

SADRŽAJ

PREDGOVOR.....	i
SADRŽAJ.....	iii
1. UVOD.....	1
1.1. Osnovni pojmovi.....	1
1.2. Funkcije ambalaže.....	2
1.2.1. Suština zaštitne funkcije ambalaže.....	3
1.2.2. Funkcija racionalizacije.....	4
1.2.3. Funkcija komunikacije.....	5
1.3. Podela ambalaže.....	6
1.4. Nastajanje ambalaže i potrebe za ambalažom.....	8
1.5. Značaj ambalaže.....	9
1.6. Materijali koji se najčešće koriste za izradu ambalaže.....	10
1.6.1. Papir, karton i lepenka.....	12
1.6.2. Drvo.....	14
1.6.3. Metali.....	15
1.6.4. Staklo.....	17
1.6.5. Polimerni materijali.....	19
1.6.5.1. Višeslojna ambalaža od polimernih i kombinovanih materijala.....	24
1.6.5.2. Ekološka svojstva ambalaže od polimernih materijala.....	29
1.7. Literatura.....	31
2. POLIMERNI MATERIJALI KOJI SE NAJVIŠE KORISTE ZA IZRADU AMBALAŽE I NJIHOVA OSNOVNA SVOJSTVA.....	33
2.1. Definicije osnovnih pojmova i opis pojedinih svojstava polimera.....	33
2.1.1. Terminologija.....	33
2.1.2. Nomenklatura polimera.....	37
2.1.3. Klasifikacija polimera.....	40
2.1.3.1. Klasifikacija polimera prema poreklu sirovina i biorazgradljivosti.....	40
2.1.3.2. Klasifikacija polimera prema mehanizmu reakcije polimerizacije.....	41
2.1.3.3. Klasifikacija prema načinu povezivanja monomera u makromolekule.....	42
2.1.3.4. Klasifikacija prema vrsti, načinu povezivanja i rasporedu monomera u makromolekulskom lancu.....	43
2.1.3.5. Klasifikacija polimera prema karakterističnim svojstvima koja određuju oblast primene.....	45

2.1.4. Intra- i intermolekulske interakcije prisutne kod polimera, stanja i nadmolekulska struktura polimera.....	46
2.1.4.1. <i>Intra- i intermolekulske interakcije prisutne kod polimera</i>	46
2.1.4.2. <i>Stanja i nadmolekulska struktura polimera</i>	50
2.1.4.3. <i>Stanja termoplastičnih polimera i njihova promena sa temperaturom</i>	53
2.1.5. Osnovna svojstva polimera.....	58
2.1.5.1. <i>Gustina polimera</i>	59
2.1.5.2. <i>Mehanička svojstva polimera</i>	59
2.1.5.3. <i>Površinska svojstva polimera</i>	59
2.1.5.4. <i>Barijerna svojstva polimera</i>	60
2.1.5.5. <i>Optička svojstva polimera</i>	60
2.1.5.6. <i>Električna svojstva polimera</i>	61
2.1.5.7. <i>Termička svojstva polimera</i>	61
2.1.5.8. <i>Starenje polimernih materijala</i>	62
2.1.6. Pomoćne supstance – aditivi za poboljšanje prerade i svojstava polimernih materijala	65
2.1.6.1. <i>Omekšivači</i>	65
2.1.6.2. <i>Stabilizatori</i>	66
2.1.6.3. <i>Klizna sredstva</i>	68
2.1.6.4. <i>Boje</i>	68
2.1.6.5. <i>Punila i ojačivači</i>	69
2.1.6.6. <i>Antistatici</i>	69
2.1.6.7. <i>Sredstva za ekspaniranje</i>	69
2.1.6.8. <i>Aditivi za smanjenje zapaljivosti i gorenja</i>	69
2.1.6.9. <i>Kompatibilizeri</i>	70
2.2. Polimerni materijali na bazi fosilnih sirovina koji se koriste za izradu ambalaže	71
2.2.1. Poliolefini	72
2.2.1.1. <i>Polieteni (PE)</i>	72
2.2.1.2. <i>Kopolimeri etena sa polarnim komonomerima</i>	80
2.2.1.3. <i>Polipropen (PP)</i>	86
2.2.2. Polistireni (PS)	92
2.2.2.1. <i>Standardni – ataktični polistiren i kopolimeri stirena sa α- i p-metilstirenom</i>	92
2.2.2.2. <i>Sindiotaktični i izotaktični polistiren</i>	94
2.2.2.3. <i>Ekspanirani – penasti polistiren (PS-E)</i>	95
2.2.2.4. <i>Poboljšanje svojstava polimera na bazi polistirena</i>	95
2.2.3. Polivinilhlorid (PVC)	100
2.2.3.1. <i>Tvrđi polivinilhlorid (PVC-U)</i>	101
2.2.3.2. <i>Modifikovanje svojstava PVC-a</i>	102
2.2.3.3. <i>PVC otporan na udar (PVC-I)</i>	104
2.2.3.4. <i>Hlorovani polivinilhlorid (PVC-C)</i>	105

2.2.3.5. Meki polivinilhlorid (PVC-P).....	106
2.2.4. Polivinilidenhlorid (PVDC).....	108
2.2.5. Poliestri.....	110
2.2.5.1. Polialkilentereftalati – polietilentereftalat (PET) i polibutilentereftalat (PBT).....	110
2.2.6. Polietilennaftalat (PEN).....	116
2.2.7. Polikarbonati (PC).....	117
2.2.7.1. Svojstva, prerada i primena polikarbonata.....	118
2.2.7.2. Modifikovanje svojstava polikarbonata.....	120
2.2.8. Poliamidi (PA).....	121
2.2.8.1. Alifatski poliamidi.....	122
2.2.8.2. Delimično aromatski poliamidi.....	124
2.2.8.3. Potpuno aromatski poliamidi.....	124
2.2.8.4. Svojstva, prerada i primena poliamida koji se koriste za izradu ambalaže.....	124
2.2.9. Polivinilacetat (PVAC).....	128
2.2.10. Polivinilalkohol (PVAL).....	129
2.2.11. Fluoropolimeri.....	130
2.2.12. Poliakrilati i kopolimeri.....	132
2.2.12.1. Polimetilmetakrilat (PMMA).....	133
2.2.12.2. Poliakrilonitril (PAN).....	134
2.2.13. Termoočvršćavajući polimerni materijali.....	135
2.2.13.1. Termoočvršćavajući polimeri na bazi nezasićenih poliesterarskih smola (UP).....	135
2.2.13.2. Termoočvršćavajući polimeri na bazi epoksidnih smola.....	138
2.2.14. Poliuretani (PU).....	140
2.3. Biopolimeri.....	141
2.3.1. Uvod.....	141
2.3.1.1. Razvoj kapaciteta za proizvodnju biopolimera.....	146
2.3.1.2. Oblasti primene biorazgradivih biopolimera.....	148
2.3.1.3. Perspektive razvoja biopolimera na bazi obnovljivih sirovina ..	149
2.3.1.4. Proizvodnja hrane ili biopolimera i bioenergenata?.....	152
2.3.2. Najčešće korišćeni biopolimeri na bazi obnovljivih sirovina koji su i biorazgradivi.....	153
2.3.2.1. Modifikovani prirodni polimeri.....	153
2.3.2.2. Biopolimeri dobijeni biosintezom polazeći od obnovljivih niskomolekulskih i makromolekulskih sirovina.....	170
2.3.3. Biopolimeri na bazi obnovljivih sirovina koji su bionerazgradivi ...	175
2.3.3.1. Biopolieten (Bio-PE)[117].....	175
2.3.3.2. Biopolipropen (Bio-PP).....	175
2.3.3.3. Biopolivinilhlorid (Bio-PVC).....	175
2.3.3.4. Biopolietilentereftalat (Bio-PET).....	176
2.3.3.5. Polietilenfuranoat (PEF).....	176

2.3.4. Biorazgradivi polimeri na bazi fosilnih sirovina	177
2.4. Literatura	178
3. PRERADA TERMOPLASTIČNIH POLIMERA U AMBALAŽNE MATERIJALE I AMBALAŽU	185
3.1. Priprema polimera za izradu ambalažnih materijala i ambalaže.	185
3.1.1. Umešavanje pomoćnih supstanci – aditiva u sirovi polimer	186
3.1.1.1. Mešač za mešanje polimera i aditiva u čvrstom stanju pri sobnoj temperaturi	187
3.1.1.2. Kombinacija toplog i hladnog brzog mešača sa vrtložnim mešanjem	187
3.1.1.3. Kontinualno umešavanje aditiva u polimer u stanju rastopa ..	189
3.1.2. Promena oblika i veličine čestica polimera	189
3.1.2.1. Granulacija polimera	189
3.1.2.2. Usitnjavanje polimera	191
3.1.3. Sušenje polimernih materijala pre dalje prerade	191
3.2. Prerada polimera u ambalažne polimerne materijale i ambalažu .	193
3.2.1. Ekstruzija	193
3.2.1.1. Proizvodnja folija od polimernih materijala za izradu fleksibilne ambalaže	197
3.2.1.2. Proizvodnja šupljih tela od polimernih materijala tehnikom ekstruzionog duvanja	205
3.2.2. Brizganje - livenje pod pritiskom	209
3.2.2.1. Proizvodnja boca i drugih šupljih tela od polimernih materijala kombinacijom brizganja i duvanja	213
3.2.3. Kalandriranje	215
3.2.4. Termooblikovanje	216
3.2.5. Polimerne pene	220
3.2.6. Spajanje – povezivanje predmeta od polimernih materijala	224
3.2.6.1. Zavarivanje polimernih materijala	224
3.2.6.2. Spajanje polimera lepljenjem	231
3.3. Literatura	241
4. INTERAKCIJA PAKOVANOG PROIZVODA SA OKOLINOM ..	243
4.1. Propustljivost polimera za gasove i pare	244
4.1.1. Vezivanje vode polimerima	251
4.1.2. Vrednosti koeficijenata propustljivosti kiseonika, ugljen-dioksida, azota i vodene pare za nekoliko izabranih polimernih materijala ...	251
4.1.3. Primeri uticaja kiseonika, vodene pare i ugljen-dioksida na pakovane proizvode	255
4.1.3.1. Uticaj kiseonika na pakovani proizvod	256
4.1.3.2. Uticaj vlage na svojstva upakovanog proizvoda	260

4.2. Migracija	263
4.2.1. Modelovanje migracije.....	269
4.3. Literatura	273
5. POSTUPCI I POMOĆNA SREDSTVA ZA OPLEMENJIVANJE POVRŠINE AMBALAŽE OD POLIMERNIH MATERIJALA	275
5.1. Uvod.....	275
5.2. Površinska svojstva polimernih materijala	276
5.3. Priprema površine polimernog materijala za oplemenjivanje.....	284
5.3.1. Uklanjanje površinskog naelektrisanja	284
5.3.2. Obrada površine ambalažnog polimernog materijala korona postupkom.....	286
5.3.3. Obrada površine ambalažnih materijala i ambalaže plamenom	288
5.3.4. Obrada ambalažnog polimernog materijala kompatibilizerom	290
5.3.5. Sredstva za sprečavanje nastajanja kapi vode na unutrašnjoj površini ambalaže	291
5.4. Dekorativno ili optičko oplemenjivanje ambalaže.....	291
5.4.1. Bojenje ambalaže od polimernih materijala	291
5.4.2. Lakiranje ambalažnih polimernih materijala i/ili gotove ambalaže.....	291
5.4.3. Oplemenjivanje ambalažnih materijala i ambalaže štampanjem.....	293
5.4.3.1. <i>Visoka štampa</i>	295
5.4.3.2. <i>Duboka štampa</i>	298
5.4.3.3. <i>Ravna ofset štampa</i>	299
5.4.3.4. <i>Sito štampa</i>	302
5.4.3.5. <i>Tampon štampa</i>	303
5.4.3.6. <i>Digitalna štampa</i>	304
5.5. Funkcionalno oplemenjivanje ambalažnih materijala i ambalaže od polimernih materijala	309
5.5.1. Sulfonovanje.....	309
5.5.2. Fluorovanje.....	309
5.5.3. Oplemenjivanje polimernih materijala i ambalaže od polimernih materijala obradom plazmom pri niskom pritisku	310
5.5.4. Nanošenje tankih slojeva metala na površinu polimernih ambalažnih materijala naparavanjem	313
5.6. Literatura	315
6. SAVREMENE TEHNIKE PAKOVANJA PREHRAMBENIH, FARMACEUTSKIH I KOZMETIČKIH PROIZVODA	317
6.1. Pakovanje proizvoda u modifikovanoj atmosferi	317
6.1.1. Načini modifikovanja atmosfere u pakovanju.....	318
6.1.2. Gasovi koji se koriste za modifikovanje atmosfere u pakovanju	323

6.1.3. Izbor sastava gasne smeše za pakovanje u modifikovanoj atmosferi.....	326
6.2. Aktivna i inteligentna ambalaža.....	328
6.2.1. Aktivna ambalaža.....	328
6.2.1.1. <i>Vezivanje kiseonika</i>	330
6.2.1.2. <i>Vezivanje ili otpuštanje ugljen-dioksida (CO₂)</i>	332
6.2.1.3. <i>Vezivanje etena (C₂H₄)</i>	332
6.2.1.4. <i>Doziranje antimikrobnih supstanci aktivnih komponenti</i>	332
6.2.1.5. <i>Vezivanje vlage iz gasne faze u pakovanju</i>	334
6.2.1.6. <i>Druge funkcije aktivne ambalaže</i>	334
6.2.2. Inteligentna ambalaža.....	335
6.2.2.1. <i>Indikatori vreme-temperatura</i>	336
6.2.2.2. <i>Indikatori ugljen-dioksida</i>	337
6.2.2.3. <i>Indikatori kiseonika</i>	337
6.2.2.4. <i>Indikatori svežine proizvoda</i>	338
6.2.2.5. <i>Primena radiofrekventne tehnologije</i>	338
6.3. Literatura.....	339
7. METODE KARAKTERISANJA POLIMERNIH AMBALAŽNIH MATERIJALA I AMBALAŽE.....	341
7.1. Ispitivanje svojstava ambalažnih polimernih materijala.....	342
7.1.1. <i>Određivanje gustine ambalažnih polimernih materijala [1]</i>	342
7.1.2. Ispitivanje mehaničkih svojstava polimernih materijala.....	343
7.1.2.1. <i>Ispitivanje zateznih svojstava polimernih materijala</i>	344
7.1.2.2. <i>Ispitivanje otpornosti polimernih materijala na udar</i>	347
7.1.2.3. <i>Ispitivanje svojstava polimernih materijala pri savijanju</i>	350
7.1.2.4. <i>Ispitivanje svojstava polimernih materijala pri pritiskivanju</i>	351
7.1.2.5. <i>Ispitivanje ponašanja polimernih materijala pri smicanju</i>	352
7.1.2.6. <i>Ispitivanje ponašanja polimernih fleksibilnih folija pri cepanju</i>	353
7.1.2.7. <i>Ispitivanje svojstava polimernih materijala pri puzanju</i>	354
7.1.2.8. <i>Ispitivanje zamora polimernih materijala</i>	356
7.1.2.9. <i>Ispitivanje tvrdoće polimernih materijala</i>	357
7.1.2.10. <i>Ispitivanje abrazije (habanja) polimernih materijala</i>	358
7.1.2.11. <i>Ispitivanje dimenzione postojanosti polimernih materijala</i>	359
7.1.3 Ispitivanje hemijskih svojstava polimernih materijala.....	360
7.1.4. Ispitivanje barijernih svojstava polimernih materijala i migracije hemikalija iz polimernih materijala i obrnuto.....	363
7.1.4.1. <i>Ispitivanje barijernih svojstava polimernih materijala</i>	363
7.1.4.2. <i>Ispitivanje migracije hemikalija iz ambalažnih polimernih materijala u pakovani proizvod</i>	366
7.1.5. Ispitivanje termičkih svojstava polimernih materijala.....	370

7.1.6. Ispitivanje optičkih svojstava polimernih materijala	373
7.2. Ispitivanje svojstava ambalažnih jedinica izrađenih od polimernih materijala.....	375
7.2.1. Dimenzije i oblik	375
7.2.1.1. Metode za određivanje dimenzija, mase po jedinici površine i zapremine ambalaže od polimernih materijala.....	375
7.2.1.2. Ispitivanje odstupanja ambalaže od odgovarajućeg oblika	376
7.2.1.3. Ispitivanje dimenzija navoja zatvarača	376
7.2.1.4. Ispitivanje dimenzione postojanosti polimernih folija.....	377
7.2.2. Ispitivanje mehaničkih svojstava ambalaže od polimernih materijala	377
7.2.2.1. Ispitivanje zateznih svojstava ambalaže od polimernih materijala	377
7.2.2.2. Ispitivanje otpornosti na udar ambalaže od polimernih materijala	377
7.2.2.3. Ispitivanje svojstava ambalaže od polimernih materijala pri pritisku.....	379
7.2.3. Određivanje koeficijenta trenja ambalaže od polimernih materijala	379
7.2.4. Testiranje ambalaže od polimernih materijala na curenje	382
7.2.5. Određivanje zaostalog rastvarača i omekšivača u fleksibilnoj ambalaži	383
7.2.6. Ispitivanje ambalaže bezbedne za decu	384
7.3. Literatura	385
8. DOPRINOS ODRŽIVOM RAZVOJU PRIMENOM, PONOVNOM UPOTREBOM I ODLAGANJEM NA DEPONIJE AMBALAŽE OD POLIMERNIH MATERIJALA	387
8.1. Ekosistem naše planete	387
8.2. Doprinos održivom razvoju primenom polimernih materijala za izradu ambalaže	393
8.3. Doprinos održivom razvoju ambalažnog polimernog otpada kao izvora sekundarnih sirovina	396
8.3.1. Smanjenje količine polimernog otpada	398
8.4. Doprinos održivom razvoju recikliranjem polimernog otpada u nove materijale i hemijske sirovine i sagorevanjem u energiju	400
8.4.1. Recikliranje polimernog otpada u cilju dobijanja novih materijala... 400	
8.4.1.1. Sakupljanje i grubo razvrstavanje polimernog otpada	402
8.4.1.2. Skladištenje polimernog otpada	403
8.4.1.3. Usitnjavanje polimernog otpada	403
8.4.1.4. Čišćenje polimernog otpada pranjem i ekstrakcijom	404
8.4.1.5. Razvrstavanje polimernog otpada	404

8.4.1.6. Sušenje polimernog otpada	411
8.4.1.7. Korišćenje recikliranih polimera za izradu ambalaže za pakovanje životnih namirnica	412
8.4.2. Recikliranje polimernog otpada u sirovine – hemijsko recikliranje	414
8.4.3. Upotreba polimernog otpada za dobijanje energije	418
8.4.4. Ponovna upotreba biorazgradivih polimera	421
8.4.5. Odlaganje polimernog otpada na deponije	423
8.4.6. Doprinos ambalaže od polimernih materijala obezbeđenju više hrane za gladne stanovnike sveta	427
8.4.7. Dodatak – kodovi za identifikaciju polimernih materijala	429
8.5. Literatura	430
9. PRAVCI RAZVOJA AMBALAŽE OD POLIMERNIH MATERIJALA	433
9.1. Bioekonomija	434
9.2. Zakon o ekonomiji kružnog toka	435
9.3. Primena nanotehnologije pri proizvodnji prehrambenih, farmaceutskih i kozmetičkih proizvoda kao i ambalaže od polimernih materijala	436
9.4. Literatura	441