



**Kauno technologijos universitetas**

Aplinkos inžinerijos institutas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

## **Fosforo srautai Lietuvoje**

---

**Tadas Čeponis**

Projekto autorius

**dr. Jolita Kruopienė**

Vadovė

---

**Kaunas, 2019**



**Kauno technologijos universitetas**  
Aplinkos inžinerijos institutas  
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

**Fosforo srautai Lietuvoje**  
Baigiamasis magistro projektas  
Darnus valdymas ir gamyba (6213EX001)

---

**Tadas Čeponis**  
Projekto autorius

**dr. Jolita Kruopienė**  
Vadovė

**Doc. dr. Visvaldas Varžinskas**  
Recenzentas

---

**Kaunas, 2019**



## KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Aplinkos inžinerijos institutas  
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Tadas Čeponis

---

(Studento vardas, pavardė)

Darnus valdymas ir gamyba, 6213EX001

---

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Fosforo srautai Lietuvoje“

### AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

Patvirtinu, kad mano, **Tado Čeponio**, baigiamasis projektas tema „Fosforo srautai Lietuvoje“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

---

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

---

(parašas)



**Kauno technologijos universitetas**

Aplinkos inžinerijos institutas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

## **Magistro projekto užduotis**

Projekto tema: Fosforo srautai Lietuvoje

---

Reikalavimai ir  
sąlygos

Fosforas – viena iš ES kritinių žaliavų. Todėl šiuo darbu turi būti sudarytas fosforo balansas ir įvertinti srautai Lietuvoje, tuo sukuriant pagrindą esamai situacijai suprasti ir galimiems fosforo valdymo scenarijams, siekiant uždaryti fosforo srautus, sukurti.

- Apžvelgti fosforo (P), kaip kritinės žaliavos, problematiką, koncentruojantis į P srautus ir galimybes bei priemones, taikomas Europoje siekiant mažinti pirminio fosforo poreikį;

- Remiantis kitų šalių patirtimi ir preliminarioriomis žiniomis apie Lietuvos situaciją, sudaryti konceptualų P srautų modelį Lietuvai;

- Surinkti esamus duomenis ir kiekybiškai įvertinti P srautus Lietuvoje, naudojant programinę įrangą STAN;

- Palyginti P balansą ir srautus Lietuvoje su kitomis šalimis ir pateikti išvalgas dėl srautų uždarymo galimybių.

Vadovas / Vadovė

Prof. Jolita Kruopienė

---

(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

## TURINYS

<b>PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS</b> .....	6
<b>LENTELIŲ SĄRAŠAS</b> .....	7
<b>SANTRUPŲ IR TERMINŲ SĄRAŠAS</b> .....	8
<b>ĮVADAS</b> .....	11
<b>1. FOSFORO, KAIP KRITINĖS ŽALIAVOS, ŽIEDIŠKUMO DIDINIMO GALIMYBIŲ IR PRIEMONIŲ APŽVALGA</b> .....	12
1.1. Fosforo vaidmuo gamtinėje aplinkoje ir ūkinėje veikloje.....	12
1.1.1. Fosforo svarba ir naudojimas .....	12
1.1.2. Fosforo patekimas ir kaupimasis dirvoje bei vandens telkiniuose.....	13
1.1.3. Fosforo išteklių naudojimas .....	17
1.2.1. Pirminio fosforo paplitimas pasaulyje .....	19
1.2.2. Pasaulio fosforo ištekliai .....	20
1.3. Pasaulio dirvožemių fosforo balansas.....	21
1.3.2. Fosforo balansas Europoje .....	22
1.3.3. Antrinis fosforas .....	24
1.3. Su fosforu susiję strateginiai dokumentai ir teisės aktai, skatinantys srautų uždarymą.....	26
1.3.1. Fosfatinės uolienos ir baltasis fosforas – tarp kritinių Europai žaliavų .....	26
1.3.2. Nacionaliniai teisės aktai ir strategijos.....	28
1.3.3. Europinės iniciatyvos ir veikla .....	29
1.4. Fosforo srautų ištirtumas atskirose šalyse ir Europos lygmeniu.....	30
<b>2. MEDŽIAGŲ SRAUTŲ ANALIZĖS METODIKA</b> .....	32
<b>3. FOSFORO SRAUTŲ ANALIZĖ LIETUVOJE</b> .....	34
3.1. Pagrindiniai fosforo srautai ir balansas Lietuvoje .....	34
3.2. Fosforo srautai trąšose .....	36
3.3. Fosforo srautai žemės ūkyje ir maiste.....	38
3.4. Fosforo srautai atliekose .....	41
3.5. Lietuvos fosforo masės ir srautų analizės palyginimas su kitomis šalimis .....	43
3.6. Fosforo atgavimo galimybės Lietuvoje.....	45
<b>IŠVADOS</b> .....	47
<b>LITERATŪROS IR ŠALTINIŲ SĄRAŠAS</b> .....	49
<b>Priedai</b> .....	57

## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Daugiausiai naudojamos fosforo trąšos (Sviklas A. M. ir kt., 2006).....	13
2 pav. Fosforo apytakos ciklas (University of Waikato, 2013) .....	14
3 pav. Pasaulio pakrančių eutrofikacijos žemėlapis (Clear view geographic, 2018) .....	15
4 pav. Baltijos jūros eutrofinė būklė (European Court of auditors, 2016) .....	16
5 pav. Fosforo naudojimas (Schröder J. J. ir kt., 2010).....	17
6 pav. Trąšų naudojimo pasaulyje tendencijos (IFA) 1979 – 2021 m. (Yara Intl, 2018).....	18
7 pav. Geografinis fosforo atsargų pasiskirstymas pasaulyje (Jasinski S. M., 2017).....	19
8 pav. Pasaulinis fosfatinių uolienu išgavimas augant žmonių populiacijai 1900 – 2040 m.....	20
9 pav. Divožemio fosforo sankaupos ir deficitai pasaulyje (MacDonald G. K. ir kt., 2011) .....	22
10 pav. Fosfatinių uolienu importas į ES 2010 – 2014 m. ( <i>Eurostat</i> duomenys) .....	23
11 pav. Gamtinių fosfatų importas į EU (Lécuyer B., 2014).....	23
12 pav. Fosfatinių uolienu ekonominė svarba ir tiekimo rizikos balai. (European Commission, 2017)....	27
13 pav. Kritinių žaliavų svarba Europos Sąjungai (European Commission, 2018) .....	27
14 pav. Fosforo srautų balansas Lietuvoj .....	34
15 pav. Fosforo masės ir srautų analizės importo ir eksporto srautai t P/metus .....	36
16 pav. Fosforo srautų balansas trąšų pramonėje .....	37
17 pav. Fosforo srautų balansas žemės ūkyje ir maiste.....	39
18 pav. Fosforo srautų balansas atliekų sektoriuje.....	41
19 pav. LAND 20-2005 nuotekų dumblo naudojimo tręšimui bei rekultivavimui reikalavimai .....	42
20 pav. LAND 20-2005 nuotekų dumblo naudojimo tręšimui bei rekultivavimui reikalavimai .....	45

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Fosfatinių uolienų išgavimas ir rezervai .....	21
2 lentelė. Pagrindiniai fosforo srautai Lietuvoje.....	35
3 lentelė. Fosforo trąšų naudojimas žemės ūkyje .....	38
4 lentelė. Žemės ūkio augalų nuimtas plotas 2017 m. (Lietuvos statistikos departamentas).....	39
5 lentelė. P srautų ir pasirinktų rodiklių palyginimas skirtingose šalyse .....	43

## **SANTRUPŲ IR TERMINŲ SĄRAŠAS**

P – Fosforas

MSA – masės srautų analizė



Čeponis Tadas. Fosforo Lietuvoje balanso sudarymas ir srautų analizė. Magistro baigiamasis projektas, vadovė dr. Jolita Kruopienė; Kauno technologijos universitetas, Aplinkos inžinerijos institutas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Aplinkos inžinerija (E03) – pagrindinė, Gamybos inžinerija (E10), Verslas (L01), Inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: Fosforo, srautų, analizė.

Kaunas, 2019. 65 p

## SANTRAUKA

Fosforas yra vienas iš 6 pagrindinių mikroelementų, dalyvaujančių įvairiose gyvybės palaikymo procesuose. Tai baigtinis žemės resursas, kuris negali būti pakeistas kitais elementais ar junginiais. Siekiant efektyvaus šio elemento naudojimo ir atgavimo galimybių, tyrimams yra naudojamas masės ir srautų analizės metodas, kuriuo tyrinėjami srautai, sankaupos ir praradimai pasauliniu, regioniniu ir nacionaliniu lygmeniu.

Baltijos šalys nėra atlikusios fosforo srautų ir masės analizės, todėl, remiantis kitų šalių atliktais tyrimais, šiuo tyrimu siekiama sudaryti Lietuvos pagrindinių fosforo srautų conceptualų modelį, kuris suteiks galimybę detaliau paanalizuoti pagrindinius šalies viduje vykstančius fosforo judėjimus trąšų, žemės ūkio ir atliekų posistemėse. Programine įranga STAN sudarius fosforo srautų ir balanso modelį, nustatyti pagrindiniai fosforo praradimo šaltiniai bei pasiūlytos priemonės antrinio fosforo panaudojimo galimybėms taikyti.

Tyrimo metu nustatyta, kad į Lietuvą yra importuojama 204116 t P/m., daugiausia gamtiniuose kalcio fosfatuose – 82,3 %, maiste ir pašaruose 9 %, bei trąšose 8,7 %, o eksportuojama 1970099 t P/m. – 80,3 % trąšose ir 17,3 % maiste ir pašaruose.

Lyginant su kitomis šalimis nustatyta, kad Lietuvoje suvartojama 1,86 karto daugiau fosforo trąšose nei ES 27 šalių atliktame masės ir srautų vertinime bei sunaudojama santykinai daug mineralinių trąšų lyginant su organinėmis – 24 % daugiau nei ES 27 vidurkis. Lietuvos importuojamo ir eksportuojamo maiste ir pašaruose esančio fosforo balansas yra neigiamas -5,65 kg/gyventojui per metus, todėl sumažėja galimo antrinio fosforo atgavimo kiekis, o 27 Europos Sąjungos valtybių balansas yra teigiamas +1,88 kg/gyventojui.

Siekiant žiediško ir tvaraus fosforo valdymo modelio, pagrindinės nustatytos galimybės Lietuvai yra geros kokybės nuotekų dumblo gamyba, kurį būtų galima naudoti kaip trąšą ar kompostuoti. Taip pat mėšlo ir srautų kiekio susidarymo ir įterpimo į dirvą kontrolė, vengiant per daug intensyviai tręšiamų dirvožemių prie gyvūlininkystės ūkių. Dar viena iš galimybių – biologiškai skaidžių atliekų surinkimas ir naudojamas kompostui gaminti.

Čeponis Tadas. Balancing and Flow Analysis of Phosphorus in Lithuania. Master's thesis. Supervisor dr. Jolita Kruopienė. Institute of Environmental Engineering, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Environmental Engineering (E03) – main study field, Production and Manufacturing Engineering (E10), Business (L01), Engineering Sciences.

Key words: phosphorus, flow, analysis.

Kaunas, 2019. 65 p.

## SUMMARY

Phosphorus is one of the 6 major trace elements involved in various life support processes, a finite earth resource that cannot be replaced by other elements or compounds. For the purpose of efficient use and recovery of this element, the Mass and Mass Analysis method, which examines flows, aggregations and losses at global, regional and national levels, is used.

The Baltic States have not carried out phosphorus flow and mass analysis, therefore, this research will seek, through research conducted by other countries to develop a conceptual model of Lithuania's major phosphorus flows, which will provide an opportunity to analyze in more detail the main domestic phosphorus movements in fertilizer, agricultural and waste subsystems. By designing a phosphorus flow and balance model with the STAN software, to identify the main sources of phosphorus loss, and to propose measures to apply secondary phosphorus.

The study found that 204 116 tons of phosphorus/year are imported to Lithuania, mainly in natural calcium phosphates – 82,3 %, in food and feed 9 %, in fertilizers 8,7 %, and exported in 1970099 t P/year - 80.3% fertilizers and 17,3 % in food and feed.

Compared to other countries, it is estimated that Lithuania consumes 1.86 times more P-weight than the EU-27 weight and flow, and consumes a relatively large amount of mineral fertilizers compared to organic – 24 % more than the EU-27 average. The balance of phosphorus imported and exported by Lithuania in food and feed is negative -5,65 kg / capita per year, thus reducing the amount of possible recovery of secondary phosphorus, while the balance of 27 European Union states is positive +1,88 kg/capital.

In order to achieve a circular and sustainable model of phosphorus management, the main identified opportunities for Lithuania are the production of good quality sewage sludge that could be used as fertilizer or compost. Control of the formation and insertion of manure and slurry into the soil, avoiding excessively fertilized soils on livestock farms. Collection of biodegradable waste and used to produce compost.

## ĮVADAS

Fosforas yra vienas iš pagrindinių cheminių makroelementų, būtinų augalų ir gyvūnų gyvybinėms funkcijoms palaikyti. XVII amžiuje rastas teigiamas fosforo poveikis žemės ūkio derliui paskatino šio elemento tyrimus ir jo vartojimas tik augo. Dabartiniame žemės ūkyje fosforo trąšos yra vienos iš dažniausiai naudojamų, siekiant pagerinti dirvožemio kokybę bei padidinti užauginamo derliaus kiekį.

Sparčiai didėjantis gyventojų skaičius, kuris pagal Jungtinių tautų prognozę – per ateinančius 30 metų išaugs 33 % ir pasieks 9,7 milijardus 2050 metais, tik padidins maisto ir fosforo trąšų paklausą, tačiau fosforas yra baigtinis žemės elementas, kuris negali būti pakeistas kitais junginiais ir kurio rezervai yra pasiskirstę labai nevienodai, kelia susirūpinimą šalims, kurios yra priklausomos nuo iškastinio fosforo importo. Europos Sąjunga siekdama tvaraus vystymosi 2014 metais priskyrė fosforą prie kritinių žaliavų, kurios yra ekonomiškai svarbios, o paklausa ribota, nes visos ES valstybės yra priklausomos nuo gamtinių kalcio sulfatų importo iš Maroko, Rusijos, Kinijos, Kazachstano.

Siekdama sumažinti priklausomybę nuo pirminio fosforo žaliavų, Europos Sąjunga siekia efektyvesnio naudojimo – fosforo atgavimo iš antrinių šaltinių bei praradimų sumažinimo. Šiuos neefektyviai valdomus srautus galima identifikuoti pagal fosforo masės srautų analizės (MSA) tyrimus, kurie leidžia analizuoti srautus įvairiose formose ir procesuose. MSA taip pat gali suteikti žinių apie tvarų fosforo naudojimą bei identifikuoti kertinius fosforo praradimo procesus.

Šiuo metodu fosforo srautai buvo analizuoti pasauliniu (Cordell D. ir kt., 2009), Europos Sąjungos (Ott ir kt., 2012) ir nacionaliniu lygmeniu, Prancūzijoje (Senthilkumar ir kt., 2014), Anglijoje (Cooper, Carliell-Marquet, 2013), Ispanijoje (Álvarez J. ir kt. 2018) bei kitose šalyse visame pasaulyje. Baltijos šalys (Lietuva, Latvija, Estija) fosforo srautų MSA metodu nėra ištyrusios, todėl atsižvelgiant į tai, buvo atlikta Lietuvos analizė, kurioje daugiausia dėmesio skiriama žemės ūkio, maisto ir trąšų gamybos posistemėms.

**Tyrimo tikslas** – sudaryti fosforo balansą Lietuvoje ir įvertinti srautus, tuo sukuriant pagrindą esamai situacijai suprasti ir galimiems fosforo valdymo scenarijams sukurti, siekiant uždaryti fosforo srautus.

### **Tyrimo uždaviniai:**

1. Apžvelgti fosforo (P), kaip kritinės žaliavos, problematiką, koncentruojantis į P srautus ir galimybes bei priemones, taikomas Europoje siekiant mažinti pirminio fosforo poreikį.
2. Remiantis kitų šalių patirtimi ir preliminarioriais žiniomis apie Lietuvos situaciją, sudaryti konceptualų P srautų modelį Lietuvai.
3. Surinkti esamus duomenis ir kiekybiškai įvertinti fosforo srautus Lietuvoje, naudojant programinę įrangą STAN.
4. Palyginti fosforo balansą ir srautus Lietuvoje su kitomis šalimis ir pateikti įžvalgas dėl srautų uždarymo galimybių.

# 1. FOSFORO, KAIP KRITINĖS ŽALIAVOS, ŽIEDIŠKUMO DIDINIMO GALIMYBIŲ IR PRIEMONIŲ APŽVALGA

## 1.1. Fosforo vaidmuo gamtinėje aplinkoje ir ūkinėje veikloje

### 1.1.1 Fosforo svarba ir naudojimas

Fosforas – nemetalinis cheminis elementas, kuris yra labai svarbus komponentas tokiose pagrindinėse molekulėse, kaip nukleino rūgštys, fosfolipidai ir adenzin 5 trifosfatas (ATP). Augalai ir gyvūnai negali vystytis be nuolatinio šių maistinių medžiagų tiekimo. Fosforas taip pat dalyvauja fermentų reakcijose ir yra vienas svarbiausių elementų, dalyvaujančių medžiagų apykaitos cikluose (Theodorou M. E. ir kt., 1993).

Informaciniame internetiniame leidinyje „Our World In Data“ prognozuojama, kad iki 2038 m. pasaulyje žmonių populiacija sieks devynis milijardus, todėl pakankamas maisto kiekis ir kiti gyvybiškai svarbūs ištekliai bus didelis iššūkis žmonijai. P kartu su azotu ir kaliumi yra pagrindinės augalų maistinės medžiagos, būtinos augalų augimui ir funkcionavimui. Dirvožemio papildymo šiomis medžiagomis būdas žemės ūkyje taikomas tręšiant ir taip išlaikant didesnę derlių. Tokių trąšų naudojimas ir efektyvi žemdirbystė lemia sparčiai didėjantį žmonių skaičių pasaulyje, kuris tiesiogiai susijęs su augančiu maisto išteklių poreikiu (Roser M. ir kt., 2019; IFPRI, 2002).

Dirvožemyje fosforas randamas neorganinių (Pi) ir organinių (Po) cheminių formų, kurios lemia šio elemento keliavimą maisto grandine ir atlieka svarbų vaidmenį dirvožemio elementų apykaitos cikluose. Neorganinių ir organinių fosforo junginių yra daug, tačiau gamtoje mineralų pavidalu bei uolienose aptinkami tik ortofosfatai, kurių apie 95 % sudaro kalcio fosfatai – jų aptinkama apie 60 rūšių. Dirvožemyje taip pat yra mažai tirpių aliuminio ir geležies fosfatų  $AlPO_4$  ir  $FePO_4$  (Hansen J. C. ir kt., 2004).

Augalai daugiausia pasisavina šiuos neorganinius junginius: dihidrofosfatus  $H_2PO_4^-$  bei hidrofosfatus  $HPO_4^{2-}$  (mažiau). Fermentiškai pasisavinti fosforą augalai taip pat gali iš organinių junginių, tačiau šis procesas vyksta lėčiau, nei neorganinių fosfatų pasisavinimas. Augaluose esančių neorganinių ir organinių junginių fosforo santykis priklauso ne tik nuo augalo fiziologinio amžiaus, bet ir nuo jo aprūpinimo fosforu. Jaunuose augaluose esančių organinių junginių fosforo kiekis visuomet yra didesnis. Iš dirvožemio pasisavintas fosforas įeina į įvairių organinių junginių sudėtį. Augalams dirvožemyje labai svarbūs ir tokie cheminiai elementų junginiai, kaip azotas, kalis ir kalcis, kurie tiesiogiai nulemia augalų gyvybines funkcijas. Nors augaluose šių elementų yra daugiau nei fosforo, tačiau kaip derlių lemiantis veiksnys, fosforas yra svarbesnis nei kalcis ar net kalis (Končius D., 2010).

Pirmieji efektyvesnio ūkininkavimo metodai buvo tręšimas mėšlu, kalkinimas ir sėjomaina. Jau XVII amžiuje buvo pastebėtas kaulų miltų teigiamas poveikis augalams. Laikui bėgant, XVII amžiaus viduryje, buvo nustatyta, kad tą teigiamą poveikį sukelia kauluose esanti medžiaga – kalcio sulfatas. Padidėjęs fosforo trąšų naudojimas skatino ieškoti vis efektyvesnių būdų, todėl apie 1830 – uosius metus H. W. Kėleris pirmasis pasiūlė kaulus apdoroti rūgštimi. Taip prasidėjo pramoninis skystų trąšų gamybos procesas, kurio metu kaulų miltai buvo apdorojami sieros rūgštimi, kartais papildomai pridedant kalio druskų ar natrio nitrato. Prasidėjus pramoninei trąšų gamybai itin didelis dėmesys buvo skiriamas gamybos procesų ir trąšų sudėčių tobulinimui.

Antroje praėjo šimtmečio pusėje labai išsivystė agrochemijos mokslas. Todėl dabar galima nesunkiai nustatyti optimalias augalų tręšimo sąlygas, įvertinant augalų rūšis, dirvų įvairovę, klimatą. (Sviklas A. M. ir kt., 2006)

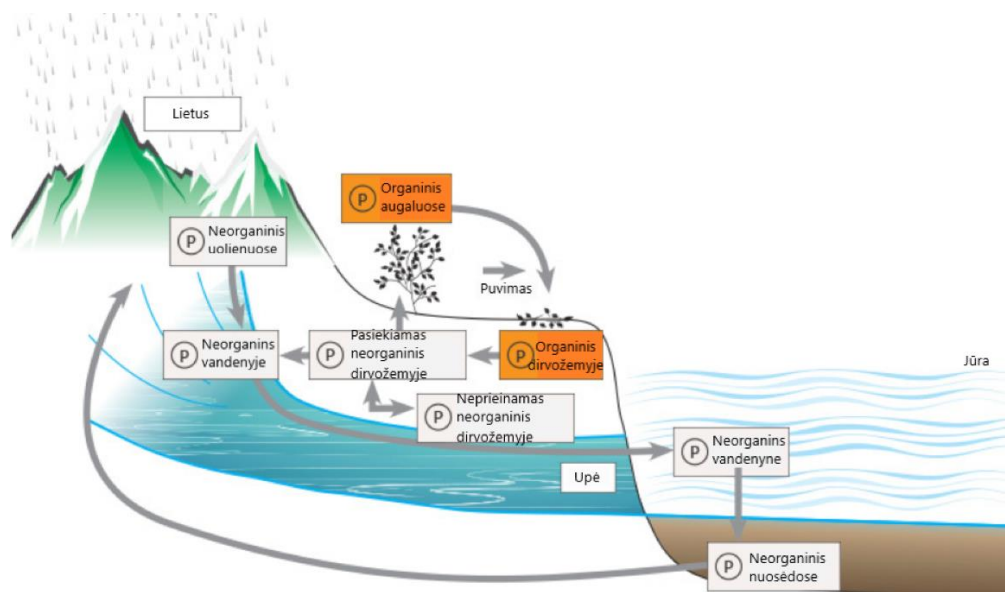
Pavadinimas	Pagrindiniai komponentai	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kiekis, %
Paprastas granuliuotas ir miltelinis superfosfatas	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · H <sub>2</sub> O + H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> + CaSO <sub>4</sub>	16,0 – 21,0
Dvigubas superfosfatas	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · H <sub>2</sub> O + H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	40,0 – 50,0
Precipitatas	CaHPO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	27,0 – 46,0
Fosforitmilčiai	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · CaF <sub>2</sub>	16,0 – 35,0
Bazinis šlakas	4CaO · P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 5CaO · P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> · SiO <sub>2</sub>	14,0 – 20,0
Termofosfatas	Na <sub>2</sub> O · 4CaO · P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> · SiO <sub>2</sub>	20,0 – 35,0
Kaulamilčiai	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · CaCO <sub>3</sub> + org. junginiai	30,0
Fosfatas be fluoro	3CaO · P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 4CaO · P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> · SiO <sub>2</sub>	20,0 – 38,0
Kalcio metafosfatas	Ca(PO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	65,0 – 70,0
Kalcio polifosfatas	Ca <sub>n</sub> P <sub>n</sub> O <sub>3n+1</sub>	iki 60,0
Lydytas fosfatas	4(CaMg)O · P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 5(CaMg)O · P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> · SiO <sub>2</sub>	20,0 – 35,0

**1 pav.** Daugiausiai naudojamos fosforo trąšos (Sviklas A. M. ir kt., 2006)

Šiuolaikiniame žemės ūkyje taikomos naujausios technologijos leidžia jį efektyvinti ir padidinti derliaus kiekį. Neatsiejama derliaus didinimo dalis yra dirvožemio kokybės gerinimas jį tręšiant. Šiuo metu populiariausios P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> trąšos pateiktos 1 paveiksle. Fosforo dalis trąšose yra matuojama P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> santykiu su kitomis sudedamosiomis dalimis, o dažniausiai fosfatinėse trąšose šio elemento dalis siekia 20 – 50 %. Gryno fosforo dalis P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> yra 43,66 %. Trąšos pasirenkamos pagal dirvožemio kokybės rodiklius ir dažnai naudojamos kombinuotos P, N, K maistinių medžiagų neorganinės trąšos (Sviklas A. M. ir kt., 2006).

### 1.1.2 Fosforo patekimas ir kaupimasis dirvoje bei vandens telkiniuose

Fosforo ciklas yra biogeocheminis, apibūdinantis fosforo judėjimą per geosferą, hidrosferą ir biosferą. Skirtingai nuo daugelio kitų biogeocheminių ciklų, atmosfera nėra svarbi fosforo judėjimui, nes šis cheminis elementas ir jo junginiai, žemėje esant įprastai temperatūrai ir slėgiui, dažniausiai būna kietos medžiagos. Todėl daugiausiai fosforas išlieka uolienose, nuosėdose bei junginiuose gyvojoje biomasėje ir tarp trofinių lygių juda ekosistemos grandine – augalai pasisavina fosforą iš dirvožemio ir pereina į gyvūnus, mintančius augalais. (Blake L. ir kt., 2003)



**2 pav.** Fosforo apytakos ciklas (University of Waikato, 2013)

Natūralus biocheminis fosforo ciklas yra platus ir lėtas. Natūraliai dirvožemyje fosforas absorbuojasi ant geležies oksidų, aliuminio hidroksidų, molio paviršių bei organinių medžiagų dalelių ir tampa fiksuotas. Vykstant dirvožemio cheminėms reakcijoms augalas fosforą absorbuoja per šaknis ir naudoja savo gyvybinėms funkcijoms palaikyti. Mitybos grandine iš augalų dalis fosforo panaudojama biomasės prieaugiui, o kita dalis pašalinama su ekskrementais. Dirvožemio mikroorganizmams vykdant skaidymą, fosforas vėl gražinamas į dirvožemį. Tai apykaitinis ciklas, kuomet fosforas su ekskrementais arba kritusiais gyvūnais ar augalais yra gražinamas į dirvožemį (Ruttenberg K. C., 2019)

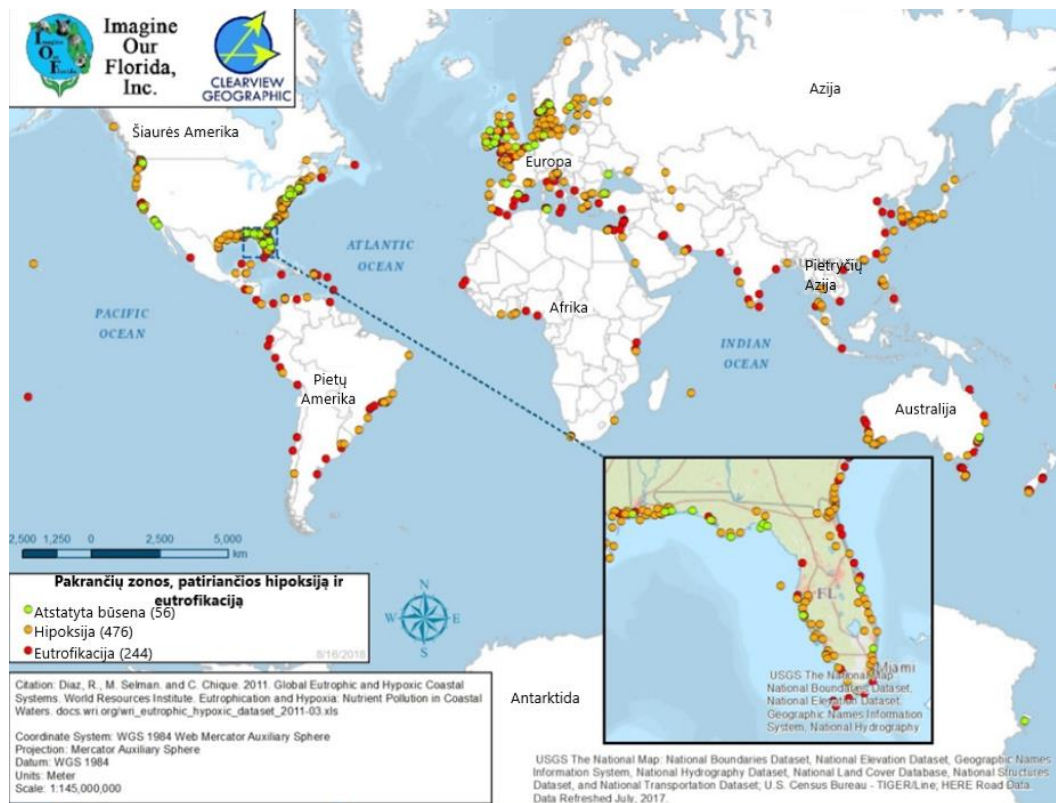
Natūraliai, fosforo koncentracijos dirvožemyje palaipsniui mažėja, nes yra veikiamos vėjo ir vandens erozijos – esant šioms klimatinėms sąlygoms fosforas pereina į hidrosferą ir tampa nuosėdomis arba yra absorbuojamas vandens organizmų ir sukelia eutrofikaciją. Pasaulio vandenyne fosforo koncentracijos didėjimą lemia intensyvi žemdirbystė, miestų nuotekos ir natūralus fosfatų išplovimas iš kalnynų (Defforey D., Paytan A., 2018).

Per paskutiniuosius 50 metų intensyvi žemdirbystė, tręšimas  $P_2O_5$  bei organinėmis gyvūnų atliekomis ir miestų nuotekos ženkliai padidino fosforo išplovimą per paviršinius vandenis ir stipriai pakenkė hidrosferos ekosistemoms. Padidėjęs maistinių medžiagų kiekis hidrosferoje lemia intensyvesnę organizmų dauginimąsi ir skatina eutrofikacijos procesą (Ruttenberg K. C., 2014).

Eutrofikacijos terminas apibūdina ekosistemų pokyčius vandens sistemose dėl į jas patekusių didelių kiekių mineralinių ir maistinių medžiagų, pavyzdžiui, fosforo ar azoto. Vandens telkiniuose fosforas yra pagrindinis eutrofikaciją lemiantis komponentas. Svarbus fosforo šaltinis – žmogaus ūkinė veikla: dirvų tręšimas fosforo trąšomis, detergentų, kuriuose yra fosfatų naudojimas, vandens minkštinimas ir miestų nuotekų išleidimas į gamtinę aplinką (HELCOM, 2009).

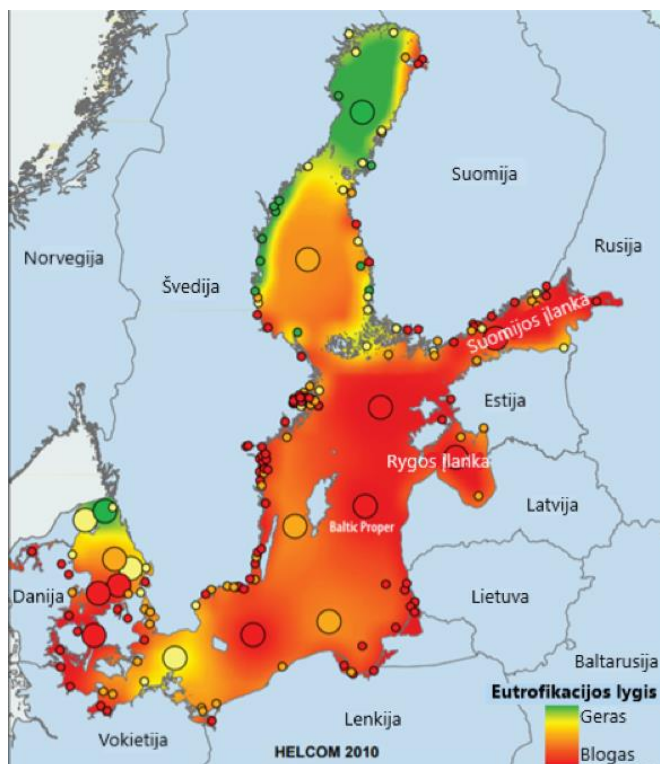
Organiniai ir mineraliniai fosforo junginiai susidaro biologiškai valant buitines ir kai kurias pramonines nuotekas. Šios maistinės medžiagos lemia geras sąlygas vandens organizmams daugintis, dėl to susidaro

vandens dumblių perteklius, kurių skaidymui būtini dideli kiekiai deguonies. Dėl šių priežasčių kinta vandens ekosistemos. Eutrofikacija turi ne tik didelį poveikį gamtinei vandens aplinkai, bet ir žmonėms, gyvenantiems pakrančių zonose, nes tai lemia įvairių vandens paslaugų prieinamumą, pragyvenimo galimybes ir rekreacinį panaudojimą. Eutrofikacija yra laikoma viena iš pagrindinių aplinkosauginių problemų, su kuriomis susiduria pakrančių ekosistemos (Bricker S. B. ir kt., 2008).



**3 pav.** Pasaulio pakrančių eutrofikacijos žemėlapis (Clear view geographic, 2018)

Eutrofikacijos problemos stebimos beveik visame pasaulyje, o ypač ten, kur klimatas yra šiltesnis. Eutrofikacijai jautriausios teritorijos – šiltų jūrų priekrančių sritys, kuriose yra didelė urbanizacija bei upių žiotys. Didelė žmonių koncentracija prie upių ir intensyvi žemdirbystė lemia pasaulinio vandenyno užterštumą organiniais junginiais, kurie skatina dumblių augimą. 3 paveiksle pavaizduoti didžiausi eutrofikacijos židiniai. Jie pasaulyje išsidėstę ten, kur yra intensyviausia žmonių ūkinė veikla: Europa – Baltijos, Šiaurės ir Viduržemio jūros, JAV – Floridos pusiasalis. Ontoria Y. kartu su kitais mokslininkais 2019 m. atliko tyrimą, kuriame analizavo jūros žolių bei dumblių reakciją į eutrofikaciją ir klimato šiltėjimą. Buvo nustatyta, kad ne visos tiriamos rūšys vystosi greičiau dėl padidėjusių fosforo bei azoto maistinių medžiagų koncentracijų ir tai natūralioje gamtoje gali lemti kelių dominuojančių rūšių išplitimą, o šiltėjantis klimatas skatina eutrofikuoatų vietų teritorijų didėjimą.



**4 pav.** Baltijos jūros eutrofinė būklė (European Court of auditors, 2016)

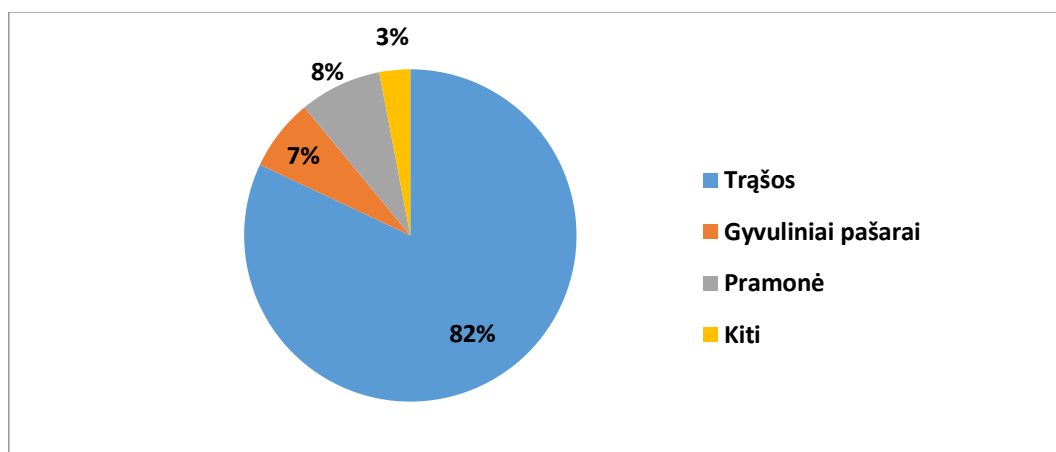
Baltijos jūros aplinkos apsaugos iššūkiai yra neišsprendžiami nacionaliniu lygmeniu, todėl Europos Sąjunga yra parengusi Baltijos jūros regiono apsaugos strategiją, kurios tikslas yra apsaugoti šią svarbią jūrą nuo ekologinių problemų. Ši strategija, dar kitaip vadinama Helsinkio konvencija, yra parengta glaudžiai bendradarbiaujant su Baltijos jūros aplinkos apsaugos komisija (HELCOM), kuri jau nuo 1974 m. inicijuoja diskusijas ir mokslinius tyrimus jūros apsaugai. Pasaulio gamtos fondo (WWF) duomenimis, ne visos Baltijos jūrą supančios šalys vykdo įsipareigojimus, užtikrinančius ženklų jūros ekologinės būklės gerėjimą iki 2021 metų. Pasaulio gamtos fondo ataskaitoje įvertintos pagrindinės veiksmų plano sritys: bioįvairovės apsauga, jūrinės veiklos gerinimas ir eutrofikacijos bei pavojingų medžiagų mažinimas. Gaila, tačiau pažanga įgyvendinant Baltijos jūros veiksmų planą yra labai nežymi. Iki 2018 metų iš 58 vertintų veiklų, įvykdyta vos trečdalis, o eutrofikacijos mažinimas yra viena opiausių sričių, nes įgyvendinta tik vienas iš trylikos numatyto plano veiksmų (European Court of auditors, 2016; World Wildlife Fund (WWF), 2018).

Iš 4 paveikslo galima pastebėti, kad labiausiai eutrofikacijos paveiktos teritorijos Baltijos jūroje yra ties didžiaisiais miestais: Kopenhagą, Liubeką, Svinouiscį, Gdanską, Klaipėdą, Rygą, Helskinkį, Stokholmą. Geriausi vandens rodikliai fiksuojami šiaurinėje jūros dalyje, išskyrus Oulų miesto regioną, galimai dėl to, kad ten vandens temperatūra yra žemesnė, o tai lėtina eutrofikacijos procesą. Su upių vandeniu į Baltijos jūrą patenka 78 % viso azoto ir 95 % viso fosforo. Pagrindinės vandenyje esančių maistingų medžiagų atsiradimo jūroje priežastys yra šios: iš pasklidusių šaltinių, pvz., žemės ūkio (45 % bendro azoto kiekio ir 45 % bendro fosforo kiekio) ir iš sutelktųjų šaltinių, pvz., – miesto nuotekų (12 % bendro azoto kiekio ir 20 % bendro fosforo kiekio) (HELCOM, 2017; HELCOM, 2011; European Court of auditors, 2016).



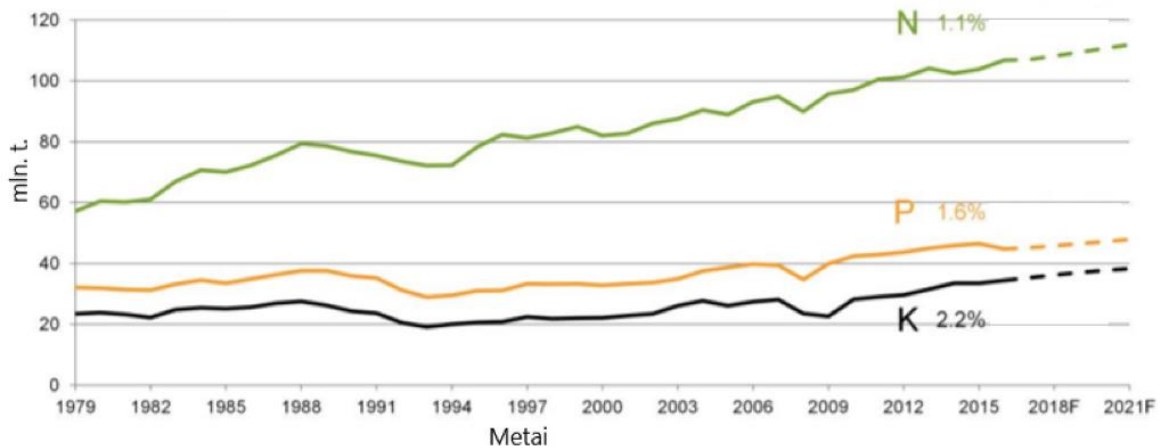
### 1.1.3. Fosforo išteklių naudojimas

Nuolatos didinant fosforo vartojimą ir išgavimą labai svarbu nustatyti, kur ir kiek jo yra sunaudojama. Labai sunku identifikuoti tikslus fosforo srautus, nes jo vartojimas yra itin platus. Šis elementas gausiai naudojamas žemės ūkyje palaikant dirvožemio derlingumą ir gyvulinių pašarų kokybės gerinimą. Taip pat fosforas yra naudojamas ir farmakologijoje, gaminant įvairius papildus bei vaistus. Pramonėje fosforas naudojamas kaip aktyvus elementas, įeinantis į įvairių rūgščių, šarmų sudėtį, todėl plačiai taikomas metalo pramonėje (Scholz R. W. ir kt., 2013). Detaliau, kaip pasiskirsto fosforo naudojimas pagal sektorius, pateikta 5 paveiksle.



5 pav. Fosforo naudojimas (Schröder J. J. ir kt., 2010)

Apie 90 % visų fosfatų paklausos yra skirta maisto gamybai. Net 82 % pasaulinių fosforo išteklių sunaudojama trąšoms gaminti, tačiau yra labai svarbu laikytis saugaus jų naudojimo principų, užtikrinančių optimalų tinkamų trąšų kiekį efektyvumui didinti. Žemės ūkis fosforą taip pat naudoja gyvulinių pašarų kokybės gerinimui ir tam sunaudojama 7 % pasaulinio fosforo. Maisto priedų gamybos dalis, įskaitant žmonėms skirtus produktus, suvartoja 1 – 2 procentus pasaulinių fosforo išteklių. Pramonė sunaudoja 8 %, pvz., plovikliams, metalo apdirbimui bei kitoms pramoninėms reikmėms. Ploviklių kiekiai mažėja dėl daugelio šalių taisyklių griežtinimų, susijusių su paviršinio vandens fosfatų tarša, sukeliančia eutrofikaciją, dumblių žydėjimą, prastą vandens kokybę ir žuvų gaišimą. Pasaulinės fosforo naudojimo tendencijos palaipsniui kinta, nes keičiasi teisiniai reguliavimai, fosfatų naudojimą lemia pasaulinės rinkos, modernėjantys ūkininkavimo metodai (Europos Komisija, 2013 m.; Schröder J. J. ir kt., 2010).



**6 pav.** Trąšų naudojimo pasaulyje tendencijos (IFA) 1979 – 2021 m. (Yara Intl, 2018)

Pasaulyje populiariausios yra azotinės trąšos, kurių metinis naudojimo augimo tempas siekia 1,1 %. Per metus, nuo 2015 m. iki 2016 m. fosfatų suvartojimas padidėjo 4,5 %, kalio – 2,5 %, o azoto – 2,4 %. Tarptautinės trąšų asociacijos (IFA) duomenimis, paskutiniųjų 10 – ies metų trąšų vartojimo augimo rodikliai yra tokie: azoto suvartojimas augs 1,4 %, fosforo – 1,2 % ir kalio – 2,3 % (Yara Intl, 2018).

Istoriškai pirmosios fosforo trąšos buvo pagamintos iš organinių šaltinių – daugiausiai iš mėšlo per mišrias ūkininkavimo sistemas, o vėliau – iš guano bei kaulų miltų ir tai buvo pirmosios trąšos, skirtos pardavimui. Vėliau imta kurti efektyvias technologijas trąšų gavybai ir gamybai iš fosfatų uolienu ir tai buvo viena iš „žaliosios revoliucijos“ žemės ūkio produktyvumo didėjimo sąlygų nuo 1940 m. Gyvulių mėšlas ir šiomis dienomis išlieka pagrindine fosforo tiekimo dalimi. Europos Sąjungoje kasmet trešimui sunaudojama 4,7 mln. tonų mėšlo. Mineralinė fosfato trąša tapo pagrindiniu fosforo šaltiniu augalų auginimui pasaulyje ir būtent dėl šios priežasties pasikeitė natūralus fosforo ciklas bei šaltiniai, todėl būtina neatidėliotinai didinti šios medžiagos efektyvumą ir mažinti nuostolių atsiradimą nuotekose į jūras ar sąvartynus (Europos komisija, 2013; Richards I. R., Dawson D. J., 2008).

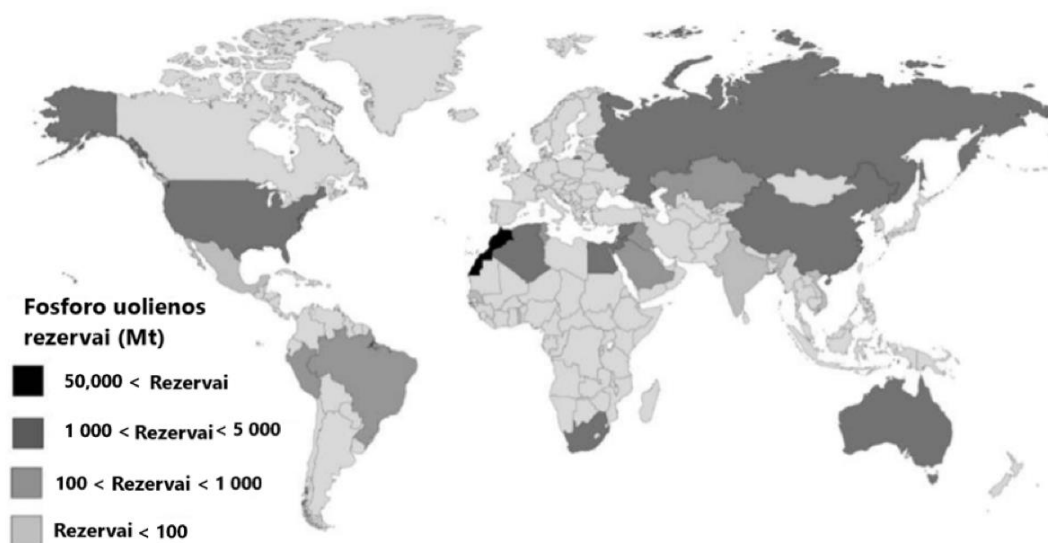
Drastiškas trąšų gamybos ir taikymo padidėjimas labai prisidėjo keliant žemės ūkio našumą ir mažinant badą visame pasaulyje. Tačiau yra įrodyta, kad pernelyg didelis trąšų naudojimas sukelia labai daug aplinkosauginių ir ekologinių problemų tiek pačiame žemės ūkyje, pvz., dirvožemio rūgštėjimas, degradacija, pasėlių derliaus mažinimas, tiek ir už jo ribų, pvz., vandens eutrofikacija, oro tarša. Daugeliui nacionalinių žemės ūkio agentūrų trūksta priemonių įvertinti besikeičiančios ūkininkavimo praktikos poveikį atitinkamomis skalėmis ir paskatas skatinti maistinių medžiagų išsaugojimo praktiką ir procesus. Be šių priemonių ateityje bus sunku kurti ir palaikyti šiuolaikines žemės ūkio sistemas, nesukeliant ir nedidinant nuolatinių žmoniškųjų ir aplinkosauginių nuostolių. (Vitousek P. M. ir kt., 2009).

Jungtinių Tautų maisto ir žemės ūkio organizacijos (FAO) 2015 metais parengtoje ataskaitoje prognozės dėl pasaulinės trąšų paklausos atskleidžia trąšų naudojimo kasmetinį augimą. Nurodoma, kad Afrikoje, į pietus nuo Sacharos, 2020 m. fosfato, kaip augalų maistinės medžiagos, padaugės iki 45,8 mln. tonų, o 2030 m. – iki 52,9 mln. tonų. Šiuo metu besivystančioms šalims tenka beveik 70 procentų pasaulinio trąšų suvartojimo ir ši dalis dar gali padidėti daugiau nei tris ketvirtadalius iki 2050 m. Kinija ir Indija sudaro beveik du trečdalius

besivystančių šalių viso trąšų suvartojimo, tačiau tai gali sumažėti iki maždaug pusės suvartojimo 2050 metais dėl kitų šalių vystymosi. Trąšų paklausos didėjimą taip pat lems padidėjusi biodegalų gamyba pasaulyje. 2007 – 2008 m. trąšų naudojimas, susijęs su biodegalų gamyba, siekė 870 000 tonų fosfatų per metus. Kaip žinoma, iki šiol daugiausiai yra naudojamas pirmosios kartos biokuras, pagamintas iš žemės ūkio produktų. Visoms pirmosios kartos biokuro gamybos sistemoms reikalingos fosforo (P) trąšos. Hein L. ir Leemans R. (2012) atlikę tyrimą apie pirmosios kartos biokuro poveikį pasaulinio fosforo rezervo išsekvojimą priėmė išvadą, kad esant dabartinėms gamybos sistemoms pirmosios kartos biokuro gamyba netolimoje ateityje konkuruos su maisto gamyba (Europos komisija, 2013; Alexandratos N., Bruinsma J., 2012).

### 1.2.1 Pirminio fosforo paplitimas pasaulyje

Rūda – iš žemės iškasta fosfatinė uoliena, kurioje yra pakankamai daug fosforo, kad galėtų būti vienu iš šio elemento išgavimo šaltinių. Rūdą yra apdorojamos pirminiu perdirbimu, vadinamu gausinimu ir tai didina grynumą, pvz., fosfato nuosėdų gausinimas rūdoje pašalina didžiąją dalį smėlio ir molio. Gautas produktas vadinamas fosfato uoliena. Dažniausiai chemikai fosforo kiekį trąšose nustato pagal  $P_2O_5$  svorio metodą. Šiandien fosforo kiekis vis dar išreiškiamas  $P_2O_5$  ekvivalentu. Fosfato uolienoje paprastai yra 30 – 32 %  $P_2O_5$  ir, kadangi pats  $P_2O_5$  sudaro 43,6 % P, šis intervalas atitinka 13 – 14 % P svorio (Vaccari D. A., 2015).

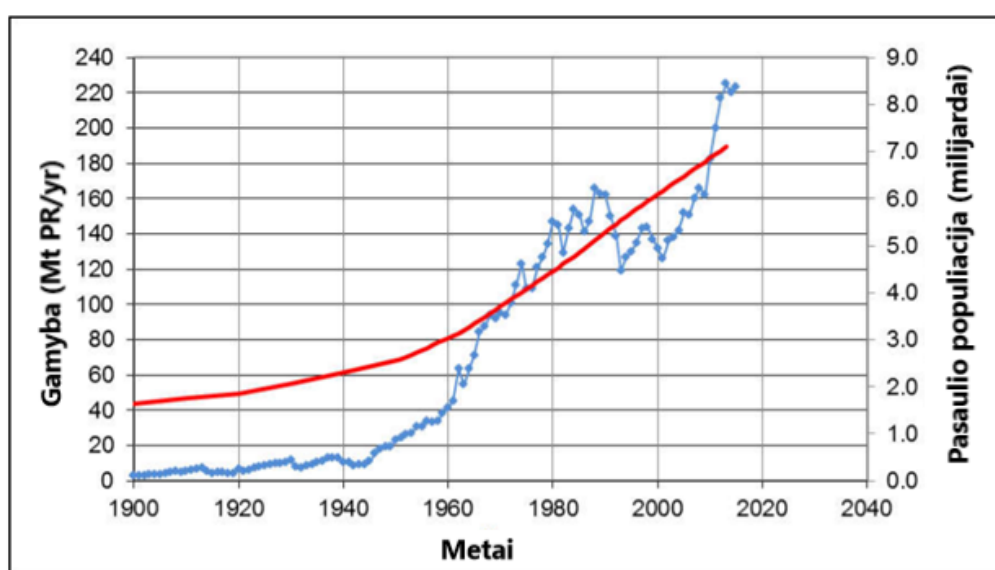


7 pav. Geografinis fosforo atsargų pasiskirstymas pasaulyje (Jasinski S. M., 2017)

Pasaulyje fosfatinių uolienu rezervai pasiskirstę nevienodai (7 pav.). Nors šių uolienu randama visuose žemynuose, tačiau ne visi yra ekonomiškai ir techniškai prieinami. Didžiausią paklausą šioms pirminėms žaliavoms sukuria Europa, nes turi vienintelį fosforo telkinį Suomijoje, kuris nėra pilnai eksploatuojamas ir negali patenkinti net Suomijos paklausos. Didžiausias žinomas fosforo telkinys yra siaurės vakarų Afrikoje, kiti didieji telkiniai išsidėstę centrinėje ir pietryčių Azijoje bei centrinėje Amerikoje. Naujų telkiniu randama nuolat, tačiau ne visi yra technologiškai lengvai prieinami, o jų išgavimo kaštai labai dideli (Jasinski S. M., 2017).

### 1.2.2. Pasaulio fosforo ištekliai

Fosforas šiandien yra vienas iš trijų svarbiausių elementų augalų augimui, todėl turi didelės įtakos pasaulio žemės ūkio gamybai ir maisto saugumui. Fosfatinių uolienuų paieška smarkiai suintensyvėjo 20 – ojo amžiaus viduryje (8 pav.), kai smarkiai išaugo fosforo paklausa. Laikui bėgant, visame pasaulyje jis tapo labai svarbiu elementu, todėl buvo dedamos didelės pastangos technologijoms vystyti. Daugiausiai fosforo uolienos yra išgaunamos atvirų kasybų metodu, kai viršutinis žemės sluoksnis yra nukasamas tam, kad atsivertų gilesni žemės klodai. Šis metodas darko kraštovaizdį, tačiau vis dar yra vienas dažniausiai naudojamų (Bouwman A. F., 2009 m.).



8 pav. Pasaulinis fosfatinių uolienuų išgavimas augant žmonių populiacijai 1900 – 2040 m.

(Vaccari D. A., 2015)

Devintojo dešimtmečio pabaigoje stebimas itin spartus fosfatinių uolienuų išgavimas dėl didelio trąšų naudojimo Rusijos federacijos teritorijoje. Vėliau fiksuojamas ženklus išgavimo sumažėjimas (8 pav.). Pastarasis įvyko dėl to, kad išsivysčiusios šalys sumažino neorganinių trąšų naudojimą dėl priimtų teisinių reguliavimų, kurie buvo įvesti po atliktų aplinkos poveikio tyrimų. Per pastarąjį dešimtmetį fosfatinių uolienuų paklausa besivystančiose šalyse išaugo dėl mitybos pokyčių, atsiradusių padidėjus visuotinei gerovei, kartu su nuolatiniu pasaulio gyventojų skaičiaus didėjimu (raudona kreivė). Tai lėmė precedento neturintį trąšų gamybos ir vartojimo lygį (mėlyna kreivė) (Vaccari D. A., 2015).

Tarptautinės trąšų asociacijos (IFA) 2017 m. duomenimis, 2014 m. pasaulinė fosfatinių uolienuų produkcija buvo apie 197 Mt. Darant prielaidą, kad nominalus 30 %  $P_2O_5$  kiekis atitiktų maždaug 26 Mt fosforo, didžiausią dalį pagamina Rytų Azija – 42 % (daugiausia Kinijoje), vėliau sektų Šiaurės Afrika (Marokas) – 21 % ir Šiaurės Amerika – 14 %. Šiuo metu pasaulyje daugiausia fosforo uolienuų išgaunama Kinijoje – 138,000

tūkst. tonų, Maroke ir vakarų Sacharoje – 30,000 bei Jungtinėse Amerikos Valstijose – 27,800 tūkst. tonų (1 lentelė). Visame pasaulyje 2016 metais buvo išgauta 261,000 tūkst. tonų fosforo uolienuų (Jasinski S. M., 2017).

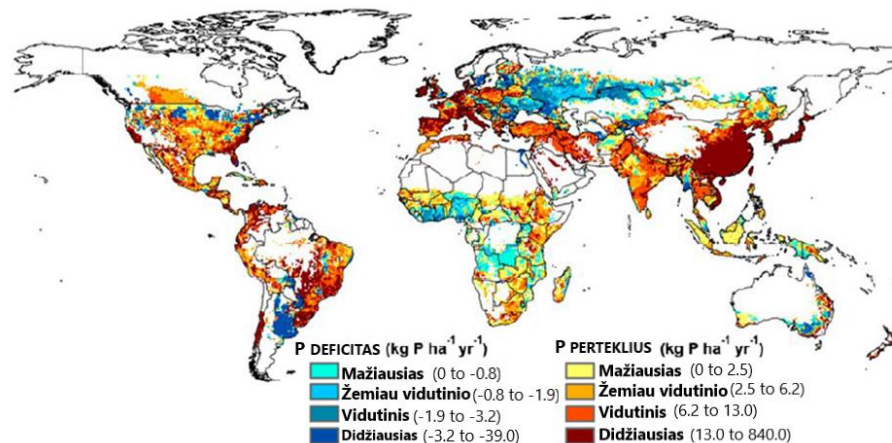
**1 lentelė.** Fosfatinių uolienuų išgavimas ir rezervai (U.S. Geological Survey, 2019)

VALSTYBĖ	Išgauta P uolienuų tonų 2015m.	Išgauta P uolienuų tonų 2016m.	Valstybių P uolienuų rezervai
Jungtinės Amerikos valstijos	27,400	27,800	1,100,000
Alžyras	1,400	1,500	2,200,00
Australija	2,500	2,500	1,100,00
Brazilija	6,100	6,500	320,000
Kinija	120,000	138,000	3,100,000
Jordanija	8,340	8,300	1,200,000
Marokas ir vakarų Sachara	29,000	30,000	50,000,000
Rusija	11,600	11,600	1,300,000
Pietų Afrikos respublika	1,980	1,700	1,500,000
Sirija	750	–	1,800,000
Kitos valstybės	2,470	2,410	4,300,00
<b>Iš viso (suapvalinta)</b>	<b>241,000</b>	<b>261,000</b>	<b>68,000,000</b>

Jungtinių Valstijų geologijos tarnyba (USGS) 2019 m. apskaičiavo, kad technologiškai prieinamų fosforo uolienuų visame pasaulyje yra 68 milijardai tonų, o pasaulinė kasybos produkcija 2016 m. buvo 0,261 milijardai tonų. Darant prielaidą, kad augimas bus nulinis, atsargų užteks 260 metams. Skirtingais skaičiavimais, fosfatinių uolienuų rezervai, kurių užteks, kad galėtume darniai vystyti maisto gamybą, nuolat kinta, nes yra atrandama naujų telkinių, kinta suvartojami kiekiai, išrandamos naujos kasybos technologijos, tačiau skaičiuojama, kad galutinis išsekvojamas galimas po 150 – 400 metų. Šios uolienos neatsinaujina ir tai yra baigtinis resursas žemėje, nuo kurio tiesiogiai priklauso pasaulinė maisto gamyba (Jasinski S. M., 2017; Heckenmüller M. ir kt., 2014).

### 1.3. Pasaulio dirvožemių fosforo balansas

Pasaulyje dirvožemiai skirstomi į daug rūšių dėl skirtingų aplinkos ir klimatinėlių sąlygų, vykdomo žemės ūkio ir kitos antropogeninės veiklos. Norint, kad žemės ūkio sektorius būtų sėkmingas ir galėtų tiekti kuo didesnę maisto kiekį, būtina išlaikyti optimalias dirvožemio savybes. Fosforo kiekis yra vienas svarbiausių veiksnių, lemiančių dirvožemio derlingumą. Nuo dirvožemio kokybės priklauso šalių ūkio sektoriaus vystymosi galimybės, todėl jeigu šalyje vyrauja fosfatinių junginių stokojantys dirvožemiai, vadinasi valstybė yra potenciali fosfatinių junginių importuotoja (Bünemanna E. K. ir kt., 2018; Montanarella L. ir kt., 2015).

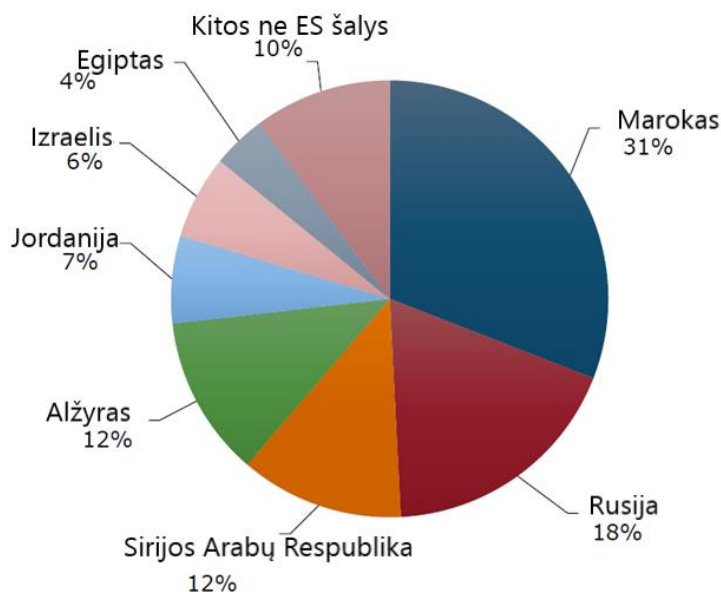


9 pav. Dirvožemio fosforo sankaupos ir deficitai pasaulyje (MacDonald G. K. ir kt., 2011)

Aukščiau pateiktame 9 paveiksle nurodytos dirvožemio fosforo sankaupos (raudona spalva) ir deficitai (mėlyna spalva). Vienas iš kertinių dirvožemio kokybės rodiklių yra fosforas, o jo deficitas neigiamai veikia augalų vystymąsi. Didžiausi fosforo deficitai išsidėstę smėlinguose dirvožemiuose, nes iš jų šis elementas yra lengvai ir greitai išplaunamas. Smėlingi dirvožemiai paplitę vakarų Azijoje, Australijoje bei Afrikoje. Šių teritorijų šalys neturi efektyvaus žemės ūkio, dažnai patiria maisto stygiaus problemą, todėl ūkininkavimas būna vykdomas neatsižvelgiant į darnų ir ilgalaikį dirvožemio derlingumo palaikymą, todėl tikėtina, kad šios šalys turės papildyti savo dirvožemį fosforo junginiais – fosfatinėmis trąšomis (FAO, 2015). Išsivysčiusiose šalyse pastebima kita tendencija – fosforo junginių perteklius. Tokios sąlygos dažniausiai susidaro aplink gyvulininkystės ūkius dėl per daug intensyvaus tręšimo mėšlu ir srutomis (JAV, Kinija, dalis ES). Toks papildomas fosforas prisotintame dirvožemyje mažina derlių ir kelia aplinkosauginės problemas – eutrofikaciją (Montanarella L. ir kt., 2015).

### 1.3.2. Fosforo balansas Europoje

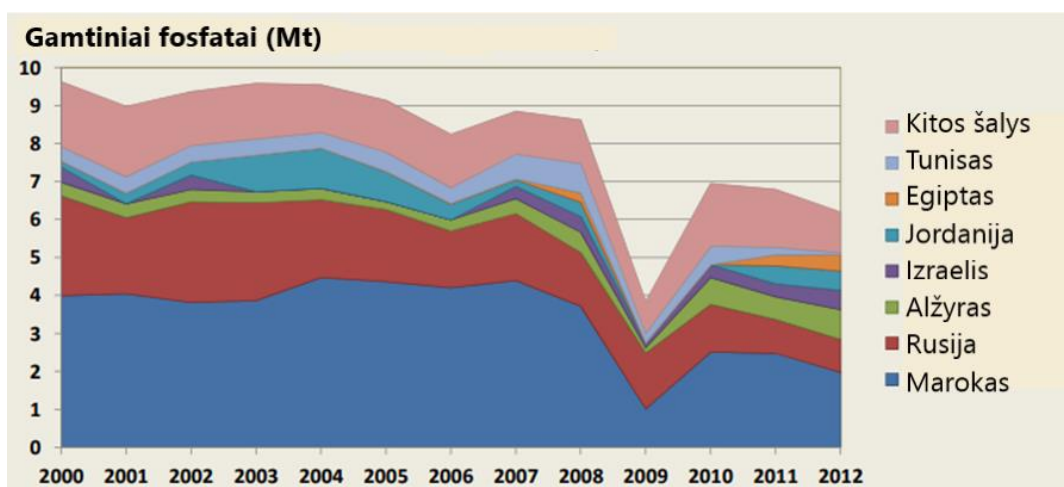
Ankstesnėse temose pateiktas šalių sąrašas, kuriose išgaunama daugiausia fosfatinių uolienu – pirminės žaliavos fosfatinėms trąšoms. Didžiausi šių naudingųjų iškasenų telkiniai yra keliose valstybėse. Nė vienas iš jų nėra Europos Sąjungoje, išskyrus Suomijos Siilinjärvi kasyklą. Tai vienintelė Europos fosfatų kasykla, kurios rezervas yra apie 730 milijonų tonų fosfatinių uolienu. Dar vienas rezervas, fosfatinių uolienu klotas yra Estijos šiaurėje dalyje esančios Rakvere miesto apylinkės. Jame yra apie 700 mln. tonų fosfatinių uolienu, tačiau šiuo metu šie telkiniai nėra eksploatuojami. Apskritai, ES yra grynasis fosfatinių uolienu importuotojas, kuris per metus jų importuoja daugiau kaip 6 mln. tonų. Pastaraisiais metais šis skaičius smarkiai išaugo, ypač lyginant su 2009 m., kai importas siekė tik apie 2 mln. tonų fosfatų (Bauert H. ir kt., 2015).



10 pav. Fosfatinių uolienu importas į ES 2010 – 2014 m. (Eurostat duomenys)

Marokas yra didžiausias fosfato uolienos importuotojas į ES, apimantis apie 31 % viso importo. Kiti didieji importuotojai yra Rusija, Alžyras, Izraelis ir Jordanija (10 pav.). ES eksportas daugiausia vyksta į Norvegiją, tačiau šios sumos, palyginti su importu, yra nereikšmingos (Eurostat, 2016 m.).

Europos Sąjunga yra visiškai priklausoma nuo fosforo importo, nes čia nevykdoma šių iškasenų gavyba. Fosforas uolienose, kaip pirminė žaliava, šiuo metu yra kertinė maisto gamybos dalis. Atsižvelgiant į ekonomines priežastis, pvz., transporto išlaidas, urbanizaciją ir geopolitinius klausimus, žemės ūkis ir maisto gamyba dabartinėje pasaulio ekonominėje sistemoje yra labai svarbūs bet kuriai valstybei. ES žemės ūkis sukuria didelės vertės maisto produktų, kurie sudaro nuo 6 % iki 7 % visos ES išorės eksporto vertės. Visos su žemės ūkiu susijusios veiklos negali būti vykdomos be fosforo papildymo (Eurostat, 2016 m.; European Commission, 2014).



11 pav. Gamtinių fosfatų importas į EU (Lécuyer B., 2014)



Pagrindiniai fosforo uolienuų ir fosfatinių trąšų šaltiniai į Europos Sąjungą atkeliauja iš pakankamai skurdžių ir politiškai nestabilių valstybių (11 pav.). Marokas, Egiptas ir Tunisas yra smarkiai priklausomi nuo dabartinės valdžios ir prognozuoti šių valstybių raidą dešimtmečiams nėra lengva. Rusijos federacija su Europos Sąjunga turi įtemptus santykius ir kintančias prekybos taisykles. Kaip užsienio politikos įrankis, yra taikomi papildomi importo, eksporto mokesčiai, o tai lemia pasiūlos, paklausos kitimą ir išbalansuoja rinką. Fosfatinių uolienuų importas į ES smarkiai krito per 2009 m. pasaulinę finansų krizę, kurios metu šios pirminės žaliavos kainos išaugo apie 400 % (Lécuyer B., 2014).

### 1.3.3. Antrinis fosforas

Efektyvus fosforo naudojimas yra būtinas, nes fosfitai yra baigtinis išteklius, o fosforas yra būtinas žemės ūkiui. Kadangi pirminė žaliava yra baigtinė, būtina užtikrinti tvarų šių išteklių valdymą. Tai apima efektyvų pirminės žaliavos išgavimą, darnų vartojimą ir perdirbimą (atgavimą) iš įvairių medžiagų, turinčių fosforo junginių (Donatello S. ir kt., 2013).

Įvairūs fosforo srautai, kurie lemia nuostolius ir galimybes atkurti arba sumažinti nuostolius: (de Ruijter F., J. ir kt., 2016)

- Nuotekų valymo dumblas
  - Fosforo atgavimas kaip struvitas
  - Fosforo išgavimas iš džiovinto dumblo
  - Fosforo išgavimas iš nuotekų dumblo pelenu
  - Nuotekų dumblas susidarantis žemės ūkije (mėšlas, srutos)
- Vanduo, išleidžiamas iš vandenvėlos sistemų
  - Sumažintas vandens srautas
  - Sumažintos fosforo koncentracijos išleidžiamajame vandenyje, mažesnės nei 1 – 2 mg P/l
  - Vandens biomasės gamyba (pvz., dumblių bioreaktorius)
- Skerdyklų ir žemės ūkių organinės atliekos
  - Trąšos iš mėsos, kaulų miltų ir kraujo
- Kietosios organinės atliekos – buitinės ir mažmeninės prekybos
  - Sumažinti maisto atliekų kiekį
  - Bio-skaidžių buitinių atliekų atskyrimas ir kompostavimas
  - Virtuvės atliekų smulkinimas ir nuleidimas į nuotekų valymo sistemas
- Nuotėkis ir išplovimas iš žemės ūkio dirvožemių
  - Žemės ūkio praktika, daugiausia siekiant išvengti nuotėkio iš dirvožemio

Didžiausios fosforo atgavimo perspektyvos yra iš nuotekų valymo sistemų dėl susidarancio didelio kiekio nuotekų dumblo bei dėl jame esančios didelės fosforo koncentracijos. Mėsos, kaulų miltų bei kraujo atliekos taip pat turi geras fosforo regeneracijos perspektyvas dėl didelio fosforo kiekio, tačiau šioje srityje būtina efektyvinti surinkimą ir vystyti technologijas, nes atgavimas iš šios frakcijos dabartinėmis technologijomis yra



brangus. Perspektyva dėl papildomo fosforo išgavimo iš virtuvės atliekų yra ribota dėl srauto dydžio ir koncentracijos. Šiam atgavimo būdui svarbiausia yra atskirti maisto atliekas nuo kitų komunalinių atliekų, o tam reikia didelio visuomenės įsitraukimo (Vanotti M. B. ir kt., 2009).

Fosforas iš nuotekų valymo įrenginių skystosios frakcijos yra atgaunamas kaip kalcio fosfatas, kuris yra panašus į fosfato uolieną arba kaip magnio amonio fosfato heksahidratas (dar vadinamas struvitu), kuris yra lėtai fosforą atpalaiduojanti trąša. Struvito yra kelios formos – su magnio jonais, amonio  $\text{NH}_4^+$  jonais arba kalio+ jonais (Ichihashi O. ir kt., 2012 m.).

Fosforas, kuris nėra išgautas iš skystosios fazės, yra nuotekų dumble. Kartais susidaręs dumblas patenka į saugojimo poligonus ar deginimo įrenginius. Dumblo deginimas sumažina tūrį, pašalinama organinė dalis. Deginimo liekanos – pelenai, kuriuose yra maistinių ir neorganinių medžiagų. Fosforo atgavimas iš pelenų yra vienas efektyviausių ir ekonomiškai palankiausių. Neapdoroti nuotekų dumblo deginimo pelenai vis dar turi sunkiųjų metalų junginių, viršijančių teisinės ribas, o fosforas turi mažą biologinį prieinamumą, nes negali būti tiesiogiai naudojami žemės ūkyje. Todėl ši frakcija turi būti apdorota, o šioms problemoms spręsti yra du fosforo regeneravimo iš pelenų būdai: sausas terminis procesas ir drėgnas cheminis procesas. Drėgnajam cheminiam fosforo atgavimui pelenai yra veikiami rūgštimi arba organiniu tirpikliu, o vėliau jis yra išgaunamas iš tirpalo. Sausajam procesui fosforas gaunamas ištirpinant pelenus (Kaikake K. ir kt., 2009).

Dauguma fosfatų regeneravimo būdų yra pritaikyti pramoninėms ir buitinėms miesto nuotekoms. Šiuo metu sukurta tik keletas fosfatų regeneravimo būdų iš gyvulių mėšlo. Gyvulių mėšlas yra šlapimo, vandens ir išmatų mišinys. Šlapime yra ~ 55 % azoto, iš kurio daugiau kaip 70 % sudaro karbamidas. Todėl fosfato nusodinimas gyvūnų nuotekose naudojant šarminį junginį, pvz., kalkę yra labai sunkus dėl didelės skysto mėšlo buferinės talpos. Tačiau šią problemą galima išspręsti naudojant išankstinio nitrifikavimo etapą, kuris sumažina amonio ir bikarbonato šarminumą. Šios reakcijos palieka mažiau buferinio skysčio. Tokiu būdu į nuotekas reikia dėti mažesnius kalkių kiekius tam, kad būtų išgautas kalcio fosfato pavidalo fosforas. Technologijos efektyvumas buvo išbandytas bandomuoju lauko tyrimu Ridge G. ūkyje Šiaurės Karolinoje, kur vienerius metus buvo vertinamas šios technologijos galimybės. Šio bandymo metu buvo gautas 94 % fosfatų šalinimo efektyvumas. Galutinis produktas yra kalcio fosfato turintis dumblas, kuris gali būti naudojamas kaip fosfatinės trąšos (Vanotti M. B. ir kt., 2009; Bauer P. ir kt., 2007).

Antrinio fosforo atgavimas yra tvaraus vystymosi priemonė, kuri leidžia žemės ūkio sektoriui užsitikrinti būtinųjų medžiagų. Įvairūs atgavimo šaltiniai ir naujai metodai leidžia išvengti pavojaus žmonių sveikatai ir nėra ekonomiškai nepagrįsti. Atgavimas iš miesto nuotekų turi privalumą – jo kiekis yra labai didelis, lyginant su žemės ūkiu, tačiau kartu patenkantis ir didelis kiekis vandens (lietaus nuotekos, vandens nuotekos) mažina atgavimo procesų efektyvumą, dėl to didėja kaštai. Fosforo regeneracija iš gyvūlių ūkių teikia vilčių dėl didelių fosforo koncentracijų srutose ir mėšle, tačiau kiekvienam ūkiui įsirengti reaktorius, kuriuose vyksta fosfatų atgavimo reakcijos, yra labai brangu (Dockhorn T., 2009).

### **1.3. Su fosforu susiję strateginiai dokumentai ir teisės aktai, skatinantys srautų uždarymą**

#### **1.3.1. Fosfatinės uolienos ir baltasis fosforas – tarp kritinių Europai žaliavų**

Europos Sąjunga, siekdama apsaugoti savo ekonomiką ir užtikrinti stabilų vystymąsi, 2008 m. priėmė Žaliavų iniciatyvą, kurioje buvo nustatyta pirminių žaliavų ES problema. Šia strategija siekiama užtikrinti:

- Sąžiningą ir tvarų žaliavų tiekimą iš pasaulinių rinkų
- Tvarų žaliavų tiekimą Europos Sąjungoje
- Efektyvų išteklių valdymą ir antrinių žaliavų panaudojimą

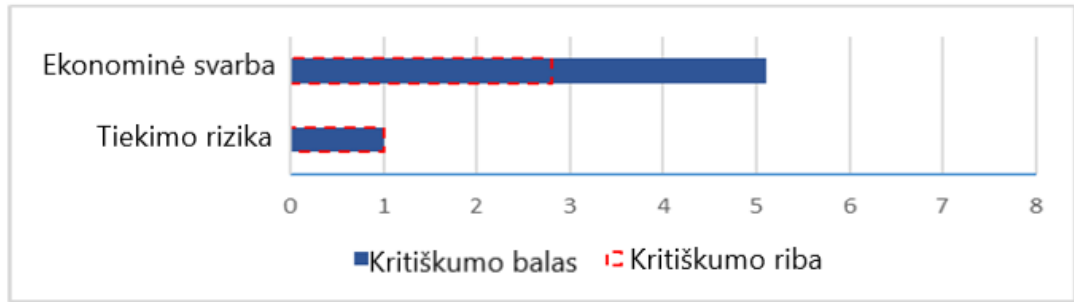
Siekiant šių tikslų, ES identifikavo medžiagas, kurios yra svarbios darniam vystymuisi ir sudarė kritinių žaliavų sąrašą. Pirmasis kritinių žaliavų sąrašas (angl. CRM) buvo sudarytas 2011 m., jame buvo paskelbtas 14 medžiagų sąrašas. Komisija įsipareigojo atnaujinti sąrašą bent kas trejus metus, kad atsispindėtų gamybos, rinkos ir technologijų raida (Europos Komisija, 2013).

Kritinės žaliavos – tai žaliavos, kurios yra ekonomiškai ir strategiškai svarbios Europos ekonomikai, tačiau turi ir didelę riziką, susijusią su jų tiekimu. Vystant aplinkosaugos, elektronikos, sveikatos, plieno gamybą, gynybą, kosmoso tyrimus ir aviaciją, šios medžiagos yra ne tik svarbios kertiniams pramonės sektoriams ir būsimiems taikymams, bet ir tvariam Europos ekonomikos veikimui (European Commission, 2014).

Kritinės žaliavos:

- Turi didelę ekonominę svarbą esminiams Europos ekonomikos sektoriams, pavyzdžiui, elektronikos, aplinkosaugos technologijų, automobilių, aviacijos, gynybos, sveikatos ir plieno sektoriams.
- Turi didelę tiekimo riziką dėl labai didelės priklausomybės nuo importo ir didelių nustatytų kritinių žaliavų koncentracijos tam tikrose šalyse.
- Yra nepakeičiamos kitomis medžiagomis ar junginiais dėl savo unikalių savybių.

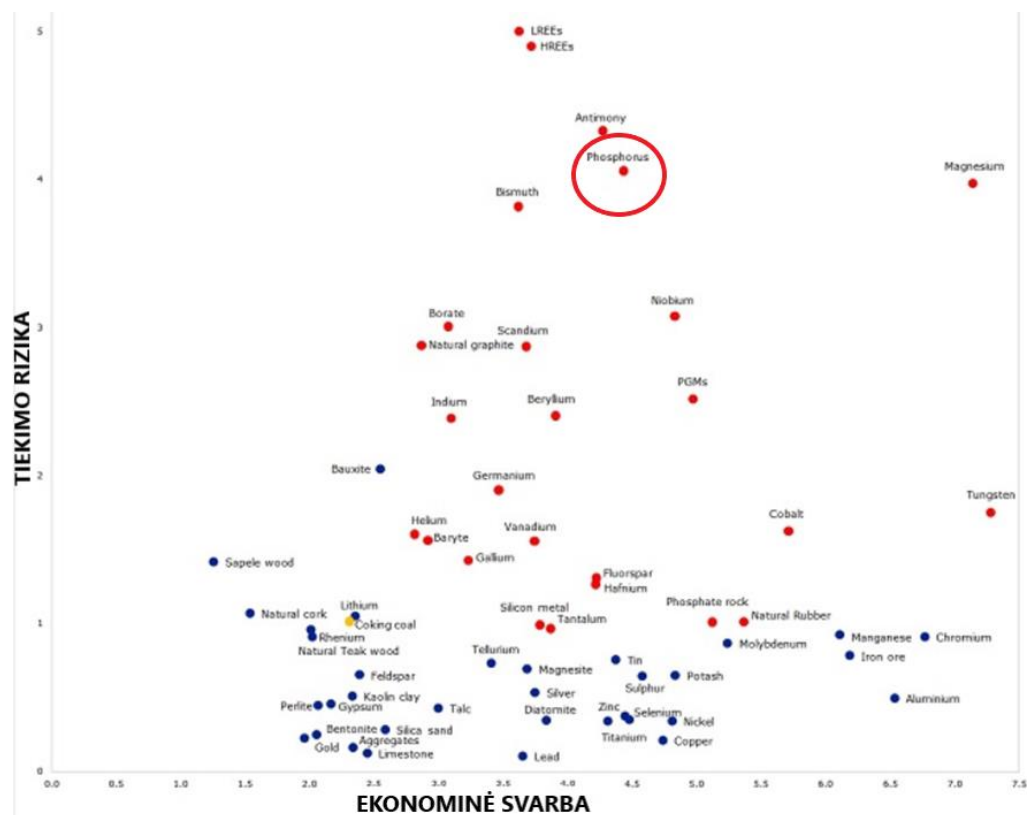
Kritinių medžiagų sąrašė yra ir fosforo uolienos (kartu su baltuoju fosforu). Fosforo importo priklausomybė yra beveik 100 proc., nes Europos Sąjungoje šią medžiagą išgauna tik Suomija, tačiau kiekis yra labai mažas. Fosforas, kaip pirminė žaliava, šiuo metu yra kertinis maisto gamybos komponentas. Atsižvelgiant į ekonomines priežastis, pvz., transporto išlaidas, urbanizaciją ir geopolitinius klausimus, žemės ūkis ir maisto gamyba yra labai svarbūs bet kuriai valstybei dabartinėje pasaulio ekonominiame sistemoje. ES nėra išimtis ir pirmenybė teikiama vidaus rinkoje pagamintiems produktams (European Commission, 2017).



12 pav. Fosfatinių uolienuų ekonominė svarba ir tiekimo rizikos balai (European Commission, 2017)

Ekonominė svarba yra labai reikšminga, o kritinių žaliavų (angl. CMR) sąrašo fosforo uolienuų vertinime yra nustatyta, kad šios pirminės žaliavos reikšmė yra 5,1 balo (12 pav.). Kritinėms žaliavoms medžiagos priskiriamos, kuomet jos viršija 2,8 balo (European Commission, 2017).

Siekiant stabilios ekonomikos vystymosi svarbu užtikrinti ir stabilią pasiūlą kartinėms medžiagoms. ES atliktame vertinime 2017 metais fosforo uolienoms priskirta reikšmė yra 1.0 balas (12 pav). Nors pagrindinė fosfatinių uolienuų pasiūla ES yra iš politiškai nestabilių valstybių, tačiau ji galima iš pakankamai didelio šalių skaičiaus.



13 pav. Kritinių žaliavų svarba Europos Sąjungai (European Commission, 2018)

Anksčiau ES darytose ataskaitose 2011 ir 2014 metais tiekimo rizikos ir ekonominės svarbos rodikliais medžiagos nebuvo vertinamos, nes tik 2017 metais buvo atnaujinta metodika. Tiekimo rizika – ES galimybė gauti medžiagą. Ji grindžiama pirminio tiekimo iš žaliavų gamybos šalių koncentracija, atsižvelgiant į jų valdymo rezultatus ir prekybos aspektus. ES importo priklausomybės matuojamos dviem aspektais – kur yra išgaunama pirminė medžiaga ir kas yra jos tiekėjas. Fosforas tiekimo rizikos vertinimu yra 4 medžiaga pagal šį kriterijų ES (13 pav.), nes didžioji dalis eksportuotojų yra iš pakankamai nestabilių regionų (vakarų Sachara, viduriniai rytai, Rusijos federacija). Šių uolienų pasiūla yra pakankamai didelė, tačiau fosforo medžiagos pakeisti ar susintetinti yra neįmanoma, o perdirbimas šiuo metu nėra pakankamai efektyvus. Siekiama parodyti ES medžiagos svarbą ekonomikai ir sukuriama pridėtiniai vertė. Vertė kinta nuo medžiagos pakeitimo galimybės ir sektorių perspektyvos vertinimo, kuriuose ši medžiaga naudojama. Kadangi fosforas yra nepakeičiama ir dirbtinai nesintetinama medžiaga, be kurio žemės ūkio efektyvumas ženkliai kristų, todėl fosforas yra labai svarbus ir ekonomiškai.

### **1.3.2 Nacionaliniai teisės aktai ir strategijos**

#### **Šveicarijos nuotekų dumblo reglamentas**

Šveicarijoje 2015 metais buvo priimtas „Nutarimas dėl atliekų vengimo ir šalinimo“ įstatymas, kurio pagrindiniai tikslai yra:

- apsaugoti žmones, gyvūnus, augalus ir jų biologines bendruomenes, vandenį, dirvožemį ir orą nuo kenksmingo poveikio ar kenksmingumo, kurį sukelia atliekos
- apriboti aplinkos taršą atliekomis diegiant atsargumo priemones
- skatinti darnų gamtinių žaliavų naudojimą ir jų atgavimą iš atliekų

Šiame Šveicarijos įstatyme yra numatyta, kad iki 2026 metų fosforo atgavimas yra viena iš prioritetinių sričių, kuri padės mažinti priklausomybę nuo įvairių formų fosforo importo tręšimui ir tuo pačiu metu spręsti problemas, kurios susijusios su fosforo nutekėjimu į vandens telkinius ir mažins atliekų kiekį, patenkantį į savartynus.

1. Fosforas turi būti išgautas iš komunalinių nuotekų, nuotekų dumblo iš centrinių nuotekų valymo įrenginių pelenų, susidarančių deginant nuotekų dumblą, o vėliau jį perdirbant (panaudojant).
2. Fosforas gyvulių ir kaulų miltuose turi būti perdirbamas, nebent gyvūnų ir kaulų miltai naudojami kaip gyvūnų pašarai.
3. Atgaunant fosforą iš atliekų pagal 1 arba 2 dalį, atliekose esantys teršalai turi būti pašalinti pagal naujausius technologinius standartus. Jei išgaunamas fosforas naudojamas trąšoms gaminti, taip pat turi būti laikomasi *ORRChem1* reikalavimų (Waste Ordinance, ADWO, 2015).

## Vokietijos nuotekų dumblo reglamentas

Vokietijos parlamentas 2017 m. pavasarį priėmė naują vyriausybės suformuotą nutarimą dėl fosforo regeneravimo iš nuotekų dumblo, kuris bus privalomas visoms Vokietijos nuotekų valymo sistemoms, kurios yra didesnės nei 50 000 žmonių ekvivalento. Tai yra apie 500 iš 9300 nuotekų valymo įrenginių, kurie sugeneruoja 2/3 visoje Vokietijoje susidarančio nuotekų dumblo. Šių didesnių nuotekų valymo įrenginių atveju fosforo regeneravimas bus privalomas, jei dumble yra daugiau kaip 2 % fosforo (sausos kietos medžiagos), naudojant fosforo regeneraciją iš dumblo arba deginimo ir regeneravimo iš nuotekų dumblo pelenų. Dumblo naudojimas tręšiant dirvožemį bus leidžiamas tik nuotekų valymo sistemoms <50 000 p.e. Šiuo metu 29 % Vokietijos nuotekų dumblo yra naudojama tręšiant žemės ūkio paskirties žemę. Po nutarimo įsigaliojimo veiks būtent toks nuotekų dumblo naudojimas, o dėl kokybės kriterijų turės būti lakomasi naujo Vokietijos tręšimo potvarkio (vok. DüV). Šių dviejų naujų potvarkių (vok. AbfKlärV ir DüV) įsigaliojimais skaičiuojama, kad tai sumažins nuotekų dumblo naudojimą žemės ūkyje per pusę. Naujasis potvarkis dėl nitratų Vokietijoje jau dabar drastiškai paveikė nuotekų dumblo naudojimą.

### 1.3.3 Europinės iniciatyvos ir veikla

Atsižvelgdama į augančią strateginę žaliavų svarbą ES gamybos pramonei, Komisija pagal ES žaliavų iniciatyvą vykdo įvairiausių veiksmus, kuriais siekia užtikrinti saugų bei tvarų tiekimą ir žaliavų įperkumą. Pagrindinis dėmesys šioje iniciatyvoje skiriamas ES svarbiausių žaliavų sąrašui.

- Pirmasis kritinių žaliavų sąrašas – 2011 m. Komunikate dėl žaliavų buvo paskelbtas 14 žaliavų sąrašas. Kritinių žaliavų sąrašas buvo nustatytas kaip prioritetas 2008 m. ES žaliavų iniciatyvos veiksmas. Komisija įsipareigoja atnaujinti sąrašą bent kas trejus metus, kad atspindėtų gamybos, rinkos ir technologijų raidą.
- Antrasis kritinių žaliavų sąrašas (CRM) – 2014 m. Komunikate dėl kritinių žaliavų sąrašo 2014 m. buvo sudarytas 20 medžiagų sąrašas, kuris turi didžiausią reikšmę Europos pramonei.
- Trečiasis sąrašas – 2017 m. Komunikate dėl kritinių žaliavų sąrašo 2017 m. Paskelbtas trečiasis 27 medžiagų sąrašas, pagrįstas patobulinta metodika.
- Kritinių žaliavų metodika – 2017 m. liepos mėn. Komisija paskelbė peržiūrėtą ES kritinių žaliavų sąrašo sudarymo metodiką. Gairės grindžiamos metodologijomis, naudojamomis 2011 m. Ir 2014 m. Jos taip pat apima metodinius patobulinimus, kuriuos Komisija nustatė projekte „Metodikos įvertinimas kritinių žaliavų sąrašė“, tokiose srityse kaip gamyba, taikymas, prekyba, pakeitimas, perdirbimas. Ši metodika leidžia geriau išanalizuoti medžiagos savybes, jų pakeitimo galimybes ar perdirbimą. Atsižvelgiama į naujausias technologijas ir ateities perspektyvas (European Commission, 2017).
- Ataskaita apie kritinius žaliavas ir žiedinę ekonomiką – 2018 m. sausio mėn. komisija paskelbė ataskaitą, kurioje pabrėžiama, kad mūsų ekonomikoje naudojamos retos medžiagos gali būti grindžiamos žiedinės ekonomikos principais. Apžvelgiant svarbius kolektyvinio teisių administravimo

sektorius, jame aprašomos atitinkamos ES politikos kryptys, nurodomos pagrindinės iniciatyvos, pateikiami duomenų šaltiniai, nurodoma geroji praktika ir galimi tolesni veiksmai (European Commission, 2018).

P-REX FOCUS P-REX arba „Tvarus nuotekų dumblo tvarkymas, skatinantis fosforo regeneravimą ir energijos vartojimo efektyvumą“ – tai demonstracinis Europos Sąjungos projektas, finansuojamas pagal Septintąją bendrąją programą, vykdytą 2012 – 2015 m. Projekto konsorciumą sudarė 15 rinkos dalyvių ir mokslinių tyrimų institutų – „Biorefine Cluster Europe“. Dalyviai atstovavo įvairiems technologijų tiekėjams, rinkos ekspertams ir tyrėjams, turintiems išsamių žinių apie fosforo rinkas ir srautus, techninį fosforo panaudojimą, nuotekų valymą ir trąšų naudojimą. Projekto tikslas – paspartinti techninio fosforo regeneravimo iš nuotekų srauto įgyvendinimą. Siekiant šio tikslo, įvertinami išplėstiniai procesai, analizuojamos ir apibūdinamos maistinių medžiagų rinkos ir teisinė sistema bei sukuriama regioninės įgyvendinimo strategijos. Kiti mokslinių tyrimų projektai, skirti įvairiems trąšų efektyvumo, maistinių medžiagų panaudojimo ir pakartotinio naudojimo aspektams, apima „End-oSludge“ ir „ManuReSource“ (Biorefine Cluster Europe).

Sėkmingai veikdamas šis klasteris bendriems tikslams suvienijo įvairius specialistus, yra finansuojamas pagal „Horizontas 2020“, „VIP žemės ūkis“ ir „INTERREG“ Europos Sąjungos projektus.

Dabartinė „Biorefine Cluster Europe“ užduotis yra „NUTRIMAN“ tinklo sukūrimas 2018 – 2020 m. Projektas yra sutelktas į azoto bei fosforo maistinių medžiagų regeneravimo ir panaudojimo galimybių perkėlimą į ES teisės aktus. Tai prisidės prie plataus masto naujoviškų trąšų panaudojimo iš regeneruoto azoto ir fosforo, pagaminto iš nepanaudotų vietinių organinių ar antrinių žaliavų išteklių, laikantis žiedinės ekonomikos modelio. Tikslas – gauti trąšas, kurias žemės ūkio specialistai gali naudoti rinkos konkurencinėmis sąlygomis. Tai ekonominiu požiūriu veiksmingas ir tvarus aplinkai modelis. „NUTRIMAN“ taip pat padės pakeisti seną „linijinį“ technologijų perdavimo modelį (nuo mokslininkų iki vartotojų) žemės ūkyje interaktyviu sistemų modeliu, integruojančiu žinių kūrimą, pritaikymą, konsultacijas ir švietimą tarp įvairių dalyvių (Nutriman, 2019).

#### **1.4. Fosforo srautų iširtumas atskirose šalyse ir Europos lygmeniu**

Visuotiniai ir regioniniai fosforo iššūkių ir sprendimai gali būti identifikuojami remiantis fosforo masės srautų analizės (MSA) tyrimais, kuriuose pateikiama informacija apie fosforo naudojimą, regeneravimą ir kaip jis yra akumuliuojamas aplinkos (Chowdhury ir kt., 2014 m.) Istoriskai daugiausia dėmesio buvo skiriama žemės ūkio balansams, visų pirma atsižvelgiant į žemės ūkio srautus, susijusius su pasėlių ir gyvūnų gamyba (Csatho P., Radimsky L., 2009)

Pasauliniu lygiu fosforo srautus tyrė Cordell D. ir kt. (2009). Tyrime buvo kiekybiškai įvertintas fosforo judėjimas visoje naudojimo grandinėje, nuo išgavimo iki praradimų į aplinką. Tuomet šis kiekybinis įvertinimas buvo panaudotas: 1. scenarijų analizei dėl fosforo naudojimo ir poreikio patenkinant pasaulinį maisto poreikį; 2. galimybių analizei dėl fosforo atkūrimo ir pakartotinio naudojimo, kaip alternatyva pirminei fosforo žaliavai; 3. siekiant nustatyti tvoros ateities sinergiją, pagrįstą pasauliniu fosforo trūkumu; 4. metodikų kūrimui, skirtų įvertinti nacionalinių ir regioninių teritorijų priklausomybę nuo fosforo.

Regioninėse skalėse fosforo balanso tyrimai buvo skirti upių baseinų lygiams, susijusiems su vandens P nuostoliais paviršiniuose vandenyse, ir eutrofikacijos rizikos nustatymu. Apskritai, fosforo balanso tyrimai daugiausia analizuojami sistemos įvesties ir produkcijos kiekybiniu įvertinimu, tačiau nepabrėžia, kaip maistinės medžiagos srautų per visą sistemą. Europoje MSA tyrimai nacionaliniu lygmeniu tirti šiose Europos šalyse: Danijoje – Klinglmair M. ir kt. (2015), Suomijoje – Saikku L. ir kt. (2007), Prancūzijoje – Senthilkumar K. ir kt. (2012), Vokietijoje – Gethke K. (2012), Norvegijoje – Hamilton H. A. ir kt. (2015), Švedijoje – Linderholm K. ir kt. (2012), Nyderlanduose – de Buck A. J. ir kt. (2012), Šveicarijoje – Binder C. R. ir kt. (2012). Regioniniu lygmeniu fosforo srautų analizė buvo nagrinėjama 2012 metais Ott C. ir Rechberger H., atlikti 15 ES valstybių narių fosforo srautai, o 2016 metais Kim C. ir kt. atliko tyrimą apie 27 Europos Sąjungos narių fosforo srautų balansą. Šie regioniniai ir nacionaliniai tyrimai buvo paskatinti 2009 m. pasaulinės krizės, kurios metu pirminės žaliavos kaina išaugo apie 400 % ir paskatino gilesnes analizes apie Europos priklausomybę nuo fosforo uolienų ir trąšų importo, žemės ūkio apsaugą nuo nepastovios rinkos ir stabilios trąšų pramonės veiklos.

Baltijos šalių regiojone fosforo srautų tyrimų nėra, todėl šiuo metu Lietuva, Estija ir Latvija dalyvauja Baltijos šalių regiono projektuose, kurių tikslas yra nustatyti šalių priklausomybę nuo fosforo importo, galimus praradimus į aplinką ir fosforo atgavimo galimybes.

## 2. MEDŽIAGŲ SRAUTŲ ANALIZĖS METODIKA

Medžiagų srautų analizė (MSA) yra naudojama tokiems ištekliams tirti kaip mineralai, vanduo, cheminės medžiagos ar energija. Galima nagrinėti įvairiomis geografinėmis skalėmis, nuo pasaulinio iki vietinio (Cordell D. ir kt., 2014). Šis metodas buvo sukurtas pramoninės ekologijos srityje, siekiant efektyviau valdyti žmogiškuosius išteklius ir techninių sistemų metabolizmą. Šis metodas pagrįstas dviem moksliniais principais: 1) masės balansu, leidžiančiu sistemingai įvertinti ir sekti medžiagų srautą (pvz., P) tarp įvairių procesų, taip pat importą ir eksportą iš sistemos; 2) sistemos analizė. Svarbi masinės pusiausvyros sąvoka, kuri susijusi su masės išsaugojimu, medžiaga transformuojasi procesų srauto metu, bet negali būti sunaikinta (Baccini P. ir kt., 2012).

**Sistemos ribos ir aprašymas.** Fosforo srautų analizė apima visą Lietuvos respublikos teritoriją. Tyrime nagrinėjami žemės ūkio, pramonės sektoriai, atliekų tvarkymo ir nuotekų valymo sistemos.

**Duomenų rinkimas.** Fosforo srauto tinklo kiekybiniam įvertinimui naudojami keli duomenų šaltiniai: oficialios statistinės duomenų bazės, apklausos ir ataskaitos. Statistiniai duomenys plačiausiai buvo nagrinėjami didelį kiekį P medžiagų turinčiose sistemose pvz., cheminės trąšos, mėšos ir augalinių produktų balansai, pieno sektorius. Duomenys apie medžiagų srautų kiekį buvo surinkti iš Lietuvos statistikos departamento duomenų bazės, Aplinkos apsaugos ministerijos ataskaitų, Europos Sąjungos statistikos tarnybos (Eurostat). Kai nebuvo duomenų, buvo taikomas masės balanso principas ir apskaičiuoti trūkstami srautai. Verta paminėti, kad buvo atsižvelgta ir į neapibrėžtumus, ypač su P koncentracijos svyravimu produktuose ar masės srautų svyravimu. Pagrindinė naudojama formulė P kiekiui apskaičiuoti:

$$P_{amount} = Flow * P_{conc} \quad (1)$$

*P amount* – P kiekis, t/metus.

*Flow* – nagrinėjamas srautas, masės vnt./metus.

*P conc* – P koncentracija nagrinėjamame sraute, masė/masė, arba %.

Šiame tyrime P srautai buvo kiekybiškai įvertinti dauginant medžiagų srautus su atitinkama P koncentracija išreiškiamą tonomis P / metus. Baziniai metai buvo pasirinkti 2015 – 2017, nes naujesni duomenys dar nevisi suvesti į statistikos duomenų bazes ir gali kisti. Reikia pažymėti, kad tai yra statinis modelis ir kad metiniai svyravimai gali būti reikšmingi, todėl buvo vertinami trijų metų duomenys. Panašiu metodu buvo vertinamas ir Danijos (Klinglmair M. ir kt., 2015), Prancūzijos (Senthilkumar et al., 2014), Japonijos (Matsubae et al., 2011) fosforo srautų balansai.

**Modeliavimo programinė įranga.** Fosforo srautų kiekybinis nustatymas atliekamas naudojant matematinę ir statistinę programinę įrangą **STAN 2.6.801** (Angl. SubSTance flow ANalysis). Šis įrankis sukuria grafinį modelį su iš anksto nustatytais komponentais (procesais, srautais, ribomis), kur įvedami arba importuojami žinomi duomenys (masės srautai ir atsargos, tūrio srautai ir atsargos, koncentracijos, perdavimo koeficientai). Šis modelis suteikia galimybę analizuoti duomenų neapibrėžtumą, algoritme naudojamos

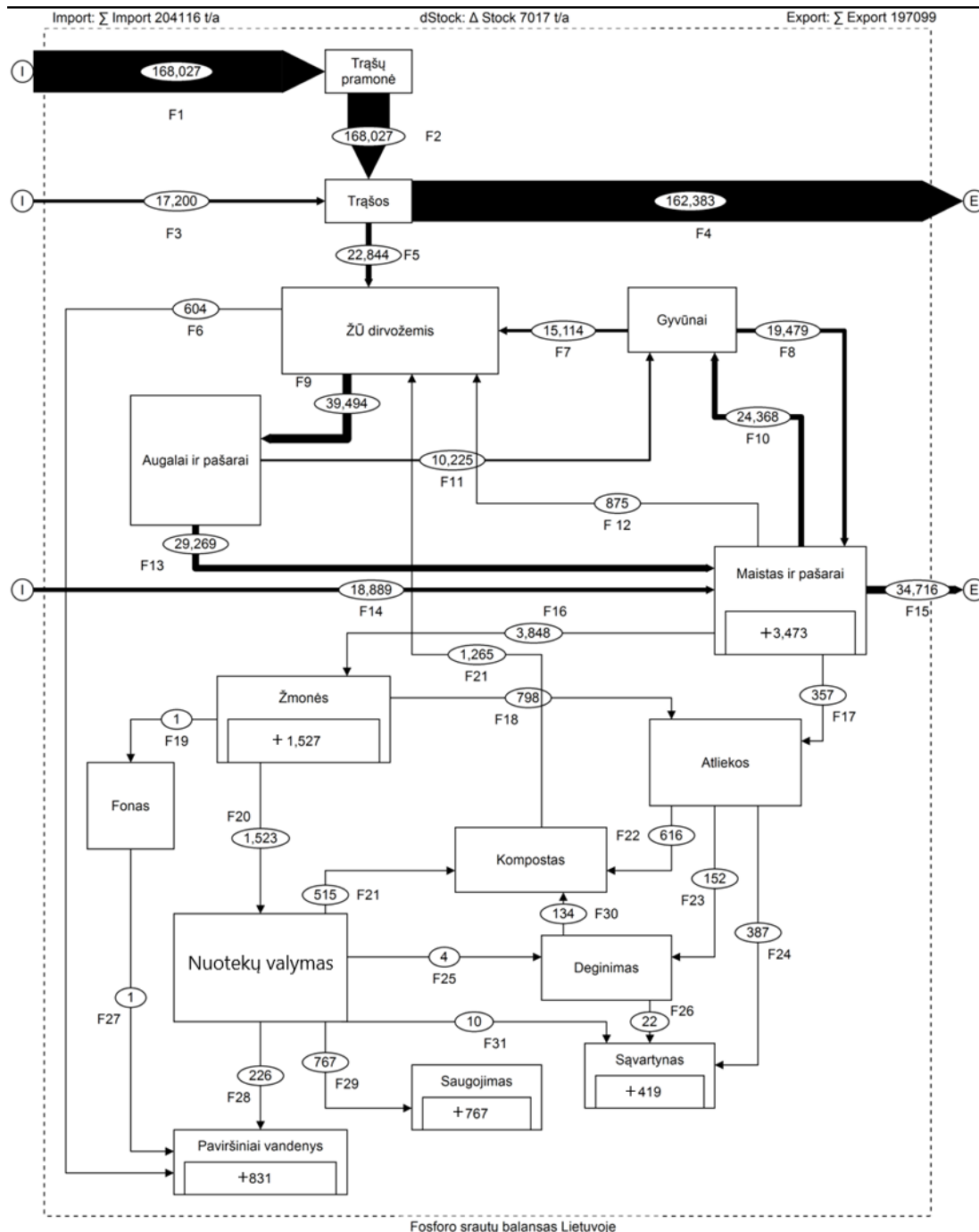


matematinės ir statistinės priemonės, pvz., duomenų suderinimas, klaidų sklaida ir bendras klaidų aptikimas. Srautai pateikiami „Sankey“ formatu, kuriame rodyklės plotis rodomas proporcingai kiekvieno srauto dydžiui. Kiekvieno srauto kiekis yra išreiškiamas tonos P/metus.

### 3. FOSFORO SRAUTŲ ANALIZĖ LIETUVOJE

#### 3.1. Pagrindiniai fosforo srautai ir balansas Lietuvoje

Pagrindiniai fosforo srautai ir balansas Lietuvoje pavaizduoti 14 paveiksle. Atsižvelgiant į šalyje vykdomą ūkinę veiklą ir potencialiai su fosforu susijusius srautus ir procesus, sudarytas konceptualus modelis, apimantis žemės ūkio (maisto) ir atliekų sektorius. Kiekvieno srauto aprašymas, koeficientai ir metai pateikti 2 lentelėje.



14 pav. Fosforo srautų balansas Lietuvoj

2 lentelė. Pagrindiniai fosforo srautai Lietuvoje

No.	Srautai	Kiekis	Vienetai	Koncentracija %	min-maks	Metai	t P/metus	Šaltiniai
F1	Gamtiniai kalcio fosfatai	1320929.1	t/metus			2015-2017	168027	[1]
F2	Trąšų gamyba		t/metus		149.9-261.4	2015-2017	168027	[1;12]
F3	Trąšų importas	84131.2	t/metus	20.44	14.9-26.1	2015-2017	17200	[1;12]
F4	Trąšų eksportas	813978.2	t/metus	19.94	14.9-26.2	2015-2017	162383	[1;12]
F5	Trąšų sunaudojimas ŽŪ	52322.85	t/metus P2O5	43.66	43.66	2015-2017	22844	[1;12]
F6	Žemės ūkio nuotėkis į paviršinius vandenis					2012	604	[13]
F7	Mėšlas ir srutos	7978600	t/metus	0.75	0.0814-2.43	2016-2017	15114	[1;3]
F8	Gyvūnų produktai	1965978.8	t/metus	0.99	0.01-0.93	2015-2017	19479	[1;2;11]
F9	Žemės ūkio derlius	F14+F16				2015-2017	39494	[1;2;3;11]
F10	Pašaras	6845466.7	t/metus	0.35	0.04-3	2015-2017	24368	[1;3;11]
F11	Gyvūnų nuganimas	321011	ha	0.0312	0.03-0.0324	2016	10225	[1;14]
F12	Sėklos	328166.7	t/metus	0.26	0.03-0.9	2015-2017	875	[1;2;11]
F13	Augalų produkcija	10425516.7	t/metus	0.28	0.04-0.33	2015-2017	29269	[1;2;3;11]
F14	Maisto ir pašaro importas	3371964.9	t/metus	0.55	0.04-3	2015-2017	18889	[1;2;3;12]
F15	Maisto ir pašaro eksportas	7072803.5	t/metus	0.49	0.04-3	2015-2017	34716	[1;2;3;13]
F16	Žmonių vartojimas	2333538.3	t/metus	0.165	0.05-0.93	2015-2017	3848	[1;10]
F17	Šalutiniai gyvuliniai produktai	35 719	t/metus	1	0,6-1,5	2017	357	[1;9]
F18	Komunalinės atliekos	360261	t/metus	0.217	0,1-0,5	2017	798	[1;4]
F19	Žmonių veiklos fonas					-	1	[2]
F20	Nuotekos patenkančios į vandenviros sistemas	2800000	žmonių sk.	547.5 g/metus	1533	2015	1533	[1;5]
F21	Nuoteku dumblas naudojamas kompostui	20579.6	t/metus	2.4	2-2.6	2017	515	[1;7]
F22	Žaliosios atliekos	146097	t/metus	0,42	0,4-0,5	2015-2017	616	[1;4;8]
F23	Atliekų deginimas	235721	t/metus	0.092	0.092	2015-2017	216.86	[1;4;8]
F24	Atliekos patenkančios į sąvartyną	420678	t/metus	0.092	0.092	2015-2017	387	[1;4;8]
F25	Nuotekų dumblas deginimui	183	t/metus	2.3	2-2.6	2017	4.209	[1;7]
F26	Degimo produktai į sąvartyną	9950	t/metus	1.5	1.32-1.67	2017	22	[1;6]
F27	Natūralusis nuotėkis					2017	1	[2]
F28	Nuotekos po valymo	2814290	k m <sup>3</sup>	0.0098	0.0090-0.015	2017	266	[1;5]
F29	Nuotekų dumblas į saugojimo aikšteles	30729	t/metus	2.4	2-2.6	2017	767	[1;7]

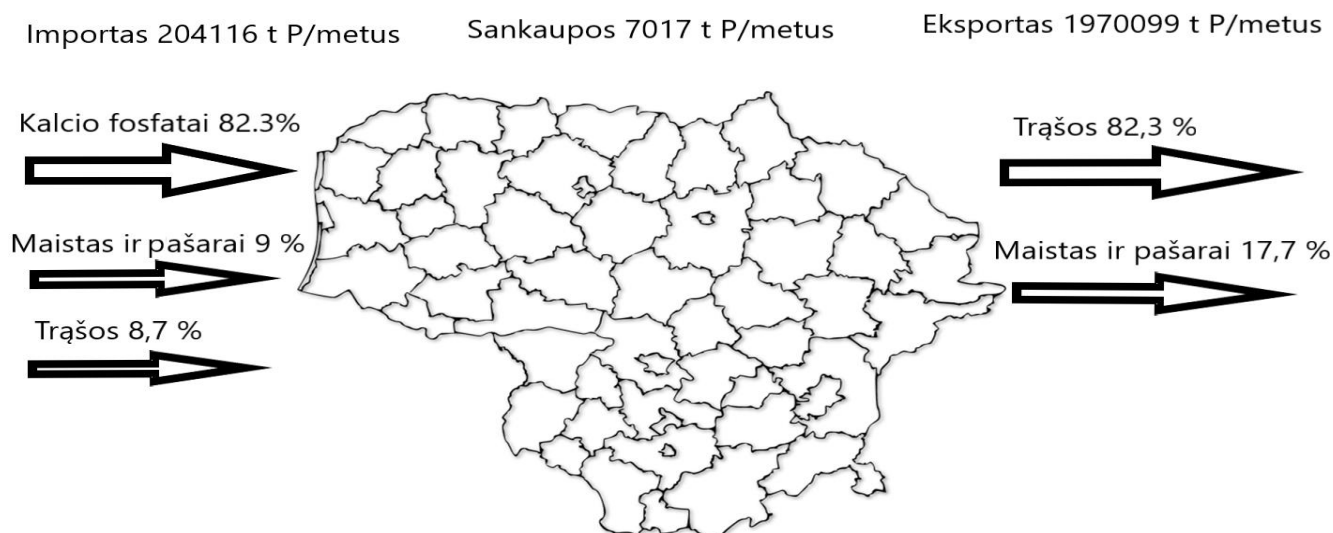
## 2 Lentelės tęsinys

F30	Degimo produktai naudojami tręšimui	5360	t/metus	2.5	25-29	2017	134	[1;6]
F31	Nuotekų dumblas į sąvartyną	430	t/metus	2.32	20-30	2017	10	[1;7]

Lentelė sudaryta naudojantis šaltiniais: [1] Lietuvos statistikos departamentas. [2] Álvarez J. ir kt., 2018. [3] Zotechnikos žinynas, 2007. [4] Zhang ir kt. 2012. [5] LR Nuotekų tvarkymo reglamentas [6] Fu-Shen Z. 2001. [7] Shyba N. C. ir kt., 2016. [8] Sokka L. ir kt., 2004. [9] Metodi M. 2018. [10] Cordell D., ir kt., 2011. [11] A. Riina ir kt., 2004. [12] <https://www.lifosa.com/lt/produktai-ir-paslaugos> [13] UBR2012 [14] Cooper J., 2013 [15].

Fosforo srautų ir balanso analizė rodo (15 pav.), kad Lietuva importuoja 204116 tonų P/ metus, eksportuoja – 197099 t P/ metus. Didžioji dalis fosforo, 82,3%, patenka su įvežamomis fosfatinėmis uolienomis, t.y. kalcio fosfatais, skirtais įmonėje AB „Lifosa“ gaminamoms fosforo trąšoms. Didžioji dalis pagamintų trąšų yra eksportuojamos; Lietuvoje lieka tik apie 2% produkcijos.

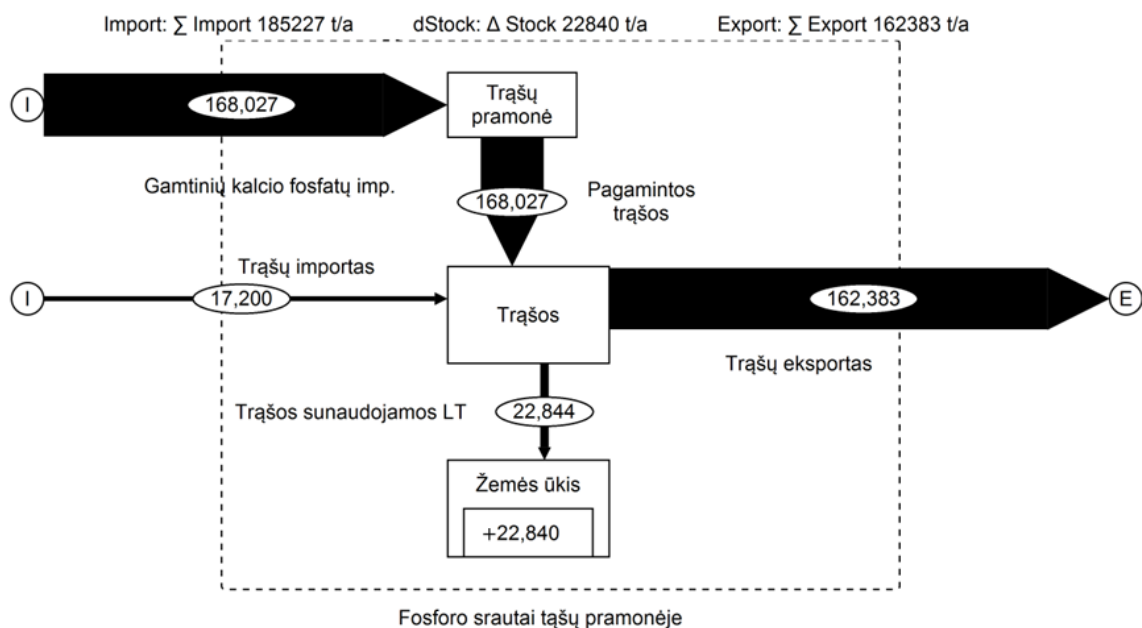
Savoms reikmėms Lietuva importuoja trąšų iš kitų šalių; P jose sudaro apie 8,7% importo balanso. Dar 9% P patenka su įvežamu maistu ir pašarais. Beje, P su maistu ir pašarais iš Lietuvos yra daugiau eksportuojama nei importuojama.



15 pav. Fosforo masės ir srautų analizės importo ir eksporto srautai t P/metus

### 3.2. Fosforo srautai trąšose

Lietuva, kaip ir visos kitos Europos šalys, išskyrus Suomiją, neturi gamtinių fosfatų išteklių. Todėl mineralinių fosforo trąšų ir gamtinių apatitų importas yra pagrindinis visos šalies P balanso srautas, kurio vertė yra 168027 tonų. Tačiau tik apie 12,3 proc. šios sumos naudojama kaip mineralinės trąšos žemės ūkio laukams ir sodams tręšti. Todėl didžioji dalis P yra eksportuojama ir tolimesnės įtakos Lietuvos fosforo balansui neturi.



**16 pav.** Fosforo srautų balansas tąšų pramonėje

Lietuvoje yra gaminamos fosforo tąšos, o jų gamybai reikalinga pirminė žaliava, gamtiniai kalcio fosfatai, yra importuojami. Per metus į Lietuvą yra importuojama 1320929108 tonų gamtinių kalcio fosfatų. Ši pirminė žaliava yra naudojama fosforo rūgšties gamybai, o iš jos tolimesniuose procesuose yra gaminamos fosforo tąšos. Gamtiniuose apatituose esantis P kiekis svyruoja 8-15 % nuo bendros masės. Į Lietuvą gamtiniai apatitai yra importuojami daugiausia iš Rusijos, jų P koncentracija apie 12 %. Fosforo tąšų gamyba Lietuvoje vykdo įmonė AB „Lifosa“, esanti Kėdainių rajone. Didžioji dalis (98%) Lietuvoje pagamintų tąšų yra eksportuojama. Daugiausia eksportuojama į vakarų Europos šalis: Vokietija, Olandija, Prancūzija. Pakankamai reikšmingas fosforo importo srautas yra su pagamintomis tąšomis. Tąšų importas yra beveik 9 kartus mažesnis už eksportą. Tąšose importuojamo ir eksportuojamo fosforo kiekio skaičiavimai pateikti 1 ir 2 priede.

Tąšų pramonės fosforo srautų duomenys yra iš Lietuvos statistikos departamento duomenų bazės. Nustatant srautus buvo naudojami fosfatinių tąšų importo ir eksporto statistika, nes joje pakankamai tiksliai galima įvertinti fosforo srautus. Tąšos, kuriose yra fosfatų, yra suskirstitos į 9 kategorijas pagal, kurių koncentracija galima pakankamai tiksliai įvertinti P koncentraciją. Pagal tąšos rūšį ir jos cheminę sudėtį yra nustatomas fosforo koncentracija. Daugiausia importuojama ir eksportuojama diamonio ir monoamonio fosfatinių tąšų.

P sunaudojimas žemės ūkyje yra nustatomas remiantis statistikos departamento duomenimis – tąšos sunaudotos žemės ūkyje (3 lentelė). Lietuvoje yra renkama informacija apie tąšas suvartojamas įvairioms kultūroms tręšti. Šie duomenys pradėti rinkti 2016 metais, tąšos yra skirstomas į azotines (N), fosforines (P2O5) ir kalio (K2O). Daugiausia fosforinių tąšų yra naudojama javų, rapsų ir ankštinių augalų tręsimui. Šis srautas yra nustatomas labai tiksliai, nes duomenys yra pateikiami perskaičiuoti į P2O5 kiekį tąšose, todėl išvengiama netikslumų dėl kombinuotų tąšų naudojimo.

**3 lentelė. Fosforo trąšų naudojimas žemės ūkyje**

		Mineralinės trąšos panaudotos žemės ūkyje   tonos				
		2016	2017	Vid.	P konc.	Viso t P/ metus
Fosforinės (P2O5)	Sodai ir uogynai	38.1	72.8	55.45	43.66	24.2
	Žieminiai javai	22691.7	23100.6	22896.15	43.66	9996.5
	Vasariniai javai	11924.7	10878.9	11401.8	43.66	4978.0
	Ankštiniai augalai	5052.6	5773.6	5413.1	43.66	2363.4
	Cukriniai runkeliai	1262.6	1437.7	1350.15	43.66	589.5
	Rapsai	6213.8	7613.7	6913.75	43.66	3018.5
	Lauko daržovės	155.8	310.9	233.35	43.66	101.9
	Pašariniai augalai	3175.6	4055.1	3615.35	43.66	1578.5
	Bulvės	369.3	518.2	443.75	43.66	193.7
					Iš viso:	22844.2

**Neapibrėžtumai.** Į statistiką patenka tik trąšos, kurias naudoja žemės ūkio subjektai: įmonės, kooperatyvai, individualūs ūkininkai, o apie mažesniais kiekiais suvartojamas trąšas duomenų nėra. Todėl srautų analizėje nėra vertinami P srautai sodams, daržams ir kitiems augalams. Taip pat atsiranda netikslumų su kombinuotomis trąšomis, kuriose yra keli elementai: Amonio salietra NP 33-3; Azotinė trąša NPK 30-4-4; NPK(S) 27-6-6; NPK 16-16-16; NPK(S) 9-14-27; NPK(S) 8-19-29; NPK 10-26-26; NPK(S) 4-16-34; NPK(S) 5-17-36; NP(S) 10-42; NPK(S) 8-20-30. Kombinuotų mikroelementų trąšų yra daug rūšių, o importo, eksporto statistikoje jos turi būti suskirstytos į 9 kategorijas, todėl tikslus P kiekis nežinomas, tačiau kadangi didžiąją dalį sudaro diamonio ir monoamonio fosfatinės trąšos srautai yra nustatyti pakankamai tiksliai.

Nagrinėjant gamitnių kalcio fosfatų įtaką Lietuvos fosforo balansui nebuvo vertinamas likutinis P kiekis likęs po trąšų gamybos proceso. Buvo atsižvelgta tik į fosforą, kuris juda toliau su trąšomis, nes nėra žinomas likutinis P2O5 kiekis fosfogipse.

### 3.3. Fosforo srautai žemės ūkyje ir maiste

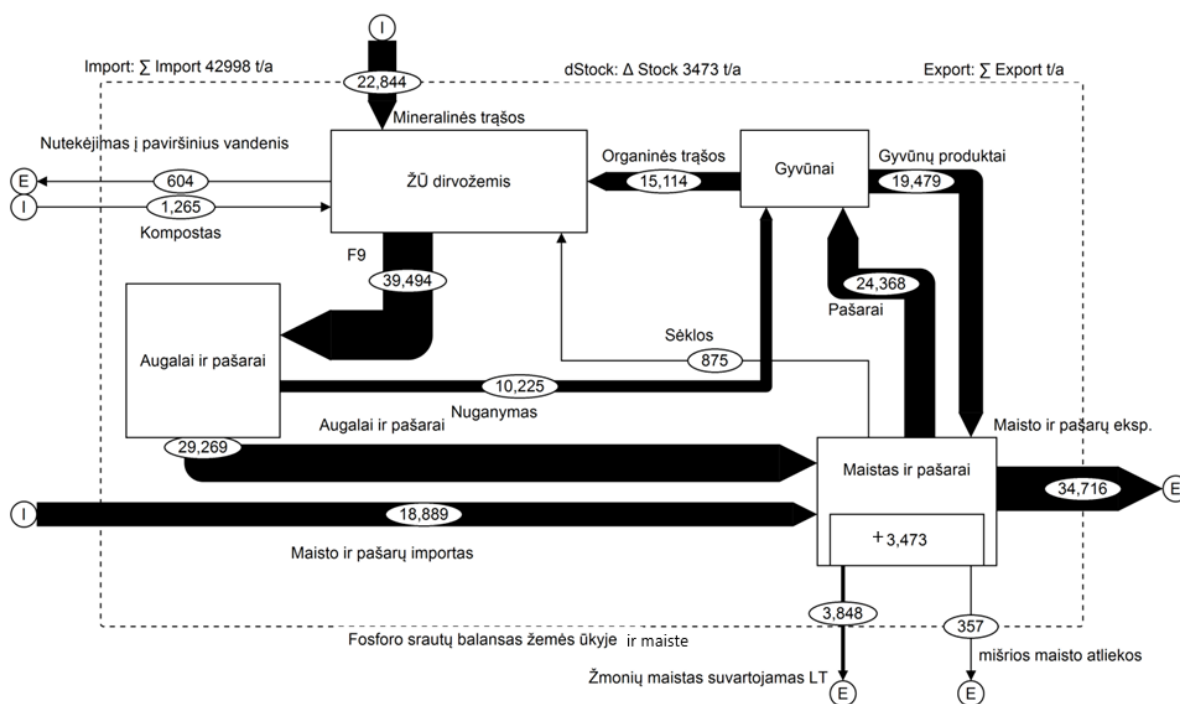
Žemės ūkis Lietuvoje yra vykdomas intensyviai ir sukuria 3,1 % visos pridėtinės vertės. Žemės ūkio plotai užima 1705000 ha. Didžiausią dalį Lietuvoje auginamų kultūrų sudaro javai, kultūrinės ganyklos, daugiametės žolės šienai, ankštiniai augalai ir rapsai (4 lentelė).

**4 lentelė.** Žemės ūkio augalų nuimtas plotas 2017 m. (Lietuvos statistikos departamentas)

tūkst. ha												
Javai	Kultūrinės ganyklos	Ankštiniai augalai	Daugiametės žolės iki 5 metų šienui	Rapsai	Daugiametžių žolių iki 5 metų šienainis	Kukurūzai silosui	Daugiametžių žolių iki 5 metų šienas	Pievos ir natūralios ganyklos	Cukriniai runkeliai (perdirbimui)	Sodai ir uogynai	Lauko daržovės	Bulvės
1199.5	535.7	236.2	193.8	180.9	107.9	24.3	82.5	76.4	26	17.1	19.4	11

Žemės ūkyje P judėjimą pradeda augalai, kurie įsisavinę dirvožemio maistines medžiagas perduoda mitybos grandine. Daugiausia Lietuvoje yra užauginama javų 5420566 t/metus., 599433 t/metus ankštinių augalų ir 543500 t/metus rapsų. Šios trys kultūros sudaro 85,4 % viso apsorbuojamo P. Todėl joms sunaudojama ir daugiausiai P mineralinių (3 lentelė), bei organinių trąšų.

Tiriant Lietuvos žmonių suvartojamą P kiekį su maistu, bei jo kiekį atliekose buvo remtasi Lietuvos statistikos departamento duomenimis, moksliniais tyrimais, bei masės ir srautų balanso metodu. Lietuvos maisto vartojimo fonde esantis fosforas buvo vertintas tik pagrindiniuose produktuose: javai, mėsa, pienas, kiaušiniai. Remiantis Lietuvos statistikos departamento duomenimis pagrindiniuose produktuose yra 7700 tonų fosforo, kuriuos patiekia Lietuvos rinkai. Vertinant vieno vidutinio žmogaus absorbuojamo ir išskiriamo P kiekį ekskrementuose, buvo nustatyta, kad 3473 tonų P (16 Pav.) lieka rinkoje ir nepatenka į žmonių vartojimą. Ši prielaida daroma remiantis de Haes H. A. U. ir kt., (2009) bei Brunner P. H. (2010) tyrimais apie fosforo poreikį ir išskiriamą kiekį vertinant žmonių vartojimą.



**17 pav.** Fosforo srautų balansas žemės ūkyje ir maiste

P srautų ir balanso grafike (16 pav.) pagrindiniai P srautai žemės ūkyje. Didžiausi srautai yra visa žemės ūkio produkcija (F9), maisto ir pašarų eksportas, sunaudojamų mineralinių ir organinių trąšų srautai. Visas žemės ūkio derlius yra skirstomas į išaugintos produkcijos ir nuganymo srautus. Užaugintoje produkcijoje P kiekis apskaičiuojamas naudojantis Lietuvos statistikos departamento duomenimis apie visą užaugintą derlių. Reikšmingiausios kultūros, kurios sukaupia daugiausia judriojo dirvožemio fosforo, yra kviečiuose, rapsuose, ankštiniuose augaluose ir augaluose skirtuose gaminti silosui. Visas Lietuvos augalininkystės derlius per metus iš dirvožemio sunaudoja 39 494 tonų judriojo fosforo. Daugiausia jo apsorbuoja rapsai – vienoje tonoje rapsų yra 7,9 kg fosforo. Lyginant su javais (3,3 kg P/t) rapsų auginimui reikalingas didesnis fosforo papildymas į dirvožemį. Dalis nuimto derliaus yra naudojama sėklai, todėl 875 t P/metus P yra gražinama į dirvožemį. Viso Lietuvos augalininkystės derliaus P kiekio skaičiavimai pateikti 3-4 prieduose.

Ganymo metu apsorbuotas dirvožemio fosforas buvo apskaičiuotas naudojantis Karn J. F. 2001 m. atliktu tyrimu, kurio metu buvo tirtas galvijų ganymo poveikis dirvožemiui. Tiriant ganyklų dirvožemio kokybę buvo nustatyta, kad per metus iš ganyklos galvijai savo gyvybiniam procesams palaikyti apsorbuoja 0.01-0.04 kg P/ha. Visas gyvūlininkystės sektoriaus fosforo balansas išlygintas remiantis užaugintos produkcijos kiekiu, bei sрутų ir mėšlo susidarymu, nes šie rodikliai yra pateikiami Lietuvos statistikos departamento duomenų bazėje (5-6 priedai).

Remiantis kitų šalių atliktais fosforo srautų ir balanso tyrimais galima daryti prielaidą, kad nevisas sрутų ir mėšlo, bei sunaudojamo pašaro kiekis yra pateikiamas Lietuvos statistikos departamentui, nes dabartinė gyvulinės produkcijos išeiga yra 56 % lyginant su visu suvartojamu pašaru, o kitų šalių tyrimų rezultatai svyruoja tarp 13-25%. Vertinant Lietuvos statistikos departamento galimus duomenų netikslumus, galima daryti prielaidą, kad suvartojamos biomasės ir susidarancio mėšlo bei sрутų kiekis tūrėtų būti dvigubai didesnis. Suvartojami pašarų kiekiai pateikti 7 priede (Álvarez J. ir kt. 2018; Cooper J. 2012).

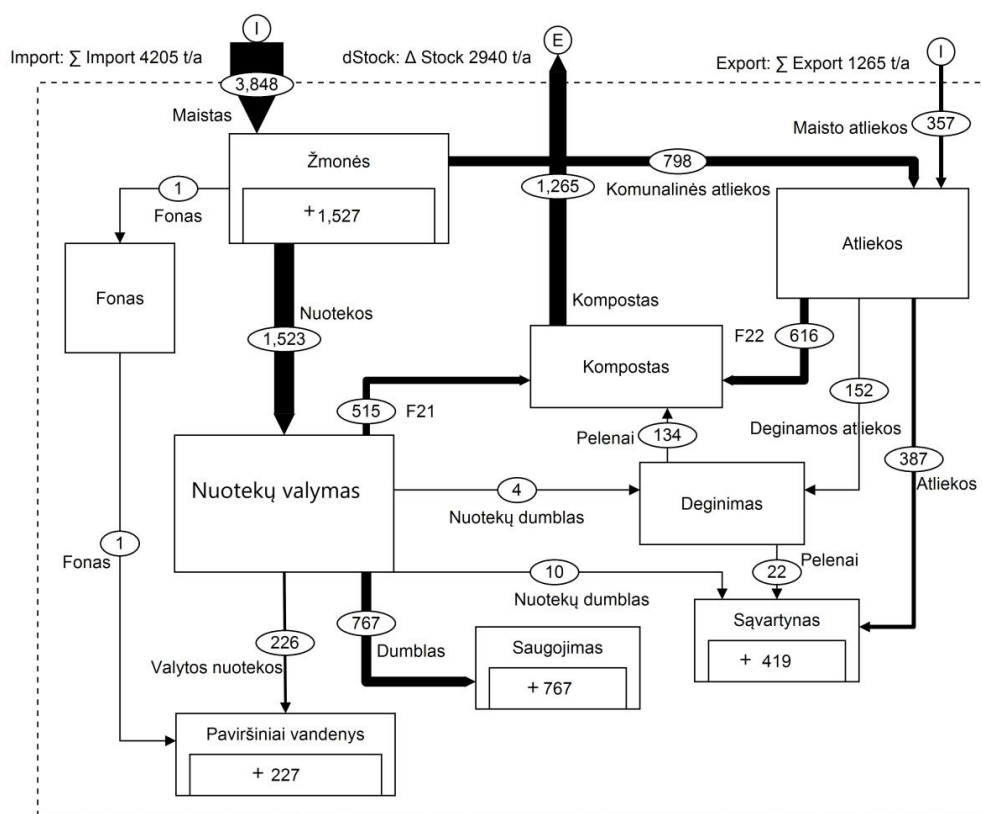
Maisto ir pašarų importo eksporto balansas Lietuvoje yra neigiamas – Lietuva eksportuoja didžiąją dalį užaugintos produkcijos, o vartojimas yra palyginus mažas. Importuojamuose produktuose 54 %, mažiau P, nei eksportuojamuose. Tai galima paaiškinti dideliu riamos žemės plotu - 2114821 ha.. Didžiąją dalį užaugintoje produkcijoje iš Lietuvos eksportuojama su javais 37,5 % ir gyvūnų produktais 36,8 %. Likusi dalis eksportuojamo P yra pašaruose 25,7 % (8-9 priedai).

Tyrime buvo vertintas ir fosforo praradimas į paviršinius vandens telkinius, kurie susieti su vandens ir žemės erozija. Fosforas esantis viršutiniame dirvos sluoksnyje veikiamas fizinių aplinkos veiksnių yra nunešamas į paviršinius vandens telkinius. Šis procesas sukelia eutrofikacija, kuri neigiamai veikia vandens ekosistemas. Nustatant Lietuvos žemės ūkio poveikį paviršiniams vandenims buvo remtasi Lietuvos upių baseinų rajonų valdymo planais, kuriuose 2010-2015 metais buvo tirti 4 didžiausi upių baseinai – Nemuno, Lielupės, Dauguvos, Ventos.



### 3.4. Fosforo srautai atliekose

18 pateiktame paveiksle matome Lietuvos fosforo masės srautų analizės modelį atliekų sektoriuje. Į šią sistemą daugiausias fosforo patenka su maistu – 3848 tonos, bei su mišriomis maisto atliekomis iš maisto pramonės – 357 tonos. Remiantis de Haes ir kt., 2009 tyrimu nustatyta, kad žmogui per metus gyvybinėms funkcijoms palaikyti reikia 550-650 gramų fosforo per metus. Vertinant Lietuvos gyventųjų skaičių ir absorbuojamo P kiekį daroma prielaida, kad žmonės įsisavina 1527 t P/metus. Tai sudaro 39% viso su maistu gaunamo P.



18 pav. Fosforo srautų balansas atliekų sektoriuje.

Žmogaus virškinimo sistema įsisavina ne visą su maistu gaunamą P kiekį, o likutinė dalis su ekskrementais yra pašalinama į nuotekų valymo sistemas. Lietuvoje per metus susidaro 45 416 tonų nuotekų dumblo, kuris yra tvarkomas 4 būdais: deginant, šalinant sąvartyne, kompostuojant ir sandėliuojant. Vertinant šios sistemos srautus yra du pagrindiniai nuotekų dumblo tvarkymo metodai – sandėliavimas (50 % P) ir naudojamas kompostui (38.8 % P). Tik maža dalis yra šalinama sąvartyne ar deginama. P, kuris yra išleidžiamas iš valymo sistemų, buvo nustatytas naudojant masės ir srautų analizės metodą ir buvo prilygintas 226 t P/metus. Šis srautas yra labai panašus su Lietuvos statistikos departamento atliktu tyrimu „Gamtos išteklių ir aplinkos apsauga 2015m.“, kuriame nurodoma, kad Lietuvoje į paviršinius vandenis 2015 metais buvo išleista 137,8 tonos bendrojo P ir 59,4 tonos fosfatinio fosforo.

Pasaulyje dirvožemio kokybės gerinimas naudojant nuotekų dumblą – yra taikomas visose išsivysčiusiose šalyse. Nuotekų dumblo naudojimas žemės ūkio paskirties dirvožemio kokybės gerinimui yra reguliuojamas dėl jame esančių sunkiųjų metalų ir biologinės taršos (19 ir 20 pav.). Lietuvoje pagal dabartinius nuotekų dumblo kokybės rodiklius, didžioji dalis gali būti naudojama žemės ūkyje, energetinių augalų auginimui.

Dumblo kategorija	Sunkiųjų metalų koncentracija, mg/kg						
	Švinas (Pb)	Kadmis (Cd)	Chromas (Cr)	Varis (Cu)	Nikelis (Ni)	Cinkas (Zn)	Gyvsidabris (Hg)
I	<140	<1,5	<140	<75	<50	<300	<1,0
II	140-750	1,5-20	140-400	75-1000	50-300	300-2500	1,0-8,0
III	>750	>20	>400	>1000	>300	>2500	>8,0

**19 pav.** LAND 20-2005 nuotekų dumblo naudojimo tręšimui bei rekultivavimui reikalavimai

Lietuvoje daugiausia susidaro II kategorijos nuotekų dumblo, kuri galima naudoti ir žemės ūkyje, maisto gamybai, bet reikia laikytis numatytų reikalavimų: a) tręšti galima tame pačiame plote tik kas 3 m. b) Reikia parengti tręšimo planą. Jį reikia derinti su savivaldybe ir Aplinkos apsaugos agentūra.

Dabartiniai gaunami išdžiovinto dumblo kokybės rodikliai ir galiojantys teisės aktai smarkiai riboja jo panaudojimą žemės ūkyje. Tai dvi esminės priežastys, kodėl dalis dumblo esančio fosforo yra sandėliuojama. Dumblas, kurio kokybės rodikliai neleidžia jo panaudoti komposto gamybai, galėtų būti naudojamas energijos atgavimui, tačiau Lietuvoje yra tik viena įmonė UAB „Fortum Klaipėda“, kuri turi įrengimus leidžiančius deginti nuotekų dumblą, tačiau ši įmonė didžiąją dalimi degina komunalines atliekas.

Aukštos kokybės nuotekų dumblas Lietuvoje yra nukreipiamas į kompostavimo aikšteles, kuriose maišomas su žaliosiomis ir maisto atliekomis ir pagaminamas aukštos kokybės kompostas. Nuo viso nuotekų dumblo srauto 33,8 % (515 tonos) fosforo patenka į kompostą, kuris vėliau gražinamas į žemės ūkio paskirties teritorijas. Ši praktika yra žiedinės ekonomikos pavyzdys, kuri leidžia sumažinti atliekų kiekį ir skatina ciklinį medžiagų judėjimą. Nuotekų dumblo esančio P srautų skaičiavimai pateikti 10 priede.

Kitas reikšmingas P srautas iš žmonių vartojimo yra su komunalinėmis atliekomis į sąvartynus. Kiekvienais metais Aplinkos apsaugos agentūra vykdo „Mišrių komunalinių atliekų sudėties tyrimus“, kurių tikslas nustatyti, vartotojų įpročius ir efektyviau valdyti atliekų srautus. Tyrimo metu, kuris buvo vykdytas 2018 metais, buvo nustatyta, kad 48.3 %, nuo viso komunalinių atliekų srauto (821159 t), sudarė biologiškai skaidžios atliekos. Komunalinių atliekų sraute P aptinkamas: popieriaus ir kartono, žaliosiose, medienos, įskaitant pakuotes, biologiškai skaidžiose maisto ir virtuvės atliekose, bei tekstilės atliekose. Šio P srautas apskaičiuotas remiantis Sokka L. 2004 metų tyrimu, kurio metu buvo tirti į Suomijos komunalinių atliekų srautą patenkantys azoto ir fosforo kiekiai (11 priedas).

Lietuvoje į regioninius atliekų tvarkymo centrus patenka 798 t P/metus. Biologiškai skaidžios atliekos yra tvarkomos: deginant (13,2 %), kompostuojant (53,3 %) ir šalinant sąvartyne (33.5 %). Vertinant šiuos tvarkymo būdus, pagal atliekų tvarkymo hierarchiją, palankiausias yra kompostavimas, nes medžiagos gražinamos į dirvožemį, o deginimas ir šalinimas sąvartyne yra prasto medžiagų valdymo pasekmė. Komunalinių atliekų

degimo produktai yra užteršti sunkiaisiais metalais, todėl jų panaudojimas yra ribotas. Fosforo srautų balansas maisto ir atliekų sektoriuje grafike (17 paveikslas) srautas iš degimo proceso į kompostą yra apskaičiuotas pagal bendrą degimo produktų atliekų tvarkymo proporcija.

### 3.5. Lietuvos fosforo masės ir srautų analizės palyginimas su kitomis šalimis

Siekiant palyginti skirtingų valstybių fosforo srautų analizės metu gautus rezultatus Cooper ir Carliell-Marquet (2013) rekomenduoja naudoti tvaraus P naudojimo praktikos rodiklius, kurie galėtų būti taikomi vykstant sistemų pokyčiams ar taikant juos kitose šalyse. Galimi P masės ir srautų analizės rezultatų rodikliai:

- Trąšų sunaudojimas žemės ūkyje kg/ha
- Mineralinių ir organinių trąšų santykis, naudojamas žemės ūkio paskirties žemėje %
- Žmonių P vartojimas su maistu kg/gyventojui
- P kiekis sukaupiamas nuotekų dumblyje kg/gyventojui
- Importuojamas P kiekis kg/gyv.
- Eksportuojamas P kiekis kg/gyv.
- Gyvūnų mėšlas ir srutos naudojamos žemės ūkio paskirties žemėje kg/ha
- P atgavimas iš nuotekų dumblo %

**5 lentelė.** Fosforo srautų rodiklių palyginimas skirtingose šalyse

Rodiklis	Vienetai	Lietuva	Ispanija	Prancuzija	Anglija	EU27
Trašų sunaudojimas	kg/ha	12.6	22.89	10	4	6.75
Mineralinių ir organinių trąšų santykis	%	0.66	0.52	0.37	0.27	0.42
Žmonių suvartojamas P kiekis su maistu	kg/gyv.	1.37	1.56	1.8	0.8	1.54
Fosforo kiekis sukaupiamas nuotekų dumblyje	kg/gyv.	0.46	1.68	0.7	0.4	0.24
Importuojamo P kiekis maiste	kg/gyv.	6.74	6.88	7.5	2.2	4.87
Eksportuojamo P kiekis	kg/gyv.	12.39	2.33	2.7	0.4	2.99
Gyvūnų mėšlas ir srutos naudojamos žemės ūkio paskirties žemėje	kg/ha	5.02	9.72	10.6	9.7	9.17
Fosforo atgavimas iš nuotekų dumblo	%	0.39	0.44	0.28	0.41	0.24

Aukščiau pateiktoje lentelėje pateikti pagrindiniai literatūroje nustatyti rodikliai. MSA rezultatai buvo pateikti normalizuoti pagal gyventojų skaičių (kg P / gyv.), žemės plotą (kg P / ha) arba efektyvumo įvertinimus (%). Naudojant šiuos rodiklius galima palyginti šalis, teritorijas ar miestus su skirtingais gyventojų skaičiais ir žemės ūkio teritorijomis. Duomenys buvo lyginti su Prancūzija (Senthilkumar et al., 2014), Anglija (Cooper, Carliell-Marquet, 2013), Ispanija (Álvarez J., 2018) ir Europos Sąjungos 27 (Ott ir Rechberger, 2012) šalių rodikliais. Tirtas laikotarpis nuo 2005 m. iki 2012 m. Taip pat buvo naudotos skirtingos metodikos, todėl sunku padaryti išvadas, tačiau galima nustatyti tam tikras tendencijas.

**Trąšų sunaudojimas žemės ūkyje.** Siekiant didinti žemės ūkio užauginamą produkciją yra naudojamos mineralinės ir organinės trąšos. Valstybių suvartojamas trąšų kiekis priklauso nuo žemės ūkio intensyvumo ir produkcijos. Lyginant Lietuvos MSA rezultatus su kitose šalyse vykdytais tyrimais nustatyta, kad didžiausias P kiekis, mineralinėse ir organinėse trąšose, sunaudojamas Ispanijoje – 22,89 kg/ha, o mažiausias Anglijoje – 4 kg/ha. Lietuvoje sunaudojama 1,86 karto daugiau P (12,6 kg/ha), nei vidutiniškai jo suvartoja 27 Europos Sąjungos valstybės (6,75 kg/ha). Mėšle ir sutose esančio P sunaudojamo žemės ūkio tręšimui Lietuvos rezultatai yra žemiausi – 5,02 kg/ha, o EU 27 vidurkis 9,17kg/ha. Lietuvos MSA rezultatai, dėl trąšose esančio P suvartojimo, gali būti mažesni dėl 3.3. dalyje aptartų prielaidų.

Lietuvos žemės ūkis yra vystomas intensyviai dėl palankių klimatinų, geografinių ir dirvožemio sąvybių, todėl su trąšomis į dirvožemį yra įterpiami dideli kiekiai P, kuris vėliau įsisavintas augalų yra perduodamas maisto grandine. Vertinant mineralinėse ir organinėse trąšose esantį P santykį Lietuvos MSA tyrimu buvo nustatytas didžiausias santykis (0,66 %), o mažiausias Anglijoje (0,27 %). Šis rodiklis daugiausiai priklauso nuo šalies gyvulininkystės sektoriaus dydžio. Kadangi Lietuvoje ši veikla vykdoma intensyviai, todėl P santykis, organinėse trąšose yra didelis.

**Importuojamas ir eksportuojamas P.** Importuojamo ir eksportuojamo P srautai leidžia vertinti bendrą valstybės P balansą. Vertinant Lietuvos ir kitų valstybių vienam gyventojui tenkanti importuojamo P kiekį maiste ir pašaruose, buvo nustatyta, kad daugiausia importuoja Prancūzija 7,5 kg/gyv. ir Ispanija 6,88 kg/gyv. Lietuva importuoja – 6,74 kg/gyv. ir tai yra 27,8 % daugiau lyginant su EU27 (4,87 kg/gyv). Iš visų P MSA pasirinktų valstybių mažiau importuoja Anglija – 2,2 kg/gyv.

Eksportuojamo P kiekis maiste ir pašaruose, tenkantis vienam gyventojui, Lietuvos MSA tyrimo rezultatais 4,1 karto (12,39 kg/gyv.) didesnis nei EU27 valstybių vidurkis (2,99 kg/gyv.). Šis rodiklis parodo, kad Lietuvoje žemės ūkio sukuriama produkcija yra didesnė, nei vietinis vartojimas, todėl didelė dalis produkcijos yra eksportuojama į užsienį. Mažiausiai su maistu P eksportuoja Anglija – 0,4 kg/gyv. Vertinant pasirinktų valstybių bendrą P importo, eksporto balansą tik Lietuvoje buvo nustatytas neigiamas balansas (-5,65 kg/gyv.), o EU27 šalių balansas teigiamas (1,88 kg/gyv.).

**P kiekis maiste ir nuotekų dumble.** Lyginant skirtingų valstybių su maistu gaunamą P kiekį, Lietuvos vartojimo fonde P srautas yra 1,37 kg/gyv., o EU27 1,54 kg/gyv. Mažiausias kiekis tenkantis vienam gyventojui buvo nustatytas Anglijoje – 0,8 kg/gyv, o didžiausias Prancūzijoje 1,8 kg/gyv.

MSA skirtingose valstybėse ištyrė ir P kiekį, kuris yra sukaupiamas nuotekų dumble. Šis rodiklis leidžia įvertinti valstybių nuotekų valymo efektyvumą. Kuo didesnis P kiekis yra sukaupiamas dumble, tuo mažiau jo yra išleidžiama į paviršinius vandenis. Pagal šį rodiklį daugiausia P surenka Ispanija 1,68 kg/gyv., o mažiausiai EU27 valstybių MSA atliktas tyrimas 0,24 kg/gyv. pagalyginus šį rezultatą su Lietuvos MSA tyrime nustatytu 0,46 kg/gyv. fosforo sugavimu nuotekų dumble parodo, kad vandenvėlos sistemos veikia 1,9 karto efektyviau.

Fosforo atgavimas iš nuotekų dumblo yra efektyvus išteklių tausojimo ir žiedinės ekonomikos pavidys. Medžiagos, kurios yra ribotos ir gali būti panaudotos dar kartą, turi būti valdomos efektyviai ir skatinamas uždaras ciklas, kuris leistų medžiagas išlaikyti sistemoje kuo ilgesnį laiką, taip mažindamas pirminių žaliavų

poreikį ir susidarančių atliekų kiekį. Pagal P atgavimą iš nuotekų dumblo Ispanijos MSA modelis nustatė efektyviausią ciklišką sistemą, kuri sugeba 44 % P panaudoti dar kartą. Anglijos analizė nustatė 0,41 % P regeneraciją, Lietuvos 39 % efektyvumą. Europos sąjungus 27 šalių MSA tyrimas nuotekų dumblo antrinį panaudojimą nustatė 1,6 karto mažesnę (0,24 %) nei Lietuvoje. Lietuvos atveju prie P regeneracijos iš nuotekų dumblo nebuvo priskirtas dumblo kiekis, kuris yra nukreipiamas į sandėliavimą, nes jo panaudojimas yra ribotas dėl perdidelės sunkiųjų metalų koncentracijos.

### 3.6. Fosforo atgavimo galimybės Lietuvoje

Remiantis Europos tvaraus fosforo platforma (ESPP, 2017) teigiama, kad fosforo naudojimui ES-27 buvo būdinga : a) didelė priklausomybė nuo pirminės žaliavos importo, b) kaupimosi žemės ūkio dirvožemiuose, ypač Vakarų Europos šalyse, c) nuostoliai visoje visuomenėje, ypač praradimai į aplinką ir sąvartynus, d) nedidelis perdirbimas, išskyrus mėšlą, nuotekų dumblą, e) mažas naudojimo efektyvumas dėl nefektyviai valdomų srautų. Taikant cirkuliacinės ekonomikos strategiją P ciklui, galima sumažinti pirminių fosforo atsargų paklausą, valdant ją antriniais šaltiniais. Vienas iš labiausiai vertinamų fosforo ciklo analizės įrankių - nustatyti ir kiekybiškai įvertinti srautus, pirminius, antrinius ir tretinius šaltinius, pateiktus žiedinės ekonomikos modelyje. Šiomis analizėmis mes galime nustatyti ankstesnius sistemos nuostolius ir imtis būtinų priemonių tokiems nuostoliams sumažinti arba pakartotinai naudoti kaip antrinius šaltinius. Rezultatai gali būti naudojami nustatant P ciklo skirtingų procesų rezultatus ir, kad būtų galima pasiūlyti efektyvesnį išteklių valdymą.

**Nuotekų dumblas – antrinis P šaltinis.** Visose nagrinėtose MSA (4 lentelė), kaip pagrindinis ir perspektyviausias fosforo antrinis šaltinis yra nurodomas nuotekų dumblas. Šis šaltinis išsiskiria didele P koncentracija, bei dideliu susidarančiu kiekiu. Dažniausiai taikomi P atgavimo metodai iš nuotekų dumblo yra džiovinto dumblo tiesioginis barstymas žemės ūkio paskirties žemėje, bei maišant su žaliosiomis ir maisto atliekomis vykdant kompostavimą. Šie metodai naudojami ir Lietuvoje, o jų trūkumai yra, kad išdžiovintas dumblas naudojamas tiesiogiai skleidžiant virš dirvožemio ar naudojamas kompostavimui nevisada atitinka sunkiųjų metalų (18 pav.) ir biologinės taršos reikalavimus (20 pav.).

Dumblo klasė	Fekalinė žarnyno lazdelė (Escherichia coli), kol. sk./g	Anaerobinės klostridijos (Clostridium perfringens), kol. sk./g	Helmintų kiaušinėliai ir lervos, vnt./kg	Patogeninės enterobakterijos, kol. sk./g
A	≤ 1000	≤ 100 000	0	0
B	1001–100 000	100 001–10 000 000	1–100	0
C	> 100 000	>10 000 000	> 100	>1

20 pav. LAND 20-2005 nuotekų dumblo naudojimo tręšimui bei rekultivavimui reikalavimai

Lietuvos MSA tyrimu nustatyta, kad per metus į sandėliavimą yra nukreipiama 767 t P/metus, kuris neatitinka tręšimo ir rekultivavimo reikalavimų. Šis srautas yra vienas iš perspektyviausių siekiant efektyvesnio

P regeneravimo. Lietuvoje su blogos kokybės nuotekų dumblo problema susiduria dažniausiai miestai, kuriuose yra didelė pramonės koncentracija - Šiauliai, Panevėžys, Mažeikiai. Siekiant mažinti sunkiųjų metalų koncentracijas nuotekų dumble reikia identifikuoti taršos šaltinius ir padidinti mokestį už tokių nuotekų tvarkymą. Dabartinis nuotekų dumblo sandėliavimo metodas yra blogos praktikos pavizdys, nes džiovinimui ir sandėliavimui yra naudojama energija, o dėl didelio sukaupto kiekio jos yra sandėliuojamos atviru būdu todėl didėja drėgmės kiekis išdžiovintose granulėse. Didėjanti santikinė drėgmė mažina nuotekų dumblo deginimo galimybes.

Nors šiuo metu nuotekų dumblas Lietuvoje nėra masiškai deginamas energijai atgauti, tačiau tai gali būti sprendimas prastos kokybės dumblo tvarkymui. Europoje deginama apie 30 % nuotekų dumblo ir yra vystomos naujos P atgavimo iš nuotekų dumblo pelenų technologijos. Pelenuose medžiagos dar labiau koncentruojasi ir sunkiųjų metalų koncentracijos viršija ribines vertes. Kaip antrinį P šaltinį pelenus galima naudoti juos veikiant oksalo rūgštimi, Šis atgavimo metodas nėra plačiai taikomas, dėl didelės didelių ekonominių kaštų, tačiau mokslininkai bando rasti efektyvų ir nebrangų metodu P atgauti iš nuotekų dumblo pelenų.

**P atgavimas iš srutų ir mėšlo.** Mėšlo ir srutų transportavimas yra sudėtingas ir ekonomiškai brangus, todėl yra stengiamasi įterpti į dirvą, kuo arčiau fermų. Dirvožemiai šalia fermų turi didelę riziką būti pertrešti. Dėl netinkamo tręšimo girežtėja aplinkosauginiai reikalavimai, siekiant mažinti Baltijos jūros taršą P junginiais. Jei taikyti HELCOM 2019 m. rekomendacijas, ribojančias su mėšlu įterpiamą P kiekį – ne daugiau 25 kg/ha fosforo, nuo mėšlo rūšies rekomenduojama tręšimo norma yra: galvijų kraikinio mėšlo vidutinė norma 23 t/ha, galvijų nekraikinio 29 t/ha, kiaulių kraikinio 12 t/ha ir kiaulių nekraikinio 50 t/ha. Šie reikalavimai apsunkina mėšlo ir srutų įterpimą į dirvožemį, žemdirbiams, tačiau mažina tikimybę fosfatų ir nitratų pertekliui patekti į paviršinius vandenis.

Žemdirbiams nepatogumų kyla ir dėl ribojamo tręšimo laikotarpio. Žemdirbiams organinių trąšų naudojimas tik pavasarį ir vasarą, siekiant mažinti nutekėjimą į paviršinius vandenis ir metano išsiskirimą į aplinkos orą yra sudėtingas, todėl dalis žemdirbių neturi techninių galimybių pasiekti šių rezultatų.

Lietuvos P MSA tyrimu nustatytas 15114 t P/metus organinėse trąšose srautas tikėtina yra didesnis, todėl siekiant šį antrinį šaltinį valdyti efektyviai reikia skirti daugiau dėmesio susidarančio mėšlo ir srutų kiekiui kontrolei, bei tręšimo normų laikymosi. Tai galėtų įtakoti mažesnę, aplink gyvūlininkystės ūkius esančių dirvožemių, pertrešimą ir natūralius nutekėjimus į paviršinius vandenis nuo žemės ūkio paskirties žemės. MSA tyrimo metu buvo nustatyta, kad į paviršinius vandenis patenka 604 t P/metus, daugiausia į Nemuno baseiną, dėl didžiausios apkrovos žemės ūkio paskirties teritorijomis. Mažinti su valytais nuotekomis patenkantį P į paviršinius vandenis yra sudėtinga, nes dabartiai taikomi Lietuvos metodai iš nuotekų išgauna 95 % – 97,5 % bendrojo fosforo.

## IŠVADOS

1. Fosforas yra baigtinis žemės elementas, kuris negali būti pakeistas dirbtinėmis medžiagomis ar kitais elementais. Nors fosforo rezervų žemėje užteks dar 250 – 400 metų, tačiau dėl netolygaus geografinio pasiskirstymo kai kuriems regionams (ypač Europai), kyla grėsmė dėl pasiūlos sumažėjimo, nes didieji pirminio fosforo šaltiniai yra sutelkti politiškai jautriuose regionuose (Vakarų Afrika, Rusija, Kinija). Siekiant sumažinti priklausomybę nuo pirminių žaliavų ES įgyvendina projektus, kurie skatina žiedinį fosforo modelį. Pagrindiniai antrinio fosforo šaltiniai Europoje yra nuotekų dumblas, mėšlas ir srutos, biologiškai skaidžių medžiagų kompostas. Kadangi perdirbtas fosforas yra gražinamas į maisto gamybą, jis turi atitikti saugumo reikalvumus ir tai yra pagrindinis iššūkis, stabdantis medžiagos žiediškumą. Šiuo metu randama vis naujų būdų išgauti fosforą iš užterštų sunkiaisiais metalais frakcijų, todėl perdirbamas kiekis tik didės.

2. Sudarant conceptualų fosforo srautų modelį Lietuvai, buvo įvertinti pagrindiniai procesai ir medžiagos, kuriose šis elementas dalyvauja. Įvertinus kitų šalių MSA modelius buvo nustatyta, kad ženkliausiai fosforo judėjimą į ir iš šalies lemia trąšų pramonė (AB „Lifosa“), žemės ūkis ir maisto sektorius. Šalies viduje reikšmingiausi procesai yra augalininkystė ir gyvulininkystė. Dėl mažos rinkos vietinis maisto vartojimas yra mažas, todėl didelė dalis maisto produktų yra eksportuojama.

3. Fosforo masės ir srautų analizės metodu buvo nustatyta, kad pagrindiniai srautai į Lietuvą yra kalcio fosfatuose 82,3 %, su maistu ir pašarai 9 %, su trąšomis 8,7 %. Iš viso į Lietuvą įvežama 204116 t P/metus. Eksportuojamoje produkcijoje daugiausia fosforo sudaro trąšos 80,3 %, pašarai ir maistas 17,7 %, iš viso eksportuojama 197009 t P/metus. Reikšmingiausi procesai šalies viduje yra augalininkystė ir gyvulininkystė, tačiau vietinis vartojimas, palyginus su žemės ūkio sektoriaus produktyvumu, yra mažas, todėl 50,8 % mėsos ir 76,5 % javų produkcijos yra eksportuojama, todėl fosforas yra išvežamas už šalies ribų ir nėra galimybės jo perdirbti ir gažinti į žemės ūkį. Didžiausi fosforo praradimai Lietuvoje yra į paviršinius vandenius iš žemės ūkio teritorijų ir su išleidžiamomis nuotekomis iš vandenvėlių sistemų – 831 t P/metus, susidariusio nuotekų dumblo sandėliavime 767 t P/metus, šalinant sąvartyne 419 t P/metus (viso prarandama 2017 t P/metus). Daugiausia P atgaunama su mėšlu ir srutomis 15114 t P/metus bei kompostu iš biologiškai skaidžių atliekų ir nuotekų dumblo 1265 t P/metus.

4. Lyginant Lietuvos MSA rezultatus su kitomis šalimis (Ispanija, Prancūzija, Anglija, ES-27) nustatyta, kad trąšų suvartojimas Lietuvoje yra 1,86 karto didesnis nei ES 27 šalių tyrime (kg/ha), bet 1,81 karto mažesnis nei Ispanijoje (kg/ha). Lyginant mineralinių ir organinių trąšų santykį, remiantis analizuotais tyrimais, buvo nustatyta, kad Lietuva santykinai suvartoja daugiau mineralinių nei organinių trąšų ir 24 % lenkia ES santykį. P MSA taip pat nustatyta, kad Lietuvoje sunaudojamų organinių trąšų (mėšlo ir srutų) kiekis yra mažiausias – 5,02 kg/ha ir 1,82 karto mažesnis nei ES 27. Todėl galima daryti prielaidą, kad Lietuvoje nėra pakankamos kontrolės sekti susidarančio mėšlo ir srutų kiekiui bei išleidimo į dirvą kiekiams. Todėl yra tikimybė, kad dirvožemis aplink gyvulininkystės ūkius gali būti pertęštas.

5. Lietuvos importuojamo ir eksportuojamo maisto ir pašaruose esančio P santykis yra neigiamas -5,65 kg/gyv. ES-27 MSA tyrime nustatyta, kad tirtose valstybėse šis balansas vidutiniškai yra +1,88 kg/gyv. Dėl šios priežasties Lietuvoje mažėja fosforo atgavimo galimybė iš antrinių šaltinių, nes produktuose esantis P yra išvežamas į kitas šalis. Lietuva iš nuotekų dumblo atgauna 39 % P (515 t P/metus), o ES-27 tik 24 %. Šis Europos šalių tyrimas atliktas 2012 metais, todėl minėtieji rodikliai pagerėjo dėl teisinių reguliavimų. Lietuvoje atgavimas iš nuotekų dumblo yra, palyginti, efektyvus, tačiau siekiant dar geresnių rezultatų, reikia ieškoti būdų gerinant susidarančio dumblo kokybę, nes dumblo sandėliavimas yra bloga valdymo praktika, nes per metus į sandėliavimą yra nukreipiama 767 t fosforo. Pagrindiniai MSA tyrimo Lietuvoje, tvaraus fosforo valdymo pasiūlymai yra susidarančių organinių trąšų kontrolė ir galimybių paieška perkelti jose esančias medžiagas į dirvožemius, kuriuose jų trūksta, taip pat susidarančio nuotekų dumblo kokybės gerinimas, mažinant į sandėliavimą nukreipiamą kiekį ir atskiras maisto ir biologiškai skaidžių surinkimas, mažinantis sąvartynuose šalinamą fosforo kiekį.



## LITERATŪROS IR ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

AbfKlär V., 2017 m. Nutarimas dėl nuotekų dumblo, nuotekų dumblo mišinio ir nuotekų dumblo komposto panaudojimo (nuotekų dumblo potvarkis) [interaktyvus] Prieiga per internetą: [https://www.gesetze-im-internet.de/abfkl\\_rv\\_2017/AbfKl%C3%A4rV.pdf](https://www.gesetze-im-internet.de/abfkl_rv_2017/AbfKl%C3%A4rV.pdf) (žiūrėta 2019.05.16)

Alexandratos N., Bruinsma J., 2012. World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. ESA Working paper No. 12-03. Rome, FAO.

Álvarez J. Roca M., Valderrama C. Cortina J. L., 2018. A phosphorous flow analysis in Spain. *Sci. Total Environ.* 612, 995–1006

Baccini, P., Brunner, P.H., 2012. *Metabolism of the Anthroposphere*. 2nd ed. MIT Press, Cambridge (MA).

Bauer P., Szogi A.A., Vanotti M. B., 2007. Agronomic effectiveness of calcium phosphate recovered from liquid swine manure. *Agronomy Journal*, 99(5), 1352-1356.

Bauert H., Soesoo A., Hade S., 2015. Strategic raw materials of Estonia. Conference volume – 2015. Rakvere. Tallin.

Binder C. R., de Baan L., Wittmer D., 2009. Phosphorflüsse in der Schweiz. Stand, Risiken und Handlungsoptionen. Bundesamt für Umwelt, Bern, p. 161.

Biorefine Cluster Europe. [interaktyvus] Prieiga per internetą: <https://www.biorefine.eu/about> (žiūrėta: 2019.05.10)

Blake L., Johnston A. E., Poulton P. R., Goulding K. W. T., 2003. Changes in soil phosphorus fractions following positive and negative phosphorus balances for long periods. *Plant and Soil*, 254 (2), pp. 245-261. Kluwer Academic Publishers.

Bouwman A. F., Beusen A. H. W., Billen G, 2012. Human alteration of the global nitrogen and phosphorus soil balances for the period 1970–2050, *Global Biogeochem. Cy.*, 23, GB0A04, doi:10.1029/2009GB003576, 2009

Brunner P. H., 2010. Substance flow analysis as a decision support tool for phosphorus management. *Journal of Industrial Ecology*. 14(6):870–3.

- Bricker S. B., Longstaff B., Dennison W., Jones A., Boicourt K., Wicks C., Woerner J., 2008. Effects of nutrient enrichment in the nation's estuaries: A decade of change. *Harmful Algae*, Volume 8, pp. 21-32, doi: 10.1016/j.hal.2008.08.028
- Buck De A. J., Dijk van W., Middelkoop van J. C., Smit A.L., Reuler van H., Evers A. G., 2012. *Agricultural Scenarios to Reduce the National Phosphorus Surplus in the Netherlands*. Wageningen University and Research Centre, PPO, Wageningen.
- Bünemanna E. K., Bongiorno G., Baic Z., Creamerb R. E., De Deynb G., de Goedeb R., Fleskensk L., Geissend V., Kuyperb T. W., Mädera P., Pullemanb M., Sukkelf W., van Groenigenb J. W., Brussaar L., 2018. Soil quality – a critical review. *Soil Biology and Biochemistry*. Volume 120, p. 105-125
- Cooper, J., Carliell-Marquet, C., 2013. A substance flow analysis of phosphorus in the UK food production and consumption system. *Resour. Conserv. Recycl.* 74, 82–100 Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/>
- Cooper J., Nesme T., Mollier A., Pellerin S., 2012. Conceptual design and quantification of phosphorus flows and balances at the country scale: the case of France. *Glob. Biogeochem. Cycles* 26, GB2008. Doi: <http://dx.doi.org/10.1029/2011gb004102>.
- Cordell D., Neset T. S. S., 2014. Phosphorus vulnerability: a qualitative framework for assessing the vulnerability of national and regional food systems to the multidimensional stressors of phosphorus scarcity. *Glob. Environ. Chang.* 24, 108–122. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j>
- Clear view geographic, 2018. [interaktyvus] Web, Tech & GIS Consultants. DeLand, Florida. Prieiga per internetą: <https://clearviewgeographic.com/?s=eutrophication> (žiūrėta 2019.05.22)
- Csatho P., Radimsky L., 2009. Two worlds within EU27: sharp contrasts in organic and mineral nitrogen–phosphorus use, nitrogen–phosphorus balances, and soil phosphorus status: widening and deepening gap between western and central Europe. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 40, 999–1019. Doi: <http://dx.doi.org/10.1080/00103620802693151>
- Cordell, D., Rosemarin, A., Schroder, J.J., Smit, A.L., 2011. Towards global phosphorus security: a systems framework for phosphorus recovery and reuse options. *Chemosphere* 84, p. 747–758. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j>
- Cordell D., Drangert J. O., White S., 2009. The story of phosphorus: global food security and food for thought. *Glob. Environ. Chang. Hum. Policy Dimens.* 19, 292–305. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009>

Chowdhury R. B., Moore G. A., Weatherley A. J., Arora M., 2014. A review of recent substance flow analyses of phosphorus to identify priority management areas at different geographical scales. *Resour. Conserv. Recycl.* 83, 213–228. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.10.014>.

Defforey D., Paytan A., 2018. Phosphorus cycling in marine sediments: advances and challenges. *Chemical Geology*, 477, pages 1-11. doi: 10.1016/j.chemgeo.2017.12.002

Dockhorn T., 2009. About the economy of phosphorus recovery. In: Ashley, K., Mavinic, D. and Koch, F. (Eds.). *International Conference on Nutrient Recovery from Wastewater Streams*, Vancouver, Canada. IWA Publishing, London.

Donatello S., Cheeseman, C. R., 2013. Recycling and recovery routes for incinerated sewage sludge ash (ISSA): A review. *Waste Manag.* 33, 2328–2340.

Europos Komisija, 2013. Komisijos komunikatas Europos Parlamentui, Tarybai, Europos ekonomikos ir socialinių reikalų komitetui ir Regionų komitetui. Konsultacinis komunikatas dėl fosforo tvaraus naudojimo. Briuselis, COM(2013) 517 final

Europos Komisija, 2013. Komisijos ataskaita Europos Parlamentui, Tarybai, Europos ekonomikos ir socialinių reikalų komitetui ir Regionų komitetui „Dėl Žaliavų iniciatyvos įgyvendinimo“. COM/2013/0442 final. Prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/ALL/?uri=celex:52013DC0442> (žiūrėta 2019.05.17)

Europos Parlamentas, 2014. KOMISIJOS KOMUNIKATAS EUROPOS PARLAMENTUI, TARYBAI, EUROPOS EKONOMIKOS IR SOCIALINIŲ REIKALŲ KOMITETUI IR REGIONŲ KOMITETUI Dėl ES svarbiausių žaliavų sąrašo peržiūros ir Žaliavų iniciatyvos įgyvendinimo. Briuselis, 2014 05 26 COM(2014) 297 final

European Commission, 2014. Report on critical raw materials for the EU. Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials.

European Commission, 2017. Communication from the commission to the European Parliament, the council, the European Economic and Social committee and the committee of the regions on the 2017 list of Critical Raw Materials for the EU. Brussels. COM(2017) 490 final.

European Commission, 2017. Study on the review of the list of Critical Raw Materials. ISBN 978-92-79-72119-9, doi:10.2873/398823, B-1049 Brussels

European Commission, 2018. Report on critical raw materials in circular economy. [interaktyvus] Prieiga per internetą: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d1be1b43-e18f-11e8-b690-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-80004733> (žiūrėta 2019.05.14)

European Court of Auditors, 2016. Combating eutrophication in the Baltic Sea: further and more effective action needed. European Union. Special Report No 03, Luxembourg, doi: 10.2865/9931

Eurostat, 2016. International trade in goods database (COMEXT)

ESPP, 2017. European sustainable phosphorus platform. [interaktyvus] Prieiga per internetą: <http://phosphorusplatform.eu/>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2015. World fertilizer trends and outlook 2018. Rome. ISBN 978-92-5-108692-6

Gethke, K., 2012. Verfahren zur Gewinnung von Sekundärphosphaten aus flüssigen Stoffströmen und deren Einfluss auf die deutsche Phosphorbilanz. Fakultät für Bauingenieurwesen. PhD. Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Aachen.

Hamilton H.A., Brod E., Hanserud O.S., Gracey E.O., Vestrum M.I., Bøen A., 2015. Investigating Cross-Sectoral Synergies through Integrated Aquaculture, Fisheries, and Agriculture Phosphorus Assessments: A Case Study of Norway. J. Ind. Ecol <http://dx.doi.org/10.1111/jiec.12324>

Hansen J. C., Cade-Menun B. J., Strawn D. G., 2004. Phosphorus speciation in manure-amended alkaline soils. J Environ Qual 33: 1521–1527

Heckenmüller M., Narita D., Klepper G., 2014. Global availability of phosphorus and its implications for global food supply: An economic overview. Kiel Working Paper, No. 1897.

Hein L., Leemans R., 2012. The impact of first-generation biofuels on the depletion of the global phosphorus reserve. Ambio. 41(4): 341–349. doi: 10.1007/s13280-012-0253-x

HELCOM, 2009. Eutrophication in the Baltic Sea – An integrated thematic assessment of the effects of nutrient enrichment and eutrophication in the Baltic Sea region. Balt. Sea Environ. Proc. No. 115B. Helsinki Commission, Finland.

HELCOM, 2011. The Fifth Baltic Sea Pollution Load Compilation (PLC-5). Baltic Sea Environment Proceedings No. 128. Baltic Marine Environment Protection Commission – Helsinki Commission. p. 217. Helsinki, Finland.

HELCOM, 2017. The integrated assessment of eutrophication - supplementary report to the first version of the 'State of the Baltic Sea' report 2017. [interaktyvus] Baltic Marine Environment Protection Commission. Prieiga per internetą: <http://stateofthebalticsea.helcom.fi/about-helcom-and-the-assessment/downloads-and-data/> (žiūrėta 2019.05.09)

Haes De H. A. U., Jansen JLA, Van der Weijden WJ, Smit AL., 2009. Phosphate – from surplus to shortage. Policy memorandum of the Steering Committee for Technology Assessment. Utrecht: Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality.

IFA, 2016. International Fertilizer Association Production and International Trade Report. [interaktyvus] Prieiga per internetą: <https://fertilizer.org/Statistics> (žiūrėta 2019.05.16)

IWA, 2009. Recovery from Wastewater Streams: May 10-13, 2009, the Westin Bayshore Hotel and Resort, Vancouver, British Columbia, Canada. London UK. New York.

Ichihashi O., Hirooka K., 2012. Removal and recovery of phosphorus as struvite from swine wastewater using microbial fuel cell. *Bioresour. Technol.*, 114, 303–307.

Yara Intl, 2018. Yara Fertilizer Industry Handbook. Yara International ASA, Norway. Prieiga per internetą: <https://www.yara.com/>. (žiūrėta 2019.05.22)

Jasinski S. M., 2017. Phosphate Rock, USGS Mineral Commodities Summary. [interaktyvus] Prieiga per internetą: [http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphate\\_rock/](http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphate_rock/) (žiūrėta 2019.05.20)

Kaikake K., SekitO T., Dote Y., 2009. Phosphate recovery from phosphorus-rich solutions obtained from chicken manure incineration ash. *Waste Management*, 29, 1084-1088.

Karn J. F., 2001. Phosphorus nutrition of grazing cattle: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 89, 133–153

Končius D., 2010. Biogeninių elementų fosforo ir kalio dinamika balkšvažemyje. *Žemės ūkio mokslai. Lietuvos mokslų akademijos leidykla*. T. 17 Nr. 1-2. p. 1 – 8. CABI. EBSCO ISSN1392-0200

Klinglmair M., Lemming C., Jensen L. S., Rechberger H., Scheutz C., Astrup T.F., 2015. Phosphorus in Denmark: National and Regional Anthropogenic Flows. *Resour. Conserv. Recycl.* 105, 311–324 <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.09.019>.

Lécuyer B., 2014. The world phosphates market: What risk for the European Union?. INRA, UR 1134 LERECO Laboratoire d'Études et de Recherches en Economie. Centre de Recherche Angers-Nantes, Nantes, France.

Linderholm K., Mattsson J.E., Tillman A.M., 2012. Phosphorus flows to and from Swedish Agriculture and Food Chain. *Ambio* 41, 883–893. <http://dx.doi.org/10.1007/s13280-012-0294-1>.

Lietuvos statistikos departamentas, 2016 Gamtos ištekliai ir aplinkos apsauga 2015. ISSN 2029-5952

LR Nuotekų tvarkymo reglamentas - 2006-05-17, Nr. D1-236 Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija.

MacDonald G. K., Bennett E. M., Potter P. A., Ramankutty N., 2011. Agronomic phosphorus imbalances across the world's croplands. *National Academy of Sciences*. vol. 108(7), 3086-3091. doi:10.1073/pnas.1010808108

Matsubae, K., Kajiyama, J., Hikari, T., Nagasaka, T., 2011. Virtual phosphorus ore requirement of Japanese economy. *Chemosphere* 84, 767–772.

Mladenov M., 2018. Chemical composition of different types of compost. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. 712-716.

Montanarella L., Pennock D. J., McKenzie N. J., Badraoui M., 2015 m. World's soils are under threat. *SOIL*, 2, p. 79-82. DOI: 10.5194/soild-2-1263-2015

Mineral Commodity Summaries, 2019. U.S. Geological Survey, 2019. Mineral commodity summaries 2019: U.S. Geological Survey. 200 p. <https://doi.org/10.3133/70202434>.

NUTRIMAN, 2019. NUTRIent MANagement and Nutrient Recovery Thematic Network. [interaktyvus] Prieiga per internetą: <https://nutriman.net/project/objectives> (žiūrėta: 2019.05.10)

Ontoria Y., González-Guedes, E., Sanmartí N., Bernardeau-Esteller J., Ruiz J. M., Romero J., Pérez M., 2019. Interactive effects of global warming and eutrophication on a fastgrowing Mediterranean seagrass. *Marine Environmental Research*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2019.02.002>.

- Ott C., Rechberger H., 2012. The European phosphorus balance. *Resour. Conserv. Recycl.* 60, 159–172. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.12.007>
- Richards I. R., Dawson D. J., 2008. Phosphorus imports, exports, fluxes and sinks in Europe. *Proceedings 638, International Fertiliser Society, York, UK*, pp. 1–28.
- Roser M., Ritchie H., Ortiz-Ospina E., 2019. World population growth. [www.OurWorldInData.org](http://www.OurWorldInData.org). [interaktyvus] Internetinė prieiga: <https://ourworldindata.org/world-population-growth> (žiūrėta 2019.05.20)
- Ruijter de F. J., van Dijk W., van Middelkoop J. C., van Reuler H., 2016 m. Phosphorus recycling from the waste sector. Wageningen, the foundation Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek. *Plant Research International, Wageningen UR (University & Research centre), PRI report 641*. 30 pp.
- Ruttenberg K. C., 2019. Phosphorus Cycle. *Encyclopedia of Ocean Sciences (Third Edition)*, Academic Press. Volume 1, pages 447-460, ISBN 9780128130827, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10807-3>
- Ruttenberg K. C., 2014. The global phosphorus cycle. *Treatise on Geochemistry*, Elsevier, p. 499-558. doi: 10.1016/B978-0-08-095975-7.00813-5
- Saikka L., Antikainen R., Kauppi P. E., 2007. Nitrogen and phosphorus in the Finnish energy system, 1900–2003. *J. Ind. Ecol.* 11, 103–119. <http://dx.doi.org/10.1162/jiec.2007.1116>.
- Shiba N. C., Ntuli F., 2016 m. Extraction and precipitation of phosphorus from sewage sludge. *Waste Management Volume 60, February 2017, Pages 191-200*
- Scholz R. W., Ulrich A. E., Eilittä M., Roy A., 2013. Sustainable use of phosphorus: A finite resource. *Science of The Total Environment*. Volumes 461-462, p. 799–803. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.05.043
- Schröder J. J., Cordell D., Smit A. L., Rosemarin A., 2010. Sustainable use of phosphorus. Technical Report 357 for Plant Research International, Wageningen University and Research Centre: Wageningen, The Netherlands, 2010.
- Sokka L., Antikainen R., Kauppi P., 2004. Flows of nitrogen and phosphorus in municipal waste: a substance flow analysis in Finland. *Progress in Industrial Ecology*, Vol. 1, Nos. 1/2/3, pp.165–186.
- Sviklas A., M., Paleckienė R., Šlinkšienė R., 2006. Fosforo trąšos. Vadovėlis. Kauno technologijos universitetas. Leidykla “Technologija”, Kaunas. ISBN 9955-25-036-4, e-ISBN 978-609-02-0015-5

Theodorou M. E., Plaxton W. C., 1993. Metabolic adaptations of plant respiration to nutritional phosphate deprivation. *Plant Physiol.* 101: 339-344.

U.S. Geological Survey, 2019. Mineral commodity summaries 2019: U.S. Geological Survey, 200 p., <https://doi.org/10.3133/70202434>. ISBN 978-1-4113-4283-5

University of Waikato, 2013. The phosphorus cycle. New Zeland. Prieiga per internetą: <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/961-the-phosphorus-cycle> (žiūrėta: 2019.05.10)

Vaccari D. A., 2015. How do you spot a trend? An examination of recent phosphate rock production. In the special issue on Sustainable Phosphorus. *Glob. Environ. Res.*, 19, 3–8.

Van Dijk K. C., Lesschen J. P., Oenema O. 2016. Phosphorus flows and balances of the European Union Member States. *Science of The Total Environment*, 542, 1078–1093. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.08.048

Vanotti M. B., Szogi, A. A., 2009. Technology for recovery of phosphorus from animal wastewater through calcium phosphate precipitation. International conference on Nutrient Recovery. In: Ashley, K., Mavinic, D. and Koch, F. *Nutrient Recovery from Wastewater Streams*. London, United Kingdom: IWA Publishing. p. 459-468.

Vitousek P. M., Naylor R., Crews T., David M. B., Drinkwater L. E., Holland E., Johnes P. J., Katzenberger J., Martinelli L. A., Matson P. A., Nziguheba G., 2009. Nutrient imbalances in agricultural development. *Science*. The American Association for the Advancement of Science. Vol. 324, Issue 5934, pp. 1519-1520. Doi: 10.1126/science.1170261

Waste Ordinance, ADWO, 2015. Ordinance on the Avoidance and the Disposal of Waste. [interaktyvus] Prieiga per internetą: <https://www.admin.ch/opc/en/classified-compilation/20141858/index.html> (žiūrėta 2019.05.20)

WWF Report, 2018. Baltic Sea Action Plan Scorecard 2018. [interaktyvus] WWF Baltic Ecoregion Programme. Prieiga per internetą: [https://wwf.panda.org/knowledge\\_hub/where\\_we\\_work/baltic/publications/?323970/Countries-fall-short-on-promise-of-a-healthy-Baltic-Sea](https://wwf.panda.org/knowledge_hub/where_we_work/baltic/publications/?323970/Countries-fall-short-on-promise-of-a-healthy-Baltic-Sea) (žiūrėta 2019.05.22)

ZHANG, Y., BANKS, C.J. and HEAVEN, S., 2012. Anaerobic Digestion of Two Biodegradable Municipal Waste Streams. *Journal of Environmental Management*, 8/15, vol. 104, pp. 166-174 ISSN 0301-4797. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.03.043>



## PRIEDAI

### 1. Priedas. Fosforo trąšų importas (F3)

Kn. Kodas	Pavadinimas	Vienetai	2015	2016	2017	vid.	vid. Tonų	P konc.	P/t per metus
31031010	Daugiau kaip 35 % masės difosforo pentoksido	P2O5 kilogramas	9600			9600	9.6	433.66	4.2
31031090	-- Kiti	P2O5 kilogramas	136893.8	187224.8		162059.3	160.0593	433.66	69.4
31031900	--- Kiti	P2O5 kilogramas			60669.2	60669.2	60.6692	433.66	26.3
31039000	-- Kitos	P2O5 kilogramas	301399	0	29002.2	110133.73	107.1337	433.66	46.5
31053000	Diamonio rūgštusis fosfatas (diamonio fosfatas)	kilogramai	988740	3773295	3302718	268825.9	2692.251	200.8	540.6
31054000	Monoamonio fosfatas	kilogramai	42820121	29302680.7	31341837	34488213	32392.21	264.3	8561.3
31055100	--- Kurių sudėtyje yra nitratų ir fosfatų	kilogramai	68333000	25949310	27260280	40514297	40394.2	171.4	6923.6
31055900	--- Kitos	kilogramai	4765461	3393082	8747338	5635293.6	5605.294	171.4	960.7
31056000	Kurių sudėtyje yra du trąšų elementai: fosforas ir kalis	kilogramai	285235	428952	674034	462740.33	452.7403	150	67.9
								Viso	<b>17200.4</b>

### 2. Priedas. Trąšų eksportas (F4)

Kn. Kodas	Pavadinimas	Vienetai	2015	2016	2017	vid.	vid. Tonų	P konc.	P/t per metus
31031010	Daugiau kaip 35 % masės difosforo pentoksido	P2O5 kilogramas	960.0			320.0	0.3	433.7	0.1
31031090	-- Kiti	P2O5 kilogramas	4078.4	6387.0		5232.7	5.2	433.7	2.3
31031900	--- Kiti	P2O5 kilogramas			20130.0	20130.0	20.1	433.7	8.7
31039000	-- Kitos	P2O5 kilogramas	250217.0	19641.0	5520.0	91792.7	91.8	433.7	39.8
31053000	Diamonio rūgštusis fosfatas (diamonio fosfatas)	kilogramai	710740099.0	871090904.3	800817881.6	794216995.0	783916.3	200.8	157410.4
31054000	Monoamonio fosfatas	kilogramai	14040300.0	20091035.3	16017865.0	16716400.1	16716.4	264.3	4418.1
31055100	--- Kurių sudėtyje yra nitratų ir fosfatų	kilogramai	2400792.0	534196.0	414140.0	1118376.0	1599.4	171.4	274.1
31055900	--- Kitos	kilogramai	1056476.9	1953793.0	2113762.8	1708010.9	1708.0	171.4	292.8
31056000	-- Mineralinės arba cheminės trąšos, kurių sudėtyje yra du trąšų elementai: fosforas ir kalis	kilogramai	68628.0	98483.0	143690.0	103600.3	103.6	150	15.5
								viso	<b>162383.3</b>

### 3. Priedas. Visas Lietuvos žemės ūkio derlius (F13)

	2015	2016	2017	vidurkis	vid. Tonų	konc P	tonų P/metus
Sodai ir uogynai	87.1	79.2	99.2	88.5	88500.0	0.2	13.3
Javai	6066.7	5120.8	5074.2	5354.0	5354000.0	3.3	17668.2
Kukuruzai	56.4	86.2	57	66.5	66533.3	3.15	209.6
Ankštiniai augalai	454.7	636.3	707.3	599.4	599433.3	5.0	2997.2
Cukriniai runkeliai (perdirbimui)	619.5	933.5	956.9	836.6	836633.3	0.4	292.8
Rapsai	512.2	399.4	543.5	485.0	485033.3	7.9	3831.8
Kiti aliejiniai augalai (garstyčios, kanapės, saulėgražos ir kt.)	3.5	2.1	3.3	3.0	2966.7	0.7	2.1
Sojos	1.8	3.0	3.1	2.6	2633.3	0.7	1.8
Kmynai	2.2	2.3	4.5	3.0	3000.0	0.7	2.1
Kanapės pluoštui		0.5	0.2	0.4	350.0	0.7	0.2
Bulvės	399.2	351.5	237.0	329.2	329233.3	0.7	230.5
Daržovės, iš viso	215.9	236.2	195.2	215.8	215766.7	0.4	86.3
Pašariniai runkeliai, įskaitant cukrinius runkelius pašarui	41.0	24.1	13.2	26.1	26100.0	0.4	10.4
Pašariniai šakniavaisiai, išskyrus runkelius pašarui	2.8	1.3	0.4	1.5	1500.0	0.4	0.6
Kukurūzai silosui ir žaliajam pašarui	771.2	867.7	643.7	760.9	760866.7	3.15	2396.7
Silosiniai augalai (be kukurūzų)	51.1	41.2	45.9	46.1	46066.7	0.9	39.6
Daugiamečių žolių iki 5 metų šienas	470.9	349.0	284.7	368.2	368200.0	2.0	718.0
Daugiamečių žolių iki 5 metų žalias pašaras, šienainis	1417.3	1297.4	1001.4	1238.7	1238700.0	0.6	768.0
						Viso	<b>29269.2</b>

### 4. Priedas. Derliaus dalis sunaudota sėklai (F12)

Suvargota sėklai tūkts.tonų	2015	2016	2017	Vid. Tonų	P. Konc	P tonų/metus
Bulvės	19	18.9	21	19633.3	0.5	9.8
Ankštiniai	32	31.2	33	32000.0	7.9	252.8
Daržovės	5.5	4.4	6.9	5600.0	0.4	2.2
Javai	161.1	172.2	221.1	184800.0	3.3	609.8
					Viso	<b>874.7</b>

**5. Priedas.** Gyvulininkystės produkcija (F8)

Produktas	2015	2016	2017	2016	vid. Tonų	P konc.	P tonų/metus
Mėsa	262.3	247.9	267.6	259.3	259266.7	50.0	12963.3
Kiaušiniai	786.2	788	730.1	768.1	42245.5	93.0	3928.8
Suproduktai	20.6	17.0	18.9	18.8	18833.3	50.0	941.7
Pienas	1738.5	1627.7	1570.7	1645.6	1645633.3	1.0	1645.6
						viso	<b>19479</b>

**6. Priedas.** Gyvūnų mėšlo ir srutų sunaudojimas žemės ūkyje (F7)

			2016	P koncentracija	P tonų/metus
Gyvūnų mėšlas/srutos sunaudotos žemės ūkyje	Mėšlas tonos		3022000	2.4	7252.8
	Srutos tonos		1432500	0.55	7878.8
				viso	15114.4

7. Priedas. Suvirtota produkcija pašarams (F10)

Produkto Tūkst. Tonų.							
Pašarai	2015	2016	2017	vid.	vid. Tonų	P konc.	tonų P/metus
Javai	1005.7	1017.4	756	926.4	926366.7	3.3	3057.0
Daržovės	32.4	35.4	40.4	36.1	36066.7	0.4	14.4
Bulvės	73.9	62.3	35.6	57.3	57266.7	0.5	28.6
Vaisiai	1.6	1.6	2.1	1.8	1766.7	0.7	1.2
Ankštiniai	64	71.5	70.8	68.8	68766.7	5	343.8
Pašariniai runkeliai, įskaitant cukrinius runkelius pašarui		24.1	13.2	18.65	18650	0.5	9.325
Pašariniai šakniavaisiai, išskyrus runkelius pašarui		1.3	0.4	0.85	850	0.5	0.425
Silosiniai augalai (be kukurūzų)		41.2	45.9	43.55	43550	0.5	21.775
Vienmečių žolių ir kitų vienmečių augalų šienas		0.8	1.6	1.2	1200	0.5	0.6
Vienmečių žolių ir kitų vienmečių augalų žalias pašaras, šienainis		71.6	55.9	63.75	63750	0.5	31.875
Daugiamečių žolių iki 5 metų šienas		3439	2801.7	3120.35	3120350	0.5	1560.175
Daugiamečių žolių iki 5 metų žalias pašaras, šienainis		1297.4	1001.4	1149.4	1149400	0.5	574.7
Dobilų ir jų mišinių žalias pašaras, šienainis		285.7	260.2	272.95	272950	1.1	300.245
Kultūrinių ganyklų šienas		1115.2	1071.3	1093.25	1093250	1.1	1202.575
Kultūrinių ganyklų žalias pašaras, šienainis		9311.5	9711.1	9511.3	9511300	0.5	4755.65
Pievų ir natūralių ganyklų šienas		86.1	107.1	96.6	96600	1.1	106.26
Pievų ir natūralių ganyklų žalias pašaras, šienainis		106.8	111	108.9	108900	0.4	43.56
Augalų liekanos (naudojamos), pašariniai augalai ir ganyklų biomasė.	10257	9659	9846	9752.5	9752500	0.4	3901
Augalų liekanos (naudojamos)	5586	4906	5056	5182.7	5182666.7	0.8	4146.1
Šiaudai	4513	3784	3408	3901.7	3901666.7	0.5	1950.833333
Kitos augalų liekanos (cukrinių runkelių ir pašarinių runkelių lapai, kita)	1073	1122	1024	1073.0	1073000.0	0.5	536.5
Niekur kitur nepriskirti augalinės kilmės šalutiniai produktai ir atliekos, naudojami gyvūnų pašarams, (kg)	106882370	863821506	89693440	353465772.0	353465.8	1.0	353.5
Ūkio gyvūnų pašarų premiksai, (kg)	53441185	43192253	44843720	47159052.7	47159.1	30.0	1414.8

## 8. Priedas. Maisto ir pašarų eksportas. (F15)

Produktas	2015	2016	2017	Vid. Tūkst. Tonų	Vid. Tonų	P. Konc.	P tonų/metus
Rugiai	32.3	25.6	36.6	31.5	31500.0	3.3	104.0
Kviečiai	2823.7	3710.9	3346.9	3293.8	3293833	3.3	10869.7
Kvietrugiai	207.2	98.4	61.6	122.4	122400.0	3.3	403.9
Miežiai	503.1	144.2	276.4	307.9	307900.0	3.3	1016.1
Avižos	49.8	43.2	48.1	47.0	47033.3	3.3	155.2
Kukuruzai	67.9	48.3	94.2	70.1	70133.3	2.8	196.4
Kiti javai	25.1	20.1	22.9	22.7	22700.0	3.3	74.9
Žirniai	174.2	218.7	189.5	194.1	194133.3	1	194.1
Pupos	82.2	164.8	129.4	125.5	125466.7	1.7	213.3
Kiti ankštiniai	6.4	10	8	8.1	8133.3	1	8.1
Bulvės	26.6	34.4	41.4	34.1	34133.3	0.5	17.1
Daržovės	295.6	171.4	191.2	219.4	219400.0	0.7	153.6
Vaisiai	1074.1	485.5	469.1	676.2	676233.3	0.7	473.4
Kiaušiniai mln. vnt/55g	312.3	278.2	197.1	262.5	14437.5	93	1342.7
Jautiena ir veršiena	33.5	31.5	29.8	31.6	31600	50	1580.0
Kiauliena	27.6	17	19.7	21.4	21433.3	50	1071.7
Paukštiena	56.3	59.3	69	61.5	61533.3	50	3076.7
Kita mėsa	0.6	0.7	0.4	0.6	566.6	50	28.3
I ir II kategorijos subproduktai.	18.1	16.6	17.3	17.3	17333.3	50	866.7
Pienas ir prieno produktai	1215.5	1257	1162.2	1211.6	1211566	1	1211.6
Telyčios (galvijų patelės iki pirmo veršiavimo) 380kg					1223.82	50	61.2
Karvės 550kg karvės/galvijai					93.86	50	4.7
Kiti 550kg karvės/galvijai					2015.95	50	100.8
Kurių masė ne didesnė kaip 80kg					4433.14	50	221.7
Skerstini 130kg karvės/galvijai					61.53	50	3.1
Kiti 130kg karvės/galvijai					3288.4	50	164.4
Kiti 250kg karvės/galvijai					357.6	50	17.9
Skerstinos 380kg karvės/galvijai					192.6	50	9.6
Kitos 380kg karvės/galvijai					349.3	50	17.5
Skerstinos 500kg karvės/galvijai					3884.16	50	194.2
Kitos 500kg karvės/galvijai					1009.1	50	50.5
Skerstini 500kg karvės/galvijai					3202.16	50	160.1
Kiti 500kg karvės/galvijai					1596.5	50	79.8
Naminių rūšių kiaulės 200kg					29068.1	50	1453.4
Gallus domesticus rūšies paukščiai (vištos ir gaidžiai) 3kg					3350.045	50	167.5
Kalakutai 5kg					252.08	50	12.6
Kaulai	7781250	5783729	8948850	7504609.7	7504.6	120	900.6
-- Išspaudos ir kitos kietos sojos pupelių aliejaus ekstrahavimo liekanos, maltos arba nemaltos, granuliuotos arba negranuliuotos	3641913 6	24120570	64915032		41818.2	1	41.8
-- Gilės ir kaštonai; obuolių arba kitų vaisių išspaudos, išskyrus vynuogių išspaudas	1635895	1770060	1313340		1573.0	0.8	1.3
-- Miltai, rupiniai ir granulės iš mėsos arba mėsos subproduktų; taukų likučiai	1748940 9	29370988	21461290	22773895. 67	227739.0	1	227.7

-- Miltai, rupiniai ir granulės iš žuvų arba vėžiagyvių, moliuskų arba kitų vandens bestuburių	2978782	2167670.1	2999861	2715437.7	27154.4	1	27.2
-- Kurių sudėtyje esančio krakmolo kiekis ne didesnis kaip 28 % masės, o išsisijojusių pro sietą, kurio akučių dydis 0,2 mm, dalelių kiekis ne didesnis kaip 10 % masės arba kurių išsisijojusiose pro sietą dalelėse pelenai sudaro ne mažiau kaip 1,5 % sausojo produkto masės	19048265	21416172	21481939	20648792	206487.9	1	206.5
-- Kitos	2571091	1981941.8	3077569	2543533.933	25435.3	1	25.4
--- Kurių sudėtyje esančio krakmolo kiekis ne didesnis kaip 28 % masės, o išsisijojusių pro sietą, kurio akučių dydis 0,2 mm, dalelių kiekis ne didesnis kaip 10 % masės arba kurių išsisijojusiose pro sietą dalelėse pelenai sudaro ne mažiau kaip 1,5 % sausojo produkto masės	3962523	6188477	5252010	5134336.667	51343.4	1	51.3
--- Kitos	6067104	13016564	8209952	9097873.333	90978.7	1	91.0
-- Ankštinių augalų	735031	754406.5	455168	648201.8333	6482.0	1	6.5
--- Daugiau kaip 40 % sausojo produkto masės	3703380	1519485	36000	1752955	17529.6	1	17.5
-- Kitos	9168400	21693895.8	26507096	19123130.6	191231.3	1	191.2
-- Cukrinių runkelių becukrė masė	52389066	55381657	41511522	49760748.33	497607.5	1	497.6
-- Kitos	6114144	17474562	2293316	8627340.667	86273.4	1	86.3
-- Žlaugtai arba kitos alaus gamybos arba alkoholio distiliavimo atliekos	10415150	5568533	10595745	8859809.333	88598.1	1	88.6
-- Saulėgrąžų sėklų	8005340	6581021	2834140	5806833.667	58068.3	1	58.1
--- Mažai eruko rūgšties turinčių rapsų arba rapsukų sėklų	56090505	89065305	118767563	87974457.67	879744.6	1	879.7
--- Kitų	58414633	29810868	15379336	34534945.67	345349.5	1	345.3
---- Kurių sudėtyje nėra pieno produktų arba jų yra mažiau kaip 10 % masės	65478075.7	75117444.4	77733792	72776437.37	727764.4	1	727.8
---- Kurių sudėtyje yra ne mažiau kaip 75 % masės pieno produktų	54562	68999	201256.3	108272.4333	1082.7	1	1.1
---- Kurių sudėtyje nėra pieno produktų arba jų yra mažiau kaip 10 % masės	4265790.3	5205274.4	6456925.9	5309330.2	53093.3	1	53.1
---- Kurių sudėtyje yra ne mažiau kaip 10 %, bet mažiau kaip 50 % masės pieno produktų	2.6	23250	2800	8684.2	86.8	1	0.1
---- Kurių sudėtyje nėra pieno produktų arba jų yra mažiau kaip 10 % masės	1520691.1	2772355.2	3697662.3	2663569.533	26635.7	1	26.6
-- Kitas	2777539	3754675.4	4166818.1	3566344.167	35663.4	1	35.7
-- Tirpus žuvų arba jūros žinduolių maistas	36774.9	3666.8	3955.4	14799.03333	148.0	1	0.1
-- Produktai, nurodyti šio skirsnio 5 papildomojoje pastaboje	232300	40540	826561	366467	3664.7	1	3.7
----- Kurių sudėtyje nėra pieno produktų arba jų yra mažiau kaip 10 % masės	2117758	3727682	2891823.3	2912421.1	29124.2	1	29.1
----- Kurių sudėtyje yra ne mažiau kaip 50 %, bet mažiau kaip 75 % masės pieno produktų	394480	263947	215470	291299	2913.0	1	2.9

----- Kurių sudėtyje yra ne mažiau kaip 75 % masės pieno produktų	725100	320975	463150	503075	5030.8	1	5.0
----- Kurių sudėtyje nėra pieno produktų arba jų yra mažiau kaip 10 % masės	110373103	117242229.1	119432193.6	115682508.6	1156825	1	1156.8
----- Kurių sudėtyje yra ne mažiau kaip 10 %, bet mažiau kaip 50 % masės pieno produktų	0	2220	654960	219060	2190.6	1	2.2
----- Kurių sudėtyje nėra pieno produktų arba jų yra mažiau kaip 10 % masės	15419872.7	19100723.3	21932964	18817853.33	188178.5	1	188.2
---- Kurių sudėtyje nėra krakmolo, gliukozės, gliukozės sirupo, maltodekstrino arba maltodekstrino sirupo, bet yra pieno produktų	1859975	99750	605	653443.3333	6534.4	1	6.5
---- Cukrinių runkelių be cukrė masė su melasos priedais	9955	60067	0	23340.66667	233.4	1	0.2
---- Kiti	16820732.6	13776388.2	14776700	15124606.93	151246.1	1	151.2
						viso	31910.6

### 9. Priedas. Maisto ir pašaro importas (F14)

Produkto tūkst. tonų	2015	2016	2017	vid. Tūkst. Tonų	vid. Tonų	P konc.	viso p/metus
Rugiai	14.3	23.7	25.2	21.1	21066.7	3.3	69.5
Kviečiai	151.8	166.2	97.1	138.4	138366.7	3.3	456.6
Kvietrugiai	2.2	0.8	5.1	2.7	2700.0	3.3	8.9
Miežiai	21.7	19.5	61.7	34.3	34300.0	3.3	113.2
Avižos	5.6	7.4	7.6	6.9	6866.7	3.3	22.7
Kukuruzai	108.8	71.4	96.4	92.2	92200.0	2.8	258.2
Kiti javai	17.6	11.4	18.2	15.7	15733.3	3.3	51.9
Žirniai	12.5	16.7	8.9	12.7	12700.0	1.0	12.7
Pupos	1.3	4.1	8.4	4.6	4600.0	1.7	7.8
Kiti ankštiniai	2.5	1.4	1.8	1.9	1900.0	1.0	1.9
Bulvės	48.4	58.8	87.5	64.9	64900.0	0.5	32.5
Daržovės	396.3	288.2	295.7	326.7	326733.3	0.7	228.7
Vaisiai	1 219.4	717.0	678.4	697.7	697700.0	0.7	488.4
Kiaušiniai mln. vnt.	243.7	201.3	205.5	216.8	11924.0	93.0	1108.9
Jautiena ir veršiena	2.3	2.7	3.6	2.9	2866.7	50.0	143.3
Kiauliena	91.8	83.8	89.0	88.2	88200.0	50.0	4410.0
Aviena. ožkiena	0.1	0.1	0.1	0.1	100.0	50.0	5.0
Paukštiena	38.7	37.9	43.4	40.0	40000.0	50.0	2000.0
Kita mėsa	0.2	0.2	0.2	0.2	200.0	50.0	10.0
I ir II kategorijos subproduktai.	17.0	14.0	15.3	15.4	15433.3	50.0	771.7
Pienas ir prieno produktai	631.5	582.9	670.6	628.3	628333.3	1.0	628.3
Kaulai kg.					15216.6	120.0	1826.0
-- Išspaudos ir kitos kietos sojos pupelių aliejaus ekstrahavimo liekanos, maltos arba nemaltos, granuluotos arba ngranuluotos	36419136.0	24120570.0	64915032.0	41818246.0	41818.2	1.0	41.8
-- Gilės ir kaštonai; obuolių arba kitų vaisių išspaudos, išskyrus vynuogių išspaudas	1635895.0	1770060.0	1313340.0	1573098.3	1573.1	0.8	1.3

-- Miltai, rupiniai ir granulės iš mėsos arba mėsos subproduktų; taukų likučiai	17489409.0	29370988.0	21461290.0	22773895.7	227739.0	1.0	227.7
-- Miltai, rupiniai ir granulės iš žuvų arba vėžiagyvių, moliuskų arba kitų vandens bestuburių	2978782.0	2167670.1	2999861.0	2715437.7	27154.4	1.0	27.2
-- Kurių sudėtyje esančio krakmolo kiekis ne didesnis kaip 28 % masės, o išsisijojusių pro sietą, kurio akučių dydis 0,2 mm, dalelių kiekis ne didesnis kaip 10 % masės arba kurių išsisijojusiose pro sietą dalelėse pelenai sudaro ne mažiau kaip 1,5 % sausojo produkto masės	19048265.0	21416172.0	21481939.0	20648792.0	206487.9	1.0	206.5
-- Kitos	2571091.0	1981941.8	3077569.0	2543533.9	25435.3	1.0	25.4
--- Kurių sudėtyje esančio krakmolo kiekis ne didesnis kaip 28 % masės, o išsisijojusių pro sietą, kurio akučių dydis 0,2 mm, dalelių kiekis ne didesnis kaip 10 % masės arba kurių išsisijojusiose pro sietą dalelėse pelenai sudaro ne mažiau kaip 1,5 % sausojo produkto masės	3962523.0	6188477.0	5252010.0	5134336.7	51343.4	1.0	51.3
--- Kitos	6067104.0	13016564.0	8209952.0	9097873.3	90978.7	1.0	91.0
-- Ankštinių augalų	735031.0	754406.5	455168.0	648201.8	6482.0	1.0	6.5
--- Daugiau kaip 40 % sausojo produkto masės	3703380.0	1519485.0	36000.0	1752955.0	17529.6	1.0	17.5
-- Kitos	9168400.0	21693895.8	26507096.0	19123130.6	191231.3	1.0	191.2
-- Cukrinių runkelių becukrė masė	52389066.0	55381657.0	41511522.0	49760748.3	497607.5	1.0	497.6
-- Kitos	6114144.0	17474562.0	2293316.0	8627340.7	86273.4	1.0	86.3
-- Žlaugtai arba kitos alaus gamybos arba alkoholio distiliavimo atliekos	10415150.0	5568533.0	10595745.0	8859809.3	88598.1	1.0	88.6
-- Saulėgrąžų sėklų	8005340.0	6581021.0	2834140.0	5806833.7	58068.3	1.0	58.1
--- Mažai eruko rūgšties turinčių rapsų arba rapsukų sėklų	56090505.0	89065305.0	118767563.0	87974457.7	879744.6	1.0	879.7
--- Kitų	58414633.0	29810868.0	15379336.0	34534945.7	345349.5	1.0	345.3
---- Kurių sudėtyje nėra pieno produktų arba jų yra mažiau kaip 10 % masės	65478075.7	75117444.4	77733792.0	72776437.4	727764.4	1.0	727.8
---- Kurių sudėtyje yra ne mažiau kaip 75 % masės pieno produktų	54562.0	68999.0	201256.3	108272.4	1082.7	1.0	1.1
---- Kurių sudėtyje nėra pieno produktų arba jų yra mažiau kaip 10 % masės	4265790.3	5205274.4	6456925.9	5309330.2	53093.3	1.0	53.1
---- Kurių sudėtyje nėra pieno produktų arba jų yra mažiau kaip 10 % masės	1520691.1	2772355.2	3697662.3	2663569.5	26635.7	1.0	26.6
-- Kitas	2777539.0	3754675.4	4166818.1	3566344.2	35663.4	1.0	35.7
-- Produktai, nurodyti šio skirsnio 5 papildomojoje	232300.0	40540.0	826561.0	366467.0	3664.7	1.0	3.7



pastaboje							
----- Kurių sudėtyje nėra pieno produktų arba jų yra mažiau kaip 10 % masės	2117758.0	3727682.0	2891823.3	2912421.1	29124.2	1.0	29.1
----- Kurių sudėtyje yra ne mažiau kaip 50 %, bet mažiau kaip 75 % masės pieno produktų	394480.0	263947.0	215470.0	291299.0	2913.0	1.0	3.3
----- Kurių sudėtyje yra ne mažiau kaip 75 % masės pieno produktų	725100.0	320975.0	463150.0	503075.0	5030.8	1.0	6.1
----- Kurių sudėtyje nėra pieno produktų arba jų yra mažiau kaip 10 % masės	110373103.0	117242229.1	119432193.6	115682508.6	1156825.1	1.0	1152.8
----- Kurių sudėtyje yra ne mažiau kaip 10 %, bet mažiau kaip 50 % masės pieno produktų	0.0	2220.0	654960.0	219060.0	2190.6	1.0	33