

## **10.6. ПОЛИМЕРНИ ЕКО-КОМПОЗИТНИ МАТЕРИЈАЛИ POLYMER ECO – COMPOSITE MATERIALS**

### **Винета Сребренкоска**

Универзитет „Гоце Делчев“, Технолошко-технички факултет, Штип, Република Македонија

### **Гордана Богоева Гацева,**

Универзитет „Св Кирил и Методиј“ од Скопје, Технолошко-металуршки факултет, Скопје, Република Македонија

### **Димко Димески**

Универзитет „Гоце Делчев“, Технолошко-технички факултет, Штип, Република Македонија

### **10.7.1. Вовед**

#### Introduction

Во последната деценија развојот на нови композитни материјали, раководејќи се од критериумите на индустријата, техничко-економските и еколошките критериуми, сè повеќе е насочен кон добивање материјали со добри механички својства со мали трошоци, а притоа „eco-friendly“ – „пријателски“ кон околината. Наметнатите еколошки опасности од пренатрупувањето на пластичниот отпад и од намалувањето на природните ресурси, нафтата и сите суровини сврзани со натамошното производство на мономери итн., ја поттикнаа потребата од примена на природни материјали, особено оние од обновливите ресурси, во добивање композити, како и испитувањата на можноста за нивна повторна употреба.

Еко-композит е термин кој вообичаено се користи за опишување композитен материјал со еколошки предности во однос на конвенционалните. Според дефиницијата, еко-композитот содржи природни влакна како зајакнувач и природна полимерна матрица, но може да биде и комбинација од природни влакна и биоразградлива полимерна матрица. Со тоа, бројот на полимерните матрици кои можат да се употребат во еко-композитните формулации е значително проширен.

Првиот композитен материјал познат во историјата била глина зајакната со слама, за градење ѕидови направена во стариот Египет пред околу 3000 години, но со развојот на други потрајни материјали како металите, интересот за природните влакна опаднал. Меѓутоа, грижата за околината неодамна резултираше во обновување на интересот за природните материјали, така што рециклирањето и намалувањето на емисиите на CO<sub>2</sub> во атмосферата станаа значително поважни при воведувањето нови материјали и производи. Денес сè повеќе се зголемува притисокот на производителите на материјали и крајни производи да го земаат предвид влијанието што го имаат нивните производи врз околината.

Овие барања го поттикнаа интересот на многу индустрии да го насочат фокусот на својот развој кон композитите зајакнати со природни влакна. Денес, полимерните еко-композитни материјали претставуваат предмет на многу научно-истражувачки проекти, како и на многу комерцијални програми.

### **10.7.2. Природни влакна - зајакнувачи**

#### Natural fibers – reinforcements

Во последната деценија, интересот за природните влакна како зајакнувачи за еко-композитните материјали е посебно зголемен како резултат, пред сè, на нивните добри механички својства и нискиот сооднос цена/перформанси. Од друга страна, од еколошки

причини, зголемен е интересот за замена на традиционалните зајакнувачки материјали (неоргански полнила и влакна) со влакна од обновливи природни ресурси (Kim, 2004). Природните влакна претставуваат еколошки пријателска алтернатива за конвенционалните зајакнувачки влакна (стаклени, јаглородни, кевлар). Меѓу најважните природни влакна кои се користат како зајакнувачи во композитните материјали, што се должи на нивните поволни својства и достапност, се вбројуваат ленените, конопните, јутените, кенаф и сисал влакната. Предностите на природните влакна при примената во композитни материјали (во однос на традиционалните) се: високата жилавост, ниската густина, добрата специфична јакост, малата абразивност кон процесната опрема, и секако биоразградливоста. Природните целулозни влакна се карактеризираат со ниска густина и со голема крутост и јакост, а нивните специфични својства се споредливи со специфичните својства на стаклените влакна (табела 10.7.1), (Lee et al., 2006). Поради тоа природните влакна наоѓаат голема примена во добивањето ентериерни делови за автомобилите каде што е посебно значајно намалувањето на масата. Во автомобилската индустрија главно се користеле дрвените влакна како полнила во композитот, меѓутоа тие се кратки и ја подобруваат само крутоста на композитот, но не и јакоста. Затоа, подоцна почнале да се применуваат подолгите природни целулозни влакна, како што се лен, коноп и сисал, од кои се добиваат покруги композитни материјали со повисоки специфични модули кои по своите вредности се блиски до модулите на композитите со стаклени влакна - GRP (Glass Reinforced Plastics). Од тие причини, како и поради пониската цена на чинење, природните композитни материјали се наменети главно како замена за композитите зајакнати со стаклени влакна.

Табела 10.7.1. Карактеристики на природни влакна (споредени со некои синтетички)  
Table 10.7.1. Features of natural fiber (compared to some synthetic), (Lee et al., 2006)

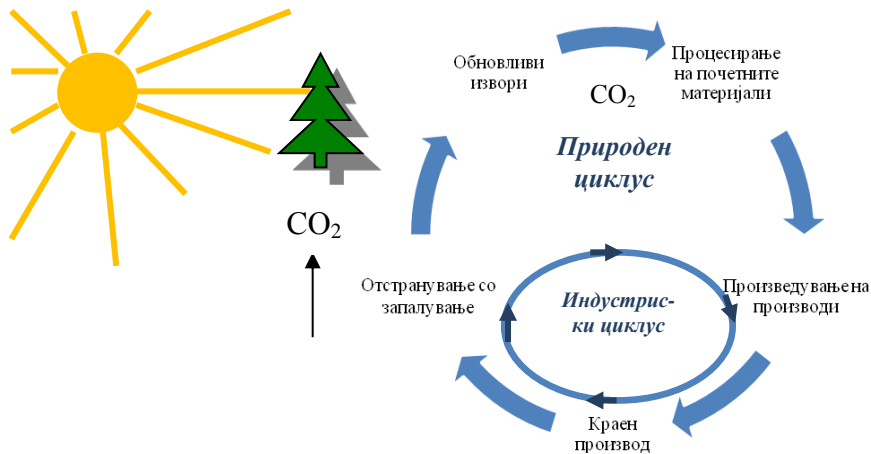
Вид на влакно	Густина, kg/m <sup>3</sup>	Јакост на истегнување, МПа	Модул при истегнување, GPa	Издолжување до кинење, %	Апсорпција на влага, %
<b>Синтетички влакна</b>					
Стаклени - Е влакна	2,56	2000	76	2,6	0,1-0,4
Јаглородни	1,75	3400	230	3,4	0,04-0,1
Арамидни (Кевлар)	1,45	3000	130	2,3	0,3-0,8
<b>Природни влакна</b>					
Ленени	1,40	800-1500	60 - 80	1,2 - 1,6	7
Конопни	1,48	550-900	70	1,6	8
Јутени	1,46	400-800	10 - 30	1,8	12
Сисал	1,33	600-700	38	2 - 3	11
Памук	1,51	400	12	3 - 10	8 - 25
Кокосови	1,25	220	6	15 - 25	10

Во однос на здравствените ефекти, природните влакна не предизвикуваат иритации на кожата кај луѓето кои се вклучени во производството на композитите и нема сомневања дека предизвикуваат канцерогени заболувања.

Композитите со природни влакна можат термички да се рециклираат без да создадат притоа големи количества згура, за разлика од композитите со стаклени влакна кои предизвикуваат

проблеми во печките за согорување. На слика 10.7.1 е прикажан индустрискиот и природниот циклус на производ од обновливи извори. Бидејќи  $\text{CO}_2$ , кој се ослободува при согорувањето на материјалот по завршувањето на употребата, се искористува во процесот на фотосинтеза во текот на растењето на растенијата, вкупниот биланс на  $\text{CO}_2$  е еднаков на нула.

Останатите предности на природните целулозни влакна се тоа што ги има во големи количества, изворите се обновливи, а нивното производство бара малку енергија и мали трошоци. Како резултат на шупливата и ќелијната природа, природните влакна се однесуваат како акустични и термички изолатори, а оттука и редуцираната масна густина (Lee et al., 2003).



Слика 10.7.1. Интеракција меѓу природниот и индустрискиот циклус на  $\text{CO}_2$   
 Figure 10.7.1. Interaction between natural and industrial  $\text{CO}_2$  cycle (Lee et al., 2003)

Еден од главните недостатоци на примената на природните влакна во композитите е ниската температура на процесирање (до  $200^\circ\text{C}$ ), што го ограничува и изборот на полимерната матрица која може да се примени, но и високата апсорпција на влага може да доведе до бабрење на влакната и влошување на димензионалната стабилност на композитот. Во недостатоци може да се вброи и променливиот квалитет во зависност од временските услови, слабата отпорност на горење и нерегуларните должини.

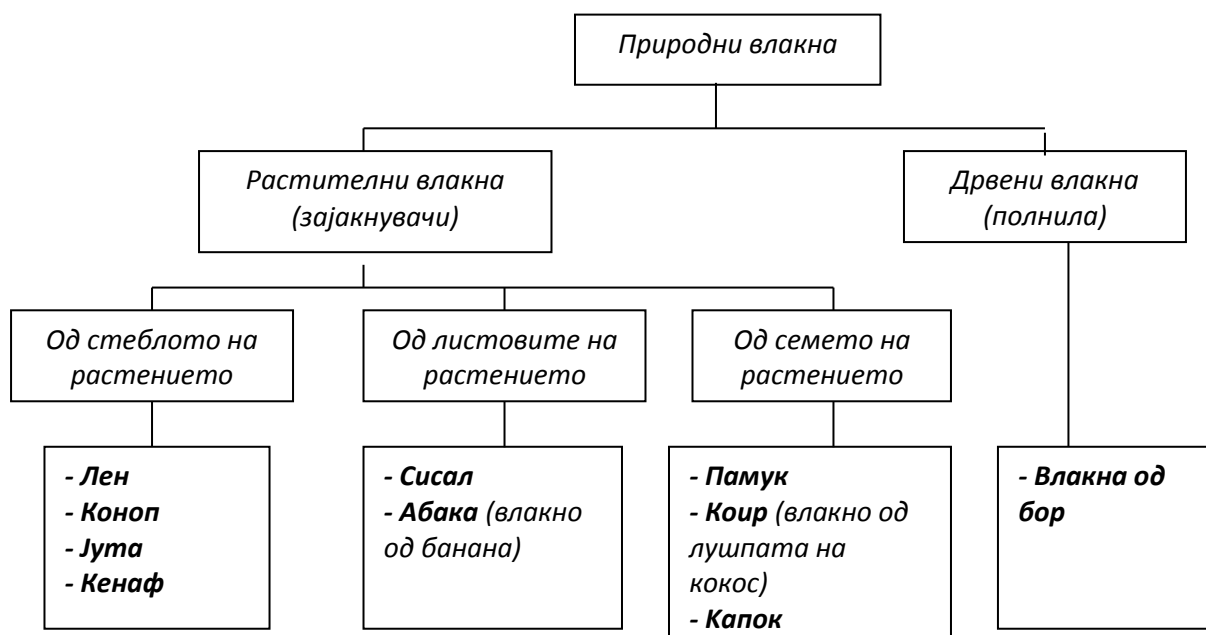
### 10.7.2.1. Видови природни влакна, структура и својства Types of natural fibers, structure and properties

Природните влакна се состојат од долги влакнести ќелии чијшто основен градбен материјал е целулозата која претставува природен полимер со висока јакост и крутост. Кај повеќето растенија влакнестите ќелии се слепени заедно со лигнин во долги тенки влакна при што должината на влакната зависи од видот и должината на растението. Во зависност од делот на растението каде што се наоѓаат, природните влакна се поделени на влакна од стеблото, од листовите и од семето на растенијата (слика 10.7.2). За композити најчесто се применуваат влакна од стебло и од лист (Mishra et al., 2002), (Lee et al., 2003).

Особините на природните влакна варираат во зависност од нивното потекло, но исто така, и од квалитетот и локацијата на плантажата, староста на растението и други фактори (Mishra et al., 2002). Механичките карактеристики на природните влакна зависат од индивидуалните конституенти, од фибрилната структура и од ламеларната матрица. За разбирање на механичките својства и преработливоста на влакната, потребно е познавање на количеството структурни конституенти на влакната, целулозата, хемицелулозата и лигнинот (Bos et al., 2004). Хемискиот состав и структурните параметри на некои природни влакна се прикажани во табела 7.2 (Serizawa, 2006; Sanadi, 2001). Својствата како густина, електрична отпорност, јачина и почетниот модул се во корелација со физичката и со хемиската структура на влакната (Li et

al., 2003). Природните влакна се комплексни во однос на хемискиот состав, тие се лигноцелулозни и се состојат од хеликсијално извртени целулозни микрофибрили во аморфната матрица на лигнин и на хемицелулоза. Механичките својства се определени, пред сè, од содржината на целулоза и од микрофибриларниот агол, како и од степенот на полимеризација на целулозата во влакната. Јунговиот модул на природните влакна се намалува со зголемување на дијаметарот. Високата содржина на целулоза и малиот микрофибриларен агол се пожелни за влакната, доколку тие се наменети за зајакнување на полимерните еко-композити.

Целулозата е природен полимер со висока јакост и жилавост по единица маса, и таа е конструкциски материјал со долги влакнести ќелии. Селективното отстранување на нецелулозните компоненти ја претставува суштината на хемискиот третман на природните влакна. Хемицелулозните и пектинските материји играат важна улога во интеграцијата на снопчето природно влакно, неговата јакост и јакоста на индивидуалната нитка, како и апсорпцијата на вода, бабрењето, еластичноста и јакоста во влажна состојба. Производството на индивидуални нитки без генерирање врски ќе создаде влакна со многу повисока јакост, која е многу корисна за примена во композитите.



Слика 10.7.2. Класификација на природните влакна кои може да се користат како зајакнувачи и полнила во полимерите

Figure 10.7.2. Classification of natural fibers that can be used as reinforcements and fillers in polymers (Lee et al., 2003)

Табела 10.7.2. Хемиски состав на природните влакна  
Table 10.7.2. Chemical composition of natural fibers (Serizawa, 2006; Sanadi, 2001)

Вид на влакно	Целулоза %	Хеми-целулоза %	Лигнин,%	Пепел %	Пектин%	Восок %	Влага %
Јута	61 – 71	13,6-20,4	12-13	/	0,2	0,5	12,6
Лен	71-78	18,6-20,6	2,2	2,3	2,2	1,7	10,0
Коноп	70,2-74,4	17,9-22,4	3,7-5,7	3,6	0,9	0,8	10,8
Кенаф	53-57	15-19	5,9-9,3	3,2	/	/	/
Сисал	67-78	10-14,2	8-11	/	10	2,0	11,0
Памук	82,7	5,7	/	/	/	0,6	/

### 10.7.3. Полимерни матрици за еко-композити

#### Polymer matrices for eco-composites

Бројот на полимерни матрици кои можат да се употребуваат во еко-композитните формулации е значително голем. Истражувањата на биоразградливите полимери сè уште се во развојна фаза, но нивната популарност секојдневно расте. Во моментот на пазарот има повеќе комерцијални биоразградливи полимери од различни производители. Високата цена на овие материјали е една од главните причини за нивната ограничена употреба и покрај уникатните физички и хемиски својства.

**Скробот** е најшироко употребуван природен полимер и нуди ограничена замена на нафтените пластики. Претставува полисахарид и може да се најде во бројни обновливи ресурси, како што се пченката, компирот, оризот. Скробот станува термопластичен при соодветна пластификација со вода или други пластификатори. Според тоа, формулациите на скрбот можат да се процесираат со кои било познати методи користени за процесирање на синтетичките полимери (екструзија, обликување со вбригување, термоформирање и друго). Може да се користи како гранулат или како биоразградливо полнило (Williams et al., 2000). Главните недостатоци на овој материјал се поврзани со ниската ударна отпорност, високата сорпција на вода и слабите механички својства (слаба меѓуповршинска адхезија). Со цел некои од овие својства да бидат подобрени, тој обично се меша со други термопластични полимери, на пример, со половинилалкохол или алифатски полиестри, посебно со поли-ε-капролактамот (PCL). Брзината на разградба на смесите зависи од составот и/или степенот на кристалинност. Механичките својства на скрбот како матрица значително се подобруваат кога е тој зајакнат со природни влакна (Avella et al., 2008; Mohanty et al., 2001).

**Целулозата** е втор природен полимер, и се разликува од другите полисахариди произведени од растенија. Нејзината молекулска верига е долга и содржи само една повторувачка единица - гликоза, која се наоѓа во целулозата во кристална состојба. Целулозните полимери комерцијално се произведуваат повеќе години наназад. Примената на целулозата како појдовен материјал може да биде проширена со хемиска модификација до метилцелулоза, хидроксипропил-метилцелулоза, хидроксипропил целулоза и карбоксиметил целулоза. Овие целулозни деривати во форма на филмови покажуваат јакост која може да се модифицира, тие се еластични и транспарентни, отпорни на масла. Развојот на целулозните полимери како матрици во био-композитите бара регулирање на соодветни својства: издолжувањето, еластичноста и ударната отпорност. Тоа се постигнува со користење различни еко-компатибилни пластификатори. Присуството на пластификаторот истовремено ја подобрува и еластичноста и отпорноста на целулозните полимери (Mohanty et al., 2001; Avella et al., 2008).

**Полихидроксиалканатите** претставуваат биоразградливи полимери кои се добиваат со ферментација на шеќерите или липидите. Повеќе од сто различни мономери може меѓусебно да се комбинираат со цел да се добие материјал со соодветни својства. Полихидроксипропионатот (PHB), полихидроксивалератот (PHBV) и нивните кополимери се

најчесто употребувани полимерни матрици во еко-композитите (Chawla, 1985). Интересот за овие полимери постојано расте заради нивната биоразградливост, а во исто време тие имаат многу слични механички и термички својства со полиолефините (PE; PP).

**Полихидроксibuтиратот (PHB)** е висококристалиничен, но има висок степен на деградација пред самото топење, што резултира во многу крт материјал. Овие својства лесно може да се контролираат преку содржината на хидроксивалератот во нивните кополимери. Добиените кополимери се одликуваат со помала кристалиничност, но со подобрена процесибилност, така што може да се преработуваат со обликување со вбризгување, екструзија, дување, да се добива филм или влакно (Lee, 1990). Во зависност од содржината на хидроксивалератот, кополимерот може да биде крт или дури еластомерен продукт.

**Полимлечната киселина (PLA)** претставува биоразградлив полимер кој се карактеризира со транспарентност и отпорност на масло. PLA е полиестер синтетизиран од млечна киселина (LA), при што при поликондензацијата на LA главно се добиваат ниско-молекуларни полимери, кои потоа се третираат со „врзивни“ реагенси за да се добијат високи молекулски маси. Механичките својства на PLA се модифицираат со варијација на молекулската маса и степенот на кристалиничност. Својствата на PLA можат да се модифицираат и со кополимеризација на LA со капролактон или гликолна киселина. PLA е термопласт кој може да се процесира со сите најчесто употребувани методи, па дури и формирање влакно. Механичките својства на PLA биле детално анализирани од аспект на неговата примена како биоматеријал во медицината, но неговата примена во еко-композитите сè уште е мала и е ограничена од високата цена на чинење во однос на другите биоразградливи полимери (Dimzoski et al., 2008), ([Avella](#) et al., 2008).

**Поли-ε-капролактанот (PCL)** е разградлив полимер и припаѓа на фамилијата на полиестри. Тој е хидрофобен, комерцијално достапен термопластичен алифатски полиестер со добри механички својства. Се добива со полимеризација преку отворање на прстенот на ε-капролактанот. Разградливите синтетички полиестри, полигликолната киселина и PCL се подложни на хидролитичка деградација. Дури и кога се во високо-кристалинична форма, подвижноста на веригата овозможува пенетрирање на водните молекули (Lamy, Baley, 2000).

**Полиестерските амиди**, кои комерцијално можат да се најдат како BAK 1095 или BAK 2195, исто така, припаѓаат на групата биоразградливи полимерни матрици, а комерцијално се произведени од компанијата Bayer.

**Полиитаконскиот естер**, исто така, може да биде важен полимер бидејќи итаконската киселина може да се добие и со ферментација на различни јаглехидрати. Поли(циклохексил)итаконатот е посебно интересен, а неговите својства можат да се модифицираат со мешање со други термопластични полимери (Lee, 1990).

Заедничка карактеристика на полиестрите е високореактивната естерска функционална група, која е важна во создавањето на интерфејсот меѓу полимерната матрица и природните влакна како зајакнувачи.

Друг полимер кој не е биоразградлив, а може да се употреби како матрица во еко-композитите е **полипропиленот (PP)**. Тој е нафтен продукт и не може да се класифицира како биоразградлив, но лесно и евтино се рециклира. Исто така, PP може ефикасно да се модифицира со што се обезбедува добро поврзување со природните влакна ([Avella](#) et al., 2008; Lee, 1990).

#### **10.7.4. Технологии применувани за производство на полимерни композити и еко-композити** Applied technologies for production of polymer composites and eco-composites

Најчесто користени техники за добивање композити зајакнати со природни влакна се:

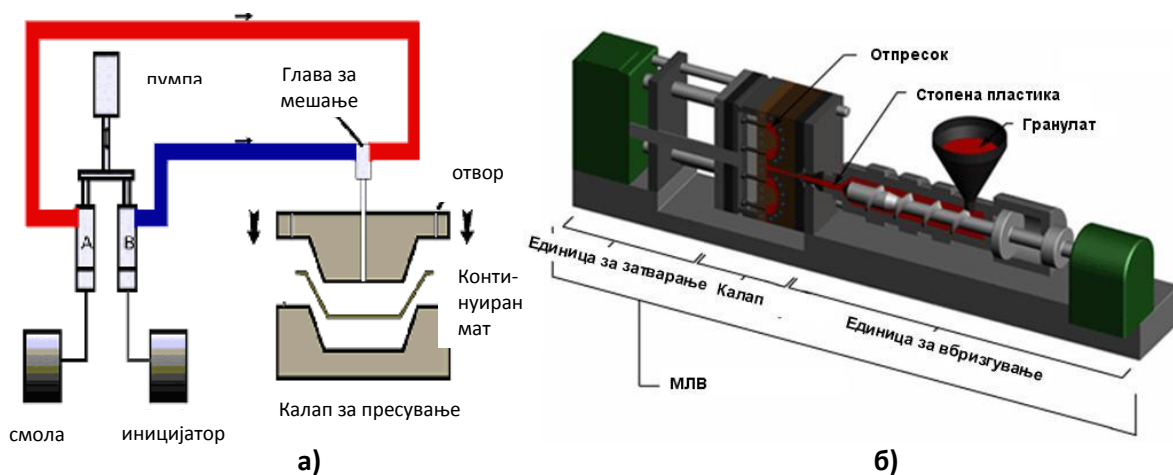
- Обликување со пренос на смолата (Resin Transfer Molding) – RTM
- Обликување со вбризгување под вакуум (Vacuum Injection Molding)

- Структурно реакционно обликување со вбризување (Structural Reaction Injection Molding) - SRIM

- Обликување со вбризување (Injection Molding)

- Обликување под притисок (Compression Molding)

Зајакнувачките влакна се применуваат во облик на: неткаени влакна, ткаенини, влакна во облик на мат (SMC - Sheet Moulding Compound - ленти за пресување), дисперзирани во полимерна матрица во форма на густа маса - тесто за пресување (DMC - Dough Moulding Compound - прашкасти прес-маси). Исто така, влакната можат да бидат сечкани и да служат како зајакнувач во вискозна маса врз основа на термореактивна матрица, наполнители и други адитиви за компресивно и обликување со вбризување (BMC - Bulk Moulding Compound - прес-маси), како хибридни матови - природно влакно/PP, а понекогаш и како еднонасочни (unidirectional - UD) зајакнувачки влакна (Lee, 1990).



Слика 10.7.3. а) Постапка пресување со пренос на смола – RTM, б) Машина за инјекционо пресување

Figure 10.7.3. а) Procedure with resin transfer molding – RTM, б) Injection molding machine

### 10.7.5. Примена на еко / „зелени“ композити

#### Application of eco / "green" composites

Зголемената глобална еколошка и социјална загриженост, високата брзина на исцрпување на нафтените ресурси, како и новите еколошки регулативи ги поттикнува истражувањата на нови композити и т.н. „зелени“ (green) материјали, кои се компатибилни со природата. Огромното производство и употребата на пластика во секој сегмент од нашето живеење го зголеми количеството на пластичен отпад до големи размери, што претставува сериозен еколошки проблеми со кој се соочуваме денес. Проблемот со депонирање на пластичниот отпад, како и строгите Европски критериуми за сè почиста и побезбедна животна средина во голема мера влијаеја на насочувањето на научните истражувања кон еко-композитите, кои ќе може лесно да се разградуваат или био-асимилираат (Chawla, 1985; Lee, 1990).

Постоечките технологии и машини за мешање, формирање и процесирање на овие композити нудат лесно и евтино производство, така што пазарот на еко-композитите се чини перспективен и се очекува двојно поголем раст во блиска иднина (Williams et al., 2000). Германскиот институт за земјоделско инженерство од Потсдам неодамна презентираше технологија погодна за процесирање слама, лен и други стеблести влакна во композитни

изолациски панели за топлинска и звучна изолација, панели за мебел и неткаени - мат форми за автомобилската индустрија. Капацитетот од 3 t/h на влезни суровини со ефикасност на искористување поголема од 30% обезбедува економско и профитабилно производство на природните влакна (Rowell, 1995). Индустријата Тирсо од Индија постави комерцијално производство на TIPWOOD® 50EX еко-пријателски конструкциски материјали, наменети за панели за врати, тремови, канцелариски прегради, подови во бродовите, мебел и други производи од вештачко дрво (Baillie et al., 2000). Американската компанија Phenix TM Biocomposites LLC употребува пченична слама во своите BiofiberTM композити и луспи од сончоглед во нивните Dakota Burl TM композити. Двата типа се наменети за производство на мебел (Rowell, 1995). Phenix TM Biocomposites комерцијализирале потполно разградлив композит ENVIRON™ врз база на соини остатоци и рециклирана хартија. Овој еко-композит може да се користи за мебел и за архитектонски, неструктурни намени.

Истражувачката група на проф. Челини од Универзитетот во Пиза, објави истражување на обликување со вбризгување еко-композити врз база на пченка, влакна од портокал и поливинилалкохол како матрица (Eichhorn et al., 2003). Овие композити се одликуваат со незначителни промени на механичките својства, дури и при поголеми варијации во релативна влажност, како и при нивно целосно потопување во вода: композитите испитувани по едногодишно складирање при 50% релативна влажност на температура од 23°C имаат механички својства слични на оние, тукушто произведени.

Значајни истражувачки напори се вложени во развојот на еко-композити врз база на рециклиран полимер со природни влакна. Во моментот, најшироко фаворизиран е полипропиленот (PP) кој се користи во голем број рециклирачки еко-композити. Visteon со партнерот Technilin, разработиле свој лен/PP композит (R-Flax®) врз база на евтени влакна. Земајќи ја предвид високо оценетата спецификација на Мерцедес, која ги вклучува и барањата за критична безбедност, R-Flax® може да се користи за ентериери (панели за врати и сл.), каде што естетските квалитети би биле додадени за задоволување на барањата на потрошувачот.

На Eco-сoмр конференцијата во 2005 година проф. Нишино од Кобе Универзитетот во Јапонија, објави целосно целулозни композити ("all - cellulose") во кои и зајакнувачот и матрицата се целулозни влакна (Hughes et al., 2000). Со оптимизација на условите на потопување на целулозните влакна во соодветните растворувачи, се обезбедува делумно растворање на површината на влакната, а потоа со компресирано „сушење“ се врши нивно поврзување. Овие целулозни композити имаат одлични механички и термички својства (Hughes et al., 2000). Основното функционирање на композитите како инженерски материјали е определено од нивните механички својства, како што се јачината и модулот при истегнување, јачината и модулот при свиткување, отпорноста на удар и други. Механичките својства на композитите зависат од повеќе фактори:

- својствата и особините на основните компоненти: матрица и зајакнувач,
- односот на масата и волуменот меѓу матрицата и зајакнувачот,
- ориентацијата на зајакнувачот и рамномерната распределба на зајакнувачките влакна во матрицата,
- видот на зајакнувачот, односно дали се тоа кратки влакна, сечкани или континуирани, или пак, некоја предформа (ткаенина, мат и слично),
- компатибилноста на полимерната матрица со зајакнувачот,
- врската меѓу зајакнувачот и матрицата во интерфејсот.

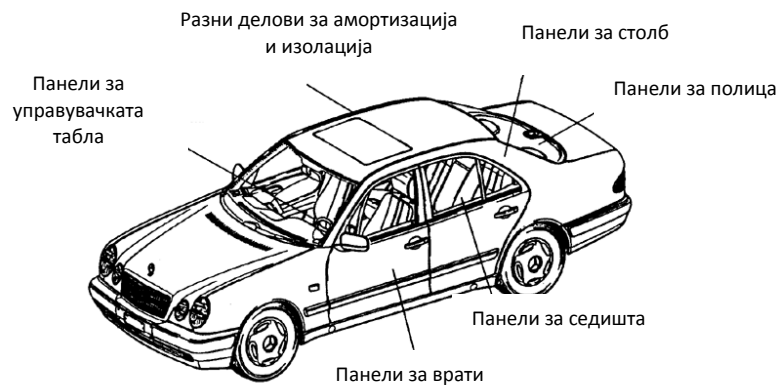
Бројни истражувања (Baillie et al., 1994; Piggott, 1995) покажале дека композитните материјали со епоксидна смола и полипропилен како матрици, а зајакнати со ленени и сисал влакна се карактеризираат со добри механички својства, блиски до својствата на композити зајакнати со стаклени влакна. Добрите механички својства на овие композити се резултат, пред сè, на добрите механички својства на влакната, што се должи на високиот процент на целулоза во нив.



Растителните влакна, како што се лен, коноп, сисал и кенаф се проценуваат како пријателски за околината и како исплатлива замена на стаклените влакна во инженерските композити. Автомобилската индустрија прави големи напори секоја компонента што ја вградува да ја биде рециклирачка (Piggott, 1995). Во последно време се прават истражувања за вградување термопласти зајакнати со природни влакна, со цел да се заштеди на маса, трошоци, а истовремено да се обрне внимание на влијанието на околината. Во автомобилската индустрија композитите зајакнати со природни влакна главно се користат за внатрешните делови. Така, „Ауди“ произведе украсни внатрешни плочи од полиуретан зајакнат со лен / сисал неткаен мат. „Форд“ пак, со постапката на обликување со вбригување произведе композити од PP со ленени влакна и ги вгради како прегради на ладилникот и штитници за моторот на „форд фокус“. „Фиат“ произведува разни делови за седишта, рачки, шоферски табли и друго, исто така, со техниката на обликување со вбригување. Во последните години фокусот на истражувањата е сè повеќе насочен кон добивање полимерни еко-композити кои ќе можат да се користат и за надворешните делови на автомобилите. За такви надворешни компоненти од особена важност е композитниот материјал да биде способен да ги издржи екстремните надворешни услови, како што е влагата (Thomason et al., 1997).

Од сите развојни програми очигледно е дека природните влакна имаат голем потенцијал за примена како зајакнувачи за пластичните материјали во автомобилската индустрија во светот (слика 7.4). Досега најприменувани се ленените влакна, иако се зголемува и примената на конопот.

Неколкуче студии за проценка на животниот циклус LCA (Life Cycle Assessment) направени за композитите зајакнати со природни влакна покажале дека предноста на природните во однос на стаклените влакна, главно е поврзана и со нивната мала тежина, а не само со нивното природно потекло. За полимерните еко-композитни материјали ќе биде неопходно во иднина, при евалуацијата на еко-перформансите да се идентификува и нивниот вистински „зелен“ карактер (Thomason, 2002).



Слика 7.4. Примена на полимерни еко - композити во автомобилска индустрија  
Figure 7.4. Application of polymer eco - composites in the automotive industry

#### 10.7.6. Прашања Questions

1. Што означува терминот еко-композит?
2. Кои се предностите при примена на природните влакна за добивање композити?
3. Какви типови на природни полимерни матрици постојат?
4. Кои техники се применуваат за производство на еко - композит?

5. Кои се предностите и недостатоците на еко-композитните материјали, во споредба со конвенционалните композити?

#### 10.7.7. Прашања/Одговори

##### Questions/Answers

1. Што означува терминот еко-композит?

Еко-композит е термин кој вообичаено се користи за опишување композитен материјал со еколошки предности во однос на конвенционалните. Според дефиницијата, еко-композитот содржи природни влакна како зајакнувач и природна полимерна матрица, но може да биде и комбинација од природни влакна и биоразградлива полимерна матрица.

2. Кои се предностите на природните влакна при примена во композити?

Во последната деценија, интересот за природните влакна како зајакнувачи за еко-композитните материјали е посебно зголемен како резултат, пред сè, на нивните добри механички својства и нискиот сооднос цена/перформанси. Од друга страна, од еколошки причини, зголемен е интересот за замена на традиционалните зајакнувачки материјали (неорганички полнила и влакна) со влакна од обновливи природни ресурси. Природните влакна претставуваат еколошки пријателска алтернатива за конвенционалните зајакнувачки влакна (стаклени, јаглородни, кевлар). Меѓу најважните природни влакна кои се користат како зајакнувачи во композитните материјали, што се должи на нивните поволни својства и достапност, се вбројуваат ленените, конопните, јутените, кенафот и сисал влакната. Предностите на природните влакна при примената во композитни материјали (во однос на традиционалните) се: високата жилавост, ниската густина, добрата специфична јакост, малата абразивност кон процесната опрема, и секако биоразградливоста.

#### 10.7.8. Литература

##### References

Andersons J, Joffe R, Hojo M, Ochiai S (2002) Glass fibre strength distribution determined by common experimental methods. *Compos Sci Technol* 62(1):131-145.

Avella M, Bogoeva-Gaceva G, Bužarovska A, Errico M E, Gentile G, Grozdanov A (2008) Poly(lactic acid)-based biocomposites reinforced with kenaf fibers. *J Appl Polym Sci* 108(6):3542–3551.

Baillie CA, Bader MG (1994) Strength studies of single carbon fibres in model composite fragmentation tests. *Composites* 25(6):401-406.

Baley C (2002) Analysis of the flax fibres tensile behaviour and analysis of the tensile stiffness increase. *Composites Part A* 33(7): 939-948.

Bos HL, Molenveld K, Teunissen W, Van Wingerde AM, Van Delf DRV (2004) Compressive behaviour of unidirectional flax fiber reinforced composites. *J Mater Sci* 39:2159-2168.

Bos H (2004) The Potential of Flax Fibres as Reinforcement for Composite Materials. Technische Universiteit Eindhoven Master thesis <http://www.agrofibrecomposites.com/publications.htm>. Посетено на 20.11.2010.

Chawla KK (1985) *Composite materials science and engineering*. Springer-Verlag, New York.

Dimzoski B, Bogoeva-Gaceva G, Gentile G, Avella M, Errico M E, Srebrenkoska V (2008) Preparation and characterization of poly(lactic acid)/rice hulls based biodegradable composites. *J Polym Eng* 28:369-384.

Eichhorn SJ, Young RJ (2003) Deformation micromechanics of natural cellulose fibre networks and composites *Compos Sci Technol* 63(9):1225-1230.

Hughes M, Sebe G, Hague J, Hill C, Spear M and Mott L (2000) An investigation into the effects of micro-compressive defects on interphase behaviour in hemp-epoxy composites using half-fringe photoelasticity. *Compos Interface* 7(1): 13-29.

Kim HS, Yang HS, Kim HJ, Park HJ (2004) Thermogravimetric analysis of rice husk flour filled thermoplastic polymer composites. *J Therm Anal Calorim* 76:395-404.

Lamy B, Baley C (2000) Stiffness prediction of flax fibers-epoxy composite materials. *J Mater Sci Lett* 19(11):979-980.

Lee SG, Wang S (2006) Biodegradable polymers/bamboo fiber biocomposite with bio-based coupling agent. *Composites: Part A* 37: 80-91.

Lee SG, Choi SS, Park WH, Cho D. (2003) Characterization of surface modified flax fibers and their biocomposites with PHB. *Macromol Symp* 197(1):89-100.

Lee SM (1990) *International encyclopedia of composites vol 2*. VCH Publishers, New York, pp 390-401.

Li X, Panigrahi SA, Tabil LG, Crerar WJ (2004) Flax Fiber-reinforced Composites and the Effect of Chemical Treatments on their Properties. ASAE/CSAE Conference, Canada, September 24-25 2004. MB04-305

Mishra S, Misra M, Tripathy SS, Nayak SK, Mohanty AK (2002) The influence of chemical surface modification on the performance of sisal-polyester biocomposites. *Polym Compos* 23(2):164-170.

Mohanty A, Misra M and Drzal LT (2001) Surface modifications of natural fibers and performance of the resulting biocomposites: an overview. *Compos Interface* 8:313-343.

Piggott MR (1995) The effect of fibre waviness on the mechanical properties of unidirectional fibre composites: A review. *Compos Sci Technol* 53(2):201-205.

Rowell RM (1995) *Composite Materials from Agricultural Resources*. Proceedings of a seminar. Copenhagen, Denmark, Denmark Academy of Technical Science: 27-41 May 1995.

Sanadi AR, Hunt JF, Caulfield DF, Kovacsologyi G, Destree B (2001) High fiber-low matrix composites: kenaf fiber/polypropylene. In: Sixth international Conference on Woodfiber-Plastic composites, Madison, Wisconsin, 15-16 May 2001.

Schuh TG. *Renewable Materials for Automotive Applications*. Daimler-Chrysler AG, Stuttgart. [www.ienica.net/fibresseminar/schuh.pdf](http://www.ienica.net/fibresseminar/schuh.pdf). Посетено на 15.02.2011.

Serizawa S, Inoue K, Iji M (2006) Kenaf-fiber-reinforced poly(lactic acid) used for electronic products. *J App Polym Sci* 100: 618-624.

Srebrenkoska V, Bogoeva Gaceva G, Avella M, Erico M E, Gentile G (2008) Recycling of polypropylene based eco composites. Polym Int 57:1252-1257.

Srebrenkoska V, Bogoeva Gaceva G, Avella M, Erico M E, Gentile G (2009) Utilization of recycled polypropylene for production of eco-composites. Polym Plast Technol Eng 48:1113–1120.

Thomason JL, Vlug MA (1997) The influence of fibre length and concentration on the properties of glass fibre reinforced polypropilen.4. Impact properties. Composites 28A:277-288.

Thomason JL (2002) The influence of fibre length and concentration on the properties of glass fibre reinforced polypropylene.5. Injection moulded long and short fibre PP. Composites 33A: 1641- 1652.

Tipco Industries Ltd, India. <http://www.tipco-India.com>. Посетено на 13.01.2011.

Williams GI, Wool RP (2000) Composites from natural fibres and soy oil resins. Appl Comp Mater 7:421-432.