

## Podstawa opracowania:

- Kotwica J.: Konstrukcje drewniane w budownictwie tradycyjnym. Arkady, Warszawa 2004
- Neuhaus H.: Budownictwo drewniane. Polskie Wydawnictwo Techniczne, Rzeszów 2004
- Ważny J., Karyś J.: Ochrona budynków przed korozją biologiczną. Arkady, Warszawa 2001
  
- wygląd (barwa, połysk, rysunek)
- gęstość
- zachowanie się względem wody (wilgotność, higroskopijność, pęcznienie i skurcz, przewodzenie wody, nasiąkliwość)
- izolacyjność: cieplna, elektryczna, akustyczna
- rozszerzalność cieplna
- zapach
- trwałość

## Wygląd (barwa, połysk, rysunek)

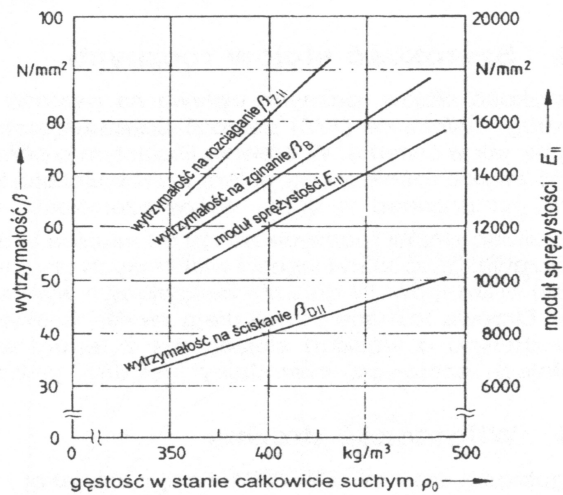
- zależy od gatunku drewna
- warunków klimatycznych
- warunków wilgotnościowo – temperaturowych
- infekcja grzybami powoduje sinienie
- przyrosty roczne – słoje i układ sęków nadaje drewnu charakterystyczny dla danego gatunku  
rysunek

## Gęstość

- ciało porowate
- szkielet ścian komórkowych wypełniony jest powietrzem lub wodą
- gęstość zależy od gatunku drewna, wilgotności, położenia w pniu
- bardzo duży wpływ na gęstość drewna ma jego wilgotność dlatego najczęściej gęstość podaje się dla wilgotności 15 % -  $\rho_N$ ,
- gęstość drewna całkowicie suchego –  $\rho_0$
- gęstość samej substancji komórkowej jest dla wszystkich gatunków praktycznie taka sama i wynosi ok. 1,5 kg/m<sup>3</sup>

gatunek	gęstość kg/m <sup>3</sup>
jodła	0,45
sosna	0,55
świerk	0,47
modrzew	0,69
topola	0,45
olcha	0,53
brzoza	0,65
klon	0,66
wiąz	0,68
dąb	0,71
buk	0,73
jesion	0,75

## Wpływ gęstości drewna na cechy wytrzymałościowe



Rys. 1.6 Zależność wytrzymałości i modułu sprężystości  $E_{II}$  drewna świerkowego o wilgotności  $u = 15\%$  od gęstości  $\rho_0$  (w stanie całkowicie suchym) według badań EMPA, LIGNUM [210]

## Wilgotność

$$\text{wilgotność drewna} = \frac{\text{masa wody zawarta w drewnie}}{\text{masa drewna absolutnie suchego}} \times 100\%$$

$$u = \frac{G_N - G_T}{G_T} \times 100\%$$

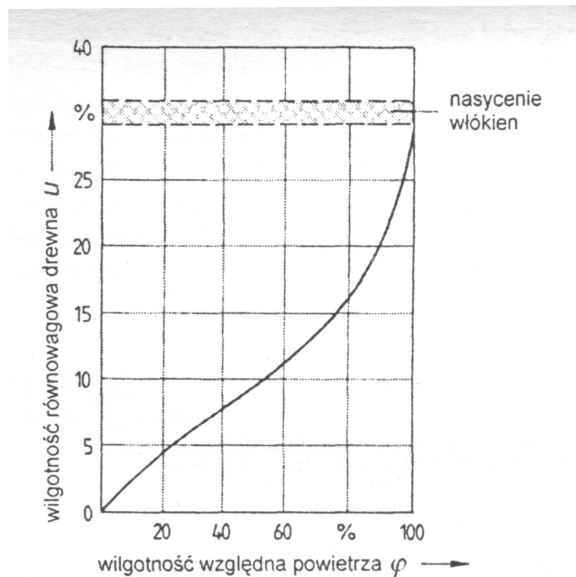
$G_N$  – ciężar drewna w stanie wilgotnym

$G_T$  – ciężar w stanie absolutnie suchym

## Rodzaje wody

- **kapilarna** – wolna, znajdująca się w naczyniach komórek i cewkach (drzewo żyjące i świeżo ścięte); woda może wyciekać po przecięciu kory
  - **higroskopijna** – związana, która nasycza błonę komórkową lub jako para wodna w zajmuje wolne większe przestrzenie
  - **związana chemicznie** – nie można jej usunąć metodami fizycznymi, np. przez suszenie
- 
- **Stan równowagi higroskopijnej** – poziom wilgotności drewna do której dąży ono w danych warunkach temperaturowych i wilgotności względnej powietrza; wilgotność tę nazywamy wilgotnością równowagową lub powietrzno-suchą
  - **Stan nasycenia** – włókna drewna są całkowicie zwilżone wodą (nie ma wody swobodnie wyciekającej); jest to graniczny stan równowagi higroskopijnej – drewno nie jest w stanie wchłonać więcej pary wodnej z powietrza;  $W \approx 28\%$ , przy wilgotności względnej powietrza 100%, większą wilgotność można uzyskać jedynie przez zanurzenie w wodzie
  - **Stan suchy** – drewno 0% wilgotności, może być utrzymywany tylko w warunkach laboratoryjnych

Wilgotność  
równowagowa  
drewna  
w zależności  
od wilgotności  
względnej  
powietrza w  
temperaturze  
20 °C



Wilgotność równowagowa i wilgotność względna powietrza przy 20°C dla drewna świerkowego wg. *Noacka/Schwaba* [285]

- wilgotność świeżo ściętego drewna drzew iglastych wynosi 100 -160%
- wilgotność świeżo ściętego drewna drzew liściastych twardych wynosi 50 -130%
- drewno mokre składowane na wolnej przestrzeni traci część wilgoci i dochodzi do stanu powietrzno-suchego o wilgotności 13-20%, przeciętnie 15%

## Zachowanie się drewna – a woda

- **Pęcznienie** – proces polegający na zwiększaniu wymiarów liniowych i objętości drewna przy wchłanianiu pary wodnej lub wody z otoczenia i wnikanii jej w pory błony komórkowej
- **Kurczenie** – proces odwrotny do pęcznienia; zmniejszanie się wymiarów na skutek wysychania

## Zachowanie się drewna – a woda

- **Pęcznienie** – proces polegający na zwiększaniu wymiarów liniowych i objętości drewna przy wchłanianiu pary wodnej lub wody z otoczenia i wnikanii jej w pory błony komórkowej
- **Kurczenie** – proces odwrotny do pęcznienia; zmniejszanie się wymiarów na skutek wysychania

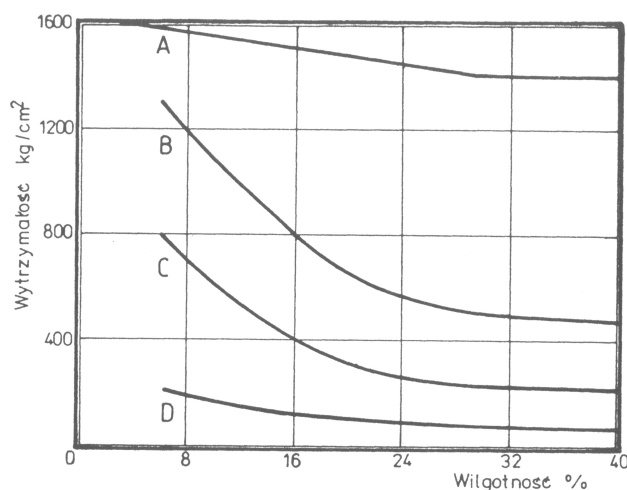
## Stany ochronne drewna

Poziom wilgotności drewna ma istotny wpływ na porażenie drewna przez czynniki biotyczne

- **wilgotny** - powyżej 80 % zapobiega rozwojowi grzybów z powodu braku powietrza
- **suchy** - poniżej 20 % zapobiega rozwojowi grzybów z powodu braku wody

## Wilgotność a wytrzymałość

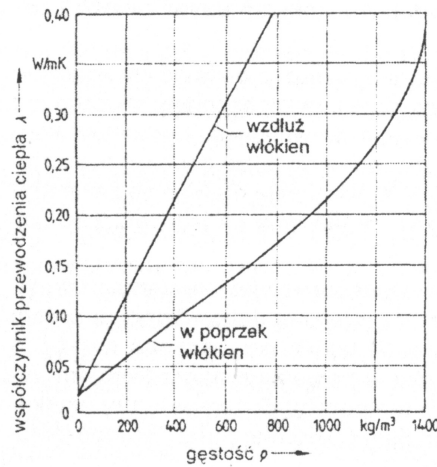
- A – rozciąganie wzdłuż włókien
- B – zginanie
- C – ściskanie wzdłuż włókien
- D – ścinanie wzdłuż włókien



## Izolacyjność cieplna

- drewno w porównaniu z innymi materiałami budowlanymi charakteryzuje się stosunkowo niskim współczynnikiem przewodzenia ciepła, zaliczane jest raczej do materiałów termoizolacyjnych
- przykładowo współczynnik przewodzenia ciepła  $\lambda$  [W/mK] drewna świerkowego i sosnowego w warunkach średniowilgotnych wynosi:

- w poprzek włókien 0,16 W/mK
- wzdłuż włókien 0,30 W/mK



Rys. 1.15 Przewodność cieplna drewna wzdłuż i w poprzek włókien w zależności od gęstości przy wilgotności drewna  $u = 10\%$ , wg *Kollmanna / Malmquista* [178]

## Rozszerzalność cieplna

- wydłużenie na skutek zmian temperatury dla drewna w stanie użytkowym przebiega w przybliżeniu liniowo

$$\varepsilon = \alpha_T \times \Delta T$$

- zmiana długości elementu konstrukcyjnego wynosi

$$\Delta l_T = \alpha_T \times \Delta T \times l$$

- współczynnik rozszerzalności liniowej  $\alpha_T$
- styczny 45 - 60 x  $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
- promieniowy 25 - 45 x  $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
- wzdłuż włókien 2,5 - 5,0 x  $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

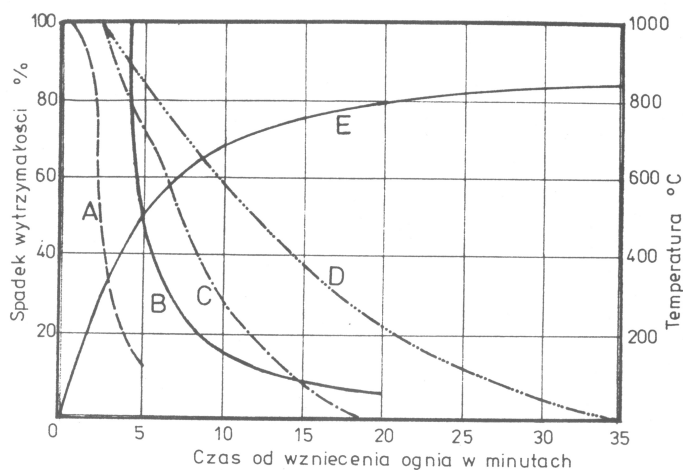


## Łatwopalność

- poważną wadą drewna jest łatwopalność
- drewno im bardziej wysuszone tym łatwiej ulega zapłonowi
- drewno w wysokiej temperaturze wydziela gazy, które w temp. 250°C ulegają zapłonowi od płomienia, temperaturę samozapłonu dla drewna przyjmuje się w zależności od gatunku od 300 – 470°C
- środki ogniochronne:
  - wydzielające w wysokiej temperaturze gaz niepalny ograniczający dopływ tlenu do konstrukcji (siarczan, węglan, fosforan amonu kwaśny węglan sodu i potasu)
  - stapiające się, pęczniejące, tworzące szczelną warstwę nieprzepuszczającą tlenu oraz stanowiące termoizolację (chlorek cynku, fosforan sodu, szkło wodne)

## Spadek wytrzymałości więźb dachowych z różnych materiałów w czasie pożaru

- A – więźba aluminiowa
- B – więźba stalowa
- C – kratownice z desek
- D – więźby ciesielskie



## Wytrzymałość drewna

- włókna – łańcuchy celulozy mają przebieg zbliżony do osi pnia i w tym kierunku drewno charakteryzuje się największą wytrzymałością
- wytrzymałość w poprzek włókien jest znacznie mniejsza
- podczas rozciągania rozrywane są słabe wiązania poprzeczne między poszczególnymi łańcuchami celulozowymi
- ściskanie zgniata niczym nie wzmocnione ściany komórek
- na wytrzymałość ma wpływ:
  - wilgotność
  - wady naturalne
  - sęki,
  - skręt włókien
  - krzywizny
  - wady spowodowane przez czynniki zewnętrzne
  - pęknięcia
  - degradacja biologiczna

## Drewno jako materiał stosowany w budownictwie

- stosuje się zazwyczaj gatunki drewna miękkiego:
  - sosna
  - świerk
  - jodła

## Drewno sosnowe

- miękkie
- łatwe w obróbce
- odznacza się dużą wytrzymałością i sprężystością
- wytrzymałe i trwałe drewno otrzymuje się z drzew rosnących w miejscach piaszczystych
- powinno się ścinać drzewa w wieku 80-120 lat
- prawidłowo ukształtowane drewno charakteryzuje się małą ilością dobrze wyrosniętych sęków
- podatne na korozję biologiczną zatem należy je impregnować

## Drewno świerkowe barwa słomkowa do czerwono-białej

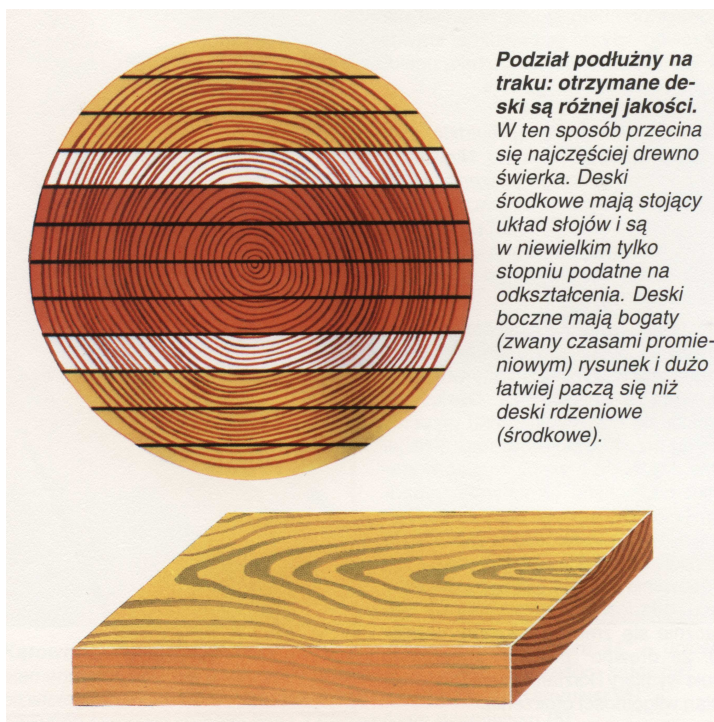
- słoje roczne mniej wyraźne niż w drewnie sosnowym
- występuje dużo sęków
- trudne w obróbce, źle się struga
- mniej sprężyste
- łatwo paczy się i pęka
- jest dość trwałe w warunkach stałej wilgotności
- powinno się ścinać drzewa w wieku 80 -100 lat
- drewna ze świerków nizinnych nie powinno się stosować w miejscach narażonych na zawilgocenie

## Drewno jodłowe

- barwa żółtobiała do odcieni czerwieni, szybko ciemnieje
- wyróżnia się szeroki biel
- wyraźnie zaznaczony rysunek uzwojenia
- występuje dużo sęków tak zwanych wypadających
- ma mało żywicy – jest nieodporne na działanie wilgoci
- cięcie 100 lat
- jest miękkie

## W tartaku

- **podział podłużny deski** - najprostszym sposobem ciecia jest cięcie wzdłużne powstają deski o różnym wyglądzie i różnych właściwościach
  - deski pochodzące ze środka nazywają się rdzeniowymi (słoje są prawie pod kątem prostym)
  - deski pochodzące z zewnętrznych części są deskami bocznymi (słoje na ich powierzchni przypominają część łuku)
- **podział promieniowy**
  - pień dzielony jest na 4 części, a następnie każda ćwiartka dzielona jest w kierunku promieniowym
  - otrzymuje się deski jednakowej jakości, ale jednocześnie powstaje duża strata materiału; pozyskiwanie desek z wartościowego materiału



**Podział podłużny na traku: otrzymane deski są różnej jakości.** W ten sposób przecina się najczęściej drewno świerka. Deski środkowe mają stojący układ stójów i są w niewielkim tylko stopniu podatne na odkształcenia. Deski boczne mają bogaty (zwany czasami promieniowym) rysunek i dużo łatwiej pączą się niż deski rdzeniowe (środkowe).

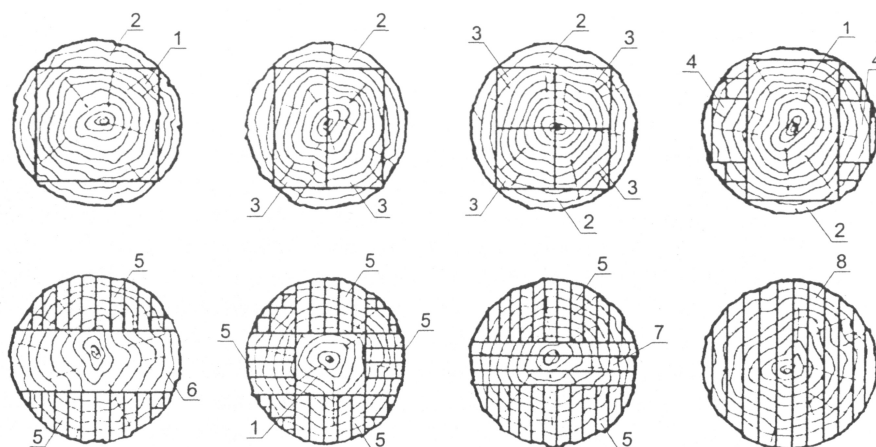


**Podział promieniowy: wszystkie deski są tej samej jakości.** W tej metodzie pień najpierw dzielony jest na cztery części, a następnie każda ćwiartka dzielona jest dalej w kierunku promieniowym. W ten sposób otrzymuje się deski o jednakowej jakości, ale jednocześnie powstaje duża strata materiału (jasne pola na rysunku). Tego typu podział stosuje się przy pozyskiwaniu desek z wartościowego drewna.

## Drewno jako surowiec

- Okrągłak – część pnia pozbawiona gałęzi i wierzchołków
- Tarcica – przetarty (pocięty) podłużnie na deski okrągłak
- Materiał główny – pochodzi z części centralnej pnia
- Materiał główiny posiada rdzeń, który poddawany jest dalszej obróbce
- Materiał boczny z części pnia znajdującego się na zewnątrz kwadratu wpisanego w obwód pnia

## Sposób cięcia

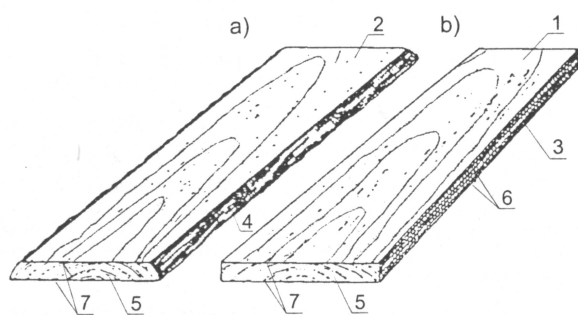


Rysunek 2.1. Wycinanie drewna użytkowego z kłody wg [25]: 1 – materiał główny, 2 – materiał boczny, 3 – materiał główny z rdzeniem otwartym, 4 – materiał boczny przetarty, 5 – materiał boczny przetarty na deski promieniowe, 6 – materiał główny nieobrzynany, 7 – deski rdzeniowe, 8 – deski styczne

## Podział tarcicy iglastej i liściastej z uwagi na sposób obróbki

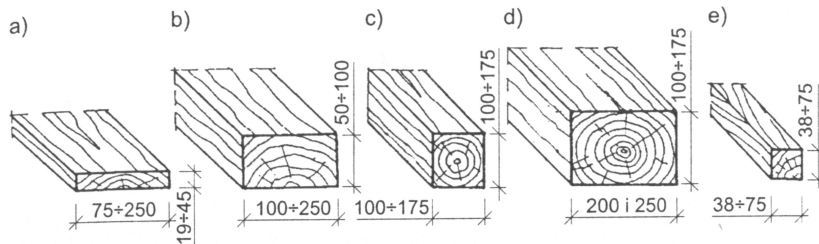
- nieobrzynane materiały tarte o przeznaczeniu ogólnym
- obrzynane materiały tarte o przeznaczeniu ogólnym
- materiały tarte o określonym przeznaczeniu

## Tarcica



Rysunek 2.2. Tarcica wg [36]:  
a) nieobrzynana, b) obrzynana;  
1 – płaszczyzna, 2 – płaszczyzna lewa, 3 – bok, 4 – bok obły, 5 – czoło, 6 – krawędź wzdłużna, 7 – krawędź poprzeczna

## Sortyment tarcicy obrzynanej



Rysunek 2.3. Wygląd sortymentów tarcicy obrzynanej: a) deski, b) bale, c) krawędziaki, d) belki, e) łaty

## Klasy jakości tarcicy

- podstawą podziału jest rodzaj, wielkość i rozmieszczenie wad; najmniej wad ma klasa I;
- UWAGA: ten sposób klasyfikacji nie pozwala ujednolicić tarcicy pod względem wytrzymałości
- tarcicę oznacza się barwnymi znakami umieszczonymi na czołach elementów
- klasa I – niebieska kropka ●
- klasa II – zielona kropka ●
- klasa III – czerwona kropka ●
- klasa IV – czarna kropka ●
- informacja o zabezpieczeniu tarcicy środkami antyseptycznymi – jeden żółty punkt ●



## Suszenie drewna

- podczas suszenia zmniejsza się objętość drewna, nierównomierne naprężenia w jego strukturze powodują paczanie się elementów drewnianych oraz pękanie
- rodzaje suszenia:
  - naturalne na wolnej przestrzeni lub pod otwartymi wiatami
  - sztuczne

## Suszenie naturalne

- trwa od ½ roku do kilku lat, w zależności od wymiarów i wilgotności drewna
- miejsce do suszenia powinno być odpowiednio przygotowane
- podłoże ze żwiru lub tłucznia zapewniające niską wilgotność powietrza w pobliżu suszonego drewna
- odległość od terenu powinna wynosić 220 - 600 mm
- przekładki 20 – 40 mm
- nakrycie umożliwiające odprowadzenie wody deszczowej

## Suszenie sztuczne

- pozwala na osiągnięcie pożądanej wilgotności drewna oraz na skrócenie czasu suszenia w porównaniu do suszenia naturalnego
- korzyści:
  - krótki czas - od kilku do kilkunastu dni
  - drewno podczas użytkowania nie ulega paczeniu
  - wysoka temperatura niszczy szkodniki
  - łatwiej daje się obrabiać, kleić, malować
- metody suszenia:
  - świeże powietrze – zużyte powietrze
  - kondensacyjne
  - próżniowe
  - wysokoczęstotliwościowe

## Wady tarcicy

- wady kształtu pnia – zbieżystość polegająca na zmniejszeniu się średnicy drewna okrągłego, podczas przecierania drewna włókna nie są równoległe, rdzenie mimośrodowe lub podwójne
- krzywizna pnia – może powstać podczas życia drzewa lub podczas złej pielęgnacji podczas suszenia
- sęki – zmieniają strukturę i naruszają jednolitość drewna, co powoduje zmniejszenie wytrzymałości na rozciąganie; istnieje kilka sposobów podziału rodzaju sęków, oto jeden z nich:  
sęki zdrowe, zabarwione, nadpsute, zepsute, smolne
- pęknięcia powstają zarówno w drzewie jak i drewnie

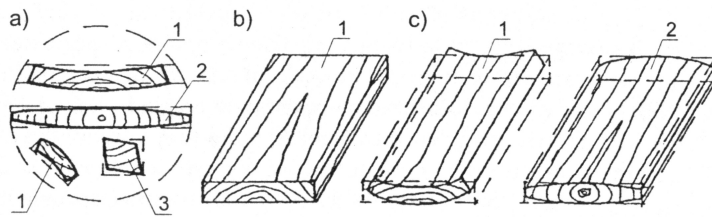
- nienaturalne zabarwienie – sinizna oraz zgnilizna twarda lub miękka
- sinizna nie zmienia cech wytrzymałościowych , natomiast zwiększa higroskopijność drewna
- zgnilizna twarda jest początkowym stadium rozwoju grzyba, nie zmienia jeszcze cech wytrzymałościowych drewna, jedynie jego zabarwienie na różowe
- zgnilizna miękka jest dalszym etapem rozwoju grzyba, zmienia się kolor poprzez czerwony do brązowego, a przede wszystkim drewno staje się miękkie i traci cechy wytrzymałościowe

### Przykłady wpływu wad desek na dalsze kształtowanie konstrukcji

- jeśli przebieg słoików nie jest równoległy do bocznej krawędzi deski istnieje duże ryzyko, że taka deska z boku pęknie
- czoła desek nie powinny być spękane niewielkie rysy podczas dalszego wysychania mogą zamienić się w duże pęknięcia
- zwichrowanie spaczone deski utrudniają obrabianie i nie można im nadać właściwego kształtu

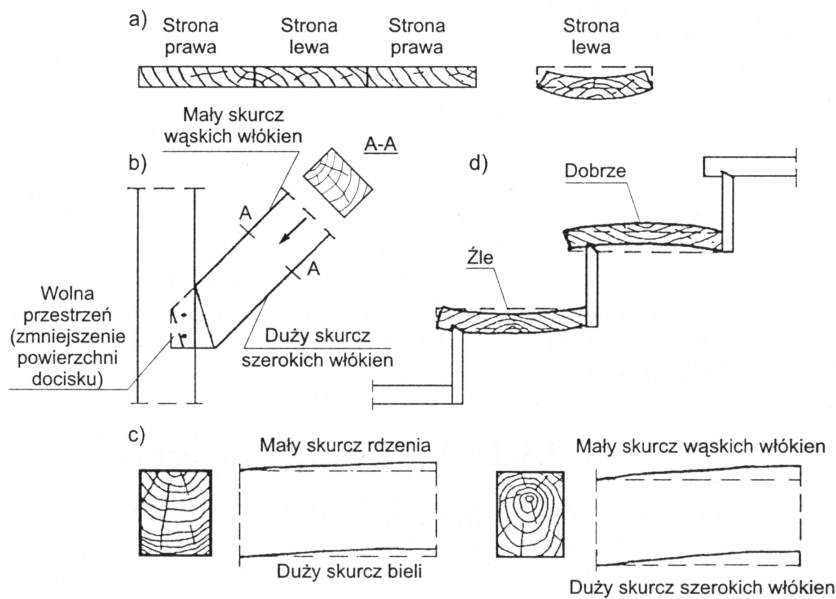
## Deformacje

- po montażu elementów drewnianych należy liczyć się z jego późniejszym wysychaniem – kurczeniem się drewna konstrukcyjnego
  - luzy połączeń
  - naprężenia zakleszczające
  - skręcanie
- 
- pękanie powstaje, gdy naprężenia w drewnie przekraczają jego wytrzymałość
  - przyczyną są zwykle zmiany wilgotności, które następują zbyt szybko i powodują nierównomierny rozkład wilgotności pomiędzy warstwa wewnętrzną i zewnętrzną
  - różnice wilgotności oraz anizotropowość drewna powoduje powstanie naprężeń rozciągających w poprzek włókien
  - w elementach nie posiadających rdzenia pęknięcia są znacznie mniejsze niż z rdzeniem



Rysunek 2.5. Paczenie się drewna przy wysychaniu wg [34]: a) schemat odkształcenia elementów tartych w zależności od usytuowania w przekroju, b) deska styczna przed odkształceniem, c) deski styczna i rdzeniowa po odkształceniu; 1 – deska styczna, 2 – deska rdzeniowa, 3 – krawędziak

- deski styczne wyginają się
- deski rdzeniowe nie ulegają zmianie



Rysunek 2.8. Sposób wykonania elementów drewnianych z uwzględnieniem skurczu: a) klejenie desek, b) nieprawidłowe połączenie ciesielskie pod kątem, c) prawidłowe usytuowanie rdzenia w belkach zginanych, d) usytuowanie rdzenia w podnóżkach schodów drewnianych

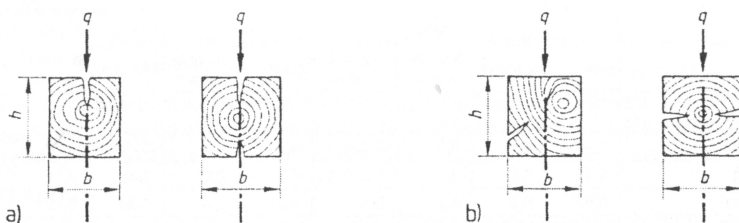


Rys. 1.12 Deformacje krawędziaków drewnianych na skutek skurczu

## Bezpieczne głębokości pęknięć



Rys. 1.13 Sposób przetarcia i możliwe pęknięcia drewna litego w zależności od położenia rdzenia



Rys. 1.14 Pęknięcia w przekroju drewna litego; zmniejszenie nośności w zależności od położenia pęknięcia przy obciążeniu pionowym  
a) nie występuje zmniejszenie nośności      b) zmniejszenie nośności

Tablica 1.5 Bezpieczne pod względem statycznym głębokości pęknięć skurczowych lub pęknięć schnięcia dla elementów konstrukcyjnych z drewna litego i klejonego warstwowo

Drewno lite wg Frecha [73] <sup>1) 2)</sup>													
Pęknięcia jedno- i dwustronne, obciążenie jednoosiowe													
<p>a) zginanie i ścinanie</p> <p>pęknięcia dwustronne w zależności od położenia w przekroju</p>	<p>b) zginanie i ścinanie</p> <p>pęknięcia pojedyncze <math>t_1</math>, <math>t_2</math> lub suma <math>t = t_1 + t_2</math> w zależności od kąta nachylenia <math>\alpha</math></p>	<p>c) wartości ogólne, graniczne głębokości pęknięć</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Rodzaj naprężenia</th> <th colspan="2">Odchylenie pęknięcia</th> </tr> <tr> <th>0° do 45°</th> <th>45° do 90°</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Naprężenie zginające</td> <td>0,60B do 0,80B</td> <td>0,80B do 0,80H</td> </tr> <tr> <td>Naprężenie ścinające</td> <td>0,45B do 0,65B</td> <td>0,65B do 0,65H</td> </tr> </tbody> </table>	Rodzaj naprężenia	Odchylenie pęknięcia		0° do 45°	45° do 90°	Naprężenie zginające	0,60B do 0,80B	0,80B do 0,80H	Naprężenie ścinające	0,45B do 0,65B	0,65B do 0,65H
Rodzaj naprężenia	Odchylenie pęknięcia												
	0° do 45°	45° do 90°											
Naprężenie zginające	0,60B do 0,80B	0,80B do 0,80H											
Naprężenie ścinające	0,45B do 0,65B	0,65B do 0,65H											
Pęknięcia jednostronne, obciążenia jednoosiowe		Pęknięcia boczne, obciążenia jednoosiowe											
<p>a) zginanie</p> <p>pęknięcia pojedyncze jednostronne</p>	<p>b) ścinanie</p> <p>pęknięcia pojedyncze jednostronne</p>	<p>c) ścinanie</p> <p>w zależności od istniejącego naprężenia ścinającego <math>\tau_0</math>:</p>											
Drewno klejone warstwowo wg Koła Naukowego: Budownictwo z drewna klejonego [336] <sup>2)</sup>													
<p>3</p>	<p>Całkowite osłabienie szerokości <math>B</math> nie może lokalnie przekraczać <math>B/3</math></p>												

<sup>1)</sup> wartości graniczne głębokości pęknięć podane dla naprężeń zginających dotyczą także obciążeń rozciągających, ścisających i zginania siłą osiową  
<sup>2)</sup> należy wykluczyć występujące jednocześnie naprężenia rozciągające wywołane obciążeniem