

# Primjena inulina u prehrambenoj industriji i njegov utjecaj na zdravlje

---

Gašpar, Darija

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology / Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:159:131755>

Rights / Prava: [Attribution-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-05**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Food Technology and Biotechnology](#)



**Sveučilište u Zagrebu  
Prehrambeno-biotehnološki fakultet  
Preddiplomski studij Prehrambena tehnologija**

**Darija Gašpar**  
0125164811

**PRIMJENA INULINA U PREHRAMBENOJ  
INDUSTRIJI I NJEGOV UTJECAJ NA ZDRAVLJE**

**ZAVRŠNI RAD**

**Predmet: Kemija i biokemija hrane**

**Mentor: prof. dr. sc. Irena Landeka Jurčević**

**Zagreb, 2022.**

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Završni rad

Sveučilište u Zagrebu  
Prehrambeno-biotehnološki fakultet  
Preddiplomski sveučilišni studij Prehrambena tehnologija

Zavod za poznavanje i kontrolu sirovina i prehrambenih proizvoda  
Laboratorij za kemiju i biokemiju hrane

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti  
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

## PRIMJENA INULINA U PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI I NJEGOV UTJECAJ NA ZDRAVLJE

Darija Gašpar, 0125164811

**Sažetak:** Inulin se ubraja u skupinu  $\beta$ -(2-1) fruktana. Široko je rasprostranjen u mnogim biljnim vrstama u kojima se najčešće nalazi kao skladište ugljikohidrata. Glavni izvori inulina za industrijsku proizvodnju su cikorija i jeruzalemska artičoka. Tradicionalna industrijska proizvodnja zahtjeva visoku temperaturu ekstrakcije, a sastoji se od difuzije vode nakon čega slijedi nekoliko koraka pročišćavanja. Danas se sve više istražuju nove nekonvencionalne metode koje bi omogućile manje energetske troškove i bolji prinos ekstrakcije. Trenutno se inulin u prehrambenoj industriji koristi kao zamjena za mast, zamjena za šećere i kao modifikator teksture. Koristi se i za razvoj funkcionalne hrane kao prebiotik i kao dijetalno vlakno s ciljem poboljšanja zdravlja. Razna istraživanja otkrila su da inulin ima pozitivan učinak na zdravlje jer pospješuje razne biološke funkcije u organizmu.

**Ključne riječi:** inulin, prehrambena industrija, zdravlje, proizvodnja inulina, izvori inulina

**Rad sadrži:** 31 stranicu, 6 slika, 1 tablicu, 49 literaturnih navoda

**Jezik izvornika:** hrvatski

Rad je u tiskanom i elektroničkom obliku pohranjen u knjižnici Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

**Mentor:** prof. dr. sc. Irena Landeka Jurčević

**Datum obrane:** 07. rujna 2022.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

Undergraduate thesis

University of Zagreb  
Faculty of Food Technology and Biotechnology  
University undergraduate study Food Technology

Department of Food Quality Control  
Laboratory for Chemistry and Biochemistry

Scientific area: Biotechnical Sciences  
Scientific field: Food Technology

### APPLICATION OF INULIN IN THE FOOD INDUSTRY AND ITS EFFECT ON HEALTH

Darija Gašpar, 0125164811

**Abstract:** Inulin belongs to the group of  $\beta$ -(2-1) fructans. It is widely distributed in many plant species where it is most often found as a storage of carbohydrates. The main sources of inulin for industrial production are chicory and jerusalem artichoke. Traditional industrial production requires high extraction temperatures and consists of water diffusion followed by several purification steps. Nowadays, new non-conventional methods are increasingly being researched, which would enable lower energy costs and better extraction yield. Currently, inulin is used in the food industry as a fat substitute, sugar substitute and texture modifier. It is also used for the development of functional food as a probiotic and as dietary fiber with the aim of improving health. Various studies have revealed that inulin has a positive effect on health because it improves various biological functions in the body.

**Keywords:** inulin, food industry, health, inulin production, inulin sources

**Thesis contains:** 31 pages, 6 figures, 1 table, 49 references

**Original in:** Croatian

Thesis is deposited in printed and electronic form in the Library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, University of Zagreb, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

**Mentor:** Irena Landeka Jurčević, PhD, Full Professor

**Thesis defended:** September 07, 2022

## Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO.....	2
2.1. KEMIJSKA STRUKTURA .....	2
2.2. FIZIKALNO-KEMIJSKA SVOJSTVA .....	3
2.2.1. Higroskopnost .....	3
2.2.2. Slatkoća.....	3
2.2.3. Stabilnost.....	4
2.2.4. Topljivost .....	4
2.2.5. Viskoznost i stvaranje gela.....	5
2.3. GLAVNI IZVORI INULINA .....	6
2.4. KONVENCIONALNI POSTUPAK PROIZVODNJE INULINA .....	8
2.5. NEKONVENCIONALNI POSTUPAK PROIZVODNJE INULINA.....	10
2.5.1. Ekstrakcija uz pomoć enzima (EAE).....	10
2.5.2. Ekstrakcija superkritične tekućine (SFE).....	11
2.5.3. Ekstrakcija potpomognuta ultrazvukom (UAE) .....	11
2.5.4. Ekstrakcija potpomognuta mikrovalovima (MAE) .....	12
2.5.5. Ekstrakcija potpomognuta pulsirajućim električnim poljem (PEP).....	12
2.6. PRIMJENA INULINA U PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI .....	13
2.6.1. Sredstvo za stvaranje teksture .....	14
2.6.2. Zamjena za mast .....	15
2.6.3. Zamjena za šećer.....	16
2.6.4. Dijetalno vlakno.....	17
2.7. PREBIOTIČKI UČINAK INULINA .....	17
2.8. UTJECAJ NA ZDRAVLJE .....	19
2.8.1. Smanjenje rizika od gastrointestinalnih bolesti .....	20
2.8.2. Utjecaj na zatvor i učestalost stolice.....	20
2.8.3. Utjecaj na mineralnu apsorpciju .....	21
2.8.4. Utjecaj na imunološki sustav .....	22
2.8.5. Utjecaj na lipidni metabolizam .....	22
2.8.6. Utjecaj na dijabetes .....	23
2.8.7. Utjecaj na pretilost .....	23
3. ZAKLJUČCI.....	25
4. POPIS LITERATURE .....	26

## 1. UVOD

Inulin je 1804. godine otkrio njemački znanstvenik Valentine Rose koji ga je izolirao pomoću kipuće vode iz korijena biljke poznate kao *Inula helenium*. Ime inulin koje se i danas koristi dobio je tek 1817. godine (Zhu i sur., 2016). Pripada skupini ugljikohidrata poznatih kao fruktani te se sastoji od smjese oligomera i polimera fruktopiranozil-fruktofuranozil-fruktoze i glukopiranozil-fruktofuranozil fruktoze (Čepo i Dragojević, 2012). Pronađen je u više od 30 000 biljnih vrsta gdje se nalazi u formi skladišta ugljikohidrata. Unatoč brojnim biljnim vrstama u kojim se nalazi, korijen cikoriije i gomolj jeruzalemske artičoke danas se najčešće koriste za industrijsku proizvodnju zbog visokog sadržaja inulina (Wan i sur., 2020). Tradicionalna konvencionalna proizvodnja inulina sastoji se od 2 koraka: ekstrakcije i pročišćavanja te se primjenjuje dugi niz godina u prehrambenoj industriji. Međutim, u posljednje vrijeme istražuju se sve više nekonvencionalne metode zbog mnogih ekonomskih i procesnih prednosti. Ekstrakcija potpomognuta enzimima, ultrazvukom, mikrovalovima, pulsirajućim električnim poljem i superkritična ekstrakcija fluida istražuju se kao potencijalna zamjena za klasičnu ekstrakciju inulina pri visokim temperaturama (Zhu i sur., 2016).

U prehrambenoj industriji inulin postaje sve češće korišten sastojak zahvaljujući svojim raznovrsnim nutritivnim i funkcionalnim svojstvima. Štoviše, lako je dostupan i jeftin. Ovisno o stupnju polimerizacije, ovise i njegova kemijsko-fizikalna svojstva pa tako i sama potencijalna industrijska primjena. Kratkolančani inulin je lakše topljiv i slatkog okusa pa se koristi kao djelomična ili potpuna zamjena za saharozu. S druge strane, dugolančani inulin je viskoziji i slabije topljiv te sadrži sposobnost stvaranja gela pa se uglavnom koristi kao zamjena za mast i kao poboljšivač teksture. Osim toga, može se koristiti i kao dijetalno vlakno i prebiotik zbog  $\beta$ -(2-1) glikozidne veze koja ga čini neprobavljivim za ljude (Wan i sur., 2020; Saeed i sur., 2015).

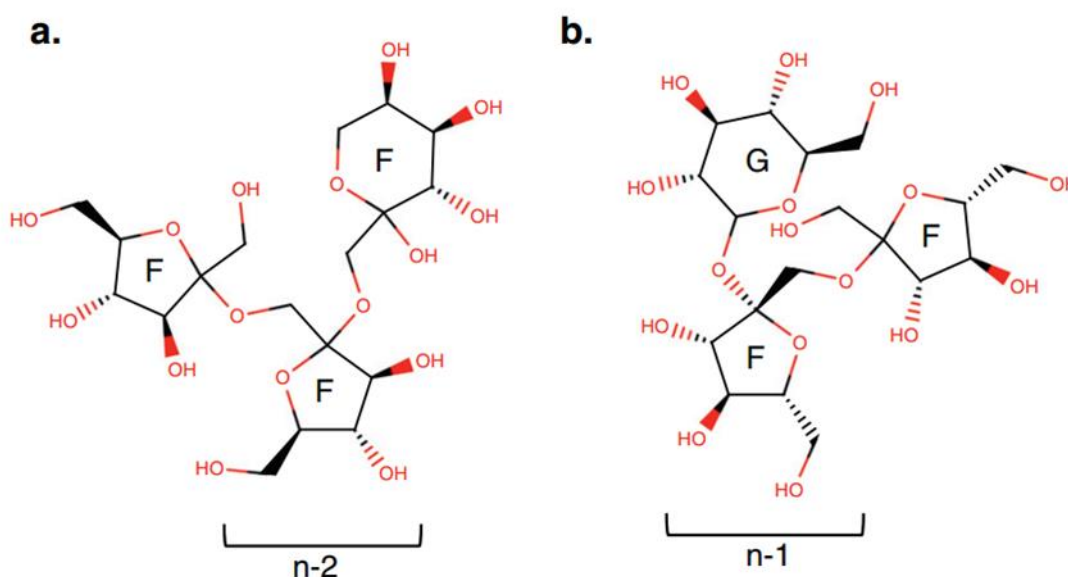
Osim što ima veliki potencijal za primjenu u hrani, inulin kada se konzumira utječe pozitivno na zdravlje ljudi. Razna istraživanja provedena na ljudima i životinja pokazala su da može utjecati na različite biološke funkcije u organizmu. Snižava razinu šećera i masnoća u krvi, djeluje antikancerogeno, regulira crijevnu mikrofloru i smanjuje rizik od bolesti crijeva, pospješuje apsorpciju minerala, regulira imunološki sustav te smanjuje rizik od pretilosti (Wan i sur., 2020; Munim i sur., 2017).

Cilj ovog rada bio je istražiti inulin, njegovu potencijalnu primjenu u prehrambenoj industriji i kako utječe na zdravlje ljudi.

## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1. KEMIJSKA STRUKTURA

Inulin je polidisperzni  $\beta$ -(2-1) fruktan (Kishan i sur., 2021) te se sastoji od mješavine oligosaharida i polisaharida. Sastoji se od fruktoznih jedinica koje čine (2  $\rightarrow$  1)- $\beta$ -D fruktozil-fruktoznu (Fn) strukturu (Slika 1a.) i na kraju lanca nalaze se glukozne jedinice povezane za strukturu fruktana pomoću  $\alpha$ -D-glukopiranozilnih veza (GFn) (Slika 1b.). Fn i GFn predstavljaju molekule inulina gdje je n broj jedinica  $\beta$ -D-fruktofuranoze odnosno stupanj polimerizacije (SP) (Zhu i sur., 2016), a G predstavlja jedinice glukoze te F jedinice fruktoze (Wan i sur., 2020).



**Slika 1.** Kemijska struktura inulina. **a.** Molekula inulina koja sadrži samo fruktozilne ostatke **b.** Molekula inulina koja sadrži jedinicu glukoze na kraju lanca (Zhu i sur., 2016).

Stupanj polimerizacije (SP) utječe na funkcionalnost inulina i uglavnom ovisi o izvoru biljke, vremenu berbe, klimatskim uvjetima, sezoni rasta i trajanju skladištenja nakon žetve (Saengthongpinit i Sajjaanantakul, 2005). Stupanj polimerizacije inulina varira od 2 do 60 (Roberfroid, 2005), a prosječna vrijednost je od 10 do 12. Inulin s niskim stupnjem polimerizacije ( $n < 10$ ) naziva se i oligofruktoza (Wan i sur., 2020). Svi  $\beta$ -(2-1) povezani linearni polimeri fruktoze odnose se na izraz "fruktan tipa inulin" koji uključuje oligofruktozu (SP 2-8, srednji SP = 4), nativni inulin (SP 2-60, srednji SP = 12) i inulin visoke djelotvornosti (HP) (SP

10–60, srednji SP = 25) te Synergy 1 koja predstavlja specifičnu kombinaciju oligofruktoze i inulina visoke djelotvornosti (Robefroid, 2005).

Biljni inulin ima SP maksimalno < 200 što ovisi o vrsti biljke, klimatskim uvjetima i fizičkom stanju biljke. S druge strane, inulin prisutan u bakterijama ima vrlo visok SP, u rasponu od 10 000 do iznad 100 000. Osim toga, bakterijski inulin je 15 % razgranatiji od biljnog inulina (Shoaib i sur., 2016). Nadalje, nativni inulin može se razdvojiti na kratkolančane i dugolančane frakcije što uzrokuje promjene stupnjeva polimerizacije i utječe na potencijalnu upotrebu (Meyer i Blaauwhoed, 2009). Promjena stupnja polimerizacije inulina ima veliki utjecaj na njegovu vrijednost i industrijsku primjenu (Roberfroid, 2005). U hrani, dugolančani inulin se uglavnom koristi kao zamjena za mast i poboljšivač teksture, dok se kratkolančani inulin koristi kao zamjena za šećer (Wan i sur., 2020).

## **2.2. FIZIKALNO-KEMIJSKA SVOJSTVA**

Inulin u suhom obliku nalazi se kao amorfni prah bez mirisa, a njegova prosječna molekulska masa je između 5600-6300 g mol<sup>-1</sup> (Wan i sur., 2020). Kristalna struktura inulina je sferična odnosno ima peterostrukturnu spiralnu strukturu. Mijenjanjem temperature hlađenja inulina iz otopina, može se pretvoriti u dvije morfologije različitog oblika: igličasti i obloidni. Igličasti kristali povećavaju viskoznost, dok obloidni poboljšavaju mazivost (Mensink i sur., 2016). Inulin može povisiti točku vrelišta ili sniziti točku smrzavanja vode (Wan i sur., 2020), a pH komercijalnog inulina iznosi 5,53±0,05 (Waqas i Summer, 2017).

### **2.2.1. Higroskopnost**

Inulin je vrlo higroskopan. Visoka higroskopnost inulina poželjna je karakteristika u prehrambenoj industriji jer može adsorbirati vodu kako bi se smanjio aktivitet vode. Ova značajka može efikasno usporiti isparavanje vode u proizvodnji hrane kako bi se produžio rok trajanja te kako bi se izbjegao nepoželjni miris proizvoda (Ronkart i sur., 2006.).

### **2.2.2. Slatkoća**

Inulin je blagog i ne iritirajućeg okusa te ne ostavlja loš priokus. Njegova slatkoća povezana je s dužinom lanca. Dugolančani inulin je bez okusa odnosno nije sladak, dok



kratkolančani inulin daje sladak okus (Kishan i sur., 2021). Zbog poboljšane slatkoće (oko 30-35 % saharoze) i niže kalorijske vrijednosti (1-2 kcal g<sup>-1</sup>), može se koristiti kao djelomična ili potpuna zamjena saharoze. Osim toga, inulin inhibira rast mikroba u ustima tako da konzumacija inulina neće dovesti do oštećenja zubi (Wan i sur., 2020).

### 2.2.3. Stabilnost

Inulin pokazuje dobru toplinsku stabilnost i ne razgrađuje se lako čak ni kada se zagrije na 100 °C (Wan i sur., 2020). Odnosno, inulin je stabilan na temperaturama do 140 °C kada je otopljen pri skoro neutralnom pH te se zato može lako obraditi u skoro svakoj hrani. Pri temperaturi iznad 140 °C, stabilnost se smanjuje. Inulin u obliku praha ima veću toplinsku stabilnost. U inulinu β-(2,1) glikozidna veza osjetljiva je na kiselinsku hidrolizu koja se neće dogoditi pri pH iznad 4 (Meyer i Blaauwhoed, 2009).

Inulin se može hidrolizirati u glukozu i fruktozu u kiseljoj sredini pri pH manjem od 4 na prikladnoj temperaturi i pri određenom vremenu (Ronkart i sur., 2006.). Stoga, stupanj hidrolize ovisi o pH, sastavu prehrambenog proizvoda odnosno suhoj tvari te kombinaciji temperature i vremena tijekom toplinske obrade ili roka trajanja. Meyer i Blaauwhoed (2009) su u svom radu naveli primjer da se hidroliza inulina ne opaža pri temperaturama ispod 10 °C pri pH između 3,0 i 7,5, ali pri pH 3 na 25 °C dolazi do oko 10% hidrolize u tjedan dana. Međutim, inulinski gelovi su postojani i ne mogu se lako hidrolizirati zbog nedostatka slobodne vode (Ronkart i sur., 2006.).

### 2.2.4. Topljivost

Inulin je hidrofilni spoj koji je slabo topljiv u hladnoj i jako topljiv u vrućoj vodi (Cooper i Carter, 1986). Također, teško je topljiv u etanolu, topljiv u dimetil sulfoksidu (DMSO), a vrlo slabo do slabo topljiv u izopropanolu (Mensink i sur., 2015).

Topljivost inulina raste s porastom temperature i opada kako se povećava njegov stupanj polimerizacije (Cooper i Carter, 1986). Stoga, topljivost prirodnog inulina na 10 °C je oko 6 %, a na 90 °C je 33 % (Wan i sur., 2020).

U vodi topljivost najviše ovisi o duljini lanca inulina odnosno topljivost raste sa smanjenjem duljine lanca. Važni čimbenici za prozirnost inulinskih otopina su vrijeme skladištenja i temperatura jer dulje vrijeme skladištenja može dovesti do razvoja zamućenja

zbog taloženja inulina s dugim lancima (Meyer i Blaauwhoed, 2009).

Nadalje, kristalna struktura inulina može značajno utjecati na njegovu topljivost jer na temelju njegovog ponašanja prilikom otapanja, identificirane su četiri kristalne strukture ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  i  $\delta$ ). Ova četiri kristalna ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  i  $\delta$ ) polimorfa inulina imaju različitu termodinamičku stabilnost i mogu se transformirati u više stabilan oblik s redoslijedom  $\beta < \alpha < \gamma < \delta$ . Polimorf  $\beta$  inulin lako je topljiv u vodi pri sobnoj temperaturi na 23 °C, dok drugi polimorfi zahtijevaju višu temperaturu za otapanje. Oblici  $\alpha$  i  $\beta$  sadrže frakciju niže molekulske mase, a  $\gamma$  polimorf sastoji se samo od inulina s molekulskom masom  $> 8000 \text{ g mol}^{-1}$  (Cooper i Carter, 1986).

### 2.2.5. Viskoznost i stvaranje gela

Viskoznost inulina raste povećanjem molekulske mase, a smanjuje se povećanjem temperature (Mensink i sur., 2015). Inulin ima najveću viskoznost na temperaturi manjoj od 80 °C. Kada se temperatura povisi iznad 80 °C, viskoznost inulina se smanjuje jer inulin postaje više topljiv (Waqas i Summer, 2017).

Osim toga, viskoznost otopina koje sadrže inulin usko je povezana s njenom koncentracijom. Povećanjem koncentracije inulina s 1 na 10 %, dolazi do malog povećanja viskoznosti. Kada koncentracija inulina dosegne 10 %, viskoznost se postupno i kontinuirano povećava. Međutim, gel se počinje stvarati kada koncentracija inulina dosegne 10 % do 30 %. Postupnim povećavanjem koncentracije iznad 30 %, povećava se i brzina stvaranja gela. Odnosno, brzina stvaranja gela povećana je pri višoj koncentraciji inulina. Kada koncentracija dosegne 40-45 %, gel se formira odmah te je nastali gel glatke i kremaste teksture. Pri koncentraciji iznad 50 %, nastaje čvrst i krut gel (Waqas i Summer, 2017; Saengthongpinit i Sajjaanantakul, 2005).

Na stvaranje gela utječu polimerizacija, veličina čestica, pH i način pripreme (Wan i sur., 2020). Inulinski gelovi nastaju kao rezultat interakcije između otopljenih inulinskih lanaca te mogu još uvijek sadržavati neotopljene mikrokristale koji mogu biti međusobno povezani tvoreći mrežu koja može stupiti u interakciju s otapalom i česticama inulina i s time povećavati čvrstoću gela (Waqas i Summer, 2017; Kim i sur., 2001).

Temperatura i molekulska masa utječu na stvaranje mikrokristala, a time i na stvaranje gela odnosno utječu na viskoznost. Inulini veće molekulske mase bolji su za stvaranje gela od onih s nižom molekulskom masom. Hidroliza, koja smanjuje stupanj polimerizacije, smanjuje stvaranje gela zbog poremećaja mreže (Kim i Wang, 2001).

Osim toga, inulinski gelovi mogu se formirati primjenom posmičnih sila ili termički odnosno zagrijavanjem i hlađenjem (Kim i sur., 2001). Kim i sur. (2001) i Kim i Wang (2001) opširno su istražili obje metode proizvodnje gela te ustanovili su da termički proizvedeni gelovi su jači i glađi od onih izazvanih smicanjem. Proizvodnja inulinskog gela ovisila je o temperaturi, vremenu zagrijavanja, koncentraciji, pH i dodavanju drugih otapala poput etanola ili glicerola. Dodavanjem tih otapala, smanjen je polaritet otopine što posljedično uzrokuje manje interakcije otapalo-inulin, a što rezultira bržim stvaranjem gela. Otopinu inulina potrebno je zagrijati na najmanje 40 °C da bi se postiglo stvaranje gela. Međutim, zagrijavanjem otopine na temperaturu od 80 °C i više u kiselim uvjetima (pH < 3), dolazi do značajne hidrolize inulina što rezultira smanjenjem stvaranja gela (Kim i sur., 2001.).

### 2.3. GLAVNI IZVORI INULINA

Veliki broj biljaka prirodno sadrži inulin, više od 36 000 biljnih vrsta (Sherif i sur., 2016). Glavni izvori inulina pohranjenog u lukovicama, korijenu i gomolju su brojne mono- i di-kotiledonske obitelji poput *Liliaceae*, *Amaryllidaceae*, *Compositae* i *Gramineae* (Waqas i Summer, 2017).

Prirodni izvori inulina su korijen cikoriје, jeruzalemska artičoka, gomolj dalije, korijen čička, šparoge, poriluk, luk, pšenica i češnjak (Meyer i Blaauwhoed, 2009). Zapravo, inulin se nalazi u mnogim namirnicama koje svakodnevno konzumiramo (Tablica 1).

**Tablica 1.** Izvori inulina i stupanj polimerizacije (*prema* Waqas i Summer, 2017; Meyer i Blaauwhoed, 2009).

Izvor	Inulin g/100g	Stupanj polimerizacije (SP)
Banana	0,3-0,7	DP < 5
Cikorija	15-20	DP 2-65
Češnjak	9-16	DP ≥ 5
Ječam	1,6	DP 5-15
Jeruzalemska artičoka	17-20,5	DP 2-50
Luk	1-7,5	DP 2-12
Pšenica	1,5-2,3	DP ≤ 5
Poriluk	3-10	DP 12 najčešće
Raž	4,5-6,4	DP > 9

Prema Tablici 1. možemo vidjeti da najviše inulina sadrže cikorija i jeruzalemska artičoka te da imaju najveći raspon stupnja polimerizacije. Inulin dobiven iz cikorije ima raspon stupnja polimerizacije između 2 i 60, dok inulin dobiven iz jeruzalemske artičoke ima raspon između 2 i 50 (Meyer i Blaauwhoed, 2009).

Sadržaj inulina u biljnim vrstama varira, kao i stupanj polimerizacije. Različiti stupanj polimerizacije inulina ima veliki utjecaj na njegovu vrijednost i industrijsku primjenu (Wan i sur., 2020) te zbog toga samo ograničen broj vrsta prikladan je za industrijsku prehrambenu i neprehrambenu primjenu. Za industrijsku proizvodnju inulina u prehrambenoj industriji najčešće se koriste cikorija i jeruzalemska artičoka, dvije vrste koje pripadaju obitelji *Compositae* (Waqas i Summer, 2017). Zapravo, koristi se korijen cikorije (Slika 2) i gomolj jeruzalemske artičoke (Slika 3).



**Slika 2.** Korijen cikorije (Anonymous 1, 2022)



**Slika 3.** Gomolj jeruzalemske artičoke (Anonymous 2, 2022)

*Cichorium intybus L.* odnosno cikorija široko je rasprostranjena u Aziji i Europi, dok jeruzalemska artičoka (*Helianthus tuberosus*) je višegodišnja biljka porijeklom iz Sjeverne Amerike (Waqas i Summer, 2017).

Jeruzalemska artičoka je u bliskom srodstvu sa suncokretom te nalik njemu ima tanke žute cvjetove koji cvjetaju na visokoj stabljici (Munim i sur., 2017).

U cikoriji se inulin skladišti kao rezervni ugljikohidrat u mesnatom (gomoljastom) korijenu. Inulin cikorije sadrži do 10 % mono i disaharida, uglavnom saharoze i fruktoze te sadrži približno 30 % oligosaharida (Sherif i sur., 2016). S druge strane, većina ugljikohidrata u jeruzalemskoj artičoki prisutna je u obliku inulina koji predstavlja glavnu rezervu ugljikohidrata u gomoljima. Čisti inulin sadrži 3 % glukoze i oko 97 % jedinica fruktoze (Waqas i Summer, 2017).

Gomolji jeruzalemske artičoke su mali i nepravilni te sadrže samo 20 % dugolančanog inulina. Metabolizam inulina kod jeruzalemske artičoke je osjetljiviji na hladnoću u odnosu na metabolizam inulina kod cikorije koja ima pravilan korijen (Zhu i sur., 2016). Kod cikorije, značajno smanjenje prosječne duljine lanca inulina može se primijetiti u jesen kada su enzimi koji razgrađuju fruktan najaktivniji. To dovodi do zaključka da su rano ubrane biljke (u rujnu) bogate dugolančanim molekulama inulina. Osim toga, u jednom istraživanju pokazano je da inulin jeruzalemske artičoke ima jača prebiotička svojstva od inulina dobivenog iz cikorije (Munim i sur., 2017).

#### **2.4. KONVENCIONALNI POSTUPAK PROIZVODNJE INULINA**

Inulin se može proizvesti konvencionalnim i nekonvencionalnim postupkom. Industrijska (konvencionalna) proizvodnja inulina sastoji se uglavnom od dva koraka: ekstrakcije i pročišćavanja (Slika 4) (Zhu i sur., 2016).

Najpopularnija ekstrakcija je metoda difuzije pomoću tople vode zbog jednostavnog rada i visokog prinosa (Wan i sur., 2020). Glavni čimbenici koji utječu na brzinu ekstrakcije su temperatura ekstrakcije, vrijeme i pH otopine (Wan i sur., 2020) Sam proces se odvija na sljedeći način: korijen cikorije se pomoću rezača reže na homogene komade. Nakon toga, difundira se u difuzeru na temperaturi 70-80 °C tijekom 1 do 2 sata da se postigne zadovoljavajuća ekstrakcija korijena cikorije. Međutim, tijekom ekstrakcije stvaraju se nečistoće te se na kraju ekstrakcije dobije nečisti sok cikorije koji sadrži inulin. Potom slijedi faza pročišćavanja odnosno uklanjaju se nečistoće metodama kalciranja i karbonizacije. Prvo

dolazi do kalciranja, a potom do karbonizacije. Nečistoće kao što su peptidi, neki anioni, degradirani proteini i koloidi talože se  $\text{CaCO}_3$  talogom koji se kasnije uklanja filtracijom. Pročišćeni sok se zatim dalje pročišćava. Prvo se koristi kationska i anionska ionska izmjena smole za demineralizaciju te potom se provodi dekolorizacija pomoću aktivnog ugljena. Dobiveni sok se zatim sterilizira filtracijom kroz filtere od  $0,2 \mu\text{m}$ . Na kraju dolazi do isparavanja i sušenja raspršivanjem gdje se kao konačni produkt dobije inulinski prah (Zhu i sur., 2016).

Osim toga, u samom procesu dolazi do taloženja inulina iz otopine (Wan i sur., 2020). Za taloženje dugolančanih molekula inulina mogu se koristiti visoke koncentracije organskih otapala kao npr. etanol, acetonitril, metanol, aceton i propanol (Waqas i Summer, 2017) jer inulin koji se nije istaložio u cijelom procesu može se pretvoriti u krutinu sušenjem raspršivanjem (Mensink i sur., 2015).



**Slika 4.** Industrijski proces proizvodnje inulina iz korijena cikoriје (prema Zhu i sur., 2016).

Konvencionalni postupak proizvodnje inulina zahtijeva energiju, dulje vrijeme procesa, relativno velike količine otapala odnosno vode te zahtijeva korištenje visokih temperatura koje mogu uzrokovati povećanje otpuštanja nečistoća. Također, uklanjanje nečistoća čini sam proces složenijim jer je potrebno maksimalno ukloniti nečistoće a da se pri tome očuva lanac inulina od kontaminacije, Maillardovih reakcija, razgradnje te prisutnosti nepoželjnog okusa. Zato velika potrošnja energije odnosno uporaba visokih temperatura i složeni koraci pročišćavanja predstavljaju nedostatke konvencionalnog procesa u industriji (Zhu i sur., 2016).

## **2.5. NEKONVENCIONALNI POSTUPAK PROIZVODNJE INULINA**

U novije vrijeme tradicionalne metode žele se zamijeniti nekonvencionalnim metodama kod kojih je kraće vrijeme obrade, manja potrošnja energije, veći prinos i veća čistoća dobivenog proizvoda. Istraživačke studije usmjerene su na pronalaženje novih ekološki prihvatljivih metoda ekstrakcije inulina koje imaju potencijal za rast i razvoj. Najvažnije nekonvencionalne metode su: ekstrakcija uz pomoć enzima (EAE), ekstrakcija superkritične tekućine (SFE), ekstrakcija potpomognuta ultrazvukom (UAE), ekstrakcija potpomognuta mikrovalovima (MAE) i ekstrakcija potpomognuta pulsirajućim električnim poljem (PEP) (Zhu i sur., 2016).

### **2.5.1. Ekstrakcija uz pomoć enzima (EAE)**

Ekstrakcija uz pomoć enzima se koristi za dezintegraciju stanične stijenke kako bi se poboljšalo otpuštanje određenih molekula iz unutarstaničnog u izvanstanični prostor. Enzimi se primjenjuju kako bi se povećao prinos ekstrakcije. Ekstrakcija inulina iz jeruzalemske artičoke uz pomoć enzima primijenjena je još davne 1983. godine s pretpostavkom da dodavanje inulaze može olakšati ekstrakciju. Međutim, dobiveni rezultati bili su kontradiktorni predviđenim i zaključeno je da nema poboljšanje učinkovitosti ekstrakcije dodatkom inulaze (Zhu i sur., 2016).

S druge strane, Fan i sur. (2010) proveli su proces ekstrakcije inulina uz pomoć bioenzima iz jeruzalemske artičoke. Učinkovito su ekstrahirali inulin dodavanjem celulaze i pektinaze koje hidroliziraju  $\alpha$ -1,4 i  $\beta$ -1,4 glikozidne veze biljnih staničnih stijenki i dovode do povećanja propusnosti. Uočeno je povećanje prinosa ekstrakcije od 50 do 70 % te veliko smanjenje vremena ekstrakcije tople vode sa 30 na 5-10 minuta (Fan i sur., 2010).

Također, u jednom istraživanju dvostruka enzimaska hidroliza bila je uspješno primijenjena za ekstrakciju inulina iz korijena čička (Zhu i sur., 2016).

### 2.5.2. Ekstrakcija superkritične tekućine (SFE)

Ugljični dioksid smatra se idealnim otapalom za ekstrakciju superkritične tekućine jer je nezapaljiv, inertan, jeftin, netoksičan te bez mirisa i okusa (Zhu i sur., 2016).

Mendes i sur. (2005) su u svojoj studiji primijenili superkritični ugljični dioksid da potpomogne ekstrakciju inulina iz cikorijske. Izvijestili su da je učinkovitost ekstrakcije bila manja od 10 % (izmjerena odnosom između ekstrahirane mase i mase inulina prisutnog u sirovini) vjerojatno zbog velike molekulske mase inulina. Metoda ekstrakcije superkritične tekućine nije baš dobro proučena za ekstrakciju inulina te unatoč brojnim prednostima, nije se pokazala učinkovitom (Zhu i sur., 2016).

### 2.5.3. Ekstrakcija potpomognuta ultrazvukom (UAE)

Ultrazvuk se široko koristi u prehrambenoj industriji u rasponu frekvencije od 20 kHz do 1 MHz. Ekstrakcija potpomognuta ultrazvukom temelji se na činjenici da ultrazvučna energija olakšava oslobađanje anorganskih i organskih spojeva iz biljnih stanica čime se ubrzava prijenos mase i pristup otapala intracelularnom sadržaju (Zhu i sur., 2016).

S obzirom na ostale nekonvencionalne metode, prednost ekstrakcije potpomognute ultrazvukom je ta da je povoljnija u smislu jeftinijih operativnih troškova i niže temperature ekstrakcije. S druge strane, mana je to što zahtijeva poseban dizajn ultrazvučnog aparata kako bi se izbjegli prostori do kojih ultrazvučni valovi ne mogu doprijeti (Zhu i sur., 2016).

Nekoliko istraživačkih skupina primijenilo je metodu ekstrakcije potpomognute ultrazvukom za ekstrakciju inulina. Jedna od njih su Lingyun i sur. (2007) koji su proučavali optimalne uvjete ekstrakcije inulina iz gomolja jeruzalemske artičoke. Autori su otkrili da je ekstrakcija potpomognuta ultrazvukom skratila vrijeme ekstrakcije za duplo u usporedbi s konvencionalnom metodom. Također, izravna ultrazvučna metoda bila je manje prikladna od neizravne metode zbog toga što inducira djelomičnu degradaciju inulina pri čemu dolazi do otpuštanja više oligosaharida u ekstrakt.

Milani i sur. (2011) u svojoj studiji su naveli da korištenje ultrazvuka visokog intenziteta značajno poboljšava ekstrakciju inulina iz korijena čička. Povećanjem amplitude i



vremena ekstrakcije, povećava se prinos ekstrakcije bez značajne promjene temperature i postiže se dvostruko veći prinos ekstrakcije od konvencionalne metode koristeći isti biljni materijal. Zbog toga, optimalni uvjeti ekstrakcije bi bili 25 minuta pri amplitudi sonikacije 83 % i temperaturi 36,76 °C (Milani i sur., 2011).

#### 2.5.4. Ekstrakcija potpomognuta mikrovalovima (MAE)

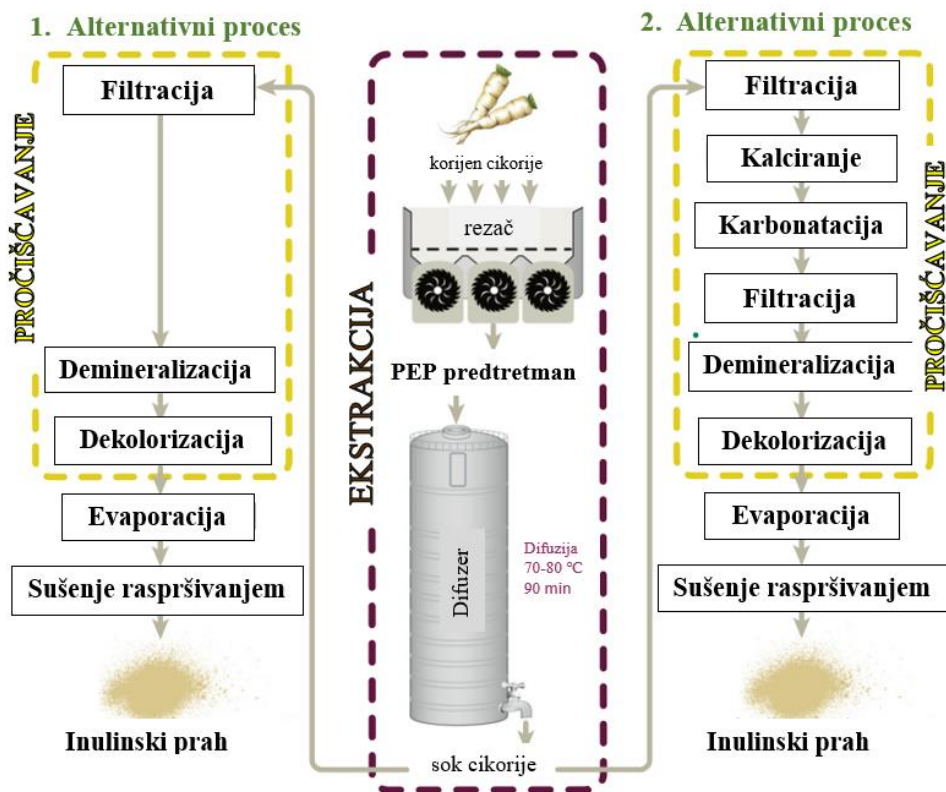
Mikrovalovi su elektromagnetska polja u kojima se frekvencija kreće od 300 MHz do 300 GHz. Mehanizam ekstrakcije potpomognute mikrovalovima uključuje tri uzastopna koraka. Prvo pod povišenom temperaturom i tlakom dolazi do odvajanja otopljenih tvari od aktivnog mjesta matrice uzorka, zatim dolazi do difuzije otapala kroz matricu te na kraju do oslobađanja otopljenih tvari iz matrice uzorka u otapalu. Za ekstrakciju inulina, uspješno je primijenjena ekstrakcija potpomognuta mikrovalovima što se može zaključiti iz provedenih istraživanja.

Prema Hu i sur. (2007) ekstrakcija inulina iz praha svježje jeruzalemske artičoke ekstrakcijom potpomognutom mikrovalovima učinkovitija je u odnosu na konvencionalni postupak. Tretman mikrovalovima pri snazi od 400W tijekom 120 s pri istoj temperaturi od 95 °C i vremenu ekstrakcije od 60 min te omjeru čvrste tvari i tekućine (1:20), doveo je do boljeg prinosa ekstrakcije inulina (82,97 %) u usporedbi konvencionalnom ekstrakcijom (65,50 %) (Hu i sur., 2007).

#### 2.5.5. Ekstrakcija potpomognuta pulsirajućim električnim poljem (PEP)

Tretman pulsirajućim električnim poljem je inovativna i obećavajuća metoda netermičke obrade prehrambenih proizvoda. Tretman pulsirajućim električnim poljem se primjenjuje kao predtretaman.

Postoje dvije alternativne mogućnosti za proizvodnju inulina s primjenom predtretmana pulsirajućim električnim poljem (Slika 5). Kod obje mogućnosti, predtretman pulsirajućim električnim poljem primjenjuje se prije hladne difuzije na 30-35 °C koja se koristi umjesto klasične tople difuzije. Nakon difuzije, kod druge alternativne mogućnosti procesa slijedi kalco-karbonsko pročišćavanje pa filtracija, demineralizacija, dekolorizacija, isparavanje i na kraju sušenje raspršivanjem. Kod prve alternativne mogućnosti slijedi odmah filtracija umjesto procesa kalco-karbonskog pročišćavanja (Zhu i sur., 2016).



**Slika 5.** Dva različita shematska procesa za proizvodnju inulina potpomognuta pulsirajućim električnim poljem (PEP) (prema Zhu i sur., 2016).

Primjenom predtretmana pulsirajućim električnim poljem, smanjena je temperatura ekstrakcije i količina nečistoća. Na kvalitetu ekstrakata i prinos inulina utječu stupanj permeabilizacije biljne stanice i temperatura ekstrakcije. Osim toga, u usporedbi s drugim nekonvencionalnim metodama, pokazalo se da ekstrakcija potpomognuta pulsirajućim električnim poljem je najviše obećavajuća metoda koja bi mogla zamijeniti trenutni proces ekstrakcije kod koje se primjenjuje visoka temperatura (Zhu i sur., 2016).

## 2.6. PRIMJENA INULINA U PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI

Tijekom posljednjih desetljeća, inulin je zbog svojih funkcionalnih svojstava postao široko korišten sastojak u prehrambenoj industriji. Povećano zanimanje za proizvodnjom zdravijih proizvoda potaknulo je prehrambene znanstvenike da istraže potencijal inulina (Zhu i sur., 2016).

U prehrambenoj industriji inulin se može koristiti za stvaranje raznih gelova, za

povećanje viskoznosti te za poboljšanje organoleptičkih i senzorskih svojstava (Mensink i sur., 2015).

Također, može djelovati kao dobar agens za povećanje volumena ili kao zgušnjivač u proizvodima poput sladoleda, majoneze, namaza za sendviče i čokoladnim proizvodima. Osim toga, može djelovati i kao stabilizator u širokom rasponu emulzija koje sadrže visok udio masti (Waqas i Summer, 2017).

Inulin se uglavnom koristi kao zamjena za mast u raznim formulacijama hrane koje sadrže manju količinu masti i kao zamjena za šećer. Primjenjuje se u raznim prehrambenim proizvodima poput mliječnih, pekarskih, čokoladnih te mesnih proizvoda odnosno u siru, mlijeku, jogurtu, sladoledu, keksima, kruhu, kobasicama itd. (Waqas i Summer, 2017; Mensink i sur., 2015).

Također, inulin se koristi u funkcionalnoj hrani kao dijetalno vlakno te kao prebiotik (Wan i sur., 2020).

#### 2.6.1. Sredstvo za stvaranje teksture

Molekule dugolančanog inulina su viskoznije i manje topljive u odnosu na kratkolančane molekule pa se inulin može koristiti u prehrambenim proizvodima kao modifikator teksture (Zhu i sur., 2016).

S obzirom da inulin može biti visoko razgranat ili linearan što ovisi o izvoru pa tako visoko razgranati polimeri inulina imaju veću topljivost u prisutnosti vode i mogu promijeniti teksturu proizvoda jer imaju sposobnost stvaranja gela (Shoaib i sur., 2016).

Dodatak inulina utječe na teksturu mliječnih proizvoda te poboljšava njihova senzorska svojstva (Saeed i sur., 2015) jer povećanjem koncentracije inulina na više od 15 % dolazi do stvaranja gela ili kreme koji oponašaju teksturu sličnu mastima. Odnosno, povećanjem sadržaja inulina, povećava se njegov učinak na strukturu proizvoda pri čemu dolazi do modifikacije teksture i utjecaja na senzorsku kvalitetu (Karimi i sur., 2014).

S druge strane, senzorska i reološka svojstva proizvoda neće biti promijenjena kada se inulin doda u niskoj koncentraciji u hranu zbog njegovog blagog slatkog ili neutralnog okusa i minimalnog utjecaja na viskoznost (Saeed i sur., 2015).

Nadalje, dodatak inulina modificira teksturu sireva sa smanjenim postotkom masnoće tako što ih čini više sličnim punomasnim sirevima s nižom tvrdoćom, elastičnošću, kohezivnošću i žvakanjem od sireva koji sadrže samo smanjen udio masnoće (Karimi i sur.,

2014).

Hennelly i sur. (2006) u svom istraživanju usporedili su upotrebu inulinskih gelova izazvanih smicanjem i zagrijavanjem otopine kao zamjena za 63 % masti u imitaciji sira te su uočili da sirevi s inulinom (5 % ili 13,75 %) imaju značajno veće vrijednosti tvrdoće od kontrolnog uzorka pri jednakim razinama vlage, ali da nema razlike u tvrdoći među sirevima koji su sadržavali različit udio inulina.

### 2.6.2. Zamjena za mast

Reološke i senzorne karakteristike inulinskih gelova čine ih izvrsnom zamjenom za masti u širokom spektru namirnica (Meyer i Blaauwloed, 2009). Molekule inulina s dugim lancima i velikom molekulskom masom mogu se koristiti kao zamjena za mast (Karimi i sur., 2014) jer djeluju kao oponašatelji masti te se obično koriste kao zamjena za mast kod hrane s niskim udjelom masti (Waqas i Summer, 2017).

Sposobnost inulina da zamjeni mast leži u njegovoj sposobnosti stvaranja mikrokristala (Waqas i Summer, 2017) kada se pomiješa s vodom ili mlijekom. Mikrokristali se ne mogu osjetiti u ustima, ali oni izravno utječu na stvaranje glatke i kremaste strukture proizvoda (Niness, 1999.). Dodavanje 7,5 % nativnog inulina masnim namazima s 20-40 % masti (bez emulzije) rezultira proizvodom dobre strukture i savršenog okusa. Inulinski gel na bazi 20 % inulina s dugim lancem, baza je za namaz s vrlo malo masnoće (u/v emulzije) s najviše 5 % masti te je pogodan za mliječne namaze poput namaza od vrhnja i sirnog namaza (Meyer i Blaauwloed, 2009).

Osim toga, inulin se uspješno koristi kao zamjena za mast u mliječnim proizvodima (Kaur i Gupta, 2002), pogotovo u siru. Dodatak inulina (2-7 %) u svježi sir od kozjeg mlijeka omogućuje zamjenu masti te se dobije kremastiji proizvod s određenim učinkom omekšavanja što ovisi o količini inulina (Karimi i sur., 2014).

Fadaei i sur. (2012) proučavali su kemijske karakteristike nemasnog krem sir bez sirutke koji sadrži inulin kao zamjenu za masnoću te nisu pronašli značajnu razliku u vrijednostima pH i soli. U svom radu naveli su da udio inulina od 10 % bio je dovoljan da se dobije nemasni krem sir s kemijskim svojstvima sličnim kao kod krem sira visoke masnoće bez inulina. Također, naveli su da inulin ima dobru sposobnost vezanja vode koja inhibira sineraziju u namazima i svježim sirevima (Fadaei i sur., 2012.).

Tiwari i sur. (2015) u svojoj studiji su došli do zaključka da je inulin uspješno dodan u

sladoled u količinama od 2 i 4 g 100 g<sup>-1</sup> te je izravno nadomješteno 20 i 40 % ukupne masnoće sladoleda inulinom. Senzorski rezultati pokazali su da sladoled napravljen s do 4 % masti zamijenjene inulinom, bio relativno blizu kontrolnom uzorku s 10 % mliječne masti.

Inulin se primjenjuje kao funkcionalni dodatak u mesnim proizvodima. Dodavanje inulina kobasicama rezultira smanjenim sadržajem masti, poboljšanjem teksture i bolju senzorsku procjenu. Analiza fruktana pokazala je da je inulin ostao stabilan tijekom obrade i uzastopne toplinske obrade. Daljnje studije pokazale su da su fermentirane pileće kobasice, napravljene s inulinom kao djelomičnom zamjenom masti, ostale stabilne bez značajnijih gubitaka fizikalno-kemijskih, mikrobioloških i senzorskih karakteristika tijekom skladištenja tijekom 45 dana na 4 °C (Sherif i sur., 2016).

Zahn i sur. (2010) su u svom istraživanju koristili inulin u koncentracijama od 50 %, 75 % i 100 % kao zamjenu za masnoću, u pripremi muffina. Ocijenili su učinak na teksturu i senzorska svojstva gdje su rezultati pokazali da veći % inulina povećava vlagu proizvoda i gustoću mrvica te su procijenjena negativna osjetilna svojstva s većim % inulina. Stoga, zaključeno je da dodatkom inulina do 50 %, može se dobiti proizvod sličan kontrolnom uzorku (Zahn i sur., 2010).

### 2.6.3. Zamjena za šećer

Djelomična zamjena šećera inulinom može pružiti korisna nutritivna i funkcionalna svojstva (Tsatsaragkou i sur., 2021). Kratkolančane molekule inulina poboljšavaju okus, slatkoću i koriste se za djelomičnu zamjenu saharoze. Kombinacija inulina s intenzivnim sladilima često se koristi kao zamjena za šećer. Inulin može uravnotežiti okus slatkoće i prekriti naknadni okus sladila acesulfam-K ili aspartama (Nines, 1999). Zbog blagog do slatkog okusa, inulin se može koristiti kao niskokalorično sredstvo za povećanje volumena (Karimi i sur., 2014).

U izradi čokolade bez šećera, saharoza se zamijenila inulinom visoke djelotvornosti (HP) s različitim stupnjem polimerizacije i polidekstroze. Inulin s visokim stupnjem polimerizacije smatra se prikladnim sastojkom za pripravu čokolade bez saharoze (Shoaib i su., 2016). Također, Aidoo u sur. (2013) u svom istraživanju zamijenili su saharozu kod tamne čokolade s različitim inulinima i koncentracijom polidekstroze. Nakon učinjenih analiza, pokazalo se da najbolja mješavina inulina i polidekstroze za izradu crne čokolade iznosi 75,3594 % polidekstroze i 24,6406% inulina. Osim toga, rezultati su pokazali da pri višim

koncentracija inulina, stvarali su se kristali koji su negativno utjecali na kvalitetu čokolade.

Tsatsaragkou i sur. (2021) u svom radu su naveli kako stupanj polimerizacije (SP) dva komercijalna inulina utječe na svojstva pekarskog proizvoda kao 30 %-tna zamjena za šećer. Koristili su inulin nižeg SP i višeg SP te došli do zaključka da uspješnost inulina kao djelomične zamjene šećera u pekarskim proizvodima ovisi o stupnju polimerizacije inulina i željenim reološkim parametrima u matrici proizvoda (Tsatsaragkou i sur., 2021).

#### 2.6.4. Dijetalno vlakno

Još jedna vrlo bitna značajka inulina je njegovo djelovanje kao dijetalno vlakno. Kao sastavni dio vlakna, inulin rezultira poboljšanjem okusa i teksture proizvoda. U pekarskim proizvodima i u žitaricama za doručak inulin pokazuje značajno poboljšanje u usporedbi s drugim vlaknima (Shoaib i sur., 2016).

Općenito, obogaćivanje slastičarskih proizvoda inulinom je korisno jer se smanjuje kalorijska vrijednost i povećava sadržaj dijetalnih vlakana što ih čini zdravijim. Različite koncentracije inulina daju kolačiće s poboljšanim sadržajem dijetalnih vlakana bez značajnog efekta na teksturu, miris, okus, mekoću ili fizička svojstva (Drabińska i sur., 2016).

Slojeviti kolači bez glutena pripremljeni su dodatkom 20 % inulina u rižino brašno te kao rezultat Gulati (2012) u svojoj studiji je naveo da je došlo do povećanja udjela dijetalnih vlakana, smanjenja udjela masti te da pogoduje inkorporaciji zraka tijekom miješanja.

Osim pekarskih i slastičarskih proizvoda, zbog topljivosti inulina omogućeno je dodavanje vlakana vodenom okruženju poput mliječnih proizvoda, pića, zgusnutih napitaka te stolnih namaza. Istraživanje provedeno od strane Dahl i sur. (2005) na institucionaliziranim odraslim osobama s dodatkom inulina u zgusnutim napitcima svjedočilo je poboljšanju sadržaja vlakana, pražnjenju crijeva i povećanoj učestalosti stolice za 13 %.

## 2.7. PREBIOTIČKI UČINAK INULINA

Prebiotici se definiraju kao neprobavljivi dodaci prehrane koji moraju biti otporni na hidrolizu i apsorpciju u gornjem dijelu gastrointestinalnog trakta te ih crijevna mikroflora može fermentirati za dobrobit domaćina (Wan i sur., 2020; Waqas i Summer, 2017).

Prvenstveno su to neprobavljivi ugljikohidrati poput inulina, oligosaharida i polisaharida, ali i neki ne-ugljikohidrati (Waqas i Summer, 2017).

Prebiotička priroda inulina može se pripisati njegovoj molekularnoj strukturi. Ljudi ne mogu probaviti inulin zbog toga što su jedinice glukoze i fruktoze koje stvaraju inulin povezane glikozidnim  $\beta$ -(2-1) vezama. Kao rezultat toga, inulin često putuje potpuno netaknut kroz probavni sustav sve dok ne stigne do debelog crijeva gdje ga određena mikroflora može probaviti. Korisne bakterije kao što su bifidobakterije i laktobacili mogu ga probaviti (Munim i sur., 2017).

Anaerobnom fermentacijom inulin proizvodi kratkolančane masne kiseline i plinove (Karimi i sur., 2014) te istovremeno stimulira rast i razvoj bifidobakterija i laktobacila i time poboljšava mikrobnu ravnotežu i cjelokupno zdravlje crijeva (Shoaib i sur., 2016). Razvoj ovih sojeva bakterija može ograničiti prisutnost patogenih bakterija u probavnom sustavu i na takav način utjecati na otpornost na infekcije (Munim i sur., 2016).

Kratkolančane masne kiseline koje su proizvedene fermentacijom su propionska, octena i maslačna kiselina. Acetat se metabolizira u bubregu, mozgu, mišićima i srcu, butirat u epitelnim stanicama debelog crijeva je važan u regulaciji i diferencijaciji stanicama, a propionat služi kao prekursor za proizvodnju glukoze u procesu glukogeneze te sprječava sintezu kolesterola (Wan i sur., 2020; Waqas i Summer, 2017).

Znanstvena istraživanja su otkrila da uvjeti skladištenja i polimerizacija inulina utječu na njegov učinak kao prebiotik. Inulin s višim stupnjem polimerizacije ima manju aktivnost, dok inulin s manjim stupnjem polimerizacije ima veću aktivnost. Nadalje, prebiotici su važni za ljudsko zdravlje jer utječu na smanjenje rizika od bolesti crijeva i zatvora, povećanu apsorpciju minerala, stimulaciju imunološkog sustava i regulaciju tjelesne težine. Inulin kao prirodni prebiotik dobar je za osobe koje pate od zatvora jer poboljšava učestalost, tvrdoću i konzistenciju stolice. Osim toga, smatra se jako dobrim za regulaciju crijevne mikroflora kod osoba s Crohnovom bolesti i ulceroznim kolitisom (Wan i sur., 2020).

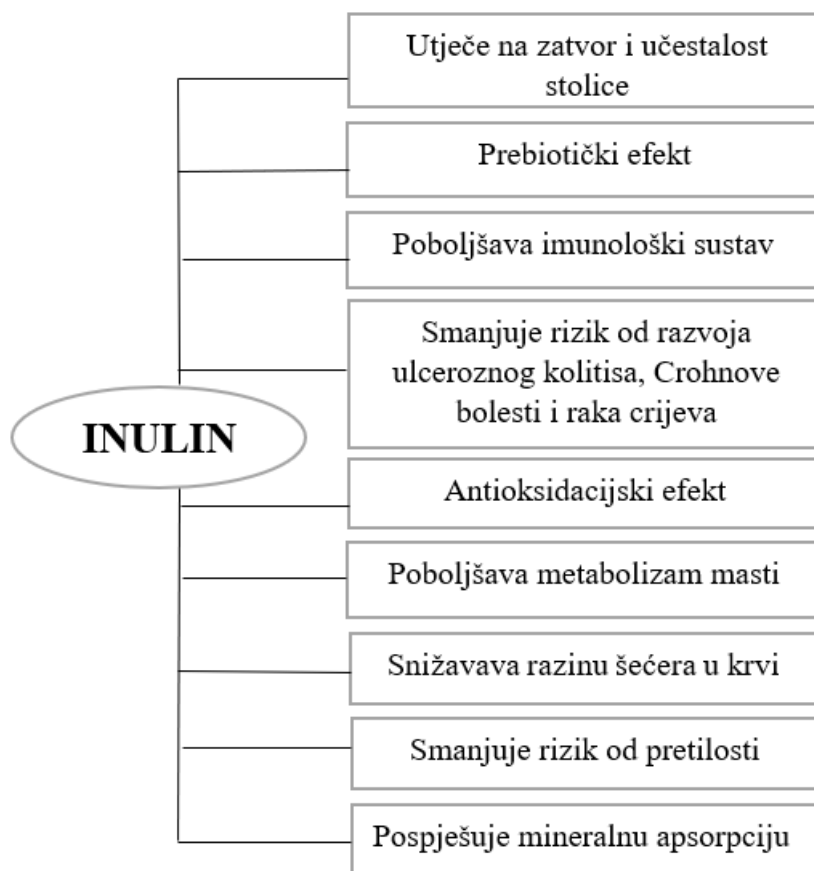
U jednom istraživanju, inulin je dodan u mliječnu formulu za dojenčad koja se davala 14 dana. Analiza fecesa je pokazala pozitivne rezultate gdje je došlo do smanjenja bakterije *Clostridium*, a količina inulina  $1,25 \text{ g dan}^{-1}$  dovela je do povećanje broja bifidobakterija i smanjenje gram-pozitivnih koka (Yap i sur., 2008). U drugom istraživanju, odrasle osobe kroz 14 dana su konzumirale čokoladni napitak s  $8 \text{ g dan}^{-1}$  inulina i 5 ili  $8 \text{ g dan}^{-1}$  maltodekstrina te dobiveni rezultati su pokazali značajno povećanje bifidobakterija u usporedbi s kontrolnom skupinom (Kolida i sur., 2007). Stoga, moguće je poboljšati zdravlje potrošača dodavanjem prebiotika u hranu (Waqas i Summer, 2017).

Inulin kao prebiotik se sve više koristi u funkcionalnoj hrani, ponajviše u mliječnim

proizvodima koji se koriste za jačanje zdrave bakterijske mikroflore (Shoaib i sur., 2016). Smatra se da je dovoljna svakodnevna doza 2,5-10 g inulina kao nadopuna za jačanje korisnih crijevnih bakterija (Karimi i sur., 2016). Dodatak inulina u razne mliječne deserte s niskim udjelom masti rezultira ne samo prebiotičkim efektom, već dolazi i do smanjenja udjela masti i šećera za od 12 % (Shoaib i sur., 2016).

## 2.8. UTJECAJ NA ZDRAVLJE

Zahvaljujući svojoj kemijskoj strukturi, inulin kada se konzumira pruža nekoliko zdravstvenih prednosti. Razna istraživanja provedena na životinjama i ljudima pokazala su da inulin, bilo u svom prirodnom stanju ili kao dodatak prehrani, može pozitivno utjecati na razne biološke funkcije (Slika 6) (Munim i sur., 2017).



**Slika 6.** Sažeti prikaz pozitivnog učinka inulina na biološke funkcije u organizmu (prema Kishan i sur., 2021; Wan i sur., 2020)



### 2.8.1. Smanjenje rizika od gastrointestinalnih bolesti

Inulin ima povoljna svojstva u smanjenju rizika od mnogih bolesti crijevnog trakta, osobito upalnih bolesti crijeva poput ulceroznog kolitisa i Crohnove bolesti (Shoaib i sur., 2016). Kombinacijom inulina i probiotičkih mikroorganizama, uočeno je smanjenje kolitisa i pospješivanje razvoja crijevnih bifidobakterija i laktobacila. Osim toga, pokazalo se da kombinacija inulina i laktuloze smanjuje upalu kod kolitisa izazvanog dekstran natrijevim sulfatom (Kishan i sur., 2021). Nadalje, u jednom istraživanju navedeno je da upotreba kombinacije od 15 g oligofruktoze i inulina tijekom 21 dana dovodi do smanjenja Crohnove bolesti i povećava razvoja crijevnih bifidobakterija (Lindsay i sur., 2006). Osim toga, kombinacija inulina i oligofruktoze jača barijeru crijevne sluznice i pomaže u inhibiciji upalnih bolesti crijeva te pospješuje proizvodnju kratkolančanih masnih kiselina što pogoduje proizvodnji laktobacila ili bifidobakterija (Kishan i sur., 2021).

Rak debelog crijeva jedan je od brzorastućih malignih tumora uzrokovan mutacijama u stanicama debelog crijeva koje su nastale s promjenama suvremenog načina ljudskog života, posebno promjenama u prehrani (Wan i sur., 2020). Istraživanja su pokazala da inulin obogaćen oligofruktozom u kombinaciji s *Lactobacillus rhamnosus* i *Bifidobacterium lactis* može smanjiti rizik od raka debelog crijeva kod ljudi. Osim toga, istraživanja su otkrila da inulin visoke djelotvornosti i Synergy djeluju u progersiji raka te da su korisniji od oligofruktoze budući da im treba više vremena za fermentaciju i samim time imaju bolji učinak na distalnu regiju debelog crijeva, dok oligofruktoza niti ne dolazi do distalne regije jer se unaprijed fermentira u proksimalnom dijelu regije debelog crijeva (Shoaib i sur., 2016). Zapravo, antikancerogeni mehanizam inulina može se prepisati njegovom prebiotičkom učinku te proizvodnji kratkolančanih masnih kiselina fermentacijom u crijevima (Wan i sur., 2020).

### 2.8.2. Utjecaj na zatvor i učestalost stolice

Zatvor je najrasprostranjeniji gastrointestinalni problem među starijim ljudima (Shoaib i sur., 2016). Inulin i oligofruktoza mogu regulirati rad crijeva rezultirajući poboljšanom učestalošću i konzistenciji stolice. Posjeduju sposobnost fermentacije u debelom crijevu i mogu povećati populaciju bakterija. Rezultirajuća mikroflora može pridonijeti fekalnoj biomasi i sadržaju vode u stolici što dovodi do peristaltike crijeva i olakšanog izlučivanja (Waqas i Summer, 2017).

Jedno istraživanje pokazalo je da redovitom konzumacijom inulina kod zdravih ljudi dolazi do povećanja težine stolice i motiliteta debelog crijeva. Povećava se težina mokre fekalije 1,5-2 g s konzumacijom svakog grama inulina (Den Hond i sur., 2000).

Kako je inulin topljivo vlakno koje ljudski enzimi ne mogu probaviti, utječe na djelotvornost želuca čime se snižava pH crijeva, ublažava zatvor i povećava broj stolica (Shoaib i sur., 2016). Dokazano je da dnevno uzimanje inulina 25-35 g ublažava zatvor (Fernández-Bañares, 2006).

### 2.8.3. Utjecaj na mineralnu apsorpciju

Inulin može poboljšati apsorpciju minerala zbog svoje prebiotičke prirode. Mikroflora u debelom crijevu fermentira inulin i oslobađaju se masne kiseline kratkog lanca pri čemu dolazi do smanjenja pH u lumenu što dovodi do povećanja koncentracije  $\text{Ca}^{2+}$  i poboljšane pasivne difuzije kalcija. Sličan proces zabilježen je i za apsorpciju magnezija (Mnuim i sur., 2017).

Fermentirani proizvod inulina može pospješiti rast sluznice debelog crijeva i tako povećati površinu intestinalne apsorpcije. Osim toga, istraživanja na životinjama pokazala su kako inulinski fruktani značajno poboljšavaju apsorpciju minerala kalcija i magnezija, dok istraživanja na ljudima pokazala su da imaju vrlo mali utjecaj na apsorpciju minerala u tankom crijevu (Kishan i sur., 2021). Istraživanja provedena na životinjama pokazala su da je relativan porast apsorpcije obrnuto proporcionalan bazalnoj apsorpciji. Pretpostavlja se da bi utjecaj inulina na porast apsorpcije bio izraženiji kod starijih pokusnih životinja obzirom da se apsorpcija Ca smanjuje s dobi (Čepo i Dragojević, 2012).

Istraživanja su pokazala da kombinacija inulina i oligofruktoze ima veći učinak u povećanju apsorpcije Ca i Mg od njihove pojedinačne uporabe (Shoaib i sur., 2016).

Kalcij i magnezij važni su minerali za zdravlje kostiju te povećanjem njihove apsorpcije može se poboljšati zdravlje kostiju i smanjiti rizik od osteoporoze (Mnuim i sur., 2017).

Osim pozitivnog utjecaja na apsorpciju Ca i Mg, pretpostavlja se da bi inulin i oligofruktoza mogli ostvarivati isti učinak i na apsorpciju Fe, Cu i Zn. Međutim, to se još uvijek istražuje i provode se dodatna klinička istraživanja kako bi se potvrdila navedena hipoteza (Čepo i Dragojević, 2012).

#### 2.8.4. Utjecaj na imunološki sustav

Imunološki sustav je vrlo složen sustav u ljudskom tijelu, a njegova složenost omogućuje mu da služi kao obrambeni sustav kod ljudi u zaštiti od patogena. Osim toga, ima funkciju identificiranja i djelovanja na antigene stranih tijela. Sastoji se od imunoloških organa, imunoloških stanica i imunološkog sustava te je vrlo važan za tjelesni imunološki odgovor i mnoge funkcije u tijelu.

Nekoliko istraživanja pokazalo je imunostimulirajuće učinke inulina i oligofruktoze. U jednom istraživanju na miševima, pokazano je da inulin i oligofruktoza štite miševe od patogena i tumora tako što neizravno stimuliraju funkcije T stanica, prirodnih stanica ubojica i aktivnost fagocita tijekom promjene koncentracije bakterija mliječne kiseline u gastrointestinalnom traktu. Nadalje, istraživanja su pokazala da inulin kao dodatak stočnoj hrani pospješuje rast peradi i morskih životinja te ojačava njihov imunološki sustav (Wan i sur., 2020; Shoaib i sur., 2016).

Inulin može služiti kao pomoćnik cjepivima za poboljšanje imunološkog odgovora. Kod dojenčadi hranjene prehranom koja se sastoji od inulina i oligofruktoze i cijepljene protiv ospica, uočeno je da su određene razine igG-antitijela bile veće odnosno da je poboljšán imunološki odgovor na cijepljenje (Shoaib i sur., 2016).

#### 2.8.5. Utjecaj na lipidni metabolizam

Dnevni unos 10 g inulina visoke djelotvornosti inkorporiranog u hranu bogatu ugljikohidratima i smanjenim lipidima, ima pozitivan učinak na lipide u plazmi kod ljudi. Dolazi do smanjenja lipogeneze u krvi i koncentracije triacilglicerola u plazmi čime se smanjuje rizik od ateroskleroze. Poboljšanje metabolizma lipida inulinom usko je povezano s vrstom prehrane kojoj se dodaje i patofiziološkim stanjem čovjeka odnosno životinje (Letexier i sur., 2003).

U svom istraživanju Williams i Jackson (2002) proučavali su učinak inulina ili dodatak oligofruktoze na lipide u krvi (LDL-kolesterol i triacilglicerol) kod deset osoba. Troje od njih nije imalo učinak inulina na razine kolesterola u krvi ili triacilglicerola, kod drugih troje došlo je do značajnog smanjenja triacilglicerola, dok je kod preostale četiri osobe nađeno umjereno smanjenje LDL-kolesterola (Williams i Jackson, 2002).

S druge strane, u istraživanjima provedenim na štakorima, uočeno je da oligofruktoza

dobivena iz inulina može značajno smanjiti trigliceride u serumu i jetri, povećati omjer lipoproteina visoke gustoće (HDL) i lipoproteina niske gustoće (LDL) i smanjiti kolesterol kod štakora. Zapravo, razna istraživanja provedena na ljudima pokazuju da konzumacijom inulina se postiže bolji učinak na lipidne parametre, dok kod životinja (osobito kod štakora) opaženi učinak inulina i oligofruktoze je podjednak. No, mehanizam kojim inulin zapravo utječe na metabolizam lipida nije u potpunosti raspravljen (Shoaib i sur., 2016).

#### 2.8.6. Utjecaj na dijabetes

Za razliku od ugljikohidrata, kao što je saharoza, koji su probavljivi i apsorbirani u tankom crijevu, inulin može djelovati kao niskokalorična zamjena za šećer jer fermentacija u debelom crijevu oslobađa kratkolančane masne kiseline koje se zatim apsorbiraju u tijelo i čine jednu trećinu kalorijskog sadržaja tradicionalno probavljivih ugljikohidrata (Meyer i Blaauwhoed, 2009).

Inulin je prikladna namirnica za dijabetičare (Kaur i Gupta, 2002) jer djeluje kao potencijalna zamjena za šećer s obzirom da ne utječe negativno na razinu šećera u krvi odnosno ne izaziva glikemijski odgovor (Munim i sur., 2017).

Kontinuirani unos ekstrakta korijena cikorijske, koja sadrži inulin kao glavni bioaktivni sastojak, tijekom 4 tjedna može značajno sniziti razine HbA1c, važne komponente za kontrolu šećera u krvi (Nishimura i sur., 2015).

Također, jedno istraživanje je utvrdilo da sadržaj fruktoze i inulina u jeruzalemskoj artičoki može doprinijeti prevenciji dijabetesa tipa 2 ako se redovito konzumira (Chang i sur., 2014).

#### 2.8.7. Utjecaj na pretilost

Pretilost je zdravstveno stanje kod kojeg je povećan rizik od razvoja drugih bolesti poput dijabetesa, bolesti srca, visokog krvnog tlaka i drugih zdravstvenih problema zbog prekomjerne količine masti u tijelu (Kishan i sur., 2021).

Inulin se ponekad koristi kao zamjena za saharozu prilikom mršavljenja zbog niske kalorijske vrijednosti  $1,5 \text{ kcal g}^{-1}$  ili  $6,3 \text{ kJ g}^{-1}$ . Provedena su različita istraživanja na ljudima i životinjama kako bi se dokazala učinkovitost inulina u suzbijanju pretilosti. Istraživanje na ljudima pokazalo je da redoviti unos zelenog čaja bogatog katehinima u kombinaciji s inulinom

u vremenskom razdoblju od minimalno 3 tjedna, pomaže u održavanju tjelesne težine te snižava krvni tlak kako bi se spriječile kardiovaskularne i metaboličke bolesti (Wan i sur., 2020).

Također, prehrana obogaćena inulinom povećala je osjećaj sitosti i smanjila unos energije u jednom istraživanju kod djece između 11 i 12 godina što znači da inulin ima veliki potencijal u kontroli pretilosti u dječjoj dobi (Hume i sur., 2017).

Anastasovska i sur. (2012) otkrili su da prehrana s visokim udjelom masti s dodatkom inulina pozitivno utječe na masu tijela, sastav tijela i metaboličke funkcije. Zapravo, mehanizam kojim inulin djeluje na smanjenje pretilosti može biti povezan s promjenama u crijevnoj mikroflori, proizvodnji kratkolančanih masnih kiselina te poticanju oksidacije masti (Wan i sur., 2020).

### 3. ZAKLJUČCI

1. Inulin se nalazi u mnogim biljnim vrstama i zbog toga je široko rasprostranjen. No, samo korijen cikorije i gomolj jeruzalemske artičoke danas se najčešće koriste kao glavni izvori inulina u prehrambenoj industriji zbog visokog sadržaja inulina što omogućuje bolji prinos ekstrakcije.
2. Tradicionalna industrijska proizvodnja inulina provodi se godinama, ali zahtjeva visoku temperaturu i dugo vrijeme ekstrakcije, a općenito nastaju velike količine nečistoća u ekstrahiranom soku što zahtijeva daljnje korake pročišćavanja. U novije vrijeme istražuju i razvijaju se nove tehnologije ekstrakcije, nekonvencionalne metode koje troše manje energije te daju viši prinos ekstrakcije i čistoću konačnog proizvoda. Od svih istraženih nekonvencionalnih metoda, pokazalo se da najviše obećavajuća metoda je ekstrakcija potpomognuta pulsirajućim električnim poljem, a najmanje učinkovita je metoda ekstrakcije superkritične tekućine.
3. Inulin ima veliki potencijal za primjenu u industriji funkcionalne hrane zbog svog prebiotičkog učinka i svojstva kao dijetalno vlakno. Također, zbog svojih tehnoloških karakteristika može se koristiti kao zamjena za mast ili šećer i kao modifikator teksture pri čemu dodatno doprinosi nutritivnoj vrijednosti i boljim organoleptičkim svojstvima dijetetskog proizvoda.
4. Dokazano je da inulin pozitivno utječe na mnoge biološke funkcije u organizmu pri čemu konzumacija inulina može doprinijeti smanjenju rizika od pojave raznih bolesti modernog doba poput dijabetesa, pretilosti ili zatvora. Osim toga, inulin kao prebiotik utječe na povećanu apsorpciju minerala, smanjenje rizika od bolesti crijeva i zatvora, stimulaciju imunološkog sustava i regulaciju tjelesne težine.
5. Zbog svega navedenog, na kraju se može zaključiti da inulin ima veliki značaj u prehrambenoj industriji zahvaljujući svojoj kemijskoj formuli, fizikalno-kemijskim svojstvima te pozitivnom učinku na zdravlje ljudi. Međutim, i dalje se provode razna istraživanja kako bi se poboljšala i povećala primjena inulina u prehrambenoj industriji.



rats. *The British Journal of Nutrition* **112**, 709-17.  
<https://doi.org/10.1017/S0007114514001421>

- Cooper P D, Carter M (1986). Anti-complementary action of polymorphic “solubility forms” of particulate inulin. *Molecular Immunology* **23**, 895-901.  
[https://doi.org/10.1016/0161-5890\(86\)90075-1](https://doi.org/10.1016/0161-5890(86)90075-1)
- Dahl WJ, Whiting SJ, Isaac TM, Weeks SJ, Arnold CJ (2005) Effects of thickened beverages fortified with inulin on beverage acceptance, gastrointestinal function, and bone resorption in institutionalized adults. *Nutrition* **21**, 308-311.  
<https://doi.org/10.1016/j.nut.2004.06.025>
- Den Hond E, Geypens B, Ghoois Y (2000) Effect of high performance chicory inulin on constipation. *Nutrition Research* **20**, 731-6. [https://doi.org/10.1016/S0271-5317\(00\)00162-7](https://doi.org/10.1016/S0271-5317(00)00162-7)
- Drabińska N, Zieliński H, Krupa-Kozak U (2016) Technological benefits of inulin type fructans application in gluten-free products – a review. *Trends in Food Science & Technology* **56**, 149-157. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.08.015>
- Fadaei V, Poursharif K, Daneshi M, Honarvar M (2012) Chemical characteristics of low-fat wheyless cream cheese containing inulin as fat replacer. *European Journal of Experimental Biology* **2**, 690-694.
- Fan S, Liu J, Wang Z (2010) Method for producing inulin and other fructan-containing products from Jerusalem artichoke. Global Patent Index - EP 2698387 A1. [https://data.epo.org/gpi/EP 2698387 A1 20140219 - METHOD FOR PRODUCING INULIN AND OTHER FRUCTAN-CONTAINING PRODUCTS FROM JERUSALEM ARTICHOKE \(epo.org\)](https://data.epo.org/gpi/EP_2698387_A1_20140219_-_METHOD_FOR_PRODUCING_INULIN_AND_OTHER_FRUCTAN-CONTAINING_PRODUCTS_FROM_JERUSALEM_ARTICHOKE_(epo.org))
- Fernández-Bañares F (2006) Nutritional care of the patient with constipation. *Best Practice & Research Clinical Gastroenterology* **20**, 575-587.  
<https://doi.org/10.1016/j.bpg.2005.11.002>
- Gulati N (2012) Ectopic Thymoma- Presenting as a Large Pleural Mass. *Journal of Pulmonary & Respiratory Medicine* **2**, 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2006.03.092>
- Hennelly PJ, Dunne, PG, O’sullivan M, O’Riordan ED (2006), Textural, rheological and microstructural properties of imitation cheese containing inulin. *Journal of Food Engineering* **75**, 388-395. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.04.023>



- Hu Q, Qui S, Wang H, Zhou J, Tang Y (2007) Study on strategy of pH control on the inulin extraction from Jerusalem artichoke. *Science and Technology of Food Industry* **28**, 150-155. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c00302>
- Hume MP, Nicolucci AC, Reimer RA (2017) Prebiotic supplementation improves appetite control in children with overweight and obesity: A randomized controlled trial. *American Journal of Clinical Nutrition* **105**, 790-799. <https://doi.org/10.3945/ajcn.116.140947>
- Karimi R, Azizi MH, Ghasemlou M, Vaziri M (2014) Application of inulin in cheese as prebiotic, fat replacer and texturizer: A review. *Carbohydrate Polymers* **119**, 85-100. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.11.029>
- Kaur N, Gupta AK (2002) Applications of inulin and oligofructose in health and nutrition. *Journal of biosciences* **27**, 703-14. <http://doi.org/10.1007/BF02708379>
- Kim Y, Faqih MN, Wang SS (2001) Factors affecting gel formation of inulin. *Carbohydrate Polymers* **46**, 135-145. [http://doi.org/10.1016/S0144-8617\(00\)00296-4](http://doi.org/10.1016/S0144-8617(00)00296-4)
- Kim Y, Wang S (2001) Kinetic study of thermally induced inulin gel. *Journal of food science* **66**, 991-997. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb08224.x>
- Kishan CS, Akhila AR, Subhashree S, Kulkarni PK (2021) A comprehensive review on pharmaceutical and nutritional application of inulin, *International Journal of Applied Pharmaceutics* **13**, 30-38. <https://doi.org/10.22159/ijap.2021v13i3.40863>
- Kolida S, Meyer D, Gibson GR (2007) A double-blind placebo-controlled study to establish the bifidogenic dose of inulin in healthy humans. *European Journal of Clinical Nutrition* **61**, 1189-1195. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602636>
- Letexier D, Diraison F, Beylot M (2003) Addition of inulin to a moderately high-carbohydrate diet reduces hepatic lipogenesis and plasma triacylglycerol concentrations in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition* **77**, 559-564. <https://doi.org/10.1093/ajcn/77.3.559>
- Lindsay JO, Whelan K, Stagg AJ, Gobin P, Al-Hassi HO, Rayment N, et al. (2006) Clinical, microbiological, and immunological effects of fructo-oligosaccharide in patients with Crohn's disease. *Gut* **55**, 348-355. <http://dx.doi.org/10.1136/gut.2005.074971>
- Lingyun W, Jianhua W, Xiaodong Z, Da T, Yalin Y, Chenggang C, Fan Z (2007) Studies on the extracting technical conditions of inulin from Jerusalem artichoke tubers.

*Journal of Food Engineering* **79**, 1087-1093. <https://doi.org/10.1016/j.jfo-odeng.2006.03.028>

- Mendes MF, Cataldo LF, da Silva CA, Nogueira RI, Freitas SP (2005) Extraction of the inuline from chicory roots (*Chicorium intybus* L.) using supercritical carbon dioxide. Conference: 2nd Mercosur Congress on Chemical Engineering and 4th Mercosur Congress on Process Systems Engineering, ENPROMER2005, Rio de Janeiro, Brazil.
- Mensink MA, Frijlink HW, van der Voort Maarschalk K, Hinrichs WLJ (2015) Inulin, a flexible oligosaccharide I: review of its physicochemical characteristics. *Carbohydrate Polymers* **130**, 405-419. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.05.026>
- Meyer D, Blaauwhoed JP (2009) Inulin, Handbook of Hydrocolloids, 2. izd., Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, str. 829-848. <https://doi.org/10.1533/9781845695873.829>
- Milani E, Koocheki A, Golimovahhed QA (2011) Extraction of inulin from Burdock root (*Arctium lappa*) using high intensity ultrasound. *International Journal of Food Science and Technology* **46**, 1699-1704. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02673.x>
- Munim A, Rod M, Tavakoli H, Hosseinian F (2017) An Analysis of the Composition, Health Benefits, and Future Market Potential of the Jerusalem Artichoke in Canada. *Journal of Food Research* **6**, 69- 69. <https://doi.org/10.5539/jfr.v6n5p69>
- Ninness KR (1999) *Inulin and oligofructose: what are they?* *Journal of Nutrition*, **129**, 1402-1406. <https://doi.org/10.1093/jn/129.7.1402S>
- Nishimura M, Ohkawara T, Kanayama T, Kitagawa K, Nishimura H, Nishihira J (2015) Effects of the extract from roasted chicory (*Cichorium intybus* L.) root containing inulin-type fructans on blood glucose, lipid metabolism, and fecal properties. *Journal of Traditional & Complementary Medicine* **5**, 161-167. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2014.11.016>
- Roberfroid MB (2005) Introducing inulin-type fructans. *British Journal of Nutrition* **93**, 13-25. <https://doi.org/10.1079/BJN20041350>
- Ronkart S, Blecker C, Fougnyes C, Herck JCV, Wouters J, Paquot M (2006) Determination of physical changes of inulin related to sorption isotherms: An X-ray diffraction,

modulated differential scanning calorimetry and environmental scanning electron microscopy study. *Carbohydrate polymers* **63**, 210-217. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.08.030>

- Saeed M, Yasmin I, Pasha I, Randhawa MA, Khan MI, Shabbir MA, Khan WA (2015) Potential application of inulin in food industry; A review. *Pakistan Journal of Food Science* **25**, 110-116.
- Saengthongpinit W, Sajjaanantakul T (2005) Influence of harvest time and storage temperature on characteristics of inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers. *Postharvest Biology and Technology* **37**, 93-100. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.03.004>
- Sherif AM, Abdelmoneim AH, Anwar N, Sobia N, AL-Farga A, Bakry AM (2016) Inulin as Prebiotics and its Applications in Food Industry and Human Health; A Review, *International Journal of Agriculture Innovations and Research* **5**, 88-97.
- Shoaib M, Shehzad A, Omar M, Rakha A, Raza H, Sharif HR, i sur. (2016) Inulin: properties, health benefits and food applications. *Carbohydrate Polymers* **147**, 444-454. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.020>
- Tiwari A, Kumar Sharma H, Kumar N, Kaur M (2015) The effect of inulin as a fat replacer on the quality of low-fat ice cream. *International Journal of Dairy Technology* **66**, 374-380. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12176>
- Tsatsaragkou K, Methven L, Chatzifragkou A, Rodriguez-Garcia J (2021) The Functionality of Inulin as a Sugar Replacer in Cakes and Biscuits; Highlighting the Influence of Differences in Degree of Polymerisation on the Properties of Cake Batter and Product. *Foods* **10**, 951. <https://doi.org/10.3390/foods10050951>
- Vitali Čepo D, Vedrına Dragojević I (2012) Inulin i oligofruktoza u prehrani i prevenciji bolesti. *Hrana u zdravlju i bolesti: znanstveno-stručni časopis za nutricionizam i dijetetiku* **1**, 36-43.
- Wan X, Guo H, Liang Y, Zhou C, Liu Z, Li K, i sur. (2020) The physiological functions and pharmaceutical applications of inulin: A review, *Carbohydrate Polymers* **246**, 116589. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116589>
- Waqas A, Summer R (2017) Functional and therapeutic potential of inulin: A comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **59**, 1-13. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1355775>

- Williams CM, Jackson KG (2002) Inulin and oligofructose: effects on lipid metabolism from human studies. *British Journal of Nutrition* **87**, 261-264. <https://doi.org/10.1079/BJNBJN/2002546>
- Yap WKW, Mohamed S, Jamal MH, Diederick M, Manap YA (2008) Changes in infants faecal characteristics and microbiota by inulin supplementation. *Journal of Clinical and Biochemistry Nutrition* **43**, 159-166. <https://doi.org/10.3164/jcbn.2008055>
- Hsin-Yi Y, Suh-Ching Y, Jane C.-J. Chao ?, Jiun-Rong C (2012) Beneficial effects of catechin-rich green tea and inulin on the body composition of overweight adults. *British Journal of Nutrition* **107**, 749-754. <https://doi.org/10.1017/S0007114511005095>
- Zahn S, Pepke F, Rohm H (2010) Effect of inulin as a fat replacer on texture and sensory properties of muffins. *International Journal of Food Science and Technology* **45**, 2531-2537. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02444.x>
- Zhu Z, He J, Liu G, Barba FJ, Koubaa M, Ding L, i sur. (2016) Recent insights for the green recovery of inulin from plant food materials using non-conventional extraction technologies: A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **33**, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.12.023>

## Izjava o izvornosti

Ja Darija Gašpar izjavljujem da je ovaj završni rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u njegovoj izradi nisam koristio/la drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.



---

Vlastoručni potpis