

## 13

# LOGICIELS POUR L'ANALYSE ET LA CONCEPTION DE STRUCTURES MARINES EN COMPOSITES : PROBLEMES ET PERSPECTIVES.\*

V.J. PAPAZOGLOU<sup>1</sup>

**Résumé** - Cette communication présente une procédure rationnelle pour la conception de structures, comprenant la détermination du cahier de charges, la caractérisation de matériaux, la définition de critères et le calcul de résistances. Les problèmes, limitations et perspectives des outils numériques nécessaires pour le calcul de structures marines sont ensuite analysés.

mots clés : composite, analyse, logiciel, structure marine.

## INTRODUCTION

Partout dans le monde, les architectes navals s'intéressent de plus en plus aux matériaux composites, et surtout aux composites à matrice plastique (FRP), comme le nombre croissant d'applications en témoigne. Ces applications comprennent les navires militaires, tels que des chasseurs de mines de 60 m de la marine britannique, des bateaux de pêche avec des coques jusqu'à 45 m, des bateaux de plaisance (voiliers, bateaux de plongeurs, péniches, canots de sauvetage), des bateaux à haute performance tels que les navires à effet de surface, aéroglisseurs, catamarans, vedettes rapides et, plus récemment, submersibles.

Cependant, malgré ces applications, beaucoup d'architectes navals se méfient de ces nouveaux matériaux, principalement à cause de leur comportement mécanique, qui est si différent de celui des matériaux métalliques traditionnellement employés et encore ignoré.

Il est bien connu que la plupart des structures marines actuelles sont surdimensionnées, sur la base de la réglementation des sociétés de classification. Pour démontrer ce conservatisme, il suffit de constater que les coefficients de sécurité sont entre 2 et 10, pour une sollicitation statique à court terme et pour un chargement en choc, respectivement. Les valeurs intermédiaires sont de 4 pour des charges statiques à long terme et pour des sollicitations variables, et de 6 pour une fatigue ou un chargement cyclique (ISSC, 1988). La raison principale d'un tel immobilisme est qu'il y a peu d'expérience avec ces matériaux pour des

---

\* traduit de l'anglais.

<sup>1</sup> National Technical University of Athens, Dept. of Naval Architecture and Marine Engineering, Shipbuilding Technology Laboratory, Grèce.

applications structurales marines et qu'il manque des données sur les dommages rencontrés.

Dans le cas de navires à hautes performances où le poids est critique, il existe un besoin pour une procédure de conception rationnelle. Dans ce cas, l'expérience accumulée dans d'autres domaines, et principalement dans l'industrie aérospatiale, s'avère très utile. On a déjà appliqué des procédures rationnelles à la conception de coques critiques en FRP.

Les deux approches mentionnées ci-dessus sont déterministes et ne tiennent pas compte du fait que le risque d'une performance structurale inacceptable puisse être tolérée, ni qu'on puisse conserver une certaine résistance même après une rupture partielle de certaines pièces. Une approche basée sur une conception de fiabilité de structures marines en FRP pourrait remédier à cette situation, approche appliquée récemment aux structures en acier. Bien que des efforts importants de recherche soient nécessaires, quelques pas initiaux dans cette direction semblent encourageants.

L'objectif de cette communication est de présenter la philosophie d'une méthodologie pour une conception structurale rationnelle, avec ses hypothèses et ses limitations. Dans ce cadre, nous soulignerons la disponibilité des logiciels appropriés en analysant leurs inconvénients et leurs perspectives.

## CONCEPTION STRUCTURALE RATIONNELLE

Les réglementations des sociétés de classification sont généralement adaptées à la plupart des applications marines, puisque ces structures sont censées régies par la rigidité plutôt que par la résistance. Il est donc plus que probable que les niveaux de résistance résultants sont bien en-dessous de la résistance à la rupture des matériaux employés. De plus, les considérations de poids sont rarement prises en compte.

Cependant, la situation est totalement différente lorsqu'on est confronté à la conceptions de structures de bateaux de grande taille à haute performance et, plus particulièrement, pour les applications militaires (chasseurs de mines, navires de patrouille en haute mer, etc). Dans ces cas, l'application de la réglementation des sociétés de classification est rendue impossible par les dimensions de la coque ou conduirait à un poids inacceptable. D'ailleurs, dans le cas des structures marines innovantes, comme les submersibles, il n'existe pas de réglementation. Il devient donc impératif de réaliser une conception structurale utilisant des procédures rationnelles basées sur la théorie de la mécanique des matériaux composites. Un bénéfice important résultant de telles procédures est qu'on peut maintenant profiter pleinement de la nature orthotrope des matériaux FRP (voir ci-après).

Pour être capable d'appliquer les procédures soi-disant rationnelles,

il faut d'abord définir ce que veut dire ce terme, et ensuite ce que ça implique. Avec, en référence, des procédures similaires proposées et utilisées dans le cas de coques métalliques, il peut être établi que la procédure de conception de structures rationnelles doit contenir :

- une description claire des cas de charge possibles, incluant les combinaisons de charge que peut subir la coque ;
- une évaluation complète des matériaux à utiliser ;
- la détermination des critères de conception structurale à appliquer ;
- réalisation des calculs de résistance appropriés.

## CAHIER DES CHARGES

Il est bien connu que la première étape de la procédure de conception d'un bateau traditionnel est la détermination de la distribution des forces de cisaillement et du moment de flexion sur la longueur du navire dans des conditions de "hogging" et de "sagging", en traitant le bateau comme une poutre-caisson. Les courbes obtenues représentent la condition de charge principale sur la base de laquelle les calculs de structure sont réalisés. Les conditions de charges locales sont considérées comme secondaires, seulement utilisées pour la conception de détails de structure ou de renforts locaux.

Ce n'est pas le cas des coques FRP qui sont limitées en longueur à cause de considérations de rigidité ; actuellement, la longueur maximale pratique est de l'ordre de 60 mètres. Pour de telles longueurs, les conditions de charges dominantes qui déterminent l'échantillonnage sont locales. Cependant, dans tous les cas, il est conseillé de réaliser des calculs de poutre-caisson pour des raisons de sécurité, même si l'expérience a montré que les considérations de résistance longitudinales jouent rarement un rôle majeur dans les calculs d'échantillonnage: le module de section résultant de charges locales est toujours plus grand que le minimum nécessaire.

Pour revenir à la question des charges réelles à utiliser, on doit distinguer les navires à déplacement et ceux qui planent. Le premier cas est relativement simple puisque la charge principale de la coque est la pression hydrostatique. Il faut, bien sûr, faire attention aux charges dynamiques provenant du déplacement du navire par grosse mer. De plus, toutes les autres parties structurales du navire (pont, cloisons, etc) doivent être conçues en utilisant les charges qui leur correspondent. Par exemple, pour le cas des ponts, on distingue entre les ponts extérieurs et intérieurs et les toits des cabines. Dans le premier cas, on considère un certain niveau d'eau dont la valeur dépend de l'utilisation du bateau (par exemple, 0,7 m pour un bateau de plaisance, plus élevé pour un bateau de haute mer), tandis que, dans le second cas, la charge dépend de l'utilisation du pont.

La situation est plus difficile lorsqu'on essaie d'établir le cahier des charges pour un bateau qui plane, où la charge locale la plus importante

est le "slamming" sur le fond du bateau. Bien que plusieurs formules théoriques aient été proposées (Savitsky & Brown, 1976 ; Allen & Jones, 1978) aucune n'apparaît capable de prédire avec précision la charge correcte, telle que mesurée lors d'essais. Les expériences du passé ont conduit l'auteur à proposer l'utilisation d'une approche combinée. Ainsi, l'accélération maximale au centre de gravité du navire est calculée en utilisant la formule bien connue de Savitsky (Savitsky & Brown, 1976), tandis que la pression de "slamming" utilise la formulation de Allen et Jones (Allen & Jones, 1978).

## CARACTERISATION DES MATERIAUX

Traditionnellement, l'industrie de construction navale a construit des navires à composites monolithiques composés de couches de mat à fibres coupées et de roving de verre tissé et de résine polyester. Ces dernières années, plusieurs alternatives ont été proposées, y compris des structures de type monocoque (Trimming, 1984), sandwich (Sjogron *et coll.*, 1984) et ondulées (Gass *et coll.*, 1986), et des matériaux comme des renforts de carbone, de kevlar, de bore, de même que des résines époxy et phénoliques (I.S.S.C., 1988 et 1991).

Il est donc clair que les concepteurs doivent faire face au difficile problème du choix de la combinaison la plus appropriée de structure et de matériaux pour l'application voulue. Dans plusieurs cas, le choix peut être facile, il dépend de facteurs extérieurs tels que la disponibilité du matériau, l'expérience du chantier, etc. Dans d'autres cas, le choix est moins évident et nécessite une étude paramétrique. Un objectif prédéterminé, tel que poids ou coût minimal, ou une combinaison de deux, dictera la solution optimale.

Le problème mentionné ci-dessus est compliqué par le fait que pour toute analyse structurale ou procédure de conception, il faut connaître les propriétés mécaniques des matériaux à utiliser. Dans le cas des composites, ces propriétés, tels que les modules d'élasticité et les résistances à la rupture en traction, compression, flexion et cisaillement, et les coefficients de Poisson dans toutes les directions dépendent de tant de facteurs (fraction de fibre, qualité de fabrication, environnement, etc) que leur détermination exacte ne peut être réalisée qu'expérimentalement. Les éprouvettes nécessaires pour ces essais doivent être fabriquées dans les mêmes conditions et suivant les mêmes procédures que celles suivies dans la construction réelle.

On peut donc se demander quelles sont les valeurs de propriétés mécaniques à utiliser quand on est toujours à l'étape initiale de conception, quand on est train d'étudier les différents matériaux. Une solution possible est l'utilisation de formules approchées, comme celles données par Lloyds Register of Shipping pour GRP (Rymill, 1984), ou l'emploi de valeurs nominales fournies par les fabricants des matériaux.

## CRITERES DE CONCEPTION STRUCTURALE

Avant de passer aux calculs, il est impératif de déterminer les divers critères que doit satisfaire la structure. Selon la sollicitation et comment la structure ou partie de structure est critique, quelques uns ou tous les critères suivants doivent être appliqués (I.S.S.C, 1985) :

- résistance statique adéquate,
- déflexion maximale permise,
- rupture par flambage évitée,
- résistance à la fatigue adéquate.

### RESISTANCE STATIQUE ADEQUATE

Le premier critère implique que la combinaison des contraintes développées à n'importe quel point de la structure n'entraîne pas la rupture statique de la pièce. Parmi les différents critères de rupture statique proposés, les deux plus courants sont (Jones, 1975) :

- le critère de Tsai-Hill,
- le critère de Tsai-Wu.

Bien que le critère de Tsai-Hill soit plus simple, assez précis et le plus souvent utilisé, celui de Tsai-Wu est généralement considéré comme plus précis.

### DEFLEXION MAXIMALE PERMISSIBLE

Le fait que les structures FRP soient généralement plus flexibles que celles en métal, à cause d'un module d'élasticité plus faible, nécessite aussi l'utilisation de critères de déflexion maximale permise. Ce critère est aussi implicite dans beaucoup de formules d'échantillonnage données par les sociétés de classification. De plus, il existe des résultats expérimentaux qui relient la déflexion maximale à la résistance en fatigue de panneaux et raidisseurs (Fantacci, 1985).

Aucune valeur générale ne peut être donnée pour la déflexion maximale permise de panneaux et raidisseurs, puisqu'elle dépend de facteurs tant subjectifs (apparence externe, raisons psychologiques, etc) qu'objectifs (endroit, sollicitation, etc). Comme ligne de conduite générale, on peut dire que cette valeur ne doit pas excéder 1/100 de la longueur libre du membre structural considéré.

### RUPTURE PAR FLAMBAGE

Il est bien connu que les structures FRP ont tendance à flamber à des charges nettement inférieures à celles des structures métalliques à cause de leur module d'élasticité plus faible. Ceci nécessite une analyse très soignée des pièces structurales qui peuvent subir une rupture par

flambage.

La liste suivante identifie les diverses pièces structurales qui demandent ce type d'analyse, de même que le mode de flambage probable (I.S.S.C., 1985) :

- flambage local des stratifiés entre les raidisseurs longitudinaux et transversaux sous compression uniaxiale ou biaxiale, parfois combiné avec du cisaillement,
- flambage en flexion des raidisseurs longitudinaux entre les raidisseurs transversaux sous charge de compression,
- flambage local des côtés des raidisseurs sous cisaillement, parfois combiné avec des contraintes de flexion,
- flambage latéral-torsion ("tripping") des raidisseurs à section ouverte sous charge latérale,
- flambage généralisé des ponts raidis orthogonalement et des panneaux coques.

Enfin, on peut mentionner que les analyses ci-dessus peuvent nécessiter non seulement des considérations statiques traditionnelles, mais aussi dynamiques. En fait, le flambage dynamique peut devenir un problème pour les bateaux FRP d'assez grande taille, bateaux conçus pour le service en haute mer sous des conditions environnementales extrêmes.

## RUPTURE PAR FATIGUE

Malgré l'importance de ce mode de rupture, étant donné la nature cyclique de la sollicitation appliquée au bateau, il n'existe aucun consensus dans la littérature en ce qui concerne l'approche qui doit être suivie dans l'évaluation de la rupture par fatigue.

La conception contre la fissuration en fatigue à travers l'épaisseur peut être basée sur le bien connu concept de courbe S-N, en supposant que de telles courbes de référence sont disponibles pour le matériau, la sollicitation et les conditions d'environnement. Cependant, une telle rupture semble être plutôt locale et n'affecte pas de façon significative le comportement global de la structure. Les problèmes causés par la fatigue aux connections des structures sont plus importants, où le délaminage des joints est un danger spécifique et sur lesquels très peu d'informations sont disponibles à l'heure actuelle.

## CALCULS DE RESISTANCE

Pour une procédure de conception rationnelle de structure de bateau FRP, il est nécessaire de pratiquer tous les calculs en considérant le matériau comme orthotrope. En d'autres termes, il n'y a aucune raison de supposer que le matériau est isotrope, comme il est spécifié par la plupart des réglementations des sociétés de classification ; les avantages offerts

par la nature orthotrope de ces matériaux, comme la possibilité de choisir des combinaisons de propriétés optimales ou proche de l'optimale (rapports des modules élastiques et résistances dans les diverses directions, angles des plis, etc) ne peut autrement pas être complètement réalisée.

Tous les calculs de résistance devraient donc être basés sur la théorie de la mécanique des matériaux composites (Jones, 1975 ; Halpin, 1984 ; Vinson & Sierakowski, 1986 ; Smith, 1990). En particulier, les types de calculs suivants doivent être réalisés :

- flexion des poutres (raidisseurs) sous charges latérales et de côté ;
- flambage (local et généralisé) des colonnes-poutres (raidisseurs) sous charges dans le plan ;
- flexion des stratifiés (plaques ou coques) sous charges latérales et de coin ;
- flambage (local et généralisé) des panneaux raidis sous diverses charges dans le plan.

Dans plusieurs cas, des calculs de vibration doivent aussi être faits, bien qu'en général aucun problème sérieux ne sont attendus, grâce aux capacités d'absorption inhérentes aux FRP.

En ce qui concerne les conditions limites pour lesquelles de tels calculs devraient être réalisés, la comparaison devrait, en général, être effectuée avec les structures analogues des bateaux métalliques.

Un point qui devrait également être clarifié est la quantité de procédures analytiques par rapport aux procédures numériques à utiliser. Il apparaît que, durant le stade de conception structural préliminaire des méthodologies analytiques sont plus appropriées. L'étude de divers concepts de conception structurale alternatifs exige une capacité de calculs rapides. Cependant, quand le concepteur met au point les derniers détails de la conception préliminaire, il peut être nécessaire de vérifier de façon plus détaillée les performances structurales de certaines parties critiques du bateau. De tels calculs détaillés ne peuvent pas être effectués seulement de façon numérique, la méthode par éléments finis s'étant avérée la plus appropriée et la plus courante. Aujourd'hui, la plupart des programmes par éléments finis sont capables d'accomplir des calculs sur les matériaux orthotropes.

## **OUTILS NUMERIQUES DISPONIBLES**

Ces dernières années, un effort de recherche a été entrepris par l'équipe de l'Université de Technologie d'Athènes dans le but de développer des outils analytiques et numériques appropriés, nécessaires à la conception structurale rationnelle complète des coques FRP. Le besoin d'un tel effort a été manifesté à partir d'une recherche bibliographique étendue qui a montré qu'un nombre d'outils nécessaires ne sont pas disponibles pour l'architecte naval.

Comme première étape, un programme a été développé consistant en des modules séparés pour les calculs de charge et de résistance (Papazoglou & Tsouvalis, 1987). Pendant ce développement, il a été découvert qu'il n'existe aucune solution analytique pour le comportement en flexion et au flambage des plaques composites sous plusieurs combinaisons importantes de sollicitations des structures marines. Il a donc été décidé de focaliser les efforts de recherche sur la résolution de ces problèmes.

Les problèmes suivants ont déjà été résolus (Tsouvalis & Papazoglou, 1988, 1990 ; Papazoglou & Tsouvalis, 1991, 1992 ; Papazoglou *et coll.*, 1992 ; Tsouvalis, 1992 ; Zolotas, 1992) :

- flexion de plaques stratifiées, en considérant la nature bimodule de FRP, c'est-à-dire le fait que les propriétés élastiques en traction et en compression diffèrent substantiellement ;

- flambage statique des plaques stratifiées sous une variété de sollicitations dans le plan et des combinaisons de celles-ci (compression uniforme uniaxiale et biaxiale, flexion dans le plan, compression triangulaire dans le plan, cisaillement, etc) ; des séries de courbes de conception (abaques) ont été développées suite à ces recherches ;

- réponse dynamique (transitoire) des plaques composites stratifiées dans des conditions de charge latérale ;

- réponse dynamique des plaques de composites stratifiées sous l'action combinée de charges dans le plan et latérales ;

- détermination des formes et dimensions optimales sous des sollicitations variées.

A l'heure actuelle, des solutions analytiques similaires au cas de coques cylindriques stratifiées sont en cours dans le but de fournir des outils utiles pour la conception de submersibles.

La recherche bibliographique dont il a été question plus haut a montré une image assez différente pour le cas des outils numériques complexes capables de réaliser des calculs de résistance détaillés pour des parties critiques des structures composites. La majorité des modèles numériques existants utilisent la méthode par éléments finis et sont adaptés aux calculs de résistance de n'importe quelle structure composite, et donc également de structures composites marines. Une revue critique de 46 des modèles le plus couramment utilisés sur "mainframe" a été rapportée par Brown (Brown, 1987). Les problèmes abordés par tous ces programmes sont :

- la réponse structurale des stratifiés et des composites à renforts multidirectionnels ;

- le changement de propriétés des matériaux avec la température, l'humidité et la décomposition ablativ ;

- les structures de coques fines, épaisses et/ou de plaques ;

- les modes de rupture.

Cependant, dans beaucoup de cas, l'analyse de matériaux composites stratifiés standard peut être réduite à un logiciel relativement simple, convivial et qui tourne sur un ordinateur "desk-top", fournissant au concepteur un outil puissant avec lequel on peut optimiser le matériau en même temps que formuler ses dimensions structurales (Kibler, 1987) ; Flanagan & Palazotto, 1986 ; Hoa *et coll.*, 1989). Bien que de tels programmes ne soient pas directement applicables aux structures composites marines, on peut les utiliser dans le but d'analyse et de conception de détails structuraux locaux, étant entendu que les charges agissant sont connues avec précision.

## CONCLUSION

Cette présentation tente de décrire brièvement une procédure de conception structurale rationnelle pour les structures composites marines, ainsi que les outils de calcul dont dispose l'architecte naval pour les réaliser. La présentation de ces méthodes de calcul ne doit pas être considérée comme exhaustive, ce n'est pas l'objectif de l'auteur. L'attention a surtout été portée sur le type général de méthodes de calcul disponible et comment ces méthodes peuvent être utilisées aux différentes étapes de la procédure de la conception structurale. La conclusion générale est que les méthodes de calcul pour l'analyse et la conception des structures composites marines existent et que le concepteur peut tirer bénéfice de leur utilisation afin d'obtenir une conception proche de l'optimale.

- 
- ALLEN R.G., JONES R.R., 1978, "A Simplified Method for Determining Structural Design-Limit Pressures on High Performance Marine Vehicles", AIAA/SNAME Advanced Marine Vehicles Conference, San Diego, Paper No. 78-754.
- BROWN R.T., 1987, "Computer Programs for Structural Analysis", in *Engineered Materials Handbook - Vol. 1 : Composites*, A.S.M., International, Metals Park, Ohio, U.S.A., p268.
- FANTACCI G.I., 1985, "F.R.P. Used as Construction Material for High Performance Craft", 10th WEGEMT School, Genova, Italy.
- FLANAGAN G. & PALAZOTTO A.N., 1986, "Composite Laminate Optimization Program Suitable for Microcomputers", *Computers & Structures*, Vol. 22, No. 6, pp995-1009.
- GASS W. ET AL, 1986, "Fabrication and Testing of a Prototype Corrugated GRP Hull", paper 25, *Advances in Marine Structures*, (Smith C.S., Clarke J.D., eds.), Elsevier Applied Science, London.
- HALPIN J.C., 1984, *Primer on Composite Materials: Analysis*,

- Technomic Publ. Co., Pennsylvania.
- HOA S.V. ET AL, 1989, "Computer Aided Design for Composite Structures", *Composite Structures*, Vol. 13, pp67-79.
- I.S.S.C., 1985, Report of Committee III.2, "Non-Ferrous and Composite Structures", 9th I.S.S.C. Congress, Genova, Italy.
- I.S.S.C., 1988, Report of Committee V.8, "Composite Structures", 10th I.S.S.C. Congress, Copenhagen, Denmark.
- I.S.S.C., 1991, Report of Committee V.8, "Composite Structures", 11th I.S.S.C. Congress, Wuxi, China.
- JONES R.M., 1975, *Mechanics of Composite Materials*, Scripta Book Co., Washington D.C.
- KIBLER J.J., 1987, "Software for Composite Materials Analysis", in *Engineered Materials Handbook - Vol. 1 : Composites*, A.S.M., International, Metals Park, Ohio, U.S.A., p275.
- PAPAZOGLU V.J., TSOUVALIS N., 1987, "Towards Computer-Aided Design of FRP Hulls", Proc. IVth I.M.A.E.M. Conference, Varna, Bulgaria, Vol. 2, pp. 45.1-45.7.
- PAPAZOGLU V.J., TSOUVALIS N.G., 1991, "Mechanical Behaviour of Bimodulus Laminated Plates", *Composite Structures*, Vol. 17, pp1-22.
- PAPAZOGLU V.J., TSOUVALIS N.G., 1992, "Design Curves for Specially Orthotropic Laminated Plates under Combined In-Plane Loading", Transactions S.N.A.M.E.
- PAPAZOGLU V.J., TSOUVALIS N.G., KYRIAKOPOULOS G.D., 1992, "Buckling of Unsymmetric Laminates under Linearly Varying Biaxial In-Plane Loads, Combined with Shear", *Composite Structures*, Vol. 20, pp155-163.
- RYMILL R.J., 1984, "Structural Requirements for Small Craft", paper 14, Int'l. Conf. on Design Considerations for Small Craft, London.
- SAVITSKY D., BROWN W., 1976, "Procedures for Hydrodynamic Evaluation of Planing Hulls in Smooth and Rough Waters", *Marine Technology*, Vol. 13, No. 4, pp381-400.
- SJOGRON J. ET AL, 1984, "Swedish Development of MCMV - Hull Design and Production", paper 3, Int'l. Symposium on Minewarfare Vessels and Systems, RINA, London.
- SMITH C.S., 1990, *Design of Marine Structures in Composite Materials*, Elsevier Applied Science Publ., London.
- TRIMMING M., 1984, "Monocoque GRP Minehunters", paper 17, Int'l. Symposium on Minewarfare Vessels and Systems, RINA, London.
- TSOUVALIS N.G., PAPAZOGLU V.J., 1988, "Theories for Bending and Static Buckling of Laminated Anisotropic Rectangular Plates: A Survey", Proc. COMP '88 Int'l. Symposium, Patras, Greece, pp 439-446.
- TSOUVALIS N.G., PAPAZOGLU V.J., 1990, "Bending of Bimodulus Specially Orthotropic Laminated Plates", Proc. COMP '90

Int'l. Symposium, Patras, Greece.

TSOUVALIS N.G., 1992, "Static and Dynamic Response of Simply Supported Composite Laminated Plates under the Action of In-Plane Compressive and/or Lateral Loads", PhD Dissertation, Dept. of Naval Architecture and Marine Engineering, National Technical University of Athens.

VINSON J.R., SIERAKOWSKI R.L., 1986, *The Behavior of Structures Composed of Composite Materials*, Martinus Nijhoff Publs., Dodrecht.

ZOLOTAS S.A., 1992, "Parametric Study of the Bending Behaviour Stiffened G.R.P. Panels", Diploma Thesis, Dept. of Naval Architecture and Marine Engineering, National Technical University of Athens.