

Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Аутомобилско инжењерство
Ниво студија: Основне академске студије
Предмет: Производне технологије
Број индекса: 803/2013

Стефан З. Радосављевић

Технологије за израду резервоара "Формуле студент"
од композитних материјала

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. др Богдан Недић, ред. проф.
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру завршног рада потребно је извршити прикупљање и систематизацију података о резервоарима намењеним за возило Формула студент и технологијама за његову израду. На основу пројектованог модела анализирати карактеристике полимерних композита на бази угљених влакана. У посебном делу рада описати технологије потребне за израду резервоара возило Формуле студент.

Препоручена литература:

- [1] Момчило Стевановић, *Влакнима ојачани полимерни композити. Компоненте. Структура. Испитивање*, Партедон, Београд, 2002. године.
- [2] Богдан Недић, *Технологија спајања и монтаже*, скрипта, Крагујевац, 2014. године.

Крагујевац, септембар 2016.

Ментор:
Проф. Др Недић Богдан

РЕЗИМЕ

Завршни рад обухвата прикупљање и систематизацију података о резервоарима намењеним за возило Формулу студент и технологијама за његову израду. У склопу завршног рада обрађена је детаљна процедура израде резервоара, изграђених од композитних материјала. Дат је процес производње угљеничних влакана и тестирања истих на напоне удара и затезања, начина везивања слојева композитних влакана.

Кључне речи:

Резервоар, формула студент, угљенична влакна, калуп, полимерни композити.

ABSTRACT:

The work includes the collection and systematization of data on fuel tanks intended for Formula Student and technologies for its development. The work includes detailed procedure of making of the reservoir, constructed from composite materials. Process of manufacturing carbon fiber is shown, and its testing on impact and tightening, and methods of bonding layers of composite fibers.

Key words:

Gas tank, formula student, carbon fiber, mold,

Садржај:

1. УВОД	6
1.1 О такмичењу формуле студент	6
1.2 Структура такмичења и дисциплине	7
2. ЗАХТЕВИ ВЕЗАНИ ЗА СИСТЕМ ГОРИВА И РЕЗЕРВОАР	8
2.1 Гориво	8
3. ПОСТОЈЕЋА РЕШЕЊА ЗА ОБЛИК РЕЗЕРВОАРА	12
4. УГЉЕНИЧНА ВЛАКНА ЗА ИЗРАДУ ПОЛИМЕРНИХ КОМПОЗИТА	15
4.1 Добијање композита са полимерном основом	17
4.2 Везивање угљеничних влакана и полимерних матрица	23
5. ИСПИТИВАЊЕ НА ЗАМОР ПОЛИМЕРА ОЈАЧАНИХ УГЉЕНИЧНИМ ВЛАКНИМА.....	25
5.1 Резултати ударног испитивања	26
5.2 Резултати испитивања компактних епрувета на затезање	28
6. КОНСТРУКЦИЈА РЕЗЕРВОАРА ФОРМУЛЕ СТУДЕНТ	36
6.1 Резервоар за гориво.....	36
7. ЗАКЉУЧАК	49
ЛИТЕРАТУРА.....	50

1. УВОД

У склопу завршног рада обрађена је комплетна процедура израде резервоара за гориво Формуле студент, од идеје до реализације. Дати су захтеви које резервоар мора испунити захтевани правилима FSAE, као и концепт такмичења и дисциплине. Обрађена је производња угљеничних влакана, начин спајања слојева угљеничних влакана, тестирање полимера ојачаних карбонским влакнима и резултати су графички приказани. Приказан је начин формирања облика према калупу, као и накнадно спајање делова добијених од композитних материјала лепљењем.

Систем за гориво представља један од битнијих система возила Формула студент. Главни део система горива јесте резервоар за гориво. Резервоар је специфичан део, зато што се не могу користити већ постојећи серијски модели, већ се својим обликом резервоар мора прилагодити постојећој конструкцији формуле. Приступа се конструкцији резервоара и његовом моделирању према захтевима који су постављени од стране FSAE. Зависност запремине резервоара зависи од пумпе за гориво, погонског агрегата, као и од најзахтевнијег дела такмичења, теста издржљивости. Узета је у обзир израда резервоара од полимерних материјала, са акцентом на угљенична влакна. Угљенична влакна налазе примену у индустрији аутомобила и авиона, пре свега због великог односа чврстоће и масе. Веома су лагана а постижу чврстоћу као и челици повишене чврстоће. Одрађена су испитивања на удар и затезања, и резултати су графички приказани. Након свих тестирања, приказан је начин склапања резервоара, који би био израђен из три дела, који би накнадним спајањем формирали резервоар.

1.1 О такмичењу формуле студент

Formula SAE, које организује SAE међународна организација (Society of Automotive Engineers), је такмичење у којем данас учествује преко четири стотине универзитетских тимова из целог света. Прво такмичење одржано је давне 1978. године у Сједињеним Америчким Државама. Циљ студента, који учествује у овом такмичењу, је да научи нове и усаврши већ постојеће вештине у техници, кроз пројектовање, конструисање и израду тркачког возила (формуле). Највећи подстицај напредовању студената даје динамички део такмичења, који се састоји из четири дисциплине: Тест убрзања, Тест ослањања, Брзи круг и Тест издржљивости. Такмичење се састоји и из статичког дела, у коме се врши одбрана, како изабраних и пројектованих техничких решења, тако и економских фактора (трошкови израде и тржишна одрживост). Такмичења Формула студент се одржавају на годишњем нивоу и на њима тимови треба да покажу целогодишњи рад на пројектовању и изради болида. Од самих почетака, такмичења су подржана од стране најважнијих људи из ауто-мото индустрије, од којих су неки и судије на самим такмичењима. Постоји седам званичних такмичења, која се одржавају у: Сједињеним Америчким Државама (Michigan и Nebraska), Аустралија, Бразил, Италија, Велика Британија и Немачка. Од 2006. године Ross Brawn, бивши технички директор Ferrari F1 тима и садашњи технички директор

Mercedes GP F1 тима, је главни промотер Формуле студент. Већина младих инжењера запослених у Мерцедесовом тиму су дошли управо из Формуле студент.

1.2 Структура такмичења и дисциплине

Класа 1 Такмичење у статичким и динамичким дисциплинама Мотор са унутрашњим сагоревањем	Класа 1А Такмичење у статичким и динамичким дисциплинама, Возило побољшано системом за смањење емисије издувних гасова
Класа 2 Такмичење у статичким и динамичким дисциплинама Пројекат возила и делова у CAD програмима и симулације Израда шасије аутомобила	Класа 2А Такмичење тима као у Класи 2 Побољшање пројекта возила Побољшан системом за смањење емисије издувних гасова

Статичке дисциплине Оцена конструкције (Design event) - Детаљно представљање концепта и инжењеринга групи судија из аутомобилске индустрије 150 поена Оцена трошкова и организације (Costs event) - Презетација анализе трошкова, са акцентом на оптимизацији и економичности пројекта 100 поена Пословна презентација (Business presentation) - Презентација тркачког болида тиму судија (“потенцијалним инвеститорима”) 75 поена	Динамичке дисциплине Тест убрзања (Acceleration) - Вози се права деоница у дужини од 75м 75 поена Тест осмице (Skidpad) - Вози се на полигону у облику броја 8 50 поена Вожња слалом (Auto cross) - Вози се један круг стазе који је квалификација за старт теста издржљивости 150 поена Test izdržljivosti (Endurance) - Вози се 22 км стазе са обавезном изменом возача на пола трке. Возачи имају 120 секунди да изврше замену за воланом 300 поена
---	--

2. ЗАХТЕВИ ВЕЗАНИ ЗА СИСТЕМ ГОРИВА И РЕЗЕРВОАР

2.1 Гориво

Основно гориво доступно на такмичењима у Формули САЕ је безоловни бензин. За ФСАЕ северноамеричка такмичења октански број бензина треба бити најмање $91 (P + M) / 2$ (приближно А95), а за остала такмичења, безоловни бензин који ће бити на располагању ће објавити одговарајућа комисија. Међутим, организатор задржава право промене које основно гориво ће се користити на самом такмичењу.

- Уколико организатор не назначи другачије, гориво на Формула САЕ серији такмичења ће бити обезбеђено од стране организатора.
- Током свих наступа возила морају бити погоњена горивом које је обезбедио организатор.
- Гориву на такмичењу се не сме ништа додавати. Забрана се односи на оксиде азота и на друге оксидирајуће агенсе.

НАПОМЕНА 1: Тимови су упознати да је гориво у Сједињеним Америчким Државама предмет разних савезних и државних прописа и да може садржати етанол. Тачан хемијски састав и физичке особине расположивог горива не могу бити познате пре такмичења.

НАПОМЕНА 2: Очекује се да горива на Формули САЕ Мичиген и Формули САЕ Линколн буде бензин октанског броја 93 и 100 $[(P + M) / 2]$ и Е-85. Врсте горива су подложне променама. Контактирајте појединачне конкурентне сајтове за врсте горива и друге информације.

НАПОМЕНА 3: Горива на ФСАЕ такмичењима зависе од добављача. Иако организатори чине сваки напор да обезбеде најављена горива, догађаји изван њихове контроле могу захтевати замене. Саветујемо тимове да прате сајтове за такмичења зарад најновијих информација о врстама горива.

Адитиви горива - забране

Нема агенаса осим горива (бензина или Е85), и ваздух може да се индукује у комору за сагоревање.

Непридржавање овог правила ће бити разлог за дисквалификацију.

Званичници имају право да изврше инспекцију уља.

Промене температуре горива – забране:

Температура горива које се уводи у систем горива не може се мењати са намером да се побољша прорачуната ефикасност.

Резервоари за гориво:

Резервоар је дефинисан као део система за гориво који је у контакту са горивом. Може бити израђен од чврстог или флексибилног материјала.

Резервоари за гориво направљени од чврстог материјала не могу бити коришћени за нођење структурних оптерећења, нпр. из вешања, носача мотора или мењача, и морају да буду чврсто причвршћени на структуру возила везама које омогућавају такву флексибилност да увијање шасије не може да оптерети резервоар.

Сваки резервоар који је направљен од флексибилног материјала, на пример кесе са хелијом гориво или резервоара - торбе обавезна бити затворена унутар круте посуде резервоара горива који је чврсто везан за структуру возила. Резервоари за гориво (који садрже кесе са хелијама горива или резервоаре - торбе) могу бити оптерећени.

Могу се користити резервоари било којих величина.

Систем горива мора да има могућност за пражњење резервоара ако је потребно.

По дизајну, резервоар за гориво не сме имати променљиву запремину.

Сви делови за складиштење горива и система снабдевања горивом морају бити унутар површине дефинисане врхом ролбара и спољним ивицама четири гуме. (Види слику 13). У погледу са стране ниједна компонента система за гориво не сме се налазити испод површине дефинисане рамом или монококом, шта год је коришћено.

Сви резервоари за гориво морају бити заштићени од удара са стране или са задњег краја возила. Сваки резервоар за гориво који се налази бочно изван структуре бочног удара морају бити заштићени структуром изграђеном по Т3.24 или Т3.33. Било који део система горива који је на мање од 350 mm (13,8") од земље, и сви делови резервоара за гориво, мора бити у оквиру примарне структуре.

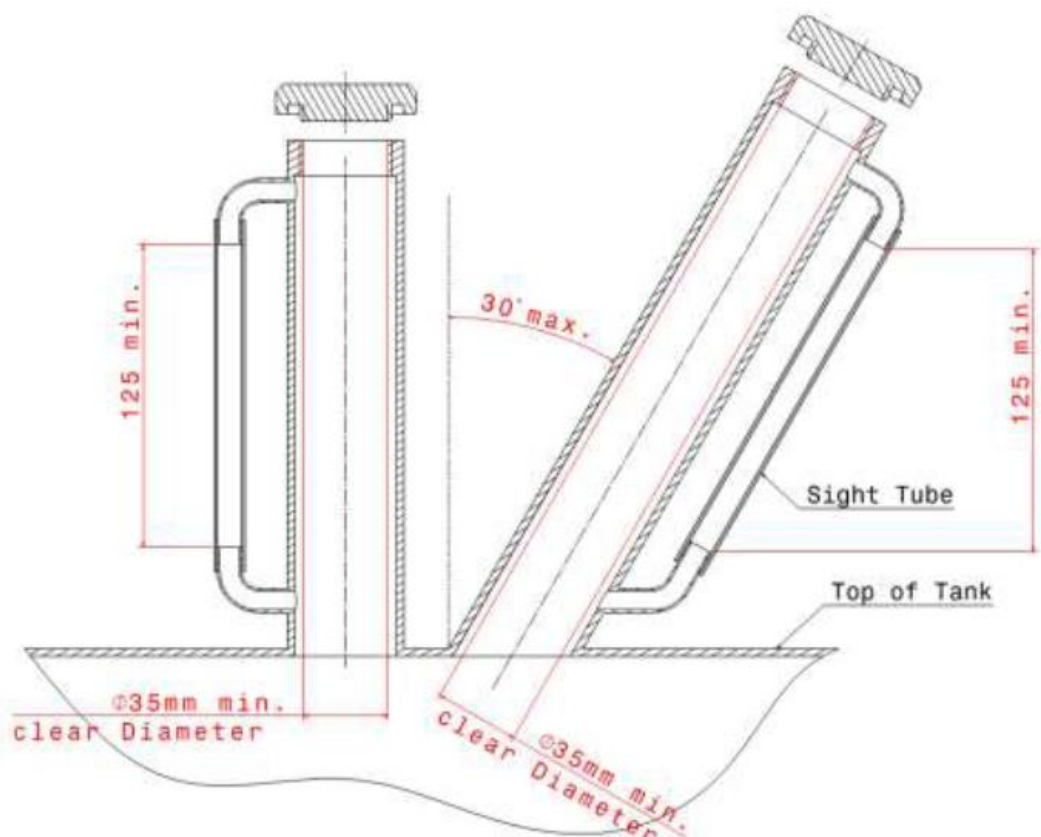
Заштитни зид мора раздвајати резервоар од возача, по правилу Т4.5.

Врат резервоара за пуњење и надзорне цеви:

Сви резервоари морају имати врат који је:

- а. унутрашњи пречник је најмање 35 mm (1,375") целом дужином врата,
- б. најмања дужина врата за пуњење износи 125 mm (4,9")
- ц. врат резервоара не сме бити нагнут више од 30° у односу на вертикалу.

Најмање 125 mm (4,9") вертикалне висине мора бити од горњег нивоа резервоара до врха врата за пуњење, и мора бити опремљен провидним отпорним цревом за читавање нивоа горива (слика 1).



Слика 1: Димензионо ограничења резервоара



Слика 2. Канта за пуњење резервоара

Надзорна цев мора имати најмање 125 mm (4,9") видљиве вертикалне висине и најмање 6 mm (0,25") унутрашњег пречника.

Надзорна цев не сме бити испод горње површине резервоара.

Провидан врат резервоара може да се користи као надзорна цев, уз одобрење комисије за правила или техничких инспектора.

Линија нивоа горива - фиксна, непроменљива линија нивоа горива мора бити између 12,7 mm и 25,4 mm испод врха видљивог дела надзорне цеви. Ова линија ће бити коришћена као линија пуњења у тесту окретања возила (Правило Т8.5), и пре и после теста издржљивости за мерење количине горива које се користи током догађаја издржљивости.

Надзорна цев и линија нивоа горива морају бити јасно видљиви двома особама (једној за пуњење резервоара, а другој да визуелно потврди пуњење), без потребе додатне помоћи (нпр. вештачко осветљење, лупе) или потребе да се уклони неки део (нпр. панели тела).

Појединац који врши пуњење резервоара мора имати потпуно директан приступ отвору за пуњење са стандардном кантом од 2-галона (7,57 литара) (слика 2).

Врат за пуњење мора имати поклопац резервоара који може да издржи значајне вибрације или високе притиске, који се могу јавити током догађаја превртања возила.

Резервоар за гориво мора бити у стању да се напуни без манипулисања резервоара или возила на било који начин. Систем горива мора бити пројектован на такав начин да се током пуњења аутомобила на равној површини, формирање ваздушних шупљина или других ефеката који чине да се ниво горива посматран на надзорној цеви привидно смањује, поготово при љуљању ауто, спречи (осим услед потрошње горива). Током пуњења или допуњавања резервоара возило сме бити додирнуто само од стране екипе за гориво и од стране званичника. Резервоар се пуни до линије пуњења, или уколико се користи аутоматски систем, до аутоматског заустављања система. Уколико се услед неког разлога, ниво горива промени након што тим помери возило, накнадно гориво неће бити досипано.

Систем за гориво мора бити конструисан тако да при просипању током допуњавања резервоара бензин не може доћи до возача, издувног система, врућих делова мотора, или система за паљење.

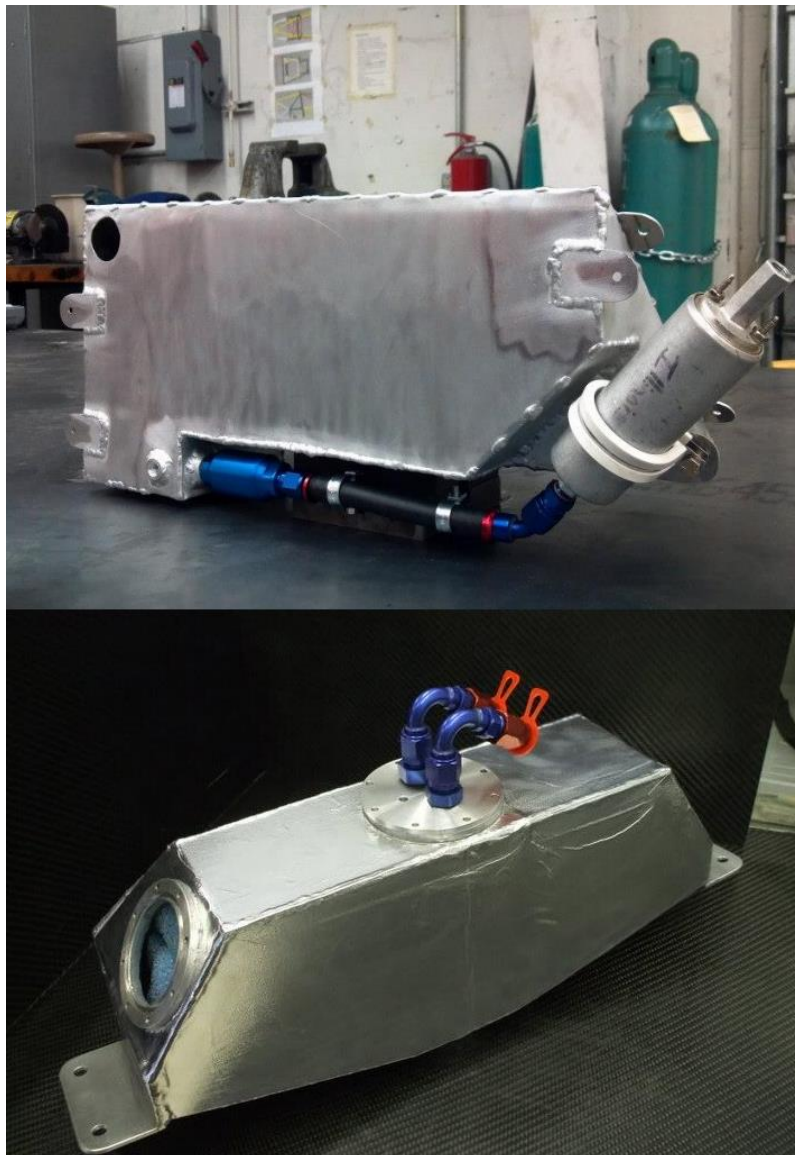
Пластична заштита мора бити проветрена како би спречила накупљање горива. Најмање две рупе, свака пречника најмање 25 mm, морају бити постављене на најнижем делу заштите како би се спречило накупљање испарљивих течности и/или испарења.

Системи за проветравање резервоара за гориво и карбуратора мора бити конструисан тако да се гориво не може просипати током наглог скретања или убрзавања.

Свака компонента система за вентилацију мора бити опремљена сигурносним вентилом за спречавање цурења горива када је резервоар преврнут. Све компоненте система за вентилацију морају се завршавати изван каросерије [1].

3. ПОСТОЈЕЋА РЕШЕЊА ЗА ОБЛИК РЕЗЕРВОАРА

Облик резервоара зависи од доста параметара. Пре свега зависи од правилника који је издат од стране ФСАЕ, дакле мора задовољити низ критеријума неопходних за учествовање на такмичењу. Потом, зависи од позиције других система на самој конструкцији возила, којима се обликом мора прилагодити. Запремина резервоара одређена је тестом издржљивости, који се састоји од трке на 22 *km*, уједно тестом најзахтевнијим за потрошњу горива. На слици 3 приказана су нека од постојећих решења за облик резервоара.



Слика 3. Постојећа решења облика резервоара за гориво (Тим HARE – универзитет из Хадерсфилда, Енглеска, тим Drexel Филаделфија, САД)

Циљ је да се садржи што ниже тежиште возила, како резервоар не би утицао на управљивост возила. Такође, морају се узети у обзир и близина издувног система, и осталих топлих делова возила, како се у случају превртања или неке хаварије не би угрозила безбедност возача и околних такмичара. На слици изнад су дата нека од конкурентских решења за изглед резервоара.

Како би одржао своју суштину, мотоспорт не може бити изузет од тренда повећања економичности горива. Ово носи очигледне конкурентне предности, смањење учесталости пит заустављања или смањење потребне масе горива за саму трку. С обзиром на повећање поена за економичност формуле студент (ФС), потпуна анализа је рађена на формули *Queen's Formula Racing 600ccm* у припреми за такмичење 2011. године. Критеријум за такву економију горива високих перформанси разликује у извесној мери степен оптерећења. Узевши то у обзир, постоје три различита режима; режим под пуним оптерећењем, делимичним оптерећењем и режим без оптерећења. Режим под пуним оптерећењем природно захтевају максимални обртни момент за извођење, али то не значи да уштеда горива не може бити остварена при овом режиму. Тачка на којој је произведен максимални обртни момент са минималним односом ваздух-гориво, јесте мешавина за најбољи обртни момент (ЛБТ), стога је рађено мапирање мотора под пуним оптерећењем. При делимичном оптерећењу, обртни момент је мањи проблем, и одржавање одрживе температуре мотора постаје важније. Са повећањем односа ваздух-гориво, температуре мотора могу драматично да порасту, тако да се температура мери у непосредној близини издувне цеви за широк спектар односа ваздух-гориво. Подаци са такмичарске стазе су анализирани да би се истакле кључне оперативне регије под одређеним оптерећењем и они су мапирани како би се смањило било какво повећање радне температуре. Одговор обртног момента на промену притиска гаса такође је мерен како би се осигурало да је одзив мотора стабилан. У ситуацији у којој је мотор и даље при великој брзини без оптерећења, мотор је надгледан и није потребно гориво. Утицај на обртни момент мотора је мерен. Ови мапирани режими су реализовани и тестирани уз помоћ симулације употребом података са стазе и четвороквадрантног динамометра са мотора са наизменичном струјом. Резултати су показали смањење потрошње горива на 22 круга на стази формуле студент са 5,08 литара на 3,76 литара; око 26% укупног смањења. Стварно гориво коришћено на стази 2011. било је 3,702 литара, са постизањем 8. позиције у догађају издржљивости, додатно потврђује предности мапирања режима [2].

Након опширнијег истраживања и упоређивања такмичара из претходних година, наш тим се одлучио за коришћење потопне пумпе, тј. пумпе која се налази унутар резервоара за гориво. На тај корак смо се одлучили како бисмо искористили већ постојећи простор унутар резервоара за гориво. Друга солуција би захтевала да пумпа буде позиционирана изван резервоара, што би изложило пумпу спољашњим утицајима, а уједно би захтевала и додатни простор за позиционирање на такмичењу на коме је акценат на минимализму. Свака компонента треба бити што мања, лакша... што ефикаснија. Наш тим ће користити пумпу за гориво са мотоцикла *Kawasaki 2006 zx6r* (слика 4).



Слика 4. Потопна бензинска пумпа са мотоцикла *Kawasaki 2006 zx6r*

Карактеристике пумпе:

Проток пумпе: 67 ml за 3 секунде или више

Напон на ком ради пумпа: 4.75 – 5.25 V

Притисак пумпе (у зависности од режима рада):

Почетни притисак при раду пумпе: 3.1 Ba

Притисак када пумпа није у раду: 2.9 Ba[3]

4. УГЉЕНИЧНА ВЛАКНА ЗА ИЗРАДУ ПОЛИМЕРНИХ КОМПОЗИТА

Сировина која се користи за производњу угљеничних влакана се назива претходник. Око 90% угљеничних влакана се производи од полиакрилонитрила (ПАН). Осталих 10% се производи од рајона или нафтне смоле. Сви ови материјали су органски полимери, карактеристични дугим нитима молекула који су међусобно повезани атомима угљеника. Тачан састав сваког претходника зависи од компаније до компаније и генерално се сматра пословном тајном.

Током процеса производње, користе се различити гасови и течности. Неки од ових материјала су дизајнирани тако да реагују са влакнима како би се постигао одређен ефекат. Други материјали су дизајнирани тако да не реагују са влакнима или да спрече реакцију влакана са одређеним материјалима.

Процес производње угљеничних влакана је делом хемијски делом механички. Претходник се извлачи у дуге нити или влакна и затим се загрева до веома високе температуре чиме не дозвољава влакнима да дођу у контакт са кисеоником. Без кисеоника, влакно не може да гори. Уместо тога, висока температура изазива принудно вибрирање атома у влакну док већина некарбонских атома не буде избачена. Овај процес се назива карбонизација и оставља влакна која се састоје од дугих, чврсто међусобно закључаних ланаца атома угљеника са само неколико неугљеничних атома. На слици 5 приказан је пролаз полиакрилонитрила кроз оксидациону пећ.



Слика 5. *Пролаз ПАН влакана кроз оксидациону пећ*

Овде је типичан низ операција које се користе за формирање угљеничних влакана од полиакрилонитрила (ПАН):

Намотавање:

Акрилонитрил пластични прах се меша са другим пластикама, попут метил акрилата или метил метакрилата, и реагује са катализатором у процесу полимеризације или раствора како би се формирала полиакрилонитрил пластика.

Пластика се затим намотава у влакна коришћењем једне од неколицине различитих метода. У неким методама, пластика се меша са одређеним хемикалијама и пумпа кроз ситне млазнице у хемијску каду или у гасну комору где се пластика згрушава и очвршћује у влакна. Ово је слично процесу који се користи за формирање полиакрилних текстилних влакана. У другим методама, пластична смеша се загрева и пумпа кроз мале млазнице у комору где растварачи испаравају остављајући чврсто влакно. Корак намотавања је важан јер се унутрашња атомска структура влакна формира током овог процеса.

Влакна се затим испирају и истежу до жељеног пречника влакна. Истежање помаже поравнању молекула унутар влакана и пружају основ за формирање чврсто везаних угљеника кристала након карбонизације.

Стабилизација:

Пре него што се влакна карбонизују, она треба да буду хемијски модификована како би претворила своје линијске атомске везе на летвичасте атомске везе које су стабилније на повишеним температурама. Ово се постиже загревањем влакана у ваздуху до око $200-300^{\circ}\text{C}$ 30-120 минута. Ово узрокује влакна да покупе молекуле кисеоника из ваздуха и преуреде њихово атомско везивање. Стабилизационе хемијске реакције су сложене и укључују неколико корака, од којих се неки јављају истовремено. Оне такође генеришу своју топлоту, која мора бити контролисана како би се избегло прегревање влакана. Комерцијално, за процес стабилизације се користе различите опреме и технике. У неким поступцима, влакна се извлаче кроз низ загрејаних комора. У другим, влакна пролазе преко врућих ваљака и преко растреситих материјала који је под утицајем протока топлог ваздуха. Неки процеси користе загреван ваздух помешан са одређеним гасовима који хемијски убрзавају стабилизацију.

Карбонизација:

Када су влакна стабилизована, она се загревају на температури од око 1,000-3,000 $^{\circ}\text{C}$ на неколико минута у пећи напуњеној смешом гаса који не садржи кисеоник. Недостатак кисеоника спречава влакна од сагоревања на врло високим температурама. Притисак гаса унутар пећи се одржава већим од спољашњег ваздушног притиска и места на којима влакна улазе и излазе из пећи су запечаћена како кисеоник не допрео у комору. Пошто су влакна загрејана, почињу да губе неугљеничне атоме, са неколико атома угљеника, у облику разних гасова, укључујући водену пару, амонијак, угљен моноксид, угљен диоксид, водоник, азот, и др. Како су неугљенични атоми протерани, преостали атоми угљеника формирају чврсто везане кристале угљеника који су више или мање паралелно усклађени са дужом осом влакана. У неким поступцима, користе се две пећи које раде на две различите температуре како би се боље контролисала брзина грејања током карбонизације.

Третирање површине:

Након карбонизације, влакна имају површину која се не везују добро са епоксидима и другим материјалима који се користе у композитним материјалима. Да би влакна остварила боља везивна својства, њихова површина се благо оксидира. Додавање атома кисеоника на површину даје боље хемијске особине споја и повећава храпавост површине за боље остваривање механичких својстава при везивању. Оксидација се може постићи излагањем влакана у различите гасове као што су ваздух, угљен диоксид или озон; или у различитим течностима попут натријум хипохлорит или азотне киселина. Влакна такође могу бити обложена електролитички, тако што се влакна позитивно наелектришу у купатилу испуњеном различитим електричним проводницима. Процес третирања површине мора бити пажљиво контролисан како би се избегло стварање малих површинских грешака, као што су јаме, што би могло изазвати иницијалне прслине влакана.

Димензионисање:

Након третирања површине, влакна су пресвучена како би се заштитила од оштећења током навијање или ткање. Овај процес се назива димензионисање. Премази су изабрани да буду компатибилни са лепком који се користи за формирање композитних материјала. Типични материјали за облагање су епокси смесе, полиестер, најлон, уретан, и други.

Обложена влакна су намотана на цилиндре под називом бобине. Бобине се постављају на машине за намотавање и потом се плету у предива различитих величина [4].

4.1 Добијање композита са полимерном основом

Влакнима ојачани композити полимерне матрице могу се произвести различитим методама, од којих су најчешће: намотавање, ливење, РТМ поступак, пултрудирање, напрскавање, ручно полагање (ламинирање), вакуумско спајање.

Намотавање (Filament Winding)

Намотавање (engl. Filament Winding) је поступак при којем се континуалана влакна која служе као ојачивач намотавају на модел (обично цилиндрични) тако да обликују шупљи део. Влакна се најпре воде кроз течност која садржи смолу, а затим се континуално намотавају на цилиндрични модел, често применом аутоматизоване опреме за намотавање. Постоји више типова намотавања:

- ☐ навртањем,
- ☐ прстенасто (ободно) и
- ☐ поларно

од чега зависе и механичка својства, (слика 6).

Након наношења низа слојева следи отврдњавање у пећи или при собној температури, након чега се модел одстрањује. Као алтернатива могу се намотавати танки сводови. Намотавањем се постиже врло високи однос чврстоће и густине као и високи степен оријентисаности влакна.

Уобичајене намотаване конструкције су оплате (кућишта) ракетних мотора, резервоари и др.



Слика 6. Приказ намотавања филамената, прстенастог (ободног) и поларног намотавања

Предности:

- ☐ врло брза и економична метода,
- ☐ контрола брзине намотавања,
- ☐ може се регулисати удио смоле на влакнима,
- ☐ трошкови су мањи због тога што се троше појединачна влакна, а не ткања,
- ☐ могу се добити одлична механичка својства композита ако се влакна послажу у смеру деловања оптерећења.

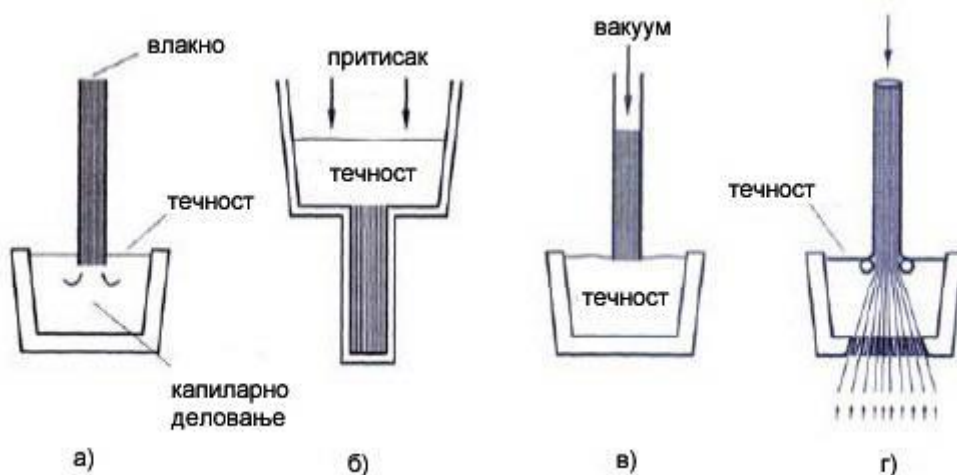
Недостаци:

- ☐ облици производа који се добивају су ограничени,
- ☐ смештај влакана на различите облике није увијек лак,
- ☐ немогућност уздужног полагања влакна,
- ☐ трошкови дела на коју се намотава могу бити високи у случају израде великих делова,
- ☐ спољашња површина производа није увијек естетски прихватљива,

□ прилично недорађена спољашна површина делова искључиво конвексног облика.

Ливење

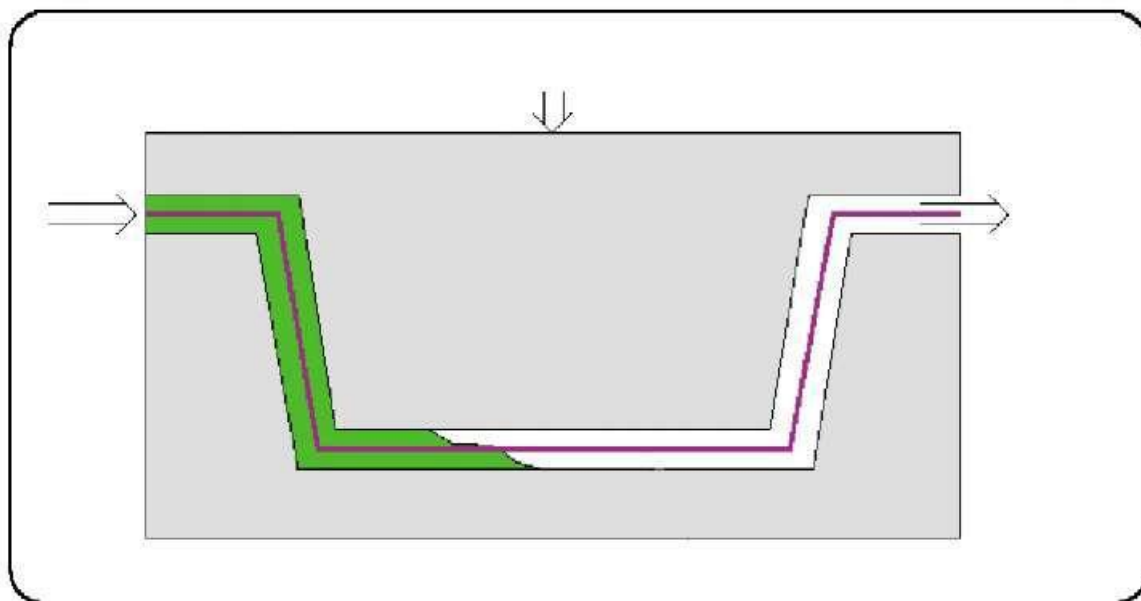
Полимерни композити могу се произвести различитим поступцима ливења. У зависности од начина како се течност полимерне смоле уноси међу влакна разликује се капиларно деловање, ливење под притиском, вакуумско инфилтрирање или континуално ливење, (слика 7).



Слика 7. Производња композита ливењем: а) капиларно деловање, б) ливење под притиском, в) вакуумско инфилтрирање, г) континуално ливење

PTM поступак (RTM Resin Transfer Moulding)

На слици 8 приказан је начин ливења под притиском познат као PTM поступак (engl. Resin Transfer Moulding). Полимерна смола улива се под млазом у калупну шупљину и распоређује око ојачивача, а након полимеризације подстакнуте загревањем, калуп се уклања и добија се производ готовог облика.

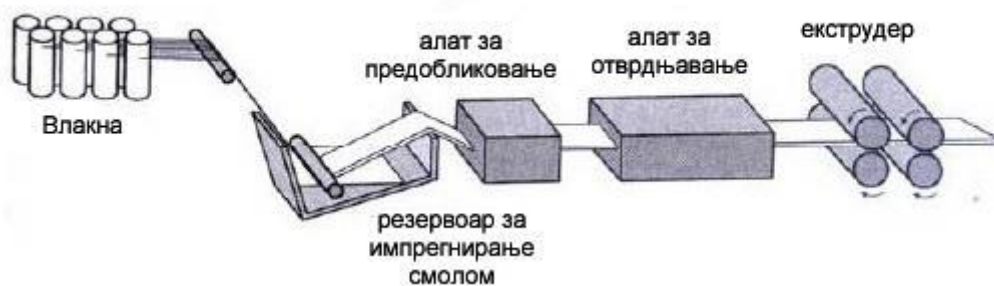
Слика 8. *PTM поступак*

На овај начин могу се лити епоксидне, полиестерске, винилестерске и фенолне смоле, а као ојачивачи користе се разна влакана.

Предности RTM технике су: велики запремински удео ојачивача, ниски садржај ваздуха, добри радни услови као могућност аутоматизације процеса, одличан изглед завршне површине, док су недостаци: веома сложен и велики алат, висока цена алата и ограничење на производе малих димензија.

Пултрудирање (вучење-екструзија)

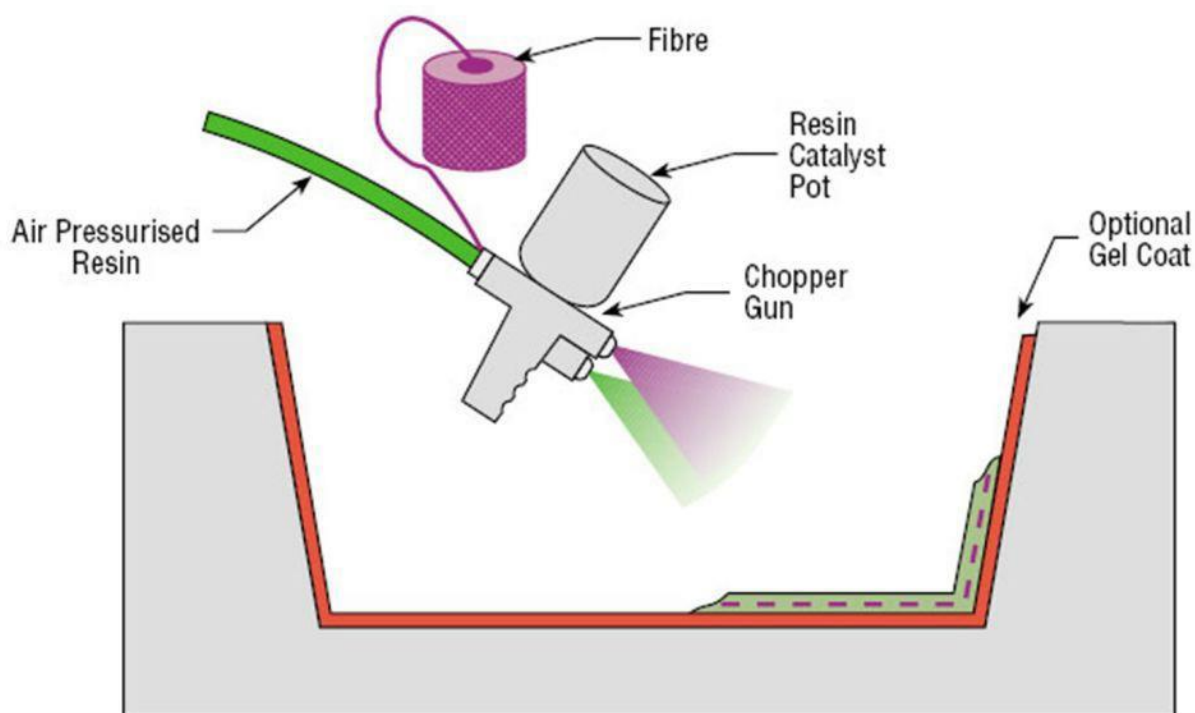
Пултрудирање се примењује за производњу композитних производа константног попречног пресека (нпр. штапови, цеви, греде итд.). Овим поступком, шематски приказаним на слици 9, сноп континуалних влакана претходно импрегниран (натопљен) дуромерном смолом провлачи се кроз алат одговарајућег облика и након тога следи отврђавање чиме се добија коначан облик. Уређај за извлачење вуче производ кроз алате и тиме одређује брзину процеса.

Слика 9. *Приказ поступака пултрудирања*

Применом одговарајућих алата могу се произвести цеви, шупљи елементи или различити други производи константног облика. Главни ојачивачи су стаклена, угљенична и арамидна влакна уобичајених односа од 40 до 70 запреминских %. Најчешће се као матрице користе полиестерске, винилестерске и епоксидне смоле.

Напрскавање

Влакно (Fiber) улази у ручни пиштољ (Chopper Gun) у којем се сече на мање комадиће и додаје у струју текуће смоле. Таква се мешавина напрскава у калуп где се очвршћава у атмосферским условима (слика 10). Као материјал матрице се углавном користе полиестери, док се за ојачање користи искључиво стаклени ровинг.



Слика 10. Приказ поступака напрскавања

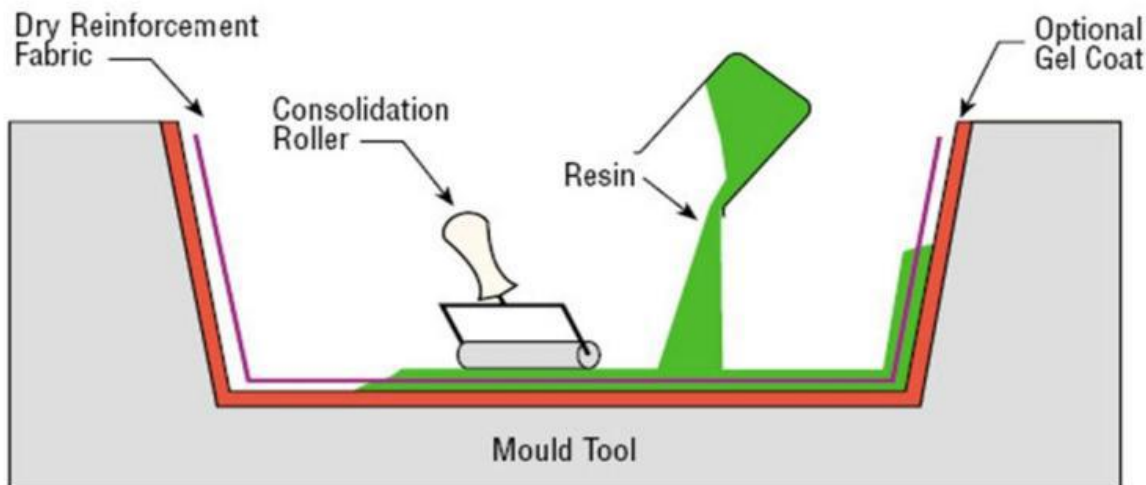
Недостаци поступка су да производ садржи нешто већу количину смоле тако да имају већу масу, за ојачања се користе само кратка и сечена влакна, тако да коначни производ има ограничена механичка својства, смола мора имати малу вискозност како би се могле напрскати, а то најчешће иде на штету механичких и топлотних особина. Проблем може представљати и удео стирена који је у неким случајевима и законом ограничен.

Предности су у широкој примени поступка већ низ година, што је то врло јефтин начин таложења влакна и смоле, а и мали је трошак израде алата.

Ручно полагање (аутоматско ламинирање)

Влакна повезана у ткања различитог облика стављају се у калуп (слика11). На њих се наноси смола која се импрегнира у ојачања помоћу ваљака. До очвршћавања долази при атмосферским условима. Матрице: сви материјали - полиестери, винил

естери, епоксидне смоле, феноли итд. Сви типови влакана (проблеми се једино могу јавити у случају тежих арамидних влакана које је теже натопити ручно.



Слика 11. Приказ поступака напрскавања

Недостаци:

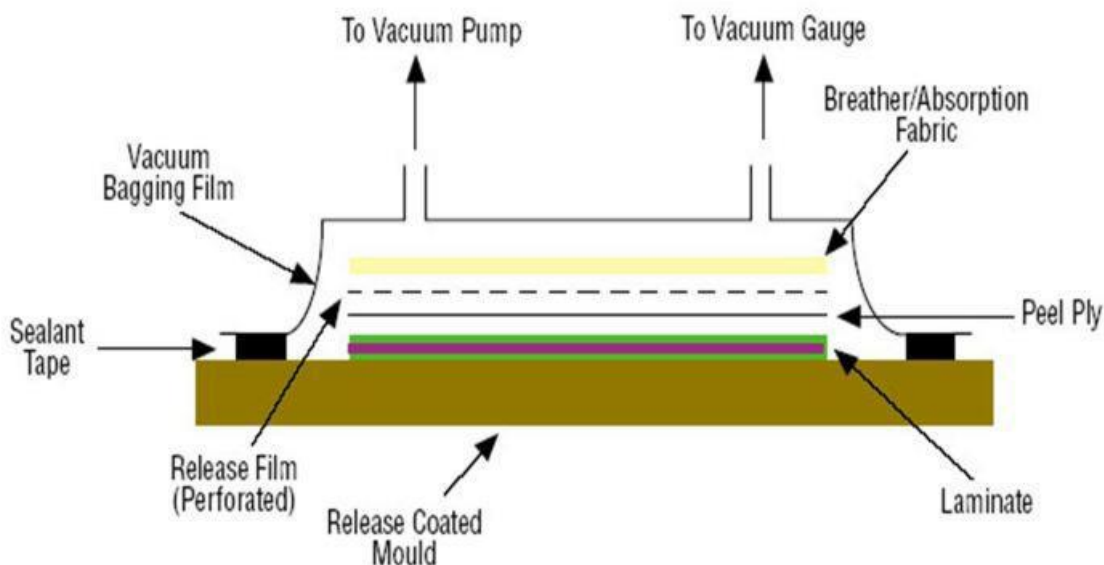
- ☐ квалитет поступка у великој мери зависи од способности радника. Тешко је произвести композите с малим уделом смоле без пукотина,
- ☐ смоле обично имају мању молекуларну масу, што значи да могу бити штетнији од производа с већом молекуларном масом,
- ☐ проблем је уклањање стирена насталог из полиестера и винил естера, морају користити смоле мале вискозности што знатно утиче на својства.

Предности:

- ☐ врло једноставан поступак који се примењује већ дуже време,
- ☐ мали трошкови израде алата,
- ☐ велики избор врста материјала и добављача,
- ☐ удео влакана је већи.

Вакуумско спајање

Ручно се сложе све компоненте композита након чега се на њега ставља полимерни покривач. Помоћу вакуумске пумпе се уклања ваздух и подпритисак врши усисавање течне матрице којом се врши спајање елемената композита (слика 12). Матрице: фенолне и епоксидне смоле, зато што код полиестера и винил естера Проблем може представљати повећана екстракција стирена. Могу се користити све врсте влакана.



Слика 12. Приказ поступака вакуумског спајања

Предности:

- ☐ производња композита с већим уделом влакана,
- ☐ мање пукотина у материјалу,
- ☐ боље је влажење влакана и проток смоле кроз ојачања због деловања повишеног притиска,
- ☐ вакуумски покривач смањује количину изветрелих штетних материја током очвршћавања.

Недостатак:

- ☐ процес је нешто скупљи и захтева прилично велику вештину оператера (врло битно код контроле мешања и удела смоле) [5].

4.2 Везивање угљеничних влакана и полимерних матрица

Везивање између угљеничних влакана и полимерних матрица је такође сложен проблем. Основних равни атома угљеника сучељавају се са површином влакана под различитим угловима, а површина влакана зависи од сировина, поступка добијања влакана и накнадног термичког третирања. Влакна добијена из ПАН влакана имају површину паралелну са основним равнима. Таква површина је врло активна, јер адсорпција гасова модификује површинске особине.



Слика 13. Карбонска влакна из композита са епоксидном смолом

Оксидацијом у току термичког третмана или третманом хемијским реагенсима на површини се стварају функционалне групе типа:

$-\text{CO}_2\text{H}$, $-\text{C}-\text{OH}$, и $-\text{C}=\text{O}$.

Ове функционалне групе омогућују да се створе јаке директне везе са термореактивним, незасићеним смолама и са незасићеним групама термопластичних смола. У одређеним случајевима неопходни су силански, али и други везујући реагенси. Остваривању добре везе са пластичним матрицама помаже велика површина карбонских влакана услед њихове велике храпавости (слика 13) [6].

5. ИСПИТИВАЊЕ НА ЗАМОР ПОЛИМЕРА ОЈАЧАНИХ УГЉЕНИМ ВЛАКНИМА

Утицај оријентације влакана на ударну жилавост и особине лома

Утицај оријентације угљеничних влакана у композиту са епокси матрицом на ударну жилавост и на жилавост лома је експериментално анализирана испитивањем Шарпи епрувета са V зарезом и зарезаних епрувета модификованог СТ облика (са оштрим врхом зареза који замењује заморну прслину). Епрувете су произведене од узорка са оријентацијом влакана $[\pm 45]_{16s}$, $[0/90]_{16s}$, као и са комбинованим саставом $[02/90/\pm 45/90/02]_{4s}$. Епрувете са V зарезом су испитиване на инструментаној Шарпи машини, чиме је омогућено раздвајање енергија настанка и раста прслине. Фактор интензитета напона K_c је изабран као параметар лома. Укупне вредности ударне жилавости су показале да $[0/90]_{16s}$, као што је очекивано, даје највећу отпорност на удар, али су и вредности за $[02/90/\pm 45/90/02]_{4s}$ биле задовољавајуће, са погодним односом енергије ширења и енергије раста прслине.

Испитивање модификоване СТ епрувете је дало сличне и задовољавајуће резултате за фактор интензитета напона за два узорка ($[0/90]_{16s}$ и $[02/90/\pm 45/90/02]_{4s}$), док је за трећи $[\pm 45]_{16s}$, ова вредност нижа за око 20%. Имајући на уму друге предности оријентације $[02/90/\pm 45/90/02]_{4s}$, она се може препоручити као најбоља упркос нешто нижој ударној енергији.

Ради испуњења строгих захтева примене у конструкцији авиона, развијени су композитни материјали са матрицом од епокси смоле и угљеничним влакнима као ојачавачем, који се сматрају материјалом најновије генерације [1]. Комбиновањем два или више различитих састојака, у физичком смислу, могу се добити нове особине жилавости и чврстоће у композитним материјалима. Састојци задржавају своје почетне особине, док композит треба да сачува њихове најбоље индивидуалне особине, али и да поседује особине које нису типичне за саме састојке. Избором погодних састојака и њиховог односа у структури композита, захтеване вредности чврстоће, жилавости, отпорности на корозију и топлоту, проводљивости или пригушивања вибрација се могу постићи из минимални утрошак материјала [2]. Основна разлика у особинама матрица и влакана указује на то да се потребне карактеристике композита могу постићи комбиновањем њихових особина на прави начин, то се на најједноставнији начин постиже оријентацијом влакана у композиту угљенична влакна — епокси смола. Оријентација влакана у композиту одређује понашање конструкцијских компоненти у експлоатацији и њихов отказ због лома матрице или влакана, или због одвајања влакана и матрице.

Карактеризација механичких особина композитних материјала је тежак задатак. Пре свега, поставља се питање како дефинисати њихове затезне особине и особине жилавости, и како применити стандардне методе испитивања, уведене за хомогене материјале. Ово је нарочито случај са локалним особинама, као што су ударна

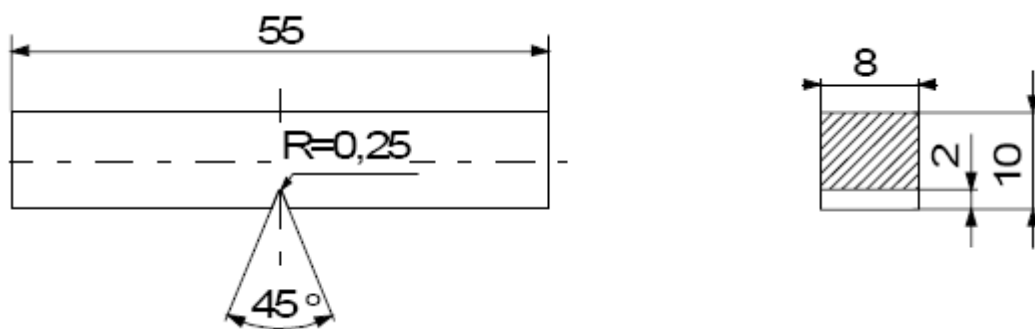
жилавост и параметри механике лома. Жилавост је важна конструкцијска карактеристика, али није је могуће оценити применом истог приступа као за хомогене материјале [3]. Анализа резултата, добијених на основу експерименталних испитивања, може допринети бољем разумевању локалних и појединачних особина сложених конструкција, као што је испитани композит.

Материјал испитан у овом експерименту је композит угљенично влакно - епокси смола, произведен од препрега FIBERDUX NCHR 914/34%132/300 T 300, стандардном процедуром полимеризације у аутоклавима на температури од $175 \pm 0,5^\circ\text{C}$ [4]. Сваки ламинат састојао се од 64 слоја, укупне дебљине 8 mm. Припремљена су три комплета узорака, у зависности од распореда праваца влакана и слојева у композиту:

- I комплет - узорак А са распоредом - $[\pm 45]_{16s}$,
- II комплет - узорак Б са распоредом - $[0/90]_{16s}$
- III комплет - узорак Ц са распоредом - $[02/90/\pm 45/90/0_2]_{4s}$.

Ударно испитивање је изведено са Шарпи V епруветом, дебљине 8 mm (слика 14) на инструментираној машини SCHENCK TREBEL 150 J, на собној температури, према стандарду ASTM E23-86.

Ради оцене одговора материјала композита на концентрацију напона припремљене су компактне епрувете за затезање у складу са ASTM E399, са изузетком заморне прслине (слика 15). Уместо заморне прслине, изведен је веома оштар зарез ширине 0,1 mm помоћу дијамантске тестере. Фактор интензитета напона K_c на врху зареза се одређује процедуром дефинисаном у ASTM E399. Испитивање је изведено на собној температури на електрично-механичкој машини SCHENCK TREBEL RM 100. Отварање прслине (crack opening displacement COD) је праћено помоћу мерача DD1, са тачношћу од $\pm 0,001$ mm, постављеним са стране епрувете, као што је приказано на сл. 2. Да би брзина отварања прслине била константна, испитивање се изводи у контроли COD.



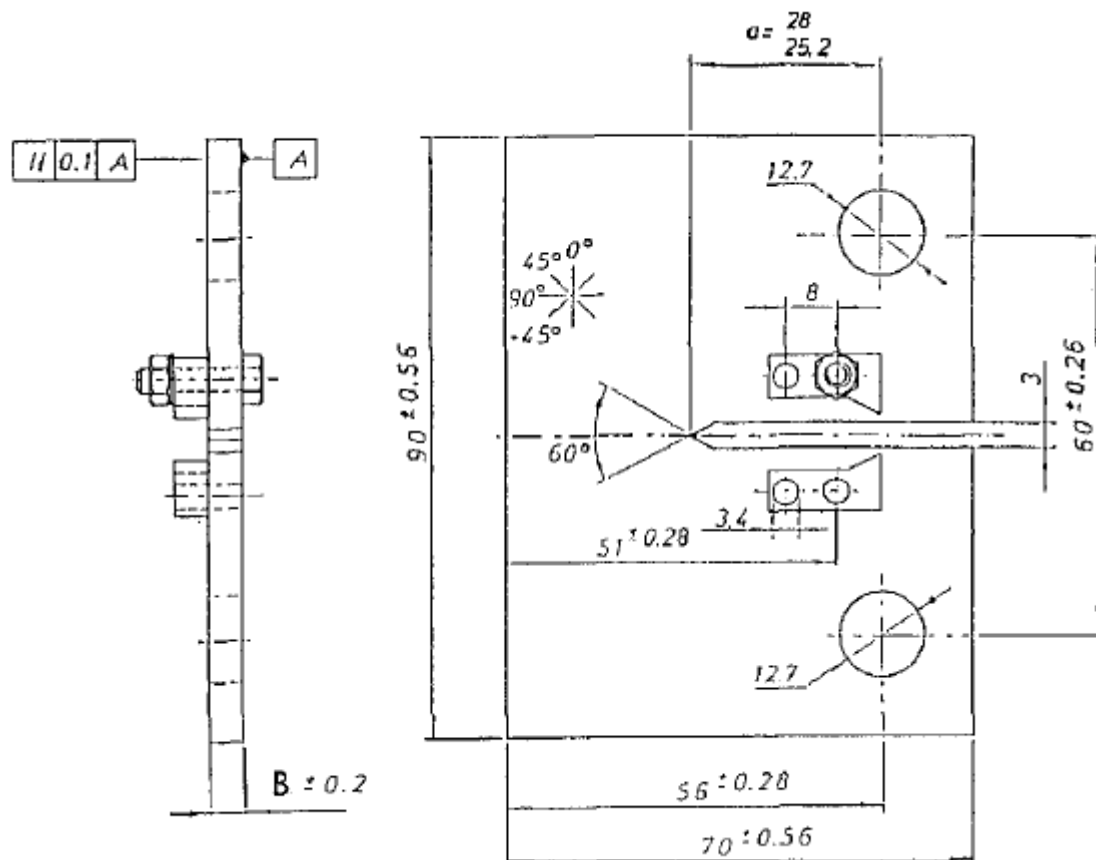
Слика 14. Шарпи епрувета са V-зарезом за ударно испитивање савијањем

5.1 Резултати ударног испитивања

Типичне зависности сила - време, добијени ударним испитивањем на инструментираној машини, су дати на слици 16 за Шарпи V епрувету А1, на слици 17 за епрувету Б1, и на слици 18 за епрувету Ц1. Добијени резултати ударног испитивања

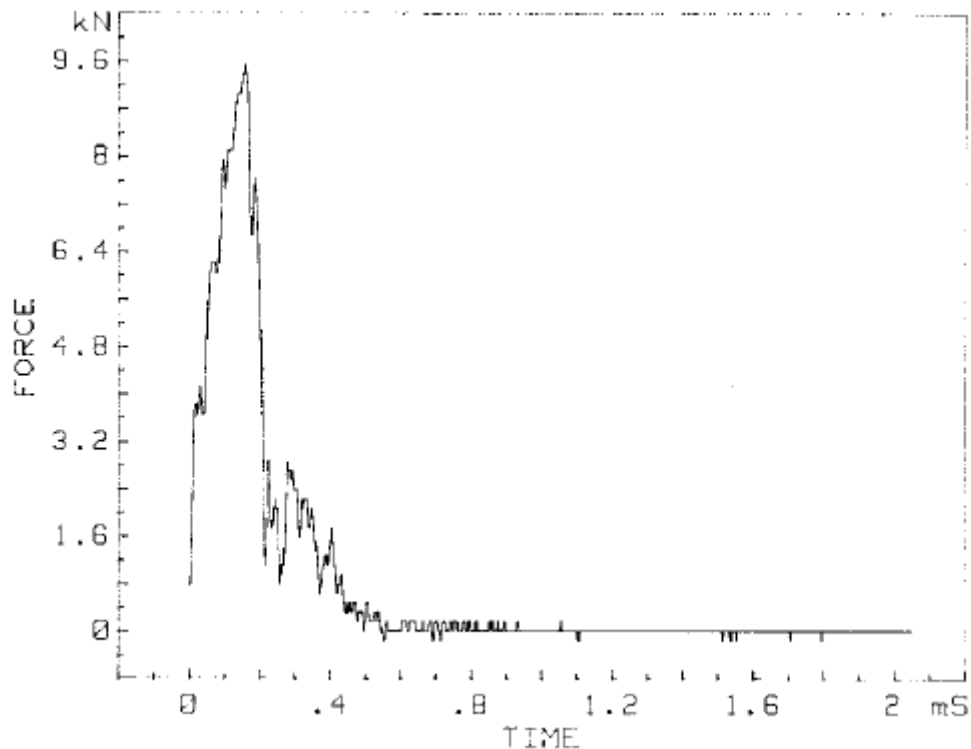
за укупну енергију и њене компоненте за настанак и раст, заједно са вредностима угиба, су дати у таб. 1.

Захваљујући овим подацима, могуће је проценити понашање при лому узорака у којима већ постоје грешке типа зареза или прслине. Поред тога, капацитет материјала који ће бити дефинисан у испитивању савијања, је значајна карактеристика за понашање материјала под оптерећењем.



Слика 15. Модификована епрувета са врхом зареза ширине 0,1 mm и мерачем отварања прслине постављеним са једне стране (дужина зареза $a=28$ mm за епрувете А и Ц, и $a=25,2$ mm за епрувету Б)

Сви дијаграми сила - време за епрувете за ударно испитивање показали су бројне скокове који су настајали у зависности од распореда композита. После максималне силе, оптерећење се смањивало у степенастим скоковима. Највећа максимална сила је нађена за епрувету А (9,6 kN), а најмања за епрувету Ц (6,4 kN), док је средња за епрувету Б (8 kN). Капацитет заустављања прслине је јасно видљив на дијаграму епрувете Ц, нешто умањен за епрувету Б и слабо изражен за епрувету А. Током ударног испитивања, епрувете су биле потпуно уништене раздвајањем на мале делове, са значајним раслојавањем (деламинацијом).

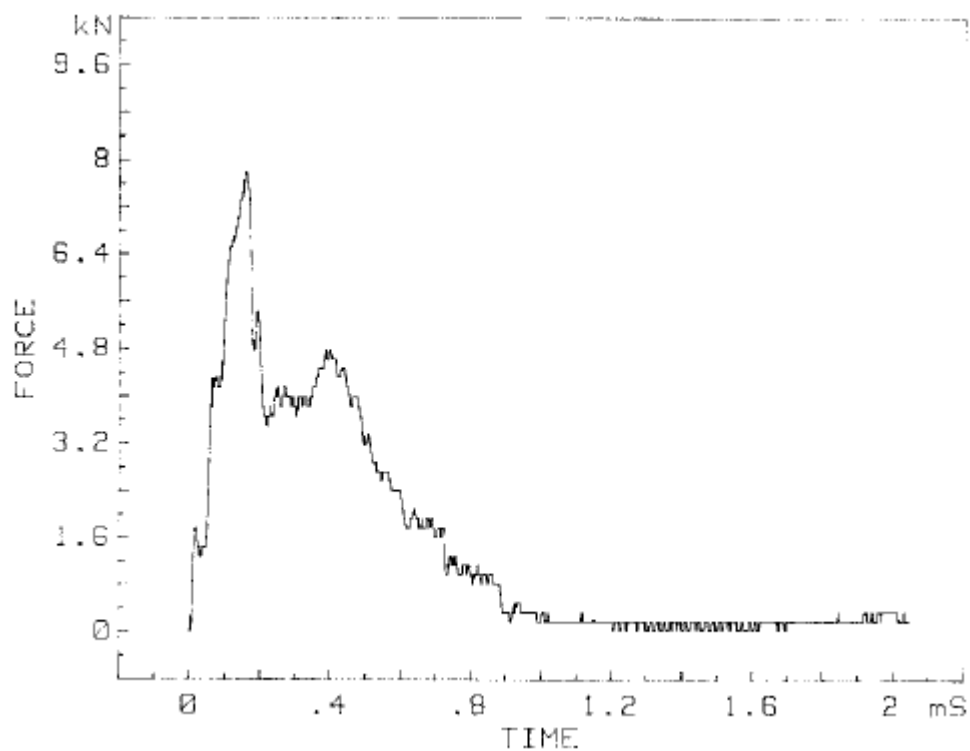


Слика 16. Дијаграм сила (*FORCE*) - време (*TIME*) за епрувету *A1*

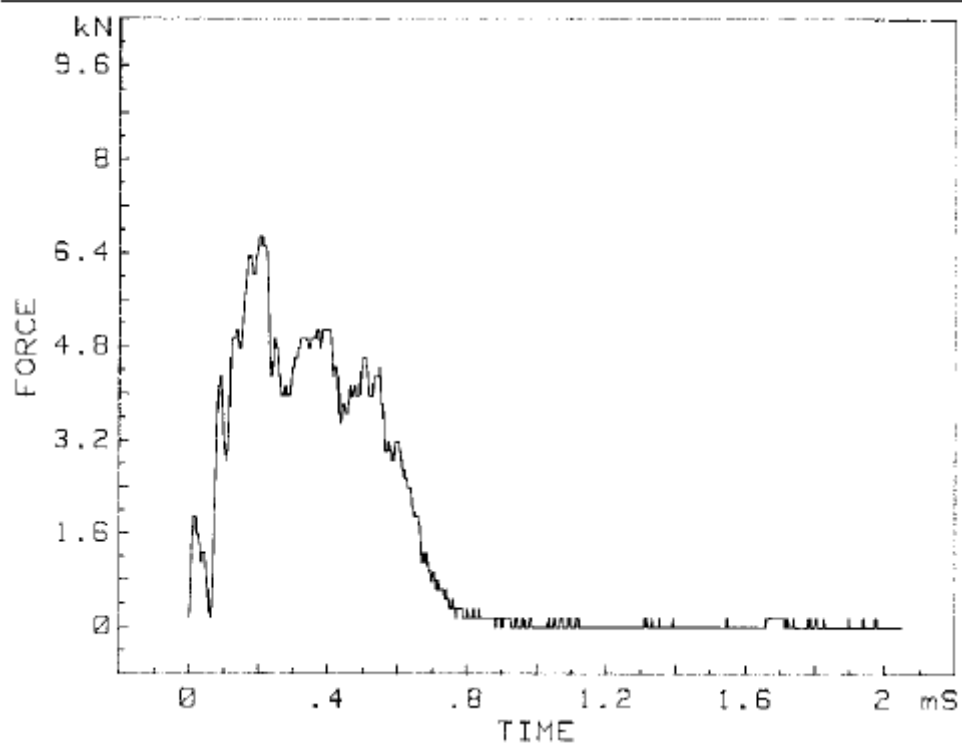
5.2 Резултати испитивања компактних епрувета на затезање

Типични дијаграми сила P - отварање прслине COD, добијени помоћу статички оптерећених модификованих епрувета, су дати на сл. 19. до 21. Добијени резултати фактора интензитета напона су дати у таб. 2.

За епрувету израђену од узорка A, ($[\pm 45]_{16s}$), крива сила (сл. 19) је у почетку права, са извесним закошењем на око 40-45% максималног оптерећења. Први пад оптерећења, који се јавио при сили P_i , узет је као критичан, и приписан је раслојавању. Прслина се шири ломом кроз матрицу дуж правца -45° и ломом влакана дуж правца $+45^\circ$, пошто је постигнута максимална сила P_{max} , са општом путањом лома у виду зуба тестере [5].



Слика 17. Дијаграм сила (*FORCE*) - време (*TIME*) за епрувету B1

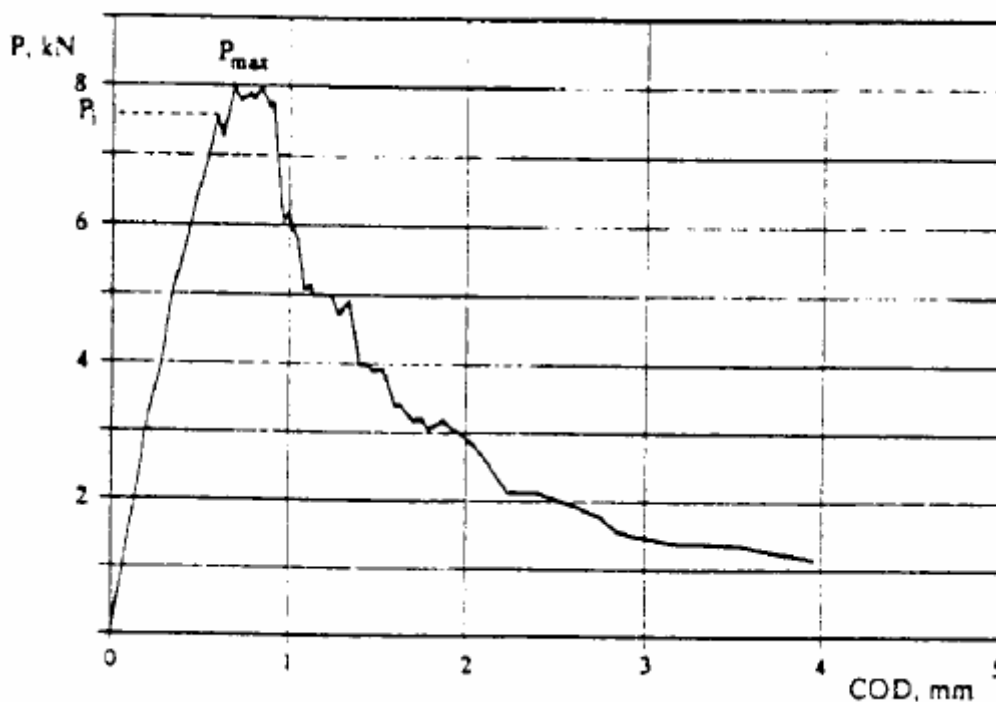


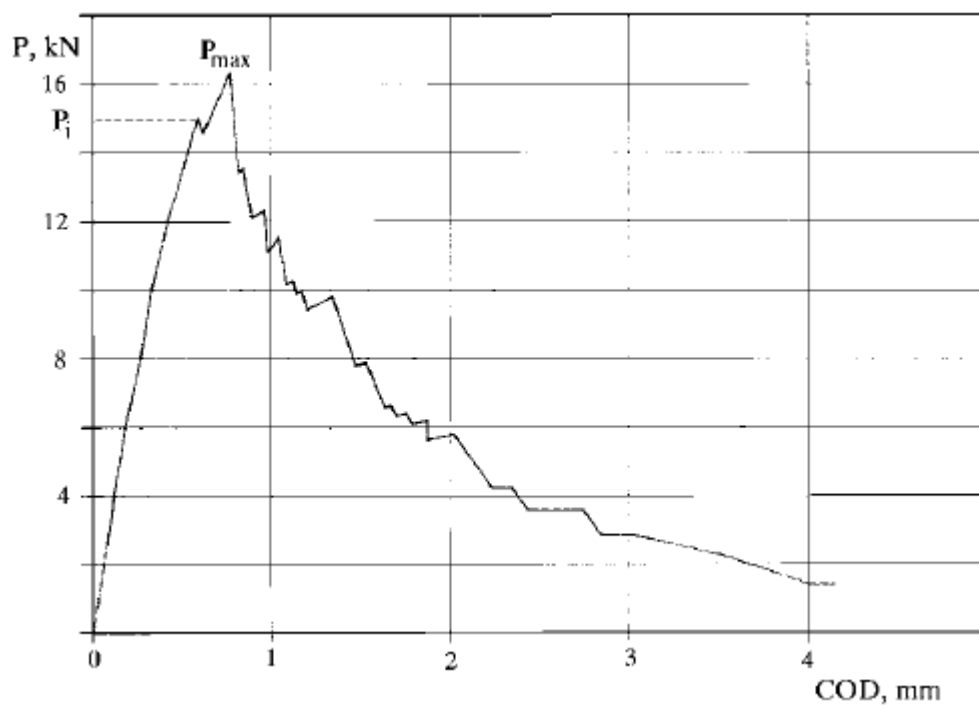
Слика 18. Дијаграм сила (*FORCE*) - време (*TIME*) за епрувету Ц1

Табела 1. Резултати инструменталног ударног испитивања композитних епрувета

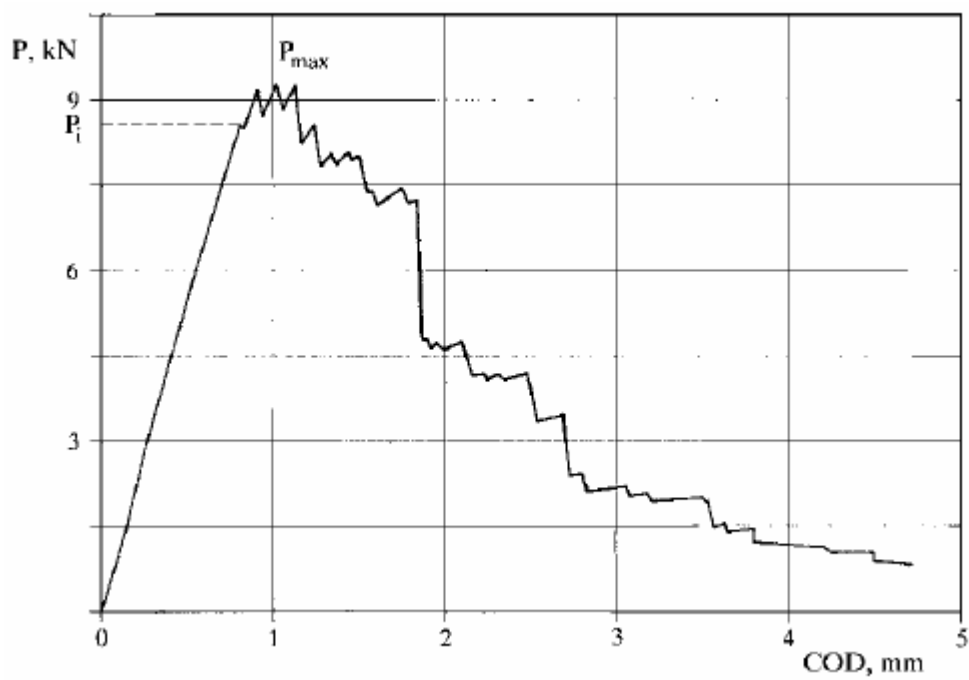
Узорак	Епрувета	Укупна енергија, E_t , J	Energija nastanka prsline, E_{in} , J	Energija rasta prsline, E_{pr} , J	Угиб D_f , mm
УА	1	11,6	4,8	6,8	2,5
	2	10,5	4,4	6,1	2,4
	3	12,3	5,2	7,1	2,7
УБ	1	20,9	4,5	16,4	4,8
	2	24,8	5,3	19,5	4,9
	3	22,5	5,1	17,4	4,8
УЦ	1	16,1	2,6	13,5	3,9
	2	19,7	3,7	16,0	4,0
	3	17,5	3,4	14,1	3,6

Облик дијаграма за епрувету узорка Б (слика 17) је сличан претходном; само што је максимална сила праћена тренутним падом оптерећења. У овом случају, доминантан утицај има лом влакана. Очекивано, највеће максимално оптерећење се јавља за епрувете узорка Б. Део стабилног раста прсине је изражен за епрувете узорка Ц (слика 21) због сложеног распореда и доприноса матричног лома и раслојавања.

Слика 19. Дијаграм сила P - отварање прсине за епрувету A1



Слика 20. Дијаграм сила P - отварање прслине за епрувету Б1

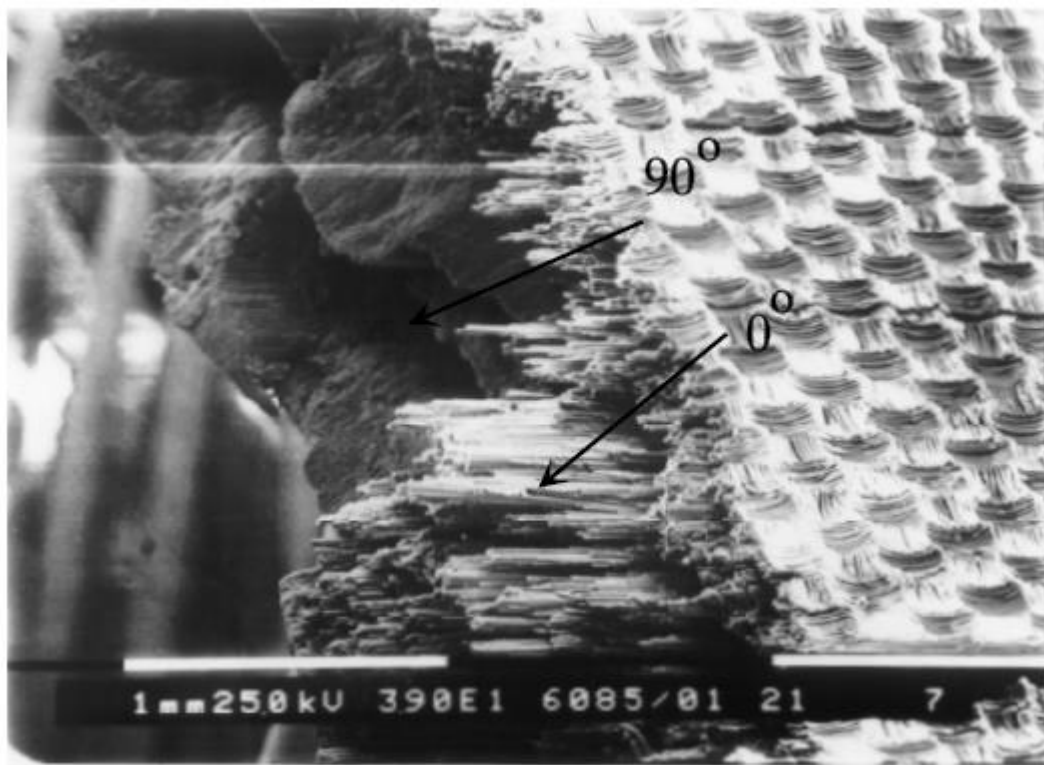


Слика 21. Дијаграм сила P - отварање прслине за епрувету Ц1

Табела 2. Резултати за фактор интензитета напона, добијени испитивањем композита угљенична влакна – епокси смола

Распоред слојева	Епрувета	Фактор интензитета напона $K_c, \text{MPa}\sqrt{\text{m}}$
[± 45] _{16s}	A-1	31,6
	A-2	32,1
	A-3	29,7
[0/90] _{16s}	B-1	36,8
	B-2	37,5
	B-3	36,4
[02/90/ $\pm$ 45/90/02] _{4s}	C-1	35,6
	C-2	36,5
	C-3	37,2

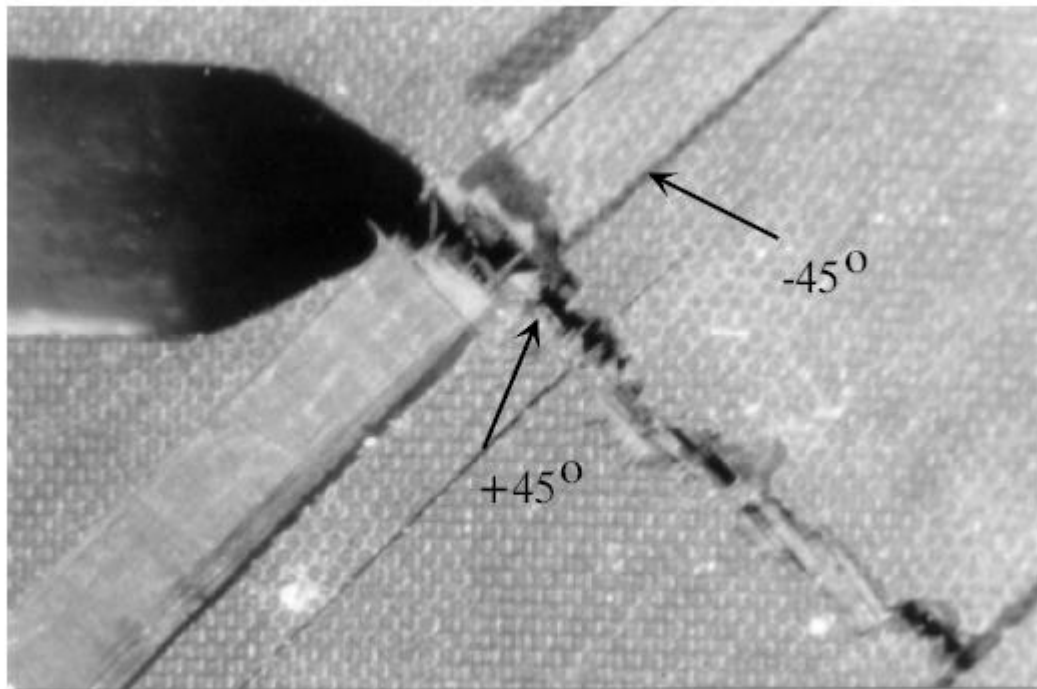
Типичан коначни лом Шарпи епрувете, израђене од узорка Б (слагање [0/90]_{16s}), нађен у једном од сегмената епрувете, разорене при ударном испитивању, је приказан на сл. 9. Правац оптерећења је нормалан на влакна са правцем 0°. Лом око зареза објединио је лом матрице у правцу влакана, и истовремено настало раслојавање, поред најважнијег, лома нормалних влакана. Лом влакана се јављао континуално, јер је чврстоћа влакана спречила тренутни тотални лом, што се одражава на облик дијаграма. Овакав процес лома доприноси већој енергији раста прслине у односу на енергију настанка прслине (таб. 1). Најбоља ударна жилавост је нађена за епрувете Б, заједно са највећим вредностима угиба, скоро два пута већим у поређењу са епруветом А. Овакав резултат је очекиван, имајући на уму распоред влакана. Ударна енергија сложеног распореда влакана у епрувети Ц је задовољавајућа. Интересантно је напоменути да је енергија настанка прслине за епрувете А и Б иста, док је за епрувету Ц знатно мања. Ово се може довести у везу са садржајем матрице у композиту. Међутим, енергија удара се мора разматрати истовремено са затезним особинама, и у овом случају збирне особине узорка Ц су у предности у односу и на узорак А и на узорак Б.



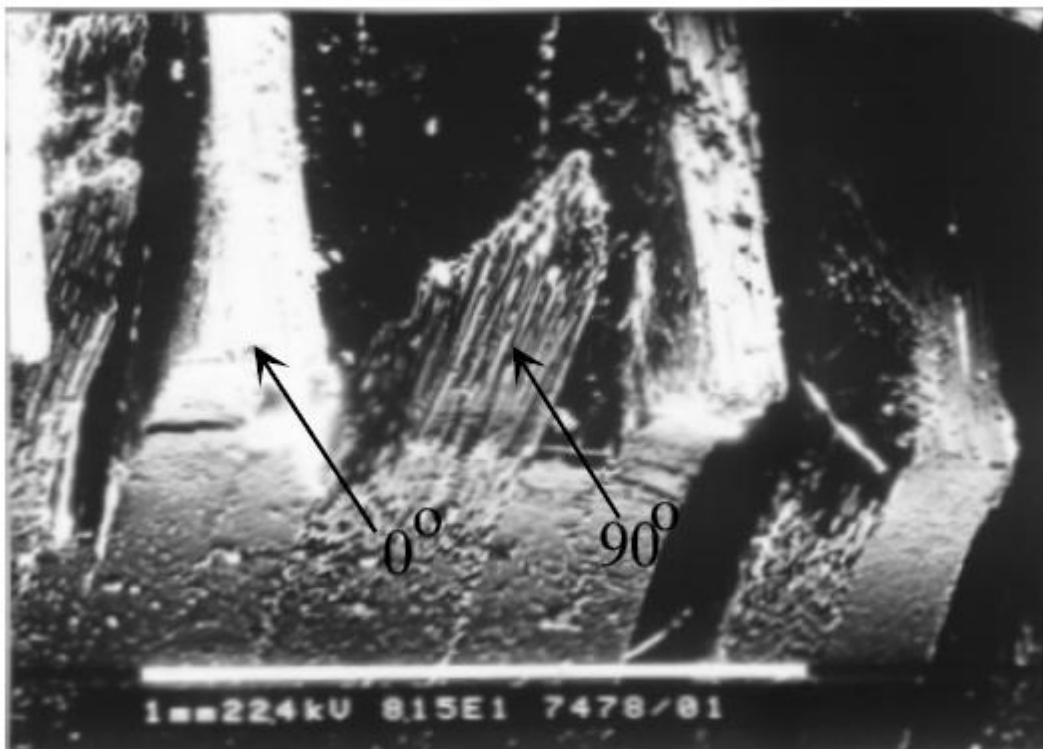
Слика 22. Типичан лом, нађен у једном сегменту Шарпи епрувете узорка Б, разорене при ударном испитивању

Почетни део дијаграма сила (слика 3) за одређивање фактора интензитета напона узорка А (распоред $[\pm 45]_{16s}$) је карактерисан благим смањењем пада, за око 40%, максималног оптерећења, што је последица почетног матричног лома у слојевима $\pm 45^\circ$ и раслојавања дуж влакана. Први значајнији пад силе је уочен на нивоу P_i , и овај скок се узима као критичан за прорачун фактора интензитета напона. При максималној сили, скокови су се јављали на неком платоу, указујући на способност композита да издржи то оптерећење. После максималне силе, скокови су све израженији, што показује да се лом влакана одвија у једној равни (-45°), а раслојавање у другој ($+45^\circ$). Овај процес се понавља, и коначан изглед је тестерасти облик, слика 23.

Дијаграм сила за епрувету В не показује платое или скокове при максималној сили, али се зато јавља изненадан пад силе. Допринос матричног лома и раслојавања је занемарљив за отпорност према расту прслине у поређењу са отпорношћу влакана на лом. Типичан лом епрувете В је дат на слици 24. Лом ових епрувета се посматра као лом влакана, праћен матричним ломом и раслојавањем.



Слика 23. Типично оштећење епрувете са слагањем $[\pm 45]_{16s}$



Слика 24. Типичан лом епрувете Бса слагањем $[0/90]_{16s}$, 81,5x

Сложен распоред у узорку Ц доприноси доброј отпорности на лом, поново са платоом скокова при максималној сили, због матричног лома и раслојавања у

слојевима 90° и 45° . Добијени фактори интензитета напона су сличне вредности за епрувете Б и Ц, док су за епрувету А ове вредности за око 20% мање.

Критично оптерећење P_i се у свим случајевима може приписати почетном лому влакана, уз већ постојећи матрични лом и раслојавање. Ово је праћено повећањем дужине прслине и смањењем попуштања епрувете. Следећи скокови на кривој су последица раста прслине. На овим местима се индукује локални напон клизања, који проузрокује концентрацију затезног напона. Чврстоћа везе влакно - матрица је мања у односу на напон клизања, контакт између матрице и влакна се прекида, и прслина се настати дуж влакна, нпр. доћи ће до коначног кидања везе и лома епрувете [6]. Може се закључити да први скок за силу, P_i , одговара настанку описаног лома епрувете и представља критично оптерећење за оцену фактора интензитета напона.

Генерално, епрувета узорка Ц је карактерисана најбољом комбинацијом особина при ударном испитивању, због високог односа енергије настанка прслине према енергији раста, и жилавости лома. Утицај пластичних компоненти лома (матрични лом и раслојавање) у поређењу са кртом компонентом (лом влакана) је најизраженији.

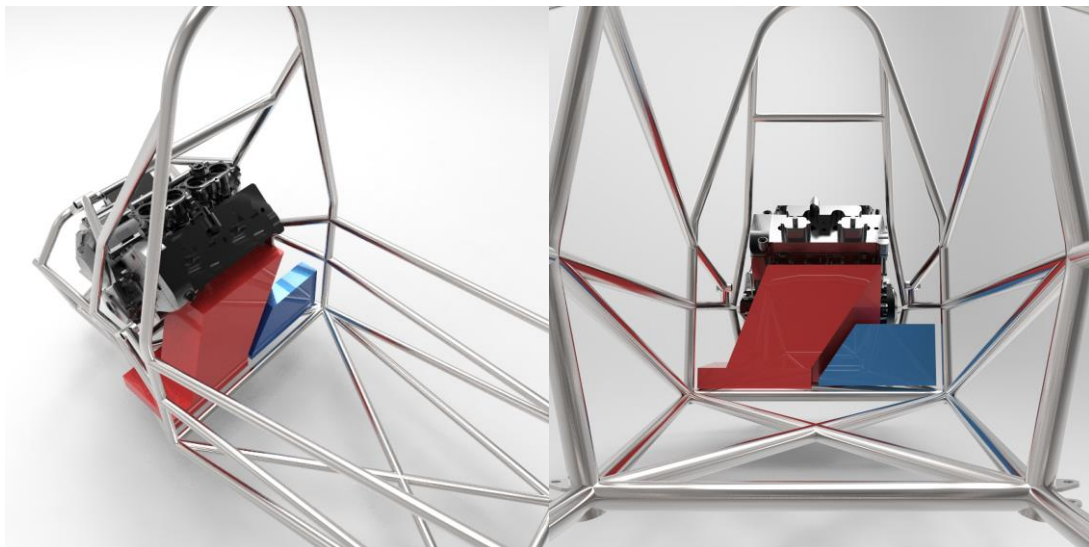
Треба приметити да се епрувете нису потпуно распале током испитивања жилавости лома. Даљим оптерећивањем, јавио се спор и стабилан раст прслине, и оптерећење се степенасто смањило, као на слици 23.

Правац угљеничних влакана у композиту са матрицом од епокси смоле утиче на жилавост композита, као што је уочено током ударних испитивања и испитивања механике лома. Максимална жилавост, изражена енергијом удара Шарпијевих епрувета и критичним фактором интензитета напона модификованих епрувета, је добијена из узорка Б ($[0/90]_{16s}$), док су минималне вредности добијене из узорка А ($[\pm 45]_{16s}$). Распоред слагања у узорку Ц ($[0_2/90/\pm 45/90/0_2]_{16s}$) може се препоручити за производњу компонената, зато што је исказао велику жилавост, блиску жилавост узорка Б, при чему су друге особине израженије због распореда. При конструисању компонената са матрицом од епокси смоле и угљеничним влакнима као ојачавачем, треба узети у обзир да их ударно оптерећење може уништити, као што се десило током овог испитивања [7].

6. КОНСТРУКЦИЈА РЕЗЕРВОАРА ФОРМУЛЕ СТУДЕНТ

Израда производа од композитних материјала је поступак у коме се мора испоштовати низ операција. Пре свега неопходно је изградити калуп жељеног облика. Због сложености геометрије резервоара за гориво, резервоар ће се произвести из три дела који ће се накнадно спојити. Такође, сам резервоар не трпи значајнија механичка оптерећења (неопходно је да издржи притисак од 3 Ba), а ни хемијска (једина суспензија са којом долази у контакт је бензин).

Неопходно је одредити позицију система за гориво на конструкцији формуле. Она је условљена осталим системима, пре свега димнезионално.

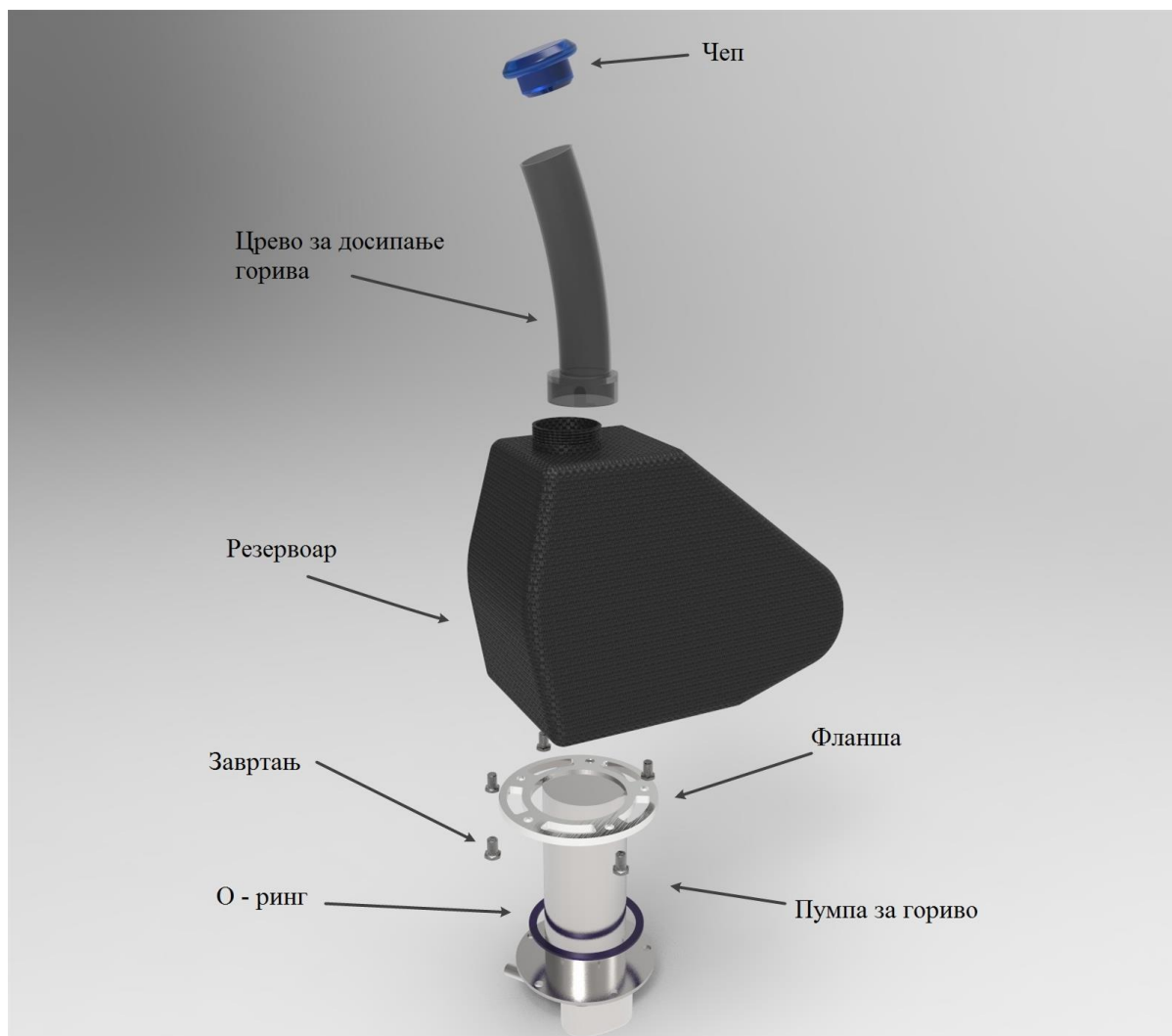


Слика 25. Положај система за гориво и издувног система

На слици 25 је црвеном бојом приказан простор у коме ће се налазити издувне цеви, а плавом бојом је приказан простор у коме се налази систем за гориво.

6.1 Резервоар за гориво

Узевши у обзир конструкцију возила и пратећи захтеве које је прописала FSAE, резервоар формуле је моделиран користећи 3D технологију *Catia V5R21*.



Слика 26. Резервоар са пумпом за гориво и цревом за пуњење

На слици 26 приказани су сви саставни делови склопа резервоара. Склоп се састоји из чепа, који се налази на врху црева за доливање горива. Резервоар је састављен из три дела од угљеничних влакана, са доње стране резервоара налази се фланша која омогућава заптивање. Између фланше и пумпе за гориво налази се о-ринг чији је задатак да омогући савршено налегање пумпе за гориво на фланшу и онемогући просипање и цурење горива. Пумпа за гориво, фланша и резервоар су учвршћени помоћу пет завртња.

Након добијања жељеног облика и димензија (које су условљене димензијама пумпе која се налази унутар резервоара и количином горива неопходним за тест издржљивости), приступа се изради калупа.

Калуп се може израдити од различитих материјала. Може бити израђен од полиестера (уколико физички постоји модел који се жели копирати), може бити израђен од дрвета, различитих брзостврдњавајућих пластика, може бити израђен и од воска.

Постоје два типа калупа: спољашњи и унутрашњи. Приликом коришћења спољашњег калупа предмет израде се маже са унутрашње стране калупа, док при коришћењу унутрашњег калупа, са спољашње стране се наносе слојеви композита који попримају облик. Ми смо се одлучили за унутрашњи калуп.

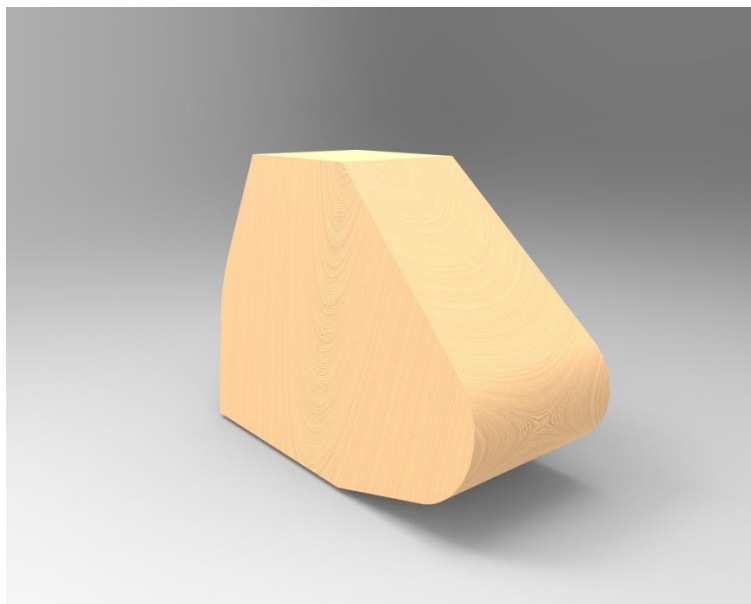
Тим Формула Студент Крагујевац се одлучио да изради калуп од плуте. Фактори који су утицали на одабир овог материјала су пре свега цена и лакоћа обраде. Такође, могуће је искористити CNC машину за израду калупа на самом факултету. Помоћу рачунарских технологија NC-код је генерисан и дат је у прилогу овог рада.

Први корак при изради калупа је набавка сировине. Полази се од комада плуте квадратног облика димензија нешто већих од габаритних димензија резервоара. Припремак ће се накнадно обрадити на CNC машини.

CNC машина за коју је генерисан NC - kod је HAAS машина, која је универзална и скоро било који NC – код јој се може прилагодити уз минималне измене.

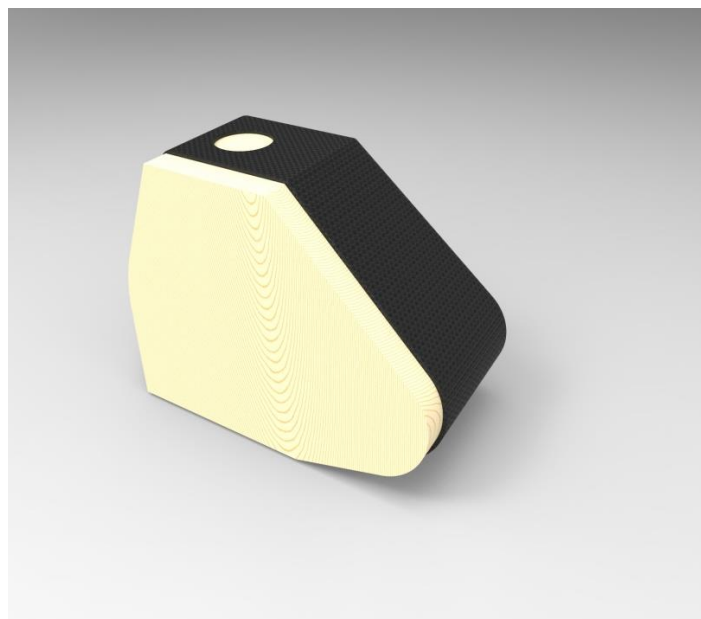


Слика 27. *Савремена HAAS CNC glodalica*

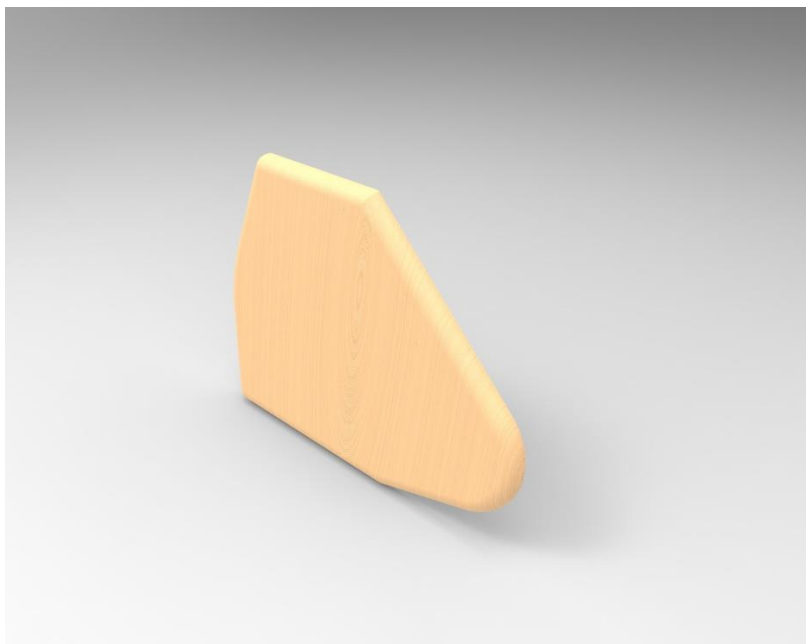


Слика 28. Унутрашњи калуп

Дакле, на слици 28 је приказан поступак израде калупа за први део резервоара његово облагање угленичним влакнима (слика 29). Потпуно исти поступак ће се применити при изради другог дела резервоара (слика 30).



Слика 29. Калуп са премазом од угленичних влакана



Слика 30. Унутрашњи калуп другог дела резервоара

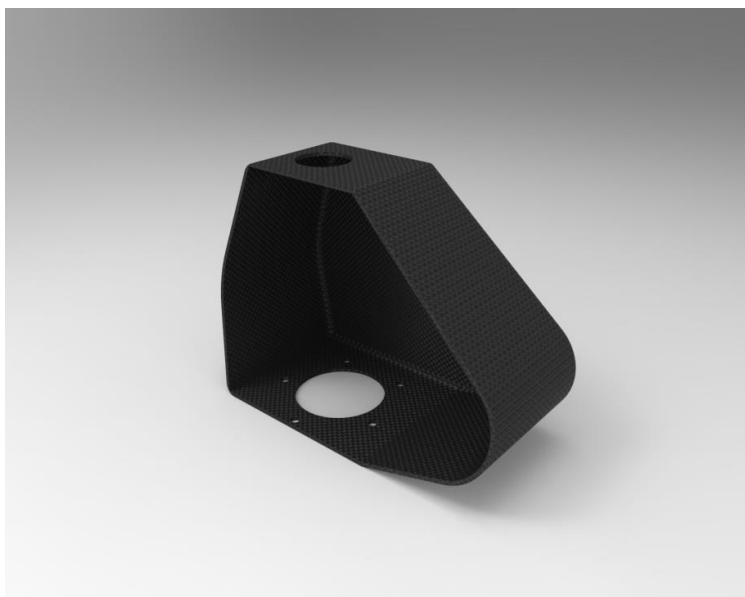
Трећи део резервоара представља чеп на горњој површини резервоара (слика 31) који ће бити први направљен, а приликом израде главног дела резервоара ће се уметнути и сушењем спојити. Истатехника је коришћена при изради сва три калупа.



Слика 31. Калуп за чеп и чеп израђен од угљеничних влакана

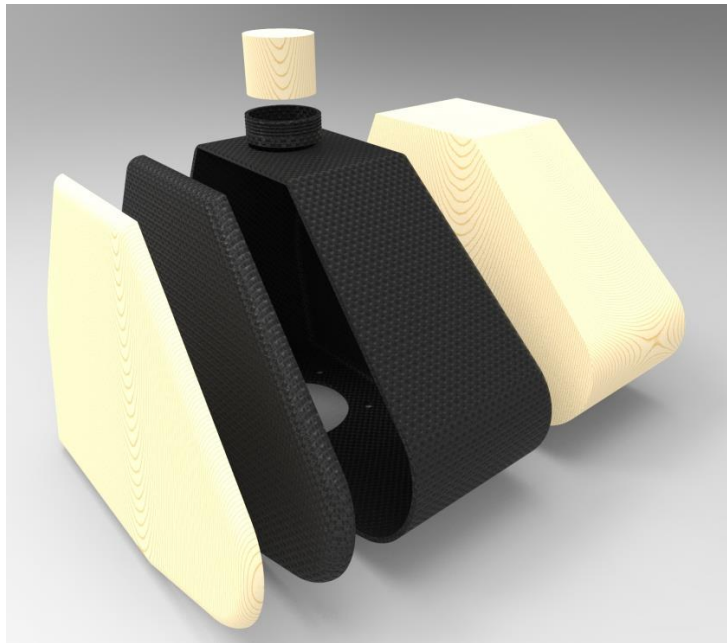
Након израде калупа приступа се поступку фиксирања калупа и почетка наношења слојева композита. Пре свега, на калуп се наноси одвајач, то може бити чак и неки облик масти, чији је задатак да одвоји калуп од првог слоја композита, како касније при скидању готовог производа не би дошло до лома и пуцања композита. Такође, задатак одвајача је да се његовим накнадним полирањем добијени део доведе до савршено углачане површине, углавном ради естетике. Потом се на одвајач наноси први слој композита. Уколико су то угљенична влакна, она се допремају у виду ролни и флексибилна су, као тканина. Угљенична влакна се секу на жељене димензије, увек нешто више преко димензија калупа. Потом се на први слој композита наноси смола и натапа се у композитна влакна четком или ређе ваљком. Потом се на први слој наноси други слој композита и проступак се понавља док се не добије жељена чврстоћа и

дебљина материјала. Након што се одвоји главни део резервоара од калупа, добија се део на који се праве два отвора, на врху за црево за доливање гориво, и на дну за пумпу за гориво (слика 32).



Слика 32. *Изглед првог дела резервоара након одвајања од калупа и са избушеним отворима*

У зависности од оптерећења саме конструкције, одређује се дебљина композитних влакана. Пошто у нашем случају резервоар трпи само вертикалне силе узроковане течностима, и инерцијалне силе проузроковане скретањем возила, упоредном анализом постојећих решења система за довод горива долази се до закључка да дебљина резервоара од 3 mm задовоља све горе наведене параметре. На слици 33 приказани су сви калупи коришћени за добијање жељеног облика резервоара као и сами делови резервоара који ће се накнадним лепљењем спојити у један комплетан део – резервоар (израда резервоара из више делова је неопходна због уметања фланше са унутрашње стране резервоара).



Слика 33. Слика сва три калупа и финалног спајања

Након што се постави последњи слој композитних влакана, смеша се оставља да се стврдне. Време успостављања веза између влакана зависи највише од атмосферских параметара, пре свега температуре и влажности ваздуха. Стога је неопходно да температура стврдњавања буде на нивоу собне температуре или виша. Уколико је неопходно да део израђен од композитних влакана издржи више температуре (неколико стотина степени), стврдњавање се врши у посебним пећима званим аутоклавама.

Технологија израде делове од угљеничних влакана

Најпре се мора израдити калуп. Углавном се користе калупи од полиестера, веома су лаки за обликовање, цена је ниска и веома брзо се стврдњавају. Угљенична влакна се допремају до крајњих корисника у виду ролни, савитљива су као тканина.



Слика 34. Сечење угљеничних влакана

Након мерења, угљенична влакна се одвијају и постављају на калуп. Сечење жељених димензија се врши тако да увек ивица од угљеничних влакана прелази ивицу калупа више од 2 *cm*, као што је приказано на слици 34.

Наредни корак је премазивање површине калупа неком врстом одвајача, могуће је вршити премаз различитим врстама воска, масти... чија је улога одвајање првог слоја угљеничних влакана од калупа (слика 35).



Слика 35. Наношење одвајача на калуп

Наношење одвајача се може вршити четком или ваљком, у зависности од агрегатног стања одвајања (углавном су течни, или на температурама нешто вишим од собне прелазе у течно агрегатно стање).



Слика 36. Наношење првог слоја везивног материјала

Наношење првог слоја везивног материјала (лепка, у овом случају смоле) којима није неопходно термичко третирање врши се четком. Битно је пажљиво наносити сваки слој смоле како не би дошло до појаве ваздушних јастука, који могу нарушити структуру композита, самим тим утицати на његове механичке и хемијске особине (слика 36).



Слика 37. *Постављање првог слоја угљеничних влакана*

Постављање угљеничне тканине се врши тако што се најпре поставља централни, средишњи слој како не би дошло до лепљења тканине и смоле на неодговарајући начин. Дакле, креће се из централног дела и лаганим притисцима угљенично ткиво се утискује у први слој смоле. При наношењу треба пазити да не дође до „гужвања“ тканине, како се не би појавили набори и нарушила структура композита (слика 37).



Слика 38. *Наношење другог слоја везивног материјала на угљенична влакна*

Након постављања првог слоја угљеничних влакана, врши се наношење другог слоја смоле на угљенична влакна. Наношење смоле се врши предметима који не остављају материјал, како нечистоће не би очврснуле и остале саставни део композита након стврдњавања. Наношење се врши шпаклом, благим притисцима којима се нови слој фенолне смоле у једну руку утискује у претходно постављени слој угљеничних

vlakana, а у другу представља везивно средство за наредни слој угљеничних vlakana (слика 38).



Слика 39. *Постављање другог слоја угљеничних vlakana*

На слици 39 приказан је поступак постављања другог слоја угљеничних vlakana. Поступак је потпуно исти као при постављању првог слоја угљеничних vlakana. Дакле, креће се од централног дела, како не би дошло до лепљења тканине на неодговарајући начин, благим притиском се тканина поставља у жељени положај... У зависности од тражених механичких и хемијских особина наноси се одговарајући број слојева композитних vlakana. Пошто резервоар за гориво не трпи велике напоне, два слоја угљеничних vlakana су довољна за потребе резервоара Формуле студент.



Слика 40. *Наношење смоле на други слој угљеничних vlakana*

Након постављања последњег слоја композитних vlakana, врши се наношење слоја смоле, који ће могућити спајање слојева композита (слика 40). Смеса се оставља да се осуши одређени временски период. Период сушења зависи од атмосферских услова, пре свега температуре и влажности ваздуха. С обзиром на коришћење смола

које се суше на собној температури и зарад потпуне сигурности композитна влакна су осатвљена на сушење од 24 h.



Слика 41. Одвајање готовог дела од калупа

Пошто је период сушења завршен, приступа се визуелној инспекцији дела. Уколико је сушење потпуно готово, врши се одвајање угљеничних влакана од калупа. Одвајање треба вршити благим притиском, идеално је коришћење компримованог ваздуха уколико дође до заптивања. Правилном применом одвајача, готов део би требало да се са лакоћом одвоји од калупа. На слици је 41 је приказано одвајање дела резервоара већих димензија од резервоара Формуле студент.

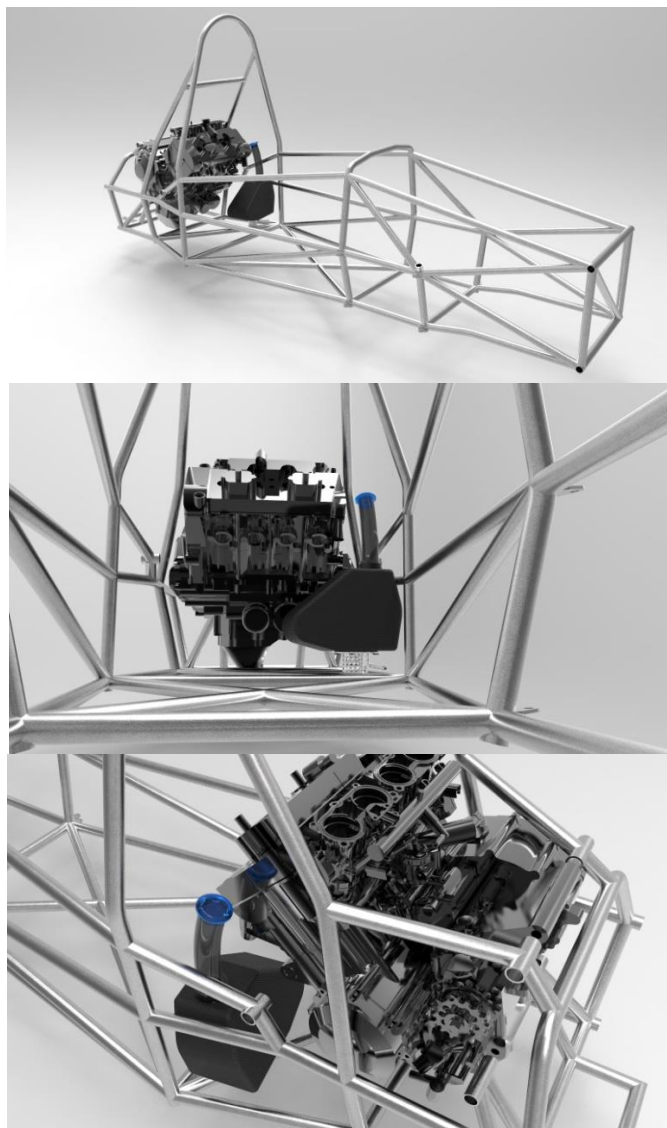


Слика 42. Аутоклава

Аутоклава је јако загрејан контејнер који се користи за хемијске реакције и друге процесе који користе високе притиске и температуре, нпр. стерилизација паром. Висока температура се користи како би се активирала хемијска реакција у смоли, чији је циљ спајање слојева композитних влакана. Уколико нпр. композитни део треба да издржи температуру од 500°C , користи се везивно средство (смола, лепак) која се

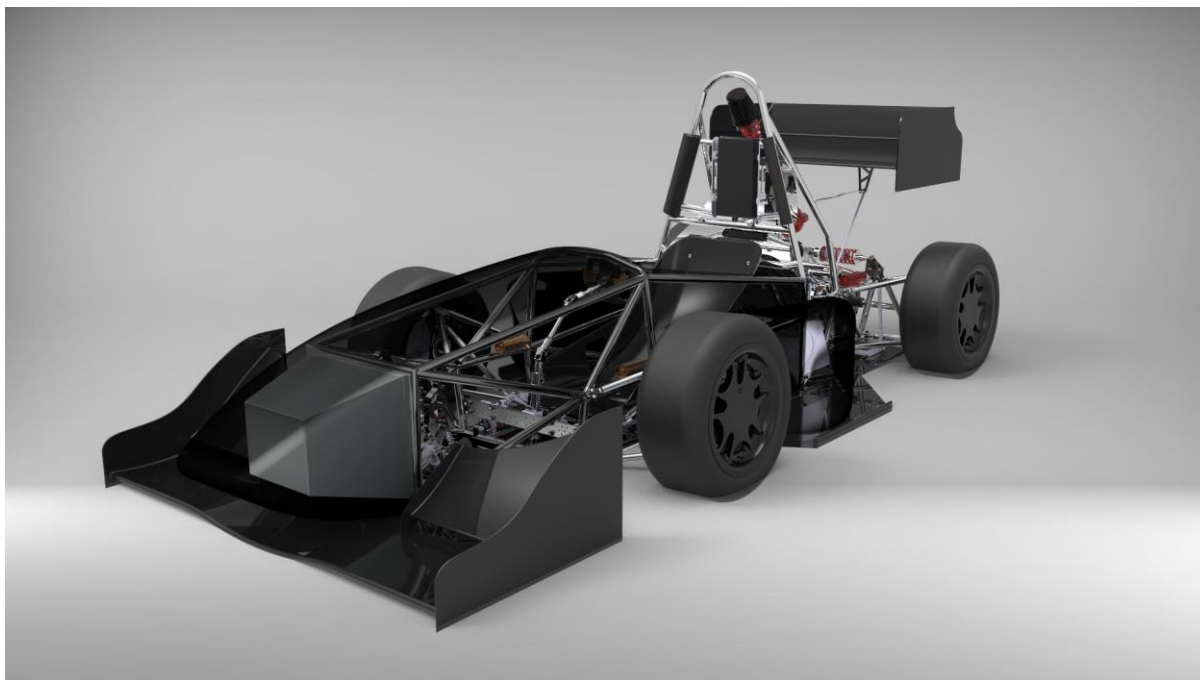
активира изнад те температуре, како при коришћењу не би дошло до деформитета и губитка функције дела израђеног од композитних влакана (слика 42) [8].

Резервоар формуле не трпи термална оптерећења, па коришћење аутоклаве није неопходно, већ је могућа израда резервоара на нивоу собне температуре. Након периода сушења (од $6h - 24h$), приступа се одвајању дела од калупа. Раздвајање се врши релативно лагано због коришћења одвајача или неког вида масти. Након одвајања калупа од дела, приступа се визуелној инспекцији. Уколико део задовољава критеријуме, приступа се одстрањивању вишка влакана, углавном брушењем или сечењем. Након тога део се може подвргнути полирању, мада није неопходно.



Слика 43. *Позиција система за гориво на болиду Формуле Студент ФИН Крагујевац*

На слици 43 је приказано просторно позиционирање система за гориво на постојећем раму Формуле студент ФИН. Види се позиција погонског агрегата и цеви које су условиле моделиран облик резервоара формуле.



Слика 35. Рендер формуле

На слици 35 приказана је целокупна концепција формуле студент ФИН и позиционирање главних система формуле.

7. ЗАКЉУЧАК

Резервоар за гориво је једна од најбитнијих компоненти система за гориво. Може бити различито позициониран, у подовима возила или у прљжаном просотру. У случају болида Формуле студент његова позиција је између возача и погонског агрегата. Резервоар може бити израђен од различитих материјала. Све већу примену у ауто- и мотоспорту налазе композитни материјали. Класични материјали претежно поседује добре хемијске и физичке особине (механичке, триболошке, електричне, ...). Међутим, најчешћи је случај да поседују и неко одступање у потребним особинама које значајно ограничава област примене материјала (нпр. непостојаност на високим/ниским температурама, у агресивној средини, корозиона отпорност, ...). Истраживање нових материјала је увело у употребу композитне материјале као материјале који имају најмање „непожељних“ особина. Акценат је стављен на угљенична влакна, која су веома погодна јер имају веома малу масу, а скоро иста механичка својства као челици повишене чврстоће. Одликује их постојаност на високим температурама, самим тим су безбедни за употребу. Такође, приликом симулације судара у Формули 1 не изазива пикове силе које трпи возач, већ приказује континуално опадање, што је веома битно за сигурност возача. У раду су приказане различите технологије добијања угљеничних влакана, као и њихово третирање у зависности врсте намене. Уколико предмет израде треба да подноси велике напоне и силе, угљенична влакна се подвргају високим температурама и притисцима у посебним индустријским кадама, тзв. аутоклавама. У њима се влакна ослобађају од кисеоника и спајају се везивним средствима. Уколико предмет израде треба да издржи температуру од пар стотитна степени, користе се везивна средства која се разлажу на вишој температури од радне, како при радним условима предмет израђен од угљеничних влакана не би изгубио своје физичко- хемијске особине. Резервоар за гориво не трпи веча оптеречења, те је његов зид танак (3 mm), и израда дела је могућа на условима собне температуре и нормалном атмосферском притиску. Такође је приказан поступак од формирања жељеног облика на основу модела, преко израде калупа до његове реализације.

Литература

- [1] <http://www.fsaeonline.com/content/2017-18%20FSAE%20Rules%20PRELIMINARY.pdf>
- [2] <http://papers.sae.org/2012-32-0027/>
- [3] <http://service.tanga-moteurs.ro/data/Kawasaki%20Ninja%20ZX6R%202005-2006%20Service%20Manual.pdf>
- [4] <http://zoltek.com/carbonfiber/how-is-it-made/>
- [5] Марко Раденковић, *Завршни рад – Композитни материјали*, Крагујевац, 2013. године
- [6] Момчило Стевановић, „Влакнима ојачани полимерни композити. Компоненте. Структура. Испитивање“, Партернон, Београд, 2002. године.
- [7] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211812813000047>
- [8] <https://tuttnauer.com/autoclave>

Прилог

У прилогу је дат NC- код за израду главног калупа резервоара.

```

$$ -----
$$   Generated on Thursday, September 29, 2016 7:54:41 PM
$$   CATIA APT VERSION 1.0
$$ -----
$$ Manufacturing Program.1
$$ Part Operation.1
$$*CATIA0
$$ Manufacturing Program.1
$$  -1.00000  0.00000  0.00000  27.00000
$$   0.00000  1.00000  0.00000  83.00000
$$   0.00000  0.00000  -1.00000  177.00000
PARTNO Part Operation.1
$$ OPERATION NAME : Tool Change.4
$$ Start generation of : Tool Change.4
MULTAX
$$ TOOLCHANGEBEGINNING
CUTTER/ 25.000000, 0.000000, 12.500000, 0.000000, 0.000000,$
      0.000000,180.000000
TOOLNO/2,MILL,2,0, 25.000000, 200.000000,$
      200.000000, 200.000000,, 190.000000,, 180.000000,$
.
.
.....
.
.
.
.
.
.
.
GOTO / 2.77624, 31.49637, 210.63358, 0.984808, 0.000000,-0.173648
GOTO / -48.37403, 31.49637, -79.45404, 0.984808, 0.000000,-0.173648
GOTO / -48.37403, 35.94080, -79.45404, 0.984808, 0.000000,-0.173648
GOTO / -48.33325, 39.35936, -79.22277, 0.984808, 0.000000,-0.173648
GOTO / -48.21168, 42.71370, -78.53332, 0.984808, 0.000000,-0.173648
GOTO / -48.01161, 45.94080, -77.39862, 0.984808, 0.000000,-0.173648
GOTO / 2.41382, 45.94080, 208.57816, 0.984808, 0.000000,-0.173648
FEDRAT/ 1.0000,MMPM
GOTO / 27.00000, 45.94080, 208.57816, 0.984808, 0.000000,-0.173648
$$ End of generation of : Facing.1
FINI

```