

PRIMENA CIKLODEKSTRINA U OBLASTI TEKSTILA

U radu je opisana primena ciklodekstrina u području tekstila. Ciklodekstrini su kristalni, vodorastvorni, ciklični, neredukujući oligosaharidi izgrađeni od šest, sedam ili osam glukopiranoznih jedinica. Poznati su kao proizvodi koji su sposobni da obrazuju inkluzione komplekse. Ta njihova sposobnost može biti upotrebljena, npr., za uklanjanje neprijatnih mirisa sa tekstila i sl. Osim toga, relativno su lako moguće neke modifikacije osnovnih ciklodekstrina. Takvi derivati mogu biti reaktivni (npr. ciklodekstrin sa monohlorotriazinil grupom), više hidrofilni (posredstvom hidrofilnih bočnih grupa, kao što su hidroksipropil i hidroksietil), manje hidrofilni (posredstvom lipofilnih bočnih grupa, kao što je etilheksil glicidil) ili jonski (posredstvom jonskih bočnih grupa, kao što je hidroksipropil trimetil amonijum hlorid). Metode za obradu tekstila su vrlo jednostavne, tako je metoda koja koristi tzv. "sidro-vezivanje" ciklodekstrina naročito korisna, jer nije neophodan agens za fiksiranje. Na taj način moguće je koristiti konvencionalne uređaje i standardne postupke obrade tekstila. Dalje, ova metoda praktično nema ograničenja s obzirom na vrstu upotrebljenog tekstilnog materijala.

Ciklodekstrini (CD) spadaju u grupu cikličnih, neredukujućih matooligosaharida izgrađenih od šest ili više α -D-glukopiranoznih jedinica povezanih međusobno α -1,4-glukozidnim vezama (slike 1 i 2). CD mogu biti različitog stepena polimerizacije, pa se u skladu s tim, označavaju grčkim slovima: α -ciklodekstrin (α -CD), β -ciklodekstrin (β -CD), γ -ciklodekstrin (γ -CD), sa stepenima polimerizacije od 6, 7 i 8, respektivno. Zahvaljujući svojoj strukturi CD mogu graditi inkluzione komplekse sa mnogobrojnim organskim i neorganskim molekulima, menjajući pri tome fizičko-hemijske osobine molekula ugrađenih u šupljinu CD [1].

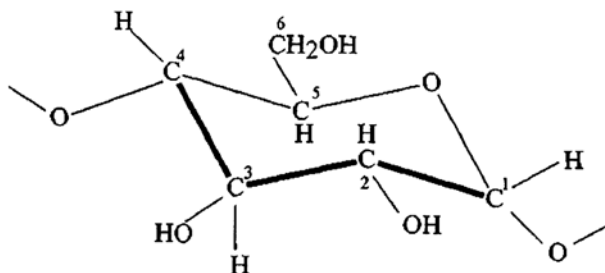
Strukturne glukopiranozne jedinice CD postavljene su simetrično oko zamišljene centralne ose (slike 2 i 3), svi atomi kiseonika glukozidnih veza usmereni su prema unutrašnjosti molekula i obrazuju u ravni, perpendikularne ose simetrije, pravilan mnogougao. Nagnut položaj glukopiranoznih prstenova daje CD oblik blago konusnog cilindra. Hidroksilne grupe glukoznih ostataka postavljene su pravilno. Primarne (C6) hidroksilne grupe raspoređene su na užem delu molekula. Sekundarne hidroksilne grupe (C2 i C3) raspoređene su na suprotnom, širem delu molekula [1,2].

Unutrašnja šupljina molekula CD sadrži glukozidne kiseonike i vodonikove atome. Zbog toga, unutrašnja šupljina ima delimično hidrofobni karakter i usled povećane elektronske gustine može se razmatrati kao slaba Luisova baza. Ova svojstva unutrašnje šupljine su preduslov za obrazovanje kompleksa sa raznim molekulima – "gostima".

U vodenom rastvoru molekuli CD su hidratizovani, i najverovatnije dimerizovani. Broj molekula vode, koji

ulaze u šupljinu CD, iznosi 6 za α -CD, 11 za β -CD i 17 za γ -CD. Ova unutarmolekulska voda lako se može istisnuti hidrofobnijim molekulima pri obrazovanju kompleksa.

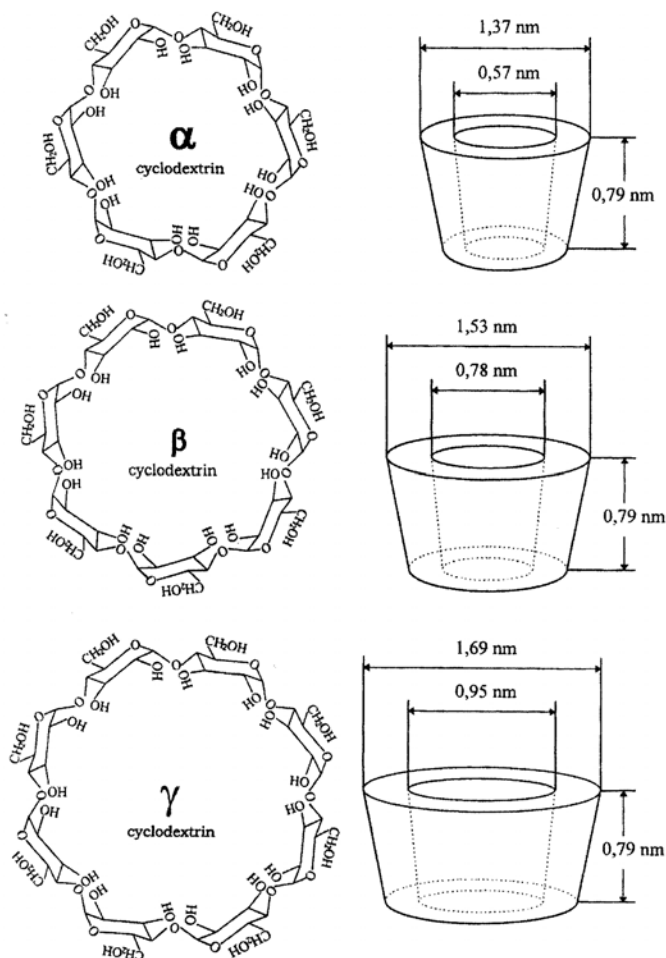
Karakteristika CD je i njihova makromolekulska hiralnost. Osa hiralnosti je osa simetrije molekula. Ukoliko posmatramo molekul sa strane primarnih hidroksilnih grupa sve 1→4 veze usmerene su u suprotnom smeru od kretanja kazaljki na satu [2–3].



Slika 1. Ostatak α -D-glukopiranoze u konformaciji stolice
Figure 1. Chair conformation of the α -D-glucopyranose residue

Sintezu CD omogućava enzim CD glukano-transferaza (CGT-aza), koga ekstracelularno proizvode neke vrste bakterija. Među proizvođačima CGT-aze najrasprostranjenije su bakterije iz roda *Bacillus*, a najčešće se kao proizvođači sreću *Bacillus macerans* i alkalofilne bakterije predstavnici ovog roda. CGT-aze različitih proizvođača se međusobno razlikuju prema specifičnosti za obrazovanje α -, β - i γ -CD, ali uglavnom CGT-aze, delovanjem na skrob, obrazuju smešu α -, β - i γ -CD u različitom odnosu [3–6].

Veliki interes za CD, koji danas postoji u svetu, uzrokovan je u prvom redu širokim mogućnostima njihove praktične primene u raznim oblastima industrije. Od posebnog značaja je primena CD u farmaceutskoj, prehrambenoj i kozmetičkoj industriji, poljoprivredi, tekstilu, itd.



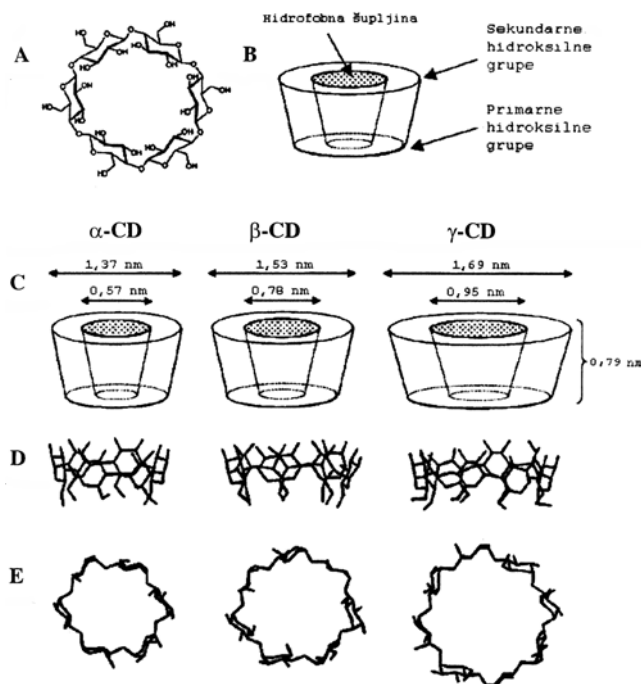
Slika 2. Struktura i dimenzije molekula α -, β - i γ -CD
Figure 2. Structure and dimensions of α -, β - and γ -CD molecules

OSOBINE CIKLODEKSTRINA

U čvrstom stanju CD predstavljaju sitan kristalni prah. Oblik kristala karakterističan je za svaki CD. Kristali sadrže određenu količinu kristalne vode, čija se količina može menjati. Pri potpunoj dehidraciji, CD prelaze u amorfnu formu. CD nemaju jasnu temperaturu topljenja, na 200°C počinje njihovo razlaganje. Gustina CD iznosi 1,42–1,45 g/cm³ u zavisnosti od količine vode [7–9]. Osnovne karakteristike date su u tabeli 1.

Tabela 1. Osnovne karakteristike α -, β i γ -CD
Table 1. Basic characteristics of α -, β and γ -CD

Svojstva	α -CD	β -CD	γ -CD
Rastvorljivost u vodi na 20°C (g/100 ml)	14,5	1,85	23,2
Unutrašnja dimenzija (pm)	470–530	600–680	750–830
Visina molekula (pm)	790±10	790±10	790±10
Približna zapremina praznina na 1 g CD (ml)	0,10	0,14	0,20



Slika 3. Strukture α -, β - i γ -CD

A: Šematski prikaz α -CD
B: Osnovna grafička ilustracija ciklodekstrina – šuplja zarubljena kupa je često korišćena za ilustraciju CD, gde C6 primarne hidroksilne grupe, kao venac, prave uzani rub dok C2 i C3 sekundarne hidroksilne grupe prave široki rub
C: Približne dimenzije molekula α -, β - i γ -CD
D: Pogled sa strane α -, β - i γ -CD, štapičasti modeli
E: Štapičasti modeli α -, β - i γ -CD posmatrani sa širokog ruba
Figure 3. Structures of α -, β - and γ -cyclodextrin
A: Schematic presentation of α -cyclodextrin
B: Basic graphical illustration of a cyclodextrin. A hollow truncated cone is often used to illustrate cyclodextrins, where the C6 primary hydroxyl groups crown the narrow rim and the C2 and C3 secondary hydroxyl groups crown the wide rim
C: Approximate molecular dimensions of α -, β - and γ -cyclodextrin
D: Side view of α -, β - and γ -cyclodextrin stick models
E: Stick models of α -, β - and γ -cyclodextrin viewed from the wide rim

CD se rastvaraju u vodi i u dimetilsulfoksidu, a ne rastvaraju se u drugim organskim rastvaračima. Rastvorljivost β -CD-a je znatno manja od rastvorljivosti α i γ -CD-a. Rastvorljivost se značajno povećava sa povećanjem temperature i bitno zavisi od prisustva organskih rastvarača u sredini. Po pravilu, u prisustvu organskih rastvarača smanjuje se rastvorljivost.

Od hemijskih osobina CD-a karakteristična je sposobnost obrazovanja inkluzionih kompleksa sa različitim neorganskim i hidrofobnim organskim jedinjenjima.

Od reakcija sa promenom kovalentnog stanja CD-a najvažnije su reakcije hidrolize glukozidnih veza i supstitucije hidroksilnih grupa.

CD se hidrolizuju pod dejstvom kiselina kao i sva glikozidna jedinjenja. Za njih je karakteristična smanjena

brzina razlaganja prve glikozidne veze, tj. reakcije hidrolitičkog razlaganja prstena CD. Kinetika hidrolize linearnih oligosaharida, koji se pri tome obrazuju, ne razlikuje se od kinetike hidrolize običnih dekstrinovih oligosaharida [10–11].

CD su relativno postojani na dejstvo amilolitičkih enzima. Zbog ciklične strukture CD se pod dejstvom amilolitičkih enzima hidrolizuju znatno sporije u odnosu na skrob.

Pri izvođenju reakcija posebne hidroksilne grupe pokazuju različitu reakcionu sposobnost. Najlakše se odvijaju reakcije kod primarnih (C6) hidroksilnih grupa. Po svojoj reaktivnosti razlikuju se takođe i sekundarne hidroksilne grupe. Supstitucija se lakše odvija kod (C2), nego kod (C3) hidroksilne grupe. Ove razlike zavise od prirode reagensa [8–11].

Od svih CD komercijalno je najzanimljiviji β -CD jer je njegova proizvodnja najjednostavnija te je zato i po ceni najprihvatljiviji [12].

Što se tiče bioloških osobina CD, čisti preparati su neškodljivi pri peroralnom unošenju, čak i kod dugotrajne primene. Svakodnevno unošenje β -CD kod pacova i miševa peroralno u količini do 1,6 g/kg telesne težine u toku 6 meseci nije izazvalo nikakve promene, uključujući i negativan uticaj na potomstvo [13]. Pri parenteralnom unošenju svi CD ispoljavaju toksična svojstva (hemoliza, nefrotoksičnost), ali samo u visokim dozama. Međutim, dati u manjim dozama zajedno sa lekovima, oni ne ispo-

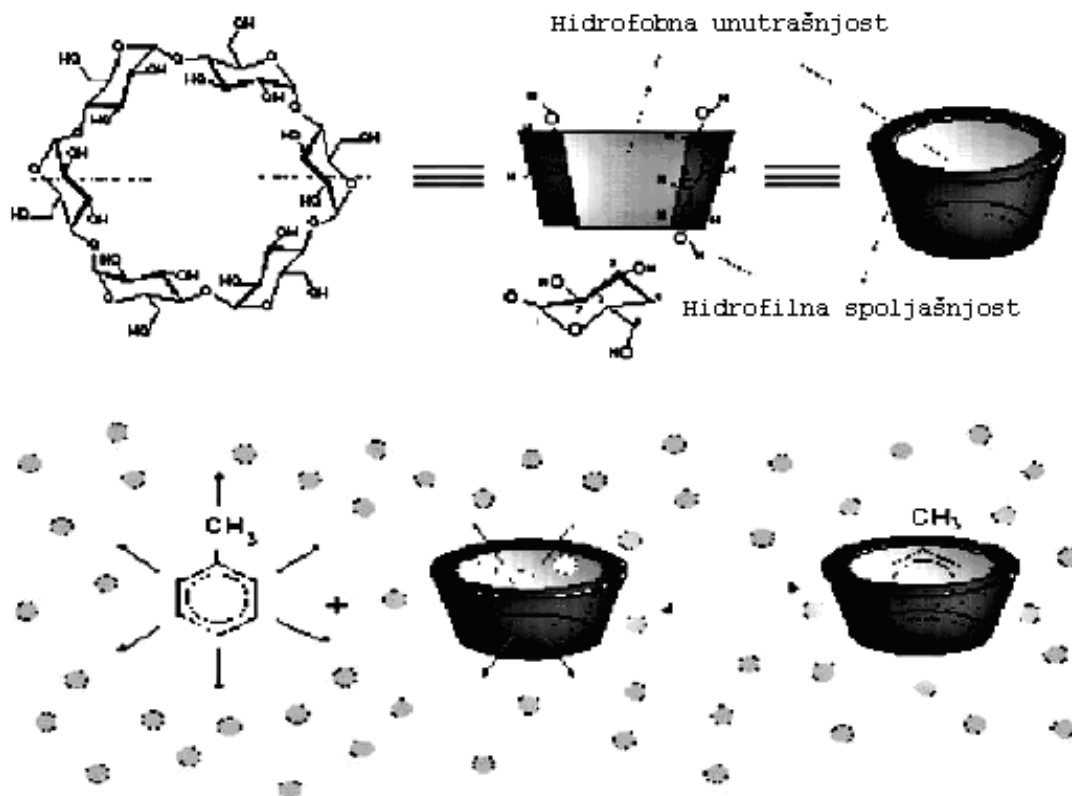
ljavaju toksične efekte pri parenteralnoj primeni. Poluletalna doza za pacove, po podacima različitih autora, iznosi 0,4–1,0 g/kg pri svakodnevnom unošenju preparata u toku 7–10 dana [14–17].

U digestivnom sistemu CD se ne resorbuju, već se dejstvom amilolitičkih enzima vrši njihova hidroliza do glukoze koja se dalje resorbuje. Hidroliza CD je međutim znatno sporija u početnim fazama, u odnosu na hidrolizu skroba. Takođe, α , β i γ -CD se hidrolizuju različito.

Bitna karakteristika CD je da ne opterećuju otpadne vode i da su biorazgradljivi. Hemijska potrošnja kiseonika CD se ne razlikuje od hemijske potrošnje kiseonika ostalih pomoćnih sredstava koja su u upotrebi u tekstilnoj industriji pa se zbog toga očekuje sve veća upotreba CD na tom području [18,19].

OBRAZOVANJE INKLuzionIH KOMPLEKSA

CD, zahvaljujući svojoj strukturi, mogu obrazovati sa različitim jedinjenjima komplekse tipa "domaćin–gost", koji se nazivaju inkluzioni kompleksi. Inkluzioni kompleks predstavlja jedinjenje u kome je u šupljinu molekula CD ("domaćin") uključen, bez obrazovanja kovalentnih veza, molekul određene supstance ("gost"), slika 4. Uključivanje proizilazi uglavnom kao rezultat uzajamnih hidrofobnih dejstava i ne dovodi do bitnih promena veličine i oblika šupljine molekula CD, sa izuzetkom njene neznatne deformacije. Obrazovanje inklu-



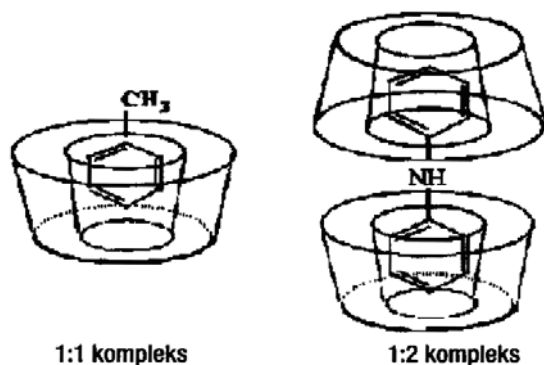
Slika 4. Struktura CD i formiranje inkluzionog kompleksa

Figure 4. CD structure and complex inclusion formation

zionih kompleksa, međutim, utiče na fizičke i hemijske osobine molekula "gosta". Na taj način moguće je stabilizovati jedinjenja osetljiva na dejstvo svetlosti, toplote i kiseonika iz vazduha i povećati rastvorljivost teško rastvorljivih supstanci. Zbog ovih osobina CD imaju široku mogućnost primene u farmaceutskoj, prehrambenoj, kozmetičkoj, sve više tekstilnoj industriji, poljoprivredi itd. [2,20].

Osnovni uslov za obrazovanje inkluzionih kompleksa jeste skladnost veličine i oblika molekula koji se uključuje i šupljine CD. Ukoliko molekul "gost" po veličini bitno premašuje šupljinu CD vezivanje je moguće samo pod uslovom da se određeni deo molekula uključi u šupljinu [21–22].

Prilikom nastajanja kompleksa mogu nastati Van der Waals-ove interakcije, vodonične veze, dipol-dipol interakcije i oslobađanje vode uz visoku entalpiju. Najnovija istraživanja pokazuju da kod nastajanja kompleksa učestvuju pre svega Van der Waals-ove interakcije. Najjednostavniji kompleks je u stehiometrijskoj razmeri 1:1. Nastaju i kompleksi u odnosu 1:2, gde se gostujući molekul veže sa dva molekula CD (slika 5) [23–24].



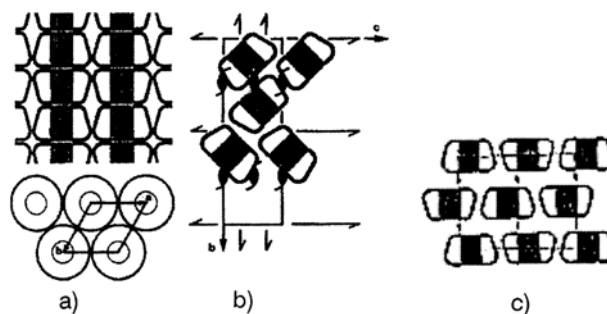
Slika 5. Šema kompleksa CD sa gostujućim molekulama u razmerama 1:1 i 1:2

Figure 5. Complex CD scheme with guest molecules in the ratio 1:1 and 1:2

CD i njihovi adukti mogu se iskristalizovati iz vode. Njihova struktura proučava se pomoću rentgenske strukturne analize. S obzirom na veličinu i jonski karakter supstrata nastaju različite kristalne strukture. Kada su molekuli CD nagomilani jedni za drugim, hidrofobne šupljine grade kanal. Kod oblika ćelije molekuli CD su nanižani tako da grade uzorak "riblje kosti" ili oblik opeke kada se radi o kristalnoj strukturi formiranoj od kristala inkluzionog kompleksa ciklodekstrina, što je prikazano šematski na slici 6 [23–24].

PRIMENA CIKLODEKSTRINA U TEKSTILU

Kako CD ili derivati CD okružuju svaku gostujući molekul može se govoriti o mikro odnosno nano-encapsulaciji. Encapsulacija može promeniti hemijske i fizičke karakteristike gostujućih molekula [25–26].



Slika 6. Šematski prikaz strukture CD
a) oblik kanala; b) oblik riblje kosti; c) oblik opeke;
Figure 6. Schematic description of the CD structure
a) channel-type, b) herringbone-type, c) brick-type

CD se upotrebljavaju za: povećanje rastvorljivosti hidrofobnih supstanci u vodi, stabilizaciju reaktivnih supstanci, fiksiranje isparljivih supstanci, odstranjivanje lošeg ukusa i neprijatnog mirisa, promenu agregatnog stanja supstance iz tečnog u čvrsto, izradu mešavina nekompatibilnih supstanci, separaciju supstanci u obliku kompleksa i kontrolisano otpuštanje supstanci [14].

Zbog zanimljivih karakteristika i netoksičnosti, odnosno biorazgradljivosti, CD se mogu upotrebljavati u tekstilnoj industriji u procesima bojenja tekstila, pranja, kompleksiranja sa polimerima na vlaknima, tj. procesima modifikovanja površine vlakana.

Proces bojenja

CD mogu delovati kao pomoćna sredstva kod bojenja. Tako, kod bojenja poliamida 6.6 ili poliakrilonitrilnih vlakana imaju npr. funkciju retardera. Za visokotemperaturno bojenje PES vlakana upotrebljavaju se kao egalizatori, iako je njihova upotreba za tu svrhu ograničena jer s velikim molekulima boja grade nestabilne komplekse. Grade komplekse i sa reaktivnim bojama te mogu usporiti hidrolizu određenih boja u alkalnom medijumu [27–29].

CD mogu graditi komplekse i sa direktnim, kiselim i disperznim bojama. Najveća prednost tih kompleksa je da u procesu bojenja nisu potrebna druga pomoćna sredstva. Tako, interesantno je istraživanje vezano za ispitivanje uticaja α , β i γ -CD na promenu u sorpciji šest azo disperznih boja (4-amino-4'-nitroazobenzen derivati) i vezivanju za hidrofobno sekundarno acetatno vlakno. Stvaranje kompleksa azo boja za CD obično se prati preko promena u sorpcionim izotermama. Najveći deo boje formira kompleks sa CD u odnosu 1:1, kada je maksimum poprečnog preseka njihovog fenilnog prstena sličan ili manji od prečnika konusa-šupljine CD [30].

Reakcije kiselih azo boja sa dimetil i trimetil β -CD mogu se posmatrati spektrofotometrijski [31]. Sposobnost vezivanja boja jača je sa dimetil derivatom CD, u poređenju sa nemodifikovanim CD, usled hidrofobne interakcije. S druge strane, dalja zamena metil grupa smanjuje vezivanje u šupljine CD usled steričkih smetnji sa gostujućim molekulom boje.

Takođe je, u toku bojenja tkanina od poliamida 6.6 i mikrovlakana od poliamida 6 u prisustvu CD, bilo pro-

nađeno desetak poboljšanja u egalnosti obojenja i prinosu boje u poređenju sa bojenjem bez CD. ^1H NMR podaci potvrđuju ulogu CD kao kompleksirajućeg sredstva za boju. Kvalitet proizvoda, međutim, bio je takođe zavisn i od prirode tkanine, tako je, utvrđeno da egalnost obojenja nije bitno poboljšana u prisustvu CD kod konvencionalne tkanine od poliamida 6 [32–33].

Kada se radi o istraživanju bojenja konvencionalnih poliamida 6 i 6.6 vlakana bila je upotrebljena serija od 12 boja. β -CD bio je korišćen kao dodatak sa malim ekološkim uticajem u procesu bojenja. Interakcije između boja i β -CD proučavane su posredstvom izoterme rastvorljivosti, TGA i DTA analiza. Analize pokazuju da β -CD poseduje dobre osobine egaliziranja u procesu bojenja poliamidnih vlakana, a proizvedeni efekti nastaju usled stvaranja kompleksa između β -CD i boja [34].

Proces pranja

Poznato je da neke površinski aktivne materije (PAM) imaju afinitet prema vlaknima. Kod upotrebe PAM u tekstilnoj obradi, deo tih sredstava ostaje na površini vlakana, te može uticati na karakteristike tekstila u narednim procesima obrade. Zbog prisustva PAM na površini vlakana, može se promeniti intenzitet obojenja i iscrpljenje kupatila. Time se obično i smanjuje kvalitet, npr., hidrofobnog impregniranja. CD i njihovi derivati mogu stvarati komplekse sa PAM u vodenim rastvorima, pa se većina može odstraniti dodatkom CD u procesu pranja.

Tako, vezivanje polietilen glikol *n*-oktilfenil etra (OPE) i polietilen glikol tert-oktilfenil etra (Triton X-100, TX) za β -ciklodekstrin detaljno se može opisati preko površinskog napona i stacionarne fluorescencije jedinjenja OPE i TX. Ova merenja pokazuju da β -CD zahvataju hidrofobne delove OPE i TX formirajući komplekse u stehiometrijskom odnosu 1:1. Za razliku od *n*-oktil grupe iz OPE, tert-oktil grupa iz TX ne uspeva se uvući u šupljinu β -CD zbog steričkih smetnji metil grupe na ivici šupljine [35].

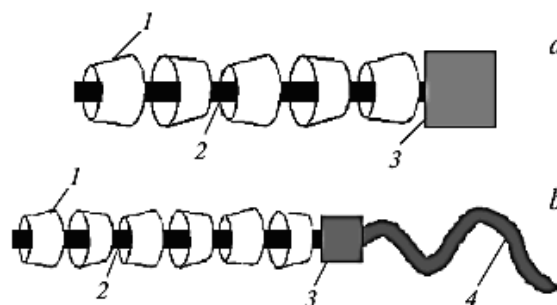
Uticaj β -CD na kritičnu micelarnu koncentraciju natrijum dodecil sulfata (SDS) može se istraživati preko metode kapilarne elektroforeze upotrebom anjonskog hlorfenola pri pH = 7 [36]. Rezultati ukazuju da je, kao posledica jakog inkluzionog kompleksiranja između β -CD i SDS, enkapsulacija β -CD sa anjonskim hlorfenolom vrlo mala, ili izostaje, u prisustvu SDS. Kompleks između β -CD i SDS je pretežno u obliku 1:1 stehiometrijski, dok u odnosu 2:1 može postojati u količini do najviše 10%.

Izotermički titracijski kalorimetar se može upotrebiti za istraživanje vezivanja serije anjonski površinski aktivnih materija ($\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{SO}_4\text{Na}$, $n = 6, 8, 10, 12, 14$) sa β -CD. Za ove tipove inkluzionih kompleksa, rezultati su potpuno saglasni sa 1:1 asocijativnim modelom i nagoveštavaju da je asocijacija PAM sa β -CD karakteristična prema promenama u entalpiji, odnosno entropiji. Rezultati takođe govore o tome da, što je duži alkilni lanac anjonske PAM, to je veća konstanta asocijacije sa β -CD [37].

Kod kompleksiranja između nejonskog PAM na bazi polietilen oksida i ciklodekstrina, pokazalo se da davanje rastvora PAM vodenim rastvorima α - β - i γ -CD

daje teško rastvorne kristalne taloge. Parametri kristalne strukture i sastav kompleksa analogni su onima dobijenim na bazi polietilen oksida. Metoda površinskog napona pokazala je da ciklodekstrin pomaže u povećanju vrednosti kritične micelarne koncentracije PAM, te da zavisnost kritične micelarne koncentracije od molskog odnosa ciklodekstrin/PAM dopušta da se odredi sastav inkluzionog kompleksa u rastvoru [38].

Formiranje kompleksa između polietilen-oksida koji sadrži nejonsku PAM i α - i β -CD slikovito je prikazan na slici 7 [55]:



Slika 7. Šema strukture α -CD-Triton X-100 (a) i β -CD-PMS (b) kompleksa

a) α -CD-oktilfenil polietilen oksid etar (Triton X-100)

1 = α -CD, 2 = PEO, 3 = oktilfenilna grupa;

b) α -CD- polietilen oksid -100 monostearat (PMS)

1 = α -CD, 2 = PEO, 3 = povezič, 4 = oligoetilen;

Figure 7. Scheme of the structure of the α -CD-Triton X-100 (a) and α -CD-PMS (b) complexes

a) α -CD-octylphenyl polyethylene oxide ether (Triton X-100)

1 = α -CD, 2 = PEO, 3 = octylphenyl group

b) α -CD- polyethylene oxide -1000 monostearate (PMS)

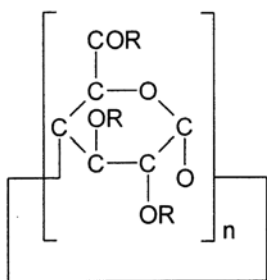
1 = α -CD, 2 = PEO, 3 = linker, 4 = oligoethylene

Kada se radi o proučavanju sekvstriranih nerastvornih PAM sa α -, β - i γ -CD iz monomolekuskog filma na graničnoj površini vazduh/voda utvrđeno je da sekvstriranje uključuje stvaranje PAM:CD kompleksa, verovatno 1:1, sa alkilnim lancem PAM uronjenim u hidrofobnu šupljinu CD. γ -CD, uprkos svojoj većoj šupljini, ne uspeva da sekvstrira značajniju količinu PAM u povoljnim uslovima za sekvstriranje što se objašnjava hidrofobnošću šupljine γ -ciklodekstrina. Brzina sekvstriranja nerastvorljivog PAM smanjuje se sa povećanjem viskoznosti, dužine i granjanja alkilnog lanca PAM [39].

Sinteza polimera

Istraživanja pokazuju da se neki monomeri, vezani u ciklodekstrinski kompleks, mogu uspešno polimerizovati mehanizmom slobodnih radikala u vodi. Pri tome se polimer istaloži, a CD se za vreme rasta lanca potpuno odvoji. Odcepljeni CD može se ponovo upotrebiti za vezanje novih monomera u kompleks. Kod polimerizacije hidrofobnih monomera, kao što su stiren i derivati metakrilata, gdje je polimerizacija moguća bez dodatka pomoćnih sredstava, CD se takođe može upotrebiti. Uključenje monomera u hidrofobnu šupljinu može uticati na kopolimerizaciju jer se reaktivnost slobodnih monomera razlikuje od reaktivnosti njihovih kompleksa sa CD [40–41].

Dobijanje vodo-rastvorljivih derivata CD sa lipofilnim supstituentima odvija se u uslovima kada smeša etra α -, β ili γ -CD ima najmanje jedan lipofilni i jedan hidrofilni radikal po molekulu CD, prema sledećoj formuli [42]:

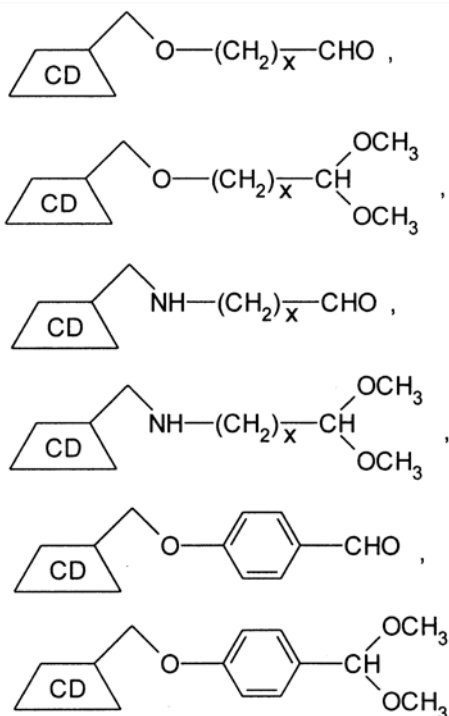


gde je: R vodonik ili R1 ili R2; R1 hidrofilni radikal, R2 lipofilni radikal; n = 6, 7, ili 8.

Biokompatibilni polimeri kalemljeni ciklodekstrinom uključuju deo hidrofobno modifikovanog CD, linearan povezičać i biokompatibilan hidrofilni polimer [43]. Deo CD je kalemljen za spomenuti biokompatibilni hidrofilni polimerni lanac preko povezičaća. Ovako dobijeni biokompatibilni kompleksi mogli bi se koristiti kao bioaktivni agensi – nosači.

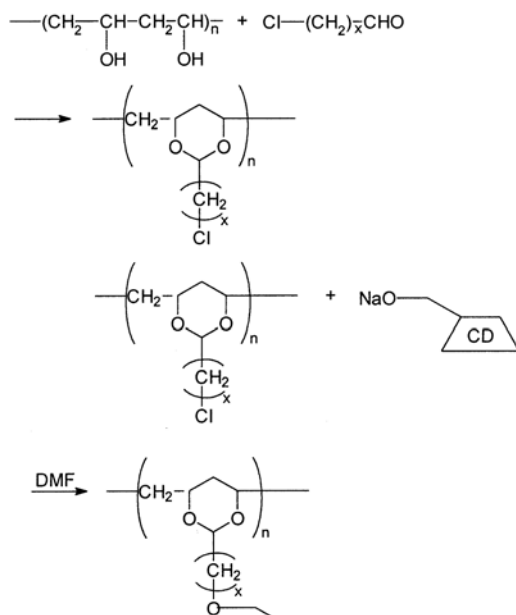
Relativno jednostavno mogu proisteći reakcije derivata CD sa polivinil alkoholom, celulozom ili njihovim derivatima. To se postiže, npr., preko kopolimerizacije derivata CD sa vinil acetatom ili metil metakrilatom, kao i u procesu proizvodnje filma CD iz CD polimera. Takav polimer ima visoki sadržaj CD, a proizvedeni film može biti upotrebljen u formi jedinačnog filma bez potrebe za korišćenjem drugog nosećeg filma, jer sam korišćeni polimer ima sposobnost za formiranje filma [44].

Naročito, bi mogli biti interesantni aldehidni derivati ciklodekstrina:

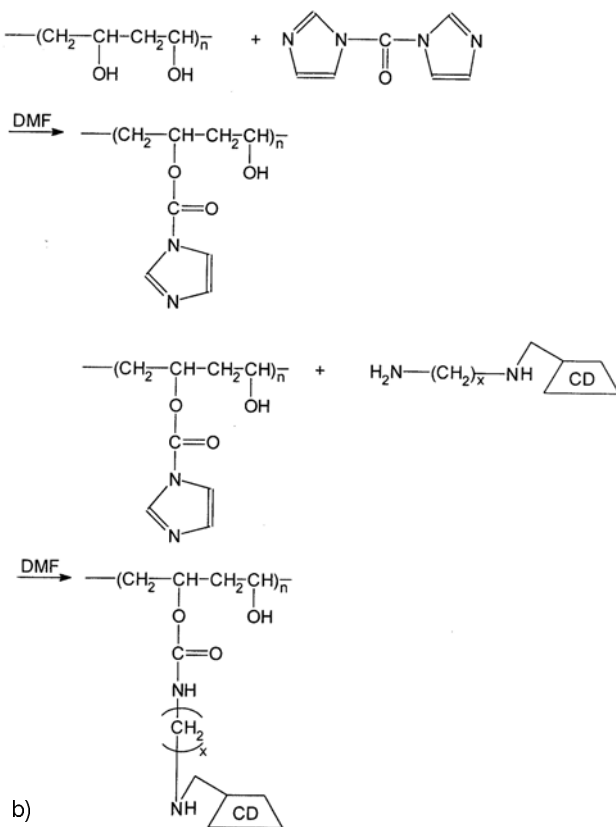


gde je x = 1–10, najčešće 1 ili 2.

Polivinil alkohol (PVA) uobičajeno treba da ima molekulsku masu oko 10.000, sa stanovišta mogućnosti oblikovanja filma. Ako se želi, mogu biti upotrebljeni i primeri koji predstavljaju kombinaciju sa drugim PVA molekulima ili derivatima CD putem delimičnog umrežavanja pojedinačnih hidroksilnih grupa. CD polimeri sastavljeni od kompleksa PVA–ciklodekstrin mogu biti dobijeni prema sledećim reakcionim šemama [44]:

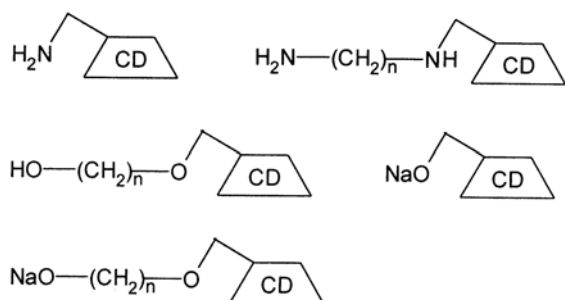


a)



b)

Prioritetni primeri CD derivata koji će reagovati sa celulozom ili njenim derivatima obuhvataju CD jedinjenja sa amino, hidroksilnom, -ONa grupom, itd.:



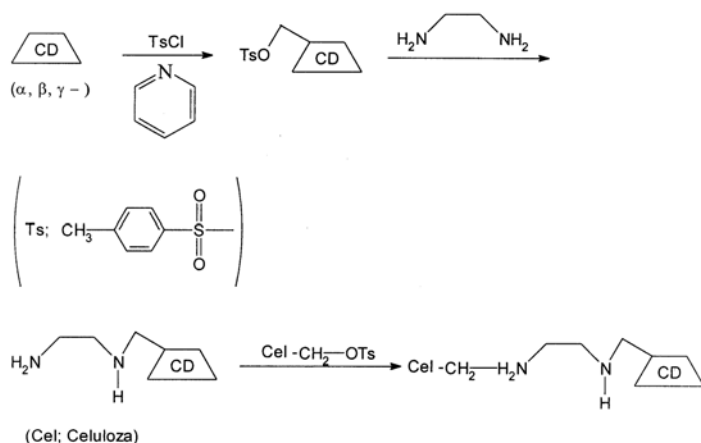
n je od 2 do 10 u ovim primerima.

Celulozni derivati, koji mogu biti iskorišćeni, prvenstveno obuhvataju: celulozni tozilat i celulozni halogenid; karboksimetil celulozu; kisele chloride karboksimetil celuloze, i td. Za dobijanje takvih derivata prvenstveno se koristi celuloza koja ima molekulska masu barem 50.000 [44].

Poznato je da interakcije između ciklodekstrina ili njegovih derivata i celuloznih derivata obuhvataju reakcije:

- između derivata ciklodekstrina sa amino grupom ili -ONa grupom i celuloznog tozilata,
- između kiselih florida karboksiceluloze ili karboksimetil celuloze i ciklodekstrina ili njegovih derivata sa amino ili hidroksilnom grupom.

Spomenuti ciklodekstrin ili njegovi derivati može reagovati sa celuloznim derivatima radi dobijanja polimera ciklodekstrina, npr. prema šemi [44]:



CD kod ispređanja vlakana

CD i polimeri imaju sposobnost da grade kristalne komplekse kada se mogu odvajati pojedini polimerni lanci i gostujući polimer u nešto ispruženijem obliku. U poređenju sa klasičnim oblikovanjem vlakana iz rastvora odnosno rastopa, vlaknima koja se oblikuju iz kompleksa CD-polimer, jako se menja struktura i morfologija jer posle odstranjenja CD polimeri zadržavaju strukturu koja ima spomenuti ispruženiji oblik. CD se mogu odstraniti

sa odgovarajućim rastvaračem koji ne rastvara polimer odnosno selektivno ih razgrađuje pomoću enzima amilaze ili kiselinom. Vlakna oblikovana iz CD-polimernih kompleksa imaju veći udeo kristalnih područja te višu temperaturu razgradnje i topljenja u upoređenju sa konvencionalno proizvedenim vlaknima. Vlakna se mogu formirati iz mešavine polimera koji se u uobičajenim uslovima ne mešaju. Unošenjem kristalizovanog kompleksa CD-polimera u noseći polimer te njegovim naknadnim izdvajanjem može se dobiti polimer-polimer kompozitni materijal karakteristične morfologije [45].

Interesantna su istraživanja o mogućnosti ostvarenja visokih performansi u mehaničkom ponašanju npr. poliamida 6 koristeći konvencionalan proces pređenja a uz pomoć CD kao dodatka. Radi se o stvaranju inkluzivnih kompleksa polimera velikih molekulskih masa između α - i β -CD i poliamida 6 ($M_n = 12$ kg/mol). Oba polimera velikih molekulskih masa bila su uspešno sintetizovana tehnikom zagrevanja. DSC, TGA, široko-uglona difrakcija X-zraka i FTIR spektroskopija iskorišćeni su za posmatranje polimernih lanaca poliamida 6 obuhvaćenih u unutrašnjost kanala CD. DSC i TGA analiza pokazuju da visoko-temperaturna stabilnost uzoraka poliamida 6-CD može značiti da, polimerni lanci obuhvaćeni unutar polimer-CD kanala, mogu u većoj meri poboljšati stabilnost CD. Difrakcija X-zraka poliamida 6- α -CD i poliamida 6- β -CD bila je vrlo slična sa difrakcijom kompleksa valerijanska kiselina- α -CD i 1-propanol- β -CD, čime je potvrđeno da se radi o kanalu kristalnih struktura. Nova traka koja odsustvuje kod FTIR spektra čistog CD pojavila se na 1729 cm^{-1} za kompleks poliamida 6-CD i može biti karakteristična za CD u kompleksu sa poliamidom 6 [46].

Modifikacija površine vlakana

Budući da CD nisu reaktivni, ne mogu se direktno vezati za tekstilni materijal. U literaturi su opisani brojni postupci vezivanja CD za tekstilni materijal, pored ostalog radi se i o trajnom vezivanju CD upotrebom neke reaktivne smole, a poznati su i brojni derivati CD kod kojih je sa odgovarajućim funkcionalnim grupama trajno fiksiran ciklodekstrin na površinu vlakana, odnosno ugrađen u vlakna, još za vreme ispređanja [47].

Karakteristike vlakana se mogu promeniti fiksiranjem molekula CD na površinu vlakana. Na taj se način, npr. može smanjiti hidrofobnost poliestarskih vlakana.

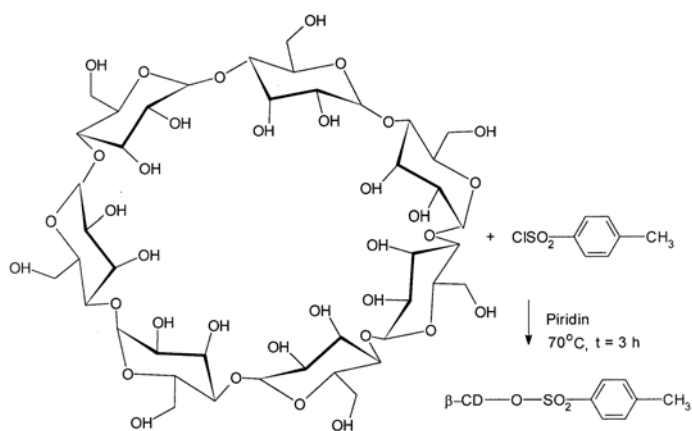
Fiksirani CD mogu graditi komplekse isto kao i molekuli u rastvoru. Komponente ljudskog znoja se na taj način vežu u strukturu CD, čime se sprečava ili smanjuje oslobađanje neprijatnih mirisa. Zavese s fiksiranim ciklodekstrinom mogu u strukturi CD zadržati nikotin, katarin i druge molekule iz vazduha. Uobičajenim procesom pranja gostujući molekuli se mogu odstraniti sa površine vlakna [18,48,50].

Takođe, mogu se graditi kompleksi CD i parfema, odnosno raznih eteričnih supstanci koje imaju prijatan miris. U prisustvu vlage parfemi se oslobađaju iz kompleksa. Na taj način se, npr. tekstilu za upotrebu u domaćinstvu kao što su zavese, peškiri, posteljina i sl.,

mogu dodati razni mirisi koji se oslobađaju tokom njihove upotrebe.

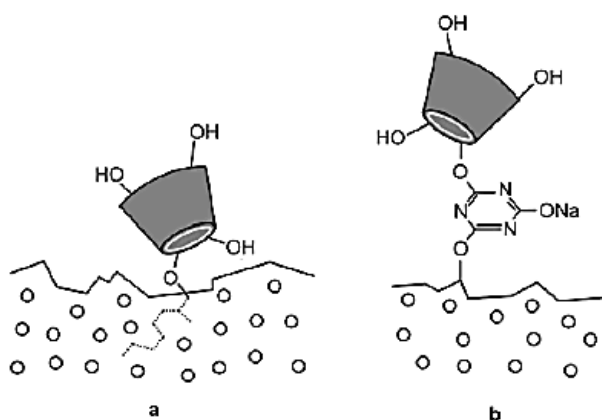
CD gradi komplekse i sa farmaceutski aktivnim supstancama. Tekstil sa fiksiranim takvim kompleksima može se upotrebiti u medicinske svrhe. Farmaceutske supstance se iz kompleksa kontrolisano oslobađaju sa tako obrađenog tekstilnog materijala. Kompleksi fungicidnih i baktericidnih supstanci sa ciklodekstrinom te njihovo fiksiranje na vlaknima mogli bi se upotrebiti za tehnički tekstil i geotekstil [18,48,50].

Modifikacija pamučne tkanine radi poboljšanja penetracije može se odigrati u rastvorima sa različitim sadržajem β -CD odnosno njegovog derivata, toluensulfonilnog derivata β -CD, budući da je β -CD neaktivan prema supstratu [49]. Na slici 8 prikazana je šema pripreme pomenutog derivata CD.



Slika 8. Priprema toluensulfonilnog derivata β -CD
Figure 8. Preparation of the toluene-sulphonyl derivative of β -CD

Značajna mogućnost upotrebe CD rezultuje iz sposobnosti za trajno fiksiranje na različitim polimernim materijalima. Tako, derivati CD sa reaktivnom grupom, tj. monohlorotriazinil grupa [50] (slika 9) sposobni su da reaguju sa hidroksilnim grupama celuloznog vlakna sli-

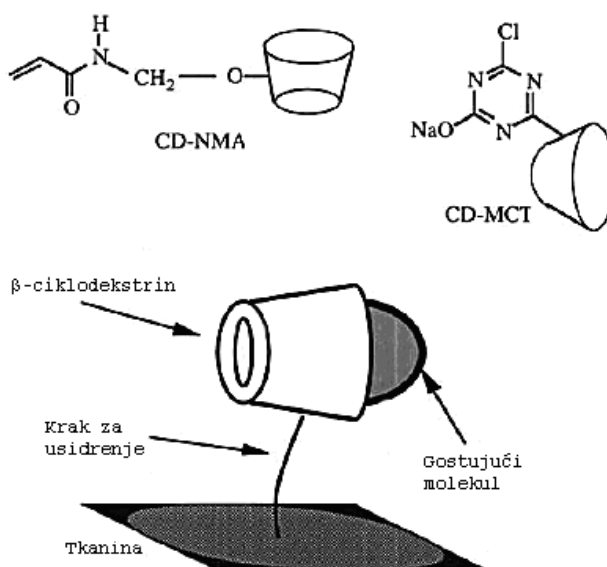


Slika 9. Šematski prikaz fiksiranja derivata CD sa hidrofobnim (a) ili reaktivnim grupama (b) na površini polimera
Figure 9. Schematic presentation of the fixation of cyclodextrin derivatives with hydrophobic (a) or reactive groups (b) on a polymer surface

čno kao što to čine reaktivne boje. Trajno fiksiranje na vlaknima od poliestra moguće je samo sa derivatima CD koji imaju duge alkile lance ili druge hidrofobne grupe.

Kompozicije za obradu, koje uključuju CD, karboksilnu kiselinu i katjonski PAM, korisne su za obradu tekstilnih tkanina radi stvaranja mekanog opipa i dobrih hidrofилnih osobina [51].

Zanimljivo je proučavanje kalemljenja dva β -ciklodekstrinska derivata na Tencel tkaninu: akrilamidometilovani- β -CD (CDNMA) i monohlorotriazinil- β -CD (CDMCT) [52] (slika 10).



Slika 10. Struktura CDNMA, CDMCT, i šema inkluzionog jedinjenja formiranog na površini tkanine
Figure 10. The structure of CDNMA, CDMCT and the scheme of an inclusion compound formed on the fabric surface

CD mogu biti kalemljeni na polietilentereftalna (PET) vlakna preko intermedijara polikarboksilnih kiselina (PCA) koje igraju ulogu agenasa za umrežavanje. Evidentirano je da se kalemljenje dešava uprkos tome što nije bilo prave reakcije između PCA i PET. Pretpostavlja se da se taj režim kalemljenja odvijao kroz stvaranje umreženih kopolimera između PCA i CD. Ovaj kopolimer nije bio kovalentno fiksiran za vlakna, ali je ipak fizičko prijanjanje u vlaknastu mrežu učinilo da je efekat kalemljenja veoma trajan i otporan na pranje. Stepenn kalemljenja zavisi od temperature, vremena obrade i odnosa PCA/CD. U drastičnijim uslovima, povećanje mase tkanine usled reakcije kalemljenja dostiže 25–30% [53].

Bazni materijal za obradu ciklodekstrinima može biti uobičajeni tekstil kao što su pamučna, celulozna ili sintetička vlakna. Nema potrebe za predobradom ovih materijala i otuda, u poređenju sa drugim sistemima, materijalni troškovi su najčešće determinisani samo ciklodekstrinima. Istraživanja u oblasti ciklodekstrina rastu, uvećavajući broj različitih publikacija i patenata. Biotehnoška ekspanzija daje svoj doprinos i uticaj na po-

Tabela 2. Tržišne cene različitih ciklodekstrina
Table 2. Market prices of different cyclodextrins

Prirodni ciklodekstrini	Količina, g	Cene u EUR
α -ciklodekstrin 99%	5	18,48
β -ciklodekstrin 99%	5	9,24
γ -ciklodekstrin 99%	5	130,90
Neutralni modifikovani ciklodekstrini		
β -dimetil ciklodekstrin	5	150,92
β -trimetil ciklodekstrin	5	831,60
β -2-hidroksipropil ciklodekstrin	5	150,92
Jonski modifikovani ciklodekstrini		
β -ciklodekstrin fosfat	2,5	485,10
β -karboksi metil ciklodekstrin	5	121,66
β -amino ciklodekstrin	5	2710,40

boljšanja u proizvodnji ciklodekstrina i sniženju proizvodnih troškova.

U tabeli 2 prikazane su prosečne tržišne cene različitih ciklodekstrina [54]. Kao što se može videti, cene rapidno rastu kada se ide od nemodifikovanih ka modifikovanim ciklodekstrinima. Na žalost, danas se uglavnom za obradu tekstilnih materijala upotrebljava uobičajena tehnika dorade, pa modifikacija ciklodekstrinima praktično nije potrebna. Za medicinske aplikacije, ove cene bi mogle biti prihvatljivije. Treba imati na umu da su cene u tabeli 2 date za laboratorijske, dakle vrlo male količine. Za veće količine i druge aplikacije, npr. za oslobađanje mirisa, cene idu naniže. Na kraju, želja za korišćenjem ciklodekstrina za druge, osim medicinske aplikacije, mogla bi voditi ka nižim cenama, usled daljeg razvoja i uvećane proizvodnje, sa prodajom daleko većih količina.

ZAKLJUČAK

Primenu ciklodekstrina u oblasti tekstila najzad je dostupna i ostvarljiva, a krenulo se pre samo nekoliko godina. Zaslugu za to možda ima činjenica da ciklodekstrini, formirajući inkluzione komplekse mogu, npr. da ukloni neprijatne mirise sa tekstila.

Vezivanje CD za tekstil je relativno jednostavno ostvariti i već sada predstavlja tehnički potpuno razvijen postupak. Osim toga, to je moguće uraditi i na gotovim tekstilnim proizvodima. Otuda, proizvodnja tekstilnih materijala, u tom smislu, može biti odvojena od aktuelnog sistema proizvodnje zbog mogućnosti rada bez postojanja problematike koja se tiče klasične tekstilne proizvodnje. To preimućstvo – mogućnost obrade gotovog tekstila – može biti garancija da će se aktivne grupe ciklodekstrina većim delom vezati za tekstilnu površinu koja formira graničnu površinu, sa npr. kožom.

U budućnosti, supstrati za obradu ciklodekstrinima biće različiti tekstilni proizvodi, npr. peškiri koji će mirisati u toku sušenja, posteljina koja će ispuštati prijatan miris, a zavese sa ciklodekstrinima mogu pročistiti vazduh u prostorijama, posebno onim određenim za pušače. Za vreme procesa čišćenja (pranja) ovih tekstilnih proizvoda biće uklonjeni ostaci parfema ili drugih organskih

supstanci kompleksiranih za vreme korišćenja. Posle toga, moguće je ponovno punjenje šupljina ciklodekstrina molekulima parfema ili drugim organskim molekulima. Prema tome, korisnik ovakvog tekstila individualno odlučuje koji će se miris oslobađati iz njegove odeće u toku nošenja. Slična primena može naći mesto i u medicinske svrhe; tako se, farmaceutski aktivne supstance kompleksirane fiksiranim ciklodekstrinima oslobađaju nošenjem pri čemu lako mogu prodreti u kožu – uprošćavajući postupak tretiranja, npr. kožnih bolesti.

LITERATURA

- [1] D. Pešić, Dobijanje ciklodekstrina, Zadužbina Andrejević, Beograd, 2002.
- [2] K. Horikoshi, Production and industrial applications of β -cyclodextrin, *Process Biochem.* 5(14) (1979) 26–28.
- [3] C.L. Jeang, D.G. Lin, S.H. Hsieh, Characterization of Cyclodextrin Glycosyltransferase of the Same Gene Expressed from *Bacillus macerans*, *Bacillus subtilis*, and *Escherichia coli*, *J. Agric. Food Chem.* 53(16) (2005) 6301–6304.
- [4] V.A. Abelyan, T. Yamamoto, E.G. Afrikyan, On the action mechanism of cyclomaltodextrin glucanotransferases from alkalophilic, thermophilic and mesophilic microorganisms, *Biokhimiya*, 59(8) (1994) 1122–1129.
- [5] L.J. Boveito, D.P. Backer, J.R. Villette, P.J. Sicard, S.J. Bouquelet, Cyclomaltodextrin glucanotransferase from *Bacillus circulans* E 192. Purification and characterization of the enzyme, *Biotechnol. Appl. Bioc.* 15 (1992) 48–58.
- [6] B.N. Gawande, A.M. Sonawane, V.V. Jogdand, A.Y. Patkar, Optimization of Cyclodextrin Glycosyltransferase Production from *Klebsiella pneumoniae* AS-22 in Batch, Fed-Batch, and Continuous Cultures, *Biotechnol. Prog.* 19(6) (2003) 1697–1702.
- [7] N.S. Egorov, A.I. Kestner, R.A. Vokk, Istorija isledovanja ciklodekstrinov, svojstva i oblasti ih primenjenja, *Itigi nauki i tehniki*, VINITI, *Mikrobiologija* 20 (1988) 4–52.
- [8] K.J. Naidoo, J.Y.J. Chen, J.L.M. Jansson, G. Widmalm, A. Maliniak, Molecular Properties Related to the Anomalous Solubility of β -Cyclodextrin, *J. Phys. Chem. B.* 108(14) (2004) 4236–4238.
- [9] D. Lombardo, A. Longo, R. Darcy, A. Mazzaglia, Structural Properties of Nonionic Cyclodextrin Colloids in Water, *Lan-gmuir* 20(4) (2004) 1057–1064.
- [10] A.R. Katritzky, D.C. Fara, H. Yang, M. Karelson, T. Suzuki, V.P. Solovov, A. Varnek, Quantitative Structure–Property Relationship Modeling of β -Cyclodextrin Complexation Free Energies, *J. Chem. Inf. Comput. Sci.* 44(2) (2004) 529–541.
- [11] G. Jozefaciuk, A. Muranyi, E. Fenyvesi, Effect of Randomly Methylated β -Cyclodextrin on Physical Properties of Soils, *Environ. Sci. Technol.* 37(13) (2003) 3012–3017.
- [12] J. Szejtli, Medical Application of Cyclodextrin, *Med. Res. Rev.* 14(3) (1994) 353–358.
- [13] M. Singh, R. Sharma, U.C. Banerjee, Biotechnological applications of cyclodextrins, *Biotechnol. Adv.* 20 (2002) 341–359.
- [14] D. Rajić, Lj. Tasić, S. Dobrić, Use of cyclodextrins in drug formulations, *Arch. Toxic. Kinet. Xenobiot. Metab.* 4(1) (1996) 51–60.
- [15] S. Salmaso, A. Semenzato, P. Caliceti, J. Hoebeke, F. Sonvico, C. Dubernet, P. Couvreur, Specific Antitumor Targetable β -Cyclodextrin–Poly(ethylene Glycol)–Folic Acid Drug Delivery Bioconjugate, *Bioconjugate Chem.* 15(5) (2004) 997–1004.
- [16] P. Caliceti, S. Salmaso, A. Semenzato, T. Carofiglio, R. Fornasier, M. Fermeglia, M. Ferrone, S. Priol, Synthesis and Physicochemical Characterization of Folate–Cyclodextrin Bioconjugate for Active Drug Delivery, *Bioconjugate Chem.* 14(5) (2003) 899–908.
- [17] T. Irie, K. Uekama, Pharmaceutical Application of Cyclodextrins III, *Toxicol. Issues and Safety Evaluation*, *J. Pharm. Sci.* 86 (1997) 147–162.
- [18] H.J. Buschmann, "The Use of Cyclodextrins in Textile Processes – An Overview", *Deutsches Textil-forschungszentrum, Nord-West*, ed. V., Krefeld, Germany, 1997.
- [19] S. Guemelli, M.F. Lagana, D. Spinelli, P. Lo Meo, R. Noto, S. Riela, Host–Guest Interactions between β -Cyclodextrin and the (Z)-Phenylhydrazone of 3-Benzoyl-5-phenyl-1,2,4-oxadiazole: The First Kinetic Study of a Ring–Ring Interconversion in a "Confined Environment", *J. Org. Chem.* 67(9) (2002) 2948–2953.
- [20] H. Jiao, S.H. Goh, S. Valiyaveetil, Inclusion Complexes of Perfluorinated Oligomers with Cyclodextrins, *J. Macromol.* 36(11) (2003) 4241–4243.

- [21] H. Jiao, S.H. Goh, S. Valiyaveetil, Inclusion Complexes of Multiarm Poly(ethylene glycol) with Cyclodextrins, *Macromolecules* **35**(5) (2002) 1980-1983.
- [22] E. Sabadini, T. Cosgrove, Inclusion Complex Formed between Star-Poly(ethylene glycol) and Cyclodextrins, *Langmuir* **19**(23) (2003) 9680-9683.
- [23] L. Bacri, A. Benkhaled, P. Guegan, L. Auvray, Ionic Channel Behavior of Modified Cyclodextrins Inserted in Lipid Membranes, *Langmuir* **21**(13) (2005) 5842-5846.
- [24] I.N. Topchieva, A.E. Tonelli, I.G. Panova, E.V. Matuchina, F.A. Kalashnikov, V.I. Gerasimov, C.C. Rusa, M. Rusa, M.A. Hunt, Two-Phase Channel Structures Based on β -Cyclodextrin-Polyethylene Glycol Inclusion Complexes, *Langmuir* **20**(21) (2004) 9036-9043.
- [25] T. Suzuki, A Nonlinear Group Contribution Method for Predicting the Free Energies of Inclusion Complexation of Organic Molecules with α - and β -Cyclodextrins, *J. Chem. Inf. Comput. Sci.* **41**(5) (2001) 1266-1273.
- [26] H. Viernstein, Microencapsulation by cyclodextrins, *Chem. Ind.* **58**(6a) (2004) 20-22.
- [27] P. Savarino, S. Parlati, R. Buscaino, P. Piccinini, C. Barolo, E. Montoneri, Effects of additives on the dyeing of polyamide fibres. Part II: Methyl- β -cyclodextrin, *Dyes and Pigments* **69**(1-2) (2006) 7-12.
- [28] B. Vončina, V. Vivod, D. Jaušovec, β -Cyclodextrin as retarding reagent in polyacrylonitrile dyeing, *Dyes and Pigments*, (2006) (in press)
- [29] P. Savarino, G. Viscardi, P. Quagliotto, E. Montoneri, E. Barni, Reactivity and effects of cyclodextrins in textile dyeing, *Dyes and Pigments* **42**(2) (1999) 143-147.
- [30] T. Shibusawa, J. Okamoto, K. Abe, K. Sakata, Y. Ito, Inclusion of Azo Disperse Dyes by Cyclodextrins at Dyeing Temperature, *Dyes and Pigments* **36**(1) (1998) 79-91.
- [31] T. Iijima, Y. Karube, The Interaction of Acid Azo Dyes with Chemically Modified β -Cyclodextrins, *Dyes and Pigments* **36**(4) (1998) 305-311.
- [32] P. Savarino, G. Viscardi, P. Quagliotto, E. Montoneri, E. Barni, Reactivity and effects of cyclodextrins in textile dyeing, *Dyes and Pigments* **42** (1999) 143-147.
- [33] P. Savarino, P. Piccinini, E. Montoneri, G. Viscardi, P. Quagliotto, E. Barni, Effects of additives on the dyeing of nylon-6 with dyes containing hydrophobic and hydrophilic moieties, *Dyes and Pigments* **47** (2000) 177-188.
- [34] P. Savarino, S. Parlati, R. Buscaino, P. Piccinini, I. Degani, E. Barni, Effects of additives on the dyeing of polyamide fibres. Part I: β -cyclodextrin, *Dyes and Pigments* **60** (2004) 223-232.
- [35] X. Du, X. Chen, W. Lu, J. Hou, Spectroscopic study on binding behaviors of different structural nonionic surfactants to cyclodextrins, *J. Colloid Interface Sci.* **274**(2) (2004) 645-651.
- [36] C.E. Lin, H.C. Huang, H.W. Chen, A capillary electrophoresis study on the influence of β -cyclodextrin on the critical micelle concentration of sodium dodecyl sulfate, *J. Chromatogr., A* **917**(1-2) (2001) 297-310.
- [37] W. Eli, W. Chen, Q. Xue, The association of anionic surfactants with β -cyclodextrin. An isothermal titration calorimeter study, *J. Chem. Thermodyn.* **31**(10) (1999) 1283-1296.
- [38] I. Topchieva, K. Karezin, Self-Assembled Supramolecular Micellar Structures Based on Non-ionic Surfactants and Cyclodextrins, *J. Colloid Interface Sci.* **213**(1) (1999) 29-35.
- [39] B. Asghariana, D.A. Cadenhead, E.D. Goddard, The sequestering of surfactants from insoluble monolayers by α -, β - and γ -cyclodextrins, *Colloids Surf., A* **34**(2) (1989) 143-149.
- [40] H. Ritter, M. Tabatabai, Cyclodextrins in polymer science: a green way to polymers, *Prog. Polym. Sci.* **27**(9) (2002) 1713-1720.
- [41] United States Patent, 4,681,934, 1987.
- [42] United States Patent, 5,594,125, 1997.
- [43] World Intellectual Property Organization WO 1047518, 2003
- [44] European Patent Office, EP 0483380, 1991.
- [45] A. Harada, J. Li, M. Komachi, Preparation and Properties of Inclusion Complexes of Poly(ethylene glycol) with Alpha-Cyclodextrin, *Macromolecules* **26** (1993) 5698-5703.
- [46] L. Huang, E. Allen, A.E. Tonelli, Inclusion compounds formed between cyclodextrins and nylon 6, *Polymer*. **40** (1999) 3211-3221.
- [47] U. Denter, E. Schollmayer, Proceedings of the Eighth International Cyclodextrin Symposium, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1996, p. 559.
- [48] M.R. ten Breteler, V.A. Nierstrasz, M.M.C.G. Warmoeskerken, Textile Slow-Release Systems with Medical Applications, *Autex Res. J.* **2**(4) (2002) 125-132.
- [49] B. Vončina, N. Majcen, Upotreba ciklodekstrina za medicinske i higijenske tekstilne materijale, *Tekstil* **53**(1) (2004) 1-9.
- [50] H.J. Buschmann, D. Knitell, E. Schollmayer, New Textile Applications of Cyclodextrins, *J. Inclusion Phenom. Macro. Chem.* **40** (2001) 169-172.
- [51] United States Patent, 0007517, 2002.
- [52] P.L. Nostro, L. Fratoni, P. Baglioni, Modification of a Cellulosic Fabric with β -Cyclodextrin for Textile Finishing Applications, *J. Inclusion Phenom. Macro. Chem.* **44** (2002) 423-427.
- [53] B. Martel, M. Morcelet, D. Ruffin, L. Ducoroy, M. Weltrowski, Finishing of Polyester Fabrics with Cyclodextrins and Polycarboxylic Acids as Crosslinking Agents, *J. Inclusion Phenom. Macro. Chem.*, **44** (2002) 443-446.
- [54] <http://www.capital-hpic.co.uk/cdex.htm>.
- [55] E.I. Popova, I.N. Topicheva, Complex Formation Between Polyethylene Oxide-Containing Nonionic Surfactants and α - and β -cyclodextrins, *Russ. Chem., B.* **50**(4) (2001) 620-625.

ABSTRACT

THE APPLICATION OF CYCLODEXTRINS IN TEXTILE AREA

(Professional paper)

Dragan Djordjević, Mile Novaković, Sandra Konstantinović
Faculty of Technology, Bulevar oslobođenja 124, Leskovac, Serbia

The application of cyclodextrins for textiles was reviewed in this paper. Cyclodextrins are crystalline, water soluble, cyclic, non-reducing oligosaccharides consisting of six, seven, or eight glucopyranose units. Cyclodextrins are known as products which are able to form inclusion complexes. The ability of cyclodextrins to form inclusion complexes can be used, e.g., to remove malodor from textile materials, etc. Furthermore, some modifications of the parent cyclodextrins are possible. The derivatives can be reactive (e.g. cyclodextrin with a monochlorotriazinyl group), more hydrophilic (by means of hydrophilic side groups, such as hydroxypropyl and hydroxyethyl), less hydrophilic (by means of lipophilic side groups, such as ethylhexyl glycidyl) or ionic (by means of ionic side groups, such as hydroxypropyl trimethyl ammonium chloride). The methods for treating textiles are thus quite simple. The method using anchor-bearing cyclodextrins is especially useful, since no fixation agent is needed, enabling they use of conventional textile treatment techniques and

equipment. Furthermore, this method has virtually no limitations with respect to the textile materials that can be used.

Key words: Textile • Cyclodextrin • Treatment •

Ključne reči: Tekstil • Ciklodekstrin • Obrada •