu się z wodą (np. płyty z wełny mineralnej) lub jamistych (np. betony jamiste). Ponadto woda ta nie jest utrzymywana w nich siłami kapilarnymi i łatwo z nich wycieka pod wpływem grawitacji (pozostaje w nich jedynie tzw. wilgoć zwilżania).

*Uwaga: przy dalszym materiale włóknistego do otaczającego go powietrza, uzyskuje się w praktyce niższe wilgotności sorpcyjne materiału, niż ma to miejsce w przypadku materiałów kapilarno-porowatych, co wynika głównie z ich mniejszej powierzchni właściwej*

## Podstawy termodynamiki materiałów wilgotnych

**Wilgoć występująca w materiale budowlanym może być z nim związana z nim na 3 sposobami**



Przy analizie termodynamicznej materiałów wilgotnych korzysta się z następujących założeń ułatwiających oceny procesu przemieszczania się wilgoci (*składającego się z wielu zjawisk częściowych - nadal niedostatecznie zbadanych*):

1. Wilgotny materiał uważać można za ciało heterogeniczne (*składające się z niezmiennego w kształcie szkieletu, powietrza i wody*).
2. Woda (wilgoć) może występować we wszystkich stanach skupienia (*jako odrębny rozpatruje się stan warstw powierzchniowych*).
3. Różne fazy wilgoci kontaktują się pomiędzy sobą i może pomiędzy nimi zachodzić wymiana ciepła i masy.
4. **Możliwe jest określenie termodynamicznych funkcji stanu za pomocą zmiennych niezależnych, takich jak masy (m); parametru geometrycznego, np. objętości (V); entropii (s) i temperatury (t), dla każdej z jednorodnych części składowych rozpatrywanego materiału**

Ogólną funkcję względem przyjętych zmiennych niezależnych można przedstawić w postaci:

$$d\Phi_i = \frac{\partial\Phi_i}{\partial s_i} ds_i + \frac{\partial\Phi_i}{\partial V_i} dV_i + \frac{\partial\Phi_i}{\partial m_i} dm_i$$

W praktyce stan materiału wilgotnego ocenia się najczęściej za pomocą energii swobodnej ( $F$ ), przyjmując jako trzecią zmienną niezależną temperaturę materiału ( $T_i$ ). W tym przypadku zmianę swobodnej energii fazy  $F_i$  wyraża się za pomocą zależności:

$$dF_i = \frac{\partial F_i}{\partial T_i} dT_i + \frac{\partial F_i}{\partial V_i} dV_i + \frac{\partial F_i}{\partial m_i} dm_i$$

}

$\frac{\partial F_i}{\partial T_i}$ 

-  $s_i \Rightarrow$  entropia fazy

$\frac{\partial F_i}{\partial V_i}$ 

-  $p_i \Rightarrow$  ciśnienie działające od strony fazy

$\frac{\partial F_i}{\partial m_i}$ 

-  $\mu_i \Rightarrow$  chemiczny potencjał fazy

$$dF_i = -s_i dT_i - p_i dV_i + \mu_i dm_i$$

Warto zwrócić uwagę, że zależność ta jest jedną z postaci podstawowego równania termodynamicznego *Gibbsa* i wskazuje jak zmniejsza się energia swobodna jednorodnej masy, gdy zmieniają się parametry  $T_i$ ,  $V_i$  oraz  $m_i$ .

Ponadto podkreślić należy, że zjawisko przemieszczania się wilgoci należy do procesów rozważanych w ramach termodynamiki procesów nierównowagowych (nieodwracalnych)