



Kaasrahastanud Euroopa Liit,
Euroopa Põllumajanduse Tagatisfond



Tallinna Tehnikaülikool
Keemia- ja biotehnoloogia instituut

Eesti erinevatest maakondadest kogutud õietolmu keemilise koostise uuring

Aruanne

Koostaja: M.Vaher, PhD

Tallinn 2025

Sisukord

Uuringu eesmärk ja sisu	3
Sissejuhatus	4
1 Õietolmu proovid	6
2 Analüüsimetodid	7
3 Tulemused	7
3.1 Niiskuse- ja tuhasisaldused	8
3.2 Ekstraktsiooniprotseduuri arendamine	11
3.3 Antioksidantsete omadustega ühendite määramine	12
3.3.1 Polüfenoolid	13
3.3.2 Flavonoidid	15
3.4 Vabade aminohapete HPLC-MS/MS analüüs	16
3.5 Lenduvate ühendite (terpenoidid) GC-MS analüüs	21
3.6 Suhkrute sisaldused	28
Kokkuvõte	31

Uuringu tellis Eesti Mesinduskogu Eesti Mesinike Liidu vhendusel

Uuringu viis läbi Tallinna Tehnikaülikooli Keemia- ja biotehnoloogia instituut

Töö teostasid Merike Vaher, Piia Jõul, Pille-Riin Laanet ja Eva-Liisa Tiru

Töövõtuleping MS-25-E.1-5, 29.01.2025

Uuringu eesmärk

Hanke eesmärgiks oli viia läbi uuring, et määrata Eesti erinevatest piirkondadest erineval korjeperioodil kogutud 37 mesilasõietolmu füüsikalise-keemilised omadused ja nende keemiline koostis.

Uuringu sisu

- 37 mesilasõietolmuproovi kogumine erinevatest Eesti piirkondadest
- Niiskuse- ja tuhasisalduse analüüs
- Antioksidantide (polüfenoolid, flavonoidid) kogusisalduste mõõtmine
- Vabade aminohapete kvantitatiivne analüüs ja profiil
- Lenduvate ühendite (terpeenid) GC-MS analüüs
- Suhkrute (glükoos, fruktoos, sahharoos) kapillaarelektrooreetiline analüüs

Sissejuhatus

Meemesilased (*Apis mellifera* L.) koguvad taimede tolmukatest õietolmu, segavad väikese koguse süljenäärmete eritise või nektariga (10%) ja asetavad selle oma tagajalgade spetsiaalsetesse korvikestesse - sel viisil talletatud õietolmu tuntakse mesilasõietolmu nime all. Õietolmuterad erinevad taimeliigist sõltuvalt oma kuju, värvi, suuruse ja kaalu poolest¹, mis põhjustab mesilasõietolmu koostise ja visuaalse välimuse suurt varieeruvust. Mesilasõietolmu keemiline koostis on pärvinud ülemaailmset uurimishuvi, hõlmates laia spektrit alates taimefüsioloogiast kuni biokeemiani. Erineva botaanilise päritoluga mesilasõietolmus on leitud üle 200 ühendi, sealhulgas valke (umbes 22,7%), asendamatuid aminohappeid (umbes 10,4%), süsivesikuid (umbes 30,8%), lipiide (umbes 5,1%) ja rasvhappeid (umbes 0,4%), fenoolühendeid (umbes 1,6%), ensüüme ja koensüüme ning vitamiine ja väikeses koguses lenduvaid ühendeid^{2,3,4,5}.

Mesilasõietolm on üks täiuslikumaid ja toitainerikkamaid toiduaineid looduses, kuna see sisaldab peaaegu kõiki inimestele hädavajalikke toitaineid, mida loomse päritoluga toiduainetes tavaliselt ei leidu. Mesilasõietolmu kõrge toiteväärtus tuleneb oluliste ainete, nagu süsivesikute, valkude, lipiidide, vitamiinide ja mineraalainete sisaldusest. Mesilasõietolm sisaldab ka olulisi bioaktiivseid ühendeid, nagu polüfenoolid ja flavonoidid^{3,4,5,6}, mis on tuntud antioksüdandid⁷, mis vastutavad mitmesuguste bioloogiliste toimete eest. Lisaks sisaldab mesilasõietolm kõiki inimkehale olulisi aminohappeid kontsentratsioonides, mis on viis kuni seitse korda kõrgemad kui traditsioonilistes kõrge valgusisaldusega toiduainetes³.

Üheliigilisel mesilasõietolmul on iseloomulikud organoleptilised ja biokeemilised omadused, mis sarnanevad õietolmu algtaimeliigi õietolmuteradega, millest õietolm koguti.

Multifloraalne mesilasõietolm peegeldab aga mitmekesiseid keemilisi omadusi, mis on pärit rohkem kui kahest taimeliigist. Väikesed erinevused mesilasõietolmu koostises võivad tuleneda korjepiirkonna (peamiselt õietolmurikaste taimeliikide olemasolu), keskkonnatingimuste, sealhulgas mullatüübi⁸, hooajaliste ja piirkondlike tingimuste, mesindustegevuse ja mesilasõietolmu koristusmeetodi erinevustest, kuid peamised erinevused mesilasõietolmu koostises ja toiteväärtuses tulenevad ikkagi erinevast botaanilisest päritolust.

¹ Komosinska-Vassev, K.; Olczyk, P.; Kaźmierczak, J.; Mencner, L.; Olczyk, K. Bee Pollen: Chemical Composition and Therapeutic Application. Evid. Based Complementary Altern. Med. 2015.

² Almeida-Muradian, L.B.; Pamplona, L.C.; Coimbra, S.; Barth, O.M. Chemical composition and botanical evaluation of dried bee pollen pellets. J. Food Compos. Anal. 2005, 18, 105–111.

³ Campos, M.G.R.; Bogdanov, S.; de Almeida-Muradian, L.B.; Szczesna, T.; Mancebo, Y.; Frigerio, C.; Ferreira, F. Pollen composition and standardization of analytical methods. J. Apic. Res. 2008, 47, 154–161.

⁴ Kostić, A.Ž.; Milinčić, D.D.; Barać, M.B.; Ali Shariati, M.; Tešić, Ž.L.; Pešić, M.B. The Application of Pollen as a Functional Food and Feed Ingredient-The Present and Perspectives. Biomolecules 2020, 10, 84.

⁵ Adaškevičiūtė, V.; Kaškonienė, V.; Kaškonas, P.; Barauskaitė, K.; Maruška, A. Comparison of Physicochemical Properties of Bee Pollen with Other Bee Products. Biomolecules 2019, 9, 819.

⁶ Khalifa, S.A.M.; Elashal, M.H.; Yosri, N.; Du, M.; Musharraf, S.G.; Nahar, L.; Sarker, S.D.; Guo, Z.; Cao, W.; Zou, X.; et al. Bee Pollen: Current Status and Therapeutic Potential. Nutrients 2021, 13, 1876.

⁷ Olteica, C.; Mărghitas, L.A.; Dezmirean, D.S. Total Polyphenols, Flavonoids and Radical Scavenging Activity of Bee pollen and Beebread Collected from Transylvania Area. Bull. Univ. Agric. Sci. Vet. Med. 2006, 62, 149–152.

⁸ Spulber, R.; Doǎgaroǎglu, M.; Băbeanu, N.; Popa, O. Physicochemical characteristics of fresh bee pollen from different botanical origins. Rom. Biotechnol. Lett. 2018, 23, 13357–13365.

Erinevate taimeliikide õietolm erineb oluliselt valkude, lipiidide, mineraalainete ja vitamiinide sisalduse poolest ning seega on mesilasõietolmul erinev toiteväärtus. Mesilasõietolmu keemiline iseloomustus on selle kvaliteedi hindamisel suure tähtsusega. Mitu riiki, nagu Argentina⁹, Brasiilia¹⁰, Bulgaaria¹¹, Poola¹² ja Šveits¹³, on kehtestanud inimtoiduks ettenähtud mesilasõietolmule riiklikud kvaliteedistandardid.

⁹ Código Argentino Alimentario–Actualizado, Dpto. De Salud Pública Veterinaria. In Artículo 785; Código Argentino Alimentario– Actualizado, Dpto: Buenos Aires, Argentina, 2001; pp. 443–444.

¹⁰ Instrução Normativa n.3. Regulamentos Técnicos de Identidade e Qualidade de Apitoxina, Cera de Abelha, Geléia Real, Geléia Real Liofilizada, Pólen Apícola, Própolis e Extrato de Própolis; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento: Rio de Janeiro, Brazil, 2001.

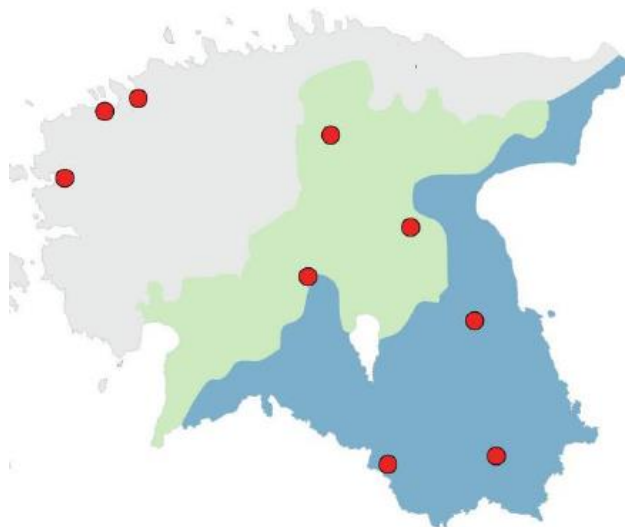
¹¹ Official Gazette 54. Ordinance №9 on the Ministry of Agriculture and Forest; The Ministry of Agriculture and Foetry: Sofia, Bulgaria, 2005.

¹² PN-R-78893 “Obnóza Pylkowe”—Polish Legislation for Bee-Pollen; Ministry of Agriculture and Rural Development: Warsaw, Poland, 2003

¹³ Swiss Food Manual: Pollen Bienenprodukte; BAG—Swiss Federal Office for Public Health: Bern, Switzerland, 2015

1 Mesilasõietolmu proovide kogumine

Uuringus osalenud mesilagrupid valiti välja kolmest Eesti piirkonnast - Lääne-Eesti, Kesk-Eesti ja Lõuna-Eesti (Joonis 1), kokku üheksa mesilagruppi. Piirkondade jaotus jälgib Eesti mullastikuvaldkondi - Lõuna-Eestis esinevad valdavalt kamar-leetmullad, erodeeritud mullad; Kesk-Eestis valdavalt leostunud ja leetunud kamar-karbonaatmullad, kamar-glei- ja lammimullad, aga ka leet- ja soomullad; Lääne-Eestis valdavalt tüüpilised kamar-karbonaatmullad, kamar-glei- ja lammimullad ning põhjaranniku kivised leetmullad¹⁴.



Joonis 1. Mesilasgruppide asukohad (punased punktid), hall ala - Lääne-Eesti, roheline ala – Kesk-Eesti, sinine ala - Lõuna-Eesti.

Mesilasõietolmu proovid saadi Eesti Maaülikooli Põllumajandus- ja keskkonnainstituudist. 27 õietolmu proovi saabus posti teel 6. veebruaril 2025.a. ja 10 proovi 20. mail 2025.a. Enamus proovidest olid kogutud 2024. aasta maist kuni augustini, aprillikuised proovid aga 2025. aastal. Proovid olid EMU Põllumajandus- ja keskkonnainstituudis eelnevalt kuivatatud liikuva õhuvooluga kuivatis 40°C juures ja pakendatud minigrip kottidesse, nende kogused varieerusid alates 8 g kuni 60 g. Laborisse saabunud proovid markeeriti, jahvatati ja pakendati alikvootidena õhukindlalt minigrip kottidesse ning säilitati edaspidiseks analüüsiks külmikus 5 °C juures. Info proovide kohta on esitatud tabelis 1.

Õietolmuproovide värvid varieerusid helekollasest tumehallini. Samuti erinesed jahvatatud proovid ka tekstuurilt. Mõned proovid olid kleepuvamad ja nätskemasid.

¹⁴Eesti Maaülikooli Põllumajandus- ja keskkonnainstituudi aruanne. Eesti õietolmu uuring 2024.

Tabel 1. Analüüsitavate õietolmuproovide päritolu ja tähistus

Piirkond	Aprilli I pool*	Aprilli II pool*	Mai II pool	Juuni I pool	Juuni II pool	Juuli II pool	Augusti I pool
Kesk-Eesti			ÕT-05/2-1		ÕT-06/2-1	ÕT-07/2-1	
Kesk-Eesti			ÕT-05/2-2	ÕT-06/1-2	ÕT-06/2-2	ÕT-07/2-2	
Kesk-Eesti			ÕT-05/2-3	ÕT-06/1-3	ÕT-06/2-3	ÕT-07/2-3	
Lõuna-Eesti	ÕT-04/1-4		ÕT-05/2-4	ÕT-06/1-4	ÕT-06/2-4		ÕT-08/1-4
Lõuna-Eesti	ÕT-04/1-5		ÕT-05/2-5	ÕT-06/1-5	ÕT-06/2-5	ÕT-07/2-5	
Lõuna-Eesti			ÕT-05/2-6	ÕT-06/1-6	ÕT-06/2-6	ÕT-07/2-6	
Lääne-Eesti	ÕT-04/1-7	ÕT-04/2-7	ÕT-05/2-7		ÕT-06/2-7	ÕT-07/2-7	
Lääne-Eesti			ÕT-05/2-8		ÕT-06/2-8	ÕT-07/2-8	
Lääne-Eesti/ Põhja-Eesti			ÕT-05/2-9	ÕT-06/1-9	ÕT-06/2-9	ÕT-07/2-9	

*- 2025.a. kogutud proovid

2 Analüüsimeetodid

Niiskusesisaldus määratakse gravimeetrilise meetodiga, mis põhineb vee aurustamisel ja massikao mõõtmisel. Kaalutakse kindel kogus õietolmu proovi. Proov peab olema võimalikult representatiivne ja homogeenne. Proov asetatakse kuivatusahju, mis on seatud kindlale temperatuurile (105 °C). Kuivatamine toimub kuni proovi mass enam ei muutu (kaal konstantne). Massikao järgi arvutatakse niiskuse sisaldus.

Tuhasisaldus määratakse gravimeetrilise meetodiga, kus eelnevalt kaalutud õietolmupulber põletatakse kõrgel temperatuuril (tavaliselt 550-600°C) muhahjus kuni püsiva kaaluni. Järelejäänud tuhk kaalutakse ja selle massist arvutatakse tuha protsentuaalne sisaldus algses proovis.

Polüfenoolide kogusisaldus määratakse spektrofotomeetriliselt Folin-Ciocalteu meetodil, mis kohandatakse mee analüüsiks. Mõõtmised viiakse läbi lainepikkusel 760 nm ja esitatakse gallushappe ekvivalentides 100 g mee kohta. **Flavonoidide kogusisaldus** määratakse samuti spektrofotomeetriliselt lainepikkusel 415 nm, kasutades standardina kvartsetiini.

Vabade (sh asendamatute) aminohapete kvantitatiivne analüüs viiakse läbi UHAE ekstraktsioonil valmistatud vesi ekstraktidega, kasutades HPLC-DAD seadet, C18 kolonni ja gradient elueerimist. Enne analüüsi derivatiseeritakse proovid AQC -ga (6-aminoquinolyl-N-hydroxysuccinimidyl carbamate). Liikuvaks faasiks on ülipuhas vesi ja atsetonitril, mis on hapestatud 0,1% sipelghappega. Kromatogrammid registreeritakse lainepikkusel 260 nm. Aminohapete kontsentratsioonide määramiseks koostatakse kalibreerimisgraafikud aminohapete standarditest.

Lenduvate ühendite (terpenoidid) GC-MS analüüs. Selle analüüsi jaoks kasutatav tehnika hõlmab tahke faasi mikroekstraktsiooni (SPME), mis on ühendatud gaasikromatograafia massispektromeetriaga (GC-MS), mis võimaldab tuvastada õietolmu proovides lenduvaid ja

poollenduvaid komponente. Käesolevas uuringus viiakse SPME protseduur läbi PDMS/DVB Stabile Flex kiududega (polüdimetüülsiloksaan/divinüülbenseen katte paksus 65 µm), kasutades käsitsi SPME kiuheidjat (Supelco-57330-U). SPME kiud konditsioneeritakse enne esmakordset kasutamist vastavalt tootja juhisteile. Lenduvate ühendite sisaldus esitatakse protsentidena.

Suhkrute sisalduse määramiseks kasutatakse TTÜ Keemia ja biotehnoloogia instituudis välja töötatud kapillaarelektroforeetilist meetodit. Sahharoosi, glükoosi, fruktoosi ja sahharoosi määramiseks kasutatakse 50 µm kapillaarkolooni ja aluselist taustelektrolüüti. Analüüsid viiakse läbi Agilent kapillaarelektroferograafia, detekteerimine lainepikkusel 270 nm.

3 Tulemused

3.1 Niiskuse- ja tuhasisaldus

Mitmed uuringud on edukalt kvantifitseerinud niiskusesisaldused erinevates mesilasõietolmudes. Saadud tulemused on suuresti varieeruvad ja sõltuvad säilitustingimustest (värsked või kuivatatud mesilasõietolm), botaanilisest ja geograafilisest päritolust¹⁵.

Mesilaste värskelt kogutud õietolmu veesisaldus varieerub 20–30% vahel¹⁶. Seda kõrget niiskusesisaldust peetakse aga bakterite ja seente kasvuks soodsaks keskkonnaks^{17,18,19}, mis lühendab õietolmu säilivusaega ja muudab selle tarbimiseks kõlbmatuks. Seetõttu tuleb mesilaste õietolmu kuivatada kohe pärast kogumist. Mesilaste õietolmu niiskusesisalduse piirmäär sõltub riigist ja ei tohi ületada 4% Brasiilia õigusaktide kohaselt, 6% Poolas ja Šveitsis, 8% Argentinast ja 10% Bulgaarias^{9-13,20}. Seega saab niiskusesisaldust kasutada mesilaste õietolmu kvaliteedikriteeriumina. Euroopa Liidus (sh Eestis) ei ole spetsiifilist ühtset määrust, mis reguleeriks ainult "mesilasõietolmu" ja selle niiskusesisaldust eraldi dokumendina. Selle asemel kuulub see laiemate toiduohutuse ja -kvaliteedi regulatsioonide alla²¹, mis sunnib tootjaid ja käitlejaid tagama toote nõuetekohase kvaliteedi ja säilivuse, mille saavutamiseks on 10% niiskuse piirväärtus tööstuses üldtunnustatud.

¹⁵ Radev Z. Water Content of Honey Bee Collected Pollen from 50 Plants from Bulgaria. *Mod. Concepts Dev. Agron.* 2018;3:314–316. doi: 10.31031/MCDA.2018.03.000563.

¹⁶ Campos M.G.R., Bogdanov S., de Almeida-Muradian L.B., Szczesna T., Mancebo Y., Frigerio C., Ferreira F. Pollen Composition and Standardisation of Analytical Methods. *J. Apic. Res.* 2008;47:154–161. doi: 10.1080/00218839.2008.11101443.

¹⁷ Mauriello G., De Prisco A., Di Prisco G., La Stora A., Caprio E. Microbial Characterization of Bee Pollen from the Vesuvius Area Collected by Using Three Different Traps. *PLoS ONE.* 2017;12:e0183208. doi: 10.1371/journal.pone.0183208.

¹⁸ Kačaniová M., Fikselová M., Hašek P., Kòazovická V., Nô J., Fatrcová-Šrámková K. Changes in microflora of bee pollen treated with uv light and freezing during storage. *Ecol. Chem. Eng. A.* 2010;17:89–94.

¹⁹ Mekki I. Microbial Contamination of Bee Pollen and Impact of Preservation Methods. *Université libre de Tunis; Tunis, Tunisia*: 2019.

²⁰ Bogdanov S. Quality and Standards of Pollen and Beeswax. *APIACTA.* 2004;38:334–341

²¹ Euroopa Parlamendi ja Nõukogu määrus (EÜ) nr 853/2004, 29. aprill 2004, toiduainete hügieeni kohta.

Meie poolt analüüsitud mesilasõietolmud olid juba eelnevalt kuivatatud Eesti Maaülikooli Põllumajandus- ja keskkonnainstituudis. Seetõttu ei saanud me informatsiooni ei toorõietolmu ega müügilolevate õietolmude niiskusesisalduste kohta.

Tabelis 2 on esitatud 3 paralleelkatse keskmised niiskusesisalduse väärtused, mille mõõtmisvead jäid alla 2%. Uuritud 37 õietolmu keskmine niiskusesisaldus oli 8,6%, varieerudes vahemikus 4,3 kuni 12,4%. Nendest 11 mesilasõietolmu proovi sisaldasid niiskust üle piirnormi (10%) kuni 2,4%. Keskmisest kõrgemaid niiskusesisaldusi täheldati juuni II poole ja mõnedes mai II poole proovides, keskmised väärtused vastavalt 10,3% ja 9,2%. Selline kõrgem niiskusesisaldus oli tõenäoliselt tingitud suuremast sademete hulgast proovide korjeperioodil. Kuna õietolm on väga hügrokoopne, seob see endaga kergesti õhuniiskust. See tähendab, et isegi kui korje hetkel pole sademeid, võib kõrge õhuniiskus mõjutada õietolmu niiskusesisaldust.

Oluline on märkida, et kõrge niiskusesisaldusega toorproovid ei pruukinud kuivatamise protsessis piisavalt kuivada, et nende niiskusesisaldus langeks alla 10% piirnormi. See rõhutab kuivatamise efektiivsuse tähtsust õietolmu kvaliteedi tagamisel.

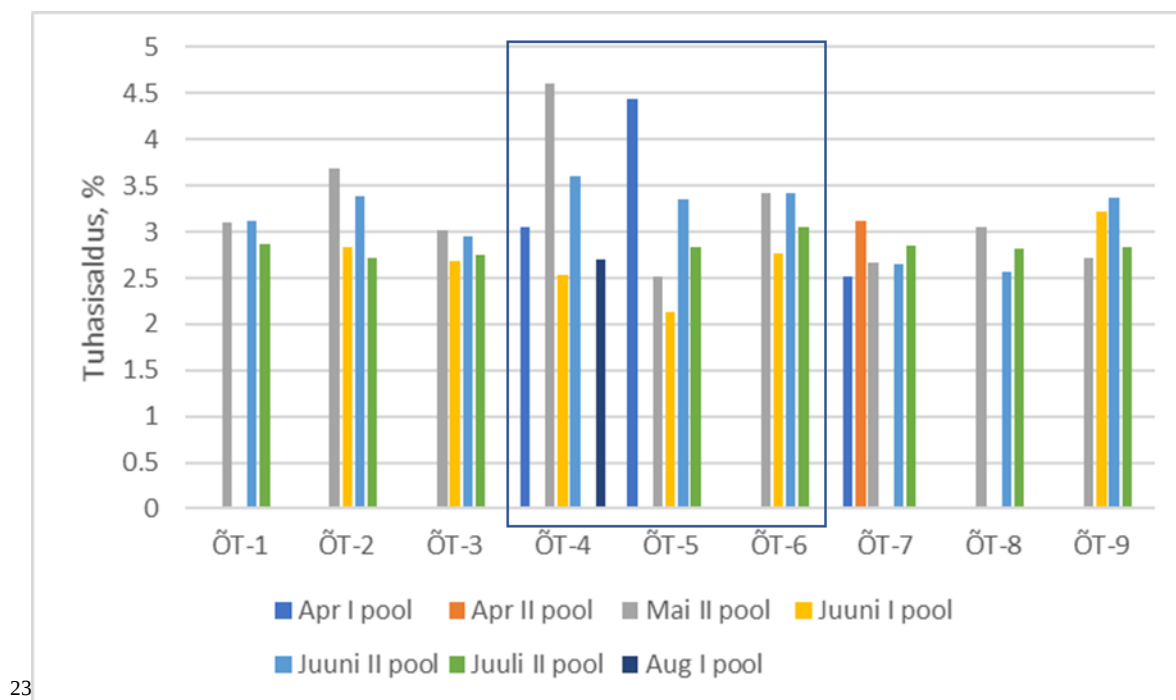
Tabel 2. Niiskuse- ja tuhasisaldused mesilasõietolmu proovides

Proovi tähis	Niiskus, %	Tuhk, %	Tuhk kuiva proovi kohta, %
ÕT-04/1-4	6,63	2,85	3,05
ÕT-04/1-5	5,90	4,18	4,44
ÕT-04/1-7	9,57	2,27	2,51
ÕT-04/2-7	6,31	2,92	3,12
ÕT-05/2-1	9,83	2,79	3,09
ÕT-05/2-2	10,36	3,30	3,68
ÕT-05/2-3	10,37	2,70	3,01
ÕT-05/2-4	8,46	4,21	4,60
ÕT-05/2-5	10,67	2,25	2,52
ÕT-05/2-6	5,72	3,23	3,43
ÕT-05/2-7	8,96	2,42	2,66
ÕT-05/2-8	10,13	2,74	3,05
ÕT-05/2-9	8,28	2,49	2,71
ÕT-06/1-2	9,76	2,55	2,83
ÕT-06/1-3	7,65	2,48	2,69
ÕT-06/1-4	5,73	2,38	2,52
ÕT-06/1-5	5,87	2,01	2,14
ÕT-06/1-6	4,32	2,64	2,76
ÕT-06/1-9	10,89	2,87	3,22
ÕT-06/2-1	8,72	2,84	3,11
ÕT-06/2-2	12,42	2,97	3,39
ÕT-06/2-3	11,47	2,61	2,95
ÕT-06/2-4	10,95	3,21	3,60

ÕT-06/2-5	10,73	2,99	3,35
ÕT-06/2-6	6,28	3,21	3,43
ÕT-06/2-7	11,44	2,34	2,64
ÕT-06/2-8	10,15	2,30	2,56
ÕT-06/2-9	10,12	3,03	3,37
ÕT-07/2-1	8,89	2,61	2,86
ÕT-07/2-2	7,54	2,51	2,71
ÕT-07/2-3	8,96	2,5	2,75
ÕT-07/2-5	10,24	2,54	2,83
ÕT-07/2-6	6,11	2,87	3,06
ÕT-07/2-7	6,94	2,66	2,86
ÕT-07/2-8	8,06	2,59	2,82
ÕT-07/2-9	7,79	2,61	2,83
ÕT-08/1-4	7,14	2,50	2,69
Keskmine	8,63	2,76	3,02
Vahemik	4,32 - 12,42	2,01 - 4,21	2,14 - 4,60

Analüüsitud mesilasõietolmuproovide keskmine tuhasisaldus oli 3,0% kuivaine kohta, varieerudes vahemikus 2,1 kuni 4,6% (Tabel 2), mis langeb hästi kokku kirjandusest leitud tulemustega. See tulemus näitab, et Eesti õietolmude mineraalainete sisaldus on üle keskmise. Tavaliselt jääb mesilaseõietolmu tuha sisaldus vahemikku 1% kuni 5% kuivainest, kuigi on mainitud ka madalamaid (nt 0,3%) ja kõrgemaid väärtusi sõltuvalt konkreetsest uuringust ja õietolmu päritolust. Mõned uuringud on andnud keskmisteks väärtusteks näiteks 1,2% kuni 3.09%²².

²² Saša Prdun, Lidija Svecnjak, Mato Valentic, Zvonimir Marijanovic, Igor Jerkovic. Characterization of Bee Pollen: Physico-Chemical Properties, Headspace Composition and FTIR Spectral Profiles. *Foods* 2021, 10, 2103. <https://doi.org/10.3390/foods10092103>



Joonis 2. Tuhasisaldused mesilagruppide ja korjeperioodide lõikes

Mesilase õietolmu tuhasisaldus on oluline näitaja selle mineraalainete rikkuse kohta²³. Tuhk tekib orgaanilise aine põletamisel ja koosneb mittelahustuvatest mineraalsetest jääkidest. Seega ongi tuhk põhimõtteliselt õietolmus sisalduvate mineraalide kogum, mille kaudu saab hinnata toote mineraalset koostist. Põhilised mineraalained, mis mesilasõietolmus sisalduvad on kaalium, fosfor, kaltsium, magneesium, tsink ja raud²³.

Kirjanduses leidub andmeid selle kohta, et kevadised õietolmud sisaldavad rohkem mineraalaineid kui suvised²⁴. Ka meie poolt uuritud proovide puhul oli aprillis ja mais kogutud proovide tuhasisaldus mõnevõrra kõrgem. Küll aga paistsid Lõuna-Eestist kogutud õietolmud silma suurema tuhasisalduse poolest (märgitud joonisel 2 riskülikuga), mis võib olla seotud mineraaliderikkama pinnasega, milles korjetaimed kasvasid.

Kokkuvõtteks võib öelda, et mesilasõietolmu tuha koostis ja seega ka mineraalainete sisaldus, on üsna varieeruv ning sõltub suuresti botaanilisest päritolust, kuna erinevate taimede õietolm sisaldab erinevates proportsioonides mineraale. Samuti pinnase, kus taimed kasvavad, mineraalsest koostisest ja keskkonnatingimustest (pinnase pH, vee kättesaadavus).

3.2 Ekstraktsiooniprotseduuri arendamine bioaktiivsete ainete eraldamiseks

Enamik looduslikke materjale (taimed, bioloogilised proovid, toiduained) või sünteetilisi segusid sisaldab tohutul hulgal erinevaid komponente. Ekstraktsioon võimaldab eraldada just

²³ Mamta Thakur, Vikas Nanda. Composition and functionality of bee pollen: A review. *Trends in Food Science & Technology* 2020, 90, 82-16. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.001>

²⁴ Saad Al-Kahtani and El-Kazafy A. Taha Seasonal Variations in Nutritional Composition of Honeybee Pollen Loads. *Journal of the Kansas Entomological Society* 93(2), 2020, pp. 105-112

need ühendid, mis pakuvad huvi, jättes maha suurema osa soovimatust materjalist. See vähendab edasiste analüüsi- või puhastusetappide koormust.

Õietolmu puhul on ekstraktsioon vajalik, et eraldada selle väärtuslikud bioaktiivsed ühendid (polüfenoolid, flavonoidid, aminohapped ja suhkrud) maatriksist.

Kuna varasemate mesilasproduktide uuringute käigus osutus efektiivseimaks ekstraktsioonimetoodikaks ultraheli-assisteeritud ekstraktsioon, siis kasutati seda ka mesilasõietolmu korral.

Selles uuringus kohandati mesilasproduktide ekstraktsiooniks kasutatud meetodikat mesilasõietolmu jaoks kahe erineva proovi põhjal. Ekstrahentidena kasutati ülipuhast vett, 0,1 M sipelghapet ning 60% ja 80% etanooli vesilahuseid. Samuti varieeriti õietolmuproovi massi ja ekstrahendi suhet (1:20, 1:40 ja 1:50).

Vabade aminohapete ekstraheerimiseks osutus sobivaimaks 0,1 M sipelhappe lahus suhtega 1:50. Suhkrute ekstraheerimisel saadi parimad tulemused ülipuhta veega suhtega 1:20. Etanooli vesilahuste kasutamisel saadi fruktoosi puhul 5% ja glükoosi puhul üle 10% väksemad saagised võrreldes veega. Polüfenoolide ja flavonoidide ekstraheerimisel saadi kõige kõrgemad saagised 80% etanooli lahuse kasutamisel (suhtega 1:20). Polüfenoolide saagis oli 4% ja flavonoidide saagis 9% suurem kui 60% etanooli lahuse korral.

3.3 Antioksidantsete omadustega ühendite kogusisalduse määramine

Antioksidandid on ained, mis pidurdavad ja reguleerivad vabade radikaalide teket. Terves organismis valitseb antioksidantide ja vabade radikaalide vahel tasakaal. Vabad radikaalid muutuvad aga ohtlikuks, kui tasakaal on rikutud. Antioksidandid katkestavad vabade radikaalide poolt alustatud ahelreaktsioone. Antioksidandid võivad olla endogeensed nagu superoksiid dismutaas, katalaas, koensüüm Q10, glutadioon peroksüdaas ja eksogeensed, mida manustatakse toiduga. Eksogeensete antioksidantide hulka kuuluvad fenoolsed ühendid, flavonoidid, vitamiinid C, A ja E ning karoteen ja mineraalained²⁵, mille poolest on rikas ka mesilasõietolm²⁶. Endogeenne antioksidantne süsteem täidab oma funktsioone eksogeensete antioksidantsete süsteemidega sünergiliselt²⁷.

3.3.1 Polüfenoolid

Polüfenoolid on heterogeenne keemiliste ühendite klass, mis jaguneb flavonoidideks (flavonoolid, flavoonid, flavanoolid, flavanoonid, antotsüanidiin, kalkoonid ja isoflavoonid) ja fenoolseteks hapeteks. Kõik need ühendid on taimede sekundaarsed metaboliidid ja neid

²⁵ Romero, AC., Hernández, EGO., Cerón, TF., Chávez, AÁ. 2013. The exogenous antioxidants. Ed.: Jose Antonio Morales-Gonzalez. Oxidative Stress and Chronic Degenerative Diseases-A Role for Antioxidants, IntechOpen, London, UK. 33. doi.org/10.5772/52490

²⁶ Denisow, B., Denisow-Pietrzyk, M. 2016. Biological and therapeutic properties of bee pollen: a review J Sci Food Agric. 96 (13):4303-4309., doi.org/10.1002/jsfa.7729

²⁷ Warraich, YA., Hussain, F., Kayani, HUR. 2020. Aging-Oxidative stress, antioxidants and computational modeling Heliyon. 6(5): E04107., doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04107

iseloostub mitme seotud fenoolrühma olemasolu, mis on seotud enam või vähem keerukate struktuuridega²⁸.

Polüfenoolid on üks olulisemaid ja bioaktiivsemaid ühendite rühmasid, mida õietolmus leidub. Just need ühendid on peamiselt vastutavad õietolmu antioksidantsete, põletikuvastaste ja antimikroobsete omaduste eest.

Kõikide selles uuringus analüüsitud mesilasõietolmude polüfenoolide keskmine sisaldus oli 20,28 mg GAE/g (Tabel 3), varieerudes vahemikus 11,69 kuni 31,02 mg GAE/g, olles ligikaudu kaks korda kõrgemad kui 2023. aastal analüüsitud Eesti suurades (Eesti suira uuring, 2023) ja 20 kõrgemad kui Eesti metes (Eesti mee süvauuring, 2021). Polüfenoolide sisaldus mesilasõietolmuproovides varieerus ligi kolm korda.

Polüfenoolide sisaldus Eesti mesilasõietolmudes on pisut kõrgem kui Rumeenia mesilasõietolmudes, mis jäid vahemikku 4,4 kuni 16,2 mg GAE/g²⁹ ja on võrreldav Poola³⁰ tulemustega (keskmine 21,30 mg GAE/g). Sarnased tulemused leiti olevat ka Türgi mesilasõietolmudes (3,38–28,58 mg GAE/100 g)³¹.

Tabel 3. Polüfenoolide (PF) ja flavonoidide kogusisaldused mesilasõietolmuproovides

Proovi tähis	Polüfenoolide sisaldus, mg GAE/ g	PF sisaldus kuivas proovis, mg GAE/g	Flavonoidide sisaldus, mg QE/g	Flavonoidide sisaldus kuivas proovis, mg QE/g	Flavonoidide osa polüfenoolidest, %
ÕT-04/1-4	23,31	25,92	5,71	6,35	24,51
ÕT-04/1-5	22,90	24,51	5,29	5,66	23,11
ÕT-04/1-7	15,24	17,38	5,59	6,38	36,69
ÕT-04/2-7	23,98	26,84	5,41	6,06	22,57
ÕT-05/2-1	19,40	22,42	4,67	5,40	24,07
ÕT-05/2-2	14,30	16,57	3,18	3,68	22,20
ÕT-05/2-3	22,77	26,15	3,04	3,48	13,33
ÕT-05/2-4	16,08	18,35	3,22	3,67	20,00
ÕT-05/2-5	20,85	24,19	2,46	2,85	11,77
ÕT-05/2-6	21,66	24,13	3,78	4,21	17,46
ÕT-05/2-7	21,77	25,01	5,15	5,92	23,66
ÕT-05/2-8	16,98	19,21	5,03	5,69	29,62
ÕT-05/2-9	14,39	16,53	3,76	4,31	26,09
ÕT-06/1-2	10,71	12,90	1,64	1,98	15,36

²⁸ Cianciosi, D., et al. Phenolic Compounds in Honey and Their Associated Health Benefits: A Review. *Molecules*, 2018, 23, 2322 <https://doi.org/10.3390/molecules23092322>

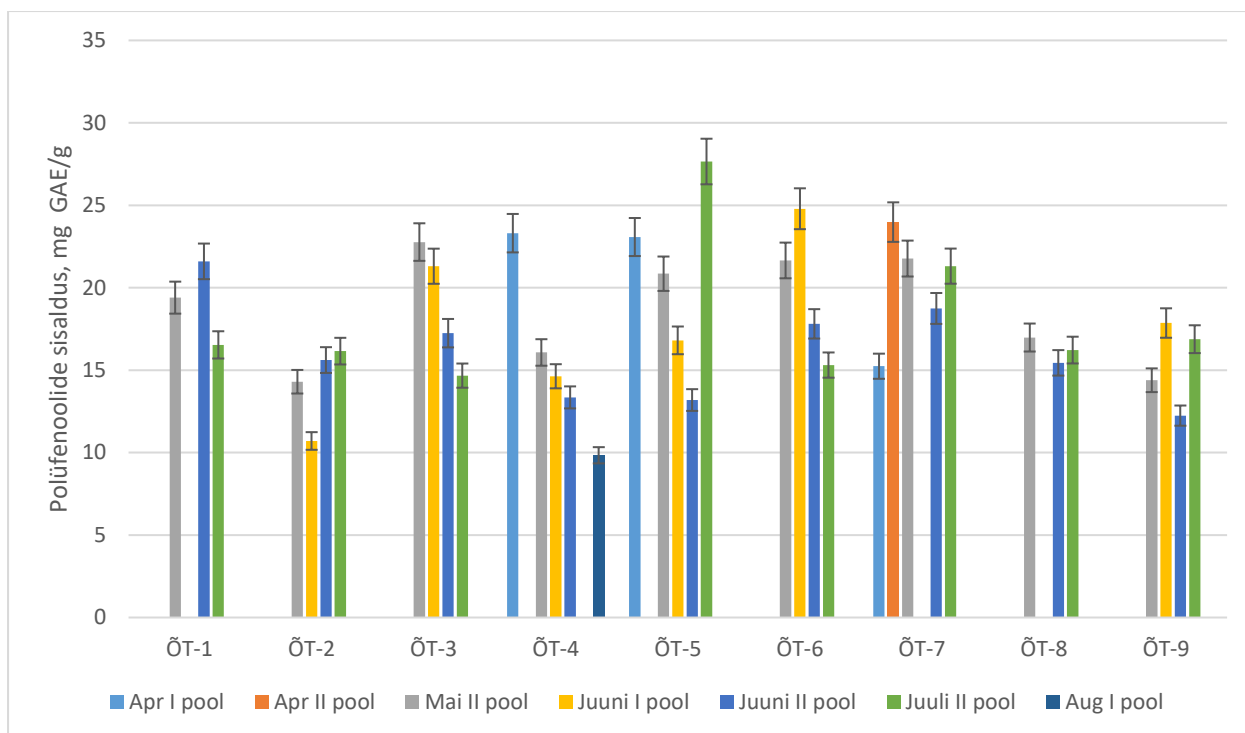
²⁹ Liviu A. Mărghițaș, Oltica G. Stanciu, Daniel, S. Dezmirean, Otilia Bobiș, Olimpia Popescu, Ștefan Bogdanov, Maria Graca Campos. In vitro antioxidant capacity of honeybee-collected pollen of selected floral origin harvested from Romania. *Food Chemistry* 2009, 115, 878-883. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.01.014>

³⁰ Anna Rzepecka-Stojko, Malgorzata Stec, Ewa Kurzeja, Ewa gawronska, Katarina Pawlowska-Goral. The Effect of Storage of Bee Pollen Extracts on Polyphenol Content. *J. Environ. Stud.* 2012, 21, 1007-1011.

³¹ C. Mutlu and M. Erbas. Turkish bee pollen: Composition, regional discrimination and polyphenol bioaccessibility. *Food Bioscience* 2005, 53, 2023, 102805

ÕT-06/1-3	21,31	24,21	3,12	3,54	14,63
ÕT-06/1-4	14,63	17,10	1,76	2,05	12,02
ÕT-06/1-5	16,81	18,98	1,69	1,90	10,04
ÕT-06/1-6	24,79	26,20	4,06	4,29	16,38
ÕT-06/1-9	17,86	22,15	1,36	1,69	7,63
ÕT-06/2-1	21,60	23,79	2,18	2,40	10,09
ÕT-06/2-2	15,62	18,24	1,54	1,80	9,86
ÕT-06/2-3	17,25	19,49	2,18	2,46	1,64
ÕT-06/2-4	13,35	15,69	0,98	1,15	7,34
ÕT-06/2-5	13,19	15,72	0,79	0,94	5,99
ÕT-06/2-6	17,62	19,85	1,62	1,82	9,17
ÕT-06/2-7	18,75	21,62	2,74	3,15	14,59
ÕT-06/2-8	15,45	17,78	3,71	4,27	24,02
ÕT-06/2-9	12,25	14,48	0,75	0,88	6,08
ÕT-07/2-1	16,54	18,84	1,00	1,14	6,05
ÕT-07/2-2	16,16	18,79	0,97	1,12	5,97
ÕT-07/2-3	14,67	16,77	1,31	1,50	8,93
ÕT-07/2-5	27,66	31,02	2,43	2,73	8,79
ÕT-07/2-6	15,31	16,70	3,53	3,85	23,06
ÕT-07/2-7	21,31	23,99	2,23	2,50	10,44
ÕT-07/2-8	16,22	18,07	3,98	4,43	24,54
ÕT-07/2-9	16,88	19,08	1,84	2,07	10,87
ÕT-08/1-4	10,16	11,69	0,54	0,62	5,31
Keskmine	17,83	20,28	2,82	3,19	15,54
Vahemik	10,16 - 27,66	11,69 - 31,02	0,54 - 5,71	0,62 - 6,38	5,31- 36,69

Jooniselt 3 on näha, et polüfenoolide sisaldused varieeruvad nii mesilagruppide lõikes kui ka korjeperioodi lõikes. Ühtlasemad sisaldused korjeperioodide lõikes on mesilagrupis ÕT-2, ÕT-8 ja ÕT-9. Kõrgemate sisalduste poolest paistab silma ÕT-5 (Lõuna-Eesti). Ilmselt sõltub polüfenoolide sisaldus mesilasõietolmus suuresti botaanilisest materjalist, millelt mesilased õietolmu korjavad ja ka ilmastikust.



Joonis 3. Polüfenoolide sisaldused mesilagruppide ja korjeperioodide lõikes

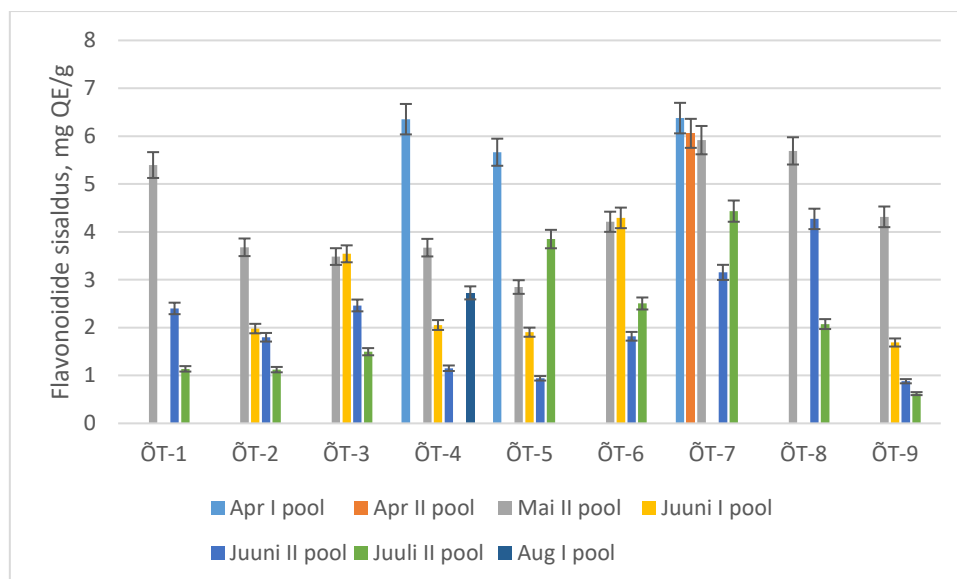
3.3.2 Flavonoidid

Õietolmus sisalduvad flavonoidid on üks olulisemaid bioaktiivsete ühendite rühmi, mis mängivad olulist rolli nii taimede bioloogias kui ka õietolmu tervisemõjudes. Kuigi flavonoidide sisaldus ja profiil sõltuvad õietolmu botaanilisest ja geograafilisest päritolust, on tuvastatud kõikides õietomudes kvartsetiini ja selle glükosiide, kāmferooli ja selle derivaate, luteoliini, apigeniini ja isoramnetiini. Need flavonoidid annavad suure panuse õietolmu üldisesse antioksidantide sisaldusse ja bioloogilisse aktiivsusesse.

Selles töös analüüsitud mesilasõietolmud sisaldasid flavonoide keskmiselt 3,19 mg QE/g. Madalaim sisaldus leiti augustikuises proovis ÕT-08/2-4 (0,62 mg QE/g) ja kõrgeimad aprillikuistes proovides ÕT-04/1-7 ja ÕT-04/1-4 (vastavalt 6,38 ja 6,35 mg QE/g) (Tabel 2).

Need tulemused on sarnased Türgi³¹ mesilasõietolmude flavonoidide sisaldusega, mis jäi vahemikku 0,85-5,44 mg QE/g. Rumeenia²⁹ mesilasõietolmude flavonoidide sisaldus oli aga suurema varieeruvusega (0,6-13,6 mg QE/g) ja nende maksimumsisaldus kaks korda kõrgem kui Eesti mesilasõietolmudes.

Joonis 5 visualiseerib uuritavate mesilasõietolmuproovide flavonoidide üldsisaldust. Flavonoidide sisaldus mesilasõietolmudes varieerus polüfenoolide sisaldusest rohkem ja ulatus kuni kümnekordse erinevuseni. Kõige kõrgem flavonoidide sisaldus oli aprillis kogutud proovides. Keskmiselt moodustasid flavonoidid polüfenoolide üldsisaldusest 15,54% (vahemikus 5,31- 36,69%).



Joonis 5. Flavonoidide sisaldused mesilagruppide ja korjeperioodide lõikes

3.4. Vabade aminohapete analüüs kasutades HPLC-MS/MS

Mesilasõietolm on tuntud oma rikkaliku ja mitmekesise aminohapete profiili poolest. Lisaks valkudele, mis on aminohapetest üles ehitatud, leidub õietolmus ka vabu aminohappeid. Need aminohapped ei ole seotud valkude koostisesse ja on seetõttu metaboolseteks protsessideks kohet kättesaadavad. Kuigi vabad aminohapped moodustavad õietolmu kogu aminohapete sisaldusest väiksema osa, on neil siiski oluline roll.

Aminohapped (AH) jagunevad asendamatuteks ehk eksogeenseteks ja asendatavateks ehk endogeenseteks. Inimorganism ei suuda eksogeenseid aminohappeid ise toota ja peab neid saama toiduga. Nende hulka kuuluvad histidiin, isoleutsiin, leutsiin, lüsiin, metioniin, fenüülalaniin, treoniin, trüptofaan ja valiin. Endogeenseid aminohappeid suudab organism aga ise sünteesida.

Aminohapped jagunevad asendamatuteks ehk eksogeenseteks ja asendatavateks ehk endogeenseteks.

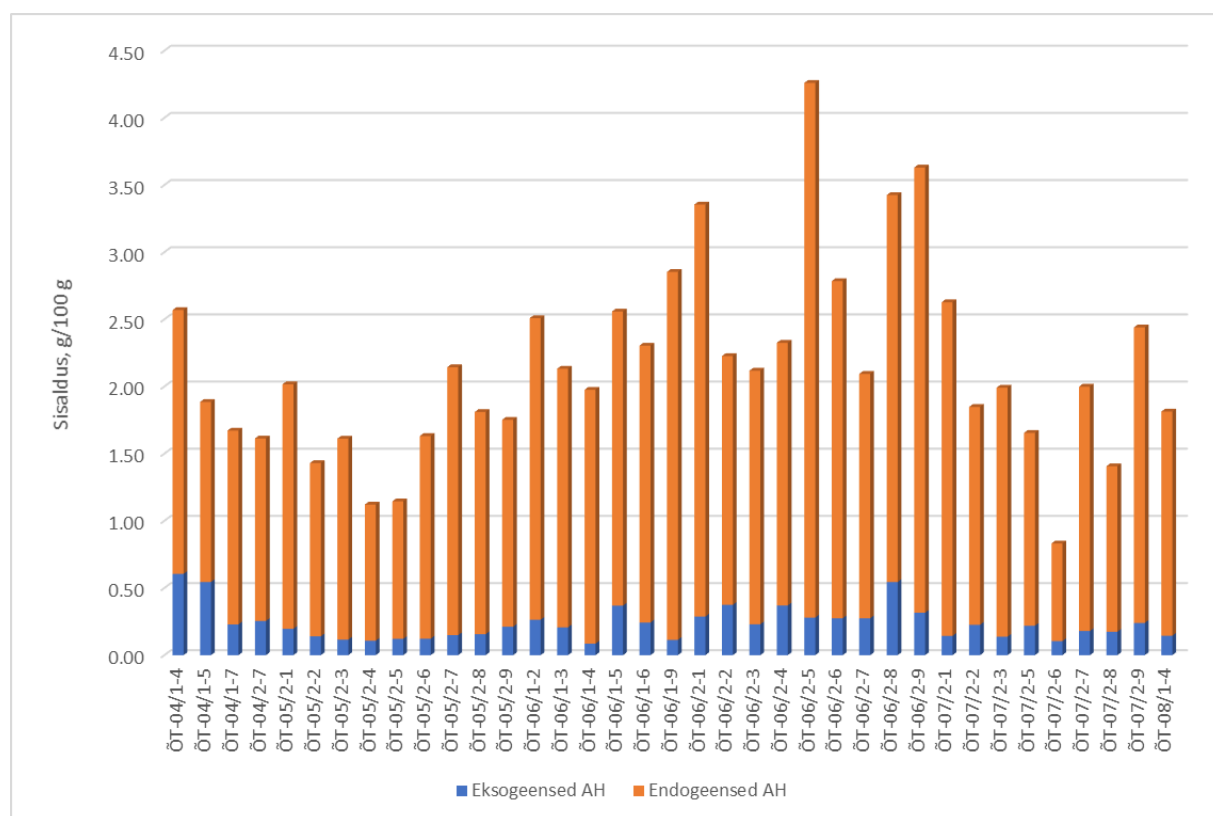
Tabelis 4 on toodud 37 mesilasõietolmuproovi vabade aminohapete analüüsi tulemused. Andmed põhinevad kolme paralleelmõõtmise keskmistel väärtustel, mis on esitatud grammides 100 grammi (g/100 g) kuivaine kohta. Kõikide proovide puhul jäi suhteline standardhälve alla 10%.

Analüüsitud proovide vabade aminohapete keskmine sisaldus oli 2,1504 g/100 g. Kõrgeim sisaldus oli proovis ÖT-06/2-5 (4,260 g/100 g) ja madalaim proovis ÖT-07/2-2 (0,831 g/100 g).

Kõikidest analüüsitud mesilasõietolmuproovidest leiti kõik 21 tavalist aminohapet, sealhulgas 9 eksogeenset ehk asendamatu aminohapet. Saadud tulemustest selgus, et uuritud proovides sisaldus kõige rohkem proliini (keskmiselt 1,3927 g/100 g). Sellele järgnesid asparagiin, glutamiin,alaniin, glütsiin, histidiin, seriin ja arginiin, mille sisaldused jäid vahemikku 0,1320–0,0534 g/100 g. Ülejäänud vabade aminohapete sisaldus oli alla 0,0420 g/100 g. Väga väikestes kontsentratsioonides (0,0033–0,0094 g/100 g) leidis proovides tsüsteiini, ornitiini ja metioniini.

Uuritud mesilasõietolmude vabade aminohapete kogusisaldusest moodustasid eksogeensed aminohapped keskmiselt 11,0%, kõikides vahemikus 4,0 - 29,0% vahemikus (Joonis 4). Kõige enam leidis proovides histidiini, mille keskmine väärtus oli 0,0636 g/100 g, teiste eksogeensete aminohapete väärtused jäid 2-3 korda madalamaks.

Meie poolt saadud tulemused on üsna kooskõlas ka kirjanduses leiduvatega. Rzetecka jt.³² on leidnud, et mesilasõietolmus domineerivad eksogeensetest aminohapetest histidiin (0,15 g/100 g) ja endogeensetest proliin (0,67 g/100 g).



Joonis 4. Mesilasõietolmuproovide eksogeensete ja endogeensete aminohapete sisaldused

³² Natalia Rzetecka, Eliza Matuszewska, Szymon Plewa, Jan Matysiak, Agnieszka Klupczynska-Gabryszak . Bee products as valuable nutritional ingredients: Determination of broad free amino acid profiles in bee pollen, royal jelly, and propolis. Journal of Food Composition and Analysis, 2024,126, 105860.

Igale mesilasõietolmu proovile vastab talle iseloomulik aminohapete profiil (Joonis 5), mis on justkui selle proovi "sõrmejalg". See ainulaadne profiil tuleneb suuresti korjatud õietolmu botaanilisest päritolust, geograafilisest asukohast ja korjeperioodist. Seetõttu saab aminohapete profiili analüüsi kasutada õietolmu päritolu tuvastamiseks ja kvaliteedi hindamiseks.

Hiljuti on tõestatud, et asendamatud aminohapped ei ole mitte ainult valkude ehituskivid, vaid toimivad ka signaalmolekulidena, mis reguleerivad mitmesuguseid bioloogilisi protsesse³³.

Mesilasõietolm on efektiivne kehakaalu langetamisel, kuna see suurendab kalorite põletamist, stimuleerides keha loomulikke ainevahetusprotsesse. Tarbimisel võib mesilasõietolmus sisalduv fenüülalaniini sisaldus aidata vähendada söögiisu. Fenüülalaniinil on oluline roll söögiisu kontrollimisel, toimides mitme mehhanismi kaudu, mis on seotud hormoonide ja neuromodulaatoritega³⁴.

³³ Fei Xiao and Feifan Guo. Impacts of essential amino acids on energy balance, Mol Metab. 2021,14,101393. doi: 10.1016/j.molmet.2021.101393

³⁴ Ballinger, A. B., & Clark, M. L. (1994). L-phenylalanine releases cholecystokinin (CCK) and is associated with reduced food intake in humans: evidence for a physiological role of CCK in control of eating. Metabolism, 43(6), 735-738.

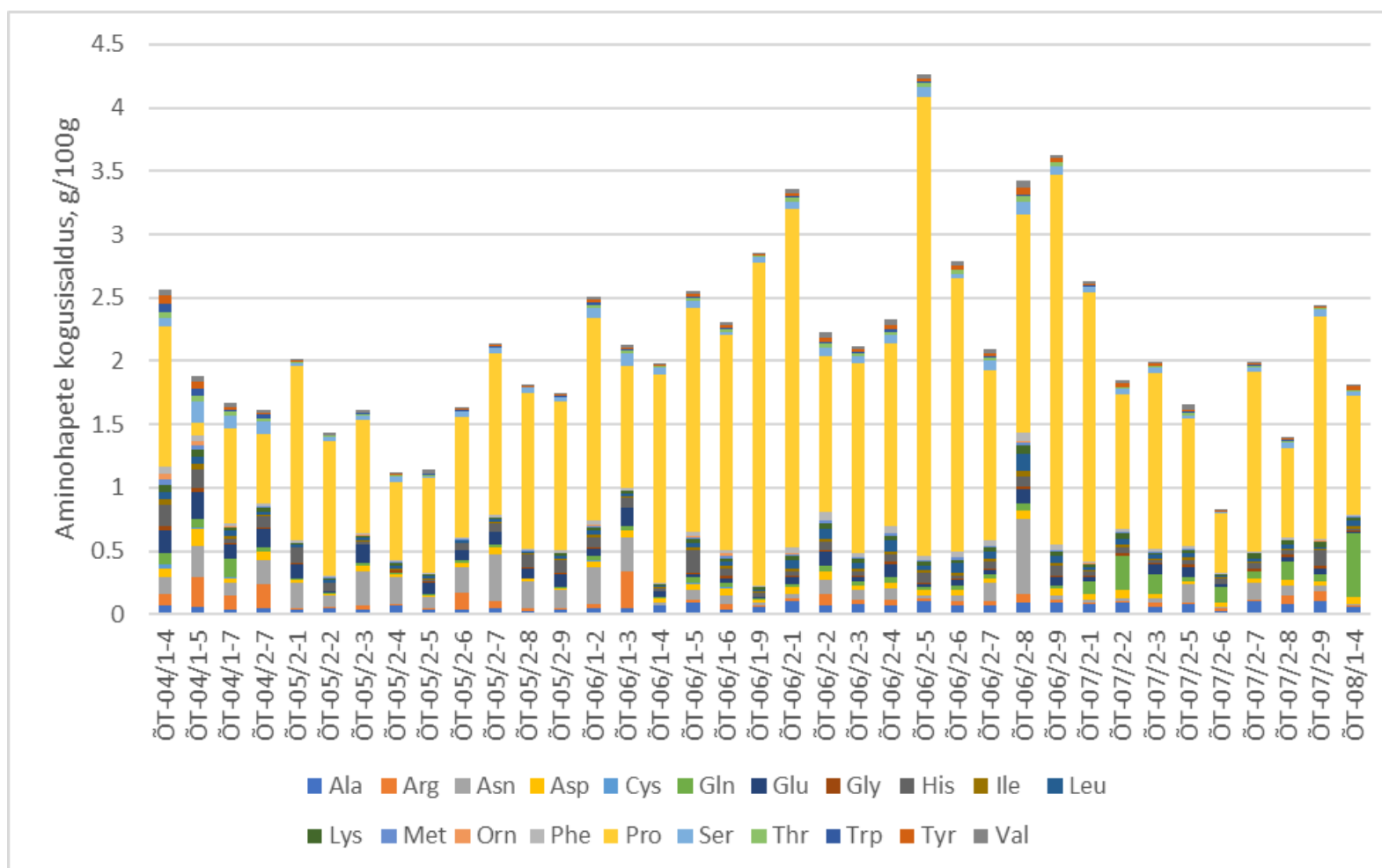
Tabel 4. Aminohapete sisaldused õietolmuproovides g/100g kuiva produkti kohta

Proovi tähis	Ala	Arg	Asn	Asp	Cys	Gln	Glu	Gly	His	Ile	Leu	Lys	Met	Orn	Phe	Pro	Ser	Thr	Trp	Tyr	Val	Kokku
ÕT-04/1-4	0.0747	0.0827	0.1411	0.0623	0.0344	0.0887	0.1788	0.0303	0.1694	0.0466	0.0608	0.0535	0.0475	0.0367	0.0623	1.1057	0.0656	0.0469	0.0686	0.0632	0.0490	2.5690
ÕT-04/1-5	0.0553	0.2375	0.2518	0.1253	0.0212	0.0642	0.2154	0.0256	0.1486	0.0397	0.0595	0.0558	0.0334	0.0305	0.0489	0.0982	0.1674	0.0514	0.0570	0.0474	0.0507	1.8848
ÕT-04/1-7	0.0327	0.1184	0.0953	0.0419	0.0015	0.1523	0.1096	0.0079	0.0418	0.0222	0.0355	0.0221	0.0086	0.0108	0.0186	0.7472	0.1000	0.0391	0.0085	0.0250	0.0328	1.6717
ÕT-04/2-7	0.0500	0.1890	0.1951	0.0600	0.0013	0.0310	0.1516	0.0092	0.0848	0.0143	0.0266	0.0301	0.0053	0.0086	0.0154	0.5476	0.1039	0.0271	0.0256	0.0109	0.0255	1.6130
ÕT-05/2-1	0.0417	0.0112	0.1990	0.0223	0.0010	0.0125	0.1117	0.0073	0.1200	0.0066	0.0186	0.0111	0.0029	0.0024	0.0136	1.3768	0.0277	0.0086	0.0030	0.0062	0.0123	2.0164
ÕT-05/2-2	0.0487	0.0150	0.0838	0.0148	0.0001	0.0108	0.0044	0.0101	0.0571	0.0063	0.0165	0.0198	0.0021	0.0005	0.0118	1.0693	0.0258	0.0104	0.0034	0.0060	0.0135	1.4302
ÕT-05/2-3	0.0342	0.0351	0.2697	0.0428	0.0000	0.0219	0.1441	0.0064	0.0208	0.0068	0.0239	0.0138	0.0029	0.0046	0.0138	0.8977	0.0326	0.0122	0.0060	0.0071	0.0157	1.6121
ÕT-05/2-4	0.0654	0.0201	0.2096	0.0162	0.0002	0.0139	0.0064	0.0140	0.0087	0.0090	0.0203	0.0280	0.0022	0.0004	0.0102	0.6170	0.0450	0.0131	0.0014	0.0049	0.0149	1.1211
ÕT-05/2-5	0.0368	0.0127	0.0918	0.0080	0.0000	0.0160	0.0818	0.0107	0.0142	0.0074	0.0215	0.0149	0.0022	0.0005	0.0116	0.7427	0.0164	0.0111	0.0090	0.0065	0.0293	1.1450
ÕT-05/2-6	0.0356	0.1373	0.1947	0.0390	0.0004	0.0189	0.0778	0.0046	0.0528	0.0059	0.0141	0.0097	0.0027	0.0023	0.0104	0.9520	0.0399	0.0101	0.0060	0.0057	0.0113	1.6313
ÕT-05/2-7	0.0448	0.0563	0.3732	0.0556	0.0004	0.0162	0.1010	0.0097	0.0667	0.0090	0.0162	0.0104	0.0026	0.0055	0.0185	1.2758	0.0388	0.0092	0.0042	0.0175	0.0121	2.1436
ÕT-05/2-8	0.0294	0.0198	0.2134	0.0165	0.0004	0.0057	0.0771	0.0117	0.1018	0.0056	0.0123	0.0067	0.0021	0.0020	0.0101	1.2294	0.0435	0.0066	0.0019	0.0045	0.0096	1.8104
ÕT-05/2-9	0.0383	0.0146	0.1377	0.0163	0.0002	0.0103	0.1002	0.0129	0.1008	0.0065	0.0292	0.0159	0.0039	0.0009	0.0229	1.1754	0.0238	0.0103	0.0050	0.0098	0.0173	1.7523
ÕT-06/1-2	0.0539	0.0333	0.2878	0.0464	0.0108	0.0300	0.0548	0.0144	0.0769	0.0176	0.0329	0.0292	0.0139	0.0112	0.0296	1.6016	0.0760	0.0208	0.0180	0.0248	0.0245	2.5086
ÕT-06/1-3	0.0503	0.2903	0.2650	0.0597	0.0010	0.0258	0.1486	0.0065	0.0756	0.0115	0.0182	0.0199	0.0043	0.0042	0.0135	0.9661	0.0974	0.0244	0.0179	0.0099	0.0222	2.1322
ÕT-06/1-4	0.0664	0.0093	0.0219	0.0277	0.0010	0.0113	0.0450	0.0033	0.0244	0.0058	0.0124	0.0121	0.0020	0.0016	0.0099	1.6405	0.0560	0.0070	0.0033	0.0060	0.0088	1.9756
ÕT-06/1-5	0.0928	0.0257	0.0730	0.0510	0.0075	0.0434	0.0244	0.0140	0.1781	0.0163	0.0324	0.0392	0.0125	0.0074	0.0305	1.7668	0.0615	0.0195	0.0148	0.0223	0.0254	2.5584
ÕT-06/1-6	0.0430	0.0413	0.0700	0.0477	0.0150	0.0326	0.0382	0.0144	0.0640	0.0207	0.0338	0.0203	0.0229	0.0153	0.0313	1.6975	0.0249	0.0153	0.0179	0.0215	0.0166	2.3043
ÕT-06/1-9	0.0594	0.0101	0.0278	0.0155	0.0018	0.0071	0.0128	0.0067	0.0309	0.0067	0.0172	0.0167	0.0029	0.0013	0.0140	2.5470	0.0402	0.0101	0.0059	0.0092	0.0098	2.8530
ÕT-06/2-1	0.0991	0.0279	0.0329	0.0538	0.0028	0.0234	0.0572	0.0137	0.0267	0.0266	0.0635	0.0378	0.0131	0.0028	0.0474	2.6706	0.0546	0.0343	0.0121	0.0281	0.0261	3.3548
ÕT-06/2-2	0.0753	0.0844	0.1177	0.0593	0.0033	0.0490	0.1055	0.0176	0.0575	0.0278	0.0827	0.0392	0.0201	0.0044	0.0605	1.2301	0.0720	0.0297	0.0166	0.0330	0.0408	2.2265
ÕT-06/2-3	0.0825	0.0288	0.0839	0.0326	0.0020	0.0351	0.0326	0.0115	0.0285	0.0187	0.0480	0.0376	0.0081	0.0047	0.0315	1.5001	0.0525	0.0191	0.0112	0.0214	0.0276	2.1178
ÕT-06/2-4	0.0707	0.0415	0.0898	0.0464	0.0028	0.0382	0.1112	0.0135	0.0543	0.0313	0.0802	0.0412	0.0172	0.0052	0.0556	1.4419	0.0616	0.0291	0.0182	0.0329	0.0427	2.3255
ÕT-06/2-5	0.1045	0.0233	0.0265	0.0399	0.0035	0.0223	0.0144	0.0101	0.0883	0.0149	0.0370	0.0356	0.0053	0.0040	0.0301	3.6290	0.0764	0.0323	0.0057	0.0261	0.0307	4.2600
ÕT-06/2-6	0.0689	0.0338	0.0495	0.0390	0.0028	0.0320	0.0463	0.0123	0.0222	0.0260	0.0738	0.0219	0.0175	0.0017	0.0478	2.1570	0.0382	0.0253	0.0071	0.0288	0.0331	2.7849
ÕT-06/2-7	0.0698	0.0329	0.1452	0.0374	0.0023	0.0290	0.0287	0.0138	0.0581	0.0205	0.0556	0.0335	0.0100	0.0055	0.0377	1.3443	0.0858	0.0206	0.0105	0.0243	0.0284	2.0940
ÕT-06/2-8	0.0946	0.0647	0.5979	0.0615	0.0026	0.0512	0.1151	0.0211	0.0843	0.0386	0.1332	0.0663	0.0280	0.0037	0.0770	1.7133	0.1064	0.0394	0.0190	0.0484	0.0585	3.4248
ÕT-06/2-9	0.0939	0.0257	0.0330	0.0501	0.0024	0.0271	0.0590	0.0123	0.0785	0.0227	0.0585	0.0325	0.0121	0.0021	0.0416	2.9233	0.0604	0.0309	0.0091	0.0247	0.0300	3.6301
ÕT-07/2-1	0.0872	0.0065	0.0177	0.0516	0.0001	0.0943	0.0324	0.0128	0.0367	0.0098	0.0271	0.0143	0.0045	0.0069	0.0184	2.1261	0.0350	0.0101	0.0101	0.0127	0.0128	2.6272
ÕT-07/2-2	0.0938	0.0125	0.0245	0.0597	0.0000	0.2715	0.0036	0.0174	0.0454	0.0192	0.0484	0.0499	0.0072	0.0001	0.0186	1.0693	0.0368	0.0145	0.0033	0.0329	0.0194	1.8479
ÕT-07/2-3	0.0636	0.0276	0.0317	0.0430	0.0000	0.1544	0.0763	0.0091	0.0260	0.0109	0.0279	0.0180	0.0032	0.0002	0.0224	1.3934	0.0402	0.0100	0.0050	0.0147	0.0138	1.9915
ÕT-07/2-5	0.0770	0.0155	0.1479	0.0228	0.0000	0.0298	0.0840	0.0139	0.0423	0.0126	0.0366	0.0289	0.0052	0.0003	0.0240	1.0030	0.0288	0.0167	0.0091	0.0126	0.0439	1.6548
ÕT-07/2-6	0.0297	0.0160	0.0197	0.0236	0.0000	0.1272	0.0200	0.0040	0.0439	0.0074	0.0164	0.0108	0.0019	0.0000	0.0090	0.4651	0.0129	0.0055	0.0012	0.0089	0.0085	0.8317
ÕT-07/2-7	0.1028	0.0166	0.1342	0.0298	0.0001	0.0553	0.0030	0.0161	0.0455	0.0091	0.0256	0.0413	0.0035	0.0002	0.0176	1.4109	0.0373	0.0146	0.0042	0.0126	0.0183	1.9987
ÕT-07/2-8	0.0811	0.0705	0.0813	0.0379	0.0004	0.1496	0.0356	0.0119	0.0417	0.0123	0.0290	0.0302	0.0063	0.0011	0.0206	0.7043	0.0439	0.0143	0.0032	0.0147	0.0167	1.4064
ÕT-07/2-9	0.1097	0.0760	0.0378	0.0401	0.0000	0.0531	0.0469	0.0199	0.1270	0.0042	0.0142	0.0425	0.0050	0.0061	0.0183	1.7507	0.0509	0.0147	0.0012	0.0088	0.0128	2.4401
ÕT-08/1-4	0.0635	0.0105	0.0111	0.0564	0.0000	0.4999	0.0125	0.0127	0.0092	0.0203	0.0440	0.0275	0.0040	0.0001	0.0137	0.9431	0.0275	0.0091	0.0029	0.0315	0.0139	1.8135
Keskmine	0.0654	0.0534	0.1320	0.0420	0.0033	0.0637	0.0694	0.0125	0.0636	0.0161	0.0379	0.0281	0.0094	0.0053	0.0267	1.3927	0.0543	0.0196	0.0115	0.0196	0.0238	2.1504

Lühendid

Ala –alaniin, Arg – arginiin, Asn – asparagiin, Asp – aspartaat, Cys – tsüsteiin, Gln – glutamiin, Glu – glutamaat, Gly – glütsiin, His – histidiin, Ile – isoleutsiin, Leu – leutsiin, Lys – lüsiin, Met – metioniin, Orn – ornitiin, Phe – fenüülalaniin, Pro – proliin, Ser – seriin, Thr – treoniin, Trp – trüptofaan, Tyr – türosiin, Val – valiin

Eksogeensed ehk asendamatud aminohapped on tabelis märgitud rohelisega



Joonis 5. Mesilasõietolmuproovide aminohapete profiil

3.5 Lenduvate ühendite (terpenoidid) GC-MS sisaldused

Mesilaste õietolmu toiteväärtuslikele ja raviomadustele lisaks iseloomustab nende rikkalik lenduvate ühendite profiil laiemalt ka algmaterjali botaanilist ja geograafilist päritolu. Lenduvate ühendite kompleksne profiil vastutab mesilaste õietolmu aroomi, maitse ja kindlasti ka bioloogilise aktiivsuse eest.

Tarbijale on lenduvate ühendite sisaldus peamiselt tunnetatav õietolmu spetsiifilise meeldiva aroomi tõttu. On hästi teada, et mesilased (*Apis mellifera*) reageerivad lõhnadele mitmes käitumiskontekstis^{35,36}. Mesilasema ja/või töomesilaste poolt eralduvad feromoonid edastavad mitmesuguseid sõnumeid ja kutsuvad esile üsna stereotüüpseid vastuseid õiges kontekstis. Töomesilased õpivad reageerima ka lillelõhnadele, mis enne õppimiskogemust ei kutsu tavaliselt esile nii tugevaid kaasasündinud reaktsioone kui feromoonid³⁷. Nad õpivad tundma õielõhnade seost lillede nektari ja/või õietolmuga, võimaldades seeläbi tulevikus tuvastada lilli, millelt saab toorainet korjata³⁸.

Viimastel aastatel Euroopas läbiviidud uuringud annavad küllaltki põhjaliku ülevaate aromaatsete ühendite koostise kohta. Peamisteks lenduvateks ühenditeks, mis Euroopast pärit mesilaste õietolmu proovides on tuvastatud kuuluvad aldehüüdid, ketoonid, terpenoidid ja aromaatsed süsivesinikud. Leedus läbiviidud põhjalik uuring näitas, et domineerivaks ühendiks on siiski stüreen (kuni 27%), samas kuulusid enim sisalduvate ühendite hulka aldehüüdidest veel heksanaal (kuni 9,3%) ja nonanaal (kuni 12,33%), mis on seostatavad värskete taimsete materjalidega, nn roheline ja rasvane aroom.³⁹ Ketoonidest olid enam esindatud 2-heptanoon ja 3,5-oktadieen-2-oon näiteks Läti ja Horvaatia õietolmuproovides. Samas esines 3,5-oktadieen-2-ooni küllaldki kõrges kontsentratsioonis ka Maroko mesilaste õietolmu proovides (kuni 27,5%), mis tõestab selle laiaulatuslikku esinemist eri geograafilistes piirkondades⁴⁰.

Eelpool nimetatud aineklassidest esineb veel olulisel määral terpenoide, millest enamlevinud on limoneen ja linalooli derivaadid. Neist esimene, tsitruselõhnaline monoterpeen limoneen, moodustas koguni 9% lenduvate ühendite profiilist Leedust pärinevate proovide korral³⁹. Lisaks nimetatud peamistele monoterpeenidele domineerisid Horvaatia õietolmu proovide korral ka oksüdeeritud vormid⁴¹.

Vahemere päritolu õietolmust on tuvastatud ka rasvhapete estreid, nagu etüül-oktanoaat, etüül-dekanoaat ja metüül-oktanoaat, ning lühikese ja keskmise ahelaga rasvhappeid, nagu heksaan- ja oktaanhape. Nimetatud ühendeid seostatakse eelkõige mesilaste õietolmu

³⁵ Winston ML: The Biology of Honey Bees. 1987, Cambridge MA: Harvard University Press

³⁶ Getz WM, Page RE: Chemosensory kin-communication systems and kin recognition in honey bees. *Ethology*, 1991, 87: 298-315.

³⁷ von Frisch K: The Dance Language and Orientation of Bees. 1967, Cambridge MA: Harvard University Press

³⁸ Smith BH *et al.* S: The olfactory memory of the honeybee *Apis mellifera*. II. Blocking between odorants in binary mixtures. *J Exp Biol*, 1994, 195: 91-108.

³⁹ Kaškonien, V. *et al.* Volatile compounds composition and antioxidant activity of bee pollen collected in Lithuania. *Chemical Papers*, 2015, 69, 2: 291–299.

⁴⁰ Almeida-Muradian, L. B. *et al.* Chemical markers in bee pollen from various geographical origins. *Molecules*, 2022, 27(1), 188.

⁴¹ Jerković, I. *et al.* Headspace volatile organic compounds from monofloral bee pollen. *Foods*, 2021, 10(9), 2103.

puuviljase ning hapuka aroomiga ning on teada, et moodustavad osa bioaktiivsete ühendite eellasühenditest.⁴²

Kindlasti on mesilaste õietolmu lenduvate ühendite profiili määramine oluline mitte vaid sensorsete omaduste kontekstis, kuid ka selle botaanilise ja geograafilise päritolu tunnuste määramisel. Lisaks pakuvad need lenduvad ühendid potentsiaalseid markereid õietolmu autentimiseks, kvaliteedikontrolliks ja praktilisteks rakendusteks nt funktsionaalse toidu arendamise seisukohalt.⁴³

Käesolevas uuringus saadud tulemused erinevatest Eesti piirkondadest pärit proovidega ühtivad suures osas kirjanduses väljatoodud tulemustega, sh on esitatud eelpool mainitud aineklassid ning ka enam levinud ühendid⁴⁴.

Mesilaste õietolmu proovides tuvastati kokku 108 erinevat lenduvat ühendit, mille sisaldus oli vähemalt ühes proovis enam kui 1%. Võrreldes eelpool esitatud kirjanduse andmetega on see pigem keskmisest kõrgem tuvastatud erinevate ühendite koguarv. Tabelis 5 on esitatud individuaalsete lenduvate ühendite sisaldused protsentides, mida leidis üle 1% mesilaste õietolmus olevatest lenduvate ühendite kogusisaldusest. Lisaks on tähistatud ka need ühendid (<1.0), mida leidis küll alla 1%, kuid esines mõnes teises mesilaste õietolmu proovis kõrgemas kontsentratsioonis (>1%). Punasega on tähistatud sisaldused, mis ületasid 5%.

Kõikides analüüsitud mesilaste õietolmu proovides sisaldus vaid nonanaali (tähistatud rasvases kirjas), seejuures heksadekaani sisaldus kõikides proovides peale ühe. Nonanaal on teada kui linool- ja oleiinhappe oksüdatsiooniprodukt ning selle ühendi sisaldust seostatakse ka õietolmust toituvate elusolendite vastu kaitsmise funktsiooniga⁴⁴.

Lisaks leidis kõrgema sisaldusega ($\geq 10\%$) ühenditest enamikes proovides veel metüülheksanaati, metüül-oktanaati, atseethapet, heksaanhapet, heksanaali ning 2-penteen-1-ooli. Seejuures aprilli kuus kogutud proovides oli kõrgema kontsentratsiooniga korduvaks ühediks nonanaal ja 1-heksanaal, samas kui mais korjatud proovide korral sisaldus enamikes proovides atseethapet ja metüülheksanaati ($\geq 10\%$). Juunis kogutud proovides esines enamikes samuti atseethapet, kuid ka heksanaali kõrgemates kontsentratsioonides, lisaks ka heksaanhapet ja 2-penteen-1-ooli. Juulis ja augustis kogutud proovides sisaldus kõrgemas kontsentratsioonis metüül-oktanaati koguni 11,8 -34,0%.

Kui võrrelda kõrgema sisalduse poolest kõiki analüüsitud proove, siis lenduvatest ühenditest leidis kõige kõrgema sisaldusega atseethapet $54,9 \pm 1,0\%$ (ÕT-05/2-9) ja metüül-oktalaati $46,4 \pm 0,2\%$ (ÕT-05/2-1), millest mõlemad proovid olid korjatud mai teises pooles.

Kokkuvõttes on lenduvate ühendite profiilid kõigis proovides varieeruvad, kuid samas kuus kogutud proovide korral on kõrgemas kontsentratsioonis sisalduvate ühendite leiduvus sarnane. Samas enam kui pooled tabelis 5 toodud ühenditest sisaldusid alla viies proovid ja väga madalates kontsentratsioonides. Seejuures on oluline, et maitse ja aroomiprofiil tekib just

⁴² Zhou, J. et al. (2023). Global comparative analysis of volatile compounds in bee pollen. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1176392.

⁴³ El Ghouizi, A. et al. (2023). Bee Pollen as Functional Food: Insights into Its Composition and Therapeutic Properties. *Antioxidants*, 12(3), 557

⁴⁴ Csóka, M. Et al. (2025). Volatile Profile of Bee Pollens: Optimization of Sampling Conditions for Aroma Analysis, Identification of Potential Floral Markers, and Establishment of the Flavor Wheel. *Food Science & Nutrition*, 13(1), e4707.

nimelt eri ühendite kompleksina, millest prealveeruma jäävad eelkõige kõrgema sisaldusega intensiivsemad ühendid.

Tabel 5. Mesilaste õietolmus sisalduvad lenduvad ühendid.

Kontsentratsioon ± SH, % Ühendi nimetus	ÕT-04 /1-4	ÕT-04 /1-5	ÕT-04 /1-7	ÕT-04 /2-7	ÕT-05 /2-1	ÕT-05 /2-2	ÕT-05 /2-3	ÕT-05 /2-4	ÕT-05 /2-5	ÕT-05 /2-6	ÕT-05 /2-7	ÕT-05 /2-8	ÕT-05 /2-9	ÕT-06 /1-2	ÕT-06 /1-3	ÕT-06 /1-4	ÕT-06 /1-5	ÕT-06 /1-6	ÕT-06 /1-9	ÕT-06 /2-1	ÕT-06 /2-2	ÕT-06 /2-3	ÕT-06 /2-4	ÕT-06 /2-5	ÕT-06 /2-6	ÕT-06 /2-7	ÕT-06 /2-8	ÕT-06 /2-9	ÕT-07 /2-1	ÕT-07 /2-2	ÕT-07 /2-3	ÕT-07 /2-5	ÕT-07 /2-6	ÕT-07 /2-7	ÕT-07 /2-8	ÕT-07 /2-9	ÕT-08 /1-4
Atseethape	9.4 ± 3.2	-	-	<1.0	2.6 ± 0.6	10.6 ± 1.9	12.5 ± 2.6	23.4 ± 0.9	24.4 ± 14.7	1.3 ± 0.1	11.3 ± 5.0	9.1 ± 0.2	54.9 ± 1.0	10.9 ± 2.7	-	17.9 ± 0.9	19.0 ± 9.0	7.4 ± 1.6	25.8 ± 14.1	42.9 ± 2.7	19.8 ± 1.1	14.7 ± 20.3	-	4.2 ± 0.6	-	-	16.7 ± 0.6	-	-	-	15.9 ± 1.6	12.2 ± 10.9	-	23.6 ± 0.3	3.8 ± 1.0	5.2 ± 0.3	3.7 ± 0.2
Atsetoiin	<1.0	3.0 ± 0.3	<1.0	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bensaldehüüd	6.4 ± 0.8	7.8 ± 0.9	1.7 ± 0.6	<1.0	1.1 ± 0.3	2.7 ± 0.1	4.2 ± 0.0	3.7 ± 0.0	2.0 ± 0.5	16.3 ± 0.4	<1.0	36.7 ± 1.8	-	<1.0	-	-	-	2.7 ± 0.3	-	4.7 ± 1.4	3.7 ± 0.1	-	-	-	-	5.7 ± 0.3	13.6 ± 2.1	-	4.0 ± 3.3	4.2 ± 2.5	-	2.4 ± 1.5	2.0 ± 0.2	3.9 ± 0.0	6.6 ± 0.5	<1.0	-
Bensüülalkohol	-	21.0 ± 0.2	-	1.8 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	<1.0	3.3 ± 0.9	-	-	5.3 ± 0.3	-	-	-	-	1.2 ± 0.0	-	-	-	-	-	2.6 ± 0.1	-	1.2 ± 0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-Bornanoon	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.4 ± 0.1	-	-	-	-	
1,3-Butaandiool	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.8 ± 0.3		
Butaanhape	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.3 ± 0.4	11.8 ± 0.0	1.6 ± 0.0	-	-	-	-	1.3 ± 0.0	1.2 ± 0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Butürolaktoon	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.3 ± 0.3	1.5 ± 0.0	-	-	-	-	-	-	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,4-Dimetüül- bensaldehüüd	-	-	1.2 ± 0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	3.5 ± 0.4	-	1.1 ± 0.5	2.1 ± 0.0	-	0.9 ± 0.2	2.7 ± 0.4	<1.0	1.8 ± 0.7	<1.0	1.1 ± 0.2	2.2 ± 0.5	<1.0	3.0 ± 0.0	1.2 ± 0.1	2.7 ± 0.0	1.6 ± 0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-Etüül-1- heksanool	-	1.5 ± 0.7	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1.0	0.6 ± 0.1	1.0 ± 0.2	0.7 ± 0.0	-	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	1.1 ± 0.8	<1.0	-	<1.0	-	<1.0	-	<1.0	-	<1.0	<1.0	<1.0	
2-Etüül-2- butenaal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1.0	-	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	<1.0	<1.0	<1.0	1.1 ± 0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Etüülatsetaat	8.5 ± 1.2	7.6 ± 0.1	3.8 ± 0.1	14.1 ± 0.8	-	3.1 ± 0.7	3.8 ± 0.8	5.8 ± 0.6	24.0 ± 15.3	-	<1.0	-	-	-	-	5.5 ± 0.3	-	5.9 ± 0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1.0	-	-	-	-	2.0 ± 0.3	-	-
Etüülbenseen- atsetaat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0 ± 0.1	-	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Etüülbensoaat	<1.0	2.6 ± 0.1	<1.0	3.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1.0	-	-	<1.0	0.2 ± 0.0	-	-	-	2.0 ± 0.3	1.7 ± 0.1	-	<1.0	<1.0	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-Etüülfuraan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.8 ± 0.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1.0	-	-	-	<1.0	-	-	<1.0
Etüülheksanaat	-	1.0 ± 0.1	1.1 ± 0.2	1.2 ± 0.2	-	18.3 ± 3.4	11.2 ± 2.0	7.7 ± 1.9	19.4 ± 1.1	<1.0	-	-	-	1.6 ± 0.4	7.1 ± 1.0	2.7 ± 0.3	3.3 ± 0.3	3.2 ± 0.0	4.6 ± 2.3	-	-	9.7 ± 3.5	1.3 ± 0.3	3.5 ± 0.4	<1.0	6.9 ± 2.1	<1.0	1.0 ± 0.3	-	<1.0	-	7.6 ± 9.4	-	-	3.0 ± 0.0	<1.0	-
2-Etüül- heksanool	-	-	-	-	-	-	3.1 ± 0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	1.9 ± 0.4	-	-	-	-	-	<1.0
Etüülbutanaat	-	-	-	-	-	1.0 ± 0.4	1.9 ± 0.4	-	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.4 ± 0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Etüülnonanaat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0 ± 0.2	-	-	
Etüüloktanaat	<1.0	-	<1.0	1.5 ± 0.1	-	2.9 ± 0.1	-	-	-	1.3 ± 0.1	<1.0	-	-	-	1.4 ± 0.0	<1.0	0.3 ± 0.0	<1.0	0.5 ± 0.0	-	-	<1.0	<1.0	5.1 ± 0.4	-	1.3 ± 0.0	-	<1.0	-	-	-	-	-	-	4.3 ± 0.8	-	-
Etüülpentanaat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.2 ± 0.3	1.4 ± 0.0	-	1.7 ± 0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Etüülpropanaat	<1.0	-	-	<1.0	-	<1.0	-	<1.0	<1.0	-	-	-	-	2.1 ± 0.3	<1.0	1.2 ± 0.0	1.9 ± 0.3	<1.0	1.9 ± 0.4	-	<1.0	-	19.5 ± 0.3	-	2.0 ± 0.0	-	1.1 ± 0.8	14.1 ± 2.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eukalüptool	-	-	2.3 ± 0.2	-	-	-	0.3 ± 0.1	<1.0	-	-	-	-	0.8 ± 0.7	-	-	4.0 ± 0.9	-	4.1 ± 0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1.0	1.6 ± 0.2	2.0 ± 0.1	<1.0	5.7 ± 0.5	<1.0	<1.0	<1.0	1.3 ± 0.0
Fenüületüül- alkohol	-	<1.0	-	1.9 ± 0.1	-	-	-	-	-	-	-	1.9 ± 0.4	-	<1.0	-	<1.0	<1.0	2.2 ± 0.1	-	<1.0	-	-	-	-	1.7 ± 0.1	-	-	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-Fenüülhept-2- üülbutanaat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.8 ± 0.5	-	-	-	-		
α-Guaieen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1.0	4.9 ± 1.2	4.2 ± 1.4	-	-	-	-	-	4.8 ± 1.2	
Heksaanhape	-	-	-	-	<1.0	0.3 ± 0.1	<1.0	<1.0	-	-	-	-	8.8 ± 0.8	5.1 ± 3.6	24.7 ± 7.6	<1.0	7.9 ± 1.8	-	8.8 ± 0.3	11.0 ± 5.5	6.8 ± 0.2	34.7 ± 20.3	6.3 ± 3.2	<1.0	10.2 ± 0.3	4.4 ± 1.7	-	8.2 ± 2.1	-	-	-	4.2 ± 4.4	-	1.4 ± 0.5	-	-	

Tabel 5 järg. Mesilaste õietolmus sisalduvad lenduvad ühendid.

Kontsentratsioon ± SH, % Ühendi nimetus	ÕT-04 /1-4	ÕT-04 /1-5	ÕT-04 /1-7	ÕT-04 /2-7	ÕT-05 /2-1	ÕT-05 /2-2	ÕT-05 /2-3	ÕT-05 /2-4	ÕT-05 /2-5	ÕT-05 /2-6	ÕT-05 /2-7	ÕT-05 /2-8	ÕT-05 /2-9	ÕT-06 /1-2	ÕT-06 /1-3	ÕT-06 /1-4	ÕT-06 /1-5	ÕT-06 /1-6	ÕT-06 /1-9	ÕT-06 /2-1	ÕT-06 /2-2	ÕT-06 /2-3	ÕT-06 /2-4	ÕT-06 /2-5	ÕT-06 /2-6	ÕT-06 /2-7	ÕT-06 /2-8	ÕT-06 /2-9	ÕT-07 /2-1	ÕT-07 /2-2	ÕT-07 /2-3	ÕT-07 /2-5	ÕT-07 /2-6	ÕT-07 /2-7	ÕT-07 /2-8	ÕT-07 /2-9	ÕT-08 /1-4	
Heksadekaan	2.6 ± 1.1	2.3 ± 0.3	2.1 ± 0.7	3.1 ± 0.1	1.1 ± 0.1	1.4 ± 0.0	1.8 ± 0.8	<1.0	1.3 ± 0.8	1.2 ± 0.1	2.7 ± 1.0	3.8 ± 0.2	<1.0	<1.0	3.2 ± 0.3	1.5 ± 0.1	1.1 ± 0.2	<1.0	1.2 ± 0.1	-	<1.0	<1.0	1.7 ± 0.7	<1.0	2.0 ± 0.1	1.1 ± 0.2	1.5 ± 0.0	1.2 ± 0.8	3.6 ± 3.1	4.9 ± 0.7	5.4 ± 0.5	1.0 ± 0.3	2.8 ± 0.2	5.3 ± 0.1	4.6 ± 0.9	3.8 ± 0.4	6.1 ± 0.2	
(E,E)-2,4- Heksadieenaal	-	-	-	-	-	<1.0	-	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1.0	-	-	-	-	7.8 ± 0.1	-	-	-	-	-	3.9 ± 1.3	-	-	-	-	-	-	-	-
Heksanaal	5.0 ± 1.1	3.2 ± 0.3	26.3 ± 5.8	8.9 ± 1.2	<1.0	3.1 ± 0.4	0.2 ± 0.1	1.0 ± 0.4	-	<1.0	4.5 ± 5.9	6.7 ± 0.6	4.5 ± 0.1	28.0 ± 7.6	5.6 ± 1.0	18.8 ± 0.4	15.5 ± 2.4	8.5 ± 1.4	12.9 ± 3.7	10.9 ± 5.1	-	2.7 ± 3.7	17.5 ± 4.7	15.6 ± 0.6	9.3 ± 0.2	-	7.9 ± 1.5	19.6 ± 5.7	3.3 ± 4.3	<1.0	-	<1.0	<1.0	9.6 ± 0.2	-	1.8 ± 1.0	1.5 ± 0.3	
1-Heksanool	1.1 ± 0.2	10.4 ± 2.5	6.5 ± 0.4	13.3 ± 1.3	-	-	-	-	-	-	<1.0	<1.0	0.4 ± 0.1	<1.0	2.3 ± 1.0	<1.0	0.5 ± 0.1	4.8 ± 0.5	0.3 ± 0.0	<1.0	<1.0	5.7 ± 2.3	-	<1.0	3.9 ± 0.7	-	1.7 ± 0.5	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2-Heksenaal	<1.0	1.6 ± 0.0	1.8 ± 0.0	8.5 ± 1.8	-	-	-	-	-	-	<1.0	<1.0	0.2 ± 0.0	2.5 ± 0.2	-	1.2 ± 0.2	1.5 ± 0.1	<1.0	1.8 ± 0.3	<1.0	2.2 ± 0.2	<1.0	-	2.6 ± 0.0	<1.0	2.3 ± 0.3	<1.0	1.5 ± 0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2-Heksüül- 1- oktanool	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.9 ± 0.0		
Heptanaal	1.5 ± 0.2	2.2 ± 0.1	3.4 ± 1.3	1.8 ± 0.0	-	-	0.6 ± 0.1	<1.0	<1.0	<1.0	1.9 ± 1.6	<1.0	0.9 ± 0.0	-	3.2 ± 0.7	2.0 ± 0.3	5.5 ± 2.1	1.8 ± 0.1	1.3 ± 0.3	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	1.0 ± 0.0	1.7 ± 0.1	1.1 ± 0.5	1.3 ± 0.1	1.2 ± 0.2	-	-	-	1.4 ± 1.4	<1.0	-	1.3 ± 0.7	<1.0		
2-Heptanool	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.6 ± 0.1	-	-	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2-Heptanoon	<1.0	-	<1.0	1.2 ± 0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1.0	0.6 ± 0.1	4.3 ± 2.9	<1.0	-	<1.0	-	-	-	-	-	1.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1-Hepteen	1.3 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
3-Hepteen-2- oon	-	2.3 ± 1.6	<1.0	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3 ± 0.1	<1.0	<1.0	-	<1.0	-	-	-	-	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
(Z)-4- Heptenaal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.9 ± 0.8	-	-	-	-	-	-	<1.0	-	<1.0	<1.0	-	-	-	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Humuleen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1.0	-	-	3.5 ± 0.2	1.7 ± 0.4	3.4 ± 4.6	<1.0	-	<1.0	-	2.0 ± 0.3		
Isoporoon	1.4 ± 0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
cis - Kalameneen	-	-	-	-	-	<1.0	<1.0	-	-	-	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1.0	1.3 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	-	<1.0	
Kampeen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.1 ± 0.1	-	-	-	-	-		
2-Kareen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.7 ± 13.0	-	-	-	-	-	-	-		
3-Kareen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.0 ± 1.6	-	-		
(E)-Karüo- fülleen	-	-	-	-	<1.0	<1.0	<1.0	-	<1.0	-	-	-	<1.0	<1.0	-	<1.0	0.2 ± 0.1	<1.0	-	-	-	-	-	<1.0	-	<1.0	<1.0	1.9 ± 2.5	11.3 ± 0.2	5.8 ± 1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	6.6 ± 1.6	
Karüofülleen- oksiid	-	<1.0	-	-	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	-	-	<1.0	<1.0	<1.0	-	-	-	1.7 ± 0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1.0	-	-	<1.0	<1.0	-	-	-	-	-	<1.0	
α-Kopaen	-	-	-	-	-	-	-	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	1.1 ± 1.0	<1.0	1.2 ± 0.1	-	<1.0	-	
o-Ksüleen	-	-	-	-	<1.0	4.5 ± 4.7	-	3.9 ± 0.9	2.5 ± 1.0	<1.0	0.9 ± 0.4	<1.0	0.6 ± 0.0	-	-	-	-	-	-	1.4 ± 0.2	1.3 ± 0.1	-	<1.0	1.6 ± 0.1	-	<1.0	-	<1.0	6.3 ± 5.1	4.7 ± 1.5	6.2 ± 0.1	17.0 ± 18.5	2.8 ± 0.1	6.7 ± 0.5	2.1 ± 0.3	2.8 ± 3.4	<1.0	
m-Kümeen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.7 ± 0.8	-	-		
Lilla aldehüüd B	<1.0	<1.0	<1.0	1.0 ± 0.1	-	-	-	-	-	<1.0	<1.0	-	-	-	-	-	<1.0	-	<1.0	<1.0	-	-	-	-	<1.0	-	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	<1.0	-	-	
Lilla aldehüüd C	<1.0	-	-	1.8 ± 0.1	-	-	-	-	-	<1.0	-	-	-	-	-	<1.0	-	1.3 ± 0.0	-	1.4 ± 1.2	-	-	-	-	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D-Limoneen	-	-	-	-	-	2.3 ± 0.6	0.9 ± 0.1	2.4 ± 1.3	2.9 ± 0.1	1.1 ± 0.5	<1.0	-	0.9 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.0 ± 5.1	6.5 ± 2.8	9.7 ± 0.4	1.7 ± 1.8	3.5 ± 1.1	6.6 ± 0.2	3.4 ± 3.8	3.7 ± 4.0	-	
Linalool	-	1.0 ± 0.2	-	<1.0	-	-	0.1 ± 0.0	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	2.0 ± 0.1	-	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.1 ± 0.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 5 järg. Mesilaste õietolmus sisalduvad lenduvad ühendid.

Kontsentratsioon ± SH, % Ühendi nimetus	ÕT-04 /1-4	ÕT-04 /1-5	ÕT-04 /1-7	ÕT-04 /2-7	ÕT-05 /2-1	ÕT-05 /2-2	ÕT-05 /2-3	ÕT-05 /2-4	ÕT-05 /2-5	ÕT-05 /2-6	ÕT-05 /2-7	ÕT-05 /2-8	ÕT-05 /2-9	ÕT-06 /1-2	ÕT-06 /1-3	ÕT-06 /1-4	ÕT-06 /1-5	ÕT-06 /1-6	ÕT-06 /1-9	ÕT-06 /2-1	ÕT-06 /2-2	ÕT-06 /2-3	ÕT-06 /2-4	ÕT-06 /2-5	ÕT-06 /2-6	ÕT-06 /2-7	ÕT-06 /2-8	ÕT-06 /2-9	ÕT-07 /2-1	ÕT-07 /2-2	ÕT-07 /2-3	ÕT-07 /2-5	ÕT-07 /2-6	ÕT-07 /2-7	ÕT-07 /2-8	ÕT-07 /2-9	ÕT-08 /1-4	
2-Metüül-(E)-2-butenaal	-	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.7 ± 0.1	3.2 ± 0.1	-	2.1 ± 0.2	-	2.3 ± 0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2-Metüül-1-butanol	-	3.1 ± 0.0	1.5 ± 0.2	1.5 ± 0.4	-	-	-	-	-	-	<1.0	<1.0	0.2 ± 0.0	<1.0	<1.0	<1.0	0.2 ± 0.0	<1.0	0.1 ± 0.0	-	-	<1.0	<1.0	-	<1.0	-	<1.0	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3-Metüül-1-butanol	37.2 ± 0.0	5.5 ± 0.3	1.7 ± 0.1	2.2 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	3.4 ± 3.5	2.7 ± 0.1	0.5 ± 0.0	-	<1.0	<1.0	0.4 ± 0.1	<1.0	0.2 ± 0.0	<1.0	-	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	-	<1.0	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2-Metüül-1-hepteen-6-oon	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.0 ± 2.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2-Metüül-1-propanool	<1.0	1.3 ± 0.1	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
3-Metüül-2-pentanoon	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.4 ± 2.4	-	-	-	-	-	-	-	-	
5-Metüül-3-hepteen-2-oon	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.2 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6-Metüül-5-hepteen-2-oon	1.1 ± 0.1	2.5 ± 0.0	1.2 ± 0.0	1.4 ± 0.0	<1.0	1.0 ± 0.1	0.7 ± 0.1	1.1 ± 0.0	<1.0	<1.0	1.0 ± 0.1	5.1 ± 0.4	2.4 ± 0.1	3.5 ± 0.0	-	3.9 ± 0.3	1.9 ± 0.3	1.8 ± 0.1	2.7 ± 0.5	2.6 ± 0.0	3.6 ± 0.0	-	1.8 ± 0.3	1.8 ± 0.1	1.8 ± 0.1	6.1 ± 0.4	-	3.4 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	-	-		
Metüül-8-nonenaat	-	-	-	-	2.9 ± 0.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
2-Metüül-butanaal	1.3 ± 0.1	2.6 ± 1.2	5.2 ± 2.8	2.5 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	<1.0	<1.0	0.4 ± 0.0	<1.0	<1.0	1.2 ± 0.0	1.2 ± 0.1	6.8 ± 0.3	0.7 ± 0.1	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	2.4 ± 0.1	<1.0	1.5 ± 0.0	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3-Metüül-butanaal	2.7 ± 1.5	4.0 ± 2.4	8.7 ± 3.8	4.0 ± 0.4	-	-	-	-	-	-	<1.0	1.2 ± 0.1	0.8 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.6 ± 0.3	2.3 ± 0.1	2.4 ± 0.1	12.2 ± 0.2	1.0 ± 0.2	1.3 ± 0.1	2.2 ± 0.1	1.2 ± 0.5	1.3 ± 0.2	1.7 ± 0.1	3.6 ± 0.0	2.9 ± 0.2	3.7 ± 0.3	1.2 ± 0.2	-	-	-	-	<1.0	-	<1.0	-	<1.0	
2-Metüül-butanaat	<1.0	-	<1.0	<1.0	-	<1.0	1.8 ± 0.3	1.0 ± 0.2	<1.0	-	-	1.2 ± 0.0	2.9 ± 0.0	1.9 ± 0.4	16.0 ± 0.4	3.2 ± 0.2	3.8 ± 0.9	<1.0	3.6 ± 0.1	3.5 ± 0.1	2.6 ± 0.2	<1.0	-	<1.0	16.8 ± 1.3	-	1.7 ± 0.0	2.3 ± 0.9	-	2.2 ± 0.2	1.0 ± 0.0	<1.0	<1.0	-	-	<1.0	-	3.8 ± 0.5
3-Metüül-butanaat	<1.0	-	<1.0	<1.0	-	-	-	-	-	-	<1.0	<1.0	-	4.2 ± 0.5	<1.0	2.0 ± 0.1	1.4 ± 0.4	<1.0	<1.0	-	-	<1.0	-	-	<1.0	-	5.1 ± 0.2	-	<1.0	6.3 ± 0.3	1.3 ± 0.0	-	2.1 ± 0.3	-	<1.0	-	9.8 ± 0.7	
Metüül-butanaat	-	-	-	-	1.8 ± 0.1	<1.0	2.7 ± 0.5	<1.0	<1.0	-	-	<1.0	0.2 ± 0.0	<1.0	-	-	-	-	-	-	<1.0	-	-	-	-	<1.0	-	-	1.4 ± 1.2	<1.0	<1.0	<1.0	1.4 ± 0.2	-	<1.0	-	<1.0	
Metüül-dekanaat	-	-	-	-	4.6 ± 0.1	2.2 ± 0.1	3.4 ± 0.4	2.4 ± 0.4	<1.0	2.9 ± 0.2	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1.0	-	-	-	-	-	<1.0	<1.0	<1.0	4.8 ± 3.5	6.1 ± 0.6	1.1 ± 0.1	7.0 ± 0.7	-	<1.0	-	
Metüül-dodekanaat	-	-	-	-	2.6 ± 0.2	1.0 ± 0.1	1.8 ± 0.1	1.6 ± 0.3	<1.0	3.9 ± 1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1.0	1.7 ± 0.5	5.8 ± 0.0	4.5 ± 0.4	22.0 ± 3.4	-	-	
2-Metüül-etüülbutanaat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1.0	-	<1.0	-	-	-	-	<1.0	6.3 ± 0.8	3.3 ± 0.7	-	9.4 ± 0.5	1.0 ± 0.1	1.1 ± 0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3-Metüül-etüülbutanaat	-	-	<1.0	-	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	<1.0	-	<1.0	-	<1.0	<1.0	-	<1.0	<1.0	3.3 ± 1.1	2.9 ± 0.2	-	3.4 ± 0.1	4.0 ± 0.3	1.0 ± 0.7	-	1.2 ± 0.3	-	-	-	-	-	-	-	-
2-Metüül-etüülpropanaat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1.0	0.2 ± 0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.2 ± 0.4	2.3 ± 0.5	-	1.7 ± 0.2	3.0 ± 0.2	<1.0	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Metüül-heksadekanaat	-	-	-	-	3.2 ± 0.2	1.8 ± 0.2	2.4 ± 0.0	2.6 ± 0.7	<1.0	3.5 ± 0.5	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.7 ± 0.2	1.1 ± 0.7	3.7 ± 0.6	3.4 ± 0.7	3.2 ± 0.0	6.6 ± 2.1	3.0 ± 0.7	
Metüül-heksanaat	-	-	<1.0	-	17.4 ± 2.5	10.9 ± 0.1	18.9 ± 5.9	12.5 ± 0.8	10.2 ± 1.7	12.7 ± 0.6	8.5 ± 10.7	-	-	-	<1.0	<1.0	0.8 ± 0.2	<1.0	-	<1.0	<1.0	1.2 ± 0.5	-	<1.0	1.0 ± 0.1	1.1 ± 0.2	<1.0	-	12.4 ± 11.2	6.6 ± 0.3	7.2 ± 0.4	15.0 ± 20.9	7.9 ± 1.1	6.5 ± 1.8	1.7 ± 0.2	8.2 ± 2.9	4.4 ± 0.1	
Metüül-heptanaat	-	-	-	-	4.0 ± 1.6	-	-	-	-	2.9 ± 0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Metüül-isovaleraat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.5 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Metüülkapraat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.8 ± 0.7	-	-	
2-Metüül-metüülbutanaat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.4 ± 0.4	-	-	-	<1.0	1.5 ± 0.0	-	-	<1.0	-	-	-	-	-
Metüül-nonanaat	-	-	-	-	7.0 ± 0.5	2.2 ± 0.1	3.2 ± 0.3	3.3 ± 0.1	1.5 ± 0.7	5.2 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1.0	2.3 ± 0.2	<1.0	2.6 ± 0.1	-	8.0 ± 0.9	4.0 ± 1.4	2.5 ± 0.1	
Metüül-oktanaat	-	-	-	-	46.4 ± 0.2	24.8 ± 0.4	25.0 ± 2.1	18.5 ± 2.1	5.5 ± 0.1	39.5 ± 1.0	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34.0 ± 36.8	20.7 ± 5.3	17.7 ± 0.1	12.3 ± 8.7	33.2 ± 0.4	11.8 ± 0.0	19.0 ± 0.9	26.4 ± 2.4	28.6 ± 0.1	

Tabel 5 järg. Mesilaste õietolmus sisalduvad lenduvad ühendid.

Kontsentratsioon ± SH, % Ühendil nimetus	ÕT-04 /1-4	ÕT-04 /1-5	ÕT-04 /1-7	ÕT-04 /2-7	ÕT-05 /2-1	ÕT-05 /2-2	ÕT-05 /2-3	ÕT-05 /2-4	ÕT-05 /2-5	ÕT-05 /2-6	ÕT-05 /2-7	ÕT-05 /2-8	ÕT-05 /2-9	ÕT-06 /1-2	ÕT-06 /1-3	ÕT-06 /1-4	ÕT-06 /1-5	ÕT-06 /1-6	ÕT-06 /1-9	ÕT-06 /2-1	ÕT-06 /2-2	ÕT-06 /2-3	ÕT-06 /2-4	ÕT-06 /2-5	ÕT-06 /2-6	ÕT-06 /2-7	ÕT-06 /2-8	ÕT-06 /2-9	ÕT-07 /2-1	ÕT-07 /2-2	ÕT-07 /2-3	ÕT-07 /2-5	ÕT-07 /2-6	ÕT-07 /2-7	ÕT-07 /2-8	ÕT-07 /2-9	ÕT-08 /1-4	
3-Metüül- pentanaat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.4 ± 0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4-Metüül- pentanaat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.8 ± 1.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-Metüül- pentanool	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.0 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-Metüül- propanaat	-	-	-	<1.0	-	-	-	<1.0	-	-	3.1 ± 3.8	<1.0	1.4 ± 0.0	<1.0	-	<1.0	2.0 ± 0.3	<1.0	1.8 ± 0.1	1.4 ± 0.0	1.4 ± 0.3	3.1 ± 1.8	-	-	4.1 ± 0.2	1.4 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	<1.0	-	-	-	-	-
Metüül- propionaat	-	-	-	-	-	-	-	<1.0	-	-	-	-	-	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.1 ± 0.4	-	-	-	-	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nonaanhape	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.8 ± 0.1	-	-	-	-	1.1 ± 0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nonanaal	12.4 ± 0.1	3.7 ± 0.3	13.1 ± 1.6	5.5 ± 0.4	2.0 ± 0.2	3.1 ± 0.3	3.9 ± 0.3	3.3 ± 0.1	1.9 ± 0.1	3.8 ± 0.7	5.5 ± 2.7	3.6 ± 0.2	2.1 ± 0.6	1.7 ± 0.4	8.9 ± 0.0	7.4 ± 0.4	4.7 ± 1.2	5.4 ± 0.1	3.1 ± 0.6	2.4 ± 0.0	1.3 ± 1.2	1.5 ± 1.5	2.9 ± 0.2	1.5 ± 0.1	4.9 ± 0.3	2.0 ± 0.3	10.5 ± 0.6	3.2 ± 0.2	4.1 ± 1.9	9.9 ± 1.1	7.2 ± 0.5	9.7 ± 9.9	4.9 ± 0.4	7.3 ± 0.9	5.5 ± 0.8	7.9 ± 0.1	7.4 ± 0.3	
β-okimeen	-	-	-	-	-	-	2.0 ± 1.8	-	-	-	2.9 ± 3.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Oktaanhape	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.1 ± 0.1	<1.0	1.0 ± 0.2	-	-	1.8 ± 1.3	-	-	-	-	2.0 ± 0.0	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,5-Oktadien- 2-oon	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.7 ± 1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Oktanaal	-	-	2.1 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.2 ± 0.1	-	-	-	<1.0	1.2 ± 0.1	-	<1.0	2.1 ± 0.0	<1.0	1.9 ± 0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1-Oktanool	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.4 ± 0.0	-	-	-	-	6.2 ± 2.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1-Okteen	1.3 ± 0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
1-Okteen-3-ool	1.7 ± 0.2	2.2 ± 0.1	1.3 ± 0.2	1.9 ± 0.1	<1.0	<1.0	-	-	<1.0	-	<1.0	-	-	1.6 ± 0.1	-	1.5 ± 0.2	0.9 ± 0.1	1.5 ± 0.4	1.0 ± 0.1	-	1.5 ± 0.1	-	<1.0	<1.0	1.5 ± 0.0	1.0 ± 0.0	<1.0	1.1 ± 0.4	1.7 ± 1.3	<1.0	<1.0	-	-	<1.0	-	-	2.5 ± 0.1	
2,3- Pentaandioon	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.9 ± 0.2	-	-	-	-	3.1 ± 0.3	-	-	-	-	2.7 ± 0.0	-	-	-	3.5 ± 1.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Pentanaal	<1.0	1.5 ± 0.0	2.5 ± 0.2	-	-	-	0.8 ± 0.6	-	-	-	-	<1.0	-	-	1.3 ± 0.1	-	6.9 ± 0.5	<1.0	-	13.8 ± 0.4	2.6 ± 3.4	3.1 ± 1.3	-	5.4 ± 0.3	10.0 ± 0.1	3.8 ± 0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
1-Pentanool	<1.0	1.0 ± 0.0	<1.0	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1.0	1.0 ± 0.3	<1.0	<1.0	1.2 ± 0.4	<1.0	-	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	-	-	-	-	-	-	-		
2-Penteen-1-ool	-	-	<1.0	1.7 ± 0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.8 ± 0.1	-	<1.0	16.1 ± 3.9	-	7.1 ± 9.3	-	14.6 ± 0.9	-	11.4 ± 1.4	12.7 ± 0.3	<1.0	8.1 ± 2.3	-	19.0 ± 2.0	-	-	-	-	-	-	-	-		
(Z)-2-Penteen-1- ool, atsetaat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2 ± 0.0	-	0.6 ± 0.3	-	-	-	<1.0	<1.0	-	1.2 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
3-Penteen-2-ool	-	2.2 ± 0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
1-Penteen-3-ool	-	-	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.9 ± 0.6	10.0 ± 3.8	-	-	<1.0	4.9 ± 1.5	-	3.2 ± 1.5	-	-	7.6 ± 0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
2-Pentenaal	-	-	<1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.4 ± 0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
α-Pineen	<1.0	<1.0	-	-	-	-	1.8 ± 0.1	<1.0	-	<1.0	-	<1.0	-	-	-	<1.0	-	<1.0	0.1 ± 0.0	-	-	<1.0	-	<1.0	-	<1.0	-	<1.0	-	<1.0	-	<1.0	<1.0	1.2 ± 0.1	-	1.3 ± 0.1	-	<1.0
n-Propüül- atsetaat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.8 ± 0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Terpineen-4-ool	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.3 ± 0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
DL-Treoniin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14.2 ± 1.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Tujoon	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.2 ± 1.0	-	-	-		

3.6 Suhkrute sisaldused

Mesilasõietolm sisaldab põhiliselt monosahhariide (fruktoos ja glükoos) ja väiksemas koguses disahhariide (sahharoos, turanoos, maltoos, trehaloos jne), kusjuures fruktoosi/glükoosi suhe jääb tavaliselt vahemikku 1,20–1,50 ⁴⁵.

Kõikides analüüsitud mesilasõietomu proovides olid domineerivad suhkrud glükoos ja fruktoos. Saadud analüüsitulemused on esitatud tabelis 6. Glükoosi ja fruktoosi keskmised sisaldused olid vastavalt 13,75% (vahemikus 7,18-20,37) ja 18,52% (vahemikus 13,74-21,92). Seega oli glükoosisalduse varieeruvus kõikide proovide vahel oli ligi kolm korda, fruktoosi sialduse varieeruvus aga alla kahe korra. Disahhariid sukroosi sisaldused jäid alla 2 g/100 g ja seda ei võetud suhkrute kogusisaldusse arvesse võetud.

Meie analüüsitulemused langevad hästi kokku ka Bulgaaria⁴⁶ mesilasõietolmu glükoosi ja fruktoosi sisaldustega, mis olid vastavalt vahemikus 11,1 – 23,6 ja 13,75-26,3.

Tabel 6. Suhkrute sisaldused mesilasõietomuproovides

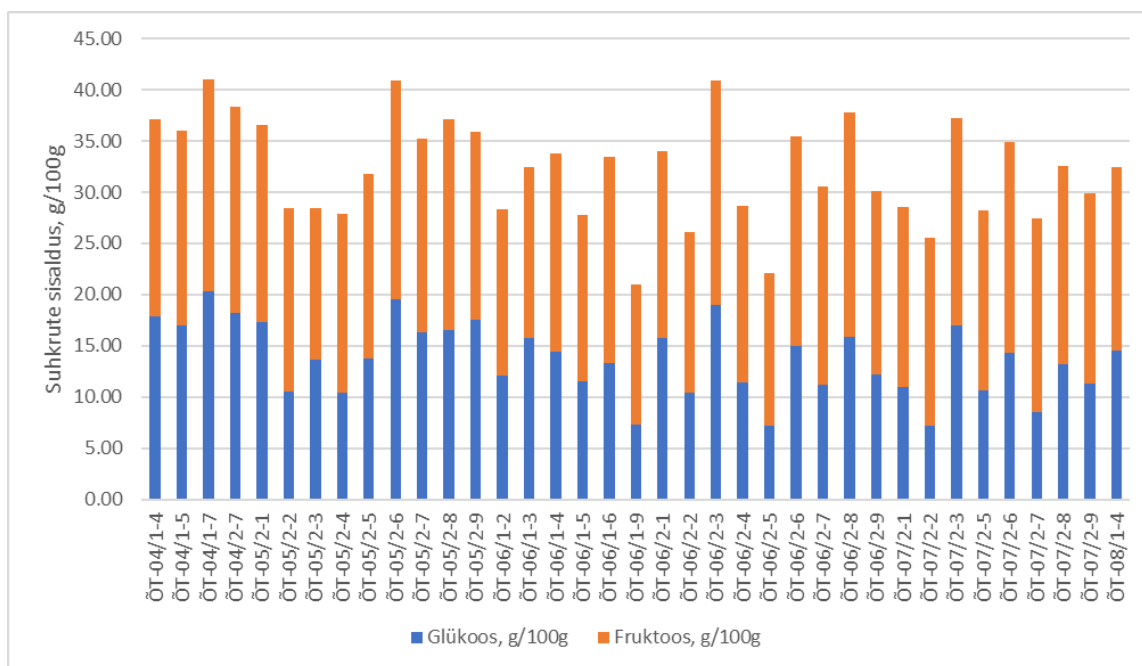
Proovi tähis	Glükoos, g/100g	Fruktoos, g/100g	G+F, g /100g	F/G	Sukroos, g/100
ÕT-04/1-4	17,84	19,30	37,14	1,08	< 2,0
ÕT-04/1-5	16,98	19,05	36,03	1,12	< 2,0
ÕT-04/1-7	20,37	20,60	40,97	1,01	< 2,0
ÕT-04/2-7	18,16	20,20	38,36	1,11	< 2,0
ÕT-05/2-1	17,33	19,23	36,56	1,11	< 2,0
ÕT-05/2-2	10,54	17,88	28,42	1,70	< 2,0
ÕT-05/2-3	13,61	14,82	28,43	1,09	< 2,0
ÕT-05/2-4	10,40	17,54	27,94	1,69	< 2,0
ÕT-05/2-5	13,72	18,08	31,80	1,32	< 2,0
ÕT-05/2-6	19,57	21,32	40,89	1,09	< 2,0
ÕT-05/2-7	16,28	18,92	35,20	1,16	< 2,0
ÕT-05/2-8	16,58	20,59	37,17	1,24	< 2,0
ÕT-05/2-9	17,56	18,33	35,89	1,04	< 2,0
ÕT-06/1-2	12,06	16,26	28,33	1,5	< 2,0
ÕT-06/1-3	15,73	16,67	32,40	1,06	< 2,0
ÕT-06/1-4	14,43	19,39	33,81	1,34	< 2,0
ÕT-06/1-5	11,53	16,29	27,82	1,41	< 2,0
ÕT-06/1-6	13,29	20,18	33,47	1,52	< 2,0
ÕT-06/1-9	7,27	13,74	21,01	1,89	< 2,0
ÕT-06/2-1	15,80	18,25	34,05	1,16	< 2,0
ÕT-06/2-2	10,47	15,69	26,16	1,50	< 2,0

⁴⁵ Thakur, M.; Nanda, V. Composition and functionality of bee pollen: A review. Trends Food Sci. Technol. 2020, 98, 82–106. [

⁴⁶ Zheko Radev. Sugars Composition of Bee-Collected Pollen. Proceedings of the Bulgarian Academy of Sciences 2021 74(11):1599-1605. DOI:10.7546/CRABS.2021.11.03

ÕT-06/2-3	18,93	21,92	40,85	1,16	< 2,0
ÕT-06/2-4	11,40	17,25	28,65	1,51	< 2,0
ÕT-06/2-5	7,24	14,81	22,05	2,05	< 2,0
ÕT-06/2-6	14,94	20,55	35,49	1,38	< 2,0
ÕT-06/2-7	11,19	19,38	30,57	1,73	< 2,0
ÕT-06/2-8	15,89	21,86	37,75	1,38	< 2,0
ÕT-06/2-9	12,17	17,93	30,10	1,47	< 2,0
ÕT-07/2-1	10,93	17,63	28,56	1,61	< 2,0
ÕT-07/2-2	7,18	18,32	25,50	2,55	< 2,0
ÕT-07/2-3	16,93	20,33	37,26	1,20	< 2,0
ÕT-07/2-5	10,65	17,54	28,19	1,65	< 2,0
ÕT-07/2-6	14,29	20,65	34,94	1,45	< 2,0
ÕT-07/2-7	8,55	18,93	27,48	2,21	< 2,0
ÕT-07/2-8	13,25	19,28	32,53	1,46	< 2,0
ÕT-07/2-9	11,30	18,60	29,90	1,65	< 2,0
ÕT-08/1-4	14,49	17,96	32,45	1,24	< 2,0
Keskmine	13,75	18,52	32,27	1,42	< 2,0
Vahemik	7,18 – 20,37	13,74 – 21,92	21,01 - 40,89	1,01 – 1,73	

Joonisel 6 on visualiseeritud mesilasõietolmu proovide suhkrusisaldused. Tulpdiagramm näitab iga uuritud proovi glükoosi ja fruktoosi sisaldust grammides 100 grammi kuivaine kohta.



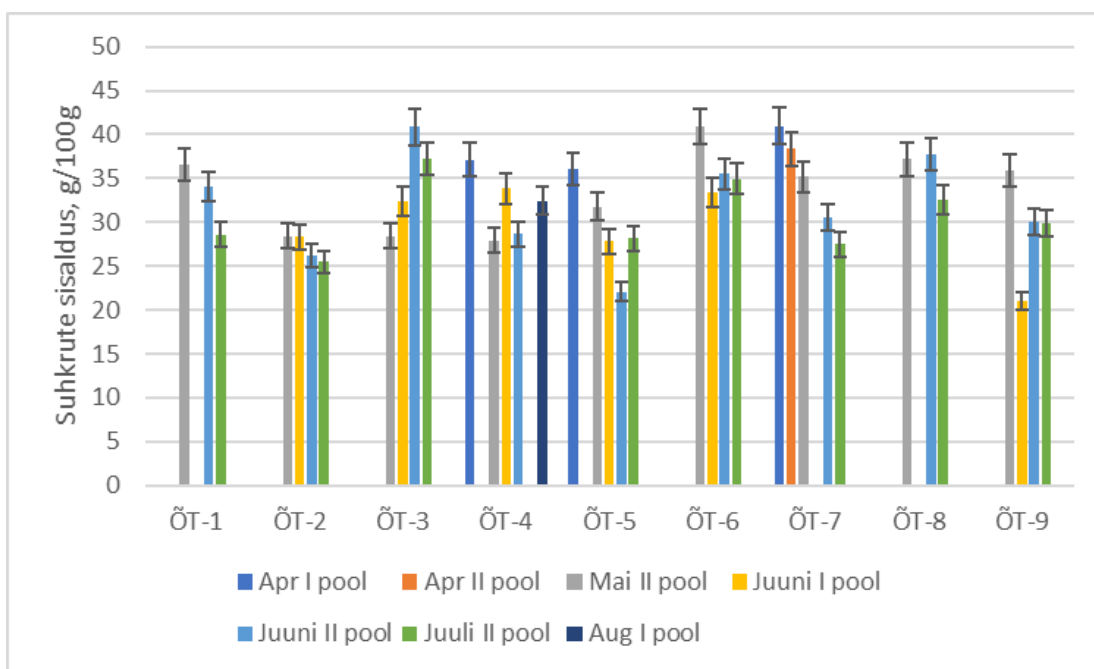
Joonis 6. Glükoosi ja fruktoosi jaotus mesilasõietomudes

Sellel joonisel on näha, et fruktoosi sisaldus (oranžid tulbad) on enamikus proovides suurem kui glükoosi sisaldus (sinised tulbad). Fruktoosi/glükoosi suhe jäi vahemikku 1,01 – 1,78. Kõrgema fruktoosi sisalduse poolest paistsid silma juuni teisel poolel ja juuli teisel poolel korjatud mesilasõietolmud. See on kooskõlas kirjanduses leiduvate andmetega, kus mesilasõietolmu fruktoosi/glükoosi suhe on tavaliselt vahemikus 1,20 kuni 1,50. Ainsana eristus teistest proov ÖT-07/2-2, mille puhul oli nende suhe 2,55.

Joonisel 7 on visualiseeritud suhkrute kogusisaldus mesilagruppide ja korjeperioodide lõikes. Mesilagrupi ÖT-2 õietolmu suhkrusisaldus varieerus korjeperioodide vahel kõige vähem.

Saadud analüüsitulemuste põhjal võib järeldada, et mesilasõietolmu keemiline koostis, sealhulgas suhkrute sisaldus ja omavaheline suhe, sõltub suurel määral botaanilisest päritolust. Lisaks sellele mängivad olulist rolli ka ilmastikutingimused. Erinevate taimeliikide nektar ja õietolm sisaldavad suhkruid väga erinevates proportsioonides, mis kajastub ka mesilaste kogutud õietolmus.

Näiteks on teada, et mõne puuvilja, näiteks õunte, puhul on fruktoosisisaldus märkimisväärselt suurem kui glükoosisisaldus. Kui mesilased koguvad õietolmu peamiselt sellistelt taimedelt, siis kajastub see ka mesilasõietolmu vastavas fruktoosi ja glükoosi suhtes.



Joonis 7. Suhkrute kogusisaldused mesilagruppide ja korjeperioodide lõikes

Kokkuvõte

Käesolevas uuringus analüüsiti mesilasõietolmu keemilist koostist, keskendudes spetsiifiliste bioaktiivsete ühendite, nagu vabade aminohapete, suhkrute, polüfenoolide ja flavonoidide sisaldusele. Saadud tulemused näitavad, et mesilasõietolm on äärmiselt rikas ja mitmekesine looduslik toode, mille koostis varieerub märkimisväärselt sõltuvalt korjeperioodist, botaanilisest päritolust ja geograafilisest asukohast.

Uuring kinnitas, et mesilasõietolm on hea nii endogeensete kui ka eksogeensete ehk asendamatute aminohapete allikas. Eriti domineeriv oli proliin, mis on oluline mesilaste energiaallikas, kuid suurimaks üllatuseks oli eksogeensetest aminohapetest histidiini kõrge sisaldus.

Süsivesikute osas tõime välja, et fruktoos ja glükoos on mesilasõietolmu peamised suhkrud. Nende suhe varieerub proovide vahel, mis on väärtuslik marker õietolmu päritolu ja liigi määramisel. Polüfenoolide ja flavonoidide analüüs näitas, et teatud korjeperioodidel, eriti aprillikuus, on nende bioaktiivsete ühendite sisaldus eriti kõrge. Nende leidude põhjal saab mesilasõietolmu pidada funktsionaalseks toiduaineks, millel on potentsiaali pakkuda märkimisväärtset antioksüdantset ja põletikuvastast toimet.

Kokkuvõttes annab see uuring väärtuslikku teavet Eesti mesilasõietolmu keemilise profiili kohta ning kinnitab, et see on toitev ja bioloogiliselt aktiivne looduslik supertoit. Järgnevad uuringud võiksid keskenduda spetsiifiliste bioaktiivsete ühendite eraldamisele ja nende potentsiaalse rakenduse uurimisele toidulisandite või ravimite tootmises.