

Važnost pčelinjeg voska u pčelarstvu i drugim područjima

Vukić, Antonia

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zadar / Sveučilište u Zadru**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:162:945342>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

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



Sveučilište u Zadru
Universitas Studiorum
Jadertina | 1396 | 2002 |

Repository / Repozitorij:

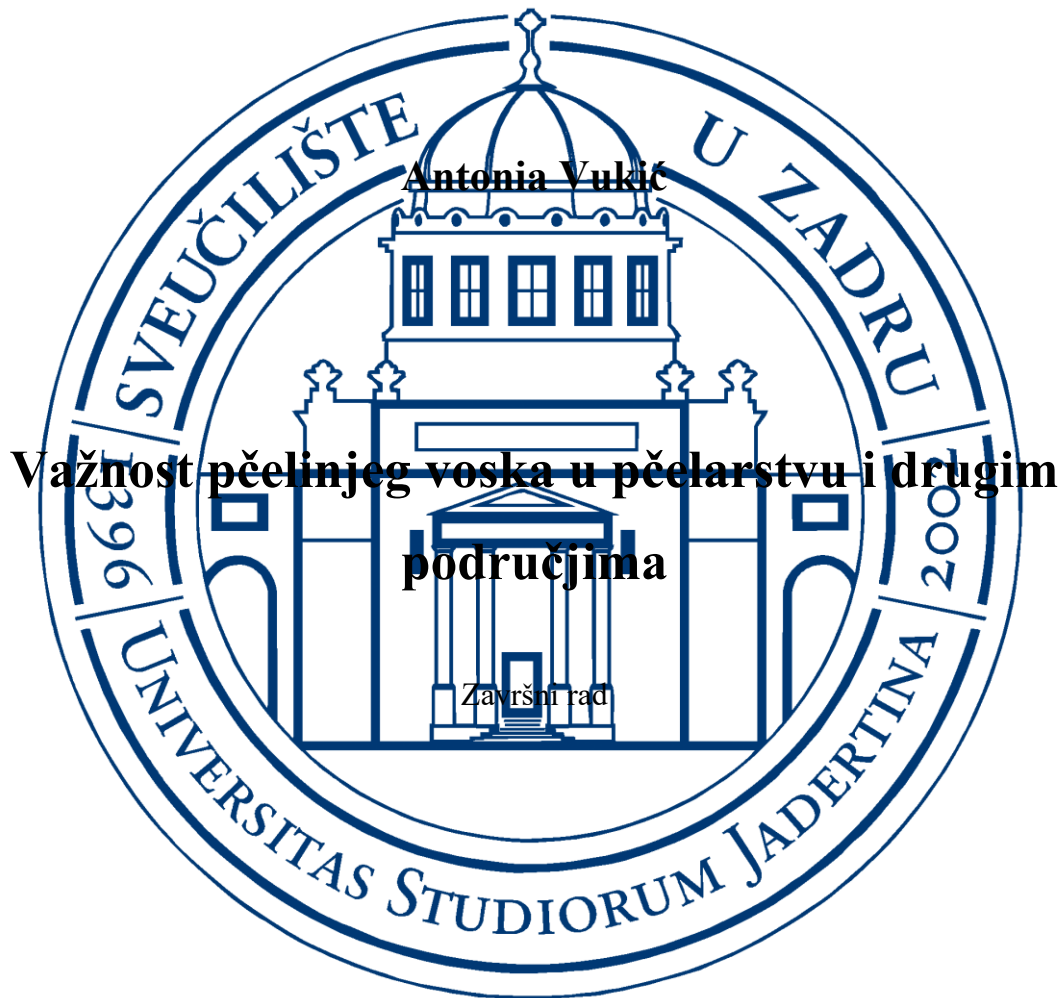
[University of Zadar Institutional Repository](#)



Sveučilište u Zadru

Odjel za ekologiju, agronomiju i akvakulturu

Primijenjena ekologija u poljoprivredi



Zadar, 2024.

Sveučilište u Zadru

Odjel za ekologiju, agronomiju i akvakulturu

Primijenjena ekologija u poljoprivredi

Važnost pčelinjeg voska u pčelarstvu i drugim područjima

The importance of honeybee wax in beekeeping and other industries

Završni rad

Student/ica:

Antonia Vukić

Mentor/ica:

Prof. dr. sc. Janja Filipi

Zadar, 2024.



Izjava o akademskoj čestitosti

Ja, Antonia Vukić, ovime izjavljujem da je moj završni rad pod naslovom *Važnost pčelinjeg voska u pčelarstvu i drugim područjima* rezultat mojega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Ni jedan dio mojega rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan iz necitiranih radova i ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem da ni jedan dio ovoga rada nije iskorišten u kojem drugom radu pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj, obrazovnoj ili inoj ustanovi.

Sadržaj mojega rada u potpunosti odgovara sadržaju obranjenoga i nakon obrane uređenoga rada.

Zadar, **izaberite**

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Cilj i svrha rada	2
3. Razrada	3
3.1. Voskovi	3
3.2. Sinteza pčelinjeg voska	3
3.3. Kemijski sastav i fizikalna svojstva pčelinjeg voska.	7
3.4. Proizvodnja i primjena pčelinjeg voska	10
Oprema za proizvodnju voska	13
3.5. Povijest korištenja pčelinjeg voska	18
3.6. Rezidui lijekova i pesticida u vosku	19
3.7. Patvorenje pčelinjeg voska	21
4. Zaključak	22
5. Literatura	23

Sažetak

Pčelinji vosak je u povijesti imao važnu ulogu u svakodnevnom životu. Riječ vosak potječe od anglosaksonske riječi „*weax*“ što je značilo prirodni materijal, koji su se dobivao od pčelinjeg saća ali i za voskove dobivene iz biljaka. Proizvode ga pčele radilice u dobi od 12 do 18 dana, a najveće potrebe zajednice za novim voskom su u proljeće. Pčelinji vosak pčele koriste kao građevni materijal za izgradnju saća u kojem uzgajaju leglo, smještaju rezerve hrane te sudjeluje u komunikaciji jedinki u zajednici. Proizvodnja pčelinjeg voska zasniva se na pretapanju starog tamnog i/ili oštećenog saća, zaperaka, mednih poklopaca, građevnjaka i voštanog trusja. Pčelari zamjenjuju godišnje oko 30% starog saća u zajednicama. Većina voska se koristi za satne osnove, no koristi se i u kozmetičkoj industriji (25 – 30 %), farmaciji (25 – 30 %), proizvodnji svijeća (20 %) te prehrambenoj industriji i ostalo (10 – 20 %). Zbog svojih kemijsko fizikalnih svojstava zadržao je primjenu i u ostalim industrijama kao laštilo, premaz za drvene predmete, u voćarstvu za premaz nakon rezidbe, u tekstilnoj industriji i elektronicima te brojnim drugim. Pčelinji vosak koji se vraća u pčelarstvo ne podliježe kontroli na rezidue pesticida i lijekova, koji se u njemu akumuliraju godinama. Rezidue pesticida i lijekova utječu na vitalnost i zdravlje legla i pčela. Patvorenje pčelinjeg voska predstavlja veliki problem na tržištu satnih osnova u svjetskim razmjerima. Satne osnove od patvorenog voska utječu na vitalnost i život pčela te mogu ugroziti zdravlje zajednice i zbog narušenih komunikacijskih uvjeta unutar zajednice, osim navedenog utječe na smanjenje proizvodnje ali i kakvoće meda.

Ključne riječi: pčelinji vosak, proizvodnja, satne osnove, upotreba pčelinjeg voska

Abstract

Historically beeswax has played an important role in everyday life. The word wax comes from the Anglo-Saxon word "*weax*", which meant a natural material, which was obtained from comb, but also for waxes obtained from plants. It is produced by worker bees 12 to 18 days old, colonies are producing wax in the spring. Bees use beeswax as a building material for building combs in which they rear brood, place food reserves and it is participating in communication of nestmates. The production of beeswax is based on the melting of old dark and/or damaged combs, honey caps and wax scum. Beekeepers replace annually about 30% of the old comb in the colonies. Most of the wax is used to produce wax foundation, but it is also used in the cosmetic industry (25-30%), pharmacy (25-30%), candle production (20%), the food industry and others (10-20%). Due to its chemical and physical properties, it has continued to be used in other industries as a varnish, a coating for wooden objects, in fruit growing as a coating after pruning, in the textile industry, electronics and many others. Beeswax that is returned to beekeeping is not subject to control for pesticide and drug medicine residues, which accumulate in the wax over years of use. Residues of pesticides and medicines affect the vitality and health of brood and bees. Adulteration of beeswax is a major problem in the wax foundation market on a global scale. Wax foundations made of adulterated wax affect the vitality and life of bees and can threaten the health of the colony due to impaired communication conditions within the community and negatively affect normal physiological development, and foreign substances affect the decreased production and quality of honey.

Key words: beeswax, production, wax foundation, use of beeswax

1. Uvod

Pčelinji vosak je u povijesti imao važnu ulogu u svakodnevnom životu. Svijeće od pčelinjeg voska gore bez dima pa je produžio radni dan, a materijali natopljeni voskom nisu propuštali vodu, pa se i danas koristi izraz voštano platno iako većinom platna ne sadrže vosak. Pčelinji vosak je stabilan pa su ga pčelari čuvali kao rezerve koje su prodavali kad su bili u potrebi. Pojavom plastike vosak gubi svoju prvobitnu ulogu, ali danas postajemo sve više svjesni njegove vrijednosti.

Pčelinji vosak, osim u pčelarstvu, pronalazi primjenu i u brojnim drugim granama, a u novije vrijeme je doživio ponovni porast popularnosti. Pčelinji vosak se koristi u raznim industrijama, uključujući kozmetičku, farmaceutsku, proizvodnju hrane i obradu drva, a cijenjen je zbog svojih svojstava, uključujući hidratantna i zaštitna svojstva, a često se koristi u proizvodima za njegu kože, balzovima za usne i mastima (Bogdanov, 2017.).

Stari Egipćani 4200. pr. n. e. poznavali su vrijednost ove sirovine; vosak je korišten u mumificiranju, ukrašavanju lijesova i oblaganju brodova (Crane, 1980.). Rimljani su ga koristili kao hidrofobno sredstvo te sredstvo za tretiranje obojenih zidova. U srednjem vijeku, vosak je bio oblik valute, a u današnje vrijeme, koristi se kao materijal za izradu pečata, svijeća, za poliranje i modeliranje (Bogdanov, 2017.). U pčelarstvu, vosak se koristi za izradu satnih osnova (Bogdanov, 2017.). Danas patvorine pčelinjeg voska predstavljaju jedan od glavnih problema kvalitete pčelinjeg voska, te još uvijek nema međunarodno standardiziranih analitičkih metoda za rutinsku kontrolu kvalitete (Svečnjak i sur., 2015.a, 2015. b).

Proizvodnja (obrada) voska se kroz povijest razvijala, ali i danas predstavlja kompliciran, cikličan, skup i vremenski zahtjevan proces izdvajanja voska iz saća i pročišćavanja.

Pčelinji vosak je inertan materijal, značajne plastičnosti pri relativno niskim temperaturama od 32°C (Bogdanov, 2017.).

2. Cilj i svrha rada

Cilj rada je na temelju literature prikazati tehnologiju proizvodnje pčelinjeg voska od nastajanja do satnih osnova. Svrha rada je prikazati važnost i primjenu u pčelarstvu i drugim područjima ljudskog djelovanja.

3. Razrada

3.1. Voskovi

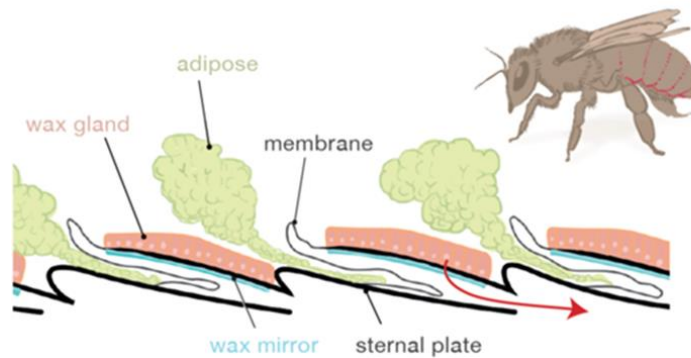
Upotreba pčelinjeg voska ima dugačku i zapanjujuću povijest čiji su korijeni u ljudskoj civilizaciji i sežu tisućama godina. Riječ vosak potječe od anglosaksonske riječi „*weax*“ što je značilo prirodni materijal, koji su se dobivao od pčelinjeg saća ali i za voskove dobivene iz biljaka (Coggshall i Morse, 1984.).

Voskovi su sastavljeni od kiselina, ugljikovodika, estera i alkohola bez obzira na način dobivanja (Warth, 1956.). Prema podrijetlu voskove možemo podijeliti na prirodne i sintetske, a prirodne na voskove iz obnovljivih i neobnovljivih izvora. Voskovi su raznolika skupina te se u voskove ubrajaju i tvari koje su po kemijskom sastavu različite ali imaju ista fizikalna svojstva (Žulj, 2017.).

Prirodne voskove iz obnovljivih izvora možemo podijeliti na biljne i životinjske. Najznačajniji biljni voskovi za ljudsku upotrebu su rižin, sojin, kandelila i karnauba vosak, dok su životinjski pčelinji, zatim vosak štitastih ušiju (*Coccus ceriferus*, *Brahma japonica*, *Tachardia lacca*) te vosak lojnih žlijezda ovaca (Coggshall i Morse, 1984.; Endlein i sur, 2009.). Insekti proizvode vosak u epidermalnim žlijezdama, koriste ga za zaštitu od vanjskog utjecaja na gubitak vlage iz tijela. Ovisno o uvjetima u kojima žive, vosak na površini kutikule može biti uljast (žohari) do konzistencije tvrdog voska (pustinjski insekti). Osim medonosnih pčela, vosak proizvode i bumbari te bezžalčane pčele, po sastavu se djelomično razlikuje no često sadrži dosta stranog materijala kojeg pčele koriste za gradnju gnijezda. Dominantno na tržištu se nalazi vosak medonosne pčele (*Apis mellifera*) te azijske vrste pčela *Apis cerana*. Vosak azijskih vrsta pčela (*Apis cerana*, *Apis dorsata* i *Apis florea*) sadrži manje spojeva i u različitim omjerima što ih čini mekšim i plastičnijim (Bogdanov, 2017.).

3.2. Sinteza pčelinjeg voska

Pčelinji vosak je proizvod fiziološkog procesa pčela radilica (Hepburn i sur., 1991.). Sinteza pčelinjeg voska se odvija u 4 para voštanih žlijezda koje se nalaze na ventralnoj strani zatka, od 4. do 7. kolutića (Filipi i Dražić, 2018.) (slika 1.).



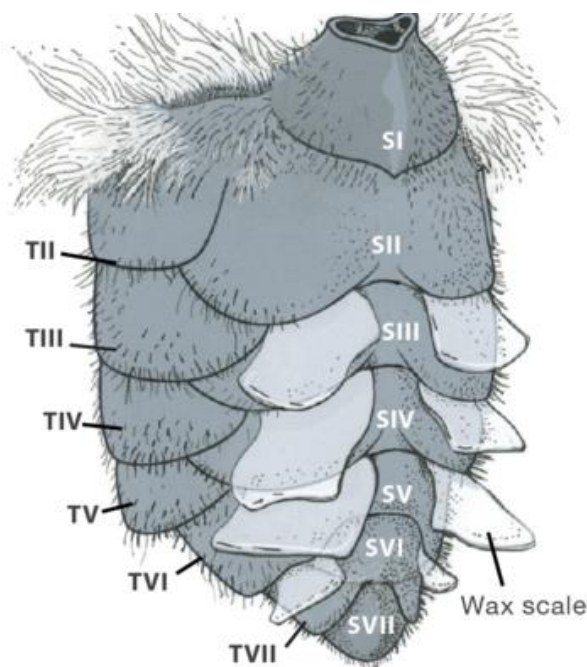
Slika 1: Građa voštane žlijezde
Izvor: <http://thecurioushound.org/honey-bees>

Voštane žlijezde su parne, izgledom su širokog oblika, glatke, svjetlije te ovalne površine (Filipi i Dražić, 2017.). Vosak kojeg izlučuju voštane žlijezde je tekuć, a u dodiru sa zrakom se skrutne u voštanu ljuskicu (Bogdanov, 2017.). Voštane ljuskice su plosnate i ovalnog oblika (slika 2.) mogu biti široke do 3 mm (Ferguson i Winston, 1988.).



Slika 2: Voštana ljuska na trbušnoj strani zatka, *Apis mellifera* Linnaeus. Autor: Susan E. Ellis
Izvor: https://entnemdept.ufl.edu/creatures/misc/BEES/euro_honey_bee.htm

Razvoj voštanih žlijezda započinje već trećeg dana starosti (Filipi i Dražić, 2017.), početak lučenja započinje oko 9 dana, dok su žlijezde najaktivnije su u dobi od 12 do 18 dana starosti kućnih pčela (Hepburn i sur., 1991.). Pčele vosak dominantno proizvode u fazi intenzivnog razvoja pčelinjih zajednica, u umjerenim klimatskim uvjetima od travnja do lipnja (Bogdanov, 2004.). Čimbenici koji utječu na proizvodnju voska kod pčela su prisutnost matice, mlado leglo, izdašna nektarna paša, temperatura iznad 15°C, snaga zajednice, zdravstveno stanje i dostupnost prostora u zajednici (Hepburn i sur., 1991., 2014., Breed i sur., 1995.).



Slika 3: Prikaz položaja voštanih žlijezda na zadku sa voštanim ljuskicama

Izvor: <http://thecurioushound.org/honey-bees>

Pčelama radilicama voštane žlijezde prestaju s radom sa oko 18 dana starosti, no mogu se ponovo aktivirati i kod starijih pčela nakon zime ili kada se zajednica izroji pa postoji potreba za gradnjom saća (Kezić i sur., 2014.). Ukoliko nema matice pčelinja zajednica ne stvara vosak i ne gradi saće čak i kad su uvjeti za gradnju povoljni (Bogdanov, 2017.). Huberovi pokusi 1814. godine dokazali su da med stimulira izlučivanje voska (Hepburn i sur., 2014.). Tek 1903. godine Dreyling je detaljno opisao ciklus proizvodnje pčelinjeg voska (Crane 1999., preuzeto iz Bogdanov 2017.).

Jedna voštana ljuskica teži oko 1 mg, te za 1 g pčelinjeg voska pčele trebaju proizvesti 1 000 voštanih ljuskica, dok je 1 kg voska potrebno oko milijun (Bogdanov, 2004.).

Glavna sirovina za sintezu pčelinjeg voska su ugljikohidrati (Weiss, 1965.) no za proizvodnju voska važne su i dostatne količine peludi koje su potrebne za razvoj voštanih žlijezdi. Prema istraživanjima razlikuju se potrebne količine meda za proizvodnju voska, Tulloch (1980.) prikazuje da je potrebno 4 do 22 kg, dok Weiss (1965., preuzeto iz Hepburn i sur., 2014.) navode 6,25 kg. Bogdanov (2017.) u svom radu prikazuje da izgrađeno saće jednog Lanstroth-Root okvira košnice prosječno sadržava sto grama voska, a može nositi 2 - 4 kg meda (Bogdanov, 2017.).

Važnost i uloga pčelinjeg voska u zajednici

Pčelinji vosak pčele koriste kao građevni materijal za izgradnju saća. Saće je građeno od šesterostranih stanica, u prostoru u kojem žive može biti više paralelnih saća. U dobro razvijenoj zajednici može biti između 100.000 do 200.000 stanica saća (Tautz, 2008.). U saću pčele uzgajaju leglo, proizvode med, skladište rezerve hrane med i pelud, te na njemu borave. Uloga saća u zajednici je puno složenija od prethodno navedenog. Saće ima ulogu regulacije temperature u košnici, sudjeluje u komunikaciji te prepoznavanju svoje zajednice (Svečnjak i sur., 2019 a., Tautz, 2008.). Također posreduje u komunikaciji poklapanja legla, izgradnji matičnjaka, prikupljanju hrane i obrani zajednice (Hepburn, 1998., preuzeto iz Svečnjak i sur. 2019. a). Vosak sudjeluje u kemijskom pročišćavanju nektara i meda. Tvari topive u mastima koje su ponekad u nektaru prelaze u vosak.

3.3. Kemijski sastav i fizikalna svojstva pčelinjeg voska.

Pčelinji vosak složenog je sastava i sadržava preko 300 različitih spojeva. Prema Tulloch (1980.) pčelinji vosak sastoji se od estera masnih kiselina (67 %), ugljikovodika (14 %), te slobodnih masnih kiselina (12 %), drugih tvari (tablica 1.) kao što su aromatske te mineralne tvari, karotenoidi, ali i pelud, propolis, te razne druge primjese.

Tablica 1. Kemijski sastav pčelinjeg voska

SASTAVNICA	KOLIČINA (g/100g)
Ugljikovodici	14
Monoesteri	35
Diesteri	14
Triesteri	3
Hidroksimonoesteri	4
Hidroksipoliesteri	8
Kiseli esteri	1
Kiseli poliesteri	2
Ukupno esteri	67
Slobodne kiseline	12
Alkoholi	1
Ostalo	6

Izvor: Tulloch (1980.)

Pčelinji vosak se po pojedinim tvarima razlikuje između vrsta pčela ali i između pasmina medonosnih pčela (Beverly i sur., 1995., Aichholz i Lorbeer, 1999.).

Istraživanjima makro i mikroelemenata utvrđeno je da jedan gram pčelinjeg voska sadrži oko 28 µg željeza, 27 µg cinka, 0,2 µg kobalta, 0,8 µg kroma, 1,2 µg selena, 0,1 µg antimona, 0,01 µg cezija, 6µg žive, te vrlo male količine elemenata u tragovima. Upravo ovi elementi u vosku dokazuju važnost voska kao biokatalizatora za različite metaboličke i kemijske procese u organizmu (Laktić i Šekulja, 2008.).

Boja pčelinjeg voska može varirati od bijele, žute do tamnosmeđe ovisno o udjelu različitih pigmentata, te propolisa i peludi (slika 4.). Svježe proizveden vosak je bijele boje, skladištenjem hrane peluda, nektara, medne rose i meda poprima žute nijanse, a razvojem legla u stanicama saća vosak poprima smeđu boju najvećim dijelom od izmeta i ostataka kukuljica ličinki. Što je veći broj generacija koji se razvio u stanicama boja saća je tamnija (Coggshall i Morse, 1984., Bogdanov, 2017.).



Slika 4: Varijacije u boji pčelinjeg voska

Izvor: <https://carolinahoneybees.com/beeswax-colors/>

Vosak ima karakterističan miris koji nastaje od drugih pčelinjih proizvoda, kao što su pelud, med i propolis (Coggshall i Morse, 1984.). Važne odlike kakvoće pčelinjeg voska su točka topljenja, specifična težina, tvrdoća, elastičnost, boja, miris i drugo kao što je prikazano u tablici 2. (Bogdanov, 2016).

Tablica 2. Senzorske i fizikalne odlike pčelinjeg voska

Parametar	Odlike
Boja	Žuta do smeđežuta
Presjek	Fino granuliran
Miris	Poput meda
Konzistencija	Nakon rezanja nije ljepljiv
Točka tališta	61 – 65°C
Udio vode	< 1%
Specifična težina	0,950 – 0,965
Indeks refrakcije, 75°C	1,4398 – 1,4451
Kiselinski broj	17 – 22
Esterski broj	70 – 80
Peroksidni broj	Min 8

Izvor: Bogdanov, 2017.

Fizikalna struktura pčelinjeg voska je kristalinična. Kristalizacija u vosku ponajviše ovisi o načinu skladištenja te se povećava sa dužinom skladištenja. Ovisno o temperaturi skladištenja i temperaturama prilikom obrade, pčelinji vosak podliježe značajnim fizikalnim i kemijskim promjenama. Zagrijavanjem voska dolazi do promjene fizikalnih svojstava pa je vosak na temperaturama oko 35°C plastičan, a na temperaturama oko 50°C omekšava dok na temperaturama iznad 60°C počinje topljenje. Pčelinji vosak topi se pri temperaturama od 61 - 65°C, dok na temperaturama iznad 100°C nastaje površinska pjena, te naposljetku počinje isparavanje hlapivih spojeva (Bogdanov, 2017.) (tablica 2.).

Vosak je uglavnom topljiv u organskim otapalima poput acetona, etera, benzena i drugim, dok je netopiv u vodi. Zagrijavanjem na temperaturama iznad 65°C topiv je u većini organskih otapala, pogotovo etanolu (Bogdanov, 2017.).

3.4. Proizvodnja i primjena pčelinjeg voska

Prema podacima FAO-a registrirana količina proizvedenog voska u 2022. godini iznosi 65.063,47 tona na svjetskoj razini, od čega je najveća proizvodnja u Aziji sa 33.120,98 t (tablica 3.). Među najvećim svjetskim proizvođačima voska su Indija (24.593,1 t), zatim Etiopija (5.807,85 t) te Argentina i Turska sa oko 5.000 t proizvedenog voska. Na tržištu postoji vosak različite kvalitete i čistoće, ovisno o boji ali i primjesama. Podatke koje prikuplja FAO odnose se na „sirovi“ vosak koji se proizvede na pčelinjacima te pročišćeni i svijetli vosak.

Tablica 3. Proizvodnja pčelinjeg voska u različitim područjima i državama u 2022. godini (t)

Područje/država	Proizvodnja (t)
Svijet	65.063,47
Afrika	16.771,72
Sjeverna i južna Amerika	13.903,61
Azija	33.120,98
Europa	707,4
Oceanija	559,76
Angola	2.317,98
Argentina	5.005,57
Brazil	1.788,68
Etiopija	5.807,85
Indija	24.593,61
Kenija	2.586,55
Meksiko	1.533
Republika Koreja	3.753,1
Turska	4.095,37

Kina je jedan od najvećih izvoznika pčelinjeg voska (tablica 4.). U 2022. godini iz Kine izvezeno je 9.701,87 t najvećim dijelom u Europu od čega je Njemačka glavni uvoznik pčelinjeg voska ali i drugih pčelinjih proizvoda.

Tablica 4. Količine uvezenog i izvezenog pčelinjeg voska u različitim zemljama i područjima svijeta u 2022. godini (t)

Područje	Uvoz (t)	Izvoz (t)
Kina	176,87	9.701,87
Afrika	481,57	1.525,52
Sjeverna i južna Amerika	3.800,12	948,25
Azija	1.169,74	10.644,67
Europa	8.187,48	964,15
Oceanija	447,17	13,72

Izvor: FAOSTAT, 2024.

Proizvodnja pčelinjeg voska zasniva se na pretapanju starog tamnog i/ili oštećenog saća, zaperaka, mednih poklopaca, građevnjaka i voštanog trusja (Kezić i sur., 2014.). Vosak proizveden od mednih poklopaca je najbolje kvalitete, ne sadrži primjese stranih tvari kao što su kukuljice, propolis i različiti pigmenti. Zamjena starog saća u zajednicama je nužna kao higijenska mjera sprječavanja širenja bolesti, no ovim postupkom se istodobno povećava proizvodnja voska. Prema pravilima dobre pčelarske prakse saće je preporučljivo mijenjati svake dvije do tri godine, s time da se na pčelinjaku u prosjeku za topljenje vadi oko 30% saća godišnje (Bogdanov, 2017.).

Tehnološki postupak može se razlikovati ovisno o veličini proizvodnje, opremi koja se koristi i specifičnim zahtjevima pčelara. Postoje dvije metode ekstrakcije voska, topljenje i kemijska ekstrakcija. Vosak se topi kipućom vodom, vodenom parom, te pomoću električne i sunčane energije. Metoda kemijske ekstrakcije je moguća u laboratoriju pomoću otapala, ali je financijski neisplativa za pčelare (Ledinski, 2021.). Najčešće se u pčelarstvu upotrebljava postupak topljenja pčelinjeg vosak parnim topionicima (Katalinić i sur., 1990.). Vosak se u saću nalazi u slobodnom i vezanom obliku, te se ovisno o metodi izdvajanja voska i udjelu starog saća razlikuju prinosi. Prosječno se topljenjem u parnom topioniku izdvoji 30 do 50%, a kod svježe izgrađenog saća i medišnih poklopaca i do 100% voska (Bogdanov, 2017.). Slobodni vosak se izdvaja kada se

zagrijava na temperaturama ispod 100°C (Katalinić i sur., 1990.). Dio vezanog voska može se izdvojiti prešanjem voštine nakon topljenja ili ekstrakcijom otapalom.

Prema Bogdanovu (2017.) tehnološki postupak pri preradi pčelinjeg voska obično uključuje sljedeće korake:

1. Čišćenje i topljenje voska: Prikupljeni vosak se prvo čisti od nečistoća poput ostataka meda i peludi. Nakon čišćenja, vosak se topi različitim metodama.
2. Filtriranje voska: otopljeni vosak često sadrži dijelove kukuljica, propolisa ili drugih nečistoća. Ovisno o željenom stupnju čistoće, mogu se koristiti različiti stupnjevi filtracije. Filteri mogu biti od tkanine, papira ili drugih materijala s finim porama, koji zadržavaju nečistoće dok tekući vosak prolazi kroz njih.
3. Dodatna filtracija: Za postizanje još veće čistoće, vosak se može dodatno filtrirati kroz posebne filtre kao što su filteri s aktivnim ugljenom čime će se ukloniti još sitnije čestice i povećati kvaliteta konačnog proizvoda.
4. Oblikovanje: Očišćeni vosak se može oblikovati u željeni oblik. To se može postići upotrebom kalupa ili posebnih alata za oblikovanje.
5. Hlađenje i stvrdnjavanje: otopljeni vosak se ostavlja da se prirodno ohladi i stvrdne na sobnoj temperaturi. Trajanje hlađenja ovisi o veličini i debljini konačnog oblika.
6. Pohranjivanje i pakiranje: Konačni proizvodi od pčelinjeg voska se pohranjuju na sobnoj temperaturi. Mogu se pakirati u odgovarajuće spremnike, staklenke ili drugu ambalažu ovisno o kvaliteti, a prikladnoj za konačnu namjenu.

Pčelinji vosak ne bi trebalo zagrijavati na temperaturi višoj od 140 °C jer na toj temperaturi počinju isparavati hlapljive frakcije (Bogdanov, 2017.). Temperature iznad 150 °C mogu značajno utjecati na sastav pčelinjeg voska (tj. sadržaj ugljikovodika, slobodnih masnih kiselina i dugolančanih estera) i analitičke vrijednosti pčelinjeg voska (fizikalno-kemijske parametre); produljeno zagrijavanje (>24 h) na temperaturi višoj od 100 °C izaziva isti učinak (Bogdanov, 2017.).

Tijekom topljenja voska mogu nastati vodene emulzije. Postoje dvije vrste emulzija, u prvom slučaju čestice vode su raspršene u vosku, a u drugom slučaju čestice voska su raspršene u vodi

(Katalinić i sur.,1990). Emulgatori prve vrste emulzija su bjelančevine i dekstrini sadržani u medu i peludi te soli koje nastaju reakcijom masnih kiselina u voskovima s natrijem i kalijem u vodi (Coggshall i Morse, 1984.). Drugu vrstu emulzije uzrokuju soli koje nastaju reakcijom masnih kiselina u vosku s kationima kalcija, bakra i željeza koji se nalaze u tvrdj vodi ili se oslobađaju sa stijenki spremnika za obradu voska (Katalinić i sur., 1990.). Nastala emulzija može se ukloniti tako da se vosak dugo drži u vodenoj kupelji na 75 - 80°C ili se dodaje octena ili oksalna kiselina (Katalinić i sur.,1990.). Pri samom topljenju voska, preporučuje se izbjegavanje: otvorene vatre zbog opasnosti od požara i korištenja pregrijane pare za topljenje zbog saponifikacije. Vosak se ne smije topiti u brončanim, bakrenim te ostalim posudama koje su galvanizirane jer utječu na promjenu boje voska koja se ne može ukloniti. Na boju voska utječe i trajanje zagrijavanja voska. Predugo zagrijavanje na visokim temperaturama uzrokuje tamnjenje voska. Trebalo bi izbjegavati miješanja voska s propolisom jer niža točka topljenja dovodi do ljepljivosti voska. Korištenjem saća koje sadrži fermentirani med može uzrokovati promjenu mirisa voska (Bogdanov, 2017.).

Izbjeljivanje prirodnog žutog pigmenta u pčelinjem vosku postiže se organskim kiselinama, vodikovim peroksidom, sunčevom svjetlošću ili aktivnim ugljenom (USFDA, 2003.).

Oprema za proizvodnju voska

Sunčani topionici

Sunčani topionik za vosak je uređaj koji koristi sunčevu energiju za zagrijavanje voska (slika 5.). Temperatura u sunčanom topioniku može doseći 100 °C. Ova vrsta topionika je popularna među pčelarima i onima koji rade s voskom zbog svoje jednostavnosti i okolišno je prihvatljiv. Prema Katalinić i sur. (1990.) sunčani topionik za vosak obično se sastoji od metalne ili drvene posude na koje je postavljeno staklo ili prozirni leksan. Sunčani topionik voska konstruiran je najčešće tako da u njega stanu 2-4 okvira. Sunčeva svjetlost prolazi kroz staklo ili prozirni poklopac posude i zagrijava vosak koji je položen na rešetku i kosu ploču unutar nje. Otopljeni vosak se skuplja u dnu posude, dok nečistoće, poput ostataka kukuljica ili dijelova pčela, ostaju na rešetci. Vosak se zatim može prenijeti u druge posude ili kalupe za daljnju obradu ili upotrebu. Prednosti sunčanih topionika za vosak uključuju smanjenje potrebe za korištenjem drugih izvora energije, poput plina ili električne energije, te smanjenje troškova i utjecaja na okoliš (Bogdanov, 2017.). Međutim, sunčani topionici ovise o sunčevoj svjetlosti, pa mogu biti manje učinkoviti u

oblačnim ili kišovitim uvjetima (Katalinić i sur.,1990.). Obično su veći ili manji sunčani topionici postavljeni na pčelinjaku, tako se zaperci, polomljeno saće odmah odlaže u topionik a ne skladišti, time se smanjuje mogućnost pojave voskovog moljca.



Slika 5. Sunčani topionik voska za 4 okvira

Izvor: <https://apismarket.hr/topionik-voska-suncani-veliki-et-za-4-okvira>

Parni topionik

Parni topionici uglavnom se upotrebljavaju na većim pčelinjacima. To su uređaji koji se koriste za topljenje voska kako bi se odvojile nečistoće i ostaci voštine. Primjer takvog topionika

prikazan je na slici 6. Takvi topionici obično rade na principu primjene pare za zagrijavanje i otapanje voska (Katalinić i sur., 1990.).



Slika 6. Parni topionik voska

Izvor: <https://apismarket.hr/topionik-voska-parni-konigin-veliki>

Postoje različiti modeli i kapaciteti parnih topionika, princip rada je da se okviri sa starim saćem stave u odgovarajući spremnik ili posudu unutar topionika, a zatim se dovodi para koja prolazi kroz spremnik sa saćem. Pod utjecajem topline pare, vosak se topi, a voština ostaje u spremniku. Topionici za pčelinji vosak često imaju mehanizme filtriranja ili taloženja koji pomažu u uklanjanju nečistoća iz otopljenog voska. Parni topionici za pčelinji vosak su praktični alati koji omogućuju efikasno i sigurno topljenje.

Proizvodnja satnih osnova

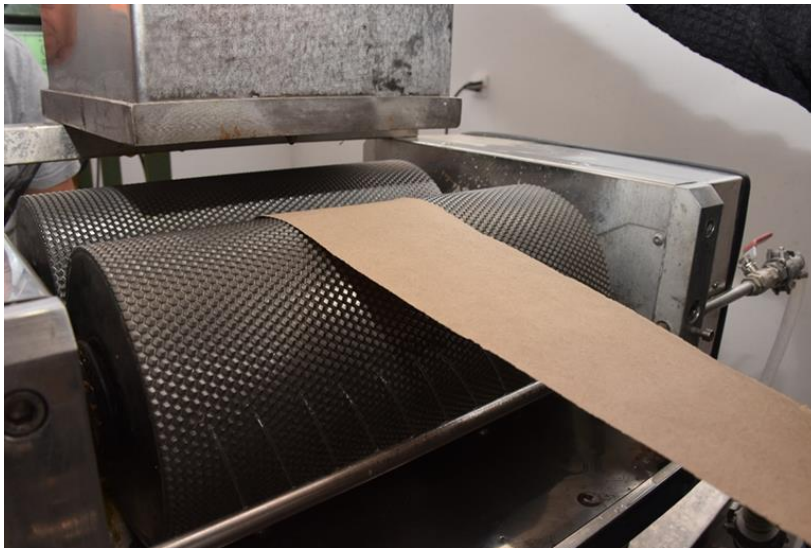
Satna osnova je dobila naziv po tome jer čini središnji dio satine (Kezić i sur. 2014.). Primarni zadatak satne osnove je usmjeravanje pčela na gradnju radiličkog saća unutar okvira. Prvu satnu osnovu izumio je njemački pčelar Johannes Mehring u 19. stoljeću, a proizvodnja satnih osnova za tržište započela je 1857. godine (Kezić i sur., 2014.).

Satne osnove se izrađuju u uređajima koji ih pomoć preše ili valjka, oblikuju u hladnom ili toplom procesu (Kezić i sur. 2014.). Standardne širine radiličkih stanica u satnim osnovama su

od 5,4 do 5,5 mm. Veličina satnih osnova je uglavnom prilagođena veličinama Langstroth (LR) ili Dadant-Blatt (DB) košnica (Kezić i sur. 2014.).

Satne osnove proizvedene valjcima (slika 7.) mogu biti proizvedene hladnim i toplim postupkom. Satne osnove proizvedene hladnim valjanjem su savitljive i pri savijanju ne pucaju. Nakon sterilizacije tekući vosak prvo prolazi kroz ravne valjke čime nastaje traka jednake debljine, a zatim prolazi kroz gravirane valjke. Pritisak kroz koji traka pčelinjeg voska prolazi mijenja raspored molekule i ploča postaje savitljiva (Kezić i sur., 2014.).

Osim navedenog prije izlivanja voska na liniju za proizvodnju satnih osnova potrebno je provesti sterilizaciju. Sterilizacija se provodi u autoklavu zagrijavanjem na 120 °C u trajanju od 30 minuta pod pritiskom od 1400 hPa kako bi uništili spore američke gnjiloće (*Paenibacillus larvae*) (Machova, 1993., preuzeto iz Bogdanov 2017.). Američka gnjiloća pčelinjeg legla tvrdokorna je zarazna bolest koja se u pojedinim zemljama suzbija radikalno gušenjem pčela te spaljivanjem košnica sa pripradajućim saćem, rezervama hrane i leglom, dok su u drugim zemljama mjere suzbijanja blaže (Bogdanov, 2017.).



Slika 7. Gravirani valjak za izradu satnih osnova

Izvor: A. Vukić, 2024.

Dobro osigurana postrojenja za preradu u Švedskoj, Finskoj i Danskoj poboljšavaju kvalitetu voska. Pčelari staro saće donose s okvirima u nastavcima, a zauzvrat dobivaju satne osnove s očišćenim i dezinficiranim okvirima Dušević (2017.).

Primjena pčelinjeg voska

Nakon meda pčelinji vosak je najzastupljeniji proizvod u pčelarstvu. Većina voska se koristi za satne osnove, no koristi se i u kozmetičkoj industriji (25 – 30 %), farmaciji (25 – 30 %), proizvodnji svijeća (20 %) te prehrambenoj industriji i ostalo (10 – 20 %) (Kezić i sur. 2014., Bogdanov, 2017.).

Prema Uredbi Komisije (EU) br. 231/2012. žuti pčelinji vosak (Cera flava) je proizvod koji se dobiva uz pomoć vruće vode za topljenje saća koje grade medonosne pčele i uklanjanje stranih tvari, dok se bijeli vosak (Cera alba) dobija izbjeljivanjem žutog voska. U Europskoj uniji (EU) pčelinji se vosak koristi u prehrambenoj industriji, kao prehrambeni aditiv a nosi oznaku E 901 (EFSA, 2007.). U prehrambenoj industriji pčelinji vosak se koristi kao prevlaka različite proizvode, u sirarstvu, slastičarstvu i voćarstvu (Galić, 2009.).

Glavna svojstva voska zbog kojih se koristi u farmaciji su: djeluje kao nosač aktivne tvari jer je konzistentan i stabilan, te omogućuje dugotrajno otpuštanje aktivne tvari. U kozmetici se koristi kao emolient i emulgator. S obzirom na povoljna svojstva čest je u upotrebi u farmaceutskoj i kozmetičkoj industriji (Fratini i sur., 2016.). Vosak se koristi za proizvodnju različitih melema i krema, balzama za usta te različitih proizvoda koji imaju masnu bazu ili zahtijevaju zgušnjivače. U kozmetici se još koristi za depilaciju, preparate za kosu, dezodoranse te razne druge kozmetičke preparate (Bogdanov, 2017.).

U industrijskim postrojenjima koristi se kao lubrikant, zatim inhibitor korozije, te za zaštitu od nagrizaćućih kiselina kod graviranja metala i stakla.

U tekstilnoj industriji i njezi drvenih proizvoda koristi se kao vodonepropusna tvar. Otporan je na bojanje i štiti od vanjskih utjecaja (zrak, vlaga) (Kosanović, 2024.). Pčelinji vosak dodaje se i u proizvode za njegu namještaja (u obliku paste ili tekućine) (Bogdanov, 2017.). Jedna od mnogih primjena je i u restauraciji slika, kod cijepljenja voćaka u voćarstvu, te u proizvodnji glazbala (Bogdanov, 2004.). Koristi se za proizvodnju laštila i krema za cipele, za zaštitu limenki od različitih kiselina iz sokova ili drugih korozivnih tvari, u premazima za drvene predmete i za zaštitu od vlage u elektronici. Vosak se oduvijek koristio u proizvodnji svijeća kako u religijske svrhe ali i svakodnevnne, njegova upotreba u proizvodnji svijeća je i danas značajna (Bogdanov, 2017.).

3.5. Povijest korištenja pčelinjeg voska

Pčelinje proizvode čovjek poznaje od najranije povijesti, prema dokazima iz drevnih civilizacija. Pčelinji proizvodi su se mogli naći u upotrebi u medicini, prehrani i kozmetici. Od pčelinjih proizvoda med i vosak bili važni u razvoju civilizacija, pa tako najstarije nađene košnice datiraju iz 900 godina pr. n. e. U drevnom gradu Tel Rehov na sjeveru Izraela pronađen je značajan broj košnica što govori u prilog važnosti proizvodnje pčelinjih proizvoda (Mazar i Panitz-Cohen, 2007.). U drevnom Egiptu pčelinjim voskom mumificirali su i balzamirali mumije, zatim čuvali papiruse i štitili slike (Bogdanov, 2017.), a koristio se i u gradnji brodova (Crane 1983.). U kraljevskim grobnicama u Egiptu pronađene su pčelinje voštane figure koje datiraju 3 400 godina pr. n. e. (Crane, 1980.).

U Grčkoj su iskopane košnice koje su se koristile u antičko doba, a datiraju iz 450. pr. n. e. (Crane, 1980.). Pčelinji vosak korišten je i za premaz drvenih pločica (tabula cerata - antičko doba) koje su služile za pisanje i komunikaciju (Ivšić Majić, 2021., Maza i Panitz – Cohen, 2007.). Tijekom srednjeg vijeka pčelinji vosak bio je izuzetno cijenjen Tada je pčelarstvo imalo važnu ulogu jer se pčelinji vosak koristio u razne svrhe, uključujući i izradu svijeća za vjerske ceremonije (Crane, 1980.). Svijeće od pčelinjeg voska bile su korištene zbog čistog plamena i ugodnog mirisa, u vjerskim ritualima tako je i Rimokatolička crkva uvjetovala korištenje svijeća od pravog pčelinjeg voska (Power i Hauber, 1932.). Poznato je da su u doba Rimskog carstva koristili svijeće od čistog pčelinjeg voska u zahvalnost božanstvima (Crane, 1980.).

U grčkoj mitologiji spominje se kako je drevni bog Pan uz pomoć pčelinjeg voska izumio glazbalo (Graham, 1975., Borgeaud, 1988.). Grčki liječnik Discordies pisao je kako se od pčelinjeg voska izrađivalo trajno umjetno cvijeće u bojama koje su sadržavale vosak, a nalaze se na drevnim zidovima i ikonama te tako ostale nepromijenjene više od 2 000 godina (Graham, 1975., Birshtein i sur., 1976.). Grčko-rimski liječnik Klaudije Galen pčelinji vosak upotrebljavao je u terapijske svrhe. Galen je bio poznati liječnik i farmakolog, te je koristio pčelinji vosak kao sastojak u različitim terapijama i lijekovima (Stacey, 2011.). Između 1. i 2. stoljeća pr.n.e. nastala je jedna od najpoznatijih kineskih knjiga priprava i lijekova „Shen Nong“ koja prikazuje korištenje pčelinjeg voska kao važnog sastojka koji se upotrebljava u brojnim recepturama (Ho i Lisowski, 1997.). Pčelinji vosak se u povijesti koristio kao pečat za trgovačke i poslovne dokumente, ali povijesno najpoznatija upotreba pčelinjeg voska je u procesu cire-perdue ili „izgubljenog voska“ koji se koristio u izradi metalnih skulptura, te nakita i medalja

(Crane,1983.). Ova tehnika se koristila u sumerskoj, indijskoj, kineskoj i egipatskoj kulturi (Crane, 1999., preuzeto iz Bogdanov, 2017.).

Vosak je u starom Egiptu, antičkoj Grčkoj i starom Rimu koristio se za tretiranje „unutarnjih bolesti“, a njegovim parama liječile su se bolesti dišnih organa (Laktić i Šekulja, 2008.). Tijekom 11. stoljeća, njemački kmetovi su plaćali vlastelinstvo u medu i pčelinjem vosku što svjedoči o tome da su ti proizvodi bili toliko dragocjeni da su postali i valuta (Gupta i sur., 2014.).

3.6. Rezidui lijekova i pesticida u vosku

Pčele imaju važnu ulogu kao oprašivači u različitim ekosustavima ali i poljoprivredi. Mnoga istraživanja prikazuju velike gubitke zajednica kao posljedicu loše prakse pčelarenja, bolesti medonosnih pčela, posebno grinje *Varroa destructor*, virusa te izloženosti pesticidima (Steinhauer i sur., 2018.).

Pčelinji vosak važan je proizvod u pčelarstvu ali i za ljudsku upotrebu. Gotovo polovina proizvedenog voska koristi se u kozmetičkoj i farmaceutskoj, zatim u prehrambenoj industriji za proizvodnju različite kozmetike i preparata čime zahtijeva sirovinu bez rezidua lijekova i pesticida. Svečnjak (2015. a, 2018.) navodi da vosak za farmaceutsku i prehrambenu industriju podliježe strogoj regulativi i propisanim kriterijima kakvoće, dok je pčelinji vosak u pčelarstvu kategoriziran kao nusproizvod životinjskog podrijetla koji nije namjenjen prehrani ljudi prema Uredbi (EZ) 1069/2009. Većina pesticida i akaricida su topivi u mastima i imaju dugo vrijeme poluraspada, što omogućuje njihovu akumulaciju u vosku tijekom godina recirkuliranja kroz satne osnove u pčelarstvu (Ravoet i sur., 2015.). Ujedno lipofilni akaricidi su najdetektiraniji pesticidi s najvećom zastupljenošću obzirom da se primjenjuju izravno u košnici (Bogdanov, 2004.; Boi i sur., 2016.). Za suzbijanje varoze u pčelarstvu se koriste organofosfori i piretroidni akaricidi, te različite organske kiseline i esencijalna ulja, te biljni preparati (Rozenkranz i sur. 2010. preuzeto iz Ravoet i sur, 2015.). Veliki broj sredstava za zaštitu bilja koja se koriste u poljoprivredi i urbanim sredinama izazivaju različite učinke na vitalnost i zdravlje pčela (Garcia i sur., 2017.). U zajednicu pčele unose kemikalije na različite načine hranom (u nektaru i peludu) te na dlačicama na tijelu.

Analize i prikupljanje podataka o kontaminaciji pčelinjeg voska i drugih pčelinjih proizvoda osim meda ne provode se često jer se vosak ne smatra proizvodom namijenjenim za ljudsku

konzumaciju (Ravoet i sur., 2019.). Međutim u pčelinjoj zajednici med se skladišti u saće, te se na tržištu može naći i med u saću. Provedeno istraživanje Wallnera (1995.) prikazuje transfer pesticida iz voska u med u saću, što otvara problematiku kontaminacije svježe proizvedenog meda u starom saću. Rezidue lijekova i pesticida u pčelinjem vosku problem su i za pčelinju zajednicu. Sve pčele u zajednici osjetljive su na utjecaj pesticida, no najosjetljiviji organizmi u zajednici su ličinke koje su u direktnom kontaktu s voskom od kojeg su izgrađene stanice saća. Ostaci štetnih tvari u vosku utječu na razvoj legla, osjetljivost na uzročnike bolesti (nozemoza) ali i na vitalnost odraslih pčela (Wu i sur., 2012.; Di Prisco i sur., 2013.).

Ravoet i sur. (2015.) proveli su pilot studiju u Belgiji analizirajući prisutnost 300 organokloridnih i organofosfornih spojeva u uzorcima saća iz deset zajednica. Utvrdili su prisutnost 18 različitih pesticida. Broj pesticida koji su utvrdili po uzorku varirao je od 3 do 13, a odnose se na pesticide koji se koriste isključivo u pčelarstvu (fluvalinat, kumafos i bromopropilat), pesticide za primjenu u poljoprivredi za zaštitu bilja te pesticide za mješovitu primjenu u poljoprivredi i pčelarstvu. U svim uzorcima pronađen je barem jedan od često korištenih akaricida u pčelarstvu. Za istaknuti je da su pronađena i dva insekticida koji su zabranjeni za korištenje u Europskoj uniji.

Razine akrinatrina i amitraza u pčelinjem vosku posljednjih su godina u porastu (Herrera-López i sur., 2016). Prema istraživanju Boi i sur. (2016.) utvrđen je porast pozitivnih uzoraka na akaricide u pčelinjem vosku u razdoblju od 2009. do 2014. Analizirali su 1319 uzoraka pčelinjeg voska u razdoblju od 10 godina, u više od polovine analiziranih uzoraka utvrđeno je barem jedan akaricid.

3.7. Patvorenje pčelinjeg voska

Patvorenje pčelinjeg voska predstavlja veliki problem na tržištu satnih osnova u svjetskim razmjerima (Tulloch 1973., Bogdanov, 2004., Boi, 2016., Svečnjak i sur., 2020.). Poznato je preko 15 tvari koje se koriste kod patvorenja pčelinjeg voska. Najčešće se patvori parafinom, stearinom, stearinskom kiselinom te rjeđe biljnim voskovima, goveđim i ovčjim lojem (Bogdanov, 2004., 2017, preuzeto iz Svečnjak, 2019a.).

Visoka cijena pčelinjeg voska i nedostatne količine na tržištu, te niske cijene patvorina jedni su od glavnih razloga patvorenja. Patvorenje voska pospješuje i nedostatak propisa vezanih za tržište pčelinjeg voska te rutinske kontrole voska koji se vraća u pčelarstvo kroz satne osnove (Svečnjak i sur. 2018., Ledinski, 2021.). Patvorenje pčelinjeg voska stvara problem na nekoliko razina od prijave potrošača odnosno pčelara koji koriste satne osnove sa patvorenim voskom, ulazak nekontroliranog voska u prehrambeni lanac kao med u saću. Satne osnove od patvorenog voska utječu na vitalnost i život pčela te mogu ugroziti zdravlje zajednice zbog narušenih komunikacijskih uvjeta unutar zajednice te negativno utjecati na normalan fiziološki razvoj legla (Ravoet i sur., 2015.). Svečnjak (2019. b) prikazuje utjecaj stranih tvari na smanjenje proizvodnje ali i kakvoće meda, te napominje da su uočene fizikalno-kemijske i organoleptičke promjene meda izvrcanog iz saća izgrađenog na patvorenim satnim osnovama.

Brojne studije prikazuju značajan broj patvorina u analiziranim uzorcima. Koristeći metodu infracrvene spektroskopije (FTIR-ATR), Tanner i Lichtenberg-Kraag (2019.) analizirali su 358 uzoraka od kojih je sa europskog tržišta bilo 303, iz drugih zemalja svijeta 12 uzoraka, te 49 uzoraka nepoznatog podrijetla. Od ukupnog broja analiziranih uzoraka 21,8% je bilo patvoreno. Najčešća tvar korištena za patvorenje bila je parafin utvrđen u 13,4% uzoraka, zatim stearinska kiselina u 5,3% uzoraka. U istraživanju Svečnjak i sur. (2024.) prikupili su 300 uzoraka satnih osnova i blokova voska iz 33 zemlje koji su analizirani metodom infracrvene spektroskopije (FTIR-ATR). Od ukupnog broja uzoraka 55,3% uzoraka patvoreno je parafinom (51%) te stearinom i/ili stearinskom kiselinom (4,3%). Patvoreni uzorci sadržavali su od 3,5 do preko 90% parafina, a stearina i/ili stearinske kiseline 1,5 do 29%.

4. Zaključak

Pčelinji vosak oduvijek je bio važan proizvod u ljudskoj povijesti sudjelujući u razvoju civilizacija kroz brojne primjene. Nakon meda, najznačajniji je pčelinji proizvod. Najveći dio proizvedenog voska upotrebljava se u pčelarstvu kroz satne osnove, dok se značajan dio koristi u farmaceutskoj, kozmetičkoj i prehrambenoj industriji. Pčelinji vosak je zbog svojih kemijsko fizikalnih svojstava zadržao primjenu i u ostalim industrijama kao laštilo, premaz za drvene predmete, u voćarstvu za premaz nakon rezidbe, u tekstilnoj industriji i elektronici te brojnim drugim. U pčelinjoj zajednici ima centralnu ulogu jer se na i u saću odvijaju sve životne aktivnosti medonosnih pčela od uzgoja legla, skladištenja hrane (meda i peludi) do komunikacije, termoregulacije i drugih aktivnosti. Nakon pojave varooze u Europi ali i svijetu, povećala se upotreba akaricida i drugih sredstava za liječenje pčela. Najveći dio akaricida koji se danas koriste u pčelarstvu su topivi u mastima te se time zadržavaju i akumuliraju u vosku tijekom recirkulacije voska kroz satne osnove. Time se ugrožava vitalnost zajednice i povećava mogućnost kontaminacije drugih pčelinjih proizvoda prvenstveno meda. Osim rezidua pesticida i lijekova u pčelinjem vosku, veliki problem u pčelarstvu je i patvorenje voska. Satne osnove proizvedene od patvorenog voska stvaraju značajne probleme u pčelinjoj zajednici na fiziološkoj razini ali i velike ekonomske štete pčelarima u svakodnevnoj proizvodnji te utječe na kvalitetu proizvedenog meda. Zbog visoke cijene voska i nedostatnih količina na tržištu, te zbog niskih cijena patvorina pčelinji vosak se učestalo patvori u cijelom svijetu.

5. Literatura

1. Aichholz, R., & Lorbeer, E. (1999.) Investigation of combwax of honeybees with high-temperature gas chromatography and high-temperature gas chromatography-chemical ionization mass spectrometry I. High-temperature gas chromatography. *Journal of Chromatography A*, 855(2), 601–615. doi: 10.1016/S0021-9673(99)00725-6
2. Axel, D., Cédric, A., Jean-François, O., Mickaël, H., & Bernard, V. E. (2011.) Why enhancement of floral resources in agro-ecosystems benefit honeybees and beekeepers. *Ecosystems biodiversity*, 371-388.
3. Beverly, M. B., Kay, P. T., & Voorhees, K. J. (1995.) Principal component analysis of the pyrolysis mass spectra from African, Africanized hybrid and European beeswax. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 34(2), 251–263. doi:10.1016/0165-2370(95)00891-H
4. Birshstein, V Y; Tul'chinskii, V M; Troitskii, A V (1976.) A study of organic components in ancient Central Asian and Crimean wall paintings. *Vestnik Moskovskogo Universiteta* 31 (3): 33-38
5. Bogdanov, S. (2004.) Beeswax: quality issues today, *Bee world* 85 (3) 46-50
6. Bogdanov, S. (2017.) Beeswax. *Beeswax book*. Bee Product Science Publishing. Switzerland.
7. Boi, M., Serra, G., Colombo, R., Lodesani, M., Massi, S., Costa, C. (2016.) A 10 year survey of acaricide residues in beeswax analysed in Italy. *Pest Manag. Sci.* 72, DOI: 1366e1372
8. Borgeaud, P. (1988.) *The cult of Pan in ancient Greece*. Chicago : University of Chicago Press
9. Breed, M. D., Garry, M. F., Pearce, A. N., Hibbard, B. E., Bjostad, L. B., Page, R. E. (1995.) The role of wax comb in honey-bee nestmate recognition. *Animal Behaviour*, 50(2), 489–496.
10. Cogshall, W. L., Morse, R. A. (1984.). *Beeswax: production, harvesting, processing and products*. *Beeswax: production, harvesting, processing and products*.
11. Crane, E. (1980.) *A book of honey*. Oxford University Press, London.
12. Crane, E. (1983.) *The Archaeology of Beekeeping*. London; Duckworth
13. Crane, E (1999.) *Beeswax The world history of beekeeping and honey hunting*, Gerald Duckworth & Co Ltd; London; pp 524-537

14. Dagneu, Y. (2022.). Assessment on Beeswax Production Practices and Evaluation of Beeswax sources and Extraction Techniques on Yield and Quality In Dangila District, Amhara Regional State, Ethiopia (Doctoral dissertation).
15. Di Prisco, G., Cavaliere, V., Annoscia, D., Varricchio, P., Caprio, E., Nazzi, F., Gargiulo, G., Pennacchio, F. (2013.). Neonicotinoid clothianidin adversely affects insect immunity and promotes replication of a viral pathogen in honey bees. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 110, 18466e18471.
16. Dušević A. (2017.) Izvještaj radne skupine za med udruženja Copa-Cogeca. Hrvatska pčela.136. Zagreb.
17. Endlein E., Peleikis K.-H. (2011.) Natural Waxes- Properties, Compositions and Applications, *SOFW Journal, International Journal for Applied Science* 4; 1-8
18. EFSA (2007.) Scientific Opinion of the Panel on Food additives, Flavourings, Processing aids and Materials in Contact with Food (AFC) on a request from the Commission on the safety in use of beeswax. *The EFSA Journal* 615, 1–28.
19. FAOSTAT (2024.) <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QI> Pristupljeno 12.3.2024.
20. Ferguson, L. A., Winston, M. L. (1988.). The influence of wax deprivation on temporal polyethism in honey bee (*Apis mellifera* L.) colonies. *Canadian Journal of Zoology*, 66(9), 1997–2001. doi:10.1139/z88-292
21. Filipi, J., Dražić M.M. (2018.) Uzgoj pčela: sistematika i anatomija [online]. Zadar: Sveučilište u Zadru. Dostupno na: <https://www.unizd.hr/Portals/41/Uzgoj%20pcela.pdf?ver=2017-12-29-124751-707> [8.5.2024.]
22. Fratini F, Cilia G, Turchi B, Felicioli A. (2016.) Beeswax: A minireview of its antimicrobial activity and its application in medicine. *Asian Pac J Trop Med.* Sep;9(9):839-843. doi: 10.1016/j.apjtm.2016.07.003. Epub 2016 Jul 26. PMID: 27633295
23. Galić, K. (2009.) Jestiva ambalaža u prehrambenoj industriji. *Hrvatski časopis za prehrambenu tehnologiju, biotehnologiju i nutricionizam.* 4 (2009), 1/2; str. 23-31
24. García, M. G., Duque, S. U., Fernández, A. L., Sosa, A., Fernández-Alba, A. R. (2017.). Multiresidue method for trace pesticide analysis in honeybee wax comb by GC-QqQ-MS. *Talanta*, 163, 54-64. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2016.10.083>
25. Graham, A. J. (1975.). Beehives from ancient Greece. *Bee World*, 56 (2), 64-75.

26. Gupta, R.K., Khan, M.S., Srivastava, R.M. and Goswami, V., (2014.) History of beekeeping in developing world. In *Beekeeping for poverty alleviation and livelihood security* (pp. 3-62). Springer, Dordrecht.
27. Hepburn, H. R. (1998.). Reciprocal interactions between honeybees and combs in the integration of some colony functions in *Apis mellifera* L. *Apidologie*, 29, 47–66 doi:10.1051/apido:19980103
28. Hepburn H, Bernard R, Davidson B, Muller W, Lloyd P, Kurstjens S, Vincent S (1991.) Synthesis and secretion of beeswax in honeybees. *Apidologie*, Springer Verlag, 21-36
29. Hepburn, H.R., Pirk, C. .W., Duangphakdee, O. (2014.). *Honeybee Nests: Composition, Structure, Function*. Springer. Berlin
30. Herrera López, S., Lozano, A., Sosa, A., Hernando, M.D., and Fernández-Alba, A.R. (2016.) Screening of pesticide residues in honeybee wax comb by LC-ESI-MS/MS. A pilot study. *Chemosphere* 163, 44-53.
31. Ho, P.Y., Lisowski, F.P. (1997.) *A Brief History of Chinese Medicine 2nd Ed.*, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
32. Ivšić Majić, D. (2021.) Od glinenih pločica do diskete i tableta. *Hrvatski jezik: znanstveno-popularni časopis za kulturu hrvatskoga jezika*, 8, 4; 39-40
33. Katalinić, J., Loc, D., Lončarević, S., Peradin, L., Šimić, F., Tomašec, I., (1990.) *Pčelarstvo*. Nakladni zavod Znanje, Zagreb
34. Kezić, N., Bubalo, D., Grgić, Z., Dražić, M., Barisić, D., Filipi, J., Ševar, M., Krakar, D., Tretinjak, V., (2014.) *Konvencionalno i ekološko pčelarenje*. Interna skripta, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet
35. Kosanović, M. (2024.) *Koncentracije esencijalnih i toksičnih elemenata u vosku mednosnosne pčele (Apis mellifera) tijekom prerade saća u satnu osnovu*. Doktorski rad, Veterinarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
36. Laktić Z., Šekulja D., *Suvremeno pčelarstvo* (2008.) 324-329
37. Ledinski, G. (2021.) *Kakvoća pčelinjeg voska na međunarodnom tržištu*. Diplomski rad, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
38. Máchová, M. (1993.). Resistance of *Bacillus* larvae in beeswax. *Apidologie*, 24(1), 25–31. doi:10.1051/apido:19930103
39. Mazar, A., Panitz-Cohen, N. (2007.). It Is the Land of Honey: Beekeeping at Tel Rehov. *Near Eastern Archaeology*, 70(4), 202-219.

40. Porrini, C., Mutinelli, F., Bortolotti, L., Granato, A., Laurenson, L., Roberts, K., Gallina, A., Silvester, N., Medrzycki, P., Renzi, T., Sgolastra, F., and Lodesani, M. (2016.) The Status of Honey Bee Health in Italy: Results from the Nationwide Bee Monitoring Network. *PLoS One* 11, e0155411.
41. Power, F. W., Hauber, E. S. (1932.) Determination of beeswax in candles. *Industrial & Engineering Chemistry Analytical Edition*.
42. Ravoet, J., Reybroeck, W., de Graaf, D. C. (2015.). Pesticides for apicultural and/or agricultural application found in Belgian honey bee wax combs. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 94, 543-548.
43. Rosenkranz P, Aumeier P, Ziegelmann B (2010.) Biology and control of Varroa destructor. *J Invertebr Pathol* 103:S96–S119. doi:10.1016/j.jip.2009.07.016
44. Stacey R.J. (2011.) Composition of some roman medicines: evidence for Pliny's punic wax? *Anal Bioanal Chem*, 401 (2001), pp. 1749-1759
45. Svečnjak L. (2015.a). Patvorenje pčelinjeg voska – problematika i otkrivanje metodom infracrvene spektroskopije. *Hrvatska pčela*. 134, 9: 270-274.
46. Svečnjak L., Baranović G., Vinceković M., Prđun S., Bubalo D., Tlak Gajger I. (2015.b). An approach for routine analytical detection of beeswax adulteration using FTIR-ATR spectroscopy. *Journal of Apicultural Science*. 59 (2): 37-49
47. Svečnjak L. Prđun S., Baranović G., Damić M., Rogina J. (2018.). Alarming situation on the EU beeswax market: the prevalence of adulterated beeswax material and related safety issues. *EurBee 8. 8th Congress of Apidology, Ghent, Belgium, 18-20 September 2018*. pp. 114-115.
48. Svečnjak L., Chesson L.A., Gallina A., Maia M., Martenello M., Mutinelli F., Necasti Muz M., Nunes F.M., Saucy F., Tipple B.J., Wallner K., Waś E., Waters T.A. (2019.a). Standard methods for *Apis mellifera* beeswax reasearch. *Journal of Apicultural Research* 58 (2): 1-108
49. Svečnjak L., Jović O., Prđun S., Rogina J., Marijanović Z., Car J., Matošević M., Jerković I. (2019. b). Influence of beeswax adulteration with parafin on the composition and quality of honey determined by phisico – chemical analysis, ¹H NMR, FTIR-ATR spectroscopy. *Food chemistry*, 232: 286-294.
50. Svečnjak L., Nunes F.M., Gracia Matas R., Cravedi J-P., Christodoulidou A., Rortais A., Saegerman C. (2020.). Validation of analytical methods for the detection of beeseax

adulteration with a focus on paraffin. *Food Control* Volume 120, 107503, <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107503>

51. Svečnjak, L., Ledinski, G., Prđun, S., Bubalo, D. (2024.) Beeswax adulteration: situation on the international market, regulatory and safety issues. 6th International Symposium on Bee Products and Annual Meeting of International Honey Commission- Book of abstracts. Otilia Bobis; Daniel S. Dezmirean (ur.). Cluj-Napoca: Academic Press Publishing House, 2024. str. 70-71
52. Steinhauer N, Kulhanek K, Antúnez K, Human H, Chantawannakul P, Chauzat MP, van Engelsdorp D. (2018.) Drivers of colony losses. *Curr Opin Insect Sci.* 2018 Apr;26:142-148. doi: 10.1016/j.cois.2018.02.004. Epub 2018 Feb 8. PMID: 29764654. Traynor, K. S., Rennich, K., Forsgren, E., Rose, R., Pettis, J., Kunkel, G., Vanengelsdorp, D. (2016.) Multiyear survey targeting disease incidence in US honey bees. *Apidologie*, 47, 325-347.
53. Tanner, N., Lichtenberg-Kraag, B. (2019.) Identification and Quantification of Single and Multi-Adulteration of Beeswax by FTIR-ATR Spectroscopy. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 1900245. doi:10.1002/ejlt.201900245
54. Tautz, J. (2008.) *The Buzz about Bees – Biology of a Superorganism.* Springer Verlag, Berlin, Germany. 1-284.
55. Tulloch A.P. (1973.). Factors affecting values of beeswax and detection of adulteration. *Journal of the American Oil Chemist'S Society* 50 (7): 269 – 272. 5
56. Tulloch A.P. (1980.). Beeswax – composition and analysis. *Bee world* 61, 47 – 62
57. Uredba (EZ) br. 1069/2009 Europskog parlamenta i Vijeća od 21. listopada 2009. o utvrđivanju zdravstvenih pravila za nusproizvode životinjskog podrijetla i od njih dobivene proizvode koji nisu namijenjeni prehrani ljudi te o stavljanju izvan snage Uredbe (EZ) br. 1774/2002 (Uredba o nusproizvodima životinjskog podrijetla) ELI: <http://data.europa.eu/eli/reg/2009/1069/oj>
58. Uredba Komisije (EU) br. 231/2012 o utvrđivanju specifikacija za prehrambene aditive navedene u prilogima II. i III. Uredbi (EZ) br. 1333/2008 Europskog parlamenta i Vijeća ELI: <http://data.europa.eu/eli/reg/2012/231/oj>
<https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/HR/TXT/?uri=celex%3A32012R0231>
59. USFDA - U.S. Food and drug Administration (2003.) Code of Federal Regulations, Title 21, Volume 3, [21CFR184.1973]
60. Warth A. H. (1956.) *The chemistry and technology of waxes*, Chapman Hall, New York

61. Weiss, K., (1965.) Ueber den Zuckerverbrauch und die Beanspruchung der Bienen bei der Wachserzeugung. Sonderdruck Z. Bienenforsch. 8 (4): 106-124.
62. Wu JY, Smart MD, Anelli CM, Sheppard WS (2012.) Honey bees (*Apis mellifera*) reared in brood combs containing high levels of pesticide residues exhibit increased susceptibility to Nosema (Microsporidia) infection. J Invertebr Pathol 109:326–329. doi:10.1016/j.jip.2012.01.005
63. Zakon o održivoj uporabi pesticida (NN 46/2022)
64. Žulj, M. (2017.) Struktura i svojstva voskova. Završni rad, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilišta u Zagrebu