

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Технологија прераде пластичних маса

Број индекса: 307/2013

Милан М. Бајић

Специфичности производње Тетра Пак фолија

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Богдан Недић – ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да:

- изврши прикупљање и систематизацију информација о процесу, технологији, машинама и процесима који се користе при производњи Тетра Пак фолија. Потребно је описати карактеристике примењених материјала и области примене Тетра Пак фолија. У оквиру посебног дела рада потребно је да кандидат изврши пројектовање дела опреме за израду Тетра Пак фолије.

Мастер рад треба да садржи следеће целине:

1. Увод,
2. Тетра Пак амбалажа,
3. Материјали за производњу Тетра Пак фолија,
4. Технологија и опрема за ламинацију,
5. Утицајни фактори на процес ламинације,
6. Карактеристике Тетра Пак фолија,
7. Пример пројектовања дела опреме за ламинацију,
8. Закључци,
9. Литература.

У Крагујевцу,
август 2015. године

Ментор:

Проф. др Богдан Недић

Резиме

У раду је извршено прикупљање и систематизација података о процесу, технологији, опреми за ламинацију, као и о материјалима који се користе у производњи Тетра Пак-а. Цео теоријски део је употпуњен практичним радом у компанији Тетра Пак Горњи Милановац. Поред практичног рада везаног за мастер рад и процес ламинације, био сам привилегован и почаствован да учествујем у два пројекта, конструисању и инсталацији нове опреме и изради дела плана за одржавање.

У мастер раду су дати основни подаци о компанији Тетра Пак, историјат, методологија и производи. Описани су материјали који се користе при ламинацији, сам процес ламинације, технологија, врсте ламинације, делови опреме. Приказани су и фактори који утичу на особине ламинираног производа, као и карактеристике готових производа.

Кључне речи:

- полиетилен,
- ламинација,
- диза.

Abstract

In this work was carried out the collection and systematization of data on process, technology, equipment for lamination, as well as the materials used in the production of cartons. The whole theoretical part is complemented by practical work at the company Tetra Pak Gornji Milanovac. In addition to the practical work associated with master operation and the process of lamination, I was privileged and honored to participate in two projects, construction and installation of new equipment and preparation of work plan for maintenance.

The master paper presents basic information about the company Tetra Pak, history, methodologies and products. Disclosed are materials that are used for laminating, the process of lamination technology, and types of laminating equipment parts. Shown are the factors that influence the properties of laminated products, as well as the characteristics of the finished product.

Keywords:

- polyethylene,
- lamination,
- die.

Садржај

Резиме.....	3
Увод.....	5
1. Тетрапак амбалажа.....	7
1.1. Историјат компаније	7
1.2. Тетра Пак	9
1.3. Понуда производа компаније Тетра Пак.....	10
2. Полимери, полиетилен.....	13
2.1. Полимеризација и поликондезација.....	16
2.2. Полиетилен.....	18
2.2.1. ЛДПЕ – Полиетилен ниске густине	20
2.2.2. Линеарни полиетилен ниске густине <i>LLDPE</i>	22
3. Ламинација.....	23
3.1. Технологија процеса ламинације компаније Тетра Пак.....	25
3.2. Врсте ламинације	25
3.2.1. Пламена ламинација	25
3.2.2. Ламинација помоћу лепка и притиска	26
3.2.3. Coextrusion	27
3.3. Опрема за процес ламинације	28
3.3.1. Екструдер.....	28
3.2.2. Грејачи.....	30
3.2.3. Пуж	30
3.2.4. Диза.....	31
3.2.5. Склоп расхладног ваљка и ваљка за притисак	34
3.2.6. Одрезивање вишка	35
4. Утицајни фактори на процес ламинације	37
4.1. Температура растопа.....	37
4.2. Ваздушни простор, „врат растопа“ и течење растопа.....	37
4.3. Пријањање	41
4.3.1. Оксидација полиетилена	41
4.3.2. Предгревање подлоге	41
4.3.3. Фактори који утичу на адхезију	42
4.3.4. Коришћење прајмера, први слој.....	45
5. Карактеристике готовог ламинираног Тетра Пак-а	47
5.1. Фрикциона својства	47
5.2. Топлотно заваривање	47
5.3. Заштитна својства	49
6. Пример пројектовања дела опреме за ламинацију.....	50
7. Закључак.....	56
Литература	57

Увод

Потреба за развојем нових амбалажних материјала који ће обезбедити брже, лакше паковање и ефектније коришћење упакованог производа, довела је до стварања Тетра Пак амбалаже.

Тетра Пак је настао потребом за чување млека и воћних сокова. Основна идеја је да се из ролне пластифицираног папира обликује паковање и пуни течност. Како се паковања обликују, пуне и затварају она су потпуно напуњена и затворена без ваздушног простора. *Tetra Brik Aseptic* није само паковање, већ комплетан, рационалан систем дистрибуције за течне животне намирнице: млеко, воћне сокове, јестиво уље, природне воде, вино и друге течности.

Систем за производњу Тетра Пак амбалаже обухвата следеће: машине за штампу, машине за ламинацију, машине за пуњење, материјал за паковање, помоћну опрему за дистрибуцију, комплетан програм за сервисирање.

Тетра Пак амбалажа се може разврстати према облику и према времену трајања. Према времену трајања разликују се два типа тетрапак паковања: стандардно-краткотрајно и асептично - дуготрајно паковање.

Комплексна амбалажа настаје спајањем два или више материјала. На овај начин се отклањају недостаци које је сваки од тих материјала имао, ако се посматра у односу на оптималне захтеве за паковање одређеног производа.

Заштита производа је основни задатак вишеслојног амбалажног материјала. Такође, амбалажни материјал мора да обезбеди заштиту за време складиштења и транспорта. Светлосни зраци могу проузроковати оксидацију мириса. Заштиту од светлости обезбеђује присуство папира и алуминијумске фолије.

Тетра Пак амбалажа даје погодности за потрошача:

- штити производ, чува све његове првобитне особине, захваљујући пуњењу под вакуумом и заштити од светлости,
- олакшава се транспорт и чување производа,
- производ је упакован у неповратну амбалажу,
- лако отварање и коришћење производа из амбалажног материјала,
- омогућава прворазредну презентацију производа,
- омогућава лакше руковање у целом процесу дистрибуције.

У табели 1 приказана је промена укуса млека под дејством светлости код различитих паковања.

А, стаклена боца
Б, пластична боца
В, Тетра Брик

Време

	А			Б		В		
	1	2	3	1	2	1	2	3
1	—	—	—	—	—	—	—	—
2	+	++	+	—	—	—	—	—
3	++	+++	++	+	++	—	—	—
4	+++	+++	+++	+	+++	—	—	—
8	+++	+++	+++	+++	+++	—	—	—
12	+++	+++	+++	+++	+++	++	—	—

— = није изражено
+ = слабо изражено
++ = веома изражено
+++ = јако изражено

Табела 1. Промена укуса млека под дејством светлости код различитих паковања

У оквиру мастер рада описан је комплетан процес ламинације Тетра Пак амбалаже. У првом поглављу, Тетра Пак амбалажа, описан је историјат компаније кроз кључне године и дешавања у њима. Такође, је описана и општа методологија компаније, структура Тетра Пак паковања као и понуда производа компаније.

У другом поглављу, описани су материјали који је користе при ламинацији. Укратко су описани полимери и начини њиховог добијања. Већи фокус је стављен на полиетилен који представља главни материјал за ламинацију Тетра Пак амбалаже.

Треће поглавље обухвата процес ламинације. Описана је технологија процеса ламинације, опште врсте ламинације и делове опреме система за ламинацију.

У четвртном поглављу описан је утицај процесних услова на особине ламината. Описан је утицај температуре растопа, ваздушног простора. Такође, су описани и фактори који утичу на пријањање, и како побољшати пријањање.

У петом поглављу је описан практичан рад, и његова конструкција.

На крају рада је дат закључак и преглед коришћење литературе.

1. Тетрапак амбалажа

1.1. Историјат компаније

Тетра Пак је основан 1951. од стране др Рубена Раусинга. Тетра Пак је својим јединственим иновацијама променио начин паковања и дистрибуције хране широм света. Рубен Раусинг почиње да ради на развоју амбалаже за млеко која је захтевала минималну количину материјала и истовремено пружала максималну хигијену. Рођена је идеја о *Tetra Classic* паковању у облику тетраедра (слика 1.1) [1].



Слика 1.1. Прво Тетра Пак паковање [2]

Почетком шездесетих година Рубен Раусинг анд Ерик Валенберг оснивају АБ Тетра Пак. Прва Тетра Пак машина за паковања у облику тетраедра испоручена је једној компанији за производњу млечних производа у Лунду.

Крајем шездесетих производни капацитет достиже цифру од милијарду картонских паковања годишње. Лиценце за паковање постоје у осам земаља. На помолу је стварање *Tetra Brik* паковања.

Почетак седамдесетих обележио је представљање прве асептичне машине за пуњење млека без бактерија у амбалажу, као и продаја машина и паковања у СССР-у и САД-у [1].

1963. инсталирана је прва Тетра Пак машина у Србији, у Горњем Милановцу.

Касније је први пут представљено *Tetra Rex* паковање са троугластим врхом. Произведена је прва серија *Tetra Brik Aseptic* машина. Представљене су *Tetra Classic Aseptic* машине за кутије од литар и две нове *Tetra Rex* машине.

Осамдесетих година Тетра Пак продаје 20 милијарди различитих производа годишње.

1980. Представљена је нова генерација *Tetra Brik Aseptic* машина са капацитетом производње од 5.000 кутија на сат и делом за стерилизацију у склопу машине. Годишња производња Тетра Пак паковања прелази 30 милијарди паковања.

1986. Више од 400 милиона *Tetra Brik Aseptic* кутија за вино је произведено на дванаест тржишта. Компанија учвршћава своју позицију на америчком тржишту куповином компаније *Liquipak*, прозвођача машина за паковања са троугластим врхом.

1994. Покренута је производња квадратног *Tetra Brik-a*, јефтино паковање финих линија за пастеризоване млечне производе. Лансирана је нова технологија за очување укуса, текстуре и дуготрајности хране – прерада високим притиском (ХПП).

1996. Покренута је производња осмоугаоног паковања *Tetra Prisma*. Величина и облик ово паковање чине привлачним потрошачима свих узраста, а велики отвор са прстенастим отварачем омогућава служење производа у чаши или конзумирање директно из паковања.

2002. Раст броја паковања у Кини прелази 2.3 милијарде за годину дана и Кина постаје највеће тржиште са испоруком од скоро 7.5 милијарди паковања годишње. *Tetra Fino Aseptic* паковања од 200 мл и 250 мл са рупама за сламчице се појављују по први пут.

2003. Покренута је производња нових сламчица *Sensory* са четири отвора. Занимљивог изгледа и са новим концептом за уживање у пићу, ова сламчица је савршена за пића за децу као што су млеко различитих укуса, сокови и негазирана пића. Рођен је нов систем паковања *Tetra Recard*. *Tetra Recard* је први систем за прераду и паковање уз употребу картона који подноси високе температуре и дизајниран је за дуготрајне прехранбене производе било које текстуре – производе који се традиционално пакују у конзерве, стаклене тегле и кесе.

2005. Покренут је модул *Tetra Therm Aseptic Sensa*, чију основу чини нова технологија за мешање и пастеризацију напитака од воћа. Уводи се нов стандард за амбалажни материјал за охлађене течне производе која су јача, 20 % тања и захтевају мање полимера при производњи.

2006. Тетра Пак А1 машина за пуњење је најисплативија машина за пуњење на свету са капацитетом од 9.200 паковања на сат. *Tetra Therm Lacta* пастеризатор за млеко нуди свеобухватну редукцију искоришћене енергије за до 12 %. У питању је платформа за течне производе од млека. Појављује се *Tetra Gemina Aseptic*.

2008. *Tetra Lactenso Aseptic* решења за производњу дуготрајног млека постављају нове стандарде одрживости и перформанси, нудећи млекарама већи учинак уз мање улазних компоненти. Тетра Пак производи више од 141 милијарде паковања.

2009. Пуштена је у рад нова фабрика за производњу материјала за паковање у граду Хохот у Кини, као подршка расту млечне и индустрије пића у тој земљи. Више од 1,5 милијарде пакета Тетра Пак са ознаком ФСЦ.

2011. *Tetra Brik Aseptic Edge* лансиран је у новембру 2011. Нови изглед, побољшана функционалност, нижи трошкови и бољи еколошки профил учинили су га практичним избором за произвођаче дуготрајних пића. Нова генерација јединица за производњу

сира користи мање енергије уз ниже трошкове. Тетра Пак је новембра 2011 покренуо нову генерацију својих успешних јединица за производњу сира. Нови *Tetra Tebel Blockformer* омогућује произвођачима сира да побољшају еколошке перформансе, смање трошкове и сведу на минимум губитке у производњи.

2012. Нова Тетра Брик асептична 1000 линија је глобално лансирана за млеко, сокове, нектаре, вина и друге течне производе.

2015. У Горњем Милановцу је направљен савремени магацин [1].

1.2. Тетра Пак

Мото компаније Тетра Пак, "Штити што је добро", обухвата целокупан ланац вредности од добављача до купаца, дистрибуције, запослених, потрошача и друштва. Компанија штити храну у својим паковањима и потруди се да помогне заштити животне средине [2].

Компанија ради са својим клијентима да обезбеди жељену прераду и паковања за храну. Тетра Пак примењује посвећеност иновацијама, разумевање потреба потрошача и односе са добављачима за испуњење ових решења, где год и кад год се храна конзумира. Компанија верује у одговорно лидерство, ствара профитабилан раст у складу са еколошком одрживошћу и добрим корпоративним понашањем.

Компанија Тетра Пак је специјализована да пружи решења за прераду, паковање и дистрибуцију прехранбених производа. Решења су специјално дизајнирана да буде што економичније са одговарајућим ресурсима. Млечни производи, сокови, сладолед, сир, сува храна, воће, поврће и храна за кућне љубимце су примери производа који се могу паковати у Тетра Пак производе. Производи су подељени у неколико различитих категорија:

- паковања,
- процесна опрема,
- машине за пуњење,
- опрема за дистрибуцију,
- сервисни производи [2].

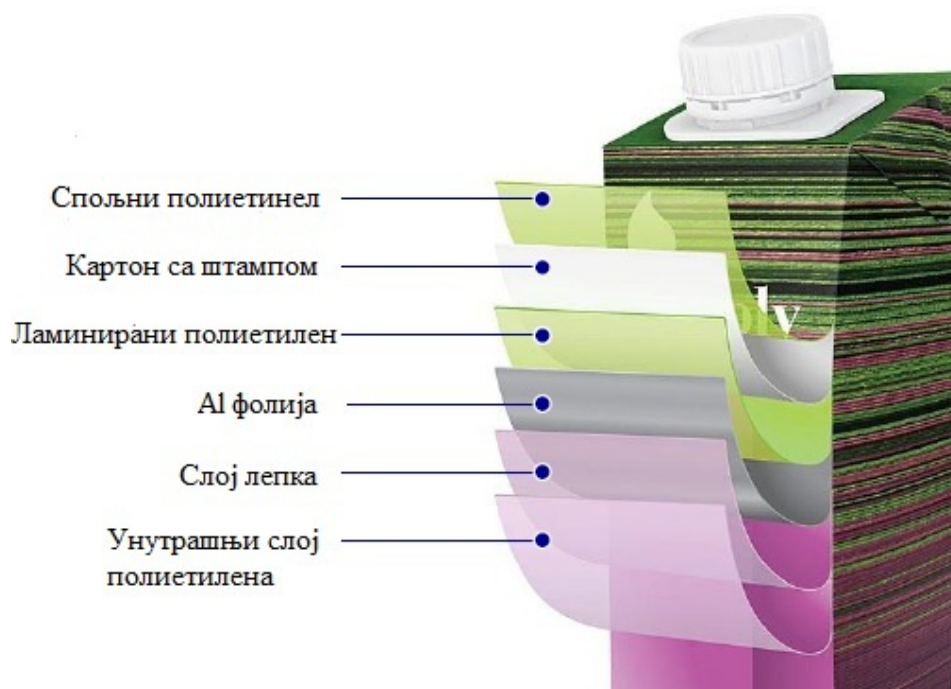
Глобални пословни модел улагања компаније Тетра Пак:

- опрема,
- одржавање,
- материјал паковања.

Општа структура паковања (слика 1.2):

- спољни слој полиетилен. Штити од влаге споља,
- картон са штампом. Пружа стабилност, снагу и тражени изглед,
- ламинирани полиетилен. За спајање Al фолије и картона,

- Al фолија. За заштиту баријере,
- слој лепка. За боље спајање.



Слика 1.2. Општа структура паковања [2]

1.3. Понуда производа компаније Тетра Пак

На следећим сликама приказани су производи компаније Тетра Пак.

Tetra Classic Aseptic



Слика 1.3. Tetra Classic Aseptic [1]

Tetra Evero Aseptic



Слика 1.4. Tetra Evero Aseptic [1]

Tetra Fino Aseptic



Слика 1.5. Tetra Fino Aseptic [1]

Tetra Gemina Aseptic



Слика 1.6. Tetra Gemina Aseptic [1]

Tetra Prisma Aseptic



Слика 1.7. Tetra Prisma Aseptic [1]

Tetra Wedge Aseptic



Слика 1.8. Tetra Wedge Aseptic [1]

Tetra Brik



Слика 1.9. Tetra Brik [1]

Tetra Top



Слика 1.10. Tetra Top [1]

Tetra Recart



Слика 1.11. Tetra Recard [1]

Slamčice



Слика 1.12. Tetra slamčice [1]

2. Полимери, полиетилен

Основни материјал за производњу Тетра Пак фолија је полиетилен. Проналаском полиетилена у Енглеској начињен је пробој у индустрији паковања.

Захваљујући могућности испуњења најразличитијих захтева, полимерни материјали налазе примену у практично свим областима људске делатности. Развој хемијске индустрије последњих година 20-тог века, посебно у области полимерних материјала довео је до развоја читавог низа нових производа и масовне производње најразличитијих материјала специфичних механичких и других карактеристика [3].

Полимерни материјали имају веома разноврсну структуру што представља основне проблеме при анализи утицаја полазних сировина и технолошких параметара на њихове карактеристике. Да би се ови утицаји одредили, потребно је познавање хемијских, механичких, термичких, електричних и других својстава пластичних маса, што подразумева обимна истраживања као и усавршавање метода за истраживања.

Израда предмета од пластичних маса има читав низ предности [3]:

- ниска цена коштања,
- мала густина у односу на метале (не прелази $1,5 \text{ кг/дм}^3$),
- лака израда делова, посебно производа сложене конфигурације, као и висока продуктивност при њиховој изради,
- добра диелектрична својства, због чега налазе примену као добри електро-изолатори,
- висока отпорност на киселине, растворе и друге агресивне средине,
- добра прозрачност и способност бојења,
- добра пригушујућа својства, односно висока отпорност на вибрације, због чега се користе као добри изолатори вибрација,
- добра својства апсорпције звука, односно добри су звучни изолатори,
- добре антифрикционе особине, а по потреби и добра фрикциона својства,

Недостаци пластичних маса су [3]:

- ниска чврстоћа на повишеним температурама,
- смањење чврстоће у току дуготрајног оптерећења,
- краatak век трајања, што је у директној вези са процесом старења под утицајем светлости, топлоте, влаге и кисеоника.

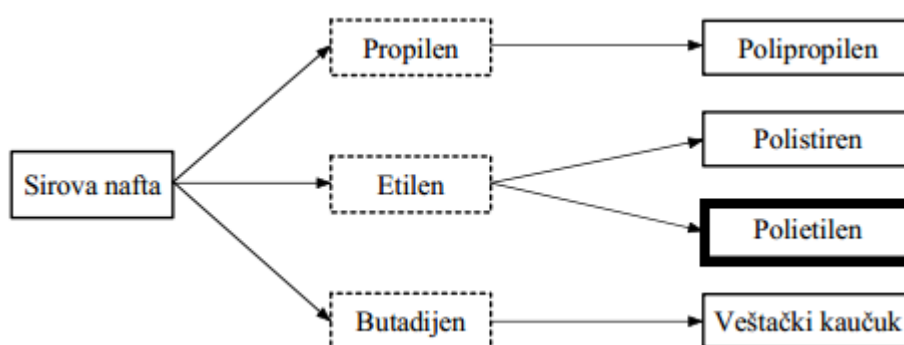
Ради даљег повећања примене пластичних маса, потребно је обезбедити развој у три правца [3]:

- развој нових материјала пластичних маса,
- развој технологија прераде, уређаја и алата за прераду и
- развој примене нових материјала и развој нових производа од пластичних маса.

Вештачке (синтетичке) материје које имају аморфну макромолекуларну структуру чине велику групу конструкционих материјала који се једном речју називају пластичне масе.

Полазне сировине за производњу пластичних маса могу бити минералног и органског порекла. Минералне сировине су нафта, угаљ и земни гас, од којих се најпре израђују основна хемијска једињења за даљу прераду. Ова се једињења различитим процесима преводе у полупроизводе који могу бити у облику гранула, праха, течности, смола, таблета. Даљи процеси прераде ових полупроизвода у финалне производе утичу не само на промену облика и структуре, већ такође и на промену хемијских веза које чине основу материје [4].

Врсте полупроизвода и финалних производа који се добијају из сирове нафте дати су на слици 2.1.



Слика 2.1. Шема полупроизвода и производа добијених из нафте [4]

Назив пластичне масе потиче отуда што су у некој фази прераде оне биле деформабилне. Код једних врста пластичних маса деформабилност се стално задржава, а производи се могу рециклирати, док се код других деформабилност трајно губи при завршној преради (дуропласти).

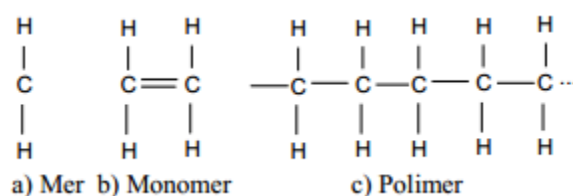
Термопластични материјали (термопласти) омекшавају под дејством топлоте, а при хлађењу опет отврдњавају. Супротно томе термореактивни материјали (дуропласти) отврдњавају при загревању и добијају трајан облик те се више не може успоставити стање пластичности.

Примери термопласта су: полистирен, полиетилен, најлон, плексиглас, тефлон, а дуропласта бакелит, гума, силикон, епокси смоле. Термопласти углавном нису отпорни на повишеним температурама (изузетак је тефлон), док дуропласти не горе већ се на довољно високим температурама угљенишу и разграђују (деградирају). Температура топљења је знатно нижа него већине метала, док неке од њих пузају и при собној температури. Зато се код неких пластика особине мењају и при малим температурским варијацијама. Слично као метали и полимерни материјали се најпре деформишу еластично па затим пластично. Што је пластика мекша, имаће мању границу еластичности, а веће процентуално издужење. Повећање брзине деформисања, као и пад температуре доводе до преласка пластике у крто стање. При механичким испитивањима пластика (нарочито жилавости) боље је узорке исећи из готових

производа, а не изливати их посебно. Ово стога што и начин израде утиче на особине пластике [4].

Као што из назива произилази, ове материје се састоје из више мера, који представљају основну јединицу једног молекула-мономера (од грчке речи *monos* = један и *meros* = део). Повезивањем великог броја мономера у дугачак ланчasti молекул добија се полимер (од грчке речи *polis* = много, *meros* = део) како је приказано на слици 2.2. Кад се каже да су молекули "полимеризовани" то значи да су међусобно повезани у веће агрегате, тј. макромолекуле или велике молекуле.

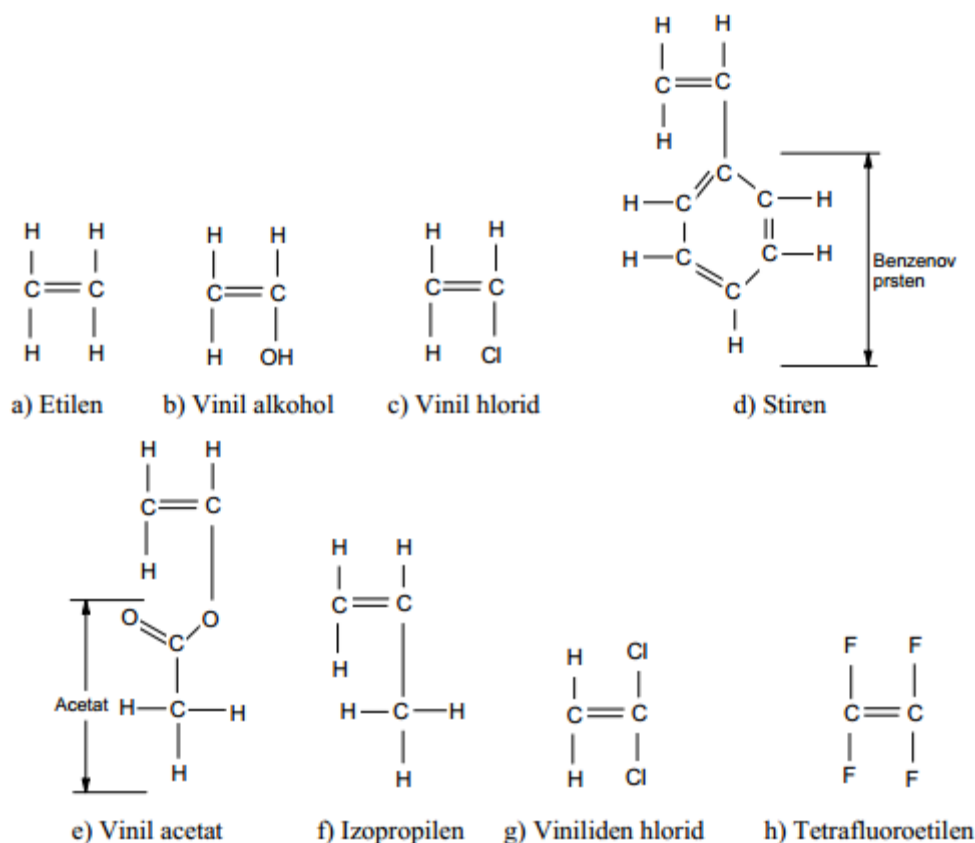
Структурна формула мономера етилена (слика 2.2б) показује да је он незасићен (двострука веза), што значи да молекул угљеника није везао максималан могући број атома водоника. Под одређеним условима, који се постижу загревањем, притиском, присуством катализатора, једна од двоструких веза се отвара и валентни електрон се повезује са другим мономером што доводи до формирања великог молекула. Најпростији полимер је полиетилен који је приказан на слици 2.2ц.



Слика 2.2. Структурна шема добијања полимера [4]

Основа за стварање полимера је чињеница да атом угљеника у угљоводонцима има двоструку везу која се може отворити и повезати не само са водоником већ и са Cl, F, ацетатима, бензеновим прстеном (слика 2.3.). Процес се одвија постепено, макромолекул расте док достигне величину условљену равнотежним стањем супстанце и продуката насталих у условима одвијања реакције. Захваљујући томе, добијају се ланчasti молекули различите величине која зависи од услова реакције. Структура таквих полимера је у облику разгранатих ланаца или умрежена, а особине добијених пластика се разликују од полазних супстанци, како по хемијском саставу тако и по физичким особинама.

На слици 2.3 приказани су мономери од којих се образују многе комерцијалне пластичне масе. Најпре је приказана структурна формула етилена (а) - безбојног незапаљивог гаса - који се користи за производњу етил-алкохола, а затим стирена и акрилне киселине $\text{CH}_2 = \text{CH} \cdot \text{COOH}$ из које се добијају акрилни деривати познати под именом плексиглас. На слици 2.3б приказана је замена једног атома водоника са групом OH чиме се добија мономер-винилалкохол. Слично се даље, заменом једног атома водоника атомом хлора, прстеном бензена, те конфигурацијама ацетата и CH_3 добијају мономери: винил-хлорид (ц), стирен (д), винил-ацетат (е) и изопропилен (ф). Кад се два атома водоника замене атомима хлора формира се винилиден-хлорид (г), и најзад ако се сва четири атома водоника замене атомима флуора најпре се добија тетрафлуоретилен (х), а затим полимер познат под комерцијалним називом - тефлон.



Слика 2.3. Мономери [4]

Могућ је и различит распоред атома једног те истог елемента у мономеру. То за собом повлачи и промену особина, па се мономери истог састава а различитог распореда зову изомери. Синтетички полимери се добијају процесима полимеризације или поликондензације, а еластомери поступком вулканизације.

Врсте и примена полимерних материјала

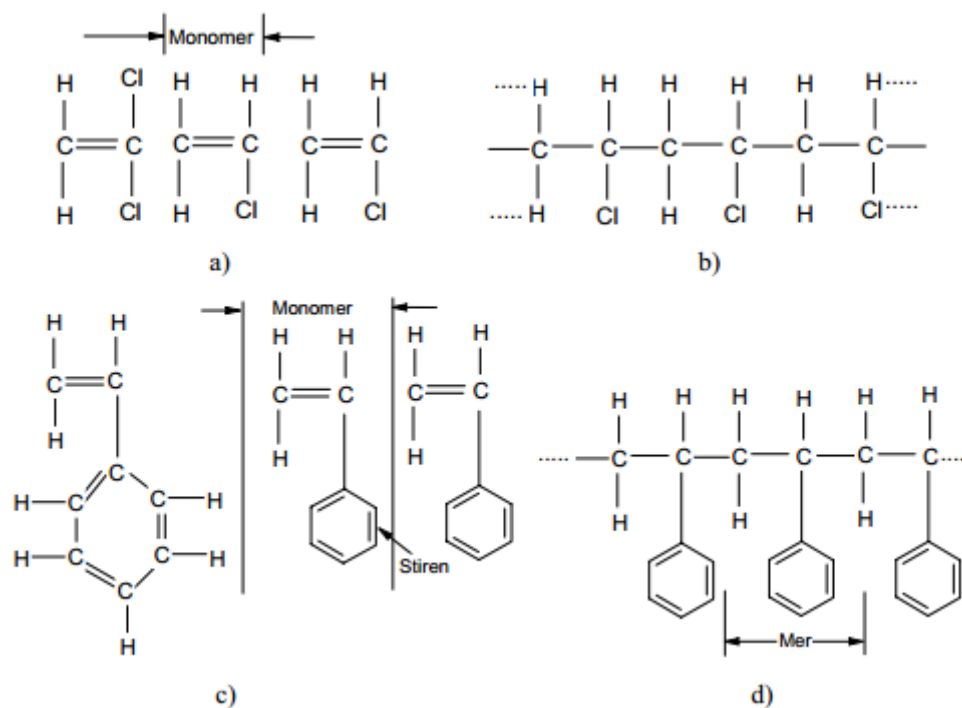
На основу полазних сировина и начина добијања, разликују се следеће групе полимерних материјала:

- производи од макромолекула природног порекла (целулозе, казеина, каучука),
- производи поликондензације (фенопласти, аминопласти, полиестри, полиамиди, епокси смоле, силикони) и
- производи полимеризације (угљоводоници, поливинил-хлорид, поливинил-алкохоли, акрилне смоле, полиуретани).

2.1. Полимеризација и поликондензација

Као што је већ споменуто мономери се могу груписати у полимере на два начина. Први је полимеризација или адициона полимеризација. Кад се више истих или сличних мономера повезују тако да формирају ланац, процес се зове адиција. На слици 3.4б приказан је мономер етилена састављен од два мера повезана двоструком везом. Дејством топлоте и притиска отвара се једна веза мономера, они се повезују у

ланац и образује се полиетилен (слика 2.4ц). Од дужине ланца зависи густина полиетилена. Он се користи за израду кеса, филмова, ињекционо ливених производа, хемијских контејнера. Адиционом полимеризацијом мономера винил-хлорида (слика 2.4а) добија се дугачак ланац поливинил-хлорида (PVC) приказан на истој слици под (б). Од мономера који садрже бензенов прстен (C_6H_5) (сл. 2.4ц) адиционом полимеризацијом образује се полистирен (слика 2.4д), који је у пенастом стању познат као стиропен. Производи добијени адиционом полимеризацијом припадају групи термопласта.

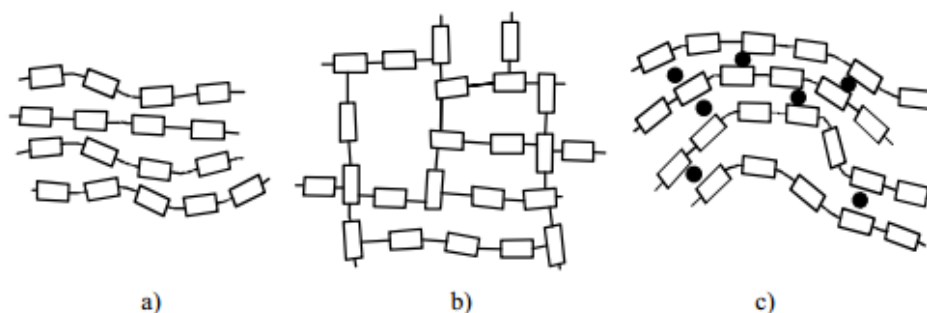


Слика 2.4. Мономери и производи полимеризације: а) винил-хлорид, б) поливинил-хлорид, ц) стирен, д) полистирен [4]

Методe прераде полимерних материјала

Са тачке гледишта понашања у току даље прераде разликују се:

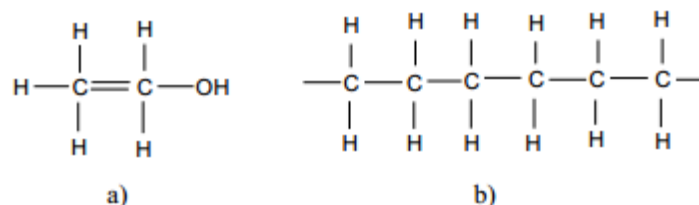
- термопластичне масе (термопласти) - омекшавају при сваком загревању и могу се лако обликовати на топло, а при хлађењу очвршћавају и задржавају задати облик (имају структуру простих ланаца - сл. 2.5а),
- термореактивне масе (дуропласти) - под дејством повишених температура или хемијских фактора неповратно отврђавају задржавајући задати облик, док накнадно загревање доводи до пропадања, тј. хемијског разлагања производа (имају умрежену структуру - сл. 2.5б),
- вулканизационе масе (каучук) - одликују се променом ланчасте структуре у умрежену у току прераде, јер додатни атоми (нпр. сумпор) образују мостиће који бочно повезују суседне ланце (сл. 2.5ц).



Слика 2.5. Структурна вештачких материја: а) термопластичних (ланчаста), б) термореактивних (умрежена), в) вулканизованих (ланчаста са попречним мостићима)

Облик и састав полупроизвода који се прерађују у финалан производ зависи од типа полимера и технологије прераде. Најважнији методи прераде вештачких материја јесу: ливење, пресовање, бризгање (ињекционо пресовање), синтеровање, екструзија, каландровање, извлачење, дување, термичко обликовање. Посебном технологијом наносе се антикорозионе превлаке и електроизолациона заштита. Материјали за ливење су мономери у течном стању или мешавина мономера са катализатором и пигментата, односно полимера са пластификатором. Полазни материјал за остале методе прераде је у облику таблета, зрнаца или прашка. У току саме прераде уносе се пуниоци, пластификатори, стабилизатори и пигменти, а понекад и додатна средства за подмазивање која олакшавају процес прераде.

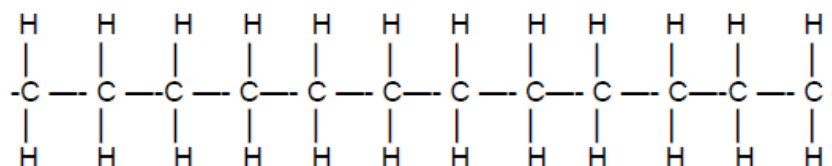
У продукте полимеризације спадају угљоводоници (полиетилен, полистирен), поливинил-хлорид (ПВЦ), акрилне смоле, поливинил алкохол и полиуретан (слика 2.6).



Слика 2.6. Структурне формуле етил-алкохола а) и полиетилена б)

2.2. Полиетилен

Полиетилен (Polyethylene) – PE је једна од најкоришћенијих врста пластике. Откривен је случајно 1889 године а прву индустријску примену доживео је 1939. године. Данас се најчешће употребљава за производњу амбалаже, кеса, торби, фолија, мембрана, резервоара, боца. Полиетилен је једноставни полимер. [5]



Слика 2.7. Полиетилен

Полиетилен је термопластична пластична маса, без укуса и мириса, веома мале густине, биолошки је "безопасан" и добрих је електро изолационих својстава. Полиетилен представља макромолекуларни продукт полимеризације етилена, са степеном кристализације $55\div 92\%$, зависно од методе добијања. Према хемијској структури, полиетилен је најједноставнији полимер из групе полиолефина.

Полиетилен добија се из продукта распада сирове нафте или етилалкохола. Полиетилен је једна од најмекших и најсавитљивијих пластика. Отпорна је на хемикалије, на воду и влажну средину, има добру жилавост и велику еластичност, али малу јачину на кидање (≈ 14 МПа). У термопластичној варијанти топи се већ при око 115°C , док је термореактивна варијанта (дуропласт) стабилна до 175°C . Постаје крт ако се изложи дејству ултраљубичастог сунчевог зрачења. Из термопластичног стања може прећи у термореактивно под дејством високо-енергетског зрачења, ултраљубичастих зрака или ако дође до бочног гранања ланца нпр. повезивањем са органским пероксидима. Ако се ланено уље разлије у танком слоју, оно ће за неколико дана потпуно очврснути, јер ће се незасићене киселине које оно садржи полимеризовати и оксидисати; незасићени молекули се везују стварајући пероксидне ланце од кисеоника.

За добијање полиетилена се користе два индустријска поступка:

- синтеза под високим притиском,
- синтеза под ниским притиском.

Код поступка са високим притиском етилен високе чистоће се компримује до притиска $150\div 300$ МПа при температури од 300°C , у присуству кисеоника који служи као катализатор.

Поступак при ниском притиску ($0,2\div 0,5$ МПа) изводи се уз присуство комплексног катализатора Зиеглер-Натта.

Иако се полиетилен може рециклирати, полиетилен се најчешће производи из нафте или природног гаса.

Полиетилен има више различитих облика са различитим механичким својстава. Својства различитих облика полиетилена одређена су њиховим гранањем, кристалност и пре свега молекуларне тежине.

Полиетилен се може поделити у три групе:

Стандардни полиетилен [6]:

- LDPE – Полиетилен ниске густине,
- HDPE – Полиетилен високе густине,
- MDPE – Полиетилен средње густине,
- LLDPE Бутен Ц4 – Линеарни полиетилен ниске густине.

Полиетилен високих перформанси

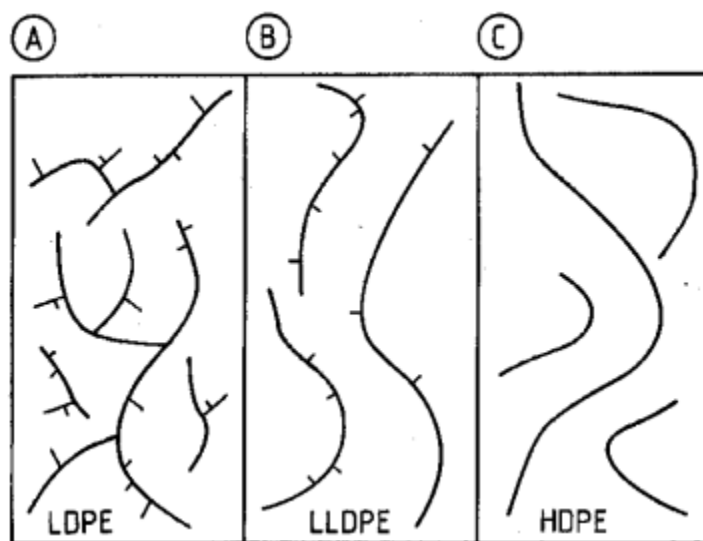
- LLDPE Октен Ц8 – Линеарни полиетилен ниске густине,
- LLDPE Хексен Ц6 – Линеарни полиетилен ниске густине,
- VLDPE Октен Ц8 – Полиетилен веома ниске густине,

- VLDPE Хексен Ц6 – Полиетилен веома ниске густине,
- mLLDPE Октен Ц8 – Металоценски линеарни полиетилен ниске густине.

Специјални и функционални полиетилен

- ЕЕА – Етилен етил акрилат,
- ЕАА – Етилен акрилна киселина,
- МАН – Анхидрид малеинске киселине,
- ЕВА – Етилен винил ацетат,
- Пластомери и еластомери (на бази етилена, пропилена).

Три главне врсте полиетилена су полиетилен високе густине (*HDPE*), полиетилен ниске густине (*LDPE*), и линеарни полиетилен ниске густине (*LLDPE*) (слика 2.8.) .



Слика 2.8. Три основна типа полиетилена

2.2.1. ЛДПЕ – Полиетилен ниске густине

Полиетилен ниске густине (*LDPE*) је термопласт који се одликује својствима као што су: прозирност, хемијска инертност, заварљивост и лакоћа прераде, што га чини једним од највише коришћених материјала у полимерној индустрији [7].

Полиетилен ниске густине се одликује разгранатом структуром, што му обезбеђује прозирност, флексибилност и лакоћу прераде екструдирањем. Примена *LDPE*-а за различите апликације зависи од балансирања и контроле молекулске масе (којој је обрнуто пропорционалан масени проток растопа – *MFR*), кристалности и расподеле (дистрибуције) молекулских маса (*MWD*). *MFR* утиче на својства течљивости материјала и карактеристике финалних производа. Са смањењем МФР-а, односно, са повећањем молекулске масе, повећава се чврстоћа, али се смањује течљивост материјала. Степен кристалности *LDPE*-а је у функцији од броја кратких бочних грана у макромолекулском ланцу, и уобичајено се креће у опсегу 30-40%. Са повећањем кристалности *LDPE*-а се повећавају крутост, хемијска постојаност, баријерна својства, затезна чврстоћа и топлотна отпорност, али се смањују ударна живавост, јачина на цепање и отпорност на стварање пукотина услед напрезања. Транспарентност ЛДПЕ-а

је боља у односу на полиетилен високе густине (*HDPE*), из разлога ниже кристалности. Из истих разлога (степен кристалности), баријерна својства за водену пару и гасове су лошија у односу на *HDPE*. Расподела молекулских маса примарно утиче на својства течљивости. При истој вредности средње молекулске масе, материјали са широм расподелом молекулских маса (13 и више) показују боља својства течљивости приликом прераде у односу на материјале са мањом вредношћу *MWD*.

Основна својства <i>LDPE-a</i>	
Густина	910-925 kg/m ³
Температура топљења	105-115 °C
Затезна чврстоћа	8,2-31,4 МПа
Модул затезања	172-517 МПа
Прекидно издужење	100-965%
Отпорност на цепање	200-300 g/25 μm
Пропустљивост водене паре	375-500 g μm/m ² на температури од 37,8 ⁰ C и при релативној влажности од 90%
Пропустљивост кисеоника на 25 ⁰ C	163000-213000 cm ³ μm/m ²

Табела 1. Основна својства *LDPE-a* [7]

Полиетилен ниске густине поседује одличну постојаност на разблажене и концентроване киселине, алкоhole, базе и естере. Има добру постојаност на алдехиде, кетоне и биљна уља, док је ограничено постојан на дејство алифатичних и ароматичних угљоводоника, минералних уља и оксидационих средстава, односно, ове хемикалије не изазивају деградацију у краћем временском периоду излагања *LDPE-a* њиховом дејству. *LDPE* није постојан и не препоручује се његова примена са халогеним угљоводонцима.

Полиетилен ниске густине се екструдирањем добија као ливени или тубуларни (дувани) филм. Температуре у цилиндру за добијање ливеног равног филма су генерално више него при добијању дуваног филма и крећу се у опсегу 140-190 ° C у региону левка за дозирање, па до 290 ° C код главе екструдера. Важно је да се одржава униформност температуре растопа дуж главе екструдера. У свакој зони грејања температура не сме да варира више од 11 ° C.

Екструдирани филм је највеће појединачно поље примене *LDPE-a*. Филмови од *LDPE-a* се одликују dobrим оптичким својствима, чврстоћом, флексибилношћу, заварљивошћу, малим трансфером мириса и укуса и хемијском инертношћу.

Ознака полиетилена ниске густине *LDPE* приказана је на слици 2.9.



Слика 2.9. Ознака полиетилена *LDPE* [8]

2.2.2. Линеарни полиетилен ниске густине *LLDPE*

Линеарни полиетилен ниске густине (*LLDPE*) је суштински линеарни полимер (полиетилен), са значајним бројем кратких грана, најчешће од стране кополимеризације етилена са више ланаца олефина. Линеарни полиетилен ниске густине разликује се структурално од конвенционалних полиетилена ниске густине (*LDPE*) због одсуства дугог ланца гранања. Линеарност *LLDPE* произилази из различитих производних процеса. Уопштено, *LLDPE* се производи на нижим температурама и притисцима кополимеризацијом етилена и такве виших алфа-олефинима као што бутен, хексен или октена [7].

ЛЛДПЕ има густину од од 0.915–0.925 g/cm³. *LLDPE* има већу затезну чврстоћу, као и отпорност на ударе, кидања и цепања. *LLDPE* се користи у производњи дуваног и екструзионог филма.

Производ перформансе линеарно полиетилена ниске густине је нетоксични, без укуса и мириса беле боје, густина 0,918-0.935 g / cm³ . У поређењу са *LDPE* , има вишу температуру омекшавања или топљења и температура, има високу снагу, добру жилавост, крутост, отпорност на топлоту, хладноћу, итд. Такође има добру отпорност на утицај околине, отпорност на удар, отпорност цепање, отпорност на киселине, базе и органских растварача [7].

3. Ламинација

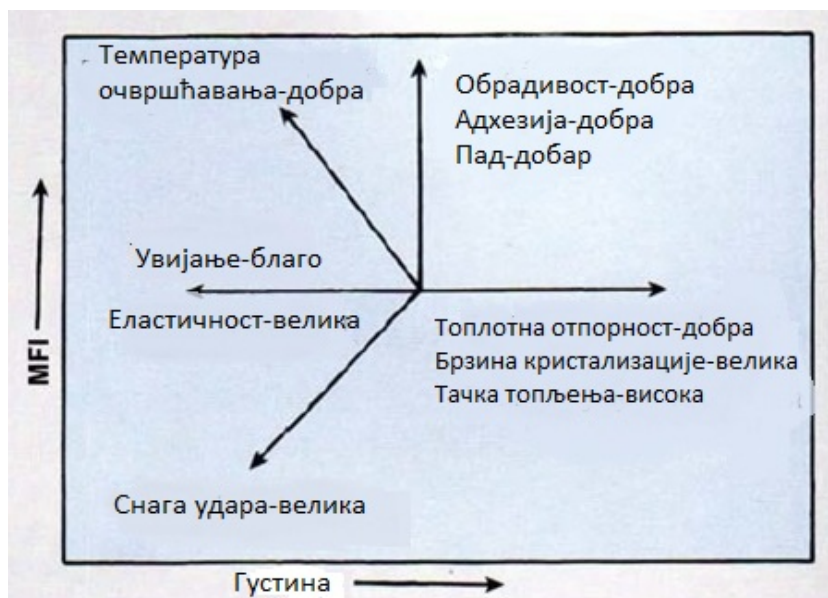
Ламинирање је процес трајног спајања два или више листова различитих материјала помоћу пластичних маса. То се врши из разлога да би се комбиновала својства два или више материјала.

Постоје различити процеси ламинирања, у зависности од врсте материјала који треба да се ламинира. Материјали коришћени при ламинирању могу бити исти или различити, у зависности од процеса и објекта који се ламинира.

Екструзионо ламинирање је један од процеса који се користе за производњу великог асортиман танких вишеслојних структура. При ламинирању премазом од полиетилена, изливена мрежа екструдираног полимера се примењује као танки слој на подлогу која пролази стално између ваљака. При ламинацији, истопљени полимер се примењује као адхезивни слоја између две подлоге у циљу формирају ламиниране структуре. Подлога може бити папир, картон, полиестер филм, полипропилен филм, алуминијум фолија, тканине, итд [9].

Полиетилен ниске густине (*LDPE*) је нарочито погодан за употребу у процесу екструзионог ламинирања и наноси на различите подлоге. Главна примена је у производњи амбалаже за млеко и воћног сок.

Избор одговарајућег типа полиетилена за одређену ламинацију је увек компромис између захтева у вези са обрадом, перформансама и својствима ламината. Слика 3.1. показује утицај *MFI* (*melt flow index*, код нас се користи термин индекс топљења) и густина на различита својства.



Слика 3.1. Утицај индекса топљења и густине [9]

На пример, добра обрадивост добија се користећи полимер са високим индексом топљења, али се то касније манифестује на перформансе процеса ламинације. Добра

флексибилност се постиже коришћењем полимера ниске густине, док се полимером веће густине добијају боља топлотна својства.

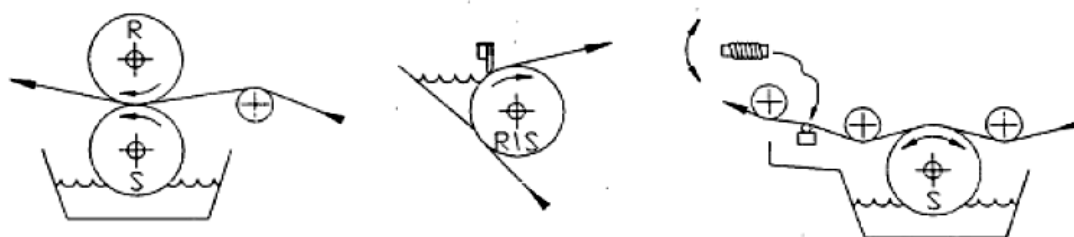
Опште методе ламинирања:

- мокро ламинирање и
- суво ламинирање.

Принципи ламинирања се врше на следеће начине:

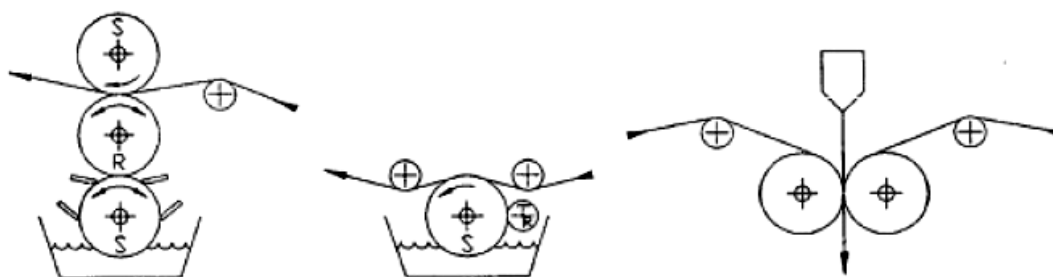
1. наношење растопљеног материјала па одредиђивање дебљине наноса,
2. одредиђивање дебљине наноса па наношење растопљеног материјала,
3. натапање па уклањање вишка растопљеног материјала.

1. Растопљени полиетилен се наноси на материјал и онда се провлачи између ваљака да би се добила одговарајућа дебљина. Предности: једноставне измене, мала улагања. Недостатци: неуједначеност дебљине, мала брзина производње.



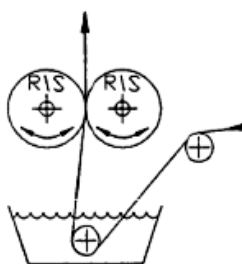
Слика 3.2. Примери ламинирања са наношењем као првом операцијом [10]

2. На материјал се наноси унапред одређена количина. Предности: велика брзина, уједначеност. Недостатци: висока цена.



Слика 3.3. Примери ламинирања са одређеном количином материјала [10]

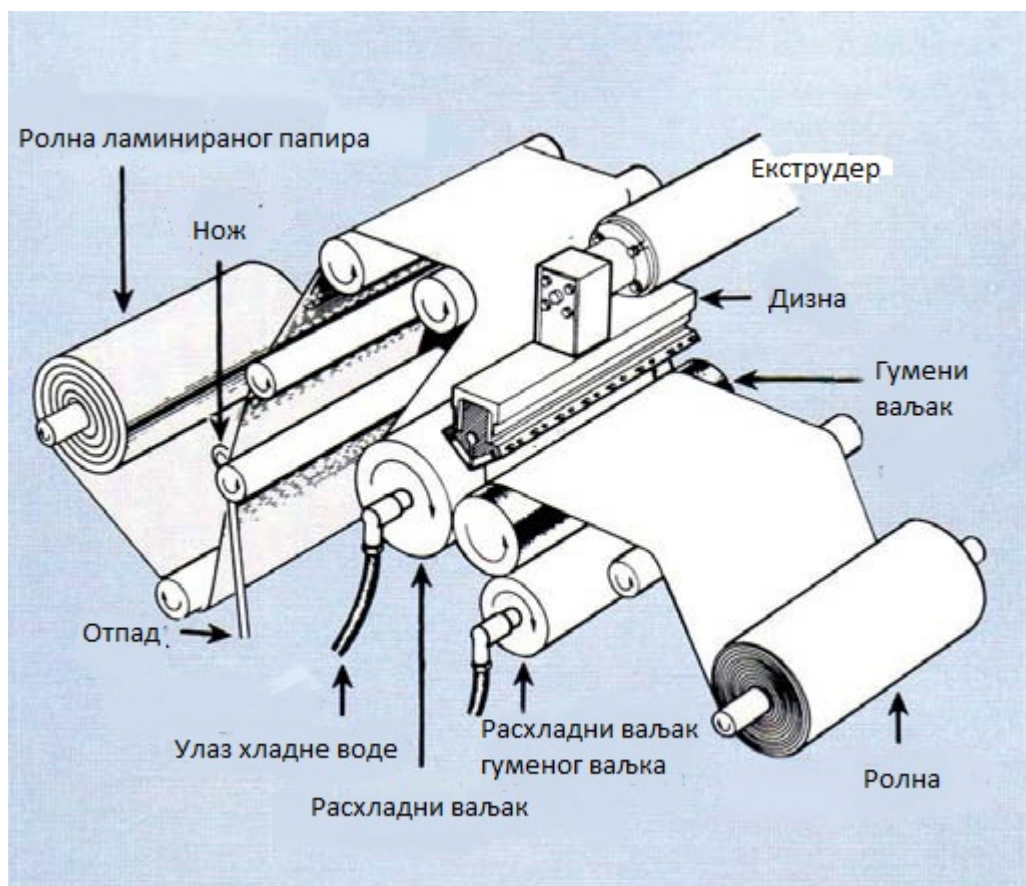
3. Материјал се потапа у купатило и прекомерна количина се уклања. Предности: једноставне измене, ниско улагање. Недостатци: прекиди филма.



Слика 3.4. Пример где се материјал потапа у купатило [10]

3.1. Технологија процеса ламинације компаније Тетра Пак

У процесу екструзионе ламинације, полиетилен се топи под дејством топлоте и притиска у екструдеру а затим се растопљени полимер истискује кроз прорез дизне као танак филм. Растопљени филм, при високој температури се наноси на подлогу која са растопљеним филмом пролази између склопа ваљака, чилерског ваљка за хлађење и гуменог ваљка којим се остварује одговарајући притисак. Подлога се константно облаже растопљеним полиетиленом, касније између ваљка под притиском се формира ламинат. Ламинат се брзо хлади помоћу чилерских, расхладних ваљака [9].

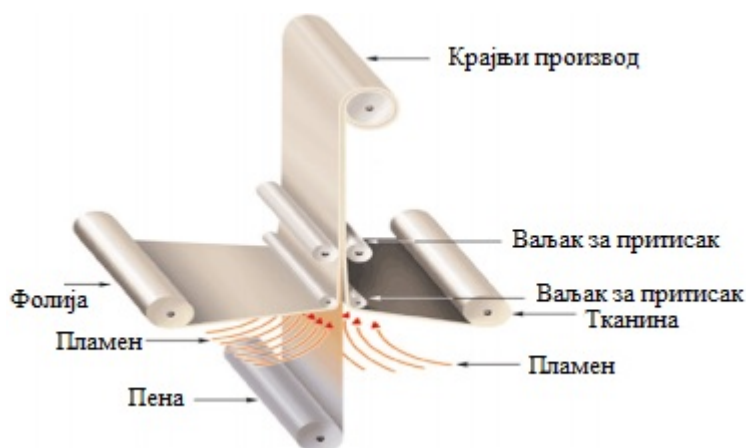


Слика 3.5. Типична линија за ламинацију папира полиетиленом [9]

3.2. Врсте ламинације

3.2.1. Пламена ламинација

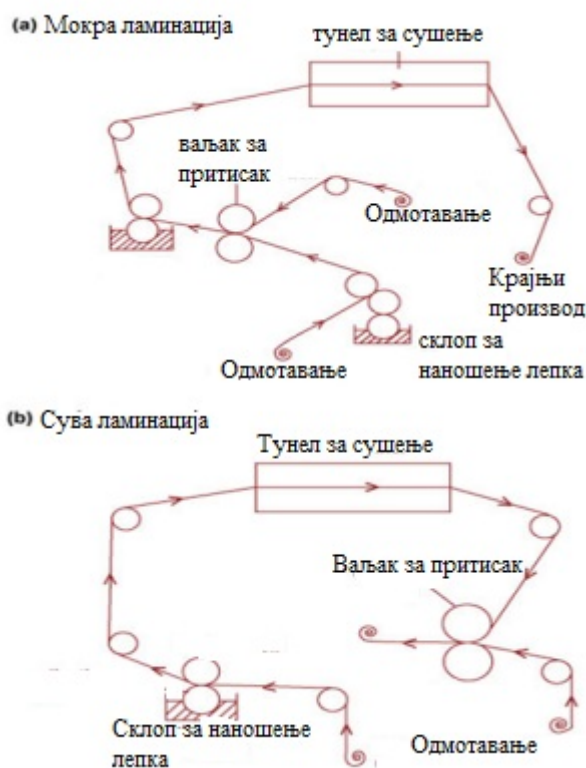
Пламена ламинација се користи за адхезију полиуретан пене са текстилним материјалом. Полиуретан (PU) пена се са текстилним материјалом и филмом фолије спаја помоћу пламена на око 950°C и помоћу притиска ваљака. Главни недостатак је висока почетна цена опреме. Пламена ламинација се користи за аутомобилске тканине [11].



Слика 3.6. Принципи пламене ламинације [11]

3.2.2. Ламинација помоћу лепка и притиска

Ламинација помоћу лепка се може користити за ламинирање две тканине применом лепка на воденој бази осетљивим на притисак, притисак се остварује помоћу склопа ваљака. Лепак осетљив на притисак може да се нанесе на папир и затим помоћу притиска пребаци на текстилни материјал, који се затим може спајати са другом тканином довођењем у контакт ове две тканине под топлотом и притиском који уклања воду (слика 3.7) [11].



Слика 3.7. Шема поступка ламинације лепком [11]

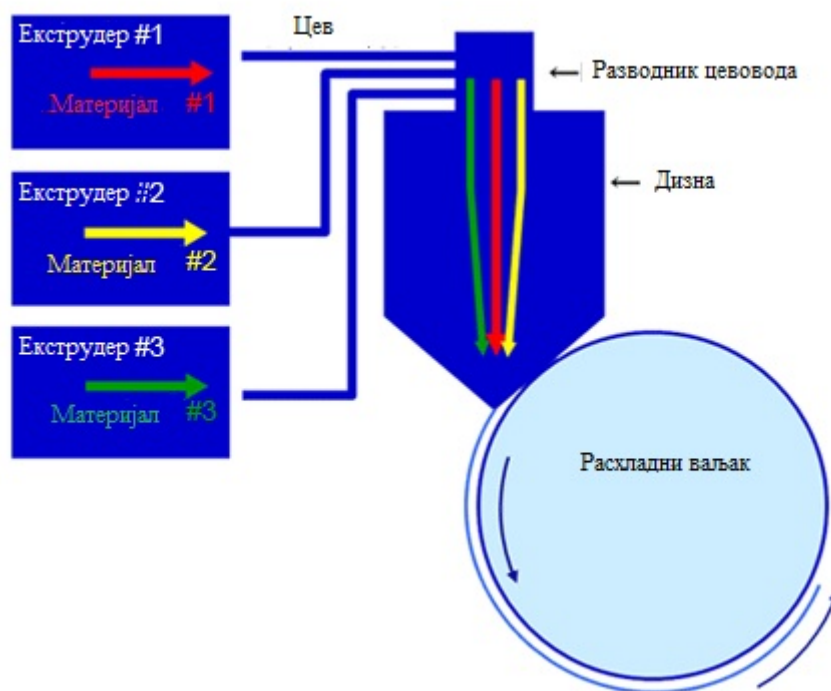
3.2.3. Coextrusion

Coextrusion представља ламинирање помоћу специјалне дизне која може да истискује више различитих материјала истовремено.

Coextrusion се често користе два или више слојева различитих полимера истовремено, који се истискају кроз једну дизну. Главна предност од *Coextrusion* је да неки од одвојених корака ламинације потребних за производњу комплексних ламината могуће комбиновати у један корак у том процесу. Постоје два основна типа *Coextrusion* дизне. Највише се користи *feedblock* дизна где се неколико растопљених полимера из посебних екструдера придруже у оквиру дизне и екструдирају као један филм.

Код овог типа дизне, више од два различита полимера могу се обликовати истискивањем али њихове вискозности морају пажљиво да се упаре. Са дуплим пререзом дизне, растопљени полимер из два екструдера долазе у два одвојена канала у блоку дизне и два истискују се два филма која се спајају на подлози помоћу притиска. Овај тип дизне се мање користи.

Coextrusion нуди могућност истискивања танког слоја једног лепљивог полимер, као што је етилен-акрилна киселина кополимер, у комбинацији са полиетиленом. Ти слојеви се генерално користе за лепљење два различита материјала нпр. полиетилен и алуминијумске фолије [9].



Слика 3.8. Шематски приказ истискивања материјала код *Coextrusion*

3.3. Опрема за процес ламинације

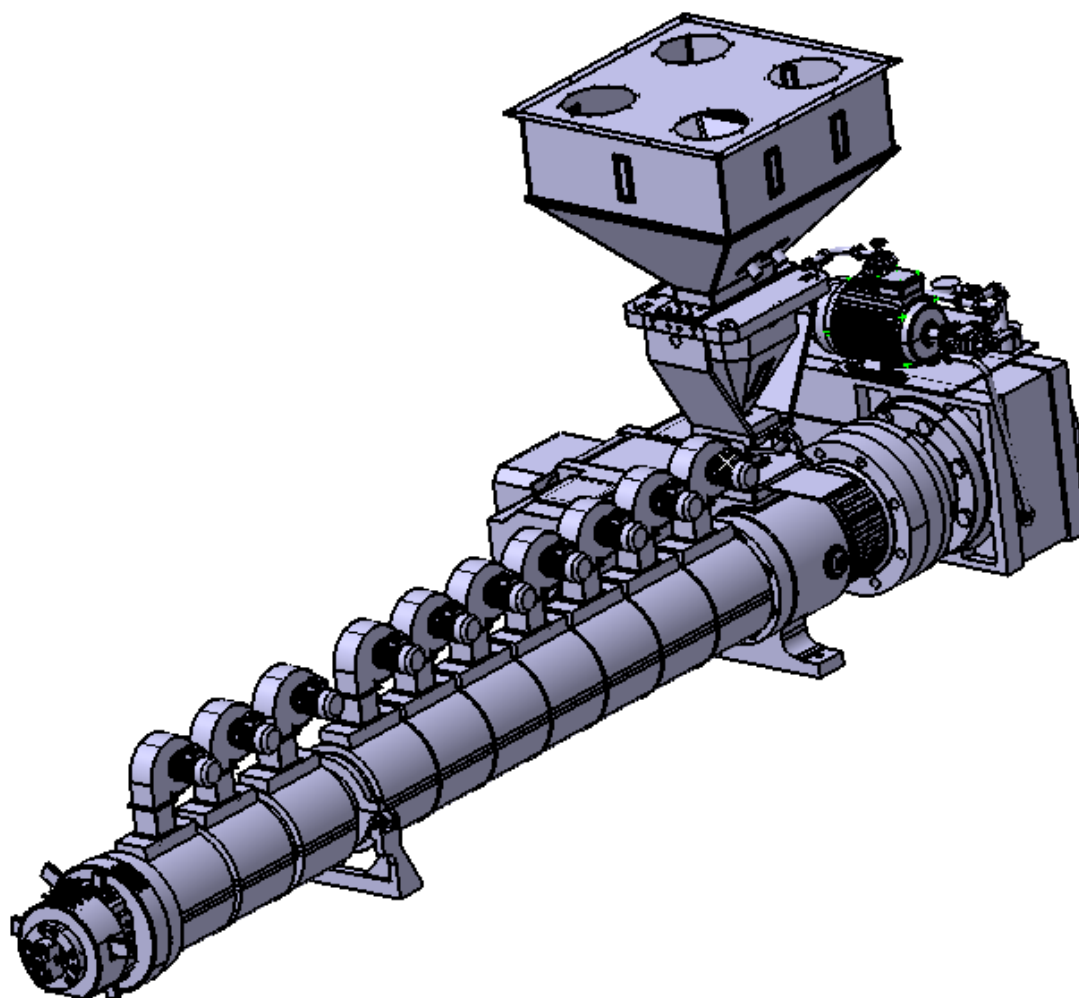
3.3.1. Екструдер

Сврха екструдера је да равномерно испоручи загрејани хомогенизовани растоп у дизну, са прихватљивом температуром и брзином.

За екструзиону ламинацију, најпогоднији је екструдер са једним пужем, са односом дужине пужа према пречнику од 25: 1. Најбољи положај за постављање екструдера, је тај да се при заустављању и промени радног програма може лако прићи дизни са колицима извршити прихватање растопљеног полиетилена, јер при променама екструдер наставља да ради због одржавања жељене температуре.

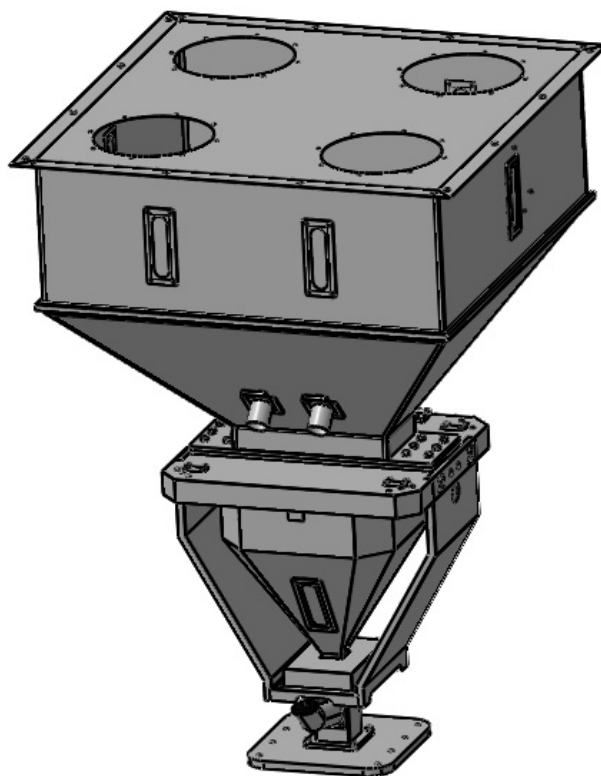
Основни делови екструдера:

- цилиндар екструдера,
- пуж,
- кош,
- електромотор,
- редуктор,
- грејачи.



Слика 3.9. Екструдер у компанији Тетра Пак Горњи Милановац

Полиетилен у кош екструдера се доставља из силоса који се налази изван производне хале због лакшег достављања истог, јер се његово допремање врши цистернама. Полиетилен који се из силоса доставља у кошеве је у облику гранулица. Полиетилен се помоћу вакуум пумпи, које се такође налазе изван производне хале, доставља у кошеве. На врху коша се постављају дозери који помоћу капацитивних сензора допуњују кошеве полиетиленом у одговарајућим количинама. Полиетилен из дозера у кошеве се преноси отварањем лептир клапне под силом земљине теже када се сензор да знак да је потребна допуна коша.



Слика 3.10. Кош екструдера

Добро мешање истопљеног полиетилена је од велике важности, уколико је добар премазни филм ламинирани део (тетрапак) који се добија биће без дефеката. Дефекти који могу да буду очигледни као последица нехомогеног растопа су:

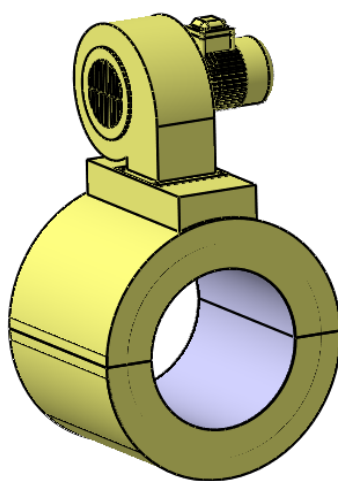
- Не потпуни отвори, отвори не тачне геометрије и облика.
- Појава мехурова на ламинираној површини.
- Пруге које указују на неуједначеност дебљине наноса.
- Појава различитих нијанси жутих боја на површини.
- Таласаста површина.

При појави ових дефеката ролна постаје шкарт, јер се грешке и дефекти који се појави при процесу ламинације не отклањају као што је то случај код штампе. Мешање полиетилена и његово растапање се врши у цилиндру екструдера. Грејачи загревају цилиндар на потребну температуру за топљење. Пуж служи да меша растоп и да га пренесе до адаптера кроз који се потискује ка дизни [9].

3.2.2. Грејачи

Топлота која је потребна да обезбеди растапање полиетилена на путу кроз цилиндар је интерно обезбеђена, поред сила трења кроз мешање пужем већа количина топлоте се добија споља од грејача. Адаптер и дизна се такође загревају да би се спречио губитак топлоте из растопа. Грејачи су најчешћи електрични типови грејача. Они реагују брзо, лако да се прилагоди и захтевају минимално одржавање. Грејачи су распоређени дуж цилиндра. Сваки од независних електричних грејача су регулисани контролером. Пад температуре у једној зони може указивати на неисправан грејач.

Због регулисања потребне температуре са грејачима се постављају и вентилатори који одржавају температуру, ако дође до њеног повећања они се укључују и смањују температуру. На слици 3.11 приказан је склоп грејача са вентилатором који представљају део нове опреме ламинатора.



Слика 3.11. Склоп грејача и вентилатора

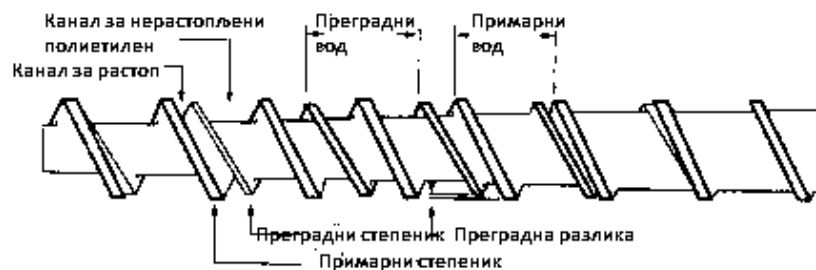
3.2.3. Пуж

Пуж ротира у цилиндру екструдера. Стандардни једностепени пуж има три сегмента (табела 2). Дубина канала је плића у свакој од прогресивних секција. Када се пуж окреће, полиетилен се под дејством силе гура унатред. Полиетилен се загрева, топи и пажљиво меша.

Секција	Дубина канала	Функција
Снадбевање	Дубоко	Хладни полиетилен се креће ка топлије делу цилиндра
Компресија	Смањење дубине	Полиетилен се топи, креће унапред и меша
Мерење	Минимална дубина	Остварен је довољан притисак да се добије хомогена маса

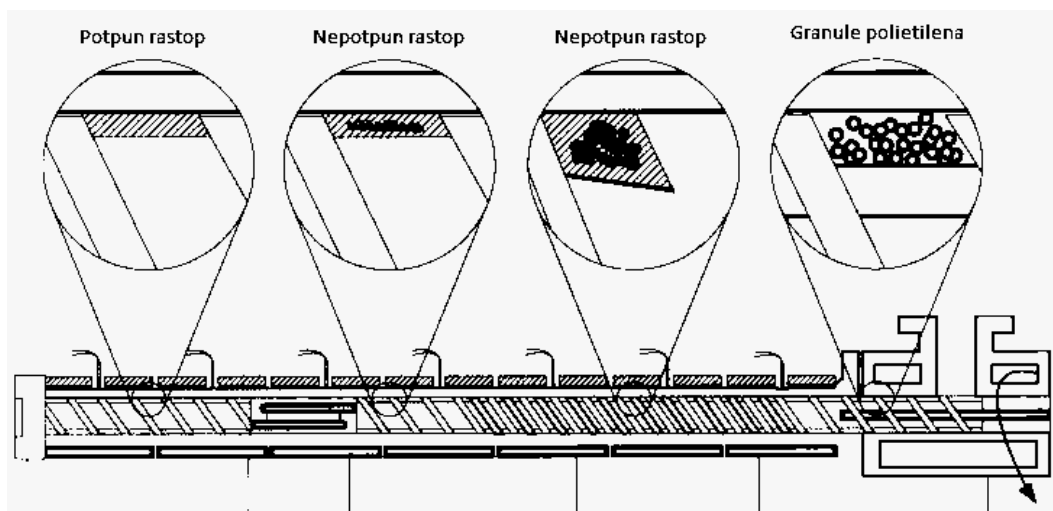
Табела 2. Три поглавља једноступеног пужа [12]

Пуж који се користи у компанији Тетра Пак (слика 3.12) је вишестепеног типа. Дизајниран је за унапређено мешање.



Слика 3.12. Једностепени пуж [12]

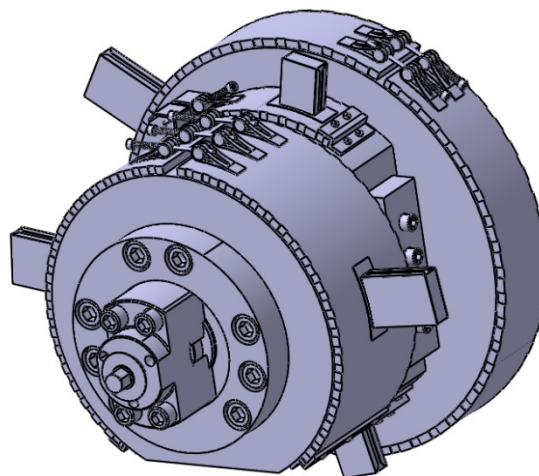
На слици 3.13 дат је приказ топљења полиетилена у цилиндру екструдера.



Слика 3.13. Приказ топљења полиетилена у цилиндру екструдера [12]

3.2.4. Дозна

Истискивање растопа се врши из дозне која је везана за вентил адаптера (слика 3.14) који је повезан са цилиндром.



Слика 3.14. Изглед адаптера

Добар дизајн дизне омогућава несметан проток растопа и смањује могућност да неке честице остану задржане.

Примарни циљ дизне при екструзионој ламинацији је да се растоп истискује константном брзином преко пуне ширине дизне. Ширина филма који се истискује може да се контролише и одређује. Температура при истицању у екстремним случајевима може да варира 5-10 °С од средине истицања ка крајевима. Подешавање се врши помоћу скраћивања усне кроз коју се истискује растоп [13].

Дизајн дизне треба да омогући:

- лаке промене ширине ламината,
- способност да регулише ширину вишка материјал,
- могућност течење танких слојева,
- што мање промене температуре од средине ка крајевима,
- једноставно одржавање и чишћење.



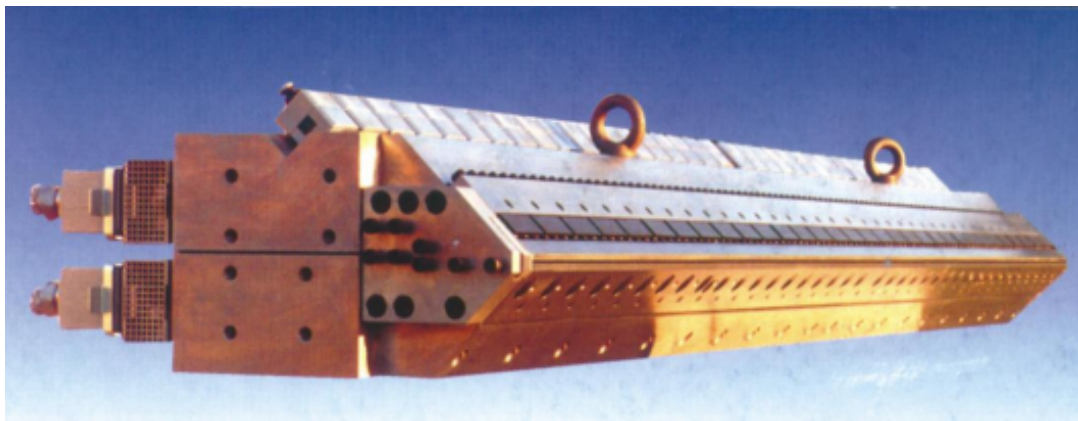
Слика 3.15. Општи дизајн дизне [13]

Подешавање ширине течења се врши помоћу елемента за регулацију ширине (слика 3.16).



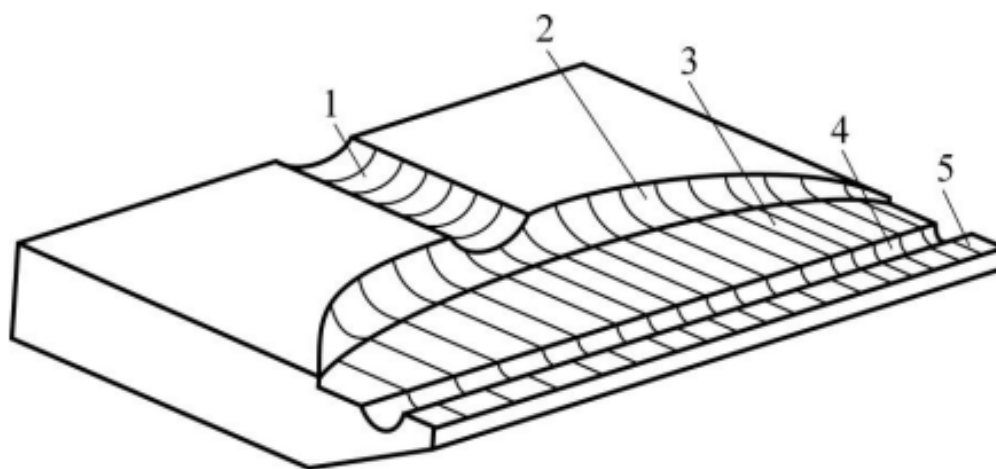
Слика 3.16. Елементи дизне за подешавање ширине течења [13]

Једна од особина која одликује дизну која се користи при ламинацији је дебљина и осетљивост екструдираног полимера за намотавање без сталних деформација и недостатака. Напредак у обради пластичних маса као и развој машина и алата омогућило је добијање веома танких филмова. Највећи проблем дизни за ламинацију је да обезбеди једнаку температуру полимера целом ширином дизне које могу износити и 4500 мм. Најчешће коришћени тип дизне је дизна са уздужним прорезом за истискивање (слика 3.17).



Слика 3.17. Дизна са уздужним прорезом за истискивање [13]

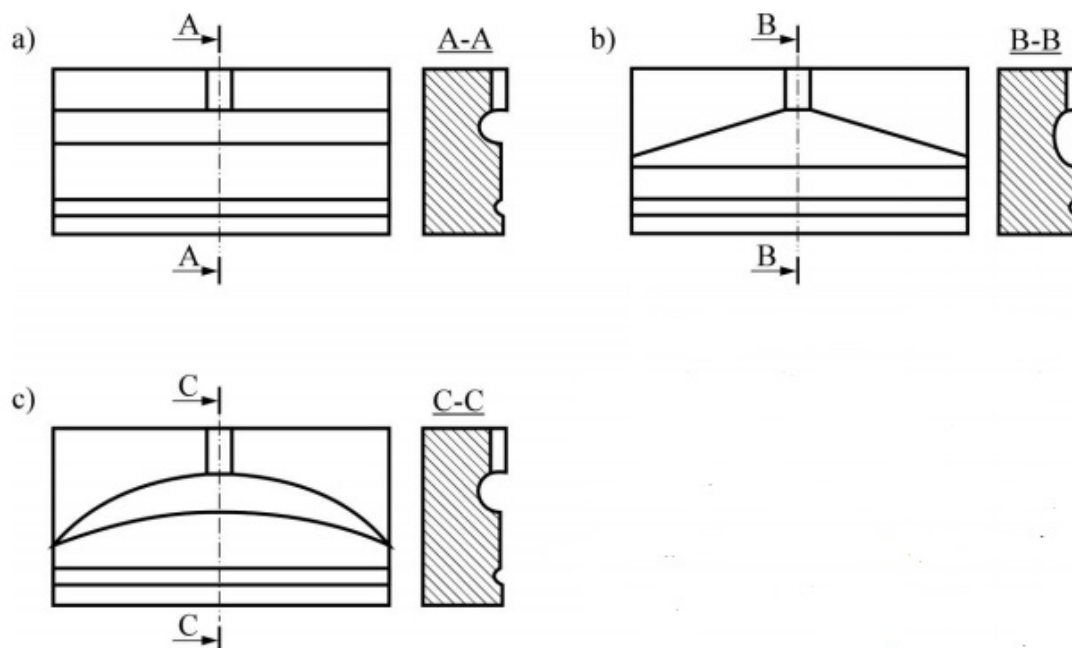
Основни елементи дизне која се користи за ламинацију су приказани на слици 3.18.



Слика 3.18. Елементи дизне: 1) улазни канал; 2) главни канал за разливање; 3) помоћни канал за разливање; 4) канал за опуштање; 5) дио дизне кроз који растоп истиче

Улазни канал је геометријски једноставан канал кружног попречног пресека и дужине приближно једнаке као половина дужине дизне за истискивање. Растопљени полимер који се испоручује из адаптера екструдера протиче кроз улазни канал.

Канал за разливање се налази симетрично на обе стране улазног канала. Канал се састоји од два или три дела, односно главног канала за разливање, помоћног канала и канала за опуштање. Главни канал је најчешће конусно-симетрични канал, параболични или хиперпараболични канал (слика 3.19). Облик главног канала је кружног попречног пресека. Најчешће, пресек канала се смањује са повећање удаљености од улазног канала. Улаз главног канала се налази под углом од 90 степени у односу на улазни канал [13].



Слика 3.19. Типови главног канала за разливање [13]

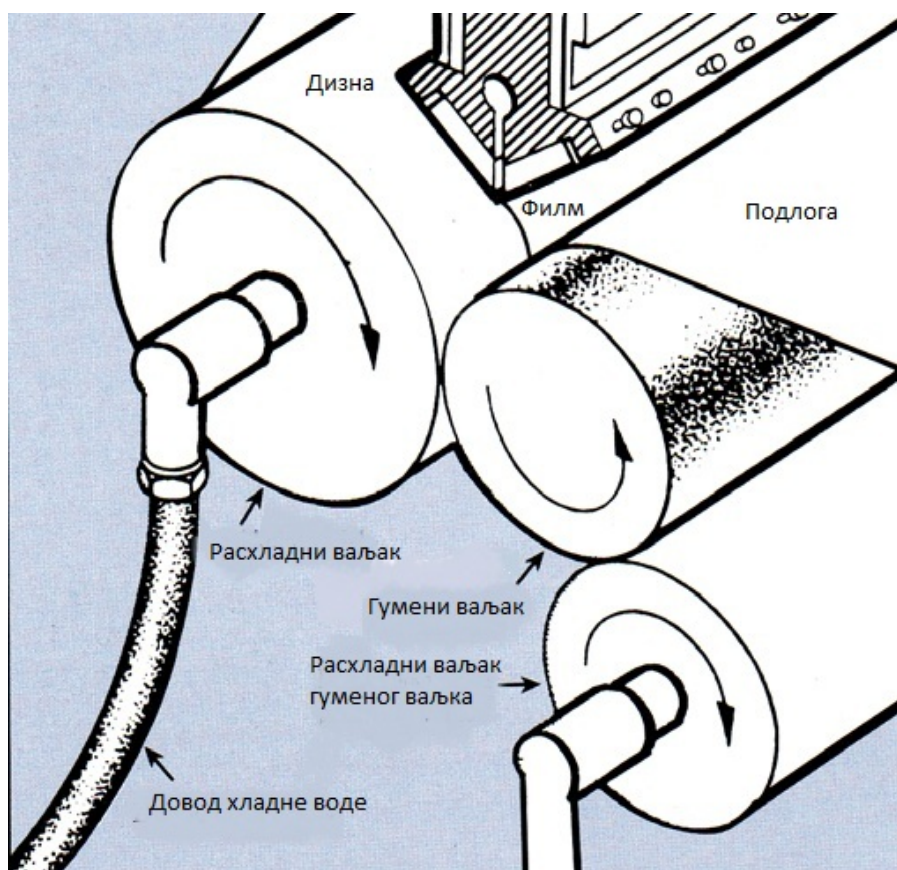
Помоћни канал за разливање има облик врло сличан облику дела за истискивање растопа из дизне. Управо у помоћном каналу одвија се стабилизација растопљеног полимера и изједначавање температуре полимера. Помоћни канал се често завршава каналом за опуштање.

Канал за опуштање је укључен у дизајну система протока уздужне дизне, углавном како би се смањили напони који се могу јавити током течења полимера.

3.2.5. Склоп расхладног ваљка и ваљка за притисак

Ваљци којима се остварује одговарајући притисак (слика 3.20) прави се од челичног ваљка прекривеног гумом да би се остварило боље пријањање и притисак. Расхладни ваљка или чилерски ваљак је обично хромирани и високо полиране површине. Дизајниран је да уклони одговарајући износ топлоте из полиетилена. Изграђен је са дуплим омотачем са уграђеном спиралом која треба да обезбеди ефикасно и равномерно хлађење. Хлађење се врши водом, која циркулише из одвојеног базена у којем се одржава на одговарајућој температури. Неопходно је да се обезбеди довољно воде да се обезбеди ефективна контрола температуре на површини ваљка. Пречник расхладног ваљка у великој мери одређује опсег радних брзина, јер је потребно да расхлади растоп на одређену температуру при контакту [9].

Температура расхладног ваљка се одржава између 15 до 30 °C ; уколико се повећа до 55 до 60 °C или више, полиетилен се може залепити за ваљак, проузрокујући делимичну деламинацију између обложеног филма и подлоге, или чак прекид филма.

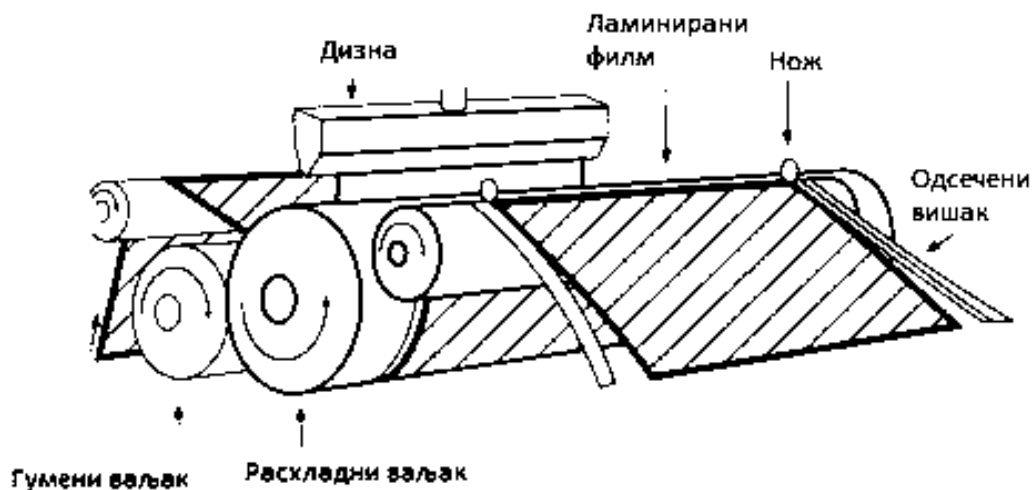


Слика 3.20. Склоп ваљака [9]

Гумени ваљак за остваривање притиска између подлоге и растопљеног полиетилена се обично прави од силиконске гуме. Захтеви материјала за израду гуменог ваљка обухватају добру отпорност на топлоту и старење. Ваљак се активира помоћу ваздушног цилиндра и тако се остварује притисак на расхладни ваљак. Такође је пожељно да и гумени ваљак има свој ваљак за хлађење. Положај се обично подешава у односу на дизну. Да би се добило максимална адхезија ваљак треба да буде постављен тако да осигура да се растопљени полиетилен разлива на подлогу непосредно пре расхладног ваљка.

3.2.6. Одрезивање вишка

Није могуће прекрити подлогу растопљеним филмом исте ширине, због различитих дефекта који се јављају при истицању растопљеног полиетилена, дефекти утичу на ивице филма. Један од дефеката се назива ивица кривудања. Други је задебљање на ивицама филма. Ово је последица облика растопљеног филма који истиче из дизне до ваљака. Вишак се одсеца помоћу обртних ножева. На слици 3.21 приказана је шема склопа ножева за одсецање.



Слика 3.21. Приказ ножева за одсецање [9]

Политетрафлуороетилен (*PTFE*) лепљива трака се често поставља на крајевима ваљка притиска да би се спречило лепљење растопљеног полиетилена, због побољшања века трајања гуме и да се омогући истискивање ширег филма.

4. Утицајни фактори на процес ламинације

4.1. Температура растопа

Тачни услови потребни за постизање оптималног квалитета производа ће се разликовати од једног производа до другог. Укупан квалитет у великој мери зависи од температуре топљења и њене уједначеност.

Температура растопа која се користи варира према подлогама које се обложу, захтевима купаца у погледу са жељеним особинама, и опреме. Температуре могу бити између 265 и 330 °C, а од 300 до 320 °C су најчешће коришћене.

Својства као што су сјај и прозирност побољшавају са повећањем радне температуре. Међутим, ако је температура сувише висока, растоп може бити сувише течан за ламинацију. Такође, може доћи до тешког хлађења и може се јавити прекомерна оксидација. Оксидација је предуслов за добро пријањање, али може довести до дефеката ако је прекомерна.

Висока температура такође може довести до прилично брзе разградње полиетилена, нарочито у екструдеру и дизнама уколико је процес заустављен дуже од неколико минута. Ако би се екструдер гасио при промени радних налога то би негативно утицало и непожељни дефекти и мрље би се појавили.

Ниске температуре растопа могу давати полиетиленски филм бољих фриксионих својстава, али може доћи до смањења адхезивних својстава. Неједнаке температуре растопа утичу на неједнаку дебљину филма, лош сјај и прозирност; неједнаку ширину филма [9].

4.2. Ваздушни простор, „врат растопа“ и течење растопа

Ваздушни простор или удаљеност између дизне и тачке контакта растопа са подлогом је један од најважнији параметара који утичу на особине ламината. Велики размак може изазвати прерано хлађење растопа, повећавајући вискозитет што за узврат може да доведе до слабог пријањање на основу. Међутим, ако је размак превише мали онда може доћи до погоршања адхезије.

Дебљина премаза се обично изражава степеном покривености површине или тежини премаза (табела 3). Тежине се крећу у распону као ниска од 8 до 10 g / m² за фолију за паковања и до 50 до 100 g / m² за одређене тешке кутије, картоне и тканине. Брзине производне линије обично се крећу од 100 до 600 m / min, али може бити много већи за посебне намене.

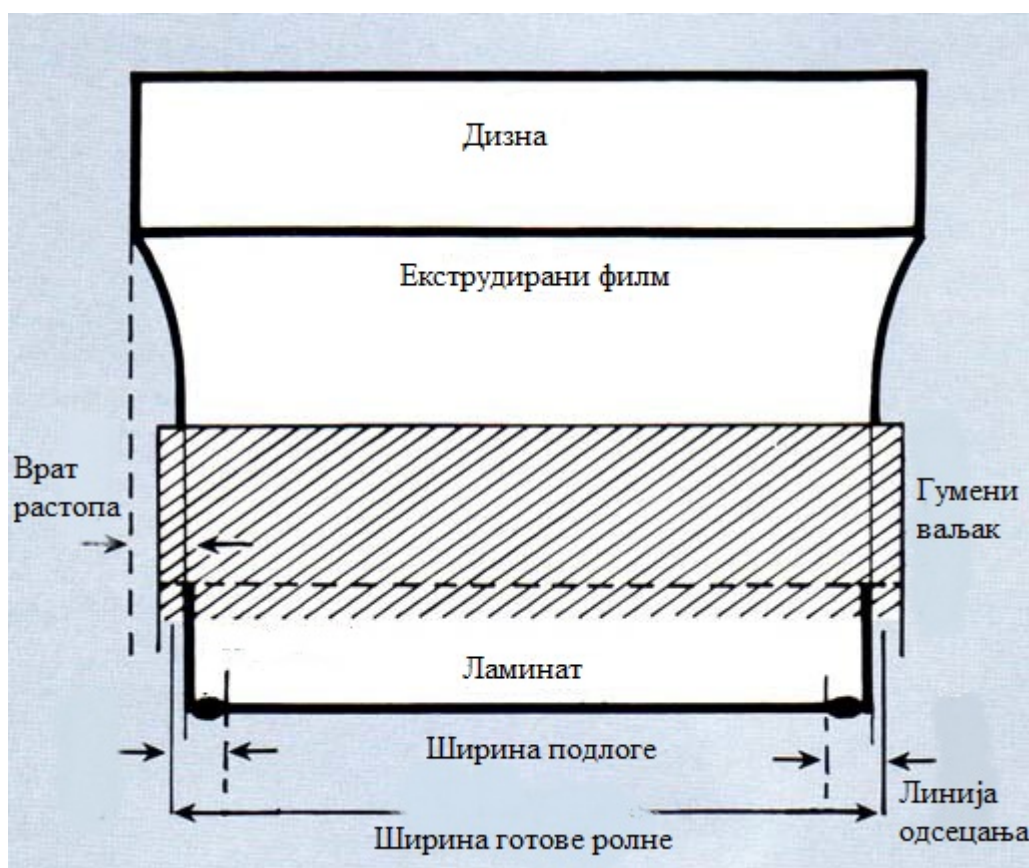
Дебљина μm	Покривеност површине	
10	9.2 g/m ²	108 m ² /kg
25	23 g/m ²	43 m ² /kg
50	46 g/m ²	22 m ² /kg

Табела 3. Покривеност површине полиетиленом LDPE [9]

Повезано са тежином растопа су два важна својства истиснутог филма: "врат растопа" и "течење".

"Врат растопа" је смањење ширине растопљеног филма који се јавља при истицању из дизне. Мери се као пола разлике између ширине превлаке између ваљака и ширине језгра дизне, као што је приказано на слици 4.1.

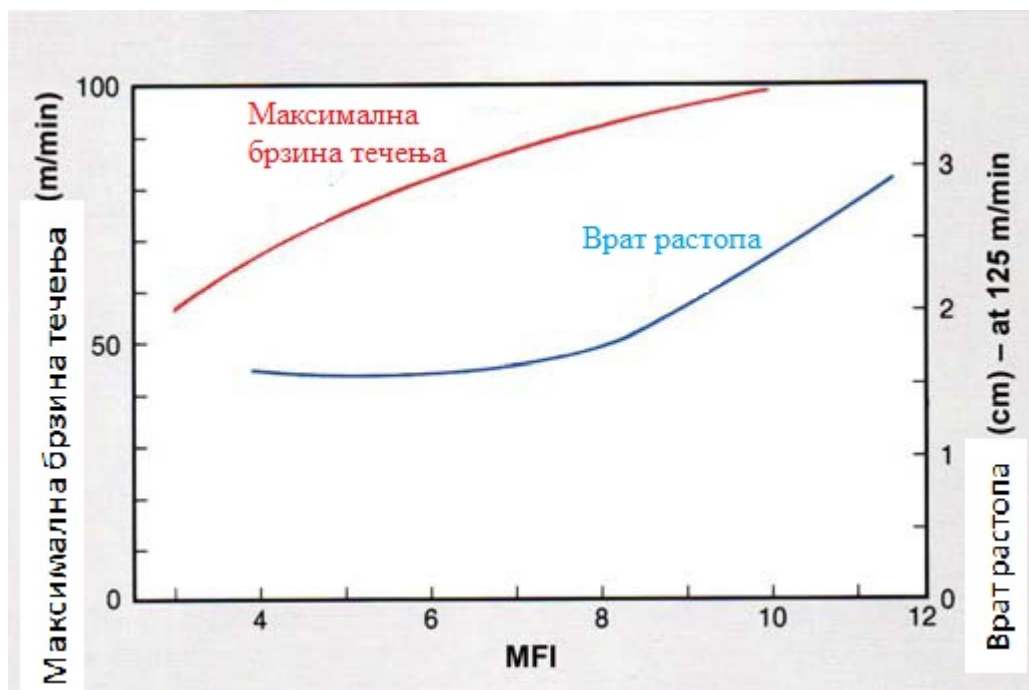
"Течење" се односи на способност полимера да равномерно тече са веома ниских дебљинама филма и мале тежине без прекида. То укључује смањење у дебљини растопљеног полиетилена након изласка из дизне пре контакта са подлогом. То је ограничавајући фактор за максималну брзину линије.



Слика 4.1. Врат растопа [9]

Важно је да при истискивању растопа полиетилен има добро течење, посебно ако је растоп мале масе да не би дошло до прекида и појаве празнина. „Врат растопа“ треба да буде минималан како би се смањило одсецање и добила максимално употребљива ширина ламината.

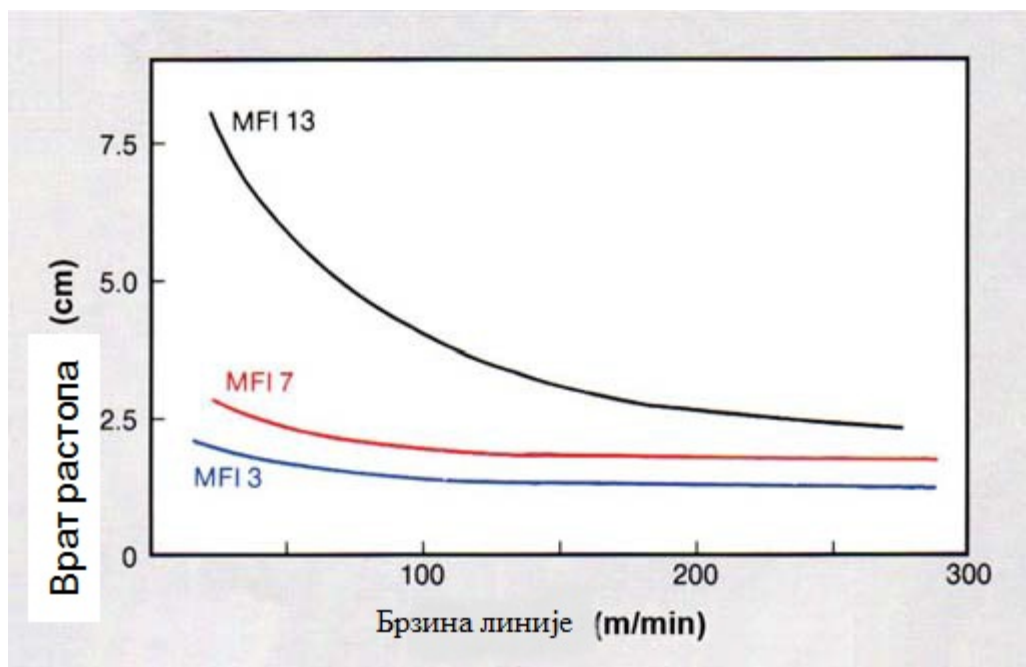
Врат растопа и течење су функција MFI (индекса топљења) и температуре топљења. Као што је приказано на слици 4.2, максимална линија брзине течења повећава се повећањем МФИ, али се особине врата растопа погоршавају.



Слика 4.2. Зависност врата растопа и течења од МФИ и температуре [9]

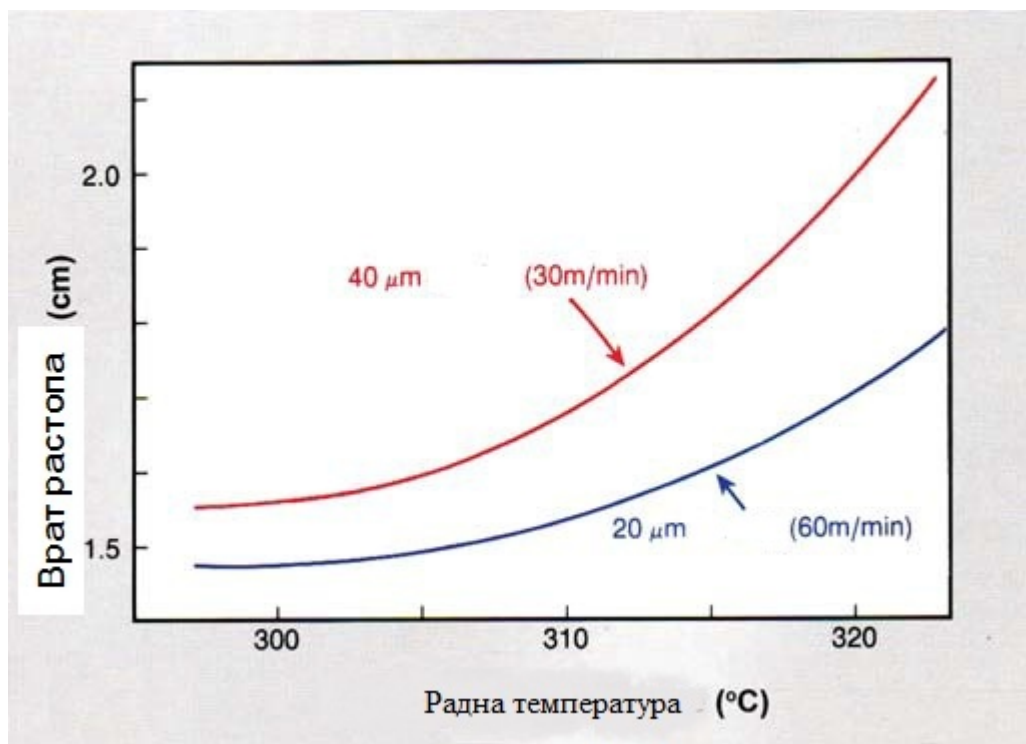
Остали фактори такође имају улогу у одређивању особина врата растопа и течења. То су следећи фактори:

Брзина производне линије. Вредности врата растопа опадају са повећањем брзине линије (слика 4.3).



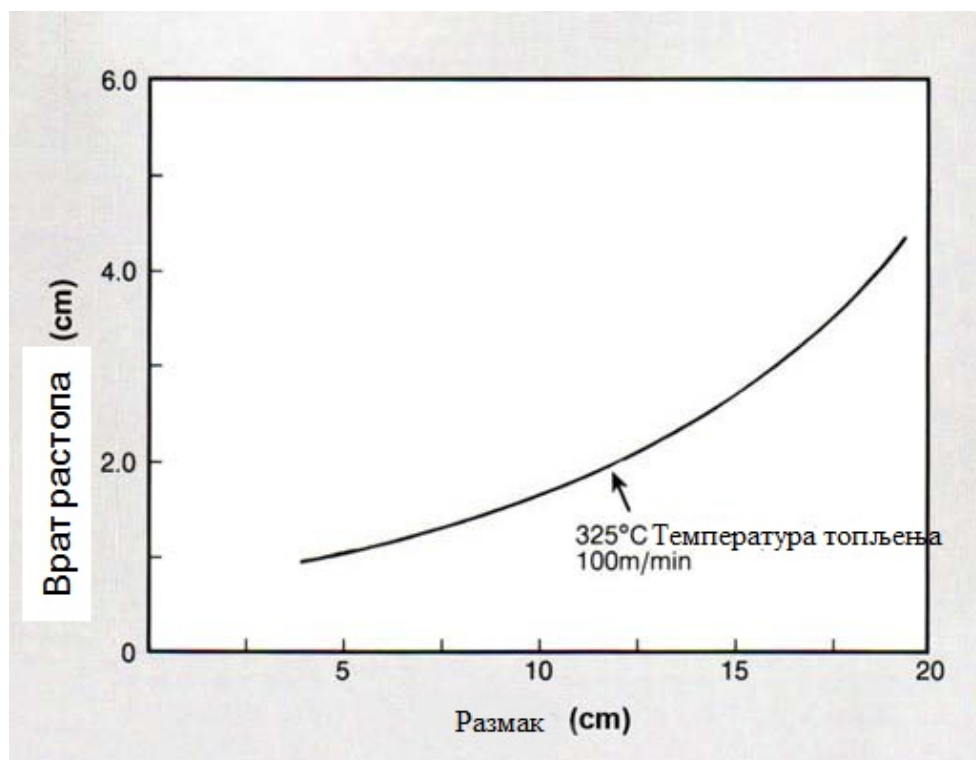
Слика 4.3. Брзина линије [9]

Радна температура. Врат растопа и течење се побољшавају са повећањем температуре топљења (слика 4.4).



Слика 4.4. Радна температура [9]

Размак. Велики простор између дизне и подлоге даје боље течење али је лошији врат растопа (слика 4.5).



Слика 4.5. Размак [9]

Кидање ивица се повремено јавља током ламинације филма. Ивица кидања може утицати на ширину филма. Може бити узроковано хладним крајевима дизне. Употребом ужег филма, повећањем масе филма или подизањем температуре на крајевима дизне може се помоћи у превазилажењу овог проблема.

4.3. Пријањање

Добро пријање или добра адхезивна својства полимера су обично кључни услов при одабиру полимера. Полимер који не пријања за подлогу или који се може лако скинути је безвредан. Адхезија између полиетилена и подлоге је или физичка (механичка) или хемијска, у зависности од врсте подлоге.

Полиетиленски растоп може да формира маханичку везу са порозним подлогама (као што су картон, најлон папир или платна), тада полимер може да тече у неравнине на површини подлоге. Тако се две површине могу физички спојити и остварити везу тешку за раскидање. Већина глатких, непорозних подлога као што су алуминијумске фолије или пластичне фолије имају тенденцију ка лошијем остваривању веза па се растоп мора хемијски везати за подлогу [9].

4.3.1. Оксидација полиетилена

За добијање хемијске везе између подлоге и непорозне површине, неопходна је оксидација полиетилена. Таква оксидација захтева високу температуру растопа и адекватно растојање течења полиетилена између дизне и подлоге. Растојање треба да омогући довољно времена за оксидацију. Међутим, ако је растојање превелико доћиће до хлађење растопа, што ће угрозити пријањање.

Препоручено време течења растопа за полиетилен је између око 80-120 мс, може бити и мање за неке порозне подлоге. Време течења се може израчунати помоћу следеће једначине:

$$T = \frac{60 \cdot \text{растојање између дизне и подлоге (mm)}}{\text{линијска брзина (m/min)}}$$

Растојање се подешава спуштањем екструдера а самим тим и дизне, или подешавањем склопа ваљака. Фактори који утичу на оксидацију и пријањање су ниске температуре топљења, ниске масе растопа, мало растојање [9].

4.3.2. Предгревање подлоге

Загревање порозних материјала помаже пријањање, као што су најлон папир, тканина. Површина постаје подложнија да прихвати растопљени полимер. Предгревање површина не порозних подлога као што су металне фолије или сјајном папиру ће такође помоћи да се уклоне влага и мазива, и на тај начин потпомажући адхезију.

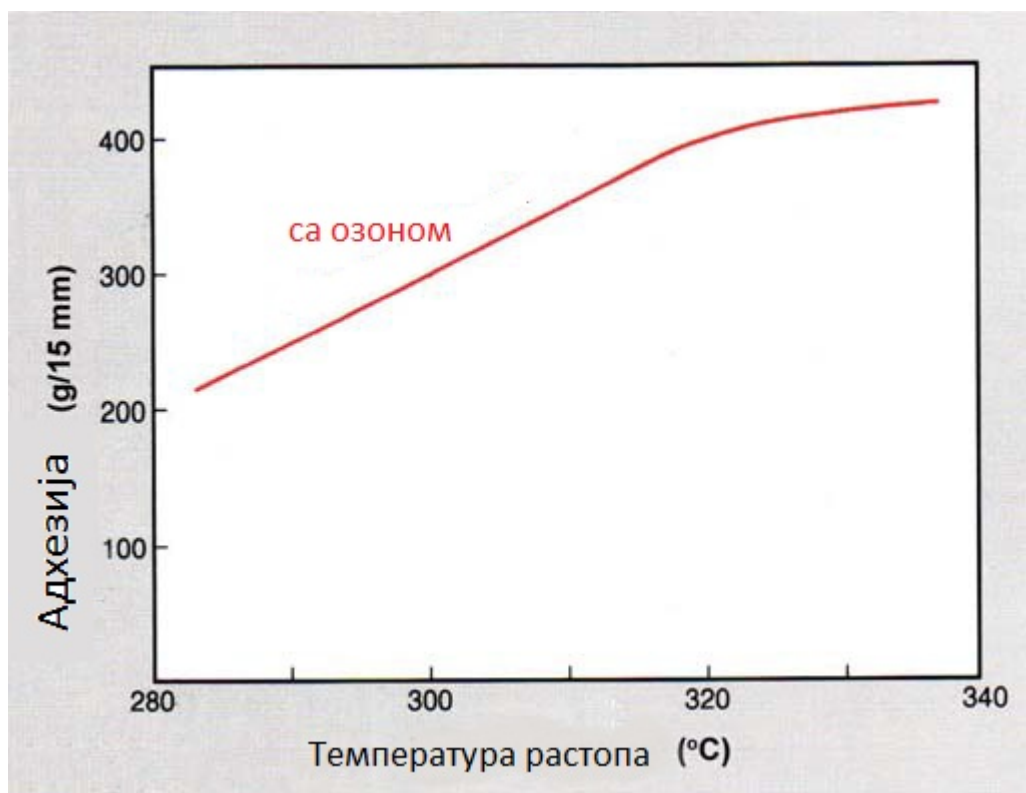
Међутим, предгревање утиче само на површину подлоге. Влажне, порозне подлоге се ретко осуше предгревањем. Предгревање се може постићи пролажењем подлоге кроз део за пламену обраду (приближно 175 до 190 ° С). Пламена обрада са оксидационим

пламеном потпомаже адхезију. Поступком пламене обраде се подлога такође и чисти од нечистоћа. [9]

4.3.3. Фактори који утичу на адхезију

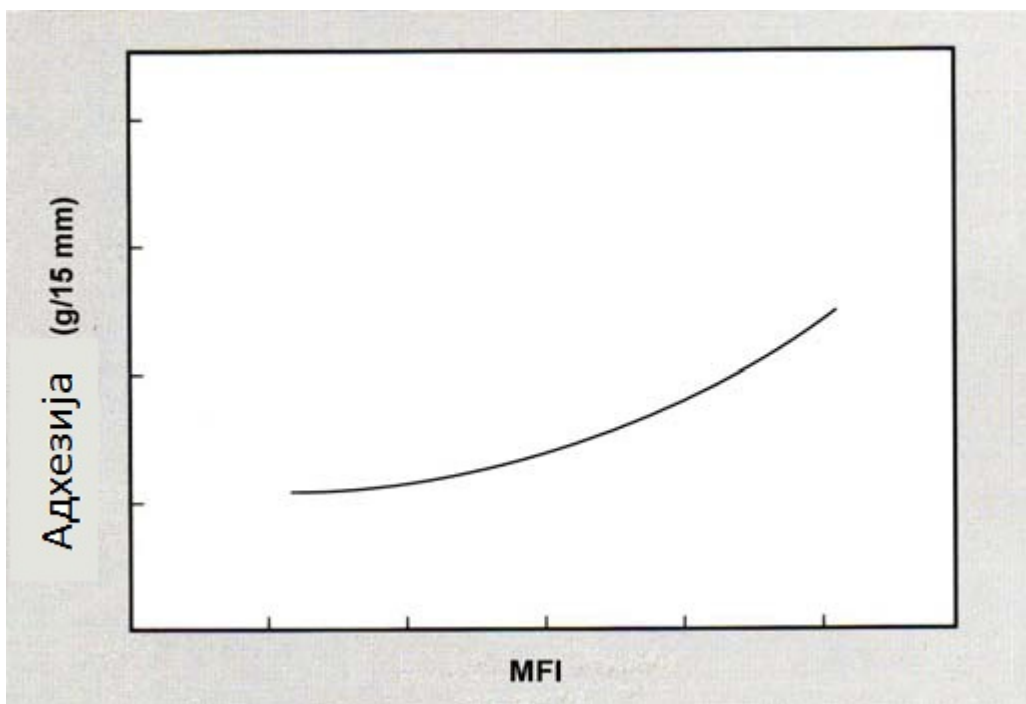
Адхезија полиетиленског филма на подлогу зависи од бројних фактора:

- Подлога, порозна или непорозна
- Температура растопа. Адхезија се побољшава како се температура растопа повећава, као што је приказано на слици 4.6.



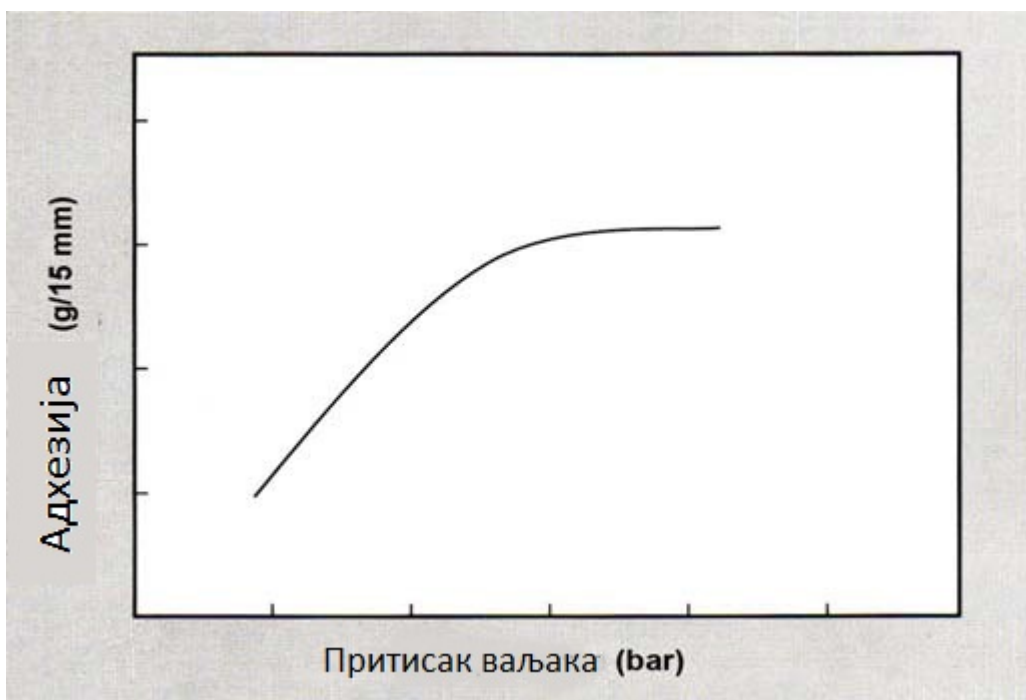
Слика 4.6. Утицај температуре топљења и озонског третмана за лепљење полиетилена ЛДПЕ на алуминијумску фолију [9]

- Температура расхладног ваљка. Сувише ниска температура ће смањити адхезију. Повећање температуре расхладног ваљка ће повећати адхезију.
- Својства полимера која се односе на индекс топљења (*MFI*). Виши *MFI* полиетилена, са својом нижом вискозношћу, боље пријањају него порозне подлоге мањи индекса *MFI* (слика 4.7).



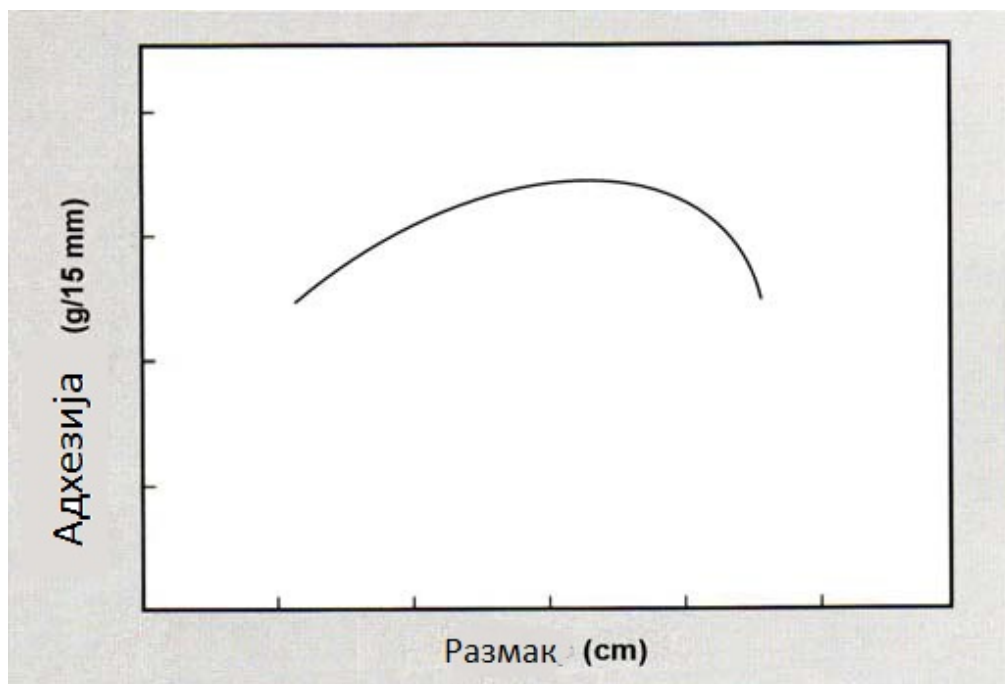
Слика 4.7. Утицај МФИ на адхезију полиетилена ЛДПЕ на порозне подлоге [9]

- Притисак између ваљка. Низак притисак ће проузроковати слабу адхезију, али повећавајући притисак изнад критичне тачке неће допринети додатној користи (слика 4.8).



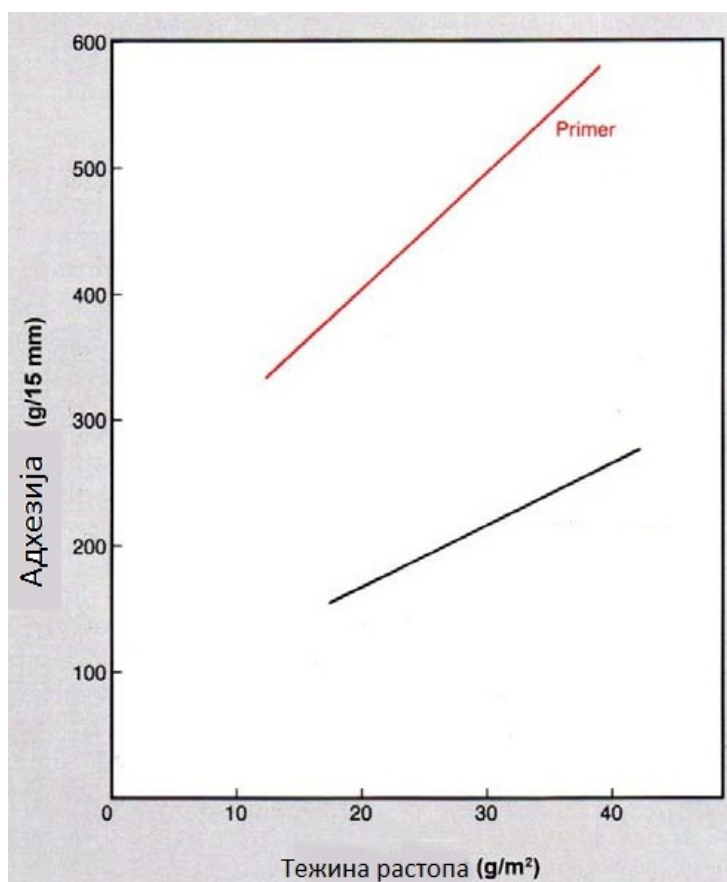
Слика 4.8. Утицај притиска ваљка на адхезију [9]

- Размак између дизне и подлоге. Већи размак омогућава већу оксидацију повећавајући адхезију на тај начин (слика 4.9).



Слика 4.9. Утицај размака између дизне и подлоге на адхезију [9]

- Брзина течења растопа и тежина растопа. Мала брзина растопа и већа тежина потпомажу адхезију јер има више времена за оксидација (слика 4.10). Када је тањи филм, он се брже охлади у ваздуху и адхезија постаје слабија.

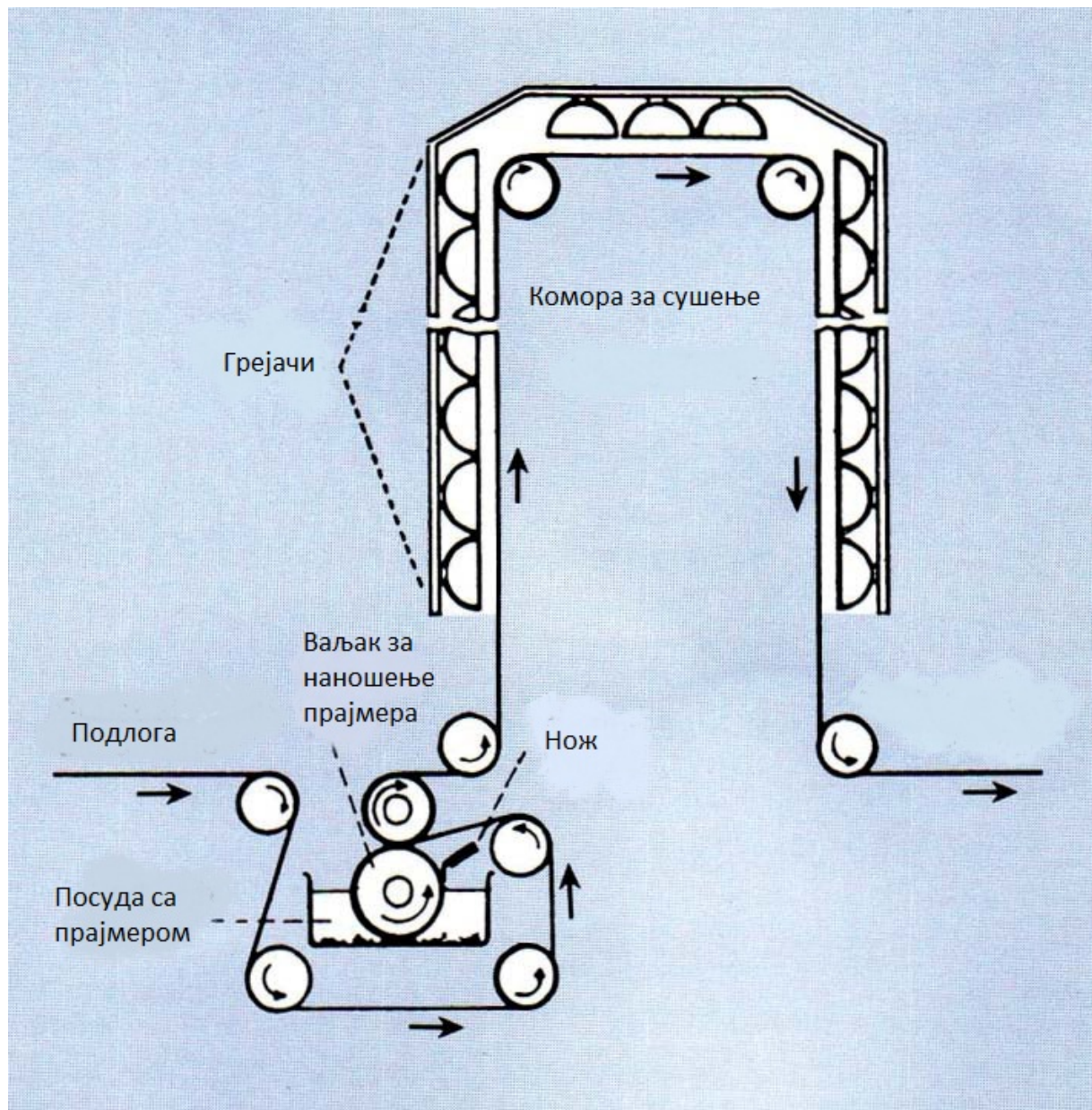


Слика 4.10. Утицај брзине течења растопа и тежине растопа на адхезију [9]

4.3.4. Коришћење прајмера, први слој

Тешко је добити атхезију полиетилена на свим подлогама. Прајмери су хемикалије које када се примене као дискретан слој на површини подлоге обезбеђују хемијски афинитет између екструдираног филма и подлоге и тиме доводе до боље адхезије. Подлоге које често захтевају прајмирање су алуминијумска фолија, полиестер.

Линијско прајмирање је најекономичнији метод. Слика 4.11 приказује шематски цртеж станице за линијско прајмирање. Ефикасно прајмирање може такође да смањи потребну температуру топљења. Прајмери могу бити на воденој бази. Не постоје универзални прајмери, већ се бирају у зависности од материјала подлоге.



Слика 4.11. Приказ станице за наношење прајмера [9]

Најчешћи основни премази:

- Полиуретани, користи се за алуминијумску фолију, пластику и папир
- Поливинил хлорид, користи се за папир и пластику
- Етилен - акрилна киселина, користи се за папир и алуминијумску фолију

Очвршћујући полиуретан обично даје најшири опсег адхезије и најбољу отпорност на топлоту, влагу и хемикалије. Остали прајмери имају ограничену отпорност у овим срединама.

Озон

Третман озоном је техника која се користи да убрза оксидацију полиетиленског филма, нарочито са великом брзином превлачења где природна оксидација има одређено време у размаку између подлоге и дизне. Проток озона из генератора озона је усмерен путем апликатора на врели филм непосредно пре његовог контакта са подлогом. Озон, као веома јак оксидациони гас, ствара поларне групе на површини полиетилен, и врло ефикасно побољшава пријањање.

Предности третмана озоном:

- побољшава адхезију,
- могућност да се смањи температура топљења,
- веће брзине линија,
- мањи размак између дизне и подлоге,
- боље топлотне карактеристике растопа.

Третман озоном побољшава адхезију и минимизује негативне ефекте повезане са претераном оксидацијом као што су мрље, лепљење ваљака. Треба напоменути да је озон отрован гас при високим концентрацијама, тако да је потребно инсталирати одговарајући вентилациони систем за уклањање озона након контакта са филмом. [9]

5. Карактеристике готовог ламинираног Тетра Пак-а

5.1. Фрикциона својства

Једно од важних коначних својства ламинараног производа је коефицијент трења. Трење представља отпор релативном кретању површина у додиру и захтева утрошак одређене количине енергије за његово савладавање.

На коефицијент трења ламинараног производа утичу следећи фактори:

- температура растопа,
- температура расхладног ваљка,
- површина расхладног ваљка,
- присуство разних адитива.

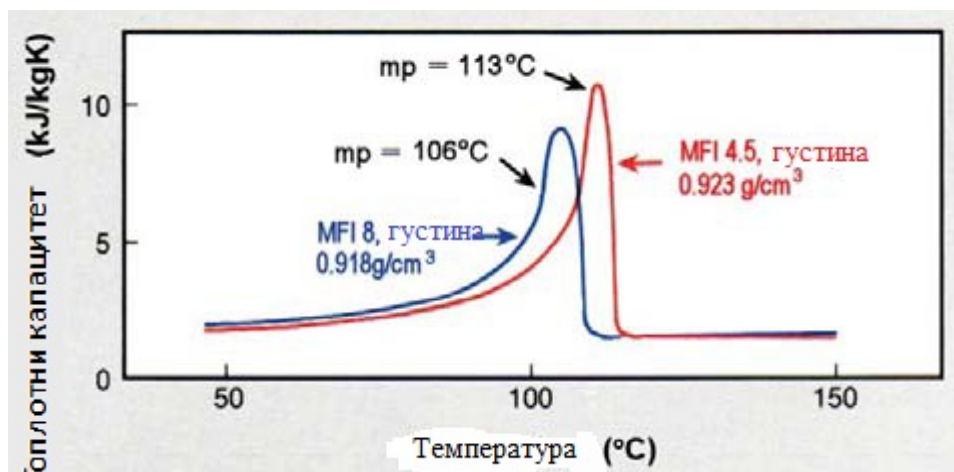
Расхладни ваљци се користе са три различите површине:

- полирана површина која резултира нешто грубљом површином полиетилена, нижег сјаја и повећаног коефицијента трења,
- високо полирана површина даје веома сјајну површину и мањи коефицијент трења,
- полирана површина до ефекта „огледала“, даје веома сјајну глатку површину и низак коефицијент трења.

Коефицијент трења се смањује са повећањем густине полиетилена. Релативно не зависи од растојања између дизне и подлоге, али се може смањити смањењем растојања при нижим температурама растопа. Ради смањења коефицијента трења се могу додавати и одговарајући адитиви. [9]

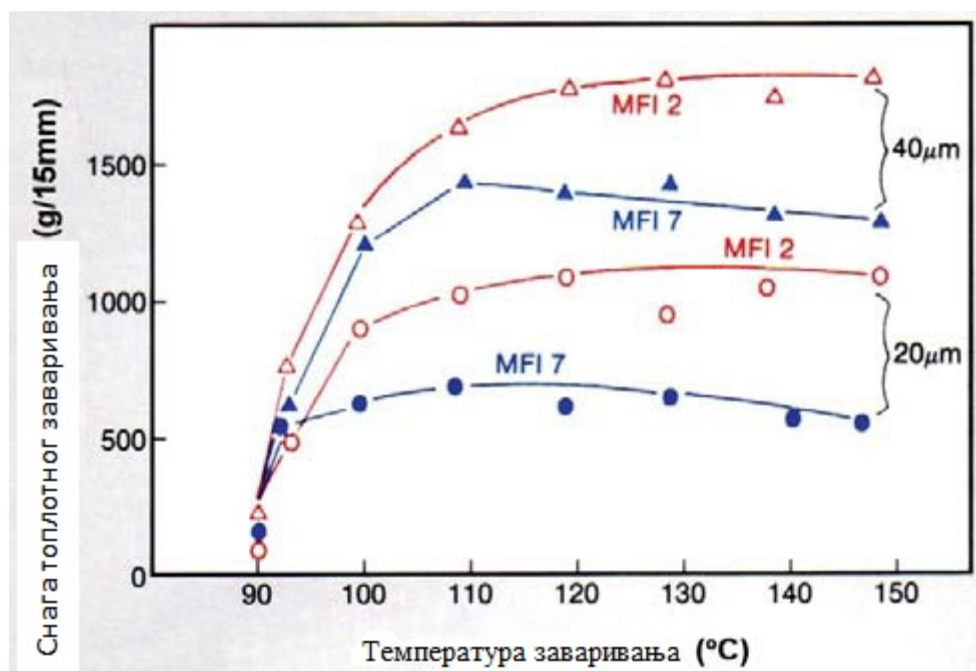
5.2. Топлотно заваривање

Густина полиетилена, МФИ, дебљина филма и заптивни услови, утичу на одлике заварљивости при добијању паковања. Густина регулише минималне температуре на којима се заваривање одвија и количину топлоте која је потребна да истопити полимер. Својства топљења се могу одредити различитим оценама, као што је приказано на слици 5.1. Густина растопа може значајно да утиче на стопа хлађења која одређује брзину производне линије и температуру расхладног ваљка.



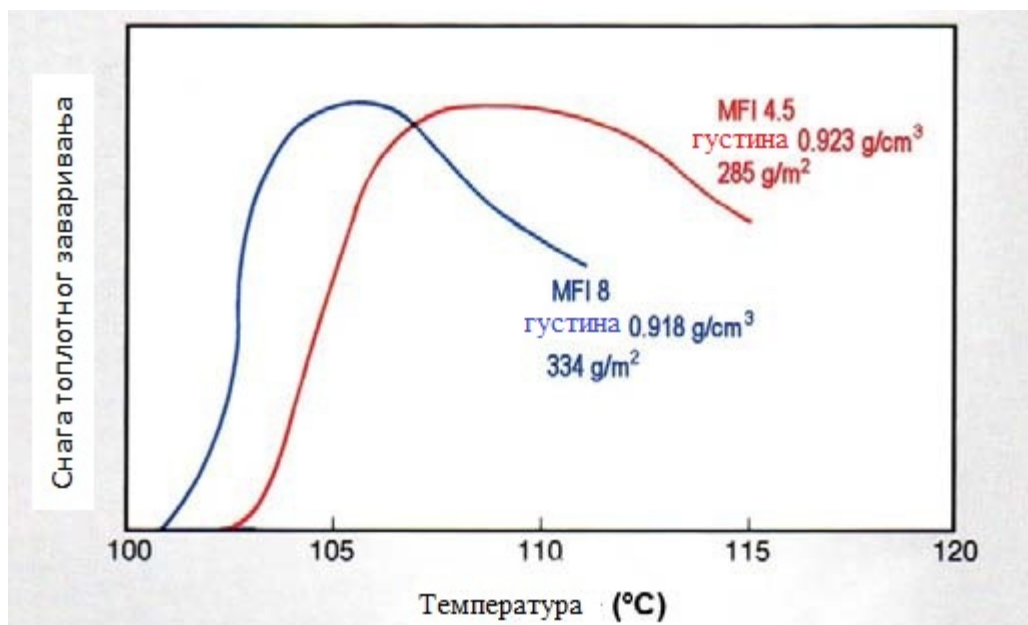
Слика 5.1. Тачке топљења при одређеним МФИ и густинама [9]

МФИ полимера и дебљина филма су главни фактори који утичу на јачину заварљивости, као што је приказано на слици 5.2.



Слика 5.2. Однос између МФИ вредности, снаге топлотног заваривања и температуре заваривања [9]

ЛДПЕ полиетилен има добра својства заварљивости при истицању растопа веће температуре, слика 5.3.



Слика 5.3. Карактеристике заварљивости ЛДПЕ полиетилена са одређеном густином и МФИ [9]

5.3. Заштитна својства

Важна функција сваког ламинираног производа је да обезбеди заштиту од разних гасова, пара или течности. Полиетилен генерално даје добру заштиту од таквих материјала и та својства се побољшавају како се повећава густина и МФИ смањује. Побољшана заштитна својства се повећавају повећањем тежине растопа. Да би се добила одговарајућа унутрашња заштита тетрапака додаје се алуминијумска фолија. Количине пропустљивости гасова и водене паре су приказане у табели 4.

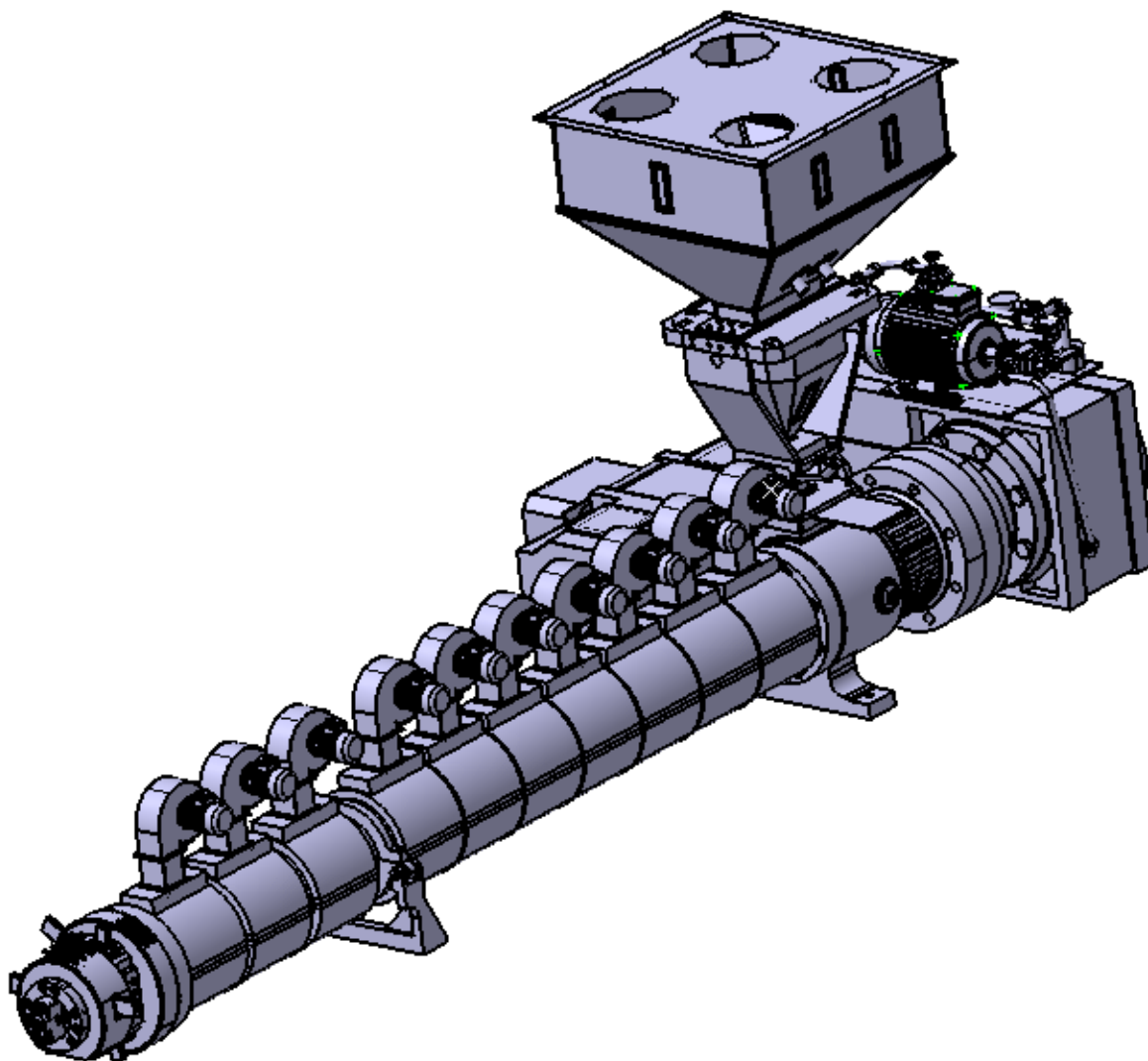
Филм	Количина гасова (25 микрона филма на 20 °C, 1atm) (cm ³ /m ² , 24h)			Vodena para (25 микрона филма на 38 °C, 90% вл.) (g/m ² , 24h)
	O ₂	N ₂	CO ₂	
ЛДПЕ	8500	3000	38000	18
ХДПЕ	3000	650	9000	8

Табела 4. Пропустљивост гасова и водене паре [9]

Полиетиленски ламинати користе се за израду паковања за храну, пића, лекове.

6. Пример пројектовања дела опреме за ламинацију

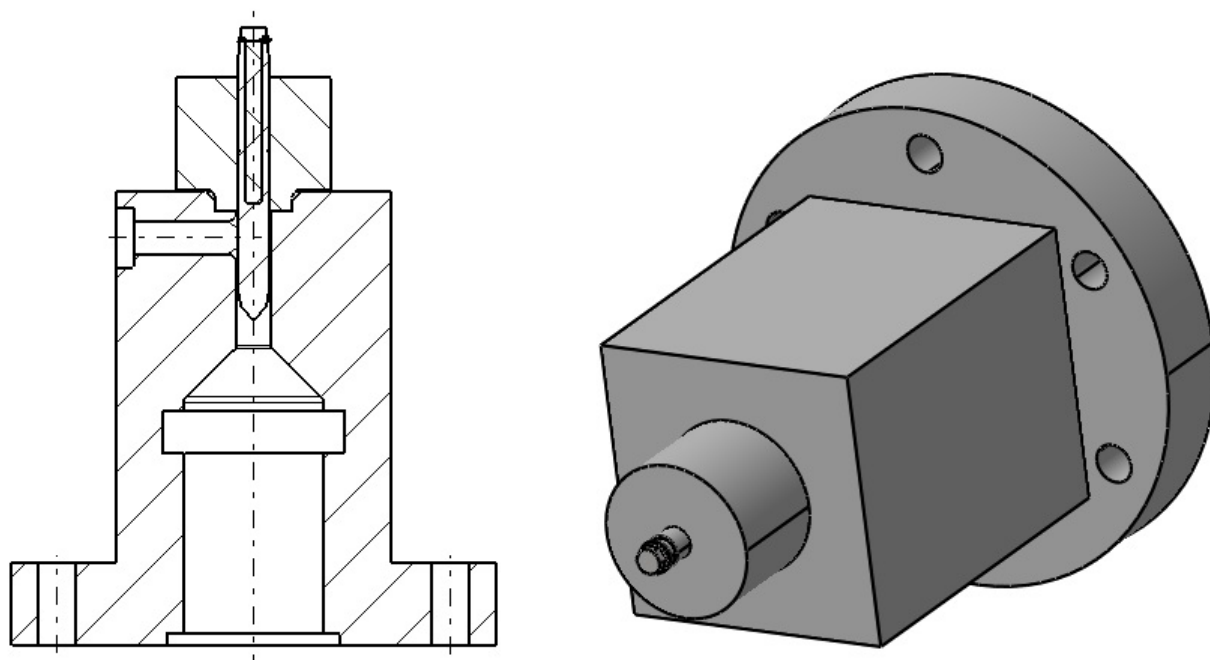
На наредним сликама приказан је део нове опреме за ламинатор компаније Тетра Пак. У односу на постојећу опрему код нове је конструисан и измењен адаптер дизне, грејачи цилиндра и кошеви.



Слика 6.1. Екструдер компаније компаније Тетра Пак са новом опремом

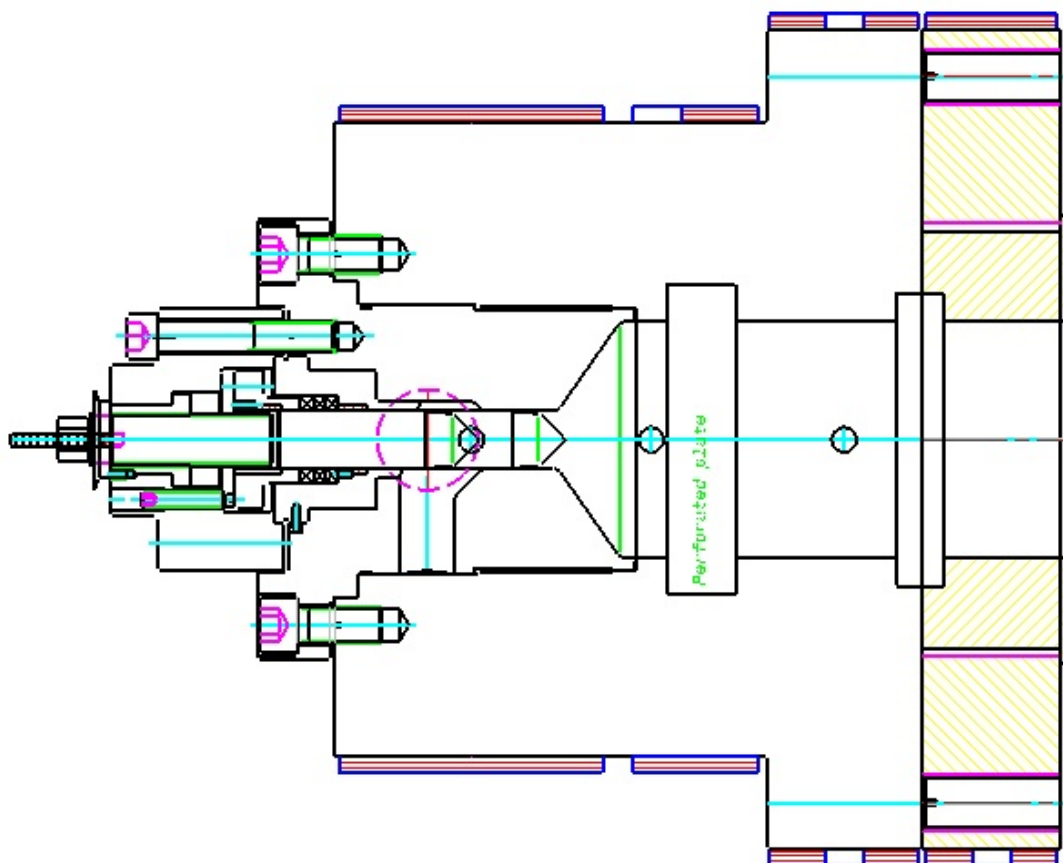
Адаптер дизне је предпоследњи елемент у ланцу опреме потребне за припрему материјала при ламинацији. Он је повезан са дизном и он регулише проток распопа из цилиндра у дизну која га истискује на подлогу.

Проблем са старим адаптером се огледао у томе што он није имао могућност аутоматског регулисања протока растопа и регулисање своје температуре. Стари адаптер је био веома једноставне конструкције и служио је само као елемент који је повезивао дизну са екструдером. Пошто је био једноставне конструкције у њему се стварала температурна разлика пошто није имао грејаче који одржавају његову температуру па је долазило до одређеног хлађења ламината у њему. Промена протока растопа је захтевала заустављање производње и гашење екструдера, пошто се регулација вршила ручно то је доводило до већих застоја и губитака. Конструкција старог адаптера приказана је на слици 6.2.

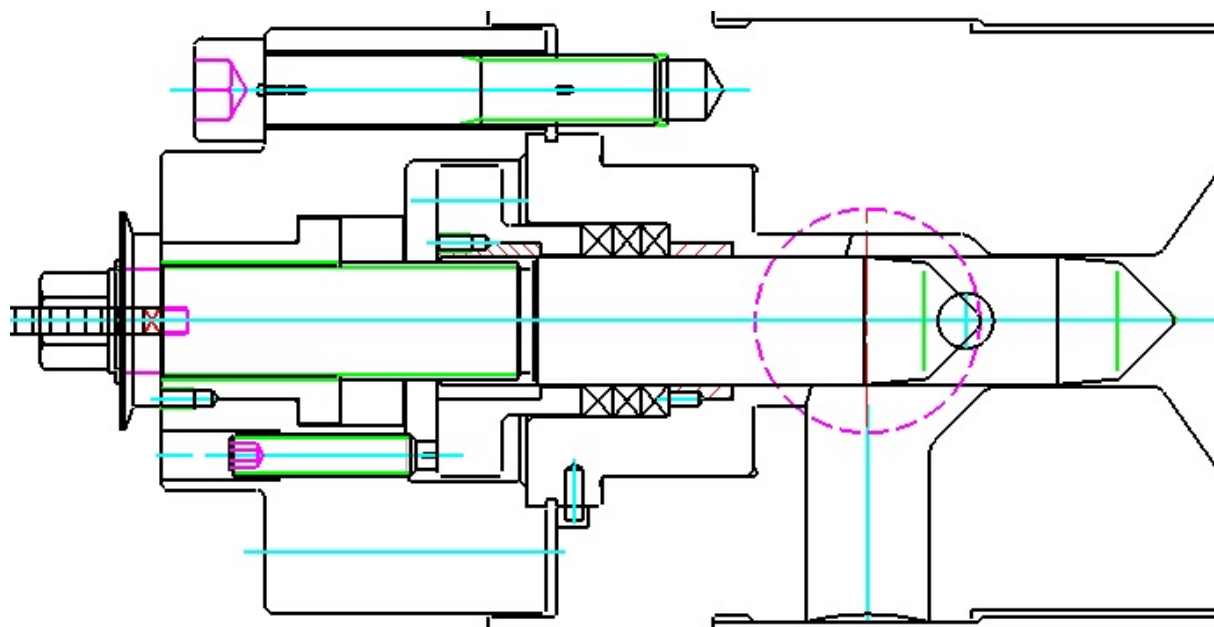


Слика 6.2. Приказ техничког цртежа и модела старог адаптера

Решење проблема регулације протока је решено додавањем цилиндричног дела чијим се померањем регулише отвор на адаптеру кроз који истиче растоп у дизну. Померање дела се врши помоћу степ мотора и навојног дела цилиндра и потпуно је аутоматизовано. Прорачунато је потребно померање односно отварање или затварање отвора адаптера да би се добио жељени проток. Проток се подешава у зависности од производа који се ламинирају, њихових намена, и ширина ролни. Технички цртеж решења проблема за регулацију протока приказано је на слици 6.3. и 6.4.

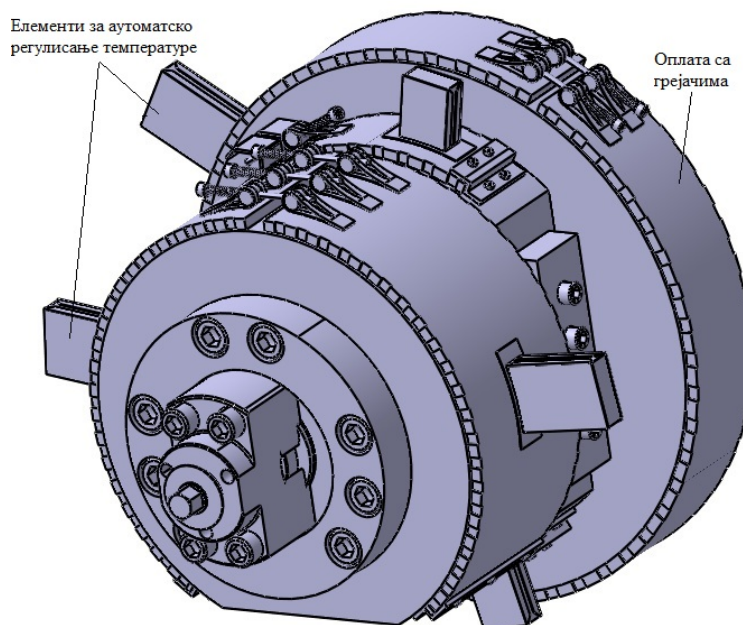


Слика 6.3. Цртеж новог адаптера



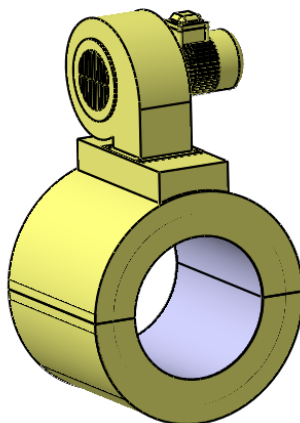
Слика 6.4. Приказ решења за регулацију протока

Регулација температуре самог адаптера је решена додавањем оплате од грејача, и регулисање температуре је такође потпуно аутоматизовано. Регулацијом температуре се омогућило одржавање исте температуре адаптера у току целог радног циклуса и на тај начин је елеминисан један од фактора који утичу на квалитет ламината. Модел новог адаптера је приказан на слици 6.5.



Слика 6.5. Модел новог екструдера са грејачима

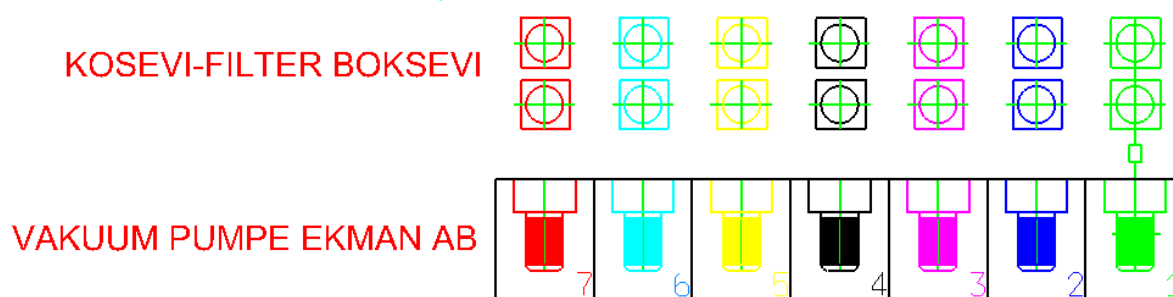
Грејачи као што је поменуто у раду служе да обезбеде одговарајућу количину топлоте за растапање полиетилена. Регулисање топлоте уколико дође до њеног значајног повећања је било веома споро код предходних типова грејача. Предходни грејачи су имали систем за циркулацију хладне воде, када дође до повећања температуре пушта се хладна вода и њеним циркулисањем се врши хлађење. Да би се решио проблем и омогућило брже хлађење конструисан је грејач са вентилатором који покреће електромотор. Помоћу вентилатора температура се може брзо смањити и довести на одговарајућу. Вентилатори су повезани са управљачком станицом ламинатора тако да се сами пале чим температура пређе лимит. Приказ грејача са вентилаторима, слика 6.6.



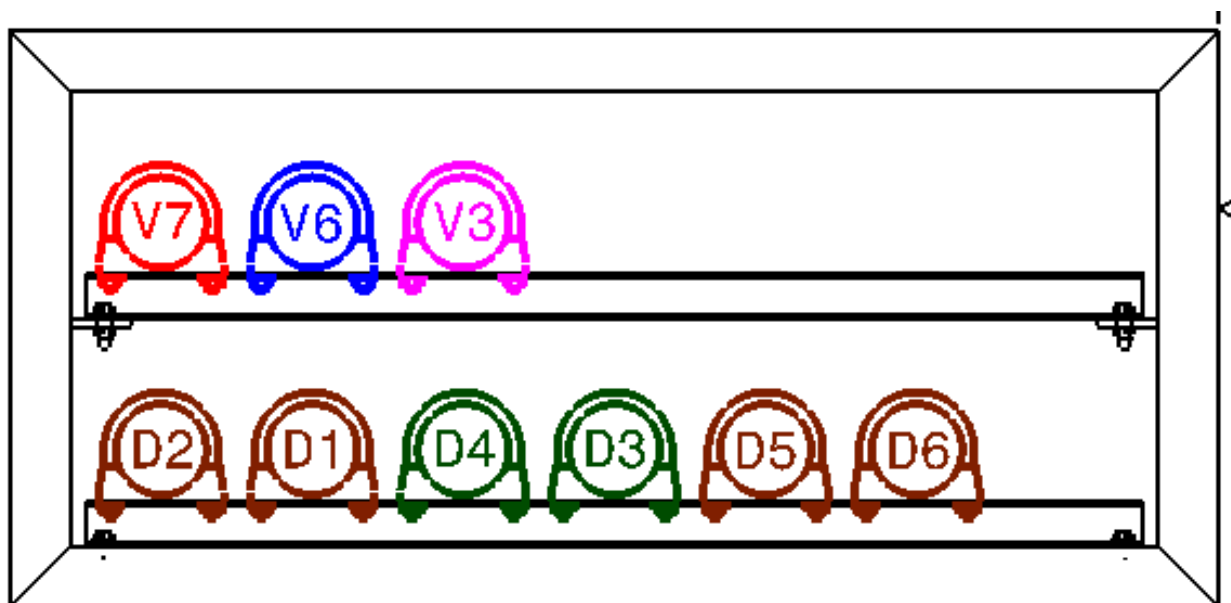
Слика 6.6. Грејач са вентилатором

На следећим сликама приказана је шема која приказује повезаност силоса, вакуум пумпи, филтера и кошева одређеним цевима. Шема је коришћења при инсталацији нове опреме ламинатора. На њој су детаљно приказане путање цеви за силосе, за вакуум пумпе и филтере. Сваки силос, вакуум пумпа и филтер су означени посебном бојом тако да је визуелно веома једноставно уочити шта са чиме повезано. Шема се користи и при одржавању и при поправкама. Када се врши превентивно одржавање филтера и вакуум пумпи, на шеми се јасно види која пумпа је повезана са којим дозером тако да се при одржавању гасе само дозери који су повезани са том пумпом. На сваком екструдеру у компанији постављена је мала шема која указује на ознаку дозера, као и ознаке вакуум пумпи и силоса који се користе на том екструдеру.

На пример: уколико се систем детектује грешку на дозеру F2, погледом на шему се лако може уочити да је поменути дозер повезан са филтером и вакуум пумпом број 7 и силосом 2, што знатно олакшава посао људима на одржавању.

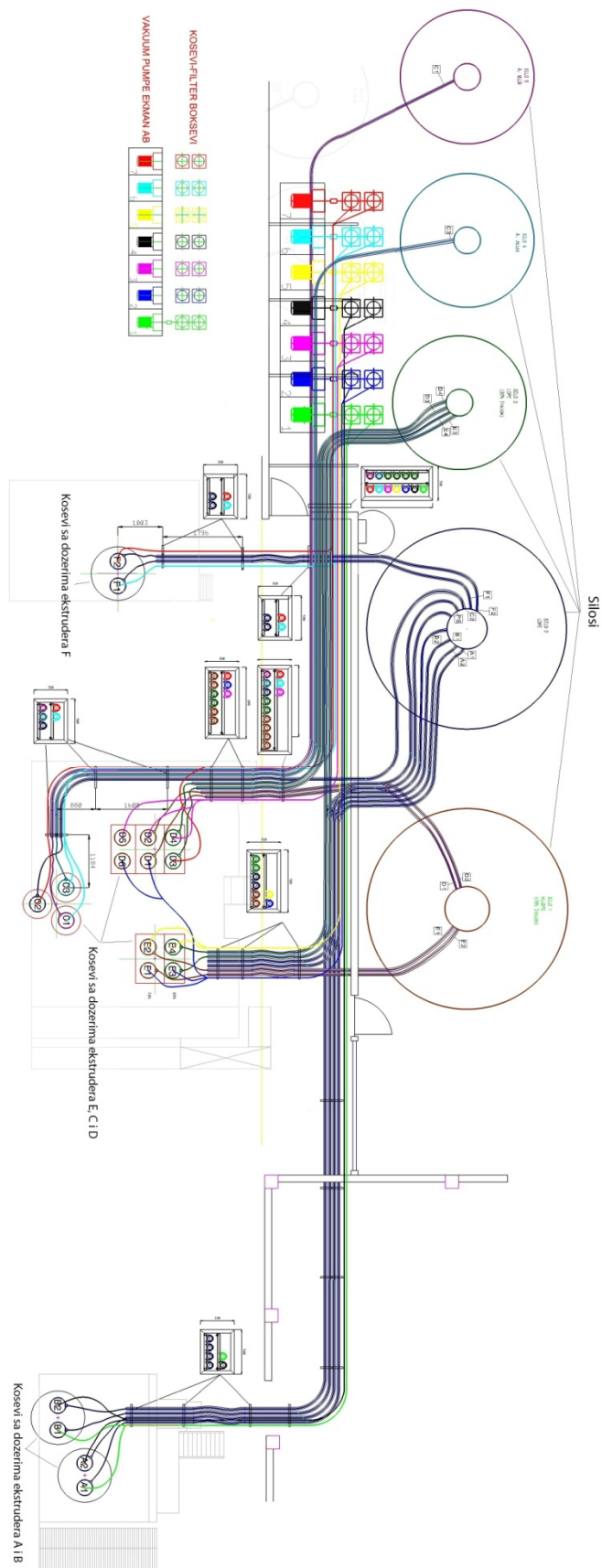


Слика 6.7. Приказ филтера и вакуум пумпи на шеми ламинатора



Слика 6.8. Мања шема која стоји на сваком екструдеру

Горњи део шеме приказује да се на том екструдеру користе филтери и вакуум пумпе број 7, 6, 3, и означене су истом бојом као што су представљени симболи пумпи на предходној слици. Доњи део шеме приказује ознаке дозера D2, D1, D4, D3, D5, D6 а боја ознаке дозера означава из којег се силоса дозер снабдева материјалом.



7. Закључак

Читав мастер рад засниван је на технологији компаније Тетра Пак. Суштина овог рада је да се у њему опише читава технологија и сам процес ламинације. Описани сегменти се односе на производни програм, материјале који се користе, опрему, на факторе који утичу на процес ламинације и могућност њиховог уклањања или смањења, као и карактеристике готових производа. Полиетилен, материјал који се користи за добијање Тетра Пак фолије мора да задовољи захтеве везане за отпорност на хемикалије, на воду и влажну средину, да има добру жиљавост и велику еластичност. Фактори који утичу на процес ламинације су температура, ваздушни простор, „врат растопа“, течење растопа, пријањање. Они представљају и област која се може усавршавати и на тај начин се постићи напредак у процесу ламинације. Ниједан од поменутих сегмента није описан до сваког детаља, јер сваки од њих засебно представља веома широку област. Сваки део технологије описане у овом раду се може користити за посебан рад и испитивања. Део конструисане опреме који је приказан у раду користи се у компанији Тетра Пак. Опрема је конструисана у складу са потребама производње и да задовољи тражене прописе и захтеве.

Компанија Тетра Пак је водећи светски лидер у производњи решења за прераду и паковање хране и пића. Компаније се фокусирала на развој одрживих производа, смањење еколошког утицаја у самом производном процесу као и повећање степена рециклаже. Како би сировине за амбалажу учинио одрживијим, Тетра Пак се фокусира на повећање употребе обновљивих материјала из природних извора који поново расту када се њима адекватно управља, као што су дрво и шећерна трска. У просеку, 75% састава Тетра Пак амбалаже чини картон пореклом од дрвета. Верујући у одговорно лидерство у пословању и у профитабилан раст уз очување животне средине, Тетра Пак континуирано подржава заједнице у којима послује. Ова одговорност иде много даље од безбедности хране кроз висококвалитетно паковање.

Литература

- [1] <http://edit.tetrapak.com/rs/about-tetra-pak/history/ourhistory>, (25.07.2015).
- [2] <http://www.thgot.de/wp-content/uploads/2014/09/02.09.14-Fayet-Pierre.pdf>, (25.07.2015).
- [3] Bogdan Nedić, Vladislav Đukić, *Plastične mase* - Mašinski fakultet, Kragujevac, 2004.
- [4] Јовановић, М., Адамовић, Д., Лазић, В., Ратковић, Н.: Машински материјали, Машински факултет Крагујевац, 2003.
- [5] http://www.glad.com.au/DownloadDocument_9707fc09.ashx.pdf, (25.07.2015).
- [6] <http://www.plastikainfo.com/te>, (25.07.2015).
- [7] Polyethylene.pdf.
- [8] <http://recikliraj.hr/simboli-i-oznake-na-ambalazi>, (25.07.2015).
- [9] [http://www.qenos.com/internet/home.nsf/\(LUIImages\)/TG4ExCo/\\$File/TG4ExCo.pdf](http://www.qenos.com/internet/home.nsf/(LUIImages)/TG4ExCo/$File/TG4ExCo.pdf), (25.07.2015).
- [10] <http://www4.ncsu.edu/~nthoppe/docs/Nonwovens%20Lamination.pdf>, (25.07.2015).
- [11] <http://article.sapub.org/pdf/10.5923.j.ajps.20120203.04.pdf>, (25.07.2015).
- [12] <http://www.lyondellbasell.com/techlit/techlit/Handbooks%20and%20Manuals/Extrusion%20Coating%206664.pdf>, (25.07.2015).
- [13] <http://www.tappi.org/content/events/10EXTRU/papers/3.2.pdf>, (25.07.2015).