



Kauno technologijos universitetas
Aplinkos inžinerijos institutas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Statybiniuose produktuose naudojamų pavojingų cheminių medžiagų (TCPP, diurono, 6:2 diPAP) srautų analizė

Baigiamasis magistro projektas

Silvija Serapinaitė

Projekto autorė

Prof. dr. Jolita Kruopienė

Vadovė

Kaunas, 2025



Kauno technologijos universitetas
Aplinkos inžinerijos institutas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Statybiniuose produktuose naudojamų pavojingų cheminių medžiagų (TCPP, diurono, 6:2 diPAP) srautų analizė

Baigiamasis magistro projektas
Darnus valdymas ir gamyba (6213EX001)

Silvija Serapinaitė

Projekto autorė

Prof. dr. Jolita Kruopienė

Vadovė

Dr. Edgaras Stunžėnas

Recenzentas

Kaunas, 2025

Serapinaitė Silvija. Statybiniuose produktuose naudojamų pavojingų cheminių medžiagų (TCPP, diurono, 6:2 diPAP) srautų analizė. Magistro baigiamasis projektas, vadovė prof. dr. Jolita Kruopienė; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: TCPP, diuronas, 6:2 diPAP.

Kaunas, 2025. 54 p.

Santrauka

Šiame darbe buvo nagrinėtos trys statybos produktuose naudojamos cheminės medžiagos – TCPP, diuronas ir 6:2 diPAP, kurios dėl savo techninių savybių atlieka svarbias funkcijas, tačiau tuo pačiu kelia pavojų aplinkai ir žmonių sveikatai. Visos tirtos medžiagos pasižymi pavojingomis savybėmis ir patvarumu įvairiose aplinkos terpėse.

Darbo metu buvo taikytas medžiagų srautų analizės metodas (MSA), kurio pagalba įvertintas šių medžiagų judėjimas statybos sektoriuje – nuo medžiagų importavimo į Europos Sąjungą iki galimų emisijų į aplinką. MSA analizė atlikta naudojant STAN programinę įrangą. TCPP ir diurono atveju atlikta kiekybinė srautų analizė, o dėl duomenų trūkumo 6:2 diPAP atveju – sudarytas konceptualus modelis.

TCPP rezultatų analizė parodė, kad didžiausios emisijos į aplinką vyksta statybvietėse purškiant PUR putas (apie 32,3 t/metus), o reikšmingas kaupimasis stebimas vandenyje (13,7 t/metus) ir dirvožemyje (45,9 t/metus). Medžiaga pasižymi patvarumu, todėl šis kaupimasis potencialiai kelia ilgalaikio poveikio aplinkai ir žmonių sveikatai riziką. Diurono srautų analizė atskleidė, kad didžioji emisijų dalis patenka į aplinką jau eksploatacijos pradžioje, o daugiausia medžiagos kaupiasi dirvožemyje (74,29 arba 132,66 t/metus). Diuronas yra labai toksiškas vandens organizmams ir pasižymi dideliu patvarumu, todėl net maži jo kiekiai gali turėti ilgalaikių neigiamų padarinių ekosistemoms. Nors 6:2 diPAP atveju buvo sudarytas tik konceptualus srautų modelis, nustatyta, kad ši medžiaga dažniausiai aptinkama patalpų dulkėse, o tai rodo galimą lėtinį poveikį žmonių sveikatai uždaroje erdvėje.

Darbo rezultatai parodė, kad informacija apie šių medžiagų buvimą statybos produktuose dažnai nėra vieša ar aiškiai nurodoma, todėl reikia griežtinti skaidrumo reikalavimus, o kai šių medžiagų naudojimas neišvengiamas – taikyti priemones, mažinančias emisijas į aplinką. Tik tokiu būdu galima valdyti su TCPP, diuronu ir 6:2 diPAP susijusias rizikas ir užtikrinti statybų sektoriaus dalyviams prieinamumą prie statybinių sprendimų be pavojingų cheminių medžiagų.

Serapinaitė Silvija. Material Flow Analysis of the Selected Hazardous Substances (TCPP, Diuron, 6:2 diPAP) Used in Construction Materials. Master's Final Degree Project, supervisor prof. dr. Jolita Kruopienė; Faculty of Mechanical Engineering and Design, 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.

Keywords: TCPP, diuron, 6:2 diPAP.

Kaunas, 2025. 54 p.

Summary

This study examined three chemical substances widely used in construction products – TCPP, diuron, and 6:2 diPAP – which serve important technical functions due to their specific properties but simultaneously pose risks to the environment and human health. All the investigated substances exhibit hazardous properties and persistence in various environmental compartments.

The material flow analysis (MFA) method was applied to assess the movement of these substances within the construction sector – from their import into the European Union to potential emissions into the environment compartments. The analysis was conducted using STAN software. A quantitative flow analysis was carried out for TCPP and diuron, while due to data limitations, a conceptual model was developed for 6:2 diPAP.

The results for TCPP showed that the highest emissions occur on construction sites during the spraying of PUR foams (approximately 32.3 tonnes per year), with significant accumulation in water (13.7 t/year) and soil (45.9 t/year). The substance is persistent; this accumulation potentially poses a long-term risk to the environment and human health. Diuron analysis revealed that most emissions occur early in the product use phase, with the majority of the substance accumulating in soil (74.29 or 132.66 t/year). Diuron is highly toxic to aquatic organisms and exhibits high persistence, meaning that even small quantities may cause long-lasting negative effects on ecosystems. Although only a conceptual flow model was created for 6:2 diPAP, it was found that the substance is frequently detected in indoor dust, indicating a potential for chronic human exposure in indoor environments.

The study results revealed that information on the presence of these substances in construction products is often not publicly available or clearly disclosed. Therefore, it is necessary to tighten transparency requirements, and if their use is unavoidable, to implement measures that reduce emissions to the environment. Only through such actions can the risks associated with TCPP, diuron, and 6:2 diPAP be effectively managed and ensure that construction sector parties have access to hazard-free building solutions.

Turinys

Lentelių sąrašas.....	7
Paveikslų sąrašas	8
Santrumpų sąrašas	9
Įvadas	11
1. Literatūros analizė.....	13
1.1. TCPP.....	13
1.1.1. Medžiagų techninės savybės ir naudojimas statybiniuose produktuose.....	13
1.1.2. Pavoingosios savybės bei teisinis reglamentavimas	14
1.1.3. Paplitimas gamtinėje aplinkoje.....	15
1.2. Diuronas	17
1.2.1. Medžiagų techninės savybės ir naudojimas statybiniuose produktuose.....	17
1.2.2. Pavoingosios savybės bei teisinis reglamentavimas	19
1.2.3. Paplitimas gamtinėje aplinkoje.....	20
1.3. PFAS (6:2 diPAP)	23
1.3.1. Medžiagų techninės savybės ir naudojimas statybiniuose produktuose.....	23
1.3.2. Pavoingosios savybės bei teisinis reglamentavimas	24
1.3.3. Paplitimas gamtinėje aplinkoje.....	24
1.4. Literatūros analizės apibendrinimas	25
2. Metodika.....	27
2.1. Tyrimo etapai.....	27
2.2. Medžiagų srautų analizė	27
2.3. Programinė įranga	27
2.4. Sistemos ribos ir laikas	28
2.5. Duomenys analizei ir neapibrėžtumo vertinimas	28
3. Cheminių medžiagų srautų analizės	29
3.1. Konceptualus TCPP modelis	29
3.2. TCPP naudojamas kiekis Europoje	30
3.3. TCPP emisijų į aplinką koeficientai	30
3.4. TCPP medžiagų srautų analizė	33
3.5. Konceptualus diurono modelis	36
3.6. Diurono naudojamas kiekis Europoje	37
3.7. Diurono emisijų į aplinką koeficientai	37
3.8. Diurono medžiagų srautų analizė	38
3.9. Konceptualus 6:2 diPAP modelis	42
3.10. 6:2 diPAP duomenys analizei ir jų trūkumas	43
3.10.1. 6:2 diPAP naudojimo kiekiai.....	43
3.10.2. 6:2 diPAP aplinkos terpėse.....	43
4. Cheminių medžiagų potenciali rizika	45
4.1. Medžiagų patvarumo kriterijai	45
4.1.1. TCPP patvarumas ir potenciali rizika.....	45
4.1.2. Diurono patvarumas ir potenciali rizika	46
4.1.3. 6:2 diPAP patvarumas ir potenciali rizika.....	47
4.2. Rizikos valdymo priemonės	47
4.2.1. Reglamentavimo priemonės	47

4.2.2. Techninēs ir fizinēs priemonēs	48
Išvados	50
Literatūros sąrašas	51

Lentelių sąrašas

1 lentelė. TCPP koncentracijos ir rizika aplinkai [7].....	16
2 lentelė. Išplauti, likutiniai ir deficitiniai diurono kiekiai iš visų sistemų [15].....	21
3 lentelė. Kiekybinis diurono ir jo skilimo produktų, aptiktų ištirtų medžiagų nuotekose, skaičius per išplovimo etapus 6 val., 18 val. bei 5 dienas [21]	22
4 lentelė. TCPP, diurono ir 6:2 diPAP aptikimas skirtingose aplinkos terpėse remiantis literatūros šaltiniais.....	26
5 lentelė. Neapibrėžtumo lygių įvertinimas.....	28
6 lentelė. TCPP naudojimo pasiskirstymas tarp sričių [1].....	30
7 lentelė. Antipirenų emisijų koeficientai gaminių gamybos metu [35]	31
8 lentelė. TCPP emisijų koeficientai per visą gyvavimo laikotarpį [1].....	32
9 lentelė. Su emisijomis į orą ir vandenį patekusio TCPP tolesnė sklaida į aplinkos terpes [1]	32
10 lentelė. TCPP srautų kiekiai per metus bei perskaičiuotos vertės	34
11 lentelė. Diurono emisijų koeficientai [34, 35].....	37
12 lentelė. Diurono srautų kiekiai, kai diurono išsiskyrimo kiekis naudojimo metu per pirmus metus į hidrosferą yra 7,5 % bei perskaičiuotos vertės	39
13 lentelė. Diurono srautų kiekiai, kai diurono išsiskyrimo kiekis naudojimo metu per pirmus metus į hidrosferą yra 13,4 % bei perskaičiuotos vertės	41
14 lentelė. 6:2 diPAP koncentracijos įvairiose terpėse [2, 27, 28, 29].....	43
15 lentelė. Kriterijai medžiagoms, klasifikuojamoms kaip patvarios (P) arba labai patvarios (vP) [38]	45
16 lentelė. TCPP patvarumas įvairiose terpėse	46
17 lentelė. Diurono patvarumas įvairiose terpėse.....	46

Paveikslų sąrašas

1 pav. TCPP koncentracijos vandens šaltiniuose [2].....	16
2 pav. Diurono naudojimo sritys [11].....	18
3 pav. Biocidai lietaus vandenyje, kurio mėginiai paimti Turku rajonuose. IL - teritorija su mediniais pastatais, PV ir KA su nemediniais pastatais ir teritorija be pastatų [2]	19
4 pav. TCPP srautų konceptualus modelis	29
5 pav. TCPP srautų analizė.....	33
6 pav. Diurono srautų konceptualus modelis.....	36
7 pav. Diurono srautų analizė, kai diurono išsiskyrimo kiekis naudojimo metu per pirmus metus į hidrosferą yra 7,5 %.....	39
8 pav. Diurono srautų analizė, kai diurono išsiskyrimo kiekis naudojimo metu per pirmus metus į hidrosferą yra 13,4 %.....	41
9 pav. 6:2 diPAP srautų konceptualus modelis	43

Santrumpų sąrašas

Santrumpos:

ARN – reglamentavimo poreikių vertinimas

BVB – Byggvarubedömningen duomenų bazė

CAS – Chemical Abstracts Service

CLH – suderinta klasifikacija ir ženklavimas

CLP – Cheminių medžiagų ir mišinių klasifikavimo, ženklavimo ir pakavimo reglamentas

CoRAP – Bendrijos nuolat atnaujinamas veiksmų planas

CV – variacijos koeficientas

DCPMU – diuron desdimethyl

DCPU – 1-(3,4-dichlorophenyl) urea

EB – Europos Bendrijos

EBPO – Ekonominio bendradarbiavimo ir plėtros organizacija

ECHA – Europos cheminių medžiagų agentūra

EPS – polistireninis putplastis

ES – Europos Sąjunga

LOQ – kiekybinio nustatymo riba

MSA – medžiagų srautų analizė

NTP – Nacionalinė toksikologijos programa

P – patvari medžiaga

PBT – patvarios, bioakumuliacinės ir toksiškos medžiagos

PFAS – perfluoralkilintos ir polifluoralkilintos medžiagos

PUR – poliuretanai

REACH – Europos Sąjungos reglamentas, reglamentuojantis cheminių medžiagų registraciją, įvertinimą, autorizavimą ir apribojimą

RQ – rizikos koeficientas

SCHEER – Europos Komisijos mokslo komitetas dėl sveikatos, aplinkos ir kylančių pavojų

SDL – saugos duomenų lapas

SVHC – labai didelį susirūpinimą keliančios medžiagos (ir jų sąrašas)

TCEP – tri(2-chloroetil) fosfatas

TCIPP – tris(1-chloro-2-propyl) fosfatas

TCPP – tri(2-chloro-1-metiletil) fosfatas

UV – ultravioletiniai spinduliai

vP – labai patvari medžiaga

vPvB – labai patvarios ir didelės bioakumuliacijos medžiagos

6:2 diPAP – bis(2-(perfluoroheksil)etil) fosfatas

Ivadas

Tyrimo aktualumas ir naujumas

Pavojingų cheminių medžiagų naudojimas statybos sektoriuje kelia vis didesnę susirūpinimą dėl jų galimo neigiamo poveikio aplinkai ir žmonių sveikatai. Dalis šių medžiagų, nors ir atlieka svarbias technines funkcijas, yra ilgai išliekančios aplinkoje, toksiškos arba linkusios kauptis organizmuose. Pastaraisiais metais Europos Sąjungoje stiprėja iniciatyvos siekiant sumažinti tokių junginių naudojimą bei plėtoti jų poveikio analizę, ypatingą dėmesį skiriant statybos produktams – dėl jų ilgo gyvavimo ciklo, didelio panaudojimo masto ir tiesioginio sąlyčio su aplinka ar žmogumi.

Šiame darbe analizuojamos trys pasirinktos medžiagos:

- tri(2-chloro-1-metiletil) fosfatas (TCPP, nuo angl. *tris(2-chloro-1-methylethyl) phosphate*) – plačiai naudojamas antipirenas, ypač poliuretano putose;
- diuronas – biocidas, aptinkamas fasado dažų ir medienos apsaugos priemonių sudėtyje;
- bis(2-(perfluoroheksil)etil) fosfatas (6:2 diPAP, nuo angl. *Bis(2-(perfluorohexyl)ethyl) phosphate*) – perfluorintas junginys, naudojamas suteikti dangoms atsparumo vandeniui ir riebalams, galintis virsti kitais ilgai išliekančiais PFAS junginiais.

Tyrime analizuojami cheminiai junginiai pasirinkti dėl jų aktualumo statybos sektoriui bei vis didėjančio pavojaus aplinkai. TCPP pradėtas plačiai naudoti kaip antipirenas poliuretano (PUR) putose po to, kai dėl savo toksiškumo buvo uždrausti polibrominti junginiai, tokie kaip HBCDD. Tačiau tyrimai rodo, kad TCPP yra vis plačiau aptinkamas aplinkoje, o tai kelia abejonių dėl šio pakaitalo tvarumo. Diuronas, naudojamas kaip biocidas medienos gaminiuose, tapo aktualesnis plečiantis medinių pastatų statybai – kartu dažnėja jo aptikimas aplinkoje. 6:2 diPAP, pasirinktas kaip plačiai naudojamas perfluoralkilintos ir polifluoralkilintos medžiagų (PFAS) grupės atstovas, yra naudojamas įvairiose statybinėse medžiagose ir pasižymi itin dideliu patvarumu. Tačiau informacija apie šių medžiagų konkrečius srautus statybos sektoriuje yra fragmentiška. Šios priežastys paskatino atlikti išsamias medžiagų srautų analizes, kurios padės suprasti, kur ir kokiais kiekiais šios medžiagos naudojamos ir kokie yra jų sklaidos keliai aplinkoje.

Šis darbas atliekamas prisidedant prie Interreg Baltijos jūros regiono programos „NonHazCity 3“ projekto, kurio tikslas – padėti savivaldybėms ir statybų sektoriaus dalyviams pereiti prie statybinių sprendimų be pavojingų cheminių medžiagų, mažinant jų poveikį aplinkai.

Tyrimo objektas. TCPP, diurono ir 6:2 diPAP medžiagų srautai statybos sektoriuje Europoje.

Tyrimo tikslas. Išanalizuoti srautus, susijusius su TCPP, diurono ir 6:2 diPAP naudojimu statybos produktuose, ir įvertinti potencialią jų keliamą riziką aplinkai.

Tyrimo uždaviniai:

1. Atlikti literatūros analizę ir apžvelgti su cheminių medžiagų TCPP, diurono ir 6:2 diPAP naudojimu susijusius aspektus:
 - techninės savybės, kurios skatina naudojimą tam tikruose statybos produktuose;
 - pavojingosios savybės, dėl kurių kyla potenciali rizika aplinkai ir žmonių sveikatai, bei teisinis reglamentavimas;
 - esamos žinios apie naudojimą statybos produktuose ir aptikimą gamtinėje aplinkoje.

2. Surinkti duomenis iš literatūros, statistikos, duomenų bazių apie cheminių medžiagų naudojimą ir patekimą į aplinką, kurių pagrindu atlikti šių medžiagų srautų analizę.
3. Įvertinti TCPP, diurono ir 6:2 diPAP patekimo į aplinką kelius ir mastą bei kokybiškai apibūdinti potencialią riziką.

1. Literatūros analizė

1.1. TCPP

Tri(2-chloro-1-metiletil) fosfatas (TCPP, nuo angl. *tris(2-chloro-1-methylethyl) phosphate*) yra chloruotas organofosfatinis antipirenas, plačiai naudojamas poliuretano putų gamyboje, siekiant sustabdyti ugnies plitimą.

1.1.1. Medžiagų techninės savybės ir naudojimas statybiniuose produktuose

TCPP (CAS numeris 13674-84-5, EB numeris 237-158-7) techninės savybės [1]:

- pasižymi puikiomis antipireno savybėmis, kurias lemia fosforo ir chloro atomų buvimas TCPP molekulėje. Gaisro metu fosforas formuoja fosforo rūgštį, kuri skatina anglies sluoksnio susidarymą ir taip sumažina degimo intensyvumą, o chloras slopina laisvųjų radikalų susidarymą dujų fazėje;
- fizinės ir cheminės savybės:
 - skystis kambario temperatūroje;
 - lydymosi temperatūra: $< -20\text{ }^{\circ}\text{C}$;
 - virimo temperatūra (suirimas): $\sim 288\text{ }^{\circ}\text{C}$;
 - tankis ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$): $1,288\text{ g/cm}^3$;
 - garų slėgis ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$): $1,4 \times 10^{-3}\text{ Pa}$;
 - tirpumas vandenyje: 1080 mg/l ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- tirpus daugelyje organinių tirpiklių (pvz., acetone, benzole, esteriuose), bet netirpsta alifatiniuose angliavandeniliuose;
- veikia kaip plastifikatorius;
- neturi paviršinio aktyvumo (ne surfaktantas);
- atsparus UV spinduliams, pasižymi geromis izoliacinėmis savybėmis.

Remiantis Europos Sąjungos rizikos vertinimo ataskaita dėl TCPP [1], galima teigti, kad TCPP dažniausiai yra naudojamas kaip antipireno priedas standžioje poliuretano (PUR) putose, naudojamose statybinėse izoliacinėse plokštėse ir purškiamose šiltinimo sistemose. TCPP įprastai sudaro apie 8–10 % PUR putų masės. Mažesnę dalis naudojama lanksčiose putose, skirtose baldams ar automobilių pramonėje, elektronikos gaminiuose, dažuose, dangose ir klijuose. Pagal *NonHazCity 3* projekto metu parengtą ataskaitą [2], *Bygghvarubedömningen* (BVB) duomenų bazėje TCPP identifiкуotas maždaug 50-tyje produktų, kuriuose TCPP koncentracija svyruoja nuo 3 % iki 20 %. BVB yra Švedijos internetinė duomenų bazė, kurios tikslas – skatinti rinktis ekologiškas statybines medžiagas. Daugiausia TCPP buvo aptiktas poliuretano ir putų gaminiuose, tokiuose kaip putplasčio izoliacija, sandarinimo putos ir priešgaisriniai sandarikliai.

Remiantis pasauline TCPP antipirenų rinkos ataskaita [3], 2024 m. Europa sudarė daugiau nei 30 % pasaulinės rinkos dydžio ir siekė 113,07 milijono JAV dolerių. TCPP sparčiai pradėtas naudoti kaip alternatyva seniau plačiai naudotiems bromintiems ir chlorintiems antipirenams dėl pastarųjų toksiškumo ir su tuo susijusių jiems taikomų draudimų. TCPP antipireno rinkos augimą taip pat skatina ir didėjantis kabelių poreikis bei griežtesni reikalavimai, kurie reikalauja naudoti produktus be halogenų. Nors halogenai gerina ugnies atsparumą, jie taip pat gali būti kenksmingi sveikatai, ypač degdami. Dėl šios priežasties vis dažniau kabelių gamyboje naudojamos halogenų neturinčios ar turinčios jų mažiau medžiagos, tokios kaip TCPP.

1.1.2. Pavojingosios savybės bei teisinis reglamentavimas

Pagal įmonių pateiktą klasifikaciją Europos cheminių medžiagų agentūrai (ECHA) [4], TCPF pasižymi ūmiu toksiškumu (4 kategorija, H302 – kenksminga prarijus), yra kenksminga vandens organizmams (3 kategorija, H412 – kenksminga vandens organizmams, su ilgalaikiais padariniais), įtariama, kad sukelia vėžį (2 kategorija, H351 – įtariama, kad sukelia vėžį) ir įtariama, kad kenkia vaisingumui arba negimusiam vaikui (2 kategorija, H361 – įtariama, kad kenkia vaisingumui ar vaisiui).

Nors TCPF buvo registruota pagal Europos Sąjungos reglamentą REACH (Europos Sąjungos reglamentas, reglamentuojantis cheminių medžiagų registraciją, įvertinimą, autorizavimą ir apribojimą) kiekiu nuo 10 000 iki 100 000 tonų per metus, ECHA duomenimis nuo 2015 m. aktyvios (galiojančios) registracijos medžiagai nėra ir buvę registrantai gamybos ar importo nevykdė. Tai gali būti susiję su rizikos vertinimo ataskaitose iškeltomis toksiškumo aplinkai ir sveikatai rizikomis bei galimu reguliavimo sugriežtinimu [5]. Jei TCPF importas ir vykdomas, jo kiekis neturėtų viršyti slenkstinio 1 t kiekio importuotojui.

Pagal REACH nėra reikalaujama deklaruoti TCPF kiekio statybinėse medžiagose, nes TCPF nėra įtrauktas į kandidatinių medžiagų sąrašą. Tai reiškia, kad ši medžiaga gali būti naudojama statybiniuose produktuose ir tolimesni naudotojai neturi būti informuoti.

Remiantis Europos Sąjungos rizikos vertinimo ataskaita dėl TCPF [1], buvo nustatyta, kad nėra reikalingos papildomos rizikos mažinimo priemonės, išskyrus tas, kurios jau taikomos.

Parengta atrankos ataskaita [5] nustatė, kad TCPF naudojimas lanksčiose poliuretano putose, vaikų priežiūros reikmenyse ir baldų gaminiuose kelia vėžio riziką vaikams. Todėl ECHA rekomendavo parengti apribojimus TCPF, kadangi apribojimai šiuo metu keliami tik tri(2-chloroetil) fosfatui (TCEP, nuo angl. *tris(2-chloroethyl) phosphate*) [6]. 2019 m. komisija atsiėmė savo pasiūlymą dėl apribojimo iki tol, kol bus gauti du kancerogeniškumo tyrimai su žiurkėmis ir pelėmis, kuriuos turėjo atlikti JAV Nacionalinė toksikologijos programa (angl. *National Toxicology program, NTP*).

ECHA paskelbė reglamentavimo poreikių vertinimą (angl. *Assessment of Regulatory Need, ARN*) dėl chlorintų trialkilo fosfato ugnies slopintuvų grupės, įskaitant TCPF, taip pat Reglamentavimo strategiją dėl ugnies slopintuvų. ARN patvirtino, kad TCPF, taip pat ir keli kiti šios grupės nariai, kelia žinomą arba potencialų pavojų dėl toksiškumo reprodukcijai, kancerogeniškumo ir endokrininės sistemos sutrikimų. Buvo numatytas apribojimas, remiantis suderinta klasifikacija ir ženklinimu (angl. *Harmonised classification and labelling, CLH*) ugnies slopintuvų grupei, siekiant valdyti riziką darbuotojams ir vartotojams bei išvengti netinkamo medžiagų pakeitimo. Tačiau taip pat buvo pasiūlyta palaukti pilno dviejų JAV NTP kancerogeniškumo tyrimų ataskaitos paskelbimo [6].

2015 m. TCPF buvo pradėtas svarstyti įtraukti į Bendrijos nuolat atnaujinamą veiksmų planą (angl. *Community Rolling Action Plan, CoRAP*), tačiau vertinimas buvo atidėtas, kol laukiama dviejų NTP kancerogeniškumo tyrimų. CoRAP yra ECHA inicijuotas planas, kuriuo siekiama įvertinti medžiagų, kurios kelia susirūpinimą dėl galimo pavojingumo žmonių sveikatai ir aplinkai, riziką. Tai yra nuolatinis sąrašas, kuriame nurodytos medžiagos, kurias reikia įvertinti pagal REACH reglamentą. CoRAP planas apima medžiagas, kurios gali kelti riziką, susijusią su įvairiais aspektais, pavyzdžiui, kancerogeniškumu, endokrininiais trikdžiais ar kitais pavojais. Medžiagos į CoRAP sąrašą įtraukiamos pagal prioritetus, remiantis jų galimu pavojingumu, ir jos yra vertinamos tam tikru

laikotarpiu, siekiant nustatyti, ar reikia imtis tolesnių veiksmų, tokių kaip ribojimai ar papildomi tyrimai. TCPP buvo įtraukta į CoRAP 2022 m. Vertinimas buvo sutelktas į CoRAP dokumente nurodytas problemas (kancerogeniškumas, rizika reprodukcinei sveikatai ir endokrininės sistemos sutrikimai). Vertinimas pagrįstas registracijos dokumente pateikta informacija ir pilnų tyrimų ataskaitomis, literatūros analize bei NTP paskelbtais dviejų kancerogeniškumo tyrimų rezultatais.

TCPP buvo aptartas 23-iajame ECHA Endokrininę sistemą ardančių medžiagų ekspertų grupės susitikime, kur ekspertai konstatavo, kad jau yra pakankamai duomenų, įrodančių šios medžiagos endokrininės veiklos ir neigiamų poveikių ryšį [6].

Remiantis Danijoje parengtu dokumentu [6] ir jo apibendrinimu taip pat galime teigti, kad TCPP gali sukelti endokrininės sistemos sutrikdymų bei yra pavojingas žmogaus sveikatai. Surinkta informacija laikoma pakankama TCPP klasifikavimui ir ženklavimui.

1.1.3. Paplitimas gamtinėje aplinkoje

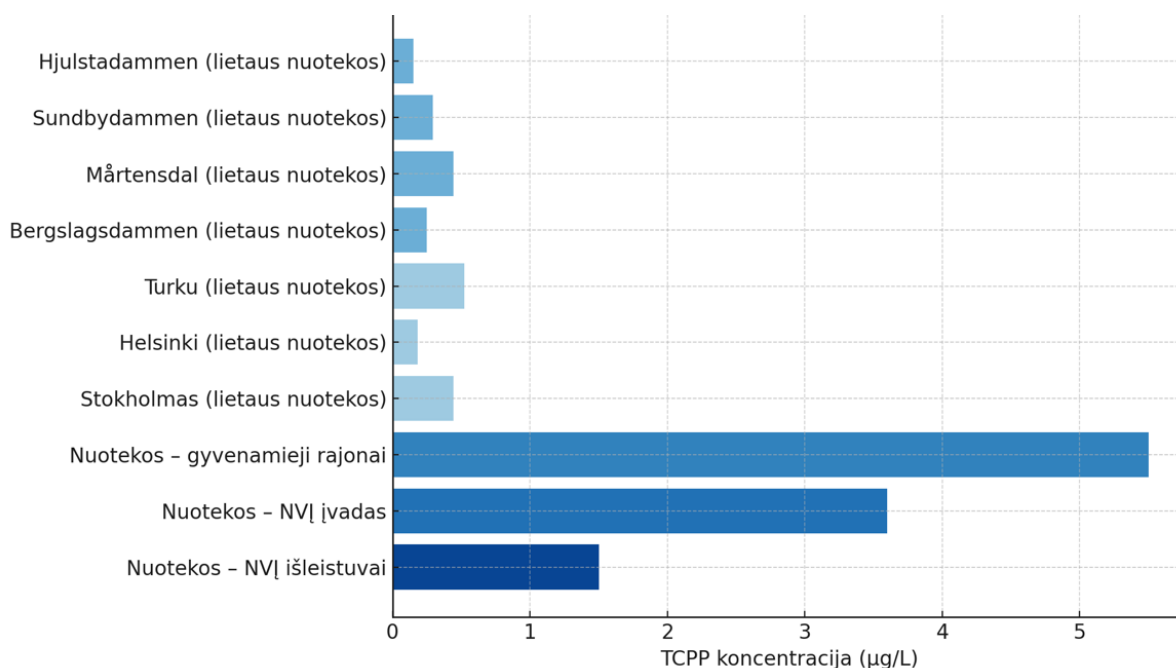
Šiame skirsnyje aptariamas TCPP paplitimas gamtinėje aplinkoje, apžvelgiant į aptikimą lietaus ir nuotekų vandenyse, kaupimąsi dirvožemyje bei ore (dulkėse).

Remiantis NonHazCity 3 projekto metu parengta ataskaita [2], TCPP vis dažniau aptinkamas įvairiose aplinkos terpėse.

Keturiuose miestuose (Stokholmas, Västerås, Turku ir Helsinkis) TCPP buvo aptiktas 37 % tirtų lietaus nuotekų mėginių. Aptikimo dažnis skyrėsi priklausomai nuo miesto: Turku – 55 % mėginių, Helsinkyje – apie 40 %, Stokholme – apie 42 %, Västerås – 0 %. Lietaus nuotekose TCPP koncentracijos svyravo nuo žemiau kiekybinės nustatymo ribos (LOQ) iki 0,52 µg/L.

2023 m. lapkričio ir gruodžio mėnesiais Stokholme buvo atliktas kitas lietaus nuotekų tyrimas, kurio metu iš septynių vietų surinkti mėginiai padėjo įvertinti teršalų, tarp jų ir TCPP, paplitimą urbanizuotose aplinkose. Tyrimo vietos apėmė skirtingo pobūdžio teritorijas – nuo gyvenamųjų rajonų iki komercinių ir lengvosios pramonės zonų. TCPP buvo rastas keturiose teritorijose – Hjulstadammen (0.15 µg/L), Sundbydammen (0.29 µg/L), Mårtensdal (0.44 µg/L) ir Bergslagsdammen (0.25 µg/L).

Tyrimo duomenimis, gyvenamųjų teritorijų nuotekose TCPP koncentracija siekė 5,5 µg/L, tuo tarpu į nuotekų valymo įrenginį patenkančiose nuotekose – 3,6 µg/L, o išleistuvuose – 1,5 µg/L. Šie rezultatai rodo, kad gyvenamieji rajonai yra pagrindinis TCPP šaltinis, patenkantis į nuotekų valymo sistemas. Be to, tarp visų tirtų organofosfatinių antipirenų (organofosfatinių esterių), TCPP buvo dominuojantis junginys, nustatytas didžiausiomis koncentracijomis. 1-ame paveiksle galime matyti TCPP koncentracijų palyginimą skirtingų miestų lietaus nuotekose bei nuotekose.



1 pav. TCPK koncentracijos vandens šaltiniuose [2]

Atliekant jau anksčiau minėtą tyrimą, Västerås mieste buvo tirti vaikų darželiai, kur surinkti dulkių mėginiai, analizuojantys organofosfatinis antipirenus. Vidutinė TCPK koncentracija siekė 0,665 µg/g. Šiuos rezultatus verta palyginti su ankstesniais tyrimais:

- 2015 m. Stokholme atliktame tyrime TCPK nebuvo aptiktas;
- 2020 m. tyrime TCPK dulkių mėginiuose svyravo nuo 0,9 iki 5,4 µg/g, o ore – nuo žemiausios aptikimo ribos iki 30 ng/m³.

Šie duomenys rodo, kad TCPK naudojimas gali būti didėjantis, o jo paplitimas patalpų aplinkoje – reikšmingas, ypač vaikų ugdymo įstaigose.

Vienas iš išsamesnių TCPK paplitimo ir ekologinės rizikos tyrimų buvo atliktas Xie ir kt. (2024) [7], kuriame buvo lyginami du plačiai naudojami chloruoti antipirenai – TCPK ir TCEP – įvairiose vandens terpėse. Kaip ir ankstesniuose šaltiniuose, šiame tyrime TCPK paplitimas siejamas su plačiu jo naudojimu statybinėse medžiagose, ypač poliuretano putose, iš kurių jis migruoja į aplinką per nuotekas, paviršinius vandenį ar atliekų srautus. Tyrimo metu analizuotos TCPK koncentracijos nuotekų išleistuvuose, upėse, ežeruose ir geriamajame vandenyje, taip pat apskaičiuoti ekologiniai rizikos koeficientai (RQ).

Duomenys parodė, kad aukščiausia TCPK koncentracija (iki 10 µg/L) ir didelė rizika aplinkai (RQ > 1) buvo nustatyta nuotekų valymo įrenginių išleistuvuose, ypač Japonijoje (RQ = 4,47) ir Švedijoje (RQ = 2,45). Upių vandens mėginiuose koncentracijos buvo mažesnės (iki 0,5 µg/L), bet kai kur vis tiek fiksuota vidutinė rizika (RQ iki 0,55). Tuo tarpu ežeruose ir geriamajame vandenyje TCPK koncentracijos buvo labai žemos (<0,1 µg/L), o ekologinė rizika yra nežymi. 1 lentelėje pateikiamos tyrime nustatytos koncentracijos bei rizikos koeficientai įvairiose terpėse.

1 lentelė. TCPK koncentracijos ir rizika aplinkai [7]

Aplinka	TCPK koncentracija (µg/L)	Rizikos (aplinkai) koeficientas (RQ)
Nuotekos	0,1–10,0	2,45–4,47

Aplinka	TCPP koncentracija (µg/L)	Rizikos (aplinkai) koeficientas (RQ)
Upės	0,001–0,5	iki 0,55
Ežerai	0,001–0,1	<0,1
Geriamasis vanduo	<0,01	<0,01

Vienas iš išsamių tyrimų, nagrinėjančių TCPP, tiksliau jo izomero TCIPP (angl. *Tris (1-chloro-2-propyl) phosphate*) migraciją iš statybinių medžiagų, buvo atliktas Brandsma ir kt. [8]. Šiame tyrime buvo analizuojamas antipirenų naudojimas purškiamoje PUR izoliacijoje bei jų pernešimas į aplinką, daugiausia dėmesio skiriant pastatų vidaus dulkėms, orui bei galimai migracijai į dirvožemį. Tyrimo tikslas buvo įvertinti, kiek TCPP/TCIPP išlieka aktyvus ir potencialiai migruojantis net ir po ilgesnio eksploatacijos laikotarpio. Tyrimo metu vidaus dulkėse ir ore TCIPP buvo aptiktas reikšmingomis koncentracijomis net praėjus daugiau nei dvejiems metams po PUR izoliacijos panaudojimo. Šis faktas rodo, kad antipirenai išlieka aktyviai migruojantys iš PUR putų į vidinę aplinką.

Taip pat tyrime buvo taikytas ir kontaktinio perkėlimo (angl. *hand-wipe*) metodas – po 10 sekundžių rankos kontakto su PUR paviršiumi, steriliomis servetėlėmis buvo surinkti mėginiai, kuriuose aptikta iki 2,7 µg TCIPP. Tai patvirtino, kad antipirenas aktyviai migruoja iš medžiagos ir gali pasiekti žmogaus odą per tiesioginį kontaktą, net ir praėjus ilgam laikotarpiui po izoliacijos panaudojimo.

Nors Brandsma ir kt. [8] tyrime daugiausia analizuojama PUR izoliacijoje esančių antipirenų migracija vidaus sąlygomis, autoriai taip pat atkreipia dėmesį į galimą TCIPP migraciją į dirvožemį. PUR izoliacinės putos dažnai naudojamos grindų šiltinimui, ypač senuose pastatuose, kuriuose grindys dažnai būna įrengtos virš neužbetonuoto grunto. Tokiose vietose dėl kondensacijos TCIPP gali migruoti į dirvožemį ir gruntinius vandenius. Taip pat pasibaigus naudojimo laikui, PUR putų atliekas sunku perdirbti, nes jos stipriai prilimpa prie statybinių medžiagų, tokių kaip betonai ar plytos. Dėl šios priežasties daugumoje šalių šios atliekos yra deginamos arba šalinamos sąvartynuose. Tyrimai rodo, kad sąvartynuose TCIPP gali išsiskirti į aplinką, o netinkamas šių medžiagų šalinimas gali užteršti gruntinius vandenius.

1.2. Diuronas

Diuronas (3-(3,4-dichlorofenil)-1,1-dimetilurea) yra herbicidas, kuris buvo patentuotas 1956 m. bendrovių *ICI* ir *Merck* ir pirmą kartą užregistruotas naudojimui 1966 m. Nors iš pradžių diuronas buvo skirtas naudoti žemės ūkyje piktžolių kontrolei, laikui bėgant jis pradėtas naudoti ir statybos pramonėje kaip biocidas, siekiant apsaugoti statybines medžiagas nuo mikroorganizmų, dumblių ir grybelių augimo [9].

1.2.1. Medžiagų techninės savybės ir naudojimas statybiniuose produktuose

Diurono (CAS numeris 330-54-1, EB numeris 206-354-4) techninės savybės:

- fizinė būklė: balti kristaliniai milteliai.;
- tirpsta daugelyje organinių tirpiklių, tokių kaip acetonas, benzenas, eteris ir kt., tačiau netirpsta vandenyje;
- triazino pagrindu sukurtas herbicidas, pasižymintis biocidinėmis savybėmis;
- padeda kovoti su biologiniu augimu drėgnose aplinkose.

Išskiriamos trys pagrindinės statybinių konstrukcijų sritys, kuriose yra naudojami biocidai: dažams ir dangoms, medienos gaminiuose bei klijuose [2]:

- dažai ir dangos: biocidai neleidžia vystytis pelėsiui ir grybeliui tiek vidinėse, tiek išorinėse dažytose dangose, taip išsaugodami estetinę išvaizdą ir apsaugodami medžiagas nuo irimo;
- medienos apsaugos priemonės: medienos apdorojimas biocidais apsaugo nuo puvinio ir kenkėjų (pvz., vabzdžių) padarytos žalos, tai yra itin svarbu konstrukciniams elementams, veikiamiems drėgmės ir biologinio poveikio;
- klijai ir sandarikliai: į šiuos produktus įtraukti biocidai apsaugo nuo mikrobinio irimo, kuris ilgainiui gali sumažinti klijų tvirtumą ir efektyvumą.

Diuronas iki 2020 m. buvo patvirtintas kaip veiklioji medžiaga pesticidams Europos Sąjungoje. Tačiau susirūpinimas dėl jo galimo kancerogeniškumo ir toksiškumo vandens organizmams prisidėjo prie sprendimo nebeatnaujinti jo patvirtinimo. Biocidinių produktų reglamentas [10] nustato taisykles dėl biocidinių produktų, įskaitant jų veikliųjų medžiagų patvirtinimą ir produktų leidimų išdavimą. Jis svarbus nustatant, ar tokios medžiagos kaip diuronas gali būti teisėtai naudojamos tam tikrose srityse, pvz., fasado dažų ar statybinių medžiagų sudėtyje. Šiuo metu diuronui suteiktas statusas „pirminė patvirtinimo paraiška yra nagrinėjama/vyksta“ (angl. *initial application for approval in progress*) produktų tipams [11]:

- PT7 – Plėvelių konservantai. Produktai, naudojami apsaugoti paviršines plėveles ar dangas nuo mikrobu pakenkimų arba dumblių augimo siekiant išsaugoti medžiagų ar objektų (pvz., dažų, plastmasių, sandariklių, sienų klijų, rišamųjų medžiagų, popieriaus, meno dirbinių) paviršiaus pradines savybes.
- PT10 – Statybinių medžiagų konservantai. Produktai, naudojami mūriui, sudėtinėms medžiagoms ar kitoms statybinėms medžiagoms, išskyrus medieną, apsaugoti kontroliuojant mikrobiologinį ir dumblių poveikį.

Tai leidžia manyti, kad ši medžiaga yra naudojama šiose srityse arba jos naudojimas yra planuojamas artimiausiu metu. ECHA pateiktus duomenis matome 3-ame paveiksle.

Substance name	EC /List no	CAS no	Annex I	Product-type																			
				Disinfectants					Preservatives					Pest Control					Other				
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Diuron	206-354-4	330-54-1																					

Legend

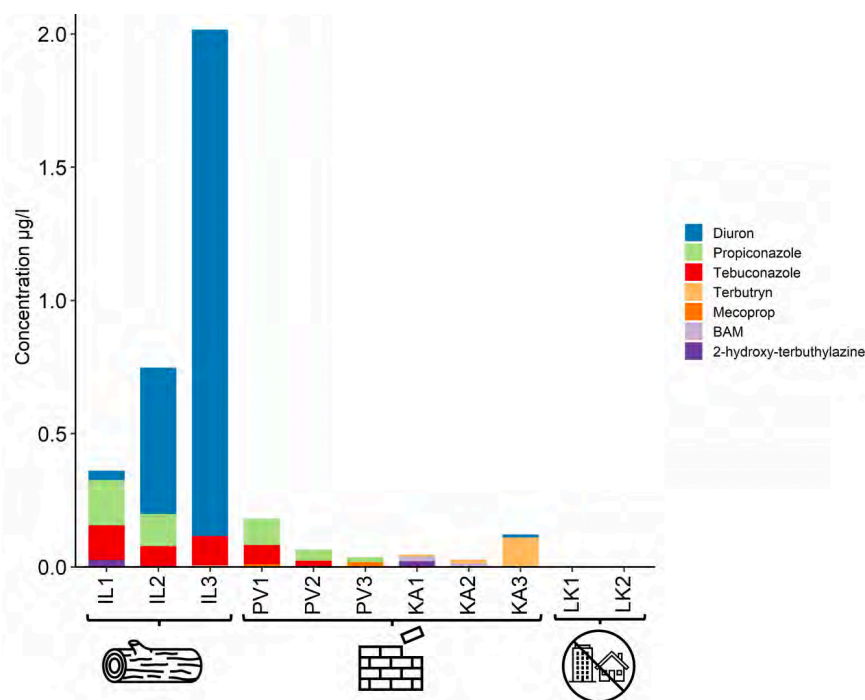
- Initial approval in progress
- Approved - Renewal in progress
- Approved - Other update in progress
- Approved
- Not approved
- Expired
- Cancelled application
- No longer supported

[Back to top](#)

2 pav. Diurono naudojimo sritys [11]

Remiantis jau minėta ataskaita [2], joje aprašomuose tyrimuose buvo siekiama nustatyti probleminių cheminių medžiagų paplitimą statybos sektoriuje bei jų galimą poveikį aplinkai ir žmonių sveikatai. Tyrimo metu buvo paimti mėginiai iš 51 statybinės medžiagos ir atliktos cheminės analizės, siekiant nustatyti įvairių pavojingų medžiagų buvimą. Išorės darbams skirti dažai turėjo biocidų, tokių kaip IBPC, diuronas, izotiazolinonai, taip pat metalų. Dauguma medžiagų, aptiktų tyrimų metu, taip pat buvo nurodytos atitinkamuose produktų saugos duomenų lapuose (SDL) ir kiekybiškai nustatytos

atliekant analizes. Kai kurios analizės buvo atliktos sausų (sukietėjusių) dažų pavyzdžiuose, leidžiant palyginti veikliųjų medžiagų koncentracijas sukietėjusiuose dažuose su tomis, kurios nurodytos SDL šlapiems dažams. Dėl tirpiklių išgaravimo, biocidų koncentracija sukietėjusiuose dažuose buvo didesnė nei nurodyta SDL dokumentuose. Stogo danga (bituminė danga) taip pat turėjo biocidų, pavyzdžiui, IBPC, diurono, izotiazolinonų bei metalo junginių (pvz., vario). Taip pat ataskaitoje pateikiami duomenys apie biocidų emisijas iš skirtingų teritorijų, atsižvelgiant į pastatų tipą. Tyrimas buvo atliktas Turku mieste, Suomijoje, kur analizuotos lietaus nuotekos iš gyvenamųjų rajonų. 2-ame paveiksle matome rezultatus iš atlikto tyrimo, kuris nurodo biocidų koncentracijas.



3 pav. Biocidai lietaus vandenyje, kurio mėginiai paimti Turku rajonuose. IL - teritorija su mediniais pastatais, PV ir KA su nemediniais pastatais ir teritorija be pastatų [2]

Pastebėta, kad rajone, kuriame yra nemažai medinių individualių namų (IL) lietaus nuotekose aptikta didesnė biocidų koncentracija nei kituose dviejuose rajonuose (KA ir PV), kuriuose vyrauja nemediniai pastatai.

1.2.2. Pavojišgosios savybės bei teisinis reglamentavimas

Ši medžiaga yra registruota pagal REACH reglamentą ir yra gaminama bei (arba) importuojama į Europos ekonominę erdvę kiekiais nuo ≥ 100 iki $< 1\,000$ tonų per metus. Pagal Europos Sąjungos patvirtintą suderintą klasifikavimą ir ženklavinimą (ATP21), ši medžiaga gali sukelti vėžį (1 kategorija, H350 – gali sukelti vėžį), yra labai toksiška vandens organizmams (1 kategorija, H400 – labai toksiška vandens organizmams bei H410 – labai toksiška vandens organizmams, su ilgalaikiais padariniais) bei gali sukelti organų pažeidimus (2 kategorija, H373 – gali pakenkti organams dėl ilgalaikio ar pasikartojančio poveikio). Pagal įmonių, pateikusių duomenis ECHA per REACH registracijas, pateiktą klasifikaciją ši medžiaga yra kenksminga prarijus ir įtariama, kad gali sukelti vėžį. Taip pat diuronas yra tiriamas dėl endokrininės sistemos sutrikdymų [12].

2013 m. rugpjūčio 12 d. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2013/39/ES, kuria iš dalies keičiamos direktyvų 2000/60/EB ir 2008/105/EB nuostatos dėl prioritetinių medžiagų vandens politikos srityje [13], nurodo:

„2000 m. spalio 23 d. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2000/60/EB, nustatanti Bendrijos veiksmų vandens politikos srityje pagrindus, nustato kovos su vandens tarša strategiją. Pagal tą strategiją nustatomos prioritetinės medžiagos iš tų medžiagų, kurios Sąjungos lygmeniu kelia didelę grėsmę vandens aplinkai arba per ją. 2001 m. lapkričio 20 d. Europos Parlamento ir Tarybos sprendime Nr. 2455/2001/EB, nustatančiame prioritetinių medžiagų vandens politikos srityje sąrašą, pateiktas pirmasis 33 medžiagų arba medžiagų grupių, kurios buvo nustatytos kaip prioritetinės Sąjungos lygmeniu įtraukimui į Direktyvos 2000/60/EB X priedą, sąrašas. Tarp šių prioritetinių medžiagų yra ir diuronas. Valstybės narės privalo šias medžiagas stebėti paviršiniuose vandenyse, reguliariai teikti duomenis Europos Komisijai bei siekti laipsniško šios medžiagos išleidimo mažinimo į aplinką.“

bei

„2008 m. gruodžio 16 d. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2008/105/EB dėl aplinkos kokybės standartų vandens politikos srityje, vadovaujantis Direktyva 2000/60/EB, nustatyti aplinkos kokybės standartai (AKS), taikomi 33 prioritetinėms medžiagoms, nustatytoms Sprendime Nr. 2455/2001/EB, ir aštuoniems kitiems teršalams, kurie jau buvo reglamentuojami Sąjungos lygmeniu.“

Diuronui šiuo metu taikomi šie galiojantys aplinkos kokybės standartai gėluosiuose vandenyse: 0,2 µg/L (metinė vidutinė vertė) ir 1,8 µg/L (momentinė maksimali vertė). Vis dėlto, atsižvelgiant į naujausią mokslinę analizę [14], Europos Komisijos mokslo komitetas dėl sveikatos, aplinkos ir kylančių pavojų (angl. *Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks, SCHEER*) pasiūlė šias ribas griežtinti iki 0,049 µg/L (metinė vidutinė) ir 0,27 µg/L (momentinė maksimali). Nors šios griežtesnės vertės kol kas nėra įtrauktos į galiojančius teisės aktus, jos rodo aktualų mokslo požiūrį į diurono keliamą riziką.

Aplinkos kokybės standartai naudojami kaip privalomi orientyrai vertinant vandens telkinio cheminės būklės atitiktį. Jeigu fiksuojamos koncentracijos viršija nustatytus lygius, valstybės narės privalo taikyti atitinkamas priemones taršai sumažinti: riboti medžiagos naudojimą, kontroliuoti išmetimo šaltinius, įgyvendinti technologinius sprendimus arba taikyti teisinius apribojimus.

1.2.3. Paplitimas gamtinėje aplinkoje

Šiame skirsnyje aptariamas diurono paplitimas gamtinėje aplinkoje apžvelgiant į aptikimą lietaus ir nuotekų vandenyse, kaupimąsi dirvožemyje bei ore (dulkėse).

Burkhardt ir kt. [15] tyrime buvo vertinamas biocidų išsiskyrimas iš keturių skirtingų fasado dangų, kurios vienerius metus buvo veikiamos natūraliomis oro sąlygomis modeliniame pastate Ciuriche, Šveicarijoje. Keturi polistireninis putplasčio (EPS) skydai buvo padengti mineraliniu tinku sustiprintu stiklo pluošto armavimo tinkleliu, o ant jo užteptas organinis viršutinis tinkas. Trys skydai papildomai padengti dviem dažų sluoksniais. Keturi fasadai buvo padengti:

1. standartiniu (angl. *reference*) tinku bei rinkoje naudojamais dažais be biocidų;
2. standartiniu tinku;
3. standartiniais tinku ir dažais;

4. rinkos gamintojų pateiktais – komerciniais (angl. *market formulation*) tinku ir dažais.

Tyrime naudoti standartiniai ir komerciniai tinkai bei dažai skyrėsi savo paskirtimi ir sudėtimi. Standartiniai produktai buvo sukurti tyrimo tikslais, jų sudėtis buvo žinoma ir kontroliuojama, todėl jie buvo naudojami kaip palyginimo pagrindas. Tuo tarpu komerciniai produktai atspindėjo realiomis sąlygomis naudojamus gaminius, kuriuos pateikė partneriai, veikiantys rinkoje. Tyrimo metu buvo analizuoti septynių biocidų (diurono, izoproturono, terbutrino, irgarolo, IPBC, OIT ir DCOIT) išplovimo procentai bei likutiniai kiekiai keturiose sistemose. Mažiausias diurono išplovimo lygis buvo pirmoje sistemoje (7,5 %), o didžiausias ketvirtoje sistemoje (13,4 %). Tačiau pastebėta, kad visų junginių atveju bendro masės balanso nebuvo, kas rodo, kad reikšminga dalis medžiagų galėjo būti prarasta dėl skilimo procesų. Išplautas ir likęs sistemoje diurono kiekis visose sistemose apžvelgiamas 2 lentelėje.

2 lentelė. Išplauti, likutiniai ir deficitiniai diurono kiekiai iš visų sistemų [15]

	Išplauta, %	Likutinis sistemoje, %	Deficitas, %
Sistema Nr. 1	7,5	46	53,5
Sistema Nr. 2	9,5	42,8	52,3
Sistema Nr. 3	10,0	45,2	55,2
Sistema Nr. 4	13,4	46,3	59,7

Remiantis Bollmann ir kt. [16] atliktu tyrimu penkiose nuotekų valymo įmonėse Danijoje ir Švedijoje, buvo analizuojamas biocidų, tarp jų ir diurono, paplitimas miesto nuotekose sausu ir lietingu oru. Tyrimą skatino atlikti vis plačiau naudojamos biocidų turinčios organinės fasadų dangos bei fungicidais apdorota mediena. Yra žinoma, kad tokie biocidai kaip terbutrinas, karbendazimas ir diuronas, taip pat medienos konservantai, gali išsiplauti iš paviršių lietaus metu ir patekti į kanalizacijos sistemas.

Tyrimo metu paaiškėjo, kad diuronas aptinkamas tiek sausuoju, tiek lietinguoju laikotarpiu, o tai rodo mišrią jo kilmę – tiek iš pastatų paviršių, tiek iš vidaus patalpų. Pavyzdžiui, lietingomis dienomis Bjergmarken nuotekų valymo įrenginyje fiksuotos diurono koncentracijos siekė nuo 0,009 iki 0,26 µg/L, o sausuoju metu – nuo 0,004 iki 0,039 µg/L. Šie rezultatai parodė, kad diuronas yra plačiai paplitęs biocidas, patenkantis į miesto nuotekas nepriklausomai nuo meteorologinių sąlygų, todėl jo buvimas turėtų būti vertinamas kaip reikšmingas aplinkosauginiu požiūriu urbanizuotose teritorijose.

Paijens ir kt. literatūros apžvalgoje [17] sisteminama informacija apie biocidų, tarp jų ir diurono, emisijas iš statybinių medžiagų kritulių metu bei šių medžiagų keliavimą miesto vandens apykaitos sistemose. Straipsnyje teigiama, kad biocidų išsiplovimas daugiausia vyksta per pirmuosius mėnesius po jų panaudojimo ir laikui bėgant yra linkęs mažėti eksponentiškai. Be to, šis išsiplovimas yra nepastovus ir priklauso nuo kritulių kiekio. Nors didžioji dalis biocidų lieka medžiagoje, jie gali būti išplaunami net ir po daugybės lietaus įvykių. Analizuoti tyrimai parodė, kad biocidų emisijos gali vykti net po daugiau nei 15 metų. Remiantis apžvelgtais tyrimais, diuronas yra vienas dažniausiai nustatomų junginių miesto paviršinių nuotekų sistemose – tiek atskirose lietaus kanalizacijose, tiek kombinuotos kanalizacijos išleidimuose. Kaip nurodoma: „*diuronas, karbendazimas, mekopropas ir izoproturonas buvo aptikti didžiausiomis koncentracijomis – diurono atveju net iki 12 µg/L.*“ (p. 3778). Svarbu pažymėti, kad kombinuotose kanalizacijose tik diurono koncentracija viršijo 1 µg/L, kai tuo tarpu kitų biocidų koncentracijos dažniausiai siekė tik dešimtis ar šimtus ng/L. Be to, apžvalgoje pateikiama, kad diurono koncentracijos koreliuoja su tinkuotų fasadų skaičiumi – tai rodo,

jog fasado tipas yra reikšmingas biocidų šaltinis urbanizuotose teritorijose. Remiantis Burkhardt ir kt. [18] duomenimis apžvalgoje, pažymima, kad diurono koncentracija mažėja nuo pastato paviršiaus link galutinio išleidimo taško – dėl praskiedimo arba sorbcijos: „*diuronas buvo praskiestas nuo nuotėkio nuo pastato iki išleidimo taško. Kitų junginių koncentracijos visuose trijuose lygiuose buvo panašaus*“ (p. 3779).

Schoknecht ir Mathies straipsnyje [19] buvo nagrinėtas diurono ir jo skilimo produktų išsiskyrimas iš dažytų paviršių veikiant natūralioms oro sąlygoms. Tyrimas buvo atliktas pusiau lauko sąlygomis, naudojant raudonos ir baltos spalvos dažų dengtas plokštes, kurios nuo 16 iki 18 mėnesių buvo veikiamos kritulių ir saulės spinduliuotės. Tyrimas parodė, kad diuronas aktyviai išsiplauna lietaus metu – bendras išsiskyręs kiekis siekė nuo 18 iki 29 mg/m², atitinkamai sudarant apie 8–13 % nuo pradinio kiekio. Pagrindiniai emisijų šuoliai sutapo su intensyvaus kritulių ir saulės radiacijos laikotarpiais, rodančiais klimato sąlygų poveikį išplovimo procesams. Visa tai patvirtina, kad diuronas yra viena reikšmingiausių biocidinių medžiagų, galinčių pasiekti lietaus ir paviršinių nuotekų sistemas iš dažytų pastatų paviršių, ypač per pirmuosius mėnesius po jų padengimo.

Wicke, D. ir kt. straipsnyje [20] analizuojami biocidų, įskaitant diuroną, išsiskyrimo procesai iš statybinių medžiagų į aplinką urbanizuotose teritorijose. Tyrimas buvo atliktas Berlyne, dviejuose naujuose gyvenamuosiuose kvartaluose, kur per pusantų metų laikotarpį buvo renkami ir analizuojami nuotekų mėginiai nuo stogų bei lietaus kanalizacijos mėginiai.

Gauti rezultatai parodė, kad diuronas buvo vienas iš pagrindinių nustatytų teršalų, o didžiausios koncentracijos fiksuotos vakarinių ir šiaurinių fasadų tiesioginio nuotėkio vandenyse – vidutiniškai 900 µg/L, o diurono transformacijos produkto DCPMU (angl. *diuron desdimethyl*) siekė 375 µg/L. Tyrimo metu analizuotas lietaus (paviršinių nuotekų) kanalizacijos vanduo (angl. *storm sewers*) parodė, kad intensyvaus lietaus metu diurono koncentracijos surinktoje paviršinių nuotekų kanalizacijos sistemoje svyravo nuo 0,2 iki 2,5 µg/L. Palyginus su Vokietijoje galiojančiais aplinkos kokybės standartais paviršiniams vandenims, nustatyta, kad tiek metinė vidutinė, tiek maksimali leidžiama koncentracija buvo viršyta tirtų teritorijų lietaus kanalizacijos sistemose diurono atžvilgiu. Autoriai taip pat pažymi, kad tik apie 1 % viso išsiskyrusio diurono kiekio pasiekia lietaus kanalizacijos tinklą, o likusi dalis – apie 99 % – infiltruoja į dirvožemį arba lieka ant paviršių.

Laboratoriniame tyrime [21] buvo vertinamas biocidų, įskaitant diuroną, išsiskyrimas iš 15 skirtingų statybinių medžiagų, dažų, bitumių stogo dangų bei impregnuotos medienos, į paviršinį vandenį. Rezultatai parodė, kad diuronas buvo dažniausiai aptinkamas biocidas. Jis buvo aptiktas beveik visuose dažytuose paviršiuose, išskyrus metalinius dažus ir bitumines čerpes, o ypač aukštos koncentracijos užfiksuotos medienos ir betono dažų mėginiuose. Vidutinė diurono emisija siekė 10 500 µg/m² iš medienos dažų ir 15 800 µg/m² iš betono dažų. Be to, aptikti ir pagrindiniai diurono skilimo produktai – DCPU ir DCPMU, nurodantys jo cheminio virsmo procesus aplinkoje. 3 lentelėje pateikti duomenys apie tirtas medžiagas ir jų kiekius, bei tyrimo atlikimo žingsniai, kurių metų buvo aptiktas diuronas arba jo skilimo produktai.

3 lentelė. Kiekybinis diurono ir jo skilimo produktų, aptiktų ištirtų medžiagų nuotekose, skaičius per išplovimo etapus 6 val., 18 val. bei 5 dienas [21]

Medžiaga (medžiagų kiekis)	6 valandos	18 valandų	5 dienos
Bituminė stogo danga (2)	Rasta diurono (1)	Rasta diurono (1)	Rasta diurono (1)

Medžiaga (medžiagų kiekis)	6 valandos	18 valandų	5 dienos
Impregnuota mediena (4)	Rasta diurono (1)	Rasta diurono (1)	–
Medžio dažai (3)	Rasta diurono (3) Rasta DCPU (3) Rasta DCPMU (2)	Rasta diurono (3) Rasta DCPU (3) Rasta DCPMU (2)	Rasta diurono (2) Rasta DCPU (3)
Betono dažai (2)	Rasta diurono (1)	–	Rasta diurono (1) Rasta DCPU (1)
Medienos apsaugos dažai (1)	Rasta diurono (1)	Rasta diurono (1)	Rasta diurono (1)
Betono apsaugos dažai (1)	–	–	Rasta diurono (1)

Diurono šaltinis yra aiškiai susietas su dažais, nes gruntas (angl. *primer*) turėjo tik nedidelius jo kiekius. Šie rezultatai patvirtina, kad diuronas iš statybinių medžiagų paviršių intensyviai patenka į lietaus nuotekas, kuriose gali išlikti didelėmis koncentracijomis, o esant infiltraciniais paviršiams – kelia riziką ir gruntinių vandenų kokybei.

1.3. PFAS (6:2 diPAP)

Bis(2-(perfluoroheksil)etil) fosfatas (6:2 diPAP, nuo angl. *Bis(2-(perfluorohexyl)ethyl) phosphate*) yra perfluoralkilintos ir polifluoralkilintos medžiagų (PFAS) rūšis, naudojama statybiniuose produktuose dėl savo atsparumo vandeniui ir riebalams. PFAS yra didelė tūkstančių sintetinių cheminių medžiagų, plačiai naudojamų visuomenėje ir randamų aplinkoje, grupė. Visų jų sudėtyje yra anglies ir fluoro junginių, kurie yra vieni stipriausių junginių organinėje chemijoje. Tai reiškia, kad naudojamos šios medžiagos neskyla, taip pat neskyla ir aplinkoje. Dauguma PFAS taip pat yra lengvai pernešami aplinkoje ir gali atsidurti toli nuo jų išskyrimo šaltinio [22]. Dėl itin didelio patvarumo PFAS dažnai vadinamos amžinomomis cheminėmis medžiagomis.

1.3.1. Medžiagų techninės savybės ir naudojimas statybiniuose produktuose

6:2 diPAP (CAS numeris 57677-95-9, EB numeris 975-653-6) techninės savybės [23]:

- 6:2 diPAP priklauso polifluoroalkilinių medžiagų grupei ir yra klasifikuojamas kaip fluortelomerinis fosfatas (PAP), priskiriamas fluortelomerinių medžiagų kategorijai.
- stiprus kovalentinis anglies ir fluoro ryšys PFAS junginiams suteikia ir atsparumą drėgmei, dėmėms, aliejui ir purvui, taip pat užtikrina jų terminį ir cheminį stabilumą.

Kaip purvą atstumiančios medžiagos, PAP junginiai yra dedami į dažus, kad prailgintų pastatų ilgaamžiškumą. Tyrime Cahuas ir kt. [24] buvo ištirta 27 komercinių dažų (interjero ir eksterjero) sudėtis. Rezultatai parodė, kad 6:2 diPAP buvo aptiktas 14 dažų mėginių, tiek vidaus, tiek lauko naudojimo, o koncentracijos svyravo nuo 0,073 iki 58 µg/g. Dažai naudojami įvairiems paviršiams, įskaitant paviršius gyvenamuosiuose būstuose bei darbinėse aplinkose, ir jie skirti ne tik dekoratyviniam efektui, bet ir funkciniam bei apsauginiam poveikiui. Komerciniai dažai reklamuojami kaip patvarūs, plaunami ir atsparūs dėmėms, kas prisideda prie pastatų ar patalpų ilgaamžiškumo, tačiau jų cheminė sudėtis dažnai yra komercinė paslaptis. Pranešimuose nurodoma, kad kai kurie PFAS junginiai yra pridedami prie dangų ir statybinių medžiagų siekiant sumažinti paviršiaus įtempimą ir pagerinti sklaidą bei padengimo tolygumą, o kiti PFAS naudojami dėl jų atsparumo nešvarumams. Ankstesniuose tyrimuose 6:2 diPAP nebuvo įtrauktas kaip tiriamasis PFAS

junginys, nors jis buvo aptiktas gyvenamųjų namų ir ugniagesių stočių dulkėse. Tyrimo autoriai teigia, kad tai yra pirmas kiekybinis tyrimas, kuriame aiškiai identifikuotas 6:2 diPAP dažuose kaip nešiojamas PFAS junginys. Be to, 6:2 diPAP gali būti pridėtas kaip aktyvus ingredientas, tačiau taip pat gali būti sintezės likutis arba susidaryti kaip perėjimo produktas iš kitų PFAS junginių.

Vienas iš galimai identifikuotų 6:2 diPAP taikymo atvejų yra grindų dangos. Tyrime, atliktame Baltijos jūros regione [2], 6:2 diPAP buvo nustatytas kaip vienas iš PFAS junginių, aptiktų grindų medžiagose, kai kuriais atvejais itin didelėmis koncentracijomis – iki 602 ng/g. Todėl daroma prielaida, kad dulkėse aptikti PFAS junginiai galėjo patekti iš grindų dangos.

PFAS grindų dangose gali būti atsiradę ir per valymą ar naudojamas grindų priežiūros priemonės. Kai kuriuose vietose, iš kurių imti mėginiai, tarp 2014 ir 2017 metų buvo pašalintas senas grindų vaškas ir užteptas naujas sluoksnis. Grindų priežiūros priemonės gali turėti PFAS, todėl jos taip pat gali būti PFAS šaltinis grindyse.

1.3.2. Pavojingosios savybės bei teisinis reglamentavimas

Pagal įmonių pateiktą klasifikaciją Europos cheminių medžiagų agentūrai (ECHA) [25], 6:2 diPAP pasižymi ūmiu toksiškumu (4 kategorija, H302 – kenksminga prarijus), yra kenksminga vandens organizmams (2 kategorija, H411 – kenksminga vandens organizmams, su ilgalaikiais padariniais), įtariama, kad sukelia vėžį (2 kategorija, H351 – įtariama, kad sukelia vėžį), įtariama, kad kenkia vaisingumui arba negimusiam vaikui (2 kategorija, H361 – įtariama, kad kenkia vaisingumui ar vaisiui), sukelia odos dirginimą (2 kategorija, H315 – dirgina odą), sukelia stiprų akių dirginimą (2 kategorija, H319 – sukelia stiprų akių dirginimą), ir gali pakenkti organams dėl ilgalaikio ar pasikartojančio poveikio (2 kategorija, H373 – gali pakenkti organams).

Šiuo metu 6:2 diPAP nėra įtrauktas į Europos Sąjungoje taikomą REACH didelį susirūpinimą keliančių medžiagų sąrašą (angl. *Substance of Very High Concern, SVHC*) ir nėra reglamentuojama ar ribojama medžiaga. Tačiau 2023 m. ECHA paskelbė siūlymą apriboti apie 10 000 PFAS medžiagų naudojimą, gamybą ir tiekimą ES rinkai. Šis pasiūlymas parengtas siekiant sumažinti ilgalaikį PFAS poveikį žmonių sveikatai ir aplinkai dėl jų itin didelio patvarumo ir toksiškumo. Į šį siūlomą ribojimą taip pat patenka ir 6:2 diPAP [26].

1.3.3. Paplitimas gamtinėje aplinkoje

Šiame skirsnyje aptariamas 6:2 diPAP paplitimas gamtinėje aplinkoje apžvelgiant į aptikimą lietaus ir nuotekų vandenyse, kaupimasis dirvožemyje bei ore (dulkėse).

Vienas iš reikšmingų aspektų, atskleidžiančių 6:2 diPAP elgseną aplinkoje, yra jo aptikimas tiek statybinėse medžiagose, tiek ir surinktose dulkėse patalpoje. Jau kelis kartus minėtame tyrime atliktame Baltijos jūros regione [2] aiškiai pažymima, kad mokyklos kambariuose 6:2 diPAP buvo rasta tiek grindų dangos, tiek ir vidaus dulkių mėginiuose. Ši koreliacija leidžia tyrimo autoriams daryti prielaidą, kad PFAS junginiai, įskaitant 6:2 diPAP, galėjo migruoti iš grindų medžiagos į dulkes: „6:2 diPAP buvo aptiktas didžiausiomis koncentracijomis tiek medžiagoje, tiek dulkėse. Todėl daroma prielaida, kad dulkėse aptikti PFAS gali būti kilę iš grindų dangos medžiagos“.

Tyrime, atliktame Kinijoje, buvo surinkti 81 vidaus oro ir 29 dulkių mėginiai iš įvairių patalpų – gyvenamųjų namų, viešbučių, tekstilės parduotuvių bei kino teatrų [27]. Tyrimo metu tirtos tiek įvairios PFAS formos, įskaitant ir diPAP, tarp kurių 6:2 diPAP buvo vienas iš pagrindinių junginių.

Tiriant orą, tyrime pateikiamos bendrosios diPAP koncentracijos, kurios apima keletą diPAP homologų. Didžiausia diPAP koncentracija ore buvo užfiksuota vienoje iš kino teatro patalpoje – 125 pg/m³, o dominuojantis junginys buvo 6:2 diPAP. Kitose vietose, tokiose kaip ofisai ir automobilių salonas, diPAP koncentracijos ore siekė nuo 3,20 iki 15,8 pg/m³. Be to, diPAP junginiai buvo aptikti 53 % viešbučių ir 77 % gyvenamųjų patalpų oro mėginių, tačiau jų vidutinės koncentracijos buvo žemos – 1,08 pg/m³ ir 1,17 pg/m³ atitinkamai.

6:2 diPAP buvo aptiktas visuose dulkių mėginiuose viešbučiuose, o jo koncentracijos svyravo iki 183 ng/g, o gyvenamosiose patalpose koncentracija buvo kur kas mažesnė (0,32–69,7 ng/g). Verta paminėti, kad dulkių mėginiuose iš gyvenamųjų patalpų, kuriuose neseniai buvo paklota kiliminė danga ar atliktas remontas 2014 metais diPAP koncentracijos buvo didžiausios, o viešbutyje, renovuotame tais pačiais metais, buvo užfiksuota ir didžiausia diPAP koncentracija – 183 ng/g. Šie rezultatai leidžia daryti prielaidą apie diPAP ryšį su paviršiaus dangomis ar tekstilės apdorojimu.

Tyrimas, atliktas Suomijoje, analizuojant vaikų kambarių grindų dulkes, atskleidė, kad 6:2 diPAP buvo aptiktas visuose mėginiuose (65 kambariai), o jo koncentracijos svyravo nuo 53,9 iki 1360 ng/g [28]. Tyrime pažymėta, kad diPAP ir FTOH grupės dominavo tarp likusių PFAS. Be to, tyrimai parodė, kad 6:2 diPAP prisidėjo iki 12 % prie PFHxA susidarymo transformacijos metu. Visi šie duomenys rodo, kad net ir buvimas ore per dulkes gali būti reikšmingas poveikio šaltinis vaikams, o 6:2 diPAP yra plačiai paplitęs vidinėse patalpose.

Tyrime, atliktame Šiaurės Amerikoje [29], buvo ištirti dulkių mėginiai, surinkti iš gyvenamųjų namų bei ugniagesių stočių, siekiant nustatyti įvairių PFAS junginių paplitimą. Nustatyta, kad 6:2 diPAP buvo aptiktas visuose tirtuose dulkių mėginiuose, o jo koncentracija gaisrinėse siekė 287 ng/g bei 113 ng/g gyvenamosiose patalpose. Dulkių mėginiai iš ugniagesių stočių ir gyvenamųjų namų buvo paimti iš gyvenamųjų patalpų, todėl bendrosios PFAS proporcijos dulkėse yra panašios. Tai gali rodyti, kad PFAS šaltiniai gyvenamųjų patalpų dulkėse yra susiję su panašiais produktais arba tomis pačiomis statybinėmis medžiagomis, naudojamomis tiek namuose, tiek ugniagesių stotyse. Tyrime taip pat pažymima, kad didesnis kai kurių cheminių medžiagų koncentracija gaisrinėse gali būti susijęs su gesinimo putų naudojimu ir laikymu.

Literatūros šaltiniuose 6:2 diPAP paplitimas lietaus vandenyje, nuotekose ar dirvožemyje nėra aptiriamas.

1.4. Literatūros analizės apibendrinimas

Literatūros šaltiniai aiškiai rodo, kad TCPP, diuronas ir 6:2 diPAP yra plačiai naudojamos cheminės medžiagos, kurios aptinkamos įvairiose aplinkos terpėse, įskaitant paviršinius ir nuotekų vandenį, dirvožemį, dulkes bei patalpų orą. Tyrimai patvirtina, kad šios medžiagos yra išplaunamos iš statybinių produktų ar migruoja į aplinką per dulkes. 4 lentelėje apibendrinti literatūros šaltiniai, kuriuose aptiriamas pasirinktų medžiagų aptikimas įvairiose aplinkos terpėse. Pateikti duomenys rodo, kad TCPP ir diuronas yra dažniausiai aptinkami ir tyrinėjami junginiai, identifikuoti keliose skirtingose aplinkos terpėse, tuo tarpu apie 6:2 diPAP aptikimą informacijos mažiau – ši medžiaga minima tik oro ir nuotekų vandenų kontekste. Diuronas dažniau aptinkamas lietaus vandenyje ir dirvožemyje, o TCPP – ore, lietaus ir nuotekų vandenyse, tačiau apie jo buvimą dirvožemyje pateikiama tik galimos emisijos nuoroda. Šie duomenys leidžia daryti prielaidą, kad TCPP ir diuronas jau yra geriau ištirti aplinkosauginiu požiūriu, o 6:2 diPAP reikalingi tolesni tyrimai, ypač dėl galimo jo kaupimosi lietaus nuotekose ir dirvožemyje.

4 lentelė. TCPP, diurono ir 6:2 diPAP aptikimas skirtingose aplinkos terpėse remiantis literatūros šaltiniais

	TCPP	Diuronas	6:2 diPAP
Oras/dulkės	Aptinkama	Neaptariama/neaptinkamas	Oras/dulkės
Lietaus vandenys	Aptinkama	Aptinkama	Neaptariama/neaptinkamas
Nuotekų vandenys	Aptinkama	Aptinkama	Neaptariama/neaptinkamas
Dirvožemis	Galimas	Aptinkama	Neaptariama/neaptinkamas

Nepaisant šio paplitimo, reglamentavimas išlieka fragmentiškas – medžiagų naudojimas statybos produktuose dažnai nėra deklaruojamas, o reguliavimo priemonės daugeliu atvejų taikomos tik galutinėms formoms ar siauram produktų ratui. Dėl to išlieka nežinomybė, kiek, kur ir kokiomis formomis šios medžiagos naudojamos ir kaip jos keliauja per gamybos, naudojimo ir šalinimo etapus. Siekiant atsakyti į šiuos klausimus, tolesniuose darbo etapuose bus atliekama medžiagų srautų analizė, kuri padės identifikuoti svarbiausius medžiagų šaltinius, kaupimosi taškus ir poveikio rizikas.

2. Metodika

2.1. Tyrimo etapai

Tyrimas susideda iš šių etapų:

1. Literatūros analizė

Apžvelgiamos cheminių medžiagų techninės savybės, pavojingumas, reglamentavimas bei esami duomenys apie jų naudojimą statybos produktuose ir aptikimą aplinkoje.

2. Duomenų surinkimas

- surinkti statistinius duomenis apie produktą, kuriuose naudojamos šios medžiagos, gamybą, naudojimą ir atliekų srautus.
- naudoti duomenų bazes (ECHA, BVB) ir mokslinę literatūrą tam, kad būtų galima įvertinti medžiagų kiekius produktuose bei jų paskirtį.
- įtraukti duomenis apie potencialius emisijos kelius: emisiją naudojimo metu, emisiją šalinimo metu (pvz., sąvartynai, deginimas).

3. Medžiagų srautų analizė

- sudaryti konceptualų modelį, parodantį medžiagų judėjimo kelius;
- kiekybiškai įvertinti medžiagų srautus bei pateikti bendrus paskirstymo kiekius pagal aplinkos terpes;
- pavaizduoti rezultatus schemomis;
- aptarti neapibrėžtis bei duomenų spragas.

4. Įvertinti medžiagų patekimo į aplinką kelius ir mastą bei kokybiškai apibūdinti potencialią riziką.

2.2. Medžiagų srautų analizė

Medžiagų srautų analizė (MSA) – tai sisteminis ir kiekybinis metodas, skirtas įvertinti medžiagų judėjimą ir kaupimąsi apibrėžtoje sistemoje per tam tikrą laikotarpį. Analizė grindžiama masės tvermės dėsniu, teigiančiu, kad visos į sistemą patenkančios medžiagos turi būti arba išeinančios, arba pasiliekančios sistemoje. MSA pagrindinis tikslas – atskleisti, kur ir kokiais kiekiais medžiagos naudojamos, kaip jos virsta atliekomis ar kaupiasi, siekiant efektyvesnio išteklių valdymo, mažesnio poveikio aplinkai ir tvaresnių sprendimų. Atliekant analizę, aiškiai apibrėžiama tyrimo sistema (geografiškai, laike ar technologiniu požiūriu), identifikuojami įeinantys, išeinantys bei vidiniai srautai ir užtikrinamas masės balanso laikymasis. Rezultatu tampa vizualus bei kiekybinis medžiagų srautų vaizdas, kuris padeda pagrįsti aplinkosauginius ar ekonominius sprendimus [30].

2.3. Programinė įranga

MSA atliekama naudojant matematinę ir statistinę programinę įrangą STAN 2.6.801 (angl. *SubSTance flow ANalysis*). STAN leidžia kurti grafinius modelius naudojant iš anksto apibrėžtus elementus (procesus, srautus, sistemos ribas). Įvedus arba importavus žinomus duomenis (masės srautus, atsargas, perdavimo koeficientus) skirtingiems sluoksniams (produktui, medžiagai, energijai) ir laikotarpiams, galima apskaičiuoti nežinomas reikšmes. Visi srautai gali būti vaizduojami Sankey diagramos principu, kur srauto plotis proporcingas jo vertei.

2.4. Sistemos ribos ir laikas

TCP, diuronas ir 6:2 diPAP medžiagų srautų analizė atliekama Europos statybos sektoriuje. Vertinami medžiagų kiekiai sunaudoti per vienus kalendorinius 2024 metus.

2.5. Duomenys analizei ir neapibrėžtumo vertinimas

Cheminių medžiagų importo kiekiai, jų naudojimas statybinėse medžiagose bei galimi išsiskyrimo į aplinką mastai remiami literatūros šaltiniais, tarptautinėmis ataskaitomis ir duomenų bazėmis. Atliekant TCP, diuronas ir 6:2 diPAP medžiagų srautų analizę Europos statybos sektoriuje susiduriama su reikšmingu duomenų trūkumu – ypač dėl faktinių naudojimo kiekių, medžiagų pasiskirstymo tarp galutinių produktų ir emisijų koeficientų. Dėl šios priežasties analizei taikoma neapibrėžtumo metodika, kuri buvo aprašyta ankstesniuose medžiagų srautų tyrimuose. Šią koncepciją sukūrė Hedbrant ir Sörme [31], o vėliau ją išplėtojo kiti tyrėjai, įskaitant Laner ir kt. [32], kurie ją pritaikė STAN programinei įrangai. Metodika grindžiama duomenų šaltinių klasifikavimu. Kiekvienam duomenų rinkiniui priskiriamas neapibrėžtumo lygis ir variacijos koeficientas (angl. *coefficient of variation, CV*). Patikimesniems duomenims taikomas mažesnis CV, o mažiau patikimiems – didesnis. Skačiuojant su STAN, duomenų derinimas vykdomas atsižvelgiant į neapibrėžtumą – prioritetą teikiamas mažiau patikimiems duomenims. Šiame tyrime duomenų šaltiniai suskirstyti į 4 neapibrėžtumo lygius, kurie aprašyti 5 lentelėje.

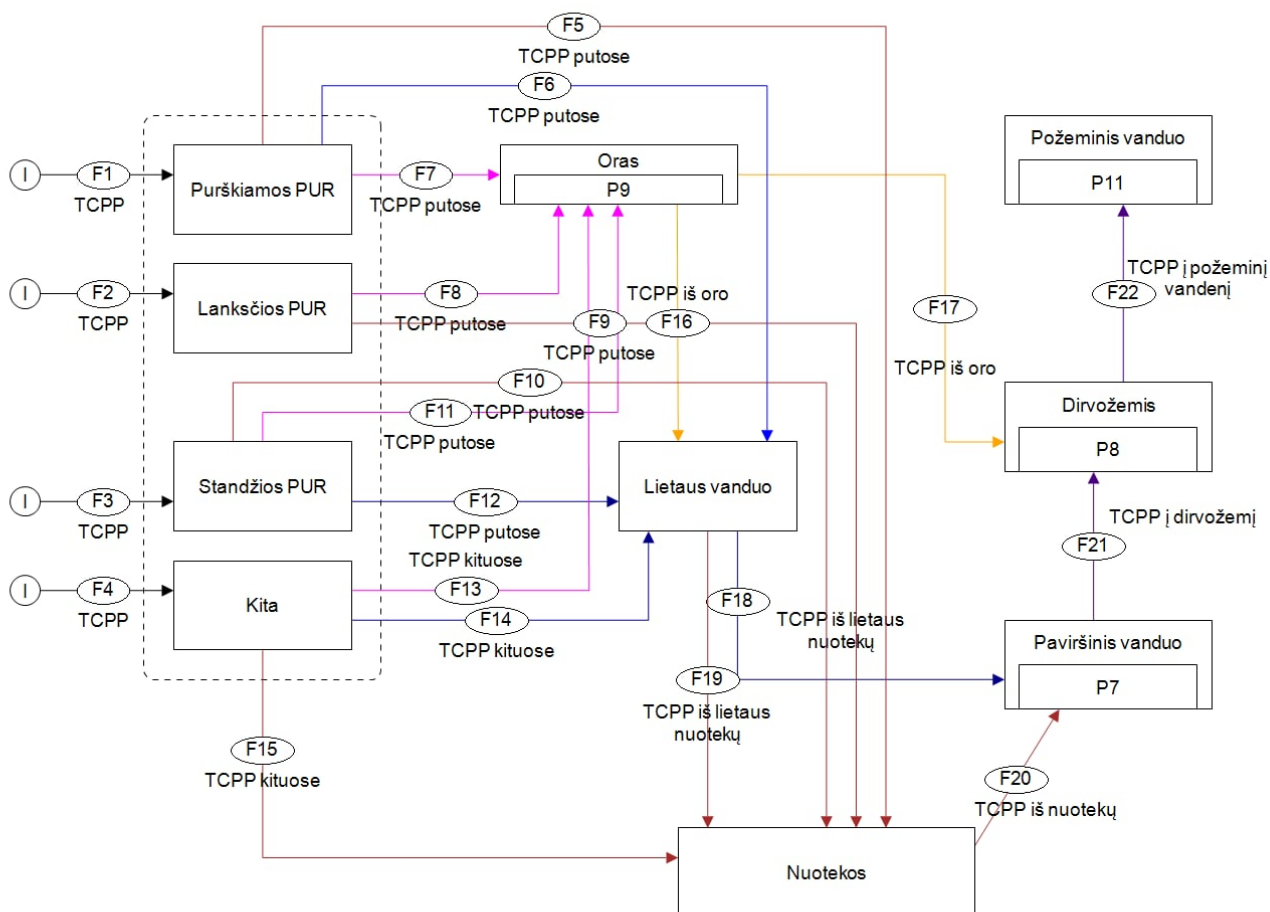
5 lentelė. Neapibrėžtumo lygių įvertinimas

Neapibrėžtumo lygis	CV, %	Paaiškinimas
1	15	Oficialioji statistika, nedidelė duomenų aibės variacija. Tikslinių mokslinių ar techninių ataskaitų vertės
2	30	Oficialioji statistika su didesne duomenų variacija. Naudojama mokslinė literatūra ar techninių ataskaitų duomenys, bet reikalingos tam tikros prielaidos
3	45	Mokslinių ar techninių ataskaitų duomenų vidurkiai iš didelės variacijos duomenų
4	60	Apytikslės vertės

3. Cheminių medžiagų srautų analizės

3.1. Konceptualus TCPP modelis

MSA konceptualus modelis yra labai svarbus pradinis žingsnis sisteminei analizei. Šis modelis padeda aiškiai apibrėžti analizės ribas, pagrindinius srautus, procesus ir jų tarpusavio ryšius. 4-ame paveiksle pateikiamas sudarytas TCPP srautų konceptualus modelis remiantis literatūros analize.



4 pav. TCPP srautų konceptualus modelis

TCPP naudojamas purškiamų, lanksčių ir standžių poliuretano putų bei kitų gaminių, tokių kaip dažai, dangos ar elektronika, gamyboje. Analizės ribos apima šių gaminių gamybą Europos Sąjungoje ir jų naudojimą analizuojamu laikotarpiu. Konceptualiajame modelyje emisijos nėra suskirstytos pagal gaminių gyvavimo ciklo etapus, tačiau išsamiau nagrinėjamas medžiagos pasiskirstymas tarp aplinkos terpių.

TCPP iš purškiamų ir standžių putų gamybos ar naudojimo gali patekti arba į orą, arba gali būti išplaunamos lietaus ir patekti tiesiai į buitines nuotekas. TCPP iš lanksčių putų gali migruoti į orą arba tiesiai patekti į nuotekas. Iš kitų gaminių TCPP gali patekti į orą arba būti išplaunamos lietaus ir patekti į buitines nuotekas.

Į orą patekusios TCPP emisijos vėliau nusėda į vandenį arba dirvožemį. Vandenyje (pvz., lietaus ar buitinėse nuotekose) esantis TCPP gali likti hidrosferoje arba nusėsti į dirvožemį. Į dirvožemį patekęs TCPP gali migruoti į požeminį vandenį.

Parengtas konceptualus TCPF srautų modelis padeda nusistatyti kokių duomenų reikės tolimesnei analizei bei leidžia suprasti jų trūkumą.

3.2. TCPF naudojamas kiekis Europoje

Nors ECHA duomenimis TCPF šiuo metu nėra registruotas kaip gaminamas ar importuojamas į Europos ekonominę erdvę virš 1 tonos per metus, tai nebūtinai reiškia, kad ši medžiaga nėra naudojama Europos rinkoje. Tikėtina, kad TCPF gali būti importuojamas kaip mišinio (pvz., poliolio komponento PUR sistemose) sudėtinė dalis, kuriai netaikoma atskira registracija, jei kiekiai nesiekia REACH nustatyto slenksčio. Be to, TCPF gali patekti į rinką ir galutinių gaminių, tokių kaip PUR plokštės ar sandarikliai, sudėtyje, kuriems REACH registracijos reikalavimai netaikomi, nebent medžiaga išsiskiria naudojimo metu. Todėl ECHA registracijos nebuvimas neatspindi visos realios medžiagos apyvartos rinkoje. Kaip ir minėta literatūros analizėje, remiantis pasauline TCPF antipirenų rinkos ataskaita [3], 2024 m. Europa sudarė daugiau nei 30 % pasaulinės rinkos dydžio ir siekė 113,07 milijono JAV dolerių. Kinijos tiekėjai 2024 m. kontroliavo apie 80 % pasaulinės TCPF rinkos. Šis skaičius pagrįstas Europos Komisijos reglamentu, kuriame nurodoma, kad Kinijos tiekėjų rinkos dalis peržiūros laikotarpiu padidėjo 3 procentiniais punktais ir pasiekė 80 %, remiantis TCPF importo ir pardavimų duomenimis ES kontekste [33]. TCPF kaina rinkoje gali svyruoti priklausomai nuo gamintojo geografinės vietos, verslo susitarimų, tačiau, atsižvelgiant į tai, kad didžioji tiekėjų dalis yra koncentruota Kinijoje, šioje analizėje naudojama orientacinė kaina – 1 200 JAV dolerių už toną [34]. Remiantis šia kaina, apskaičiuota, kad Europos rinkoje per metus sunaudojama apie 94 225 tonos TCPF. Šis kiekis naudojamas tolimesnei medžiagos srautų analizei. 6 lentelėje nurodytos pagrindinės TCPF naudojimo sritys bei apskaičiuotas kiekis pagal kiekvieną jų [1].

6 lentelė. TCPF naudojimo pasiskirstymas tarp sričių [1]

Paskirtis	Naudojimas, %	Naudojimas, t
Standžios PUR putos	66,5	62 660
Lanksčios PUR putos	17	16 018
Purškiamos PUR putos	14,3	13 474
Kita (dažai, dangos, klėjai, elektronika)	2,2	2 073

Tikėtina, kad ne visos lanksčiosios PUR putos yra naudojamos statybose ar pastatuose (gali būti naudojamos automobilių pramonėje), tačiau neturint daugiau informacijos, priimama, kad visas kiekis yra naudojamas statybose.

3.3. TCPF emisijų į aplinką koeficientai

Atliekant medžiagos srautų analizę svarbu įvertinti ne tik bendrą sunaudojamą TCPF kiekį, bet ir galimus šios medžiagos nuostolius į aplinką skirtingais gyvavimo ciklo etapais. Tam taikomi orientaciniai emisijos koeficientai, kurie atspindi, kokia TCPF dalis gali patekti į orą, vandenį (lietaus ir nuotekų) ar dirvožemį cheminės medžiagos naudojimo metu. Šie koeficientai įvertinti remiantis literatūros šaltiniais.

Ekonominio bendradarbiavimo ir plėtros organizacijos (EBPO) parengtame emisijų scenarijų dokumente [34] aprašomi galimi liepsnų slopinančių priedų praradimų į aplinką etapai per visą jų gyvavimo ciklą: nuo žaliavų tvarkymo, maišymo ir galutinių produktų gamybos iki naudojimo

laikotarpio bei šalinimo. Dokumente išskiriami tiek organiniai, tiek neorganiniai priedai – TCPP gali būti priskiriamas organinių priedų grupei. Taip pat nurodomi skirtingi emisijų koeficientai pagal priedų lakumą – žemą, vidutinį ir aukštą. Atsižvelgiant į chemines savybes, TCPP laikomas žemo lakumo organiniu priedu. Kiekviename iš etapų gali vykti skirtingi medžiagos nuostoliai: pavyzdžiui, išsiliejimai ir atliekos tvarkant žaliavas, lakiųjų junginių emisijos naudojimo metu ar išplovimas iš sąvartynų. Šiame darbe vertinami tik tie praradimo etapai, kurie prasideda nuo momento, kai į Europos Sąjungą yra importuojami mišiniai, jau turintys TCPP savo sudėtyje. Todėl ankstesnės stadijos, tokios kaip TCPP gamyba ar žaliavų tvarkymas už ES ribų, nėra įtrauktos į analizę.

Produkto gamybos etapas apima galutinio produkto formavimą iš paruošto mišinio, pavyzdžiui, standžių poliuretano plokščių liejimą, purškimą ar išpūtimą. Šio proceso metu medžiaga gali būti veikama aukštesnės temperatūros, būti šlifuojama ar pjaunama, todėl galimi cheminės medžiagos nuostoliai į vandenį ar orą. Dokumente išskiriami keli konvertavimo proceso tipai: uždaras procesas (angl. *closed*), iš dalies atviras procesas (angl. *partial open*), atviras procesas formuojant kietus gaminius (angl. *open: solid articles*) ir atviras procesas formuojant putas (angl. *open: foamed articles*), priklausomai nuo to, ar gamyba vyksta sandarioje ar atviroje sistemoje bei koks galutinio produkto tipas. Europoje standžių poliuretano gaminių gamyba dažniausiai vyksta naudojant uždara arba iš dalies atvira procesus – ypač automatizuotose linijose, kur formuojamos izoliacinės plokštės. Tokiuose procesuose medžiagų kontaktas su aplinka yra ribotas, o emisijos gali būti mažesnės nei atvirose procesuose. Medžiagų srautų analizėje priimami uždaro proceso emisijų koeficientai. Naudojimo laikotarpio metu TCPP iš produktų gali patekti į aplinką per du pagrindinius kelius, išsiskiriant į orą (išgaruojant ar išsiskiriant su dalelėmis) arba kontakto su vandeniu metu. EBPO pateikia atskirus emisijų koeficientus žemo lakumo organiniams priedams, atsižvelgiant į tai, ar produktas naudojamas viduje, ar lauke. Šie emisijų koeficientai pateikiami 7 lentelėje.

7 lentelė. Antipirenų emisijų koeficientai gaminių gamybos metu [35]

Etapas / Naudojimas	Į orą (%)	Į vandenį (%)	Pastabos
Produkto gamyba	0,003	0,003	Iš dalies atviras procesas, nuotekos per valymą, šlifavimą
	0,001	0,001	Uždaras procesas, lakumas dėl temperatūros ir proceso
Naudojimas viduje	0,05	0,05	Viduje, per visą tarnavimo laiką
	0,05	0,16 per metus	Išorėje, per visą tarnavimo laiką arba metus

Emisijos priklauso nuo eksploatacijos pobūdžio: atviri, nesandariai įrengti PUR produktai lauke (pvz., po grindimis, pamatuose) gali reikšmingai prisidėti prie išplovimo. Jei produktas visiškai integruotas į statinio struktūrą (pvz., uždaras fasadas), išplovimas gali būti mažesnis.

Naudojimo pabaigoje statybiniai produktai, turintys TCPP, dažniausiai yra šalinami deginant arba sąvartynuose. Remiantis EBPO parengtu dokumentu, emisijų šiame etape nėra.

Europos Sąjungos rizikos vertinimo ataskaitoje dėl TCPP [1] taip pat pateikiami emisijų scenarijai, tačiau juose taikomi koeficientai yra skirti būtent TCPP medžiagai. Šie emisijų koeficientai pateikiami 8 lentelėje.

8 lentelė. TCPP emisijų koeficientai per visą gyvavimo laikotarpį [1]

Etapas / Naudojimas	Į orą (%)	Į vandenį (%)	Pastabos
Lanksčios putos			
Putų sukietėjimas ir sandėliavimas putų gamybos vietose	0,024	0,024	Metinė emisijų norma į orą ir vandenį putoms kietėjant bei sandėliavimo metu
Baldų gamyba	0,0245	0,0245	Taikomi koeficientai kaip ir sandėliavimo etape bei emisijos, kurios nepateks į filtrus pjaustymo metu
Naudojimas	0,024	–	Vertinamas metinis sumažintas emisijų koeficientas, kadangi putos bus padengtos audiniais ar pamušalais.
Perdirbimas (granuliavimas)	0,001	–	Granulių gamyba
Standžios poliuretano putos			
Putų sukietėjimas ir sandėliavimas putų gamybos vietose	0,0024	0,0024	Metinė emisijų norma į orą ir vandenį putoms kietėjant bei sandėliavimo metu
Naudojimas	–	–	Kadangi standžios putos naudojamos uždaroje erdvėje su ribota oro cirkuliacija, siūloma emisijas laikyti nulinėmis.
Purškiamos poliuretano putos			
Įrengimas	0,24	–	Purškiamos putų naudojimas pastatuose.
Naudojimas	–	–	Kadangi išpurkštos putos sukietėja ir yra naudojamos uždaroje erdvėje, siūloma emisijas laikyti nulinėmis.

Abiejuose šaltiniuose, EBPO emisijų scenarijų dokumente [35] ir Europos Sąjungos rizikos vertinimo ataskaitoje [1], pateikiami emisijų į aplinką koeficientai, taikomi požiūriai ir rezultatai skiriasi. EBPO dokumentas pateikia bendro antipirenų pobūdžio emisijų koeficientus, grindžiamus priedų lakumu ir procesų atvirumu, nepritaikytus konkrečioms produktams ar sąlygoms. Tuo tarpu ES rizikos vertinimo ataskaitoje emisijos įvertintos detaliau – remiantis modeliavimu ir eksperimentiniais duomenimis. Nagrinėtuose šaltiniuose emisijos į vandenį nėra skirstomos į lietaus ir nuotekų vandenį. Dėl ribotos informacijos tolimesniame kiekybinėje srautų analizėje vertinamos sustambintos (bendros sujungtos) emisijos į vandenį. Taip pat šaltiniuose nėra informacijos apie TCPP emisijas iš dažų ar kitų gaminių gamybos ir įrengimo, todėl šiam segmentui priimami koeficientai pagal purškiamas poliuretano putas. Su emisijomis į orą ir vandenį patekusio TCPP tolesnė sklaida į aplinkos terpes yra nustatomi pagal Europos Sąjungos rizikos vertinimo ataskaitoje [1] pateiktas vertes, kurios nurodytos 9 lentelėje.

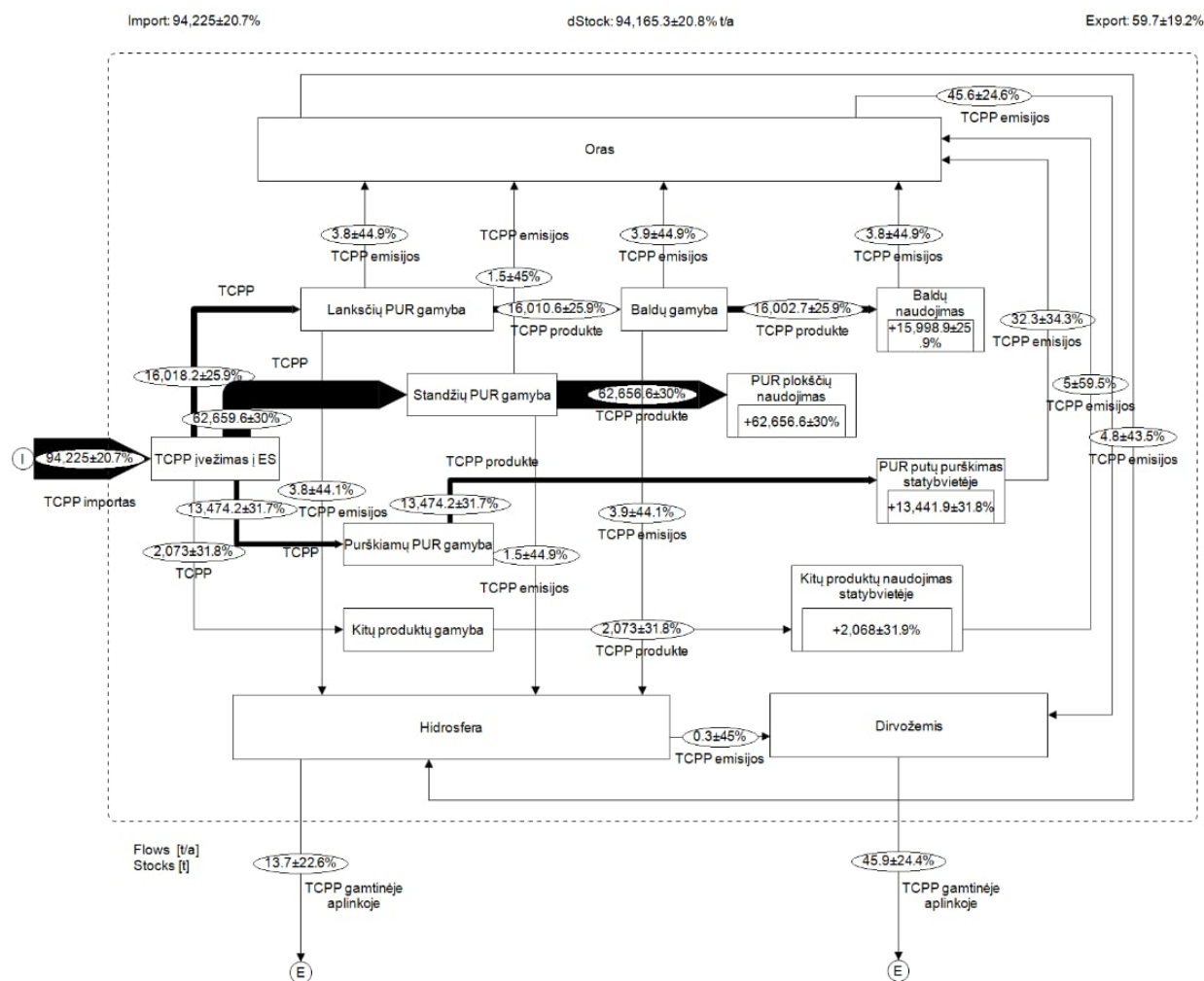
9 lentelė. Su emisijomis į orą ir vandenį patekusio TCPP tolesnė sklaida į aplinkos terpes [1]

Tolimesnė sklaida	Iš emisijų į orą	Tolimesnė sklaida	Iš emisijų į vandenį
Lieka ore, %	0,0036	Išgaruoja į orą, %	0
Nusėda į dirvožemį, %	90,5	Nusėda į dirvožemį, %	0,034
Nusėda į vandenį, %	9,46	Lieka vandenyje, %	99,6
Pereina į nuosėdas, %	0,03	Pereina į nuosėdas, %	0,32

Remiantis šiais duomenis, galime suprasti, kad didžioji dalis su emisijomis į vandenį patekusio TCPP kiekio ir lieka vandenyje, tačiau 90 % su emisijomis į orą patekusio TCPP nusėda į dirvožemį, o 10 % į vandenį.

3.4. TCPP medžiagų srautų analizė

5-ame paveiksle pateikta TCPP medžiagų srautų analizė Europai.



5 pav. TCPP srautų analizė

Parengtoje TCPP srautų schemoje vaizduojamas šios medžiagos judėjimas Europos statybų sektoriuje, daugiausia susijęs su poliuretano (PUR) putų gamyba. Per metus į Europą importuojama apie 94 225 tonas TCPP, tačiau, atsižvelgiant į neapibrėžtumą, importo kiekis gali svyruoti nuo 74 720 iki 113 713 tonų. Nors didžioji dalis TCPP sunaudojama standžių PUR putų gamyboje (62 660 tonų), daugiausia emisijų į orą patenka statybvietėse naudojant purškiamas PUR putas. Emisijos iš kitų produktų gamybos nėra aiškiai įvertintos, tačiau jų įrengimo metu taikytas tas pats emisijos koeficientas kaip ir purškiamoms putoms leidžia manyti, kad poveikis gali būti reikšmingas – ypač jei šie produktai būtų, pavyzdžiui, dažai ar kitos panašios medžiagos. Apskaičiuota, kad per metus į vandenį (tiesiogiai iš gamybos, įrengimo ir naudojimo etapų) patenka apie 9,3 tonos, o į orą – 50,4 tonos TCPP. Vėliau iš oro terpės TCPP nusėda į vandenį (~10 %) ir dirvožemį (~90 %), o iš vandens terpės tik labai maža dalis nusėda į dirvožemį. Galiausiai, vandenyje susikaupia 13,7 tonos, o dirvožemyje 45,9 tonos TCPP per metus.

Kiekvienas srautas ir procesas bei jų kiekiai per metus (teoriniai ir perskaičiuoti vertinant neapibrėtumą) pateikti 10 lentelėje.

10 lentelė. TCPP srautų kiekiai per metus bei perskaičiuotos vertės

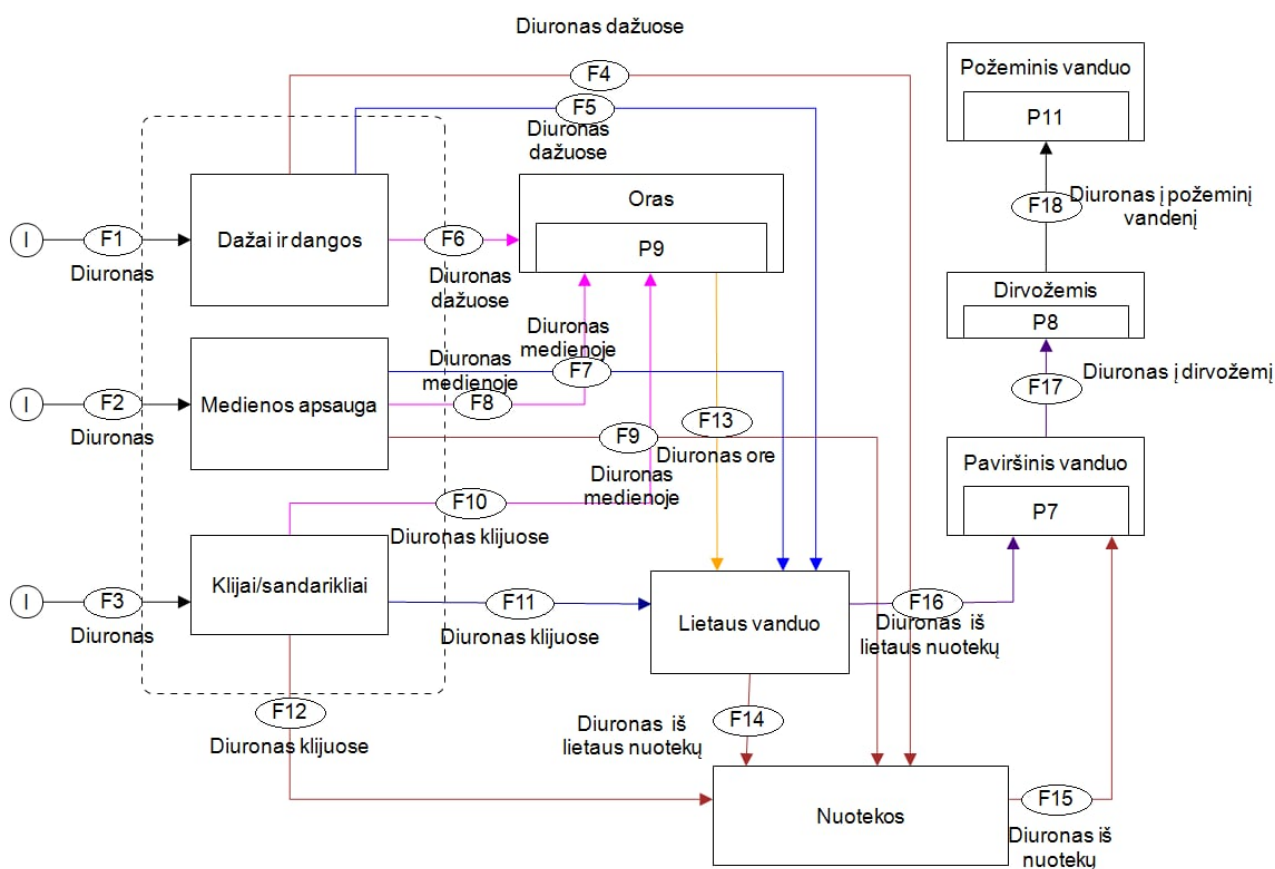
Procesas	Srauto pavadinimas	Srauto kryptis	Kiekis, t/metus	Perskaičiuotas kiekis, t/metus
Procesas: TCPP įvežimas į ES				
Įeinantys srautai				
P1	TCPP importas	P1, TCPP įvežimas į ES	94 225±60 %	94 225±20,7 %
Išeinantys srautai				
P1	TCPP	P2, Lanksčių PUR gamyba	16 018,3±45 %	16 018,2±25,9 %
P1	TCPP	P4, Standžių PUR gamyba	62 659,6±45 %	62 659,6±30 %
P1	TCPP	P6, Kitų produktų gamyba	2 073±45 %	2 073±31,8 %
P1	TCPP	P5, Purškiamų PUR gamyba	13 474,2±45 %	13 474,2±31,7 %
Procesas: Lanksčių PUR gamyba				
Įeinantys srautai				
P2	TCPP	P2, Lanksčių PUR gamyba	16 018,3±45 %	16 018,2±25,9 %
Išeinantys srautai				
P2	TCPP emisijos	P9, Oras	3,8±45 %	3,8±44,9 %
P2	TCPP produkte	P3, Baldų gamyba	16 010,6±45 %	16 010,6±25,9 %
P2	TCPP emisijos	P10, Hidrosfera	3,8±45 %	3,8±44,1 %
Procesas: Standžių PUR gamyba				
Įeinantys srautai				
P4	TCPP	P4, Standžių PUR gamyba	62 659,6±45 %	62 659,6±30 %
Išeinantys srautai				
P4	TCPP emisijos	P9, Oras	1,5±45 %	1,5±45 %
P4	TCPP produkte	P11, PUR plokščių naudojimas	62 656,6±45 %	62 656,6±30 %
P4	TCPP emisijos	P10, Hidrosfera	1,5±45 %	1,5±44,9 %
Procesas: Purškiamų PUR gamyba				
Įeinantys srautai				
P5	TCPP	P5, Purškiamų PUR gamyba	13 474,2±45 %	13 474,2±31,7 %
Išeinantys srautai				
P5	TCPP produkte	P7, PUR putų purškimas statybvietėje	13 474,2±45 %	13 474,2±31,7 %
Procesas: Kitų produktų gamyba				
Įeinantys srautai				
P6	TCPP	P6, Kitų produktų gamyba	2 073±45 %	2 073±31,8 %
Išeinantys srautai				
P6	TCPP produkte	P12, Kitų produktų naudojimas statybvietėje	2 073±45 %	2 073±31,8 %
Procesas: Baldų gamyba				
Įeinantys srautai				
P3	TCPP produkte	P3, Baldų gamyba	16 010,6±45 %	16 010,6±25,9 %
Išeinantys srautai				
P3	TCPP emisijos	P9, Oras	3,9±45 %	3,9±44,9 %

Procesas	Srauto pavadinimas	Srauto kryptis	Kiekis, t/metus	Perskaičiuotas kiekis, t/metus
P3	TCPP produkte	P8, Baldų naudojimas	16 002,7±45 %	16 002,7±25,9 %
P3	TCPP emisijos	P10, Hidrosfera	3,9±45 %	3,9±44,1 %
Procesas: Baldų naudojimas				
Įeinantys srautai				
P8	TCPP produkte	P8,Baldų naudojimas	16 002,7±45 %	16 002,7±25,9 %
Išeinantys srautai				
P8	TCPP emisijos	P9,Oras	3,8±45 %	3,8±44,9 %
Procesas: PUR plokščių naudojimas				
Įeinantys srautai				
P11	TCPP produkte	P11, PUR plokščių naudojimas	62 656,6±45 %	62 656,6±30 %
Procesas: PUR putų purškimas statybvietėje				
Įeinantys srautai				
P7	TCPP produkte	P7, PUR putų purškimas statybvietėje	13 474,2±45 %	13 474,2±31,7 %
Išeinantys srautai				
P7	TCPP emisijos	P9, Oras	32,3±45 %	32,3±44,3 %
Procesas: Kitų produktų naudojimas statybvietėje				
Įeinantys srautai				
P12	TCPP produkte	P12,Kitų produktų naudojimas statybvietėje	2 073±45 %	2 073±31,8 %
Išeinantys srautai				
P12	TCPP emisijos	P9,Oras	5±60 %	5±59,5 %
Procesas: Oras				
Įeinantys srautai				
P9	TCPP emisijos	P9,Oras	3,8±45 %	3,8±44,9 %
P9	TCPP emisijos	P9,Oras	1,5±45%	1,5±45 %
P9	TCPP emisijos	P9,Oras	3,9±45 %	3,9±44,9 %
P9	TCPP emisijos	P9,Oras	3,8±45 %	3,8±44,9 %
P9	TCPP emisijos	P9,Oras	32,3±45 %	32,3±34,3 %
P9	TCPP emisijos	P9,Oras	5±60 %	5±59,5 %
Išeinantys srautai				
P9	TCPP emisijos	P13,Dirvožemis	45,6±45 %	45,6±24,6 %
P9	TCPP emisijos	P10,Hidrosfera	4,8±45 %	4,8±43,5 %
Procesas: Hidrosfera				
Įeinantys srautai				
P10	TCPP emisijos	P10,Hidrosfera	3,8±45 %	3,8±45 %
P10	TCPP emisijos	P10,Hidrosfera	3,9±45 %	3,9±45 %
P10	TCPP emisijos	P10,Hidrosfera	1,5±45 %	1,5±45 %
P10	TCPP emisijos	P10,Hidrosfera	4,8±45 %	4,8±45 %
Išeinantys srautai				
P10	TCPP emisijos	P13,Dirvožemis	0,3±45 %	0,3±45 %
P10	TCPP gamtinėje aplinkoje		13,7±60 %	13.7±22,6 %

Procesas	Srauto pavadinimas	Srauto kryptis	Kiekis, t/metus	Perskaičiuotas kiekis, t/metus
Procesas: Dirvožemis				
Išėjantys srautai				
P13	TCPP emisijos	P13,Dirvožemis	45,6±45 %	45,6±24,6 %
P13	TCPP emisijos	P13,Dirvožemis	0,3±45 %	0,3±45 %
Išėjantys srautai				
P13	TCPP gamtinėje aplinkoje		45,9±60 %	45,9±24,4 %

3.5. Konceptualus diurono modelis

6-ame paveiksle pateikiamas sudarytas diurono srautų konceptualus modelis remiantis literatūros analize.



6 pav. Diurono srautų konceptualus modelis

Diuronas naudojamas dažų ir dangų, medienos apsaugoje, klijuose ir sandarikliuose gamyboje. Analizės ribos apima šių gaminių gamybą Europos Sąjungoje ir jų naudojimą analizuojamu laikotarpiu. Konceptualiajame modelyje emisijos nėra suskirstytos pagal gaminių gyvavimo ciklo etapus, tačiau išsamiau nagrinėjamas medžiagos pasiskirstymas tarp aplinkos terpių.

Diuronas iš visų gaminių gamybos ar naudojimo gali patekti arba į orą, arba gali būti išplaunamas lietaus ir patekti tiesiai į buitines nuotekas. Į orą patekęs diuronas kaupiasi ore. Vandenyje (pvz., lietaus ar buitinėse nuotekose) esantis diuronas gali likti hidrosferoje arba nusėsti į dirvožemį. Į dirvožemį patekęs diuronas gali migruoti ir į požeminį vandenį.

Parengtas konceptualus diurono srautų modelis padeda nusistatyti kokių duomenų reikės tolimesnei analizei bei leidžia suprasti jų trūkumą.

3.6. Diurono naudojamas kiekis Europoje

Kaip minėta literatūros apžvalgoje, diuronas yra registruota pagal REACH reglamentą medžiaga ir yra gaminama bei (arba) importuojama į Europos ekonominę erdvę kiekiais nuo ≥ 100 iki $< 1\,000$ tonų per metus. Medžiagų srautų analizėje priimamos kelios prielaidos:

- priimama, kad per metus yra importuojamas didžiausias galimas kiekis medžiagos;
- kadangi nėra viešai prieinamos išsamios statistinės informacijos apie tai, kiek diurono sunaudojama skirtingose taikymo srityse, medžiagų srautų analizėje vertinamos emisijos bendrai visiems produktams;
- priimama, kad visas importuotas diurono kiekis keliauja į statybų sektorių;
- dažniausiai diuronas naudojamas medžiagose, kurios naudojamas lauke.

3.7. Diurono emisijų į aplinką koeficientai

EBPO parengtame emisijų scenarijų dokumente [35] bei biocidų rizikos vertinimo metodikos papildyme [36] taip pat aprašomi galimi biocidų praradimų į aplinką etapai per visą jų gyvavimo ciklą: nuo žaliavų tvarkymo, maišymo ir galutinių produktų gamybos, iki naudojimo laikotarpio bei šalinimo. Dokumente išskiriamos emisijos biocidams pagal dalelių dydį, lakumą bei ar medžiagos yra organinės ar ne. Diuronui priskiriamos šios savybės:

- diuronas tiekiamas milteliais, kurie yra smulkesni nei $40\ \mu\text{m}$;
- diuronas laikomas mažo lakumo medžiaga;
- diuronas yra organinė medžiaga.

Šioje analizėje vertinami tik tie praradimo etapai, kurie prasideda nuo momento, kai į Europos Sąjungą yra importuojama medžiaga.

11 lentelė. Diurono emisijų koeficientai [34, 35]

Etapas / Naudojimas	I orą (%)	I vandenį (%)	I dirvožemį (%)	Pastabos
Produkto gamyba	0,001	0,051		-
Įrengimas statybvietėje (tepama voleliu)			0,03	Pateikiamas skaičius bendrai produktui bei vertinama, kad dažymo darbus atliks profesionalas
Naudojimas	0,05	$0,16 \times T_{\text{service}}$		Pagal 4.3 lentelę – pastatuose ir statybose gyvavimo laikas yra daugiau nei 10 metų [33]

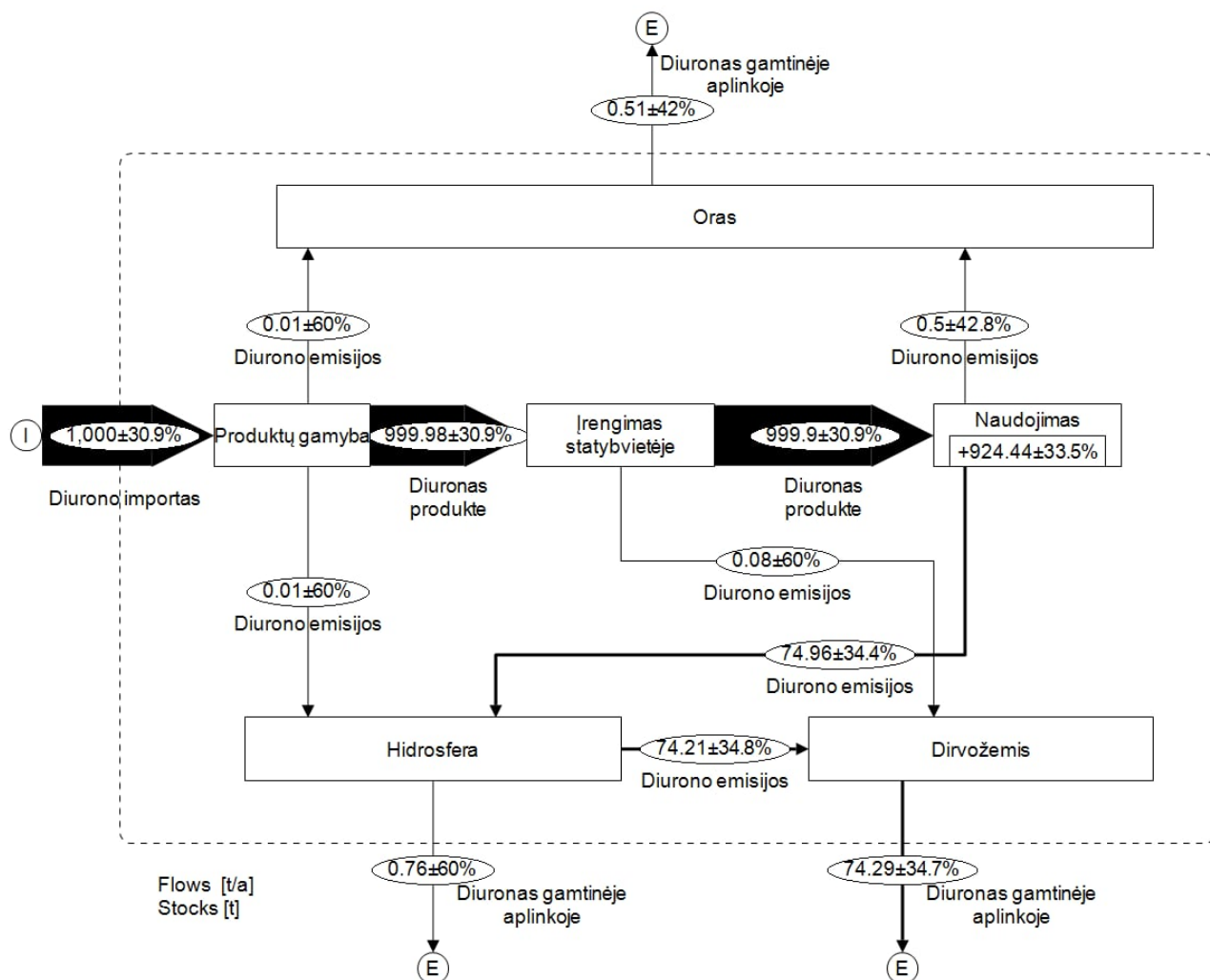
Remiantis PT10 grupės emisijų scenarijų dokumente [35] pateikta informacija, produktai, kurių sudėtyje yra diurono (10–25 %), dažniausiai naudojami kaip paruošti naudoti dažai ir yra tepami voleliu. Šie duomenys buvo gauti iš profesionalių dažytojų apklausos, kuri atskleidė, kad tokio tipo produktais dažniausiai dengiama vieną kartą, nepriklausomai nuo sezono, ir po dengimo nėra nuskalaujami.

Schoknecht ir Mathies [19] tyrime nustatyta, kad diuronas aktyviai išsiplauna lietaus metu – bendras išsiskyręs kiekis siekė apie 8–13 % nuo pradinio kiekio, ypač per pirmuosius mėnesius po jų

padengimo. Burkhardt ir kt. [15] tyrime, kuriame buvo vertinamas biocidų išsiskyrimas iš skirtingų fasado dangų realiomis oro sąlygomis, nustatyta, kad mažiausias diurono išplovimo lygis buvo pirmoje sistemoje (7,5 %), o didžiausias – ketvirtoje sistemoje (13,4 %). Tyrimas buvo atliktas modeliniame pastate Ciuriche (Šveicarija), kur keturi EPD skydai vienerius metus buvo veikiami natūraliomis aplinkos sąlygomis. Sistemos skyrėsi naudojamų tinkų ir dažų sudėtimi. Pirmojoje sistemoje skydas buvo padengtas standartiniu mineraliniu tinku su stiklo pluošto armavimo tinkleliu ir rinkoje naudojamais dažais, neturinčiais biocidų. Ketvirtoji sistema atitinka rinkoje įprastai naudojamą komercinę fasado dangą – ji sudaryta iš gamintojų pateikto tinko ir dažų, kurių sudėtyje yra biocidų. Vertinant abiejų sistemų analizės rezultatus, galima daryti išvadą, kad diurono išsiskyrimo kiekis į hidrosferą per pirmuosius metus svyruoja nuo 7,5 iki 13,4 %. Šios dvi reikšmės bus naudojamos tolesnėje diurono medžiagų srautų analizėje. Wicke, D. ir kt. straipsnyje [20] autoriai pažymėjo, kad tik apie 1 % viso išsiskyrusio diurono kiekio į hidrosferą pasiekia lietaus kanalizacijos tinklą, o likusi dalis – apie 99 % – infiltruoja į dirvožemį arba lieka ant paviršių. Rengiant medžiagų srautų analizę emisijos į hidrosferą naudojimo metu bus vertinamos pagal literatūros šaltiniuose aprašytus bandymus.

3.8. Diurono medžiagų srautų analizė

7-ame paveiksle pateikta diurono medžiagų srautų analizė Europai, kai diurono išsiskyrimo kiekis naudojimo metu per pirmus metus į hidrosferą yra 7,5 %.



7 pav. Diurono srautų analizė, kai diurono išsiskyrimo kiekis naudojimo metu per pirmus metus į hidrosferą yra 7,5 %

Per metus importuojama apie 1 000 tonų diurono, kuris įvertinta, kad visas sunaudojamas statybinių produktų gamybai. Emisijos produktų gamybos ar montavimo metu sudaro labai mažą dalį (kartu ~0,1 %). Tačiau eksploatacijos laikotarpiu diurono emisijos tampa reikšmingos: į orą patenka 0,51 t, į vandenį – 0,76 t, o iš vandens į dirvožemį (vėliau į gruntinius vandenis) – net 74,29 t/metus. Tai sudaro apie 7,56 % viso importuoto kiekio, todėl diurono naudojimas statybose gali būti reikšmingas aplinkos taršos šaltinis, ypač per sąlytį su lietaus vandeniu ir gruntu.

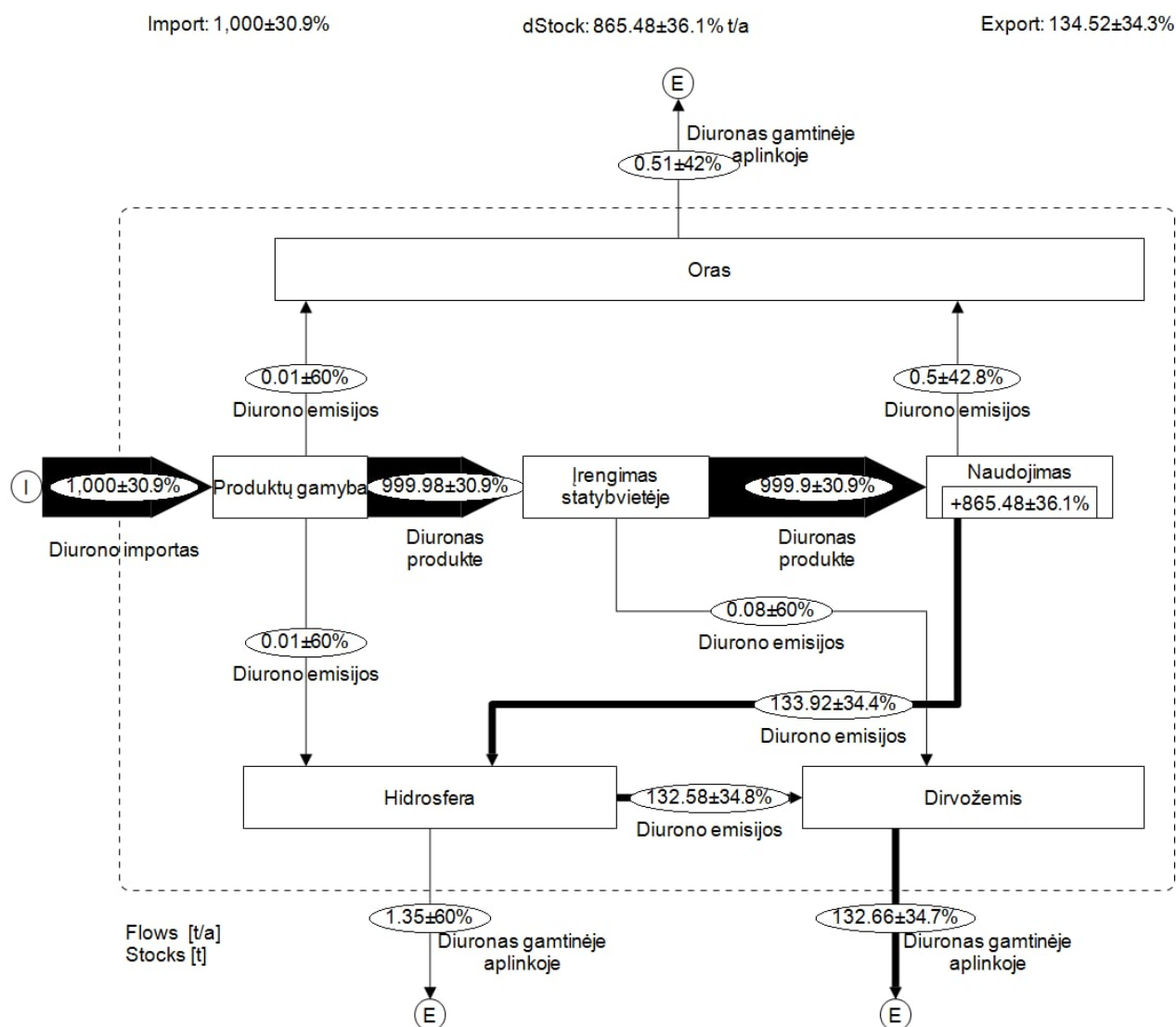
Kiekvienas srautas ir procesas bei jų kiekiai per metus (teoriniai ir perskaičiuoti vertinant neapibrėtumą) pateikti 12 lentelėje.

12 lentelė. Diurono srautų kiekiai, kai diurono išsiskyrimo kiekis naudojimo metu per pirmus metus į hidrosferą yra 7,5 % bei perskaičiuotos vertės

Procesas	Srauto pavadinimas	Srauto kryptis	Kiekis, t/metus	Perskaičiuotas kiekis, t/metus
Procesas: Produktų gamyba				
Įeinantys srautai				
P5	Diurono importas	P5, Produktų gamyba	1 000±45 %	1 000±30,9 %

Procesas	Srauto pavadinimas	Srauto kryptis	Kiekis, t/metus	Perskaičiuotas kiekis, t/metus
Išeinantys srautai				
P5	Diurono emisijos	P5, Produktų gamyba	0,01±60 %	0,01±60 %
P5	Diurono emisijos	P4, Hidrosfera	0,01±60 %	0,01±60 %
P5	Diuronas produkte	P7, Įrengimas statybvietėje	999,98±60 %	999,98±30,9 %
Procesas: Įrengimas statybvietėje				
Įeinantys srautai				
P7	Diuronas produkte	P7, Įrengimas statybvietėje	999,98±60 %	999,98±30,9 %
Išeinantys srautai				
P7	Diurono emisijos	P6, Dirvožemis	0,08±60%	0,08±60 %
P7	Diuronas produkte	P8, Naudojimas	999,91±60 %	999,91±30,9 %
Procesas: Naudojimas				
Įeinantys srautai				
P8	Diuronas produkte	P8, Naudojimas	999,91±60 %	999,91±30,9 %
Išeinantys srautai				
P8	Diurono emisijos	P3, Oras	0,5±60 %	0,5±42,8 %
P8	Diurono emisijos	P4, Hidrosfera	79,95±60 %	74,96±34,4 %
Procesas: Oras				
Įeinantys srautai				
P3	Diurono emisijos	P3, Oras	0,01±60 %	0,01±60 %
P3	Diurono emisijos	P3, Oras	0,5±60 %	0,5±60 %
Išeinantys srautai				
P3	Diuronas gamtinėje aplinkoje		0,51±60 %	0,51±42 %
Procesas: Hidrosfera				
Įeinantys srautai				
P4	Diurono emisijos	P4, Hidrosfera	0,01±60 %	0,01±60 %
P4	Diurono emisijos	P4, Hidrosfera	74,96±60 %	74,96±34,4 %
Išeinantys srautai				
P4	Diurono emisijos	P6, Dirvožemis	74,21±60 %	74,21±34,8 %
P4	Diuronas gamtinėje aplinkoje		0,76±60 %	0,76±60 %
Procesas: Dirvožemis				
Įeinantys srautai				
P6	Diurono emisijos	P6, Dirvožemis	0,08±60 %	0,08±60 %
P6	Diurono emisijos	P6, Dirvožemis	74,21±60 %	74,21±34,8 %
Išeinantys srautai				
P6	Diuronas gamtinėje aplinkoje		74,29±60 %	74,29±34,7 %

8-ame paveiksle pateikta diurono medžiagų srautų analizė Europai, kai diurono išsiskyrimo kiekis naudojimo metu per pirmus metus į hidrosferą yra 13,4 %.



8 pav. Diurono srautų analizė, kai diurono išsiskyrimo kiekis naudojimo metu per pirmus metus į hidrosferą yra 13,4 %

Eksplotacijos laikotarpiu į orą patenka 0,51 t, į vandenį – 1,35 t, o iš vandens į dirvožemį (vėliau į gruntinius vandenis) – net 132,66 t/metus. Tai sudaro apie 13,45 % viso importuoto kiekio.

Kiekvienas srautas ir procesas bei jų kiekiai per metus (teoriniai ir perskaičiuoti vertinant neapibrėtumą) pateikti 13 lentelėje.

13 lentelė. Diurono srautų kiekiai, kai diurono išsiskyrimo kiekis naudojimo metu per pirmus metus į hidrosferą yra 13,4 % bei perskaičiuotos vertės

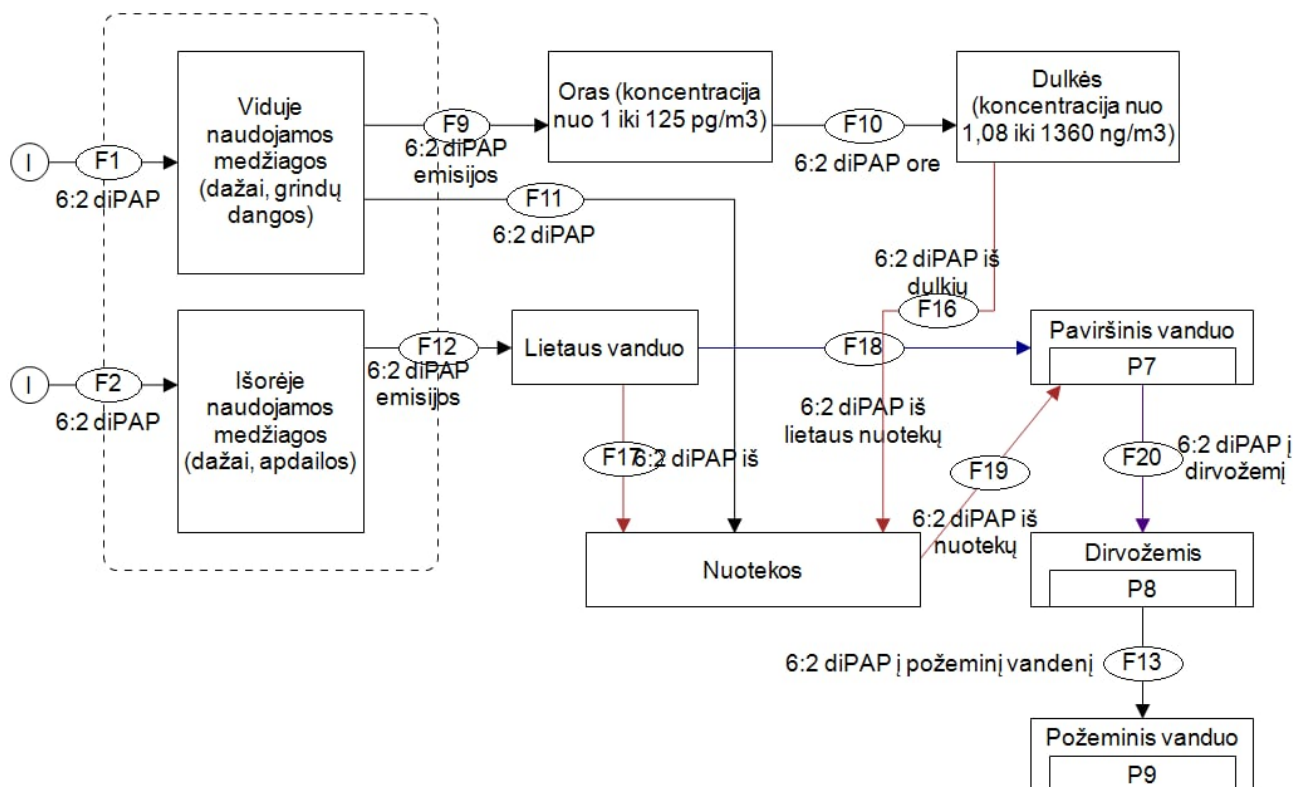
Procesas	Srauto pavadinimas	Srauto kryptis	Kiekis, t/metus	Perskaičiuotas kiekis, t/metus
Procesas: Produktų gamyba				
Įeinantys srautai				
P5	Diurono importas	P5, Produktų gamyba	$1\,000 \pm 45\%$	$1\,000 \pm 30,9\%$
Išeinantys srautai				
P5	Diurono emisijos	P5, Produktų gamyba	$0,01 \pm 60\%$	$0,01 \pm 60\%$
P5	Diurono emisijos	P4, Hidrosfera	$0,01 \pm 60\%$	$0,01 \pm 60\%$

Procesas	Srauto pavadinimas	Srauto kryptis	Kiekis, t/metus	Perskaičiuotas kiekis, t/metus
P5	Diuronas produkte	P7, Įrengimas statybvietyje	999,98±60 %	999,98±30,9 %
Procesas: Įrengimas statybvietyje				
Įeinantys srautai				
P7	Diuronas produkte	P7, Įrengimas statybvietyje	999,98±60 %	999,98±30,9 %
Išeinantys srautai				
P7	Diurono emisijos	P6, Dirvožemis	0,08±60 %	0,08±60 %
P7	Diuronas produkte	P8, Naudojimas	999,91±60 %	999,91±30,9 %
Procesas: Naudojimas				
Įeinantys srautai				
P8	Diuronas produkte	P8, Naudojimas	999,91±60 %	999,91±30,9 %
Išeinantys srautai				
P8	Diurono emisijos	P3, Oras	0,5±60 %	0,5±42,8 %
P8	Diurono emisijos	P4, Hidrosfera	133,92±60 %	133,92±34,4 %
Procesas: Oras				
Įeinantys srautai				
P3	Diurono emisijos	P3, Oras	0,01±60 %	0,01±60 %
P3	Diurono emisijos	P3, Oras	0,5±60 %	0,5±60 %
Išeinantys srautai				
P3	Diuronas gamtinėje aplinkoje		0,51±60 %	0,51±42 %
Procesas: Hidrosfera				
Įeinantys srautai				
P4	Diurono emisijos	P4, Hidrosfera	0,01±60 %	0,01±60 %
P4	Diurono emisijos	P4, Hidrosfera	133,92±60 %	133,92±34,4 %
Išeinantys srautai				
P4	Diurono emisijos	P6, Dirvožemis	132,58±60 %	132,58±34,8 %
P4	Diuronas gamtinėje aplinkoje		1,35±60 %	1,35±60 %
Procesas: Dirvožemis				
Įeinantys srautai				
P6	Diurono emisijos	P6, Dirvožemis	0,08±60 %	0,08±60 %
P6	Diurono emisijos	P6, Dirvožemis	132,58±60 %	132,58±34,8 %
Išeinantys srautai				
P6	Diuronas gamtinėje aplinkoje		132,66±60 %	132,66±34,7 %

3.9. Konceptualus 6:2 diPAP modelis

Šiuo metu nėra prieinamų tikslių duomenų apie 6:2 diPAP naudojimo kiekius Europoje, tiek bendrai, tiek konkrečiai statybų sektoriuje. Atlikus literatūros analizę nustatyta, kad ši medžiaga dažniausiai naudojama interjero ir eksterjero dažuose, grindų dangose bei kituose paviršiams atsparumą suteikiančiuose gaminiuose, tačiau konkrečių kiekybinių duomenų apie jos naudojimą ar emisijas šiuose gaminiuose nėra. Dėl šios priežasties šiame darbe buvo sudarytas tik konceptualus 6:2 diPAP srautų modelis, o pilna medžiagų srautų analizė nebuvo atlikta. Vis dėlto, remiantis turima

informacija, šiame tyrime išanalizuoti esami duomenys ir parengtas pagrindas, identifikuojant, kokių papildomų duomenų reikėtų, siekiant ateityje atlikti išsamią kiekybinę srautų analizę. 9-ame paveiksle pateikiamas sudarytas 6:2 diPAP srautų konceptualus modelis remiantis literatūros analize.



9 pav. 6:2 diPAP srautų konceptualus modelis

6:2 diPAP iš viduje naudojamų medžiagų gali patekti arba į orą, arba į buitines nuotekas (gamybos metu). 6:2 diPAP nusėdęs į dulkes gali patekti į nuotekas valymo metu. Išorėje naudojamos medžiagos gali būti išplaunamas lietaus ir patekti tiesiai į buitines nuotekas. Vandenyje (pvz., lietaus ar buitinėse nuotekose) esantis 6:2 diPAP gali likti hidrosferoje arba nusėsti į dirvožemį. Į dirvožemį patekęs 6:2 diPAP gali migruoti ir į požeminį vandenį.

3.10. 6:2 diPAP duomenys analizei ir jų trūkumas

3.10.1. 6:2 diPAP naudojimo kiekiai

6:2 diPAP aptinkamas dažuose, kur koncentracija svyruoja nuo 0,073 iki 58 $\mu\text{g/g}$ [24]. Grindų dangose medžiagos koncentracijos siekė 602 ng/g [2].

3.10.2. 6:2 diPAP aplinkos terpėse

6:2 diPAP aptikimas aplinkos terpėse ir galimos koncentracijos nurodomos 14 lentelėje.

14 lentelė. 6:2 diPAP koncentracijos įvairiose terpėse [2, 27, 28, 29]

Aplinkos terpė	Galimos koncentracijos	Numanomas diPAP šaltinis
Dulkėse	7,94–87,02 ng/g [2]	Grindų danga
Dulkėse	iki 183 ng/g [27]	Kiliminė danga, remonto metu naudotos medžiagos

Aplinkos terpė	Galimos koncentracijos	Numanomas diPAP šaltinis
Dulkėse	0,32–69,7 ng/g [27]	–
Dulkėse	53,9–1360 ng/g [28]	Grindų dangos
Dulkėse	iki 287 ng/g [29]	Statybiniai produktai, gesinimo putos
Dulkėse	iki 113 ng/g [29]	Statybiniai produktai
Dulkėse	1,08–67,4 ng/g (aptikta 11/11 vietų) [37]	Viešbučiuose
Ore	3,20–15,8 pg/m ³ [27]	Paviršiaus dangos, tekstilė
Ore	1,08–1,17 pg/m ³ [27]	Paviršiaus dangos, tekstilė
Ore	125 pg/m ³ [27]	Paviršiaus dangos, tekstilė
Ore	<1–6,7 pg/m ³ (aptikta 10/19 vietų) [37]	Viešbučiuose
Sąvartyno filtratas	<1,9–26,4 ng/L (aptikta 14/87 vietų) [37]	

Lyginant koncentraciją dulkėse ir ore, galime matyti, kad dulkėse 6:2 diPAP yra žymiai didesnė. Koncentracijos lietaus nuotekose ar nuotekose nėra aptariama literatūroje, tačiau būtų galima daryti išvadą, kad į nuotekas 6:2 diPAP gali patekti per dulkes.

Šiuo metu medžiagų srautų analizei trūksta kiekybinės informacijos apie:

- 6:2 diPAP naudojamą kiekį statybos sektoriuje;
- tikslų naudojimo paskirstymą tarp skirtingų gaminių;
- kiekybinių koeficientų, rodančių, kiek medžiagos išsiskiria įvairiais medžiagų gyvavimo laikotarpiais.

4. Cheminių medžiagų potenciali rizika

4.1. Medžiagų patvarumo kriterijai

Tam tikros cheminės medžiagos dėl savo savybių ilgai išlikti aplinkoje yra laikomos patvariomis (P) arba labai patvariomis (vP). Šių medžiagų identifikavimo kriterijai nustatyti REACH reglamento (EB) Nr. 1907/2006 XIII priede [38]. Vertinant patvarumą, pagrindinis rodiklis yra pusėjimo trukmė (DT₅₀), t. y. laikas, per kurį aplinkoje suskyla 50 % medžiagos. Medžiaga laikoma patvaria, jei jos pusėjimo trukmė jūros vandenyje viršija 60 dienų, arba gėlame arba upių žiočių vandenyje – 40 dienų, arba jūros nuosėdose – 180 dienų, gėlo ar upių žiočių vandens nuosėdose – 120 dienų, o dirvožemyje – daugiau kaip 120 dienų. Tuo tarpu labai patvaria medžiaga laikoma tada, kai pusėjimo trukmė vandenyje viršija 60 dienų, vandenyje ir nuosėdose – 180 dienų, taip pat dirvožemyje – daugiau kaip 180 dienų. Šie kriterijai yra plačiai taikomi cheminės rizikos vertinime ir padeda identifikuoti medžiagas, galinčias sukelti ilgalaikį poveikį aplinkai. Patvarių ir labai patvarių medžiagų rodikliai pateikti 15 lentelėje.

15 lentelė. Kriterijai medžiagoms, klasifikuojamoms kaip patvarios (P) arba labai patvarios (vP) [38]

Aplinkos terpė	Patvarios (P) medžiagos kriterijai – DT ₅₀	Labai patvarios (vP) medžiagos kriterijai – DT ₅₀
Jūros vanduo	>60 dienų	>60 dienų
Gėlas arba upių žiočių vanduo	>40 dienų	>60 dienų
Jūros nuosėdos	>180 dienų	>180 dienų
Gėlo arba upių žiočių vandens nuosėdos	>120 dienų	>180 dienų
Dirvožemis	>120 dienų	>180 dienų

Pagal REACH [38] cheminės medžiagos gali būti klasifikuojamos kaip PBT (patvarios, bioakumuliacinės ir toksiškos) arba vPvB (labai patvarios ir didelės bioakumuliacijos), jei atitinka visus atitinkamus kriterijus. Tokios medžiagos yra laikomos itin pavojingomis aplinkai ir gali būti įtrauktos į kandidatinių labai susirūpinimą keliančių medžiagų sąrašą. Vis dėlto, net jei medžiaga neatitinka visų trijų PBT ar vPvB kriterijų, tačiau, pavyzdžiui, pasižymi dideliu patvarumu apinkoje, ji vis tiek gali būti vertinama kaip pavojinga, ypač jei yra žinomas jos bioakumuliacijos potencialas ar toksinis poveikis. Tokiais atvejais taikomas atsargumo principas, o medžiaga gali būti svarstoma rizikos valdymo veiksams.

Veiklioji medžiaga tenkina tolumo pernešimo aplinkoje potencialo kriterijų, jei išlikimo aplinkoje savybės ir (arba) pavyzdiniai rezultatai rodo, kad veiklioji medžiaga gali būti pernešami aplinkoje dideliais atstumais oro, vandens organizmų ar migruojančių rūšių ir taip pat gali būti pernešama į priimančią aplinką nuo jos išleidimo šaltinių nutolusiose vietose. Veikliosios medžiagos, kuri gali būti pernešama oru dideliu atstumu, DT₅₀ ore trukmė turėtų būti ilgesnė nei dvi dienos [39].

4.1.1. TCPP patvarumas ir potenciali rizika

Pagal PBT vertinimą, TCPP gali būti laikomas atitinkančiu pirminius patvarumo kriterijus – kaip patvari arba potencialiai labai patvari medžiaga, remiantis galutine mineralizacija. Turima informacija apie bioakumuliaciją rodo, kad TCPP neatitinka bioakumuliuojamos ar labai

bioakumuliuojamos medžiagos kriterijų. Toksiškumo kriterijus taip pat nėra tenkinamas, nors jis artimiausiu metu turėtų būti peržiūrėtas [1].

16 lentelė. TCP P patvarumas įvairiose terpėse

Aplinkos terpė	TCP P – DT ₅₀	Patvarios (P) medžiagos kriterijai – DT ₅₀	Labai patvarios (vP) medžiagos kriterijai – DT ₅₀	TCP P statusas
Jūros vanduo	365 dienos [4] 25° temperatūroje	>60 dienų	>60 dienų	P/vP – patvari/labai patvari
Gėlas arba upių žiočių vanduo	365 dienos [4] 25° temperatūroje	>40 dienų	>60 dienų	vP – labai patvari
Jūros nuosėdos	365 dienos [40]	>180 dienų	>180 dienų	P/vP – patvari/labai patvari
Gėlo arba upių žiočių vandens nuosėdos	365 dienos [40]	>120 dienų	>180 dienų	vP – labai patvari
Dirvožemis	182 dienos [40]	>120 dienų	>180 dienų	vP – labai patvari
Ore (dujose)	0,36 dienos (8,6 h) [1]	>2 dienos	>2 dienos	-
Ore (dalelėse)	5–10 dienų [41]			reikšmingai migruoja per orą dalelėse

Atsižvelgiant į tai, kad TCP P pasižymi pavojingomis savybėmis, įskaitant toksiškumą vandens organizmams, galimą kancerogeniškumą ir poveikį reprodukcinei sistemai, bei tai, kad srautų analizė rodo reikšmingas jo emisijas į vandenį ir dirvožemį, šios medžiagos naudojimas statybos sektoriuje kelia pagrįstą aplinkosauginį susirūpinimą. Nors TCP P yra mažo lakumo, tyrimai rodo, kad jis gali migruoti ore prisijungęs prie dalelių, o dalelių fazėje jo pusėjimo trukmė siekia apie 10 dienų. Tokia migracija yra reikšminga, ypač uždaroje patalpose, kuriose naudojami TCP P turintys produktai (pvz., balduose ar PUR putas), nes tai gali lemti ilgesnį žmogaus poveikį per kvėpavimo takus. Be to, TCP P yra patvari medžiaga – vandenyje ir dirvožemyje jo pusėjimo trukmė viršija REACH reglamento nustatytus patvarumo kriterijus. Tai reiškia, kad medžiaga gali ilgai išlikti aplinkoje, o iš oro patekti į dirvožemį ir vandens sistemas. Toksiškų savybių, aplinkos patvarumo ir emisijų kombinacija rodo, kad TCP P naudojimas gali lemti ilgalaikį, sunkiai prognozuojamą ir valdomą poveikį aplinkai ir žmonių sveikatai, ypač jei nesiimama tinkamų rizikos valdymo priemonių.

4.1.2. Diurono patvarumas ir potenciali rizika

Dėl savo cheminės struktūros diuronas yra atsparus biologiniam skaidymui ir aplinkoje išlieka ilgą laiką. Ilgos pusėjimo trukmės rodo, kad diuronas yra potencialiai patvari arba labai patvari medžiaga pagal REACH reglamento XIII priedo kriterijus. Toliau pateiktoje lentelėje apibendrinami diurono patvarumo rodikliai aplinkos terpėse, remiantis literatūros šaltiniais.

17 lentelė. Diurono patvarumas įvairiose terpėse

Aplinkos terpė	Diurono – DT ₅₀	Patvarios (P) medžiagos kriterijai – DT ₅₀	Labai patvarios (vP) medžiagos kriterijai – DT ₅₀	Diurono statusas
Jūros vanduo	90 dienų [42]	>60 dienų	>60 dienų	P/vP – patvari/labai patvari

Aplinkos terpė	Diurono – DT ₅₀	Patvarios (P) medžiagos kriterijai – DT ₅₀	Labai patvarios (vP) medžiagos kriterijai – DT ₅₀	Diurono statusas
Gėlas arba upių žiočių vanduo	90 dienų [42]	>40 dienų	>60 dienų	vP – labai patvari
Jūros nuosėdos	200 dienos [42]	>180 dienų	>180 dienų	P/vP – patvari/labai patvari
Gėlo arba upių žiočių vandens nuosėdos	200 dienos [42]	>120 dienų	>180 dienų	vP – labai patvari
Dirvožemis	Nuo 90 iki 190 dienų [43]	>120 dienų	>180 dienų	Gali būti P/vP – patvari/labai patvari

Atsižvelgiant į diurono pavojingas savybes, didelį patvarumą bei reikšmingas emisijas, jo poveikis aplinkai gali kelti rimtą susirūpinimą. Medžiaga gali būti ilgai išliekanti dirvožemyje, vandenyje ir nuosėdose, o tai sudaro prielaidas jos kaupimuisi aplinkos terpėse. Medžiagų srautų analizė parodė, kad net ir esant ribotam naudojimui Europos Sąjungoje, diuronas pasklinda į aplinką, ypač per kontaktą su lietaus vandeniu. Derinant šiuos aspektus – toksiškumą, patvarumą ir paplitimą – galime daryti išvadą, kad diurono naudojimas statybose gali lemti ilgalaikį, sunkiai kontroliuojamą poveikį ekosistemoms, ypač vandens telkiniams ir dirvožemiui. Tai rodo būtinybę ne tik vertinti riziką, bet ir svarstyti taršos prevencijos priemones.

4.1.3. 6:2 diPAP patvarumas ir potenciali rizika

Koncentracijos aplinkos terpėse rodo, kad didžioji dalis 6:2 diPAP aptinkama vidaus patalpų dulkėse, taip pat – mažesniais kiekiais ore. Kadangi ši medžiaga priklauso PFAS grupei, kuri pasižymi dideliu patvarumu aplinkoje ir potencialu kauptis gyvuosiuose organizmuose, jos buvimas uždaroje erdvėje kelia pagrįstą susirūpinimą dėl žmonių sveikatos. Nors specifinių toksiškumo duomenų apie 6:2 diPAP dar trūksta, kiti PFAS junginiai siejami su kepenų pažeidimais, imunine ir reprodukcine disfunkcija, o 6:2 diPAP apibūdinamas kaip dirginanti, kenksminga sveikatai ir aplinkai medžiaga. Todėl reguliarius 6:2 diPAP poveikis per patalpų orą ir dulkes gali būti reikšmingas pavojus žmonių sveikatai, ypač jautrių gyventojų grupių (pvz., vaikų) atvejais.

4.2. Rizikos valdymo priemonės

Rizikos valdymo priemonės gali būti skirstomos į dvi pagrindines kategorijas: reglamentavimo priemonės, kurios nustato teisines medžiagų naudojimo, žymėjimo ar informacijos atskleidimo nuostatas, ir fizines arba technines priemones, kurios mažina teršalų išsiskyrimą praktiniame gaminių gamybos ar naudojimo metu.

4.2.1. Reglamentavimo priemonės

Informacija apie cheminių medžiagų – TCPP, diurono ir 6:2 diPAP – buvimą statybos produktų sudėtyje dažnai nėra viešai prieinama, todėl statybų sektoriaus atstovai neturi galimybės priimti sprendimų, pagrįstų skaidria ir prieinama informacija. Tai reiškia, kad egzistuoja spraga ne tik informacijos sraute, bet ir medžiagų atsekamume visame statybos sektoriaus tiekimo grandinės kontekste.

Siekiant sumažinti riziką aplinkai ir žmonių sveikatai, būtina griežtinti reikalavimus, susijusius su cheminių medžiagų sudėties atskleidimu statybos gaminiuose. Tai apima:

1. Įpareigojimą gamintojam atskleisti pavojingų medžiagų buvimą gaminiuose, net jei jos nėra patvirtintos kaip labai didelį susirūpinimą keliančios medžiagos:
 - techniniuose dokumentuose ar deklaracijose;
 - skaitmeniniuose produktų pasuose (angl. *Digital Product Passport*).
2. Teisinių sprendimų parengimą, kai būtų nustatytos ribos ar apribojimai dėl konkrečių medžiagų naudojimo:
 - pagal jų poveikį aplinkai ar žmonių sveikatai;
 - atsižvelgiant į medžiagų naudojimo sritis (viduje, lauke, arti vandens telkinių ar pan.).
3. Pavojingų medžiagų klasifikavimą ir ženklinimo reikalavimus, kurie užtikrintų tinkamą informavimą visoje tiekimo grandinėje:
 - pavojingų savybių nurodymas pagal CLP reglamentą;
 - atitinkamų piktogramų ir rizikos nurodymas.
4. Atliekų tvarkymo ir gyvavimo ciklo pabaigos reikalavimus, siekiant sumažinti pavojingų medžiagų patekimą į aplinką per statybines medžiagas:
 - pavojingų atliekų identifikavimas ir atskiras apdorojimas;
 - utilizavimo apribojimai, jeigu statybos produktuose yra pavojingos medžiagos.

4.2.2. Techninės ir fizinės priemonės

Kai medžiagų, tokių kaip TCP, diuronas ar 6:2 diPAP, naudojimo visiškai išvengti neįmanoma dėl jų specifinių techninių savybių, būtina taikyti fizines ar technologines rizikos mažinimo priemones, kurios padėtų valdyti jų emisijas į aplinką. Tai apima:

1. Architektūrinius sprendimus, ribojančius tiesioginio lietaus sąlytį su paviršiais:
 - tinkamas lietaus nuvedimo sistemos;
 - įvairius išsikišimai ar stogelius, saugančius fasadus nuo tiesioginio lietaus.
2. Paviršių apsaugos sistemas, mažinančias medžiagų išplovimą ar išsiskyrimą:
 - papildomas dangas ar sluoksnius, ribojančius tiesioginio lietaus poveikį.
3. Efektyvius vandens tvarkymo sprendimus, kurie mažina paviršinį nutekėjimą:
 - žaliuosius stogus;
 - vietines surinkimo ar filtravimo sistemas, mažinančias pavojingų medžiagų patekimą į aplinką.
4. Tinkamą medžiagų integraciją statybos sprendiniuose:
 - statybos produktų, kurių sudėtyje yra pavojingų medžiagų, montavimą ten, kur jie yra mažiau veikiamos atmosferos ar turi mažiau sąlyčio su žmogumi.

Tokie prevenciniai ir techniniai veiksmai yra būtini siekiant ne tik užtikrinti atitiktį aplinkosauginiams reikalavimams, bet ir prisidėti prie ilgalaikės poveikio mažinimo strategijos statybos sektoriuje.

Išvados

1. TCPP, diuronas ir 6:2 diPAP yra statybos produktuose naudojamos cheminės medžiagos, kurios dėl savo funkcinių savybių – atsparumo ugniai, mikroorganizmams ar vandeniui – užtikrina tam tikrus statybos produktams keliamus reikalavimus ir reikiamas savybes, tačiau kartu pasižymi aplinkai ir žmonių sveikatai pavojingomis savybėmis.
2. Remiantis turimais duomenimis buvo atlikta TCPP medžiagų srautų analizė, kuri parodė, kad didžiausios emisijos į orą pasireiškia PUR putų purškimo metu statybvietėje (32,3 t/metus) bei nustatė reikšmingą šios medžiagos kaupimąsi vandenyje (13,7 t/metus) ir dirvožemyje (45,9 t/metus). Analizė parodė, kad TCPP yra patvari medžiaga, kurios pusėjimo trukmė vandenyje ir dirvožemyje viršija REACH reglamento nustatytus kriterijus. Dėl ilgalaikio poveikio aplinkoje, toksiškumo ir reikšmingų emisijų, TCPP potencialiai kelia ilgalaikio poveikio riziką tiek aplinkai, tiek žmonių sveikatai.
3. Diurono atveju atlikta medžiagų srautų analizė parodė, kad didžiausios emisijos vyksta jau naudojimo laikotarpiu. Didžioji medžiagos dalis aplinkoje nusėda ir išlieka dirvožemyje (74,29 arba 132,66 t/metus). Taip pat nustatyta, kad diuronas gali būti patvarus arba labai patvarus dirvožemyje, o tai reiškia, kad ši medžiaga suyra labai lėtai. Be to, diuronas yra labai toksiškas vandens organizmams bei labai toksiškas vandens organizmams, su ilgalaikiais padariniais. Tai reiškia, kad net ir nedideli diurono kiekiai, pasiekę vandens telkinius, gali daryti reikšmingą žalą vandens ekosistemoms. Ilgas išlikimo laikas aplinkoje padidina tikimybę, kad medžiaga gali patekti į gruntinius vandenis.
4. 6:2 diPAP atveju, dėl duomenų trūkumo, parengtas tik conceptualus medžiagos srautų modelis, apibrėžiantis šios medžiagos galimus judėjimo kelius. 6:2 diPAP analizė atskleidė, kad ši medžiaga didžiausiais kiekiais aptinkama patalpų dulkėse, o tai rodo galimą ilgalaikį poveikį žmogaus sveikatai per įkvėpimą ar sąlytį, ypač uždaroje erdvėje, kur susidaro sąlygos nuolatiniam poveikiui.
5. Informacija apie cheminių medžiagų – TCPP, diurono ir 6:2 diPAP – buvimą statybos produktų sudėtyje dažnai nėra viešai prieinama, todėl vartotojai neturi galimybės priimti skaidria informacija grįstų sprendimų. Dėl to būtina griežtinti reikalavimus dėl cheminių medžiagų sudėties atskleidimo, ypač kai kalbama apie aplinkai pavojingus ar ilgai išliekančius junginius. Jei šių medžiagų naudojimas yra neišvengiamas dėl techninių funkcijų, svarbu apsvarstyti priemones, kurios sumažintų jų emisijas, pavyzdžiui, naudoti dangas ar technologinius sprendimus, neleidžiančius joms išsiplauti lietaus metu ar patekti į aplinką kitais gyvavimo ciklo etapais. Tokie prevenciniai veiksmai yra būtini siekiant valdyti riziką ir mažinti neigiamą poveikį žmonių sveikatai ir aplinkai.

Literatūros sąrašas

1. European Commission. European Union Risk Assessment Report: Tris(2-chloro-1-methylethyl) phosphate (TCPP). Liuksemburgas: Office for Official Publications of the European Communities, 2008. 365 p. ISBN 978-92-79-08352-5.
2. Occurrence of Substances of Concern in Baltic Sea Region Buildings, Construction Materials and Sites. NHC3 GoA2.1, Deliverable D.2.1. Ataskaita. Stokholmas: INTERREG Baltijos jūros programos projektas „NonHazCity 3“, 2024 m. birželis. 86 p.
3. COGNITIVE MARKET RESEARCH. TCPP Flame Retardant Market Report [interaktyvus] [žiūrėta 2025-03-28]. Prieiga per internetą: <https://www.cognitivemarketresearch.com/tcpp-flame-retardant-market-report>
4. ECHA. Brief Profile: TCPP [interaktyvus] [žiūrėta 2025-05-15]. Prieiga per internetą: <https://echa.europa.eu/brief-profile/-/briefprofile/100.033.766>
5. ECHA. Screening report: An assessment of whether the use of TCEP, TCPP and TDCP in articles should be restricted. Europos cheminių medžiagų agentūra (ECHA), 2018. 23 p. [žiūrėta 2025-05-15]. Prieiga per internetą: https://echa.europa.eu/documents/10162/13641/screening_report_tcep_tcpp_tdc_cp_en.pdf/e0960aa7-f703-499c-24ff-fba627060698
6. Danish Environmental Protection Agency. Substance Evaluation Conclusion and Evaluation Report for Reaction products of phosphoryl trichloride and 2-methyloxirane (EC No 807-935-0, formerly EC No 237-158-7). Ataskaita. Odensė: Danish EPA, 2023. 85 p. (Vertinanti valstybė: Danija).
7. Xie, Y. G., Wang, Z. Y., Xie, W. Q., Xiang, Z. Y., Cao, X. D., Hao, J. J., & Ding, G. H. (2024). Toxicity comparison and risk assessment of two chlorinated organophosphate flame retardants (TCEP and TCPP) on Polypedates megacephalus tadpoles. *Aquatic Toxicology*, 272 [žiūrėta 2025-03-20]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2024.106979>
8. Brandsma, S. H., Brits, M., de Boer, J., & Leonards, P. E. G. (2021). Chlorinated paraffins and tris (1-chloro-2-propyl) phosphate in spray polyurethane foams – A source for indoor exposure? *Journal of Hazardous Materials*, 416 [žiūrėta 2025-03-20]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125758>
9. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Chemical Review: PC Code 035505. Washington, 1983 [žiūrėta 2025-03-21]. Prieiga per internetą: https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/cleared_reviews/csr_PC-035505_1-Sep-83_016.pdf
10. 2012 m. gegužės 22 d. Europos Parlamento ir Tarybos reglamentas (ES) Nr. 528/2012 dėl biocidinių produktų tiekimo rinkai ir jų naudojimo. Tekstas svarbus EEE [interaktyvus] [žiūrėta 2025-03-22]. Prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/lt/TXT/?uri=CELEX:32012R0528>
11. ECHA. Biocidų veikliosios medžiagos [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-20]. Prieiga per internetą: <https://echa.europa.eu/lt/information-on-chemicals/biocidal-active-substances>
12. ECHA. Brief Profile: Diuron [interaktyvus] [žiūrėta 2025-03-28]. Prieiga per internetą: <https://echa.europa.eu/lt/brief-profile/-/briefprofile/100.005.778>
13. EUROPOS PARLAMENTAS ir TARYBA, 2013. 2013 m. rugpjūčio 12 d. Direktyva 2013/39/ES, kuria iš dalies keičiamos Direktyvos 2000/60/EB ir 2008/105/EB dėl prioritetinių

- medžiagų vandens politikos srityje [interaktyvus] [žiūrėta 2025-03-28]. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX:32013L0039>
14. SCHEER (Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks), 2022. Final Opinion on Draft Environmental Quality Standards for Priority Substances under the Water Framework Directive – Diuron. Brussels: European Commission [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-28]. Prieiga per internetą: https://health.ec.europa.eu/publications/scheer-scientific-opinion-draft-environmental-quality-standards-priority-substances-under-water-4_en
 15. Burkhardt, M., Zuleeg, S., Vonbank, R., Bester, K., Carmeliet, J., Boller, M., & Wangler, T. (2012). Leaching of biocides from façades under natural weather conditions. *Environmental Science & Technology*, 46(10), 5497–5503 [žiūrėta 2025-05-20]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1021/es2040009>
 16. Bollmann, U. E., Tang, C., Eriksson, E., Jönsson, K., Vollertsen, J., & Bester, K. (2014). Biocides in urban wastewater treatment plant influent at dry and wet weather: Concentrations, mass flows and possible sources. *Water Research*, 60 [žiūrėta 2025-05-18]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.04.014>
 17. Paijens, C., Bressy, A., Frère, B., & Moilleron, R. (2020). Biocide emissions from building materials during wet weather: identification of substances, mechanism of release and transfer to the aquatic environment. *Environmental Science and Pollution Research* (Vol. 27, Issue 4) [žiūrėta 2025-04-20]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06608-7>
 18. Burkhardt, M., Zuleeg, S., Vonbank, R., Schmid, P., Hean, S., Lamani, X., Bester, K., & Boller, M. (2011). Leaching of additives from construction materials to urban storm water runoff. *Water Science and Technology*, 63(9). [žiūrėta 2025-04-20]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.2166/wst.2011.128>
 19. Schoknecht, U., & Mathies, H. (2022). The Impact of Weather Conditions on Biocides in Paints. *Materials*, 15(20) [žiūrėta 2025-04-18]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.3390/ma15207368>
 20. Wicke, D., Tatis-Muvdi, R., Rouault, P., Zerbail-Van Baar, P., Dünnebier, U., Rohr, M., & Burkhardt, M. (2022). Emissions from Building Materials—A Threat to the Environment? *Water (Switzerland)*, 14(3) [žiūrėta 2025-05-20]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.3390/w14030303>
 21. Kohzadi, S., Müller, A., Osterlund, H., , Viklander, M. (2024). Building surface materials as potential sources of biocides: Insights from laboratory leaching investigations of different material types. *Chemosphere*. [žiūrėta 2025-05-20]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143741>
 22. ECHA. Perfluoroalkyl chemicals (PFAS): hot topics [interaktyvus] [žiūrėta 2025-03-28]. Prieiga per internetą: <https://echa.europa.eu/lt/hot-topics/perfluoroalkyl-chemicals-pfas>
 23. Interstate Technology & Regulatory Council (ITRC). *PFAS Technical and Regulatory Guidance – Section 4: Physical and Chemical Properties* [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-04]. Prieiga per internetą: <https://pfas-1.itrcweb.org/4-physical-and-chemical-properties>
 24. CAHUAS, L.; MUENSTERMAN, D. J.; KIM-FU, M. L.; REARDON, P. N.; TITALEY, I. A.; FIELD, J. A. Paints: A Source of Volatile PFAS in Air—Potential Implications for Inhalation Exposure. *Environmental Science & Technology*, 2022, t. 56, Nr. 23, p. 17070–17079 [žiūrėta 2025-04-15]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c04864>

25. EUROPEAN CHEMICALS AGENCY (ECHA). 6:2 diPAP – Substance Information. [interaktyvus] [žiūrėta 2025-06-03]. Prieiga per internetą: <https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.405.618>
26. ECHA. ANNEX XV RESTRICTION REPORT: Proposal for a Restriction – Per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs). Version 2, 2023-03-22. Helsinki: European Chemicals Agency, 2023. 211 p. [interaktyvus] [žiūrėta 2025-05-15]. Prieiga per internetą: <https://echa.europa.eu>
27. Yao, Y., Zhao, Y., Sun, H., Chang, S., Zhu, L., Alder, A. C., & Kannan, K. (2018). Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs) in Indoor Air and Dust from Homes and Various Microenvironments in China: Implications for Human Exposure. *Environmental Science and Technology*, 52(5) [žiūrėta 2025-05-15]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b04971>
28. Winkens, K., Giovanoulis, G., Koponen, J., Vestergren, R., Berger, U., Karvonen, A. M., Pekkanen, J., Kiviranta, H., & Cousins, I. T. (2018). Perfluoroalkyl acids and their precursors in floor dust of children's bedrooms – Implications for indoor exposure. *Environment International*, 119 [žiūrėta 2025-04-15]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.06.009>
29. Hall, S. M., Patton, S., Petreas, M., Zhang, S., Phillips, A. L., Hoffman, K., & Stapleton, H. M. (2020). Per- And Polyfluoroalkyl Substances in Dust Collected from Residential Homes and Fire Stations in North America. *Environmental Science and Technology*, 54(22) [žiūrėta 2025-05-17]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c04869>
30. Brunner, P. H., & Rechberger, H. (2016). Practical handbook of material flow analysis. In *Practical Handbook of Material Flow Analysis*. [žiūrėta 2025-05-15]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1007/bf02979426>
31. Hedbrant, J., & Sörme, L. (2001). Data Vagueness and Uncertainties in Urban Heavy-Metal Data Collection. *Water, Air, and Soil Pollution: Focus*, 1 [žiūrėta 2025-05-10]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1007/bf02979426>
32. Laner, D., Rechberger, H., & Astrup, T. (2015). Applying Fuzzy and Probabilistic Uncertainty Concepts to the Material Flow Analysis of Palladium in Austria. *Journal of Industrial Ecology*, 19(6) [žiūrėta 2025-05-10]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1111/jiec.12235>
33. European Commission. Commission Implementing Regulation (EU) 2024/2415 of 12 September 2024 imposing a definitive anti-dumping duty and definitively collecting the provisional duty imposed on imports of certain alkyl phosphate esters originating in the People's Republic of China. *Official Journal of the European Union*, L 241, 12 September 2024, p. 1–34 [žiūrėta 2025-05-07]. Prieiga per internetą: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2024/2415/oj/eng
34. TCPP kaina. *Raw Material Phosphate TCPP Flame Retardant for PU Foam Tris Chlorisopropyl* [interaktyvus] [žiūrėta 2025-05-05]. Prieiga per internetą: <https://czjunchi.en.made-in-china.com/product/ymhpWxPVYrv/China-Raw-Material-Phosphate-Tcpp-Flame-Retardant-for-PU-Foam-Tris-Chlorisopropyl.html>
35. Ekonominio bendradarbiavimo ir plėtros organizacija (EBPO). EMISSION SCENARIO DOCUMENT ON PLASTIC ADDITIVES, Number 3 [žiūrėta 2025-05-05]. Prieiga per internetą: https://www.oecd.org/en/publications/plastic-additives_9789264221291-en.html
36. INERIS. Supplement to the methodology for risk evaluation of biocides. Emission scenario document for biocides used as masonry preservatives. (product type 10). [žiūrėta 2025-05-05].

Prieiga per internetą: <https://echa.europa.eu/es/guidance-documents/guidance-on-biocides-legislation/emission-scenario-documents>

37. Ekonominio bendradarbiavimo ir plėtros organizacija (EBPO). Fact cards of major groups of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs). Paris: OECD, 2022 [žiūrėta 2025-05-24]. Prieiga per internetą: https://www.oecd.org/en/publications/fact-cards-of-major-groups-of-per-and-polyfluoroalkyl-substances-pfass_59e7ffc6-en.html
38. Europos Parlamentas ir Taryba. Reglamentas (EB) Nr. 1907/2006 dėl cheminių medžiagų registracijos, įvertinimo, autorizacijos ir apribojimų (REACH), su paskutiniais pakeitimais. XIII priedas: Patvarių, bioakumuliuojamų ir toksiškų medžiagų bei labai patvarių ir labai bioakumuliuojamų medžiagų identifikavimo kriterijai [žiūrėta 2025-05-17]. Prieiga per internetą: <https://reachonline.eu/reach/en/kw-guidance.html>
39. Europos Parlamentas ir Taryba. Reglamentas (EB) Nr. 1107/2009 dėl augalų apsaugos produktų pateikimo į rinką ir panaikinantį Tarybos direktyvas 79/117/EEB ir 91/414/EEB. 2009 m. spalio 21 d. Oficialusis leidinys, L 309, p. 1–50 [žiūrėta 2025-05-28]. Prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX:32009R1107>
40. CANADA. Environment and Climate Change Canada; Health Canada. Draft screening assessment report: Flame retardants – TDCPP and TCPP. Ottawa: Government of Canada, 2016
41. WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF HEALTH. TCPP summary: draft for stakeholder comment. Olympia: Washington State Department of Health, 2022 [žiūrėta 2025-05-20]. Prieiga per internetą: <https://doh.wa.gov/sites/default/files/legacy/Documents/4000/TCPPSummaryDraftstakeholdercomment.pdf>
42. EUROPEAN COMMISSION. Environmental Quality Standards (EQS) Substance Data Sheet: Diuron. Final version. Brussels: European Commission, 2005 [žiūrėta 2025-05-25] Prieiga per internetą: https://circabc.europa.eu/sd/a/25804286-f0d7-4b0a-a8e4-57e80d0205f8/13_Diuron_EQSdatasheet_150105.pdf
43. AUSTRALIAN AND NEW ZEALAND ENVIRONMENT AND CONSERVATION COUNCIL; AGRICULTURE AND RESOURCE MANAGEMENT COUNCIL OF AUSTRALIA AND NEW ZEALAND. *Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality: Diuron*. Canberra: ANZECC & ARMCANZ, 2000 [žiūrėta 2025-05-25]. Prieiga per internetą: <https://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines/guideline-values/default/water-quality-toxicants/toxicants/diuron-2000>