

# Metode za praćenje interakcija u procesu adsorpcije

---

**Kačarik, Martina**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, FACULTY OF FOOD TECHNOLOGY / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:109:036831>

*Rights / Prava:* [Attribution-ShareAlike 3.0 Unported/Imenovanje-Dijeli pod istim uvjetima 3.0](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-23**

REPOZITORIJ

PTF OS

PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

dabar  
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Food Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK**

**PREDDIPLOMSKI STUDIJ PREHRAMBENE TEHNOLOGIJE**

**Martina Kačarik**

**METODE ZA PRAĆENJE INTERAKCIJA U PROCESU ADSORPCIJE**

**ZAVRŠNI RAD**

**Osijek, 2023.**

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**  
**PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK**

**PREDDIPLOMSKI STUDIJ PREHRAMBENE TEHNOLOGIJE**

Nastavni predmet

Fizikalna kemija

**Metode za praćenje interakcija u procesu adsorpcije**

**Završni rad**

Mentor: dr. sc. Petra Matić, znanstveni suradnik

---

Student: **Martina Kačarik** 0113149076

Mentor: dr. sc. Petra Matić, znanstveni suradnik

Predano (datum):

Pregledano (datum):

---

**Ocjena:**

**Potpis mentora:**

---

**Naslov: Metode za praćenje interakcija u procesu adsorpcije**

Sažetak:

Zadatak ovog rada je opisati metode za praćenje interakcija adsorbata i adsorbensa u procesu adsorpcije. Adsorpcija je tehnika koja se koristi kako bi se dobile informacije o interakcijama između adsorbensa i adsorbata. Na proces adsorpcije utječu mnogi parametri. U ovom radu opisan će se metode koje se koriste za praćenje interakcija adsorbata i adsorbensa (adsorpcijske izoterme, termodinamička mjerenja, spektralna mjerenja i druge).

Ključne riječi: interakcije, adsorbat, adsorbens, metode za praćenje interakcija

**Title: Methods for Monitoring the Interactions in the Adsorption Process**

Summary:

The aim of this paper is to describe the methods for monitoring the interactions of adsorbate and adsorbent in the adsorption process. Adsorption is a technique used to obtain information about the interactions between adsorbent and adsorbate. The adsorption process is influenced by many parameters. This paper will describe the methods used to monitor the interactions of adsorbate and adsorbent (adsorption isotherms, thermodynamic measurements, spectral measurements and others).

Keywords: interactions, adsorbate, adsorbent, methods for monitoring interactions

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. GLAVNI DIO .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. ADSORPCIJA .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2. INTERAKCIJE ADSORBENSA I ADSORBATA .....</b>	<b>5</b>
<b>2.3. METODE ZA ODREĐIVANJE SVOJSTAVA ADSORBENSA .....</b>	<b>7</b>
<b>2.4. METODE ZA PRAĆENJE INTERAKCIJA .....</b>	<b>7</b>
2.4.1. Infracrvena spektroskopija s Fourierovom transformacijom .....	7
2.4.2. Skenirajuća elektronska mikroskopija .....	9
2.4.3. Adsorpcijske izoterme .....	11
<b>3. ZAKLJUČCI .....</b>	<b>14</b>
<b>4. LITERATURA .....</b>	<b>16</b>

## **1. UVOD**

---

Proces adsorpcije koristi se kako bi se dobile informacije o interakcijama adsorbata i adsorbensa. Kao primjer adsorbata mogu se navesti polifenolni spojevi, a kao adsorbens različita prehrambena vlakna kao što je to  $\beta$ -glukan. Na proces adsorpcije utječu mnogi parametri kao što su svojstva adsorbensa. Svojstva adsorbensa mogu se određivati različitim metodama.

Kako bi se dobilo više informacija o interakcijama, mogu se koristiti različite metode kao što su Infracrvena spektroskopija s Fourierovom transformacijom, skenirajuća elektronska mikroskopija, adsorpcijske izoterme i drugo.

Zadatak ovog rada je opisati metode za praćenje interakcija adsorbata i adsorbensa u procesu adsorpcije. U ovom radu opisat će se metode koje se koriste za praćenje interakcija adsorbata i adsorbensa.

## **2. GLAVNI DIO**

---



---

## 2.1. ADSORPCIJA

Adsorpcija je obogaćivanje površinskog sloja sa jednom ili više komponenti što predstavlja zgušnjavanje molekula na čvrstoj površini. U procesu adsorpcije na površinu adsorbensa adsorbira se adsorbat (Đorđević i Dražić, 1987).

Adsorpcija ovisi o:

- prirodi adsorbirane tvari,
- temperaturi i
- površini adsorbensa (Đorđević i Dražić, 1987).

Adsorpcija može biti:

- monoslojna i
- višeslojna (Đorđević i Dražić, 1987).

Prema vezama kojima se adsorbens adsorbira na adsorbat, adsorpcija može biti:

1. FIZIKALNA ADSORPCIJA ili Van der Waalsova-predstavlja reverzibilnu adsorpciju gdje je adsorpcijska veza slaba, mala i ne prelazi 10 kcal/mol. Javlja se kod plinova i otopina,
2. KEMIJSKA ADSORPCIJSKA ili KEMISORPCIJA-predstavlja ireverzibilnu adsorpciju gdje je veza čvršća u odnosu na fizikalnu adsorpciju. Adsorpcijska energija dostiže vrijednost od 150 kcal/mol. Javlja se kod plinova i otopina, i
3. ELEKTRIČNA ADSORPCIJA-adsorpcija koja se javlja na elektrodama i na pozitivno ili negativno nabijenim koloidima. Javlja se kod otopina (Đorđević i Dražić, 1987).

Usporedba fizikalne i kemijske adsorpcije prikazana je u **Tablici 1**.

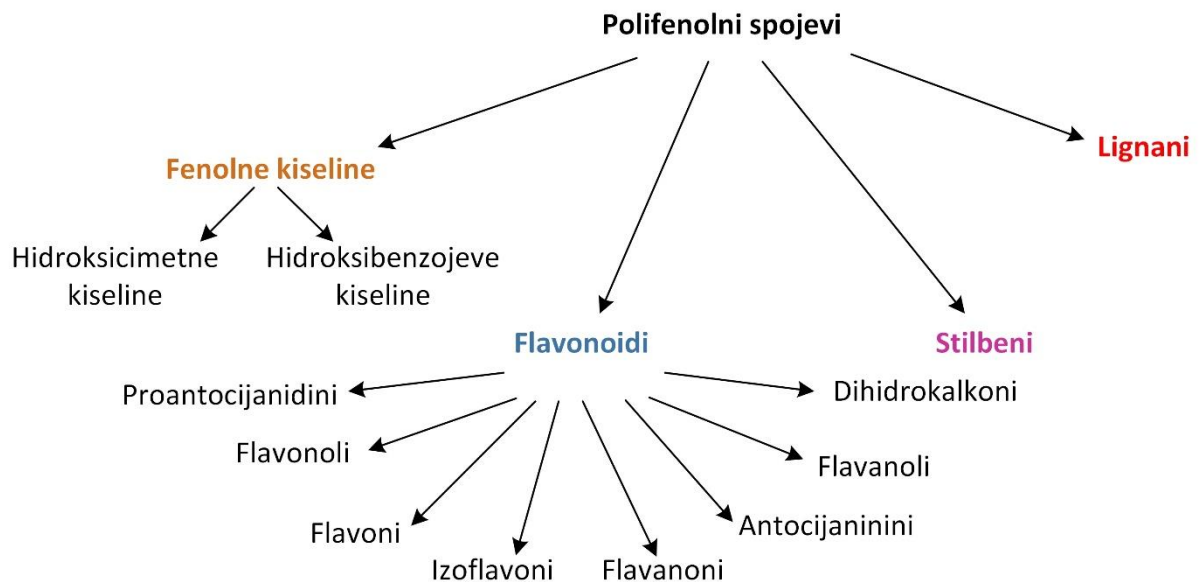
**Tablica 1** Usporedba fizikalne i kemijske adsorpcije (Benjelloun i sur., 2021)

Svojstvo	Fizikalna adsorpcija	Kemijska adsorpcija
kinetika	jako spora	brza i ne ovisi o temperaturi
desorpcija	teško	lako
energija vezanja	100-1000 kJ/mol	10-100 kJ/mol
vezanje	jednoslojno	Jednoslojno ili višeslojno
mehanizam	Nakupljanje oko jezgre	difuzija

## 2.2. INTERAKCIJE ADSORBENSA I ADSORBATA

Interakcije adsorbata kao što su polifenolni spojevi i adsorbensa kao što je  $\beta$ -glukan u današnje vrijeme sve se više istražuju zbog povećanja bioaktivnosti polifenola.

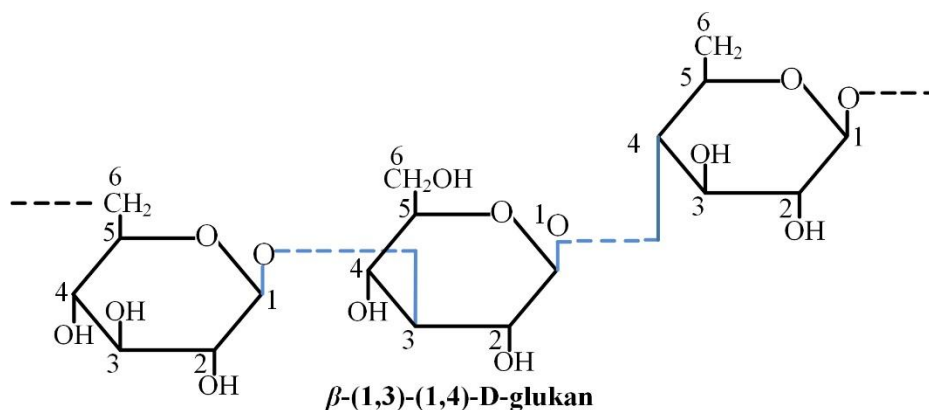
Polifenolni spojevi su biljni metaboliti čija je glavna funkcija da biljku štite od ultraljubičastog zračenja ili patogena. Podjela polifenola prikazana je na **Slici 1** (Bravo, 1998; Manach i sur., 2004).



**Slika 1** Podjela polifenolnih spojeva

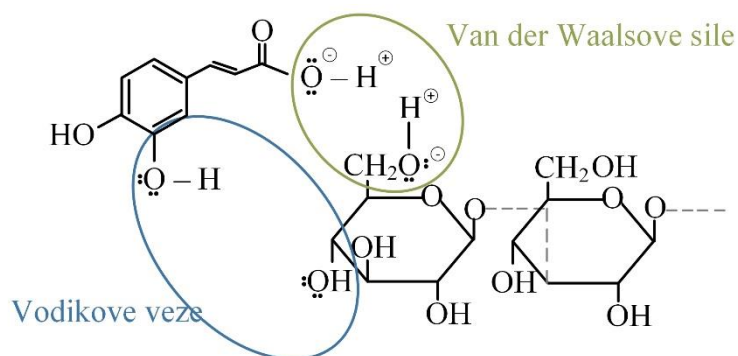
Polifenoli se mogu adsorbirati na ugljikohidrate kao što su pektin, celuloza, te prehrambena vlakna (Le Bourvellec i sur., 2009). Interakcije polifenola i prehrambenih vlakana se sve više istražuju (Quirós-Sauceda i sur., 2014; Jakobek, 2015).

$\beta$ -glukan je prehrambeno vlakno koje je pokazalo da može ulaziti u interakcije s polifenolima, a kemijska struktura  $\beta$ -glukana iz žitarica prikazana je na **Slici 2**.



**Slika 2** Kemijska struktura  $\beta$ -(1,3)-(1,4)-D-glukana

Polifenoli se mogu vezati fizikalnim vezama za  $\beta$ -glukan. Primjer vezanja polifenola (kafeinske kiseline) na  $\beta$ -glukan kroz vodikove i Van der Waalsove veze prikazano je na **Slici 3**.



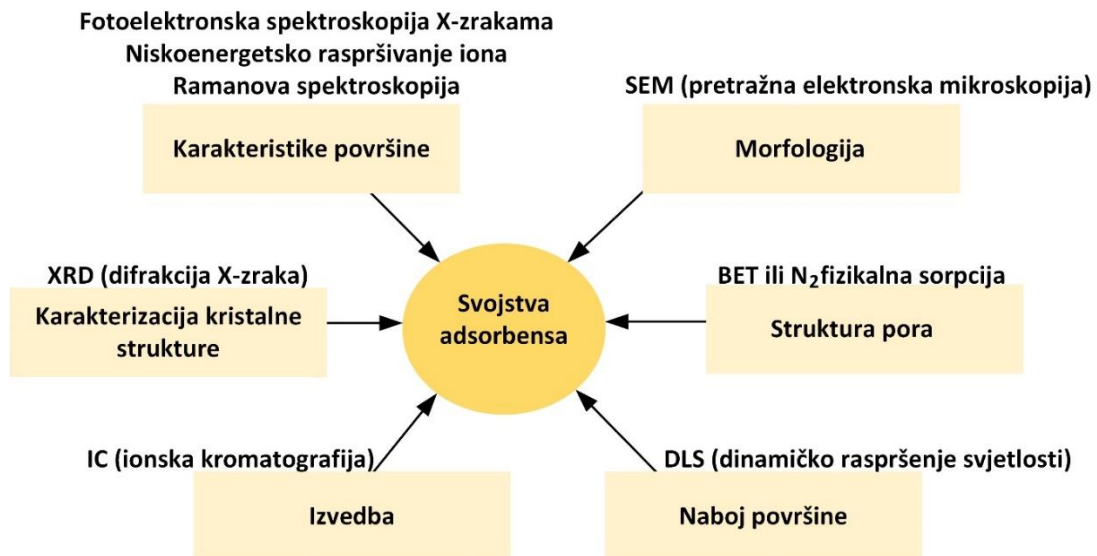
**Slika 3** Vezanje kafeinske kiseline na  $\beta$ -glukan kroz vodikove veze i van der Waalsove interakcije

U procesu adsorpcije bitna su svojstva adsorbensa i adsorbata.

---

## 2.3. METODE ZA ODREĐIVANJE SVOJSTAVA ADSORBENSA

Neke od metoda za određivanje svojstva adsorbensa prikazana su na **Slici 4**.



**Slika 4** Metode za određivanje svojstva adsorbensa

## 2.4. METODE ZA PRAĆENJE INTERAKCIJA

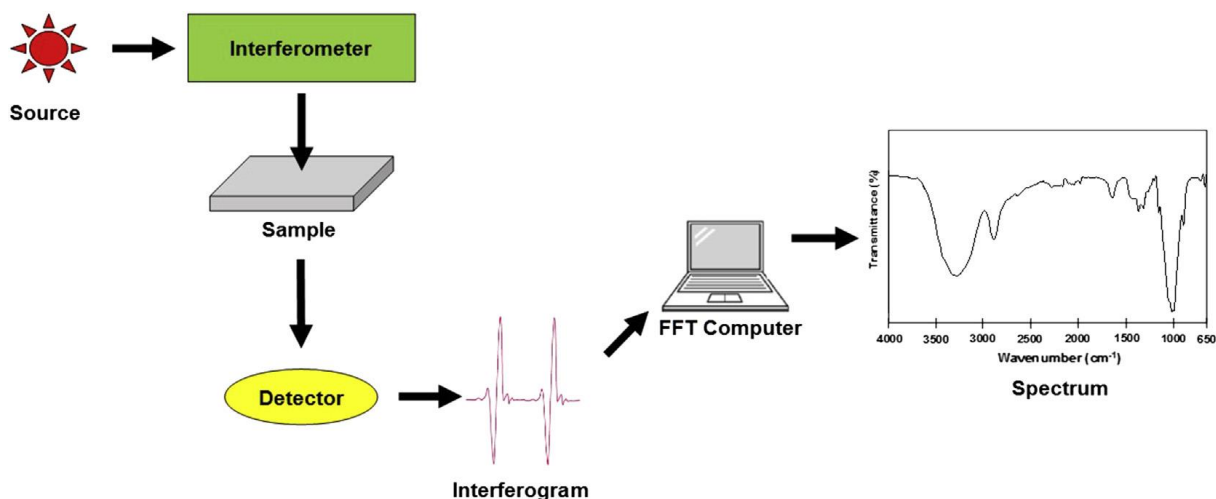
Metode za praćenje interakcija adsorbensa i adsorbata mogu se podijeliti na (Liu i sur., 2020):

1. termodinamička mjerenja (izotermalna titracijska kalorimetrija, diferencijalna pretražna kalorimetrija),
2. spektralna mjerenja (turbidimetrija, FTIR, NMR, XPS, SAXS),
3. mikrostruktura (SEM, TEM, CLSM)
4. indirektno metode,
5. adsorpcijske izoterme.

### 2.4.1. Infracrvena spektroskopija s Fourierovom transformacijom

Infracrvena spektroskopija s Fourierovom transformacijom (FTIR) je spektroskopija koja služi za određivanje funkcionalnih skupina s mogućim molekularnim vezama između kemijskih spojeva. Razumijevanje položaja infracrvenih apsorpcijskih vrpca u spektru mogu se

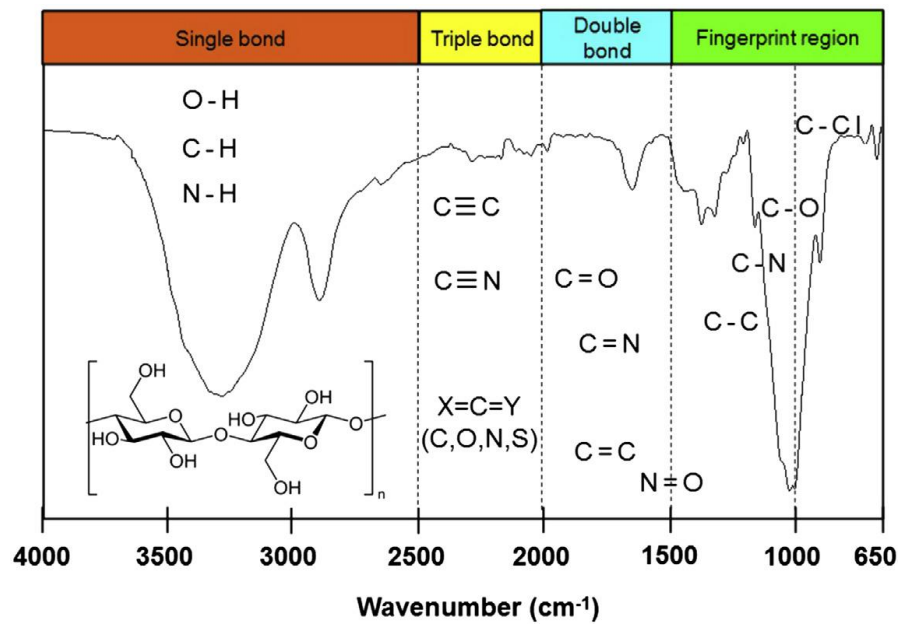
identificirati različite kemijske komponente (npr. aromatski amidi). Općenito, IR spektroskopija je primjenjiva za širok raspon materijala te se može koristiti za kvalitativnu i kvantitativnu analizu. Instrument koji određuje apsorpcijski spektar spoja naziva se spektrofotometar s Fourierovom transformacijom koji daje mnogo IR spektra brže u usporedbi s tradicionalnim spektrofotometrom (**Slika 5**) (Mohamed i sur., 2017).



**Slika 5** Princip određivanja IR spektra (Mohamed i sur., 2017)

U osnovi, IR spektar dobiven FTIR spektrometrom nalazi se u srednjem IR području 2.5-15  $\mu\text{m}$  između 4000 i 666  $\text{cm}^{-1}$ . Prijelazne energije koje odgovaraju promjenama u stanje vibracijske energije za mnoge funkcionalne skupine nalazi se u srednjem IR području (4000-400  $\text{cm}^{-1}$ ) i Postoje četiri regije tipova veza koje se mogu analizirati iz FTIR spektra (**Slika 6**):

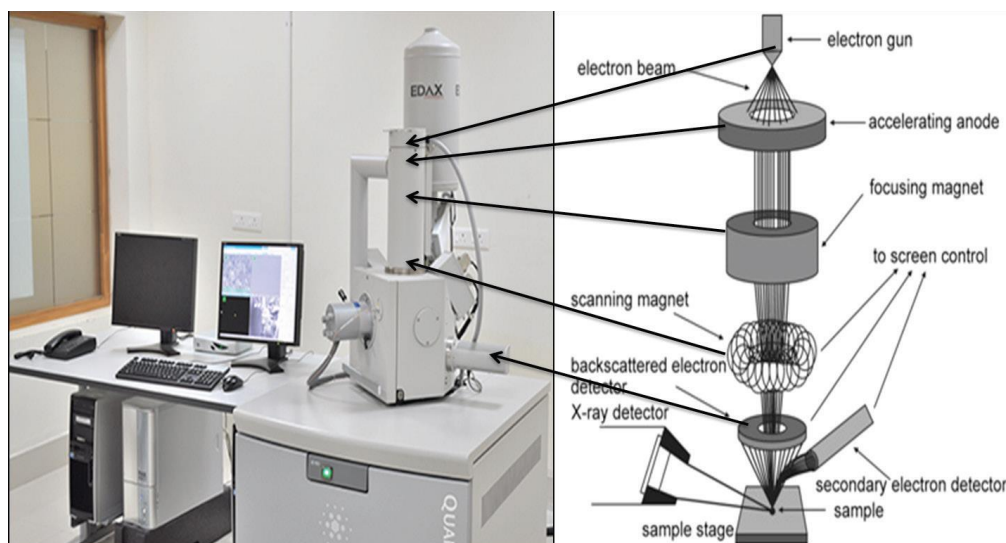
- jednostruka veza (O-H, C-H i N-H) u višim valni broj (2500-4000  $\text{cm}^{-1}$ ) i
- trostruka veza i dvostruka veza su u području 2000-2500  $\text{cm}^{-1}$  i 1500-2000  $\text{cm}^{-1}$  (Mohamed i sur., 2017).



**Slika 6** Fourierova transformacija infracrvenog spektra regenerirane celulozne membrane s različitim vezama u pojedinim područjima (Mohamed i sur., 2017)

### 2.4.2. Skenirajuća elektronska mikroskopija

Skenirajući elektronski mikroskop (SEM) koristi fokusirani snop elektrona te se dobivaju informacije o strukturi i sastavu. Na **Slici 7** prikazani su dijelovi SEM-a (Subramanian i sur., 2018).



**Slika 7** Dijelovi SEM-a (Subramanian i sur., 2018)

---

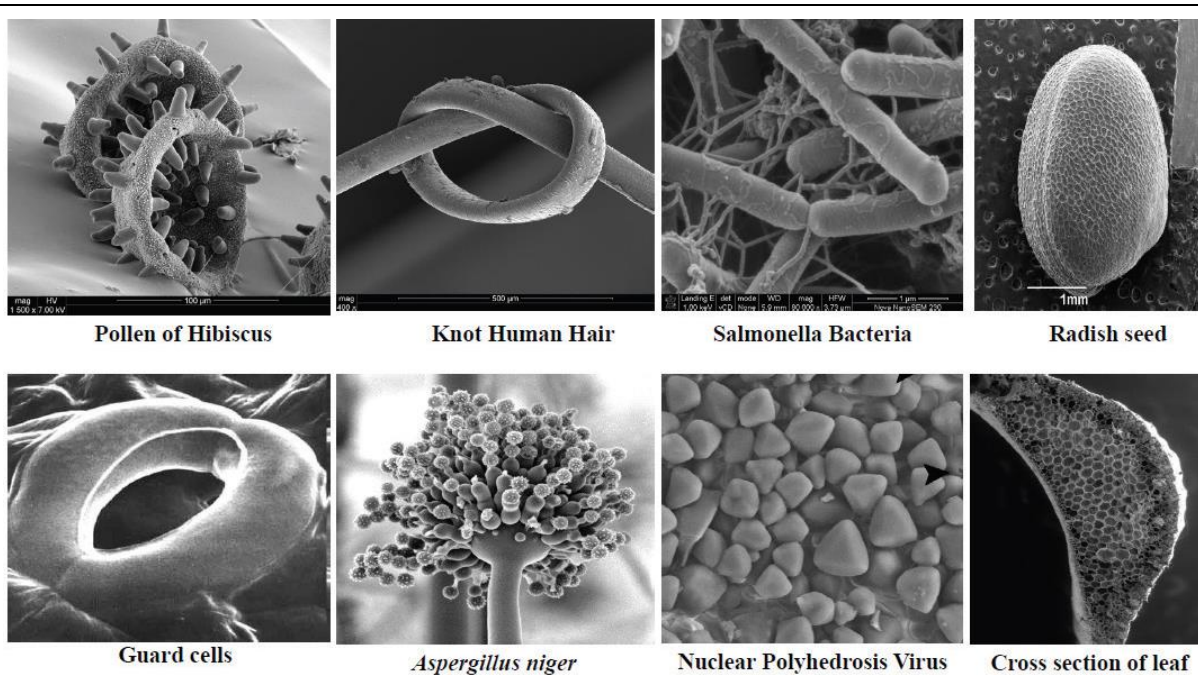
Dijelovi SEMA su sljedeći:

1. elektronska kolona,
2. elektronski top,
3. kondenzatorske leće,
4. otvori,
5. skenirajući sustav,
6. komora za uzorke,
7. elektronski detektori i
8. vakuumski sustav (Subramanian i sur., 2018).

Mjerenje se provodi na sljedeći način:

1. elektronski top proizvodi elektronski snop kada se volframova žica zagrije strujom i ubrzano anodom,
2. zraka putuje u vakuumskom stupcu kroz elektromagnetska polja i leće koje fokusiraju zraku prema dolje prema uzorku,
3. mehanizam otklonskih zavojnica omogućuje vođenje zrake tako da skenira površinu uzorka,
4. emitirane signale hvataju električni detektori i pretvaraju u digitalne slike i prikazuju se na ekranu kao digitalna slika,
5. mogu se dobiti informacije o sastavu uzorka, strukturi i morfologiji (Subramanian i sur., 2018).

Primjeri slika dobiveni sa SEM-om nalaze se na **Slici 8**.



**Slika 8** Primjeri uzoraka dobivenih sa SEM-om (Subramanian i sur., 2018)

### 2.4.3. Adsorpcijske izoterme

Adsorpcijska izoterma je krivulja koja opisuje mobilnost tvari sa poroznog medija u vodenoj otopini na konstantnoj temperaturi.

Izoterme sa dva parametra su sljedeće (Foo i Hammed, 2010):

- Langmuir,
- Freundlich,
- Dubinjin-Raduškjevič,
- Temkin,
- Flory-Huggins i
- Hill.

Višeslojne izoterme:

- BET (Brunauer-Emmett-Teller) i
- FHH (Frenkel-Halsey-Hill).



---

Freundlich-ov model predviđa zasićenje adsorbensa adsorbatom tj. predstavlja višeslojnu adsorpciju, te neidealnu, reverzibilnu adsorpciju na heterogenu površinu. Svako mjesto na ima svoju energiju vezanja. Konstante koje se određuju su  $1/n$  i  $KF$ .

$1/n$  je faktor homogenosti koji ukazuje na intezitet adsorpcije (favoriziranost interakcije):

- $0 < 1/n < 1$  - favorizirana adsorpcija,
- $1/n = 1$  - ireverzibilna adsorpcija i
- $1/n > 1$  - nefavorizirana adsorpcija.

Langmuir-ov model bazira se na formiranju monosloja na homogenoj površini. Ne postoji interakcija između adsorbiranih molekula, te molekule imaju jednak afinitet za sva adsorpcijska mjesta. Određuju se konstante  $K_L$  i  $q_m$ .

$K_L$  je energijska konstanta povezana s afinitetom za mjesto vezanja te sa stabilnom energijom ili ukupnom entalpijom adsorpcije.

$q_m$  predstavlja maksimalni adsorpcijski kapacitet.

Dubin-Raduškjevičev model služi za razlikovanje fizikalne (van der Waalsove sile) i kemijske (kemijske veze) adsorpcije. Konstante koje se određuju su  $\theta$ ,  $E$  i  $q_m$ .

$q_m$  predstavlja teoretski kapacitet zasićenja,  $\theta$  je konstanta povezana s adsorpcijskim kapacitetom, a  $E$  srednja slobodna energija adsorpcije.  $E$  služi za razlikovanje fizikalne od kemijske adsorpcije:

- $E < 8 \text{ kJ/mol}$  - fizikalna adsorpcija (reverzibilna adsorpcija) i
- $E = 8 - 16 \text{ kJ/mol}$  - kemijska adsorpcija (ireverzibilna adsorpcija).

Temkin-ov model pretpostavlja da će toplina adsorpcije svih molekula u sloju opadati linearno s povećanjem sloja tijekom interakcije. Konstante koje se određuju su  $A$  i  $b_T$ .

$A$  je ravnoteža povezana s maksimalnom energijom vezanja (Temkinov adsorpcijski potencijal), a  $b_T$  toplina adsorpcije.

Hill-ov model opisuje vezanje različitih vrsta na homogeni supstrat. Pretpostavlja da je adsorpcija kooperativna pojava. Ligand koji se nalazi na jednom mjestu na makromolekuli može utjecati na vezanje na ostala mjesta na makromolekuli. Određuju se konstante  $K_D$  i  $n_H$ .

---

$K_D$  predstavlja Hillovu konstantu, a iz  $n_H$  se može odrediti kooperacija:

- $n_H > 1$  - pozitivna kooperacija u vezanju,
- $n_H = 1$  - nekooperativno hiperbaričko vezanje i
- $n_H < 1$  - negativna kooperacija na vezanju (Foo i Hammed, 2010).

### **3. ZAKLJUČCI**

---

---

Zaključci u ovom radu su sljedeći:

- interakcijama adsorbata i adsorbensa mogu se pratiti kroz proces adsorpcije,
- kao primjer adsorbata mogu se navesti polifenolni spojevi, a kao adsorbens različita prehrambena vlakna kao što je to  $\beta$ -glukan,
- na proces adsorpcije utječu mnogi parametri kao što su svojstva adsorbensa. Svojstva adsorbensa mogu se određivati različitim metodama,
- kako bi se dobilo više informacija o interakcijama, mogu se koristiti različite metode kao što su Infracrvena spektroskopija s Fourierovom transformacijom, skenirajuća elektronska mikroskopija, adsorpcijske izoterme i drugo.

## **4. LITERATURA**

---

- 
- Đorđević, S.Đ., Dražić, V.J. (1987): Fizička hemija, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd.
- Bravo, L: Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutrition Reviews* 56, 317-333, 1998.
- Benjelloun, M, Miyah, Y, Evrendilek, GA, Zerrouq, F, Lairini, S: Recent advances in adsorption kinetic models: their application to dye types. *Arabian Journal of Chemistry* 14, 103031, 2021.
- Manach, C, Williamson, G, Morand, C, Scalbert, A, Rémésy, C: Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. I. review of 97 bioavailability studies. *The American Journal of Clinical Nutrition* 81, 230S-42S, 2005.
- Mohamed MA, Jaafar J, Ismail AF, Othman MHD, Rahman MA: Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. *Membrane Characterization*, 3-29, 2017.
- Foo, KY, Hameed, BH: Insight into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal* 156, 2-10, 2010.
- Jakobek, L: Interactions of polyphenols with carbohydrates, lipids and proteins. *Food Chemistry* 175, 556-567, 2015.
- Liu, X, Le Bourvellec, C, Renard, CMGC: Interactions between cell wall polysaccharides and polyphenols: effect of molecular internal structure. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 1-44, 2020.
- Le Bourvellec, C, Guyot, S, Renard, CMGC: Interactions between apple (*Malus x domestica* Borkh.) polyphenols and cell walls modulate the extractability of polysaccharides. *Carbohydrate Polymers* 75, 251–261, 2009.
- Subramanian, KS, Janavi, GJ, Marimuthu, S, Kannan, M, Raja, K, Haripriya, S, Sharmila, DJSS, Moorthy, PS, A textbook on fundamentals and applications of nanotechnology, Daya Publishing House 2018.
- Plazinski, W, Rudzinski, W, Plazinska, A: Theoretical models of sorption kinetics including a surface reaction mechanism: a review. *Advances in Colloid and Interface Science* 152, 2–13, 2009.
- Quirós-Sauceda, AE, Palafox-Carlos, H, Sáyago-Ayerdi, SG, Ayala-Zavala, JF, Bello-Perez, LA, Álvarez-Parrilla, E, de la Rosa, LA, González-Córdova, AF, González-Aguilar, GA: Dietary fiber and phenolic compounds as functional ingredients: interaction and possible effect after ingestion. *Food & Function* 5, 1063-1072, 2014.