

## Skystųjų kompleksinių trąšų gavimas naudojant kalio dihidrofosfato gamybos atliekas

K. Jančaitienė, R. Šlinkšienė

Kauno technologijos universitetas

Radvilėnų pl. 19, LT-3028 Kaunas, Lietuva

El. paštas: kristina.jancaitiene@ktu.lt

**crossref** <http://dx.doi.org/10.5755/j01.ct.68.1.18874>

Gauta 2017 m. balandžio 26 d.; priimta spaudai 2017 m. gegužės 27 d.

Įvairiose pramonės šakose, ypač chemijos, gaminant daugelį produktų vienas iš ekonominiu ir aplinkosauginiu požiūriu teigiamų aspektų yra beatliekės technologijos sukūrimas ir naudojimas. Vykdamas kalio chlorido ir amonio dihidrofosfato konversiją, susidaro kalio dihidrofosfato kristalai ir pokristalizaciniai tirpalai, kuriuose, atsižvelgiant į konversijos sąlygas, gali būti įvairios  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  ir  $\text{Cl}^-$  jonų koncentracijos. Nustačius, kad po  $\text{KCl}$  ir  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  sąveikos (santykiu 0,8 : 0,2) susidariusiuose pokristalizaciniuose tirpaluose, atsižvelgiant į konversijos temperatūrą, yra 1,19–1,45 % N; 14,96–26,55 %  $\text{K}_2\text{O}$ ; 1,06–2,55 %  $\text{P}_2\text{O}_5$  ir 13,42–13,71 % Cl, o *pH*, tankis ir klampa beveik nepriklauso nuo konversijos temperatūros ir atitinka skystosioms kompleksinėms trąšoms (SKT) keliamus reikalavimus. Į pokristalizacinį tirpalą įdėjus 6 % karbamido, galima pagaminti agrocheminiu požiūriu efektyvias 4–5–15 (N– $\text{P}_2\text{O}_5$ – $\text{K}_2\text{O}$ ) markės skystąsias kompleksines trąšas, kurių kristalizacijos temperatūra – 15 °C.

**Reikšminiai žodžiai:** kalio chloridas, amonio dihidrofosfatas, skystoji fazė, pokristalizaciniai tirpalai, skystosios trąšos, kristalizacijos temperatūra.

### Įvadas

Skystosios kompleksinės trąšos – tai įvairūs tirpalai, gauti vykstant mineralinių trąšų gamybos procesams, arba specialiai sumaišyti vandeniniai tirpalai, neturintys neištirpusių medžiagų. Šiose sudėtingose kompozicijose maisto medžiagos parenkamos atsižvelgiant į augalų mitybos biologines ypatybes, jų vegetacinį periodą ir klimatinės sąlygas. Skystosios trąšos gali būti skirtos pagrindiniam ir papildomam tręšimui, tręšimui per lapus arba sėkloms apdoroti prieš sėją. Skystosios specialiosios trąšos pagal poreikį gali būti derinamos su mikroelementais, fungicidais, fiziologiškai aktyviomis ar kitomis augalams būtinomis medžiagomis [1–5].

Pagrindinės skystųjų trąšų savybės, kurios svarbios gaminant, laikant ir naudojant SKT, yra šios: maisto medžiagų koncentracija, kristalizacijos temperatūra, klampa, tankis, *pH* ir korozijos rodikliai. Viena svarbiausių skystųjų kompleksinių trąšų savybių – kristalizacijos temperatūra, kuri gali būti nustatoma pagal pusiausvyrą tarp skystosios–kietosios fazės [6–9].

Skystųjų kompleksinių trąšų sudėtį ir kristalizacijos temperatūrą lemia trąšas sudarančių komponentų tirpumas vandenyje. Todėl maksimaliai koncentracijai nustatyti reikia ištirti druskų, kurios yra skystosiose trąšose, tirpumą.

Literatūroje yra gana daug duomenų apie druskų tirpumą binarinėse ir daugiakomponentėse vandeninėse sistemose [10]. Druskų vandeninių tirpalų pusiausvyra turi didelę reikšmę skystųjų kompleksinių trąšų technologijoje. Remiantis druskų–vandens sistemų pusiausvyros duomenimis, kuriami medžiagų kristalizacijos procesai, nustatoma skystųjų kompleksinių trąšų sudėtis, jų gamybos ir laikymo sąlygos. SKT sudarančių komponentų tarpusavio tirpumas turi didelę praktinę reikšmę nustatant didžiausią augalų maisto medžiagų (AMM) koncentraciją ir jų santykį. Druskų–vandens sistemos tyrimas leidžia nustatyti kristalohidratų, dvigubųjų druskų ir kompleksinių junginių susidarymo sąlygas vandens tirpaluose [11].

Druskų vandens tirpalų pusiausvyrai tirti dažniausiai taikomi fizikinės ir cheminės analizės metodai. Vienas iš svarbiausių metodų vandens–druskų sistemų pusiausvyrai tirti paremtas druskų tirpumo priklausomybės nuo temperatūros nustatymu. Labiausiai paplitę yra izoterminis ir vizualinis politerminis nustatymo metodai. Norint nustatyti naujai kuriamų skystųjų kompleksinių trąšų cheminę sudėtį, būtina žinoti daugiakomponentinių sistemų, kuriose yra minimos druskos, fazių (skysta–kieta) pusiausvyros duomenis [12].

Atsižvelgiant į tai, kad bendroje žemės ūkio produkcijos savikainoje trąšų kaina sudaro nemažą jos dalį (2008 m – 26,6 %, 2013 m. – 22,4 %), siekiama įvairiais būdais mažinti trąšų gamybos ir naudojimo kaštus [13]. Vienas iš būdų šiam tikslui pasiekti – chemijos ar kitų pramonės šakų tarpinių produktų ar atliekų panaudojimas trąšoms gaminti. Šiame darbe atlikti tyrimai siekiant SKT gamyboje panaudoti kalio dihidrofosfato gamyboje susidarancias skystąsias atliekas, kuriose yra augalams reikalingų maisto medžiagų. Toks darbas aktualus ne tik tai skystųjų trąšų asortimento padidinimo, bet ir aplinkosauginiu aspektu.

## Tyrimų metodika

Amoniakinio azoto ( $\text{NH}_4^+$ ) koncentracija skystojoje fazėje nustatyta Kjeldalio metodu, naudojant distiliatorių *Vapodest 45s Gerhardt*. Rezultatas, kuris užrašomas 0,1 % dalies tikslumu, yra dviejų lygiagrečiai atliktų bandymų rezultatų aritmetinis vidurkis, kai skirtumas tarp jų  $< 0,3$  %, esant bandymo tikimybei 0,95 [14]. Fosforo (perskaičiuojant į  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) koncentracija skystojoje fazėje nustatyta fotokolorimetriniu metodu, naudojant spektrofotometrą T70/T80 UV–VIS su 10,0 mm kiuvete, esant bangos ilgiui  $\lambda = 440$  nm. Standartinė paklaida  $\pm 0,004$  Abs [15].

Kalio (perskaičiuojant į  $\text{K}_2\text{O}$ ) koncentracija skystojoje fazėje nustatyta ribinių tirpalų metodu naudojant liepsnos fotometrą *Jenway PFP – 7*. Variacijos koeficientas  $\leq 1$  % [14].

Chlorido ( $\text{Cl}^-$ ) koncentracija skystojoje fazėje buvo nustatyta, potenciometriniu metodu naudojant automatinį titratorių *Titro Line Easy Schott Instruments*. Nustatymo riba  $0,05 \pm 1$  [15].

*pH* matavimas buvo atliktas *pH*-metru *HANNA pH 211* su stikliniu elektrodu HI1131B; tankio matavimas – svorio metodu, naudojant 5  $\text{cm}^3$  piknometrą; klampos matavimas – stikliniu Ostvaldo viskozimetru VPZ–2 (kapiliaro skersmuo 1,31 mm), lūžio rodiklis – refraktometru ИРФ–2 (refraktometro tikslumas 0,01 padalos vertės) [16]. Kristalizacijos temperatūra – krioskopiniu politerminiu metodu, šaldančiuoju agentu naudojant ledo, natrio chlorido ir amonio chlorido mišinį. Kristalizacijos temperatūra buvo matuota gyvsidabrinio termometru, kurio tikslumas 0,1 °C [17]. Tyrimo rezultatas pateiktas kaip aritmetinis 10 lygiagrečių bandymų vidurkis.

Skystųjų kompleksinių trąšų agrocheminio efektyvumo įvertinimas buvo atliekamas modifikuotu mikrovegetacinių bandymų metodu [18]. Bandymas buvo atliekamas indeliuose, pripildytuose vienodu kiekiu (32,0 g) silpnai

šarminės reakcijos priesmėlio dirvožemio. Eksperimento patikimumui užtikrinti buvo ruošiami 3 analogiški bandiniai. Į kiekvieną indelį įsėta po 16 iš anksto sudaigintų (laikant užpylus vandeniui 2 paras 20 °C temperatūroje) vasarinių kviečių („Hamlet“ tiekėjas ūkininkas E. Miliūnas) ir miežių („Luokė“, tiekėjas ūkininkas E. Miliūnas) sėklų. Apšvietimui buvo naudojama dirbtina 1000 lx dienos šviesos lempų šviesa. Kviečiai ir miežiai auginami tol, kol dėl beveik visiško maisto medžiagų suvartojimo daigai pradėjo gelsti (2 savaitės). Tyrimo rezultatas pateiktas kaip aritmetinis 3 lygiagrečių bandymų vidurkis.

Kristalizacijos temperatūros rezultatams įvertinti buvo apskaičiuota standartinė ( $S_x$ ) paklaida esant 95 % tikimybei [19].

## Rezultatai ir jų aptarimas

Bet kurioje pramonės šakoje, ypač chemijos, gaminant įvairius produktus vienas iš ekonominiu ir aplinkosauginiu požiūriu teigiamų aspektų yra beatliekės technologijos sukūrimas ir naudojimas. Vykdamas kalio chlorido ir amonio dihidrofosfato konversiją, susidaro ne tik kietoji fazė (KF), kurioje yra kalio dihidrofosfato (KDF) kristalai, bet ir skystoji fazė (SF), kurioje, atsižvelgiant į konversijos sąlygas, gali būti įvairios  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  ir  $\text{Cl}^-$  jonų koncentracijos [20]. Kadangi šiuose pokristalizaciniuose tirpaluose (PT) yra pagrindinių augalų maisto medžiagų (N, P, K), todėl būtų tikslinga juos panaudoti skystosioms trąšoms gaminti.

Tuo tikslu buvo nustatytos pagrindinės PT savybės (cheminė sudėtis, kristalizacijos temperatūra, *pH*, klampa, tankis), kurios paprastai naudojamos kaip SKT rodikliai. Tyrimų rezultatai pateikti 1 lentelėje.

Iš 1 lentelėje pateiktų duomenų matyti, kad PT yra nuo 1,19 % iki 1,45 % azoto, nuo 14,96 % iki 26,55 % kalio (perskaičiuoto į  $\text{K}_2\text{O}$ ), nuo 1,06 % iki 2,55 % fosforo (perskaičiuoto į  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) ir nuo 13,42% iki 13,71 % chloro. Tokios savybės kaip tankis ir klampa visiškai nepriklauso nuo konversijos temperatūros ir atitinka SKT keliamus reikalavimus. Šių tirpalų *pH* taip pat praktiškai nepriklauso nuo temperatūros, yra silpnos rūgštinės terpės ir svyruoja labai siaurame intervale (3,5–4,0). Paprastai SKT *pH* vertė turi būti ne mažesnė nei 3,5, todėl šie PT pagal *pH* vertę yra tinkami skystosioms kompleksinėms trąšoms gaminti. Labiausiai tiriamų tirpalų naudojimą riboja aukšta jų kristalizacijos temperatūra, kuri kinta nuo 16 °C iki 19 °C.

**1 lentelė.** SF fizikinių cheminių savybių priklausomybė nuo konversijos temperatūros, kai  $\text{KCl} : \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 = 0,8 : 0,2$

Konversijos temperatūra, °C	AMM koncentracija, %			Cl <sup>-</sup> koncentracija, %	pH	Kristalizacijos temperatūra, °C***	Klampa, mm <sup>2</sup> /s	Tankis, g/cm <sup>3</sup>
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> *	K <sub>2</sub> O**					
20	1,19	2,55	16,02	13,52	4,0	18,0	1,02	1,16
40	1,25	1,06	26,55	13,42	3,8	18,0	1,03	1,16
60	1,39	2,55	14,96	13,71	3,5	19,0	1,02	1,18
80	1,45	1,91	15,36	13,63	3,9	16,0	1,05	1,15

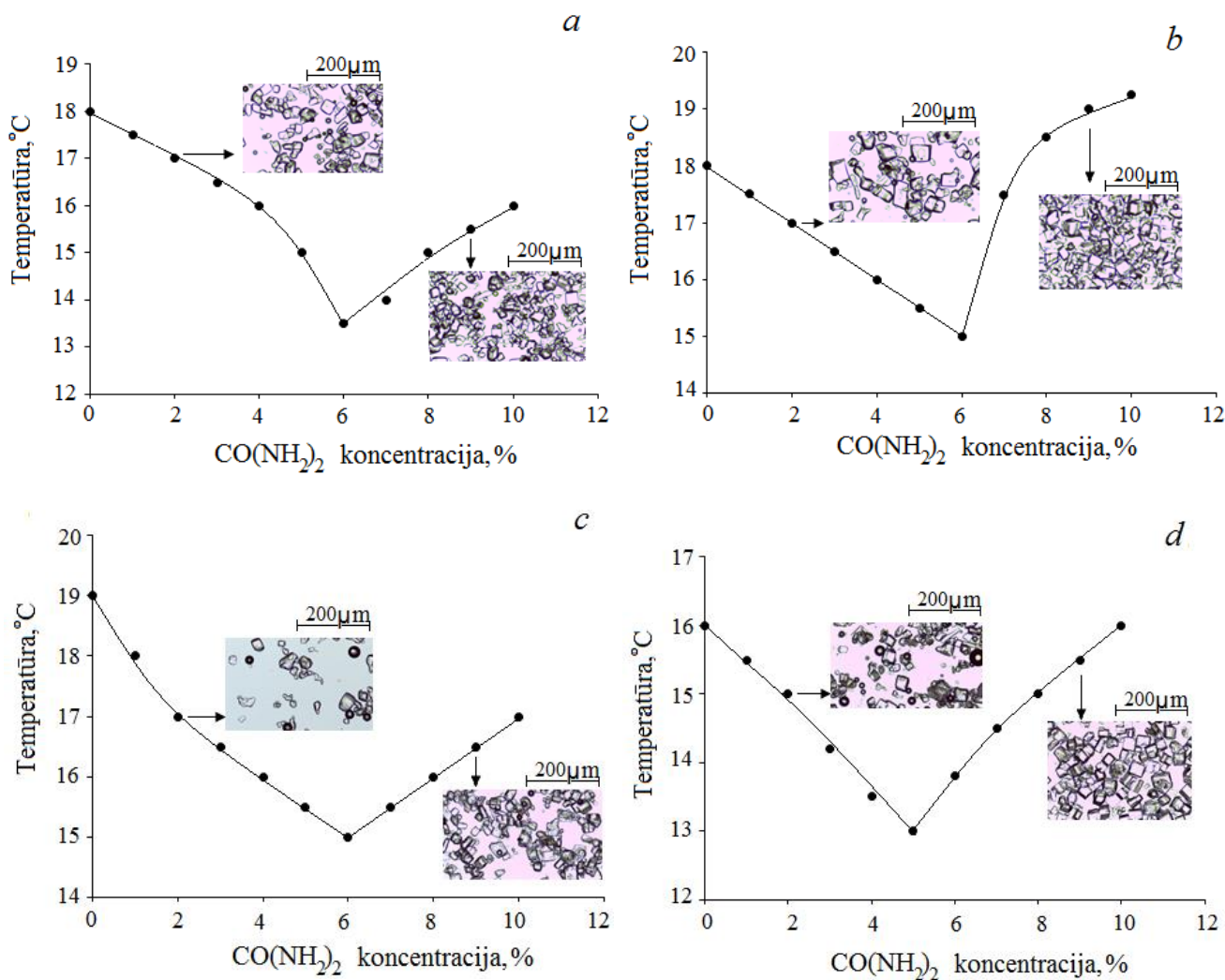
\* – P, pagal trąšų reglamentą, perskaičiuotas į P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>;

\*\* – K, pagal trąšų reglamentą, perskaičiuotas į K<sub>2</sub>O;

\*\*\* –  $S_x = 0,71$  (20 °C);  $S_x = 0,62$  (40 °C);  $S_x = 0,49$  (60 °C);  $S_x = 0,97$  (80 °C).

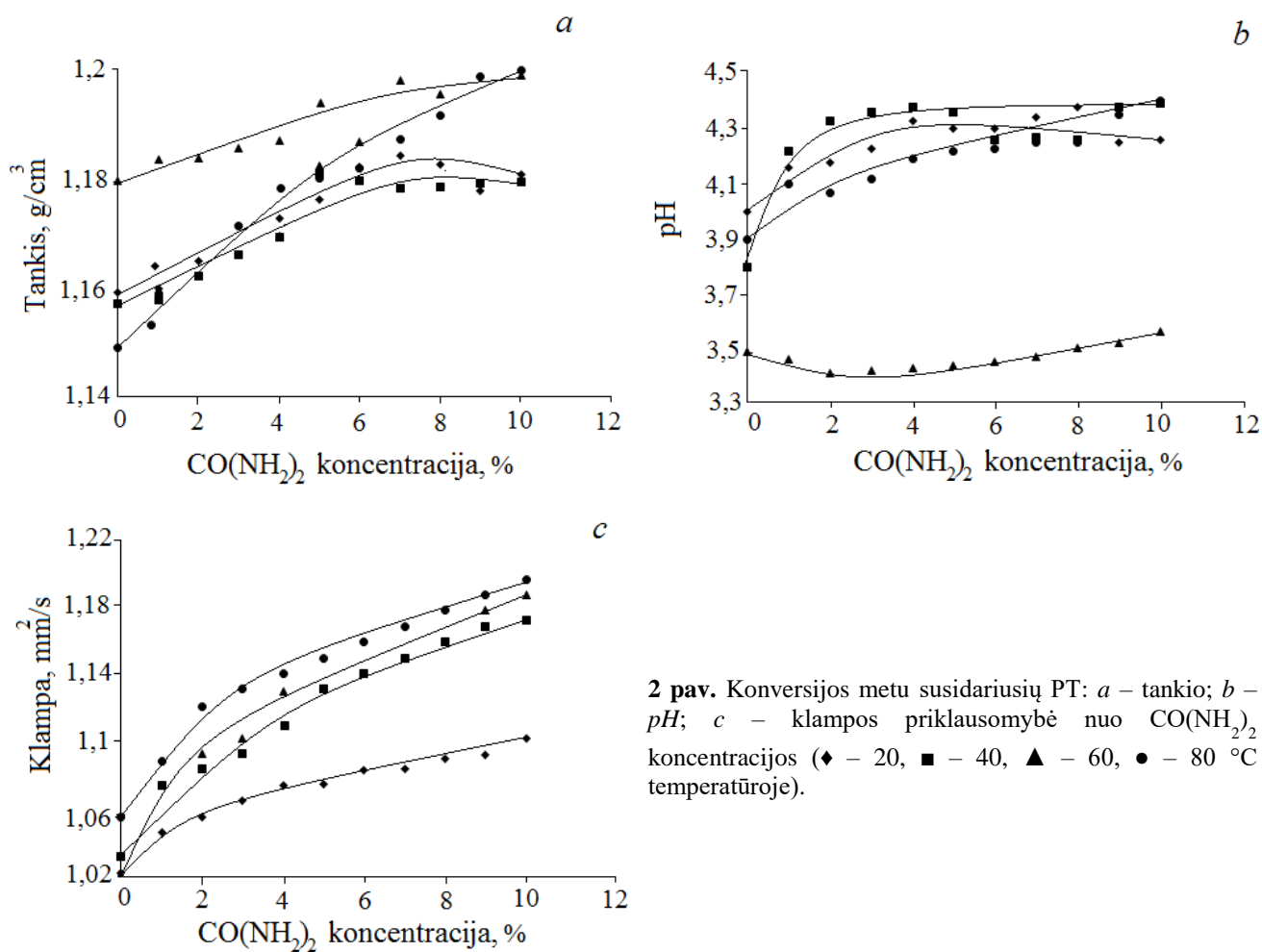
Atsižvelgiant į tai, kad skystojoje fazėje, kuri susidaro konversijos metu išsikristalizuojant kalio dihidrofosfatui, yra nedidelė (1,19–1,45 %) azoto (būtinio SKT komponento) koncentracija, o pagal trąšų reglamentą turi būti ne mažesnė kaip 4 % [21], buvo siekiama ją kiek įmanoma labiau padidinti, pridėdant tirpių azoto junginių. Atlikti tyrimai į PT pridėdant iki 10 % karbamido ir

nustatant tokių tirpalų kristalizacijos temperatūras (1 pav.). Kaip matyti iš 1 paveiksle esančių kreivių, tirtame karbamido koncentracijų intervale visos politermės yra klasikinės formos ir turi vieną eutektinį tašką, kuris atitinka žemiausią šios daugiakomponentės sistemos kristalizacijos temperatūrą ir didžiausią šioje temperatūroje galimą  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  koncentraciją.



**1 pav.** PT, gautų esant  $\text{KCl} : \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 = 0,8 : 0,2$  ir konversijos temperatūrai: *a* – 20, *b* – 40, *c* – 60, *d* – 80 °C, kristalizacijos temperatūros priklausomybė nuo karbamido koncentracijos. KF optinės mikroskopijos nuotraukos.

1 paveiksle pateiktose politermėse matyti, kad žemiausia kristalizacijos temperatūra (13,5 °C) yra tada, kai karbamido koncentracija – 6 % (1 pav., a). Esant tai pačiai karbamido koncentracijai skystojoje fazėje, gautoje vykdant konversiją 40 °C temperatūroje (1 pav., b), kristalizacijos temperatūra eutektiniame taške yra aukštesnė ir siekia 15 °C. Tokia pati kristalizacijos temperatūra ir tokia pati karbamido koncentracija pasiekama pokristalizaciniame tirpale, kuris buvo gautas vykdant konversiją 60 °C temperatūroje (1 pav., c). Po konversijos 80 °C temperatūroje susidariusioje SF eutektinis taškas fiksuojamas 13 °C temperatūroje į tirpalą pridėjus 5 % karbamido (1 pav., d). Analizuojant gautas politermes atitinkamose jų dalyse prieš lūžio tašką ir po jo, t. y. esant 2 % ir 9 % karbamido koncentracijai, buvo iškristalizuota ir atskirta kietoji fazė ir padarytos optinės mikroskopijos nuotraukos (1 pav.), kurios leidžia įvertinti susidariusių kristalų formą ir daryti preliminarias išvadas apie kietosios fazės prigimtį.



Remiantis gautais kalio dihidrofosfato susidarymo [20] ir kristalizacijos temperatūros priklausomybės nuo CO(NH₂)₂ koncentracijos rezultatais, galima teigti, kad, į pokristalizacinį tirpalą (gautą vykdant konversiją 60 °C temperatūroje) įdėjus 6 % karbamido, galima pagaminti 4–5–15 markės SKT, kurių kristalizacijos temperatūra – 15 °C.

Skystosioms kompleksinėms trąšoms gaminti ir naudoti, be kristalizacijos temperatūros, labai svarbūs tokie parametrai: klampa, tankis ir pH. Buvo tirta karbamido įtaka šiems parametrams ir gauti rezultatai pateikti 2 paveiksle. Kaip matyti iš pateiktų duomenų, karbamido koncentraciją didinant iki 10 % trąšų klampa ir tankis padidėja nedaug, todėl tai nedaro esminės įtakos parenkant SKT gamybos ir naudojimo įrangą. Į PT pridėjus karbamido, nustatytas nedidelis pH vertės padidėjimas vertinamas teigiamai, nes paprastai siekiama, kad gaminamų trąšų pH būtų silpnai rūgštinė.

2 pav. Konversijos metu susidariusių PT: a – tankio; b – pH; c – klamos priklausomybė nuo CO(NH₂)₂ koncentracijos (◆ – 20, ■ – 40, ▲ – 60, ● – 80 °C temperatūroje).

Pagamintų skystųjų kompleksinių trąšų agrocheminiam įvertinimui buvo atlikti

mikrovegetaciniai bandymai, kurie leido daryti išvadas apie trąšose esančių maisto medžiagų

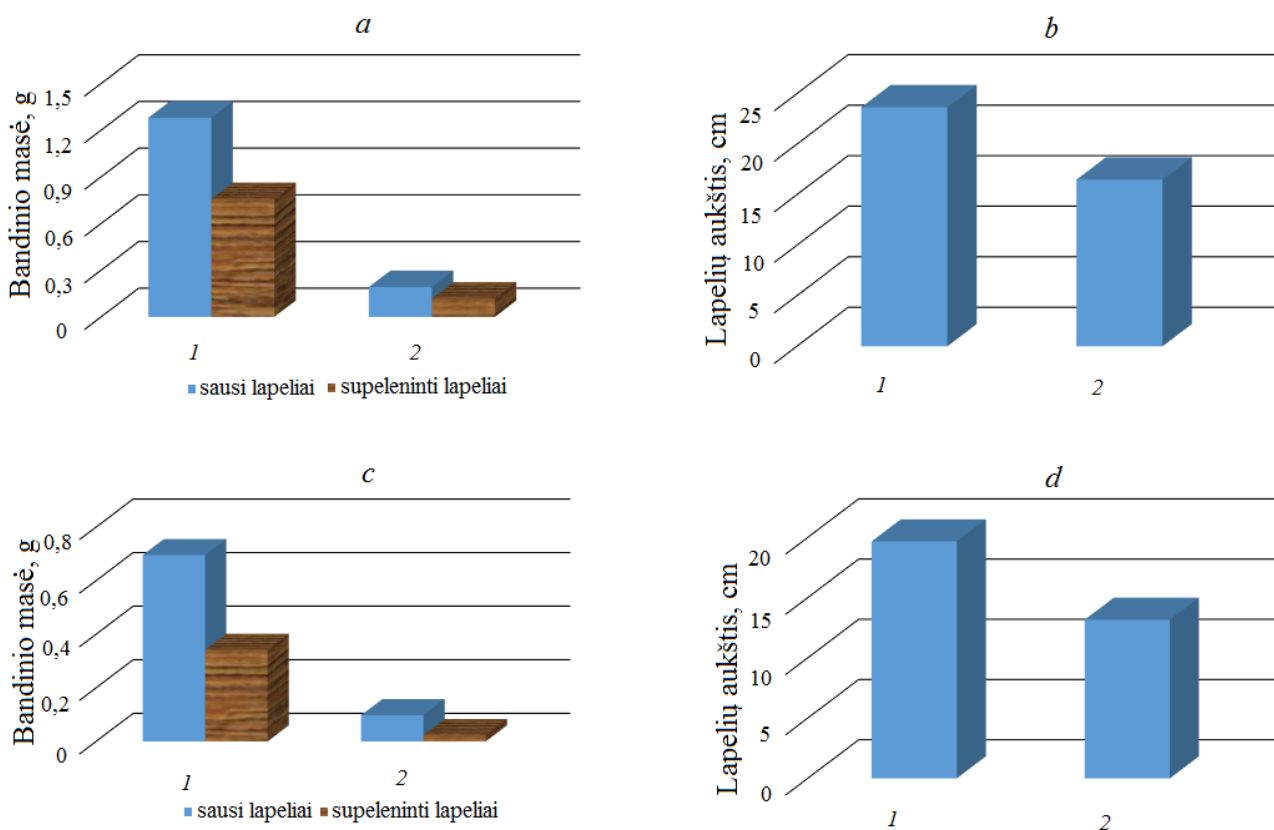
įsisavinimą ir poveikį augalams. Kadangi gautos SKT, įvertinant cheminę sudėtį ir kristalizacijos temperatūrą, yra labiau tinkamos lauko augalams vasaros metu tręšti, bandymams buvo pasirinkti vasariniai kvietrugiai ir vasariniai miežiai.

Atsižvelgiant į tiriamųjų skystųjų trąšų maisto medžiagų koncentraciją, buvo apskaičiuota reikalinga trąšų norma ir pasirinkta tokia eksperimento schema [22]:

1. 0,0172 mg 4–5–15 SKT su  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , t. y. pagamintos į PT (likusį po konversijos, esant 60 °C temperatūrai) pridant 6 %  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ .
2. Be trąšų (kontrolė).

Į šešis specialius vienodos talpos indelius, kuriuose buvo įberta po 32 g žemių, įsodinta po 16

sudaigintų vasarinių kvietrugių. 3 bandiniai buvo patręšti (išpilant visą trąšų normą per vieną kartą) SKT trąšomis su  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , o 3 – visai netręšti. Analogiškai 6 bandiniai buvo paruošti naudojant vasarinius miežius. Laistyti naudotas distiliuotas vanduo (po 10 ml į kiekvieną indelį kas 4 dienas). Atliekant agrocheminius bandymus, buvo registruojama sudygimo pradžia ir augimo pabaiga. Po nupjovimo (pjaunama pradėjus augalams gelsti) įvertintas augalų ir lapelių skaičius bei lapelių aukštis, augalų sausa masė ir pelenų (mineralinių medžiagų) kiekis. Kadangi bandymas kartotas 3 kartus, apskaičiuotas aritmetinis vidurkis ir gauti agrocheminių tyrimų duomenys pateikti 3 paveiksle.



**3 pav.** Agrocheminių bandymų su kvietrugiais (a ir b) ir miežiais (c ir d) rezultatai: 1 – tręšiant SKT 4–5–15 (su  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ); 2 – kontrolinis bandinys (be trąšų).

Iš 3 paveiksle pateiktų rezultatų matyti, kad tręšiant 4–5–15 SKT markės trąšomis su karbomidu, sausų javų (ir kvietrugių, ir miežių) ir pelenų masė, palyginti su bandiniais be trąšų, padidėja 5–6 kartus. Javų lapeliai taip pat ilgesni ir miežių, ir kvietrugių bandiniuose (19–23 cm), kuriuose buvo naudojamos trąšos, nei kontroliniuose (be trąšų) bandiniuose (13–16 cm). Naudojant SKT sausų lapelių masė padidėja 78,2 %, supelenintų lapelių masė – 41,6 %, o lapelių aukštis 31,2 %.

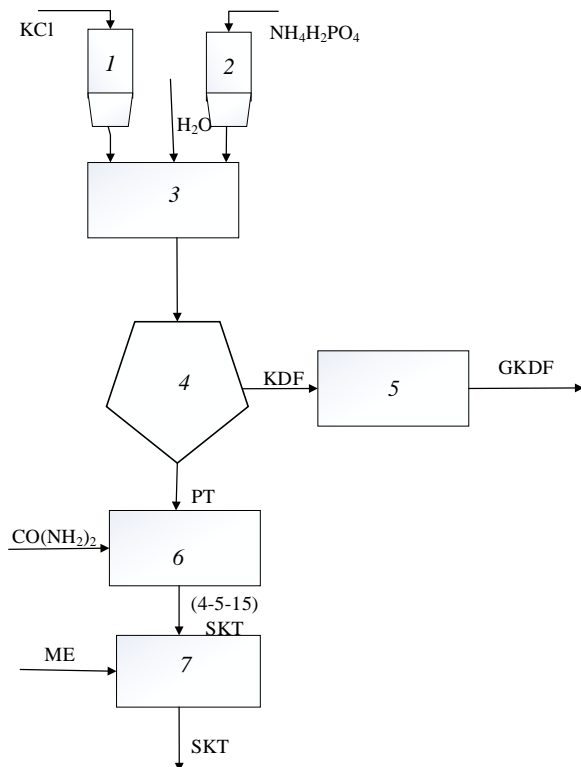
Tyrimų rezultatai parodė, kad vandeniniuose tirpaluose sąveikos tarp kalio chlorido ir amonio dihidrofosfato rezultatas, esant 60 °C temperatūrai ir  $\text{KCl} : \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 = 0,8 : 0,2$ , – kietojoje fazėje kristalizuojasi kalio dihidrofosfatas, o SF lieka PT tinkamas SKT gaminti. Įvertinus jau aprašytas eksperimento sąlygas ir rezultatus, sukurta principinė blokinė KDF ir SKT gavimo schema (4 pav.).

Kalio chloridas, amonio dihidrofosfatas ir vanduo per dozatorius tiekiamas į reaktorių,



kuriame ištirpinamos sudozuotos druskos ir įvyksta konversijos reakcija. Pasibaigus reakcijai, filtru atskirtas pokristalizacinis tirpalas tiekiamas į reaktorių, į kurį dozuojamas reikalingas karbamido kiekis ir pagaminamos 4–5–15 markės skystosios kompleksinės trąšos. Prireikus standartizatoriuje į jas gali būti pridėdama mikroelementų. Gautos skystosios kompleksinės trąšos su mikroelementais tiekiamos į pakavimo skyrių, paskui – į sandėlį.

Filtre atskirta kietoji fazė (išsikristalizavęs kalio dihidrofosfatas) tiekiamas į granuliatorių, gautas produktas (GKDF) tiekiamas į sandėlį.



**4 pav.** Granuliuoto kalio dihidrofosfato (GKDF) ir skystųjų kompleksinių trąšų (SKT) gavimo blokinė schema: 1, 2 – KCl ir  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  dozavimas; 3 – KCl ir  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  sąveika; 4 – KF ir SF atskyrimas; 5 – KDF granuliavimas; 6 – SKT gavimas; 7 – standartizavimas.

## Išvados

1. Nustatyta, kad po KCl ir  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  sąveikos (santykiu 0,8 : 0,2) likusioje skystojoje fazėje, atsižvelgiant į konversijos temperatūrą, yra 1,19–1,45 % N; 14,96–26,55 %  $\text{K}_2\text{O}$ ; 1,06–2,55 %  $\text{P}_2\text{O}_5$  ir 13,42–13,71 % Cl.
2. Pokristalizacinių tirpalų  $pH$  (3,5–4,0), tankis ( $1,15\text{--}1,18\text{ g/cm}^3$ ) ir klampa ( $1,02\text{--}1,05\text{ mm}^2/\text{s}$ ) beveik nepriklauso nuo konversijos temperatūros ir atitinka SKT keliamus reikalavimus.
3. Į pokristalizacinį tirpalą įdėjus 6 % karbamido, galima pagaminti vasarines 4–5–

15 markės skystąsias kompleksines trąšas, kurių kristalizacijos temperatūra –  $15\text{ }^\circ\text{C}$ , o klampa,  $pH$  ir tankis, palyginti su pokristalizacinius tirpalu, padidėja nedaug.

4. Naudojant pagamintas 4–5–15 markės skystąsias trąšas, gautas javų sausos ir pelenų masės bei lapelių aukščio padidėjimas.
5. Konversijos tarp kalio chlorido ir amonio dihidrofosfato rezultatas, esant  $60\text{ }^\circ\text{C}$  temperatūrai ir  $\text{KCl} : \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 = 0,8 : 0,2$ , – susidariusi skystoji fazė agrocheminiu požiūriu yra tinkama efektyvioms skystosioms 4–5–15 markės trąšoms gaminti.

## Literatūra

1. **Oldham L.** Extension service, fluid fertilizers [interaktyvus] [žiūrėta 2016-01-18]. Prieiga per internetą: <https://extension.msstate.edu/sites/default/files/publications/publications/p1466.pdf>
2. **Nath M., Narendra T.** NPKS uptake, sensing, and signaling and miRNAs in plant nutrient stress // *Protoplasma*. 2016. Vol. 253. N 3. P. 767–786. <http://dx.doi.org/10.1007/s00709-015-0845-y>
3. **Azzouzi H., Ouzaouit K., Aboulaich A., Dali Y., Kaddami A., Akalay I.** Management products potentially used in fertilizers industry // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 138. P. 302–307. <https://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.02.088>
4. **Chen Y. F., Wang Y., Wu W. H.** Membrane transporters for nitrogen, phosphate and potassium uptake in plants // *Journal of Integrative Plant Biology*. 2008. Vol. 50. N 7. P. 835–848. <https://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7909.2008.00707.x>
5. **Dyck T.** Liquid versus granular. [interaktyvus] [žiūrėta 2016 05 24] Prieiga per internetą: <http://www.grainews.ca/2013/03/20/liquid-versus-granular/>
6. **El-Sayed H. M.** Viscosities and densities of some multi-component regular liquid solutions at different temperature levels (Doctoral thesis). Ontario, 2010.
7. **Klungevičiūtė D.** Mikroelementų įtakos tyrimas skystųjų kompleksinių trąšų korozinėms savybėms. Mokslinio tyrimo darbo ataskaita. Kaunas, 1989.
8. **Derek A. P.** Fluid fertilizer science and technology. New York, Marcel Dekker, INC. 1991.
9. **Sviklas A. M., Paleckienė R., Šlinkšienė R.** Sudėtinės trąšos: vadovėlis. Vilnius: Vilniaus pedagoginis universitetas, 2008.
10. **Lorca F. G.** Properties of solid and liquid fertilizers, fertigation in olive plantation [interaktyvus] [žiūrėta 2016-05-2]. Prieiga per internetą: <http://www.gatfertilizers.com/properties-of-solid-and-liquid-fertilizers>.

11. **Palgrave D. A.** Fluid fertilizer science and technology. New York, 1991.
12. **Mullin J. W.** Crystallization. Butterworth: Heinemann, 2001.
13. **Kriščiukaitienė I., Tamošaitienė A., Andrikienė S., Juškevičienė D.** Lietuvos žemės ūkio produktų pelno prognozės iki 2013 metų // Management theory and studies for rural business and infrastructure development. 2010. Vol. 5 N 24. [https://www.laei.lt/x\\_file\\_download.php?pid=639](https://www.laei.lt/x_file_download.php?pid=639)
14. Standards Association of Lithuania. Lithuanian standard: Fertilizers - Determination of the water-soluble potassium content, (2009). EN15477-2009.
15. **Crosby N. T., Patel N.** The fertilizers (sampling and analysis) regulations // Agriculture. Statutory Instruments, Laboratory of the Government Chemist. London, 1991. P. 7.
16. **Kimura M.** Testing methods for fertilizers. Basic concepts and industrial applications [interaktyvus] [žiūrėta 2016-01-16]. Prieiga per internetą: [www.famic.go.jp/ffis/fert/obj/TestingMethodsForFertilizers2013](http://www.famic.go.jp/ffis/fert/obj/TestingMethodsForFertilizers2013).
17. **Anosov V., Ozierova A. P., Burnistrova N. P., Šiedrina A. P.** Posobie k praktičieskim zaniatim po fizikochimičieskomų analizų. Kazan, 1969.
18. **Belūsova A. A., Smirnova O. I.** Agrochimija. Moskva, 1989.
19. SVAKO. [interaktyvus] [žiūrėta 2016-06-09]. Prieiga per internetą: <https://svako.lt/UserFiles/File/MTV/.../1%20Moks%20tyrimo%20rezultatai.pdf>.
20. **Jančaitienė K., Šlinkšienė R.**  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  crystallisation from potassium chloride and ammonium dihydrogen phosphate // Polish Journal of Chemical Technology. 2016. Vol. 18. N 1. P. 1-8. <https://dx.doi.org/10.1515/pjct-2016-0001>
21. TRAŠOS. Trąšų normos nustatymas, LST EN 15475. Vilnius, 2009.
22. **Mašauskas V.** Aplinkosauga ir tręšimo planavimas. Mokymo priemonė. [interaktyvus] [žiūrėta 2015-04-24]. Prieiga per internetą: <https://zum.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/leidiniai/aplinkosauga-ir-tresimo-planavimas>

K. Jančaitienė, R. Šlinkšienė

## MANUFACTURING OF LIQUID COMPOUND FERTILIZERS FROM WASTE POTASSIUM DIHYDROGEN PHOSPHATE PRODUCTION

### Summary

In the production of many products in various industries, especially chemical, the positive aspect is the creation and use of a waste-free technology. It has been found that the content of a liquid phase after interaction between  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  and  $\text{KCl}$  (the molar ratio of the starting materials was 0.8 : 0.2) depends on the conversion temperatures. The chemical composition of the liquid phase can vary from 1.19 to 1.45 % of N, from 14.96 to 26.55 % of  $\text{K}_2\text{O}$ , from 1.06 to 2.55 % of  $\text{P}_2\text{O}_5$  and from 13.42 to 13.71 % of Cl. The other properties of the solutions, such as *pH*, density and viscosity, are almost independent of temperature and meet the requirements for liquid compound fertilizers. This means that it is possible to produce a liquid fertilizer 4–5–15 grade in the post-crystallization of potassium dihydrogen phosphate remaining solution (when the molar ratio of the starting materials is 0.8 : 0.2) by adding 6 % of  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  wherein the crystallization temperature is 15 °C. It has been discovered that the liquid fertilizers 4–5–15 grade are efficient and give a bigger yield of plants. It increased the test plate dry weight by 78.2 %, the ash content by 41.6 % and the height of the plants by 31.2 %.