



Tempus projekat 158989-Tempus-1-2009-1-BE-Tempus-JPHES
Creation of university-enterprise cooperation networks for education on sustainable technologies,
<http://www.tf.uns.ac.rs/tempusIV/>

Kurs održive tehnologije u hemijskoj, prehrambenoj i farmaceutskoj
industriji, Novi Sad, 08. maja 2012.god.

EKO KOMPOZITNE MATERIJALE

Doc. D-r Vineta Srebrenkoska
Faculty of Tecnology, University Goce Delcev, Stip,
R.Macedonia

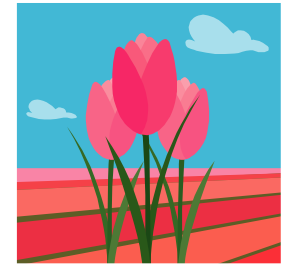
РАЗВОЈ НОВИХ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРИЈАЛА:

"ЗЕЛЕНИ"/ЕКО-МАТЕРИЈАЛА

-еколошке опасности

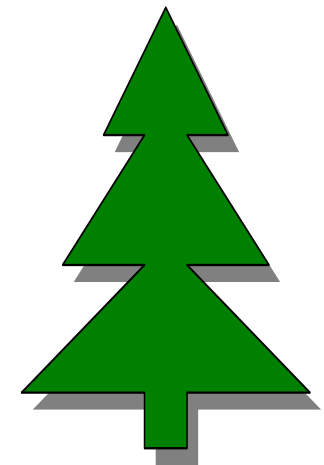
-пренатрупаности пластичног отпада

-смањења природних ресурса, нафте и свих сировина везане за даљно производство мономера итд.



потикнули су потребу за

Примену природних материјала, особено оних од обновљивих ресурса у добивање композите, као и испитивања могућности за њихову понову употребу.



Данас се врши све вечи притисак на произвођаче материјала и крајних производа да воде рачуна о последицама њихових производа на околину и то од почетка процеса производње, циклуса примене и крајно искориштење производа.

Овакав „еко дизајн“ је постао филозофија која се све интензивније примењује за све вечи број материјала и еко-производа.

Ови захтеви у комбинацији са неопходним производственим трошковима однедавно су изазвали значајан интерес за добијање еко композитних материјала така да фокус академског света као и многих индустрија све више је усмерен према **комполитима појачаних природним влакнима**.

Комбинација специфичних механичких и физичких карактеристика природних влакна, заједно са њиховим „пријатељским“ односом према околини инспирирала је многе активности у области еко композита, тако да су многи европски универзитети почели истраживања преко бројних еколошких програма и пројекта.

Истраживања технологија за добијање еко композитних материјала, њихова карактеризација, као и могућност њиховог рециклирања и понове употребе!

❑ **Полимерни еко композити** на бази термопластичних и биоразградљивих матрица ојачане природних ојачувачи и њихова упоредба са

❑ **Конвенционалним** - на бази термореактивних и термопластичних полимерних матрица ојачане техничких влакна.

❑ **Моогућност поново употреба композита.**

Полимерних еко-композита – рециклирање

Конвенционалних композита – могући правци њиховог третмана након њиховог радног века.

❑ **Карактеризација** добиених композита - физичке, механичке и термичке својства.

ПОЛИМЕРНИ КОМПОЗИТИ



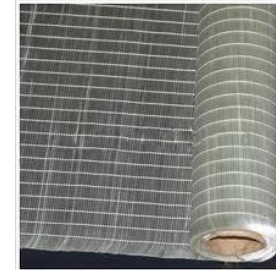
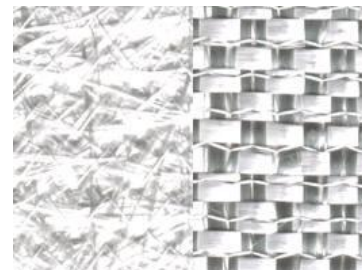
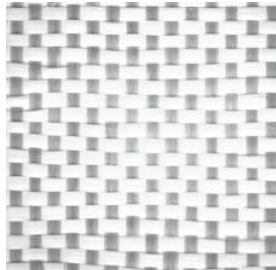
КОМПОЗИТИ: су материјали који имају неколико саставних конституената: матрица, зајакнувач

✓ *Матрица:* полимерном; металном; керамичком;

✓ *Зајакнувачи:* стаклени ; Угљеродни и арамидна полиамидни ; полиетиленски влакна ;



Има много материјала који могу да се користе као зајакнуваче. У технологијама савремених композита доминирају стаклена, угљенородна, и арамидна влакна. Уколико је потребно за одредену апликацију као компонента може да се користи и хибрид два или више зајакнивача. Они могу да буду доступни у различитим формама: као **континуиран ровинг** , **једносмерна лента паралелних континуираних влакна**, **ткаен материјал у различитим геометријама као сатен и обично ткање**, **плетенина**, **филц** и **мат** са случајном ориентираним влакнима. Све ове форме обезбеђују извесну предност но и ограничење композитне структуре у односу процеса обликовања, економичности и естетике.



ЕКО-КОМПОЗИТИ.



□ ЕКО-КОМПОЗИТИ, “eco-friendly” или ЕКО ПРИЈАТЕЛСКИ, БИОРАЗГРАДЛИВИ:

- ✓ **Природна влакна** – зајакнувачи
- ✓ **Полимерне матрице** – термопластичне, биоразградљиве, рециклирачке

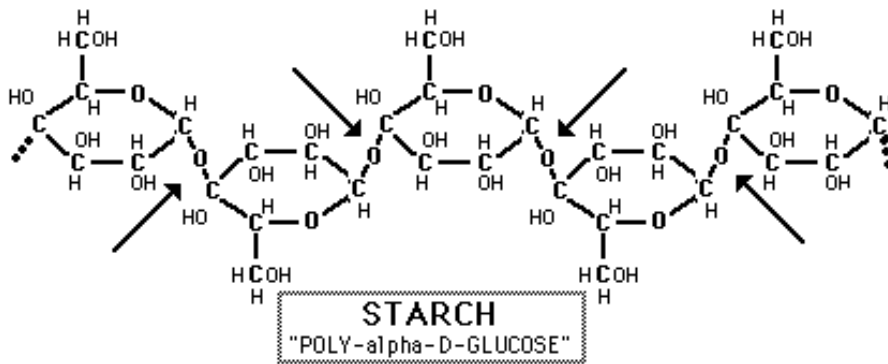
Еко композит је термин који се обично користи за опис композитног материјала са еколошким предностима у односу на конвенционалне.

Према дефиницији еко композит садржи природна влакна као зајакнувач и биоразградљиву полимерну матрицу, но може бити и комбинација од природних влакна и биоразградљиве полимерне матрице. Тиме број полимерних матрица које могу да се употребе у еко композитним формулацијама је знатно проширен.

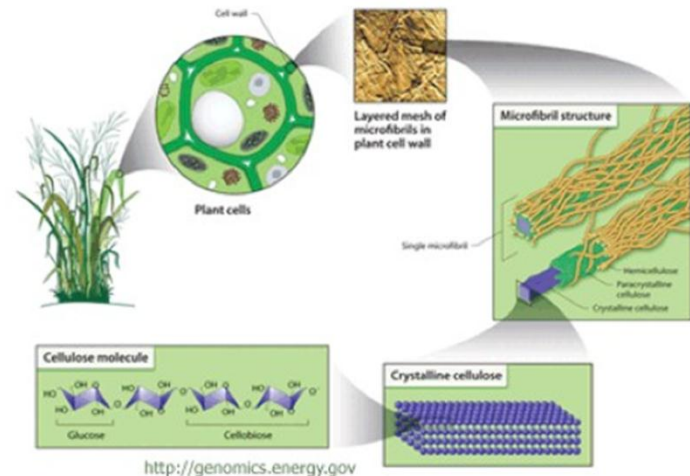
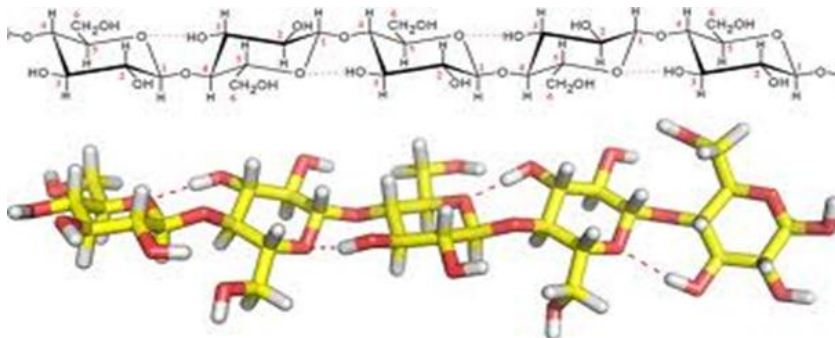
Истраживања биоразградљивих полимера још увек су у развојној фази но њихова популарност свакодевно расте. У моменту се нуде више комерцијалних биоразградљивих полимера од разних произвођача.

Висока цена ових материјала је један од главних разлога за њихову ограничену употребу и поред уникатних физичких и хемиских својства.

Скроб је најшире употребљаван природни полимер и нуди ограничену замену нафтене пластике. представља полисахарид и може да се нађе у бројним обновљивим ресурсима као што је кукуруз, кромпир, пиринач.



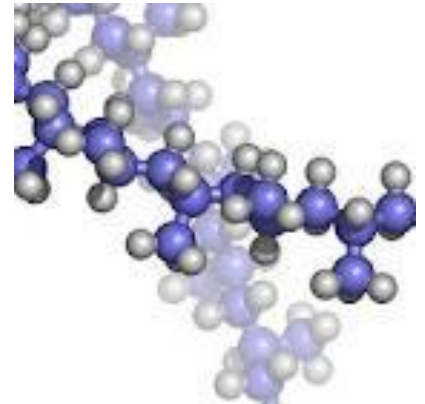
Целулоза је други природни полимер



Полихидроксибутиратот (PHB), Полимлечната киселина (PLA), Поли- ϵ -капролактанот (PCL), Полиестерските амиди, Полиитаконскиот естер,

Полипропилен (PP) - полимер може да се употреби као матрица у композита.

- *није биоразградљив* - то је продукт нафте!
- *но лако и јефтино се рециклира*
- *PP може ефикасно да се модифицира* чиме се омогућује повезивање са природним валкнима.



.....НОВА ИДЕЈА ??

- ❖ Први композитни материјал познат у историји била је глина ојачаном сламом за изградњу зидова у старом Египту пре око 3000 година.
- ❖ Бродове старих Египчани – глина појачана стаклом
- ❖
- ❖ Са развојем и појавом других материјала као што су метали интерес за природним валкнама је опао.
- ❖ Е-стаклена влакна, јаглеродни, азбестна, SiC,.....

Међутим брига за околинду, од недавно, резултирала је обнављање интереса за природне материјале тако да рециклирање и смањење емисије CO₂ у атмосфери постају знатно важни при увођењу нових материјала и производа.

Данас се све више повечава притисак на произвођаче материјала и крајних производа да воде рачуна о утицају који имају њихових производа на околинду!!!

- повечана глобална еколошка и социјална бригаа
- висока брзина потрошње нафтених ресурса
- као и нови еколошки регулативи.

стимулирају истраживање за нове композите и такозване зелене материјале који су компатибилни са природом.



Огромно производство и употреба пластике у сваком сегменту нашег живљења повечава количину пластичног отпада до великих размера што претставља један од еколошких проблема са којима се суочавамо данас.

Проблем депонирања пластичног отпада као и строги европских критеријуми за безбеднију и чистју животну средину у великој мери усмеравају научна истраживања и према еко композитима, који би могли лако да се разграде и биоасимилирају. То је појачало интерес многих индустрија да фокус свог развоја усмере према композитима појачаним са природним влакнима.

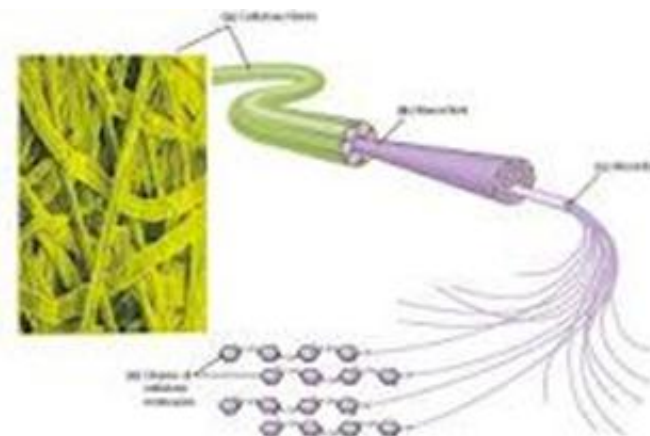


Посљедња деценија интерес за природна влакна за еко композитне материјале посебно је повечан као резултат пре свега због:

- њихових механичких карактеристика и ниског односа цена/перформанси. - -
- због екологије повечан је интерес за замену традиционалних ојачивача материјала (неорганска пуњења и влакна) са влакнима од обновљивих природних ресурса.

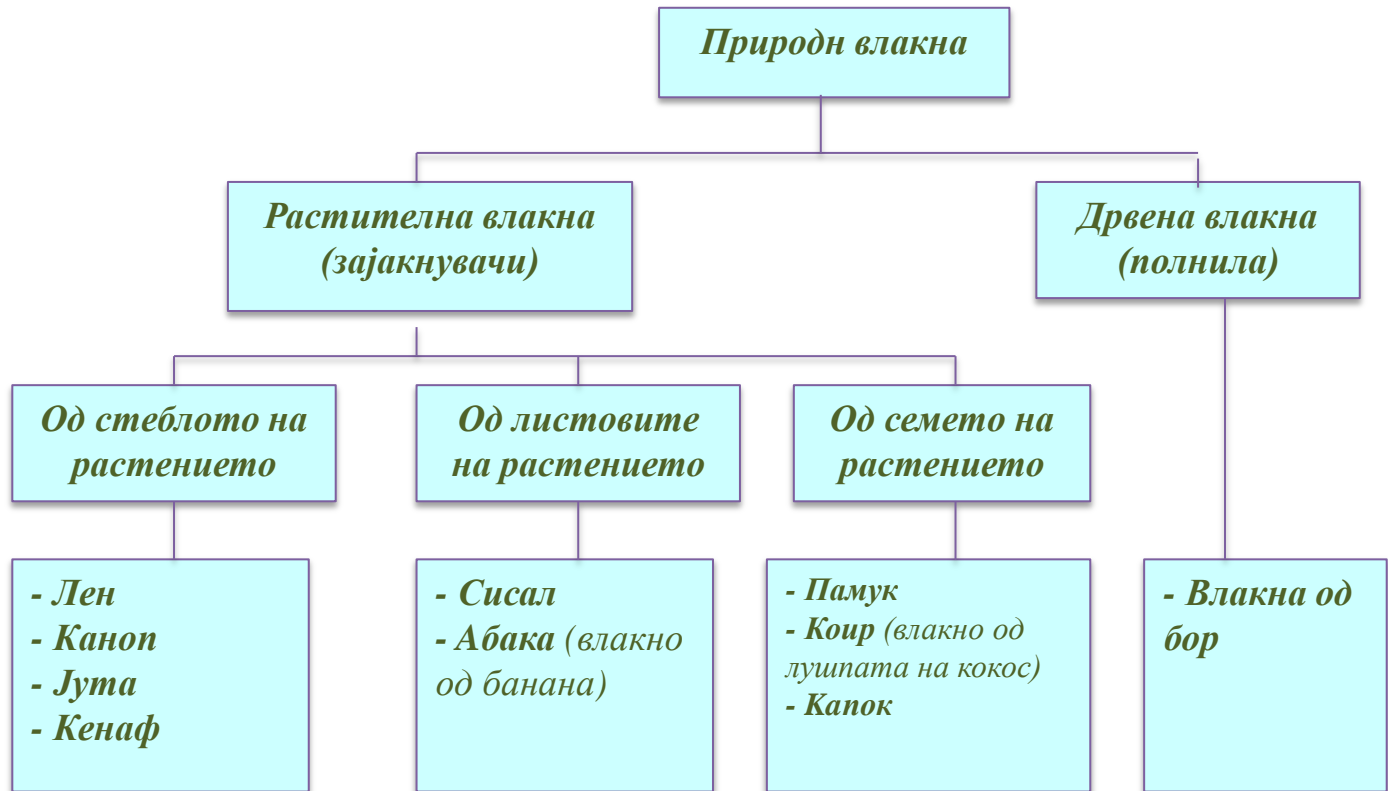
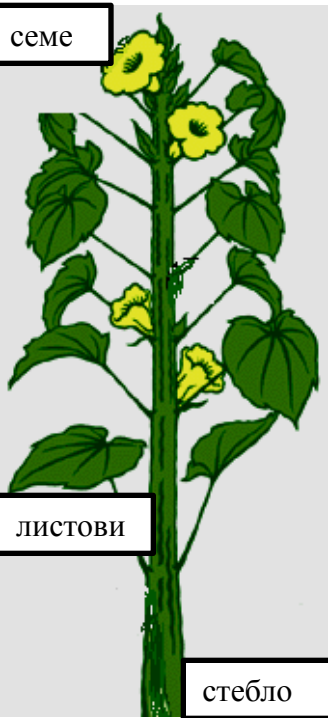
Природна влакна се састоје од дугачких влакнастих челија чији основни материјал грађе је **целулоза** која је **природни полимер високе јачине и крутости**.

Код вечине биљака влакнасте челије су сљепљење заједно са лигнином у густа танка влакна, при чему дужина влакна зависи од вида и дужине биљке.



Особине природних влакна варирају у зависности од њиховог потекла но исто тако и од квалитета и локације плантаже, старости биљке и неких других фактора. Механичке карактеристике природних влакна зависе од индивидуалних конституената од фибрилрне структуре и ламеларне матрице. За разумевање механичке својства и обраде влакна потребно је познавање количине структурних конституената влакна, целулозе, хемицелулозе и лигнина. Хемиски састав и структурни параметри неких природних влакна приказани су на табели.

ОБНОВЉИВИ ИЗВОРИ: ПРИРОДНА ВЛАКНА



За композите најчешће се примењују влакна стабла и листа.

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	/

Природна влакна су комплексна у односу на **хемиски састав**, она су **лигно целулозна** и састоје се од **хелисијално извртених целулозних микрофибрила у аморфној матрици лигнина и хемицелулозе**. Механичка својства су одређена пре свега од садржаја целулозе и од микрофибриларном угла како и од степена полимеризације целулозе у влакнима.

Јунгов модул природних влакна се смањује са повећањем дијаметра.

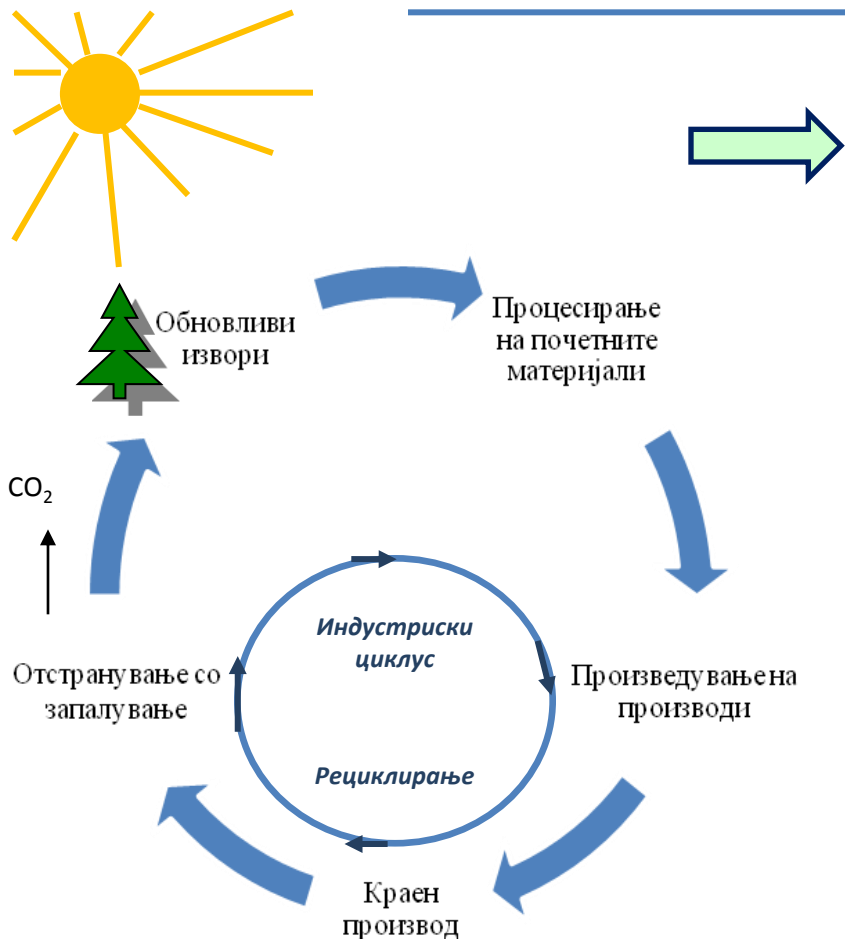
Висока содржина целулозе и мали микрофибралан угао су пожељни за влакна уколико су они намењени за ојачање полимерних еко композита.



КАРАКТЕРИСТИКА СИНТЕТИЧКИХ И ПРИРОДНИХ ВЛАКНА

Вид на влакно	Густина, kg/m ³	Јачина на истегнување, MPa	Модул при истегнување, GPa	Издолжувањ е до кинење, %	Апсорпција на влага, %
<i>Синтетички влакна</i>					
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
<i>Природни влакна</i>					
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

ПРЕДНОСТИ / НЕДОСТАТКА



Предности :

- ниском густином и великом јачином и крутошчу,
- њихова специфична својства се могу упоредити са специфичним својствима стаклених влакнима,
- их им у великих количинама,
- извори су обновљиви, а њихова производња користо мало енергије и има мале трошкове,
- могу термички да се рециклирају ,
- акустични и термички изолатори - резултат шупље и чеијне природе .

Индустриски и природни циклус произода од обновљивих извора.

CO₂ који се ослобаца при сагоревању материјала после завршетка употребе искористи се у процесу фотосинтезе у току раста биљке. Укупан биланс CO₂ је једнак 0.

ПРЕДНОСТИ / НЕДОСТАТКА

Недостатка :

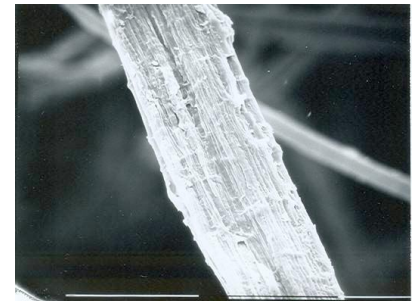
- предходна обрада (одстрањивања пектина , лигнина, ...)
- ниска температура процесирања (до 200°C) што усложњава избор полимерне матрице која може да се примени,
- висока апсорпција влаге - може да доведе до бабрења влакна и погоршања димензионе стабилности композита.

Да би се добило природно влакно погодно за примену зајакнувача композитног материјала као и за процесирање неопходна је обрада влакна. Тако на пример за ланена влакна први корак је процес одстрањивања пектина који може да се уклони алкалном реакцијом NaOH, акрилна киселина, калиум перманганат и др.

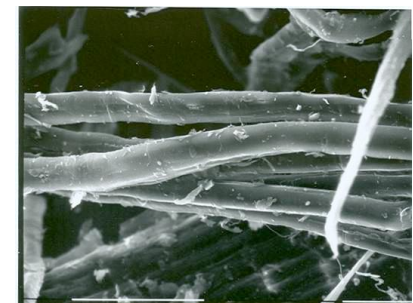
Лигнин доприноси лошој адхезији међу влакна и матрице и слабо натапања влакна.

Разлика међу обрађеног и необрађеног ланеног влакна може да се види на SEM микрофотографији. После обраде влакна растварањем уклањају се спољнашњим љепљивим и добијају се рамна глатке површине.

У току бербе, обраде површине и процесирања поступак са влакнима има велику улогу. Мала оштетења која могу да настану на површину влакна смањују јачину истезања.



Необрађено влакно



Обрађено влакно

ГРАНИЧНА ОБЛАСТ ВЛАКНО-ПОЛИМЕР (ИНТЕРФЕЈС)

Да би се добиле жељене карактеристике композитног материјала потребно је да влакна не содрже дефекте (површинске и унутрашње) и оптеречење ефикасно да се преноси са матрице на влакна преко **интерфејса**.

Пре употребе влакна зајакнувача врши се површинска обрада да би се обезбедила компатибилност са полимером, односно добра адхезивност влакно – матрица.

Модификација природних влакна се изводи на више начина:

- Хемиским путем,
- Пресвлачењем слојем полимерног раствора (премаз)
- Са калем полимеризацијом.

Степен натапања природних влакна је много важан за постизање добре адхезије између влакна и матрице.

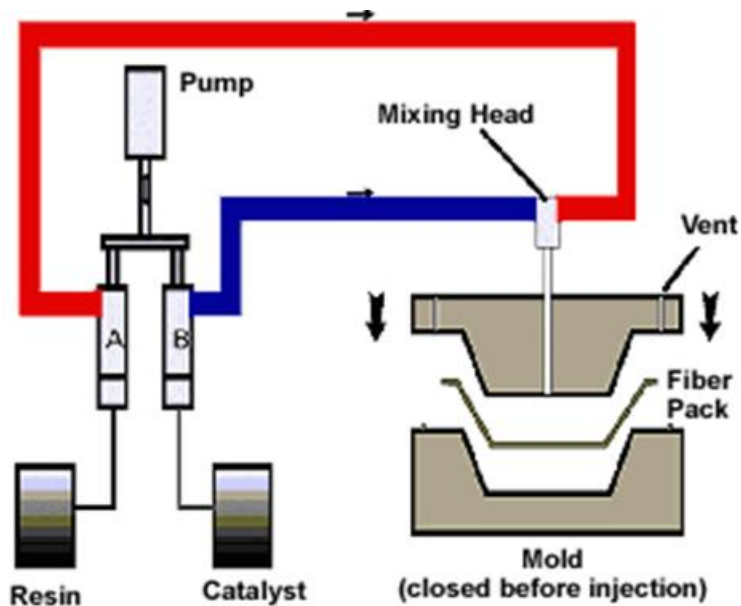
Интерфејс влакно – матрица је важно да буде добар да би се обезбедила добра физичка и механичка својства еко композита. Зато је неопходно да се делује на површину природних влакна да би се смањила њихова хидрофилност и на тај начин побољшао интерфејс са хидрофобном полимерном матрицом. Хидрофилна влакна апсорбирају влагу што је неповољно за крајна својства композита јер може да доведе до појаве деламинације.

ТЕХНОЛОГИЈЕ ЗА ПРОИЗВОДЊУ ПОЛИМЕРНИХ КОМПОЗИТА И ЕКО-КОМПОЗИТА

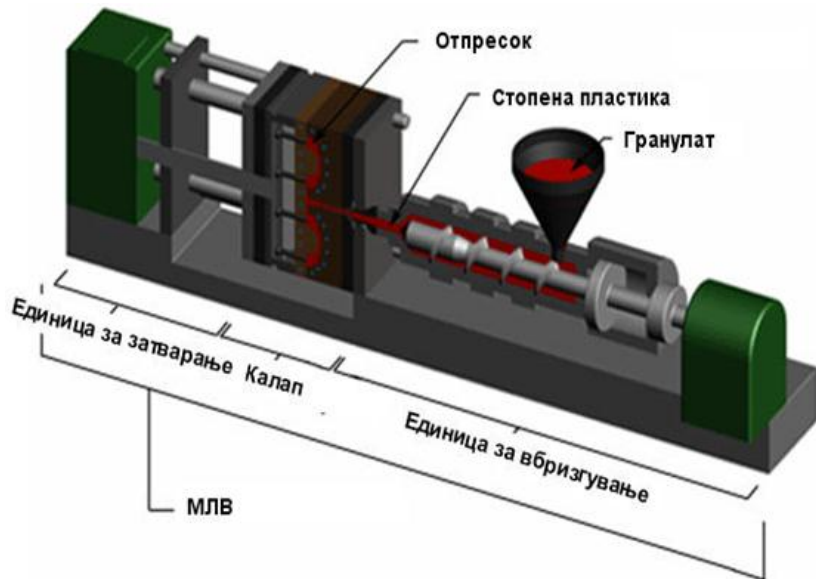
- Пресовање са преносом смоле (Resin Transfer Molding) – RTM
- Инјекционом пресовање под вакумом (Vacuum Injection Molding)
- Структурно реакционо пресовање (Structural Reaction Injection Molding) – SRIM
- Инјекционо пресовање (Injection Molding)
- Пресовање у калупу (Compression Molding)

У принципу поступци за добијање еко композита су слични оним за композите са стакелним влакнима но са одређеним прилагођавањем.

У току процесирања треба пазити да температура не буде виша од 200°C како и да не буде дуго задржавање материјала на високим температурама да не би дошло до разградње влакна.



За све технике процесирање материјала неопходно је при одређену температури и одређено време применити довољан притисак са циљем од течне масе зајакнувача – матрице добити димензионо стабилан композит. При добијање композитних материјала са термоактивном матрицом треба обезбедити довољно дуго време да заврши процес умрежавања и да се добије стабилан производ пре него што се извади из калупа. Ако се користи термопластична матрица с обзиром да материјал треба само да се охлади, време задржавања у калупу је знатно краће.



ЕКСПЛОАТАЦИОНА ВРЕДНОСТ: "ТРАДИЦИОНАЛНИХ" *versus* ЕКО-КОМПОЗИТНИХ

Својство	JUSP		TJUSP		GUSP	
	<i>l</i>	<i>t</i>	<i>l</i>	<i>t</i>	<i>l</i>	<i>t</i>
Јачина на свиткување, МРа	60.1	42.5	58.7	44.8	138.2	112.7
Модул при свиткување, МРа	2971	2197	2625	2539	4015	3364
Јачина на истегнување, МРа	44.3	27.4	48.3	29.1	117.4	85.9
Модул при истегнување, МРа	2877	3152	3495	2665	6077	5416

JUSP – мат на основу незасичене полиестерске смоле ојачане јутеним влакна,

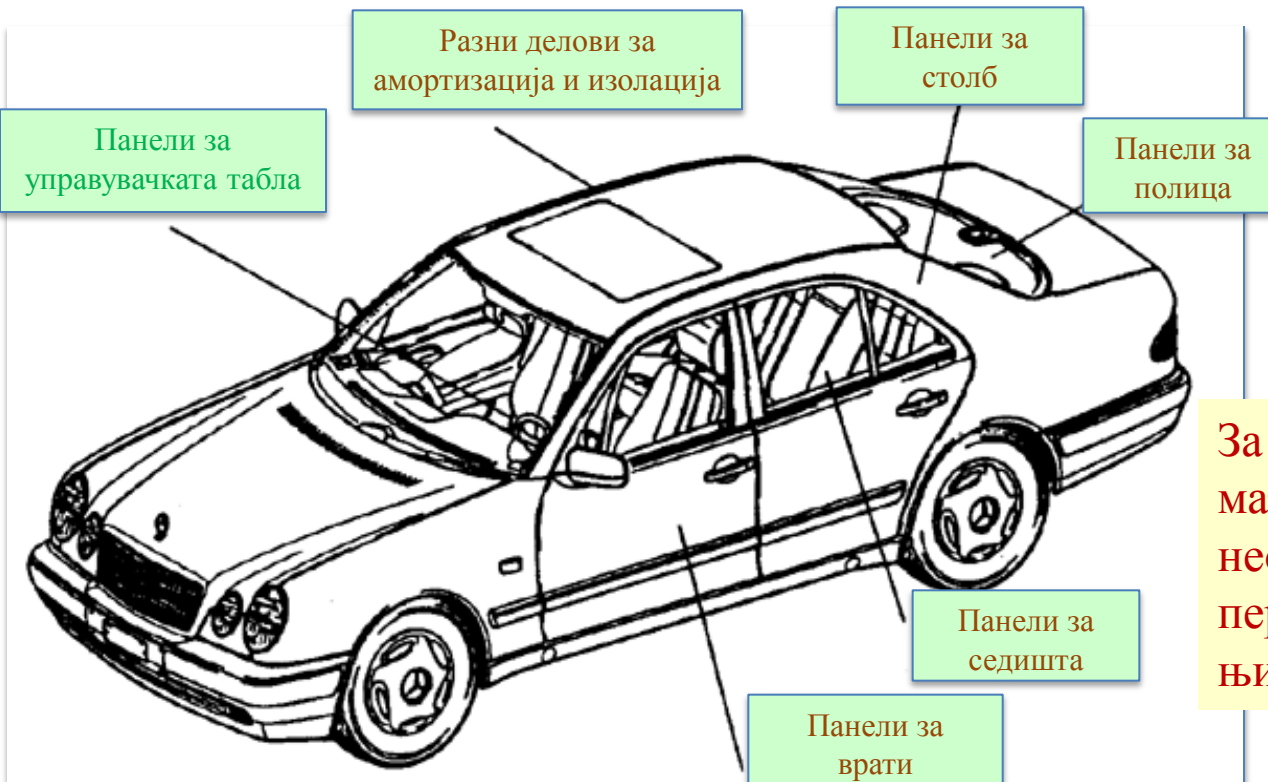
TJUSP - мат на основу незасичене полиестерске смоле ојачане модифицираним јутеним влакна, **GUSP** - мат на основу незасичене полиестерске смоле ојачане стакленим влакнама

Бројна истраживања су показала да композитни материјали са епоксидном смолом и пропиленом као матрицом ојачаним са ланеним и сисал влакнима карактеришу се добрим механичким својствима блиским својствима композита са стакленим влакнима. Добра мех. својства ових композита су резултат пре свега добрих механичких својства влакна због високог процента целулозе у њима. Исто тако велики број истраживања показују да механичка својства композита ојачаних са влакнима су бољи у лонгитудиналном смеру него у трансверзалну и зависе од тога дали природно влакно је модифицирано или не. Јачина и модул истезања код композита са модифицираним влакнима су бољу у оба смера упоређени са немодифицираним природним влакнима. Ово може да се види из резултата механичких особина композита на основу незасичене полиестерске смоле ојачане јутеним влакна, дате у табели.

Примена полимерних еко - композита у автомобилској индустрији

Посљедних година фокус истраживања је све више усмерен ка добивању полимерних еко композита који могу да се користе и за спољашне делове аутомобила. За такве спољашне компоненте од особите важности је композитни материјал да буде издржљив на екстремне спољашне услове као што је влага.

Неколико студија за процену животних циклуса LCA (Life Cycle Assessment) рађене за композите ојачане природним влакнима су показале да предност природних влакна у односу на стаклена влакна углавном је повезана за њиховом малом тежином, а не само са њиховом природном потеклом.



За полимерне еко композитне материјале у будућности че бити неопходно код евалуације еко перформанси идентификовати и њихов истински зелен карактер.

1. Биоразградљива полимерна матрица:

- полимлечна киселина (poly(lactic acid) - **PLA**), производител Biomer, Krailling од Германија.

2. Рециклирачка термопластична матрица:

- полипропилен (isotactic polypropylene – **PP**) тип Moplen X30S, произведен од Basell Polyolefins - Ferrara, Италија.

3. Компатибилизирачки агенси (CA):

- MAPP (maleic anhydride grafted PP) и MAPLA (maleic anhydride grafted PLA)

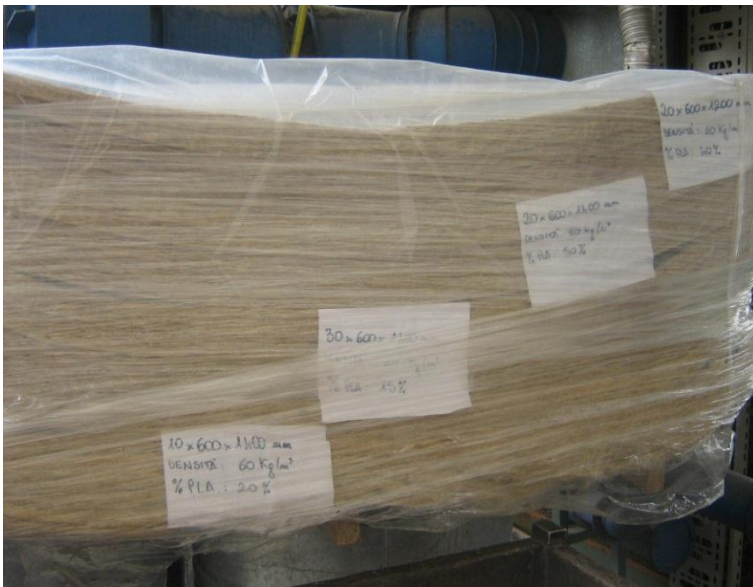
4. Природна влакна за ојачавање из обновљивих извора:

- **кенаф влакна** (kenaf - K) и **љушпице** из пиринача (rice hulls - RH).

ДОБИВАЊЕ ПОЛУПРОИЗВОДА ЗА ПОЛИМЕРНИХ ЕКО-КОМПОЗИТА

1. **Кенаф предформи** - импрегниран материјал со PP и PLA матрица, 70% природни влакна и 30 % полимер

2. **Гранули (пелети)** - материјал добиен со екструдирање и реакционо мешање на конститuentите, 30 % полимер и 70 % природен зајакнувач .



Кенаф предформи (*Isolkenaf*, Kenaf Eco Fibres SpA, Италија) односно импрегниран материјал са PP и PLA матрица
 Панили конструирани од 70% матрице и 30% природних влакна

<i>Состав на кенаф предформите</i>	<i>Однос на конституентите, мас. %</i>	<i>Специфична маса, kg/m³</i>
кенаф / PP	70 / 30	60
кенаф / PP		40
кенаф / PP		80
кенаф / PLA	70 / 30	40
кенаф / PLA		60
кенаф / PLA		60
кенаф / PLA		60



Композитних пелета добијејни
реакционим мешањем



Композитних пелета (пигментираних)
добијејни екструдирањем

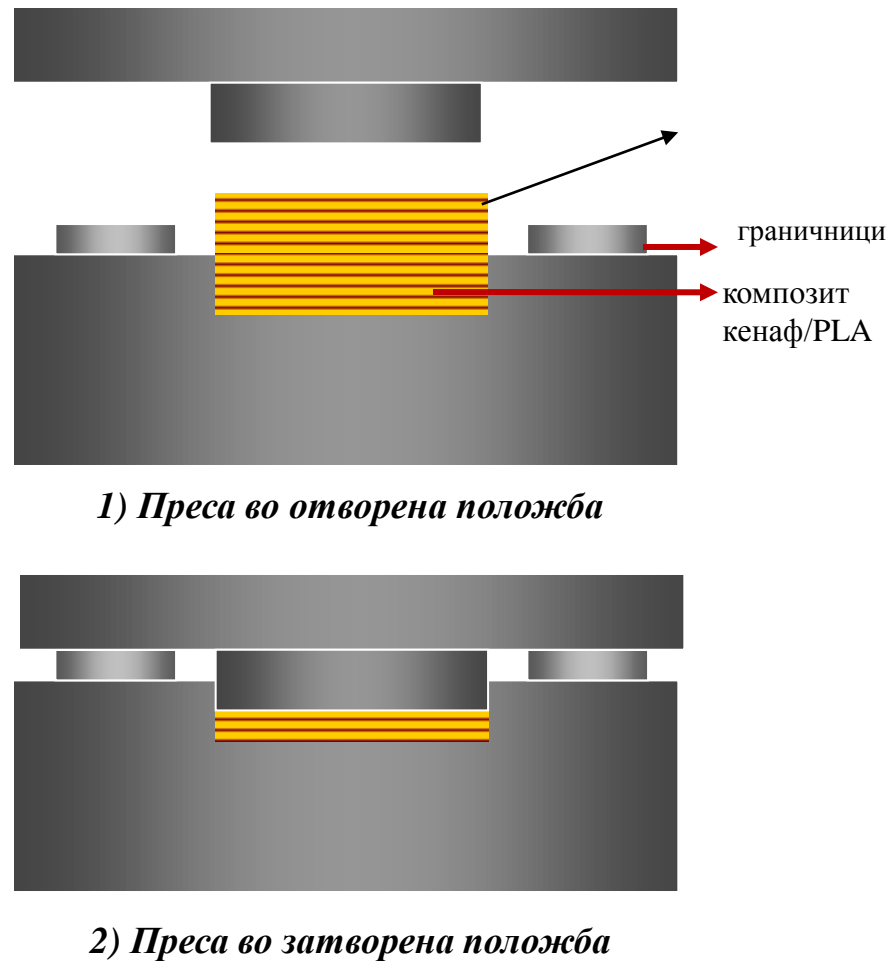
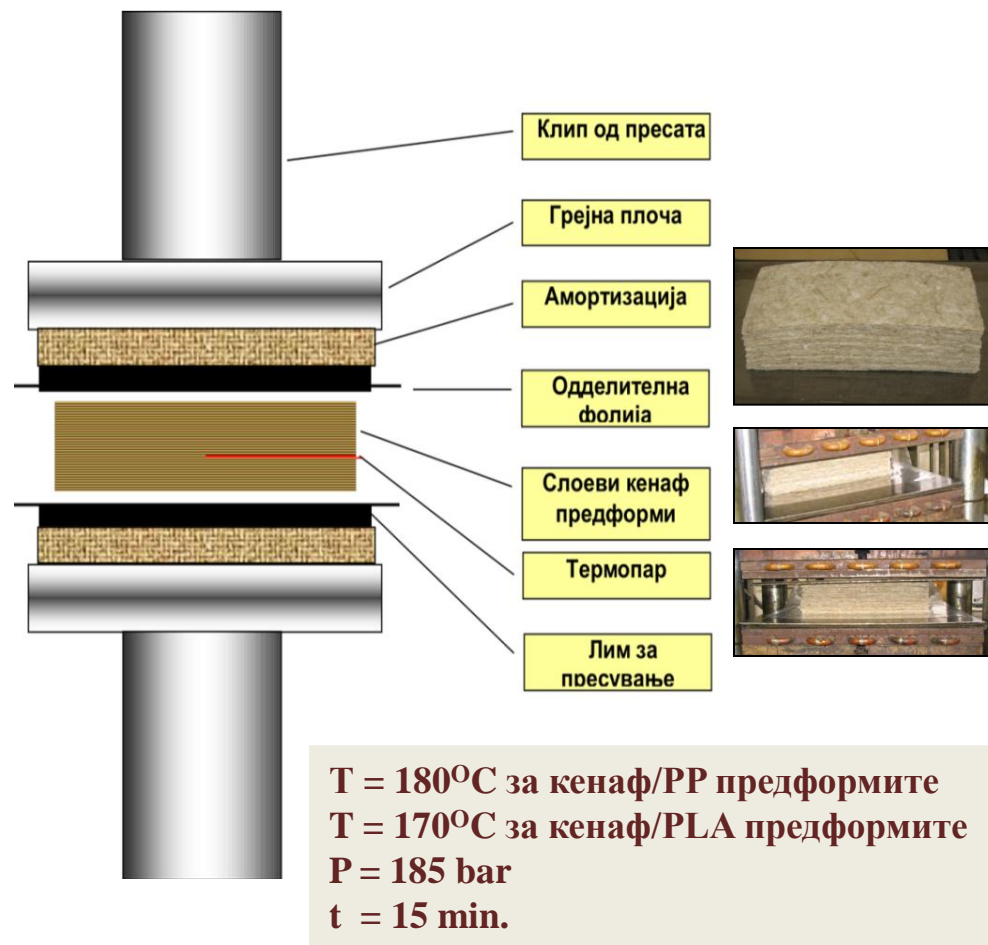


Композитних пелета добијејни
екструдирањем

<i>Состав на композитните пелети</i>	<i>Однос на конституентите, мас. %</i>
PP / K	70/30
PP / RH	
PLA / K	70/30
PLA / RH	
PP / K / CA	65 / 30 / 5
PP / RH / CA	
PLA / K / CA	65 / 30 / 5
PLA / RH / CA	

Композитних пелета - материјал добијен екструдирањем и реакционим мешањем
коенституента конституирана 30 % полимера и 70% природних ојачивача

ПРОИЗВОДЊА ПОЛИМЕРНИХ КОМПОЗИТА



Компресионо пресовање кенаф/PP предформа

Компресионо пресовање кенаф/PLA предформа

Компресионо пресовање композитних пелета



кенаф/PP пелети:
 $T = 180^{\circ}\text{C}$
 кенаф/PLA пелети:
 $T = 170^{\circ}\text{C}$
 $P = 70 \text{ bar}$
 $t = 30 \text{ min.}$

Инјекционо пресовање композитних пелета

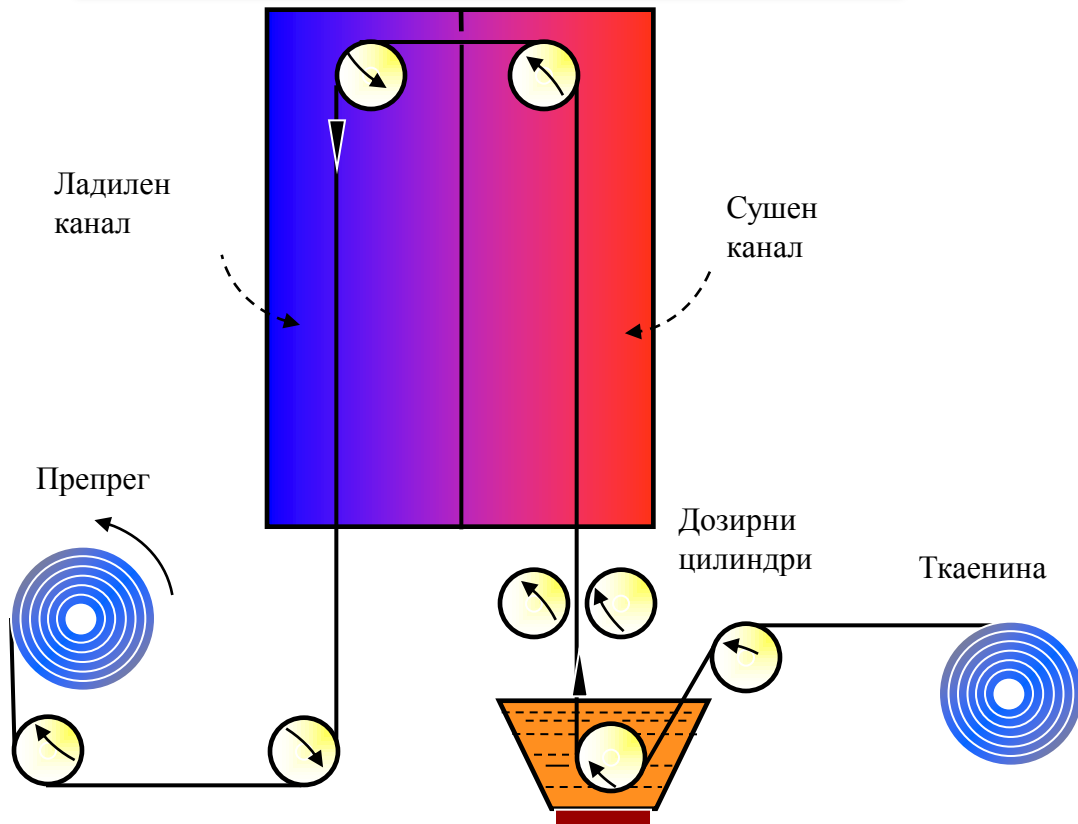


Оптимални температури (T) во зоните на машината, $^{\circ}\text{C}$

Композитен полимер	T на растоп	T во инката	T во зона на полнење	T во компресиона зона	T во дозирна зона	T во млазникот
PP/K/CA	185-195	35-40	120-150	150-180	185-195	190-200
PP/RH/CA	185-195	35-40	120-150	150-180	185-195	190-200
PLA/K/CA	180-185	25-35	110-140	140-170	170-185	185-190
PLA/RH/CA	180-185	25-35	110-140	140-170	170-185	185-190

Машина за инјекционо пресовање

Добивање препрега



Импрегнација на зајакнувачка ткаенина

- количеството на нанесената матрица,
- рамномерноста на наносот по целата површина на ткаенината,
- времето на гелирање (Б - времето),
- течењето на матрицата и
- содржината на влага и испарливи материи.

Пресовање



Стаклена, полиамидна,
арамидна ткаенина:
 $T = 150-160 \text{ }^{\circ}\text{C}$,
Полиетиленска ткаенина:
 $T = 125-130 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

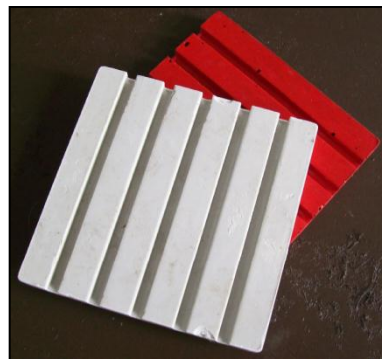
$$t = a + bx$$

t - време на пресување
(min),
 a, b - коефициенти,
 x - претпоставена дебелина
на композитот според
бројот на слоевите (mm).

МЕТОДЕ ИСПИТИВАЊА ФИЗИЧКО-МЕХАНИЧКИХ СВОЈСТВА ПОЛИМЕРНИХ КОМПОЗИТА

Стандардни методи и постапки:

- Јачината и модулот на свиткување - ASTM D 790;
- Јачината на притисок и модулот - ASTM D 695;
- Јачината на истегнување и модулот - ASTM D 638;
- Ударната жилавост по Шарпи (Charps impact test) - ASTM D 256;
- Температурната деформација под дејство на топлина - метода на Martens, DIN 53462;

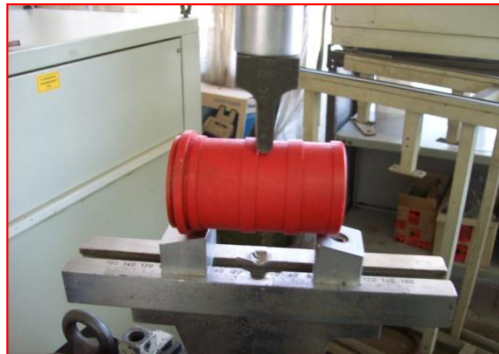




Универзална машина за механички испитувања “SCHENK”



Charpy-ево клатно



Физичко механички карактеристики на компресионо пресуваните SMC полимерни еко-композитни предформи

Карактеристики	Композит: кенаф/PP	Композит: кенаф/PLA
Специфична тежина, g/cm ³	0,93±0,02	1,05±0,01
Апсорпција на вода, %	40,5±2,15	53,0±3,42
Запаливост	запалив	запалив
Јачина на свиткување, МПа	30,1±1, 31	29±1,54
Модул при свиткување, GPa	9,0±0,05	10,4±0,12
Јачина на удар, ан 5, kJ/m ²	43,1±2,26	51,6±3,13
Јачина на удар, ан 10, kJ/m ²	65,5±3,18	68,0±4,16
Јачина на притисок, МПа	17,4±1,38	20,9±1,61
Модул при притисок, GPa	5,36±0,23	7,54±0,35
Јачина на истегнување, МПа	34,34±2,84	52,22±2,12
Модул при истегнување, GPa	5,72±0,03	6,74±0,11



Механички карактеристики на компресионо пресувани композитни пелети со немодифицирана матрица

Карактеристики	Композит: PP/K	Композит: PP/RH	Композит: PLA/K	Композит: PLA/RH
Специфична тежина, g/cm ³	0,91	0,92	1,02	1,04
Апсорпција на вода, %	32,6±1,32	34,7±1,21	44,8±2,32	48,4±2,25
Јачина на свиткување, МПа	38,7±3,5	31,4 ± 2,4	26,1±2,35	12,5±4,3
Модул при свиткување, GPa	1,96±0,14	1,45±0,16	1,75±0,26	2,83±0,23
Јачина на удар, ан 5, kJ/m ²	42,1±2,14	36,7±2,31	20,3±1,43	14,1±1,62
Јачина на удар, ан 10, kJ/m ²	52,6±2,82	42,3 ± 1,87	23,4±2,45	21,6±1,83
Јачина на притисок, МПа	26,3±2,15	19,2±1,54	13,8±1,67	10,8±0,84
Модул при притисок, GPa	1,07±0,14	0,98±0,18	0,82±0,14	0,96±0,11
Јачина на истегнување, МПа	18,65±2,48	10,56 ± 2,12	16,42 ± 4,12	12,28 ± 1,24
Модул при истегнување, GPa	0,85 ± 0,05	1,04 ± 0,06	1,17 ± 0,28	1,43± 0,31

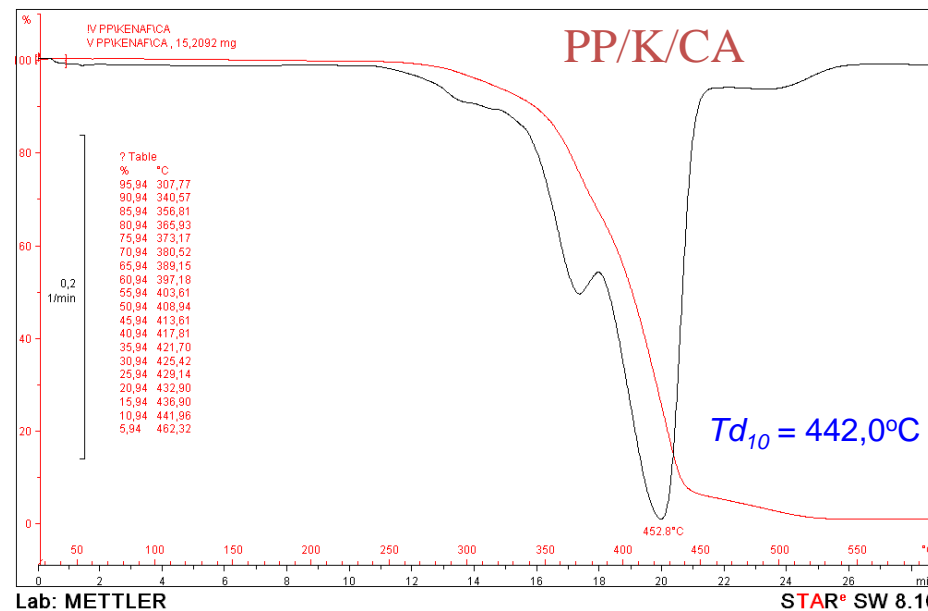
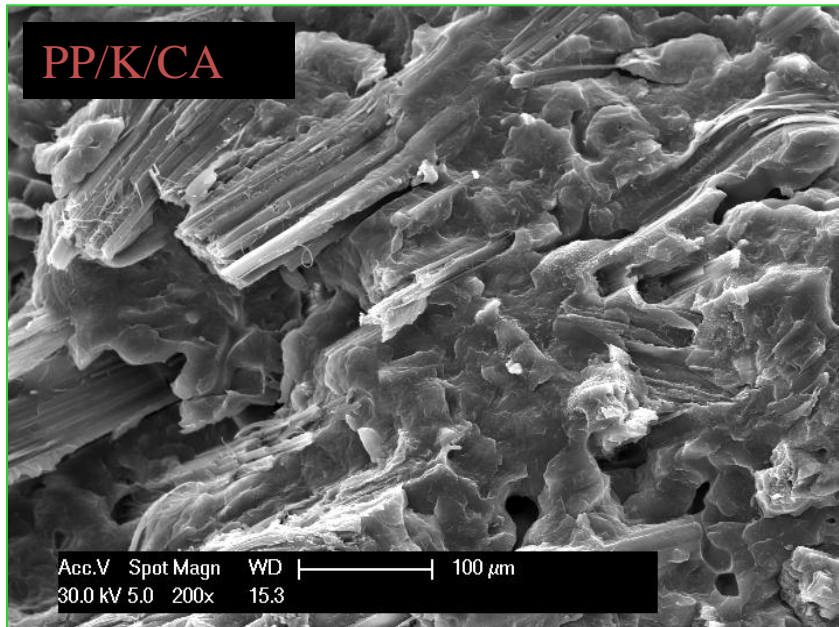
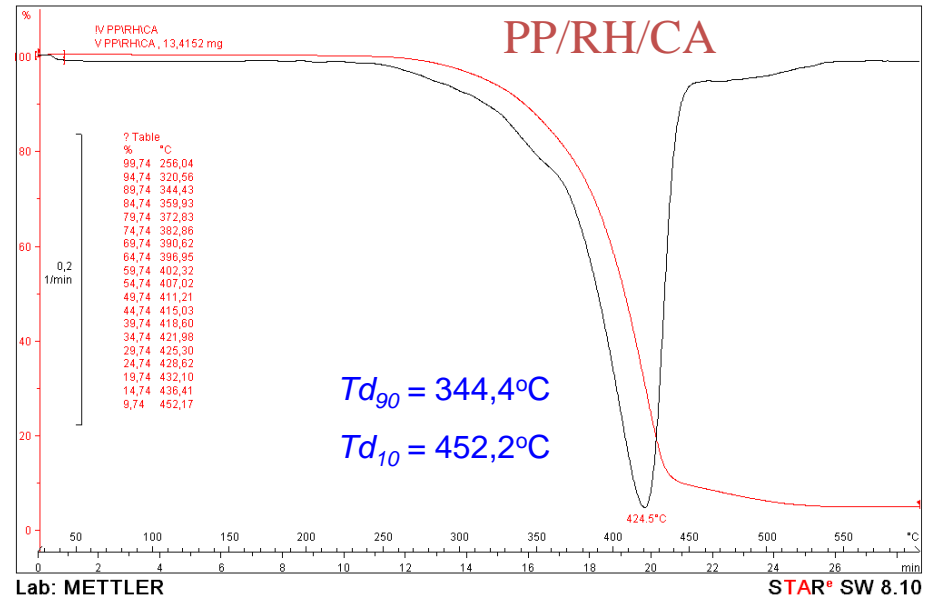
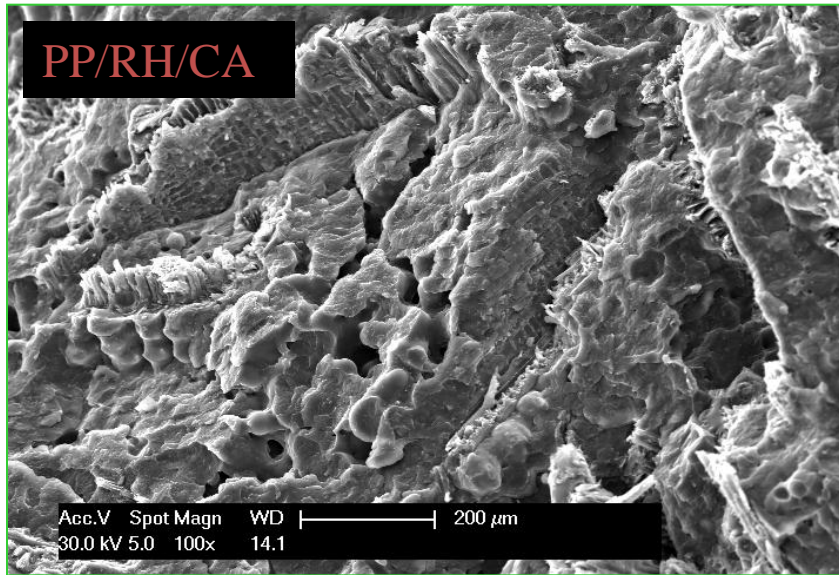


Механички карактеристики на компресионо пресувани композитни пелети со модифицирана матрица

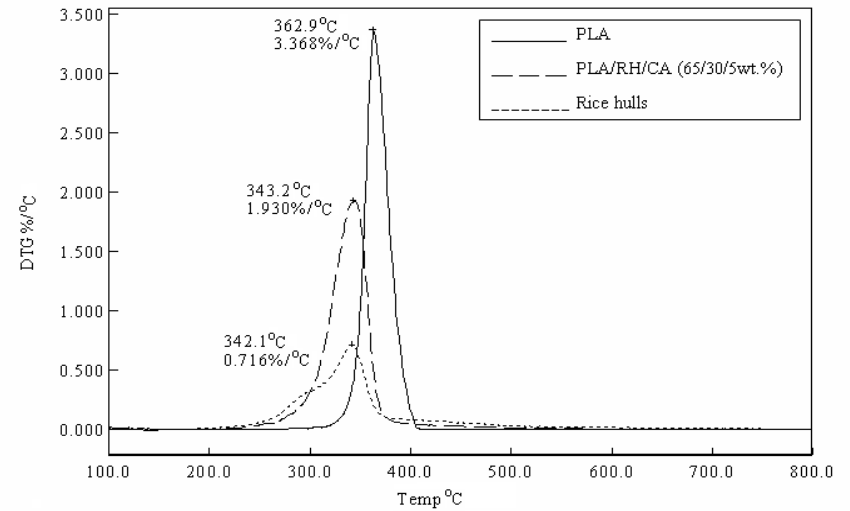
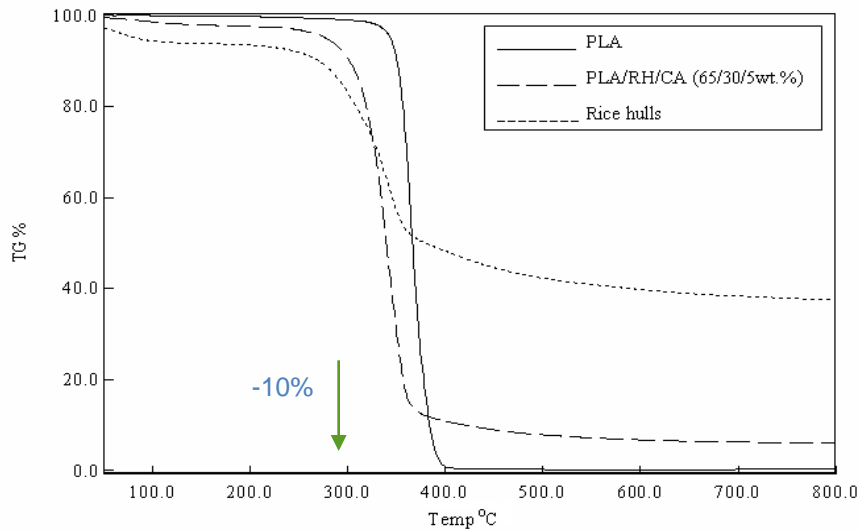
Карактеристики	Композит: PP/K/CA	Композит: PP/RH/CA	Композит: PLA/K/CA	Композит: PLA/RH/CA
Специфична тежина, g/cm ³	0,93	0,94	1,05	1,06
Апсорпција на вода, %	30,4±1,23	31,6±1,18	40,5±2,13	38,3±2,11
Јачина на свиткување, МПа	51,3±4,80	42,6±3,40	46,7±3,43	28,8±6,61
Модул при свиткување, GPa	2,11±0,07	1,94±0,08	2,05±0,13	3,03±0,18
Јачина на удар, ан 5, kJ/m ²	53,1±3,17	48,6±3,34	38,5±2,83	24,5±1,76
Јачина на удар, ан 10, kJ/m ²	71,4±4,12	69,2±3,83	54,3±3,92	48,7±3,74
Јачина на притисок, МПа	47,2±2,63	36,3±2,24	34,5±2,17	21,6±1,83
Модул при притисок, GPa	1,86±0,25	1,58±0,13	1,74±0,16	1,46±0,09
Јачина на истегнување, МПа	29,57±3,84	22,68 ± 4,82	28,34 ± 6,54	26,68 ± 1,49
Модул при истегнување, GPa	1,65 ± 0,025	1,78 ± 0,014	2,87 ± 0,23	2,76± 0,11

SEM анализи

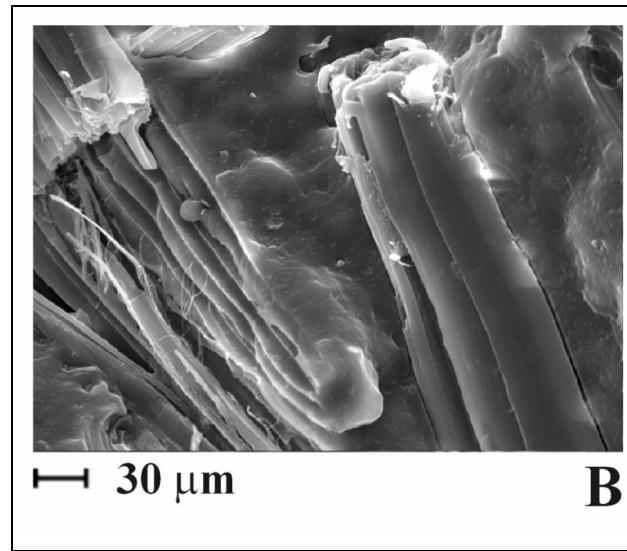
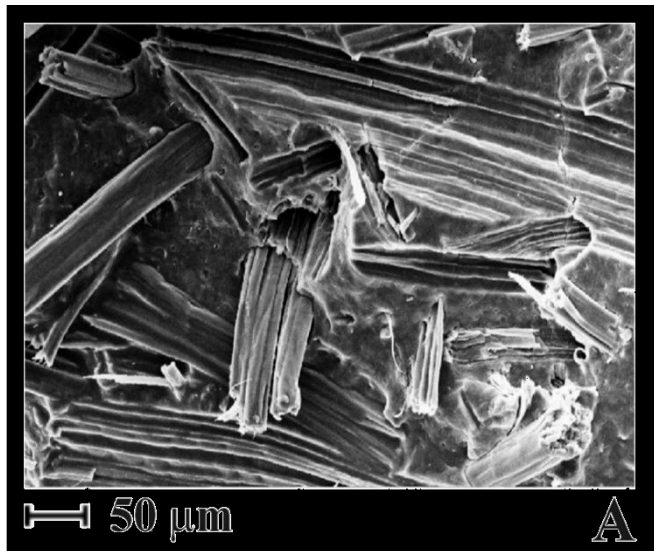
TGA и DTG криви



TGA и DTG криви



Морфолошки анализи



A)
некомпатибилизиран
композит **PLA/K**

B)
компатибилизиран
композит **PLA/K/CA**

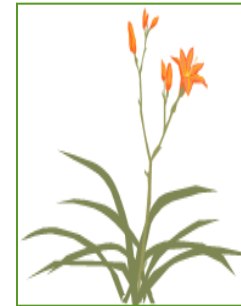
ОЦЕНА ЕКО-КОМПОЗИТНИХ МАТЕРИЈАЛА У ОДНОСУ НА КОНВЕНЦИОНАЛНЕ

Композити: полимер + природна влакна = нова класа композитних материјала

ПРИВЛАЧЕ ВЕЛИКУ
ПАЖЊУ!!!

природна влакна: коноп, лан, јута и кенаф влакната – **атрактивни !?**

1. *специфичне особине,*
2. *цена*
3. *пријатељски однос према животној средини и*
4. *могућност рециклаже.*



Основно функционирање композита као инжинерског материјала је одређено од њихових механичких својства, као што су јачина и модул при истезању, јачина и модул при савијању, отпорност на удар и друго.

Примена композита зависи од више фактора:

- ✓ Својства и особине основних компонената: матрица, зајакнувач
- ✓ Однос масе и волумена између матрица и зајакнувача
- ✓ Ориентација зајакнувача и рамномеран распоред зајакнувачких влакана и матрици
- ✓ Вид зајакнувача, односно дали су то кратка влакна, сецкана или континуирана, или нека предформа (тканина, мат и сл)
- ✓ Компатибилност полимерне матрице и зајакнивача
- ✓ Веза између зајакнивача и матрице у интерфејсу.

ПОЛИМЕРНИХ
ЕКО КОМПОЗИТА

КОНВЕНИЦИОНАЛНИ
Х ПОЛИМЕРНИХ
КОМПОЗИТА

Природни зајакнувачи - кратка
vlakна / пунила

**ефекат
ојачања**

Техничка vlakна –
у форми ткаенина

сасвим другачије !!!

секундаран

примаран

Еко-композита могу да се користе као конструкциони **неносечких** материјала у разним гранама индустрије: грађевинство, индустрија намештаја, аутомобилској итд.

Ламинираних композита са своје перформансе се могу имплементирати како одговорне **носечких** конструкциона материјала у многим индустријама

полимерних матрица за еко-
композита:

**рециклирачки и
биоразградљиви**

полимерни систем
(терморективна/термопластична
матрица) код ламинираних композита:
**тешко се обрађује и не може да се
рециклира**

.....МОГУЋИ СМЕРОВИ ЗА ПОНОВУ УПОТРЕБУ КОНВЕНЦИОНАЛНИХ
ЛАМИНИРАНИХ КОМПОЗИТА!!?

механичко рециклирање

спаљивање уз повраћај енергије

*Добијање прашкастом облику
конвенционалних композиата је
компликована и скупа процедура која
захтева употребу одговарајућих
машина, инструмената и пуно
енергије!!!??*

ХВАЛА НА ПАЖЊИ!