

Projekta nr. 23-00-A01612 – 000007

**“Skuju zaļās biomasas pilna cikla pārstrāde augstvērtīgu
izejvielu ķīmijas un farmācijas industrijai ieguvei”**

Pārskats par MP6 periodā

(2024. gada novembris – 2025. gada janvāris)

Veiktajām darbībām



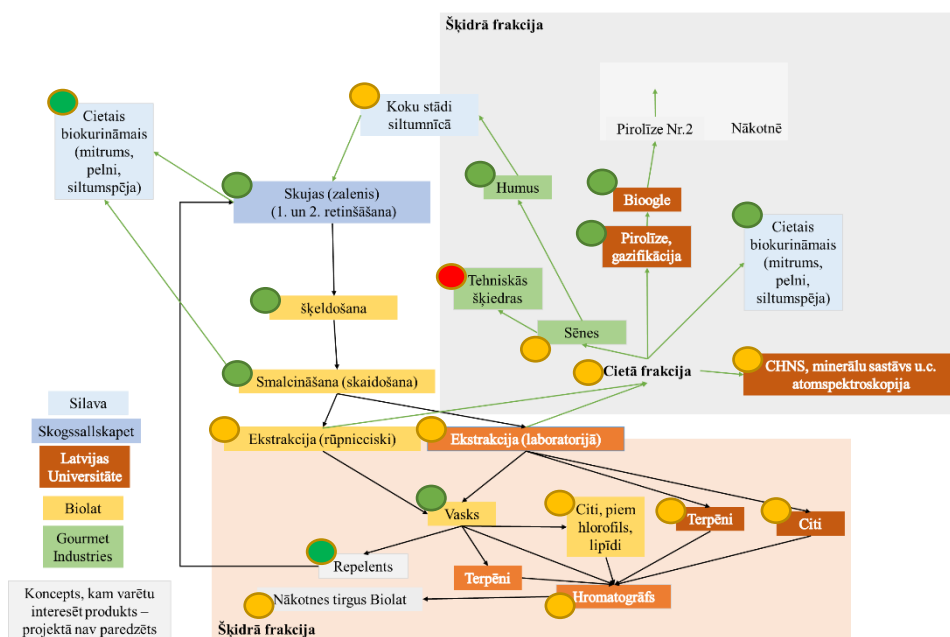
Silava, 2025.

Saturs

1. PROJEKTA VISPĀRĒJĀ SHĒMA	3
2. IEPĪRKUMA VEIKŠANA	3
3. BIOMASAS EKSTRAKCIJA.....	3
4. CIETĀS BIOMASAS ATLIKUMU HIDROTERMĀLĀS KARBONIZĀCIJAS OPTIMIZĀCIJA.....	4
4.1. Humīnskābju funkcionālo grupu un īpašību raksturojums	8
4.2. Fulvoskābju un blakusproduktu šķīdumu analīze	18
5. CIETĀ ATLIKUMA BIOĻĢISKĀ KONVERSIJA	23
6. PUBLICITĀTES NODROŠINĀŠANA.....	25
SECINĀJUMI	27

Projekta sadarbības partneri: Latvijas Universitāte, SIA Gourmet Industries, SIA Biolat, SIA Skogssallskapet.

6. MP laikā ir veiktas (zaļš) un turpina (dzeltens) pētnieki strādāt pie projekta vairāku sadaļu realizācijas, kas atzīmētas projekta shēmā Nr.1. Ar sarkanu ir atzīmētas pētnieciskās stadijas, kuras uzsāks pētnieki tuvākajā laikā.



1.att. Projekta principiālā shēma un progress. Apzīmējumi zaļš – paveikts; dzeltens – pētījums turpinās; sarkans – tuvākajā laikā tiks uzsākts.

Projekta MP6 materiālu un piederumu iepirkšana ir veikta saskaņā ar partneru izlietoto materiālu atjaunošanu t.i. Partneri ir saņēmuši nepieciešamos laboratorijas reaģentus un materiālus. Maksājuma dokumenti ir ieklauti MP6.

Biolat AS veca zaļās biomasas pilotpartijas sagatavošana ekstrakcijai, lai pārliecinātos par ekstrakcijas iekārtu tehnoloģisko darbību. Veica iekārtu siltināšanu, darbam zemākās ekstrakcijas temperatūrās, kā arī veica siltummaiņu regulēšana optimālu darba apstākļu nodrošināšanai. Ieguva sākotnējo tehnisko

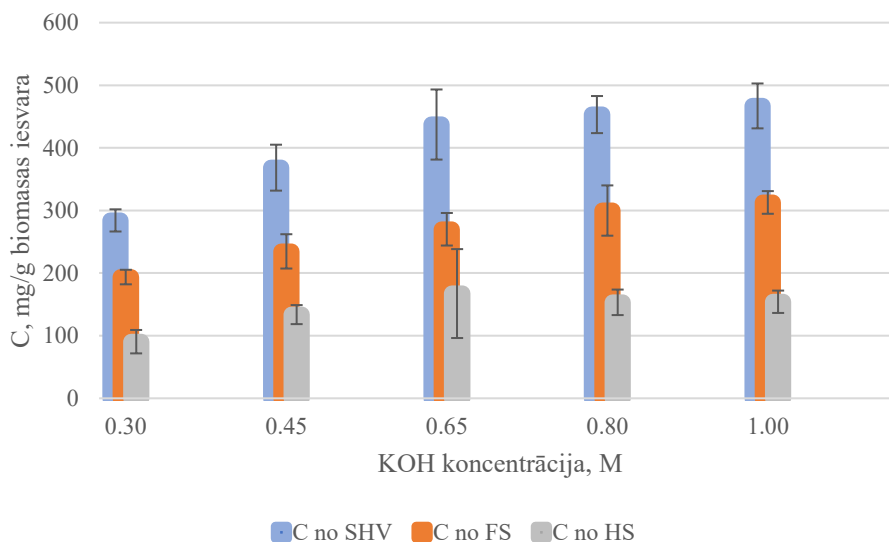
ekstraktu tālākai izpētei. Paredzams, ka nākamo ekstraktu pētniecībai iegūs no jaunaudzēs audzētajām eglēm decembra mēnesī.

LU pētnieciskā daļa veica skuju biomasas HTC atkārtojumus, lai prliecinātos par rezultātu atkārtojamību. Iegūtajiem humīnskābju šķīdumiem noteica kopējo oglekļa saturu (TOC), kopējos cukurus, kopējos polifenolus, procianidīnus, flavanolus, antiradikālās un antioksidatīvās aktivitātes testus. Kopumā veiktas 7 dažādas analīzes 30 paraugiem 3 atkārtojumos, kas veido 1890 rezultātus. Iegūto rezultātu salīdzināšanai nepieciešams pielietot datu statistiskās apstrādes metodi, lai liela daudzuma dati tiktu vizualizēti un būtu viegli saprotami.

Paralēli eksperimentu veikšanai gatavota publikācija par zaleņa ekstrakciju ar dažādiem spirtiem.

4. CIETĀS BIOMASAS ATLIKUMU HIDROTERMĀLĀS KARBONIZĀCIJAS OPTIMIZĀCIJA

Lai izvērtētu sārma koncentrācijas ietekmi un tā optimālo koncentrāciju turpmākajiem pētījumiem, hidrotermālu humifikāciju 215 °C temperatūra 14 stundas ar 5 kālija sārma (KOH) koncentrācijām – 0,30; 0,45; 0,65; 0,80; 1,00 m. Rezultāti apkopoti 2. attēlā.



2. att. Oglekļa iznākums atkarībā no KOH koncentrācijas

Izvērtējot dažādu sārma koncentrāciju ietekmi uz kopējo SHV (humīns), FS (fulvoskābes) un HS (humīnskābes) frakcijām secināms, ka humīnskābju iznākums 0,65 M KOH sasniedz maksimumu (185 mg/g) un nav novērots lielāks iznākums, palielinot KOH koncentrāciju. Līdzīgi ir ar kopējo SHV un SFS – straujākais kāpums ir līdz 0,65 M KOH

koncentrācijai, taču pēc tam iznākums daudzuma palielinājums ievērojami sarūk, palielinot KOH koncentrāciju, kas liecina, ka 0,65 M KOH ir optimālākā koncentrācija, kurā veikt hidrotermālu humifikāciju. Optimizācijas nolūkos veica vairākas sintēzes 6 dažādās temperatūrās un 5 laikos, kas apkopoti 1. tabulā. Eksperimenti veikti 3 atkārtojumos.

1. tabula

Eksperimentāli iegūtie SHV oglekļa pārnese dati

T, °C	T, h	SHV, mg c/g	DI, mg c/g	SFS, mg c/g	DI, mg c/g	SHS, mg c/g	DI, mg c/g
155	2	258	27	152	106	106	43
	4	291	12	138	153	153	9
	9	329	43	142	187	187	11
	14	337	76	172	189	189	65
	24	302	106	177	170	170	2
170	2	208	28	135	73	73	10
	4	241	28	161	80	80	25
	9	307	30	185	122	122	42
	14	366	3	208	157	157	20
	24	384	45	240	143	143	12
185	2	319	84	180	22	139	105
	4	368	93	196	40	172	95
	9	380	88	214	26	166	107
	14	423	83	218	15	204	96
	24	423	73	241	17	182	82
200	2	340	56	181	9	158	47
	4	365	81	204	50	160	43
	9	418	85	221	12	198	92
	14	430	76	235	43	196	37
	24	440	51	249	39	191	90
215	2	319	65	185	27	134	48
	4	380	29	220	10	160	21
	9	439	28	246	22	193	29
	14	437	56	270	26	167	71
	24	446	16	263	13	183	4
230	2	330	26	185	29	144	10
	4	394	117	225	43	169	114
	9	454	55	242	13	212	55
	14	456	89	258	11	197	100
	24	429	99	254	36	174	110

Piezīmes: SHV – sintētiskās kopējās humusvielas; SFS – sintētiskās fulvoskābes un citi mazmolekulāri savienojumi; SHS – sintētiskās humīnskābes (mg oglekļa uz 1 gramu biomasas iesvara).

Pēc iegūtajiem datiem uzreiz nav iespējams saskatīt viennozīmīgu labāko temperatūras un laika režīmu, tāpēc veica datu statistisko analīzi. Datu statistiskā analīze humifikācijas laika ietekmei attiecībā uz humīnskābju iznākumu attēlota 2. tabulā.

2. tabula

Humīnskābju iznākums atkarībā no sintēzes laika (-log(p))

T, h	2	4	9	14	24
2		0,49	3,58	3,79	1,95
4	0,49		1,03	1,16	0,21
9	3,58	1,03		0,00	0,10
14	3,79	1,16	0,00		0,14
24	1,95	0,21	0,10	0,14	

Jāatzīmē, ka tabulās 1 - 5. attēloti salīdzinājumi, kuri veikti, izmantojot Tukija SHD testu, lai kontrolētu I tipa kļūdu vairākos salīdzinājumos ($p < 0,001$; $\alpha = 0,05$; $n = 3$). Lai ērtāk varētu orientēties statistiskajā nozīmīguma salīdzinājumā, visām p vērtībām aprēķināts negatīvais logaritms ($-\log(p)$), proti, kritiskā p vērtība ir 0,001, bet negatīvā logaritma gadījumā tas ir 3. Ja statistiskā nozīmīguma matricā vērtība ir >3 , tad uzskatāms, ka šo temperatūru vai laiku matricu salīdzinājumā pie attiecīgās temperatūras vai laika nav statistiskas nozīmes attiecībā pret zemāk esošo laiku vai temperatūru un ir sasniegts maksimālais iznākums.

Kā redzams 2. tabulā, nozīmīgas atšķirības novērotas starp 2 h un 9, un 24 h sintēzes gaitā, no kā secināms, ka optimālākais minimālais laiks, kas nepieciešams, lai sintezētu humīnskābes no biomasas ir 9 h. Lai noteiktu optimālo sintēzes temperatūru humīnskābju ieguvei, veica analoģu datu statistisko apstrādi, kas attēlota 3. tabulā.

3. tabula

Humīnskābju iznākums atkarībā no humifikācijas temperatūras ($-\log(p)$)

t, °C	155	170	185	200	215	230
155		0,87	0,45	0,97	0,21	0,88
170	0,87		3,52	4,54	2,87	4,39
185	0,45	3,52		0,00	0,00	0,00
200	0,97	4,54	0,00		0,04	0,00
215	0,21	2,87	0,00	0,04		0,03
230	0,88	4,39	0,00	0,00	0,03	

3. tabulā redzams, ka gadījumos, sākot nozīmības līmenis ir >3 , kas nozīmē, ka statistiski nav nozīmīgi veikt humifikāciju augstākās temperatūrās par 185 °C. Tādu pašu datu statistisko apstrādi veica no humīnskābēm atdalītajām frakcijām un dati attēloti 4. tabulā.

**Fulvoskābju un blakusproduktu iznākums atkarībā no
humifikācijas temperatūras
(-log(p))**

t, °C	155	170	185	200	215	230
155		1,18	4,40	5,76	9,17	8,44
170	1,18		0,62	1,37	3,93	3,33
185	4,40	0,62		0,01	0,90	0,58
200	5,76	1,37	0,01		0,31	0,14
215	9,17	3,93	0,90	0,31		0,00
230	8,44	3,33	0,58	0,14	0,00	

Augstākās vidējās atšķirības novērotas, salīdzinot zemākas temperatūras (185 °C un 200°C) ar augstākām temperatūrām (215 °C un 230 °C), kas liecina par minimālu iznākuma palielināšanos, palielinot temperatūru.

Salīdzinot 215 °C un 230 °C temperatūras, tās neuzrāda būtisku atšķirību ($-\log(p) > 3$). Tas liecina, ka temperatūras palielināšana virs 185 °C neveicina būtisku iznākuma palielināšanos.

Būtiskas atšķirības konsekvēnti atrastas, salīdzinot 185 °C un 200 °C ar augstākām temperatūrām (215 °C un 230 °C), norādot, ka temperatūras palielināšana no 185 °C vai 200 °C uz augstāku temperatūru statistiski nepalielina iznākumu.

Fulvoskābju un blakusproduktu frakcijas iznākuma izvērtējums atkarībā no sintēzes laika aplūkots 5. tabulā.

**Fulvoskābju un blakusproduktu iznākums atkarībā no
sintēzes laika (-log(p))**

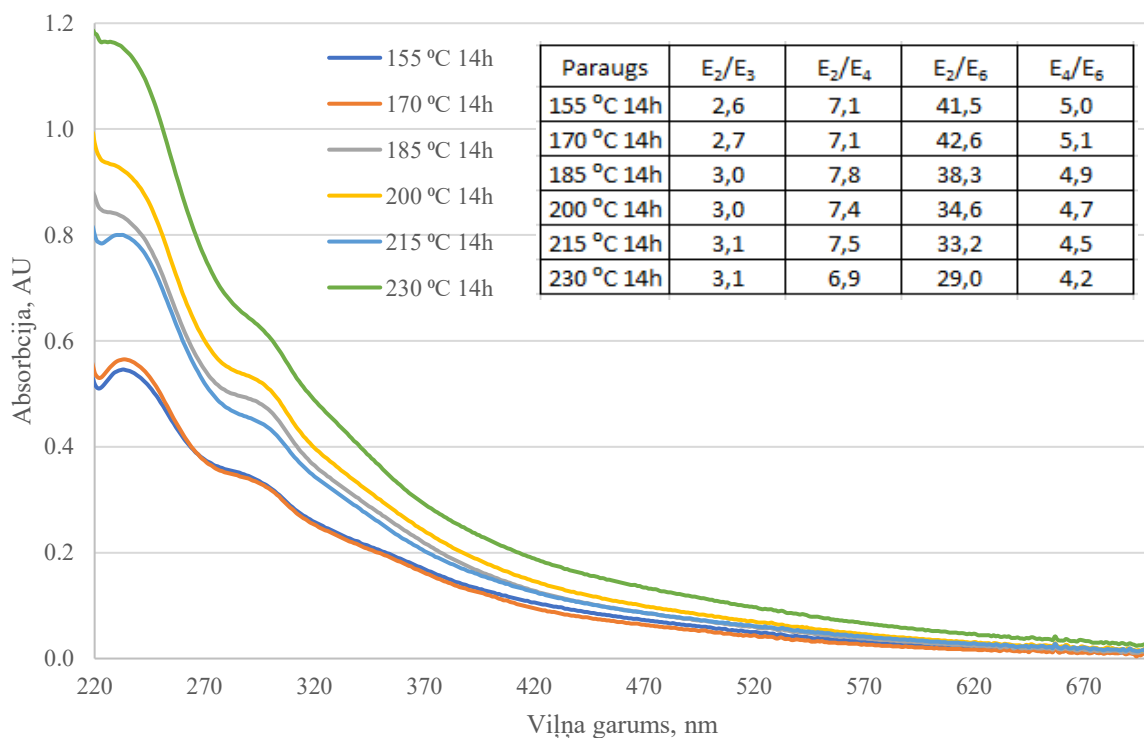
t, h	2	4	9	14	24
2		0,53	2,29	5,06	6,89
4	0,53		0,31	1,98	3,43
9	2,29	0,31		0,37	1,22
14	5,06	1,98	0,37		0,07
24	6,89	3,43	1,22	0,07	

Kā pēdējais apskatīts fulvoskābju un blakusproduktu iznākums atkarībā no sintēzes laika. 5. tabulā redzams, ka kritisko vērtību pārsniedz rezultāti, kas iegūti 14 un 24 h, kas nozīmē, ka optimālākais zemākais statistiski nozīmīgais sintēzes laiks ir 14 h.

Apkopojot datus, secināms, ka optimālākā temperatūra un laiks THT, lai iegūtu maksimāli daudz humīnskābes, ir 185 °C un 9 h, savukārt, lai iegūtu maksimāli daudz fulvoskābes un blakusproduktus, optimālie apstākļi ir 185 °C un 14 h.

4.1. Humīnskābju funkcionālo grupu un īpašību raksturojums

Lai salīdzinātu iegūto sintētisko humīnskābju humifikācijas pakāpi, relatīvo molekulmasu un hromoforo grupu daudzumu, uzņēma molekulārās absorbcijas spektrus diapazonā no 220-700 nm. Lai identificētu empīriskas strukturālo izmaiņu tendences humīnskābju sintēzes dizainā, uzņēma molekulārās absorbcijas spektrus humīnskābēm, kas sintezētas 14 h, bet dažādās temperatūrās, un rezultāti attēloti 3. attēlā.



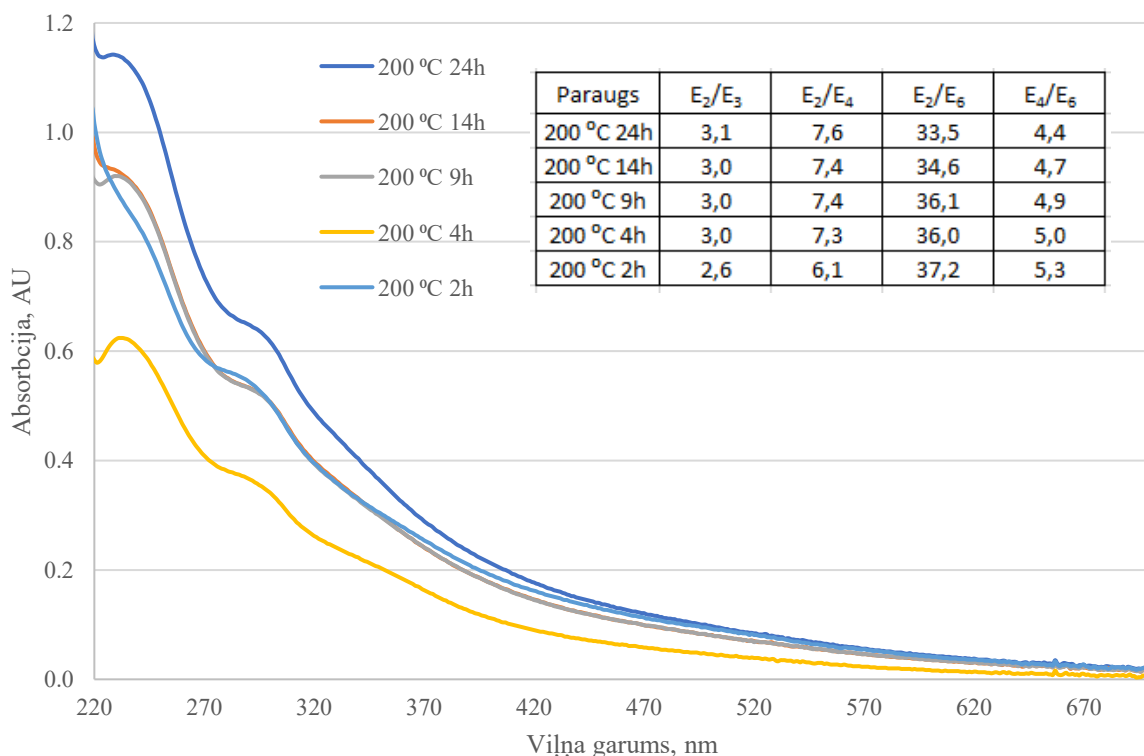
3. att. No biomasas iegūto humīnskābju molekulārās absorbcijas spektri atkarībā no sintēzes temperatūras konstantā sintēzes laikā 14 h

Absorbcijas spektri skaidri parāda vispārējas absorbcijas palielināšanos, pieaugot sintēzes temperatūrai, īpaši UV reģionā (220–400 nm), kas saistīts ar aromātisko un konjugēto hromoforo grupu veidošanos. Paraugs, kas sintezēts 230 °C temperatūrā, uzrāda visaugstāko absorbciju, atspoguļojot visintensīvāko humifikāciju un strukturālo kondensāciju, savukārt

zemākas temperatūras (155 °C un 170 °C) uzrāda zemāku vispārējo absorbciju, norādot uz vienkāršākām un mazāk aromātiskām molekulārām struktūrām.

E_2/E_3 attiecība pieaug no 2,6 155 °C temperatūrā līdz 3,1 temperatūrām, kas ir 200 °C vai augstākas, kas liecina par pāreju uz lielākām molekulmasām un sarežģītākām aromātiskajām struktūrām, pieaugot temperatūrai. Līdzīgi E_2/E_4 attiecība sasniedz maksimumu 185 °C līdz 7,8, norādot uz zemāko aromātiskuma pakāpi, bet pēc tam nedaudz samazinās pie augstākām temperatūrām, piemēram, 6,9 pie 230 °C, kas norāda uz tālāku kondensāciju un aromātisko struktūru stabilizāciju. E_2/E_6 un E_4/E_6 attiecības uzrāda samazināšanās tendenci paaugstinot sintēzes temperatūru, sākot ar augstākajām vērtībām attiecīgi 41,5 un 5,0 pie 155 °C, kas norāda uz vienkāršākām un mazāk kondensētām struktūrām, pārejot uz zemākajām vērtībām, attiecīgi 29,0 un 4,2 pie 230 °C, kas norāda uz lielāku aromātisko kondensāciju un humifikāciju.

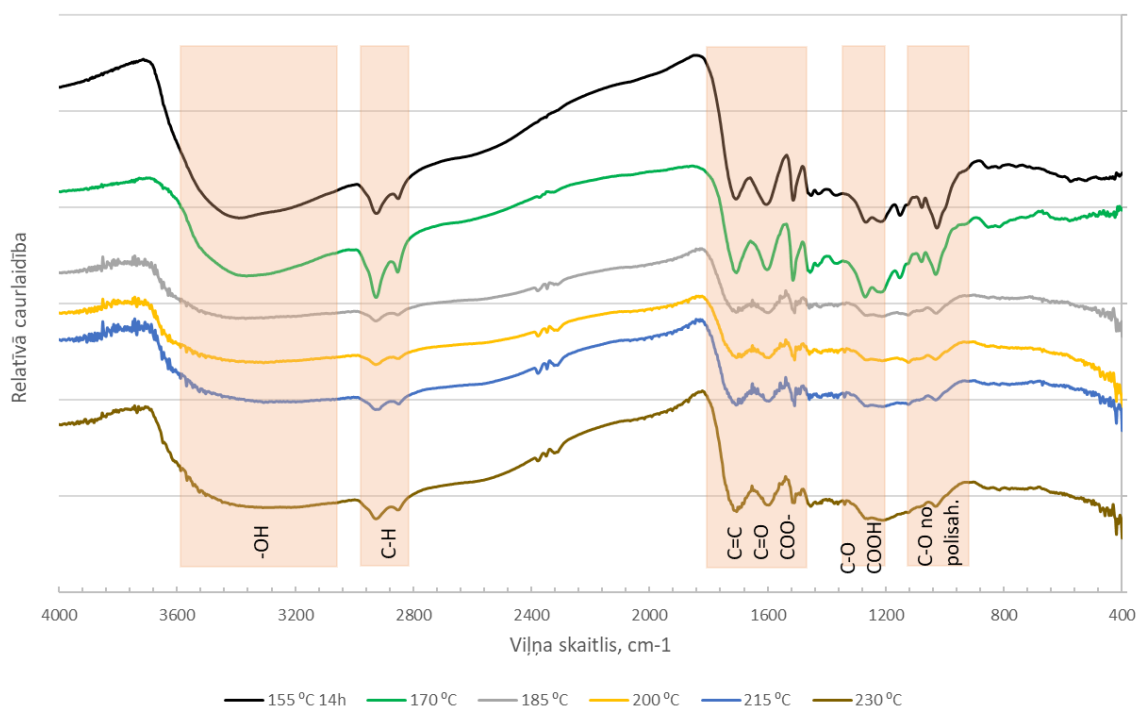
Šie rezultāti pierāda, ka temperatūras palielināšana uzlabo HS aromātiskumu un strukturālo sarežģītību, un augstākas temperatūras veicina kondensētāku un stabilāku aromātisko struktūru veidošanos. Dati norāda, ka sintēzes temperatūra ir būtisks faktors, ko var izmantot, lai pielāgotu HS specifiskiem pielietojumiem, un augstākas temperatūras nodrošina izturīgākus un funkcionāli daudzveidīgākus materiālus. Analogi apskatīja arī sintēzes laika ietekmi un par piemēru izvēlētas humīnskābes, kas sintezētas 200 °C, bet ar atšķirīgiem laikiem. Rezultāti apkopoti 4. attēlā.



4. att. No biomasas iegūto humīnskābju molekulārās absorbcijas spektri atkarībā no sintēzes laika pie konstantas sintēzes temperatūras 200 °C

Absorbcijas spektri atklāj skaidru tendenci, kur ilgāks sintēzes laiks veicina augstāku absorbciju visā spektra diapazonā, īpaši UV reģionā (220–400 nm), kas atspoguļo progresējošu aromātisko hromoforo un konjugēto struktūru veidošanos. Paraugs, kas sintezēts 24 stundas, norāda uz intensīvāku humifikāciju un strukturālo kondensāciju, savukārt īsāki sintēzes laiki rezultējas ar ievērojami zemākām absorbcijām, norādot uz vienkāršākām molekulārām struktūrām ar mazākām aromātiskām grupām. E_2/E_3 attiecība paliek salīdzinoši nemainīga 3,0-3,1 vērtībā, ja sintēzes ilgums ir 4 stundas vai ilgāk, izceļot konsekventu molekulmasu un aromātisko sarežģītību veicot sintēzi ilgāku laiku. Tomēr 2 stundu paraugs rāda zemāku E_2/E_3 attiecību 2,6, kas norāda uz mazāku aromātiskumu un strukturālo attīstību. Līdzīgi E_2/E_4 attiecība ir visaugstākā 24 stundu sintēzes laikā, kas atspoguļo palielinātu aromātiskumu un konjugāciju, savukārt samazinot sintēzes temperatūru, humīnskābes uzrāda ievērojami zemāku vērtību, kas atbilst vienkāršākām struktūrām. E_2/E_6 un E_4/E_6 attiecības pakāpeniski samazinās ar ilgākiem sintēzes laikiem, ar zemākajām vērtībām 24 stundu laikā, norādot uz efektīvāku aromātisko kondensāciju. Šīs tendences parāda, ka ilgstošāka sintēze veicina sarežģītāku, kondensētāku un aromātiskāku humīnskābju struktūru pakāpenisku attīstību, padarot sintēzes laiku par svarīgu faktoru, pielāgojot HS specifiskām izmantošanas vajadzībām.

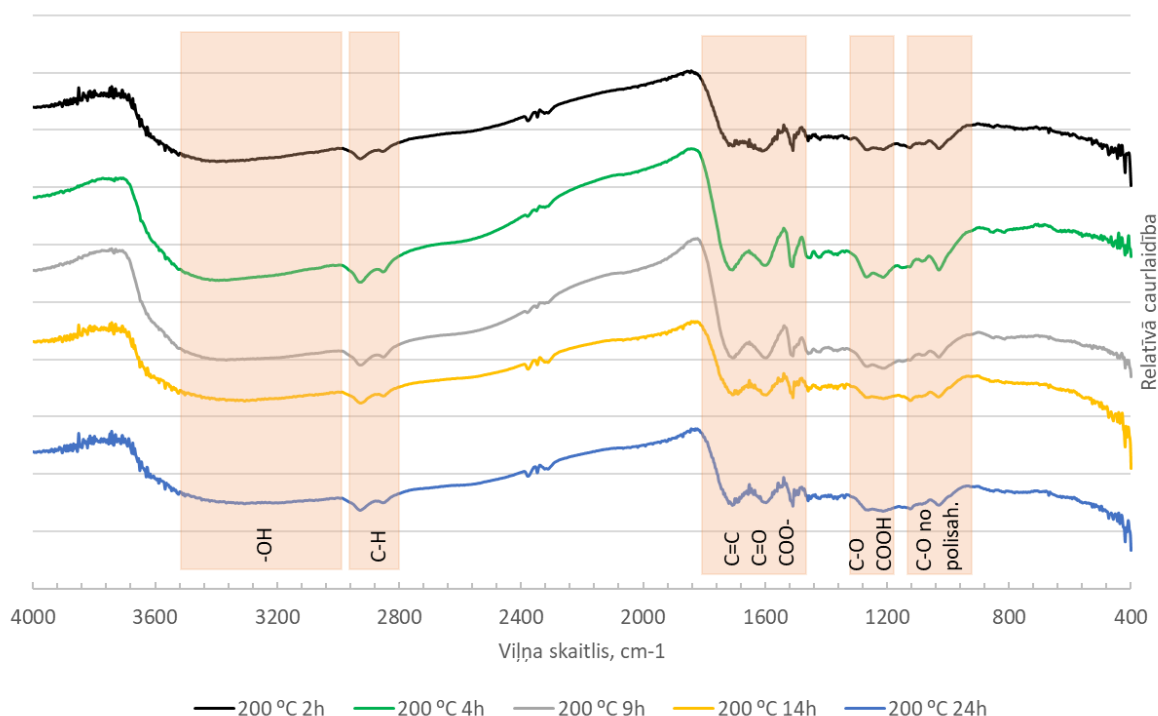
Lai sīkāk izprastu humifikācijas procesā iegūto humīnskābju funkcionālu grupu dinamiku, uzņēma FTIR spektrus. Salīdzinājumam izvēlējās tās pašas SHS, kam uzņēma molekulārās absorbcijas spektrus. Pirmkārt analizēja kāda ir temperatūras ietekme uz SHS funkcionālo grupu dinamiku un FTIR spektri attēloti 5. attēlā, kur spektra caurlaidība katram paraugam ir mākslīgi nobīdīta, lai signāli nepārklātos un ir definēta kā relatīva.



5. att. Dažādās temperatūrās 14 stundas sintezētu humīnskābju FTIR spektri

5. attēlā redzami FTIR spektri sintētiskajām humīnskābēm, kas sintezētas temperatūru diapazonā no 155 °C līdz 230 °C konstantā 14 stundu laikā, parāda šo vielu strukturālo attīstību, pieaugot reakcijas temperatūrai. Plašā O-H stiepšanās josla (3200–3600 cm^{-1}) samazinās intensitātē augstākās temperatūrās, atspoguļojot dehidratācijas un kondensācijas reakcijas, kas samazina hidroksilgrupu saturu. Līdzīgi arī C-H stiepšanās joslas (2800–3000 cm^{-1}), kas liecina par alifātiskām struktūrām, samazinās ar temperatūras pieaugumu, norādot uz alifātisko ķēžu noārdīšanos un pāreju uz aromātiskākām un kondensētākām molekulām. Aromātiskās C=C stiepšanās joslas apgabals (1500–1600 cm^{-1}) kļūst izteiktāks augstākās temperatūrās, kas norāda uz aromātiskuma pieaugumu un strukturālo kondensāciju. C=O stiepšanās josla (~1700 cm^{-1}) kļūst asāka un intensīvāka, liecinot par karbonilgrupu veidošanos un stabilizāciju, balstoties uz oksidācijas un kondensācijas reakcijām. Karboksilātu COO^- stiepšanās joslas (1200–1400 cm^{-1}) samazinās intensitātē, norādot uz dekarboksilācijas procesiem, savukārt C-O stiepšanās un fenolu O-H liekšanās joslas (~1000–1300 cm^{-1}) vājinās, atspoguļojot hidroksilgrupu un ar ogļhidrātiem saistīto grupu zudumu aromātiskuma pieauguma rezultātā. Aromātiskā C-H liekšanās (~700–900 cm^{-1}) pastiprinās augstākās temperatūrās, vēl vairāk apstiprinot kondensētu poliaromātisku struktūru veidošanos. Kopumā dati atklāj skaidru progresiju palielinot sintēzes temperatūru. Zemākās temperatūrās saglabājas vairāk alifātisko un hidroksilgrupu īpašību, savukārt augstākās temperatūrās humīnskābēs veidojas lielāks aromātiskums, kondensācija un strukturālā nostiprināšanās, kas sintezētas 230 °C temperatūrā,

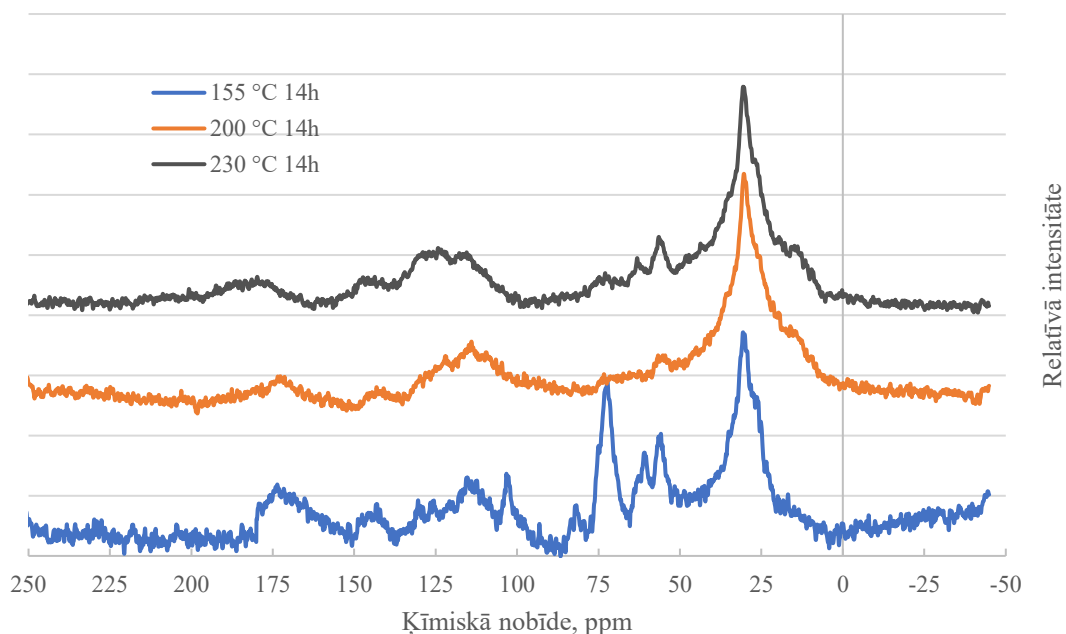
uzrādot visaugstāko humifikācijas pakāpi. Lai izprastu sintēzes laika kinētiku, uzņēma ftir spektrus humīnskābēm, kas sintezētas 200 °C pie mainīgām sintēzes temperatūrām (6. attēls).



6. att. Dažādos sintēzes laikos 200 °C sintezēto humīnskābju ftir spektri

6. attēlā vizualizētie FTIR spektri izceļ sintētisko humīnskābju strukturālās izmaiņas, kas sintezētas pie 200 °C, mainot reakcijas ilgumu (2 h, 4 h, 9 h, 14 h un 24 h). Pēc 2 stundām spektrā dominē plaša -OH stiepšanās pīķa 3200–3600 cm⁻¹), kas norāda uz hidroksilgrupām no spirtiem, fenoliem vai ūdens, kā arī spēcīga alifātiska C-H stiepšanās josla (2800–3000 cm⁻¹), kas liecina par alifātisko ķēžu klātbūtni. Aromātisko C=C (1500-1600 cm⁻¹) un karbonilgrupu C=O (~1700 cm⁻¹) signāli ir vāji, norādot uz minimālu kondensāciju un oksidāciju. Reakcijai turpinoties līdz 4 stundām, -OH un C-H pīķi sāk vājināties, kas norāda uz dehidrēšanos un alifātiskā satura samazināšanos, kamēr aromātiskās C=C un C=O vibrācijas pastiprinās, atspoguļojot aromātisko gredzenu un oksidēto funkcionālo grupu veidošanos. Pēc 9 stundām alifātiskie signāli ir ievērojami samazināti, un aromātiskie un karbonilpīķi dominē, kas norāda uz pieaugošu aromātiskumu un oksidāciju, kas atbilst polimerizācijas un humifikācijas procesam. Pīķi pie ~1400 cm⁻¹ (COO⁻ stiepšanās) un 1200-1300 cm⁻¹ (C-O stiepšanās) pieaug intensitātē, kas norāda uz karboksilskābju, esteru vai fenolu grupu veidošanos. Pēc 14 stundām spektru raksturo spēcīgi aromātisko un karboksilgrupu signāli, ar mazākām alifātiskām iezīmēm, kas norāda uz progresējošu humifikācijas stadiju. Pēc 24 stundām materiāls kļūst ļoti aromātisks un oksidēts, ar izteiktiem aromātisko (C=C) un karbonilgrupu (C=O) pīķiem, kā arī

minimāliem -OH un polisaharīdu saistītajiem signāliem ($\sim 1000\text{-}1100\text{ cm}^{-1}$), kas liecina par plašu polimerizāciju, dehidrēšanos un oksidāciju, savukārt izmaiņas aromātiskā C-H liekšanās reģionā no $700\text{-}900\text{ cm}^{-1}$ nav būtiski ietekmētas palielinot temperatūru. Lai arī sintēzes laikam ir nozīme humīnskābju veidošanās procesos, tomēr sintēzes temperatūra ir izšķirošāka, ko apliecina intensīvākas spektra izmaiņas paaugstinot temperatūru. Lai izprastu vēl sīkāk temperatūras ietekmi uz funkcionālo grupu dinamiku hidrotermāli humificētās humīnskābēs, uzņēma ^{13}C -CPMAS-NMR spektrus (7. attēls).



7. att. Sintētisko humīnskābju, kas sintezētas 14h pie 155, 200 un 230 °C ^{13}C -CPMAS-NMR spektri

7. attēlā vizualizētie sintētisko humīnskābju ^{13}C -cpmas-nmr spektri pētījumā iegūtajām SHS un analizēm izvēlēta zemākā 155 °C, vidējā 200 °C un augstākā 230 °C sintēzes temperatūra, lai gūtu papildus ieskatu kāda ir SHS funkcionālo grupu dinamika atkarībā no sintēzes temperatūras. Kā arī aprēķināja šo SHS relatīvo funkcionālo grupu procentuālo sadalījumu materiāla, to rēķinot pēc pīķu laukuma (6. tabula).

Sintētisko humīnskābju ^{13}C -CPMAS-NMR spektra sadalījums

Humīnskābe	220-190 ppm	190-160 ppm	160-140 ppm	140-110 ppm	110-90 ppm	90-60 ppm	60-50 ppm	50-0 ppm	Alifātiskums*	Aromātiskums**
	C=O	>CO – O, n	C _{ar} – O, n	C _{ar}	OC-O, n	C-O, n	-OCH ₃	CH _n	%	%
155 °C		1		12	6	17	8	39	71	17
200 °C		7		12	13	9	5	48	75	15
230 °C		8		17	4	10	6	44	64	22

* - alifātiskums izteikts procentuāli kā 0-110 ppm summa

** aromātiskums izteikts procentuāli kā 110-160 ppm summa

^{13}C -CPMAS-NMR spektri (7. attēls) un funkcionālo grupu sadalījuma dati (6. tabula) ilustrē sintētisko humīnskābju strukturālo dinamiku, kas iegūtas hidrotermālās humifikācijas procesā pie 155 °C, 200 °C un 230 °C 14 stundu laikā. 155 °C temperatūrā iegūtās humīnskābes raksturo augsts alifātisko oglekļu īpatsvars (39%), nozīmīgs ogļhidrātu saturs (17%) un metoksi grupas (8%), kas atspoguļo humifikācijas agrīnās stadijas, kurās dominē lignīna un polisaharīdu izcelsmes prekursori. Šie komponenti liecina par relatīvi maz pārveidotu biomasu, tās saglabāšanos ar ierobežotu aromātisko kondensāciju vai oksidāciju. Ogļhidrātu bagātā frakcija (60–90 ppm) šajā posmā izceļ polisaharīdu vai to fragmentu saglabāšanos, savukārt metoksi signāls (50–60 ppm) norāda uz lignīnam līdzīgu struktūru klātbūtni.

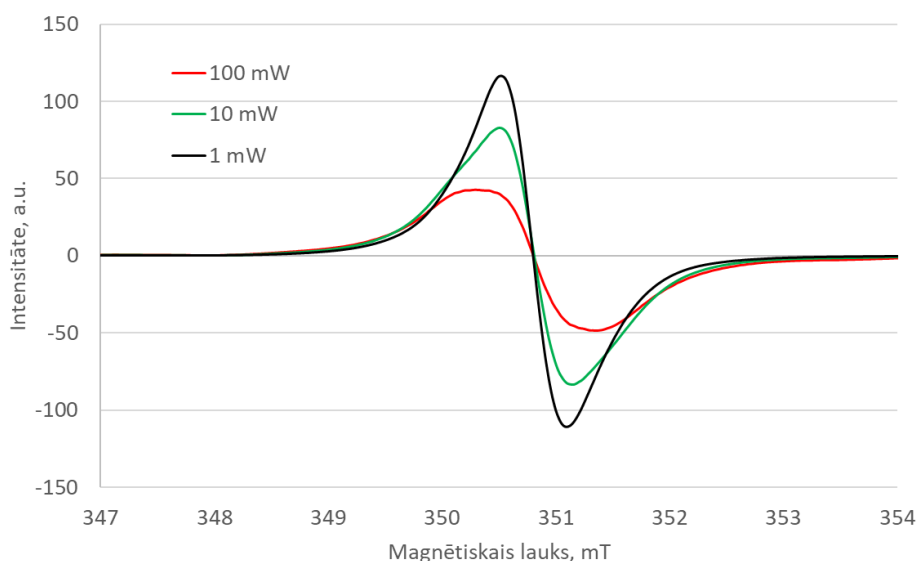
Palielinoties temperatūrai līdz 200 °C, kļūst redzama izteiktāka humifikācijas pakāpe. Alifātiskā frakcija sasniedz maksimumu (48%), vienlaikus ievērojami samazinoties ogļhidrātiem (9%) un nedaudz palielinoties aromātiskajiem oglekļiem ar alkilaizvietotajiem (110–140 ppm, 13%). Tas norāda uz pāreju no polisaharīdiem un lignīnu bagātiem prekursoriem uz daļēji kondensētām struktūrām, ko, iespējams, veicina hidrolīzes un dehidratācijas reakcijas. Metoksi grupu samazinājums līdz 5% liecina par lignīna izcelsmes struktūru degradāciju, savukārt neliels oksidētu funkcionālo grupu, piemēram, karboksilgrupu

un esteru (160–190 ppm, 7%), pieaugums norāda uz alifātisko ķēžu oksidāciju un funkcionālāku savienojumu veidošanos.

Pie 230 °C humīnskābes demonstrē progresējošu humifikāciju, ko raksturo ievērojams aromātiskā satura pieaugums (110–160 ppm, 22%) un oksidācijas līmeņi, karboksilskābju un esteru funkcionālo grupu saturam sasniedzot 8%, bet ketonu un hinonu oglekļiem (190–220 ppm) palielinoties līdz 6%. Alifātiskā frakcija salīdzinot ar 200 °C samazinās (44%), kas atspoguļo termiski nestabilu alifātisko struktūru kondensēšanos stabilākās aromātiskās un oksidētās formās, izmantojot kondensācijas un oksidācijas reakcijas. Gandrīz pilnīga ogļhidrātu (4%) un metoksi grupu (6%) zudumi norāda uz polisaharīdu un lignīna atliekvielu sadalīšanos, savukārt aromātisko oglekļu bagātināšanās, kas saistīti ar skābekli vai slāpekli (140–160 ppm, fenoli un aromātiskie ēteri), liecina par pieaugošu humifikācijas pakāpi.

Novērotās tendences atspoguļo labilo komponentu pakāpenisku noārdīšanos un termiski stabilo struktūru uzkrāšanos. Pieaugošā temperatūra paātrina humifikācijas procesu, pie 230 °C radot sintētiskas humīnskābes, kurām piemīt dabiskām humīnskābēm raksturīgās īpašības, tostarp augsts aromātiskuma līmenis, funkcionālo grupu daudzveidība un oksidācija. Šī dinamika demonstrē hidrotermālās humifikācijas efektivitāti dabisko humīnskābju veidošanās procesu simulēšanā ievērojami īsākos laika periodos.

Visbeidzot, lai noskaidrotu, vai biomasas sastāvā esošais lignīns humifikācijas procesā veido brīvos semihinona radikāļus, uzņēma elektronu paramagnētiskās rezonanses (EPR) spektrus. Pirmkārt EPR spektrus uzņēma šīm pašām trīs izvēlētajām SHS, kam uzņēma arī ¹³C KMR spektrus un EPR spektrus uzņēma ar trīs dažādām mikroviļņu jaudām, lai noskaidrotu pret kuru mikroviļņu starojuma jaudu paraugs ir jutīgs visvairāk (8. attēls).



8. att. EPR spektri 230 °C un 14h sintezētajām humīnskābēm atkarībā no mikroviļņu jaudas

8. attēlā spektrālo iezīmju intensitāte mainās atkarībā no mikroviļņu jaudas, kas saistīts ar piesātinājuma efektiem un parauga nesapāroto elektronu relaksācijas īpašībām.

Pie zemas jaudas (1 mW) spektrs uzrāda vislielāko pīķa intensitāti, jo sistēma ir tālu no piesātinājuma, nodrošinot efektīvu enerģijas pārneši starp nesapārotajiem elektroniem un elektromagnētisko lauku. Paaugstinot mikroviļņu jaudu līdz 10 mW (zaļš), pīķa intensitāte nedaudz samazinās, un līnijas forma mainās nenoīmīgi, kas norāda uz piesātinājuma efektu sākumu. Pie 100 mW spektrālā intensitāte ievērojami samazinās, un signāls paplašinās. Tas ir saistīts ar piesātinājumu, kad spinu sistēma nevar pietiekami ātri relaksēties, lai pielāgotos augstajai jaudas ievadei, kā rezultātā samazinās signāla intensitāte un palielinās līnijas paplašināšanās no 4,77 mT līdz 5,49 mT. Visos gadījumos g-faktori ir vienādi, kas nozīmē, ka g-faktoru neietekmē mikroviļņu jauda un ir $g = 2,0035$, kas aprēķināts pēc formulas (1):

$$g = \frac{h \cdot \nu}{\mu_B \cdot B} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \left(\frac{J}{s}\right) \cdot 9,837 \cdot 10^9 (Hz)}{9,274 \cdot 10^{-24} \left(\frac{J}{T}\right) \cdot 0,3508 (T)} = 2,0035 \quad (1)$$

kur:

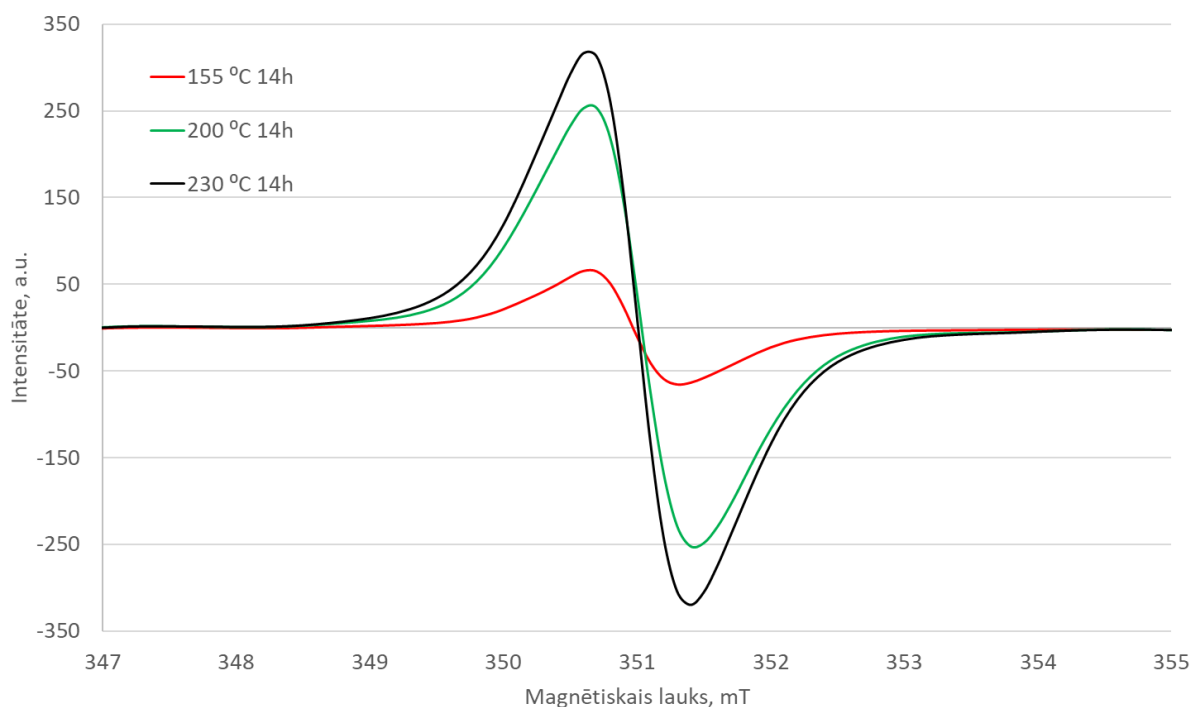
H = planka konstante ($6,626 \cdot 10^{-34} J/s$),

N = mikroviļņu starojuma frekvence (hz),

M_b = bora magnetons ($9,274 \cdot 10^{-24} J/T$),

B = magnētiskais lauks (t)

Šie rezultāti uzsver mikroviļņu jaudas optimizācijas nozīmi EPR eksperimentu laikā, lai izvairītos no piesātinājuma un iegūtu kvantitatīvu informāciju par spinu sistēmu. Humīnskābju dažādā uzvedība dažādu jaudu ietekmē sniedz ieskatu to relaksācijas dinamikā un elektroniskajā vidē. Lai izvērtētu radikāļu veidošanās dinamiku, veica mērījumus sintētiskajām humīnskābēm, kas sintezētas trīs dažādās temperatūrās (9. attēls).



9. att. EPR spektri sintētiskajām humīnskābēm, kas sintezētas 155; 200; 230 °C, mikroviļņu jauda – 10 mW

9. attēlā vizualizētie EPR spektri uzņemti sintētiskajām humīnskābēm, kas sintezētas trīs dažādās temperatūrās: 155 °C, 200 °C un 230 °C, saglabājot ar sintēzes laiku 14h un izmantojot mikroviļņu jaudu 10 mW. Spektri uzsver sintēzes temperatūras ietekmi uz humīnskābju paramagnētiskajām īpašībām un strukturālajām iezīmēm.

Palielinoties sintēzes temperatūrai, EPR signālu intensitāte un asums ievērojami mainās. Pie 155 °C signāla intensitāte ir salīdzinoši zema, norādot uz mazāku nesapāroto elektronu koncentrāciju, iespējams, nepilnīgas aromātisko un semihinona radikāļu struktūru veidošanās dēļ šajā temperatūrā. Pie 200 °C signāla intensitāte palielinās, atspoguļojot augstāku paramagnētisko centru koncentrāciju, visticamāk, pastiprinātas stabilo radikāļu un aromātisko sistēmu veidošanās dēļ humifikācijas procesa laikā. Spektrs pie 230 °C uzrāda vislielāko intensitāti, kas liecina, ka augstākas temperatūras veicina lielāku organisko prekursoru kondensāciju un aromatizāciju, kā rezultātā rodas blīvāks paramagnētisko centru tīkls.

Šie rezultāti norāda, ka sintēzes temperatūras paaugstināšana būtiski ietekmē humīnskābju elektronisko struktūru un radikāļu kvantitatīvo saturu, un augstākas temperatūras veicina stabilāku un intensīvāku paramagnētisko sistēmu veidošanos. Šī tendence atbilst humīnskābju strukturālajai nobriešanai paaugstinātas temperatūras apstākļos.

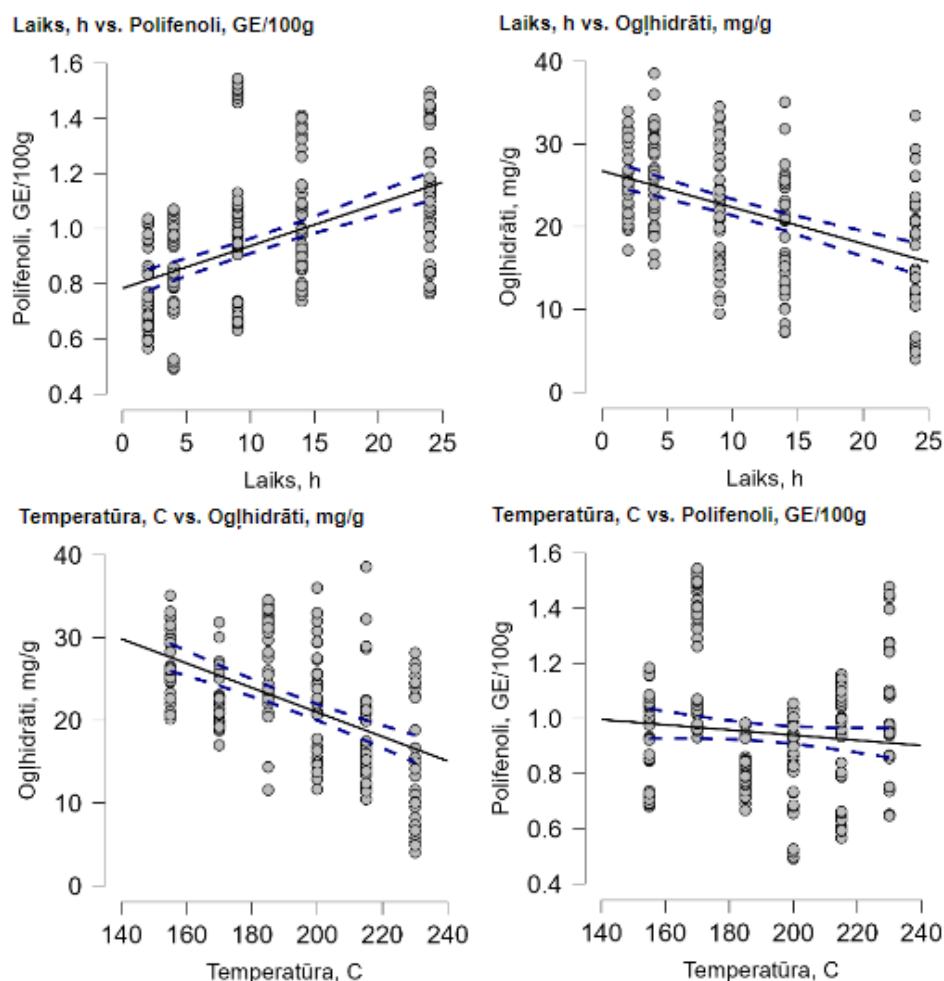
EPR spektri arī atklāj nelielu g-vērtības nobīdi humīnskābēm, kas sintezētas pie 155 °C ($g = 2,0023$), salīdzinot ar tām, kas sintezētas 200 °C un 230 °C ($g = 2,0018$). Šī g-vērtības

nobīde liecina par nelielām izmaiņām nesapāroto elektronu elektroniskajā vidē zemākās sintēzes temperatūrās.

155 °C temperatūrā humīnskābēm ir zemāks aromātiskums un mazāk kondensētas struktūras, kas rada paramagnētiskos centrus, kuriem ir atšķirīga lokālā vide. Tas var būt saistīts ar nepilnīgu stabilo radikāļu veidošanos vai atšķirībām oksidācijas stāvokļos un iespējamu metālu jonu koordinācijā humīnskābju matricā. Paaugstinoties temperatūrai līdz 200 °C un 230°C, g-vērtības kļūst stabilākas, kas atspoguļo vienotāku un stabilāku elektronisko vidi lielākas kondensācijas, aromatizācijas un, iespējams, mazāk stabila radikāļu eliminēšanas dēļ. Tipiskas semihinonu radikāļu g-faktoru vērtības humīnskābēm ir diapazonā no 2,0040-2,0050, bet nelielās atšķirības varētu būt saistītas ar sintētiskajās humīnskābēs esošiem metālu joniem, kas mijiedarbojas ar semihinona radikāļiem, to dabu, hipersīkstruktūras ietekmi vai vispārēju parauga anizotropiju.

4.2. Fulvoskābju un blakusproduktu šķīdumu analīze

Mazmolekulāro fulvoskābju un citu blakusproduktu šķīdumi, kas rodas tandēmā ar sintētiskajām humīnskābēm kā primārais produkts, ir maz pētītas. Taču, ņemot vērā, ka šajos šķīdumos notiek ievērojama oglekļa pārnese no biomasas HTH procesā, ir vērts izprast kādi starpprodukti vai blakusprodukti paliek pēc sintēzes un kāda ir šo vielu dinamika un strukturālais sastāvs, ņemot vērā, ka otrs galvenais produkts ir fulvoskābes. Izrietot no literatūras izpēti par HTH mehānismu, zināms, ka pamatā lignīns šķēļas mazākos monomēros un var veidot mazmolekulārus polifenoliem līdzīgus blakusproduktus, kā arī celulozes un hemicelulozes šķelšanās rezultātā var palikt pāri neizreāģējuši mono-, di- vai oligosaharīdi ar dažādām struktūrām. Lai noskaidrotu kāda ir starpproduktu atlieku dinamika, veica kopējo ogļhidrātu un polifenolu spektrofometriski analīzi (10. attēls).



10. att. Kopējo ogļhidrātu un polifenolu saturs šķidrajā fāzē un to dinamika atkarībā no sintēzes temperatūras un laika sintēzes blakusproduktos

10. attēlā redzamas četras izkliedes diagrammas, kas parāda laika, temperatūras un kopējo ogļhidrātu un polifenolu koncentrāciju attiecības, kas veidojas kā hidrotermālās humifikācijas blakusprodukti.

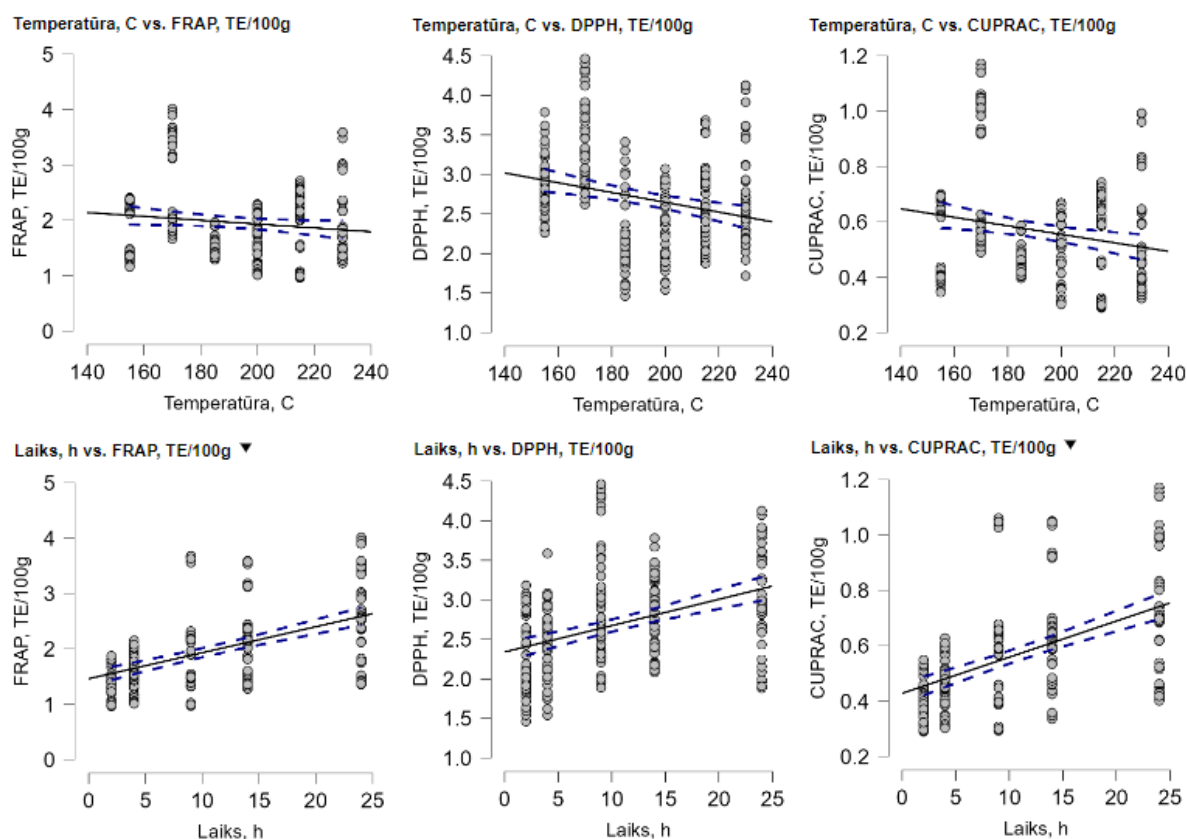
Polifenolu saturs mēdz palielināties ar laiku. Ir redzama pozitīva korelācija, ko apliecina regresijas līnijas augšupejošā tendence un datu punktu sakopojums. Tas liecina, ka ilgāks reakcijas laiks veicina polifenolu veidošanos dotajos apstākļos.

Ogļhidrātu saturs uzrāda negatīvu korelāciju ar laiku. Regresijas līnijas lejupejošā tendence norāda, ka ilgstošs reakcijas laiks izraisa pakāpenisku ogļhidrātu noārdīšanos vai pārvēršanos citos savienojumos.

Starp temperatūru un ogļhidrātu saturu ir skaidri novērojama negatīva korelācija. Paaugstinoties temperatūrai, ogļhidrātu koncentrācija samazinās. Tas norāda, ka augstākas temperatūras, visticamāk, veicina ogļhidrātu sadalīšanos humifikācijas procesa laikā.

Attiecības starp temperatūru un polifenolu saturu ir mazāk izteiktas, redzama neliela negatīva tendence. Tas liecina, ka, lai gan temperatūra var nedaudz ietekmēt, citi faktori, piemēram, laiks vai reakcijas kinētika, var būt nozīmīgāki polifenolu satura noteikšanā.

Kopumā dati liecina, ka laiks galvenokārt veicina polifenolu sintēzi, kamēr augstākas temperatūras un ilgstošāks reakcijas laiks veicina ogļhidrātu noārdīšanos hidrotermālās humifikācijas procesā.



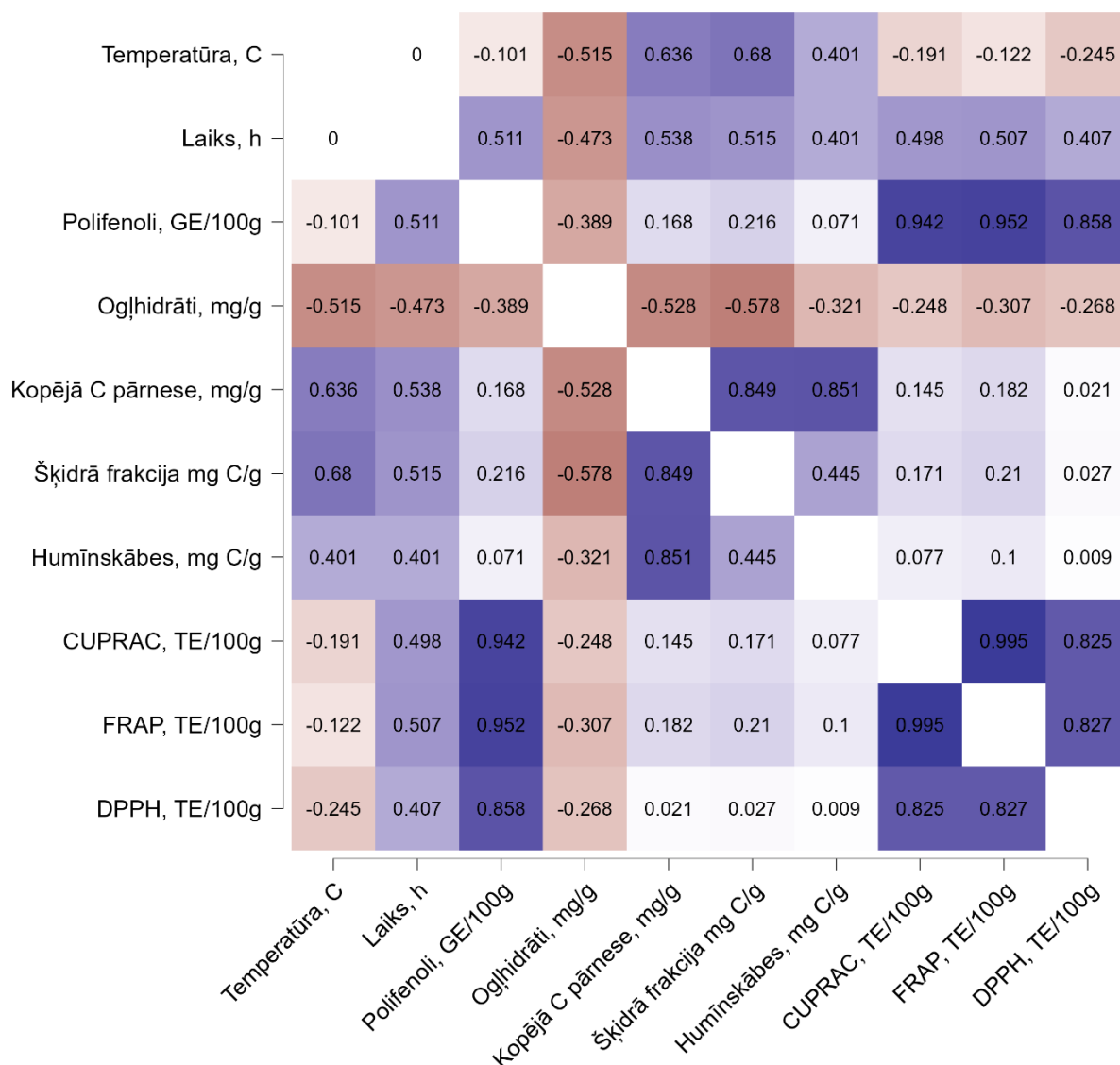
11. Att. Antioksidatīvo aktivitāšu (FRAP, CUPRAC) un antiradikālās aktivitātes (DPPH) dinamika atkarībā no sintēzes temperatūras un laika sintēzes blakusproduktos

Korelācijas grafiki 11. attēlā ilustrē antioksidantu aktivitātes (FRAP un CUPRAC) un antiradikālās aktivitātes (DPPH) dinamiku no humīnskābēm atdalītajos fulvoskābju un blakusproduktu šķīdumos, ņemot vērā sintēzes temperatūru (155-200 °C) un reakcijas laiku (2-24h). Attiecībā uz temperatūru, FRAP vērtības parāda nelielu negatīvu tendenci, palielinoties temperatūrai, kas norāda, ka augstākas temperatūras ietekme uz blakusproduktu rašanos sintēzes gaitā ir negatīvi minimāla. Savukārt gan DPPH, gan CUPRAC aktivitātes uzrāda skaidru negatīvu korelāciju ar temperatūru, kas liecina, ka paaugstinātas temperatūras izjauc termiski jutīgu antioksidantu savienojumu struktūru vai maina svarīgas aktivitātes pazīmes, piemēram, funkcionālās grupas vai šķīdību. Konkrēti, augstākas temperatūras šķiet

samazina šo atlikušo produktu spēju neitralizēt radikālus vai samazināt vara (ii) jonu koncentrāciju, atspoguļojot aktīvo antioksidantu savienojumu zudumu. Savukārt reakcijas laiks pozitīvi ietekmē visas mērītās aktivitātes. FRAP vērtības palielinās ar garākiem reakcijas laikiem, norādot uz antioksidantu pakāpenisku veidošanos vai stabilizāciju atlikušajos šķidrumos.

Līdzīgi, DPPH aktivitāte uzlabojas ar ilgāku reakcijas laiku, liecinot par uzlabotām radikāļu neitralizēšanas spējām, kad humifikācijas process turpinās. CUPRAC aktivitāte arī palielinās laika gaitā, atspoguļojot augošu spēju samazināt vara(II) jonus, iespējams, sakarā ar aktīvo blakusproduktu uzkrāšanos, turpinoties reakcijai. Šie rezultāti uzsver, ka temperatūrai un reakcijas laikam ir atšķirīga, bet savstarpēji papildinoša ietekme uz blakusproduktiem raksturīgajām antioksidatīvajām un antiradikālajām īpašībām.

Kamēr pārāk augstas temperatūras var degradēt aktīvās vielas, garāki reakcijas laiki uzlabo antioksidantu attīstību un stabilizāciju, uzsverot nepieciešamību optimizēt abus parametrus, lai sasniegtu maksimālu aktivitāti hidrotermālās humifikācijas procesos. Jāņem vērā, ka gan antioksidatīvās aktivitātes, gan antiradikālā aktivitāte ir kopumā zema, sasniedzot ~4 g troloksa ekvivalentus uz 100 g biomasas iesvara FRAP; ~1,2 g troloksa ekvivalentu uz 100 g biomasas iesvara un augstākajā gadījumā ~4,5 g galluskābes ekvivalentu uz 100 g sausas biomasas iesvara. Šie zemie rādītāji lieliski korelē ar iepriekš noteikto polifenolu saturu, tāpēc, lai kopsavilkumā izvērtētu noteikto parametru dinamiku un apstākļus, izveidoja Pīrsona r koeficientu korelācijas karti, kas atspoguļo katra parametra atkarību no katra cita parametra (12. attēls).



12. att. Noteikto parametru korelācijas karte. Polifenoli – galluskābes ekvivalents, g/100 g biomasas iesvara, FRAP un CUPRAC troloksa ekvivalents, g/100 g biomasas iesvara. Zilā krāsanorāda uz pozitīvu korelāciju, sarkanbūnā uz negatīvu korelāciju

12. attelā vizualizēta korelācijas karte, kas atklāj būtiskas atziņas par to, kā temperatūra, laiks un citi parametri ietekmē hidrotermālās humifikācijas dinamiku attiecībā uz dažādiem parametriem. Temperatūrai ir divējāda loma: tā spēcīgi veicina oglekļa pārnesei, ko apliecina pozitīvās korelācijas ar kopējo c pārnesei (0,636), šķidro frakciju (0,680) un humīnskābju iznākumu (0,401), vienlaikus būtiski degradējot humifikācijas procesā radušos vienkāršos ogļhidrātus (-0,515). Tas norāda, ka augstākas temperatūras veicina ogļhidrātu sadalīšanos šķidrā frakcijā un to inkorporēšanu humīnskābēs. Tāpat arī sintēzes laikam ir izšķiroša loma humifikācijas virzīšanā, kas pozitīvi korelē ar antioksidantu aktivitātēm, piemēram, CUPRAC (0,498), FRAP (0,507) un DPPH (0,407), norādot, ka ilgāks reakcijas laiks uzlabo

šķidrās frakcijas antioksidatīvo potenciālu, iespējams, pateicoties tam, ka sintēzes laikam palielinoties, tiek veicināta polifenolu veidošanās (0,511).

Polifenoli ir cieši saistīti ar antioksidantu īpašībām, kā to pierāda augstas pozitīvās korelācijas ar CUPRAC (0,942), FRAP (0,952) un DPPH (0,858). Tas uzsver to būtisko lomu oksidatīvās stabilitātes uzlabošanā. Tomēr to saistība ar temperatūru ir vāji negatīva (-0,101), norādot, ka reakcijas laiks varētu būt svarīgāks faktors to sintēzē. Savukārt, ogļhidrāti uzrāda konsekventi negatīvu tendenci gan ar laiku (-0,473), gan ar temperatūru (-0,515), norādot uz to sadalīšanos citos komponentos vai humificēšanos procesa laikā. Turklāt, spēcīgā negatīvā korelācija starp ogļhidrātu saturu un oglekļa pārnesei šķidrājā frakcijā (-0,578) liecina, ka ogļhidrātu sadalīšanās būtiski veicina šķidrās frakcijas piesātināšanos.

Kopsavilkumā, dati liecina, ka ilgāks reakcijas laiks uzlabo antioksidantu kapacitāti un polifenolu sintēzi, padarot to vēlamu procesiem, kas prioritizē šos rezultātus. Savukārt augstākas temperatūras veicina kopējo oglekļa pārnesei un humīnskābju veidošanos.

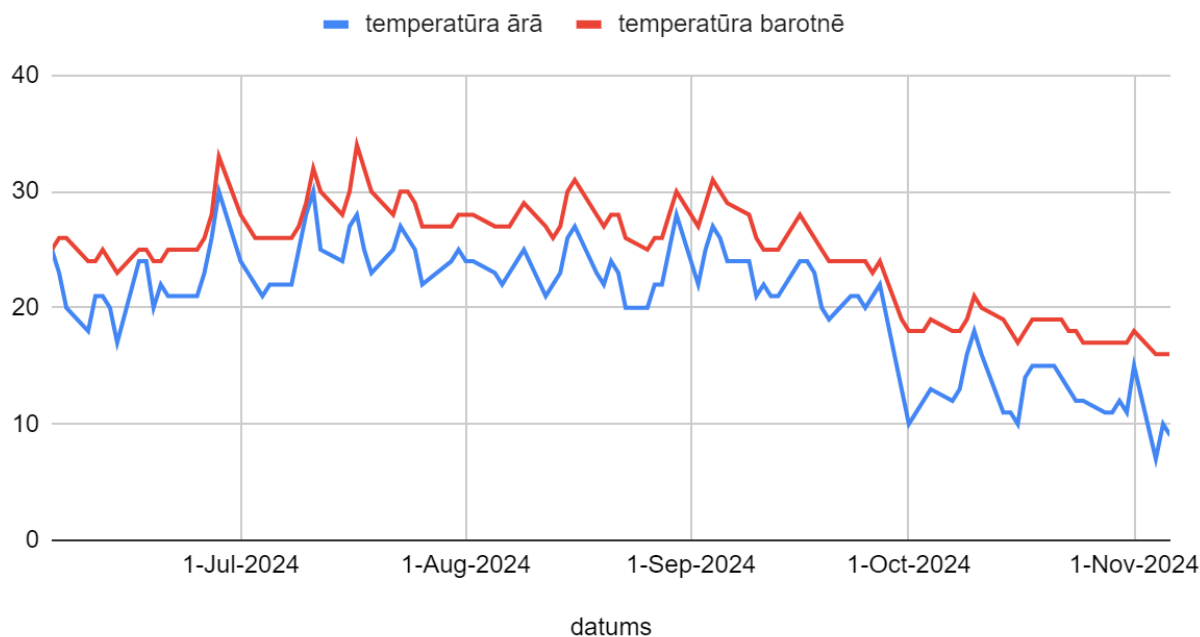
5. Cietā atlikuma bioloģiskā konversija

MP 6 laikā ekstraktēta barotne Nr.3 un Nr 4. lai iegūtu organisko mēslojumu un kūdras aizvietotāja substrātu, kura testēšanu un pārbaudi uzsāktu MP7 laikā. Ekstrakcijai izmantoja iepriekš (MP5) minēto ekstrakcijas metodi un iekārtu. Ekstraktējamo materiālu ņem no barotnes vidus, lai iegūtu pilnvērtīgāku izpratni par barotni. Ekstrakcijas laikā iegūti divi ekstrakti un divi substrātu cietie atlikumi:

1. 1% kālija hidroksīda (KOH) ekstrakts un tā sausais atlikums.
2. 1% pelnu šķīduma ekstrakts un tā sausais atlikums.

Lai noteiktu iegūto ekstraktu sauso daļu, tos ietvaicēja keramikas trauciņos. Iegūto ekstraktu sausnes procenti: 1% KOH ekstrakta sausne ir $5,2 \pm 0,3$ %; 1% pelnu šķīduma ekstrakta sausne ir $4,6 \pm 0,3$ %.

Barotnes Nr.3. augšanas temperatūra grafiski atspoguļota 13. attēlā.

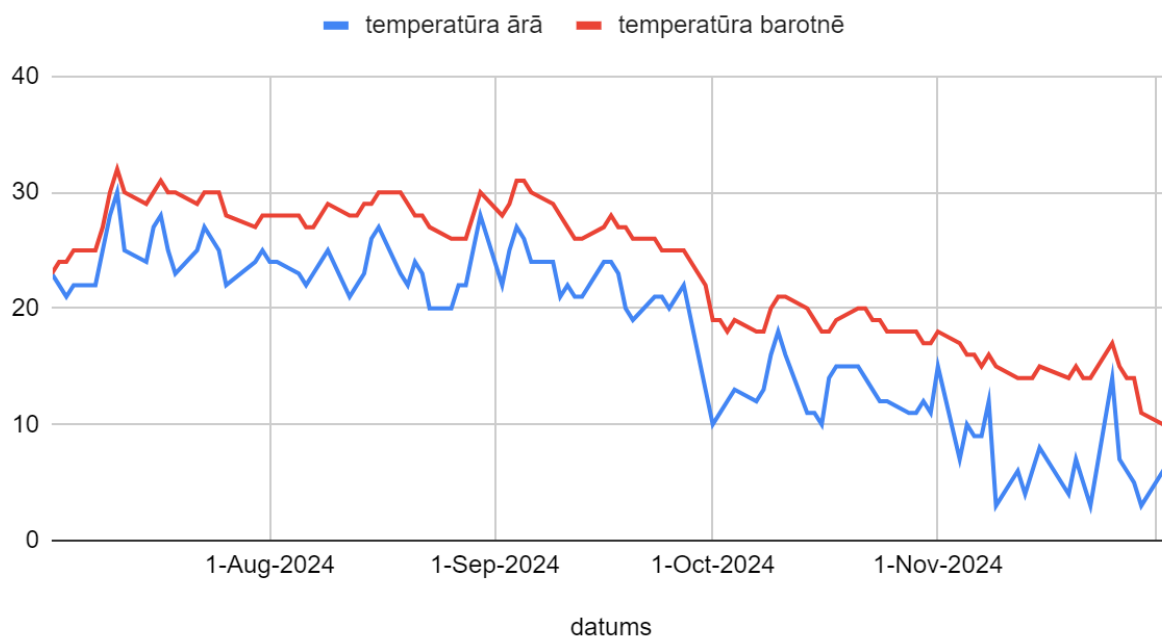


13. Att. Barotnes Nr. 3 temperatūras izmaiņu dinamika.

Grafikā var novērot barotnes temperatūras korelāciju ar āra temperatūru. Barotne naktīs nedaudz atdziest un dienās uzsilst vidēji, saglabājot augstāku temperatūru nekā ārā, jo fermentācijas laikā izdalās siltums. Ārā, kļūstot vēsākam, barotnē saglabājas siltums, jo fermentācija turpinās, jo barotnes temperatūra ir pietiekami augsta (augstāka par +5 °C), lai bioloģiskā aktivitāte barotnē turpinātos. Fermentācijas siltums neļauj barotnei atdzist, lai arī dienannakts tumšais laiks pieaug un vides temperatūra samazinās. Temperatūra ir vidēji 3-8 °C grādus augstāka barotnē nekā ārā vidē. Barotnes temperatūra periodā beigās neizlīdzinājās ar āra temperatūru, jo turpinājās fermentācija. Mitrums barotnē monitorēja un uzturēja 65-75% robežās, veicot barotņu papildus laistīšanu.

Tiek ekstraktēta barotne Nr.4., izmantojot iepriekš minēto metodi. Arī šai barotnei sagatavoja divus ekstraktus un divus substrātu atlikumus: 1% kālija hidroksīda ekstrakts un tā sausais atlikums un 1% pelnu šķīduma ekstrakts un tā sausais atlikums, kā arī noteica sausnes saturu iegūtajam ekstraktam.

Iegūto ekstraktu sausnes procenti: 1% KOH ekstrakta sausne ir $4,7 \pm 0,3$ %; 1% pelnu šķīduma ekstrakta sausne ir $4,1 \pm 0,3$ %. 14. attēlā apkopotas barotnes Nr. 4 un ārā temperatūras izmaiņu dinamika.



14. Att. Barotnes Nr. 4 temperatūras izmaiņu dinamika.

Barotnes Nr. 4. fermentācijas izdalītais siltums barotnē uztur par vidēji 3-9 °C grādiem augstāku temperatūru, kas ir līdzvērtīgs barotnes Nr. 3. uzturētajai temperatūrai, kas liecina, ka bioloģisko procesu dēļ izdalītais siltums ir līdzīgs.

Sagatavotie ekstrakcijas šķīdumi ir ievietoti ledusskapī (+2°C), lai tas bioloģiski nesabojātos un iegūtos ekstrakcijas cietie atlikumi ir ievietoti hermētiskos plastmasas spaiņos, lai pavasarī tajos iestādītu egļu stādīņus un novērtētu to kūdras aizvietošanas potenciālu.

6. Publicitātes nodrošināšana

23.11.2024. tika rīkots seminārs meža īpašniekiem un LBTU studentiem par LAD projekta “Skuju zaļās biomasas pilna cikla pārstrāde augstvērtīgu izejvielu ķīmijas un farmācijas industrijai ieguvei” rezultātiem, apsekojot koku stādījumu pārbaudes stādījumu, kurā testē koku stādu aizsardzības līdzekli, kura sastāvā ir egļu skuju vasks (skat. 15. att. un 1. pielikumu).



15. Att. Meža īpašnieku un LBTU iepazīstināšana ar LAD projektu 23.11.2024.

MP6 pārskata periodā 17. decembrī piedalījās radio SWH rīkotajā raidījumā Mežnīca viesojās LVMI "Silava" vadošais pētnieks Uldis Grīnfelds un LU pētnieks Lauris Arbidāns, lai sarunā ar žurnālistu Aināru Rutkēviču iepazīstinātu klausītājus ar LVMI "Silava" pētījuma Skuju zaļās biomasas pilna cikla pārstrāde augstvērtīgu izejvielu ķīmijas un farmācijas industrijai ieguvei īstenošanas gaitu. Raidījuma videoieraksts ir pieejams: <https://radioswh.lv/daba-un-turisms/lai-nesapust-meza-ka-skujas-parverst-deriga-resursa-skaidro-petnieki/> (skat. 16. att.).



16. att. U.Grīnfelds un L.Arbidāns iepazīstina SWH klausītājus ar LAD projekta rezultātiem 17.12.2024.

Sagatavots un iesniegts abstrakts RTU starptautiskajai konferencei 2024: CONECT [Environmentally Friendly Processing of Forestry Biomass Side Streams – Coniferous Needles and Greenery](#) | CONECT. International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies (DOI: <https://doi.org/10.7250/CONNECT.2024.062>).

Secinājumi

1. Egļu skuju vaska pielietojumam repelenta ražošanai ir potenciāls un to ir jātrupina attīstīt.
2. Cietā atlikuma bioloģiskā konversija notiek līdzīgi (pēc to izdalītās temperatūras) dažādiem skuju substrātiem.
3. Optimālākā temperatūra un laiks THT, lai iegūtu maksimāli daudz humīnskābes, ir 185 °C un 9 h, savukārt, lai iegūtu maksimāli daudz fulvoskābes un blakusproduktus, optimālie apstākļi ir 185 °C un 14 h.
4. Sintēzes temperatūras paaugstināšana būtiski ietekmē humīnskābju elektronisko struktūru un radikāļu kvantitatīvo saturu, un augstākas temperatūras veicina stabilāku un intensīvāku paramagnētisko sistēmu veidošanos. Šī tendence atbilst humīnskābju strukturālajai nobriešanai paaugstinātas temperatūras apstākļos.
5. Humīnskābju iznākums 0,65 m KOH sasniedz maksimumu (185 mg/g).

Projekts tiek īstenots ar Eiropas Lauksaimniecības fonda lauku attīstībai Latvijas Lauku attīstības programmas 2014.-2020. gadam 16. pasākuma „Sadarbība” 16.1. apakšpasākuma "Atbalsts Eiropas Inovāciju partnerības lauksaimniecības ražīgumam un ilgtspējai lauksaimniecības ražīguma un ilgtspējas darba grupu projektu īstenošanai" atbalstu. Projekta attiecināmās izmaksas ir 446461,25 EUR, no tiem publiskais finansējums 401815,13 EUR apmērā. Vairāk informācijas par Eiropas Lauksaimniecības fondu lauku attīstībai pieejams Eiropas Komisijas tīmekļa vietnē - http://ec.europa.eu/agriculture/rural-development-2014-2020/index_lv.htm

NACIONĀLAIS
ATTĪSTĪBAS
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA
EIROPĀ INVESTĒ LAUKU APVIDOS
Eiropas Lauksaimniecības fonds
lauku attīstībai

Atbalsta Zemkopības ministrija un Lauku atbalsta dienests