

MILAN N. SOVILJ
BRANISLAVA G.
BARJAKTAROVIĆ

Tehnološki fakultet,
Novi Sad, Srbija i Crna Gora,

NAUČNI RAD

582.98-035.83+546.264-31+66.061

KINETIKA EKSTRAKCIJE ULJA IZ SEMENA ULJANE TIKVE (*CUCURBITA PEPO* L.) NATKRITIČNIM CO₂

*U radu su prikazani rezultati ekstrakcije ulja iz semena uljane tikve (*Cucurbita pepo* L.) pomoću natkritičnog ugljendioksida. Ispitivan je uticaj pritiska na prinos ukupnog ekstrakta, pri konstantnoj temperaturi, konstantnom protoku rastvarača i veličini čestica polaznog čvrstog materijala. Istovremeno, ispitivan je uticaj temperature na prinos ukupnog ekstrakta, pri konstantnom pritisku, protoku rastvarača i veličini čestica polaznog materijala. Prinos ekstrakta se povećava sa pritiskom pod kojim je izvršena ekstrakcija ulja. Na pritisku od 30 MPa boja ekstrakta se menja, od blede žute (prvo prikupljene frakcije), preko oranž žute, do crvene. Eksperimentalne vrednosti za prinos ekstrahovanog ulja upoređivane su sa podacima dobijenim primenom izabranog matematičkog modela Honga i sar., koji je prikazan u literaturi.*

Ulje dobijeno hladnim presovanjem iz semena uljane tikve (*Cucurbita pepo* L.) ima izvrsne organoleptičke osobine, ukus i miris, tamno zelenu do braon crvenu boju, sa jakim crvenom fluorocentnošću. Široko se koristi kao ulje za salatu u nekim državama Evrope (Nemačka, Austrija, Slovenija, Mađarska, Hrvatska), a sve je veća potrošnja u Kanadi, SAD-u i kod nas. Medicinska primena ovog ulja u ublažavanju subjektivnih smetnji kod muškaraca usled povećanja prostate je poznata i opisana u literaturi [1]. Poslednjih godina sve se više širi gajenje posebne forme obične tikve (*Cucurbita pepo* L.), koja se naziva uljana tikva i gaji se zbog semena bogatog uljem. Poznate su dve forme uljane tikve: uljana tikva sa ljuskom i uljana tikva-golica, čije seme nije obloženo čvrstom ljuskom. U domaćem sortimentu poznate su uljana tikva-golica "Olinka" i uljana tikva sa ljuskom "Olivija", koje su stvorene u Institutu za ratarstvo i povrtarstvo u Novom Sadu [2]. U poredjenju sa tikvinim uljem, višu cenu postižu samo ulja masline ekstra kvaliteta i ponekad ulje od pšeničnih klica.

U maloprodaji ulje se može naći ili kao čisto hladno presovano ulje iz semena tikve ili u smeši sa drugim jestivim uljima. Hladno presovano ulje iz semena tikve ima višu cenu u poredjenju sa drugim jestivim uljima zbog postupka dobijanja, koje uključuje dosta manuelnog rada. Sadržaj ulja u semenu tikve varira od 42–54 %, pri čemu u njemu dominiraju masne kiseline: stearinska (5%), palmitinska (10%), oleinska (25%) i linolenska (50%) [3]. S druge strane, ovo ulje je perspektivan prirodni izvor mikronutritienta, kao što su tokoferoli (vitamin E), fitosteroli i lignan, koji imaju zahvalnu biološku fun-

kciju i značaj u ljudskoj ishrani [4,5]. Fitosteroli su dosta ispitivani zbog njihovog hipoholesteričkog, antikancero-genog i drugih efekata [4].

Ekstrakcija sa natkritičnim ugljendioksidom izuzetno je popularan proces, zahvaljujući svojim mnogobrojnim prednostima u odnosu na klasične postupke ekstrakcije organskim rastvaračima i destilaciju. Prednost duuguje, pre svega, netoksičnom, jeftinom, nezapaljivom, nekorozivnom, rastvaraču bez mirisa i boje, čija kritična temperatura ne prevazilazi značajno vrednost ambijentalne temperature i sa čijim izdvajanjem iz ekstrakta nema nikakvih poteškoća. Ovim postupkom se dobijaju ekstrakti visokog kvaliteta, oslobođeni zaostalog rastvarača i degradacionih produkata. Natkritična (superkritična) fluidna ekstrakcija (SFE) se koristi i za dobijanje ukupnih lipidnih ekstrakata iz semena drugih uljarica, a pokazala se takođe vrlo uspešnom u izolaciji i obogaćivanju sterola iz semena uljarica [6].

Ovaj rad se bavi ispitivanjem SFE pri dobijanju ulja iz semena uljane tikve na laboratorijskoj skali, s posebnim interesom na definisanje zavisnosti ukupnog prinosa uljnog ekstrakta od procesnih parametara (pritisk, temperatura). S druge strane, u radu su prikazani kinetika i modelovanje ekstrakcije koja je realizovana na pritiscima od 15, 22,5 i 30 MPa i temperaturi od 313 K. Istovremeno, pri konstantnom pritisku od 30 MPa ispitivan je uticaj temperature (313, 323 i 333 K).

Iako se u literaturi može naći relativno velik broj matematičkih modela koji opisuju prenos mase u sistemu čvrsta čestica-natkritični fluid [7–11], u ovom radu izbor je sužen na modele prilagođene procesu ekstrakcije uljarica, odnosno specifičnosti materijala koji se ekstrahuje. Naime, s obzirom na visoke sadržaje ulja u semenu tikve, za očekivati je bilo, u saglasnosti sa rezultatima dosadašnjih ispitivanja kinetike ekstrakcije različitih uljarica natkritičnim ugljendioksidom, da će na samom početku ekstrakcije, pri visokim koncentracijama ulja u semenu proces biti stacionaran, da bi se u toku procesa, pri niskim koncentracijama ulja u semenu, brzi na ekstrakcije smanjivala, odnosno proces postao nes-

Rad je saopšten na VI Simpozijumu "Savremene tehnologije i privredni razvoj", Leskovac, Oktobar 21–22, 2005

Adresa autora: M.N. Sovilj, Tehnološki fakultet, Bulevar cara Lazara 1, 21000 Novi Sad, Srbija i Crna Gora;
E-mail: miso@uns.ns.ac.yu
Rad primljen: Septembar 27, 2005
Rad prihvaćen: Oktobar 2, 2005

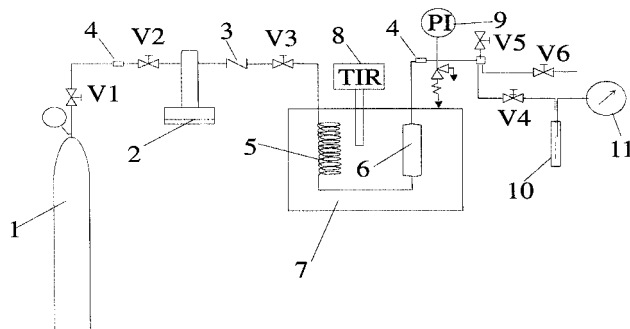
tacionaran. Stoga je u ovom radu za matematičko opisivanje ekstrakcije ulja iz semena tikve izabran relativno jednostavan matematički model koji kombinuje ova dva, po svojoj prirodi, različita perioda ekstrakcije, a koji su predložili Hong i sar. [8] za opisivanje ekstrakcije ulja iz soje. Konačno, rezultati za prinos ekstrakcije ulja dobijeni u ovom radu upoređivani su sa vrednostima izračunatim primenom izabranog matematičkog modela [8].

EKSPERIMENTALNI DEO

Seme uljane tikve golice (*Cucurbita pepo* L.) je nabavljeno u lokalnoj prodajnoj mreži u Mariboru, Republika Slovenija, i samleveno pomoću domaćeg mlina u malim porcijama, kako bi se izbeglo pregrevanje materijala. Nakon izvršene granulometrijske analize, uzorci od oko 20 g usitnjenog semena tikve, čija je veličina čestica bila u opsegu od 0,50 do 0,63 mm, uzeti su za dalji postupak. Aparatura za natkritičnu ekstrakciju prikazana je na slici 1., a radila je na principu jednog prolaza CO₂ kao rastvarača (čistoće 99,97 %, Messer-Griesheim, Ruše, Slovenija), kroz nasuti sloj usitnjenog materijala. Ekstrakcija je realizovana na pritiscima od 15, 22,5 i 30 MPa, pri konstantnoj temperaturi od $313 \pm 0,5$ K i sa konstantnim protokom rastvarača od 0,2 kg/h. Prinos ekstrakta je meren gravimetrijski ($\pm 0,1$ mg), sakupljanjem ekstrakata na temperaturi $0 \pm 3^\circ\text{C}$ u staklenoj cevi, korišćenju kao separator (odvajач).

Uređaj za ekstrakciju omogućava rad na maksimalnom radnom pritisku od 50 MPa i maksimalnoj temperaturi od 373 K [12]. Aparatura se sastoji od boce/cilindra sa CO₂ (1), visokopritisne pumpe (ISCO syringe pump, model 260D, $P_{\text{max}}=35$ MPa, Lincoln, Nebraska, USA) (2) koja se koristi za transport tečnog CO₂ na zadatom pritisku, termostatski kontrolisanog vodenog kupatila (7), koje sadrži ekstrakcionu posudu, čija je unutrašnja zapremina 60 cm³ (6), predgrejača (5) koji služi da zagreje rastvarač do željene temperature, kao i sabirnog suda za produkte razdvajanja (10). Svi elementi aparature povezani su cevima prečnika 3,175 mm (1/8") (Dockwieler, Germany). Cevi su spojene sa pumpom pomoću Valco fittinga (Valco Instruments Co. Inc, Cincinnati, Ohio, USA). Svi ventili i spojnice (Autoclave Engineers, Erie, USA), korišćeni u ovom sistemu mogu izdržati pritisak od 75,8 MPa.

Temperatura u ekstrakcionoj posudi je regulisana i održavana konstantnom $\pm 0,5$ K pomoću vodenog kupatila (termostatat (8), Lauda DR.R.Wobser GmbH&Co.KG, Lauda-Königshofen, Germany), koje je takođe sadržalo grejač (5) korišćen za predgrevanje CO₂ pre njegovog ulaska u ekstrakcionu posudu. Manometar Digibar (PI) (0-50 MPa korišćen je za kontrolu pritiska unutar granica $\pm 0,05$ MPa. Između boce iz koje se dovodi CO₂, kao i na izlaznoj cevi za produkt iz ekstrakcione posude nalaze se dva mikro-filtra (10 μm) (4), sa ciljem uklanjanja suspendovanih čvrstih čestica iz odgovarajućih materijalnih struja. Cev između ekstraktora i sabirnog suda za pro-



Slika 1. Aparatura za ekstrakciju pod visokim pritiskom
Figure 1. Apparatus for high-pressure extraction

dukt snabdevena je ekspanzionim ventilom (V4), zagrejanim na 393 K i sigurnosnim ventilom (V5). Ventili (V1-V3), (V5) i (V6) se nalaze na liniji dovoda ili odvoda rastvarača. Neposredno ispred sabirnog suda omogućeno je njegovo zagrevanje da ne bi došlo do smrzavanja usled nagle ekspanzije gasne faze. Ukupna količina CO₂ koja prođe kroz sistem određivana je pomoću merača protoka (11) (Elster Handel GmbH, Mainz, Germany) i vremena trajanja ekstrakcije. Eksperimentni na pritisku od 30 MPa ponavljani su tri puta a standardna devijacija dobijena za prinos ekstrakta bila je manja od 0,02%.

MATEMATIČKI MODEL

Pri izboru odgovarajućeg matematičkog modela kojim bi se opisala ekstrakcija ulja iz semena uljane tikve važno je uočiti, na osnovu dobijenih eksperimentalnih podataka, kakav je oblik ekstrakcionih krivih, kojima se prikazuje zavisnost prinosa ekstrakcije od vremena.

Prinos ekstrakcije definisan je izrazom:

$$Y(\%) = \frac{m_{\text{ekstrakta}}}{m_{\text{sirovog materijala}}} \times 100\% \quad (1)$$

gde su $m_{\text{ekstrakta}}$ – masa ekstrakta i $m_{\text{sirovog materijala}}$ – masa sirovog materijala.

U modelu koji su predložili Hong i sar. [8], početni period ekstrakcije, u kome je brzina prenosa mase konstantna, kontrolise prenos mase kroz film natkritičnog fluida formiran oko čestice, odnosno veličina koeficijenta prelaza mase u filmu (k_f). S druge strane, period u kome brzina ekstrakcije opada kontrolisan je brzinom difuzije ulja unutar čvrste faze. Prema autorima ovog modela [8], za svaki period ekstrakcije izvode se posebni proračuni prenosa mase, nezavisno jedan od drugog, a njihovi rezultati se kombinuju na osnovu uočenih eksperimentalnih podataka. Vremenski trenutak prelaza iz jednog u drugi period, kao i masa dobijenog ekstrakta u trenutku prelaza definišu se na osnovu eksperimentalno izmerenih vrednosti.

Pošto se u našim eksperimentima radi o veoma uskom opsegu vrednosti Reynoldsovog broja, koeficijent prenosa mase u filmu natkritičnog fluida oko čestice ra-

čunat je korišćenjem sledeće modifikovane korelacije, koju su predložili Hong i sar. [8]:

$$Sh \{ 1 + 1,5 (1 - \varepsilon) \} = 0,035 Re^{1/2} Sc^{1/3} \quad (2)$$

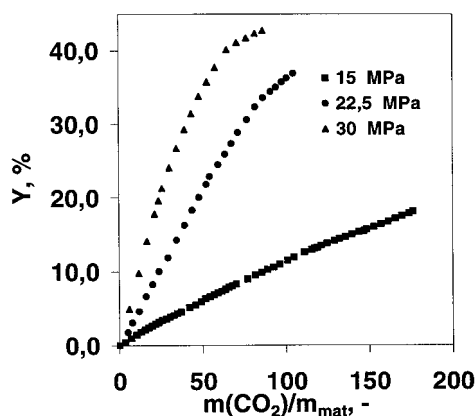
gde su: Re – Reynoldsov broj ($Re = u d \rho / \mu$); Sh – Šer-vudov broj ($Sh = k_f d / D_{12}$) i Šmitov broj ($Sc = \mu / \rho D_{12}$).

Binarni koeficijent difuzije (D_{12}), gustina (ρ), i dinamička viskoznost (μ), za binarni sistem CO_2 –trigliceridi ulja semena tikve, procenjeni su prema preporukama iz literature [13]. Čitav proračun izveden je na način opisan u literaturi [14].

REZULTATI I DISKUSIJA

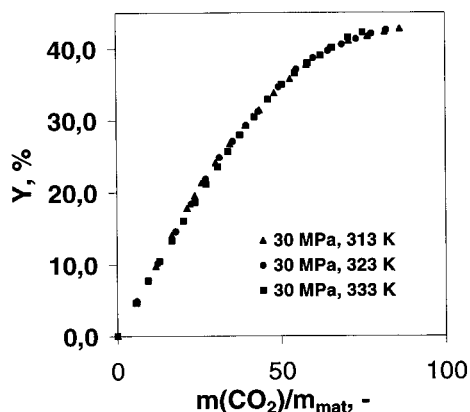
Na slici 2 prikazana je zavisnost ukupnog ekstrakta pri ekstrakciji usitnjenog semena tikve (srednji prečnik 0,56 mm) od masenog odnosa korišćenog rastvarača i polaznog materijala. Korišćeni su pritisci od 15, 22,5 i 30 MPa i temperatura od 313 K. Protok natkritičnog ugljen-dioksida je bio 0,2 kg/h. Prinos ekstrakata dobijen pri radu na 15 MPa je bio relativno nizak, tj. 0,181 g ulja po 1g polaznog semena za period ekstrakcije od 14 h (18,1%). Međutim, ekstrakti dobijeni pod višim pritiscima imali su veći prinos ulja, odnosno na 22,5 MPa za 9 h ekstrahovano je 36,3% ulja, a na 30 MPa za 6 h 41,0% ulja. Radi poređenja, treba naglasiti da je ekstrakcijom usitnjenog semena tikve heksanom na temperaturi 313 K dobijen prinos ulja manji od 40%.

Sa slike 3 može se videti da temperatura ne utiče na prinos ekstrakta na pritisku 30 MPa. Objašnjenje za ovaj rezultat može se naći u vrednosti "crossover" pritiska/ prelaznog pritiska za sistem ulje iz semena tikve–natkritični CO_2 . Naime, na konstantnom pritisku



Slika 2. Zavisnost ukupnog prinosa ekstrakta (Y) od masenog odnosa korišćenog rastvarača (m_{CO_2}) i polaznog materijala (m_{mat}), pri ekstrakciji ulja iz usitnjenog semena tikve (čestice veličine 0,56 mm, temperatura 313 K, protok rastvarača (CO_2) 0,2 kg/h i pritisci 15, 22,5, i 30 MPa); Y (%)

Figure 2. Dependence of the overall extract yield (Y) on the mass ratio of solvent used (m_{CO_2}) and ground particle bed (m_{mat}) in the extraction of pumpkin seed oil (mean particle size 0.56 mm, temperature 313 K, CO_2 flow 0.2 kg/h and pressures of 15, 22,5 and 30 MPa)



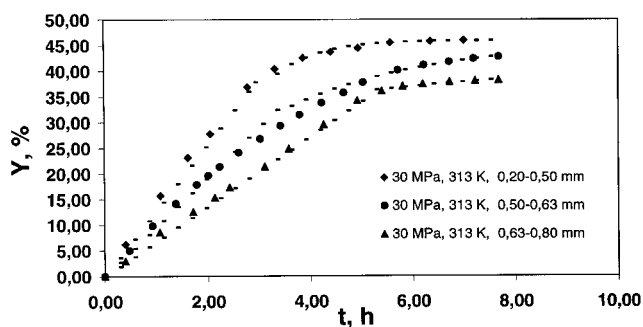
Slika 3. Zavisnost ukupnog prinosa ekstrakta (Y) od masenog odnosa korišćenog rastvarača (m_{CO_2}) i polaznog materijala (m_{mat}), pri ekstrakciji ulja iz usitnjenog semena tikve (čestice veličine 0,56 mm, pritisak 30 MPa, protok CO_2 0,2 kg/h i temperature 313, 323 i 333 K)

Figure 3. Dependence of the overall extract yield (Y) on the mass ratio of solvent used (m_{CO_2}) and ground particle bed (m_{mat}) in the extraction of pumpkin seed oil (mean particle size 0.56 mm, pressure 30 MPa, CO_2 flow 0.2 kg/h, and temperatures 313, 323 and 333 K)

natkritičnog fluida, uticaj porasta temperature zavisice od vrednosti pritiska. Na pritiscima ispod prelaznog pritiska, porastom temperature, usled smanjenja gustine natkritičnog fluida, smanjivace se i njegova moc rastvaranja, odnosno u ovom slucaju ce se smanjivati rastvorljivost ulja u natkritičnom CO_2 . Suprotno tome, na pritiscima vecim od prelaznog pritiska porast temperature utiace na porast rastvorljivosti ulja u natkritičnom CO_2 , i pospešice ekstrakciju, iako se gustina natkritičnog fluida smanjuje, zbog veceg uticaja temperature na porast napona pare ulja. S obzirom na to da podatak o prelaznom pritisku za ispitivani sistem nije pronaden u dostupnoj literaturi, na osnovu rezultata ovog eksperimenta moglo bi se zakljuciti da je prelazni pritisak za ulje iz semena tikve upravo 30 MPa, ili se nalazi u uskom opsegu pritisaka koji obuhvata ovu vrednost. Na pritisku od 30 MPa boja dobijenog ekstrakta tokom vremena ekstrakcije se menja, od blede žute (prva 2 h) preko oranž žute (od 2 do 4 h), do crvene (nakon 4 h). Specifična gustina ekstrakata raste s vremenom ekstrakcije. Istovremeno, dobijeni ekstrakti nemaju tipičan miris kao ulje dobijeno hladnim presovanjem semena tikve. Detaljna analiza sastava ulja može dati konačan odgovor o mogućnostima primene ulja dobijenog pomoću natkritičnog CO_2 .

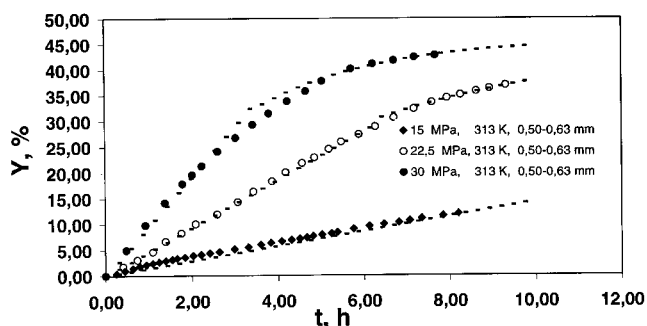
U ovom radu prikazani su i rezultati ispitivanja i kvantifikovanja prenosa mase iz semena tikve (*Cucurbita pepo* L.) u natkritični CO_2 kao ekstrakcioni rastvarač. Rezultati ekstrakcije ove biljne sirovine su upoređivani sa podacima dobijenim primenom odabranog matematičkog modela za prenos mase, prikazanim u literaturi [8].

Pri ekstrakciji semena uljane tikve stacionarno stanje se dostiže na samom početku procesa, sa približno



Slika 4. Poređenje eksperimentalnih rezultata za prinos ekstrahovanog ulja iz semena uljane tikve za različitu granulaciju semena (♦, ●, ▲) sa vrednostima izračunatim pomoću kombinovanog modela Honga i sar. [8] (- - -); Y – ukupan prinos ekstrakta, %; t – vreme, h

Figure 4. Comparison of experimental values for the overall extract yield from pumpkin seed of different particle size (♦, ●, ▲) and data calculated by the Hong et al. model [8] (- - -); Y – overall extract yield, %; t – time, h



Slika 5. Poređenje eksperimentalnih rezultata za prinos ekstrahovanog ulja iz semena uljane tikve za različite vrednosti pritiska ekstrakcije (♦, ○, ●) sa vrednostima izračunatim pomoću kombinovanog modela Honga i sar. [8] (- - -); Y – ukupan prinos ekstrakta, %; t – time, h

Figure 5. Comparison of the experimental values for the overall extract yield from pumpkin seed at different values of the extraction pressure (♦, ○, ●) and data calculated by the Hong et al. model [8] (- - -); Y – overall extract yield, %; t – time, h

konstantnom vrednošću koncentracije ulja u fazi natkritičnog fluida na izlazu iz uređaja, nakon čega sledi nestacionarni period tokom koga se koncentracija ulja smanjuje sa vremenom. Zbog jednakosti čestica u homogenom sloju bilo je moguće koristiti model koji opisuje varijaciju koncentracije unutar jedne sfere [8].

Na slici 4 prikazani su eksperimentalni rezultati za prinos ulja u funkciji vremena trajanja ekstrakcije, pri konstantnoj temperaturi i pritisku, uz istovremeno njihovo poređenje sa rezultatima koji se dobijaju primenom kombinovanog modela Honga i sar. [8]. Sa slike 4. je očigledno da se rezultati ekstrakcije pri dužem trajanju ekstrakcije sve više približavaju rezultatima dobijenim iz teorijskog modela.

Na slici 5 prikazani su eksperimentalni rezultati za prinos ulja u funkciji vremena trajanja ekstrakcije, pri konstantnoj temperaturi, na različitim pritiscima ekstrakcije, kao i njihovo poređenje sa rezultatima koji se dobijaju primenom kombinovanog modela Honga i sar. [8]. Sa slike 5 je vidljivo da se rezultati ekstrakcije, nezavisno od korišćenog pritiska, pri dužem vremenu ekstrakcije sve više približavaju podacima dobijenim iz teorijskog modela.

ZAKLJUČAK

U ovom radu su prikazani rezultati ekstrakcije ulja iz semena uljane tikve (*Cucurbita pepo* L.) pomoću natkritičnog ugljendioksida. Ispitivan je uticaj pritiska i temperature na prinos ukupnog ekstrakta, pri konstantnom protoku rastvarača i veličini čestica polaznog materijala. U radu je grafički prikazana kinetika ekstrakcije ovog složenog sistema u obliku zavisnosti sadržaja ukupnog ekstrakta pri ekstrakciji usitnjenog semena uljane tikve od masenog odnosa korišćenog rastvarača i polaznog materijala. Očigledno je da se povišenjem radnog pritiska, kao i masenog odnosa korišćenog rastvarača i polaznog materijala povećava ukupni prinos ekstrakcije. Eksperimentalno je utvrđeno da temperatura ne utiče na prinos ekstrakta, pri ekstrakciji na konstantnom pritisku od 30 MPa, na osnovu čega se može zaključiti da je ova vrednost pritiska jednaka ili bliska prelaznom pritisku.

Eksperimentalni podaci za prinos ekstrakta upoređivani su sa rezultatima koji se dobijaju primenom izabranog matematičkog modela iz literature [8], koji je razvijen za slične uslove ekstrakcije sa natkritičnim fluidom. Utvrđeno je da se brojčane vrednosti ovih eksperimentalnih podataka približavaju računskim vrednostima pri dužem vremenu ekstrakcije ulja iz semena uljane tikve.

LITERATURA

- [1] W. R., Ness, K. Krevitz, J. Joseph, W.D. Nes, B. Harris, G. F. Gibbons and G. W. Patterson, *Lipids* **12** (6) (1977) 511.
- [2] <http://www.poljoprivreda.info/?oid=2&id=168>.
- [3] A. Mandl, G. Reich and W. Lindner, *Eur. Food Res. Technol.* **209** (1999) 400.
- [4] V. Piironen, D. G. Lindsay, T. A. Miettinen, A. Toivo and A. M. Lampi, *J. Sci. Food Agric.* **80** (2000) 939.
- [5] M. Murković, V. Piironen, A. M. Lampi, T. Kraushofer and G. Sontag, *Food Chemistry* **84** (3) (2004) 359.
- [6] S. L. Abidi, *Journal of Chromatography A* **935** (2001) 173.
- [7] J. Crank, *Mathematics of Diffusion*, Oxford University Press, Oxford, 1975.
- [8] I. K. Hong, S. W. Rho, K. S. Lee and K. P. Yoo, *Korean J. Chem. Eng.* **7** (1) (1990) 40.
- [9] H. Sovova, *Chem. Eng. Sci.* **49** (1994) 415.
- [10] Reverchon, C. Marrone, *J. Supercrit. Fluids* **19** (2001) 161.
- [11] I. Žižović, M. Stamenić, A. Orlović, D. Skala, *Chem. Eng. Sci.* **60** (2005) 6747.

- [12] Ž. Knez, EEC Erasmus Intensive Course on Current Trends in High Pressure Technology, Padova, April 1995.
- [13] R. C. Reid, J. M. Prausnitz, B. E. Poling, The Properties of Gases & Liquids, McGraw-Hill, Inc. Book Company, 4th edition, 1987.
- [14] L. Čretnik, M. Škerget, Ž. Knez, Separation and Purification Technology **41** (2005) 13.

SUMMARY

KINETICS OF THE EXTRACTION OF PUMPKIN SEED OIL (*CUCURBITA PEPO* L.) BY SUPERCRITICAL CO₂

(Scientific paper)

Milan N. Sovilj, Branislava G. Barjaktarović
Faculty of Technology, Novi Sad, Serbia and Montenegro

This paper deals with the supercritical carbon dioxide extraction of pumpkin seed oil (*Cucurbita pepo* L.). Supercritical fluid extraction (SFE) has been used to obtain total lipid extracts from other oilseeds, and it has also proved successful in the isolation and enrichment of sterols from oilseeds. The SFE of pumpkin seed oil on a laboratory scale was investigated in this paper, with special interest in the influence of the extraction pressure on the overall yield of pumpkin seed oil. Extractions were carried out at the pressures of 15, 25 and 30 MPa and at 313 K, and at a pressure of 30 MPa and the temperatures 313, 323, and 333 K. The yield of the extractions conducted at 15 MPa was rather low, 0.1814 g oil per 1g of seed feed (18.4%) for an extraction time of 14 h. However, extractions at higher pressures yielded greater quantities of the oil; at 22.5 MPa for 9 h, 36.3% of the oil and at 30 MPa for 6 h, 41.0% of the oil. For comparison, hexane extraction of the seed material yielded less than 40% of the oil. Temperature did not influence the extraction yield. At a pressure of 30 MPa, the color of the fractions yielded during successive extraction time intervals varied greatly, from pail yellow (the first 2 h), through orange-yellow (from 2–4 h) to red (after 4 h). The experimental results of the oil yields were compared with the data obtained by the mathematical model of Hong et al., presented in the literature.

Ključne reči: Natkritična fluidna ekstrakcija • Kinetika • Modelovanje • Ugljendioksid • Ulje iz uljane tikve •

Key words: Supercritical fluid extraction • Kinetics • Modelling • Carbon dioxide • Pumpkin seed oil •