



**ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ**

**Facultatea: Inginerie Mecanică**

**Ing. Lucian Eugen Rad**

**Cercetări privind calculul, testarea și optimizarea  
constructivă a componentelor din materiale compozite  
pentru coloana de direcție a autovehiculului**

**Research on calculation, testing and constructive  
optimization of vehicle steering column  
composite materials components**

**REZUMAT / ABSTRACT**

**Conducător științific**

**Prof.dr.ing. Anghel CHIRU**

**BRAȘOV, 2018**





**MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE**  
**Universitatea TRANSILVANIA din Braşov**

Bd. Eroilor 29, 500036 Braşov, Romania, Tel/Fax: +40 268 410525,  
www.unitbv.ro

D-lui(D nei).....

**COMPONENȚA**  
**Comisiei de doctorat**

Numită prin ordinul Rectorului Universității „Transilvania” din Braşov  
Nr. .... din .....

PREȘEDINTE:

Prof. univ. dr. ing. Ioan Călin ROȘCA  
Universitatea “Transilvania” din Braşov

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC :

Prof. univ. dr. ing. Anghel CHIRU  
Universitatea “Transilvania” din Braşov

REFERENȚI:

Prof. univ. dr. ing. Anton HADĂR  
Universitatea Politehnică din București

Cercet.șt.pr.I,dr.mat. Veturia CHIROIU  
Institutul de Mecanica Solidelor, Academia Română

Prof. univ. dr. ing. Horațiu TEODORESCU  
Universitatea “Transilvania” din Braşov

Data, ora și locul susținerii publice a tezei de doctorat: ....., ora ....., sala .....

Eventualele aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării, vă rugăm să le transmiteți în timp util, pe adresa:

lucian.rad@unitbv.ro

Totodată vă invităm să luați parte la ședința publică de susținere a tezei de doctorat



## Cuprins (română)

<b>1 INTRODUCERE</b>	<b>9</b>
1.1 Aspecte generale privind utilizarea materialelor compozite în industria constructoare de maşini	9
1.2 Obiectivele tezei de doctorat	11
<b>2 MATERIALE COMPOZITE PENTRU COMPONENTELE AUTOVEHICULULUI</b>	<b>12</b>
2.1 Structura materialelor compozite	12
2.1.1 Tipuri de fibre	12
2.1.2 Tipuri de răşini	13
2.2 Materialul compozit matricial armat cu fibre	13
2.2.1 Analiza CFRP la nivel global	14
2.2.2 Timpul de producţie al componentelor din materiale compozite	15
2.2.3 Energia necesară producţiei	15
2.2.4 Costul materialelor compozite	17
2.2.5 Generalităţi privind reciclarea materialelor compozite	18
2.2.6 Procedee de fabricaţie ale materialelor compozite	18
2.2.7 Aplicaţii ale materialelor compozite. Coloane de direcţie pentru automobile	19
<b>3 MODELE DE CALCUL PENTRU PIESELE DIN MATERIALE COMPOZITE</b>	<b>22</b>
3.1 Modele de calcul pentru materiale compozite	22
3.1.1 Tehnici numerice	
3.1.2 Modele cu incluziuni	
3.1.3 Metode de mărginire	
3.1.4 Modele semi-empirice	
3.1.5 Modele mecanice	
3.2 Comportamentul materialelor compozite la nivel micromecanic	23
3.2.1 Studiul rezistenţei la tracţiune pe direcţie longitudinală ( $\sigma_t$ ) pentru materiale compozite armate cu fibre lungi	
3.2.2 Studiul rezistenţei la compresiune pe direcţie longitudinală ( $\sigma_c$ ) pentru materiale compozite armate cu fibre lungi	
3.2.3 Studiul rezistenţei la tracţiune pe direcţie transversală ( $\sigma_t$ ) pentru materiale compozite armate cu fibre lungi.....	
3.2.4 Studiul rezistenţei la compresiune pe direcţie transversală ( $\sigma_c$ ) pentru materiale compozite armate cu fibre lungi	
3.2.5 Studiul rezistenţei la forfecare $\tau_{xy}$ pentru materiale compozite armate cu fibre lungi	
3.3 Macromecanica laminelor compozite armate cu fibre lungi	23
3.3.1 Determinarea matricei de flexibilitate raportată la sistemul principal de axe	
3.3.2 Determinarea matricei de rigiditate raportată la sistemul principal de axe	
3.3.3 Determinarea matricei de rigiditate raportată la sistemul secundar de axe	
3.3.4 Determinarea matricei de rigiditate pentru un unghi $\theta$ faţă de sistemul principal de axe	
3.3.5 Criterii de rupere	
3.4 Calculul consolei coloanei de direcţie din materiale compozite	24
3.4.1 Calculul caracteristicilor mecanice ale materialului compozit	25
3.4.2 Evaluarea materialului compozit la solicitări statice	28
3.4.3 Relaţii între tensiuni si deformaţii pentru structura consolei coloanei de direcţie	31
3.4.4 Analiza FEM pentru structura studiată	33





<b>4 TESTAREA PIESELOR DIN MATERIALE COMPOZITE</b>	<b>35</b>
4.1 Testarea la tracţiune	35
4.1.1 Echipamente de testare la tracţiune	
4.1.2 Sisteme de prindere (grip-uri) şi taloane din material (tab-uri)	
4.1.3 Procedura de testare la tracţiune	
4.2 Testarea la compresiune	37
4.2.1 Procedura de testare la compresiune	
4.3 Testarea la încovoiere	40
<b>5 OPTIMIZAREA TEHNOLOGIEI DE FORMARE A CONSOLEI COLOANEI DE DIRECŢIE</b>	<b>43</b>
5.1 Aspecte privind construcţia carcasei coloanei de direcţie	43
5.2 Consola coloanei de direcţie	43
5.3 Tehnologii de formare a consolei coloanei de direcţie din materiale compozite	43
5.4 Evaluarea procedeelor de obţinere a pieselor din materiale compozite	45
5.5 Evoluţia conceptelor de formare a consolei coloanei de direcţie	47
5.5.1 Formarea consolei coloanei de direcţie prin înfăşurare manuală	47
5.5.2 Formarea consolei coloanei de direcţie prin înfăşurare spaţială	47
5.5.3 Cercetări privind optimizarea procedeului de formare prin înfăşurare spaţială asistat de roboţi	48
<b>6 CONCEPT NOU PENTRU PROCEDEUL DE FORMARE AL CONSOLEI COLOANEI DE DIRECŢIE DIN MATERIALE COMPOZITE</b>	<b>51</b>
6.1 Obiectivele noului concept	51
6.2 Sistem inovativ de impregnare a fibrei de carbon	51
6.3 Sistemul de tensionare activ a fibrei de carbon	53
6.4 Sistemul de frânare al bobinei cu fibră de carbon	53
6.5 Optimizarea matriţei de formare	54
6.6 Construcţia mecanismului de decofrare / strângere	58
<b>7 CONTRIBUŢII PROPRII PRIVIND CALCULUL, TESTAREA ŞI OPTIMIZAREA PROCEDEELOR DE FORMARE A PIESELOR DIN MATERIALE COMPOZITE PENTRU AUTOMOBILE</b>	<b>60</b>
<b>8 BIBLIOGRAFIE</b>	<b>64</b>



## Cuprins (engleză)

<b>1 INTRODUCERE</b>	<b>9</b>
1.1 <i>General aspects using composite materials in automotive industry</i>	9
1.2 <i>Thesis objectives</i>	11
<b>2 VEHICLE COMPONENTS COMPOSITE MATERIALS</b>	<b>12</b>
2.1 <i>Composite materials structure</i>	12
2.1.1 <i>Fibers</i>	12
2.1.2 <i>Matrix</i>	13
2.2 <i>Fibers composite materials</i>	13
2.2.1 <i>CFRP globally analysis</i>	14
2.2.2 <i>Composites materials components manufacturing time</i>	15
2.2.3 <i>The energy spent for production</i>	15
2.2.4 <i>Composite materials costs</i>	17
2.2.5 <i>Recycling of composite materials</i>	18
2.2.6 <i>Composite materials components manufacturing processes</i>	18
2.2.7 <i>Composite materials application. Vehicle steering column</i>	19
<b>3 COMPOSITE MATERIALS CALCULUS</b>	<b>22</b>
3.1 <i>Theoretical calculation model</i>	22
3.1.1 <i>Numerical model</i>	
3.1.2 <i>Inclusion model</i>	
3.1.3 <i>Abutment method</i>	
3.1.4 <i>Semi-empirical method</i>	
3.1.5 <i>Mechanical model</i>	
3.2 <i>Micromechanical behavior of composite materials</i>	23
3.2.1 <i>Longitudinal traction strength (<math>\sigma_t</math>) for long carbon fiber reinforced composites</i>	
3.2.2 <i>Longitudinal compression strength (<math>\sigma_c</math>) for long carbon fiber reinforced composites</i>	
3.2.3 <i>Transversal traction strength (<math>\sigma_t</math>) for long carbon fiber reinforced composites</i>	
3.2.4 <i>Transversal compression strength (<math>\sigma_c</math>) for long carbon fiber reinforced composites</i>	
3.2.5 <i>Shear strength <math>\tau_{xy}</math> for long carbon fiber reinforced composites</i>	
3.3 <i>Macromechanical study of laminates composites reinforced with carbon long fibers</i>	23
3.3.1 <i>Flexibility matrix determination relative to the main axle system</i>	
3.3.2 <i>Stiffness matrix determination relative to the main axle system</i>	
3.3.3 <i>Stiffness matrix determination relative to the secondary axle system</i>	
3.3.4 <i>Stiffness matrix determination for angle <math>\theta</math> relative to the main axle system</i>	
3.3.5 <i>Breaking criteria</i>	
3.4 <i>Steering column bracket calculation</i>	24
3.4.1 <i>Composite material mechanical properties calculation</i>	25
3.4.2 <i>Static stresses of composite material evaluation</i>	28
3.4.3 <i>Relationships between stresses and deformations for the steering column console structure</i>	31
3.4.4 <i>FEM analysis</i>	33
<b>4 COMPOSITE MATERIAL PARTS TESTING</b>	<b>35</b>
4.1 <i>Tension test</i>	35
4.1.1 <i>Tension equipment</i>	
4.1.2 <i>Grips and tabs</i>	
4.1.3 <i>Tension test procedure</i>	
4.2 <i>Compression test</i>	37
4.2.1 <i>Compression test procedure</i>	





4.3 Shear test	40
<b>5 STEERING COLUMN CONSOLE FORMING TECHNOLOGY OPTIMIZATION</b>	<b>43</b>
5.1 Aspects regarding the construction of the steering column console	43
5.2 Steering column console	43
5.3 Steering column console forming technologies from composite materials	43
5.4 Steering column console forming technologies evaluation	45
5.5 Steering column console forming technologies evolution	47
5.5.1 Manually winding technology for steering column console	47
5.5.2 Space winding technology for steering column console	47
5.5.3 Robot-assisted space winding technology optimization	48
<b>6 NEW CONCEPT TO MANUFACTURING STEERING COLUMN CONSOLE</b>	<b>51</b>
6.1 New concept objectives	51
6.2 Carbon fiber new impregnation system	51
6.3 Carbon fiber tension activ system	53
6.4 Carbon fiber coil brake system	53
6.5 Forming tool optimization	54
6.6 Molding/demolding system	58
<b>7 OWN CONTRIBUTION ON CALCULATION, TESTING AND OPTIMIZATION OF COMPOSITE COMPONENT</b>	<b>60</b>
<b>8 BIBLIOGRAPHY</b>	<b>64</b>



## CUVÂNT ÎNAINTE

La finalizarea tezei de doctorat, după cinci ani de cercetări intense, nopți petrecute experimentând obținerea pieselor din materiale compozite, doresc să adresez cuvinte de mulțumire domnului Prof.dr.ing. Anghel CHIRU, pentru încrederea, susținerea și coordonarea în fundamentarea tezei de doctorat.

Mulțumesc, de asemenea, tuturor celor din Departamentul de Autovehicule și Transporturi din cadrul Facultății de Inginerie Mecanică, pentru sprijinul și sfaturile oferite și, mai ales dlui.prof.dr.ing. Horațiu Teodorescu, care a facilitat realizarea experimentelor și testelor necesare.

Aș dori să mulțumesc colegilor de la Stabilus România pentru sprijin și înțelegere, pentru părerile critice și profesionale, pentru punerea la dispoziție a echipamentelor de testare. Mulțumesc domnilor ingineri Dragos Apostol, Stan Laurențiu și Marius Diaconu pentru implicarea lor directă în finalizarea acestei teze.

Mulțumiri deosebite îi aduc domnului dr.ing. Dorin Rosu de la SC Compozite Brasov, pentru împărtășirea vastei sale experiențe în obținerea componentelor din materiale compozite.

Mulțumesc, de asemenea, celor de la Novia Ungaria, SGL Group Germania și R&G Proffesional, pentru facilitarea obținerii materialelor necesare pentru realizarea componentelor din materiale compozite.

Mulțumesc Thyssenkrupp AG Liechtenstein pentru stadiul de practică și informare, pentru accesul la laboratorul lor de teste, pentru schimbul de experiență și pentru căldura cu care m-au primit în mijlocul lor. Îi multumesc în mod deosebit dlui dr.ing. Thomas Heitz, Manager al departamentului de Dezvoltare&Cercetare a Coloanelor de Direcție a Thyssenkrupp, pentru finanțarea tezei mele de doctorat și pentru sfaturile înțelepte.

Le mulțumesc studenților secției AR a Facultății de Inginerie Mecanică, care s-au implicat în cercetarea acestui domeniu și care au adus informații prețioase și direcții de aplicabilitate interesante. De asemenea, mulțumesc mult partenerului meu de teste asistate de roboți, dlui ing. Madalin Sbanca și dlui Prof.dr.ing. Gheorghe Mogan. Îi mulțumesc prietenului meu, ing. Dan Dogariu, pentru sprijinul și profesionalismul de care a dat dovadă pe tot parcursul tezei de doctorat.

Doresc să aduc mulțumiri deosebite membrilor comisiei de îndrumare, respectiv domnului Prof.dr.ing. Ion Preda, domnului Prof.dr.ing. Sorin Vlase, domnului Prof.dr.ing. Alexandru Constantin Popa și domnului Prof.dr.ing. Nicolae Ispas pentru sprijin, pentru observațiile critice și constructive în realizarea acestei teze.

În final, dar nu în cele din urmă, îi mulțumesc soției mele pentru multele clipe de sacrificiu și pentru sprijinul continuu și necondiționat pe care mi le-a acordat pe tot parcursul celor cinci ani, pentru realizarea acestei teze.

Brasov  
Lucian Rad

12.05.2018



## 1. INTRODUCERE

### 1.1 Aspecte generale privind utilizarea materialelor compozite în industria constructoare de maşini

Materialele compozite reprezintă la ora actuală unul dintre mijloacele folosite de marii producători de autovehicule, pentru a îndeplini cererile standardelor internaţionale privind masa autovehiculelor, din punct de vedere al materialelor folosite, al emisiilor și al respectării normelor de mediu.

Având în vedere cererile standardelor US CAFE (Corporate Average Fuel Economy) pentru producătorii de autovehicule, de a atinge pragurile de consum de 3,8 l / 100 Km până în anul 2025, coroborate cu cererile EU (European Union) privind emisiile de CO<sub>2</sub> 75 g CO<sub>2</sub> / Km în 2025, materialele usoare au devenit o necesitate. Din ecuația rezistenței la înaintare a autovehiculului rezultă că o reducere a masei cu 100 kg are ca efect o reducere în medie a consumului de carburant cu 0,6 l / 100 km [32].

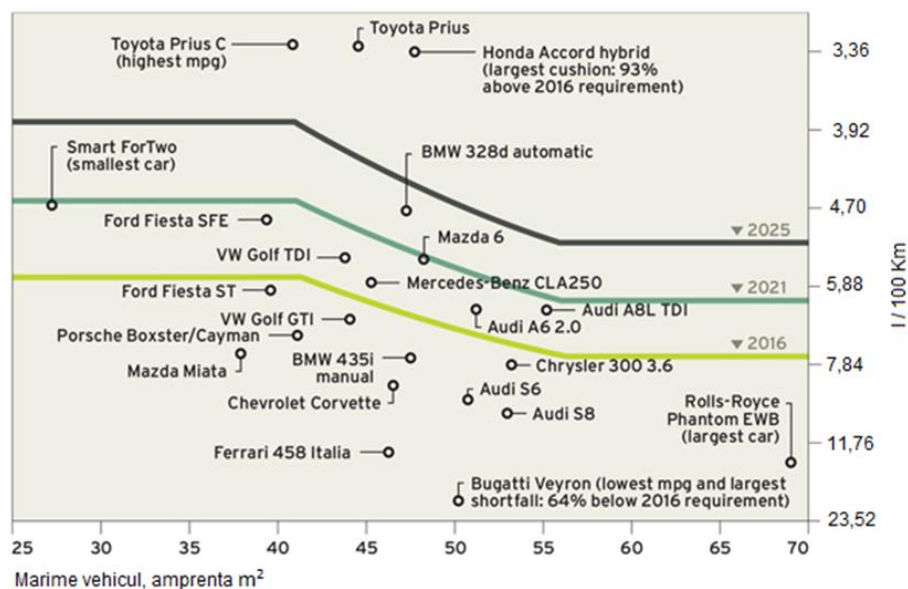


Figura 1.1: Poziționare producători vehicule în funcție de standardele CAFE [125]

O directivă a UE, 2000/53/ EC, privind ciclul de viață al autovehiculelor produse după 2015, prevede că 85% din masa materialelor folosite, trebuie să fie re-utilizabile sau reciclabile, 10% pot fi arse iar 5% pot fi depozitate ca deșeuri.

O altă provocare a furnizorilor de tehnologie in domeniul materialelor compozite o reprezintă realizarea unor componente auto într-un timp mai mic de 1 minut / componentă.

Tendința, în domeniul autovehiculelor, este aceea de a dezvolta tehnologii pentru obținerea componentelor din fibră de carbon necesare producției de serie mare.

Astfel, există un interes deosebit pentru dezvoltarea unor tehnologii pentru producerea unor componente structurale de dimensiuni mici cu geometrie complexă, cum ar fi consola coloanei de direcție. În graficul de mai jos [Fig.1.2] este prezentată situația tehnologiilor de formare, cele mai folosite, în funcție de timpul de producție, complexitate geometrică și lungimea fibrei de carbon.





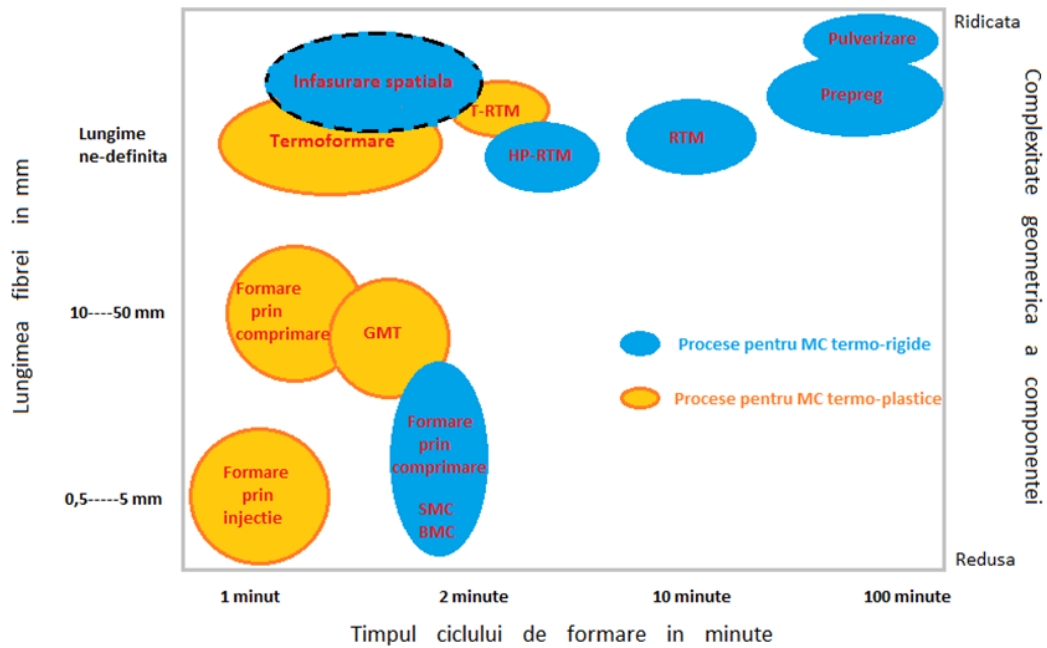


Figura 1.2: Tehnologiile de formare a materialelor compozite în funcție de timpul de producție, complexitate geometrică a componentei și lungimea fibrei

În prezent există trei proiecte și patente care au dezvoltat coloane de direcție din materiale compozite dar nici unul dintre ele nu a elaborat un procedeu pentru producția de serie mare, adică peste 50.000 bucăți anual.

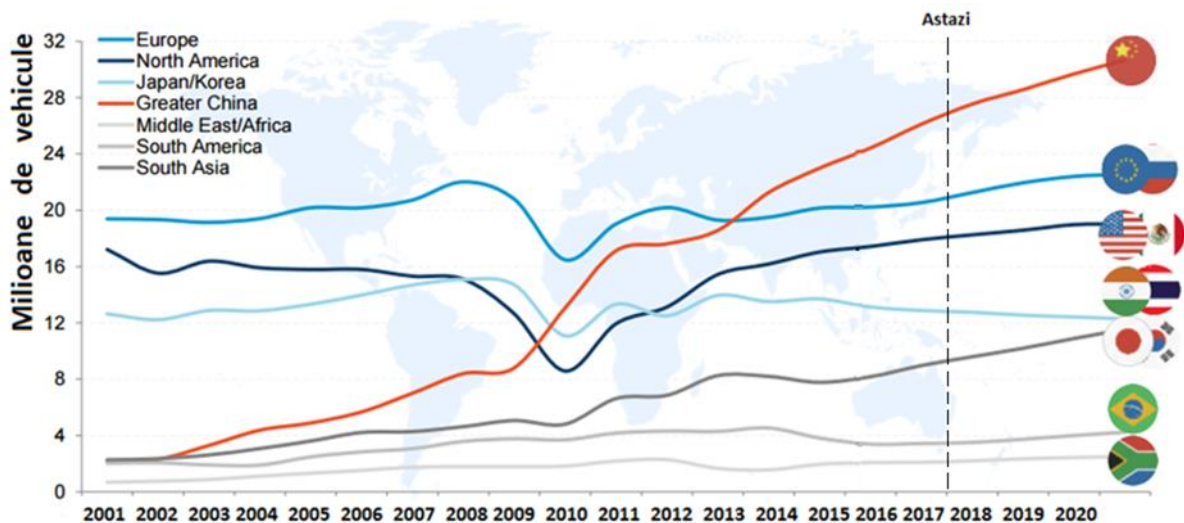


Figura 1.3: Prognoza producție vehicule ușoare pe regiuni [22]

Pentru Europa, producția de vehicule ușoare a avut o creștere de la 18,3 milioane de vehicule în 2010 la 19,4 milioane de vehicule în 2015. Prognoza IHS estimează o creștere mică pentru anul 2020 de până la 19,8 milioane de vehicule

Provocarea marilor constructori de autovehicule și implicit al producătorilor de piese din materiale compozite este aceea de a obține componente auto de mici dimensiuni cu geometrie complexă, într-un timp cât mai redus.

De asemenea, obținerea unor materiale compozite acceptabile ca preț, care să se ridice la proprietățile și caracteristicile, cel puțin, ale materialelor clasice, reprezintă o provocare actuală.



## 1.2 Obiectivele tezei de doctorat

Această lucrare îşi propune să evalueze posibilităţile de utilizare a materialelor compozite, pe bază de fibra de carbon, pentru componente structurale ale autovehiculului. Pentru a obţine date tehnice care să susţină posibilitatea înlocuirii materialelor clasice cu cele pe bază de fibră de carbon s-au pus la punct procedee şi metode de calcul pentru structuri, tehnici de testare a lor precum şi tehnologiile procesului de producţie.

Pentru a pune la punct o procedură necesară calculului, testării şi optimizării constructive a coloanei de direcţie a autovehiculului, au fost stabilite următoarele obiective:

1. Determinarea materialelor compozite potrivite aplicaţiei consolei coloanei de direcţie, analizând timpul de producţie, energia necesară producţiei, costul materialelor prime. De asemenea a fost studiat stadiul actual al tehnicilor de reciclare;
2. Calculul materialelor compozite şi identificarea modelului de calcul potrivit aplicaţiei studiate. Analiza la nivel microscopic şi macroscopic, defineşte, din punct de vedere al calculului teoretic, comportarea materialului compozit la diverse solicitări;
3. Identificarea metodelor de calcul pentru materiale compozite armate cu fibre de carbon, continue lungi şi simularea comportamentului componentelor din materiale compozite cu analiză FEM;
4. Testarea componentelor din materiale compozite, luând în calcul faptul că epruveta trebuie să aibă o structură similară cu a piesei de bază;  
Identificarea unui coeficient de corelare, comparând rezultatele calculului teoretic, al analizei FEM şi al testării materialelor compozite;
5. Optimizarea procedurii de înfăşurare spaţială astfel încât să poată fi aplicat pentru producţia de serie mare (peste 50.000 bucăţi anual);
6. Realizarea unui concept inovativ de impregnare a fibrei de carbon cu răşină, calculul cantităţii de răşină necesară pentru un nivel de impregnare 60%-40%, recuperarea răşinii în exces şi re folosirea ei (sistemul de mixare a răşinii);
7. Optimizarea configuraţiei matriţei pentru obţinerea consolei coloanei de direcţie din materiale compozite şi realizarea unui dispozitiv pentru decofrare rapidă;
8. Calculului timpilor de înfăşurare pentru diferite modalităţi de înfăşurare şi optimizarea timpilor de producţie;
9. Punerea la punct a tehnologiei de obţinere a consolei coloanei de direcţie din materiale compozite, cu ajutorul procedurii de înfăşurare spaţială optimizat;
10. Studiul posibilităţii producerii în serie a consolei coloanei de direcţie (fluxul de proces)
11. Evaluarea componentelor structurale din materiale compozite cu fibre din punctul de vedere al caracteristicilor de rezistenţă, necesare coloanei de direcţie şi estimarea comparativă a costurilor diferitelor procedee de formare.

Pentru parcurgerea etapelor necesare elaborării acestei teze am primit sprijinul unor firme ca Thyssenkrupp Presta AG, SC Compozite Brasov, Novia, SGL Group, R&G, Proffesional, Stabilus care au facilitat obţinerea materialelor pentru experimente, testarea acestora, evaluările cu caracter tehnic şi stagii de pregătire şi informare.



## 2. MATERIALE COMPOZITE PENTRU COMPONENTELE AUTOVEHICULULUI

Materialul compozit este format din două sau mai multe substanțe cu proprietăți fizice și chimice diferite, conceput pentru obținerea unor caracteristici superioare constituienților acestuia în funcție de cererile componentei realizate. Materialele compozite avansate folosesc fibrele lungi, continue de aramid sau carbon care pot fi orientate unidirecțional în funcție de direcția forțelor la care vor fi supuse.

Obținerea componentelor din materiale compozite și tehnologia au devenit foarte importante în procesul reducerii de masă. Pe de altă parte, echilibrul între structură, proprietăți, proces și performanțe trebuie păstrat având în vedere faptul ca un material compozit nou este dependent de tehnologia de obținere și proprietățile pe care le are.

### 2.1 Structura materialelor compozite

În general, materialele compozite sunt constituite dintr-o matrice (o rășină) și un material de umplură (fibre)(Fig. 2.1).

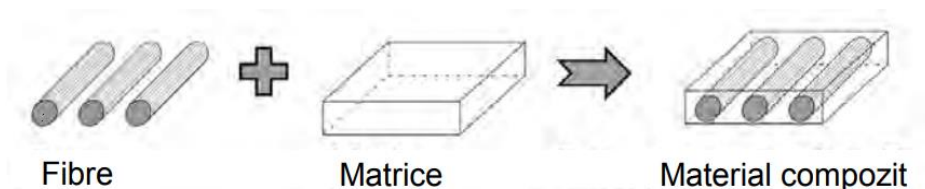


Figura .2.1: Structura schematică a materialelor compozite cu fibre [66]

În funcție de așezarea straturilor, materialele compozite pot fi uni-direcționale (UD), bi-direcționale (BD) sau multidirecționale (MT).

Pentru aplicațiile auto se pot folosi cu succes stratificările bi-direcționale însă pentru consola coloanei de direcție, stratificarea unidirecțională devine interesantă plecând de la caracteristicile de rezistență la tracțiune și coeficientul de elasticitate.

#### 2.1.1. Tipuri de fibre

Proprietățile materialelor compozite sunt direct legate de cele ale materialului de ranforsare cu impact puternic asupra rigidității și rezistenței acestora.

Fibra de carbon- este cel mai des întâlnită în aplicațiile care necesită calitate superioară. Aceasta permite orientarea unidirecțională pe direcția forțelor la care componenta va fi supusă. De asemenea, conferă materialului compozit, rezistență și rigiditate ridicată.

Fibra de aramid – Prezintă o elongație bună (ca valoare, între fibra de carbon și fibra de sticlă) și o rezistență la impact ridicată

Fibra de bor-Este realizată prin depunerea chimică a borului peste un filament de carbon sau tungsten.

Fibra de sticlă – Este cea mai folosită în majoritatea industriilor. În comparație cu fibra de carbon, aceasta nu este atât de rigidă dar are o rezistență la impact și la rupere mai mare.

Fibrele ceramice – Acestea se folosesc acolo unde se cere rezistența mare la temperaturi ridicate.

Desigur, există și alte tipuri de fibre, hibrid, bazalt, quart, PBO, fibre rezistente la coroziune, fibre bune conductoare de electricitate etc.



## 2.1.2 Tipuri de răşini

Câteva dintre caracteristicile răşinilor sunt redate mai jos:

- Răşinile termorigide: Răşinile termorigide nu se pot întoarce în starea iniţială, după polimerizare.
- Răşinile poliesterice se folosesc, în general, împreună cu fibra de sticlă în procese de producţie ca pulverizarea în matriţă deschisă, turnare în matriţă sau RTM.
- Răşinile vinil-esterice: sunt asemănătoare cu cele poliesterice însă prezintă în plus proprietăţi care le fac să aibă un preţ mai ridicat: rezistenţă la apă şi la medii corozive chimic.
- Răşinile epoxidice: sunt cele mai folosite răşini pentru că dau materialului compozit rezistenţă, durabilitate şi proprietăţi mecanice ridicate. Intra în reacţie în contact cu un agent de polimerizare, foarte important fiind raportul răşină-agent de polimerizare.
- Răşinile fenolice: sunt folosite acolo unde se cere rezistenţă la flacără deschisă. Proprietăţile mecanice sunt slabe. Nu sunt folosite în industria auto.

## 2.2. Materialul compozit matricial armat cu fibre

Materialul compozit pe bază de fibre este realizat dintr-o matrice polimerică (răşina termoplastică sau termorigidă), un element de ranforsare (fibra de carbon, de sticlă sau fibre naturale), agenţi de umplere şi aditivi (Fig.2.2).

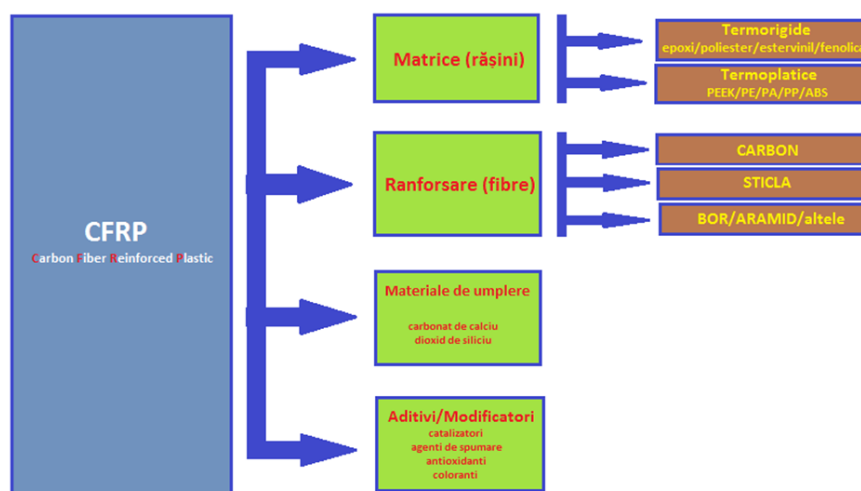


Figura 2.2: Compoziţia materialelor compozite matriciale cu fibre

Proprietăţile materialului compozit depind de procesul de fabricaţie, de orientarea şi volumul fibrei, de tipul răşinii. Foarte importante, privind obţinerea materialului compozit, sunt viteza de obţinere a acestuia, costul şi volumul de producţie.

Comparând materialele clasice (oţelul) cu materialele inovative (alumiul, compozitele pe baza de magneziu, sticlă sau carbon) din punct de vedere al costurilor şi caracteristicilor de putere, densitate, energie sau masă, putem conchiziiona următoarele:

- raportul masă specifică-densitate se respectă în cazul ambelor grupe de materiale. Ceea ce iese în evidenţă este masa specifică redusă a compozitelor pe bază de carbon.
- din punct de vedere al costurilor, compozitele pe bază de fibră de carbon au cel mai ridicat nivel, datorită costurilor mari de producţie.



Tab. 2.1. Caracteristicile diferitelor materiale

	Oţel	Aluminiu	Magneziu	GFRP	CFRP
Putere specifica [kN/kg]	38	130	158	150	400
Densitate [kg/mm <sup>3</sup> ]	7,87	2,7	1,8	1,8	1,6
Energie integrata [MJ/kg]	45	227	416	33	236
Costuri de productie interna [\$/kg]	0,47	2	3,31	2,5	27
Masă specifica [kg/mm <sup>3</sup> ]	77	26	18	18	16

## 2.2.1 Analiza CFRP la nivel global

CFRP a fost ales ca material pentru realizarea coloanei de direcţie plecând de avantajele legate de masă, caracteristici fizice, chimice şi mecanice, proces, calitate dar şi datorită evoluţiei pieţei şi preţului acestui produs la nivel global. (Fig.2.3).

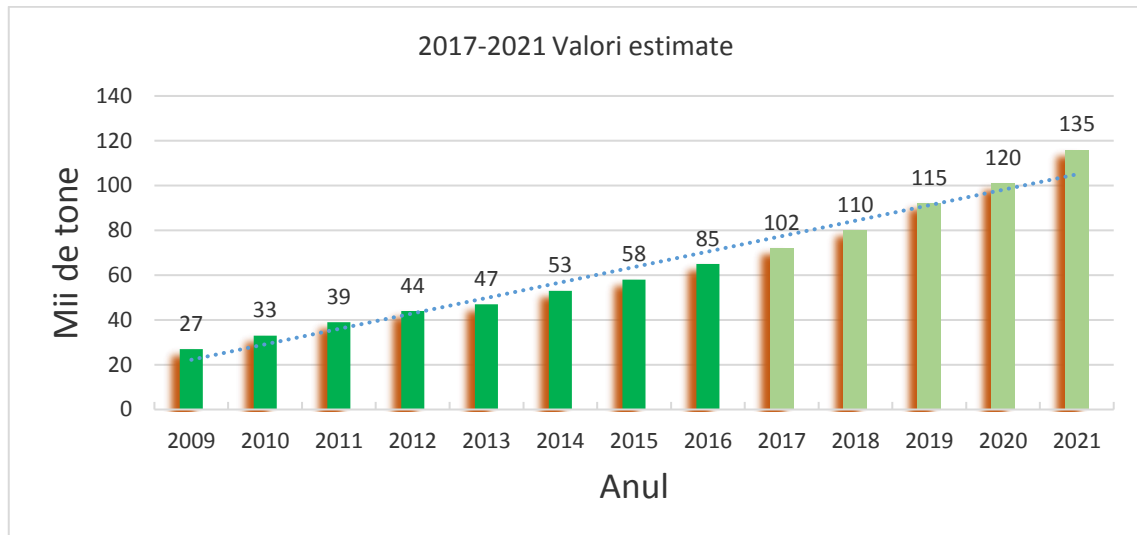


Figura 2.3: Cererea globala de fibră de carbon în perioada 2009-2021[125]

Din totalul pieţei de materiale compozite, CFRP reprezintă 64%. Dintre acestea 76% reprezintă materialele termorigide iar 24% materialele termoplastice. Comparând anul 2013 cu anul 2014, se observa o creştere a veniturilor generate cu 13% (Fig.2.4 ).

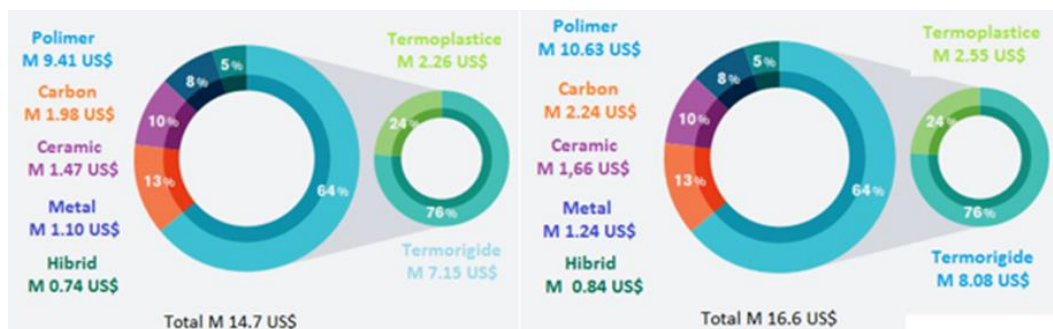


Figura 2.4: Ponderea CFRP din totalul pieţei de materiale compozite [110]



Din punct de vedere al procesului de fabricație, procedeul de așezare al preimpregnatelor cu și fără autoclava este procesul majoritar cu o creștere la 45% (2016), urmate de infășurare și pultruziune la 26% (2016), infuzie, presare și injecție care a crescut de asemenea față de anul 2015 (Fig.2.10).

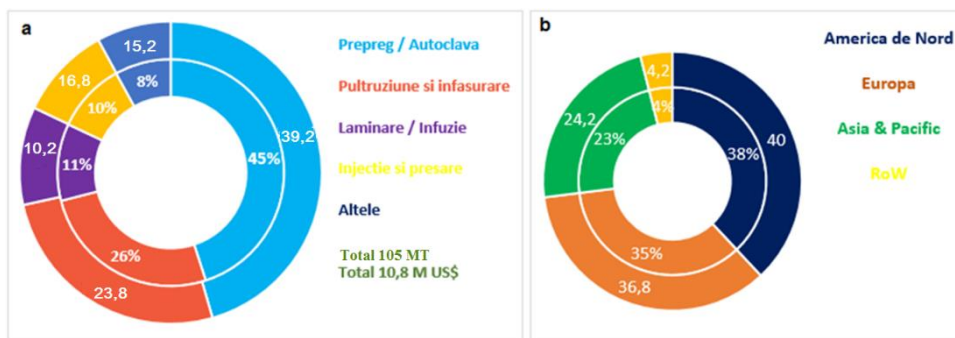


Figura 2.5: Ponderea proceselor de producție (a) și cererea CFRP pe zone, la nivel global (b) [110]

Analiza întreprinsă conduce la concluzia că materialele compozite pe bază de fibră de carbon au o creștere estimativă ridicată care le conferă statutul de material inovativ ales pentru dezvoltarea unor componente auto.

## 2.2.2. Timpul de producție al componentelor din materiale compozite

Timpul de producție sau viteza de producție este un termen important în economia procesului de obținere al pieselor din materiale compozite, Pentru ca materialele compozite să devină competitive cu oțelul, având în vedere diferența mare de preț dintre acestea (0,3 \$/Kg la 11\$/Kg), trebuie ca timpul de producție al componentelor din materiale compozite să fie cât mai mic. Materialele compozite pe bază de fibre de carbon lungi și matrice epoxidică termorigidă (materiale termorigide) sunt cele mai potrivite pentru componentele cu geometrie complexă de dimensiuni mici. Din punct de vedere al echipamentului, opțiunea este aceea de a dezvolta sisteme adaptive în funcție de materiale, structura, cantitate, viteza etc. și procese automatizate de formare și transport al pieselor finite.

## 2.2.3. Energia necesară producției

Pentru ca este nevoie de un consum cât mai mic de energie pentru a realiza componente din materiale compozite, s-au comparat tehnologiile de formare

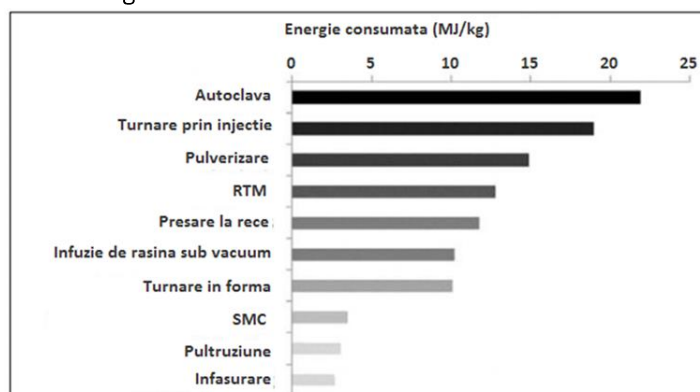


Figura 2.6: Consumul de energie al tehnologiilor de formare al materialelor compozite



Din punct de vedere a energiei consumate, așa cum e de așteptat, producerea fibrei de carbon necesită mai multă energie (Tab 2.2).

Tabel 2.1: Energiile necesare pentru producerea oțelului respectiv a fibrei de carbon

	Energie consumată (MJ/kg)	Cerere estimată (MT)	Energie estimată (MJ/an)	Factor conversie	Emisii CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> /kg)
Oțel	60	1560	93600	0.062	3.72
Fibra de carbon	286	72	20592	0.063	18.02

La nivelul actual al tehnicii, producția fibrei de carbon este scumpă și poluantă în punctele de producție, însă o dată cu scăderea greutateii vehiculelor (datorită folosirii materialelor inovative), amprenta de poluare a fiecarui vehicul în parte este mai mică.

Tabel 2.3: Comparație între materiale pe diferite criterii

Criterii	Oțel	Fibra de sticla	Fibra de carbon
<b>Criterii tehnice</b>			
Densitate (kg/m <sup>3</sup> )	7600	2500	1800
Rezistența la tracțiune (MPa) rupere	720	298	683
Rezistența la compresiune (MPa)	460	188	194
Rezistența la încovoiere (MPa)	460	458	655
<b>Criterii economice</b>			
Costuri fabricație (lei/kg)	5.8	7.3	10
Costuri mentenanță (lei/mp)	Vopsire 6 lei/mp	0	0
Costuri materii prime (lei/kg)	3	7	50
<b>Criterii de mediu</b>			
Energie folosită pentru producție (MJ/kg)	60	118	286
Amprenta de CO <sub>2</sub> coresp. energiei consumate (kg/kg)	3.72	8.25	18.02
Tratamente aplicate materialului	Anticoroziune	Nu necesită	Nu necesită
<b>Criterii sociale</b>			
Comportare la foc	Inflamabil	Usor inflamabil	Auto-stingere
Comportare la umezeală	Nu e afectat	Nu e afectat	Nu e afectat
Durata de viață	100	150	150



Analiza tabelului 2.3, realizată după diferite criterii tehnice, economice, de mediu sau sociale, arată că:

- Din punct de vedere al costurilor, fibra de carbon are cel mai ridicat cost;
- Amprenta de CO<sub>2</sub> corespunzătoare energiei consumate pentru fabricarea fibrei de carbon este de 4-5 ori mai mare decât în cazul oţelului și de 2-3 ori mai mare decât în cazul fibrei de sticlă;
- Fibra de carbon are o comportare superioară oţelului la foc, umezeală sau durată de viaţă;
- Comportamentul ignifug al fibrei de carbon conferă un mare avantaj pieselor;
- Oţelul prezintă risc ridicat de coroziune.

## 2.2.4. Costul materialelor compozite

Pentru ca fibra de carbon sa devină competitivă cu oţelul, trebuie ca preţul acesteia să fie sub nivelul de 5 \$/Kg.(preţul actual este 11\$ / kg). Din punct de vedere al costurilor aferente materiilor prime, daca se ia în considerare doar preţul materialului brut, fără a considera pe cele legate de producţie, forţa de muncă sau matriţe, evaluările comparative arată ca în figura 2.7.

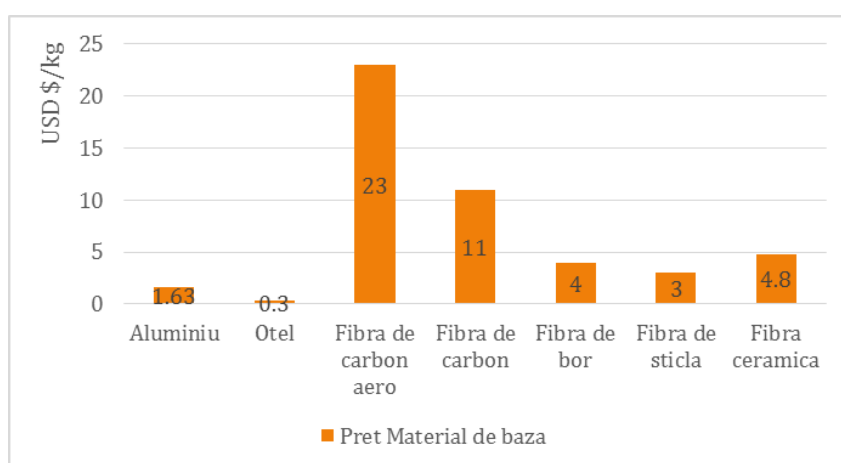


Figura 2.7: Preţuri comparative ale materialelor

Funcţie de procedeele de obţinere a componentelor din fibră de carbon și de destinaţia acestora, costul poate să difere foarte mult. Datorită cererii în creștere, se estimează ca preţul fibrei de carbon va ajunge la pragul de 3\$/kg până în anul 2025, mai ales pentru domeniul auto, unde avantajele folosirii acestor materiale au un impact puternic.

## 2.2.5. Generalităţi privind reciclarea materialelor compozite

Directiva europeană 2000/53/EC-7 stipulează ca 85% din componentele unui autovehicul trebuie să fie reciclabile și 5% pot să fie arse pentru a se recupera energie.

Reciclarea se poate face prin piroliză pentru a recupera fibrele de carbon din materiale compozite termorigide, prin topire pentru a separa fibrele de matrice din materialele compozite termoplastice și prin ardere pentru a recupera energie.

Având în vedere cererea mare de fibre de carbon, reciclarea poate fi o soluţie pentru a umple golul între cerere și capacitatea de producţie. Dacă în ultimii 15 ani, creșterea de producere a fibrei de carbon a fost de 40MT, în următorii 5 ani va fi nevoie de dublarea cantităţii obţinute.

Bucula poate fi închisă atunci când există nu doar tehnologii de reciclare ci și o metodă de re-introducere a fibrei reciclate în lanţul de producţie al componentelor din materiale compozite.[132]





## 2.2.6. Procedee de fabricație ale materialelor compozite

La alegerea procedei de fabricație al pieselor din materiale compozite se va ține seama de volumul de producție pe an, de viteza de producție (timpul în care o piesă este finită), dimensiunile și geometria piesei, materiale, calitate, cerințele de performanță.

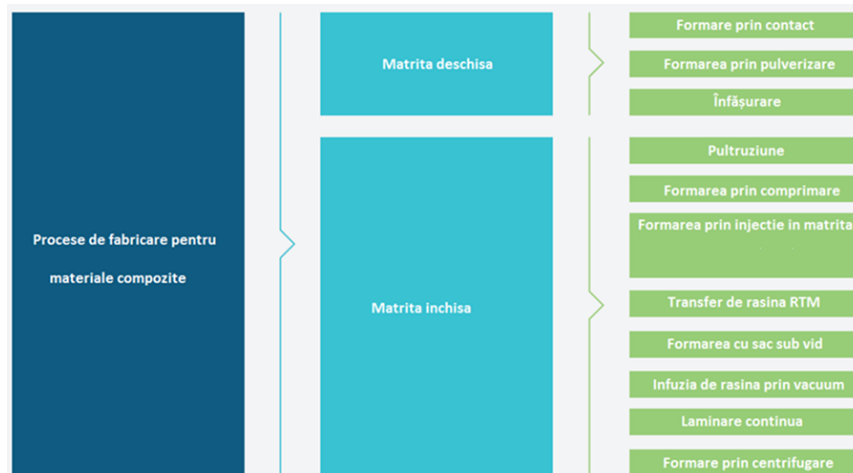


Figura 2.8: Procedee de formare a materialelor compozite

Tehnologiile actuale de fabricație a componentelor din materiale compozite nu pot asigura așezarea uniformă a straturilor, chiar dacă sistemul este automatizat. Pentru aceasta este nevoie ca fiecare strat să fie identic cu cel anterior iar caracteristicile materialelor compozite nu ajută. Provocarea este aceea de a obține o componentă din materiale compozite cu o structură uniformă în orice secțiune.

Costul este cel care influențează puternic alegerea procesului de fabricație. În fig.2.9 este analizat costul procedeelelor principale de formare.

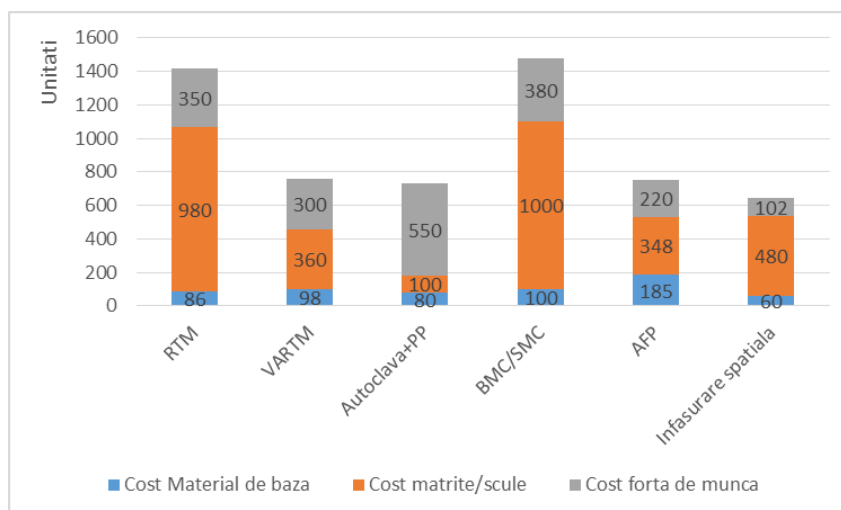


Figura 2.9: Costul pe unitate (100 buc) pentru fiecare proces de fabricație

În ultimii ani, au fost înregistrate progrese în modelarea materialelor compozite deși mai sunt încă goluri în a estima comportarea unui nou material compozit cunoscând procesul de formare și caracteristicile constituienților produsului.



## 2.2.9. Aplicații ale materialelor compozite. Coloane de direcție pentru automobile

Cincinnati Inc și ORNL, SUA, au reușit să producă prin tehnologia imprimării 3D, caroseria unui Ford Shelby Cobra, folosindu-se de un echipament extrem de scump (Fig.2.10). Acesta produce componente foarte mari în câteva zile, folosind mai multe procese post-producție.

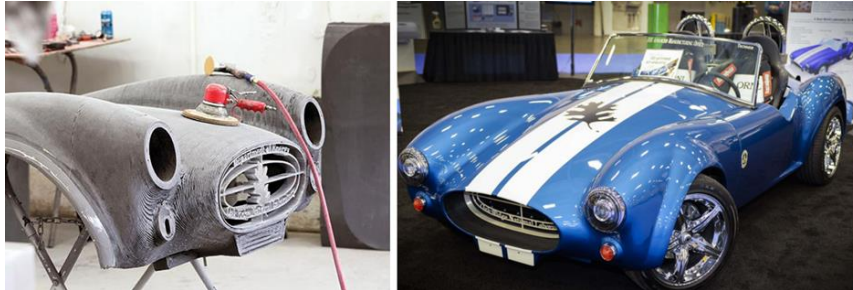


Figura 2.10: Ford Shelby Cobra 3D Print [Sursa:JEC Composite]

Folosindu-se de procese „împrumutate” din tehnologia metalelor sau de unele inovative dezvoltate pentru compozite, marii producători de componente auto, înlocuiesc treptat componentele metalice cu cele pe bază de fibră de carbon. Provocarea constă în a produce piese mici cu geometrie complexă, cu un cost cât mai scăzut, comparabil cu oțelul, la o calitate ridicată. Pentru a produce piese din materiale compozite, trebuie luat în considerare întreg lanțul de producție, începând de la furnizorii de materiale prime și până la cei care reciclează piesele din materiale compozite (Fig.2.11).

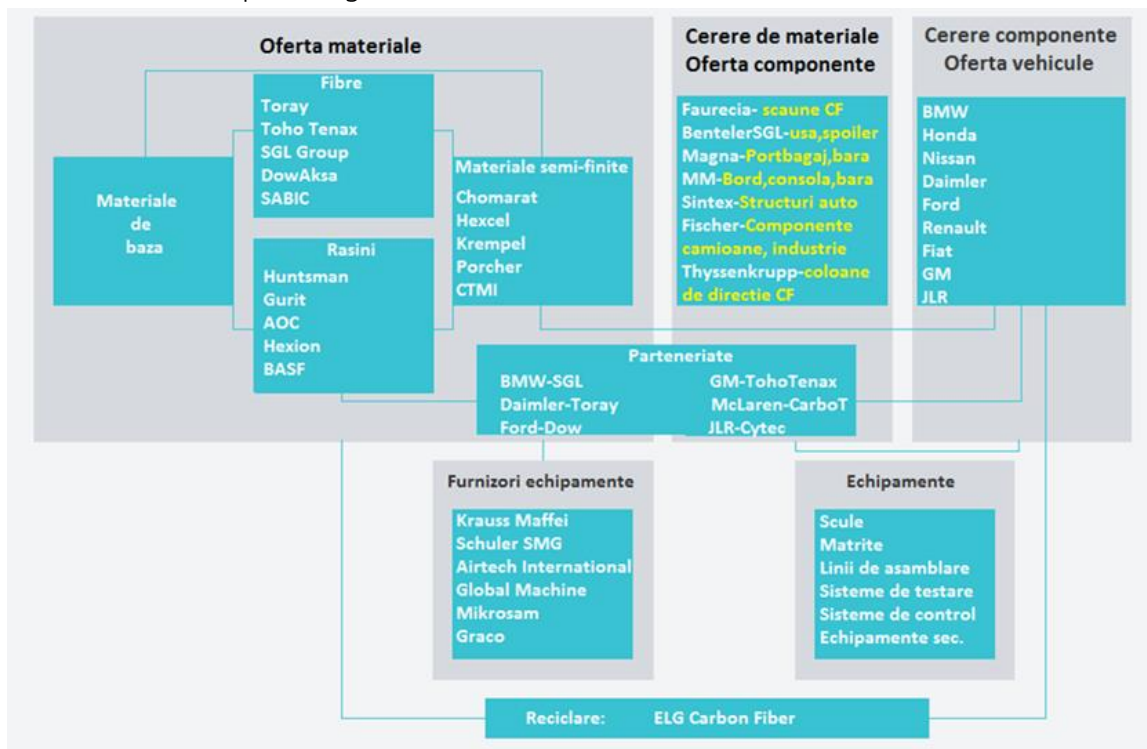


Figura 2.11: Lanțul de producție pentru componente din materiale compozite

Una dintre cele mai interesante aplicații ale materialelor compozite o reprezintă consola coloanei de direcție, datorită dimensiunilor mici și formei complexe.



Două componente se regasesc în majoritatea coloanelor de direcție, și anume, consola coloanei de direcție, cu geometrie complexă și carcasa coloanei de direcție cu o formă geometrică relativ simplă. Ele au fost produse în laboratoarele Universității Transilvania din Braşov, din materiale compozite pe bază de fibre de carbon, utilizând trei procedee de formare : autoclava, RTM și înfășurare spațială.



Figura 2.12: Componente din materiale compozite în structura coloanei de direcție

Carcasa coloanei de direcție are o formă relativ simplă (tub). Aceasta poate fi obținută atât prin pultruziune cât și prin înfășurare. Rolul carcasei este acela de conecta volanul la arborele de direcție care transmite momentul de torsiune.

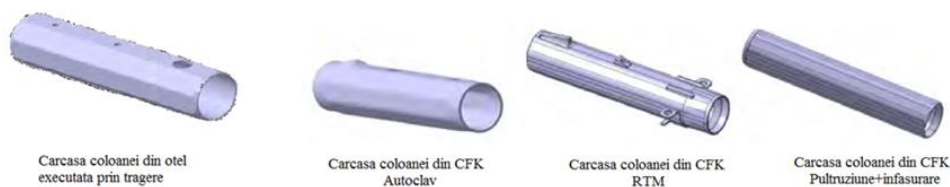


Figura 2.13: Desen CAD- carcasa coloanei de direcție în funcție de procesul de fabricație [32]

Consola coloanei de direcție are o formă geometrică complexă și asigură legătura coloanei cu planșa bord. Ea permite, prin intermediul unui mecanism, ajustarea pe verticală și orizontală a coloanei de direcție (Fig.2.14).



Figura 2.14: Desen CAD- consola coloanei de direcție în funcție de procesul de fabricație [32]

Pentru această componentă, procesul de fabricație este extrem de important având în vedere provocarea de a obține o piesă cu geometrie complexă, într-un timp de fabricație mic de două minute / piesă. În capitolele ce urmează se va realiza optimizarea calculului materialelor compozite și testarea acestora. Pe baza rezultatelor provenite din calcul și testare, se va realiza optimizarea tehnologiilor de formare a carcasei coloanei de direcție din materiale compozite.

### 3. MODELE DE CALCUL PENTRU PIESELE DIN MATERIALE COMPOZITE

Compozitele fiind alcătuite din componente de natură diferită, comportarea mecanică a materialelor compozite se deosebeşte mult faţă de cea a materialelor convenţionale. Astfel, în cazul materialelor compozite, nu mai poate fi aplicată ipoteza mediului omogen şi izotrop, studiul legilor constitutive făcându-se într-un mod cu totul diferit faţă de cel al materialelor clasice.

-Micromecanica: Studiază materialul compozit la scară microscopică, stabilind caracteristicile elastice şi mecanice din punctul de vedere al interacţiunii dintre fazele componente;

-Macromecanica: Analizează materialul la scară macroscopică, admitând ipoteza omogenităţii; influenţa fazelor componente se manifestă la nivel macroscopic prin intermediul caracteristicilor mecanice globale.

Aceste condiţii au condus la noţiunea de compozit laminar-un strat subţire de material compozit alcătuit dintr-un singur plan de armare şi matricea aferentă. Un compozit modern este un stratificat alcătuit din mai multe lamine.

#### 3.1 Modele de calcul pentru materiale compozite

Modelele matematice au fost dezvoltate adoptând ipoteze privind câmpul intern de tensiuni şi deformaţii şi/sau geometria internă.

Metodele utilizate pot fi grupate astfel:

- tehnici numerice;
- modele cu incluziuni;
- modele de estimare prin mărginire;;
- modele semi-empirice;
- modele mecanice

Modelul liniar :

Atât fibra cât şi matricea, având o comportare liniar elastică, pot fi modelate prin echivalarea cu resorturi asamblate în serie sau în paralel.

Legea amestecurilor, utilizată pentru a determina caracteristicile materialului compozit pe direcţia longitudinală, oferă rezultate comparative cu cele ale încercărilor experimentale.

Proprietăţile fizico-mecanice ale materialelor compozite condiţionează comportarea acestora la nivelul fibrelor şi a matricei. Pentru că legătura între fibră şi matrice este importantă, deseori suprafaţa fibrei este tratată chimic pentru a o majora. Din această cauză exista o regiune de interfaţă între materialul de tratare al fibrei şi matricei. Această regiune nu modifică caracteristicile materialului compozit, datorită fracţiei volumice reduse, dar accentuează rezistenţa.

Având în vedere ipotezele enumerate mai sus, caracteristicile elastice care apreciază comportarea materialului compozit sunt :



- modulul de elasticitate pe direcția fibrelor  $E_x$  [MPa];
- modulul de elasticitate pe direcția perpendiculară pe fibre  $E_y$  [MPa];
- modulul de forfecare  $G_{xy}$  [MPa];
- modulul de elasticitate pe o direcție oarecare  $E_\beta$  [MPa];
- coeficientul lui Poisson  $\nu_{xy}$ .

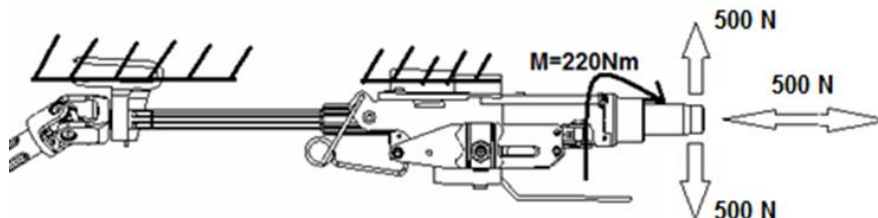


Figura 3.1: Schema de calcul pentru consola coloanei de direcție, forțele și momentele active

Pentru calculul structurii studiate, s-a luat în considerare răsucirea fibrelor în timpul înfășurării și volumul de goluri al materialului compozit. Volumul de goluri influențează modulul de forfecare pe direcție transversală. De asemenea, rezistența materialului pe direcția longitudinală este influențată de volumul de goluri dar mai ales de impregnarea ne-uniformă.

### 3.2 Comportamentul materialelor compozite la nivel micromecanic

Elementul de bază al unei structuri stratificate îl reprezintă lamina armată unidirecțional cu fibre inserate într-un sistem de rășină (matricea).

Solicitările compuse pot determina mecanisme de rupere diferite în funcție de materialul studiat.

Se vor analiza mecanismele de rupere pentru compozitele armate unidirecțional supuse următoarelor solicitări simple:

- întindere (compresiune) pe direcțiile longitudinală și transversală;
- încovoiere.

### 3.3 Macromecanica laminelor compozite armate cu fibre lungi

Macromecanica analizează materialul la scară microscopică, admitând ipoteza omogenității (lamelă ortotropă). Influența fazelor componente se manifestă la nivel macroscopic prin intermediul caracteristicilor mecanice globale.

Planul x-y-z este sistemul principal de axe unde axa x este pe direcția fibrelor, y este pe direcția perpendiculară (definește lățimea lamelei), iar axa z este perpendiculară pe planul x-y.

Planul  $x_1-y_1-z_1$  este unul deviat față de cel principal cu un unghi  $\theta$ .

Analiza la nivel macromecanic arată comportarea materialului compozit ca un întreg.

Caracteristicile acestuia trebuie să fie superioare caracteristicilor fiecăruia dintre componentele sale.



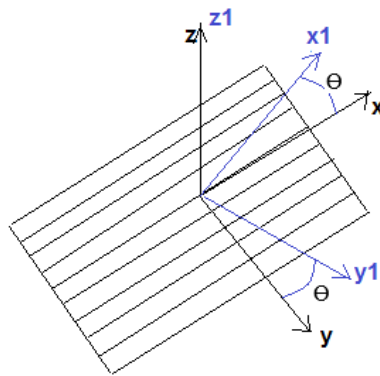


Figura 3.2: Sistemul de axe pentru cazul analizei macromecanice

### 3.4 Calculul consolei coloanei de direcție din materiale compozite

Materialul de ranforsare este fibra de carbon iar matricea este din rășină epoxidică.

După înfășurare, manunchiul de fibre apare sub forma unui cilindru solid. Geometria rectangulară ( $h = 20$  mm,  $t = 10$  mm), este redată cu ajutorul unei matrițe. Experimental s-a stabilit că numărul de treceri trebuie să fie 40 pentru 24K (1200tex) fibra de carbon și 15 treceri de 50K (3200tex) fibra de carbon.

Se considera  $L=100$  mm și se notează cu  $S_f$ - suprafața fibrelor ;  $S_m$ -suprafața matricei;  $S_p$ -suprafața unei porozități.

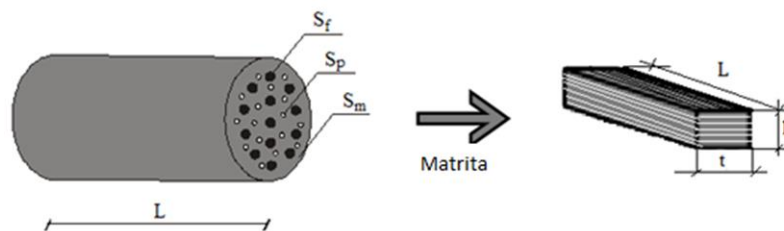


Figura 3.3: Geometria secțiunii piesei din materiale compozite

Calculul s-a făcut pentru trei tipuri de materiale compozite după cum urmează :

- 1.Fibra de carbon Sigrafil C 30 + matrice Epicote LR 385;
- 2.Fibra de carbon T700 + matrice XB3585 ;
- 3.Fibra de sticlă + matrice XB 3585.

Luând în considerare datele de mai sus, s-au calculat caracteristicile noului compozit.

De asemenea pe structura dată s-au efectuat calcule FEM pentru a stabili punctele slabe ale acesteia și a optimiza geometria cu inserturi metalice.

Compararea rezultatelor calculelor și simularilor cu cele experimentale, oferă o imagine asupra corectitudinii ipotezelor formulate anterior. Pentru calcule s-a adoptat un model care să se potrivească structurii compozite studiate și procesului tehnologic de obținere a acesteia.

Comparația rezultatelor obținute prin calcul cu cele obținute experimental, a condus la dezvoltarea unei metode de calcul optimizate care ține seama de factori de proces, temperatură, golurile de aer din structură, metoda de impregnare cu rășină și de tensiunea de întindere a fibrei în timpul înfășurării.

### 3.4.1 Calculul caracteristicilor mecanice ale materialului compozit

Pentru consola coloanei de direcție a fost ales modelul de calcul pentru compozite armate cu fibre continue. Acest model este cel mai apropiat de tehnologia de formare pentru prototipurile experimentale și ține seama de coeficienții de compensare care depind în mare măsură de modul de așezare al fibrelor, tipul fibrelor, tipul de matrice, cum sunt fibrele impregnate și chiar de tratamentul termic pentru polimerizarea componentei.

Materiale compozite armate cu fibre sunt parte dintr-un material eterogen și anizotrop, astfel încât calculul lor este cu mult mai complex decât al celor tradiționale.

- Determinarea proporției relative de fibre

Materialele compozite sunt puternic dependente de proporția volumică a fibrelor. Aceasta proporție este definită de  $M_f = V_f/V$  unde  $V$  este proporția întregului volum.

Răția volumică maximă a fibrelor este :

$$\varphi_{patrat\ max} = \frac{\pi}{4} = 0.79 \quad (3.1)$$

$$\varphi_{hex\ max} = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} = 0.91 \quad (3.2)$$

Calculule au presupus evaluarea următoarelor mărimi:

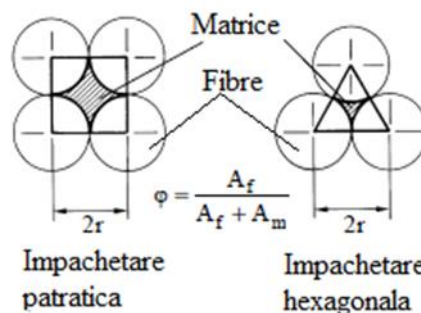


Figura 3.4: Modul de împachetare al fibrelor

- Densitatea compozitului a fost determinată pentru:

$$\begin{aligned} \rho_1 &= \rho_f V_f + \rho_m V_m = 1800 * 0,6 + 1160 * 0,35 = 1486 \frac{kg}{m^3} \\ \rho_2 &= \rho_f V_f + \rho_m V_m = 1800 * 0,6 + 1150 * 0,35 = 1482,5 \frac{kg}{m^3} \\ \rho_3 &= \rho_f V_f + \rho_m V_m = 2500 * 0,6 + 1150 * 0,35 = 1902,5 \frac{kg}{m^3} \end{aligned} \quad (3.3)$$

unde

$\rho_1$  —densitatea pentru compozitul Sigrafil C 30 + matrice Epicote LR 385

$\rho_2$  —densitatea pentru compozitul T700 + matrice XB3585

$\rho_3$  —densitatea pentru compozitul pe bază de sticlă+ matrice XB3585



- Modulul de elasticitate longitudinal ( $E_x$ ) pe direcția forțelor s-a determinat cu relațiile :

$$\begin{aligned} E_{1x} &= E_f V_f + E_m V_m = 240 * 0,6 + 3,3 * 0,35 = 145,15 \text{ GPa} \\ E_{2x} &= E_f V_f + E_m V_m = 290 * 0,6 + 3,5 * 0,35 = 175,23 \text{ GPa} \\ E_{3x} &= E_f V_f + E_m V_m = 85 * 0,6 + 3,5 * 0,35 = 52,22 \text{ GPa} \end{aligned} \quad (3.4)$$

unde

$E_{1x}$  – modulul de elasticitate longitudinal pentru compozitul Sigrafil C 30 + matrice Epicote

$E_{2x}$  – modulul de elasticitate longitudinal pentru compozitul T700 + matrice XB3585

$E_{3x}$  – modulul de elasticitate longitudinal pentru compozitul sticlă+ matrice XB3585

Rapoartele forțelor preluate de fibră și matrice este :

$$\begin{aligned} F_f/F_m &= E_f V_f / E_m V_m = 240 * 0,6 / 3,3 * 0,35 = 125,21 \\ F_f/F_m &= E_f V_f / E_m V_m = 290 * 0,6 / 3,5 * 0,35 = 142,62 \\ F_f/F_m &= E_f V_f / E_m V_m = 85 * 0,6 / 3,5 * 0,35 = 41,8 \end{aligned} \quad (3.5)$$

Rapoartele calculate arată cât de important este aportul fibrelor la rezistența totală a compozitului. Rapoartele sunt mari datorită faptului ca materialul compozit studiat are fibre unidirecționale. Modulul de elasticitate longitudinală trebuie ajustat printr-un coeficient care ține seama de parametrii celulei unitate pentru compozitele armate unidirecțional. Acest coeficient va fi stabilit în capitolul următor.

- Modulul de elasticitate transversal ( $E_y$ ) perpendicular pe direcția forțelor

$$\begin{aligned} E_{1y} &= (E_f * E_m) / (E_f V_m + E_m V_f) = 240 * 3,3 / (240 * 0,35 + 3,3 * 0,6) = 10,42 \text{ GPa} \\ E_{2y} &= (E_f * E_m) / (E_f V_m + E_m V_f) = 290 * 3,5 / (290 * 0,35 + 3,5 * 0,6) = 9,89 \text{ GPa} \\ E_{3y} &= (E_f * E_m) / (E_f V_m + E_m V_f) = 85 * 3,5 / (85 * 0,35 + 3,5 * 0,6) = 9,34 \text{ GPa} \end{aligned} \quad (3.6)$$

unde

$E_{1y}$  – modulul de elasticitate transversal pentru compozitu Sigrafil30 + matrice Epicote;

$E_{2y}$  – modulul de elasticitate transversal pentru compozitul T700 + matrice XB3585;

$E_{3y}$  – modulul de elasticitate transversal pentru compozitul sticlă + matrice XB3585.

- Coeficientul lui Poisson ( $\nu_{xy}$  și  $\nu_{yx}$ )

$$\begin{aligned} \nu_{1,xy} &= V_f \cdot \nu_f + V_m \cdot \nu_m = 0,6 * 0,3 + 0,35 * 0,4 = 0,32 \\ \nu_{2,xy} &= V_f \cdot \nu_f + V_m \cdot \nu_m = 0,6 * 0,27 + 0,35 * 0,41 = 0,30 \\ \nu_{3,xy} &= V_f \cdot \nu_f + V_m \cdot \nu_m = 0,6 * 0,23 + 0,35 * 0,41 = 0,27 \end{aligned} \quad (3.7)$$





$$\begin{aligned}
 \nu_{1yx} &= \nu_{1xy} \cdot \frac{E_{1y}}{E_{1x}} = 0,32 * 10,42 / 145,15 = 0.02 \\
 \nu_{2yx} &= \nu_{2xy} \cdot \frac{E_{2y}}{E_{2x}} = 0,3 * 9,89 / 175,23 = 0.016 \\
 \nu_{3yx} &= \nu_{3xy} \cdot \frac{E_{3y}}{E_{3x}} = 0,31 * 9,34 / 52,22 = 0.048
 \end{aligned}
 \tag{3.8}$$

$\nu_f$  ;  $\nu_m$  – coeficienții lui Poisson pentru fibre respectiv matrice

$\nu_{1xy}$  – Coef. Lui Poisson pentru compozitul Sigrafil C 30 + matrice Epicote

$\nu_{2xy}$  – Coef. Lui Poisson pentru compozitul T700 + matrice XB3585

$\nu_{3xy}$  – Coef. Lui Poisson pentru compozitul sticla + matrice XB3585

- Modulul de forfecare al materialului compozit ( $G_{xy}$ )

$$\begin{aligned}
 G_{xy} &= \frac{G_{xyf} * G_m}{V_f G_m + V_m G_{xyf}} \\
 G_{xyf} &= \frac{E_f}{2(1 + \nu_f)} \\
 G_m &= \frac{E_m}{2(1 + \nu_m)}
 \end{aligned}
 \tag{3.9}$$

Cu relațiile prezentate s-a determinat pentru fiecare material compozit, modulul de forfecare și s-a simulat prin calcul deformația compozitului în funcție de forța de forfecare dată din caietul de sarcini al producătorului, în acest caz 500N.

$$\begin{aligned}
 G_{1xyf} &= \frac{240}{2(1 + 0,3)} = 92,3 \text{ GPa} \\
 G_{2xyf} &= \frac{290}{2(1 + 0,27)} = 114,17 \text{ GPa} \\
 G_{1m} &= \frac{3,3}{2(1 + 0,4)} = 1,17 \text{ GPa} \\
 G_{1xy} &= \frac{92,3 * 1,17}{0,6 * 1,17 + 0,35 * 92,3} = 3,29 \text{ GPa} \\
 G_{2xy} &= \frac{114,17 * 1,24}{0,6 * 1,24 + 0,35 * 114,17} = 3,2 \text{ GPa} \\
 \gamma_{1xy} &= \frac{\tau_{xy}}{G_{1xy}} = \frac{500N/mm^2}{3290N/mm^2} = 0,152 \\
 \gamma_{2xy} &= \frac{\tau_{xy}}{G_{2xy}} = \frac{500N}{3200N/mm^2} = 0,156
 \end{aligned}
 \tag{3.10}$$

unde

$G_{1xy}$  – Modulul de forfecare pentru compozitul Sigrafil C 30 + matrice Epicote;

$G_{2xy}$  – Modulul de forfecare pentru compozitul T700 + matrice XB3585;

$G_{3xy}$  – Modulul de forfecare pentru compozitul sticla + matrice XB3585;

$\gamma_{1xy}$  – deformația unghiulară compozitului Sigrafil C 30 + matrice Epicote;

$\gamma_{2xy}$  – deformația unghiulară compozitului T700 + matrice XB3585;



$\gamma_{3xy}$  — deformația unghiulară compozitului sticla + matrice XB3585;

Se observă că modulul de forfecare, pentru cele trei materiale compozite studiate, are valori apropiate.

Calculul permite să se pună în evidență:

-influența modelului de forfecare asupra deformațiilor

-corelațiile între forțele de forfecare și deformații

Calculul rezistențelor la tracțiune, compresiune, a relațiilor dintre tensiuni și deformații, vor fi efectuate în capitolul de evaluare a comportamentului materialului compozit.

### 3.4.2 Evaluarea materialului compozit la solicitări statice

- Rezistența la tracțiune longitudinală a materialului compozit

-Deformația la rupere a matricei pentru materialul compozit Sigrafil C30:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{mR} &= \frac{S_m}{E_m} = \frac{0,35 \text{ GPa}}{3,3 \text{ GPa}} = 0,1 \\ \varepsilon_{fR} &= \frac{S_f}{E_f} = \frac{4 \text{ GPa}}{240 \text{ GPa}} = 0,01\end{aligned}\quad (3.11)$$

Pentru  $\varepsilon_{mR} > \varepsilon_{fR}$  rezultă  $S_t = V_f S_f + V_m \sigma_m^*$  unde

$V_m \cdot \sigma_m^* = 0,1$  tensiunea medie la rupere a matricei

$$S_t = 0,6 * 4 + 0,1 = 2,5 \text{ GPa} \quad (3.12)$$

Pentru  $S_t > S_m$  se poate afirma că este îndeplinită condiția de ranforsare

Atfel se poate verifica comportarea matricei la rupere:

$$\begin{aligned}V_f \text{ rupere} &= \frac{0,35-0,16}{4-0,16} = 0,049 \\ V_f \text{ min} &= \frac{0,35-0,16}{4-0,35-0,16} = 0,054\end{aligned}\quad (3.13)$$

Dacă  $V_f > V_f \text{ rupere}$  și  $V_f > V_f \text{ min}$  se poate afirma că matricea este rezistentă iar ruperea compozitului depinde de deformarea fibrelor.

- Rezistența la compresiune longitudinală a materialului compozit

Având în vedere că  $V_f > V_m$  rezultă

$$S_{1c} = \frac{G_{1m}}{1-V_f} = \frac{1,17}{1-0,6} = 2,92 \text{ GPa} \quad (3.14)$$



Având în vedere faptul că ruperea se realizează prin forfecare localizată, rezistența la compresiune longitudinală devine:

$$S_{a-c} = 2(V_f T_{a-f} + V_m T_{a-m}) \quad (3.15)$$

$$\text{unde } T_{a-f} = \frac{S_f}{\sqrt{3}} \text{ și } T_{a-m} = \frac{S_m}{\sqrt{3}}$$

Calculule au permis determinarea următoarelor mărimi:

$$S_{a-c} = \frac{2}{\sqrt{3}}(V_f S_f + V_m S_m) = \frac{2}{\sqrt{3}}(0,6 * 4 + 0,35 * 0,35) = 2,91 \text{ GPa} \quad (3.16)$$

$S_{1c}$  - rezistența la compresiune longitudinală- compozitul Sigrafil30 + matrice Epicote

Pentru compresiune longitudinală, rezistența longitudinală este :

$S_{a-c}$  - rezistența la compresiune longitudinală compozitu Sigrafil30 + matrice Epicote

$$S_c = \min(S_{1c}, S_{a-c}) = 2,91 \text{ GPa} \quad \text{pentru Sigrafil C30} \quad (3.17)$$

- Rezistența la compresiune transversală a materialului compozit

O lamină unidirecțională va avea o rezistență redusă la acest tip de solicitare deoarece ruperea apare în matrice la un unghi de  $45^\circ$  față de direcția forței de compresiune.

Pentru un material izotrop și omogen (matricea) rezultă :

$$\begin{aligned} Y_{1c} &= \frac{S_m}{\sqrt{3}} = \frac{0,35}{\sqrt{3}} = 0,2 \text{ GPa} \\ Y_{2c} &= \frac{S_m}{\sqrt{3}} = \frac{0,074}{\sqrt{3}} = 0,04 \text{ GPa} \end{aligned} \quad (3.18)$$

- Rezistența la tracțiune transversală a materialului compozit

Dacă fisura se produce, aceasta se propagă în matrice, perpendicular pe direcția forței de tracțiune (în spațiile dintre fire) sau la nivelul interfeței dintre matrice și fibre.

Prin calcule se determină valorile factorului de alungire și a alungirii compozitului:

$$f_{1al} = \frac{1}{1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\varphi(1 - \frac{E_m}{E_f})}} = \frac{1}{1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{0,6(1 - \frac{3,3}{240})}} = 0,15 \quad (3.19)$$

$$\varepsilon_{1\perp} = \frac{\varepsilon_m R}{f_{1al}} = \frac{0,1}{0,15} = 0,66\% \quad (3.20)$$

- Rezistența la forfecare a materialului compozit

$$T_{xy} = \frac{P_{max}}{2bh} = \frac{500}{2 * 10 * 20} = 1,25 \text{ N/mm}^2 \quad (3.21)$$



$P_{max}$  – încărcarea maximă, b- lăţimea epruvetaului, h-grosimea epruvetaului

- Determinarea matricei de flexibilitate a materialului compozit

$[S_p]$  - este matricea de flexibilitate a laminei ortotrope (stare plană de tensiune)

Astfel, pentru compozitul care foloseşte Sigrafil C30, flexibilităţile reduse ale laminei sunt:

$$\begin{aligned}
 S_{11} &= \frac{1}{E_{1x}} = \frac{1}{145150} = 6,89 * 10^{-6} mm^2 / N \\
 S_{12} &= -\frac{\nu_{yx}}{E_{1y}} = -\frac{\nu_{1xy}}{E_{1x}} = -\frac{0,32}{145150} = -2,2 * 10^{-6} mm^2 / N \\
 S_{22} &= \frac{1}{E_y} = \frac{1}{10420} = 0,96 * 10^{-6} mm^2 / N \\
 S_{66} &= \frac{1}{G_{1xy}} = \frac{1}{3290} = 0,03 * \frac{10^{-6} mm^2}{N}
 \end{aligned} \tag{3.22}$$

$S_{11}, S_{12}, S_{22}, S_{66}, S_{13}, S_{12}$  – flexibilităţile reduse ale lamelei ortotrope în starea de tensiune plană

- Determinarea matricei de rigiditate a laminei, la nivel macromecanic

Matricea de rigiditate se obţine prin inversarea matricei de flexibilitate.

În funcţie de constantele elastic, aceste rigidităţi devin:

$$\begin{aligned}
 Q_{11} &= \frac{E_{1x}}{1-\nu_{xy}\nu_{yx}} = \frac{145150}{1-0,32*0,02} = 146616 N/mm^2 \\
 Q_{12} &= \frac{\nu_{xy} E_x}{1-\nu_{xy}\nu_{yx}} = \frac{0,32 * 145150}{1-0,32 * 0,02} = 46917 N/mm^2 \\
 Q_{22} &= \frac{E_y}{1-\nu_{xy}\nu_{yx}} = \frac{10420}{1-0,32*0,02} = 10525 N/mm^2 \\
 Q_{66} &= 3290 N/mm^2
 \end{aligned} \tag{3.23}$$

$Q_{11}, Q_{12}, Q_{22}, Q_{66}$  - rigidităţile reduse ale lamelei ortotrope în starea de tensiune plană

- Determinarea flexibilităţilor şi rigidităţilor pentru forţe pe direcţia unghiul  $\theta$

Acceptând analogia de calcul elaborată anterior şi de unghiul  $\theta$ , de relaţiile

anterioare, rezultă flexibilităţile şi rigidităţile transformate pentru  $\theta = 90^\circ$ :

$$\begin{aligned}
 S_{\theta 11} &= S_{22} & Q_{\theta 11}^{90} &= Q_{22} \\
 S_{\theta 12} &= S_{12} & Q_{\theta 12}^{90} &= Q_{12} \\
 S_{\theta 22} &= S_{11} & Q_{\theta 22}^{90} &= Q_{11} \\
 S_{\theta 66} &= S_{66} & Q_{\theta 66}^{90} &= -Q_{66}
 \end{aligned} \tag{3.24}$$



### 3.4.3 Relații între tensiuni și deformații pentru structura consolei coloanei de direcție

Pentru a determina aceste relații trebuie ca toate tensiunile diferite de zero să fie în planul laminei (lamina ortotropă)  $\sigma_z = 0, \tau_{yz} = 0, \tau_{zx} = 0$

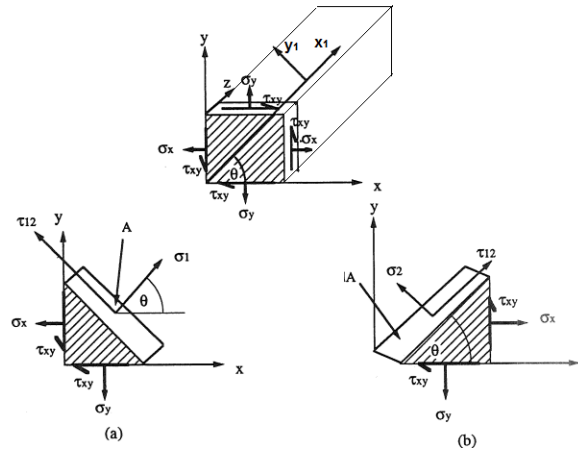


Figura 3.5: Tensiuni și deformații în lamina general ortotropă

Pentru compozitul Sigrafil C30, pentru unghiul  $\theta=0^\circ$  (direcția fibrelor) rezultă:

$$\begin{aligned} Q_{11}^\circ &= Q_{11} \cos^4 \theta + 2(Q_{12} + 2Q_{66}) \cos^2 \theta \sin^2 \theta + Q_{22} \sin^4 \theta = Q_{11} \\ Q_{12}^\circ &= (Q_{11} + Q_{22} - 4Q_{66}) \cos^2 \theta \sin^2 \theta + Q_{12} (\sin^4 \theta + \cos^4 \theta) = Q_{12} \\ Q_{22}^\circ &= Q_{11} \sin^4 \theta + 2(Q_{12} + 2Q_{66}) \cos^2 \theta \sin^2 \theta + Q_{22} \cos^4 \theta = Q_{22} \\ Q_{66}^\circ &= Q_{66} \end{aligned} \quad (3.25)$$

Matricea de rigiditate extensională, care se referă la forțele de tracțiune care acționează asupra grinzii, este:

$$\begin{aligned} A_{x11}^\circ &= Q_{11}^\circ * h = \frac{146616N}{mm^2} * 20mm = 2932320 \frac{N}{mm} \\ A_{x12}^\circ &= Q_{12}^\circ * h = \frac{46917N}{mm^2} * 20mm = 938340 \frac{N}{mm} \\ A_{x22}^\circ &= Q_{22}^\circ * h = \frac{10525N}{mm^2} * 20mm = 210500 \frac{N}{mm} \\ A_{x66}^\circ &= Q_{66}^\circ * h = \frac{3290N}{mm^2} * 20mm = 65800 \frac{N}{mm} \end{aligned} \quad (3.26)$$

În schimb matricea de rigiditate la indoire se referă la momentele încovoietoare care acționează asupra grinzii. Termenii acestei matrici sunt:

$$\begin{aligned} D_{x11}^\circ &= Q_{11}^\circ * \left( \frac{h^3}{12} + h * b^2 \right) = \frac{146616N}{mm^2} * \left( \frac{8000mm^3}{12} + 20 * 100mm^3 \right) = 390975 Nm \\ D_{x12}^\circ &= Q_{12}^\circ * \left( \frac{h^3}{12} + h * b^2 \right) = 125111,68 Nm \\ D_{x22}^\circ &= Q_{22}^\circ * \left( \frac{h^3}{12} + h * b^2 \right) = 28066,6 Nm \\ D_{x66}^\circ &= Q_{66}^\circ * \left( \frac{h^3}{12} + h * b^2 \right) = 8773,31 Nm \end{aligned} \quad (3.27)$$

Utilizând relațiile anterioare putem deduce :



$$\sigma_x = Q_{11} * \varepsilon_x + Q_{12} * \varepsilon_y = \frac{146616N}{mm^2} * 8,52 * 10^{-5} + \frac{46917N}{mm^2} * 26,6 * 10^{-5}$$

$$\sigma_x = 25 N/mm^2$$

$$\sigma_y = Q_{12} * \varepsilon_x + Q_{22} * \varepsilon_y = \frac{46917N}{mm^2} * 8,52 * 10^{-5} + \frac{10525N}{mm^2} * 26,6 * 10^{-5}$$

$$\sigma_y = 6,80 N/mm^2 \quad (3.28)$$

Pe direcția X1 pentru unghiul  $\theta=0^\circ$  rezultă:

$$\sigma_{x1}^0 = \sigma_x \cos^2 \theta + \sigma_y \sin^2 \theta + 2\tau_{xy} \cos \theta \sin \theta = \sigma_x = 25 N/mm^2$$

$$\sigma_{y1}^0 = \sigma_x \sin^2 \theta + \sigma_y \cos^2 \theta - 2\tau_{xy} \cos \theta \sin \theta = \sigma_y = 6,80 N/mm^2 \quad (3.29)$$

$$\tau_{xy1}^0 = -\sigma_x \cos \theta \sin \theta + \sigma_y \cos \theta \sin \theta + \tau_{xy} (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta) = 0 N/mm^2$$

Urmând aceeași procedură se obțin tensiunile și deplasările pentru celelalte două tipuri de materiale compozite studiate

Tabel 3.1: Constantele elastice ale materialelor compozite studiate

Prop. de material	$E_x$ [GPa]	$E_y$ [GPa]	$\nu_{xy}$	$\nu_{yx}$	$G_{xy}$ [GPa]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
Tip compozit						
Sigrafil C30	145,15	10,42	0,32	0,02	3,29	1486
T700	175,23	9,89	0,3	0,016	3,2	1482,5
E-glass	52,22	9,34	0,27	0,048	3,33	1902,5

Tabel 3.2: Tensiunile materialelor compozite pe direcțiile longitudinală și transversală

	Tensiuni normale [N/mm <sup>2</sup> ] $\theta=0^\circ$	Tensiuni normale [N/mm <sup>2</sup> ] $\theta=0^\circ$	Tensiuni tangențiale [N/mm <sup>2</sup> ] $\theta=0^\circ$	Tensiuni normale [N/mm <sup>2</sup> ] $\theta=90^\circ$	Tensiuni normale [N/mm <sup>2</sup> ] $\theta=90^\circ$	Tensiuni tangențiale [N/mm <sup>2</sup> ] $\theta=90^\circ$
	$\sigma_x = \sigma_{x1}^0$	$\sigma_y = \sigma_{y1}^0$	$\tau_{xy} = \tau_{x1y1}^0$	$\sigma_{x1}^{90}$	$\sigma_{y1}^{90}$	$\tau_{x1y1}^{90}$
Tip compozit						
Sigrafil C30	25	6,8	0	4,06	9,01	3,32
T700	29,2	6,08	0	3,63	8,68	3,38
E-glass	8,78	11,2	0	7,17	9,73	1,71

Tabel 3.3: Deformațiile materialelor compozite pe direcțiile longitudinală și transversală

	Deformații specifice liniare longitudinale $\theta=0^\circ$	Deformații specifice liniare transversale $\theta=0^\circ$	Deformații specifice unghiulare longitudinale $\theta=0^\circ$	Deformații specifice liniare longitudinale $\theta=90^\circ$	Deformații specifice liniare transversale $\theta=90^\circ$	Deformații specifice unghiulare transversale $\theta=90^\circ$
	$\varepsilon_x = \varepsilon_{x1}^0$	$\varepsilon_y = \varepsilon_{y1}^0$	$\gamma_{xy} = \gamma_{x1y1}^0$	$\varepsilon_{x1}^{90}$	$\varepsilon_{y1}^{90}$	$\gamma_{x1y1}^{90}$
Tip compozit						
Sigrafil C30	$8,52 * 10^{-5}$	$26,64 * 10^{-5}$	0	$5,9 * 10^{-13}$	$22,74 * 10^{-5}$	0
T700	$7,26 * 10^{-5}$	$23,54 * 10^{-5}$	0	$4,67 * 10^{-13}$	$19,53 * 10^{-5}$	0
E-glass	$23,45 * 10^{-5}$	$78,19 * 10^{-5}$	0	$42,86 * 10^{-13}$	$66,10 * 10^{-5}$	0

Valorile mărimilor calculate cu relațiile de mai sus și rezultatele din tabelele anterioare, arată că tensiunile în



fiecare strat, cu forţele care acţionează în mijlocul grinzii, având în vedere că nu există un moment de încovoiere, vor fi proporţionale. Pentru că lamina este simetrică, ortotropă, tensiunile din jumătatea secţiunii superioare sunt aceleaşi cu cele din jumătatea inferioară dar cu semn schimbat.

Calcululele au permis determinarea deformaţiilor şi a tensiunilor admisibile în secţiunile reprezentative ale consolei coloanei de direcţie. Acestea au asigurat optimizarea secţiunii consolei care a fost supusa ulterior unei analize FEM.

### 3.4.4 Analiza FEM pentru structura studiată

Pentru analiza FEM a fost folosit programul Ansys

Pentru materialele compozite este extrem de important ca setările softului Ansys să permită un număr cât mai mare de celule identice, astfel încât analiza să producă rezultate asemănătoare cu cele obţinute prin experimente.

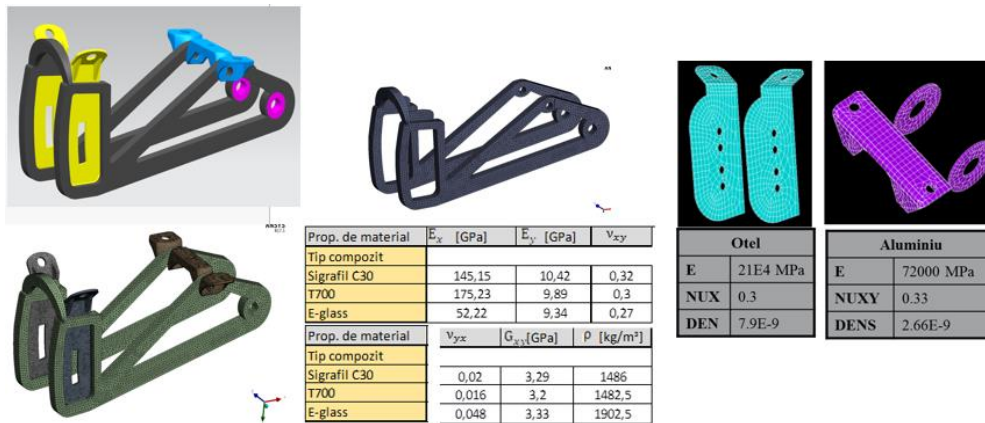


Figura 3.6: Caracteristicile materialului componentelor structurii optimizate

Structura a fost fixată în punctele de prindere de pe caroseria autovehiculului şi a fost încărcată longitudinal şi transversal, conform schemei din figura 3.7.

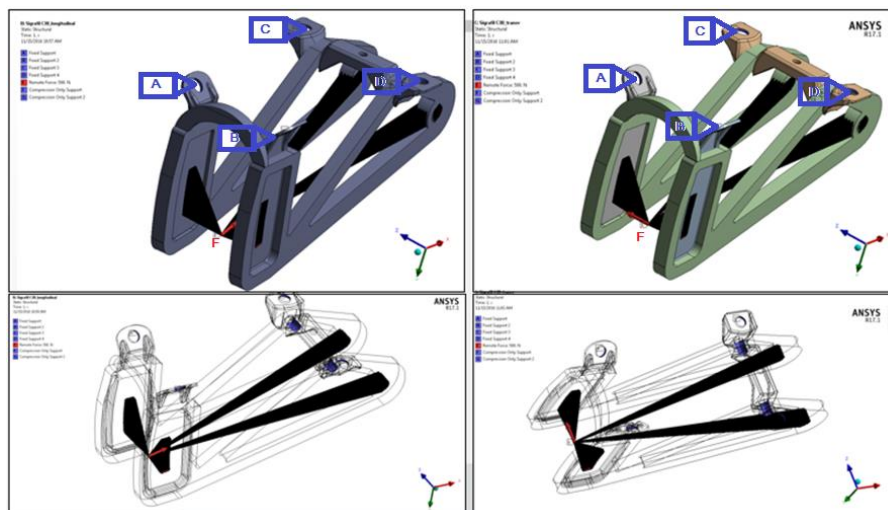


Figura 3.7: Schema de încărcare. Longitudinal (stânga) şi transversal (dreapta)

Rezultatele analizei au permis dezvoltarea unui nou design pentru consola coloanei de direcţie. Punctele sensibile scoase în evidenţă de analiza FEM trebuie să fie ranforsate cu fibra de carbon.



Matricea joacă un rol important în calculul rezistenţei structurii reprezentând un factor suplimentar care trebuie avut în vedere în comportarea materialului compozit.

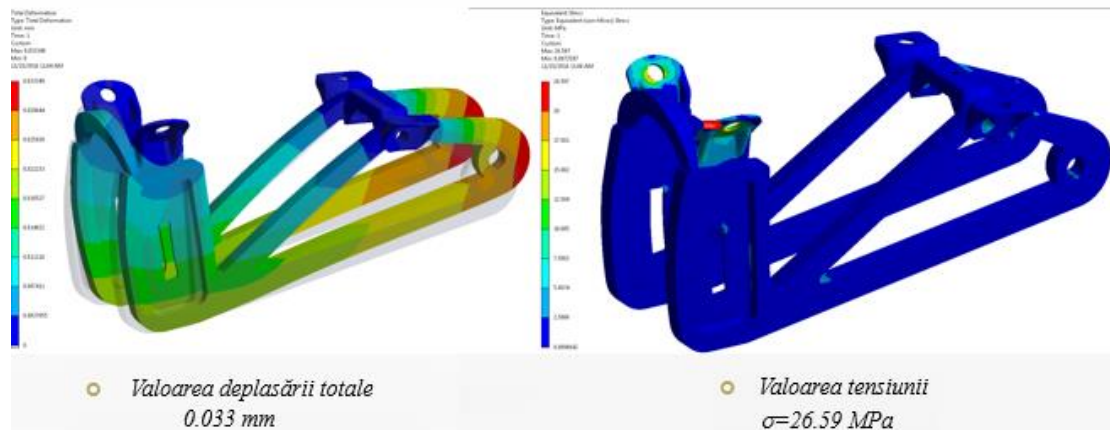


Figura 3.8: Rezultatele deplasării totale și a tensiunilor pe direcția transversală (Sigrafil C30)

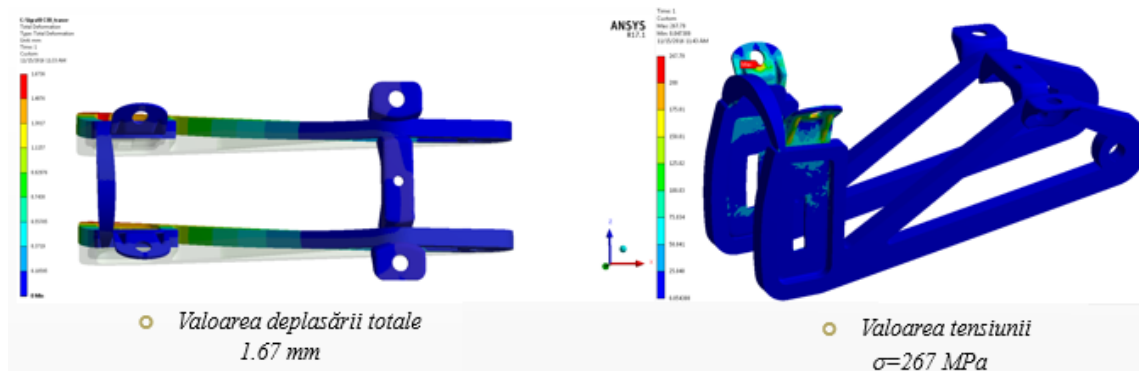


Figura 3.9: Rezultatele deplasării totale și a tensiunilor pe direcția longitudinală, (Sigrafil C30)

-Analizele întreprinse au permis definirea unui nou design pentru consola coloanei de direcție. Acesta conține atât elemente din materiale compozite armate cu fibre de carbon cât și unele metalice. Eliminarea materialului din zonele care nu sunt supuse la solicitări mecanice, au permis reducerea masei consolei și simplificarea procedurii de formare și diminuarea substanțială a costurilor produsului finit

-Modelarea și analiza structurilor realizate din materiale compozite, se reduce, de regulă, la alegerea unei metode de calcul, care poate fi aplicată acestor materiale și la definirea valorilor corespunzătoare constantelor fizice și elastice;

-Analiza MEF a condus la un concept nou pentru designul consolei și configurația matriței. Costul acesteia este mai mare decât al matriței de bază anterior dezvoltate.

-În analiza și evaluarea practică întreprinse pentru consola mecanismului de direcție al autovehiculului, o atenție deosebită s-a acordat joncțiunilor structurilor realizate din materiale compozite, deoarece în zonele respective, de regulă, nu se poate păstra continuitatea straturilor (de exemplu, a fibrelor laminelor) și apare un factor suplimentar care trebuie avut în vedere și anume rășina și influența ei în comportarea materialului compozit.





## 4. TESTAREA PIESELOR DIN MATERIALE COMPOZITE

În general, proprietățile mecanice ale unui material compozit pot fi determinate din răspunsul acestui material la aplicarea unei solicitări mecanice. Încărcările mecanice pot fi statice sau dinamice.

Încercările mecanice clasice aplicate pentru determinarea proprietăților mecanice sunt:

- Tracțiunea – la acest tip de solicitare sunt foarte importante rezistența și rigiditatea fibrelor
- Compresiunea – la solicitarea de compresiune, matricea este cea care asigură menținerea stabilității fibrelor rectilinii și evită flambajul
- Forfecarea – implică alunecarea straturilor adiacente de fibre unul peste altul, matricea fiind cea care asigură legătura puternică cu fibrele.
  - forfecare în-plan- indică legătura fibra-matrice la nivelul fiecărui strat
  - forfecare interlaminara- indică rezistența legăturii între straturi

### 4.1 Testarea la tracțiune

Testele de tracțiune sunt utile pentru a determina rezistența la rupere, modulul de elasticitate, coeficientul lui Poisson, curba tensiune(forță)-deformație.

Lungimea totală  $L = 250 \text{ mm}$

Lungimea tabului  $t = 50 \text{ mm}$

Lațime epruveta  $l = 10 \text{ mm}$

Lungimea de măsurare  $L_0 = 150 \text{ mm}$

Grosimea epruveta  $W = 2 \text{ mm}$

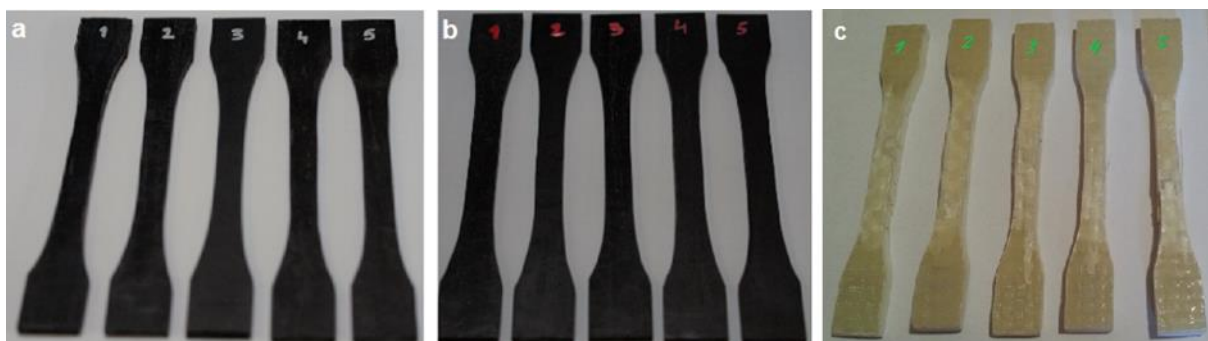


Figura 4.1: Epruvetae pentru solicitarea la tracțiune  
(a) SGL Sigrafil C30 (b) Toray T700 (c) E-glass

Aceste epruvete au fost realizate de către firma SC Compozite din Braşov, folosind fibrele de carbon SGL Sigrafil C 30, Toray T700 și fibra de sticlă E-glass.

A fost aleasă această formă a epruvetelor pentru a evita eventualele tensiuni interne care ar fi putut influența rezultatele.

Tabel 4.1: Valori calculate/măsurate pentru epruvete C30 la test tracțiune longitudinală



Proprietati	Maximum	Minimum	Valoare medie calculata	Valoare medie masurata
Lungimea specimenului [mm]	150	150	150	150
Viteza de testare [mm/min]	1	1	1	1
Latimea specimenului [mm]	10	10	10	10
Grosimea specimenului [mm]	2	2	2	2
Aria [mm <sup>2</sup> ]	20	20	20	20
Rigiditate [N/m]	28785574	22461761	25053073	2578584
Young's Modulus [MPa]	215892	168463	187898	193394
Fora de incarcare maxima [kN]	17.81	12.25	15.71	15.71
Tensiunea de def. la incarcare maxima [MPa]	890.51	612.67	785.75	536.00
Deplasarea masinii la încărcarea maximă [mm]	4.73	2.88	3.96	3.95
Deformația epruvetei la sarcina maximă [mm]	4.73	2.88	3.96	3.61
Lucrul mecanic la sarcina maximă [Nmm]	84209.05	35228.83	62221.07	56560.95
Forța la deformația maximă [kN]	17.34	11.13	15.32	1.91
Tensiunea de def. la deformația maximă [MPa]	866.77	556.28	765.84	323.30
Deplasarea masinii la deformația maximă [mm]	4.84	3.12	4.05	4.75
Lucrul mecanic la deformația maximă [Nmm]	83050.43	45850.75	62364.66	9576.13
Forța la rupere [kN]	17.34	11.13	15.32	15.32
Tensiunea de def. la rupere [MPa]	866.77	556.28	765.84	386.28
Deplasarea masinii la rupere [mm]	4.84	3.12	4.05	4.05
Deformația epruvetei la rupere [mm]	4.84	3.12	4.05	4.05
Lucrul mecanic la rupere [Nmm]	83050.43	45850.75	62364.66	62364.66
Rezistența la tracțiune [MPa]	890.51	612.67	785.75	477.00
Elongația la rupere [mm]	4.84	3.12	4.05	4.75

Rezistența la tracțiune măsurată (477MPa) și tensiunea de deformație la tracțiune (536MPa) au un factor de corecție  $k=0,6$  față de valorile calculate. Modelul de calcul nu poate surprinde comportarea materialului compozit și acest factor de corecție ține seama de particularitățile induse de procedeul de formare a epruvetelor, de legăturile fibră-matrice, de defectele de structură.

La solicitarea de tracțiune, fibrele sunt cele care conferă rezistența și rigiditatea materialului compozit.

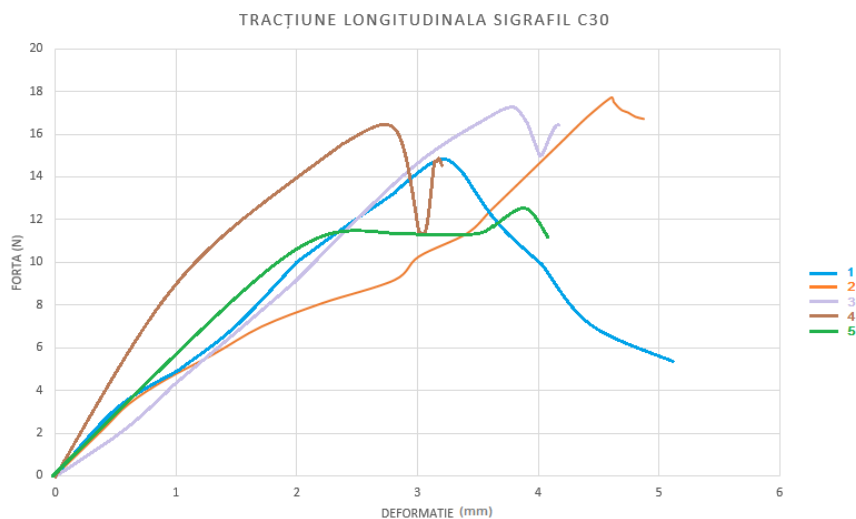


Figura 4.2: Curbele forță-deformație pe direcție longitudinală pentru Sigrafil C30





Figura 4.3: Epruvete (Sigrafil C30) după testarea la tracțiune (a), tipuri de rupere a epruvetelor (b) și delaminarea epruvetelor la tracțiune (c)

Așa cum se vede în figura 4.3, cedarea epruvetelor pe bază de fibră de carbon Sigrafil C30 are loc în zona de testare iar cedarea arată lipsa așchiilor. Lipsa așchiilor este o cerință a WV impusă de legislația europeană. Modulul de elasticitate a epruvetei Sigrafil C30, pe direcție longitudinală are valori mult mai mari decât pe direcție transversală. Crescând raportul fibre și matrice se poate modifica activ și rigiditatea pe direcție transversală însă ea afectează negativ comportamentul pe direcție longitudinală. Se poate concluziona că în funcție de aplicația dorită, există posibilitatea reglării rigidității materialului compozit pe o direcție sau alta .

## 4.2 Testarea la compresiune

Există mai multe moduri de a realiza testele de compresiune :

- încărcare directă la capătul epruvetaului -ASTM D 695 modificat (a);
- încărcarea epruvetaului prin forfecare ASTM D 3410 (b) ;
- metodă mixtă care le combină pe cele anterioare ASTM D 6641 (c).

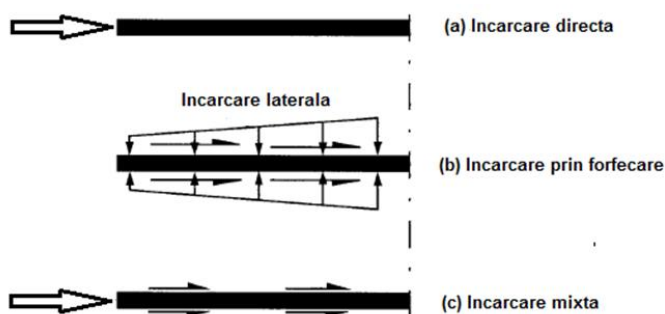


Figura 4.4: Metode de introducere a încărcării pentru testele de compresiune



Figura 4.5 Epruvete categoria I înainte și după aplicarea taloanelor foi metalice

Tabel 4.2: Valori calculate pentru epruvetă (C30) la test compresiune longitudinală

Proprietati	Maximum	Minimum	Valoare medie calculata	Valoare medie masurata
Lungimea specimenului [mm]	150	150	150	150
Viteza de testare [mm/min]	1	1	1	1
Latimea specimenului [mm]	10	10	10	10
Aria [mm <sup>2</sup> ]	20	20	20	20
Rigiditate [N/m]	2278077	737420	1679142	1756374
Young's Modulus [MPa]	17086	5531	12594	13173
Forța de incarcare maxima [kN]	5.849	3.927	5.124	5.124
Deplasarea masinii la forța maxima [mm]				2.517
Deformatia specimenului la forța maxima [mm]				2.517
Forța la deformatia maxima a specimenului [kN]				1.894
Deplasarea masinii la deformatia max. a specimenului [mm]				5.707
Forța max. la rupere [kN]	3.899	2.618	3.071	2.471
Rezistenta la compresiune [MPa]	292.4	196.3	256.2	153.559
Elongatia la rupere a specimenului [mm]				5.707
Tensiunea critica de flambaj [MPa]	1289.3	310.5	867.4	906.768
Tensiunea de deformatie la compresiune [MPa]	195.0	130.9	153.6	123.530

Pentru epruvetele din material compozit pe bază de Sigrafil C 30, testele au permis constatarea a două tipuri principale de rupere: rupere prin forfecare și rupere prin flambaj

COMPRESIUNE LONGITUDINALA SIGRAFIL C30

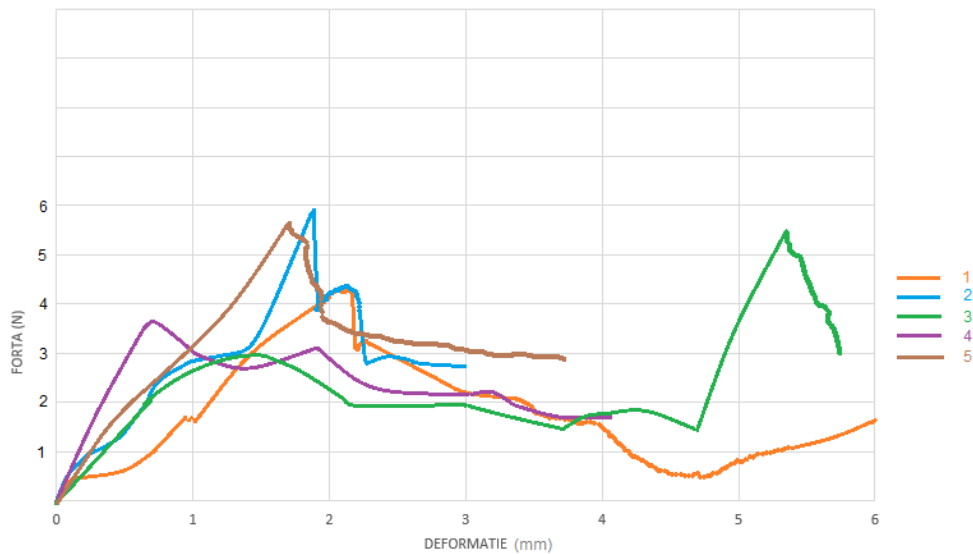


Figura4.6: Curbele forță-deformație la compresiune pe direcție longitudinală pentru (Sigrafil C30)

Testele desfășurate pentru seria de cinci epruvete arată că proprietățile mecanice sunt diferite față de limitele calculate în condiții ideale. Dacă pentru forța de încărcare maximă valorile calculate și cele măsurate sunt identice, pentru forța maximă de rupere valorile sunt diferite, aceasta diferență fiind dată de ipoteza care consideră forța maximă de rupere și forța de încărcare maximă ca fiind una și aceeași.



Figura 4.7: Ruperea epruvetelor pe baza de Sigrafil C30 la compresiune și cele două tipuri de rupere apărute (rupere tip forfecare respectiv rupere prin flambaj)

Experimentele arată însă că cele două forțe pot fi diferite în funcție de structura epruvetei. Chiar dacă epruvetele au fost decupate din aceeași placă, nu există nici un motiv de a considera ca structura lor este aceeași. Această concluzie conduce la propunerea ca automatizarea procesului prin care se obțin componente din materiale compozite, este necesară.

O altă caracteristică importantă este rezistența la compresiune. Valorile calculate și măsurate sunt diferite cauza fiind legătura dintre fibre și matrice, legătură care nu poate fi surprinsă de calculul teoretic.

Calculul tensiunii critice de flambaj și al deformației, verifică corectitudinea metodei de măsurare. În acest caz calculul arată la flambajul poate să apară peste valori medii de 800 MPa iar cedarea epruvetei se poate produce la valori medii de 123,5 MPa.



### 4.3 Testarea la încovoiere

Standardele care reglementează testele la încovoiere ale materialelor compozite sunt ASTM D 790 M, CRAG 2782 și ISO 14125. Diferențele majore dintre primele două standarde au fost înlăturate de ISO, care a reglementat dimensiunile epruvetelui, rata de încărcare, diametrele cilindrilor suport și a celor de presiune, distanța dintre cilindri. etc.

Folosindu-ne de datele măsurate (modulul de elasticitate, forța maximă de încovoiere, deflecția) se poate calcula rigiditatea la îndoire a materialului compozit. Există mai multe modalități de rezolvare a acestui termen (ecuația lui Navier, ipoteza lui Kirchoff) dar în acest caz a fost aleasă a doua soluție care se apropie conceptual de teoria de îndoire a grinzilor.

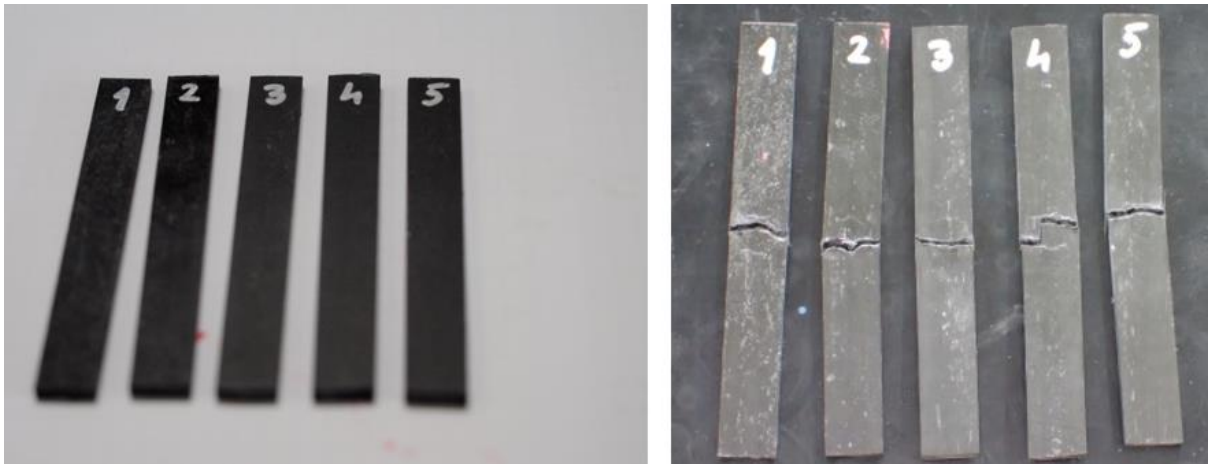


Figura 4.8: Epruvete (Sigrafil C30) pentru încovoiere, înainte și după testare

În figura 4.9 pot fi observate caracteristicile ruperilor a epruvetelor la încovoiere. Așa cum arată fig.4.63, cedarea epruvetei are loc în două etape: prima, în care are loc o smulgere a fibrelor în zona de presiune, pe suprafața inferioară urmată de o rupere plastică. Acest fapt poate fi cauzat de impregnarea neuniformă a fibrelor din partea inferioară a epruvetei.

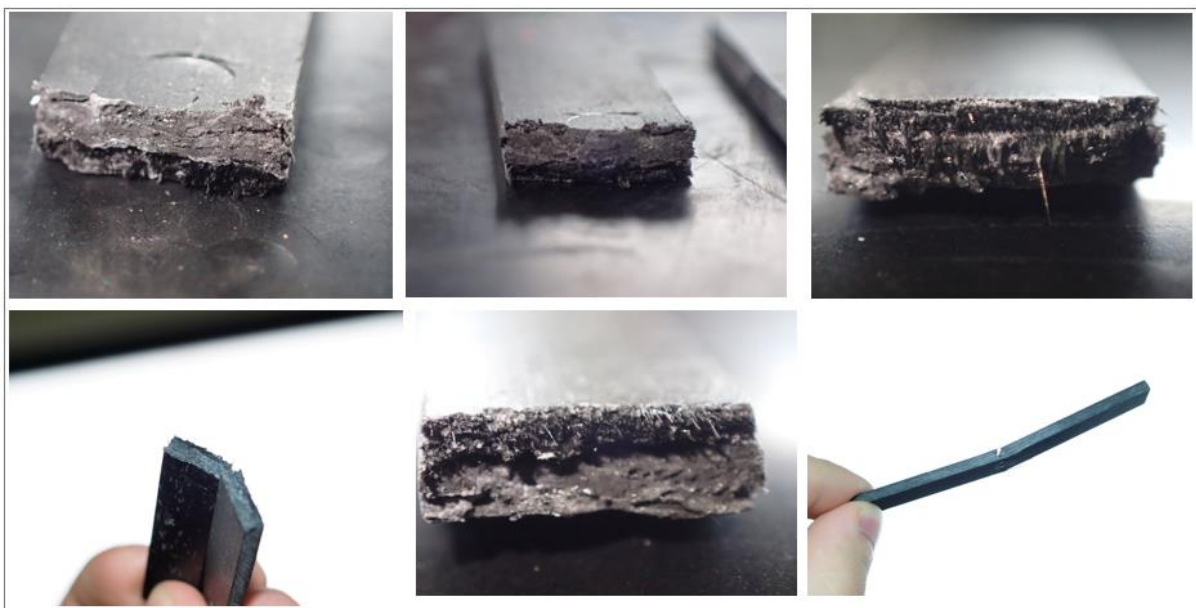


Figura 4.9: Tipuri de rupere a epruvetei (Sigrafil C30) la încovoiere

Mărimile determinate în urma testelor se regăsesc în tabelul 4.26. În acestea sunt prezentate valorile măsurate și calculate pentru rezistența la încovoiere, rezistența la rupere, modulul de elasticitate, deformația la încovoiere și rigiditatea la îndoire.

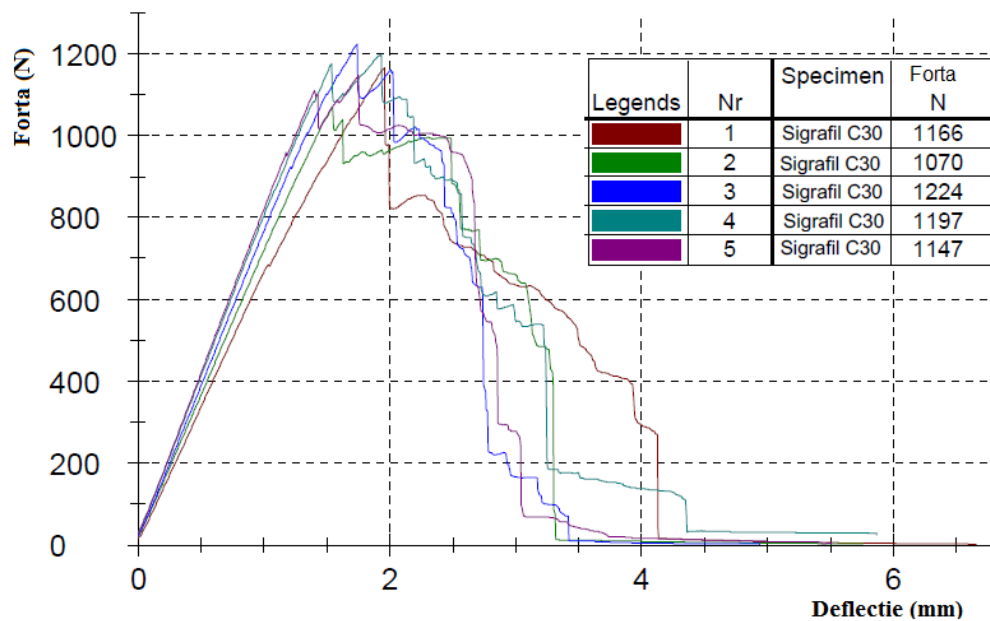


Figura 4.10: Curbele forță-deflecție la încovoiere pentru epruvetele pe bază de Sigrafil C30

Rezultatele (Tab. 4.17) arată valori ridicate pentru rigiditatea la îndoire. Această valoare arată capacitatea materialului compozit de a permite îndoirea fără să se rupă.

Tabel 4.3: Valori calculate/măsurate pentru epruvete Sigrafil C30 la test de încovoiere

Valori calculate pentru epruveta pe baza de fibra de carbon Sigrafil C30								
Specimen	Deformația la încovoiere $\epsilon$ (mm)	Rezistența la încovoiere $S_i$ (MPa)	Rezistența la rupere $S_r$ (MPa)	Modulul de elasticitate la încovoiere $E_f$ (MPa)	Rigiditatea la îndoire $D$ (Nm <sup>2</sup> )	Distanța între suporturi $S$ (mm)	Latime specimen $h$ (mm)	Grosime specimen $b$ (mm)
SII.1	0,0278	310,93	485,33	4758,95	0,00465	80	15	2
SII.2	0,0207	285,33	509,33	8040,30	0,00252	80	15	2
SII.3	0,0215	326,40	525,33	5697,99	0,00407	80	15	2
SII.4	0,0210	319,20	504,00	9643,05	0,00235	80	15	2
SII.5	0,0243	305,87	482,67	12335,79	0,00176	80	15	2
Valori măsurate pentru epruveta pe baza de fibra de carbon Sigrafil C30								
SII.1	0,0053	545,26	525,35	6758,58	0,29459	80	15	2
SII.2	0,0042	525,24	556,32	6625,21	0,38487	80	15	2
SII.3	0,0078	435,58	632,74	6898,24	0,25001	80	15	2
SII.4	0,0062	204,25	580,12	7425,25	0,24324	80	15	2
SII.5	0,0054	487,87	576,24	8800,27	0,27258	80	15	2

Folosindu-ne de datele măsurate (modulul de elasticitate, forța maximă de încovoiere, deflecția) se poate calcula rigiditatea la îndoire a materialului compozit. Există mai multe modalități de rezolvare a acestui termen (ecuația lui Navier, ipoteza lui Kirchoff) dar în acest caz a fost aleasă a doua soluție care se apropie conceptual de teoria de îndoire a grinzilor.



Teste identice au fost realizate și pentru epruvetele pe baza de fibră de carbon T700 respectiv fibra de sticlă RT500.

O imagine asupra diferențelor dintre valorile parametrilor supuși analizei calculați și determinați, este exprimată în tabelul 4.4 și prezintă o comparație a modulelor de elasticitate longitudinal și transversal, respectiv coeficientul lui Poisson. Se determină astfel coeficientul de corecție care ține seama de neregularitățile de fabricație, de legătura inter-faze, de procesul de fabricație, de tipul polimerizării.

Tabel 4.4: Comparație între valorile calculate și măsurate a caracteristicilor materialelor

Valori calculate / Valori masurate	Densitate kg/m <sup>3</sup>	Modulul de elasticitate $E_x$ GPa	Modulul de elasticitate $E_y$ GPa	Coef. Poisson
Sigrafil C30 50K + Epicote LR 385	1486	145.15	10.42	0.32
Sigrafil C30 50K + Epicote LR 385		193.39	61.42	0.32
<b>Coef. Corectie (k)</b>		<b>1.33</b>	<b>5.89</b>	<b>1</b>
T700 24 k + Araldite LY XB 3585	1482.5	175.23	9.89	0.3
T700 24 k + Araldite LY XB 3585		182.97	61.45	0.31
<b>Coef. Corectie (k)</b>		<b>1.04</b>	<b>6.21</b>	<b>1.03</b>
RT 500 24k + Araldite LY XB 3585	1902.5	52.22	9.34	0.27
RT 500 24k + Araldite LY XB 3585		213.37	58.15	0.28
<b>Coef. Corectie (k)</b>		<b>4.09</b>	<b>6.23</b>	<b>1.04</b>

Rezistențele la tracțiune pe direcție longitudinală și transversală precum și rezistența la compresiune, obținute în urma calculului, sunt comparabile cu valorile obținute din testare.

Coeficientul de corecție este foarte mare pe direcție longitudinală din cauza particularităților tehnologice care nu pot fi surprinse de modelul de calcul. Fenomene ca răscucirea fibrelor sau alunecarea straturilor în timpul procesului de presare, sunt acelea care pot afecta decisiv rezistența la tracțiune pe direcție longitudinală.

Mărimea coeficientului de corelație este similară pentru cele trei materiale analizate.

Coeficientul de corelație înregistrează diferențe mari pentru rezistența la tracțiune longitudinală în sensul că valorile obținute experimental sunt cu mult mai mari decât cele obținute prin calcul.

Tabel 4.5: Comparația caracteristicilor de rezistență al compozitelor

Valori calculate / Valori masurate	Rezistența la tracțiune longitudinală [GPa]	Rezistența la tracțiune transversală [GPa]	Rezistența la compresiune longitudinală [GPa]	Rezistența la compresiune transversală [GPa]	Deformația la tracțiune longitudinală [%]	Deformația la compresiune longitudinală [%]
Sigrafil C30 50K + Epicote LR 385	2.5	0.0068	2.91	0.2	0.11	0.66
Sigrafil C30 50K + Epicote LR 385	0.47	0.04	0.15	0.04	0.07	0.11
<b>Coef. Corectie (k)</b>	<b>0.19</b>	<b>5.88</b>	<b>0.05</b>	<b>0.20</b>	<b>0.64</b>	<b>0.17</b>
T700 24 k + Araldite LY XB 3585	3.04	0.006	3.1	0.04	0.037	0.15
T700 24 k + Araldite LY XB 3585	0.5	0.04	0.11	0.04	0.05	0.7
<b>Coef. Corectie (k)</b>	<b>0.16</b>	<b>6.67</b>	<b>0.04</b>	<b>1.00</b>	<b>1.35</b>	<b>4.67</b>
RT 500 24k + Araldite LY XB 3585	1.5	0.011	1.45	0.04	0.045	0.12
RT 500 24k + Araldite LY XB 3585	0.28	0.06	0.18	0.06	0.02	0.24
<b>Coef. Corectie (k)</b>	<b>0.19</b>	<b>5.45</b>	<b>0.12</b>	<b>1.50</b>	<b>0.44</b>	<b>2.00</b>

Coeficienții de corecție determinați oferă o imagine realistă asupra calculelor viitoare și cu ajutorul lor se poate aproxima comportarea reală a compozitului.

Testele întreprinse confirmă faptul că consola coloanei de direcție, realizată din materiale compozite pe bază de fibră de carbon, rezistă la solicitarea impusă de constructor de 500N pe direcția longitudinală și transversală.





## 5 OPTIMIZAREA TEHNOLOGIEI DE FORMARE A CONSOLEI COLOANEI DE DIRECȚIE

Consola coloanei de direcție fixează coloana pe cadrul mașinii prin patru puncte de prindere.

Împreună cu carcasa coloanei, ea face legătură între volan și arborele de direcție. Prin intermediul levierului de ajustare se reglează poziția volanului (sus/jos, înainte/ înapoi). Legătură consolei cu celelalte componente ale coloanei de direcție este redată în figura 5.1

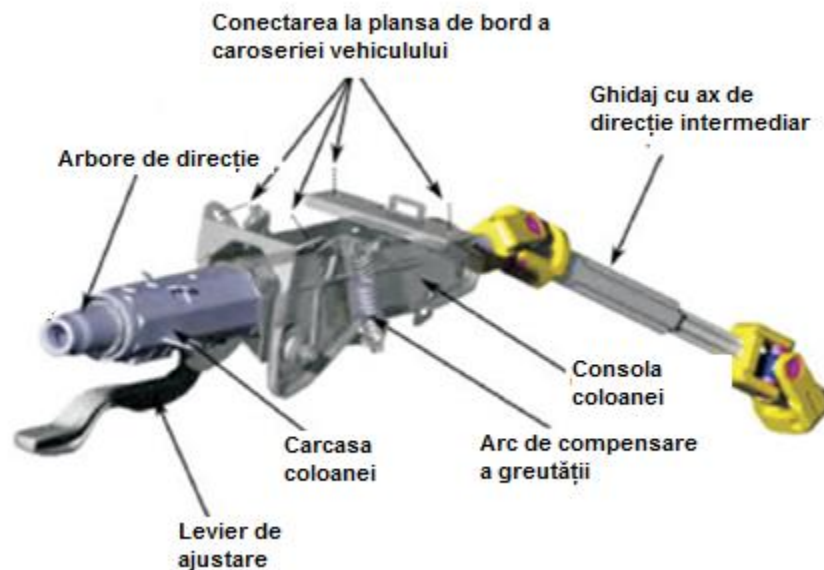


Figura 5.1: Componente sistem de direcție VW Golf 6

Studiile teoretice și practice, întreprinse, s-au desfășurat pentru consola coloanei de direcție a VW Golf 6.

### 5.1 Aspecte privind construcția carcasei coloanei de direcție

Aceasta este realizată, pentru soluțiile clasice, din metal. Aceasta realizează legătură între axul de direcție tubular și volan. Axul de direcție asigură tranferul momentului de torsiune și preia forțele transmise de conducătorul auto, prin intermediul volanului. Aceste forțe și momente de torsiune pot fi de ordinul sutelor de N sau KN în cazul unui impact.

Automobilele moderne au înglobate în structură, componente din materiale compozite armate cu fibră de carbon.

### 5.2 Consola coloanei de direcție

Consola coloanei de direcție are ca principal scop asigurarea legăturii între coloana de direcție și planșa bord și de a transmite forțele de la volan, la vehicul.

Modelele de calcul existente, în funcție de tipul compozitului, nu iau în calcul golurile de aer din structură și posibilitatea ca impregnarea cu rășină să nu fie uniformă.

### 5.3 Tehnologii de formare a consolei coloanei de direcție din materiale compozite

Pentru obținerea coloanei de direcție, din materiale compozite, au fost folosite trei procedee de fabricație :

preimpregnare și polimerizare în autoclavă, RTM și procedeul de înfășurare spațială.

Acesta din urmă a fost dezvoltat pe baza expertizei și experienței acumulate pe durata realizării tezei de doctorat.

Procesul de fabricație prin înfășurare spațială necesită următoarele componente :

- Fibră de carbon –roving;
- Matrice- rășină+coagulant;
- Baie de impregnare cu rășină;
- Sistem de ghidare al fibrei impregnate;
- Roboți;
- Matrița;
- Inserturi din oțel respectiv aluminiu ;
- Cuptor pentru controlul procesului de polimerizare.

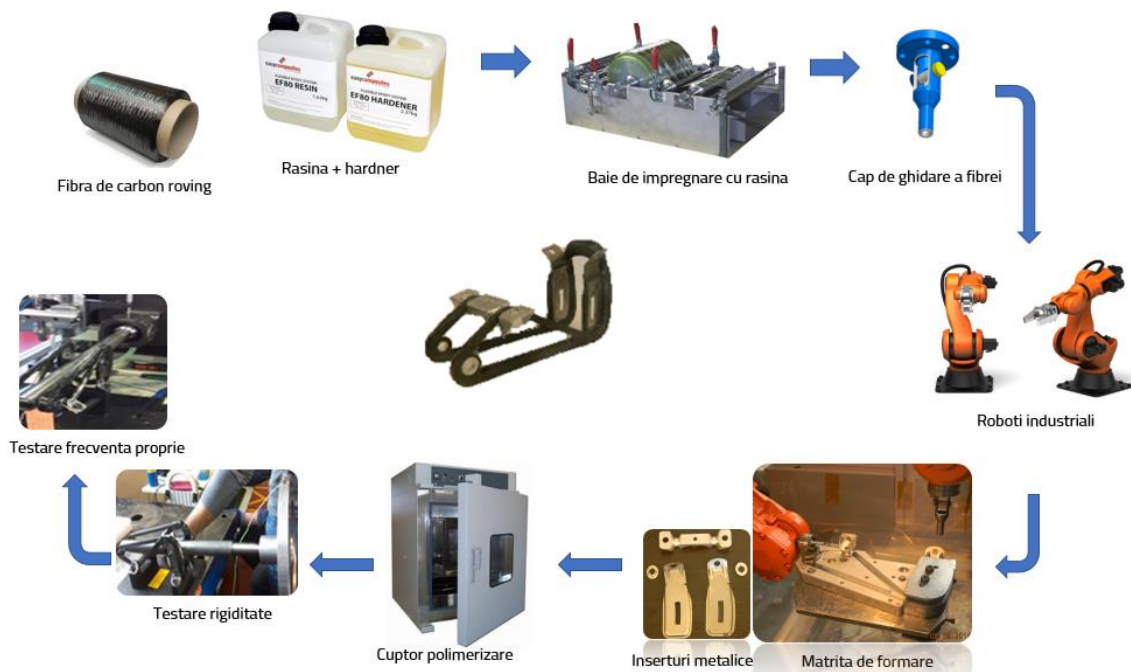


Figura 5.2: Prezentarea procesului prin înfășurare spațială (consola)

Evaluările, realizate pe modele fizice, arată că frecvența proprie și rigiditatea consolei obținute prin înfășurare spațială satisface cerințele din caietul de sarcini al producătorului de automobile.

În ceea ce privește înfășurarea spațială, datorită inserturilor metalice, consola este o construcție hibridă, complexă.

Pe matriță se fixează inserturile metalice iar pe acest schelet se realizează înfășurarea propriu-zisă.

Înfășurarea spațială se diferențiază de cea clasică prin aceea că permite mișcarea 3D.

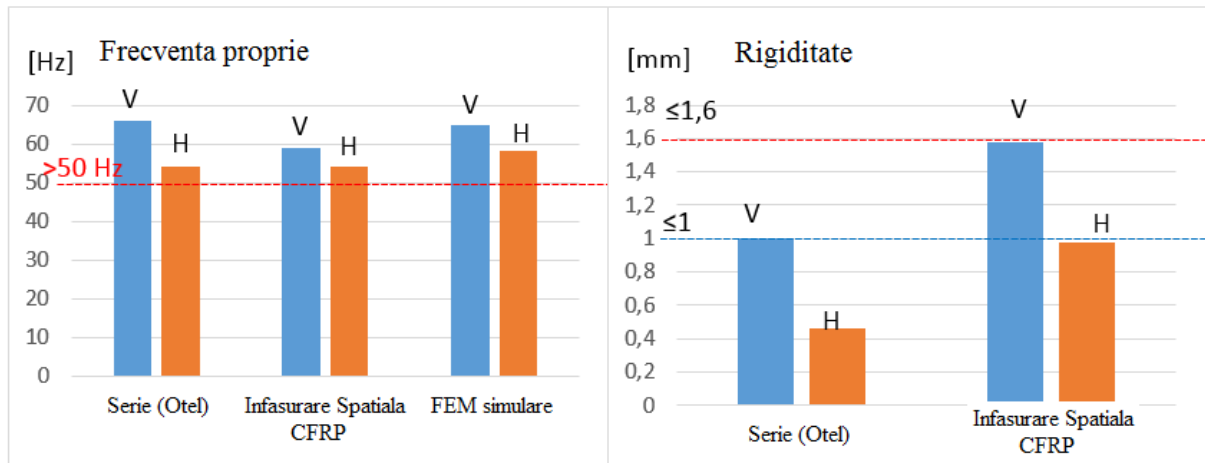


Figura 5.3: Comparație între rezultatele analizei FEM, măsurătorile componentelor din oțel și măsurătorile componentelor din materiale compozite (Înfășurare spațială) privind frecvența proprie și rigiditatea coloanei de direcție




Înfășurarea 3D, cu ajutorul roboților, permite obținerea unor componente din materiale compozite, care pot fi ranforsate pe direcția/direcțiile solicitărilor.

Înfășurarea se realizează într-o matrită care este susținută de robotul suport. Cei doi roboți au mișcările corelate, astfel încât fibra este înfășurată pe locașurile din matrită după un program care vizează numărul de treceri, viteză de înfășurare, planul de înfășurare etc.

## 5.4 Evaluarea procedeele de obținere a pieselor din materiale compozite

Analiza celor trei procedee de formare a pieselor din materiale compozite arată importanța dezvoltării unui procedeu de fabricație, care să țină seama de calitatea pieselor obținute, costuri, timpi de fabricație și automatizarea procesului (Tab.5.1).

Tabel 5.1: Evaluarea procedeele de fabricație după diferite criterii

Procedeu	AUTOCLAV Consola+Carcasa	RTM Consola+Carcasa	Pultruziune Carcasa	Infășurare spatiala Consola
Criteria				
Geometrie	4	4	2	5
Inserturi	2	4	0	4
Rigidizare	3	3	1	4
Decuparea suprafetelor din spate	4	2	1	2
Suprafata	5	4	5	4
Arhitectura fibrelor	5	4	3	4
Continutul volumic de fibre standard	50%	50%	60%	60%
Proprietati mecanice	3	4	4	4
Calitate	4	4	4	4
Reproductibilitate/SERIE	1	3	5	5
Timp de fabricatie	0	3	4	5
Punctaj total	27	35	26	41

Procedeele de formare prin înfăşurare spaţială prezintă marele avantaj al posibilităţii aşezării fibrelor pe direcţia forţelor. Prin automatizarea lui se poate înregistra un timp de fabricaţie redus, ceea ce face îl face unul potrivit pentru producţia de serie mare.

Compararea procedeelelor de fabricaţie (Tab. 5.3), vis-s-vis de masăa câştigată pe componente, arată că cea mai mare reducere se obţine pentru procedeul de fabricaţie cu autoclavă, adică de 1 kg, respectiv 81%. Cea mai redusă economie de masă se obţine cu procedeul de pultruziune-înfăşurare spaţială. Consola are, datorită insert-urilor, o masă de 325 g.

Inserturile sunt necesare pentru a asigura rigiditatea consolei coloanei de direcţie. Poziţiile acestora în structura consolei ţine seama de direcţiile forţelor care acţionează asupra structurii.


Pe de altă parte, coroziunea este un punct important în dezvoltarea design-ului consolei din materiale compozite.

Tabel 5.2: Reducerea de masă în funcţie de procedeul de fabricaţie

Procedeu	Serie	AUTOCLAVA Consola+Carcasa	RTM Consola+Carcasa	Pultruziune Carcasa	Infasurare spatiala Consola
Descriere					
Consola [g]	622	125	292	325	
Carcasa [g]	600	105	260	258	
Suma greutate [g]	1222	230	542	583	
Delta fata de serie in %		81%	55%	52%	

Elementul de succes al construcţiilor uşoare din materiale compozite şi mase plastice armate cu fibre rezultă din avantajele economice, echivalente cu reducerile de masă. În tabelul 5.3 se prezintă principalele criterii de costuri, care permit o comparare calitativă a procedeelelor de fabricaţie. Timpii necesari producţiei se referă la componentele coloanei de direcţie analizate.

Tabel 5.3: Estimarea costurilor pentru procedeele de fabricaţie studiate

Procedeu	AUTOCLAVA Consola+Carcasa	RTM Consola+Carcasa	Pultruziune Carcasa	Infasurare spatiala Consola
Criterii				
Costuri legate de personal	1	3	1	5
Costul sculelor	4	1	4	1
Costul instalatiilor/echipamentelor	3	1	1	1
Costul materialelor	1	4	4	4
Durata timpului de productie	5h	1,35 h	≤1 min	1,50 h
TARGET	5h	≤3 min	≤1 min	≤2 min

## 5.5 Evoluția conceptelor de formare a consolei coloanei de direcție

Pentru o dezvoltare corectă a componentelor din materiale compozite, care să poată înlocui componentele din oțel, într-un ansamblu de serie, se pleacă de la componenta de serie și de la exigențele pe care aceasta trebuie să le satisfacă.

### 5.5.1 Formarea consolei coloanei de direcție prin înfășurare manuală

Înainte de a defini geometria pentru noua consolă au fost stabilite condițiile bază pentru dezvoltare:

- elaborarea unei tehnologii, care să permită obținerea unui număr ridicat de componente pentru producția de serie mare;
- cost competitiv cu componentele din metal;
- realizarea unor tehnologii flexibile ;
- integrarea ușoară a noilor componente în ansamblul de serie;
- stabilirea materialelor pentru matrițe, a materialelor de armare și a rășinilor;
- automatizarea întregului proces de producție;
- condițiile de testare a pieselor

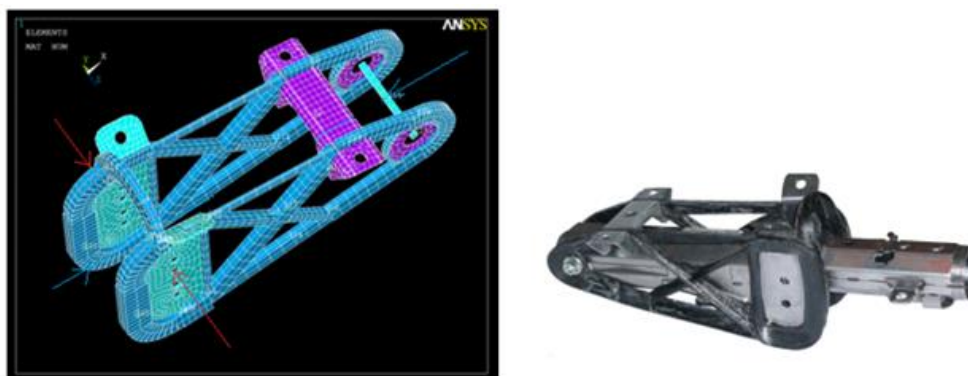


Figura 5.4: Structura consolei din materiale compozite – versiunea 1

### 5.5.2 Formarea consolei coloanei de direcție prin înfășurare spațială

Pentru această versiune s-a dorit optimizarea inserturilor metalice, a configurației matriței și automatizarea întregului proces de formare. Pentru aceasta, au fost dezvoltate trei matrițe noi, două cu plăci de presiune (cu ranforsare și fără ranforsare) și una cu furtun de presiune, o nouă baie de impregnare cu rășină, dispozitive de ghidare a fibrei și utilizarea a doi roboți (unul suport și unul manipulator) pentru automatizarea procesului.

**Roboții programabili :** Pentru automatizarea procesului a fost aleasă varianta folosirii a doi roboți, unul care susține sistemul de ghidare al fibrei și celălalt ca suport pentru matrița în care se face înfășurarea

**Dispozitivul de ghidare al fibrei:** Rolul acestuia este acela de a ghida fibra de carbon în timpul înfășurării pentru a asigura o așezare unidirecțională și constantă a acestora în matriță.

Au fost realizate trei modele pentru a putea experimenta

Problemele care au apărut la această versiune au vizat dimensionarea, atât a matriței cât și a fibrei, având în vedere faptul că există zone care nu sunt acoperite de fibră sau porțiuni în care volumul fibrei este prea mare și formează un umăr care necesită prelucrări post-producție. De asemenea, o problemă o reprezintă polimerizarea rășinii pe cilindrul băii de impregnare sau deșirarea manunchiului de fibre pe cilindrul băii de impregnare.



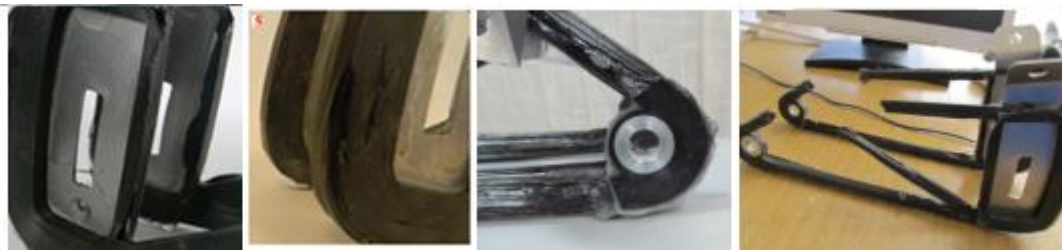


Figura 5.5: Defectele consolei coloanei de direcție - versiunea 2

Concluzii:

- trebuie recalculat volumul de fibră de carbon și matrice astfel încât să nu mai existe zone ne-impregnate sau impregnate excesiv. Ambele cazuri induc defecte în structura consolei și excesul de rășină dăunează grav decofrării. De asemenea trebuie ținută seama de răsucirea fibrei în timpul înfășurării și de influența acestui fapt în rezistența consolei.
- se impune proiectarea unui sistem de impregnare care să nu afecteze fibra în timpul umectării acesteia
- se impune proiectarea unui sistem de tensionare constantă a fibrei de carbon, înainte și după impregnarea acesteia
- matrița trebuie reproiectată pentru a asigura o suprafață de așezare a fibrei mai bună, fără a induce concentratori de tensiune și pentru o decofrare rapidă și facilă
- se impune reproiectarea inserturilor axiale astfel încât să nu permită rotirea acestora față de consolă și o fixare mai bună în structura acesteia
- se impune optimizarea geometrică a inserturilor din aluminiu
- se impune găsirea unei soluții pentru a împiedica formarea aschiilor la ruperea consolei

### 5.5.3 Cercetări privind optimizarea procedurii de formare prin înfășurare spațială asistat de roboți

Datorită problemelor apărute la versiunea V2, legate de: impregnarea neuniformă a fibrei, ruperea acesteia în timpul stoarcerii, rășină în surplus, care se întărește pe matrița făcând imposibilă decofrarea, așezarea neuniformă a fibrei pe matrița în dreptul inserturilor metalice, s-a impus optimizarea procesului de formare și a componentelor acestuia.

**Scula/matrița:** Versiunea 3 a matriței are două scule de formare. Una cu plăci de presiune și care permite noului insert o fixare propice. Această matrița are trei pini de fixare (față de doi pini în versiunea anterioară), ceea ce conferă o poziționare mai bună a plăcilor de presiune și o demulare superioară datorită glisării line a plăcii. De asemenea, zona de așezare a fibrei în partea din spate, a fost mărită cu 2 mm ceea ce îi conferă consolei o rigiditate mai bună în comparație cu versiunea 2 și o creștere de masă de 2 g / consola.





Figura 5.6: Matrițe pentru versiunea 3 a consolei coloanei de direcție

Deși versiunea 3 a fost dezvoltată și optimizată, au fost identificate defecte ale structurii rezultate. Acestea sunt cauzate de impregnarea insuficientă sau de pierderea rășinii datorită vitezei crescute de înfășurare, dar și sistemului de tensionare (Fig.5.7).



Figura 5.7: Defectele coloanei de direcție versiunea V3-matrița cu plăci de presiune

Rezultate pentru matrița cu plăci de presiune:

- consola rezultată are calitate constantă pe toată suprafața;
- impregnarea este neuniformă;
- tensionarea cu sistemul de arcuri nu este suficientă;
- sistemul de tensionare provoacă scăderea gradului de impregnare a fibrei de carbon prin frecarea acesteia de pereții furtunului;
- este necesară o tensionare constantă a fibrei;
- matrița are o suprafață de așezare a fibrei potrivită pentru numărul de treceri calculat;
- creșterea vitezei de impregnare, impusă de timpul de producție, conduce la un grad mare de împăștiere a rășinii;
- fibra se răsucește în timpul înfășurării, ceea ce face dificilă aproximarea numărului necesar de treceri;
- inserturile axiale noi sunt fixe în structura consolei și nu se mai rotesc datorită formei ovale și inserturilor de fixare.

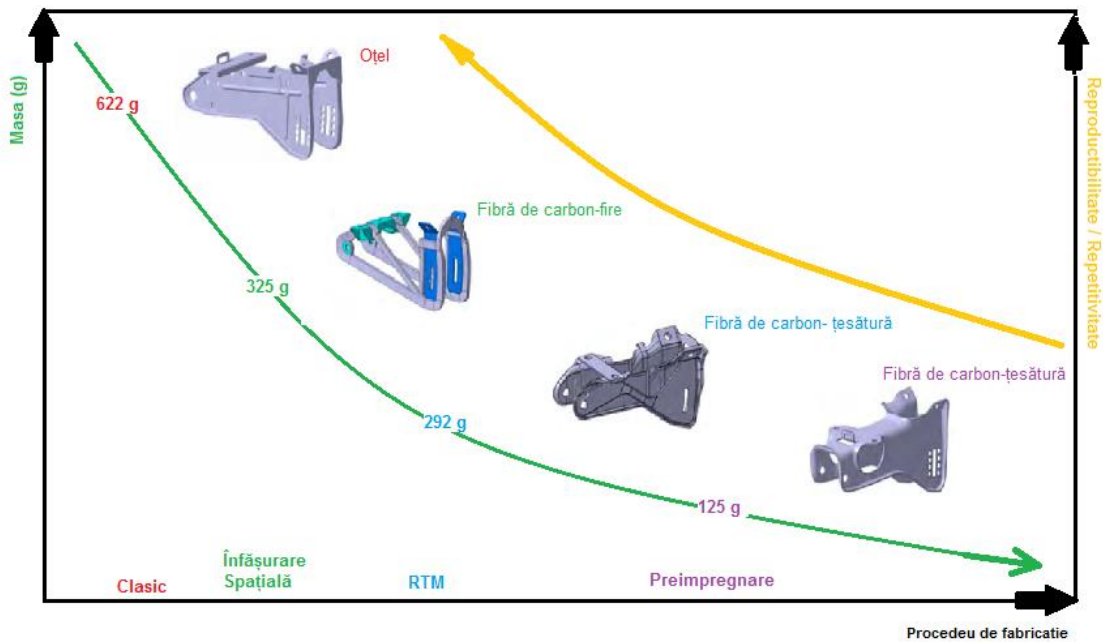


Figura 5.8: Variația masei și a reproductibilității în funcție de procedeu de obținere folosit

Concluzii:

- în procesul de formare trebuie ținută seama de răsucirea fibrei în timpul înfășurării și de influența acesteia în rezistența consolei.
- se impune proiectarea unui sistem de impregnare care să nu afecteze fibra în timpul umectării acesteia;
- este necesar un sistem de tensionare constantă a fibrei de carbon, înainte și după impregnarea;
- trebuie ca plăcile de formare interioare ale matriței să fie parte a plăcii centrale ;
- sunt necesare inserturi axiale astfel încât cantitatea de fibră care susține aceste inserturi să fie mai mare.
- De asemenea se impune folosirea unor inserturi cu fețe duble de contact cu fibra pentru o așezare și fixare mai bună a acestora în structura consolei;
- matrița trebuie optimizată astfel încât să permită decofrarea ușoară.



## 6. CONCEPT NOU PENTRU PROCEDEUL DE FORMARE AL CONSOLEI COLOANEI DE DIRECȚIE DIN MATERIALE COMPOZITE

Noul concept de fabricație al consolei coloanei de direcție conține dispozitive noi pentru tensionarea fibrei, înainte și după impregnare, dispozitiv pentru impregnarea fibrei prin injecție, inserturi în care fibra este încorporată într-o cantitate mai mare, dispozitiv de strângere/decofrare și o variantă de matriță care folosește plăcile de presiune ca plăci de formare.

Acest nou concept permite realizarea procesului de înfășurare într-un timp mai mic de 2 minute/ piesă datorită faptului că sistemul este unul închis, iar viteza de înfășurare nu afectează calitatea finală a piesei obținute.

### 6.1 Obiectivele noului concept

Pe baza rezultatelor anterioare, obiectivele sunt:

- Obținerea unui timp de înfășurare mai mic de 2 min/ piesă ;
- Realizarea unui sistem de impregnare inovativ care să poată controla cantitățile de matrice și fibră ;
- Conceperea unui sistem de tensionare atât înainte cât și după impregnare astfel încât să se obțină o tensiune constantă în fibră ;
- Proiectarea unui nou dispozitiv de ghidare care asigure orientarea fibrei impregnate pe direcția dorită ;
- Dezvoltarea unei noi matrițe care să permită înfășurarea rapidă și acoperirea tuturor zonelor cu fibră ;
- Proiectarea unui sistem de demulare și strângere a plăcilor;
- Recuperarea materiilor prime folosite.

### 6.2 Sistem inovativ de impregnare a fibrei de carbon

Sistemul de impregnare prin injecție este inovativ și asigură un control mărit asupra volumului de matrice pe fibră. Toate caracteristicile acestui sistem au fost calculate, pompa și duza de injecție dimensionate corespunzător nevoilor impregnării. Vederea explodată a camerei de impregnare, cu componentele acesteia, este realizată în figura 6.1.

Camera de impregnare este realizată din două părți:

-partea superioară în care are loc impregnarea propriu-zisă și care conține duza de injecție cu matrice, duza de curățare, suportul pe care trece fibra de carbon în timpul impregnării și panta de scurgere a matricei în exces;

-camera inferioară în care se regăsesc cilindrii de storcere, rulmenții de susținere și baia de evacuare a matricei scurse. Cilindrii de storcere sunt rotativi, ceea ce împiedică ruperea fibrei în timpul procesului iar reglarea forței de storcere se face prin alegerea grosimii roletelor interschimbabile.

După ce rășina în exces este îndepărtată de pe fibra de carbon, rola auxiliară orientează materialul compozit spre sistemul de tensionare.



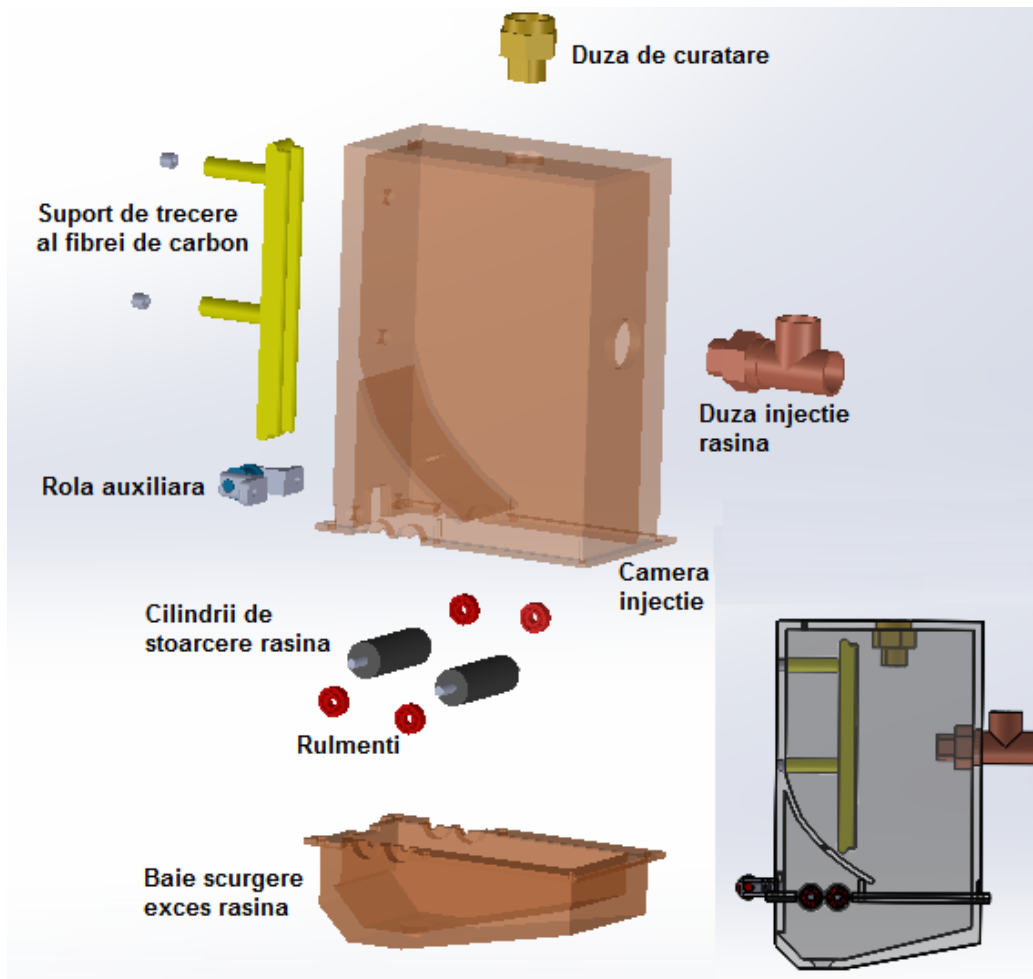
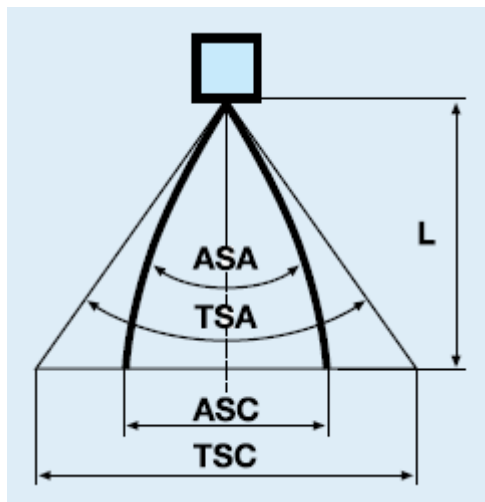


Figura 6.1: Vedere explodată a camerei de impregnare prin injecție



TSC-theoretical spray coverage

TSA - theoretical spray angle

ASC- Actual spray coverage

ASA - Actual spray angle

L- spray distance

Figura 6.2: Amprenta și unghiul de injecție

TSC- acoperirea teoretică a pulverizării

TSA-unghiul de pulverizare teoretic

ASC-acoperirea reală a pulverizării

ASA-unghiul real de pulverizare

L- distanța de la care se pulverizează

$$TSC = 2L \operatorname{ctg} (TSA/2) \Rightarrow TSA = 2 * \operatorname{arcctng} \left( \frac{TSC}{2L} \right) = 2 * \operatorname{arcctng} \left( \frac{100}{2*50} \right) \quad (6.1)$$

$$TSA = 1/2(4\pi * n + \pi) \text{ cu } n \in \mathbb{Z}, \quad (6.2)$$

de unde

$$TSA = \frac{5\pi}{2} = 90^\circ \quad (6.14)$$

Considerând  $ASA = 80^\circ$  rezultă  $ASC = 82.5 \text{ mm}$

Astfel, cunoscând poziția duzei față de fibră ( $L=50 \text{ mm}$ ) și cunoscând amprenta de impregnare ( $TSC=100 \text{ mm}$ ), a fost calculat unghiul teoretic de pulverizare  $TSA$ .

Pentru unghiul de pulverizare  $ASA = 80^\circ$  și rezultă amprenta de impregnare reală  $ASC = 82.5 \text{ mm}$ .

### 6.3 Sistemul de tensionare activ a fibrei de carbon

Sistemul de tensionare este cel care asigură întinderea constantă a fibrei pe toată durata procesului de formare. Asigurarea unei tensiuni constante în fibră este extrem de importantă pentru calitatea piesei obținute. Tensiunea constantă în fibră asigură o bună impregnare a acesteia fără scurgeri datorate curbării fibrei. De asemenea, golurile de aer sunt evitate datorită așezării corecte a fibrelor.

Din încercările experimentale a rezultat că tensiunea necesară în fibră este  $T=20\text{N}$

Pornind de la această valoare, a fost calculată tensiunea în arc, poziția de așezare al acestuia.

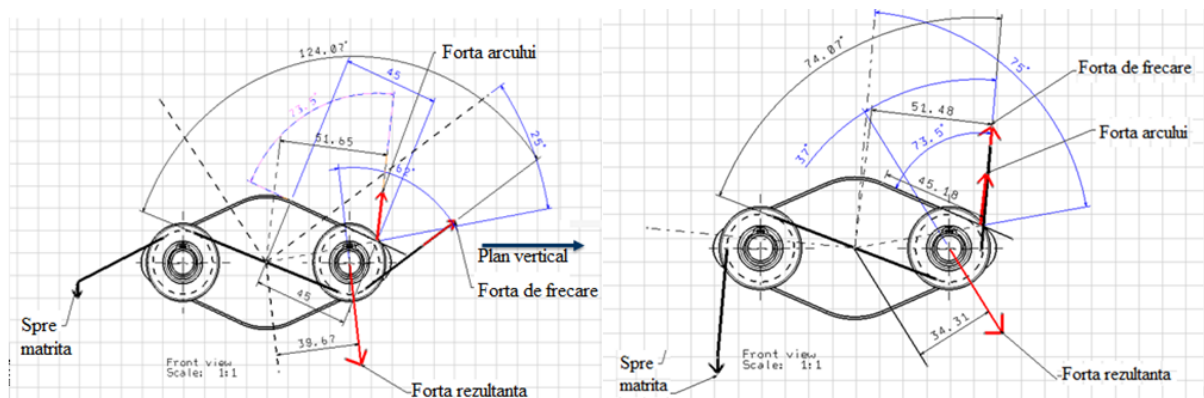


Figura 6.3: Schema de calcul a tensiunii fibrei în poziția maximă și minimă de tensionare

Au fost calculate pozițiile minimă și maximă de tensionare pentru a putea determina forța necesară arcului pentru a menține firul întins.

### 6.4 Sistemul de frânare al bobinei cu fibră de carbon

Funcțiile acestui sistem sunt:

- Să susțină bobina;
- Să asigure evaluarea momentului de frecare necesar pentru a obține  $T=20\text{N}$  ;
- Să ajusteze forța de frânare;
- Să permită tensionarea fibrei fără să o rupă.

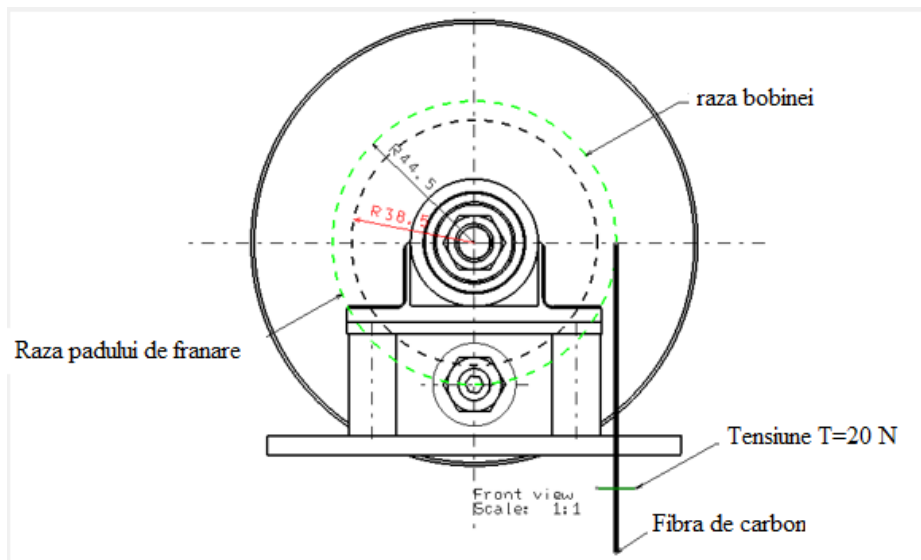


Figura 6.4: Schema de calcul a forței de frânare a bobinei

Dacă  $T=20\text{ N}$  atunci  $F=46\text{ N}$

Asta înseamnă că trebuie apăsată frâna cu  $46\text{ N}$  pentru a obține o tensiune în fibră de  $20\text{ N}$

Sistemul este compus din :

- padul de frânare
- șurub de reglare a forței de frânare
- suport bobină a fibrei de carbon (Fig.6.8)

În timpul încercărilor experimentale au apărut următoarele probleme :

- încălzirea tamburului suport datorită frecării ;
- zgomot și miros datorate încălzirii discului de frânare;
- poziție rigidă a bobinei ceea ce a dus la blocarea sistemului și ruperea fibrei de carbon;
- măsurare greoaie a forței de frânare.

## 6.5 Optimizarea matriței de formare

Matrița are un rol esențial în procesul de obținerea a piesei dorite. Datorită problemelor apărute la variantele anterioare ale matrițelor de formare, s-a impus optimizarea acestora în direcția eliminării numărului de plăci de presiune, acoperirea totală ale zonelor de înfășurare, decofrarea facilă.

Pentru această versiune a matriței au fost eliminate plăcile de formare, care se puteau translata pe placa centrală. Rolul acestora este preluat de placa centrală iar plăcile de presiune sunt prevăzute cu canalele în care mănunchiul de fibre intră și este presat. În acest fel s-a reușit eliminarea unui rând de plăci (Fig.6.9).

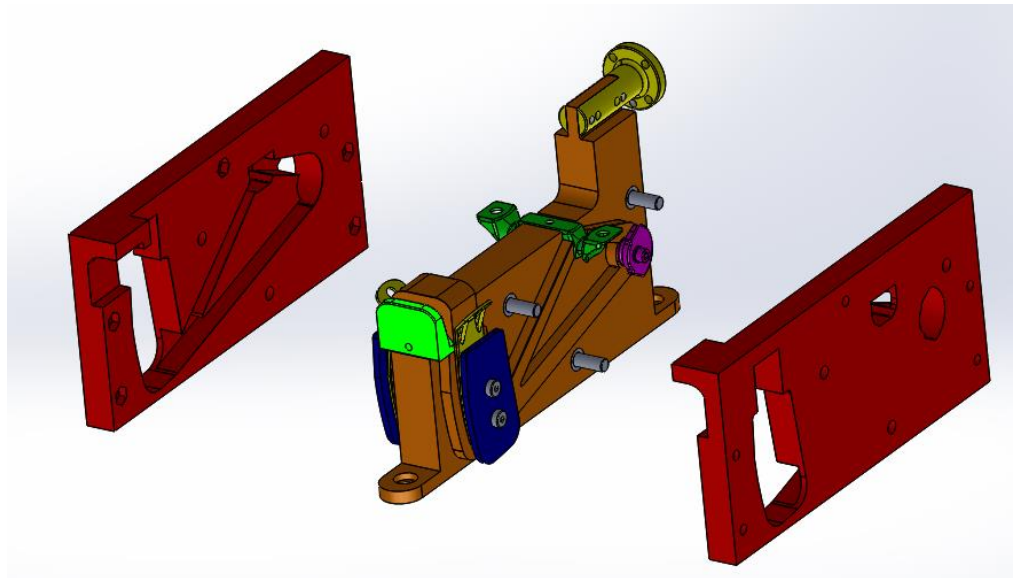


Figura 6.5: Matriţa de formare optimizată

O altă optimizare importantă este legată de acoperirea zonelor de înfăşurare, astfel încât să existe presiune pe toate suprafeţele consolei.

De asemenea, inserturile axiale au fost modificate în sensul că geometria a fost adoptată pentru a împiedică dezlipirea acestora de structura compozită la montajul în ansamblul coloanei de direcţie .

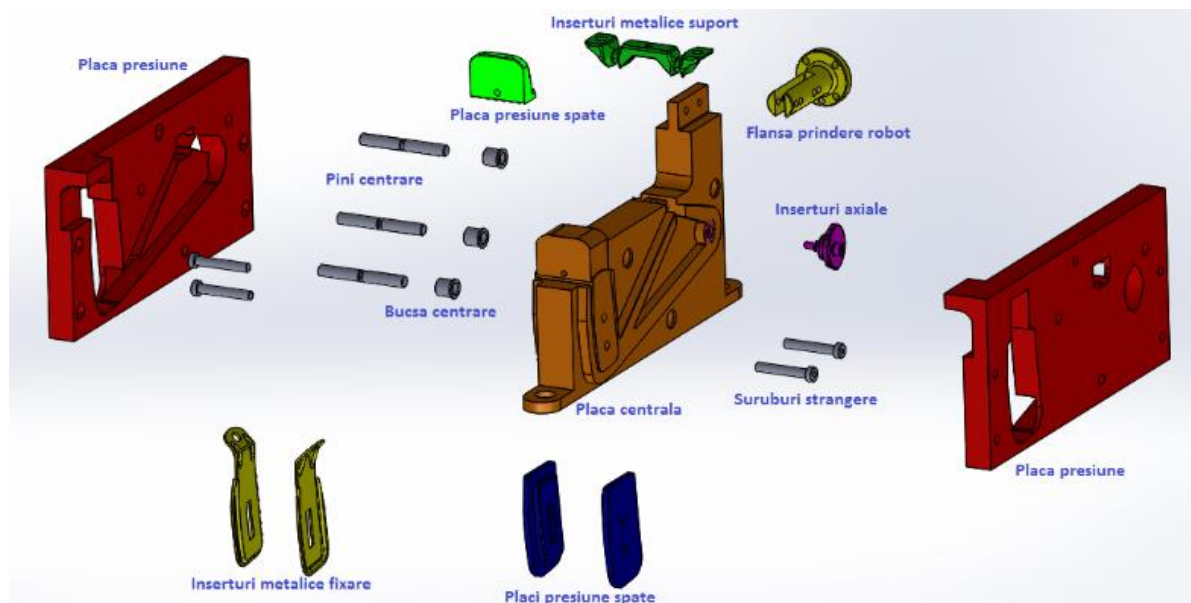


Figura 6.6: Vedere explodată a matriţei optimizate

Plăcile de formare/presiune se prind, cu ajutorul şuruburilor, pe noul sistem de decofrare/strângere. Pini de centrare asigură translaţia uniformă faţă de planul plăcii centrale evitând blocarea plăcilor în timpul procesului de decofrare/ strângere.



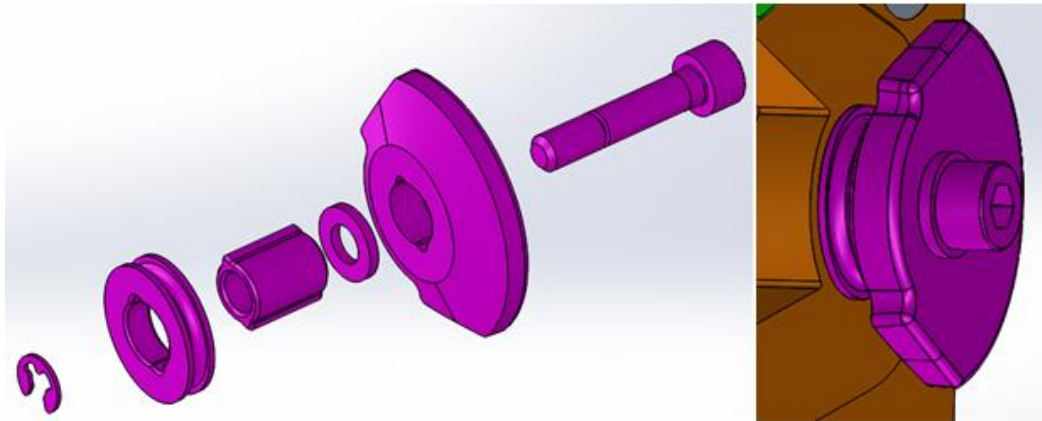


Figura 6.7: Ansamblul insert axial

Insertul axial optimizat permite o fixare mai bună a acestuia în structura consolei compozite iar suprafața de așezare a fibrei este mai mare (Fig.6.7).

Plăcile de presiune spate au fost modificate conform soluției optimizate a consolei care asigură inserturile metalice de fixare și contribuie la îmbunătățirea rigidității (Fig.6.8)

Acestea asigură, împreună cu plăcile de presiune și placa centrală, un mediu complet închis, astfel încât fibra de carbon este acoperită pe toată lungimea.

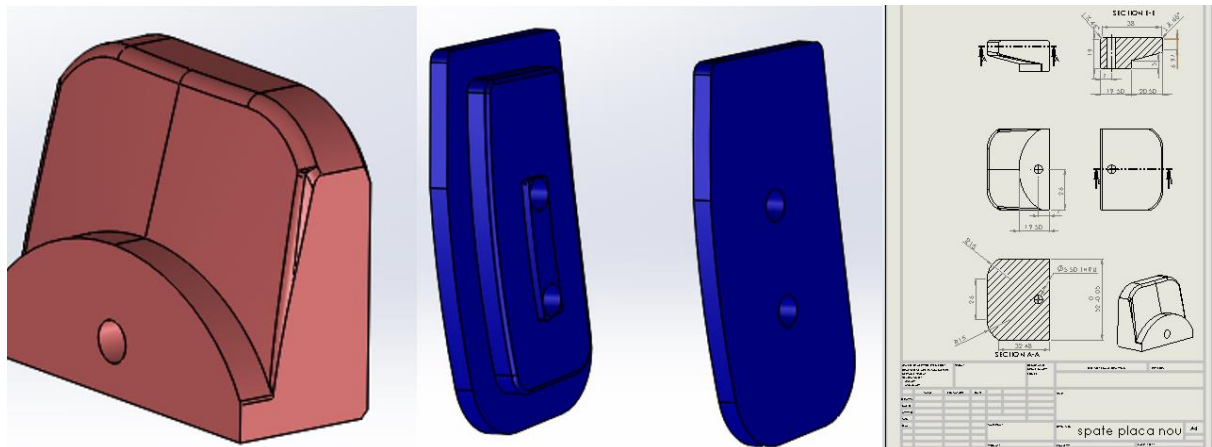


Figura 6.8: Plăcile de presiune spate

Placa centrală trebuie să îndeplinească rol de fixare dar și de formare.

Designul plăcii a fost modificat în sensul că aceasta prezintă zone extrudate pe suprafețele laterale astfel încât geometria consolei este dată de plăcile de presiune care conțin canalele de formare.

Pentru ghidare, placa centrală are prevăzută orificii pentru pinii de centrare care se fixează cu ajutorul bușelor din bronz .

Placa centrală este prevăzută cu o talpă de fixare pe dispozitivul de decofrare.



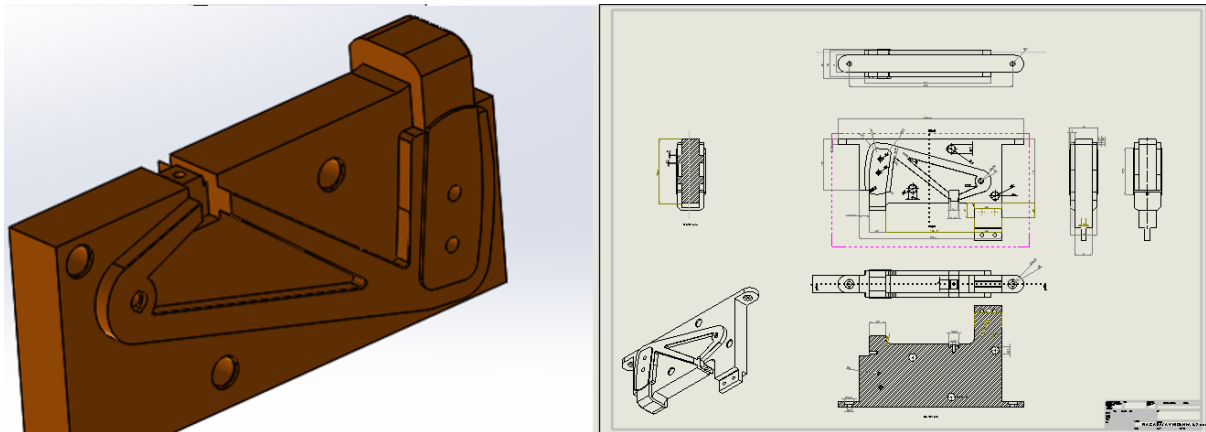


Figura 6.9: Desen CAD placa centrală

Plăcile de formare/ presiune se fixează pe cele ale mecanismului de decofrare și culisează împreună cu acestea. Geometria plăcilor de presiune realizează un spațiu închis pentru mănunchiul de fibre de carbon, ceea ce duce la o calitate superioară a suprafeței piesei obținute.



Figura 6.10: Plăcile de presiune/formare ale matriței optimizate

Optimizarea matriței prin integrarea plăcilor de formare în placa centrală, prin modificarea plăcilor de presiune astfel încât suprafața piesei să fie acoperită în totalitate, oferă posibilitatea obținerii unor piese cu aspect identic în orice secțiune a lor.

De asemenea, prin uniformizarea secțiunilor piesei, a fost ocolită posibilitatea apariției tensiunilor interne.

Plăcile de presiune joacă un rol important în procesul de formare a consolei coloanei de direcție, prin ele se crează camera de formare/presiune a manunchiului de fibre de carbon.

Atenției sporită trebuie acordată fixării acestora pe dispozitivul de decofrare și strângere. O fixare incorectă duce la secțiuni ale piesei diferite, la o presiune incorectă de formare a piesei și la deteriorarea plăcilor de presiune și a plăcii centrale.

## 6.6 Construcţia mecanismului de decofrare / strângere

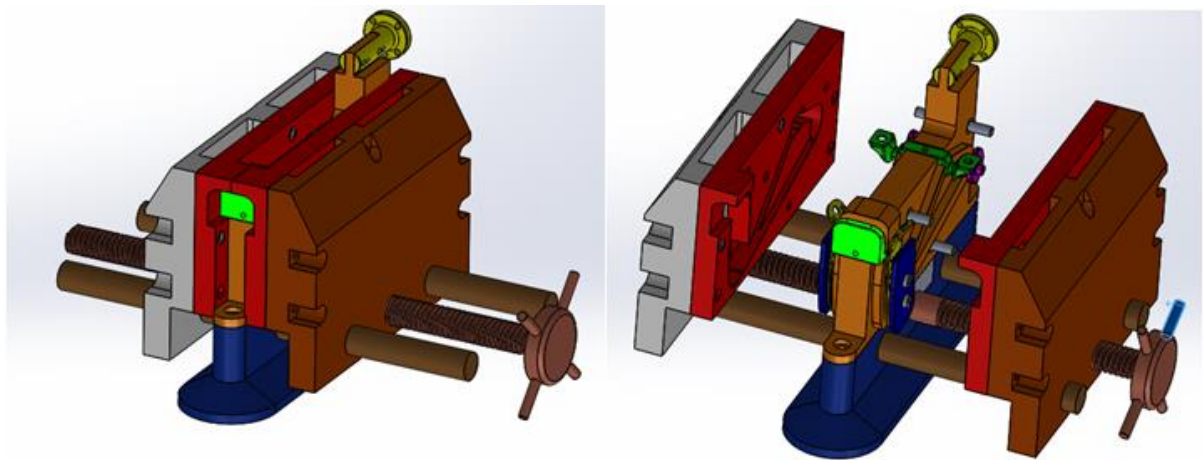


Figura 6.11: Dispozitivul de decofrare/strângere

Mecanismul de decofrare conţine următoarele componente (Fig.6.11):

- placa de aşezare şi centrare a pinilor;
- pinii de centrare pentru deplasarea axială a plăcilor;
- plăci de prindere şi fixare;
- tija filetată cu două sensuri.

Procesul de obţinere a consolei coloanei de direcţie, optimizat, are următoarea structură:

- Se montează bobina fibrei de carbon pe dispozitivul de suport şi frânare ;
- În camera de impregnare, fibra de carbon este impregnată prin injecţie, cu răşina si apoi stoarsă prin intermediul cilindrilor de stoarcere;
- Dispozitivul de tensionare ţine firul întins pe tot parcursul înfăşurării. În acest fel, fibra este tensionată atât înainte de impregnare (sistemul de suport şi frânare al bobinei) cât şi după impregnare (cu ajutorul sistemul de tensionare);
- Fibra de carbon ajunge apoi la dispozitivul de ghidare montat pe robotul înfăşurător
- Se realizează înfăşurarea propriu-zisă, cu ajutorul robotului manipulator. Un aspect important este acela că înfăşurarea se poate executa la viteze mari datorită etanşietăţii sistemului;
- Matriţa se montează apoi pe dispozitivul de strângere/decofrare, se realizează strângerea plăcilor şi se introduce ansamblul în cuptor. După realizarea ciclului de polimerizare, dispozitivul de decofrare se desface şi piesa poate fi extrasă cu uşurinţă de pe matriţă.
- Ghidarea se realizează cu ajutorul unei duze calibrate.

Piesa astfel obţinută nu are nevoie de finisări post-producţie, este formată într-un timp scurt iar procesul este repetitiv, reproductibil şi continuu, respectând acelaşi nivel de calitate.

Teoretic, utilizând noile dispozitive, timpul de înfăşurare scade sub 2 minute/ piesă şi o parte dintre operaţiuni ,cum e decofrarea sau operaţiunile de post-procesare, dispar.



Astfel se poate atinge un timp total de producție de 253 minute ceea ce asigură posibilitatea producției de piese în serie mare (Tabelul 6.3).

Tabel 6.2: Timpul de producție în funcție de versiuni

	Versiunea 1	Versiunea 2	Versiunea 3	Versiunea optimizata
	Timp (min)	Timp (min)	Timp (min)	Timp (min)
Pregatiri preliminarii	60	30	30	30
Pregatire matrita	50	15	15	10
Pregatire roboti		15	15	15
Incercari in gol		10	10	10
Ajustari		5	5	5
Infasurare propriu-zisa	30	15	10	1,8
Inchiderea placilor	5	5	5	3
Introducere in cuptor/Polimerizare	120	120	120	165
Decofrare	20	15	10	3
Curatare matrita	30	30	25	10
Operatiuni post-productie	40	30	30	
TOTAL	355	290	275	252,8

Comparând cele patru versiuni, se poate trage concluzia că procesul de fabricație a fost îmbunătățit cu fiecare variantă, mai ales din punct de vedere al înfășurării propriu-zise, al modului de strângere a plăcilor și decofrare a piesei, de curățarea a matriței și al operațiunilor post-producție.

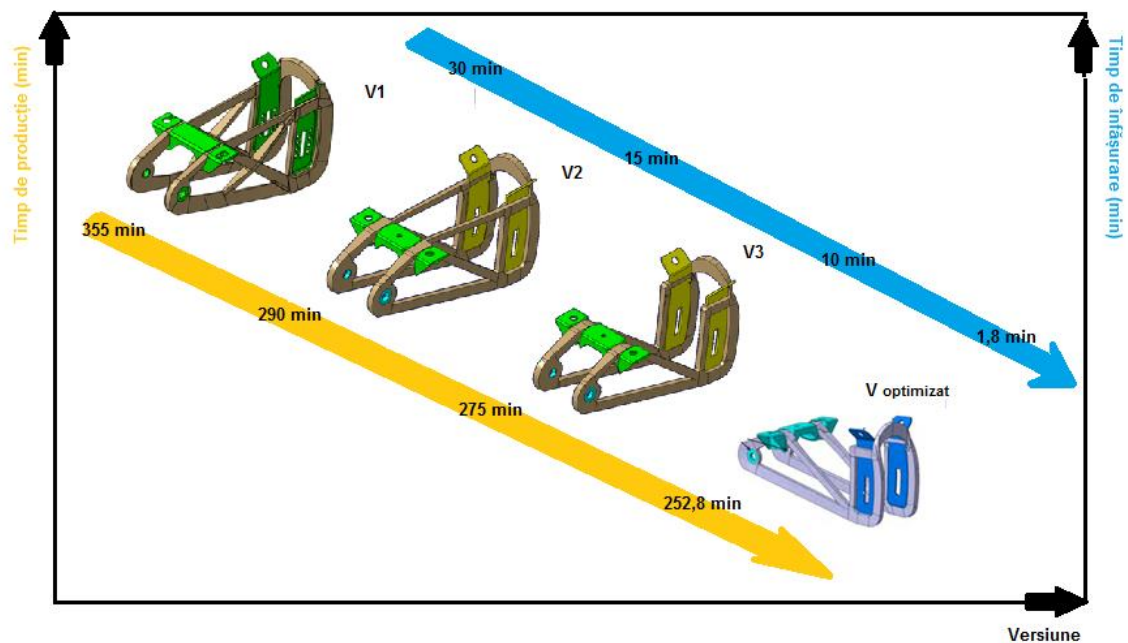


Figura 6.12: Variația timpului total de producție și a timpului de înfășurare în funcție de versiunea consolei coloanei de direcție

Pentru caracteristici de rezistență longitudinale, transversale asemănătoare obținute pentru consola coloanei de direcție, timpul de producție total scade o dată cu eliminarea grinzilor și cu creșterea numărului de fire. Timpul de înfășurare scade datorită procedurii inovativ de obținere a consolei.

## 7 CONTRIBUȚII PROPRII PRIVIND CALCULUL, TESTAREA ȘI OPTIMIZAREA PROCEDEELOR DE FORMARE A PIESELOR DIN MATERIALE COMPOZITE PENTRU AUTOMOBILE

Studiile, cercetările, investigațiile și experimentele întreprinse în laboratoarele și centrele de cercetare în domeniul materialelor compozite pe bază de fibre de carbon, cu aplicații pentru consola coloanei de direcție a autovehiculului, au permis realizarea următoarelor puncte principale ale tezei:

- Analiza comparativă a energiei consumate pentru producerea fibrei de carbon respectiv a oțelului, a amprentei de carbon și a tehnologiilor cel mai puțin poluante. Toate acestea sunt hotărâtoare în luarea deciziei asupra producerii consolei coloanei de direcție, din punct de vedere tehnic, economic sau al mediului.
- Realizarea comparației între fibra de carbon și oțel din punct de vedere al consumului de energie pentru obținerea unui BIW
- Analiza proceselor de fabricație din punct de vedere al costurilor pe unitatea de bucăți produsă comparând costurile materialelor de bază, al matrițelor respectiv al forței de muncă. Procesul cel mai fiabil din acest punct de vedere este cel de înfășurare spațială.
- Realizarea calculului la nivel micromecanic și macromecanic
- Realizarea calculului pentru structura aleasă, consola coloanei de direcție, pentru determinarea modului de elasticitate al compozitului, al densității, al coeficientului lui Poisson.
- Realizarea calculului pentru rezistența la tracțiune longitudinală și transversală, a rezistenței la compresiune longitudinală și transversală, a rigidităților și a tensiunilor materialelor compozite analizate
- Realizarea epruvetelor pentru testele de tracțiune, compresiune, încovoiere
- Analiza rezultatelor obținute din măsurare și realizarea calculului pe baza măsurătorilor
- Analiza metalografică a epruvetelor și identificarea defectelor de producție apărute
- Determinarea coeficientului lui Poisson din rezultatele măsurate
- Analiza modului de rupere al epruvetelor la tracțiune, compresiune și încovoiere
- Determinarea coeficientului de corelație între calcul și rezultatele testelor și a simulărilor
- Realizarea unei metodologii de dezvoltare a produsului bazată pe experiența ca inginer de dezvoltare produse noi din cadrul Stabilus Romania
- Analiza și evaluarea procedeelelor de obținere a consolei coloanei de direcție
- Realizarea conceptului inovativ pentru obținerea pieselor din material compozit
- Realizarea unui sistem inovativ de impregnare al fibrei de carbon
- Realizarea unui sistem nou de tensionare activă a fibrei de carbon și a unui sistem de frânare al bobinei
- Optimizarea matriței de formare
- Realizarea unui sistem inovativ de decofrare și strângere a matriței
- Realizarea consolelor coloanei de direcție din material compozit pe bază de fibră de carbon Sigrafil C30
- Optimizarea lanțului de producție în sensul îmbunătățirii timpului de producție, al procesului de decofrare, al calității suprafețelor consolei prin modificarea matriței, al modului de închidere al acesteia.
- Proiectarea camerei de impregnare și calculul parametrilor de injecție în funcție de materialele prime folosite
- Proiectarea sistemului de tensionare și calculul forțelor induse în sistem și al forței de tensionare, la un nivel constant, pe tot timpul procesului de înfășurare



- Determinarea forţei de frânare al bobinei în funcţie de forţa impusă de sistemul de franare
- Proiectarea matriţei de formare, al insertului axial, al plăcilor de presiune şi decofrare, al buşurilor şi pinilor de centrare, al flanşei de prindere pe robot.
- Proiectarea sistemului de decofrare şi dezvoltarea conceptului de strângere/decofrare
- Calculul forţelor de strângere prin intermediul tije filetate
- Analiza noului mod de impregnare al fibrei de carbon
- Analiza timpilor de producţie pentru consola coloanei de direcţie

## Concluzii şi contribuţii originale

Caracteristicile funcţionale ale automobilelor, durata de viaţă a acestora, siguranţa şi uşurinţa deplasării sunt dependente de performanţele tehnico-constructive ale sistemelor auxiliare. Unul dintre acestea este cel care asigură direcţionarea deplasării în concordanţă cu intenţiile conducătorului auto.

Din punct de vedere funcţional, mecanismul de direcţie trebuie să fie simplu, să aibă o masă cât mai redusă şi să fie realizat din componente uşoare cu costuri minime.

Pornind de la aceste cerinţe, în lucrare au fost tratate următoarele teme:

- Implicaţiile utilizării materialelor compozite în industria de automobile, la nivel global;
- Tipurile de materiale compozite armate cu fibre, pentru automobile, procedeele de formare, consumul energetic înregistrat în procesele de producţie;
- Modelele de calcul aplicate pentru evaluarea limitelor rezistenţelor la solicitări statice şi dinamice ale pieselor din materiale compozite pentru sistemele automobilului, în particular, pentru cele ale mecanismului de direcţie;
- Analiza rezistenţelor la tracţiune, compresiune şi forfecare ale materialelor compozite armate cu fibre lungi;
- Determinarea matricilor de flexibilitate şi rigiditate raportate la sistemul principal de axe pentru laminatele compozite armate cu fibre lungi;
- Evaluarea prin calcule a solicitărilor statice din structura consolei mecanismului de direcţie al automobilului;
- Proiectarea consolei în condiţiile uniformizării valorilor tensiunilor şi deformaţiilor şi a analizei FEM pentru structura optimizată;
- Procedee de testare a pieselor din materiale compozit, echipamente şi proceduri pentru încercarea epruvetelor din materiale compozite armate cu fibre de carbon realizate prin diverse procedee de formare;
- Optimizarea tehnologiei de formare a consolei coloanei de direcţie, realizată după un design elaborat în urma rezultatelor analizei FEM;
- Dezvoltarea unui concept nou de formare a consolei coloanei de direcţie din materiale compozite armate cu fibre de carbon. Elementele inovative vizează atât conceptele referitoare la procedeele de formare cu ajutorul roboţilor cât şi caracteristicile constructive şi funcţionale ale matriţei şi componentelor;
- Elaborarea unor noi procedee destinate optimizării dimensionale şi designului componentelor din materiale compozite în condiţiile aplicării unor tehnologii de formare care să satisfacă exigenţele impuse pentru durata procesului de producţie.



## Rezumat

Această lucrare a studiat aplicabilitatea materialelor compozite, pe bază de fibra de carbon, pentru componente structurale ale autovehiculului. Pentru a obține date tehnice care să susțină prin rezultate înlocuirea materialelor clasice cu cele pe bază de fibră de carbon se va realiza calculul acestor structuri, testarea lor precum și optimizarea procesului de obținere a consolei coloanei de direcție.

Primul capitol trece în revistă stadiul actual al industriei materialelor compozite, aplicabilitatea lor în domeniul industriei autovehiculelor, evoluția tehnologiilor de formare a pieselor din materiale compozite, influența înlocuirii materialelor clasice cu materiale avansate în construcția de automobile.

Cel de-al doilea capitol al tezei de doctorat analizează la nivel global industria materialelor compozite pe bază de carbon, costurile și energia necesară producției acestora, procedee de formare al pieselor din materiale compozite pe bază de fibră de carbon, aplicațiile acestora în industria auto.

Capitolul al treilea este destinat calculului materialelor compozite, analizând modelele de calcul existente, pentru a putea alege modelul de calcul cel mai apropiat aplicației consolei coloanei de direcție. Calculul consolei coloanei de direcție a avut ca scop determinarea constantelor elastice pentru cele trei materiale compozite studiate precum și tensiunile tangențiale și transversale apărute în piesă și deformațiile produse de acestea. Analiza FEM ajută la optimizarea formei constructive și poate fi folosită ca termen de verificare a modelului de calcul realizat.

Capitolul patru este destinat testării structurii studiate luând în calcul cele trei materiale compozite. Partea experimentală a arătat rezultate ușor diferite față de rezultatele calculului, fiind necesară stabilirea unui coeficient de corecție. Acesta diferență arată caracteristici ale materialelor compozite care nu sunt luate în calcul. Acestea sunt legate de tensionarea fibrei de carbon în timpul formării piesei, de impregnarea neuniformă a fibrei de carbon, de precizia așezării fibrelor după o direcție și de legătura inter-fază.

În capitolul cinci este realizată optimizarea tehnologiei de formare a pieselor din materiale compozite pe bază de fibră de carbon, evoluția constructivă a consolei.

Capitolul șase prezintă noul concept de fabricație al consolei coloanei de direcție, concept inovativ care permite realizarea obiectivului de timp de producție mai mic de 2 minute per piesă.

Teza face o analiză din punct de vedere al calculului, al testării și al optimizării procedeelelor de formare, o comparație între calcul și testare, analiza influenței procedeelelor de formare în rezistența structurilor dezvoltate. Teza reprezintă un punct de plecare pentru viitoarele proiecte de dezvoltare a pieselor din materiale compozite.

Capitolul 7 face un rezumat al contribuțiilor originale ale autorului.



## Abstract

This paper will study the applicability of composite carbon fiber materials for structural components of the vehicle. In order to obtain technical data to support the replacement of classical materials with carbon fiber, the calculation of these structures, their testing and the optimization of the steering column bracket process will be achieved.

The first chapter reviews the current state of the composite materials industry, their applicability in the automotive industry, the evolution of composite materials forming technologies, the influence of replacing classic materials with advanced materials in automotive construction.

The second chapter of the Ph.D. thesis analyzes the carbon composite materials industry, the costs and the energy necessary for their production, the processes of forming the composite materials based on carbon fiber, their applications in the automotive industry.

The third chapter is intended for calculating composite materials by analyzing existing calculation models to choose the computational model closest to the steering column console application. The calculation of the steering column console was aimed at determining the elastic constants for the three composite materials studied as well as the tangential and transverse stresses in the track and the deformations produced by them. FEM analysis helps to optimize the form of construction and can be used to verify the calculation model.

Chapter four is intended to test the studied structure taking into account the three composite materials. The experimental part showed slightly different results than the results of the calculation, and it is necessary to establish a correction coefficient. This difference shows the characteristics of composite materials that are not taken into account. These are related to the tension of the carbon fiber during the formation of the piece, the uneven impregnation of the carbon fiber, the precision of the fiber positioning in one direction and the interphase.

In chapter five creates the optimization of the technology for forming composite materials based on carbon fiber and the evolution of the console is achieved.

Chapter six introduces the new console concept of the steering column console, an innovative concept that allows you to achieve a production time goal of less than 2 minutes per piece.

The thesis makes an analysis in terms of calculation, testing and optimization of training processes, a comparison between calculation and testing, analysis of the influence of training processes on the resistance of the developed structures. The thesis is a starting point for future projects for the development of composite materials.

Chapter seven resume the original contribution brought in thesis.



## BIBLIOGRAFIE

- 1 Adam, M., Sheinman, I., Altus, E., Buckling of multiply delaminated beams *Journal of Composite Materials*, Vol. 28, No. 1, 1994, p. 77-90
- 2 Albright, L. F., *Albright's chemical engineering handbook*, 2008
- 3 Akovali, Güneri. *Handbook of Composite Fabrication*. s.l. : Rapra Technology LTD, 2001. ISBN: 1-85957-263-4.
- 4 A. Miraris, M. Päßler, J. Lichtner, R. Schledjewski. "Siphon impregnation": The development of a new method for impregnation during filament winding. *INTERNATIONAL COMMITTEE ON COMPOSITE MATERIALS*. [Online] [Cited: 0515,2013.].
- 5 Ciobanas A.I. (2017) Novel Simulation Methodology for the Estimation of the Flow Mark Risk Associated with the Injection of Mass Colored Plastic Materials. In: Chiru A., Ispas N. (eds) *CONAT 2016 International Congress of Automotive and Transport Engineering*. CONAT 2016. Springer
- 6 Chiru A., **Rad L.E.**- "New Technology for Composite Materials Parts", pp 209-217, *Proceedings of the European Automotive Congress EAEC-ESFA*, 2015
- 7 Chiru A., Scutaru M.L., Vlase S., Cofaru C. *Materiale plastice și compozite în ingineria autovehiculelor*. Brasov. ISBN 978-973-598-788-6., 2010
- 8 Chiru A., **Rad L.E.**, Heitz.T, Dogariu D., *Calculus and technology of automotive parts in composite materials reinforced with carbon fiber*, *FISITA 2016 World Automotive Congress*, FISITA2016/F2016-MFMI-006, 2016
- 9 Chiru A., **Rad L.E.** (2017) *Constructive Optimization of Composite Materials Automotive Components*. In: Chiru A., Ispas N. (eds) *CONAT 2016 International Congress of Automotive and Transport Engineering*. CONAT 2016. Springer, Cham, DOI: 10.1007/978-3-319-45447-4\_61, ISBN 978-3-319-45446-7
- 10 Chiroiu V. ;Munteanu L.; P.Stiucă; S. Donescu-"Introducere în nanomecanică", Editura Academiei, 2005
- 11 Curtis P.T and B B Moore, *A Comparison of Plain and Double Waisted Coupons for Static and Fatigue Testing of Unidirectional GRP and CFRP*, Royal Aircraft Establishment, Farnborough, UK, Technical Report 82031, 1982.
- 12 Curtis P.T(ed), *Crag Test Methods for the Measurement of the Engineering Properties of Fibre Reinforced Plastics*, Royal Aircraft Establishment, Farnborough, UK, Technical Report 88012, 1988.
- 13 Cristescu, N., *Mecanica materialelor compozite*, vol. 1, Politehnica University of Bucharest, 1983.
- 14 Cherif C., Diestel O., Engler Th., Hufnagl E. and Weiland S. *Textile Werkstoffe Fur Den Leichtbau Techniken - Verfahren - Materialien - Eigenschaften*. Dresden : s.n., 2011. ISBN 978-3-642-17991-4.
- 15 Constantinescu, I.N., Picu, C., Hadăr, A., Gheorghiu, H., *Rezistența materialelor pentru ingineria mecanică*, Editura BREN, București, 2006



16. Cerbu, Camelia (2014). Aspects concerning to the mechanical properties of the glass / flax / epoxy composite material, In: Proceeding of The 5th International Conference "Advanced Composite Materials Engineering" COMAT 2014, 16-17 October 2014, Braşov, ISBN 978-606-19-0411-2, p.30-34
17. Cerbu, Camelia; Popa, Alexandru Constantin V. (2013). Modelarea Structurilor Mecanice, Editura Universităţii Transilvania din Braşov, ISBN 978-606-19-0331-3, 2013, 396 pagini
18. Donald F. Adams -CMH-17, Composite Materials Handbook, Volume 1 "Experimental Characterization of Advanced Composite Materials," , Leif A. Carlsson, and R. Byron Pipes, CRC
19. Donald F. Adams -CMH-17, Composite Materials Handbook, Volume 1 "Experimental Characterization of Advanced Composite Materials," , Leif A. Carlsson, and R. Byron Pipes, CRC
20. Donald F. Adams -CMH-17, Composite Materials Handbook, Volume 1 "Experimental Characterization of Advanced Composite Materials," , Leif A. Carlsson, and R. Byron Pipes, CRC
21. Drechsler, K. Unveröffentlichtes Vorlesungsskript. TU Stuttgart/München, LCC : s.n., 2009.
22. Donald F. Adams, Leif A. Carlsson, and R. Byron Pipes Experimental Characterization of Advanced Composite Materials," , CRC Press.
23. Ermanni, Paolo. Composites Technologien. Zürich : s.n., 2007
24. Franjicevic Mario, Trends in European light vehicle production, HIS Automotive Customer Briefing, Frankfurt, Germany, 17 June 2015
25. Gheorghiu, H., Hadar, A., Constantin, N., Analiza structurilor din materiale izotrope si anizotrope, Printech, Bucharest, 1998.
26. Gude, M., Hufenbach, W.; TU Dresden, Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik.
27. Gheorghiu, H., Hadar, A., Constantin, N., Analiza structurilor din materiale izotrope si anizotrope, Printech, Bucharest, 1998.
28. Goia, I., Teodorescu, H., Rosu, D., A Model of A Rigid Sandwich Composite Structure, The 1st International Conference on Computing and Solutions in Manufacturing Engineering CoSME'04, Sinaia, p. 297, 15th-17th September, 2004.
29. Goia, I., Teodorescu, H., Rosu, D., An Ultra Lightweight and Tough Sandwich Composite Structure. A Theoretical Approach and A Comparison. 10th International Symposium on Experimental Stress Analysis and Material Testing, Sibiu, p. 3-41, 22nd-23rd October, 2004.
30. Galfi, B., Ionescu, R. D., Munteanu, R., & Secara, E. (2015). RT500/RT800 Sandwich Composite Laminate with COREMAT Subjected to Bending Tests. Procedia Technology, 19, 239-246. doi:10.1016/j.protcy.2015.02.035
31. Gheorghiu, H., Hadar, A., Constantin, N., Analiza structurilor din materiale izotrope si anizotrope, Printech, Bucharest, 1998.
32. Holmes, M., Global carbon fibre market remains on upward trend. Reinforced Plastics, 58(6), 38-45. doi:10.1016/s0034-3617(14)70251-6, 2014
33. Heitz, T. The physical-mechanical properties of structural components made of fiber composite materials in the application of steering columns in cars, Doctoral Thesis, Brasov, Romania, 2013
34. Heitz T.-Performantele fizico-mecaniceale pieselor din materiale compozite utilizate pentru coloana de direcţie a autovehiculului, Teză de doctorat, 2013, Brasov, România
35. Hodgkinson, J. M. (1990) An Experimental Comparison of ASTM, BSI and CRAG Standard Test Methods for the Determination of Mechanical Properties of Composite Materials, The



- Centre for Composite Materials, Technical Report 90/02, Imperial College, London.
36. Heitz, T. Analysis of using CFK material for steering columns components in passenger vehicles. CONAT2010: Transilvania University Press,, 2010. ISSN-2069-0401, vol. 2, page 245
  37. Heitz, T. Analysis of using CFK Material for steering columns components in passenger vehicles -2nd Edition. [Buchverf.] A. Chiru. The Automobile and the Enviroment. 2nd Edition. Newcastle, Cambridge Scholars Publishing, ISBN (10) 1-4438-2972-2, 2011.
  38. Heitz, T., Regner, S. und Schacht, A. Lenksäule mit im Flechtverfahren hergestellten Faserverbundelementen. DE 10 2012 005 434 B3 Deutschland, 13.. 04. 2013.
  39. Heitz, T. und Chiru, A. Analysis of using CFK material for steering columns components in passenger vehicles - Part 2. Valencia: FISITA, 13th EAEC Automotive Congress, 2011. C54
  40. Henschke, Tillmann. Diplomarbeit. FE-Modellierung von gewickelten CFK Bauteilen. Dresden : s.n., 2012.
  41. Holmes, M. (2014). Global carbon fibre market remains on upward trend. Reinforced Plastics, 58(6), 38-45. doi:10.1016/s0034-3617(14)70251-6
  42. Hermann, H.G, C. Mohrdieck & R. Bjekovic, „Materials for the Automotive Lightweight Design“, Daimler Chrysler Research & Technology (Research Center Ulm), New Advance in Body Engineering, Aachen, 28 November 2002
  43. Hadăr, A., Probleme locale la materiale compozite, Teză de doctorat, U.P.B., 1997
  44. Hadăr, A. (2002). Structuri din compozite stratificate. Metode, algoritmi și programe de calcul, Editura Academiei Române, București
  45. Hodhkinson J.M- Mechanical testing of advanced fibre composites-Published in North and South America by CRC Press LLC, 2000 Corporate Blvd, Boca Raton FL 33431, USA
  46. Joris Degrieck and Wim Van Paepegem, “Fatigue Damage Modeling of Fiber Reinforced Composite Materials – Review”, Applied Mechanics, 2001, 54, pp.279-300.
  47. Jones, R.M.,. (1975)- Mechanics of composite materials, Hemisphere Publ. Co., New York
  48. Kyungsik Kim, Chai H. Yoo, Analytical solution to flexural responses of annular sector thin-plates, Thin-Walled Structures, Volume 48, Issue 12, December 2010, Pages 879-88
  49. Kraus T., Witten E., Market developments, trends, outlook and challenges, Composites Market Report, November 2016
  50. Lipták, B. G. The instrument engineers' handbook. Boca Raton: CRC Press, 2002
  51. N. Iosipescu, Journal of materials, 1967, 537-566
  52. Nicolae O.I., Impactul materialelor compozite utilizate in constructii asupra mediului, Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti, Teza de doctorat, 2013
  53. Murphy, J., Reinforced Plastics. Handbook, second edition, Elsevier Advanced Technology, Oxford, 1998.
  54. Nettles, A. T., & George C. Marshall Space Flight Center. (1994). Basic mechanics of laminated composite plates. Huntsville, AL: George C. Marshall Space Flight Center.
  55. M.A. Badie, E. Mahdi and A.M.S. Hamouda, An Investigation into Hybrid Carbon/Glass Fiber Reinforced Epoxy Composite Automotive Drive Shaft, Materials and Design, 2011, 32, pp.1485
  56. Narayanan V., Maurer A., **Rad L.E**, Globalisation of the automotive industry-focus on german automotive manufacturers, Romanian Journal of Automotive Engineering, no.1, volume 21, 2015, ISSN 2284-5690





57. Puck, A., Grundlagen der Faserverbund-Konstruktion , Vorlesungsskript, Gesamthochschule Kassel, 1988.
58. Pötzl, Fabian. Diplomarbeit. Untersuchung des Leichtbaus in Lenksäulen mit CFK. Konstanz : s.n., 2010.
59. Pichler, B., In Kollegger International Conference on Mechanics and Physics of Creep, Shrinkage, And Durability of Concrete and Concrete Structures, In Hellmich, C., J.American Society of Civil Engineers. (2015). CONCREEP 10: Mechanics and Physics of Creep, Shrinkage, and Durability of Concrete and Concrete Structures : Proceedings of the 10th International Conference on Creep, Shrinkage, and Durability of Concrete and Concrete Structures, September 21-23, 2015 Vienna
60. **Rad L.E**, T. Heitz, A. Chiru, "New Concept Manufacturing Steering Column Console in Composite Materials", Advanced Materials Research, Vol. 1128, pp. 187-195, Oct. 2015
61. **Rad L.E**, A. Chiru, C. Leahu, -" Calculation of the Steering Column Bracket Made of Composite Materials Reinforced with Continuous Fibers", pp 567-575, Proceedings of the European Automotive Congress EAEC-ESFA 2015
62. **Rad L.E**, A. Chiru, C. Leahu, D. Dogariu-"Composite Materials Testing Method Steering Column Bracket Test", pp 553-565, Proceedings of the European Autootive Congress EAEC-ESFA, 2015
63. **Rad L.E.**, Chiru A., Manufacturing processes for composite materials steering column parts, Romanian Journal of Automotive Engineering, no.2, volume 21,2015, ISSN 1842-4074
64. **Rad L.E.**, Chiru A. (2017) Applicability of Composite Forming Technologies for Automotive Components. In: Chiru A., Ispas N. (eds) CONAT 2016 International Congress of Automotive and Transport Engineering. CONAT 2016. Springer, Cham,DOI: 10.1007/978-3-319-45447-4\_60, ISBN 978-3-319-45446-7
65. Rouby, D (1975)- Materiaux composites, INSA de Lyon
66. Rouby, D (1975)- Materiaux composites, INSA de Lyon
67. Rosu, D., Tomescu, T., Structures from Composite Materials in Aeronautical Constructions, Buletinul AGIR nr. 2, p. 70, 2000.
68. Rosu, D., Tomescu, T., Constructive Elements Made From Composite Materials For Planes, Buletinul AGIR nr. 2-3, p. 70, 2001.
69. Rosu, D., Teodorescu, H., Goia, I., A Rigid Sandwich Composite Structure. A Theoretical Approach and A Comparison,Proceedings of Scientific Session Constructions-Plants CIB 2004, Brasov, p. 63, 18th-19th November, 2004.
70. Roşca, I.C. (2009). Mechanical Vibrations, ISBN 978-973-598-648-3, Editura Universităţii Transilvania din Braşov
71. LEAHU Cristian-Ioan \*Dan-Mihai DOGARIU, **Lucian RAD**, Gabriel MITROI, ASPECTS ON MODELING OF THE PRESSURE WAVE COMPRESSORS, ISSN 1842 – 4074
72. Li, J. et al. 1997, Journal of Composites Technology and Research, 174-183
73. Murphy, J., Reinforced Plastics. Handbook, second edition, Elsevier Advanced Technology, Oxford, 1998.
74. Lemaitre, J. How to Use Damage Mechanics. Nuclear Engineering and Design., 1984
75. Taca, C. & Paunescu. Composite materials., ISBN 9789737558440, MatrixRom, Bucuresti, 2012
76. Teodorescu,H., Fundamentele şi mecanica materialelor compozite. Editura Universităţii TRANSILVANIA,2007.



77. Teodorescu, H., Rosu, D., Teodorescu, F., The behaviour at temperature and humidity variations of fiber-reinforced composite structures, *Revista Constructia de Masini*, 56, nr. 7-8, p. 54, 2004.
78. Teodorescu, H., Goia, I., Rosu, D., Birtu, C., Teodorescu, F., The increase of cracking limits of glass-fabric/polyester-resin composite tubes, *Revista de Ecologie Industrială*, nr. 10-12, p. 20, 23rd-24th November, 2000.
79. Teodorescu, H., Rosu, D., Teodorescu, F., The behaviour at temperature and humidity variations of fiber-reinforced composite structures, *Revista Constructia de Masini*, 56, nr. 7-8, p. 54, 2004.
80. Tsai, S.W., Hahn, H.Th., *Introduction to Composite Materials*, Technomic Publishing Co. Inc., Westport, 1980.
81. Țăranu, N., Decher D., Secu Al., Isopescu, D., Entuc, I., (2001) „Modern building elements made of glass-reinforced polyesters.” *Proceedings of the International Conference on Composites in Materials and Structural Engineering “CMSE/1”*. Prague.
82. Teodorescu D., Vlase S., Chiru A., Purcarea A., Munteanu V., Theoretical and experimental approaches regarding the stiffness increase of fibre-reinforced composite structures. *Advances in manufacturing engineering quality and production systems, Proceedings of the 1st International Conference on Manufacturing Engineering, quality and production systems (MEQAPS 09), Vol. II, Transilvania University of Brasov, Romania, 2009 ISSN 1790-2769*
83. Țăranu, N., Secu Al., Decher, E., Isopescu, D (1992)- *Structuri din materiale compozite și asociate* , Ed. Universității Tehnice « Gh. Asachi », Iași
84. Timoshenko, Stephen, and S Woinowsky-Krieger. *Theory of Plates and Shells*. New York: McGraw-Hill, 1959.
85. Sims G.D, ‘Validation results from VAMAS and ISO round robin exercises’, Tenth International Conference on Composite Materials, Whistler, Vancouver, BC, Canada, eds A Poursartip and K Street, Woodhead, Cambridge, UK, Vol 4, 1995, 195–202.
86. Scutaru, L., *Transferul termic prin panouri tip sandwich utilizate în construcția caselor* , Ed. Universității TRANSILVANIA, 2007.
87. Sturgeon J.B, *Fatigue Testing of Carbon Fibre Reinforced Plastics*, Royal Aircraft Establishment, Farnborough, UK, Technical Report 75135, 1975
88. Scutaru, L., *Transferul termic prin panouri tip sandwich utilizate în construcția caselor* , Ed. Universității TRANSILVANIA, 2007.
89. Schwarz A., Runcianu CA., Gebhardt A. (2017) Expanded Polypropylene Finite Elements Analysis in Transport Application. In: Chiru A., Ispas N. (eds) *CONAT 2016 International Congress of Automotive and Transport Engineering*. CONAT 2016. Springer, Cham
90. S.Tabacu .; Diaconescu D.; Oltean A. Numerical and Experimental Investigations of a Twin Sheet Thermoplastic Structure with Rectangular Frusta In: Chiru A., Ispas N. (eds) *CONAT 2016 International Congress of Automotive and Transport Engineering*. CONAT 2016. Springer, Cham
91. Ventsel E., Krauthammer T. “Thin Plates and Shells-Theory, Analysis and Applications”, Dekker NY. (2001), pp.200 – 225
92. Vlase, S., s.a., *Materiale compozite. Metode de calcul*. Editura Universității TRANSILVANIA, 2007.
93. Vlase, S., s.a. *Mecanica materialelor compozite armate cu fibre*. Editura INFOMARKET, 2008
94. Volkswagen AG. *Manuell verstellbare Lenksäule PQ35GP und PQ24 mod.(caiet de sarcini)*. 2005.



95. Vallons, K. (2015). Databases for fatigue analysis in composite materials. *Fatigue of Textile Composites*, 75-82. doi:10.1016/b978-1-78242-281-5.00004-3
96. Yen-Liang Yeh, Cheng Chi Wang, Ming-Jyijang, Using finite difference and differential transformation method to analyze of large deflections of orthotropic rectangular plate problem, *Applied Mathematics and Computation*, Volume 190, Issue 2, 15 July 2007, Pages 1146-1156
97. Wiedemann, J., *Elastizität und Festigkeit von Bauteilen aus GFK*. In: Ehrenstein, G.W. (editor) *Glasfaserverstärkte Kunststoffe*, Grafenau: Expert, 1981.
98. Wiedemann, J., *Leichtbau. Band 1: Elemente*, Springer-Verlag, 1986.
99. Wiedemann, J., *Leichtbau. Band 2: Konstruktion*, Springer-Verlag, 1989.
100. Klein, Bernd. *Leichtbau-Konstruktion*. Wiesbaden : s.n., 2007. ISBN 978-3-8348-02712.
101. Wiedemann, Johannes . *Leichtbau - Elemente und Konstruktion*. Berlin : s.n., 2007. ISBN 978-3-540-33656-7.
102. Xu, A. C., & Bao, L. M. (2013). Manufacture of Fabric Reinforced Thermoplastic Composites with High Fiber Volume Fraction. *Advanced Materials Research*, 796, 301-305.  
doi:10.4028/www.scientific.net/amr.796.301
103. Wüstenhagen, S., Krombholz, A., Theumer, T., Funke, P., & Lange, O. (2017). Light Weight Vehicle in Natural Fibre Composite. *Key Engineering Materials*, 742, 753-759.  
doi:10.4028/www.scientific.net/kem.742.753
104. WANG, Y. (2014). Optimization of Multi-axle Steering Linkage with Active Rear Axles Steering. *Journal of Mechanical Engineering*, 50(6), 107. doi:10.3901/jme.2014.06.107
105. \*\*\*-ATZ-Economic lightweight steering columns with CFRP components, Springer Fachmedien Wiesbaden *ATZextra Worldw* (2014) 19: 61. doi:10.1007/s40111-014-0465-0 118.
106. \*\*\*-Du Pont. "Technical Guide Kevlar Aramid Fiber." *Kevlar® Aramid Fiber*. Du Pont. Web. 11Apr. 2012. [http://www2.dupont.com/Kevlar/en\\_US/assets/downloads/KEVLAR\\_Technical\\_Guide.pdf](http://www2.dupont.com/Kevlar/en_US/assets/downloads/KEVLAR_Technical_Guide.pdf)>.
107. \*\*\*-Conference on Composites, Advanced Ceramic Materials, And Structures, Lin, H.-T, Singh, M., & American Ceramic Society. (2002). 26th Annual Conference on Composites, Advanced Ceramics, Materials, and Structures, A-[B]: January 13-18, 2002, Cocoa Beach, Florida. Westerville, OH: American Ceramic Society.
108. \*\*\*-ASTM D 4762, "Standard Guide for Testing Polymer Matrix Composite Materials"
109. \*\*\*-ASTM Annual Book of ASTM Standards, Volume 15.03, Space Simulation; Aerospace and Aircraft; Composite Materials
110. \*\*\*-United States. (2002). *Composite materials handbook: Materials usage, design, and analysis*.
111. \*\*\*-Introduction to Mechanics of Composite Materials. (2011). *Mechanics of Fiber and Textile Reinforced Cement Composites*, 75-98. doi:10.1201/b11181-7
112. \*\*\*-International Standards Organization, ISO 14040: environmental management-life cycle assessment-principles and framework, ISO 14041. Goal and scope definition and inventory analysis, ISO 14042. life cycle impact assessment ISO/CD 14043 life cycle interpretation; 1998.
113. \*\*\*-Topocrom-Oberflächen-Technologie.(n.d.).Retrieved-from-<http://www.topocrom.com>



114. \*\*\*-REWAS (Symposium), In Kirchain, R. E., Minerals, Metals and Materials Society, Minerals, & Metals and Materials Society. (2016). REWAS 2016: Towards materials resource sustainability ; proceedings of a symposium sponsored by the Recycling and Environmental Technologies Committee, the Materials and Society Committee, the Extraction & Processing Division, and the Light Metals Division of the Minerals, Metals & Materials Society (TMS) held during TMS 2016, 145th Annual Meeting & Exhibition, February 14-18, Downtown Nashville, Tennessee, Music City Center.
115. \*\*\*-Composite Oracle. Composite Oracle - Fibers - Toray T700 - Extra 24K. Composite Oracle. [Online] [Cited: 05 21, 2013.] <http://www.composite-oracle.com/fibers>
116. \*\*\*-AVK - Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe. Handbuch Faserverbundkunststoffe: Grundlagen, Verarbeitung, Anwendungen. Wiesbaden : s.n., 2010. ISBN 978-3-8348-0881-3.
117. \*\*\*-Topocrom. Carbon processing. [Online] [Cited: 05 02, 2013.] [http://www.topocrom.com/content/pdf/Topocrom\\_Brochure\\_Carbonprocessing\\_D.pdf](http://www.topocrom.com/content/pdf/Topocrom_Brochure_Carbonprocessing_D.pdf).
118. \*\*\*-Stako. CNG Tanks CNG-3. [Online] [Cited: 05 07, 2013.] <http://www.stako.pl/index.php?id=product&prod=30&kat=2&alias=CNG-3&lang=en>.
119. \*\*\*-Mikrosam. MAW20 MC. [Online] [Cited: 04 05, 2013.] <http://www.mikrosam.com.mk/filament/maw20mc/maw20mc.html>.
120. \*\*\*-Fibrolux GMBH. Pultrusion. [Online] [Cited: 01 20, 2013.] <http://fibrolux.com/main/knowledge/pultrusion>
121. \*\*\*-Toray. Torayfa - T700S Data Sheet. [Online] 2011. [Zitat vom: 08. 12. 2011.] [www.toraycfa.com/pdfs/t700sDataSheet.pdf](http://www.toraycfa.com/pdfs/t700sDataSheet.pdf).
122. \*\*\*-ASTM Annual Book of ASTM Standards, Volume 15.03, Space Simulation; Aerospace and Aircraft; Composite Materials
123. \*\*\*-ASTM D 4762, "Standard Guide for Testing Polymer Matrix Composite Materials
124. \*\*\*-Mikrosam.MAW20MC.[Online][Cited:04052013.] <http://www.mikrosam.com.mk/filament/maw20mc/maw20mc.html>.
125. \*\*\*-ASTM Annual Book of ASTM Standards, Volume 15.03, Space Simulation; Aerospace and Aircraft; Composite Materials
126. \*\*\*-ASTM D 4762, "Standard Guide for Testing Polymer Matrix Composite Materials
127. \*\*\*-ISO 5725, 1986; BS 5497: Precision of Test Methods, BSI (London), 1987.
128. \*\*\*-ASTM E 691-92: 'Standard practice for conducting an interlaboratory study to determine the precision of a test method', Annual Book of ASTM Standards, Section 14, General Methods and Instrumentation, Vol 14.02, 1992.
129. \*\*\*-ASTM D 790M-93: 'Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials', Annual Book of ASTM Standards, Section 8, Plastics, Vol 8.01, 1994.
130. \*\*\*-ISO 1924-2: 'Paper and board – Determination of tensile properties – Part 2: Constant rate of elongation method', 1995.
131. \*\*\*-Lucintel LLC, „Assessment of Global Carbon Fiber and Carbon Composites Market,” 2015.
132. \*\*\*-Toray Global, „Production Capacity Toray Group,” 04 2015. [Online]. Available: [http://www.toray.com/ir/management/man\\_010.html](http://www.toray.com/ir/management/man_010.html). [Zugriff am 31 08 2015].



133. \*\*\*-CompositesWorld, „CompositesWorld Industry News,” Gardner Business Media, Inc.,2012 2010. [Online]. Available: <http://www.compositesworld.com/news/aksa-adds-second-carbon-fiber-production-line>. [Zugriff am 28 07 2015].
134. \*\*\*-Hexcel Corporation, „News Hexcel Corporation,” 21 05 2015. [Online]. Available: <http://www.hexcel.com/news/market-news/news-20150521>. [Zugriff 2015].
135. \*\*\*-Continuous impregnation of carbon-fibre rovings | JEC Group. (n.d.). Retrieved from <http://www.jeccomposites.com/news/composites-news/continuous-impregnation-carbon-fibre-rovings>
136. \*\*\*-Fiber reinforcement forms (2015) : CompositesWorld. (n.d.). Retrieved from <http://www.compositesworld.com/articles/fiber-reinforcement-forms-2015>
137. \*\*\*-Researchers develop self-repairing material : CompositesWorld. (n.d.). Retrieved from <http://www.compositesworld.com/news/researchers-develop-self-repairing-material>
138. \*\*\*-SGL Group combines fibers and materials into single business unit : CompositesWorld. (n.d.). Retrieved from <http://www.compositesworld.com/news/sgl-group-combines-fibers-and-materials-into-single-business-unit>
139. \*\*\*-Huntsman announces 60-second cycle times with compression process : CompositesWorld. (n.d.). Retrieved from <http://www.compositesworld.com/news/huntsman-announces-60-second-cycle-times-with-compression-process>
140. \*\*\*-Market Reports, Market Research Reports, Industry Research Reports. (n.d.). Retrieved from <http://www.lucintel.com/keyword-search.aspx?keyword=composite>
141. \*\*\*-Steering Column. (n.d.). Retrieved from [http://www.formula1-dictionary.net/steering\\_column.html](http://www.formula1-dictionary.net/steering_column.html)
142. \*\*\*-Filament winding and other composite production processes – Autonational Group. (n.d.). Retrieved from <https://www.autonational.com/composite-production-processes/>
143. \*\*\*-Fabrication methods (2015) : CompositesWorld. (n.d.). Retrieved from <http://www.compositesworld.com/articles/fabrication-methods-2015>
144. \*\*\*-State of the Composites Industry - 2016 | Composites Manufacturing Magazine. (n.d.). <http://compositesmanufacturingmagazine.com/2016/01/state-of-the-composites-industry-lucintel-2016/>
145. \*\*\*-Our-Products.-(n.d.).-Retrieved-from <http://www.dowautomotive.com/products/voraforce.htm>
146. \*\*\*-Can We Hit the Target?: The 54.5-MPG Fuel-Economy Standard Looms Large – Feature – Car and Driver | Car and Driver Blog. (n.d.). Retrieved from <http://blog.caranddriver.com/the-54-5-mpg-cape-target-looms-large-heres-how-companies-currently-stack-up/>
147. \*\*\*-History of composites - overview. (n.d.). Retrieved from [http://authors.library.caltech.edu/5456/1/hrst.mit.edu/hrs/materials/public/composites/Composites\\_Overview.htm](http://authors.library.caltech.edu/5456/1/hrst.mit.edu/hrs/materials/public/composites/Composites_Overview.htm)
148. \*\*\*-The markets: Automotive (2016) : CompositesWorld. (n.d.). Retrieved from <http://www.compositesworld.com/articles/the-markets-automotive-2016>
149. \*\*\*-How an i3 is born - Automotive Manufacturing Solutions. (n.d.). Retrieved from <http://www.automotivemanufacturingsolutions.com/focus/how-an-i3-is-born>



150. \*\*\*-BMW automobiles : BMW AG website. (n.d.). Retrieved from <http://www.bmw.com/com/en/insights/corporation/bmwi/concept.html>
151. \*\*\*Facultatea de mecanica Iasi -<http://www.mec.tuiasi.ro/RM2/capitole/Cap3.html>,
152. <http://www.eea.europa.eu/publications/co2-emissions-new-cars-and-vans-2016-2017> EEA- Monitoring CO2 emissions from passenger cars and vans in 2016 2017 pp. — 21 x 29.7 cm ISBN 978-92-9213-925-4 doi: 10.2800/987976
- 153.\*\*\* <https://books.google.ro/books-> A. Sofronoiu-Technology, a study of mechanical arts and applied sciences-7 Octombrie 2013 ISBN 9781291585506





### Informații personale

Nume / Prenume Rad Lucian Eugen  
E-mail [lucian.rad@unitbv.ro](mailto:lucian.rad@unitbv.ro)  
Naționalitate Română  
Sex Masculin

### Experiență profesională

Perioada	Iunie 2015-prezent
Funcția sau postul ocupat	Design Engineer
Activități și responsabilități principale	-crearea modelelor 3D și a desenelor pentru componentele dezvoltate -dezvoltarea prototipurilor și testarea acestora, interpretarea rezultatelor -activități de cercetare a materialelor folosite și aplicabilitatea acestora -crearea specificațiilor interne cu privire la măsurarea și testarea componentelor noi
Numele și adresa angajatorului	Stabilus Romania
Tipul activității sau sectorul de activitate	Producție / Automotive
Perioada	Ianuarie 2006- Ianuarie 2014
Funcția sau postul ocupat	Tehnic/vanzari management
Activități și responsabilități principale	-consiliere tehnică și soluționarea problemelor tehnice -administrare și dezvoltare bussiness concept -dezvoltarea portofoliului de clienți -training echipa de vanzari
Numele și adresa angajatorului	SC Gruppo Damidio SA
Tipul activității sau sectorul de activitate	Vanzari/Lubrifianti
Perioada	Ianuarie 2005-Iulie 2005
Funcția sau postul ocupat	Cercetare
Activități și responsabilități principale	-modelarea și dimensionarea celulelor de combustibil PEFC -compararea celulelor de combustibil obținute cu alte tipuri (AFC, DFMC) -cercetări privind integrarea, fiabilitatea și durabilitatea sistemelor de celule pentru transport
Numele și adresa angajatorului	University of Technology Belfort-Montbéliard, 90010 Belfort Cedex France
Tipul activității sau sectorul de activitate	Universitate

### Educație și formare

Perioada	2003-2005
Calificare / Diploma obținută	MA
Disciplinele principale studiate	Electrotehnica aplicată pentru transportul terestru
Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorul de formare	University of Technology Belfort-Montbéliard, 90010 Belfort Cedex France
Perioada	1998-2003
Calificare / Diploma obținută	Inginer Mecanic Autovehicule Rutiere
Disciplinele principale studiate	Inginerie Mecanică, Trafic rutier și Transport, Surse alternative de propulsie
Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorul de formare	Universitatea Transilvania Braşov




### Aptitudini și competențe personale

Limba maternă

Limbi străine cunoscute

Română

Înțelegere		Vorbire		Scriere
Ascultare	Citire	Vorbit interactiv	Vorbire	
C1 Advanced level	C2 Proficient User	C1 Advanced User	C2 Proficient User	C2 Proficient User
C1 Advanced level	C2 Proficient level	C2 Proficient User	C2 Proficient User	C2 Proficient User

<sup>1</sup> Common European Framework of Reference (CEF) lev.  (Ctrl) \*

### Competențe și aptitudini de utilizare a calculatorului

Sisteme de operare: Windows  
Microsoft Office: Word, Excel, Powerpoint  
Software: NX, SolidWorks, Ansys, SAP, ECTR

Competențe și aptitudini sociale

Lucrul în echipă: participare în diferite echipe de cercetare, vânzări și sport.  
Competențe interculturale: timpul petrecut în Franța pe platforma de cercetare a pilelor de combustibil, m-a pus în situația de a cunoaște oameni noi și de a avea un schimb intercultural deosebit

Hobby-uri

Muzica, plimbările, teatrul