

Principes généraux polonais de résistance et de construction des planeurs comparés aux principes étrangers

Conférence au 7^e Congrès de l'OSTIV, Osieczna, Pologne, juin 1958

Par Mg. inż. Irena Kaniewska

Le développement intense du vol à voile au cours des dernières années a été la cause de sérieux perfectionnements dans les constructions du matériel du vol à voile.

Les exigences plus élevées des utilisateurs, aussi bien que le progrès technique général, qui particulièrement dans l'aviation avance à pas géant, ont trouvé leur place dans le domaine du vol à voile. Le matériel du vol à voile moderne doit répondre à des exigences qui sont parfois difficiles à concilier. Par exemple, outre les performances maxima, outre de bonnes qualités de pilotage, un planeur doit encore avoir une grande résistance de sa construction, qui garantit au pilote une pleine sûreté de vol.

Ces derniers temps, on observe un épanouissement considérable du domaine d'utilisation des planeurs. Les exigences posées dernièrement aux planeurs de performances modernes par exemple, sont non seulement inférieures aux exigences analogues posées aux types d'avions correspondants, mais souvent les dépassent d'une façon considérable.

Afin d'obtenir de bons résultats, pouvant être comparés au niveau mondial, un planeur moderne doit répondre à des exigences techniques de plus en plus élevées. Obtenir une résistance suffisante, en même temps que nécessaire, liquidant tout poids superflu — voilà le problème qui se pose en premier plan aux constructeurs de planeurs.

Les principes généraux de construction des planeurs, employés aujourd'hui dans divers pays souffrent de sérieuses lacunes, particulièrement en ce qui concerne les conditions de résistance. Les chapitres concernant la résistance des constructions sont traités soit d'une façon trop générale, soit, ce qui arrive le plus souvent dans les publications anciennes, ne prennent pas en considération le domaine élargi des exigences d'exploitation modernes concernant le matériel du vol à voile. Les conditions générales de différents pays sont souvent basées sur des principes différents, ce qui rend difficile la comparaison des marges de résistance des constructions. On rencontre aussi des principes généraux pour planeurs qui sont basés sur des principes généraux de construction d'avions, respectivement simplifiés, ce qui ne répond pas toujours au caractère spécifique de la construction des planeurs.

Par suite du manque d'unification des principes généraux de construction des planeurs utilisés et des lacunes générales dans ce domaine, l'établissement de recherches polonaises, l'Institut de l'aviation, s'est chargé d'établir des principes généraux et y a introduit un chapitre concernant la résistance des planeurs sous le titre de: «Exigences concernant la résistance des planeurs dans les principes généraux de construction», ces conditions étant obligatoires en Pologne depuis le 1^{er} janvier 1958.

Dans la rédaction de ces principes, qui sont basés sur de nombreuses mesures, études et recherches, on a soumis à une attention particulière la détermination des domaines sûrs et correspondant aux charges admises et des marges de résistance des types modernes de planeurs. De même, on a cherché à combler les lacunes qui se trouvent dans les principes généraux jusqu'à présent utilisés et à unifier les exigences et les méthodes de calcul des charges et de la résistance des planeurs.

Les exigences de résistance des planeurs dans les principes généraux polonais se composent des parties suivantes:

Le chapitre premier contient des remarques générales. Le second chapitre traite des charges du planeur:

- charges de manœuvre symétrique,
- charges de manœuvre à fond des gouvernes,
- charges en air agité,
- charges en vol remorqué par avion ou par treuil,
- charges à l'atterrissage,
- charges au sol,
- charges sur les commandes de vol.

Le chapitre trois donne les schémas des répartitions des forces extérieures agissant sur chaque partie du planeur. Les répartitions admises sont suffisantes pour un calcul précis de résistance.

Le chapitre quatre discute les critères de sûreté de la construction.

Le chapitre cinq rapporte le cours des recherches expérimentales sur la résistance des planeurs, et le chapitre six a été consacré à une analyse des problèmes de l'aéroélasticité et de la rigidité de la construction.

Parmi les problèmes cités ci-dessus, quelques-uns d'entre eux ont exigé des études spéciales approfondies théoriques et des recherches expérimentales. Ils seront donc traités à part au présent congrès. C'est pourquoi on ne les soulèvera pas ici d'une façon plus détaillée.

Les autres thèmes trouveront ici une analyse plus complète, en particulier en ce qui concerne les nouveaux éléments qui ont été introduits dans les principes généraux polonais de résistance ou qui diffèrent des éléments analogues des principes d'autres pays.

Dans la partie générale des principes généraux de construction des planeurs polonais on trouve une classification des planeurs d'après leur usage et d'après le degré de charges de leur construction. La liaison qui existe entre les différentes catégories de planeurs et les groupes de charges correspondants est donnée dans la table I.

Table I

Groupes de charges du planeur	Charges faibles 1			Charges moy. 2	Charges élevées 3	Spéciales 4
	I d'école	II d'entraînement	III de performance	IV de haute performance	V acrobatique	VI spéciale
Catégorie du planeur						

Les remarques générales contiennent en outre les conditions principales de résistance et la définition des termes utilisés dans le texte des principes généraux.

Pour mieux souligner les traits caractéristiques des conditions discutées, il faut mentionner tout au début les principes fondamentaux: La démonstration de la résistance a été faite pour le poids du planeur avec équipage au poids moyen, qui est égal à: pour un équipage d'une personne = 80 kg + parachute; pour un équipage de deux personnes = 2×75 kg + 2 parachutes, et pour une position moyenne du centre de gravité.

Cette clause permet de réduire d'une façon considérable le travail nécessaire au calcul de la résistance. Dans ce cas, on peut avoir recours en grande partie à la documentation aérodynamique du planeur, qui, pour la plupart des cas, a déjà été établie préalablement.

Il serait bon d'ajouter que la diminution de la marge de résistance du planeur qui découle du choix d'un poids moyen de l'équipage ne dépasse pas 10% et qui est, en grande partie, compensée par l'adaptation d'un large domaine de charges dans les principes généraux polonais et par le choix dans les calculs de résistance, des dimensions du matériel et des propriétés minima du dit matériel.

On remarque — nous discutons toujours la première partie des conditions générales — que les planeurs avec des surcharges peuvent être traités — après augmentation du poids — comme planeurs du quatrième groupe, autrement dit comme planeurs de la catégorie spéciale.

Les charges dues à la manœuvre symétrique ont été déterminées comme «domaines d'évolutions symétriques», c'est-à-dire comme enveloppe de charges réelles du planeur en vol curviligne symétrique (sans considérer l'accélération angulaire), charges qui ont été obtenues à la base de nombreux essais et expériences en vol.

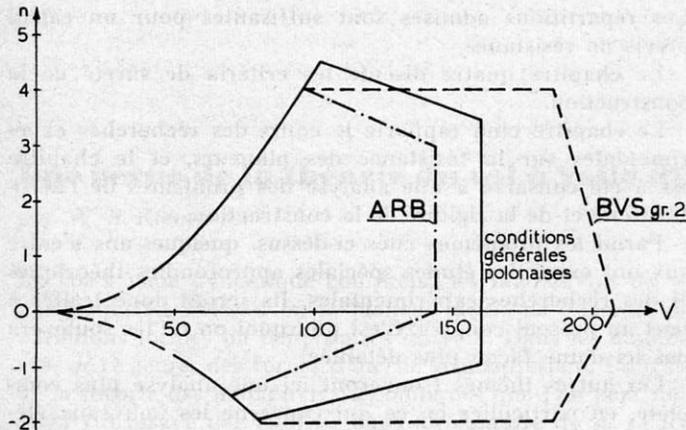


Fig. 1
Groupe 1, Czapla (Héron), planeur d'école et d'entraînement biplace

Les figures 1, 2 et 3 sont une illustration des diagrammes des charges dues au cabrage, qui permettent de comparer trois groupes différents de planeurs, en particulier: le planeur d'école et d'entraînement, le planeur de haute performance et le planeur d'acrobatie. Ces graphiques représentant les domaines d'évolutions symétriques et construits d'après les principes généraux ici discutés et d'après quelques principes étrangers, renferment aussi les domaines des charges réelles, réalisées en cours de vol et enregistrées à l'aide d'instruments automatiques.

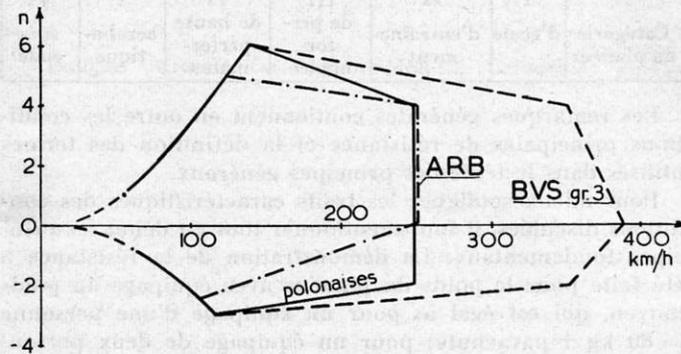


Fig. 2
Groupe 2, Jaskolka, planeur de haute performance monoplace

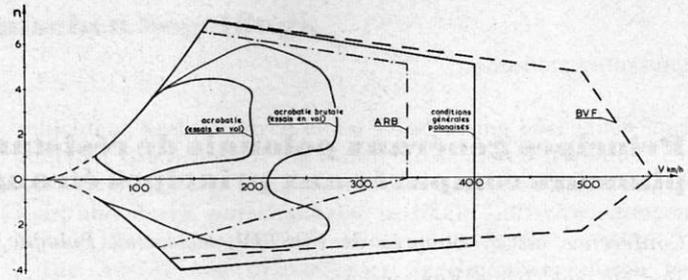


Fig. 3
Groupe 3, Jastrzab, planeur monoplace d'acrobatie

En tenant compte des expériences obtenues par les bureaux de construction polonais, de l'analyse des exigences renfermées dans les principes étrangers et après leur vérification à l'aide d'expériences en vol, on est arrivé à la détermination suivante des valeurs des facteurs de charges admissibles aux évolutions symétriques et des vitesses de vol correspondantes:

Table II. Facteurs de charges admissibles

Facteur de charges	Groupe de charge du planeur	1	2	3	4
n_A		4,5	6,0	7,0	3
n_B		3,5	4,0	5,0	3
n_C		0	0	0	0
n_D		-1,0	-2,0	-3,0	—
n_E		-2,0	-3,0	-4,0	—
n_K		2,25	3,0	5,5	2
n_{Kl}		1	1	1	1

Table III. Vitesses caractéristiques du domaine d'évolutions symétriques

Groupe de charge du planeur	1	2	3	4
$V_A = V_{min} \sqrt{n_A}$	$2,12 V_{min}$	$2,45 V_{min}$	$2,64 V_{min}$	$1,75 V_{min}$
$V_{max} \geq$	$3 V_{min}$	$4,0 V_{min}$	$5,5 V_{min}$	$3 V_{min}$
ne doit pas être inférieure à la valeur la plus grande des trois suivantes	$V_{opt} + 25 \frac{m}{s}$	$V_{opt} + 40 \frac{m}{s}$	$V_{opt} + 50 \frac{m}{s}$	—
	$0,4 V_{gr}$	$0,4 V_{gr}$	$0,6 V_{gr}$	—
$V_E = V'_{min} \sqrt{n_E}$	$1,41 V'_{min}$	$1,73 V'_{min}$	$2 V'_{min}$	—
V_K	$2,2 V_{k min}$	$2,4 V_{k min}$	$2,5 V_{k min}$	—

Le domaine rayé sur le graphique de l'enveloppe est obligatoire pour les planeurs avec volets braqués.

La résistance de la construction du planeur doit être portée sur toutes les charges dimensionnelles qui se trouvent dans le domaine d'évolutions symétriques.

Les charges à manœuvre à fond des gouvernes se répartissent soit sur le planeur entier, soit seulement sur une de ses parties.

Pour tous les groupes de charge des planeurs, il faut prendre en considération le mouvement accéléré dû au braquage à fond des ailerons, la vitesse étant égale à V_A — on l'appellera «vitesse de manœuvre à fond», et le facteur de charge première du planeur étant égal à

$$n_o = \frac{n_A}{2} \quad \text{ou bien} \quad n_o = \frac{n_E}{2}$$

Pour le troisième groupe de charge des planeurs, il faut au surplus considérer le mouvement uniforme, qui est dû a) au braquage à fond des ailerons à une vitesse V_A et un facteur de charge première

$$n_o = \frac{n_A}{2} \quad \text{ou bien } n_o = \frac{n_E}{2}$$

b) au braquage des ailerons égal au tiers du braquage maximum à une vitesse de V_{max} et un facteur de charge première

$$n_o = \frac{n_B}{2} \quad \text{ou bien } n_o = \frac{n_D}{2}$$

De façon analogue on considère le mouvement accéléré dû au braquage à fond de dérive, éventuellement de l'empennage de profondeur, la vitesse de vol étant V_A et le braquage d'un tiers du braquage à fond de dérive, éventuellement de l'empennage de profondeur à la vitesse de V_{max} , le braquage se comptant à partir du braquage d'équilibre pour une vitesse de vol donnée et un facteur de charge première

$$n_o = 1$$

Les principes généraux polonais admettent aussi la possibilité d'un braquage parallèle des gouvernails de dérive et de profondeur. Dans ce cas complexe il faut prendre 0,75 de chaque valeur des charges, calculées pour les braquages respectifs des gouvernails.

Dans le cas de gouvernails braqués on obtient l'équilibre en utilisant les forces et les couples d'inertie de masse.

Les principes généraux polonais prévoient aussi les cas d'usage brusque des freins aérodynamiques, le facteur de charge étant de $n_o = 0$ et la vitesse du vol inférieure ou égale à V_h . Les valeurs de V_h sont mentionnées dans la table IV.

Table IV

Groupe de charge du planeur Vitesse	1	2	3	4
V_h	$0,6 V_{max}$	$0,7 V_{max}$	$0,75 V_{max}$	$0,6 V_{max}$

Une mise en action lente des freins aérodynamiques doit être possible pour toutes les vitesses de vol admissibles (jusqu'à V_{max}).

Les exigences ci-dessus concernant le braquage brusque, posées par les principes généraux polonais, sont en général

plus élevées que les exigences analogues imposées par les principes étrangers. Néanmoins elles ont pour but d'assurer une résistance suffisante du planeur en vol dans des conditions atmosphériques difficiles — dans les nuages et les rotateurs — ou aussi en cours d'exécution de l'acrobatie.

Comme il s'ensuit des considérations précédentes, il est possible, jusqu'à la vitesse de vol V_A , de mettre en action tous les gouvernails, même de façon brusque, sans courir le risque de dépasser le facteur de charge admissible, risquant tout au plus de tomber dans une vrille.

Les charges du planeur attaqué par une rafale pendant le vol en air agité seront traitées à part par l'ingénieur Justin Sandauer. Néanmoins il serait bon de comparer les domaines d'évolutions symétriques et de charges dues aux rafales, afin de pouvoir obtenir un domaine de charges, à partir duquel il sera possible de calculer la résistance exigée du planeur.

Les principes généraux polonais considèrent trois catégories d'intensité des rafales normales à la trajectoire du planeur:

Rafales faibles, à la vitesse maximale de $W_o = \pm 4$ m/s que l'on rencontre en atmosphère tranquille;

rafales normales, à la vitesse de $W_o = \pm 10$ m/s, se rencontrant en air agité;

rafales fortes (de nuages ou de rotateurs), à la vitesse de $W_o = \pm 30$ m/s, se rencontrant en air très agité.

Les planeurs destinés aux vols dans les nuages ou bien aux vols d'ondes dans les rotateurs doivent être calculés pour les charges des rafales fortes, c'est-à-dire $W_o = \pm 30$ m/s. Les planeurs non admis au vol dans les nuages peuvent être calculés seulement pour les rafales normales, c'est-à-dire $W_o = \pm 10$ m/s.

La construction du planeur doit donc admettre des charges dues aux rafales normales, éventuellement fortes, que l'on rencontre à la vitesse de vol non inférieure à

$$\left. \begin{aligned} V_b &\geq 2 V_{min} \\ V_b &\geq 2,5 V_{min} \\ V_b &\geq 0,25 V_{gr} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{pour les planeurs du groupe 1} \\ \text{pour les planeurs des groupes 2 et 3} \end{array}$$

On admet qu'avant l'attaque de la rafale la charge première du planeur est égale à $n_o = 1$; néanmoins pour les planeurs du groupe 3 (d'acrobatie) il faut considérer au surplus le cas d'une attaque de rafale faible, la charge du planeur étant égale à $n_o = 0$.

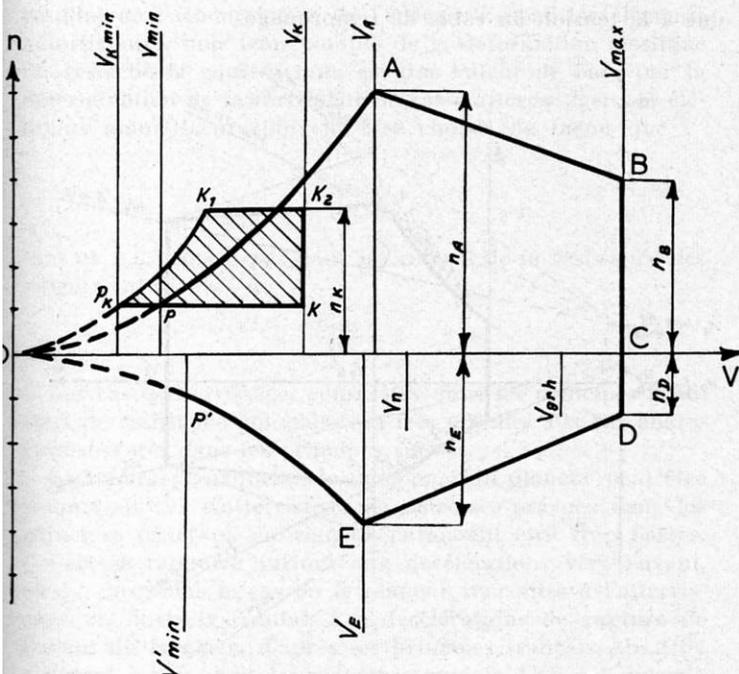


Fig. 4
Domaine d'évolutions symétriques

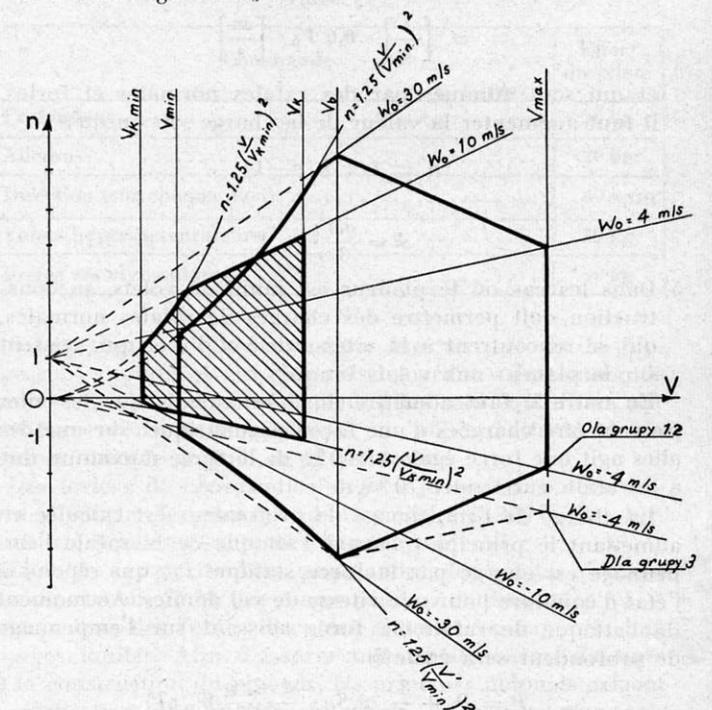


Fig. 5
Diagramme de rafales

La figure 5 représente une superposition du domaine des rafales et du domaine d'évolutions symétriques. Sans renouveler les arguments et les motifs qui se trouvent dans le compte rendu de M. Sandauer, on peut citer les données nécessaires à la construction du diagramme de rafales:

1. Le calcul du diagramme des rafales est basé sur une rafale instantanée équivalente d'une vitesse de $W_0 \cdot \eta$.
2. Le facteur d'atténuation de la rafale est pris du graphique suivant, où

$$a = \frac{1}{2} \rho \frac{S}{Q} \frac{d C_z}{da} g$$

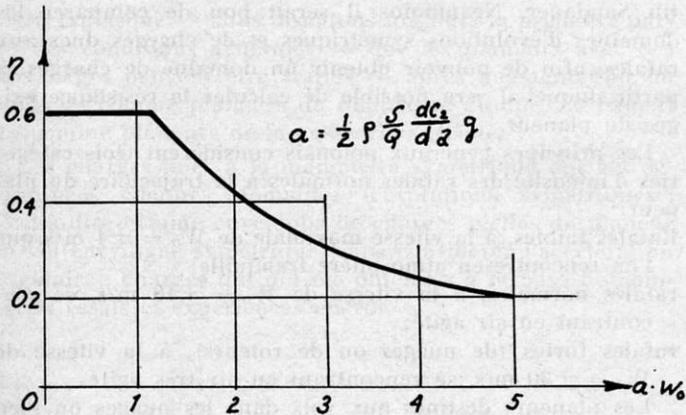


Fig. 6
Diagramme du facteur d'atténuation

3. La charge du planeur au moment de l'attaque de la rafale est égale à

$$n = n_0 + 1,2 \frac{a \cdot W_0 \cdot \eta}{g} V$$

cette valeur ne pouvant être supérieure à la valeur suivante:

$$n = 1,25 \frac{V^2}{V_{min}^2}$$

où 1,25 est le facteur qui tient compte d'une attaque oblique possible de la rafale.

4. Pour les planeurs dont la pulsation des vibrations propres en flexion de l'aile est égale à

$$\omega \left[\frac{1}{s} \right] 0,6 V_b \left[\frac{m}{s} \right]$$

et qui sont attaqués par des rafales normales et fortes, il faut augmenter la valeur de la charge «n» jusqu'à

$$n' = 1 + k(n-1)$$

où

$$k = \frac{a \cdot V_b}{3 \omega} + 1$$

5. Dans les cas où le planeur est muni de volets, sa construction doit permettre des charges de rafales normales, qui se rencontrent à la vitesse de vol V_k et qui agissent sur le planeur aux volets braqués.

En outre il faut admettre dans les calculs que les ailes peuvent être chargées d'une façon asymétrique: sur une des ailes agit une force égale à 100% de la force maximum due à la rafale, sur l'autre 70% de cette force.

La charge de l'empennage de profondeur est calculée en admettant le principe qu'avant l'attaque de la rafale l'empennage est chargé par la force statique P_0 , qui répond à l'état d'équilibre pour une vitesse de vol donnée. Au moment de l'attaque de rafale, la force agissant sur l'empennage de profondeur sera égale à

$$P = P_0 + \frac{1}{2} \rho \cdot S_H \cdot \frac{d C_z H}{da_H} W_0 \eta V$$

η comme pour l'aile.

Le calcul de la charge de l'empennage de direction se fait d'une façon analogue, la force agissant sur l'empennage étant dans ce cas égale à

$$P = \frac{1}{2} \rho S_v \frac{d C_{zv}}{da_v} W_0 \eta_k V$$

$$\eta_k = \text{const} = 0,8$$

Pour une rafale forte (de nuages ou de rotateurs) il faut admettre que la force agissant sur l'empennage de direction aura une valeur maximum égale à

$$P = \frac{1}{2} \rho S_v C_{zv \max} V^2$$

$C_{zv \max}$ — pour le gouvernail non braqué.

Les pilotes polonais en cours de vol de nuages et de vol d'ondes ont souvent rencontré des rafales fortes de 30 m/s; la discussion des charges sur le planeur en air agité est donc tout à fait motivée.

On a même noté des cas de rupture de planeurs en vol, causés par des rafales fortes. La cause la plus fréquente de la rupture de planeurs dans les nuages se trouve dans l'accroissement de sa vitesse au-delà de V_b (vitesse maximum admissible de vol en air agité), qui peut s'expliquer par une perte partielle du contrôle du planeur par le pilote, ce qui peut arriver même au pilote de hautes qualités dans des conditions difficiles de vol dans les nuages.

Les planeurs destinés au vol de nuages sont en plus grande partie calculés non sur la base du domaine d'évolutions symétriques, mais du domaine des rafales. Ces planeurs possèdent une grande finesse et une grande facilité d'augmentation de vitesse, ce qui rend difficile le pilotage sans visibilité et peut être la cause de la naissance de grandes charges sur la construction au moment de l'attaque de la rafale.

Au cours d'un vol remorqué par un avion apparaissent sur le planeur des charges analogues au cas du vol en air agité. Il faut néanmoins prévoir des charges supplémentaires dues au câble de remorquage. Supposons que la charge première du planeur avant l'attaque de la rafale est égale à

$$n_0 = 1 \pm 0,5 \frac{Q_s}{Q - Q_s}$$

Q = poids du planeur en vol;

Q_s = poids de l'aile du planeur.

où le terme $0,5 \frac{Q_s}{Q - Q_s}$ détermine la charge supplémentaire due à la tension du câble de remorquage.

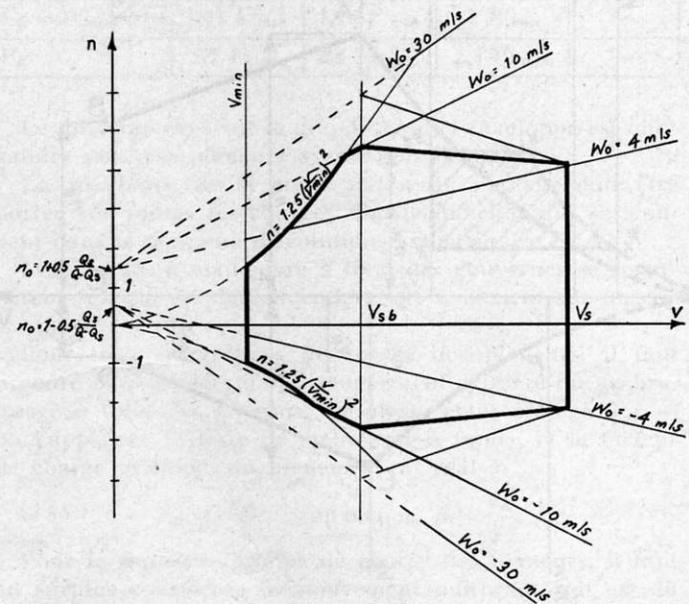


Fig. 7
Diagramme de rafales en remorquage

Pour le treuillage en air agité on admet une vitesse maximum:

Le crochet de devant:

$$V_w = V_{min} \sqrt{n - \frac{Q_s}{Q}(n-1)}$$

Le crochet de dessous:

$$V_w = 0,8 V_{min} \sqrt{n - \frac{Q_s}{Q}(n-1)}$$

En outre les principes généraux exigent l'emploi des dispositifs du fusible de résistance défini pour les câbles de remorquage et de treuillage.

La valeur prévue des angles d'inclinaison du câble pour les vols remorqués par avion est égale à 45° sur l'horizontale dans le plan vertical et à 30° sur la trajectoire dans le plan horizontal, pour les vols de treuillage en montée à 0 ÷ 75°.

La valeur des forces agissant sur le planeur pendant l'atterrissage est calculée d'après la condition de transformation de l'énergie cinétique du planeur qui atterrit en énergie de déformation de la construction du planeur. La valeur de l'énergie cinétique au moment où le planeur touche le sol, en admettant que son poids est équilibré par les forces aérodynamiques, est égale à

$$E_k = \frac{Q \cdot W_u^2}{2g}$$

La valeur de la vitesse limite verticale W_u à l'atterrissage est donnée dans la table V

Table V

Catégorie du planeur	W_u
d'école	$W_u = 1,0$ W mais $W_u \geq 1,7$ m/s
de performance	$W_u = 0,9$ W mais $W_u \geq 1,5$ m/s
de haute performance et d'acrobatie	$W_u = 0,8$ W mais $W_u \geq 1,0$ m/s

où W est la vitesse de chute du planeur en vol stabilisé, C_z étant égal à $C_z = 0,9 C_{z\ max}$.

La valeur maximum de la force P_{max} qui apparaît comme résultat de l'accumulation de l'énergie E_k par les éléments amortisseurs, sans tenir compte de la déformation élastique du reste de la construction, est une valeur de base par la détermination de la force dans le cas d'atterrissage. Les éléments amortisseurs doivent être choisis de façon que

$$\frac{P_{max}}{Q} \leq 4$$

tout en n'acceptant pas dans les calculs de la résistance des valeurs inférieures à

$$\frac{P_{max}}{Q} = 2$$

Les cas d'atterrissage, considérés dans les principes généraux de résistance polonais sont très proches aux cas analogues discutés dans les principes suisses.

Les charges auxquelles le personnel du planeur peut être soumis en cas d'atterrissage de détresse, prévues dans les principes généraux en vigueur paraissent être trop basses.

Cela se rapporte surtout aux décélérations vers l'avant, c'est-à-dire dans le cas où le planeur rencontre à l'atterrissage un obstacle frontal. Les décélérations de rupture de l'avant du fuselage, d'après les principes français Air 2104 s'élèvent à 6 g, dans les principes anglais ARB à 6 jusqu'à 12 g. L'organisme humain peut supporter cependant, à con-

dition qu'il soit attaché au siège d'une façon suffisante à l'aide de ceintures, des décélérations de courte durée de l'ordre de 30 g.

Afin de contrôler quelle énergie peut être absorbée par la construction de l'avant de la cabine du planeur pendant sa destruction sur un obstacle, l'Institut de l'aviation a entrepris des essais pratiques qui ont été filmés.

Les expériences citées ci-dessus dont le cycle n'est pas encore terminé, consistaient à doter, à l'aide de fils de caoutchouc, une énergie cinétique suffisante au planeur, qui, par la suite, se butait sur un obstacle frontal. Dans la cabine du planeur se trouvait, attaché au siège à l'aide de ceintures, un mannequin, au centre de gravité duquel était installé un enregistreur d'accélération. L'énergie du choc était choisie de telle sorte que l'avant du fuselage se brisait sur une longueur de 0,5 m environ; le corps du mannequin toutefois n'entraînait pas en contact direct avec l'obstacle.

Grâce à ces expériences on a constaté qu'un avant de cabine typique d'un planeur peut, en se brisant, absorber une énergie de choc correspondant à 20 ÷ 25 g (ou à une vitesse du planeur, au moment du choc, de 35 ÷ 40 km/h).

Prenant en considération ce qui a été dit ci-dessus, les principes généraux polonais exigent une résistance satisfaisante des ceintures du personnel et un attachement au fuselage qui permettront de résister aux décélérations extrêmes correspondantes:

vers l'avant	25 g
de bas en haut	5 g
de haut en bas	6 g
latéralement	3 g

Les principes polonais suggèrent aussi une introduction de conditions de résistance concernant la construction de la cabine du pilote de façon qu'elle soit capable d'absorber une énergie de choc correspondant à une décélération de 25 ÷ 30 g, tout en brisant l'avant du fuselage sur une longueur de 0,4 à 0,6 m.

Le problème non moins sérieux qui décide de la sûreté du pilote est une détermination exacte des forces dans les commandes du planeur dues à l'action du pilote.

Les forces limites dans chaque commande dues à l'action du pilote et déterminées dans les principes généraux polonais sont rapportées dans la table VI.

Table VI

Commande	Effort du pilote
Profondeur	30 kg
Ailerons	20 kg
Direction (sur chaque pied)	40 kg
Volets hypersustentateurs	30 kg
Freins aérodynamiques	30 kg

Il faut supposer que les charges dues aux efforts de pilotage sont appliquées aux poignées ou pédales de commande comme elles le sont normalement; elles sont équilibrées par une force convenable appliquée au point d'attache de la timonerie sur le guignol de la gouverne.

Des leviers de commande braqués jusqu'aux butées doivent supporter les charges admises égales à 200 % des forces correspondantes données dans la table VI.

Dans le cas de doubles commandes, les pilotes peuvent exercer chacun 75 % des forces prévues dans la table VI.

La valeur des forces discutées ci-dessus se rapporte aux charges limites. Afin d'assurer une résistance satisfaisante de la construction du planeur, les principes polonais exigent la réalisation des critères de sûreté de construction suivants:

- a) Condition de résistance statique: Le coefficient de sécurité étant de $\nu_n \leq 1,5$, il ne peut s'ensuivre aucune rupture d'éléments de la construction principale du planeur;
- b) Conditions de déformations élastiques: Le coefficient de sécurité étant de $\nu_n \leq 1,1$, la plus petite des deux valeurs suivantes ne peut pas être dépassée:
0,75 R_r ou Q_r , éventuellement $Q_{0,2}$;
- c) Conditions de déformations permanentes. Le coefficient de sécurité étant de $\nu_n \leq 1,0$ il ne peut naître dans aucune pièce de la construction des déformations permanentes qui dépasseraient la valeur de
4 % des déformations absolues totales à l'endroit étudié chargé par des forces limites,
7 % des déformations unitaires totales à l'endroit étudié de la construction sous des charges limites.

La marge de sûreté définitivement exigée, c'est-à-dire la marge de sûreté limite ν_g pour les constructions des planeurs, est égale au produit de la marge nominale de sûreté ν_n exigée par les principes généraux pour une catégorie de charges donnée, par le facteur de qualité ξ de la matière employée.

$$\nu_g = \nu_n \cdot \xi$$

Les valeurs correspondantes du facteur de qualité qui prennent en considération l'inexactitude du procès de production ou des méthodes de contrôle, aussi bien qu'une éventualité de diminution de la résistance de certains éléments en cours d'exploitation, sont formulées dans la table VII.

Table VII

	Du point de vue des charges	
	charges	déformations
Pour les constructions métalliques	$\xi = 1,00$	$\xi = 1,05$
Pour les constructions en bois	$\xi = 1,15$	$\xi = 1,15$
Pour les fontes, avec 100% de contrôle à l'aide de rayons X	$\xi = 1,30$	—

Les conditions de la rigidité de la construction des planeurs et les exigences dans le domaine de l'aéroélasticité sont aujourd'hui à l'étude. Les résultats des recherches et des mesures obtenus jusqu'à présent vont être présentés sous la forme de comptes rendus portant les titres de «Mesures de la rigidité des planeurs» et de «Recherches sur la résonance des planeurs».

On peut seulement signaler que, par rapport à la rigidité exigée pour les avions (d'après ARB), les planeurs ne répondent qu'à une partie de ces critères.

Par exemple, les critères concernant la rigidité à la flexion et à la torsion du fuselage et des empennages obtenus par suite de mesures des planeurs sont supérieurs aux valeurs limites minimales pour les avions. Cette différence est de peu d'importance et sensiblement égale chez chaque planeur étudié jusqu'ici. Les critères de rigidité à la torsion des ailes et des ailerons et les critères de rigidité du système de gouvernes, qui sont le résultat des mesures du planeur, possèdent des valeurs très diverses, souvent inférieures aux valeurs respectives dans les principes généraux pour avions. Certains planeurs cependant, sans répondre à ces critères, possèdent, comme l'a démontré la pratique d'exploitation, une rigidité de construction satisfaisante. Le problème de la détermination de critères propres reste donc encore ouvert.

En Pologne, le contrôle de la résistance de la construction des prototypes est réalisé par l'Institut de l'aviation (Institut Lotnictwa).

En principe, chaque nouvelle construction de planeur doit être étudiée à l'aide d'essais de résistance dans le groupe dimensionnel de charge qui lui correspond. La démonstration, à l'aide de calculs analytiques, de la réalisation des conditions de résistance ne peut être admise comme suffisante que dans le cas où le schéma statique de la construction est d'un type connu et pour lequel les expériences ont déjà démontré une bonne conformité entre les méthodes de calcul et les résultats des expériences.

La démonstration de la réalisation des conditions de résistance de la construction est considérée suffisante pour permettre l'exploitation du planeur prototype dans le cas où, étant chargé par les catégories de forces, il répondra aux conditions suivantes:

- a) La construction chargée d'une façon statique possède des marges de sûreté satisfaisantes;
- b) la construction répond à la condition des déformations permanentes;
- c) la construction répond aux conditions de rigidité;
- d) la flexion due à des charges inférieures ou égales à 130 % des charges limites n'est pas dangereuse en vol. Une telle flexion peut apparaître par exemple dans le cas d'une diminution de précision des timoneries de commandes, etc.;
- e) les résultats des calculs analytiques et des essais de résistance sont confirmés par les essais en vol dans tout le domaine des charges agissant en exploitation.

Outre les exigences de résistance citées ci-dessus, les principes polonais renferment encore des chapitres qui ont pour but de faciliter le travail des constructeurs qui préparent la documentation des calculs. Ainsi on a donné des schémas simplifiés de répartition de charges extérieures, schémas que l'on peut reconnaître comme satisfaisants du point de vue de la précision pour la documentation de résistance. Ce sont: une répartition de charges linéarisée le long de la corde et une répartition de charges simplifiée le long de l'envergure, d'après la méthode de Schrenk.

Les conditions de résistance, qui ont été discutées ici et qui font partie des principes généraux de construction de planeurs polonais, cherchent à compléter, moderniser et à unifier les principes généraux des planeurs de tous les pays. D'une part, ils sont basés sur des principes généraux fragmentaires de divers pays, d'autre part — et en grande partie — sur les expériences obtenues en Pologne dans les bureaux de construction, les usines de matériel aéronautique et l'Institut de l'aviation, ainsi que sur les résultats d'exploitation prolongée, durant quelques années, des planeurs de construction polonaise.

Il faut encore ajouter que dernièrement l'Institut de l'aviation a terminé la rédaction du chapitre des principes généraux concernant les qualités de vol du planeur exigées et les exigences de construction des planeurs. Ces deux projets font maintenant l'objet d'une étude.

L'OSTIV ayant comme objectif principal de parvenir à la coordination et la consolidation des travaux concernant le développement du vol à voile, dont la preuve est par exemple l'élaboration des principes généraux standardisés et leur introduction dans les championnats mondiaux, il paraît utile qu'elle soit mise au courant des principes généraux de construction des planeurs élaborés en Pologne, qu'elle puisse faire leur analyse et éventuellement en tenir compte dans l'élaboration des principes généraux internationaux.