

W artykule omówiono laminaty stosowane w polskich konstrukcjach, podano ich charakterystyki wytrzymałościową i sprężystą. Podano właściwości laminatu, w którym włókno szklane występuje w formie pasm rowingu oraz laminatu, w którym włókno szklane występuje w postaci tkanin o różnorodnych splotach. Szczegółowo przedstawiono sposób wykonania konstrukcji dźwigarów laminatowych. Załączone tablice zawierają przykładowo dane dla wybranych rowingów i tkanin oraz dane dla tkanin stosowanych w polskich konstrukcjach szybowcowych.

## Obliczanie dźwigara laminatowego

Stosowanie laminatu w konstrukcjach szybowcowych staje się coraz powszechniejsze. Zarówno własności eksploatacyjne laminatu: odporność na wpływy atmosferyczne i stabilność kształtu, jak i dane technologiczne: łatwość kształtowania powierzchni nierozdzielalnych, możliwość wprowadzania korzystnego ukierunkowania własności wytrzymałościowych, czynią go tworzywem bardzo atrakcyjnym.

Zasadniczymi elementami laminatu są nośne warstwy włókien oraz spajająca je żywica, która utwardzona chemicznie zapewnia stabilność kształtu elementów konstrukcyjnych.

Istnieje bardzo dużo gatunków włókien i żywic. Wiele z nich spełnia warunki stawiane konstrukcjom lotniczym i zdało już egzamin w praktyce. Duża różnorodność rodzajów i postaci włókien oraz żywic i ich utwardzaczy pozwala na uzyskiwanie wielu odmiennych typów laminatów o różnych własnościach wytrzymałościowych i sprężystych, zbadanie których wymaga długotrwałych prób podstawowych. Konieczne stało się zawiązanie badań do pewnych tylko kompozycji uznanych za najdogodniejsze dla potrzeb przemysłu lotniczego. Prace badawcze najszerzej prowadzone były w NRF i one stały się, po ich opublikowaniu, bazą, na której oparty został rodzimy dorobek konstrukcyjny zrealizowany w ośrodku bielsko-bialskim, którego owocem jest szybowiec Jantar. Sporo problemów rozwiązanych zostało również dzięki współpracy naszych instytucji naukowo-badawczych.

### Charakterystyka wytrzymałościowa i sprężysta laminatu

Polskie konstrukcje laminatowe opierają się na tworzywie powstającym przez przesykanie włókien szklanych żywicą EPIKOTE utwardzaną utwardzaczem LAROMIN-C-260. Wynikowy materiał ma szkielec nośny szklany, żywica stanowi spoiwo. Własności wytrzymałościowe spoiwa w porównaniu z włóknem szklanym są niskie, w obliczeniach przyjmuje się więc, iż o wytrzymałości decyduje głównie szkło. Stąd jednym z istotnych parametrów laminatu jest wagowy udział szkła w ciężarze całkowitym tworzywa.

Włókno szklane w laminacie może występować albo w formie pasm (rowing), albo w postaci tkanin o różnorodnych splotach.

#### Elementy z rowingu

Na rysunku 1 przedstawiono fragment pasa wykonanego z rowingu. Fragment o szerokości  $b$ , grubości  $\delta$  zawiera  $i$  rowingów (w literaturze jedną wstęgę rowingu nazywa się po prostu „rowingiem”).

Pod wpływem siły rozciągającej  $P_r$  powstaje naprężenie:

$$\sigma_r = \frac{P_r}{b \cdot \delta}$$

Jednakże praktyka technologiczna wykazuje, iż grubość  $\delta$  przy tej samej liczbie rowingów może być różna, zależnie od tego czy laminat formowany był swobodnie, czy użyto docisku powierzchniowego podczas procesu utwardzania. A skoro o wytrzymałości decyduje głównie ilość szkła, tak zdefiniowane naprężenie nie odzwierciedla zdolności laminatu do przejmowania obciążeń. Dlatego konieczne jest zdefiniowanie naprężenia w postaci:

$$\sigma_r^* = \frac{P_r}{i}$$

czyli siły przypadającej na jeden rowing.

Rowing składa się z pasm, te zaś z kolei z włókien, których wytrzymałość rośnie wraz ze zmniejszeniem średnicy elementarnego włókna. Im rowing ma więcej włókien w przekroju poprzecznym, tym jest wytrzymalszy.

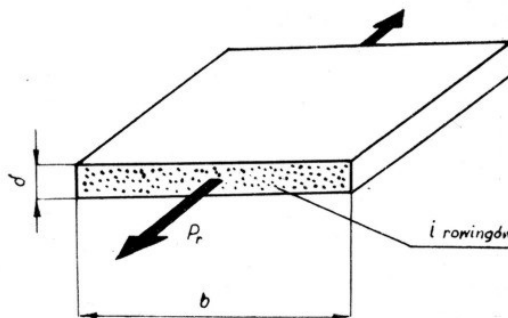
Jeżeli siła rozciągająca  $P_r$  osiągnie wartość niszczącą  $P_{rN}$  wówczas naprężenie graniczne wynosi:

$$\sigma_{rN}^* = \frac{P_{rN}}{i}$$

i wartość tę nazwano „nośnością” laminatu rowingowego na rozrywanie. Zależy ona od ilości włókien elementarnych w rowingu decydującej o jego ciężarze jednostkowym  $g$  (ciężar rowingu o długości jednostkowej). Zależność tę przedstawia wzór:

$$\sigma_{rN}^* = K \sigma_r^* \cdot g^*$$

gdzie:  $K \sigma_r^* = \frac{\sigma_{rN}^*}{g^*}$  jest stałą nośności laminatu na rozrywanie.



1

### Obliczanie dźwigara...

W katalogach rowingu podawany jest zazwyczaj  $\tau$  czyli, ciężar 1000 m rowingu w gramach.

Analogicznie określa się stałą nośności laminatu na ściskanie:

$$K\sigma_c^* = \frac{\sigma_{cN}^*}{g^*}$$

Laminat rowingowy, podobnie jak drewno, wykazuje mniejsze wartości wytrzymałości na ściskanie niż na rozciąganie.

Moduł sprężystości podłużnej laminatu odniesiony do liczby rowingów wynosi:

$$E^* = \frac{\sigma^*}{\epsilon}$$

i też może być wyrażony za pomocą stałej:

$$K_E^* = \frac{E^*}{g^*}$$

Przy wszystkich wielkościach dotyczących laminatu rowingowego użyto gwiazdki jako indeksu, odróżniającego je od wielkości dotyczących tkanin.

### Elementy z tkaniny

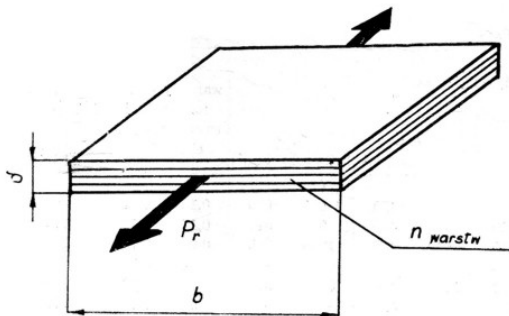
Na rysunku 2 przedstawiono element wykonany z  $n$  warstw tkaniny szklanej o szerokości  $b$  oraz grubości  $\delta$ . Z powodów wspomnianych przy omawianiu laminatu rowingowego, grubość elementu nie jest reprezentatywny dla wyznaczania naprężenia. Różnice w grubościach jednowarstwowego laminatu z tkaniny zależne od technologii przesycania (z dociskiem lub bez) podano w tabelcy 1 i 3.

Naprężenie w laminacie tkaninowym odnosi się więc do liczby warstw tkaniny  $n$  i wówczas:

$$\bar{\sigma} = \frac{P_r}{b \cdot m \cdot n}$$

gdzie  $m$  jest liczbą włókien tkaniny zorientowanych wzdłuż kierunku działania siły  $P_r$ , odniesioną do liczby wszystkich włókien tkaniny (w setnych). Współczynnik ten odróżnia tkaninę od rowingu, w którym wszystkie włókna skierowane są wzdłuż kierunku działania siły  $P_r$  czyli  $m = 1$ .

Dla tkanin o jednakowej liczbie włókien wzdłuż wątku i osnowy  $m = 0,5$ . Dla tkanin o wzmocnionym kierunku wzdłużnym (kierunku działania siły)  $m > 0,5$ .



2

Tabela 1. Niektóre tkaniny niemieckie „Interglasgewebe”

Oznaczenie	Splot	Grubość warstwy $\delta$ [mm] formowanej swobodnie		Gramatura [G/m <sup>2</sup> ]
		pod ciśn.		
92100	plócienny	0,20	0,15	161
92105	plócienny	0,19	0,15	161
92112	plócienny	0,22	0,18	200
92115	plócienny	0,33	0,26	280
91125	krzyżowy	0,25	0,18	180
91140	atłasowy	0,42	0,27	295
92185	parkietowy	1,25	0,80	900

Tabela 2. Rowingi

Oznaczenie	Liczba pasm w rowingu	Tex [G/1000 m]
ES — 10 (niemiecki)	30	2370
ER — 2001 (polski)	30	2280
Er — 2002 (polski)	30	2280
	15	1140
	8	608
	6	455
ER — 2003 (polski)	30	2280
	15	1140
	8	608
	7	532
	6	456
ER — 2006 (polski)	30	2280
	15	1140
ER — 2011 (polski)	30	2280
	15	1140
	8	608
	7	532
	6	456

Gdy wielkość siły  $P_r$  osiąga wartość niszczącą  $P_{rN}$  naprężenie staje się nośnością laminatu:

$$\bar{\sigma}_{rN} = \frac{P_{rN}}{b \cdot m \cdot n}$$

Podobnie jak w przypadku rowingu nośność jest proporcjonalna do ciężaru jednostkowego tkaniny  $g$  (ciężar tkaniny o jednostkowej powierzchni). Proporcjonalność tę ujmują stałe:

$$\text{stała nośności na rozciąganie } K\bar{\sigma}_r = \frac{\bar{\sigma}_{rN}}{m \cdot g}$$

$$\text{stała nośności na ściskanie } K\bar{\sigma}_c = \frac{\bar{\sigma}_{cN}}{m \cdot g}$$

W katalogach tkanin podawana jest zazwyczaj „gramatura” czyli ciężar 1 m<sup>2</sup> tkaniny w gramach.

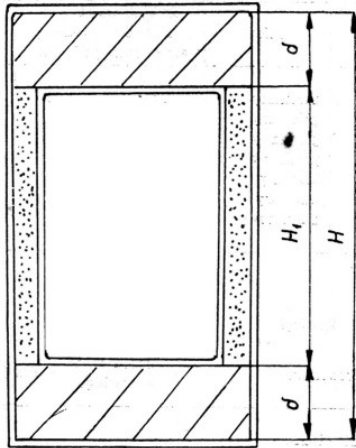
Tkanina szklana zdolna jest także do przenoszenia naprężeń tnących, przy czym wymaga uformowania takiego, aby kierunek wątku i osnowy tworzył kąt 45° z kierunkami wydatków naprężeń tnących.

Naprężenie tnące odniesione do liczby warstw tkaniny:

$$\bar{\tau} = \frac{Q}{b \cdot n}$$

gdzie  $Q$  jest siłą poprzeczną.

Obliczanie dźwigara...



3

Stała nośności na ścinanie:

$$K_{\tau} = \frac{\tau}{g}$$

Dla prawidłowo uformowanej tkaniny (kąąt 45°) wielkość udziału pracujących włókien  $m=1$ , albowiem ścinanie przechodzi w rozciąganie i ściskanie wątku i osnowy.

Stałe modułów sprężystości wynoszą odpowiednio:

$$K_{\bar{E}} = \frac{\bar{E}}{m g} \quad \text{oraz} \quad K_{\bar{G}} = \frac{\bar{G}}{g}$$

Stałe nośności i sprężystości

Znajomość stałych oraz ciężarów jednostkowych (tex rowingu i gramatura tkanin) pozwala na określenie własności wytrzymałościowych i sprężystych.

Stałe nośności i sprężystości wyznaczone przez laboratorium zachodniemieckie dotyczą tkanin firmy INTERGLASGEWEGE spajanych żywicą ARALEDIT E z utwardzaczem 951. Zostały one z zadowalającym wynikiem zastosowane w przypadku zestawu żywica/utwardzacz zastosowanym w budowie szybowca Jan-tar, celowe jest więc przytoczenie ich wartości. Należy jednak pamiętać, że mogą one służyć jedynie do wstępnego wymiarowania elementów konstrukcji i oparty na nich rachunek nie jest tak bezspornym dowodem wytrzymałościowym jak próba statyczna.

Zestaw stałych  $K$  podano w wymiarze  $\left[ \frac{kG}{g/m} \right]$  dla rowingu oraz  $\left[ \frac{kG/cm}{100g/m^2} \right]$  dla tkanin użytych jako wzmocnienie laminatu.

Stałe  $K$  dla przypadku:

1) Nośności na rozrywanie:

- $K_{\sigma_r} = 60$  rowing z włókien o grubości 7  $\mu m$
- $= 45$  rowing z włókien o grubości 9  $\mu m$
- $= 60$  tkanina  $m \geq 0,5$  z włókien o grubości 9  $\mu m$

2) Nośności na ściskanie:

- $K_{\sigma_c} = 25$  rowing przy grubości elementu  $\delta = 4$  mm
- $= 40$  rowing przy grubości elementu  $\delta = 12$  mm
- $= 30$  tkanina przy grubości elementu  $\delta = 0,5$  do 1 mm
- $= 45$  tkanina przy grubości elementu  $\delta \geq 2$  mm

3) Nośności na ścinanie:

- $K_{\tau} = 10$  do 15 tkanina  $m = 0,5$

4) Modułu sprężystości podłużnej:

- $K_{E^*} = 3100$  rowing
- $K_{E_{E+}} = 3300$  tkanina  $m = 0,5$
- $K_{E_{E+}} = 3500$  tkanina  $m > 0,5$
- $K_{E_{E \times}} = 1150$  tkanina  $m = 0,5$  (wątek i osnowa tworzą kąt 45° z kierunkiem obciążenia ścinającego)

5) Modułu sprężystości postaciowej:

- $K_{G_{\times}} = 830$  tkanina  $m = 0,5$  (wątek i osnowa tworzą kąt 45° z kierunkiem obciążenia ścinającego)
- $K_{G_{+}} = 400$  tkanina  $m = 0,5$ , względnie rowing, kierunek obciążenia ścinającego wzdłuż kierunku włókien, przy czym decyduje tutaj wpływ nośności żywicy.

Tex i gramaturę niektórych rowingów i tkanin podano w tablicach 1, 2 i 3.

Dźwigar laminatowy

Laminatowe dźwigary skrzydeł szybowców zazwyczaj wykonuje się w postaci konstrukcji skrzynkowej (rys. 3). Pasy górny i dolny mają jednakową gru-

Dokończenie na str. 23

Tablica 3. Niektóre tkaniny niemieckie „Interglasgewebe”. Dane do obliczeń laminatu

Oznaczenie	Nośność				Moduły sprężystości								Grubość warstwy $\delta$ [mm] formowanej swobodnie pod ciśnieniem		Gramatura $\bar{g}$ [G/m <sup>2</sup> ]
	$\sigma_{rN+}$ [kG/cm]	$R_{r+}$ [kG/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{cN+}$ [kG/cm]	$R_{c+}$ [kG/mm <sup>2</sup> ]	$E_{+}$ [kG/cm kG/mm <sup>2</sup> ]		$E_{\times}$ [kG/cm kG/mm <sup>2</sup> ]		$G_{+}$ [kG/cm kG/mm <sup>2</sup> ]		$G_{\times}$ [kG/cm kG/mm <sup>2</sup> ]				
90070	24	34	23	33	1600	2300	920	1300	320	450	665	950	0,10	0,07	80
91110	32	32	29	29	2300	2300	1260	1260	440	440	910	910	0,17	0,10	110
92110	52	35	52	35	3450	2300	1850	1250	640	430	1340	900	0,20	0,15	161
92125	91	35	91	35	6000	2300	3200	1230	1120	430	2300	890	0,35	0,26	280
92140	130	36	130	36	8300	2300	4500	1250	1580	440	3300	910	0,50	0,36	395
92145 (rowingo-wa)	—	—	140	74	6450	3400	—	—	860	450	—	—	0,28	0,19	215

### Obliczanie dźwigara...

Dok. ze str. 16

bość, pomimo mniejszej nośności laminatu na ściskanie. Wymiarowanie bowiem przeprowadza się dla ściskanego pasa dolnego stosując odpowiednio zwiększony współczynnik bezpieczeństwa  $\nu$ , a pas górny otrzymuje taką samą grubość. Przemawiają tutaj bowiem względy sztywnościowe, na bazie których zwiększa się współczynnik bezpieczeństwa. Znany jest bowiem fakt, że sztywność skrzydeł laminatowych jest mniejsza niż drewnianych czy metalowych, niemniej jednak musi być dobrana tak, aby spełniała wymagania przepisów konstrukcyjnych.

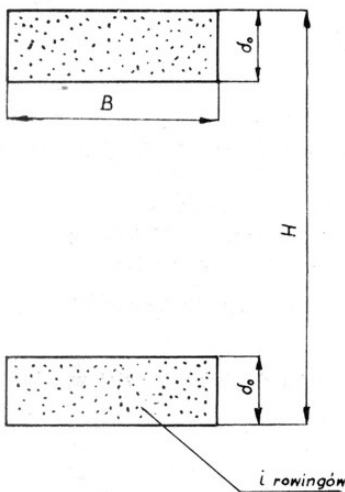
Prawidłowo zaprojektowany dźwigar laminatowy ma pasy wzmocnione rowingiem lub tkaniną rowingową ( $m > 0,5$ ) o wzmocnionej osnowie (kierunek wzdużny) oraz ścianki z tkaniny o włóknach biegnących pod kątem  $45^\circ$  w stosunku do osi dźwigara. Narzucona izotropowość konstrukcji pozwala na wprowadzenie do rachunku rozdzielności pracy pasów i ścianki.

#### Pas dźwigara z rowingiem

Zgodnie z oznaczeniami na rys. 4 niszcząca siła pasowa w rozpatrywanym przekroju wywołana działaniem momentu gnącego  $M$  wynosi:

$$P_N = \nu \frac{M}{H - \delta_0}$$

gdzie:  $\nu$  — założony współczynnik bezpieczeństwa,  
 $\delta_0$  — założona w I przybliżeniu grubość pasa.



4

Siła ta musi być przeniesiona przez  $i$  rowingów. zatem:

$$P_N = i \sigma_{cN}^* = \frac{\nu M}{H - \delta_0}$$

Stąd konieczna liczba rowingów w rozpatrywanym przekroju pasa:

$$i = \frac{\nu M}{(H - \delta_0) \sigma_{cN}^*}$$

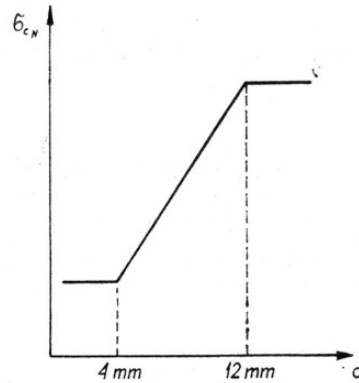
Decydując się na określony typ rowingu, należy znać jego przekrój poprzeczny po przesyleniu żywicą

$f_0$ . Całkowity przekrój poprzeczny pasa wyniesie wówczas:

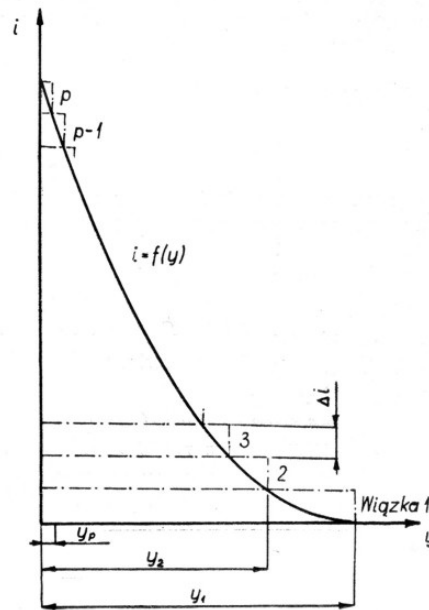
$$F = i \cdot f_0$$

a wynikowa grubość pasa:  $\delta_1 = \frac{F}{B}$  będzie inna od założonej wstępnie grubości  $\delta_0$ .

Wartości stałej nośności rowingu na ściskanie u- zależnione są od grubości elementu  $\delta$ . Dane niemiec-



5



6

kie podają konkretne wielkości dla grubości 4 i 12 mm. Ponieważ brak jest innych informacji co do przebiegu nośności dla grubości pośrednich oraz większych od 12 mm i mniejszych od 4 mm, przy obliczeniach szybowca Jantar przyjęto przebieg o charakterze przedstawionym na rys. 5. Należy się bowiem spodziewać, iż dla grubości większych od 12 mm wpływ słabiej podpartych włókien skrajnych jest już znikomy, a przy grubościach mniejszych od 4 mm wpływ ustarczający włókien środkowych jest też nikły. Przebieg pośredni przyjęto jako liniowy.

Z uwagi na zależność nośności  $\sigma_{cN}^*$  od grubości elementu  $\delta$  liczba rowingów w pasie dobierana jest drogą kolejnych przybliżeń.

### Obliczanie dźwigara...

Przeprowadzając rachunek dla wielu wytypowanych wzdłuż rozpiętości przekrojów dźwigara otrzymuje się w rezultacie wykres:  $i = f(y)$ , gdzie  $y$  jest współrzędną wzdłuż rozpiętości dźwigara (rys. 6).

Technologia wykonania pasa dźwigara polega na układaniu rowingów w formie wiązek zawierających  $\Delta i$  rowingów każda. Liczba rowingów w wiązce zależy od zastosowanego oprzyrządowania warsztatowego.

Dokonując podziału wyliczonej liczby rowingów  $i$  na wiązki po  $\Delta i$  rowingów w każdej otrzymuje się liczbę wiązek:

$$p = \frac{i}{\Delta i}$$

a zarazem i liczbę operacji kładzenia rowingu. Z wykresu (rys. 6) odczytuje się również zasięg poszczególnych wiązek wzdłuż rozpiętości:  $y_1, y_2, \dots, y_p$ .

Wykres powyższy stanowi wytyczną konstrukcyjną dla opracowania procesu technologicznego.

### Pas dźwigara z tkaniną

Do wzmacniania pasów dźwigara używa się tkanin „rowingowych”, tzn. ze wzmocnioną osnową ( $m > 0,5$ ). Tkaniny takie wykonywane są zazwyczaj w postaci taśm o szerokości  $b_0$ .

Nośność jednej taśmy wynosi:

$$P_t = \bar{\sigma}_{cN} \cdot b_0$$

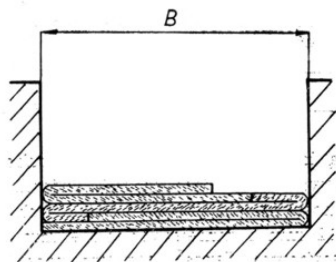
Stosując oznaczenia analogiczne, jak na rys. 4, siła niszcząca pas w rozpatrywanym przekroju wynosi:

$$P_N = \nu \frac{M}{H - \delta_0}$$

gdzie  $\delta_0$  jest podobnie jak w przypadku pasa rowingowego założoną wstępnie grubością pasa.

Niezbędna liczba taśm:

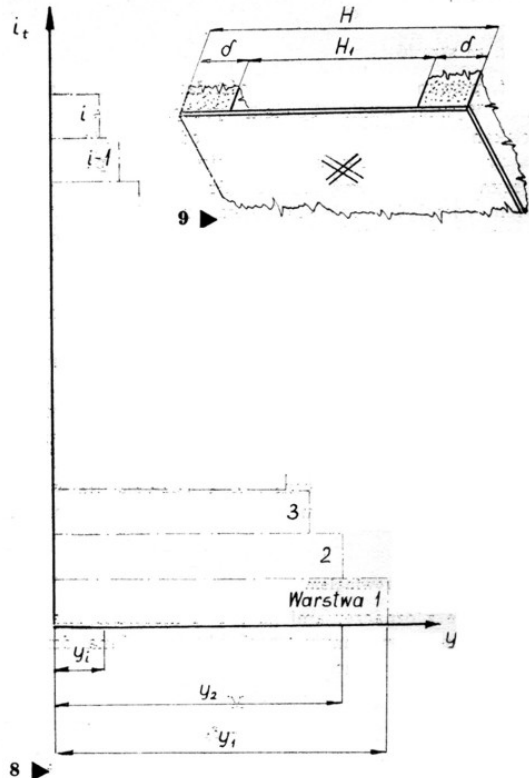
$$i_t = \frac{P_N}{P_t}$$



Taśmy układane są w foremnikach określających szerokość pasa  $B$  (rys. 7), zatem wynikowa grubość pasa wyniesie:

$$\delta_1 = \frac{b_0 \cdot i_t}{B} \delta_t$$

gdzie  $\delta_t$  jest grubością taśmy przesyconej. Rachunek wymaga więc także metody kolejnych przybliżeń.



Powtarzając obliczenie dla wytypowanej liczby przekrojów dźwigara wzdłuż rozpiętości, konstruktor sporządza wykres liczby taśm oraz ich zasięgu wzdłuż rozpiętości (rys. 8).

### Ścianka dźwigara

Ścianka dźwigara (rys. 9) obciążona jest wydatkiem naprężeń pochodzącym od:

- ścinania siłą poprzeczną
- współpracy z pasami (sklejenie żywicą)
- odkształcenia giętnego pasów.

Wydatek wywołany działaniem siły poprzecznej  $Q$  wynosi:

$$q_{Q_0} = \frac{Q}{H_1} \text{ — dla dźwigara o stałej wysokości } H_1$$

albo:

$$q_Q = \frac{1}{H_1} \left( Q - \frac{2M}{h} \operatorname{tg} \beta \right) \text{ — dla dźwigara zbieżnego,}$$

gdzie kąt  $\beta$  tworzą osie pasów z osią podłużną dźwigara.

Współpraca ścianki z pasem wywołuje w niej wydatek działający wzdłuż osi dźwigara równy:

$$q_\varepsilon = n g K_E \times \varepsilon_p$$

gdzie  $\varepsilon_p$  jest wydłużeniem pasa.

Wydatek powodowany odkształceniem giętym pasów i działający prostopadle do osi dźwigara wynosi:

### Obliczanie dźwigara...

$$q_M = \frac{2M}{(H-\delta)^2} \varepsilon_p$$

W obu ostatnich przypadkach pojawia się wielkość  $\varepsilon_p$  określona zależnością:

$$\varepsilon_p = \frac{\sigma_p}{E_p} = \frac{M}{(H-\delta)F_p E_p}$$

gdzie:  $F_p = B \cdot \delta$  jest przekrojem poprzecznym pasa, natomiast:

$$E_p = m \cdot g \frac{KE + \delta_w}{\delta_w} \text{ — dla pasa z tkaniny posiadającej grubość jednej warstwy } \delta_w,$$

$$E_p = K_E^* g^* \cdot t \text{ — dla pasa z rowingu.}$$

Tkanina o skośnym układzie włókien (kąąt włókien  $45^\circ$  względem osi dźwigara) pracuje przenosząc odpowiednio rozciąganie i ściskanie obu prostopadłych do siebie układów włókien

Wydatki te określa się dokonując transformacji obrotowej i wówczas w jednym z kierunków „nośnych” tkaniny powstają wydatki o wielkości:

$$q_1 = 2q_Q \cos^2 45^\circ = q_Q$$

$$q_2 = q_e \cos^2 45^\circ = 0,5 q_e$$

$$q_3 = q_M \cos^2 45^\circ = 0,5 q_M$$

Sumaryczny wydatek w najsilniej wytężonym punkcie ścianki wynosi:

$$q_w = q_1 + q_2 + q_3$$

a dla obciążenia niszczącego:

$$q_{w_N} = \nu(q_1 + q_2 + q_3)$$

Wydatek ów musi być mniejszy, a co najmniej równy nośności tkaniny (odnosi się go do mniejszej nośności na ściskanie), a więc:

$$\begin{aligned} q_{w_N} &= m \cdot g \cdot n \cdot K \sigma_c = \nu(q_1 + q_2 + q_3) = \\ &= \nu(q_Q + 0,5 q_e + 0,5 q_M) = \\ &= \nu \left[ \frac{1}{H_1} \left( Q - \frac{2M}{H-\delta} \operatorname{tg} \beta \right) + 0,5 n g K E \times \cdot \varepsilon_p + \right. \\ &\quad \left. + 0,5 \frac{2M}{(H-\delta)^2} \varepsilon_p \right] \end{aligned}$$

a stąd liczba niezbędna warstw tkaniny wynosi:

$$n = \frac{1}{g} \left[ \frac{\nu}{H_1} \left( Q - \frac{2M}{H-\delta} \operatorname{tg} \beta \right) + \frac{\nu M}{(H-\delta)^2} \varepsilon_p \right] \frac{1}{m K \sigma_c - 0,5 \nu \cdot K E \times \cdot \varepsilon_p}$$

### Uwagi praktyczne

Aby móc wykorzystać praktycznie przytoczone zależności, potrzebna jest informacja dotycząca rodzajów rowingów i tkanin oraz ich texu i gramatury. Dane te przykładowo dla kilku wybranych rowingów i tkanin podano w tablicy 1 i 2:

Jednakże przy wymiarowaniu dźwigara laminatowego należy zachować ostrożność i przytoczone dane traktować jako materiał przybliżony, mając na uwadze fakt, iż wartości stałych wyznaczone zostały dla określonych tkanin i żywic, a bardzo istotny parametr, jakim jest wielkość przesylenia szkła żywicą zależy zarówno od wprawy i sumienności personelu warsztatowego, jak i ścisłego przestrzegania warunków klimatyzacyjnych pomieszczeń fabrycznych. Trzeba się więc liczyć z praktycznie nieuniknionymi odchylekami gotowego produktu od stanu, jaki brano za podstawę przy przyjmowaniu danych tworzywa.

Dźwigar skrzynkowy często konstruuje się w ten sposób, iż ścianka zewnętrzna wykonywana jest z  $n_1$  warstw tkaniny jednego rodzaju, zaś ścianka wewnętrzna z  $n_2$  warstw tkaniny tego samego lub innego rodzaju, przy czym ilość warstw  $n_1$  jest narzucona przez konstruktora z góry, natomiast  $n_2$  warstw uzupełnia ściankę dla uzyskania założonego współczynnika bezpieczeństwa  $\nu$ .

Wówczas:

$$q_{w_N} = m_1 g_1 n_1 K \sigma_{c1} + m_2 g_2 n_2 K \sigma_{c2}$$

a liczba warstw uzupełniających w ściance wewnętrznej:

$$n_2 = \frac{1}{g_2} \left[ \frac{\nu}{H_1} \left( Q - \frac{2M}{H-\delta} \operatorname{tg} \beta \right) + \frac{\nu M}{(H-\delta)^2} \varepsilon_p \right] \frac{1}{m_2 K \sigma_{c2} - 0,5 \nu K E \times \cdot \varepsilon_p} - m_1 g_1 n_1 \cdot K \sigma_{c1}$$

Aby zapobiec utracie stateczności ścianki, stosuje się konstrukcję przekładkową. Dotychczasowa praktyka wykazuje, że grubość wypełniacza (piankowego), lub balsowego, rzędu 5 do 8 mm, w zakresie obciążeń skrzydła szybowców wyczynowych i zawodniczych, zapobiega pofalowaniu się ścianek, aż do poziomu naprężeń odpowiadających współczynniki bezpieczeństwa.

Mało jest jeszcze dotychczas danych dotyczących zachowania się konstrukcji laminatowych pod wpływem obciążeń długotrwałych. Prowadzone są w tym zakresie próby zarówno w kraju, jak i za granicą. Po uzyskaniu dostatecznego materiału statystycznego zapewne ulegnie weryfikacji pogląd na temat wielkości współczynnika bezpieczeństwa. Szybowiec bowiem podczas eksploatacji bardzo rzadko doznaje obciążeń granicznych, natomiast narażony jest stale na obciążenia o niższym poziomie, wywoływane turbulencją atmosfery.

Rozszerzony zakres danych dla tkanin stosowanych w polskich konstrukcjach szybowcowych zebrano w tablicy 3, gdzie wytrzymałości oraz dane sprężyste zestawiono w wartościach charakterystycznych dla laminatów oraz w wartościach przeliczonych na wielkości stosowane powszechnie w wytrzymałości materiałów.

### Literatura

- Wurtlinger H.: *Entwurf und Vordimensionierung tragender Konstruktionen aus glasfaserverstärkten Kunststoffen* VDI-Zeitschrift Bd. 109 nr 24/Aug. 1967  
 Puck A.: *Einige Beispiele zu Konstruktion und Bau von hochbeanspruchten Segelflugzeugteilen aus Glasfaserkunststoff*, „Aero-Revue” 1962 nr 12 i 1963 nr 1  
 Katalog „Interglasgewebe”  
 Katalog Krośnieńskiej Huty Szkła, WKC 1972