

CONSIDERAȚII PRIVIND PROIECTAREA PENTRU MASĂ MINIMĂ (LWD) A AEROSTRUCTURILOR

CONSIDERATIONS REGARDING LIGHT WEIGHT DESIGN (LWD) FOR AEROSTRUCTURES

Gabriel DIMA, Ion BALCU

Transilvania University of Brasov, Romania

Rezumat. Articolul propune o vedere integrată asupra problematicii designului structurilor ușoare, preocupare fundamentală a industriei aeronautice, care devine din ce în ce mai actuală în multe alte domenii.

Realizat în urma unei experiențe directe în proiectare și management de proiect pentru mai mulți producători, acesta își propune să identifice câteva repere istorice, principiile de bază, dar și obstacole întâlnite.

În final este analizat modul actual de menținere sub control și de reducere a masei aeronavelor.

Cuvinte cheie: aerostucturi, design pentru masă minimă, reducerea masei, proiectare conceptuală

1. Scurt istoric

În mod tradițional, industria aerospațială este legată de structurile ușoare. Primele aeronave se pare că au fost aerostatele, bazate pe forța arhimedică, fiind urmate de planoare. Ideea de masa minimă s-a născut odată cu începuturile aviației, un număr semnificativ din constructori fiind la origine fabricatori de biciclete. Materialele folosite inițial au fost: lemnul, pânza, "ferurile" din piele, bambusul și sârma metalică.

Caracteristic pentru acea perioadă este un design împins la extrem, zborul fiind considerat mai mult o plutire. Perioada de pionierat a fost marcată de situații în care aeronavele fie nu se ridicau de la sol, fie se rupeau în zbor, ceea ce a dus la o istorie traumatizantă. La începutul secolului trecut, pilotul de încercare era adesea proiectant și fabricator. Din acest motiv, amatorul care își construia un aparat de zbor era considerat un aventurier, arareori acesta primind sprijin pentru finalizarea proiectului.

Feedback-ul tranșant care venea de la testele de zbor a dus la o proiectare iterativă a aeronavelor, de la un zbor la altul și mai apoi de la un model la altul apărând astfel o structură mai rezistentă păstrând condiția primordială de masă minimă.

La o analiză sumară, se poate etapiza evoluția structurii aeronavei în timp astfel [1, 2, 3, 4, 5]:

- Perioada de pionierat caracterizată prin concepte total diferite, utilizarea lemnului și pânzei și un număr mare de accidente.
- Perioada din timpul primului război mondial – la

Abstract. This article proposes an integrated view over the lightweight design of aerostuctures, a fundamental problem of aircraft industry, this becoming also actual for other domains.

Coming out from a direct experience in aerospace engineering and project management, this paper is aiming to identify few historical milestones, basic principles and problems.

The end is an analysis of actual method of weight control and reduction for an aircraft.

Key words: aerostuctures, lightweight design, weight reduction, conceptual design

1. Brief history

Aerospace industry is traditionally linked to lightweight design. First aircrafts probably were aerostats, based on Archimedes force, followed by gliders. Lightweight idea was born together with the aircraft pioneers, a significant number of early manufacturers coming from bicycles workshop owners. Materials used on that time were wood, bamboo, leather fittings, and metallic wire.

Characteristic for that time is an extreme design, flight being considered more a floating than travel. The beginnings were full of situations where aircraft could not take off or broke in the air, leading to a dramatic history. At the beginning of the past century, the test pilot was also the designer and the manufacturer. For this reason, the enthusiast builder of an airplane was considered an adventurer, a dreamer, only in limited cases receiving funds for his project.

The bad feedback coming from flight tests led to an iterative design of aircrafts, from one flight to another, than from one model to another structure becoming stronger, keeping also the basic condition of minimal weight.

To a brief analysis, the aircraft structures evolution can be structured as follows [1, 2, 3, 4, 5]:

- The beginnings characterised form a big variety of concepts, using of wood and fabrics and a big number of accidents.
- First World War period – under the pressure and

presiunea și cu susținerea ministerelor de război, aviația a devenit dintr-o curiozitate o activitate de un înalt pragmatism. Apar primii producători consacrați și producția de serie. Se stabilizează grinda cu zabrele ca soluție predominantă.

- Perioada de după primul război - se imprimă latura utilitară și comercială. Apar aeronavele din aluminiu, construcția de lemn coexistă cu cea metalică; începe specializarea aeronavelor pe misiuni și cursa pentru viteză, cu repercusiuni directe asupra structurii.
- Perioada din timpul celui de-al doilea război mondial: se dezvoltă aeronave de mari dimensiuni; placajul și pânza lasă loc structurii semimonococă.
- Perioada de după al doilea război mondial. Duraluminiul câștigă în fața lemnului, structura nituită este predominantă față de grinda cu zăbrele; apar primele structuri compozite.
- Perioada de după anii '60. Datorită cercetărilor teoretice structurile devin din ce în ce mai rafinate; începe cercetarea fenomenului de oboseală; fibra de sticlă câștigă teren și se stabilizează ca soluție pentru aeronavele ușoare și pentru structura secundară. Structurile sudate se stabilizează pentru aeronavele ușoare.

După anii '90 fibra de carbon înlocuiește treptat fibra de sticlă, se fac eforturi mari pentru realizare în proporție cât mai mare a structurii primare din compozite. Apar probleme de oboseală, mentenanță și reparații pentru structurile primare din compozit.

2. Indicele de reducere masică

Pentru a studia evoluția în timp a rafinării conceptului LWD de către fabricatorii de aeronave, se definește un indice de eficiență masică i astfel:

$$i = \frac{M \times 10^6}{N \times R \times S^2}, \quad (1)$$

unde:

- M – masa maximă la decolare;
- N – numărul de pasageri;
- R – raza de acțiune;
- S – viteza de croazieră.

Folosind date despre aeronavele de pasageri începând cu Junkers 13F (1919) și finalizând cu Airbus A350 se prezintă variația indicelui de eficiență masică în figura 1, cu o detaliere a perioadei 1940 – 2020 în figura 2.

Din figurile 1 și 2 se observă o scădere importantă în timp, rezultând o utilizare mai judicioasă a masei aeronavei în vederea obținerii de performanțe mărite. Practic, după al doilea război

financing of war ministers, aviation became form a weekend curiosity a very pragmatic domain; first specialised manufacturers and serial production emerged. As a technical issue, the latticed beam became usual.

- Post First World War period is characterised by effectiveness and commercial interest. First aluminium aircrafts have been manufactured, both wooden and metal structures are used; mission customised aircrafts and race for speed has started, with direct implications on aerostructures.
- Second World War period – marked by big aircrafts development; plywood and fabrics are step by step replaced by coque and seminonocoque structure.
- Post Second World War period – duraluminium definitively replaced wood, riveted structures start to be used in more applications than latticed beams; first composite structures were manufactured.
- Post 60's period – due to theoretical and experimental researches, structure design started being more accurate; fatigue problems occurs and started to be studied. A Glass fiber was used especially for light aircraft and for secondary structure. Welded structures are usual for light aircraft.

Post 90's period – carbon fibres manufacturing became cheaper and replaced step by step glass fibres; efforts to manufacture a bigger proportion of primary structure from composites. Fatigue, maintenance and repairing problems for composites still remain.

2. Weight reduction index

In order to study evolution of LWD concept accuracy of the aircraft manufacturers it is defined the weight effectiveness index “ i ” as follows:

where:

- M – maximum take off weight;
- N – number of passengers;
- R – range;
- S – cruise speed.

Using passengers aircraft starting with Junkers Ju 13F (1919) up to Airbus A350 data weight reduction index data are presented in Figure 1, period 1940 – 2020 being detailed in Figure 2.

It can be seen from Figures 1 and 2 an important decrease, resulting a better using of aircraft mass in order to obtain better performances. After Second World War, the index evolution is stabilizing, showing a significant improvement of

mondial se observă o stabilizare, ceea ce indică o maturizare a colectivelor de proiectanți. the design teams.

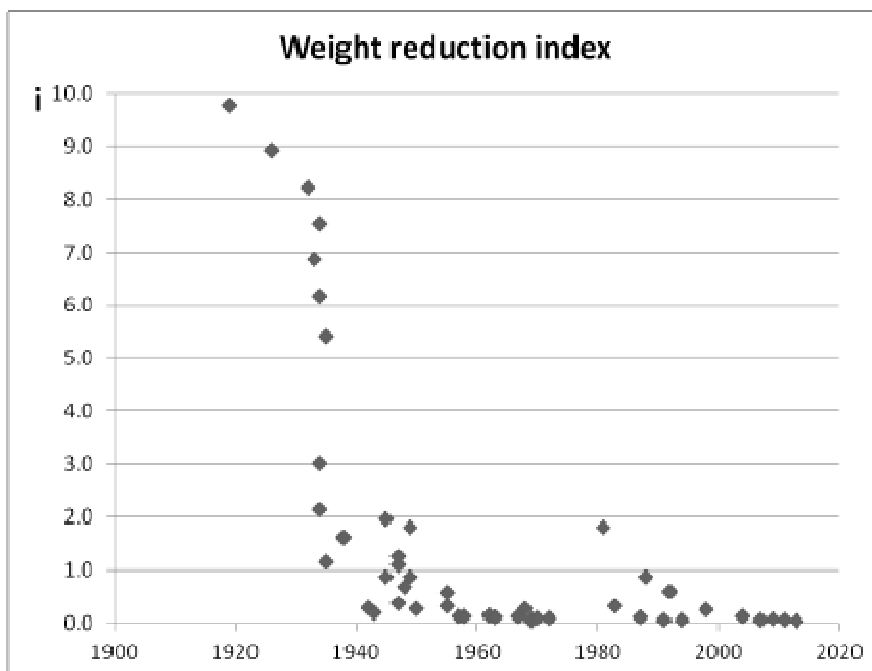


Figura 1. Evoluția indexului de eficiență masică pentru aeronave transport (1919 – 2013)
 Figure 1. Weight effectiveness index evolution for transport aircrafts (1919 – 2013)

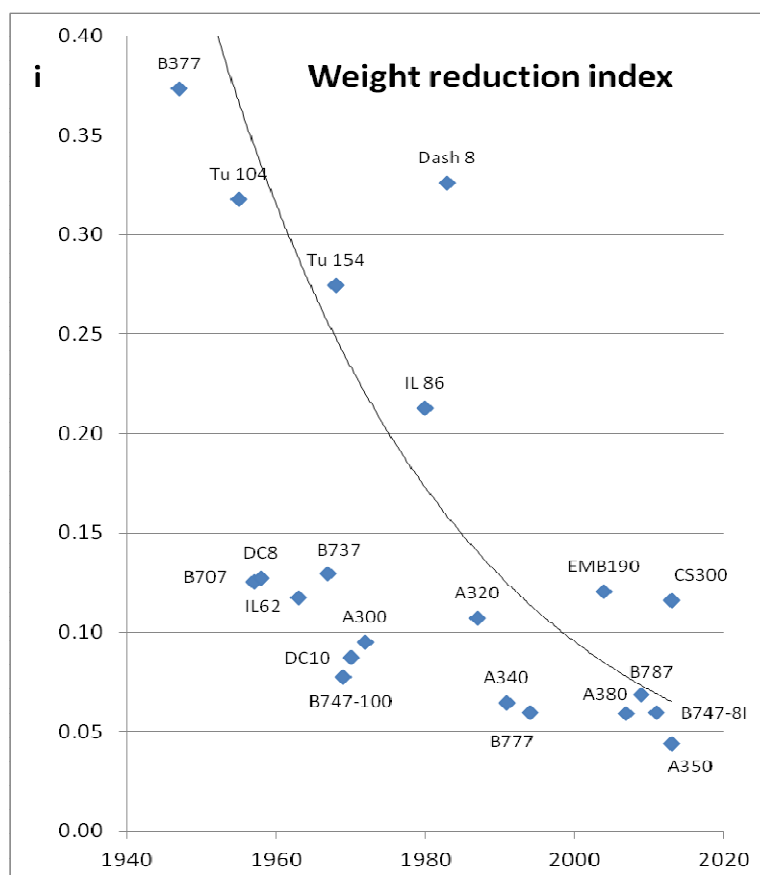


Figura 2. Valorile inferioare ale indexului de reducere masică după 1940 (detaliu din figura 1)
 Figure 2. Lower values of weight reduction index after 1940 (detail of Figure 1)

Se observă o evoluție descendentă cu o tendință de stabilizare. Graficul din figura 2 indică totuși o posibilă reducere a acestui indice pentru viitorul apropiat. Aeronavele actuale se realizează cu metode îmbunătățite de calcul și testare, ceea ce duce la atingerea unui plafon; o îmbunătățire se mai poate face prin optimizare structurală sau prin utilizarea de materiale și tehnologii noi.

3. Abordarea LWD

Pentru dezvoltarea unei aeronave sunt necesare iterații de design (figura 3) satisfacerea cerințelor clientului, dar și pe cele ale unei autorități guvernamentale (proces numit “maturizarea” proiectului) [5]. Realitatea a demonstrat că acest proces nu depinde doar de resurse. În cadrul programului A350 s-a constatat că triplând numărul de proiectanți nu se reduce la o treime timpul de proiectare, chiar dacă aceștia au la îndemână o infrastructură IT, software CAE sau baze de date îmbunătățite. Din contra, o asemenea abordare duce la un efort suplimentar de training, management de proiect, logistic și, evident, la cheltuieli sporite.

De obicei după trei iterații de design, se fabrică prototipurile și preseria, urmând ca aeronava să intre într-un program dedicat de ușurare, având feedback nu doar de la iterațiile precedente, ci și de la programul de testare în zbor.

Totuși, privind evoluția în timp a marilor producători, se observă că procesul de dezvoltare al unei aeronave noi nu reprezintă un proces lipsit de riscuri. O aeronavă este privită ca o afacere și din acest motiv, dacă parametrii realizați nu sunt satisfăcători, riscul de abandonare a programului este foarte mare.

A decreasing evolution can be seen with a stabilising trend. The graph from Figure 2 indicates a possible decrease of the index for the next decades. Actual aircrafts are engineered with better simulation and testing methods, leading to a ceiling; better results can be obtained through structural optimisation and new materials and technologies.

3. LWD approach

For an aircraft development design loops are requested (Figure 3) to satisfy both customer and governmental authority (the so called project maturation process) [5]. The reality proved that process depends not only of resources. For A350 project there was demonstrated that by increasing with 300% engineering resources, the time was not compressed to 30%, even with better IT infrastructure, software of data bases. This approach leads to a supplementary training, project management, logistic effort and obviously to additional costs.

As usual three design loops are needed for the prototype and pre-serial aircrafts, being followed by a structural lighting program with the feedback from previous design loops and static, fatigue and flight tests.

Even theory is clear, aviation development programs remains a risky business. Because an aircraft must be commercial competitive, in time, many aircrafts programs were cancelled to the prototype status because its performances made it not attractive for the market.

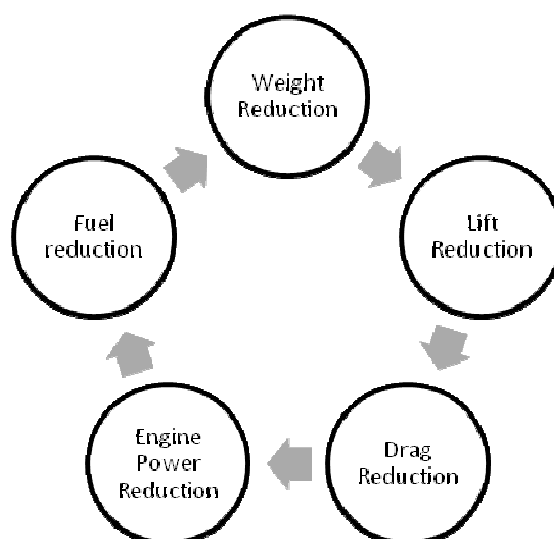


Figura 3. Ciclul reducerii masei
Figure 3. Weight reduction loop

4. Factori care influențează LWD

4.1. Contradicția operator – autoritate

O aeronavă este un compromis foarte strâns între cerințele operatorului (sarcină utilă maximă, costuri minime în exploatare) și cele ale autorității guvernamentale (siguranță în exploatare 100%).

Tendența este de a demonstra că aeronava se conformează doar 100% cerințelor din regulamente. Acest lucru necesită o rafinare deosebită a metodelor de calcul și de testare.

În acest raport de forțe se menționează și cazul ideal al autorității guvernamentale: Siguranță 100% se obține în situația în care aeronava rămâne la sol.

4.2. Inginerii de calcule

Inginerul de calcule are ca responsabilitate garantarea bunei comportări a structurii la încărcările specifice pe toată perioada de viață a aeronavei. Proiectantul își poate corecta greșelile pe parcursul fabricației și eventual al exploatarei, însă pentru inginerul de calcule greșelile nu sunt imediat vizibile, cedarea structurii putând duce la evenimente catastrofice. Această răspundere, completată de răspunderea morală și juridică, face ca acesta să fie extrem de precaut, să facă toate calculele în ipoteze cât mai acoperitoare și să se simtă confortabil doar în situația unei structuri robuste.

La paragraful anterior s-a menționat însă nevoia ca aeronava să reziste exclusiv la încărcările prevăzute de regulamente. Totuși, ținând cont de cele de mai sus, inginerul de stress doar ocazional dă feedback în sensul că o structură este supradimensionată.

4.3. Controlul independent al masei

Anumiți producători desemnează o persoană cu ținerea sub control a masei aeronavei – inginerul de mase. Acesta are ca roluri principale:

- Verificarea activității designerilor – dacă respectă cerințele impuse de politicile LWD;
- Verificarea rapoartelor de stress, pentru valori minime a coeficienților de siguranță;
- Propuneri de reducere a masei la proiectarea de detaliu;
- Gestionarea programelor de reducere a masei.

4.4. Materiale de densitate mică

În cazul structurii cu pereți subțiri, solicitarea de încovoire se traduce pe zona comprimată în flambaj. Comportarea la flambaj este proporțională cu cubul grosimii peretelui. Din acest motiv se preferă învelișurile cu pereți cu grosime relativă mare, care au în schimb densități cât mai mici.

4. Factors influencing LWD

4.1. Operator vs. authorities

An aircraft is a close compromise between operator requests (maximum useful load, minimal operating costs) and the governmental authorities (100% safety operation).

The trend is to prove the aircraft only 100% with the certification requirements. This condition requests a special accuracy of simulation and testing methods.

Within this balance between opposite requests, ideal safety (100%) is obtained only when aircraft is grounded.

4.2. Stress engineers

Stress engineer has the responsibility of the structure behaviour under loads for the entire aircraft operational lifetime. If the designer can correct his errors within manufacturing process or operational life, for the stress engineer the errors are not immediately visible, structure failure occurring possibility being hardly foreseeable, leading to catastrophic events. This responsibility, together with moral and legal responsibility, lead to an extreme careful behaviour of stress engineer. All the simulations are done in very conservative hypothesis, feeling safety only for robust structures.

To previous chapter was mentioned the trend that aircraft to withstand exclusive to the loads specified by certification regulations. Taking into account all this, is important to mention that stress engineers give an over dimensioned resolution for a structure only occasionally.

4.3. The independent weight control

Certain manufacturers assign a person with the aircraft weight control responsibility – mass engineer, having the following main tasks:

- Designers activity checking – if they respect the requirements stated by the LWD politics;
- Stress reports checking, for minimal values of Reserve Factors;
- Weight reduction for local design proposals;
- Weight reduction programs management.

4.4. Low density materials

For thin walled structures, bending stress lead in compressed area to local buckling. Buckling behaviour depends of the cubic power of wall thickness. For this reason is preferably to use skins with big relative thickness, having minimal density.

4.5. Reconsiderarea caietului de sarcini

Cea mai simplă metodă de ușurare a structurii este aceea de a reduce încărcările la care aceasta trebuie să reziste. În acest sens se pot reduce factorii de sarcină în evoluții de zbor – mărirea razei de viraj, pante de urcare mici, limitări ale manevrelor în plan vertical – rezultând reduceri ale încărcărilor.

4.6. Inerția colectivelor de proiectare – soluții

Adeseori aceste colective lucrează sub presiunea timpului, proiectantul având ca și obiective pe termen scurt livrarea la timp, dublată de răspundere și siguranță. La antipod se afla clientul, care își dorește maxim de performanță de la viitorul produs. Din păcate, lanțul ierarhic și administrativ între client, trecând pe la manager proiect, șefi echipe, până la proiectant este lung și comunicarea funcționează necorespunzător, ceea ce face ca obiectivele declarate de marketing să rămână doar într-o oarecare măsură sustenabile.

Acest articol propune o nouă metodă de lucru, testată deja cu succes de către autori. De obicei, proiectantul se raportează pentru predimensionare la aeronave similare sau la zona în care lucrează, iar inginerul de stress se limitează la a verifica; această metodă presupune realizarea unei structuri subdimensionate, aproximativ cu 30÷40%. Urmarea a fost că inginerii de stress au indicat cu exactitate zonele în care structura cedează și s-a putut trece punctual la rigidizarea acestora; rezultatele au constat în reducerea masei cu aprox 15÷20%.

O altă soluție poate fi aceea a apelării la consultanți externi, lucru care din păcate se practică destul de rar în Europa, datorită rigidității colectivelor de proiectanți, dar și a managementului. Aceștia pot veni cu soluții reale, datorită unei abordări mai elastice, față de angajații permanenți, care trebuind să țină cont de o multitudine de factori, preferă să se raporteze la ce au văzut, sau doar la experiența directă.

5. Principii in inginerie

5.1. Principii de proiectare

- Păstrarea la minim a structurii secundare;
- Reducerea numărului de îmbinări;
- Reducerea numărului de normalizate;
- Păstrarea îmbinărilor doar pe forfecare și nu pe momente de încovoiere;
- Distanță minimă de la elementele de asamblare la marginea pieselor;
- Grosime minimă pentru pereții pieselor;
- Eliminarea surplusului de material prin raze, teșituri, frezări de ușurare;

4.5. Technical specification re-evaluation

The easiest method for weight reduction is imposed loads reduction. In order to do this, flight manoeuvres load factors can be adjusted by increasing turning radius, or decreasing radii and slopes for vertical manoeuvres, being obtained consistent loads reduction.

4.6. Engineering teams inertia – solutions

Many times this teams work under the time pressure, the designer having as short term objectives – on time delivery, together with technical responsibility and safety. Opposite, is the customer which expects maximum performances, supposing a very smooth design. The reality shows a long hierarchy and many persons between customer, project manager, team leaders up to designer, with bad communication, leading to a poor feasibility of marketing stated objectives.

This paper propose a new working method already successfully tested by the authors. Usually, the designer pre-dimensions the parts after studying similar aircrafts of by harmonising with the close structure and the stress engineer only check if structure withstands the loads; this method means designing a under-dimensioned structure – by 30÷40%. This leads to the fact stress engineers precisely indicated the areas where structure fails, next step being the stiffening of these areas. The results indicated approx 15÷20% weight reduction vs. usual approach.

An other solution can be working with consultants as external employees, solution which is only rarely used in Europe because of management and design teams inflexibility. An external consultant can come with real solutions, because of an out of box thinking vs. permanent employees which act respecting a lot of constraints, preferring to do what they have seen or directly use within other projects.

5. Engineering principles

5.1. Design principles

- Keep secondary structure to the minimum;
- Minimize number of joints;
- Minimize number of fasteners;
- Keep only shear joints and remove bending joints;
- Keep minimal edge distance for fasteners;
- Keep minimal the material thickness;
- Mill cut-outs, chamfers and radii to eliminate material from parts;

- Eliminarea surplusului de cale, masticuri, distanțiere;
- Păstrarea la minim a numărului de repere;
- Contopirea de repere învecinate;
- Realizarea învelișurilor din table de grosimi variabile.

Cea mai mare reducere de masă se face prin utilizarea chesonului (torsion box) care se comportă cel mai bine la forțe combinate. Acesta se regăsește la toate componentele structurii portante.

Torsion box este ideal pentru volume închise, în practică căutându-se păstrarea unui raport minim între suprafața deschiderilor pentru geamuri/uși și restul învelișului.

5.2. Principii de alegere a materialelor

- Înlocuirea oțelurilor cu duraluminiu;
- Utilizarea de aliaje cu comportarea optimă la solicitarea predominantă (stress/ fatigue/ crack initiation/ shock absorption);
- Utilizarea materialelor ultraușoare pentru piesele cu rol exclusiv aerodinamic sau de formă (honeycomb, fibră carbon, spume);
- Înlocuirea pieselor mari din tablă cu structuri compozite.

5.3. Proiectarea alternativă

- Se realizează mai multe concepte de design;
- Se caută dimensionarea echivalentă (realizarea unui factor de siguranță identic); teoretic, la încărcări identice, conceptele studiate să se comporte identic;
- Se face o matrice de comparație, pentru analiza criteriilor (tensiuni, deplasări, masă totală, nr de componente, nr de normalizate, mentenabilitate, coroziune, reparabilitate, costuri);
- Se face o analiză a criteriilor care pot descalifica un concept (funcționalitate, frecvențe proprii, tehnologie indisponibilă, costuri ridicate etc.);
- Se stabilește ponderea fiecărui criteriu în calculul punctajului final; pentru un obiectiv de masă coborât, ponderea acesteia va fi substanțială;
- Se calculează punctajul și se alege conceptul cel mai bine punctat; acesta va fi continuat cu proiectul de detaliu.

Experiența arată că sunt foarte greu de realizat structuri echivalente din punct de vedere al comportării sub sarcini și este o adevărată provocare alegerea unei soluții general acceptate. Orice concept propus de un colectiv experimentat este bine fondat, de aceea, metoda presupune consultări între specialiști din proiectare, aprovizionare, producție, operare și poate necesita

- Keep to the minimum shims, gap fillers, sealants, spacers;
- Keep to the minimum the number of parts and subassemblies;
- Join if possible neighbouring parts;
- Use skins form variable sheet metal thickness.

The biggest weight reduction is done by using the torsion box, having better behaviour to combined loads. This solution is used for all the primary structure components.

Torsion box is ideal for closed volumes, for practical applications the area of openings for doors/ windows being kept to the minimum.

5.2. Materials principles

- Replacing steels with aluminium alloys;
- Using materials with optimum behaviour for prevailing load (stress/ fatigue/ crack initiation/ crack propagation/ shock absorption);
- Using light materials for parts only with aerodynamic role or fairings (honeycomb, carbon fibers, foams);
- Replacing of big sheet metal parts with composites.

5.3. Alternative design

- Few design concepts are elaborated;
- The target is the equivalent pre-dimensioning (obtaining identical margins of safety); theoretically for identical loads, will be obtained identical behaviours for all concepts;
- A comparison matrix will be done in order to analyse defined criteria (stresses, displacements, total mass, no of components, no of fasteners, maintainability, corrosion, reparability, costs);
- An analysis of criteria which could eliminate a concept (functionality, natural frequencies, unavailable technologies, high costs, etc.);
- Will be established the share of every criteria for final score; for a lower mass target, the mass share will be big;
- There will be calculated the score in order to find the best score concept; this concept will be continued to detailed project.

Experience showed is very hard to propose equivalent structures from the point of view of under loads behaviour and a real challenge to choose a concept. Every concept proposed by an experienced team is well founded; for this reason, this method supposes meetings between specialists form engineering, purchasing, production and operation. This may request dedicated studies or

studii separate sau chiar programe de cercetare.

În cadrul proiectelor în care au fost implicați, autorii acestui articol au preferat reducerea conceptelor prin eliminare, varianta finală fiind aceea care permite o asumare a dezavantajelor.

6. Concluzii

Aspectele prezentate în articol reprezintă experiența acumulată în peste 15 ani de activitate în proiectare și management de proiect în aviație.

Din graficele din figurile 1 și 2, în timp se constată o utilizare din ce în ce mai judicioasă a masei aeronavei pentru maximizarea performanțelor. Din cele prezentate, se observă că din punct de vedere ingineresc rezultate mai bune se pot obține doar prin optimizarea structurală și alegerea de materiale cu caracteristici superioare.

Din experiență, autorii au observat ca LWD nu este o prioritate pentru toate categoriile de specialiști implicați în dezvoltarea unei aeronave, managerii de proiect trebuind să depună eforturi pentru implementarea politicilor de reducere a masei structurale.

Metodologiile LWD trebuie supuse continuu reevaluării și îmbunătățirii. Rezultate superioare se pot obține prin îmbunătățirea comunicării interdepartamentale și instructajul tehnicienilor.

Deși este o metodă greoaie, abordarea LWD prin prisma designului alternativ poate avea rezultate superioare, fiind o tehnică din ce în ce mai utilizată.

Ca direcții de cercetare ulterioare, se identifică definirea unui factor al eficienței structurale pentru mai multe categorii de aeronave, dar și pentru elemente componente, și un studiu asupra conceptelor hibride (care combină mai multe tehnologii de fabricație într-un singur concept).

References

1. Backer, A., Dutton, S., Kelly, D. (2004) *Composite Materials for Aircraft Structures*. American Institute of Astronautics and Aeronautics, Inc., ISBN 1-56347-540-5, Reston, US
2. Perry, D.J., Azar J.J. (1982) *Aircraft Structures*. McGraw-Hill, ISBN 07-7-049196-8, US
3. Niccoli, R. (2002) *History of Flight*. White Star, ISBN 88-8095-828-3, Italy
4. Niu, M.C.Y. (1992) *Composite Airframe Structures*. Conlinited Press, ISBN 962-7128-06-6, Hong Kong
5. Niu, M.C.Y. (1998) *Airframe Structural Design*. Conlinited Press, ISBN 962-7128-04-X, Hong Kong

research programs.

Within the projects they were involved, authors of this paper preferred a pre-selection based by elimination, final concept being selected by the acceptable disadvantages.

6. Conclusions

Aspects presented in this paper resulted from over 15 years of aircraft development and project management experience.

From graphs from Figures 1 and 2, in time, a better use of aircraft mass for performance maximising is observed. From the above presented, it can be seen that from the engineering point of view, better results can be obtained only by structural optimisation and using of materials with superior characteristics.

From experience, authors observed that in order to set LWD as a priority for all specialist categories involved in an aircraft design, project managers need to make efforts to implement structural weight saving policies.

LWD methodologies have to be continuously re-evaluated and improved. Improving inter-departments communications and technicians training superior results can be obtained.

Even seems to be a difficult method, conceptual design may have good results, being used in many engineering teams.

New research may be done in a weight effectiveness index for other aircrafts categories but also for components; other research direction may be a study of hybrid concepts (combining more manufacturing technologies into a single one concept).