

**УНИВЕРЗИТЕТ У ПРИШТИНИ**  
**СА СЕДИШТЕМ У КОСОВСКОЈ МИТРОВИЦИ**  
Природно-математички факултет

**ПОЛИМЕРИ**  
**И**  
**ПОЛИМЕРНИ МАТЕРИЈАЛИ**  
***-ПРАКТИКУМ-***

Војислав Јовановић  
Сузана Самаржија-Јовановић

Косовска Митровица, 2018. год.

# САДРЖАЈ

<b>I. ПРИПРЕМА ЗА ВЕЖБЕ У ЛАБОРАТОРИЈУ .....</b>	<b>1</b>
<b>II. МЕРЕ ПРЕДОСТРОЖНОСТИ ПРИ РАДУ У ЛАБОРАТОРИЈИ ..</b>	<b>2</b>
<b>1. ИДЕНТИФИКАЦИЈА ПОЛИМЕРА .....</b>	<b>4</b>
1.1. Увод .....	4
1.2. Примарни тестови .....	7
1.3. Испитивање горења .....	7
1.4. Испитивање растворљивости .....	17
1.5. Извођење експеримента и обрада резултата .....	18
<b>2. ИСПИТИВАЊЕ ГУСТИНЕ ПОЛИМЕРА.....</b>	<b>22</b>
2.1. Увод .....	22
2.2. Одређивање густине полимера пикнометром .....	23
2.3. Одређивање густине полимера методом лебдења.....	24
<b>3. ОДРЕЂИВАЊЕ МОЛСКЕ МАСЕ ПОЛИМЕРА.....</b>	<b>28</b>
3.1. Одређивање молске масе полимера мерењем вискозности раствора	28
3.2. Одређивање молске масе PVC-а .....	30
3.3. Одређивање расподеле молекулских маса фракционим таложењем .....	34
3.4. Одређивање расподеле молекулских маса турбидиметријском титрацијом.....	37
<b>4. ПОДЕЛА ПОЛИМЕРА .....</b>	<b>42</b>
4.1. Увод .....	42
4.2. Изоловање ДНК из грашка .....	46
4.3. Синтеза Рауп-а првог синтетичког влакна.....	49
4.4. Добијање нитроцелулозе .....	51
4.6. Одређивање степена бубрења еластомерних материјала .....	55
<b>5. ПОЛИМЕРИЗАЦИОНИ ПРОЦЕСИ.....</b>	<b>58</b>
5.1. Увод .....	58
5.2. Кондензациона полимеризација.....	58
5.3. Адициона полимеризација.....	59
5.3.1. Радикална ланчана полимеризација .....	59
5.3.2. Јонска ланчана полимеризација .....	61
5.4. Фенол-формалдехидне смоле .....	63
5.4.1. Увод.....	63
5.4.2. Синтеза резол и одређивање слободног формалдехида .....	65

5.4.3. Синтеза „NOVOLAK“ смоле .....	67
5.5. Уреа-формалдехидне смоле.....	70
5.5.1. Увод.....	70
5.5.2. Хидролиза уреа-формалдехидних смола .....	72
5.6. Синтеза уреа-формалдехидне смоле и одређивање слободног и ослобођеног формалдехида .....	73
5.6.1. Одређивање слободног формалдехида .....	74
5.6.2. Одређивање хидролитичке стабилности умрежене УФ смоле..	75
5.6.3. Одређивање губитка масе .....	76
5.6.4. Одређивање ослобођеног формалдехида бисулфитном методом.....	76
5.7 Полимеризација стирена .....	78
5.8. Синтеза ароматичних полиестара међуфазном поликондензацијом...	78
5.8.1. Увод.....	80
5.8.2. Синтеза NYLONA 6-10 (поли(хексаметиленсебацамида)) полимеризацијом на граници фаза .....	81
<b>6. ТЕРМИЧКА ДЕГРАДАЦИЈА ПОЛИМЕРА .....</b>	<b>83</b>
6.1. Увод .....	83
6.1.1. Одређивање структуре производа термичке деградације поли(винил-хлорида) UV/VIS спектроскопијом.....	84
6.1.2. Одређивање укупног хлора у PVC -у .....	88
6.1.3. Термичка деградација поли(метил-метакрилата)-PMMA .....	90

## ПРЕДГОВОР

Овај практикум, под називом “*Полимери и полимерни материјали*”, првенствено је намењен студентима Одсека за хемију Природно-математичког факултету Универзитета у Приштини са седиштем у Косовској Митровици, као помоћни уџбеник за предмете “*Полимери*”, “*Хемија макромолекула*” и “*Полимерни материјали*” који се слушају на основним и мастер академским студијама, мада га могу користити и сви други које проблематика која се у њему разматра занима.

Основна улога овог помоћног уџбеника је да омогући студентима да стекну експерименталну технику о поступцима синтезе, механизму и кинетици која ће им омогућити да успешно синтетишу и идентификују полимере и полимерне материјале. На основу тога студенти ће моћи да тумаче како се избором мономера, начином и условима извођења синтезе може утицати на својства полимера. Овај помоћни уџбеник такође може бити од користи студентима хемије Природно-математичких факултета где се изводи настава из истих или сличних предмета.

Аутори се посебно захваљују рецензентима проф. др Јарослави Будински-Симендић са Технолошког факултета Универзитета у Новом Саду и др Ивану Ристићу, доценту, такође са Технолошког факултета Универзитета у Новом Саду, што су се прихватили захтевног и одговорног посла рецензије овог помоћног уџбеника као и на корисним сугестијама које су допринеле побољшању садржаја овог помоћног уџбеника.

Аутори се такође захваљују свима који, читајући овај помоћни уџбеник, својим сугестијама допринесу да се побољша квалитет наредних издања.

Косовска Митровица  
август 2018. године

Аутори

## I. ПРИПРЕМА ЗА ВЕЖБЕ У ЛАБОРАТОРИЈИ

- Детаљно прочитати текст вежбе пре уласка у лабораторију.
- Уколико постоје неке недоумице у вези вежбе, записати их и питати асистента. Једноставно питање може знатно скратити време потребно за извођење вежби.
- Све податке записивати у дневник рада. Не користити листове папира или различите блокове јер се папири лако изгубе.
- Направити потребне табеле и евентуално прорачуне за потребне хемикалије како би пре започели вежбе.
- Опрати лабораторијско посуђе на крају вежби тако да је спремно за друге вежбе. Многи студенти непотребно троше време на прање и сушење посуђа које ће им служити само да прокувају воду.
- Често студенти толико журе да заврше вежбу да забораве да запишу важна запажања као што су: време кад се нешто догодило, промену боје, ендотермну или егзотермну промену, промену агрегатног стања, тачку кључања, тачку топљења, температуру у лабораторију итд.
- Кад асистент разговара с другим студентима, пажљиво слушати, можда нешто од тога може помоћи при изради вежбе.
- Важно је из сигурносних разлога знати што се сме, а што не сме радити у лабораторију; не само због личне сигурности, већ и због сигурности свих колега.

## II. МЕРЕ ПРЕДОСТРОЖНОСТИ ПРИ РАДУ У ЛАБОРАТОРИЈИ

1. Никад не радити у лабораторији без надзора или знања асистента или лаборанта.
2. Током рада у лабораторији сви студенти морају носити заштитне наочаре (уколико не носе диоптријске) и закопчан радни мантил.
3. Особе с дугом косом морају косу причврстити укосницама или траком јер се због употребе отвореног пламена коса, а и брада могу запалити.
4. У лабораторији је препоручљиво носити затворене ципеле да би се стопала заштитила од опекотина које могу настати при раду с киселинама, базама, врућим растворима или комадићима ужареног стакла.
5. У лабораторији није дозвољено пушење, као ни јело, ни пиће, а поготово се не сме лабораторијско посуђе користити за припремање хране или пића.
6. Устима се не смеју пипетирати: концентроване киселине, отровни и корозивни раствори, нити удисати отровне паре. У ту сврху користе се пропипете.
7. Пре почетка извођења било ког експеримента треба добро проучити хемијску реакцију и предвидети њен даљи могући неконтролисани ток.
8. При сипању реагенса не нагињати се над отвор посуде како капљице реагенса не би прскале по лицу и одећи.
9. При загревању епрувете, не окретати отвор према себи или према особама које се налазе у близини. Уколико капи течности падну на лице или руке треба их одмах опрати водом. Уколико су

то биле капи концентроване киселине, место на кожи треба испрати водом, а затим разблаженим раствором  $\text{NaHCO}_3$  (соде бикарбоне). Уколико су то биле капи раствора база, место на кожи испрати с водом, а затим раствором сирћетне или лимунске киселине и то све дотле док не престане бити „клизаво“.

10. При мешању концентроване киселине и воде увек сипати **КИСЕЛИНУ У ВОДУ**, а никада обрнуто због опасности прскања из посуде.
11. У случају опекотине од усијаних предмета опечено место треба овлажити концентрованим раствором калијум перманганата, док кожа не постане смеђа или опечено место прекрити ватом која је наквашена течношћу против опекотина.
12. Никад не мирисати паре лако-испарљивих једињења или гасова који се издвајају током хемијских реакција нагињући се над посудом.
13. У кондензатор хладна вода улази на дну, а излази на врху. Увек проверити да ли вода тече пре него се укључи грејање.
14. При дестилацији никад не упаравати до сува. Остатак може постати нестабилан и експлодирати (поготово ако су у питању етар или алкохол који стварају органске пероксиде).
15. Код извођења екстракције, сачувати оба слоја док се са сигурношћу не утврди који треба оставити, а који одбацили.
16. Никад не остављати реакцију или процес без надзора.
17. Све експерименте с испарљивим и лако запаљивим супстанцама (бензин, алкохол, етар) треба изводити што даље од извора пламена и у дигестору. При гашењу тих материја употребљава се песак којим се засипа пламен.

# 1. ИДЕНТИФИКАЦИЈА ПОЛИМЕРА

## 1.1. Увод

Најшира дефиниција **полимера** са аспекта структуре је да су то супстанце изграђене од великог броја мономера. Прецизнија дефиниција је: полимери су **кондензовани системи великог броја молекула малих молских маса**, што значи да постоје у чврстом и течном стању, и не могу постојати у гасовитом агрегатном стању.

**Систем** значи да полимер чине структурни елементи (макромолекули или полимерни молекули) који су у интеракцији. Другим речима, сваки структурни елемент има релативно високи степен индивидуалности (може се уочити у односу на остале структурне елементе) али постоји и деловање структурних елемената једних на друге.

Основна структурна јединица полимера је мономер који може имати већу или мању молску масу. **Макромолекули** (грч. *makros*-велики, дуг, висок) су молекули велике молске масе, међутим да би били полимери морају имати понављајуће јединице тзв. **мере**. Дакле, макромолекул може бити структурни део полимера али само ако се угради више пута у полимерну структуру. Већ сам назив полимер (грч. *poly*-многа, *meros*-део) указује на ту њихову карактеристику. За њих је карактеристична врло висока молска маса реда величине хиљаду или милион  $gmol^{-1}$ . Молекули који су изграђени од само једног таквог мера називају се **мономерима** (грч. *monos*-један). По структури **мер** може бити врло близак молекулу полазног мономера, али није истоветан. Мер може бити неправилног и често комплексног облика. Сегмент и основни мотив чине структурне јединице макромолекула тј. полимера. **Основни мотив** представља у полимеру структурну јединицу, тј. конституциону јединицу која се понавља дуж ланца и не треба га мешати са појмом мера. **Сегмент** представља такође структурну или кинетичку јединицу и користи се као почетни појам при анализи веза структуре и понашања макромолекула. Број типова понављаних јединица у једном макромолекулу је мали, најчешће само један или два. У смислу ове дефиниције "молекул" је систем атома у којем нема понављања конституционих јединица и која због тога има малу



молекулску масу. Молекулска маса сложенијих органских молекула износи 250-500. Маса понављајућих јединица макромолекула упоредива је с масом молекула. Будући да се органски молекул може сматрати изграђеним од само једне јединице он се онда назива мономером. Полимерни молекули синтетизују се процесом **полимеризације** из одговарајућих мономера као почетног материјала.

Такође, врло је важно одмах на почетку дефинисати појмове репрезентативни узорак и лабораторијски узорак. **Репрезентативни узорак** је случајно (статистички) одабрана количина материјала потребна при испитивању, а издвојена из целокупне количине материјала (основни скуп). **Лабораторијски узорак** је део референтног узорка који се испитује у лабораторији – може бити безобличан (нпр. испитивање праха) или се прави у одређеном облику (нпр. епрувета при испитивању механичких својстава материјала). У даљем тексту, ради поједностављења, користиће се само израз узорак уместо лабораторијски узорак.

**Синтетски (синтетички) полимери** су општи назив за *полипласте* који укључује пластомере, дуромере, еластомере и еластопластомере. Синтетска влакна и помоћни полимерни материјал (обично се употребљавају у облику раствора или дисперзија у производњи лепкова, лакова, премаза, средстава за обраду коже, папира и текстила) такође су полипласти, али код којих су посебним начином прераде постигнута карактеристична својства којима се тај материјал разликује од осталих полипласта.

**Полимерни материјал** је све оно што се прерађује тј. оно од чега је израђен готов производ. Технолошки процес производње полимерних материјала (слика 1.1) полази од мономера, из којег се у првој фази поступком полимеризације у реактору добије полимеризат (прах или куглице). Мономер се добија од сировине као што је нафта, природни гас, угаљ или из обновљивих сировина. Својства полимеризата зависе од његове структуре на коју се може утицати контролисаном полимеризацијом. **Полимеризат** представља синтетску полимерну материју и основни је састојак полимерног материјала. Након процеса полимеризације и добивања полимеризата, следи друга фаза у којој се полимеризат даље оплемењује (модификује) мешањем с одговарајућим адитивима за модификацију својстава (пунила, омекшивачи,

стабилизатори, успоривачи горења, боје, и др.) при чему настају полимерни материјали.



Слика 1.1. Састојци полимерног материјала.

Идентификација полимерног материјала у ствари подразумева одређивање врсте, типа као и хемијског састава његовог основног састојка. Та се одређивања изводе хемијским и структурним анализама, које су у већини случајева врло сложене, дуготрајне и захтевају велико искуство. Међутим, често је за примену у пракси за прву информацију довољно одредити којој групи полимер припада и каква се својства могу према томе очекивати, тј. барем приближно одредити о којем се полимеру ради. У ту сврху потребан је низ података добивених на основу једноставних испитивања. Поступак испитивања тада обухвата:

1. примарне тестове који дају полазну основу за утврђивање о каквом се полимеру ради. То су:
  - намена, изглед, боја и мирис;
  - крутост;
  - понашање при загревању и
  - густина