



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

APLINKOS APSAUGOS KATEDRA

**Vaida Brukštutė**

**KELIŲ PRIEŽIŪRAI NAUDOJAMŲ MEDŽIAGŲ  
ĮTAKOS AUGALIJAI VERTINIMAS**

**EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE ROAD MAINTENANCE  
SUBSTANCES ON THE VEGETATION**

Baigiamasis magistro darbas

Aplinkos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62404T104

Aplinkos apsaugos inžinerijos specializacija

Aplinkos inžinerijos mokslo kryptis

Vilnius, 2009

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

**Aplinkos inžinerijos** fakultetas

**Aplinkos apsaugos** katedra

ISBN

ISSN

Egz. sk. 2

Data 2009-05-25

**Aplinkos inžinerijos** studijų programos baigiamasis magistro darbas

Pavadinimas **Kelių priežiūrai naudojamų medžiagų įtakos augalijai vertinimas**

Autorius **Vaida Brukštutė**

Vadovas dr. **Agnė Kazlauskė**

**Kalba**

lietuvių

užsienio

## Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjamos kelių priežiūrai naudojamos medžiagos ir jų poveikis žoliniams augalams.

Baigiamasis magistro darbas susideda iš šešių skyrių.

Pirmojoje dalyje, apžvalginiame skyriuje, pateikiama informacija apie kelių priežiūrai naudojamą medžiagą ir jų poveikį kelio aplinkai.

Antrajame skyriuje aprašyta atliktų eksperimentinių tyrimų metodika.

Trečiame skyriuje - atliktas eksperimentas ir pateikiami kelių priežiūros medžiagų įtakos trims žolinių augalų rūšims tyrimų rezultatai. Eksperimentui buvo naudojama daugiausiai Lietuvoje žiemos metu kelių priežiūrai naudojamos medžiagos – techninis granuliuotas natrio chloridas (NaCl) ir kalcio chloridas (CaCl<sub>2</sub>), apdoroti geltonąja krauju druska. Kaip alternatyva šioms medžiagoms, tyrimams buvo pasirinkta organinė melasos pagrindu pagaminta medžiaga patentuotu Europoje „Safecote“ pavadinimu. Analizuotos trys žolinių augalų rūšys, dažniausiai naudojamos pakelių apželdinimui Lietuvoje, tiesiant naujus, rekonstruojant ar atnaujinant esamus automobilių kelius – daugiametė svidrė (*Lolium perenne L.*), tikrasis eraičinas (*Festuca pratensis Huds.*), pievinė miglė (*Poa pratensis L.*). Darbe pateikti kelių priežiūros medžiagų poveikio žolinės augalijos parametrams – antžeminės dalies aukščiui bei fitomasei bei dirvožemio pH, rezultatai.

Ketvirtajame skyriuje atliktas žolinių augalų augimo intensyvumo matematinis modeliavimas.

Išnagrinėjus literatūrą ir atlikus tyrimų rezultatų analizę, pateikiamos baigiamojo darbo išvados ir rekomendacijos.

Darbo apimtis – 89 p., 61 pav., 14 lent., 87 literatūros šaltiniai.

**Prasminiai žodžiai:** kelių priežiūra, melasa, druskos, žolinės augalijos rūšys

Vilnius Gediminas Technical University  
Faculty of Environmental Engineering  
Dept of Environmental Protection

ISBN                      ISSN  
Copies No. 2  
Date 2009-05-25

Final master's work of environmental engineering study's program

Title: Evaluation of the Influence of the Road Maintenance Substances on the Vegetation

Author Vaida Brukštutė ..... Academic supervisor dr. Agnė Kazlauskienė

Thesis language

Lithuanian

Foreign (English)

## Annotation

Master work research the influence of the road maintenance substances on the vegetation. Master's final work consists of six sections.

The introduction of the First Section provides the information about the influence of the road maintenance substances of the road environment.

The Second Section gives the description of the technique used in the accomplished experimental study.

The Third Section presents experimental findings about the effect road maintenance materials have on three species of graminaceous plants. Technical granular sodium chloride (NaCl) and calcium chloride (CaCl<sub>2</sub>) treated with potassium hexacyanoferrate, a road maintenance material most-widely applied in wintertime in Lithuania, was used for the experiment. As an alternative to it, an organic material obtained on the basis of molasses, patented under the name of *Safecote* in Europe, was selected for the experiment. Three species of graminaceous plants, most frequently used for roadside planting in Lithuania when building new and reconstructing or renovating the exiting motor roads, were analysed: perennial ryegrass (*Lolium perenne L.*), fescue-grass (*Festuca pratensis Huds.*), meadow-grass (*Poa pratensis L.*). The paper presents experimental findings about the effect the road maintenance materials have on soil pH and the parameters of graminaceous vegetation – the height of an above-ground part and a phytomass.

The Fourth Section presents mathematical modelling of the growth intensity of roadside grassy vegetation

The conclusions and recommendations were made after the literature review and the analysis of the research results.

The size of work: 89 pages, 61 figures, 14 tables, 87 source of literature.

**Keywords:** road maintenance, molasses, salt, graminaceous vegetation species

# TURINYS

1. KELIŲ PRIEŽIŪRAI NAUDOJAMOS MEDŽIAGOS IR JŲ POVEIKIS KELIO APLINKAI .....	11
1.1. Druskų naudojimas keliuose slidumui mažinti.....	11
1.2. Druskų migracija kelio aplinkoje .....	14
1.3. Druskingo dirvožemio poveikis augalams .....	14
1.4. Problemų, susijusių su druskų poveikiu aplinkai, sprendimai .....	19
1.5. Ledo ir sniego tirpinimo medžiaga „Safecote“.....	20
1.6. Kelių priežiūros medžiagų įtaka augalijai .....	25
2. KELIŲ PRIEŽŪROS MEDŽIAGŲ POVEIKIO ŽOLINIAMS AUGALAMS EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ METODIKOS.....	30
2.1. Žolinių augalų, augusių kelių priežiūros medžiagų mišiniu užterštame dirvožemyje, rodiklių tyrimo metodika .....	30
2.2. Žolinių augalų, augusių melasos pagrindu pagaminta medžiaga užterštame dirvožemyje, rodiklių tyrimo metodika .....	33
2.3. Žolinių augalų, augusių melasos pagrindu pagamintos medžiagos bei kalcio chlorido mišiniu užterštame dirvožemyje, rodiklių tyrimo metodika.....	34
2.4. Dirvožemio, užteršto melasos pagrindu pagaminta medžiaga, pH tyrimo metodika.....	34
3. ŽOLINIŲ AUGALŲ KELIŲ PRIEŽIŪROS MEDŽIAGOMIS UŽTERŠTAME DIRVOŽEMYJE AUGIMO TYRIMŲ REZULTATAI IR ANALIZĖ.....	36
3.1. Žolinių augalų, augusių kelių priežiūros medžiagų mišiniu užterštame dirvožemyje, rodikliai.....	36
3.2. Žolinių augalų, augusių melasos pagrindu pagaminta medžiaga užterštame dirvožemyje, rodikliai.....	43
3.3. Žolinių augalų, augusių melasos pagrindu pagamintos medžiagos bei kalcio chlorido mišiniu užterštame dirvožemyje, rodikliai .....	49
3.4. Dirvožemio, užteršto melasos pagrindu pagaminta medžiaga, pH tyrimų rezultatai ir analizė.....	54
4. ŽOLINIŲ AUGALŲ AUGIMO INTENSYVUMO MATEMATINIS MODELIAVIMAS ....	58
4.1. Trumpas Phoenics programos aprašymas .....	58
4.2. Modelis slidumą mažinančių medžiagų neigiamo poveikio aplinkai vertinimui .....	62
4.3. Žolinių augalų augimo intensyvumo matematinio modeliavimo metodika.....	63

4.4. Modeliavimo rezultatų analizė .....	65
5. IŠVADOS .....	76
6. REKOMENDACIJOS .....	78
LITERATŪROS SĄRAŠAS .....	79
PUBLIKACIJŲ SĄRAŠAS .....	88

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

<b>1.1 lentelė.</b> Rekomenduojamos „Safecote“ bei techninių druskų naudojimo proporcijos	22
<b>4.1 lentelė.</b> Tiriamųjų augalų antžeminės dalies aukščiai (cm)	64
<b>4.2 lentelė.</b> Sandaugos su koeficientu ( $\gamma \cdot t$ ) skaičiavimo rezultatai	67
<b>4.3 lentelė.</b> Išraiškos $\beta \cdot e^{-\gamma t}$ skaičiavimo rezultatai	67
<b>4.4 lentelė.</b> Analizinio sprendinio (F) skaičiavimo pagal pasirinktus koeficientus rezultatai	67
<b>4.5 lentelė.</b> Antžeminės dalies aukščio (cm) skaičiavimo rezultatai kontroliniams augalams	68
<b>4.6 lentelė.</b> Antžeminės dalies aukščio (cm) skaičiavimo rezultatai augalams, pasodintiems į 5 g/kg „Safecote“ užterštą dirvožemį	69
<b>4.7 lentelė.</b> Antžeminės dalies aukščio (cm) skaičiavimo rezultatai daugiametės svidrės kontroliniams augalams, kai $\alpha=2,0$ ; $\beta=6,5$ ; $\gamma=1,5$	69
<b>4.8 lentelė.</b> Antžeminės dalies aukščio (cm) skaičiavimo rezultatai daugiametės svidrės kontroliniams augalams, kai $\alpha=2,0$ ; $\beta=6,5$ ; $\gamma=1,5$	70
<b>4.9 lentelė.</b> Antžeminės dalies aukščio (cm) skaičiavimo rezultatai daugiametės svidrės augalams, pasodintiems 5 g/kg „Safecote“ užterštame dirvožemyje, kai $\alpha=0,8$ ; $\beta=6,7$ ; $\gamma=1,8$	70
<b>4.10 lentelė.</b> Antžeminės dalies aukščio (cm) skaičiavimo rezultatai tikrojo eraičino kontroliniams augalams, kai $\alpha=2,0$ ; $\beta=6,5$ ; $\gamma=1,5$	71
<b>4.11 lentelė.</b> Antžeminės dalies aukščio (cm) skaičiavimo rezultatai tikrojo eraičino augalams, pasodintiems 5 g/kg „Safecote“ užterštame dirvožemyje, kai $\alpha=0,8$ ; $\beta=6,7$ ; $\gamma=1,8$	72
<b>4.12 lentelė.</b> Antžeminės dalies aukščio (cm) skaičiavimo rezultatai pievinės miglės kontroliniams augalams, kai $\alpha = 2,0$ ; $\beta = 6,5$ ; $\gamma = 1,5$	72
<b>4.13 lentelė.</b> Antžeminės dalies aukščio (cm) skaičiavimo rezultatai pievinės miglės augalams, pasodintiems 5 g/kg „Safecote“ užterštame dirvožemyje, kai $\alpha=0,8$ ; $\beta=6,7$ ; $\gamma=1,8$	73

## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

<b>1.1 pav.</b> Sudėtingos eismo sąlygos žiemos metu (Safecote product... 2007)	12
<b>1.2 pav.</b> Natrio chlorido kristalo formos pavidalas (Treating the... 2006)	13
<b>1.3 pav.</b> Kelių priežiūrai naudojama druska sandelyje (Druskų saugykla... 2007)	14
<b>1.4 pav.</b> Druskų migravimo aplinkoje principinis modelis ir trajektorija nuo kelio (Blomqvist 1999)	15
<b>1.5 pav.</b> Užterštas druskomis sniegas ant augalų patenka tiesiogiai valant kelius bei gatves (Alb-donau-kreis... 2007)	17
<b>1.6 pav.</b> Kelių priežiūrai naudojamų medžiagų poveikis medžiams (Forest Service... 2007)	18
<b>1.7 pav.</b> Druskos pažeidimas spygliuočiams ir kaštono lapams (Forest Service... 2007)	19
<b>1.8 pav.</b> Korozijos veikimas, naudojant įvairius chloridų tirpalus ir „Safecote“	23
<b>1.9 pav.</b> Chloridų ir „Safecote“ 50 % tirpalų užšalimo laipsnis	23
<b>1.10 pav.</b> Chloridų ir „Safecote“ 25 % tirpalų užšalimo laipsnis	24
<b>1.11 pav.</b> Druskos ir „Safecote“ mišinys paskleidimo ant kelio metu (Safecote product... 2007)	24
<b>1.12 pav.</b> Užsienio šalyse naudojamos įvairios priemonės eismo saugumui užtikrinti (Safecote product... 2007)	29
<b>2.1 pav.</b> „Safecote“ – melasos pagrindu pagaminta medžiaga slidumui mažinti (Safecote product... 2007)	32
<b>2.2 pav.</b> Daugiametė svidrė(Daugemetė svidrė... 2007)	32
<b>2.3 pav.</b> Tikrasis eraičinas (Tikrasis eraičinas... 2007)	32
<b>2.4 pav.</b> Pievinė miglė (Pievinė miglė... 2007)	32
<b>3.1 pav.</b> Tiriamieji žoliniai augalai po VI tyrimo savaitį	37
<b>3.2 pav.</b> Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po II augimo savaitės	38
<b>3.3 pav.</b> Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po III augimo savaitės	38
<b>3.4 pav.</b> Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po IV augimo savaitės	39
<b>3.5 pav.</b> Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po V augimo savaitės	39
<b>3.6 pav.</b> Daugiametė svidrė po VI augimo savaitį	40
<b>3.7 pav.</b> Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po VI augimo savaitės	40
<b>3.8 pav.</b> Tikrasis eraičinas po VI augimo savaitį	41
<b>3.9 pav.</b> Pievinė miglė po VI augimo savaitį	41
<b>3.10 pav.</b> Daugiametės svidrės fitomasės kitimas kelių priežiūros medžiagomis užterštame dirvožemyje	42

<b>3.11 pav.</b> Tikrojo eraičino fitomasės kitimas kelių priežiūros medžiagomis užterštame dirvožemyje	43
<b>3.12 pav.</b> Pievinės miglės fitomasės kitimas kelių priežiūros medžiagomis užterštame dirvožemyje	43
<b>3.13 pav.</b> Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po II augimo savaitės	44
<b>3.14 pav.</b> Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po III augimo savaitės	45
<b>3.15 pav.</b> Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po IV augimo savaitės	45
<b>3.16 pav.</b> Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po V augimo savaitės	46
<b>3.17 pav.</b> Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po VI augimo savaitės	46
<b>3.18 pav.</b> Daugiametės svidrės antžeminės dalies aukštis po VI augimo savaitę	47
<b>3.19 pav.</b> Daugiametės svidrės fitomasės kitimas melasos pagrindu pagaminta medžiaga užterštame dirvožemyje	47
<b>3.20 pav.</b> Tikrojo eraičino antžeminės dalies aukštis po VI augimo savaitę	48
<b>3.21 pav.</b> Tikrojo eraičino fitomasės kitimas kitimas melasos pagrindu pagaminta medžiaga užterštame dirvožemyje	48
<b>3.22 pav.</b> Pievinės miglės antžeminės dalies aukštis po VI augimo savaitę	49
<b>3.23 pav.</b> Pievinės miglės fitomasės kitimas kitimas melasos pagrindu pagaminta medžiaga užterštame dirvožemyje	49
<b>3.24 pav.</b> Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po II augimo savaitės	50
<b>3.25 pav.</b> Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po III augimo savaitės	51
<b>3.26 pav.</b> Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po IV augimo savaitės	51
<b>3.27 pav.</b> Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po V augimo savaitės	52
<b>3.28 pav.</b> Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po VI augimo savaitės	52
<b>3.29 pav.</b> Daugiametės svidrės fitomasės kitimas „Safecote“ bei CaCl <sub>2</sub> užterštame dirvožemyje	53
<b>3.30 pav.</b> Tikrojo eraičino fitomasės kitimas „Safecote“ bei CaCl <sub>2</sub> užterštame dirvožemyje	54
<b>3.31 pav.</b> Pievinės miglės fitomasės kitimas „Safecote“ bei CaCl <sub>2</sub> užterštame dirvožemyje	54
<b>3.32 pav.</b> Dirvožemio, užteršto „Safecote“, kuriame augo daugiametė svidrė pH kaita	55
<b>3.33 pav.</b> Dirvožemio, užteršto „Safecote“, kuriame augo tikrasis eraičinas pH kaita	56
<b>3.34 pav.</b> Dirvožemio, užteršto „Safecote“, kuriame augo pievinė miglė pH kaita	56
<b>3.35 pav.</b> Dirvožemio, užteršto CaCl <sub>2</sub> , kuriame augo daugiametė svidrė pH kaita	57
<b>3.36 pav.</b> Dirvožemio, užteršto CaCl <sub>2</sub> , kuriame augo tikrasis eraičinas pH kaita	57
<b>3.37 pav.</b> Dirvožemio, užteršto CaCl <sub>2</sub> , kuriame augo pievinė miglė, pH kaita	58
<b>4.1 pav.</b> Phoenics'o veikimo principinė schema (Špakauskas ir Vaitiekūnas 2003)	62
<b>4.2 pav.</b> DPSIR principinė struktūra, naudojama analizuojant aplinkosaugos problemas,	

susijusias su druskų poveikiu augalijai (Blomqvist 2002)	63
<b>4.3 pav.</b> Daugiametės svidrės kontrolinių augalų antžeminės dalies aukštis	74
<b>4.4 pav.</b> Daugiametės svidrės augalų, pasėtų 5 g/kg „Safecote“ užterštame dirvožemyje, antžeminės dalies aukštis	74
<b>4.5 pav.</b> Tikrojo eraičino kontrolinių augalų antžeminės dalies aukštis	75
<b>4.6 pav.</b> Tikrojo eraičino augalų, pasėtų 5 g/kg „Safecote“ užterštame dirvožemyje, antžeminės dalies aukštis	75
<b>4.7 pav.</b> Pievinės miglės kontrolinių augalų antžeminės dalies aukštis	76
<b>4.8 pav.</b> Pievinės miglės augalų, pasėtų 5 g/kg „Safecote“ užterštame dirvožemyje, antžeminės dalies aukštis	76

## Problema

Kelių tinklo tankiu bei jo tobulumu Lietuva prilygsta aukšto plėtros lygio valstybėms. Žiemos sąlygomis keliai eksploatuojami daugiau nei penkis mėnesius per metus. Šaltuoju periodu Lietuvos keliuose išberiami tūkstančiai tonų slidumą šalinančių cheminių medžiagų (daugiausiai druskų). Plačiausiai mūsų šalyje naudojamas natrio chloridas (NaCl) ir kalcio chloridas (CaCl<sub>2</sub>), jų mišiniai bei šių druskų mišiniai su smėliu. Šių medžiagų paskleidimo normos priklauso nuo aplinkos oro sąlygų: aplinkos temperatūros, sniego dangos storio, kelio būklės, druskų barstymo metodo, barstomo ploto ir eismo intensyvumo (Балтренас, Казлаускаене 2005).

Barstant chloridus slidumo mažinimui bei valant kelius nuo sniego ir ledo, jie pirmiausiai patenka ant važiuojamosios kelio dalies bei jos kelkraščių ir tiesiogiai teršia kelio aplinką (sniego dangą, dirvožemį, paviršinius vandenį, augaliją). Galima ir netiesioginė aplinkos tarša, kai atmosferos krituliai chloridus išplauna iš kelio aplinkos dirvožemio į netoliese esančius paviršinius ir gruntinius vandenį bei kai chloridai iš dirvožemio ir vandens patenka į augalus (Sakshaug and Vaa 1995; Cornford and Thornes 1996). Pastebėta, kad be atodairos naudojama druska ir laistomi jos tirpalai neigiamai veikia ne tik gamtinę aplinką, tai pajunta net žmonės, gyvenantys toli nuo didžiųjų magistralių (Williams et al. 1999).

Dėl padidėjusio sūrumo vandenyje nukenčia jame gyvenantys gyvūnai (daugiausiai bestuburiai), augantys augalai, jais mintantys paukščiai ir varlės. Kartais vandens gyvūnai išnyksta ne dėl tiesioginio druskos poveikio. Augalų rūšių bei bestuburių išnykimas iš pelkių dėl druskos, įtakoja tam tikrų rūšių paukščių nykimą, mat sumažėja paukščių maisto atsargos (A Salt... 2005). Pelės, kiškiai ir elniai pažeidžia augalus žiemą. Šiuo metų laiku jie maitinasi trapiomis šakelėmis, medžių žievėmis bei lapais. Jei augalai pažeisti druskomis, tai kartu su maistu jos patenka į gyvūnų organizmą (Swanson and Rideout 1998). Augalai aplinkoje patiria daugelį stresų: druskų, sausros, sunkiųjų metalų, šalčio (Somerville and Dangl 2000; Zhu 2000; Zhu 2001; Somerville and Koornneef 2002; Yokoi et al. 2002; Zhang et al. 2004).

Chloridai taipogi sukelia automobilių bei gelžbetonių konstrukcijų koroziją, ardo gatvių ir kelių dangas. Slidumui mažinti skirtos druskos, nepaisant daugelio jų sukeltų neigiamų padarinių, naudojamos dėl jų pigumo (Kamaitis 2002).

Kelio dangos slidumui mažinti naudojamos druskos greitai užtikrina saugaus eismo sąlygas. Tačiau visos jos turi didesnę ar mažesnę neigiamą poveikį aplinkai.

Iškeltų klausimų yra daugiau nei atliktų mokslinių tyrimų. Kiekvienais metais prasidėjęs naujas žiemos sezonas kelia rūpesčius kelininkams, kurie siekia užtikrinti eismo saugumą, paskatina vis naujas diskusijas periodiniuose šalies leidiniuose apie techninių druskų vartojimo

padarinius, taipogi domina mokslininkus, kurie nuolat ieško efektyvių ir nekenksmingų aplinkai alternatyvių techninėms druskoms medžiagų.

### **Darbo aktualumas**

Lietuvoje kelių priežiūros druskų poveikis aplinkai yra tyrinėjamas epizodiškai. Lietuvoje vieni iš pirmųjų pavienių chloridų taršos tyrimų buvo atlikti 1996 metais VGTU Kelių katedroje, nustatant chloridų kiekį sniego dangoje šalia gatvių susikaupusiame sniege bei lietaus kanalizacijos vandenyje, prasidėjus sniego tirpimui. Siekiant nustatyti techninių druskų neigiamą poveikį kelio aplinkoje esančioms ekosistemoms, 2003-iais metais VGTU Aplinkos apsaugos katedroje buvo pradėti vykdyti druskų poveikio aplinkos komponentams tyrimai, kurie vykdomi iki šiol. Atlikti kelių priežiūrai naudojamų druskų įtakos titnaginių dumblių įvairovei tyrimai Verkių tvenkinyje bei Gineitiškių ežere.

Lietuvai esant pilnaverte Europos sąjungos nare, atsirado poreikis naudoti draugiškas aplinkai medžiagas. Todėl tikslinga iširti Lietuvos rinkoje pasirodžiusias naujos kartos slidumą mažinančias medžiagas ir jų poveikį kelio aplinkos komponentams.

**Darbo tikslas** – nustatyti ir įvertinti kelių priežiūrai naudojamų medžiagų įtaką augalijai bei dirvožemiui.

### **Darbo uždaviniai**

1. Atlikti, naujos kartos melasos pagrindu pagamintos slidumą mažinančios medžiagos poveikio žoliniams augalams eksperimentinius laboratorinius tyrimus.
2. Atlikti žolinių augalų augimo intensyvumo matematinį modeliavimą.
3. Remiantis tyrimų rezultatais ir analize, pateikti rekomendacijas apie „Safecote“ naudojimą Lietuvos keliuose.

### **Darbo naujumas**

Darbo naujumą sudarys eksperimentiniai laboratoriniai Lietuvoje tik pradedamos naudoti slidumą mažinančios medžiagos „Safecote“ įtakos kelio aplinkoje augančiai augalijai tyrimai. Jų pagrindu atliktas pakelės žolinių augalų augimo intensyvumo matematinis modeliavimas. Pateiktos rekomendacijos apie naujos kartos slidumą mažinančios medžiagos naudojimą Lietuvos keliuose.

### **Rezultatų aprobavimas**

Darbo rezultatus planuojama paskelbti 3-jose mokslinėse publikacijose: 1 mokslinį straipsnį – žurnale, įtrauktame į Mokslinės informacijos instituto (MII) duomenų bazės pagrindinį sąrašą (ISI Web of Science); 2 – kituose recenzuojamuose leidiniuose.

# 1. KELIŲ PRIEŽIŪRAI NAUDOJAMOS MEDŽIAGOS IR JŲ POVEIKIS KELIO APLINKAI

## 1.1. Druskų naudojimas keliuose slidumui mažinti

Atėjus žiemai vairuotojus pasitinka ir nepalankios oro sąlygos – dargana, ledas, rūkas, lietus ar sniegas. Kad kelio sąlygos būtų kuo geresnės, į pagalbą skuba kelininkai, kurie Lietuvos kelius ir gatves barsto druska. Druska yra tinkama šalinti sniegui nuo kelių, gatvių, įvažiavimų bei šaligatvių (International Society... 2005).



1.1 pav. Sudėtingos eismo sąlygos žiemos metu (Safecote product... 2007)

Saugaus automobilių eismo užtikrinimui žiemos sezono metu druska (dažniausiai natrio chloridas) yra barstoma ant kelių. Chloridai pirmiausiai patenka ant važiujamosios kelio dalies bei kelkraščių ir tiesiogiai teršia pakelėse esantį apsauginės zonos dirvožemį, neigiamai veikia augaliją. Be to, aplinka teršiama ir netiesiogiai, kai atmosferos krituliai ar polaidžio vanduo druskas išplauna iš dirvos į paviršinius ir gruntinius vandenis (Baltrėnas ir Kazlauskienė 2007).

Druskos pagal agregatinę būseną:

*k i e t o s:*

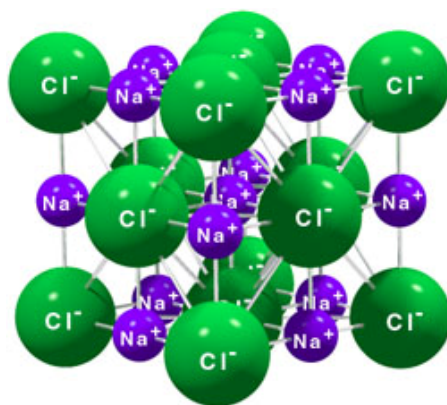
- 1) natrio chloridas (valgomoji, techninė, vakuuminė druska);
- 2) silvinito rūdos perdirbimo atliekos (silvinitinė druska);
- 3) kalcio chloridas;
- 4) fosfatuotas kalcio chloridas (kalcio chloridas su fosfatų priedu);
- 5) bišofitas (magnio chloridas);
- 6) nesusigulintis mišinys, sudarytas iš 85–88 % natrio chlorido (arba silvinitinės druskos) ir 12–15 % kalcio chlorido;
- 7) fosfatuoto kalcio chlorido bei kalcio chlorido ir bišofito mišinys;
- 8) karbamidas (šlapalas);
- 9) kalcio, magnio, kalio, natrio acetatai;
- 10) įvairūs aukščiau išvardintų medžiagų mišiniai ir kt.;

*s k y s t o s* – požeminės gamtinės, požeminės dirbtinės, ežerinės, pramoninės, pramonės atliekų medžiagos ir cheminių medžiagų tirpalai.

Skystos cheminės medžiagos, turinčios daugiau kaip 50 g/l ištirpusių druskų, vadinamos tirpalais.

*š l a p i a d r u s k a* – tai druska, kuri prieš ją išberiant, sudrėkinama vandeniu, druskos tirpalu ar kitų cheminių medžiagų tirpalu (Kurapka ir Laurinavičius 1999).

Natrio chloridas yra žinomas kaip halitas – akmens druska. 1.2 paveiksle pavaizduota kaip natrio ir chloro atomų glaudus ryšys suformuoja kubo pavidalo NaCl vienetą. Druskos kristalai imituoja šia struktūrą – jie suformuoti kaip nedideli kubai. Tuo galima įsitikinti ir pažiūrėjus į keletą druskos grūdelių per mikroskopą (What is... 2004).



**1.2 pav.** Natrio chlorido kristalo formos pavidalas (Treating the... 2006)

Pagrindinė masė iškasamos druskos yra sunaudojama keliams žiemą barstyti. Kodėl pasirinkta šiam reikalui druska? Pirmiausia druskos (natrio chlorido) panaudojimas žiemą kelių priežiūrai remiasi ta druskos vandeninių tirpalų savybe, kad pastarieji užšąla žemesnėje temperatūroje nei vanduo (UAB „Konkordija“...2007).

Saugiam automobilių eismui užtikrinti per žiemos sezoną šalyje sunaudojama apie 140 tūkst. tonų natrio chlorido druskos ar jos mišinių su smėliu, o vienam kvadratiniam pagrindinių gatvių ir kelių metrui tenka iki 25 kg. Pavyzdžiui, 2005 metais Vilniaus miesto gatvėse slidumui mažinti, Aplinkos ministerijos aplinkos apsaugos agentūros duomenimis, buvo išberta apie 16 tūkst. kubinių metrų smėlio bei natrio chlorido druskos mišinio ir daugiau kaip 14 tūkst. tonų druskos. Natrio chlorido druska mažiausiai kainuoja ir gana greitai ištirpdo sniegą bei ledą, tačiau pakelių, gatvių želdiniams ji - didelis priešas (Grikevičius ir Ulkienė 2006). Natrio chloridas labiau už kitas druskas neigiamai veikia augmeniją, teršia gruntinius vandenis (Lietuvos automobilių... 1999).



**1.3 pav.** Kelių priežiūrai naudojama druska sandelyje (Druskų saugykla... 2007)

Pastaraisiais metais Lietuvos kelių priežiūrai daugiausiai buvo naudojama baltarusiška druska, kuri yra pigesnė (tačiau turi daugiau aplinkai kenksmingų priemaišų) nei kitų ES šalių barstymui naudojamos druskos. Lietuvos automobilių kelių direkcijos duomenimis, vidutinė sutartinė perkamos druskos kaina įvairiose valstybės kelių priežiūros įmonėse 2006 m. vykusių pirkimo konkursų metu išaugo 50 % - iki 160 Lt už toną. Atsižvelgdamos į aplinkosaugininkų siūlymus, kelių priežiūros įmonės pradėjo bandyti aukštesnės kokybės, mažiau priemaišų turinčias keliuose barstomas druskas, kurios ekologiškesnės bei daro mažesnę neigiamą poveikį aplinkai (Lietuvos Respublikos... 2007). Visos druskos turi didesnę ar mažesnę neigiamą poveikį aplinkai.

**Aplinka:**

- Augalija (Johnson and Sucoff 1999; Grikevičius ir Ulkienė 2007);
- vandens telkiniai, gruntiniai vandenys (Cornford and Thornes 1996; Yakhnin et al. 1997);
- dirvožemis (Rhoades and Loveday 1990; Mačiulaitienė 2005);
- žmonės (Williams et al. 1999);
- gyvūnija (Swanson and Rideout 1998).

**Korozija:**

- automobilių metalinių dalių korozija (Rimkus 2003);
- gelžbetoninių konstrukcijų (tiltų, tunelių ir kt.) korozija;
- automobilių kelių konstrukcijų iš geležies lydinių korozija (Kamaitis 2002).

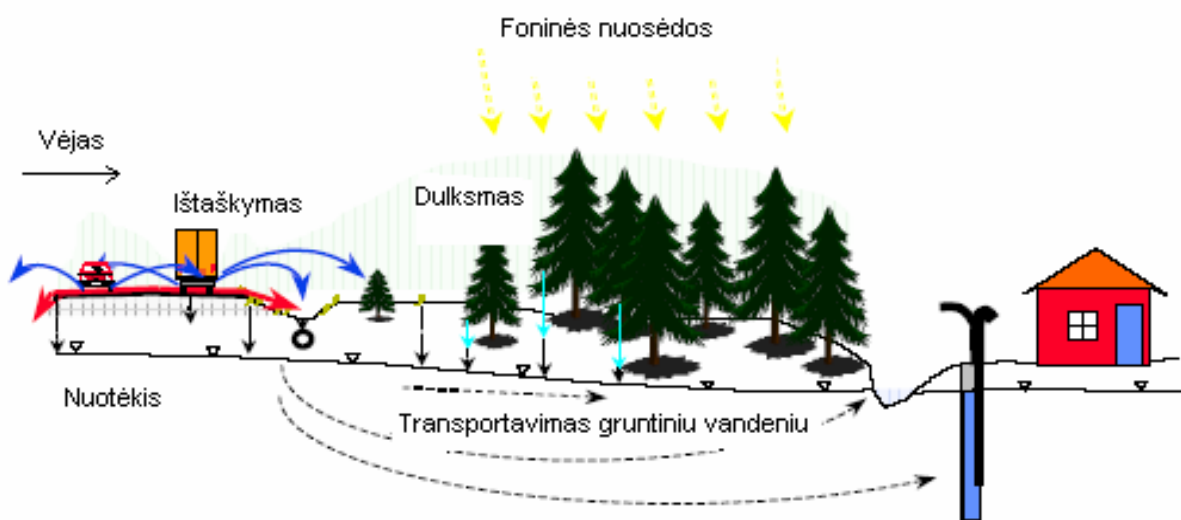
**Keliai:**

- asfaltbetonio dangos deformacijos, lukštenimasis;
- cemento – betoninių konstrukcijų irimas (Highway Salt... 2004).

## 1.2. Druskų migracija kelio aplinkoje

Nepageidaujamos druskų poveikio pasekmės aplinkai: kenkiama pakelių augmenijai, dirvožemiui, užteršiami paviršiniai ir gruntiniai vandenys, o dėl to atsiranda neigiamas poveikis gyvūnijai ir net žmonėms (Benbow and Merritt 2004; Mineau and Brownlee 2005).

Siekiant geriau suprasti druskų poveikį aplinkai, pateikiama druskų migracijos kelio aplinkoje schema.



1.4 pav. Druskų migravimo aplinkoje principinis modelis ir trajektorija nuo kelio (Blomqvist 1999)

Kaip matyti iš 1.4 paveikslo, žiemos metu naudojamos druskos, patekusios ant važiuojamosios kelio dalies, į kelio aplinką patenka per ištaškymo ir dulksmo procesus, kuriuos sustiprina vėjas. Per nuotėkį druskos patenka į paviršinius ir gruntinius vandenys, taip pasiekdamos augaliją.

Kadangi NaCl greitai tirpsta vandenyje, išbarstomos druskos kiekis ant kelio paviršiaus priklauso nuo eismo intensyvumo. Tam tikras druskos tirpalo kiekis nuteka kaip nuotėkis nuo kelio paviršiaus arba susikaupia drenažo sistemoje ir kelio griovyje arba tiesiog nuteka į kelio puses. Kita druskos tirpalo dalis ištaškoma nuo kelio dėl padangų judėjimo kelio paviršiumi arba iškeliami padangų protektorių ir dulksmas pagautas vėjo gali būti nuneštas toli nuo kelio (Blomqvist et al. 2001).

## 1.3. Druskingo dirvožemio poveikis augalams

Druskos, patekę į dirvožemį, įtakoja cheminę dirvožemio degradaciją, sutrikdo dirvožemio bioenergetinį režimą (Mačiulaitienė 2005). Grunto druskingumas yra didelis abiotinį stresą

sukeliantis veiksnys pasaulio mastu. Šiandien apie pusę iš visų drėkinamų žemių yra paveiktos druskingumo (Rhoades and Loveday 1990).

Augalų šaknų ląstelės susideda iš membranos, kuri leidžia vandeniui pratekėti, bet stabdo druskų patekimą. Kai dirvožemio druskų sudėtis didėja, tampa sunkiau vandeniui pratekėti per membraną į augalą. Be to, jei druskos lygis tampa pakankamai didelis, jis gali iš tiesų dehidratuoti šaknis arba sąlygoja „druskų sudegimą“ traukiant vandenį iš šaknų ląstelių.

Dujų apykaita vyksta pro smulkias lapo epidermyje esančias aneles, vadinamas žiotelėmis. Žiotelę sudaro pora izoliuotų ląstelių epidermyje, apsupdamos porą, tai leidžia vykti dujų pasikeitimo procesui tarp atmosferos ir lapo vidaus (Stašauskaitė 1995).

Tirpių druskų dideli lygiai gali sąlygoti dirvožemio struktūros pakitimus, atsirandančius suspaustame dirvožemyje, kuris yra problematiškas augalams. Kadangi druskos susiriša su dirvos moliu, dėl kurio jos didėja, suspaudimas pasitaiko dažniau molingame grunte nei smėlingame. Suspaudimas sąlygoja porų tarpų tarp grunto dalelių sumažėjimą, vandens ir deguonies filtravimąsi į gruntą sumažėjimą ir vandens drenavimąsi iš grunto. Dėl to yra veikiamas vandens ir deguonies tinkamumas augalų šaknims ir todėl veikiamas augalų augimas ir pasipriešinimas kenkėjams (Rhoades and Loveday 1990).

Gruntinis vanduo dažniausiai yra kalcio hidrokarbonatinio tipo. Tačiau per pastaruosius dešimt metų atskiruose taškuose stebimas ryškus chlorido jonų koncentracijos augimas ir sulfato jonų mažėjimas. Daugėja stebimųjų taškų, kuriuose vietoj buvusio kalcio hidrokarbonatinio–sulfatinio vandens, atsiranda kalcio hidrokarbonatinis–chloridinis. Šie procesai yra antropogeninės veiklos pasekmių požymiai. Sulfato jonų mažėjimas yra siejamas su paviršine tarša, o chlorido jonų didėjimas – su gatvių barstymu gabalinė arba skysta druska žiemos laikotarpiu (Požeminio vandens... 2003). Druska į gruntinius vandenis gali patekti ypač plokščiose landšafto vietose su nepalankiomis drenažo sąlygomis. Druska, besikaupdama gruntiniuose vandenyse, gali pasiekti dideles koncentracijas. Esant nuolatiniam kelių druskų patekimui į gruntinius vandenis kelių pakelių zonose, jie gali tapti netinkamais naudojimui. Yra nurodomos dvi priežastys, sąlygojančios gruntinių ir paviršinių vandens telkinių užterštumą druskomis – tai neteisingas ir aplaidus druskos sandėliavimas ir saugojimas bei perdėtas ir nesaikingas druskų naudojimas (Swedish National... 2005). Atlikus hidrocheminius tyrimus nustatyta, kad kiekvieną pavasarį požeminiuose vandenyse smarkiai šokteli natrio chlorido kiekis. Ne iš karto pavyko atsakyti, dėl ko kyla nuolatiniai ir pasikartojantys druskingumo antplūdžiai. Ištirpus gausiam sniegui, paviršiaus vanduo kartu su druskomis kliukia į šulinį. Taip nustatyta, kad ir karstinius vandenis sodriai pasūdo druska, išbarstyta toli nuo šių vietų – keliuose, miestuose, miestelių gatvėse (Thunqvist 2004).

Augalai kinta pagal jų gebėjimą augti druskingame dirvožemyje. Augalai, kurie auga tik druskingame dirvožemyje, yra vadinami „helofitiniai“ arba mėgstantys druską. Helofitiniai augalai paprastai randami priekrantės plotuose, druskingo vandens pelkėse ir sūrokose (vidutiniškai sūrioje) pelkėse. Kai kurių šių augalų (tokių kaip styginės žolės ir jūrinės avižos) išvaizda yra paprastai druskingo dirvožemio indikatorius.

Daugelis kraštovaizdžio augalų yra jautrūs sūriems dirvožemiams. Medžių ir krūmų sodinukai ir jauni transplantantai gali būti iš dalies jautrūs druskos buvimui. Druskų žalos sunkumas augalams priklauso nuo kiekio, buvimo laiko ir druskos koncentracijos. Plotai greta kelio, kur yra taikomos ledą tirpdančios druskos, gali druskos buvimą patirti nereguliariai žiemos audrų metu (Yokoi et al. 2002).

Yra tiesioginė priklausomybė tarp druskos buvimo kiekio ir trukmės bei potencialios žalos augalams. Didesnis druskos kiekis grunte – didesnis poveikis augalams (Appleton 2003).

Žala įvyksta, kai druska tampa nuosėdomis iš pusrslų ir tėkmės ant ramybės būsenoje esančių lapus numetančių augalų stiebų ir pumpurų ir ant visžalių augalų stiebų, pumpurų ir spyglių. Žala taip pat gali pasitaikyti, kai besaikis druskos kiekis kaupiasi šių augalų šaknų zonoje.

Tiek druskos purškimas, tiek dirvožemio druskos gali būti stiebų ir lapų sudarkymo, mažėjančio augimo ir netgi žūties priežastimi.

Druskos pusrslų pavojus yra labiausiai akivaizdus ties sunkiojo transporto greitkeliais, kur sunkvežimių eismo didelis greitis ir intensyvumas prisideda prie druskos pusrslų gretimiams augalams. Pažeidimas yra didžiausias vidutiniškai iki 18 m atstumu nuo kelio, nors jis kartais gali pasitaikyti ir daug toliau (pvz., pusrslų nuosėdos iškeltuose greitkeliuose) (International Society... 2005).



**1.5 pav.** Užterštas druskomis sniegas ant augalų patenka tiesiogiai valant kelius bei gatves  
(Alb-donau-kreis... 2007)

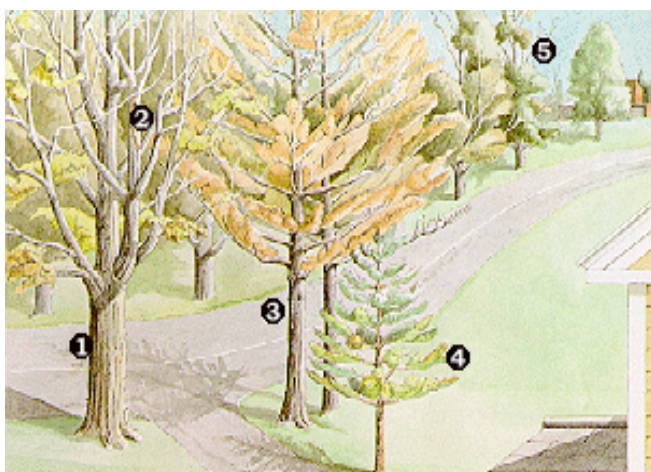
Kitas augalų pažeidimo šaltinis veikia palaipsniui dėl galimo didelio druskos lygio dirvožemyje kaupimosi. Šis kaupimasis vyksta šalia miesto gatvių, kelių ir šaligatvių, kai druskos nuotėkis nuplaunamas į dirvožemį ir kai sniegas su druskomis yra sustumiamas ant šaligatvių ir vejų (Johnson and Sucoff 1999).

Visžaliams medžiams druskos žala pirmiausiai pasireiškia spyglių parudavimu toje medžio pusėje, kuri yra arčiau kelio. Pradeda ruduoti spyglių galiukai ir plinta tolyn. Tęsiantis druskų poveikiui spygliai nukrenta pirma laiko ir šakos lieka plikos. Nukritus spygliams medžio fotosintezės galia sumažėja. Per keletą metų sulėtėja medžio augimas, dėl kurio medis nuvysta, pradeda džiūti ir nunyksta (Dobson 1991).

Druskų paveikti pumpurai lėčiau skleidžiasi arba visai neišsiskleidžia. Medžių jautrumui įtakos turi pumpurų dydis, pumpurų žvynų rūšis, šakelių ir žievės storis (Dobson 1991).

Druskų poveikis lapus numetantiems medžiams pasireiškia lapų žalios spalvos sumažėjimu, mažesniais lapais, nudegusiais lapų pakraščiais, retais vainikais su plonomis šakomis, ankstyvu lapų išblukimu ir nukritimu, lapijos retumu, mažu metinės rievės priaugimu.

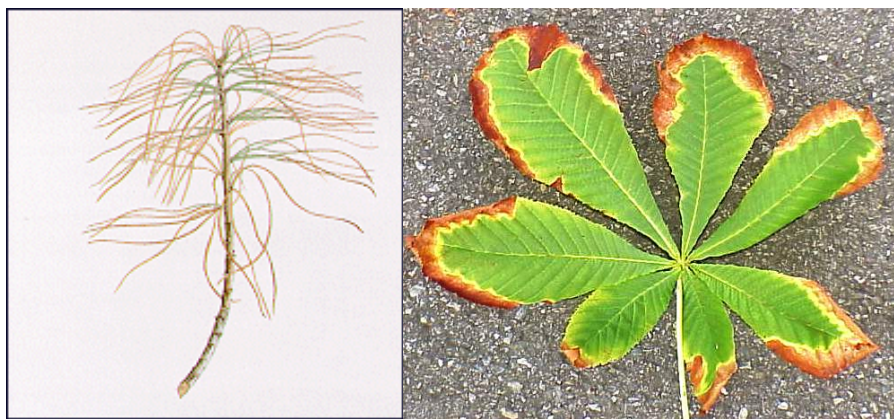
Druskos poveikis augalams labai kinta kasmet. Naudojamų druskų kiekis priklauso nuo šalimo smarkumo ir dažnio bei iškrintančio sniego kiekio. Vėjas ir oro temperatūra turi įtakos augalų pasisavinamam druskų kiekiui. Poveikis medžiams priklauso ir nuo šalimo bei tirpimo dažnio (Dirr 1976; Johnson and Sucoff 1999).



1. Subrendusi obelis auga per arti kelio
2. Kelkraščiuose augančių medžių nykimas sukelia eismo saugumo pavojų
3. Nesubrendusi pušis auga per arti kelio
4. Druskos pažeista pušis
5. Nudžiūvusi šaka yra druskos žalos pasekmė

**1.6 pav.** Kelių priežiūrai naudojamų medžiagų poveikis medžiams (Forest Service... 2007)

Druskos pūslai nuo kelio gali rimtai pažeisti medžius. Nykstančios kelkraščių medžių šakos yra pirminis druskos žalos ženklas (Forest Service... 2007).



**1.7 pav.** Druskos pažeidimas spygliuočiams ir kaštono lapams (Forest Service... 2007)

Tolygus spyglių rudavimas parodo druskos žalą. Sausas, trapus lapo kraštas taip pat dažnai yra sukeltas kelių priežiūrai naudojamų priemonių (Forest Service... 2007).

Druska užteršti medžiai yra jautresni vabzdžiams, patogenams, sausrai, vėjui, šalčiui. Žala augalams gali būti nustatyta augalams esantiems už 50 pėdų nuo smarkiai druskingų vietų. Galima nepastebėti žalos iki birželio mėnesio ar dar vėliau, kol staiga nepasirodo rudi lapų pakraščiai. Druska žaloja augalus dviem būdais: per orą pernešant purškiamus druskų tirpalus, ir per dirvožemį, kur druska nusėda dviem komponentais – natriu ir chloru, kurie sukelia augalams skirtingą neigiamą poveikį (Swedish National... 2005).

Medžiai pasisavina chlorido jonus iš dirvožemio anksti pavasarį. Jie patenka į medžių sulą, kaupiasi ūgliuose. Vėliau chloro jonai yra transportuojami į aktyviai augančių lapų pakraščius, sukeldami lapų nudegimus, banguotumą ir žūtį.

Tuo tarpu, natriis seka tuo pačiu keliu kaip ir medžio maistinės medžiagos, blokuoja magnio ir kalio pasisavinimą, kurie yra labai svarbūs chlorofilo gamybai. Dažniausiai pasitaikantis rezultatas yra kalio trūkumas, kuris gali kliudyti medžiui pasipriešinti sausrai ir ligoms (Dawson 2001).

Druska taip pat gali sąlygoti fiziologinį drėgmės trūkumą, ji keičia dirvožemio chemines savybes, paveikia maistinių medžiagų ir pH lygį (Mačiulaitienė 2005).

Druskos žala spygliuočiams medžiams labiausiai pastebima pavasarį. Druskos paėmimas iš dirvožemio sąlygoja mėlynai žalią spyglių atspalvį. Numetantys lapus medžiai gali turėti į šluotą panašias šakeles šakų galuose. Tai reakcija į druskų sunaikintus paskutinius pumpurus. Kiti požymiai būna: neišsiskleidę pumpurai, šakelių sunykimas, reti, skurdūs ir geltoni lapai, lapų nudegimas. Lapų nudegimas dažniausiai dominuoja toje medžio pusėje, kuri gauna daugiau saulės spindulių, yra labiau veikiamą vėjo ir kelio taršos. Mažai tikėtina, kad medžiai žiemos laikotarpiu (esantys ramybės būsenoje) paima druską, todėl tokiu atveju didžiausia žala gali būti daroma ankstyvą lapkričio mėnesį, arba ankstyvą kovą, kai dėl iškritusio didelio kiekio sniego

reikia barstyti kelius druska. Jauniems medžiams druskos neigiamas poveikis yra didesnis nei subrendusiems, nes jie turi mažiau šaknų (Dawson 2001).

#### **1.4. Problemų, susijusių su druskų poveikiu aplinkai, sprendimai**

Problemų, susijusių su druskų daroma žala medžiams, sprendimas: užteršto druska sniego nukasimas, geresnio drenažo įrengimas, sniego užtvarų statymas, sodinimams naudojamos teritorijos pakėlimas, medžių, atsparių druskoms, sodinimas (Dawson 2001).

Šviežias sniegas yra gražus ir santykinai švarus. Tačiau per trumpą laiką sniego krūvos tampa pilkos ir purvinos miesto plotuose, iš dalies išilgai kelkraščių. Druskos, ore esantys teršalai, gatvių purvas kaupiasi sniego krūvose. Kai sniego krūvos tirpsta, jos išlaisvina daug teršalų į upes, cinką, varį, šviną ir angliavandenilius bei chloridus (Swedish National... 2005).

Tobulinant barstymo technologijas, pavyzdžiui, uždejus ribotuvus, ant pakele želdinių pateks gerokai mažesni druskų kiekiai. Žiemą miesto gatvėse neretai galima išvysti prie medžių ir krūmų, ant vejų ir gėlynų į krūvas sumestą nuvalytą nešvarų sniegą ar ledo luitus, kurie čia pat ir paliekami ištirpti. Dėl tokio aplaidumo kenčia aplinka – sniego tirpsmo vanduo patenka ant augalų šaknų ir į vandens telkinius. Todėl sniegas turi būti išvežamas ir paliekamas ištirpti tik tam tikslui numatytose vietose. Barstyti skirto smėlio ir druskos mišinio jokia būdu negalima laikyti po medžiais, krūmais, ant vejų ir gėlynų. Jo vieta tik dėžėse-konteineriuose.

Saugant žaliąjį miestų veidą prie gatvių ir kelių, patariama sodinti atsparesnių druskų (ne tik natrio chlorido) poveikiui rūšių medžius ir krūmus – svyruoklinius gluosnius, paprastąsias vinkšnas, baltažiedes robinijas, kanadines tuopas, raudonlapes sedulas, paprastuosius ligustrus, totorinius sausmedžius, kalninius serbentus ir kita. Nors druskai tolerantiškos rūšys egzistuoja, jų nėra daug. Kai tolerantiškos rūšys yra sodinamos, atsiranda kelios galimybės derinti medžių rūšis su dirvožemio charakteristikomis. Rizika, kad pavienės ligos ar vabzdžiai kenkėjai sunaikins didžiąją dalį medžių, sumažėja (Appleton 2003).

Rūšys nėra visiškai tolerantiškos druskos žalai; netgi druskai tolerantiški medžiai turi druskos kiekio ribą, kurią gali priimti prieš nusilpdami ir tapdami pažeidžiami kitų veiksmų (Yokoi et al. 2002).

Kitos priemonės mažinančios druskų žalą:

- Dirvožemio struktūros, drenažo ir drėgmės išlaikymo gerinimas.
- Druskai jautrių augalų sodinimas įkalnėse ar bermose, kur druskingas vanduo neprasisunks ir nesikaups. Jautrių augalų sodinimas mažiausiai 15–18 m atstumu nuo kelio, kur yra naudojamos kelių priežiūros druskos.

- Abrazyvių medžiagų, tokių kaip: šlako, pelenų ir smėlio, naudojimas vietoj ledą tirpdančių druskų.
- Aplinkai draugiškų slidumą mažinančių medžiagų naudojimas, pvz.: melasos pagrindu pagaminta medžiaga (Appleton 2003).

### 1.5. Ledo ir sniego tirpinimo medžiaga „Safecote“

Pastaraisiais metais mūsų šalyje iš cheminių medžiagų, tirpinančių nuo kelių dangų sniegą (ledą), plačiai naudojamos techninės druskos (chloridai).

Tam, kad būtų naudojama kuo mažiau chloridų ir siekiant sumažinti jų neigiamą įtaką gamtai bei aplinkai yra siūlomas naujas, patentuotas produktas „**Safecote**“.

„**Safecote**“ – antrinis žemės ūkio produktas, gaunamas iš cukraus pramonės atliekų, kitaip vadinamas melasa. Patentuotas šios medžiagos pavadinimas Europoje yra „Safecote“. Jungtinėse Amerikos Valstijose šio produkto pavadinimas – „Geo-Melt“. Šios organinės medžiagos sudėtyje yra mineralinių medžiagų – kalcio, fosforo, sieros, chlorido, sulfato, potašo, sodos ir kt. Medžiaga yra tamsiai rudos spalvos, skysta, gali būti maišoma su visomis techninėmis kelių priežiūros druskomis, jų tirpalais, rečiau naudojama viena (Safecote product... 2007).

#### *Trumpa istorija*

Technologija išrasta 1990 metų pradžioje JAV, yra patentuota su išimtinė teise naudoti patentą visoje Europoje, Rusijoje ir Rytų Europos valstybėse. Tiriamieji darbai atlikti Didžiosios Britanijos TRL&Capcis tyrimų laboratorijose 1999–2002 metais. 2002 m. produktas pirmą kartą pristatytas Didžiosios Britanijos rinkoje. Gauti teigiami rezultatai ir atsiliepimai iš vartotojų. Medžiaga sėkmingai išbandyta Rytų Europoje 2004 metais. Ilgiausiai vartojama JAV ir Kanadoje – 10 metų, D. Britanijoje – 5 metai. Europos šalyse (Vokietija, Šveicarija, Slovėnija, Norvegija, Švedija, Lenkija, Vengrija, Airija, Austrija, Estija) naudojama 2–3 metai (Safecote product 2007).

Lietuvoje, Vilniaus mieste, minėtos medžiagos pirmieji bandymai ją naudoti gatvių slidumui mažinti pradėti 2005/2006 m. žiemos sezono metu. Šaltuoju 2006/2007 m. periodu Vilniaus mieste „Safecote“ buvo sunaudota 18 tonų. Vilniaus miesto gatves su šia medžiaga prižiūri UAB „Grinda“.

Gamintojo duomenimis, siūloma medžiaga pritaikyta naudoti žiemą, esant žemoms temperatūroms, padeda tolygiai ant kelio pasiskirstyti druskai ir pasižymi labai geromis antikorozinėmis savybėmis. Į techninę druską įmaišius melasos pagrindu pagamintos medžiagos, ženkliai sumažėja plieno ir aliuminio korozija, palyginus su korozija, kai naudojamos tik

techninės druskos. „Safecote“ turi dvejopą poveikį ledui – nutirpdo jį, padeda atšokti nuo kelio paviršiaus ir neleidžia susidaryti naujam. Ši medžiaga biologiškai susiskaido. Rekomenduojama ją naudoti įvairiomis proporcijomis kaip priedą į įvairias technines druskas (NaCl, CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>) arba jų tirpalus (1.1 lentelė) (Burtwell 2004).

**1.1 lentelė.** Rekomenduojamos „Safecote“ bei techninių druskų naudojimo proporcijos

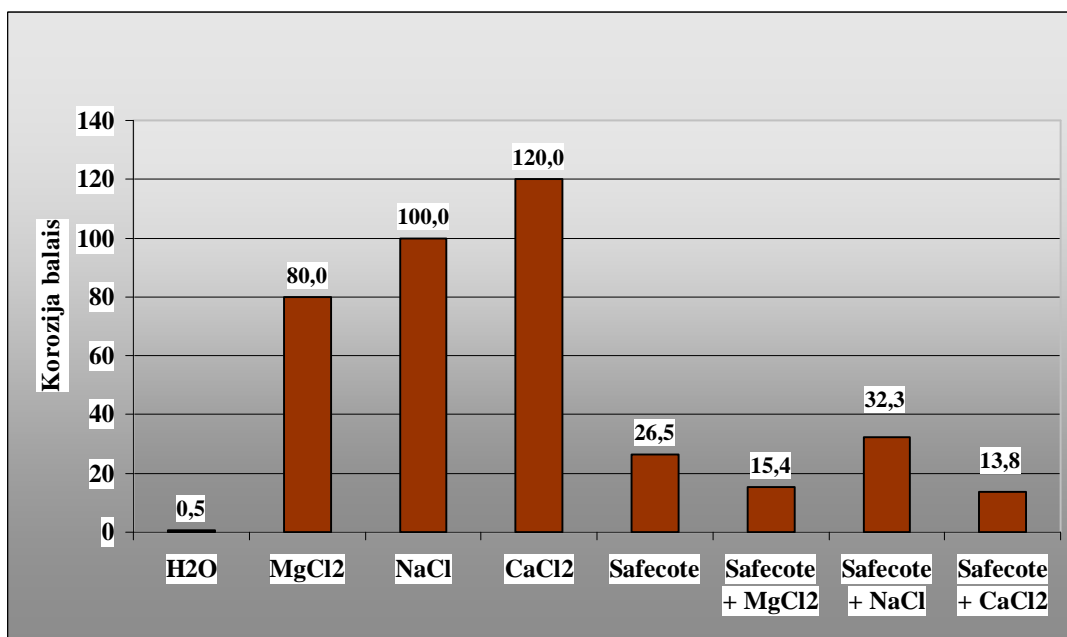
<i>„Safecote“: NaCl (23 % druskos tirpalas)</i>	<i>Identifikavimas</i>	<i>Užšalimo taškas /°C</i>
10:90	NaCl 90	-19,1
20:80	NaCl 80	-30,8
30:70	NaCl 70	-32,3
40:60	NaCl 60	-37,1
50:50	NaCl 50	-40,4
<i>„Safecote“: MgCl<sub>2</sub> (20 % MgCl<sub>2</sub> tirpalas)</i>	<i>Identifikavimas</i>	<i>Užšalimo taškas /°C</i>
10:90	MgCl <sub>2</sub> 90	-20,3
25:75	MgCl <sub>2</sub> 75	-24,2
50:50	MgCl <sub>2</sub> 50	-30,6
75:25	MgCl <sub>2</sub> 25	-45,3
90:10	MgCl <sub>2</sub> 10	Nesušalo net iki -72,5 C
<i>„Safecote“: CaCl<sub>2</sub> (20 % CaCl<sub>2</sub> tirpalas)</i>	<i>Identifikavimas</i>	<i>Užšalimo taškas /°C</i>
10:90	CaCl <sub>2</sub> 90	-24,3
25:75	CaCl <sub>2</sub> 75	-26,1
50:50	CaCl <sub>2</sub> 50	-30,4
75:25	CaCl <sub>2</sub> 25	-46,9

Pateikti pavyzdžiai (1.1 lentelė) iki nustatyto užšalimo laipsnio išlaikė savo skystą pavidalą, tik atsižvelgiant į temperatūros žemėjimą tapo klampesni. Gryna „Safecote“ buvo išbandyta prie -72°C ir pagal stebėjimų rezultatus, nebuvo sušalusi, išlaikė savo ankstesnę skystą būseną. „Safecote“ klampumas didėja, žemėjant temperatūrai.

„Safecote“ ir natrio chlorido druskos mišinys gali būti naudojamas prieš apledėjimą – slidumo prevencijai. Taipogi minėta medžiaga gali būti naudojama ir vasaros sezono metu dulketumo mažinimui miestuose, įterpiant ją į gatvėms laistyti skirtą vandenį. Pateiktos medžiagos charakteristikos atitinka Didžiosios Britanijos vandens kokybės standartą ir jų Aplinkosaugos agentūros standartus greitkeliams, susijusius su sunkiaisiais metalais ir kitomis cheminėmis medžiagomis (Safecote product... 2007; Burtwell 2004).

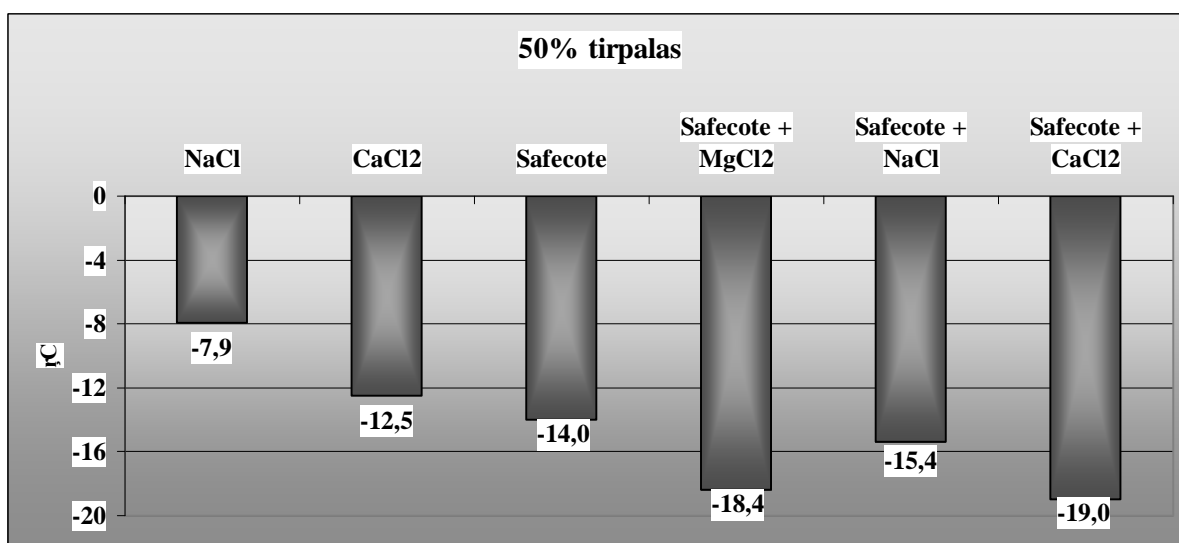
#### ***Medžiagos naudojimo privalumai ir trūkumai***

- galima sumažinti barstomos techninės druskos kiekius;
- žymiai sumažina betono lūžinėjimą; tiltų, viadukų ir kelio statinių pažeidimus; asfalto surišėjo atsilupimą, lyginant su kitomis slidumą mažinančiomis medžiagomis (1.8 pav.);

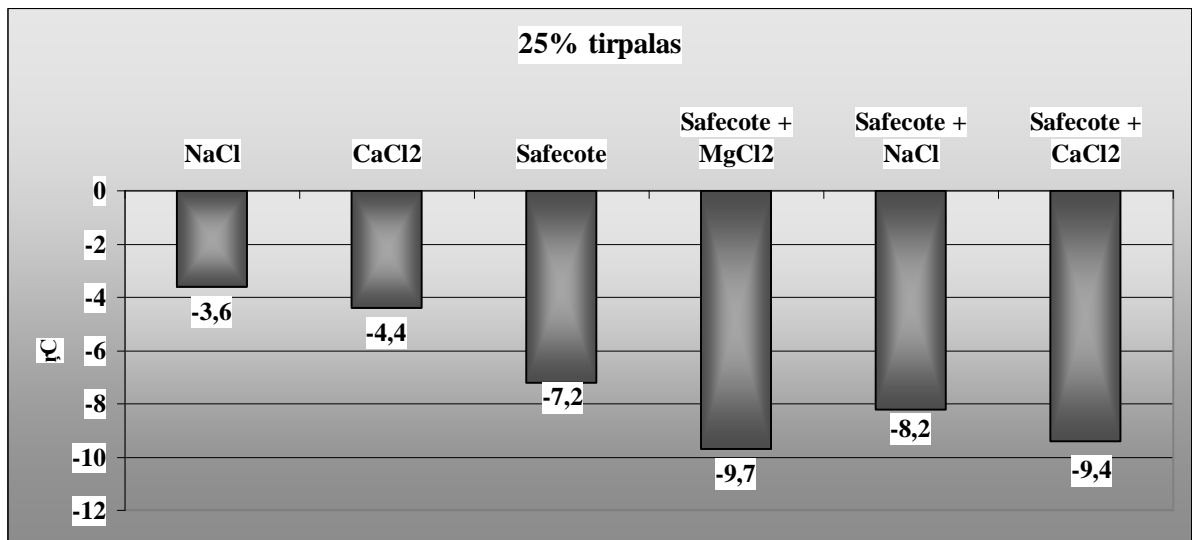


1.8 pav. Korozijos veikimas, naudojant įvairius chloridų tirpalus ir „Safecote“

- nereikia naujų kapitalinių investicijų į įrengimus, nes šią medžiagą galima naudoti su esamais įrengimais. Nesukelia barstytuvų ir kitų mechanizmų korozijos (Vitaliano 1992; Thornes 1996; Hanbali 1998; Thornes 2000);
- naujos kartos slidumą mažinanti medžiaga, įmaišyta į natrio chlorido tirpalą, padeda tirpalui ilgiau išlikti ant kelio paviršiaus, todėl nereikalingas pakartotinis kelio barstymas bei sutrumpėja kelionės ir barstytuvų darbo kilometrų skaičius;
- gryna „Safecote“ neužšąla esant net  $-30^{\circ}\text{C}$ . Šią medžiagą įvairiais santykiais įterpiant į įvairių chloridų (NaCl, CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>) tirpalus, jie savo skystą pavidalą išlaiko iki  $-45^{\circ}\text{C}$ , tačiau tampa klampesni (1.9 pav., 1.10 pav.).



1.9 pav. Chloridų ir „Safecote“ 50 % tirpalų užšalimo laipsnis



**1.10 pav.** Chloridų ir „Safecote“ 25 % tirpalų užšalimo laipsnis

- „Safecote“ netinkama naudoti keliuose, kur yra mažas eismo intensyvumas, kadangi ši medžiaga paskleista ant kelio dangos, kol nesusimaišo su sniego sluoksniu, gali sudaryti eismo saugumui pavojingai slidžią plėvelę;
- medžiaga yra klampi, tamsiai rudos spalvos (1.11 pav.), todėl naudojant didesnius jos kiekius, būtų reikalingos papildomos vandens sąnaudos gatvių ir kelių plovimui pavasarį bei autotransporto plovimui, kas tiesiogiai palieštų kiekvieną, turintį transporto priemonę (Speakman 1994; Cornford and Thornes 1996; Edwards 1996).



**1.11 pav.** Druskos ir „Safecote“ mišinys paskleidimo ant kelio metu (Safecote product... 2007)

### ***Nauda aplinkai***

- Natūralus žemės ūkio produktas.
- Suskaidoma biologiškai medžiaga.
- Biologiškai ir chemiškai stabili medžiaga.
- Palaiko techninių druskų takumą.
- Sumažina techninių druskų naudojimą.

### ***Trumpo bei ilgo laikotarpio nauda***

- Neardo kelio dangų.
- Sumažina kelio valymo išlaidas po išbarstymo.
- Išsaugoma esanti įranga, nereikia naujų kapitalinių investicijų.
- Sumažina įrenginių, barstytuvų ir kitų mechanizmų koroziją.
- Apsaugo kelių metalines konstrukcijas nuo korozijos.
- Sumažina betono ir asfalto paviršiaus pažeidimus (Sakshaug and Vaa 1995; Fraser and

Drew 1998).

### ***Naudojimo būdai***

1. Sausos druskos (NaCl) ir priedo „Safecote“ mišinys. Sausa techninė druska sudrėkinama su „Safecote“. Šiuo atveju į 1 toną sausos druskos įmaišoma 3 % priedo „Safecote“. Šios mišinio efektyvus veikimas pasireiškia esant  $-19^{\circ}\text{C}$ . Rekomenduojama druskos išpylimo norma yra 8–12 g/m<sup>2</sup>.

2. Nesant galimybių priedą „Safecote“, įmaišyti į sausą druską, kompanija Safecote Ltd rekomenduoja „Safecote“ įterpti į 23 % koncentracijos natrio chlorido tirpalą. Tirpalas ruošiamas santykiu 90 % natrio chlorido tirpalo (23 % koncentracijos) ir 10 % priedo. Efektyvus veikimas pasireiškia iki  $-19^{\circ}\text{C}$ , išlaikant druskos išpylimo normą 8–12 g/m<sup>2</sup>.

3. Esant žemesnei nei  $-20^{\circ}\text{C}$ , rekomenduojama į techninės NaCl druskos ir „Safecote“ tirpalą ir įmaišyti kalcio chlorido druskos (CaCl<sub>2</sub>). Tirpalas ruošiamas santykiu: 85 % natrio chlorido tirpalo (23 % koncentracijos), 10 % „Safecote“ ir 5 % CaCl<sub>2</sub> tirpalo. Efektyvus veikimas pasireiškia iki  $-30^{\circ}\text{C}$  (Burtwell 2004; Safecote product... 2007).

### ***Problemų naudojant burių druską sprendimai su „Safecote“***

- Prastai veikia, esant temperatūrai  $-7^{\circ}\text{C}$

Druskos, sumaišytos su Safecote poveikis išlieka, esant žemesnei nei  $-15^{\circ}\text{C}$  temperatūrai.

- Dideli druskos nuostoliai esant vėjuotai dienai ir intensyviai transportui.

Druska sumaišyta su 3 % „Safecote“ sumažina druskos sušokimą ir išbarstymo nuostolius.

- Dėl lėto druskos veikimo bei laiku nepabarstytos kelio dangos, padidėja autoįvykių rizika.

Druska sumaišyta su „Safecote“ pradeda veikti tuoj pat.

### ***Problemu, naudojant CaCl<sub>2</sub> tirpalą sprendimai su „Safecote“***

- Netinkamas esant sniegui ar storam ledo sluoksniui.
- Pasižymi didelėm korozinėm savybėm, ypatingai metalams.
- Didelė žala dirvožemiui ir vandens telkiniams.
- Greitas tirpalo pasiskleidimas dėl esančio jo sudėtyje 80 % vandens.
- Dėl savo hidroskopinių savybių, ilgai džiūstantis ant kelio.
- Gali būti naudojamas tirpdinant susidariusi ledo sluoksnį (Safecote product... 2007).

Lietuvai esant pilnaverte Europos sąjungos nare, atsirado poreikis naudoti draugiškas aplinkai medžiagas. Todėl tikslinga ištirti Lietuvos rinkoje pasirodžiusią vieną iš naujos kartos slidumą mažinančių medžiagų ir jos poveikį kelio aplinkos komponentams.

## **1.6. Kelių priežiūros medžiagų įtaka augalijai**

Pasaulyje atlikti kelių priežiūros druskų poveikio tyrimai įvairių rūšių augalams. Daugiausiai druskų poveikio tyrimų yra atlikta spygliuočiams medžiams.

Norint nustatyti miškų biomasės mažėjimo priežastis, nagrinėti įvairūs faktoriai. Remiantis ankstesniais tyrimais, oro teršalai yra viena iš priežasčių, kodėl mažėja eglių (*P. abies*) augimo iki brandos skaičius Europoje. Labai akivaizdi ir galima medžių mažėjimo priežastis yra kelių druska (Blomqvist 2002).

Maskvos (Rusija) mieste iki 2001 metų sniego ir ledo tirpdymui komunalinio ūkio tarnybos daugiausia naudojo techninę natrio chlorido druską, mažesniais kiekiais skystą kalcio chloridą ir granitinę skaldą. Naudojant šias medžiagas, kasmet vis daugiau išdžiūdavo medžių, neišlaikę „cheminės atakos“. Kiekvieną pavasarį jų tekdavo iškirsti labai daug. Vien tik 1996 metais žuvo per 250 tūkst. medžių. Pastaruoju metu Maskvos miesto keliuose ir gatvėse natrio chlorido druska iš viso nenaudojama. Naudojamas kietas modifikuotas kalcio chloridas, magnio chloridas ir skystas modifikuotas kalcio chloridas ir kalio acetatas. Atlikti Komunalinio ūkio akademijos ir kitų mokslo institucijų detalūs tyrimai, naudojant įvairius chemikalus kovai su plikšala ir sniegu, patikino: atsisakius natrio chlorido druskos, želdinių būklė Maskvos mieste ženkliai pagerėjo. Tai liudija 2 - 3 kartus sumažėjęs išdžiūvusių medžių skaičius palei pagrindines miesto magistrales. Rusijos mokslininkų teigimu, natrio chlorido druska želdinius veikia dviem keliais –

į šaknis per dirvožemį ir į vegetatyvinius augalo organus (šakutes, pumpurus) aerolio pavidalu. Maskvos miesto komunalinio ūkio tarnybos kalcį atsiveža iš Kinijos, o magnį iš Izraelio ir Olandijos. Skystus chemikalus gamina Maskvos miesto įmonės (Grikevičius 2007).

Švedijoje naudojama ir sausa druska, kuri ant kelių paskleidžiama mechaniškai, taip pat ir šlapia druska arba tirpalas, atsižvelgiant į kelio būklę. Poveikis augalams dėl kelių priežiūros žiemą Švedijoje buvo tyrinėjamas beveik tris dešimtmečius. Tačiau 1990 metų viduryje nustatyta didelio masto žala augalijai išilgai intensyvaus kelio pietų Švedijoje, ko nebuvo anksčiau pastebėta (Blomqvist 1999).

Japonijoje tirtos melsvosios ir Europinės eglės, kurios buvo pasodintos išilgai pakelių dėl jų tankių lapų priedangos ir gebėjimo greitai augti. Šiaurės Japonijoje melsvųjų eglių būklė pradėjo blogėti. Didžiausius medžių plotus sudarė spygliuočių rūšys, tokios kaip *Picea abies*, *Picea glehnii* ir *Abies sachalinensis*. Trečdalis *P. abies* ir *P. glehnii*, pasodintų šalia greitkelių, patyrė augimo stabdymą. Žinoma, kad melsvosios eglės rūšis yra labai jautri druskoms, palyginti su kitomis rūšimis. Palyginus *P. abies* ir *P. glehnii* pažeistų ir sveikų vietų augimo charakteristikas šiaurės Japonijoje pastebėta, kad medžių aukštis druskų pažeistoje vietoje buvo mažesnis negu neužterštoje vietoje. Aptikti natrio ir chloro elementai grunte bei sniege migruoja į spyglius. Be to, spyglių metimas pažeistoje vietoje buvo spartesnis, fotosintezės greitis, vandens potencialas ir išgaravimo greitis buvo lėtesnis, palyginus su neužteršta vieta. Šie fiziologinių parametrų pasikeitimai yra tokie pat, kaip ir druskos įsigėrusių augalų. Todėl galima daryti išvadą, kad druska, esanti grunte, ilgainiui kaupiasi spygliuose, sutrikdo įvairias fiziologines savybes ir galiausiai medžių augimas yra slopinamas dėl bendrų sudėtinių reiškinių. Tiriant natrio ir chloro poveikį sukeltą šiuos simptomus, chloro neigiamas poveikis yra didesnis nei natrio. Dėl pavojingos chloro koncentracijos fiziologinis *P. abies* ir *P. glehnii* aktyvumas ir fotosintezės našumo mažėjimas nustatytas, kai chloro koncentracija didesnė nei  $50 \mu\text{mol g}^{-1}$ , o kai apie  $125 \mu\text{mol g}^{-1}$  – gresia pusės spyglių netekimas (Kayama et al. 2003).

Suomijoje druskos kaupimasis ir vizuali žala Škotiškos pušies (*Pinus sylvestris*) spygliams. Du pavyzdiniai 4 km ruožai, atskirti greitkelio, buvo pasirinkti rytų Suomijoje. Savo–Karjala regione kelių druskos naudojimas buvo sumažintas apie dešimtadalį (nelabai druskingos vietos), o centriniame Suomijos regione kelių druska buvo naudojama normaliai (smarkiai druskingos vietos). Vienerių ir dviejų metų amžiaus spygliai buvo pažymėti 8 kartus per 1992–1994 m. Buvo pastebėta vizuali žala pušų spygliuose bei analizuotos natrio, chloro bei kalcio koncentracijos. Per dvejus tyrimo metus druskų naudojimo sumažinimas aiškiai sumažino druskos komponentų ( $\text{Na}^+$  ir  $\text{Cl}^-$ ) kaupimąsi ir buvo nustatyta vizuali žala pušų spyglių augimui arčiau pakelių. Kalcio koncentracija spygliuose nekito. Pavyzdiniuose plotuose išilgai smarkiai druskingų vietų pastebėtas spyglių rudavimas ir pirmalaikis spyglių metimas, ypač vėlyvą

pavasari. Kelių druskų žalingas poveikis nesiekė toliau kaip 20–30 m atstumu nuo kelio, toliau druskos koncentracija ir vizuali žala spygliuose buvo nežymi. Kadangi druskos koncentracija dirvožemyje smarkiai nekito, tai druskos pūslai, pasiekiantys medžius per orą, yra svarbus veiksnys druskos kaupimuisi spygliuose. Oro sąlygų pokyčiai turi reikšmingą poveikį druskų kaupimuisi spygliuose ir vizualios žalos sukėlimui. Didelis temperatūrų svyravimas sustiprina druskų neigiamą poveikį spygliams. Druskos koncentracija pušų spygliuose buvo didesnė vėlyvą žiemą, kovą ir balandį. Nors druskos naudojimas buvo nutrauktas balandį, natrio ir chloro koncentracija spygliuose, ypač vienerių ir dvejų metų amžiaus, liko aiškiai didesnė netgi gegužę ir birželį. Natrio ir chloro koncentracija spygliuose sumažėja vasaros metu, tačiau vis dėlto išlieka didesnė negu rudenį. Druskos kaupimasis spygliuose didėja su jų amžiumi.  $\text{Na}^+$  ir  $\text{Cl}^-$  spygliuose kaupiasi skirtingu greičiu. Kaupimasis netiesiškai priklauso nuo druskos naudojimo keliuose. Tai rodo skirtingą  $\text{Na}^+$  bei  $\text{Cl}^-$  patekimo, kaupimosi ir išplovimo spygliuose pobūdį. Teigiama, kad pakelėse augančių pušų augimas mažėja, naudojant druską. Pastebėta, kad netgi mažas slidumą mažinančių druskų kiekis gali būti reikšmingas druskų kaupimuisi medžiuose, augančiuose arčiau kelio. Vizuali žala pastebėta iki 2,5 m medžio aukščio. Tai yra apytikris aukštis, kuri druskos pūslai pasiekia oru. Taip pat nustatyta, kad druskos gali turėti netiesioginį poveikį medžių, augančių arčiau kelio, ligų, kaip antai: pušų spyglių grybelio (*Lophodermium seditiosum*) ir amaro kiaušinėlių (*Cinara pinea*), paplitimui (Viskari et al. 1997; Viskari and Karenlampi 2000).

Ispanijoje tirtas trijų rūšių chloridų druskų ( $15 \text{ mol m}^{-3} \text{ CaCl}_2$ ,  $30 \text{ mol m}^{-3} \text{ NaCl}$  ir  $30 \text{ mol m}^{-3} \text{ KCl}$ ) poveikis Carrizo citrinų (*Citrus sinensis* ir *Poncirus trifoliata*) bei Kleopatros mandarinų (*Citrus reshni*) daigams. Vienerių metų Carrizo citrinų ir Kleopatros mandarinų daigai buvo vienodai sužymėti ir persodinti iš vidutinio prekybinio grunto į rupų smėlį. Carrizo daigai parodė stipresnį augimą, aukštesnį fenotipą ir vidutinį jautrumą druskingumui, o Kleopatros daigai yra lėčiau augantys ir tolerantiškesni druskoms. Nustatyta, kad chloridai lėtina augimą ir dujų apykaitos parametrus, sukelia anatominius pažeidimus ir mineralinį disbalansą daiguose. Abiems kultūroms  $\text{Ca}^{2+}$  buvo labiau naudingas, o  $\text{K}^+$  labiau žalingas augimui negu  $\text{Na}^+$ . Palyginus su natriu, kalcio perteklius yra naudingas, tuo tarpu didelis kalio kiekis yra žalingas augimui. Jau pirmieji tyrimai parodė, kad chloro jonai varžo citrinmedžių augimą. Tačiau vėlesni tyrimai parodė, kad pažeidimai gali būti sukelti bet kurio jono – chloro, natrio arba abiejų (Bañuls et al. 1997; Romero – Aranda 1998).

Jungtinėse Amerikos Valstijose, Indianos valstijoje atlikti  $\text{NaCl}$ , naudojamo žiemos metu, poveikio kiminui (*Sphagnum recurvum*) tyrimai. Tyrimams buvo pasirinkta pelkė, esanti šalia Indiana Toll kelio, einančio per Pinhook Bog. Tirtas vienas iš žymesnių bryophytų pelkėje. Druskos koncentracijos esančios 300–1500 mg/l ribose, išreikštos kaip  $\text{Cl}^-$  žymiai sumažino

kimino *Sphagnum recurvum* augimą į ilgį, atliekant tyrimus laboratorinėmis sąlygomis. Biomasės augimas taip pat buvo sumažintas, esant didelėms Cl<sup>-</sup> koncentracijoms. Chloras pasirodė esantis stipresnis augimo inhibitorius negu natriis. Eksperimentuose, kuriuose buvo sumažintas kontaktas su vandeniu ir didinamas augalų garavimo (evaporacijos) paviršiaus plotas, druska susikaupė augalų viršūnėse dėl suminio garavimo ir dėl to augalai žuvo, esant skirtingoms NaCl koncentracijoms. Augalų laistymas, imituojant lietų, pašalino augalų pasidengimą druskomis, tačiau kiminai vėl greitai išsivystė ir pakartojo tuos pačius nykimo efektus 3 savaitių laikotarpyje, po paskutinio laistymo. *Sphagnum recurvum* kimino augimo sumažėjimas ir nykimas parodė nustatytą NaCl koncentracijų Pinhook Bog tikėtiną įtaką kiminams kelių druskų veikimo zonoje (Douglas 1984; Douglas 1986).

Šveicarijoje tirta kelių druskų įtaka augalams sausros metu. Tyrimams buvo pasirinkta gudobelė (*Crataegus spp.*). Gudobelės augalai žiemą buvo veikiami NaCl purslais, norint imituoti kelių druskų purslų poveikį augalams šalia greitkelių. NaCl naudojimas žymiai padidino gudobelės neatsparumą žaliajam obuolių amarui *Aphis pomi*. Sunkimosi skysčio analizė parodė, kad aspargino ir glutamino kiekiai padidinti daugiau nei 400 %, aspargino rūgštis – daugiau nei 100 % ir daugelio kitų amino rūgščių kiekiai buvo padidėję. Cukraus kiekis sunkimosi skystyje taip pat buvo pakankamai padidėjęs. Manoma, kad šie biocheminiai skirtumai sudarė pagrindą geresniam amaro išsivystymui, nors tiesioginis natrio veikimo ir kiti faktoriai negali būti atmesti. Vidutinis sausros laipsnis taip pat padidino amarų populiaciją. Kelių druska ir bent nedidelio laipsnio sausra atlieka svarbų vaidmenį amarų populiacijos didėjime šalia greitkelių (Braun and Flückiger 1984).



**1.12 pav.** Užsienio šalyse naudojamos įvairios priemonės eismo saugumui užtikrinti (Safecote product... 2007)

Pasaulyje atliekami kelių priežiūrai naudojamų druskų poveikio natūriniai ir laboratoriniai tyrimai įvairių rūšių augalams. Lietuvoje tokio pobūdžio tyrimai yra epizodiniai (Baltrėnas ir Kazlauskienė 2007).

Kitose šalyse ledo ir sniego tirpinimui keliuose naudojami panašios medžiagos: JAV – kalcio chloridas, Vokietijoje ir Šveicarijoje – magnio chloridas, šiaurės Europos šalyse kalcio chloridas naudojamas labai ribotai. Norvegijoje bet kokių druskų naudojimas minėtiems darbams uždraustas daugiau kaip 10 metų. Ten naudojama pakaitinta skalda, karštas vanduo.

## 2. KELIŲ PRIEŽŪROS MEDŽIAGŲ POVEIKIO ŽOLINIAMS AUGALAMS EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ METODIKOS

### 2.1. Žolinių augalų, augusių kelių priežiūros medžiagų mišiniu užterštame dirvožemyje, rodiklių tyrimo metodika

Ekspimentiniai tyrimai atliekami pagal suformuotas tyrimo metodikas, pritaikant kitų mokslininkų naudotus tyrimo metodus.

Atlikus literatūrinę analizę, paaiškėjo, jog daug tyrimų, nustatant kelių priežiūros medžiagų neigiamą įtaką augalijai, atlikta tyrimo objektu renkantis spygliuočius medžius. Todėl nuspręsta tyrinėti kaip kelių priežiūros medžiagos – melasos pagrindu pagaminta medžiaga įtakoja žolinius augalus.

Tyrimams buvo pasirinktos trys žolinių augalų rūšys, dažniausiai naudojamos pakelių apželdinimui Lietuvoje, tiesiant naujus, rekonstruojant ar atnaujinant esamus kelius.

Tirtos žolinių augalų rūšys:

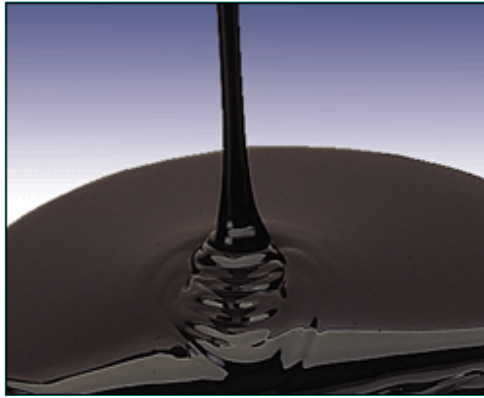
- daugiametė svidrė (veislė: 'Tove') – *Lolium perenne L.* Angl. – daruel, ryegrass,
- tikrasis eraičinas (veislė: 'Senu') – *Festuca pratensis Huds.* Angl. – fescue grass,
- pievinė miglė (veislė: 'Balin') – *Poa pratensis L.* Angl. – bluegrass, meadow-grass.

*Tyrimo tikslai:*

1. išanalizuoti, kaip kelių priežiūros medžiagos veikia tiriamųjų žolinių augalų augimo procesą ir pagrindinius jų parametrus (Baltrėnas et al. 2006);
2. nustatyti, kurią iš tiriamų žolinių augalų rūšių (daugiametė svidrė, tikrasis eraičinas, pievinė miglė) labiausiai paveikia kelių priežiūros medžiagos (Baltrėnas et al. 2006);
3. nustatyti dirvožemio, užteršto skirtingomis kelių priežiūros medžiagomis, pH.

Tyrimui naudojama melasos pagrindu pagaminta slidumą mažinanti medžiaga patentuotu Europoje pavadinimu „Safecote“.

„Safecote“ yra organinė medžiaga, gaminama cukraus pramonės atliekos, kitaip vadinamos melasa, pagrindu. Šios organinės medžiagos sudėtyje yra mineralinių medžiagų – kalcio, fosforo, sieros, chlorido, sulfato, potašo, sodos ir kt. Medžiaga yra tamsiai rudos spalvos, skysta, gali būti maišoma su visomis techninėmis kelių priežiūros druskomis, jų tirpalais (2.1 pav.), rečiau naudojama viena (Safecote... 2007).



**2.1 pav.** „Safecote“ – melasos pagrindu pagaminta medžiaga slidumui mažinti (Safecote product 2007)

Palyginimams atlikti, tyrimo metu taip pat naudojama sutrupinta techninė natrio chlorido (NaCl) druska, apdorota geltoną kraujo druska – kalio heksacianoferatu ( $K_4[Fe(CN)_6]$ ), kuri naudojama Lietuvoje žiemos metu kelių priežiūrai (Baltrėnas et al. 2006). Toliau tekste naudojama sutrumpintai – NaCl.



**2.2 pav.** Daugiametė svidrė



**2.3 pav.** Tikrasis eraičinas



**2.4 pav.** Pievinė miglė

(Daugametė svidrė... 2007; Tikrasis eraičinas... 2007; Pievinė miglė... 2007)

*Tyrimo eiga:* daugiamečių svidrės, tikrojo eraičino bei pievinės miglės po 6 g sėklų buvo pasėta į plastiko vazonus su 1 kg dirvožemio.

Tyrimui naudojamas dirvožemis, kurio sudėtyje yra: azoto ( $\text{NH}_4 + \text{NO}_3$ ) – 100 mg/l; fosforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) – 50 mg/l; kalio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) – 300 mg/l; kalcio ( $\text{CaO}$ ) – 300 mg/l; magnio ( $\text{MgO}$ ) – 80 mg/l; geležies ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) – 800 mg/l. Dirvožemis tyrimams buvo įsigytas įmonėje, kur jis buvo paruoštas pagal IŠT 2292587–001:1999.

Tyrimo metu tirpalų pavidalu laistant į dirvožemį buvo įterpta:

ü 5 g/kg „Safecote“ medžiagos;

ü 5 g/kg NaCl;

ü 5 g/kg „Safecote“ bei NaCl druskos mišinio. „Safecote“ bei NaCl druskos mišinį sudaro: 4,5 g/kg NaCl ir 0,5 g/kg „Safecote“. Mišinio proporcijos (90 % NaCl ir 10 % „Safecote“) pasirinktos pagal „Safecote“ vartojimo slidumui mažinti rekomendacijas. Siekiant sumažinti NaCl vartojimo kiekius, „Safecote“ reiktų vartoti mažiausiai 10 % nuo NaCl kiekio.

Trys minėtos žolinių augalų rūšys buvo pasėtos į 12 plastikinių vazonų: kiekviena žolinių augalų rūšis (daugiamečių svidrė, tikrasis eraičinas, pievinė miglė) pasėta į 3 vazonus su 5 g/kg „Safecote“; į 3 vazonus su 5 g/kg NaCl, į 3 vazonus su „Safecote“ ir NaCl druskos mišiniu bei 3 neužterštame dirvožemyje (kontroliniai augalai).

Tyrimas vykdomas VI savaites, kadangi tiek natūraliomis gamtinėmis, tiek laboratorinėmis sąlygomis, į dirvožemį patekusios kelių priežiūros medžiagos šį laikotarpį labiausiai neigiamai įtakoja žolinių augalų augimo procesą ir pagrindinius jos parametrus. Per ilgesnį laikotarpį kelių priežiūros medžiagos gamtinėmis sąlygomis kritulių (lietaus) yra išplaunama, jų koncentracijos išskiedžiamos. Laboratorijoje analogiškas procesas vyksta, medžiagų koncentraciją dirvožemyje mažinant žolinių augalų laistymo metu. Todėl ilgesnį laiką tęsti eksperimentą netikslinga.

Kiekvieno vazonėlio dugnas skylėtas, kad būtų natūralus vandens nuotėkis ir nesusikauptų per didelis jo kiekis. Kiekvienos rūšies sėklos sėjamos užterštame kelių priežiūros medžiagomis ir švariame dirvožemyje vienu metu (bandomieji ir kontroliniai augalai). Tiek kontroliniai, tiek bandomieji augalai auginami vienodomis sąlygomis – esant vienodai temperatūrai bei apšvietimui. Bandomieji bei kontroliniai augalai laistomi vieną kartą per savaitę po 100 ml vandens (Baltrėnas et al. 2006).

Žolinių augalų *antžeminės dalies aukštis* nustatomas kalibruota metaline liniuote Preisser Nr. 11 (aukščio nuokrypis 0,026 mm). Kiekvienos žolinių augalų rūšies penki atsitiktinai iš vazono išrauti vienetai matuojami, nustatant vieno augalo vidutinį antžeminės dalies ilgį (cm).

Antžeminės dalies aukštis matuojamas nuo augalo dalies, kur prasideda augalo šaknys iki ilgiausio lapo galo.

Žolinių augalų *fitomasė* nustatoma kalibruotomis elektroninėmis laboratorinėmis svarstyklėmis KERN 770-60 (paklaida, sveriant 0,01 g...60 g – 0,00001 g). Kiekvienos žolinių augalų rūšies penki atsitiktinai iš vazono išrauti vienetai sveriami, nustatant vieno augalo vidutinę fitomasę (mg). Fitomasė nustatoma, elektroninėmis svarstyklėmis sveriant augalus be šaknų, tai yra sveriant tik žaliają antžeminę augalo dalį.

Antžeminės dalies aukščio ir fitomasės matavimai atliekami kiekvieną tyrimo savaitę, iš viso šešias savaites.

## **2.2. Žolinių augalų, augusių melasos pagrindu pagaminta medžiaga užterštame dirvožemyje, rodiklių tyrimo metodika**

Tyrimo metu tirpalų pavidalu laistant į dirvožemį buvo įterpta:

ü 3 g/kg „Safecote“ medžiagos;

ü 8 g/kg „Safecote“ medžiagos;

ü 10 g/kg „Safecote“ medžiagos;

ü 8 g/kg „Safecote“ bei NaCl druskos mišinio. „Safecote“ bei NaCl druskos mišinį sudaro: 7,2 g/kg NaCl ir 0,8 g/kg „Safecote“. Mišinio proporcijos (90 % NaCl ir 10 % „Safecote“) pasirinktos pagal „Safecote“ vartojimo slidumui mažinti rekomendacijas. Siekiant sumažinti NaCl vartojimo kiekius, „Safecote“ reiktų vartoti mažiausiai 10 % nuo NaCl kiekio.

Trys žolinių augalų rūšys (daugiametė svidrė, pievinė miglė, tikrasis eraičinas) buvo pasėtos į 15 plastikinių vazonų: kiekviena žolinių augalų rūšis pasėta į 3 vazonus su 3 g/kg „Safecote“; į 3 vazonus su 8 g/kg „Safecote“; į 3 vazonus su 10 g/kg „Safecote“; į 3 vazonus su „Safecote“ ir NaCl druskos mišiniu bei 3 neužterštame dirvožemyje (kontroliniai augalai).

Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis bei fitomasė nustatomi pagal 2.1. poskyryje aprašytą metodiką.

### **2.3. Žolinių augalų, augusių melasos pagrindu pagamintos medžiagos bei kalcio chlorido mišiniu užterštame dirvožemyje, rodiklių tyrimo metodika**

Tyrimo metu tirpalų pavidalu laistant į dirvožemį buvo įterpta:

ü 1 g/kg CaCl<sub>2</sub>;

ü 3 g/kg CaCl<sub>2</sub>;

ü 5 g/kg CaCl<sub>2</sub>;

ü 5 g/kg „Safecote“ bei CaCl<sub>2</sub> druskos mišinio. „Safecote“ bei CaCl<sub>2</sub> druskos mišinį sudaro: 4,5 g/kg CaCl<sub>2</sub> ir 0,5 g/kg „Safecote“. Mišinio proporcijos (90 % CaCl<sub>2</sub> ir 10 % „Safecote“) pasirinktos pagal „Safecote“ vartojimo slidumui mažinti rekomendacijas. Siekiant sumažinti CaCl<sub>2</sub> vartojimo kiekius, „Safecote“ reiktų vartoti mažiausiai 10 % nuo CaCl<sub>2</sub> kiekio.

Trys žolinių augalų rūšys (daugiametė svidrė, tikrasis eraičinas, pievinė miglė) buvo pasėtos į 15 plastikinių vazonų: kiekviena žolinių augalų rūšis pasėta į 3 vazonus su 1 g/kg CaCl<sub>2</sub>; pasėta į 3 vazonus su 3 g/kg CaCl<sub>2</sub>; pasėta į 3 vazonus su 5 g/kg CaCl<sub>2</sub>; į 3 vazonus su „Safecote“ ir CaCl<sub>2</sub> druskos mišiniu bei 3 neužterštame dirvožemyje (kontroliniai augalai).

Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis bei fitomasė nustatomi pagal 2.1. poskyryje aprašytą metodiką.

### **2.4. Dirvožemio, užteršto melasos pagrindu pagaminta medžiaga, pH tyrimo metodika**

Dirvožemio pH yra vienas iš svarbiausių dirvožemio kokybę nusakančių parametrų, nuo kurio priklauso dirvožemio cheminiai ir geocheminiai procesai, lemiantys dirvožemio jautrumą cheminiam ir mechaniniam poveikiui. Tikslus dirvožemio rūgštingumo nustatymas yra vienas iš svarbiausių uždavinių atliekant dirvožemio tyrimus (Miller and Hills 2000; Vaitkutė ir Baltrėnaitė 2008; Kissel and Vendrell 2006).

Techninėmis svarstyklėmis buvo atsveriamas 15 g orausio persijoto per 1 mm sietą dirvožemio. Jis suberiamas į kolbą ir užpilamas 75 ml CaCl<sub>2</sub> tirpalu. Kolba su dirvožemiu ir tirpalu stipriai užsukama dangteliu ir statoma į kratytuvą, kur paruoštų 12 mėginių kratoma 1 valandą. Išėmus iš kratytuvo tiriami mėginiai buvo paliekami nusistovėti 10 minučių.

Kai ištrauka kolboje nuskaidrėja, imama 20 ml pipetė ir atsargiai įleidžiama į ištrauką taip, kad jos galas būtų 1-2 cm aukščiau negu nusistovėjusio dirvožemio paviršius. Pritraukiama 20 ml skaidrios ištraukos, kuri supilama į švarų 25 ml talpos mėgintuvėlį. Į šį mėgintuvėlį

įleidžiamas pH-metro elektrodas ir išmatuojamas tirpalo pH (Vaitkutė ir Baltrėnaitė 2008; Ecker and Sims 1995; *Eutech Instruments Pte Ltd.* 1997).

Buvo nustatytas analizuojamo neužteršto jokia medžiaga dirvožemio pH bei dirvožemio su įterptomis skirtingomis kelių priežiūros medžiagomis pH.

Dirvožemio mėginiai pH nustatymui po šešių eksperimento savaitių buvo paimti iš vazonų, kuriuose augo žoliniai tiriamieji augalai, melasos pagrindu pagaminta medžiaga užterštame dirvožemyje ir melasos pagrindu pagamintos medžiagos bei kalcio chlorido mišiniu užterštame dirvožemyje (antrasis ir trečiasis eksperimentai).

pH vaidina labai svarbų vaidmenį dirvožemio tirpale esančių maistingų medžiagų (azoto, kalio, fosforo) pernešime, kurios yra būtinos augalų medžiagų apykaitoje. Jei dirvožemio tirpale pH yra didesnis nei 5,5, azotas (nitrato formoje) tampa lengviau prieinamu augalams. Fosforą augalai labiau įsisavina, kai tirpalo pH yra tarp 6,0 ir 7,0 (Miller and Hills 2000). Žemesnis dirvožemio pH gali būti priežastimi spartesniam toksiškų elementų judėjimui, augalai gali juos įsisavinti ir akumuliuoti (Kabata – Pendias and Pendias 2001).

### 3. ŽOLINIŲ AUGALŲ KELIŲ PRIEŽIŪROS MEDŽIAGOMIS UŽTERŠTAME DIRVOŽEMYJE AUGIMO TYRIMŲ REZULTATAI IR ANALIZĖ

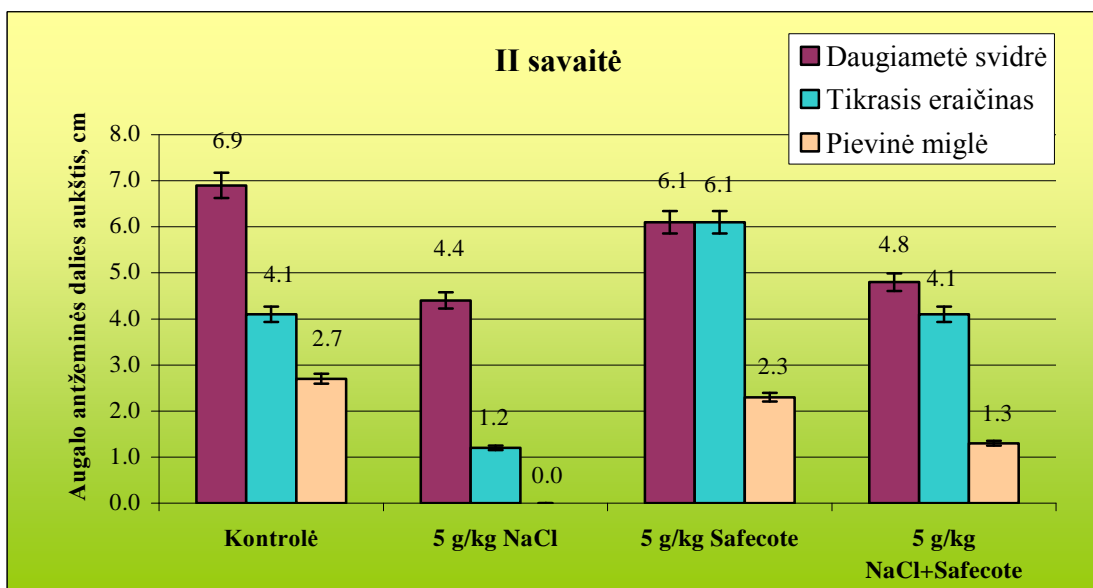
#### 3.1. Žolinių augalų, augusių kelių priežiūros medžiagų mišiniu užterštame dirvožemyje, rodikliai

Pasibaigus pirmajai eksperimento savaitei, žolinių augalų dygimas buvo labai silpnas. Kai kurie augalai buvo dar nesudygę ar vos sudygę, todėl žolinių augalų parametrų faktiniai matavimai buvo atliekami nuo antrosios tyrimo savaitės.



3.1 pav. Tiriamieji žoliniai augalai po VI tyrimo savaitę

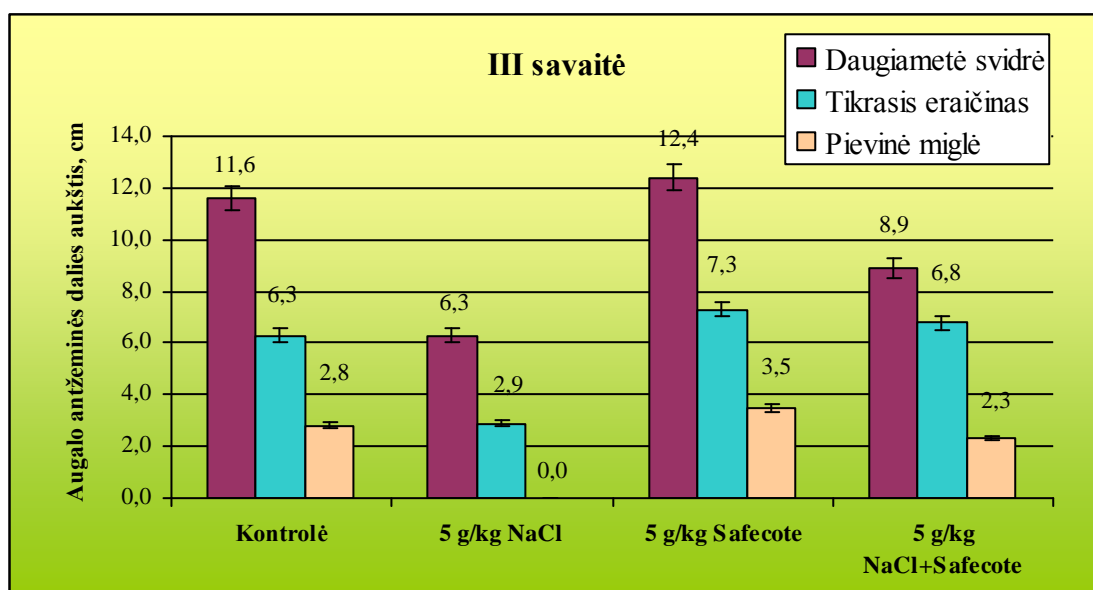
Kaip matyti iš 3.1. pav., pirmojo eksperimento etapo metu trys žolinių augalų rūšys (daugiametė svidrė, tikrasis eraičinas, pievinė miglė) buvo pasėtos į 12 vazonų, iš kurių 3 yra kontroliniai (dirvožemis neužterštas jokia medžiaga).



3.2 pav. Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po II augimo savaitės

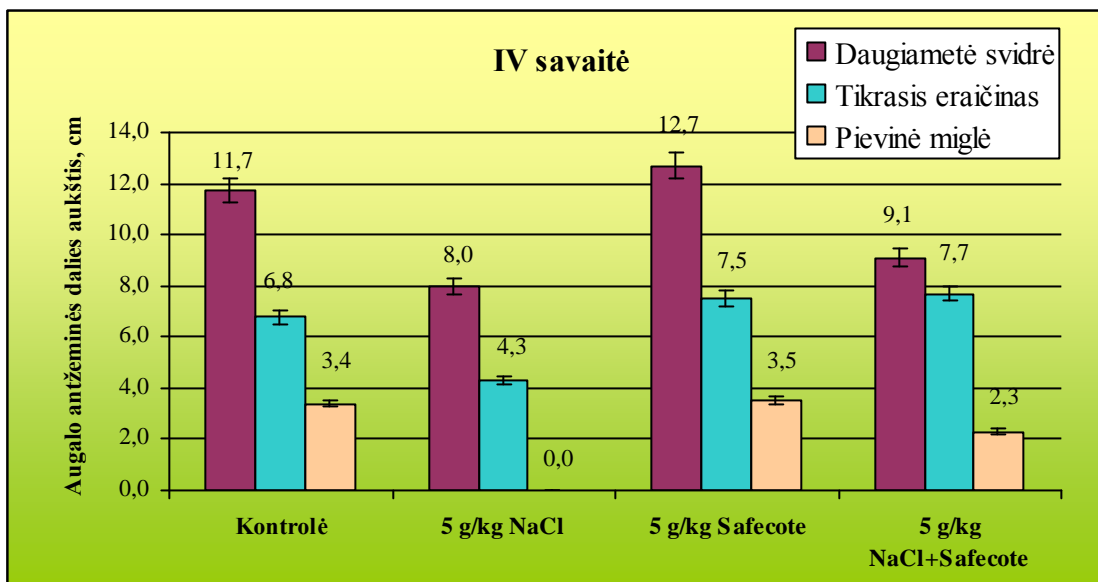
Po antrosios tyrimų savaitės svidrės antžeminės dalies aukštis buvo didžiausias, lyginant su kitos rūšies augalais. NaCl užterštame dirvožemyje augusių augalų antžeminės dalies aukštis – mažiausiais, miglė nesudygo. Svidrės aukštis 5 g/kg NaCl turinčiame dirvožemyje nuo kontrolinio skyrėsi 1,6 karto, o eraičino – 3,4 karto (3.2 pav.).

Trečiąją tyrimų savaitę, augalai ženkliai paaugo, tačiau ir po trečios augimo savaitės NaCl užterštame dirvožemyje miglė nesudygo. Svidrės kontrolinių augalų aukštis pasiekė 11,6 cm, eraičino – 6,3 cm, miglės – 2,8 cm. Svidrės antžeminės dalies aukštis 5 g/kg NaCl turinčiame dirvožemyje nuo kontrolinio skyrėsi 1,8 karto, o eraičino – 2,1 karto. Per savaitę svidrės skirtumas 0,2 karto padidėjo, o eraičino 1,3 karto sumažėjo (3.3 pav.).



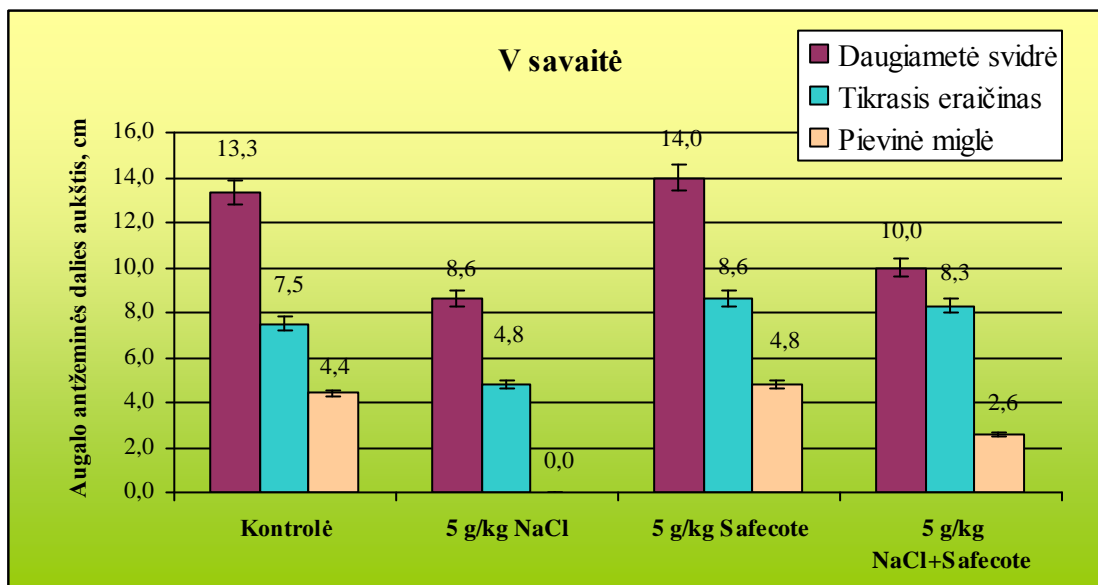
3.3 pav. Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po III augimo savaitės

Trečiąją augimo savaitę pastebimai paaukštėjo „Safecote“ užterštame dirvožemyje augę augalai. Jie net pralenkė savo antžeminės dalies aukščių kontrolinius augalus: svidrė – 1,1 karto, eraičinas – 1,2 karto, miglė – 1,3 karto. NaCl ir „Safecote“ užterštame dirvožemyje augalai taip pat buvo didesni, nei vien tik NaCl užterštame dirvožemyje: svidrė – 1,4 karto, eraičinas – 2,3 karto (3.3 pav.).



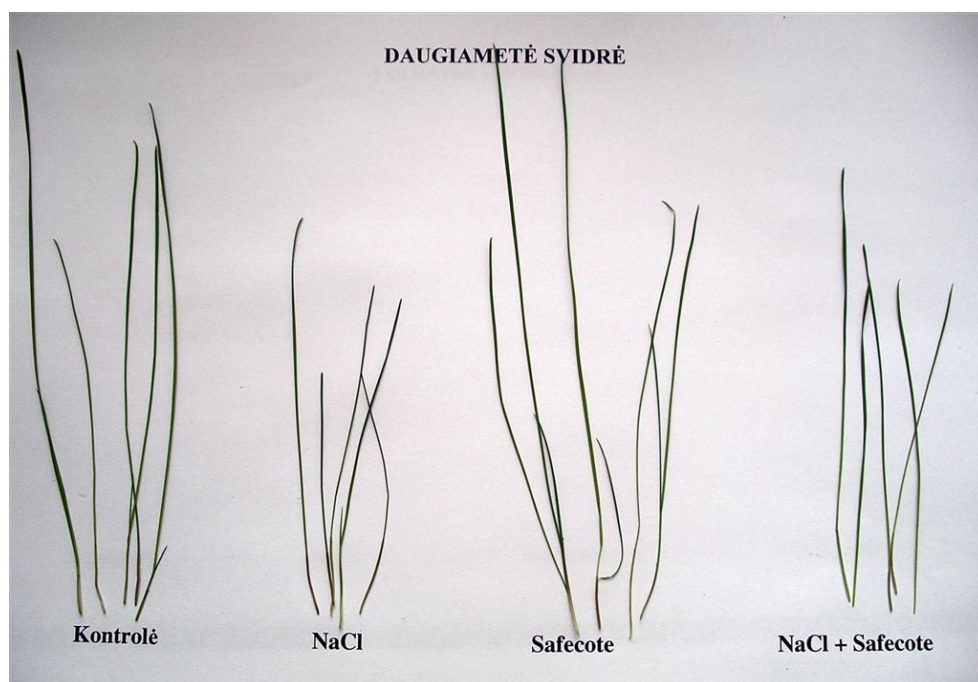
3.4 pav. Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po IV augimo savaitės

Ketvirtąją savaitę svidrės augalų aukštis pasiekė 12,7 cm, eraičino – 7,5 cm, miglės – 3,5 cm (3.4 pav.).

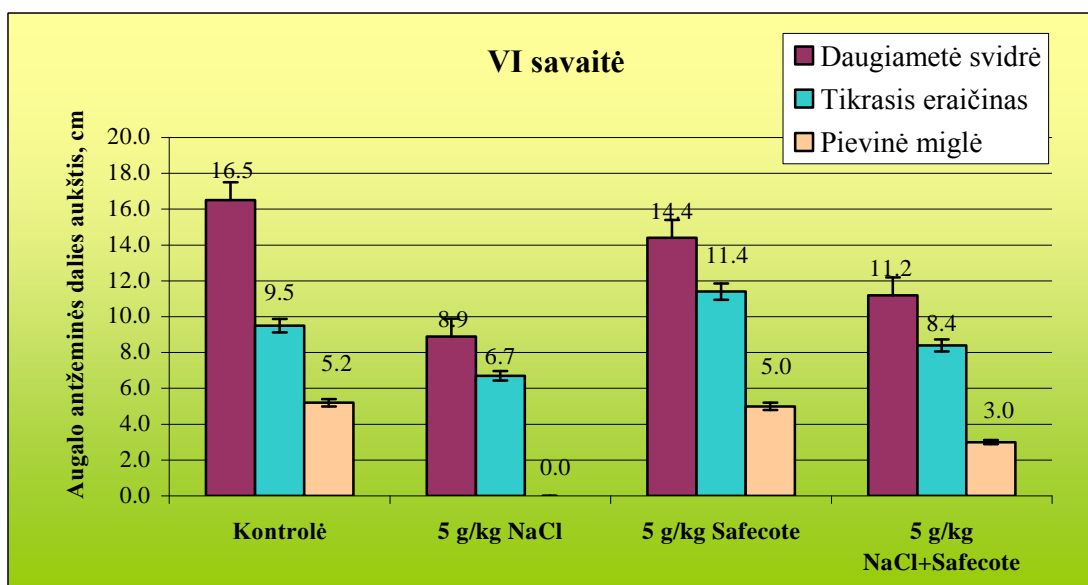


3.5 pav. Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po V augimo savaitės

Kaip matyti iš aukščiau pateiktų 3.4 ir 3.5 paveikslų, ketvirtąją ir penktąją tyrimų savaitę „Safecote“ užterštame dirvožemyje augusių augalų antžeminės dalies aukštis buvo didžiausias. Penktąją tyrimų savaitę svidrės aukštis buvo 14,0 cm, eraičino – 8,6 cm, miglės – 4,8 cm.

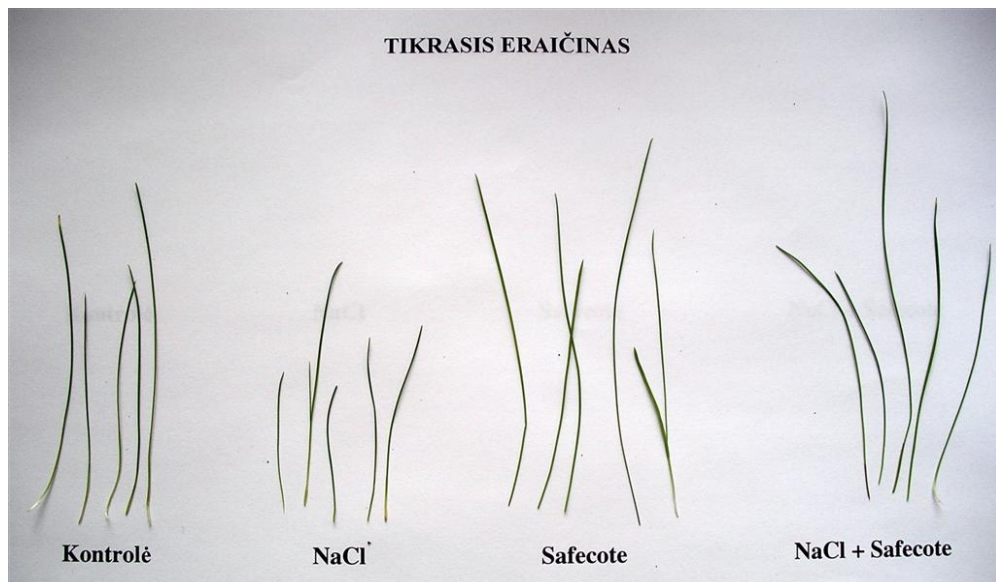


3.6 pav. Daugiametė svidrė po VI augimo savaitių

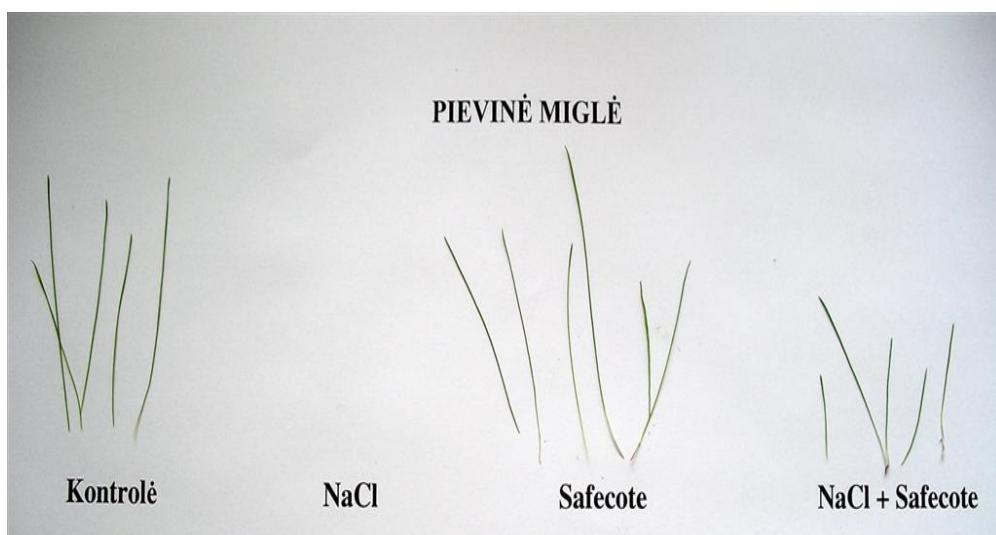


3.7 pav. Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po VI augimo savaitės

Šeštąją augimo savaitę „Safecote“ užterštame dirvožemyje augusių svidrės ir miglės antžeminės dalies aukštis buvo mažesnis, lyginant su kontroliniais augalais. Eraičino ir toliau 1,2 karto buvo aukštesnis, nei kontrolinių augalų (3.7 pav.).



**3.8 pav.** Tikrasis eraičinas po VI augimo savaitių



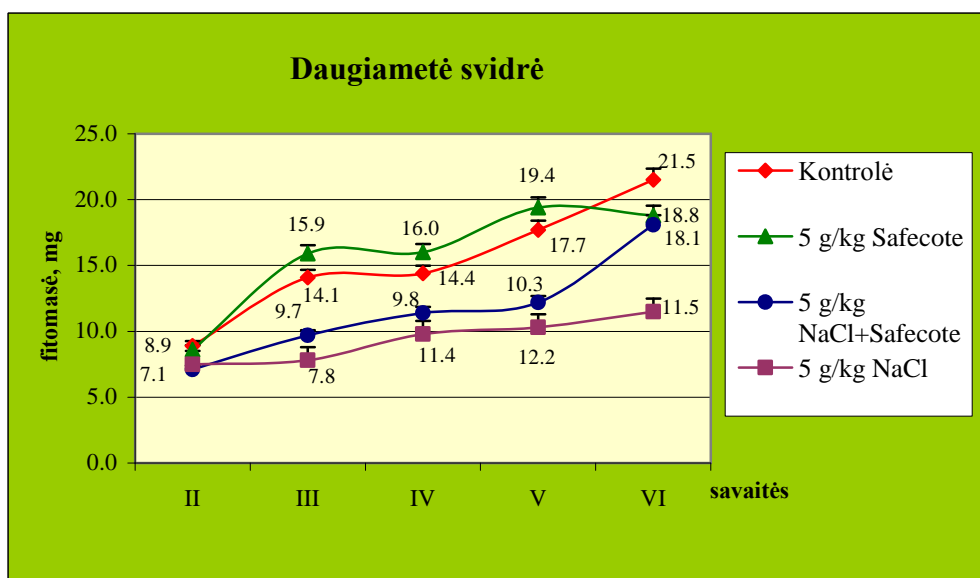
**3.9 pav.** Pievinė miglė po VI augimo savaitių

Visą augalų augimo laikotarpį patalpos temperatūra buvo pastovi  $+17 \div +18$  °C, todėl ir augalai augo pakankamai tolygiai.

Nagrinėjant augalų kiekvienos savaitės priaugį, didžiausias augalų antžeminės dalies priaugis vyko trečiąją augimo savaitę, kai svidrė užterštame 5 g/kg NaCl dirvožemyje pailgėjo 1,9 cm, o NaCl bei „Safecote“ mišiniu užterštame dirvožemyje pailgėjo 4,1 cm. Eraičinas atitinkamai paaugo 1,2 ir 2,7 cm (3.3 pav.). Tik NaCl užterštame dirvožemyje žolinių augalų aukščio priaugis buvo tolygesnis, nei naudojant ir „Safecote“ medžiagą. Pievinė miglė užterštame NaCl dirvožemyje nesudygo, o dirvožemyje užterštame 5 g/kg „Safecote“ bei NaCl druskos mišiniu augo gana tolygiai; per savaitę priaugdama vidutiniškai po 0,4 cm.

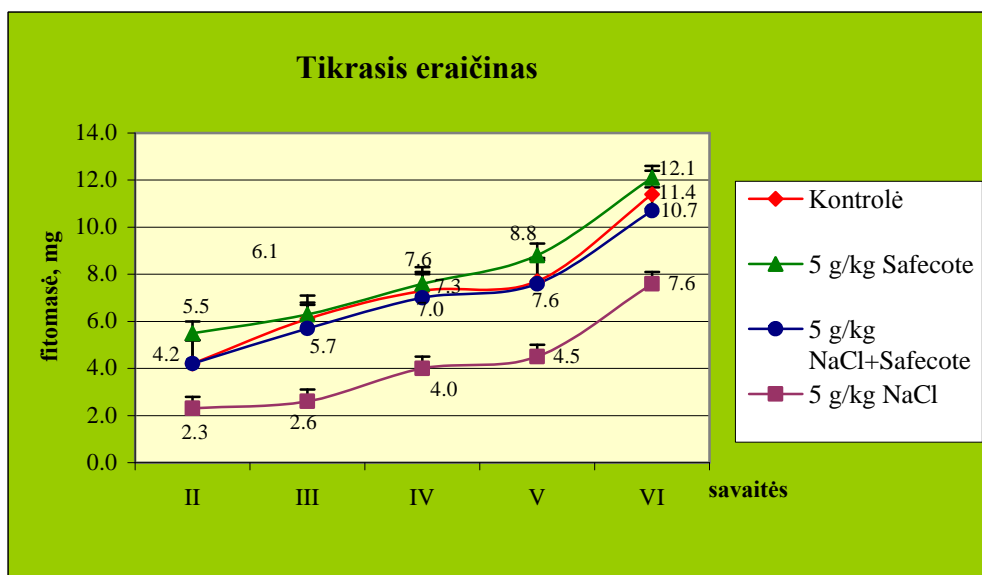
Daugiametės svidrės *fitomasė* tyrimo metu kito priklausomai nuo to, kokio užterštumo dirvožemyje ji augo. Po dviejų augimo savaitių daugiametės svidrės kontrolinių augalų *fitomasė*

buvo 8,9 mg; 5 g/kg NaCl užterštame dirvožemyje – 7,5 mg; 5 g/kg „Safecote“ turinčiame dirvožemyje – 8,6 mg bei 5 g/kg NaCl ir „Safecote“ mišinio užterštame dirvožemyje – 7,1 mg. Kitomis eksperimento savaitėmis buvo matoma ryški fitomasės priklausomybė nuo dirvožemio užterštumo specifikos. 5 g/kg NaCl turinčiame dirvožemyje svidrės fitomasė buvo mažiausia. 5 g/kg NaCl ir „Safecote“ mišiniu užterštame dirvožemyje augusių augalų fitomasė buvo didesnė, nei vien tik NaCl užterštame dirvožemyje, bet 4 mg mažesnė, nei kontrolinių augalų. Vien 5 g/kg „Safecote“ užterštame dirvožemyje augusių svidrės augalų fitomasė penkias savaites buvo vidutiniškai 1,7 mg didesnė nei kontrolinių augalų, po šeštos savaitės ji sumažėjo 2,7 mg (3.10 pav.).



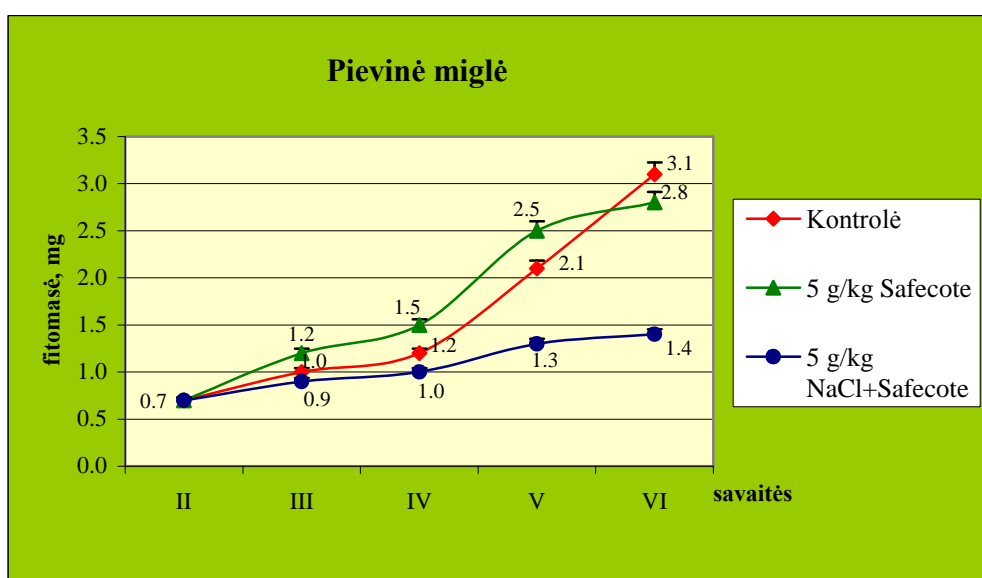
**3.10 pav.** Daugiametės svidrės fitomasės kitimas kelių priežiūros medžiagomis užterštame dirvožemyje

Tikrojo eraičino fitomasės reikšmės „Safecote“ ir „Safecote“ bei NaCl mišiniu užterštame dirvožemyje buvo labai panašios. Iš 3.11 pav. matyt, jog 5 g/kg NaCl ir „Safecote“ mišinio turinčiame dirvožemyje augalų fitomasė yra šiek tiek mažesnė, nei kontrolinių augalų, o vien „Safecote“ užterštame dirvožemyje nežymiai didesnė, nei kontrolinių augalų. Ryškiausias skirtumas svidrės augalų fitomasių, augusių 5 g/kg NaCl užterštame ir kontroliniame dirvožemyje buvo po trečios ir šeštos augimo savaitių – 3,8 mg.



**3.11 pav.** Tikrojo eraičino fitomasės kitimas kelių priežiūros medžiagomis užterštame dirvožemyje

Pievinės miglės fitomasė pirmąsias keturias tyrimo savaites skirtingo užteršimo dirvožemiuose kito tolygiai. Nuo ketvirtos iki šeštos savaitės matomas ryškus fitomasės kitimo skirtumas: 5 g/kg NaCl ir „Safecote“ mišiniu užterštame dirvožemyje augalai priaugo tik 0,4 mg, kontroliniame dirvožemyje 2,1 mg, o 5 g/kg „Safecote“ turinčiame dirvožemyje – 1,3 mg. Kaip ir daugiamečių svidrės, miglės fitomasė vien 5 g/kg „Safecote“ užterštame dirvožemyje buvo didesnė nei kontrolinių augalų (3.12 pav.). 5 g/kg NaCl turinčiame dirvožemyje pievinė miglė nesudygo visą tyrimo laikotarpį.

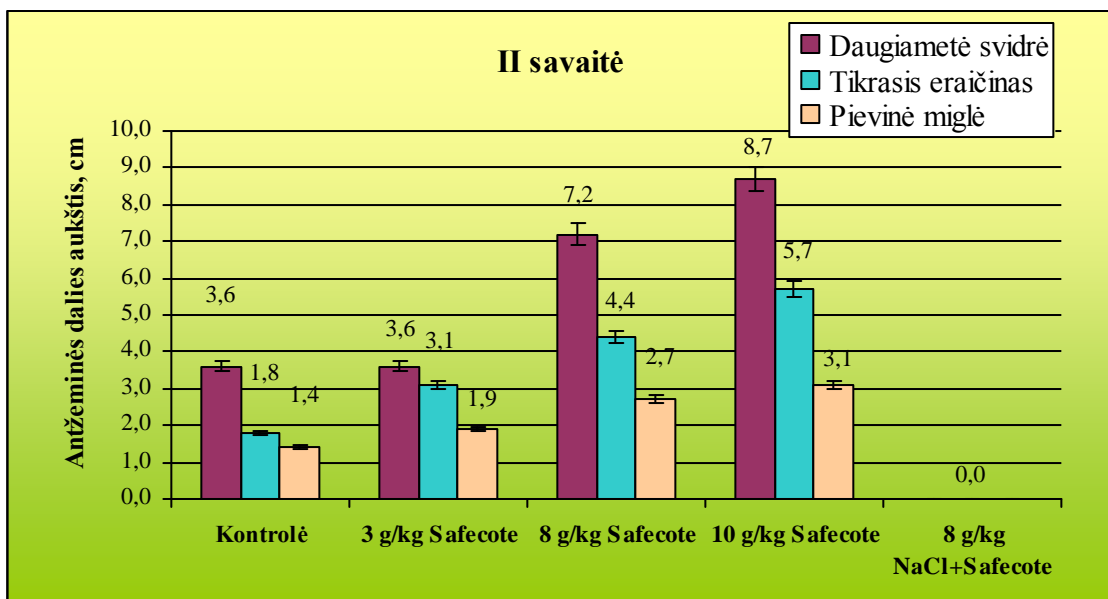


**3.12 pav.** Pievinės miglės fitomasės kitimas kelių priežiūros medžiagomis užterštame dirvožemyje

Pievinės miglės augalų fitomasė per visą augimo laikotarpį buvo mažiausia lyginant su svidre ir eraičiniu.

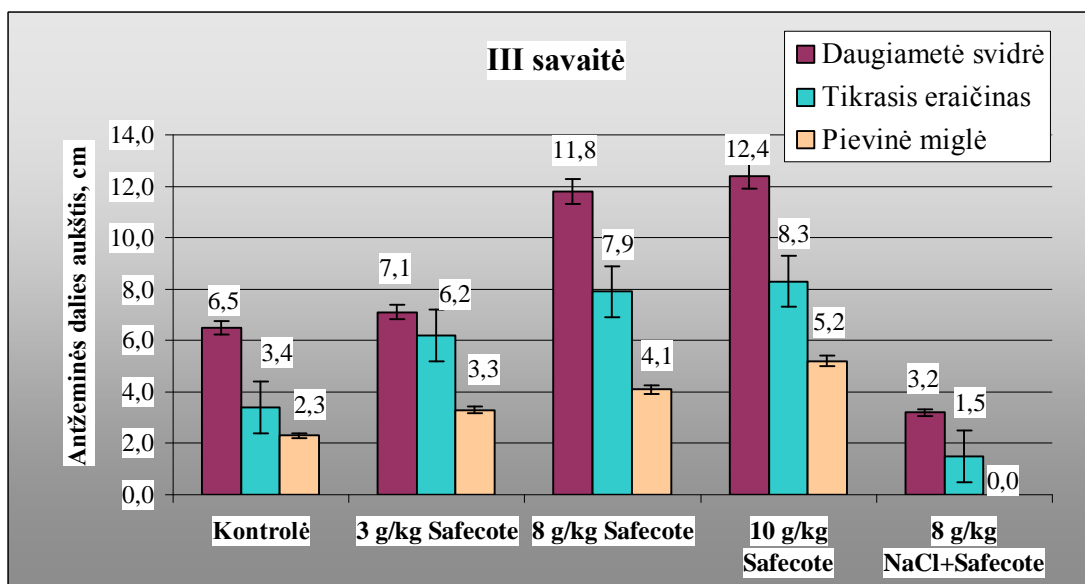
### 3.2. Žolinių augalų, augusių melasos pagrindu pagaminta medžiaga užterštame dirvožemyje, rodikliai

Atlikus pirmąjį eksperimentą, buvo pastebėta, jog „Safecote“ įterpta į dirvožemį teigiamai įtakoja žolinių augalų augimo procesą. Pirmojoje tyrimo dalyje, kaip minėta metodikoje, į dirvožemį buvo įterptos tik dvi „Safecote“ koncentracijos – 5 g/kg ir mišinyje kartu su NaCl naudota tik 0,5 g/kg šios medžiagos. Rezultatams patvirtinti buvo nuspręsta eksperimentą tęsti, analizuojant dar bent keletą „Safecote“ koncentracijų (3 g/kg, 8 g/kg, 10 g/kg) ir dar vieną papildomą didelės koncentracijos mišinį su NaCl (7,2 g/kg NaCl + 0,8 g/kg „Safecote“).



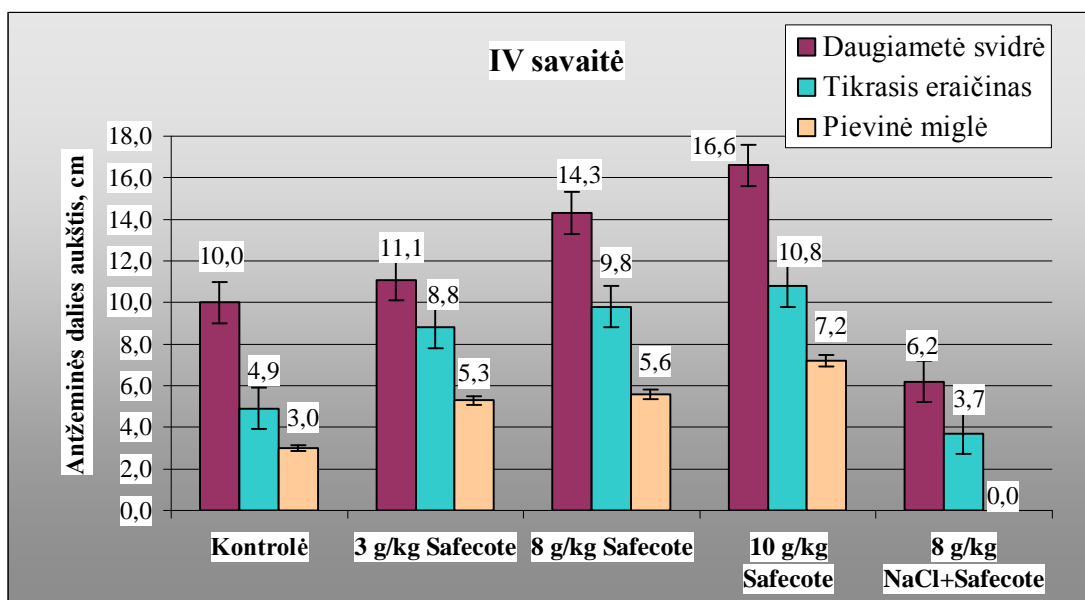
3.13 pav. Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po II augimo savaitės

Iš 3.13 pav. matyti, kad po antrosios savaitės svidrės antžeminės dalies ilgis buvo didžiausias, lyginant su kitos rūšies augalais, migle ir eraičinu. Jau po antros augimo savaitės aiškiai matosi, kad kuo didesnė „Safecote“ koncentracija, tuo augalų antžeminės dalies aukštis didesnis. Visi vien tik „Safecote“ užterštame dirvožemyje augantys augalai jau po antros augimo savaitės yra aukštesni net už kontrolinius augalus. 8 g/kg NaCl ir „Safecote“ mišiniu užterštame dirvožemyje nė viena augalų rūšis neišdygo ir po antros augimo savaitės.



3.14 pav. Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po III augimo savaitės

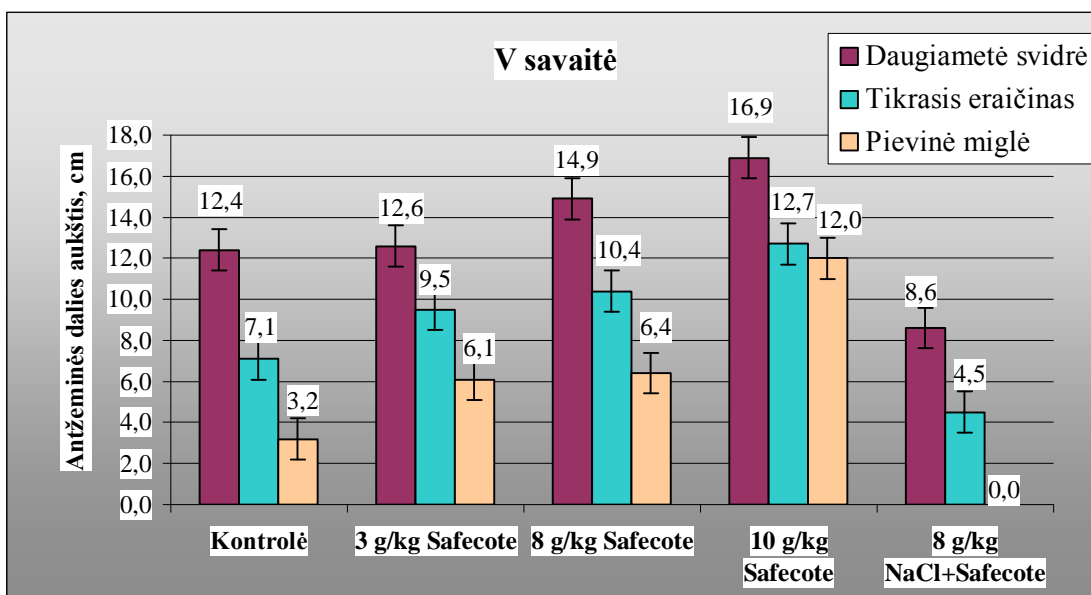
Trečiąją tyrimų savaitę, augalai ženkliai paaugo. Svidrės kontrolinių augalų aukštis pasiekė 6,5 cm, eraičino – 3,4 cm, miglės – 2,3 cm. Svidrės antžeminės dalies aukštis 10 g/kg „Safecote“ turinčiame dirvožemyje nuo kontrolinio skyrėsi 1,9 karto, miglės – 2,2 karto, o eraičino – 2,4 karto. 8 g/kg NaCl ir „Safecote“ mišiniu užterštame dirvožemyje svidrė pasiekė 3,2 cm, eraičinas 1,5 cm, o pievinė miglė ir po trečios augimo savaitės nesudygo (3.14 pav.).



3.15 pav. Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po IV augimo savaitės

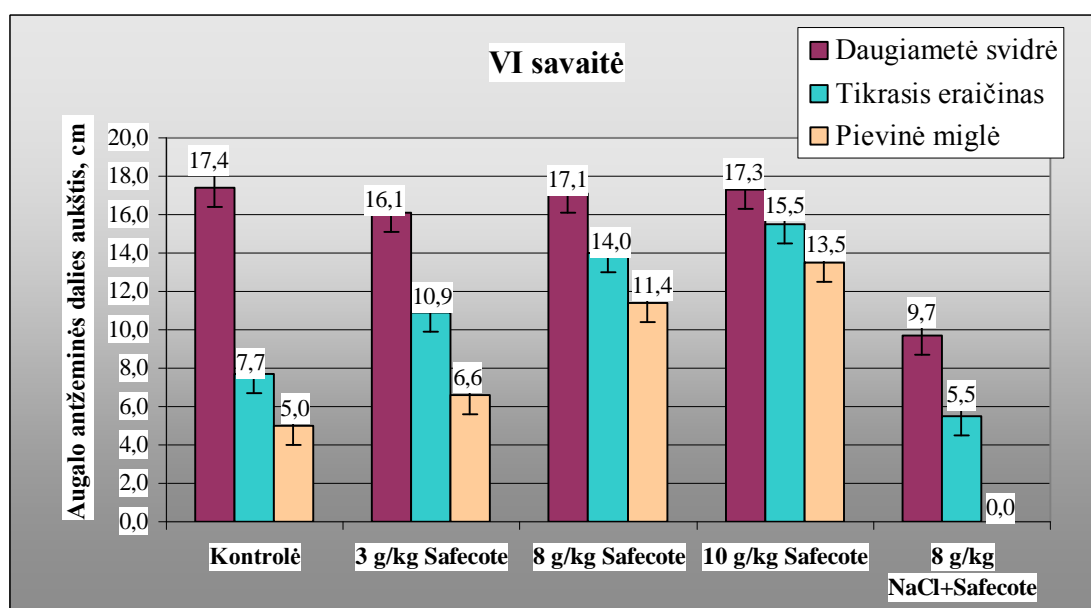
Ketvirtąją ir penktąją tyrimų savaitę 10 g/kg „Safecote“ užterštame dirvožemyje augalų ilgis buvo didžiausias: ketvirtą savaitę svidrės augalų ilgis pasiekė 16,6 cm, eraičino – 10,8 cm,

miglės – 7,2 cm, penktą, svidrės – 16,6 cm, eraičino – 12,7 cm, miglės – 12,0 cm (3.15, 3.16 pav.).



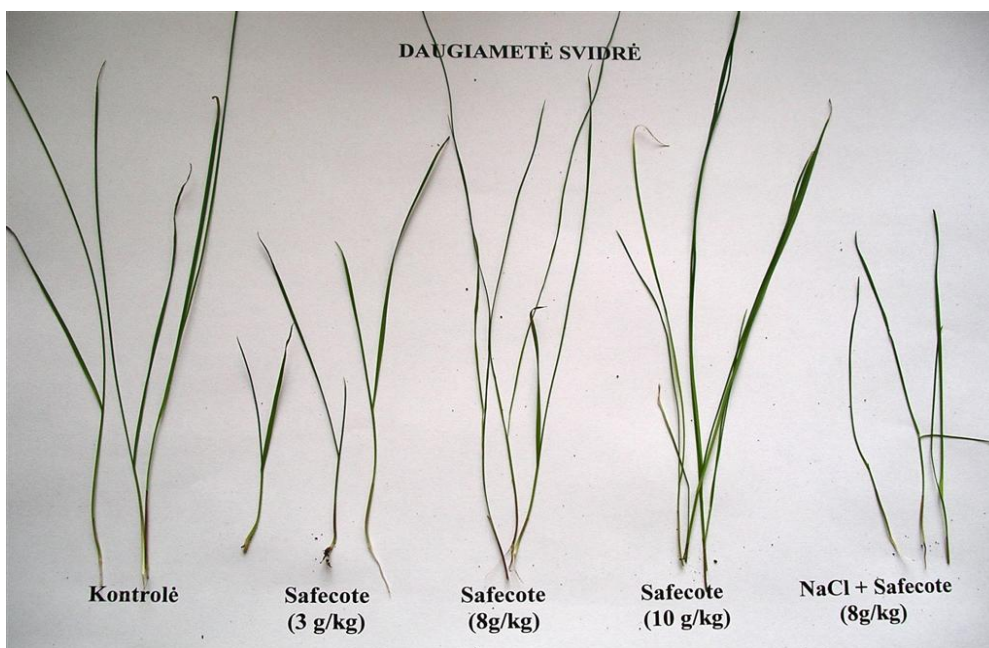
3.16 pav. Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po V augimo savaitės

Šeštąją augimo savaitę skirtingai užterštame dirvožemyje augusios daugiametės svidrės antžeminės dalies aukštis buvo beveik vienodas, nebeliko didesnių skirtumų buvusių anksčiau. Aukščiausi svidrės augalai buvo kontroliniame vazone ir siekė 17,4 cm. Eraičino ir miglės aukščių kitimas skirtingai užterštame dirvožemyje ir toliau išliko žymus. Eraičino ir miglės aukštis „Safecote“ užterštame dirvožemyje didesnis, nei kontrolinių augalų, kurie buvo laistomi tik dejonizuotu vandeniu (3.17 pav.).

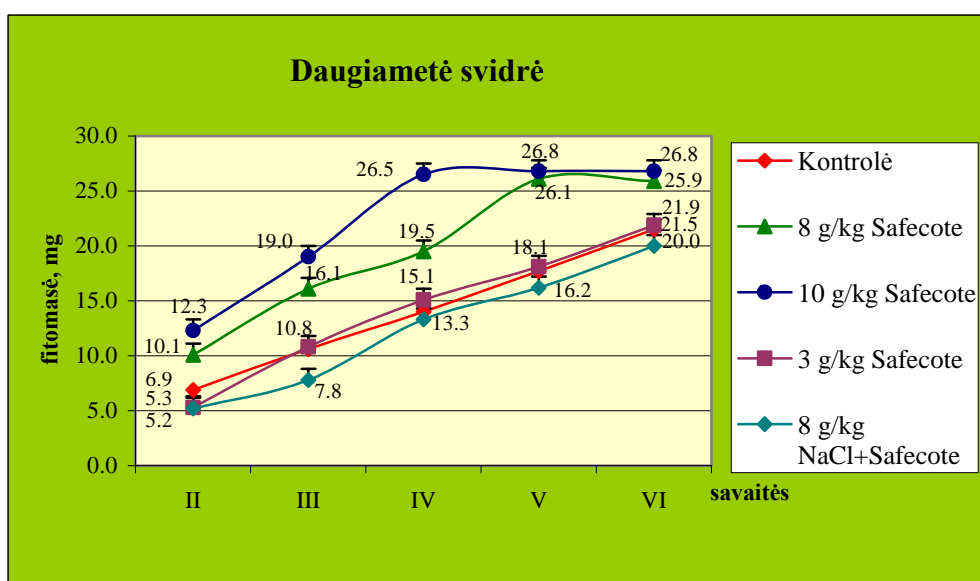


3.17 pav. Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po VI augimo savaitės

Daugiametė svidrė ir tikrasis eraičinas dirvožemyje su 8 g/kg NaCl bei „Safecote“ mišiniu sudygo tik trečiąją augimo savaitę, o pievinė miglė per visą augalų stebėjimo laiką visai nesudygo. Išdygę augalai, kas savaitę priaugdavo vidutiniškai: svidrė po 2,4 cm, o eraičinas po 1,4 cm. Po šešių augimo savaitių svidrės antžeminės dalies aukštis siekė 9,7 cm, o eraičino – 5,5 cm. Visą augimo laikotarpį NaCl ir „Safecote“ mišiniu užterštame dirvožemyje augusių augalų antžeminės dalies aukštis buvo mažesnis nei kontrolinių augalų.

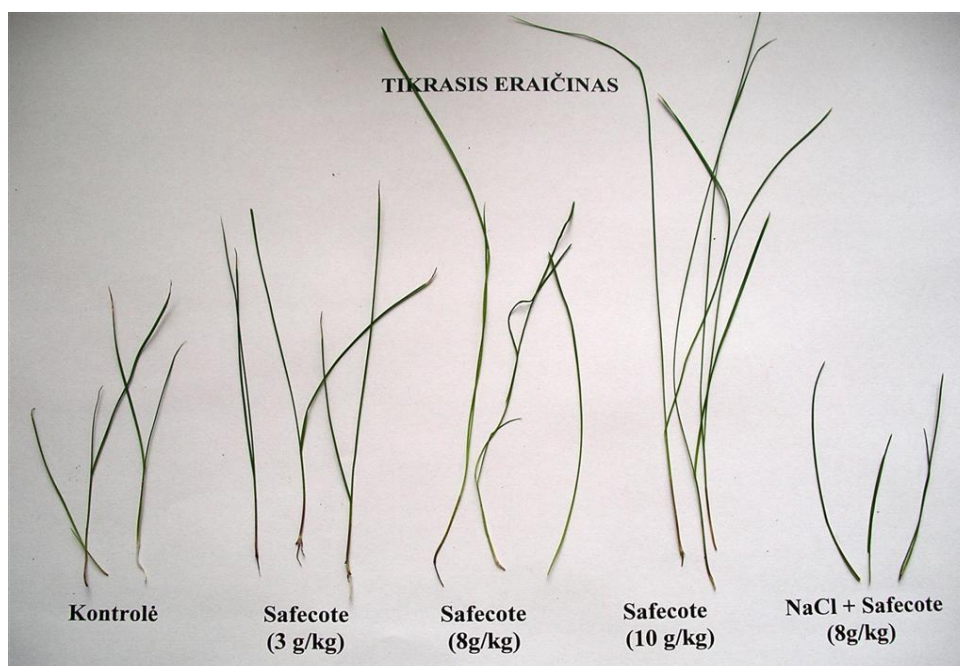


**3.18 pav.** Daugiametės svidrės antžeminės dalies aukštis po VI augimo savaitių

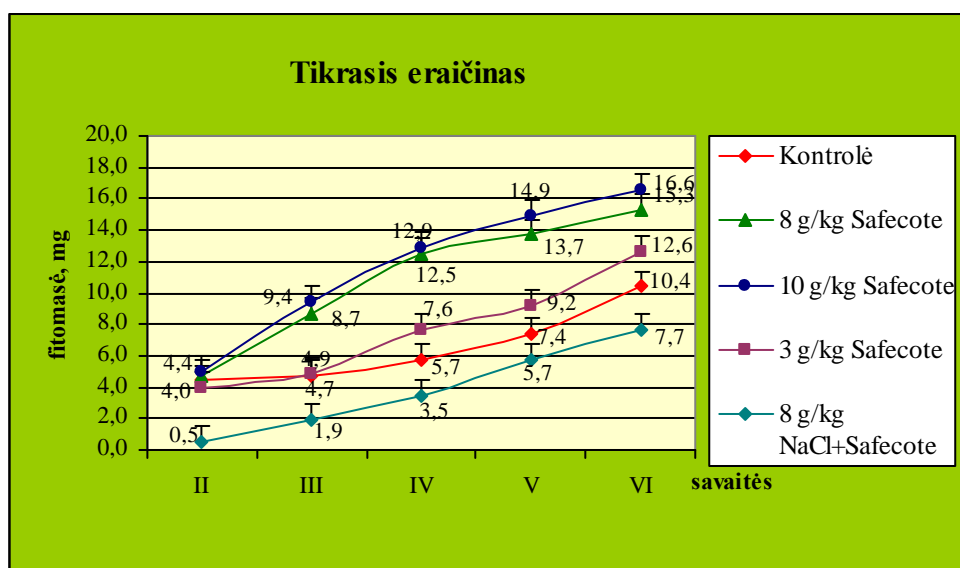


**3.19 pav.** Daugiametės svidrės fitomasės kitimas melasos pagrindu pagaminta medžiaga užterštame dirvožemyje

Daugiametės svidrės fitomasė kito skirtingai, priklausomai, nuo to, kaip užterštame dirvožemyje ji augo. Tolygiausiai kito kontrolinių augalų fitomasė, kas savaitę augalai priaugdavo vidutiniškai po 4 mg. 3 g/kg „Safecote“ turinčiame dirvožemyje ir 8 g/kg NaCl ir „Safecote“ mišinio turinčiame dirvožemyje augusių augalų fitomasė kito labai panašiai, kaip ir kontrolinių augalų, tačiau NaCl ir „Safecote“ mišiniu užterštame dirvožemyje augalų fitomasė buvo mažiausia. antrąją augimo savaitę buvo 0,1 mg mažesnė, nei kontrolinių augalų, trečią savaitę – 3,0 mg, ketvirtą savaitę – 0,7 mg, penktą savaitę – 1,9 mg, šestą savaitę – 1,5 mg. 8 g/kg „Safecote“ ir 10 g/kg „Safecote“ turinčiame dirvožemyje augusių augalų fitomasė didesnė nei kontrolinių augalų (3.19 pav.).

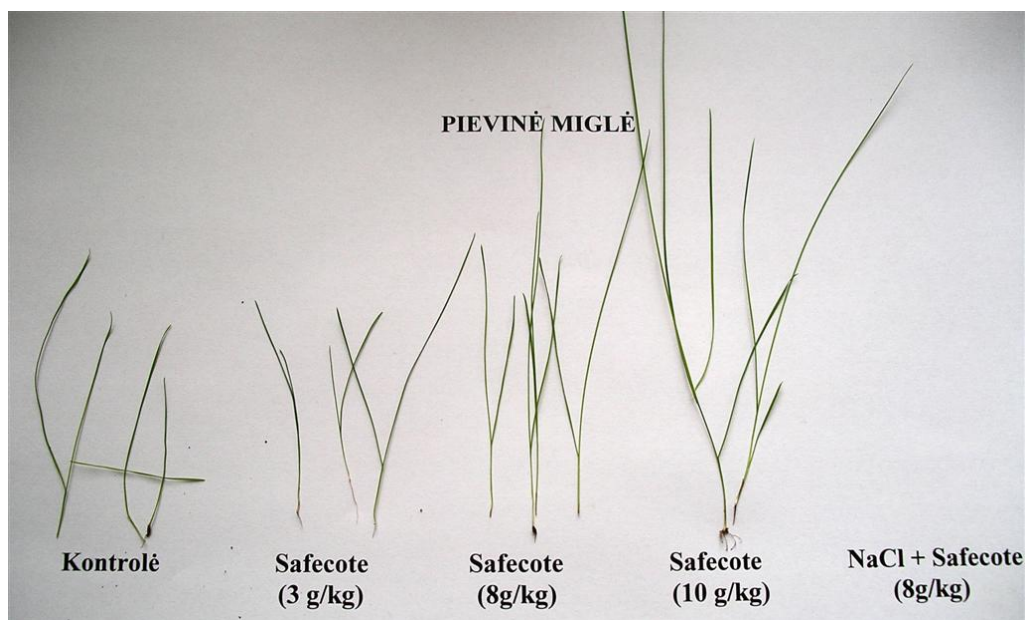


**3.20 pav.** Tikrojo eraičino antžeminės dalies aukštis po VI augimo savaitės

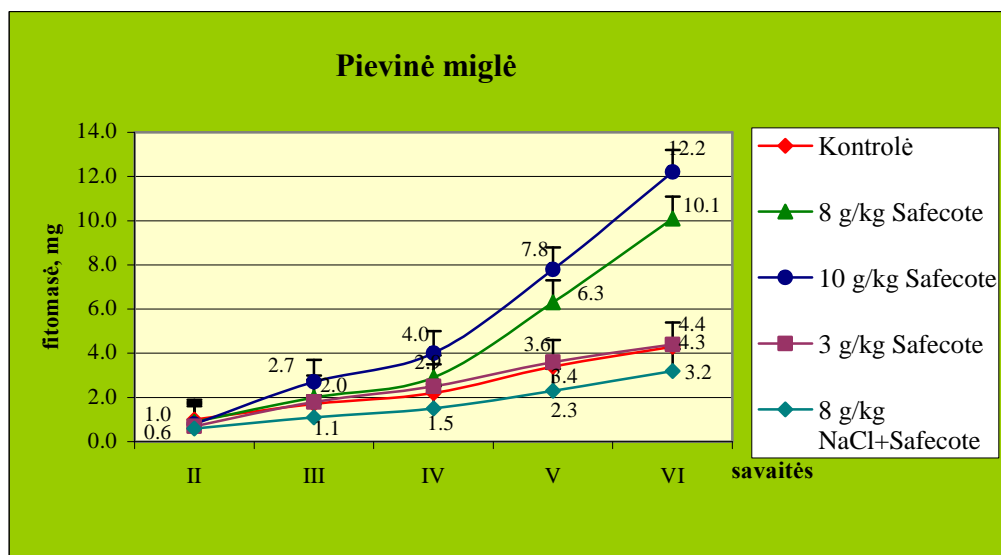


**3.21 pav.** Tikrojo eraičino fitomasės kitimas kitimas melasos pagrindu pagaminta medžiaga užterštame dirvožemyje

Tikrojo eraičino akivaizdūs fitomasės skirtumai matomi „Safecote“ užterštame dirvožemyje. Kuo didesnė „Safecote“ koncentracija dirvožemyje, tuo augalų fitomasė didesnė. 8 g/kg NaCl ir „Safecote“ mišinio turinčiame dirvožemyje augalų fitomasė yra mažesnė, nei kontrolinių augalų: po dviejų savaitių – 3,5 mg, po trijų savaitių – 2,9 mg, po keturių savaitių – 2,2 mg, po penkių savaitių – 1,7 mg, po šešių savaitių – 2,7 mg (3.21 pav.).



3.22 pav. Pievinės miglės antžeminės dalies aukštis po VI augimo savaitės



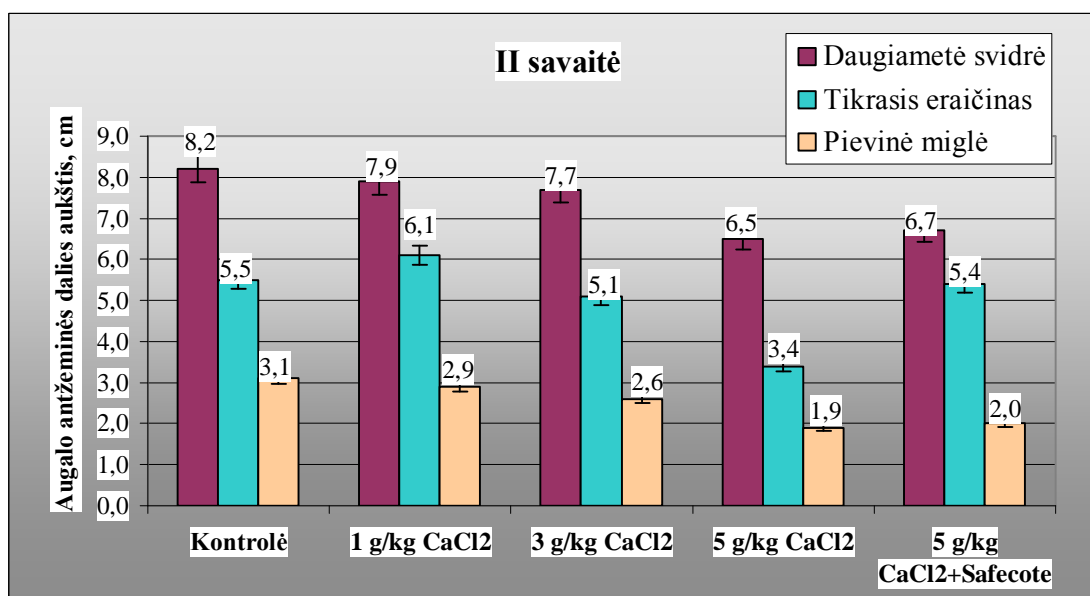
3.23 pav. Pievinės miglės fitomasės kitimas kitimas melasos pagrindu pagaminta medžiaga užterštame dirvožemyje

Pievinės miglės fitomasė pirmąsias tyrimo savaites kito tolygiai ir po ketvirtos savaitės buvo vidutiniškai 2,0 mg. Kiek didesne fitomase išsiskyrė 10 g/kg „Safecote“ turinčiame dirvožemyje augusi miglė. Nuo ketvirtos iki šeštos savaitės matomas ryškus fitomasės kitimo

skirtumas: 8 g/kg ir 10 g/kg „Safecote“ turinčiuose dirvožemiuose augalai priaugo atitinkamai 7,2 mg ir 8,2 mg. Kaip ir svidrės, miglės fitomasė buvo didesnė tuose vazonuose, kur „Safecote“ koncentracija didesnė (3.23 pav.).

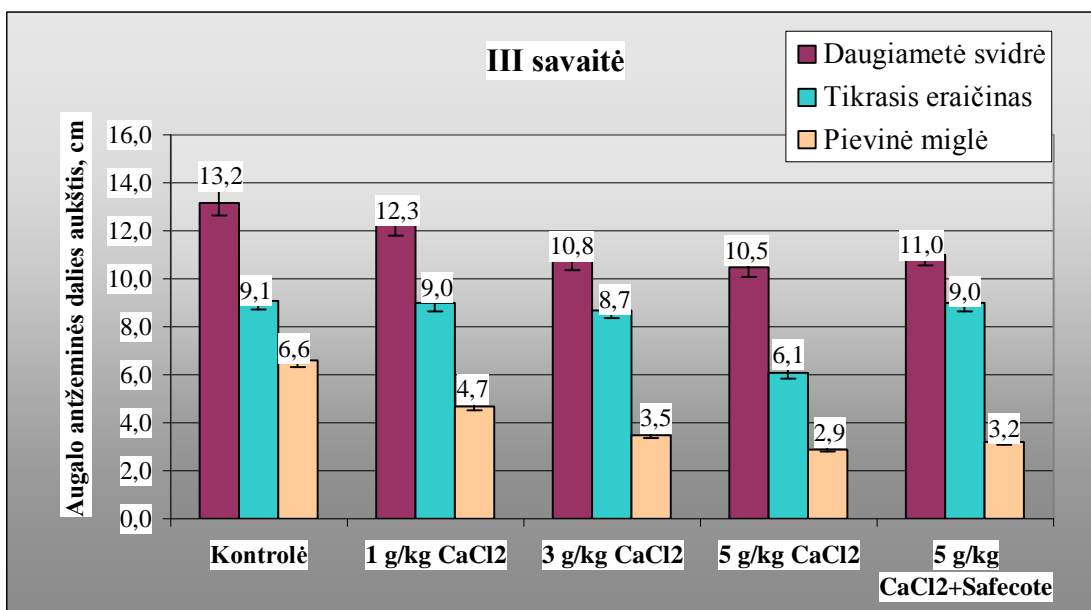
### 3.3. Žolinių augalų, augusių melasos pagrindu pagamintos medžiagos bei kalcio chlorido mišiniu užterštame dirvožemyje, rodikliai

Atlikus pirmuosius du eksperimentus, buvo nuspręsta tęsti eksperimentus ir stebėti kaip veikiami žoliniai augalai kalcio chlorido ( $\text{CaCl}_2$ ) druska. Buvo atliktas eksperimentas su skirtingomis  $\text{CaCl}_2$  koncentracijomis bei analizuota „Safecote“ mišinys su  $\text{CaCl}_2$  druska (4,5 g/kg  $\text{CaCl}_2$  + 0,5 g/kg „Safecote“).



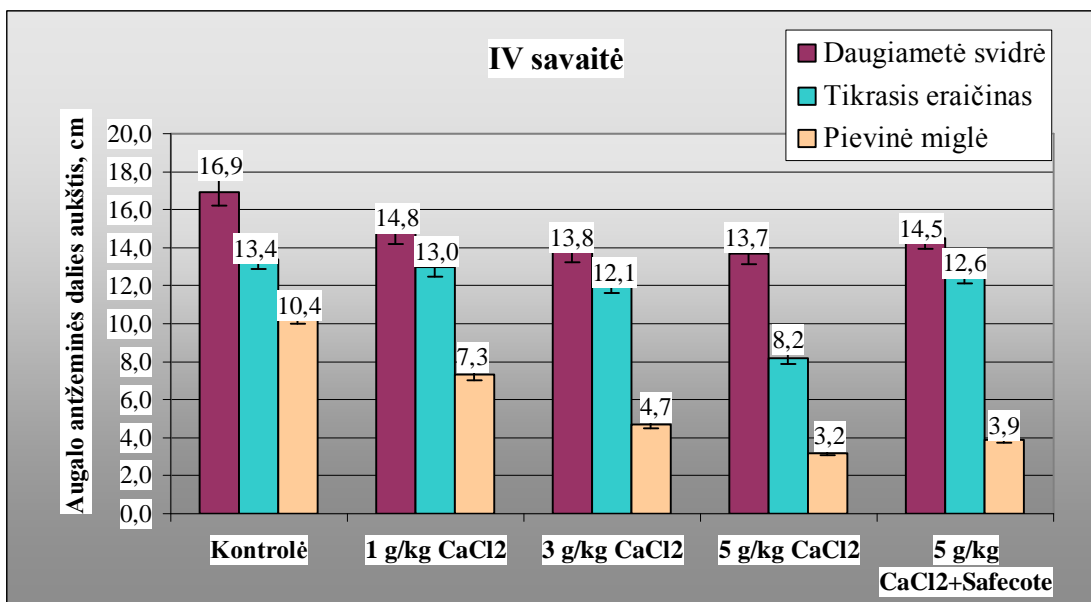
3.24 pav. Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po II augimo savaitės

Iš 3.24 pav. matyti, kad po antrosios savaitės svidrės antžeminės dalies aukštis buvo didžiausias, lyginant su kitos rūšies augalais, migle ir eraičinu. Jau po antros augimo savaitės aiškiai matosi, kad kuo didesnė  $\text{CaCl}_2$  koncentracija, tuo augalų antžeminės dalies aukštis mažesnis. Visi vien tik  $\text{CaCl}_2$  užterštame dirvožemyje augantys augalai jau po antros augimo savaitės yra žemesni už kontrolinius augalus. 5 g/kg  $\text{CaCl}_2$  ir „Safecote“ mišiniu užterštame dirvožemyje pastebima teigiama „Safecote“ įtaka, visų augalų rūšių antžeminės dalies aukštis jau antrąją tyrimo savaitę yra šiek tiek didesnis už vien tik  $\text{CaCl}_2$  druska užterštame dirvožemyje.



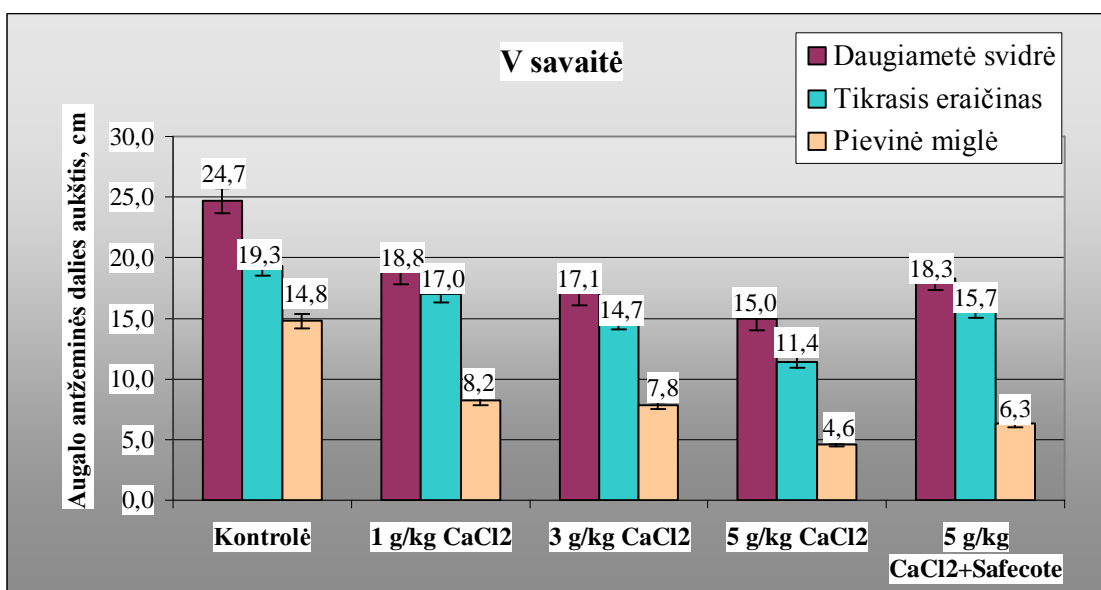
3.25 pav. Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po III augimo savaitės

Trečiąją tyrimų savaitę, augalai ženkliai paaugo. Svidrės kontrolinių augalų aukštis pasiekė 13,2 cm, eraičino – 9,1 cm, miglės – 6,6 cm. Svidrės antžeminės dalies aukštis 5 g/kg CaCl<sub>2</sub> turinčiame dirvožemyje nuo kontrolinio skyrėsi 1,3 karto, miglės – 2,3 karto, o eraičino – 1,5 karto. 5 g/kg CaCl<sub>2</sub> ir „Safecote“ mišiniu užterštame dirvožemyje svidrė pasiekė 11,0 cm, eraičinas 9,0 cm, o pievinė miglė 3,2 cm (3.25 pav.).



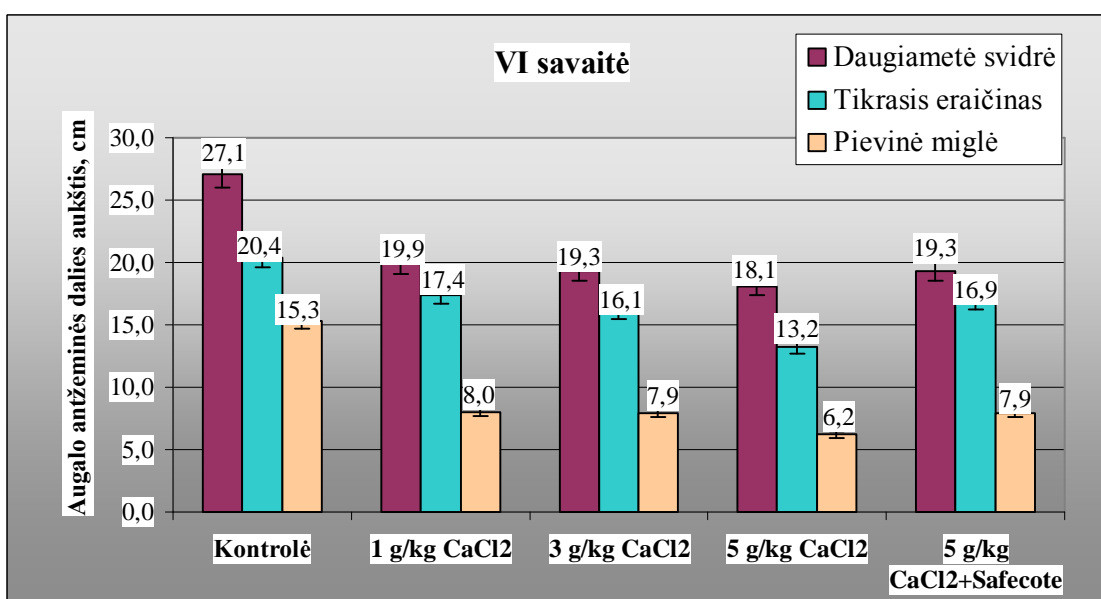
3.26 pav. Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po IV augimo savaitės

Ketvirtąją ir penktąją tyrimų savaitę 5 g/kg CaCl<sub>2</sub> užterštame dirvožemyje augalų ilgis buvo mažiausias: ketvirtą savaitę svidrės augalų ilgis pasiekė 13,7 cm, eraičino – 8,2 cm, miglės – 3,2 cm, penktą, svidrės – 15,0 cm, eraičino – 11,4 cm, miglės – 4,6 cm (3.14, 3.15 pav.).



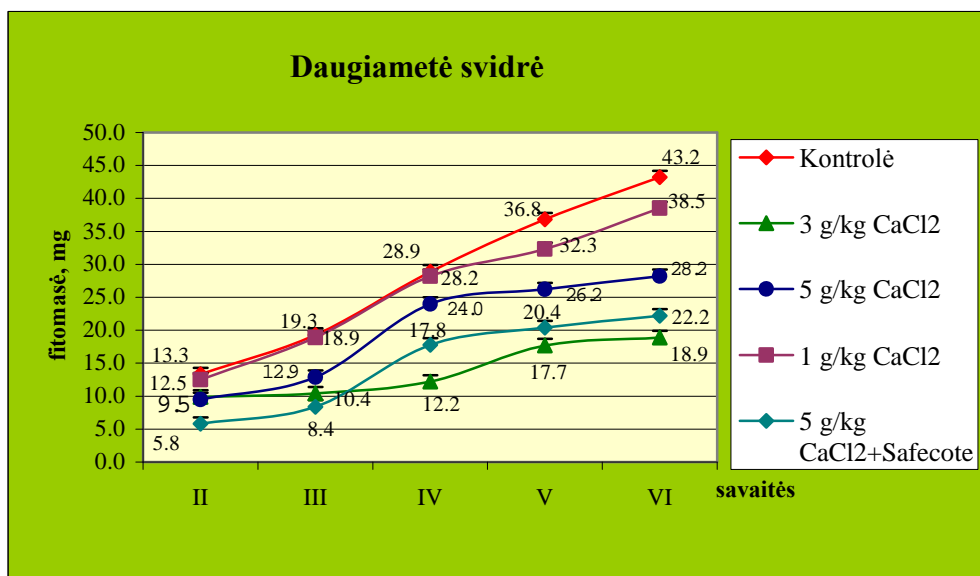
3.27 pav. Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po V augimo savaitės

Šeštąją augimo savaitę skirtingai užterštame dirvožemyje augusios daugiametės svidrės antžeminės dalies aukštis buvo beveik vienodas, nebeliko didesnių skirtumų buvusių anksčiau. Aukščiausi svidrės augalai buvo kontroliniame vazone ir siekė 27,1 cm. Eraičino ir miglės aukščių kitimas skirtingai užterštame dirvožemyje ir toliau išliko žymus (3.28 pav.).



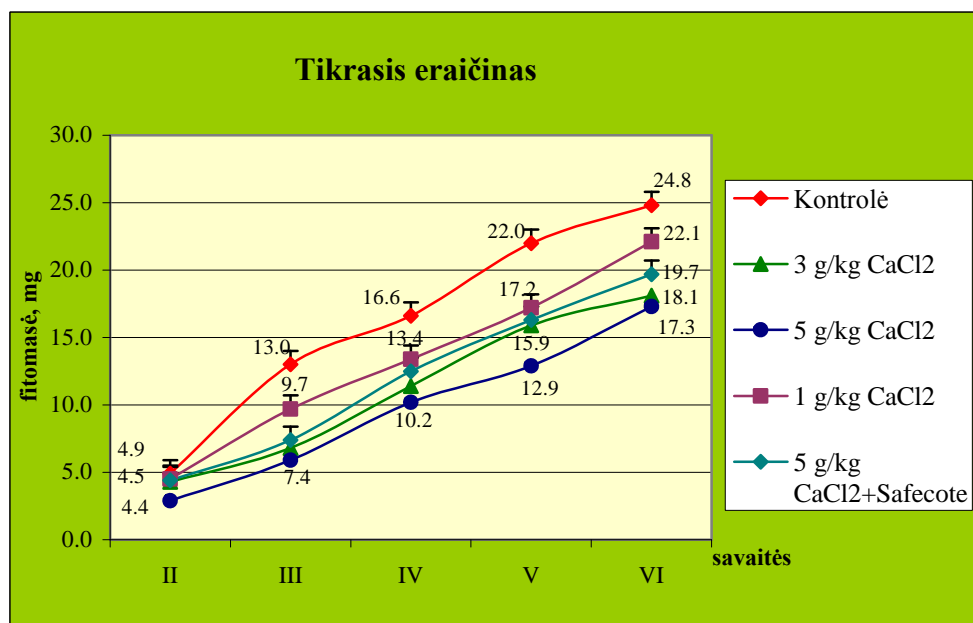
3.28 pav. Žolinių augalų antžeminės dalies aukštis po VI augimo savaitės

Daugiametė svidrė, tikrasis eraičinas ir pievinė miglė dirvožemyje su 5 g/kg CaCl<sub>2</sub> bei „Safecote“ mišiniu sudygo antrąją augimo savaitę. Išdygę augalai, kas savaitę priaugdavo vidutiniškai: svidrė po 3,2 cm, eraičinas po 2,9 cm, miglė po 1,5 cm. Po šešių augimo savaičių svidrės antžeminės dalies aukštis siekė 19,3 cm, eraičino – 16,9, o miglės – 7,9 cm. Visą augimo laikotarpį CaCl<sub>2</sub> ir „Safecote“ mišiniu užterštame dirvožemyje augusių augalų antžeminės dalies aukštis buvo mažesnis nei kontrolinių augalų, bet didesnis nei 5 g/kg CaCl<sub>2</sub> užterštame dirvožemyje.



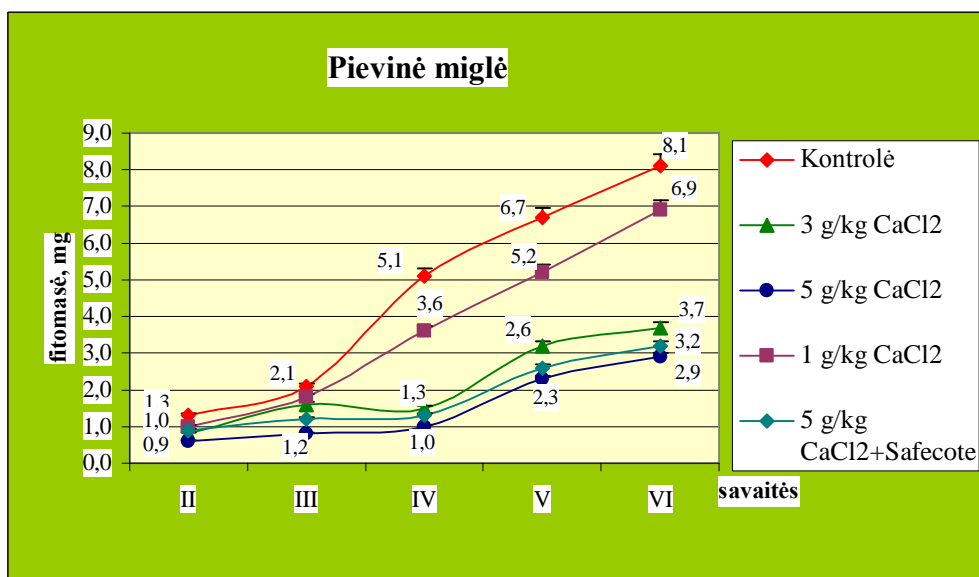
**3.29 pav.** Daugiametės svidrės fitomasės kitimas „Safecote“ bei CaCl<sub>2</sub> užterštame dirvožemyje

Daugiametės svidrės fitomasė kito skirtingai, priklausomai, nuo to, kaip užterštame dirvožemyje ji augo. Tolygiausiai kito kontrolinių augalų fitomasė, kas savaitę augalai priaugdavo vidutiniškai po 7 mg. 1 g/kg CaCl<sub>2</sub> turinčiame dirvožemyje augusių augalų fitomasė kito labai panašiai, kaip ir kontrolinių augalų. 5 g/kg CaCl<sub>2</sub> ir „Safecote“ mišiniu užterštame dirvožemyje augalų fitomasė kito labai panašiai, kaip ir 3 g/kg CaCl<sub>2</sub> turinčiame dirvožemyje augalų, tačiau CaCl<sub>2</sub> ir „Safecote“ mišiniu užterštame dirvožemyje augalų fitomasė buvo šiek tiek mažesnė. Antrąją augimo savaitę mišinio fitomasė buvo 7,5 mg mažesnė, nei kontrolinių augalų, trečią savaitę – 10,9 mg, ketvirtą savaitę – 11,1 mg, penktą savaitę – 16,4 mg, šeštą savaitę – 21,0 mg (3.29 pav.).



3.30 pav. Tikrojo eraičino fitomasės kitimas „Safecote“ bei CaCl<sub>2</sub> užterštame dirvožemyje

Tikrojo eraičino akivaizdūs fitomasės skirtumai matomi CaCl<sub>2</sub> užterštame dirvožemyje. Kuo didesnė CaCl<sub>2</sub> koncentracija dirvožemyje, tuo augalų fitomasė mažesnė. 5 g/kg CaCl<sub>2</sub> ir „Safecote“ mišinio turinčiame dirvožemyje augalų fitomasė yra mažesnė, nei kontrolinių augalų: po dviejų savaičių – 0,4 mg, po trijų savaičių – 5,4 mg, po keturių savaičių – 5,6 mg, po penkių savaičių – 6,1 mg, po šešių savaičių – 5,1 mg (3.30 pav.).



3.31 pav. Pievinės miglės fitomasės kitimas „Safecote“ bei CaCl<sub>2</sub> užterštame dirvožemyje

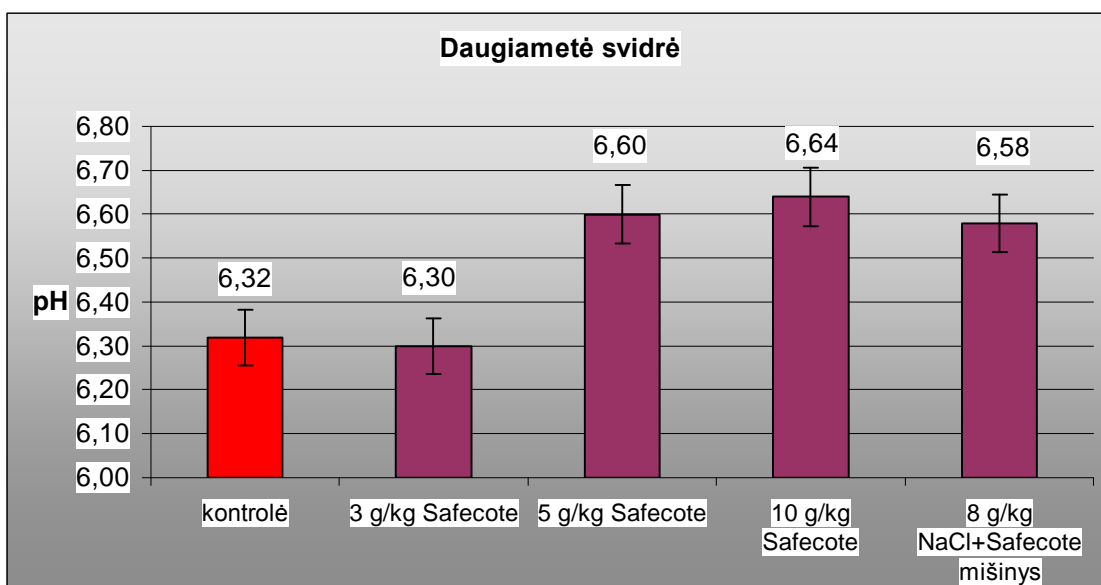
Pievinės miglės fitomasė pirmąsias tris tyrimo savaites kito tolygiai ir po trečios savaitės buvo vidutiniškai 1,7 mg. Nuo trečios iki šeštos savaitės matomas ryškus fitomasės kitimo skirtumas: kontrolinių augalų ir 1 g/kg CaCl<sub>2</sub> koncentraciją dirvožemyje turinčių augalų fitomasė

yra panaši ir žymiai didesnė už didesnėse  $\text{CaCl}_2$  koncentracijose augančių augalų. 5 g/kg  $\text{CaCl}_2$  ir „Safecote“ mišiniu užterštame dirvožemyje augalų fitomasė visą augimo periodą buvo didesnė nei 5 g/kg vien  $\text{CaCl}_2$  turinčiame dirvožemyje augalų (3.31 pav.).

### 3.4. Dirvožemio, užteršto melasos pagrindu pagaminta medžiaga, pH tyrimų rezultatai ir analizė

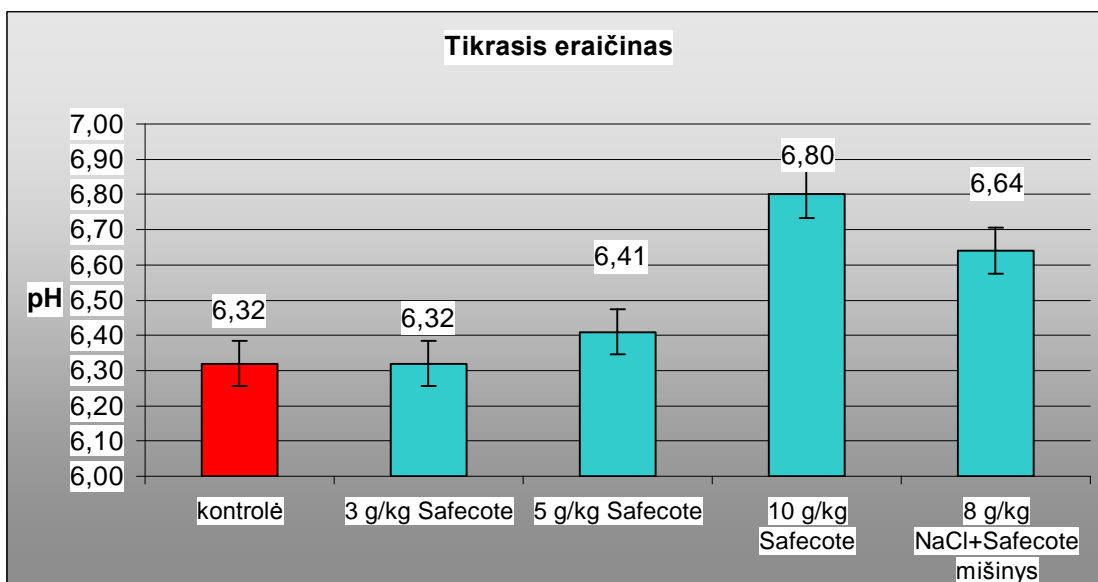
Siekiant nustatyti naujos kartos slidumą mažinančios medžiagos „Safecote“ įtaką dirvožemio būklei, buvo tiriamas dirvožemio pH (vandenilio jonų koncentracija).

Kaip matyti iš 3.32, 3.33 ir 3.34 pav., „Safecote“ neužteršto dirvožemio vandenilio jonų koncentracija (pH) yra žema – 6,32. Tai rodo, jog tyrimams naudotas dirvožemis buvo silpnai rūgštinis. Įterpus į dirvožemį „Safecote“, dirvožemio pH tapo artimas neutraliam. Kuo „Safecote“ koncentracija dirvožemyje didesnė, tuo dirvožemio pH labiau artimas neutraliam (7,0).



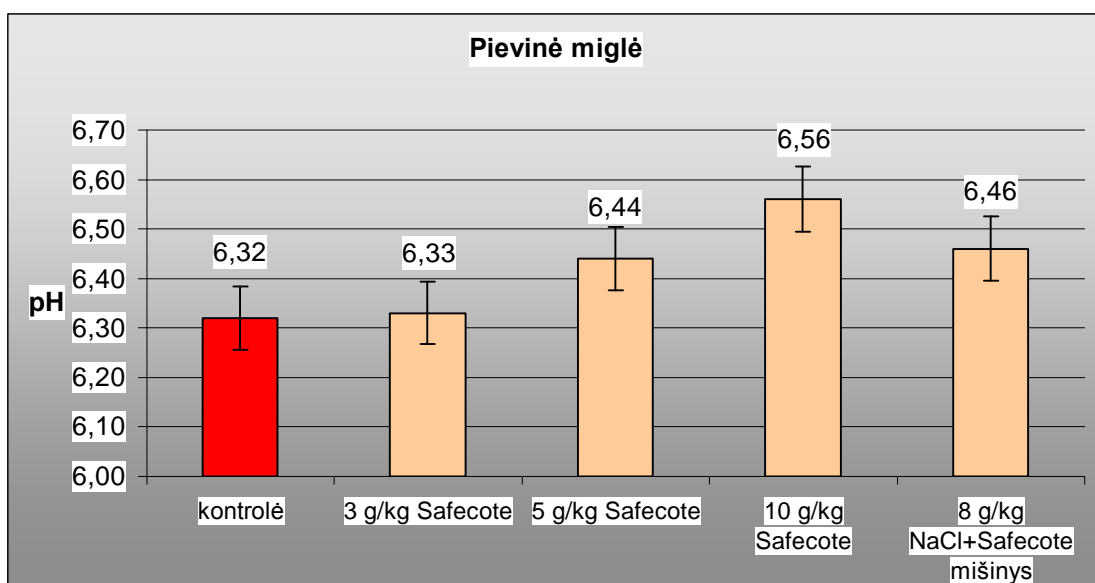
**3.32 pav.** Dirvožemio, užteršto „Safecote“, kuriame augo daugiametė svidrė pH kaita

Dirvožemyje kuriame šešias savaites augo daugiametė svidrė esant 3 g/kg „Safecote“, pH buvo 6,30; esant 5 g/kg „Safecote“ – 6,60, esant 10 g/kg „Safecote“ – 6,64, esant 8 g/kg NaCl ir „Safecote“ mišiniui – 6,58 (3.32 pav.).



**3.33 pav.** Dirvožemio, užteršto „Safecote“, kuriame augo tikrasis eraičinas pH kaita

Dirvožemyje kuriame šešias savaites augo tikrasis eraičinas esant 3 g/kg „Safecote“, pH buvo 6,32; esant 5 g/kg „Safecote“ – 6,41, esant 10 g/kg „Safecote“ – 6,80, esant 8 g/kg NaCl ir „Safecote“ mišiniui – 6,64 (3.33 pav.).

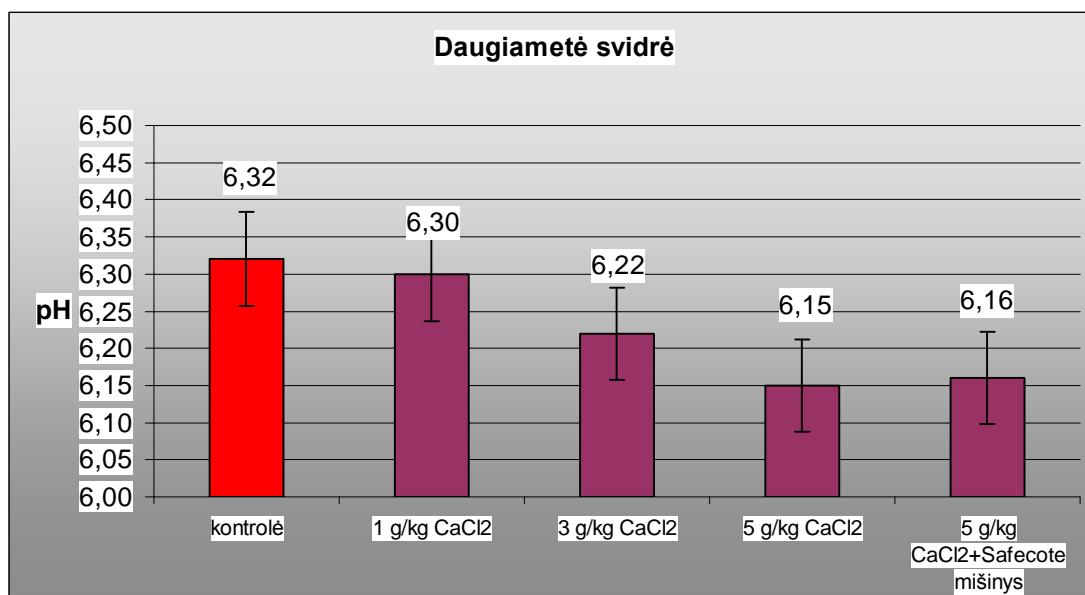


**3.34 pav.** Dirvožemio, užteršto „Safecote“, kuriame augo pievinė miglė pH kaita

Dirvožemyje kuriame šešias savaites augo pievinė miglė esant 3 g/kg „Safecote“, pH buvo 6,33; esant 5 g/kg „Safecote“ – 6,44, esant 10 g/kg „Safecote“ – 6,56, esant 8 g/kg NaCl ir „Safecote“ mišiniui – 6,46 (3.34 pav.).

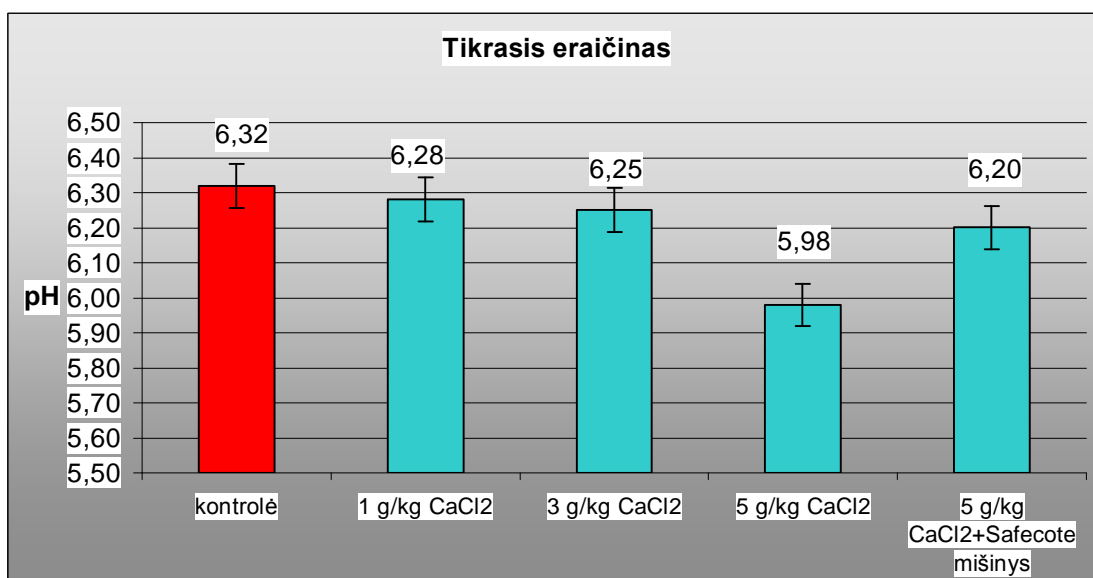
Kaip matyti iš 3.35, 3.36 ir 3.37 pav., kelių priežiūros druskos, patekę į dirvožemį, jo terpę daro silpnai rūgštinę. Kuo didesnė  $\text{CaCl}_2$  koncentracija dirvožemyje, tuo vandenilio jonų

koncentracija mažesnė. Įterpus į dirvožemį 5g /kg CaCl<sub>2</sub> ir „Safecote“ mišinį, dirvožemio pH tampa artimesnis neutraliam, lyginant su vien tik 5 g/kg CaCl<sub>2</sub> dirvožemio pH.



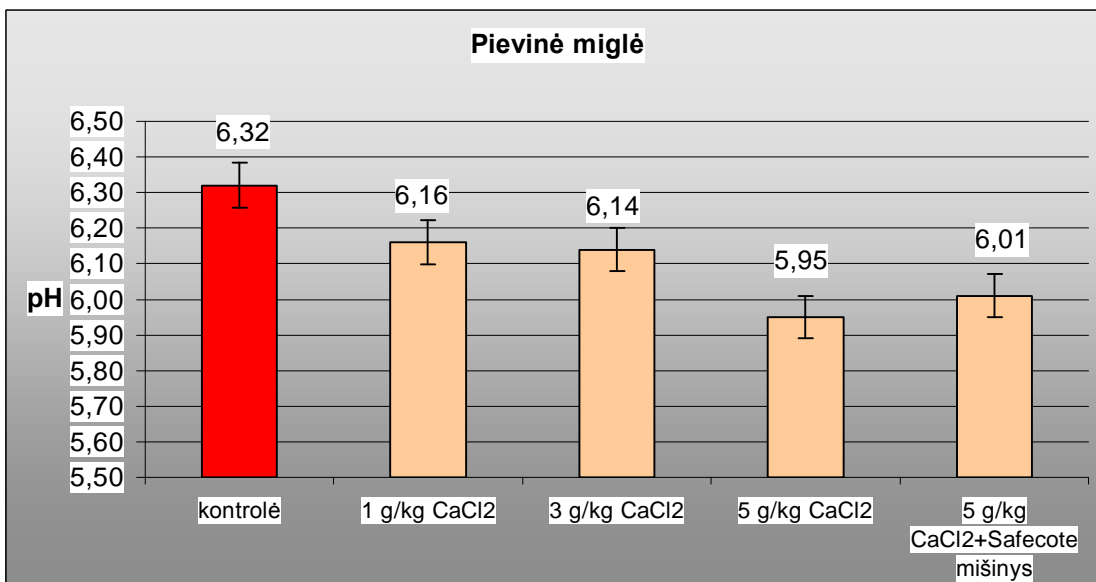
**3.35 pav.** Dirvožemio, užteršto CaCl<sub>2</sub>, kuriame augo daugiametė svidrė pH kaita

Dirvožemyje kuriame šešias savaites augo daugiametė svidrė esant 1 g/kg CaCl<sub>2</sub> pH buvo 6,30; esant 3 g/kg CaCl<sub>2</sub> – 6,22, esant 5 g/kg CaCl<sub>2</sub>– 6,15, esant 5 g/kg CaCl<sub>2</sub> ir „Safecote“ mišiniui – 6,16 (3.35 pav.).



**3.36 pav.** Dirvožemio, užteršto CaCl<sub>2</sub>, kuriame augo tikrasis eraičinas pH kaita

Dirvožemyje kuriame šešias savaites augo tikrasis eraičinas esant 1 g/kg CaCl<sub>2</sub> pH buvo 6,28; esant 3 g/kg CaCl<sub>2</sub> – 6,25, esant 5 g/kg CaCl<sub>2</sub>– 5,98, esant 5 g/kg CaCl<sub>2</sub> ir „Safecote“ mišiniui – 6,20 (3.36 pav.).



**3.37 pav.** Dirvožemio, užteršto CaCl<sub>2</sub>, kuriame augo pievinė miglė, pH kaita

Dirvožemyje kuriame šešias savaites augo pievinė miglė esant 1 g/kg CaCl<sub>2</sub> pH buvo 6,16; esant 3 g/kg CaCl<sub>2</sub> – 6,14, esant 5 g/kg CaCl<sub>2</sub> – 5,95, esant 5 g/kg CaCl<sub>2</sub> ir „Safecote“ mišiniui – 6,01 (3.37 pav.).

Pagal tyrimų rezultatus matyti, jog „Safecote“ dirvožemio būklės neblogina. Kelių priežiūros druskų mišiniai su „Safecote“ netgi gerina jo būklę, nes silpnai rūgštinę dirvožemio terpę keičia į neutralią, o tai leidžia augalams geriau įsisavinti maistines medžiagas.

## 4. ŽOLINIŲ AUGALŲ AUGIMO INTENSYVUMO MATEMATINIS MODELIAVIMAS

Matematinis modeliavimas – tiriamojo proceso ar reiškinių aprašyto diferencialinėmis lygtimis ir apriboto vienareikšmiškumo sąlygomis skaitinis ar analizinis išsprendimas, t.y. matematinio modelio sudarymas ir jo realizavimas, uždavinio sprendinio radimas. Matematiniam modeliavime uždavinio sprendinius gauname daugiausiai skaitiniu būdu. Spręsdami uždavinius esame padarę didžiulę pažangą – naudojame galingas skaičiavimo mašinas. Kai per sekundę galima atlikti šimtus milijonų matematinių operacijų ir atminties tūriai dideli, prasideda tiesioginis gamtos procesų modeliavimas, kuris iki šiol buvo galimas tik eksperimentuojant (Vaitiekūnas, Špakauskas 2000).

Gyvojoje gamtoje vykstančių procesų modeliavimas pasižymi savitu sudėtingumu dėl gamtinių sąlygų variacijų gausos (Baltrėnaitė, Butkus 2007). Matematiniam modeliavimui pasirenkamas Phoenix 3.5 programinės įrangos paketas, kadangi ši programa yra tinkama nustatyti skirtingų priklausomybių kitimą įvairiose aplinkose (PHOENICS Overview 2006).

Phoenix programinės įrangos paketas duoda artutinius skaitinius pernašos lygčių sprendinius, nes tikslūs analiziniai sprendiniai yra negalimi. Phoenix programa plačiai naudojama teršalų sklaidos ore modeliavimui (Baltrėnas et al. 2008). Tačiau naudojantis šia programa, galima modeliuoti augalijos parametrus (Baltrėnas et al. 2006), biofiltruose vykstančius aerodinaminius procesus (Baltrėnas et al. 2004) ir t.t.

### 4.1. Trumpas Phoenix programos aprašymas

#### **Priklausomieji kintamieji**

Phoenix'as aprašo procesus, apimančius šilumos ar medžiagos srautus, nariais pasiskirstančiais erdvėje ir laike, kaip impulso, šilumos slėgio, koncentracijos ir kt. fizinių kiekybių pernešimą. Tai taip vadinami „priklausomieji kintamieji“.

Šie pasiskirstymai atspindi skaitinių reikšmių, kaip temperatūros, greičio ir t.t. aprašymą kiekvieną tvarkingu masyvu, pagal mazgus (nodes) ar tinklelio taškus (grid-points), ir jei procesas yra nestacionarus, tai tokie pasiskirstymai yra skaičiuojami kiekvienam laiko intervalui. EARTH yra arūpinta spręsti iki 50 priklausomų kintamųjų ir dar daugiau naudotojui prireikus. Kiekvienas priklausomas kintamasis atskiriamas pagal vardą. Jie yra P1, U1, U2, V1, V2, W1, W2, R1, R2, RS (šešėlinės antros fazės tūrinė frakcija), KE, EP, H1, H2, C1, C2, C3, C4, ..., C35 (kitas pirmos fazės koncentracijos kintamasis).

## **Nepriklausomieji kintamieji**

Bendru atveju Phoenix modeliuojami procesai yra 4D (keturmačiai): trys erdvinės dimensijos ir ketvirta laiko. Erdvinės dimensijos, jų atskyrimui palengvinti yra vadinamos tam tikrais vardais: north – south, east – west, high – low. Detalizuojama taip:

T – laikas matuojamas nuo ankstesnio į vėlesnę kryptį;

X – matuoja atstumą (ar kampą) kryptimi iš vakarų į rytus (in the west – to east);

Y – matuoja atstumą kryptimi iš pietų į šiaurę (in the south – to north);

Z – matuoja atstumą nuo žemo į aukštą kryptimi (in the low – to high).

## **Pagalbiniai kintamieji**

Papildomi kintamieji yra atskirti nuo priklausomų kintamųjų, jie išvesti ne iš diferencialinių, bet iš algebrinių lygčių. Jų pavyzdžiai yra:

- medžiagos ar aplinkos molekulinės savybės kaip laminarinis klampis, difuziškumas, Prandtlio skaičius ir t.t.;

- aplinkos ar medžiagos termodinaminės savybės kaip tankis, prisotinimo entalpija, temperatūra, jei ji nėra priklausomu kintanuoju;

- tarpfaziniai pernešimo parametrai, tokie kaip garavimo ir kondensacijos dydžiai, tarpfazinės trinties ir šilumos pernešimo koeficientai ir t.t.

Kai tokie kintamieji yra pastovūs dydžiai, jie Phoenix'e išreiškiami skaliarais. Kai jie nėra konstantomis, jie gali būti (esant poreikiui) išsaugomi kaip kintamųjų masyvai, pritaikant jiems vieną ar daugiau kaip 50 priklausomų kintamųjų saugyklų.

## **Pagrindinės Phoenix programos dalys**

Phoenix programa susideda iš dviejų pagrindinių ir dviejų papildomų kompiuterinių kodų.

- Pagrindiniai yra procesorius SATELLITE ir procesorius EARTH.

SATELLITE yra interpretatorius, jis naudotojo pateiktas instrukcijas duomenų faile perduoda EARTH, kuri jas supranta ir įsimena. SATELLITE gali priimti iš naudotojo informaciją keliais būdais:

- skaitydamas instrukciją failą vadinamą Q1, kurį naudotojas jam pateikia;
- įvesdamas instrukcijų failą iš Phoenix input library (PIL);
- pateikdamas su klaviatūra informaciją interaktyvios sesijos metu, jam gali padėti nukopijuotas HELP failas;
- kombinuojant anksčiau paminėtus atvejus.

SATELLITE turi Fortran programinę (subroute) vadinamą SATLIT, su kuria duomenų pasiuntimo (data – setting) pranešimą gali įvesti naudotojas, ir kita - MAM, kuri leidžia keisti

dimensijas (dimension). SATELLITE'o perkompiliavimas (re-compilation) ir "re-linking" yra būtinas, kad šie pakeitimai būtų efektyvūs (veikiantys).

EARTH turi pagrindinę srautų modeliavimo programinę įrangą, tai kodų sekos, kurios išreiškia panaudotus fizikos dėsnius, taikomus materijos pasiskirstymui erdvėje ir laike.

EARTH nuskaito failą, perduotą su SATELLITE, ir atlieka atitinkamus skaičiavimus, tada juos perduoda į išvedimo failą RESULT, kurį naudotojas gali skaityti, o taip pat į rezultatų failą PHI, kurį gali skaityti PHOTON, o taip pat EARTH, jei reikia skaičiuoti toliau.

Kaip ir SATELLITE, EARTH turi Fortran programines, prieinamas naudotojui (jos gali būti pavaizduotos kaip MAIN ir GROUND). MAIN yra naudojama tik dimensijų keitimui, bet GROUND, kuri vadinama "ground-station", ir ištikrųjų yra programinių rinkinys, gali būti panaudota įvairių duomenų pasiuntimui ir papildymo paprogramėmis tikslams.

Pagrindinės GROUND funkcijos yra užsiduoti reikalingas ribines sąlygas, srautus, fluido savybes ir rezultatų išvedimo nuorodas, kurių nėra EARTH koduose. Jei naudotojo reikmėms neužtenka to, ką jau turi standartinė GROUND, jis gali prijungti Fortran paprogrames ir įterpti kodavimo sekas savo nuožiūra, po to re-compiling) ir re-linking panaudojimą.

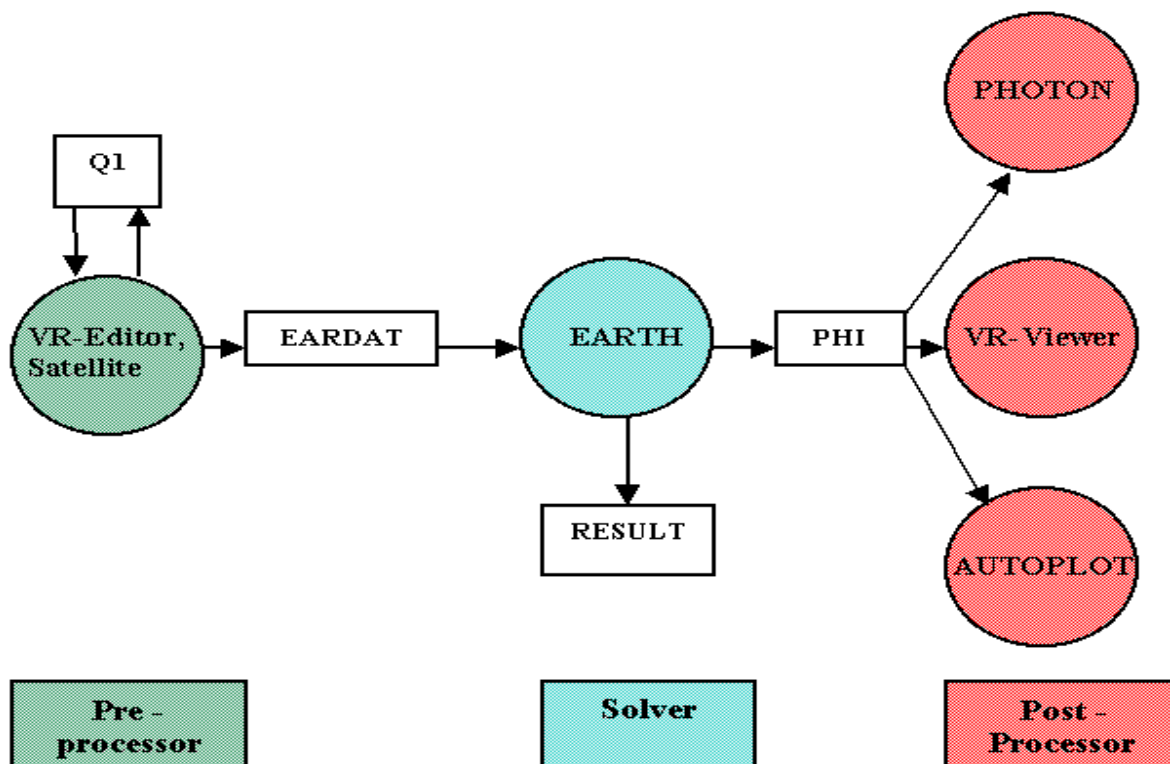
- Papildomi yra procesorius PHOTON ir atskira savarankiška informacinė programa POLIS.

PHOTON kodai yra interaktyvi programa, kuri naudoja PHI failą, sudarytą EARTH ir tada pagal naudotojo nuorodas per VDU klaviatūrą atvaizduoja skirtuminį tinklėlį, integravimo sritį, greičio vektorių laukus, kontūrus, izopaviršius ir kitus reikiamus rezultatus ekrane.

POLIS (GUIGE) yra ketvirtas atskiras kompiuterinis kodas. Jis yra informacijos šaltinis apie PHOENICS ir juo gali pasinaudoti tiek pradedantieji, tiek patyrę naudotojai.

PHOENICS leidžia srautų vienareikšmiškumo sąlygas pateikti per koeficientą C ir reikšmę V. SATELLITE'as priima naudotojo specifikacijas C ir V kiekybėms su komanda COVAL (CO – coefficient, VAL-value).

Kur, t.y. kuriai celei vienareikšmiškumo sąlyga bus duota, yra perduodama Phoenix'o įvedimų kalbos (Input Language).



4.1 pav. Phoenix's'o veikimo principinė schema (Špakauskas ir Vaitiekūnas 2003)

PIL – tai tarpinė kalba tarp vartotojo ir kompiuterio. PIL yra naudojama perėjimui prie SATELLITE programos ir instrukcijų įvedimui į Q1 failą, ji dar naudojama EARTH'o programoje gautų instrukcijų užrašymui. Svarbi informacija gali būti perduota į phoenix'ą su tokiu pranešimu: "word"(argument1, argument2, argument3, etc). Šis galimas žodis gali būti atspausdintas ekrane, jei su PIL yra surinktas klaviatūra: word., išduos minėto žodžio ir argumentų reikšmes. Kai kurie šios reikšmės žodžiai naudoja argumentus Y, N ar P. Taigi: SOLUTIN (U1,Y,Y,N,N,N,N) informuoja SATELLITE'o programą, kad saugykla būtų paskirta (pirmas Y) kintamajam U1, kad jis bus sprendžiamas (antras Y), kiti N' tai perduoda kitą informaciją, kurių savybės bus paaiškintos surinkus SOLUTN. Panaudojus SEE7 bus atspausdinta informacija apie komandą.

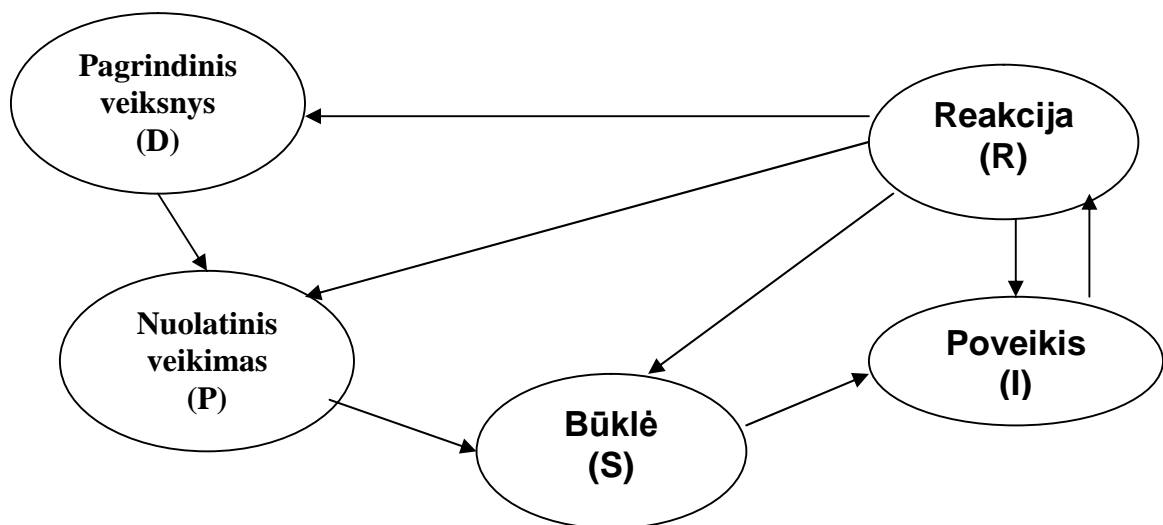
Su komanda SOLVE yra gaunami bus dominantys rezultatai, jos dėka galime patikrinti ar nepadarėme klaidų. SOLVE komandoje reikia nurodyti, kurie kintamųjų laukai (U1, P1,..) bus sprendžiami ir saugomi (Špakauskas ir Vaitiekūnas 2003).

## 4.2. Modelis slidumą mažinančių medžiagų neigiamo poveikio aplinkai vertinimui

Norint įstatymiškai įvertinti slidumą mažinančių medžiagų vartojimo neigiamą poveikį aplinkai, turi būti vykdomas aplinkos sistemos monitoringas su keletu skirtingo lygio indikatorių.

Po tinkamų skirtingo lygio indikatorių pasirinkimo DPSIR modelyje kelių prižiūrėtojai ne tik sustiprintų savo mokslinį supratimą apie ekologinius padarinius, bet ir atitinkamu laipsniu padidinę savo galimybes sustiprintų sistemą bei galiausiai žinios apie naudą aplinkai leis operatyviai veikti.

DPSIR modelis taikomas, apibūdinant kelių druskų poveikį augmenijai ir gali būti pateiktas kaip seka (4.2 pav.).



4.2 pav. DPSIR principinė struktūra, naudojama analizuojant aplinkosaugos problemas, susijusias su druskų poveikiu augalijai (Blomqvist 2002)

Kompleksiniam aplinkos struktūros įvertinimui ir analizei yra tinkamas DPSIR modelis. Šiuo modeliu naudojasi Švedijos Aplinkos apsaugos agentūra (Swedish Environmental Protection Agency), siekdama nacionalinių aplinkos kokybės tikslų Švedijoje. DPSIR struktūroje yra priežastinė ryšių seka: visuomeninis transportavimo poreikis yra sistemos pagrindinis veiksnys (D), šalia druskų nuolatinio veikimo (P) pakelėse. Pakelių aplinkos besikeičianti būklė (S) lemia skirtingą poveikį (I) rūšims. Kai kurioms iš jų gali būti reikalinga visuomeninė reakcija (R).

Daugeliu atvejų sistemoje yra svarbu, kaip galima anksčiau, rasti naudingą indikatorių, kuris būtų ypatingas tuo, kad nusakytų būsimą poveikį aplinkai. Pavyzdžiui, parodytų gruntinio vandens resursų taršą. Šiuo atveju galėtų būti tinkama išankstinio įspėjimo sistema (Blomqvist 2000; Lundmark 2005).

### 4.3. Žolinių augalų augimo intensyvumo matematinio modeliavimo metodika

Atliekant augalų antžeminės dalies aukščio tyrimus, pastebėta, kad „Safecote“ kiekis, esantis ištirpusiame sniege, o vėliau patekęs į dirvožemį, tiesiogiai veikia pakelės augalų antžeminės dalies aukštį: kuo didesnė „Safecote“ koncentracija, tuo didesnis antžeminės dalies aukštis.

Tiriamųjų žolinių augalų rūšių (daugiametės svidrės, tikrojo eraičino, pievinės miglės) antžeminės dalies aukščių, neužterštame dirvožemyje ir užterštame 5 g/kg „Safecote“ koncentracija, auginant 6 savaites, tyrimų rezultatai pateikti 4.1 lentelėje. Pasibaigus pirmajai eksperimento savaitei, žolinių augalų dygimas buvo labai silpnas. Kai kurie augalai buvo dar nesudygę ar vos sudygę, todėl žolinių augalų parametrų faktiniai matavimai buvo atliekami nuo antrosios tyrimo savaitės.

**4.1 lentelė.** Tiriamųjų augalų antžeminės dalies aukščiai (cm)

Tyrimo savaitė	Augalų antžeminės dalies aukščiai (cm)					
	Daugiametė svidrė		Tikrasis eraičinas		Pievinė miglė	
	Neužterštame „Safecote“ dirvožemyje	Dirvožemyje, užterštame 5 g/kg „Safecote“ koncentracija	Neužterštame „Safecote“ dirvožemyje	Dirvožemyje, užterštame 5 g/kg „Safecote“ koncentracija	Neužterštame „Safecote“ dirvožemyje	Dirvožemyje, užterštame 5 g/kg „Safecote“ koncentracija
2	6,9	6,1	4,1	6,1	2,7	2,3
3	11,6	12,4	6,3	7,3	2,8	3,5
4	11,7	12,7	6,8	7,5	3,4	3,5
5	13,3	14,0	7,5	8,6	4,4	4,8
6	16,5	14,4	9,5	11,4	5,2	5,0

Iš 4.1 lentelės matyti, kad aukščiausią antžeminės dalies aukštį šešių savaičių tyrimų metu turėjo daugiametė svidrė.

#### *Modeliavimo tikslas:*

matematiniais skaičiavimais nustatyti optimalius koeficientus, kuriuos naudojant būtų galima apskaičiuoti, koks bus daugiametės svidrės, tikrojo eraičino ir pievinės miglės antžeminės dalies aukštis (cm) po tam tikro laiko, priimant, kad kelių priežiūros medžiagos „Safecote“ koncentracija dirvožemyje ir aplinkos oro temperatūra yra nekintanti tyrimo metu.

Modeliavimui naudojami daugiametės svidrės, tikrojo eraičino ir pievinės miglės antžeminės dalies aukščių duomenys (4.1 lentelė), tyrimą atliekant 6 savaites, kai kelių priežiūros medžiagos „Safecote“ koncentracija dirvožemyje yra 5 g/kg. Taip pat modeliavimui

naudojami ir kontrolinių augalų, augančių neužterštame kelių priežiūros medžiaga „Safecote“ dirvožemyje, antžeminės dalies aukščių duomenys.

Matematiniam modeliavimui pasirenkamas *Phoenix* 3.5 programinės įrangos paketas, kadangi ši programa yra tinkama nustatyti skirtingų priklausomybių kitimą įvairiose aplinkose (Baltrėnas et. al. 2004; Baltrėnas et. al. 2006).

Augalų antžeminės dalies aukščio kitimo pagal laiką diferencialinė lygtis ir jos analizinis sprendinys priimti pagal *Phoenix* 3.5 programinės įrangos 711 bibliotekinio uždavinio lygtį ir skaitinį – analizinį sprendinį (PHOENICS Overview 2006). Jie yra tokie:

- lygtis:

$$\frac{\partial F}{\partial t} = \alpha \cdot e^t - \alpha \cdot F ; \quad (4.1)$$

- sprendinys:

$$F = e^t + \beta \cdot e^{-\gamma t} ; \quad (4.2)$$

$\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  – koeficientai, rasti priartėjimo būdu;

$t$  – savaitių skaičius;

$F$  – diferencialinės lygties analizinis sprendinys.

$\alpha$  koeficientas pasirinktas skirtingas neužterštame dirvožemyje (kontrolė) ir dirvožemyje, užterštame 5 g/kg „Safecote“ koncentracija laistant. Buvo pasirinktos tokios  $\alpha$  reikšmės: kontrolei – 1,5; 2,0 ir 2,5; 5 g/kg „Safecote“ koncentracijai – 0,6; 0,8 ir 1,0. Skaičiuojant stebėta, kaip kinta (didėja ar mažėja) sandaugos su koeficientu reikšmė.

Priimta, kad analizinis sprendinys turi būti vienodas abiem atvejais (kontrolei ir 5 g/kg „Safecote“ koncentracijai dirvožemyje). Priimtos tokios  $\beta$  reikšmės: 6,0; 6,5 ir 7,0. Skaičiuojant stebėta, kaip kinta (didėja ar mažėja) išraiškos  $e^{-\beta t}$  reikšmė.

Koeficiento  $\gamma$  reikšmė pasirinkta tokia: 1,0; 1,5 ir 2,0. Skaičiuojant stebėta, kaip kinta (didėja ar mažėja) sandaugos su koeficientu reikšmė.

Koeficientų reikšmės buvo analizuotos tokia seka:  $\gamma$ ,  $\beta$  ir  $\alpha$ .

Pasirinktų koeficientų kitimo stebėjimas reikalingas tam, kad būtų galima lengviau rasti tinkamas koeficientų reikšmes.

Tačiau buvo pastebėta, kad diferencialinės lygties išraiškai dar trūksta koeficiento, kuris įvertintų laiko (savaitių skaičiaus) įtaką nagrinėjamos žolinių augalų antžeminės dalies aukščio kitimui. Gautos tokios lygtys:

$$\frac{\partial F}{\partial t} = A \cdot t + \alpha \cdot e^t - \alpha \cdot F ; \quad (4.3)$$

$$A = \frac{\partial F}{\partial t} \cdot t - \frac{\alpha e^t}{t} + \frac{\alpha F}{t} \quad (4.4)$$

A – koeficientas, įvertinantis žolinių augalų augimo laiko faktorių.

Nustačius koeficientus  $\alpha$ ,  $\beta$  ir  $\gamma$ , nustatinėtas koeficientas A. Jis skirtingas kiekvienai tirtai augalų rūšiai ir įvertina ar dirvožemis užterštas kelių priežiūros medžiaga „Safecote“ ar ne.

Prieš nustatant koeficientą A lygtyje (4.4) pasirenkamos vidurinės koeficientų reikšmės ( $\alpha=2,0$ ;  $\beta=6,5$ ;  $\gamma=1,5$ ). Pirmiausia apskaičiuotas koeficientas daugiamečių svidrės kontroliniams augalams, po to tikrojo eraičino bei pievinės miglės daigams. Pasirinktos tokios koeficiento A reikšmės daugiamečių svidrės kontroliniams augalams: 1,0; 3,0; 5,0.

Pagal sumodeliuotą diferencialinę lygtį bei jos analizinį sprendinį daugiamečių svidrės kontrolinių augalų antžeminės dalies aukščio apskaičiavimui, randami koeficientai A kitiems augalams.

Radus visus koeficientus ir pagal lygtis paskaičiavus reikšmes, buvo nustatytos santykinės gautų reikšmių paklaidos pagal formulę:

$$\sigma = \frac{\left| \frac{\partial F}{\partial t} - x \right|}{x} \cdot 100\% ; \quad (4.5)$$

$\frac{\partial F}{\partial t}$  – antžeminės dalies aukštis (cm), gautas apskaičiavus jį pagal sumodeliuotą formulę;

x – antžeminės dalies aukštis (cm), gautas eksperimentų metu.

Gavus koeficientus, geriausiai atitinkančius realias žolinių augalų antžeminės dalies aukščio reikšmes, buvo skaičiuojamos vidutinės santykinės paklaidos pagal formulę:

$$\sigma_{vid} = \frac{\Sigma \sigma}{\sigma} ; \quad (4.6)$$

$\Sigma \sigma$  – santykinų paklaidų suma.

Tarpiniai skaičiavimai, nustatinėjant koeficientus ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , A), modeliuojamus žolinių augalų antžeminės dalies aukščius bei paklaidas ( $\sigma$ ,  $\sigma_{vid}$ ), pateikti lentelėse 4.2–4.13.

#### 4.4. Modeliavimo rezultatų analizė

Siekiant nustatyti tinkamas koeficientų reikšmes, pirmiausia apskaičiuojamos įvairios sandaugos su priartėjimo būdu pasirinktinomis koeficientų reikšmėmis ir stebima, kaip kinta rezultatas didinant koeficientus.

Kaip minėta metodikoje, koeficientų nustatymas pradedamas nuo koeficiento  $\gamma$  paieškos, todėl pirmiausia įvertinamas sandaugos  $\gamma \cdot t$  kitimas. Skaičiavimo rezultatai pateikiami 4.2 lentelėje.

**4.2 lentelė.** Sandaugos su koeficientu ( $\gamma \cdot t$ ) skaičiavimo rezultatai

Savaičių skaičius, t	$\gamma = 1,0$	$\gamma \cdot t$	$\gamma = 1,5$	$\gamma \cdot t$	$\gamma = 2,0$	$\gamma \cdot t$
1	1	1	1,5	1,5	2	2
2		2		3		4
3		3		4,5		6
4		4		6		8
5		5		7,5		10
6		6		9		12

Kaip matyti iš pateiktų skaičiavimo rezultatų (4.2 lentelė), sandauga su koeficientu laikui kintant ir didėjant koeficiento  $\gamma$  reikšmei didėja.

Išraiškos  $\beta \cdot e^{-\gamma t}$  skaičiavimo rezultatai pateikiami 4.3 lentelėje.

**4.3 lentelė.** Išraiškos  $\beta \cdot e^{-\gamma t}$  skaičiavimo rezultatai

t	$\beta$	$\beta \cdot e^{-\gamma t}$ , kai			$\beta$	$\beta \cdot e^{-\gamma t}$ , kai			$\beta$	$\beta \cdot e^{-\gamma t}$ , kai		
		$\gamma = 1,0$	$\gamma = 1,5$	$\gamma = 2,0$		$\gamma = 1,0$	$\gamma = 1,5$	$\gamma = 2,0$		$\gamma = 1,0$	$\gamma = 1,5$	$\gamma = 2,0$
1	6,0	2,20728	1,33878	0,81201	6,5	2,39122	1,45035	0,87968	7,0	2,57516	1,56191	0,94735
2		0,81201	0,29872	0,10989		0,87968	0,32362	0,11905		0,94735	0,34851	0,12821
3		0,29872	0,06665	0,01487		0,32362	0,07221	0,01611		0,34851	0,07776	0,01735
4		0,10989	0,01487	0,00201		0,11905	0,01611	0,00218		0,12821	0,01735	0,00235
5		0,04043	0,00332	0,00027		0,04380	0,00360	0,00030		0,04717	0,00387	0,00032
6		0,01487	0,00074	0,00004		0,01611	0,00080	0,00004		0,01735	0,00086	0,00004

Kaip matyti iš pateiktų skaičiavimo rezultatų (4.3 lentelė), išraiškos  $\beta \cdot e^{-\gamma t}$  reikšmė didėjant koeficientams  $\beta$  ir  $\gamma$  bei kintant laikui mažėja. Kai didėja tik koeficientas  $\beta$ , o  $\gamma$  nekinta, išraiškos  $\beta \cdot e^{-\gamma t}$  reikšmė didėja. Kai didėja tik koeficientas  $\gamma$ , o  $\beta$  nekinta, išraiškos  $\beta \cdot e^{-\gamma t}$  reikšmė mažėja.

Analizinis sprendinys (F) skaičiuojamas pagal 4.2 formulę, o jo skaičiavimo pagal pasirinktus koeficientus rezultatai pateikiami 4.4 lentelėje.

**4.4 lentelė.** Analizinio sprendinio (F) skaičiavimo pagal pasirinktus koeficientus rezultatai

t	F, kai								
	$\beta = 6,0$			$\beta = 6,5$			$\beta = 7,0$		
	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 1,5$	$\gamma = 2,0$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 1,5$	$\gamma = 2,0$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 1,5$	$\gamma = 2,0$
1	4,93	4,06	3,53	5,11	4,17	3,60	5,29	4,28	3,67
2	8,20	7,69	7,50	8,27	7,71	7,51	8,34	7,74	7,52
3	20,38	20,15	20,10	20,41	20,16	20,10	20,43	20,16	20,10
4	54,71	54,61	54,60	54,72	54,61	54,60	54,73	54,62	54,60
5	148,45	148,42	148,41	148,46	148,42	148,41	148,46	148,42	148,41
6	403,44	403,43	403,43	403,44	403,43	403,43	403,45	403,43	403,43

Kaip matyti iš pateiktų skaičiavimo rezultatų (4.4 lentelė), analizinio sprendinio reikšmė didėjant koeficientams  $\beta$  ir  $\gamma$  bei kintant laikui mažėja. Kai didėja tik koeficientas  $\beta$ , o  $\gamma$  nekinta, analizinio sprendinio reikšmė didėja. Kai didėja tik koeficientas  $\gamma$ , o  $\beta$  nekinta, analizinio sprendinio reikšmė mažėja.

Pagal diferencialinės lygties (4.1) išraišką skaičiuojamas antžeminės dalies aukštis. Skaičiavimo rezultatai kontroliniams augalams pateikiami 4.5 lentelėje, o augalams, pasodintiems į 5 g/kg „Safecote“ užterštą dirvožemį, – 4.6 lentelėje.

**4.5 lentelė.** Antžeminės dalies aukščio (cm) skaičiavimo rezultatai kontroliniams augalams

t	$\beta = 6,0$			$\beta = 6,5$			$\beta = 7,0$		
	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 1,5$	$\gamma = 2,0$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 1,5$	$\gamma = 2,0$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 1,5$	$\gamma = 2,0$
<b><math>\alpha = 1,5</math></b>									
1	-3,3109	-2,0082	-1,2180	-3,5868	-2,1755	-1,3195	-3,8627	-2,3429	-1,4210
2	-1,2180	-0,4481	-0,1648	-1,3195	-0,4854	-0,1786	-1,4210	-0,5228	-0,1923
3	-0,4481	-0,1000	-0,0223	-0,4854	-0,1083	-0,0242	-0,5228	-0,1166	-0,0260
4	-0,1648	-0,0223	-0,0030	-0,1786	-0,0242	-0,0033	-0,1923	-0,0260	-0,0035
5	-0,0606	-0,0050	-0,0004	-0,0657	-0,0054	-0,0004	-0,0707	-0,0058	-0,0005
6	-0,0223	-0,0011	-0,0001	-0,0242	-0,0012	-0,0001	-0,0260	-0,0013	-0,0001
<b><math>\alpha = 2,0</math></b>									
1	-4,4146	-2,6776	-1,6240	-4,7824	-2,9007	-1,7594	-5,1503	-3,1238	-1,8947
2	-1,6240	-0,5974	-0,2198	-1,7594	-0,6472	-0,2381	-1,8947	-0,6970	-0,2564
3	-0,5974	-0,1333	-0,0297	-0,6472	-0,1444	-0,0322	-0,6970	-0,1555	-0,0347
4	-0,2198	-0,0297	-0,0040	-0,2381	-0,0322	-0,0044	-0,2564	-0,0347	-0,0047
5	-0,0809	-0,0066	-0,0005	-0,0876	-0,0072	-0,0006	-0,0943	-0,0077	-0,0006
6	-0,0297	-0,0015	-0,0001	-0,0322	-0,0016	-0,0001	-0,0347	-0,0017	-0,0001
<b><math>\alpha = 2,5</math></b>									
1	-5,5182	-3,3470	-2,0300	-5,9780	-3,6259	-2,1992	-6,4379	-3,9048	-2,3684
2	-2,0300	-0,7468	-0,2747	-2,1992	-0,8090	-0,2976	-2,3684	-0,8713	-0,3205
3	-0,7468	-0,1666	-0,0372	-0,8090	-0,1805	-0,0403	-0,8713	-0,1944	-0,0434
4	-0,2747	-0,0372	-0,0050	-0,2976	-0,0403	-0,0055	-0,3205	-0,0434	-0,0059
5	-0,1011	-0,0083	-0,0007	-0,1095	-0,0090	-0,0007	-0,1179	-0,0097	-0,0008
6	-0,0372	-0,0019	-0,0001	-0,0403	-0,0020	-0,0001	-0,0434	-0,0022	-0,0001

Iš pateiktų rezultatų (4.5 lentelė) matyti, kad kontrolinių augalų antžeminės dalies aukštis skaičiuojant pagal (4.1) formulę yra neigiamas ir didėja, didėjant koeficientui  $\alpha$ .

**4.6 lentelė.** Antžeminės dalies aukščio (cm) skaičiavimo rezultatai augalams, pasodintiems į 5 g/kg „Safecote“ užterštą dirvožemį

t	$\beta = 6,0$			$\beta = 6,5$			$\beta = 7,0$		
	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 1,5$	$\gamma = 2,0$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 1,5$	$\gamma = 2,0$	$\gamma = 1,0$	$\gamma = 1,5$	$\gamma = 2,0$
<b><math>\alpha = 0,6</math></b>									
1	-1,3244	-0,8033	-0,4872	-1,4347	-0,8702	-0,5278	-1,5451	-0,9371	-0,5684
2	-0,4872	-0,1792	-0,0659	-0,5278	-0,1942	-0,0714	-0,5684	-0,2091	-0,0769
3	-0,1792	-0,0400	-0,0089	-0,1942	-0,0433	-0,0097	-0,2091	-0,0467	-0,0104
4	-0,0659	-0,0089	-0,0012	-0,0714	-0,0097	-0,0013	-0,0769	-0,0104	-0,0014
5	-0,0243	-0,0020	-0,0002	-0,0263	-0,0022	-0,0002	-0,0283	-0,0023	-0,0002
6	-0,0089	-0,0004	0,0000	-0,0097	-0,0005	0,0000	-0,0104	-0,0005	0,0000
<b><math>\alpha = 0,8</math></b>									
1	-1,7658	-1,0710	-0,6496	-1,9130	-1,1603	-0,7037	-2,0601	-1,2495	-0,7579
2	-0,6496	-0,2390	-0,0879	-0,7037	-0,2589	-0,0952	-0,7579	-0,2788	-0,1026
3	-0,2390	-0,0533	-0,0119	-0,2589	-0,0578	-0,0129	-0,2788	-0,0622	-0,0139
4	-0,0879	-0,0119	-0,0016	-0,0952	-0,0129	-0,0017	-0,1026	-0,0139	-0,0019
5	-0,0323	-0,0027	-0,0002	-0,0350	-0,0029	-0,0002	-0,0377	-0,0031	-0,0003
6	-0,0119	-0,0006	0,0000	-0,0129	-0,0006	0,0000	-0,0139	-0,0007	0,0000
<b><math>\alpha = 1,0</math></b>									
1	-2,2073	-1,3388	-0,8120	-2,3912	-1,4503	-0,8797	-2,5752	-1,5619	-0,9473
2	-0,8120	-0,2987	-0,1099	-0,8797	-0,3236	-0,1191	-0,9473	-0,3485	-0,1282
3	-0,2987	-0,0667	-0,0149	-0,3236	-0,0722	-0,0161	-0,3485	-0,0778	-0,0174
4	-0,1099	-0,0149	-0,0020	-0,1191	-0,0161	-0,0022	-0,1282	-0,0174	-0,0023
5	-0,0404	-0,0033	-0,0003	-0,0438	-0,0036	-0,0003	-0,0472	-0,0039	-0,0003
6	-0,0149	-0,0007	0,0000	-0,0161	-0,0008	0,0000	-0,0174	-0,0009	0,0000

Iš pateiktų rezultatų (4.6 lentelė) matyti, kad augalų, pasodintų į 5 g/kg „Safecote“ užterštą dirvožemį, antžeminės dalies aukštis skaičiuojant pagal (4.1) formulę yra neigiamas ir didėja didėjant koeficientui  $\alpha$ .

Antžeminės dalies aukščio skaičiavimo rezultatai daugiamečių svidrės kontroliniams augalams su pasirinktomis koeficiento A reikšmėmis bei pasirinktomis viduriniojomis spėjamų koeficientų reikšmėmis ( $\alpha=2,0$ ;  $\beta=6,5$ ;  $\gamma=1,5$ ) pateikiami 4.7 lentelėje

**4.7 lentelė.** Antžeminės dalies aukščio (cm) skaičiavimo rezultatai daugiamečių svidrės kontroliniams augalams, kai  $\alpha=2,0$ ;  $\beta=6,5$ ;  $\gamma=1,5$

t	$2 \cdot e^t - 2 \cdot F$	Antžeminės dalies aukštis (cm), kai			Antžeminės dalies aukštis (cm) eksperimento metu
		A = 1,0	A = 3,0	A = 5,0	
1	-2,9007	-1,90	0,10	2,10	-
2	-0,6472	1,35	5,35	9,35	6,9
3	-0,1444	2,86	8,86	14,86	11,6
4	-0,0322	3,97	11,97	19,97	11,7
5	-0,0072	4,99	14,99	24,99	13,3
6	-0,0016	6,00	18,00	30,00	16,5

Pagal gautus rezultatus (4.7 lentelė) matyti, kad koeficiento A reikšmė daugmaž atitinka, todėl ir toliau skaičiavimuose bus naudojami šie koeficientai:  $\alpha=2,0$ ;  $\beta=6,5$ ;  $\gamma=1,5$ .

Iš pateiktų rezultatų (4.7 lentelė) matyti, kad labiausiai apskaičiuotas antžeminės dalies aukštis atitinka tikrąjį, kai  $A=3$ . Apskaičiuojamos ir santykinės bei vidutinės santykinės paklaidos. Skaičiavimo rezultatai pateikiami 4.8 lentelėje.

**4.8 lentelė.** Antžeminės dalies aukščio (cm) skaičiavimo rezultatai daugiamečių svidrės kontroliniams augalams, kai  $\alpha=2,0$ ;  $\beta=6,5$ ;  $\gamma=1,5$

t	$2 \cdot e^t - 2 \cdot F$	Apskaičiuotas antžeminės dalies aukštis (cm)	Antžeminės dalies aukštis (cm) eksperimento metu	Santykinė paklaida, %	Vidutinė santykinė paklaida, %
1	-2,9007	0,10	-	-	14,04
2	-0,6472	5,35	6,9	22,46	
3	-0,1444	8,86	11,6	23,62	
4	-0,0322	11,97	11,7	2,31	
5	-0,0072	14,99	13,3	12,71	
6	-0,0016	18,00	16,5	9,09	

Iš pateiktų rezultatų (4.8 lentelė) matyti, kad pagal modeliavimui sudarytą formulę, analizuojamos žolinių augalų antžeminės dalies aukščių duomenys, gauti antrai ir trečiai augimo savaitėms, daugiausiai skiriasi nuo eksperimento metu gautų duomenų.

Antžeminės dalies aukščio daugiamečių svidrės augalams, pasodintiems 5 g/kg „Safecote“ užterštame dirvožemyje, pasirenkamos tokios koeficientų reikšmės:  $\alpha=0,8$ ;  $\beta=6,7$ ;  $\gamma=1,8$ , o A – 2,0; 3,0; 4,0. Skaičiavimo rezultatai ir labiausiai tinkamų rezultatų paklaidos pateikiami 4.9 lentelėje.

**4.9 lentelė.** Antžeminės dalies aukščio (cm) skaičiavimo rezultatai daugiamečių svidrės augalams, pasodintiems 5 g/kg „Safecote“ užterštame dirvožemyje, kai  $\alpha=0,8$ ;  $\beta=6,7$ ;  $\gamma=1,8$

t	$2 \cdot e^t - 2 \cdot F$	Antžeminės dalies aukštis (cm)			Antžeminės dalies aukštis (cm) eksperimento metu	Santykinė paklaida, %	Vidutinė santykinė paklaida, %
		A = 2,0	A = 3,0	A = 4,0			
1	-0,8860	1,11	2,11	3,11	-	-	13,87
2	-0,1465	8,35	5,85	7,85	6,1	4,10	
3	-0,0242	12,73	8,98	11,98	12,4	27,58	
4	-0,0040	17,00	12,00	16,00	12,7	5,51	
5	-0,0007	21,25	15,00	20,00	14,0	7,14	
6	-0,0001	25,50	18,00	24,00	14,4	25,00	

Iš pateiktų rezultatų (4.9 lentelė) matyti, kad labiausiai apskaičiuotas antžeminės dalies aukštis atitinka tikrąjį, kai  $A=3$ . Pagal modeliavimui sudarytą formulę, analizuojamos žolinių augalų antžeminės dalies aukščių duomenys, gauti trečiai ir šeštai augimo savaitėms, daugiausiai

skiriasi nuo eksperimento metu gautų duomenų. Vidutinė santykinė paklaida neviršija 30 %, todėl galima priimti, kad koeficientai tinkami.

Gautos tokios lygtys ir analiziniai sprendiniai daugiametės svidrės daigams:

$$\text{kontrolė: } \frac{\partial F}{\partial t} = 3,0 \cdot t + 2 \cdot e^t - 2 \cdot F;$$

$$F = e^t + 6,5 \cdot e^{-1,5t};$$

esant 5 g/kg „Safecote“ koncentracijai dirvožemyje:

$$\frac{\partial F}{\partial t} = 3,0 \cdot t + 0,8 \cdot e^t - 0,8 \cdot F;$$

$$F = e^t + 6,7 \cdot e^{-1,8t}.$$

Priimta, jog koeficientai  $\alpha$ ,  $\beta$  ir  $\gamma$  bus vienodi, skirsis tik koeficiento A reikšmė.

Antžeminės dalies aukščio tikrojo eraičino kontroliniams augalams pasirenkamos tokios koeficientų reikšmės:  $\alpha=2,0$ ;  $\beta=6,5$ ;  $\gamma=1,5$ , o A – 3,1; 3,6; 4,0. Skaičiavimo rezultatai ir labiausiai tinkamų rezultatų paklaidos pateikiami 4.10 lentelėje.

Iš pateiktų rezultatų (4.10 lentelė) matyti, kad labiausiai apskaičiuotas antžeminės dalies aukštis atitinka tikrąjį, kai A=2,0. Nors penktosios savaitės santykinė neatitikimo paklaida 33,20 %, tačiau vidutinė santykinė paklaida neviršija 30 %, todėl galima priimti, kad koeficientai tinkami.

**4.10 lentelė.** Antžeminės dalies aukščio (cm) skaičiavimo rezultatai tikrojo eraičino kontroliniams augalams, kai  $\alpha=2,0$ ;  $\beta=6,5$ ;  $\gamma=1,5$

t	$2 \cdot e^t - 2 \cdot F$	Antžeminės dalies aukštis (cm)			Antžeminės dalies aukštis (cm) eksperimento metu	Santykinė paklaida, %	Vidutinė santykinė paklaida, %
		A = 1,0	A = 2,0	A = 3,0			
1	-2,9007	-1,90	-0,90	0,10	-	-	19,72
2	-0,6472	1,35	3,35	5,35	4,1	18,29	
3	-0,1444	2,86	5,86	8,86	6,3	6,98	
4	-0,0322	3,97	7,97	11,97	6,8	13,82	
5	-0,0072	4,99	9,99	14,99	7,5	33,20	
6	-0,0016	6,00	12,00	18,00	9,5	26,32	

Antžeminės dalies aukščio tikrojo eraičino augalams, pasodintiems 5 g/kg „Safecote“ užterštame dirvožemyje, pasirenkamos tokios koeficientų reikšmės:  $\alpha=0,8$ ;  $\beta=6,7$ ;  $\gamma=1,8$ , o A – 1,6; 2,1; 3,0. Skaičiavimo rezultatai ir labiausiai tinkamų rezultatų paklaidos pateikiami 4.11 lentelėje.

**4.11 lentelė.** Antžeminės dalies aukščio (cm) skaičiavimo rezultatai tikrojo eraičino augalams, pasodintiems 5 g/kg „Safecote“ užterštame dirvožemyje, kai  $\alpha=0,8$ ;  $\beta=6,7$ ;  $\gamma=1,8$

t	$2 \cdot e^t - 2 \cdot F$	Antžeminės dalies aukštis (cm)			Antžeminės dalies aukštis (cm) eksperimento metu	Santykinė paklaida, %	Vidutinė santykinė paklaida, %
		A = 1,6	A = 2,1	A = 3,0			
1	-0,8860	0,71	1,21	2,11	-	-	17,95
2	-0,1465	3,05	4,05	5,85	6,1	33,60	
3	-0,0242	4,78	6,28	8,98	7,3	11,55	
4	-0,0040	6,40	8,40	12,00	7,5	12,0	
5	-0,0007	8,00	10,50	15,00	8,6	22,09	
6	-0,0001	9,60	12,60	18,00	11,4	10,53	

Iš pateiktų rezultatų (4.11 lentelė) matyti, kad labiausiai apskaičiuotas antžeminės dalies aukštis atitinka tikrąjį, kai  $A=2,1$ . Nors antrosios savaitės santykinė neatitikimo paklaida net 33,60 %, tačiau vidutinė santykinė paklaida neviršija 30 %, todėl galima priimti, kad koeficientai tinkami.

Gautos tokios lygtys ir analiziniai sprendiniai tikrojo eraičino daigams:

kontrolė: 
$$\frac{\partial F}{\partial t} = 2,0 \cdot t + 2 \cdot e^t - 2 \cdot F;$$

$$F = e^t + 6,5 \cdot e^{-1,5t};$$

esant 1 g/kg NaCl koncentracijai dirvožemyje:

$$\frac{\partial F}{\partial t} = 2,1 \cdot t + 0,8 \cdot e^t - 0,8 \cdot F;$$

$$F = e^t + 6,7 \cdot e^{-1,8t}.$$

Antžeminės dalies aukščio pievinės miglės kontroliniams augalams pasirenkamos tokios koeficientų reikšmės:  $\alpha=2,0$ ;  $\beta=6,5$ ;  $\gamma=1,5$ , o  $A = 0,5$ ;  $1,0$ ;  $2,0$ . Skaičiavimo rezultatai ir labiausiai tinkamų rezultatų paklaidos pateikiami 4.12 lentelėje.

**4.12 lentelė.** Antžeminės dalies aukščio (cm) skaičiavimo rezultatai pievinės miglės kontroliniams augalams, kai  $\alpha = 2,0$ ;  $\beta = 6,5$ ;  $\gamma = 1,5$

t	$2 \cdot e^t - 2 \cdot F$	Antžeminės dalies aukštis (cm)			Antžeminės dalies aukštis (cm) eksperimento metu	Santykinė paklaida, %	Vidutinė santykinė paklaida, %
		A = 0,5	A = 1,0	A = 2,0			
1	-2,2150	-2,4	-1,90	-0,90	-	-	19,53
2	-0,3661	0,35	1,35	3,35	2,7	50,0	
3	-0,0605	1,36	2,86	5,86	2,8	2,14	
4	-0,0100	1,97	3,97	7,97	3,4	16,76	
5	-0,0017	2,49	4,99	9,99	4,4	13,41	
6	-0,0003	3,00	6,00	12,00	5,2	15,38	

Iš pateiktų rezultatų (4.12 lentelė) matyti, kad labiausiai apskaičiuotas antžeminės dalies aukštis atitinka tikrąjį, kai  $A=1,0$ . Antrosios savaitės apskaičiuoti rezultatai labiausiai neatitiko tikrųjų dydžių. Vidutinė santykinė paklaida neviršija 30 %, todėl galima priimti, kad koeficientai tinkami.

Antžeminės dalies aukščio pievinės miglės augalams, pasodintiems 5 g/kg „Safecote“ užterštame dirvožemyje, priimamos tokios koeficientų reikšmės:  $\alpha=0,8$ ;  $\beta=6,7$ ;  $\gamma=1,8$ , o  $A = 0,7$ ; 0,9, 1,1 Skaičiavimo rezultatai ir labiausiai tinkamų rezultatų paklaidos pateikiami 4.13 lentelėje.

**4.13 lentelė.** Antžeminės dalies aukščio (cm) skaičiavimo rezultatai pievinės miglės augalams, pasodintiems 5 g/kg „Safecote“ užterštame dirvožemyje, kai  $\alpha=0,8$ ;  $\beta=6,7$ ;  $\gamma=1,8$

t	$2 \cdot e^t - 2 \cdot F$	Antžeminės dalies aukštis (cm)			Antžeminės dalies aukštis (cm) eksperimento metu	Santykinė paklaida, %	Vidutinė santykinė paklaida, %
		A = 0,7	A = 0,9	A = 1,0			
1	-0,8860	0,00	0,00	0,10	-	-	9,93
2	-0,1465	1,25	1,65	1,85	2,3	28,26	
3	-0,0242	2,08	2,68	2,98	3,5	4,29	
4	-0,0040	2,80	3,60	4,00	3,5	2,86	
5	-0,0007	3,50	4,50	5,00	4,8	6,25	
6	-0,0001	4,20	5,40	6,00	5,0	8,00	

Iš pateiktų rezultatų (4.13 lentelė) matyti, kad labiausiai apskaičiuotas antžeminės dalies aukštis atitinka tikrąjį, kai  $A=0,9$ . Antrosios savaitės apskaičiuoti rezultatai labiausiai neatitiko tikrųjų dydžių. Vidutinė santykinė paklaida neviršija 30 %, todėl galima priimti, kad koeficientai tinkami.

Gautos tokios lygtys ir analiziniai sprendiniai pievinės miglės daigams:

kontrolė: 
$$\frac{\partial F}{\partial t} = 1,0 \cdot t + 2 \cdot e^t - 2 \cdot F;$$

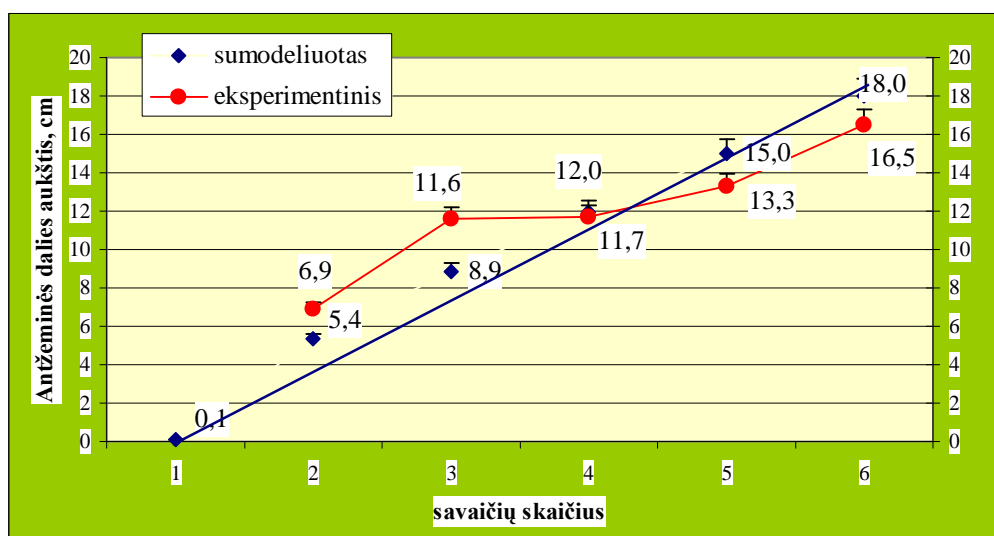
$$F = e^t + 6,5 \cdot e^{-1,5t};$$

esant 1 g/kg NaCl koncentracijai dirvožemyje:

$$\frac{\partial F}{\partial t} = 0,9 \cdot t + 0,8 \cdot e^t - 0,8 \cdot F;$$

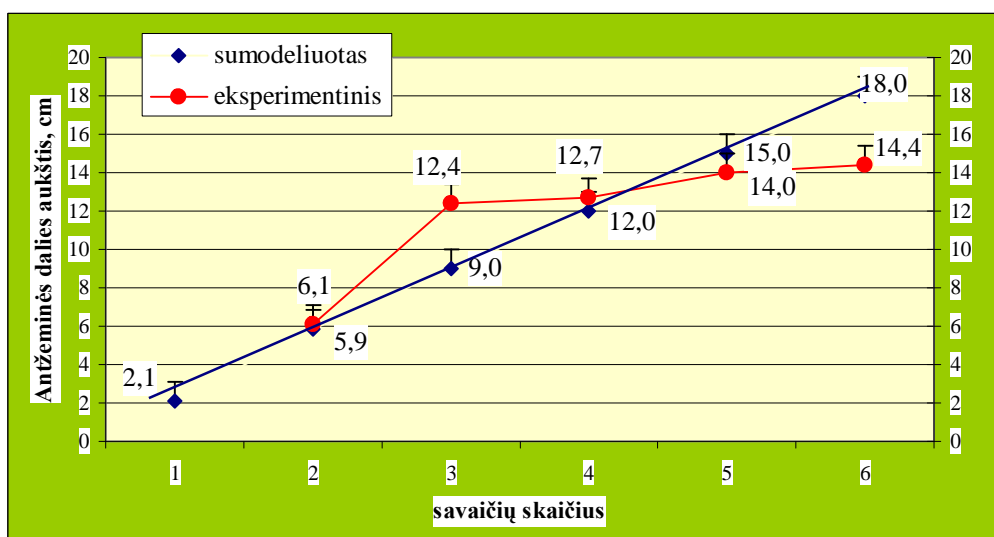
$$F = e^t + 6,7 \cdot e^{-1,8t}.$$

Pagal sumodeliuotas lygtis braižomi grafikai ir palyginami su eksperimento metu gautais duomenimis.



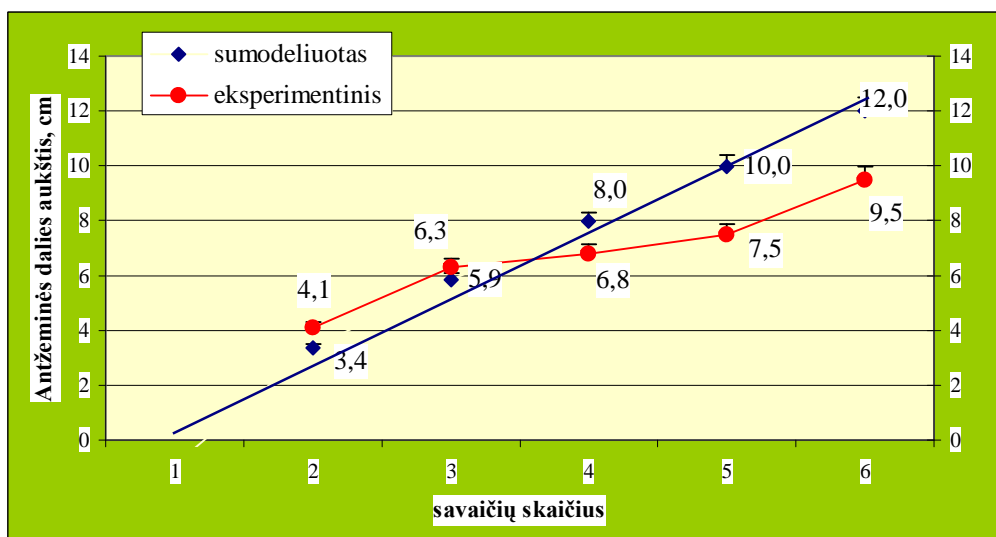
4.3 pav. Daugiametės svidrės kontrolinių augalų antžeminės dalies aukštis

Iš 4.3 pav. matyti, kad didžiausias skirtumas (cm) tarp antžeminės dalies aukščio yra trečiąją savaitę: jis skiriasi 2,7 cm.



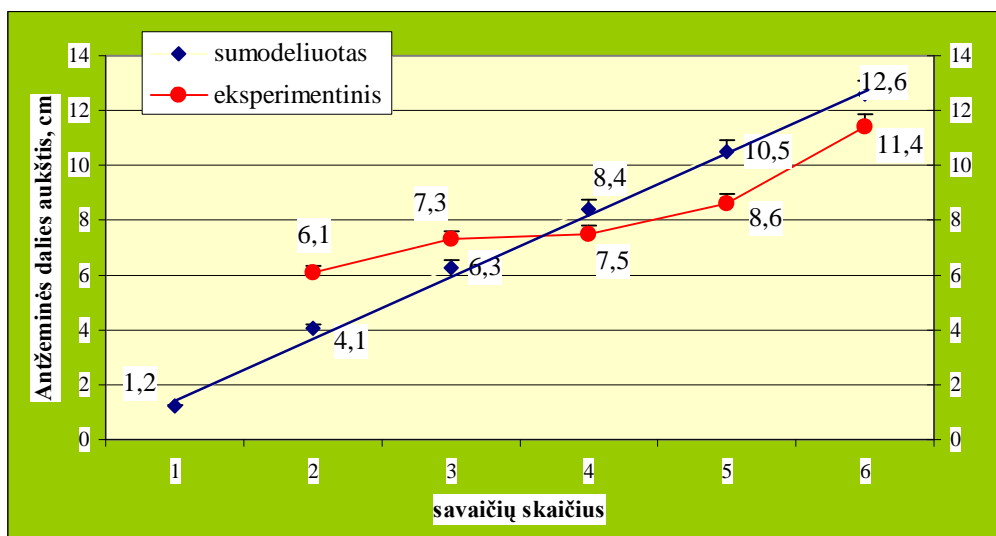
4.4 pav. Daugiametės svidrės augalų, pasėtų 5 g/kg „Safecote“ užterštame dirvožemyje, antžeminės dalies aukštis

Iš 4.4 pav. matyti, kad didžiausias skirtumas (cm) tarp antžeminės dalies aukščio yra šeštąją savaitę: jis skiriasi 3,6 cm.



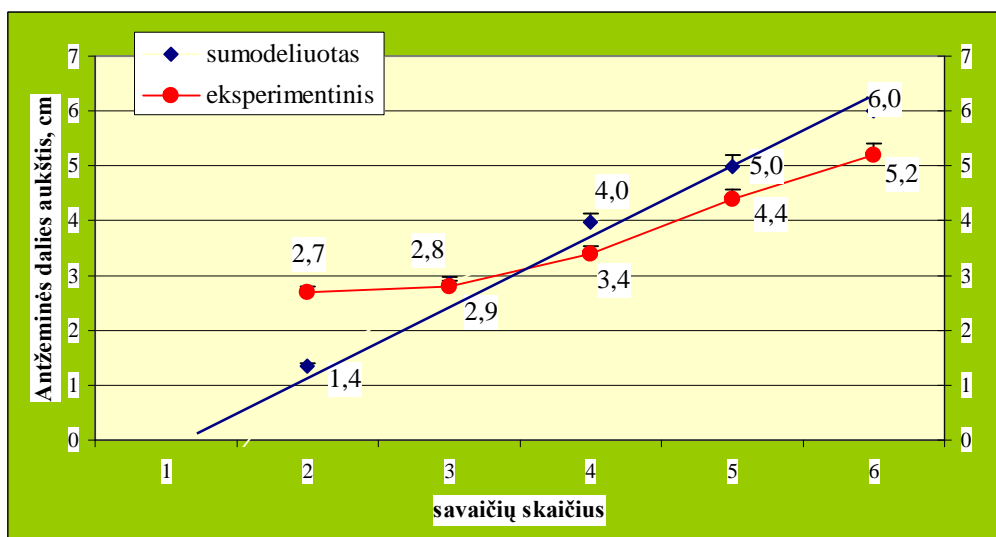
4.5 pav. Tikrojo eraičio kontrolinių augalų antžeminės dalies aukštis

Iš 4.5 pav. matyti, kad didžiausias skirtumas (cm) tarp antžeminės dalies aukščio yra penktąją ir šeštąją savaites: jis skiriasi 2,5 cm.



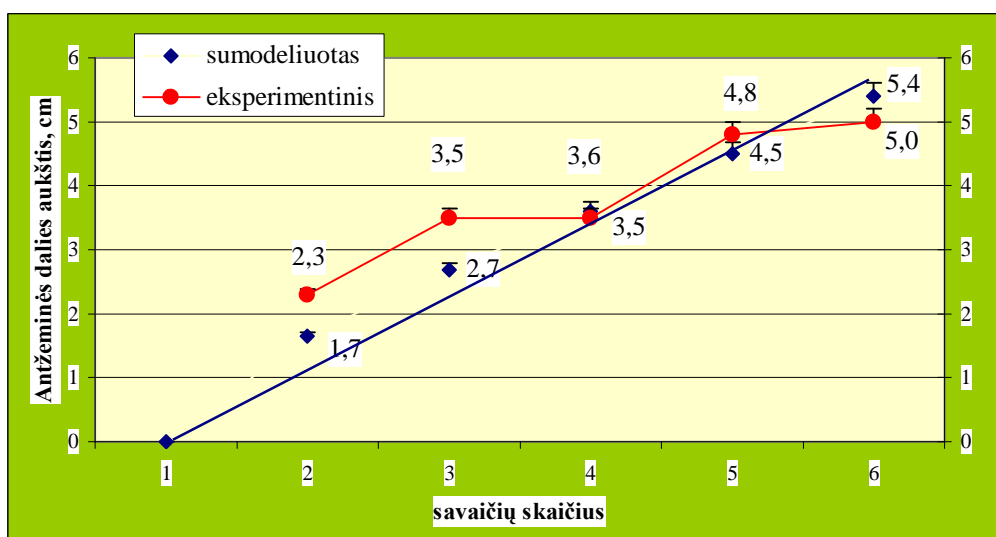
4.6 pav. Tikrojo eraičio augalų, pasėtų 5 g/kg „Safecote“ užterštame dirvožemyje, antžeminės dalies aukštis

Iš 4.6 pav. matyti, kad didžiausias skirtumas (cm) tarp antžeminės dalies aukščio yra antrąją savaitę: jis skiriasi 2,0 cm.



4.7 pav. Pievinės miglės kontrolinių augalų antžeminės dalies aukštis

Iš 4.7 pav. matyti, kad didžiausias skirtumas (cm) tarp antžeminės dalies aukščio yra antrąją savaitę: jis skiriasi 1,3 cm.



4.8 pav. Pievinės miglės augalų, pasėtų 5 g/kg „Safecote“ užterštame dirvožemyje, antžeminės dalies aukštis

Iš 4.8 pav. matyti, kad didžiausias skirtumas (cm) tarp antžeminės dalies aukščio yra trečiąją savaitę: jis skiriasi 0,8 cm.

Lyginant gautus rezultatus nustatyta, kad naudojant sumodeliuotus koeficientus, realius antžeminės dalies aukščius geriausiai atitinka pievinės miglės duomenys, blogiausiai – tikrojo eraičino.

## 5. IŠVADOS

1. Ledą tirpdančios druskos yra žalingos augalijai, ypač medžiams ir krūmams, jos patekusios į augalus, sutrikdo įvairias fiziologines savybes ir tokiu būdu lėtina jų augimą.
2. Tyrimų metu nustatyta, kad NaCl ir CaCl<sub>2</sub> esantis dirvožemyje, neigiamai įtakoja žolinių augalų augimo procesą, t.y. lėtina antžeminės dalies aukščio prieaugį bei mažina fitomasę (priklausomai nuo NaCl ir CaCl<sub>2</sub> koncentracijos dirvožemyje iki 40 %), ypač pirmosiomis augalų augimo savaitėmis.
3. Išanalizavus tris kelių priežiūros medžiagas – NaCl, CaCl<sub>2</sub> ir melasos pagrindu pagamintą medžiagą „Safecote“, galima daryti išvadą, jog labiausiai toksiškai žolinius augalus veikia NaCl, o mažiausiai – „Safecote“. „Safecote“ nesukelia neigiamo poveikio žolinei augalijai.
4. Atlikus eksperimentus gauta, jog po šešių tyrimo savaičių didžiausia tirtų žolinių augalų fitomasė užterštame dirvožemyje buvo daugiametės svidrės (26,8 mg), mažiausia – pievinės miglės (1,1 mg).
5. Didžiausią antžeminės dalies aukštį užterštame dirvožemyje pasiekė taipogi daugiametė svidrė. Po šešių augimo savaičių jis siekė 17,4 cm, o mažiausias buvo vėlgi pievinės miglės – 2,92 cm.
6. Eksperimentų metu nustatyta, kad atspariausia toksiniam druskų (NaCl ir CaCl<sub>2</sub>) poveikiui yra daugiametė svidrė, silpniausia – pievinė miglė, kadangi ji net nesudygsta, dideles techninio natrio chlorido (5 g/kg) koncentracijas turinčiame dirvožemyje. Atlikus tyrimus nustatyta, kad greičiausiai sudygstanti, sparčiai auganti bei itin atspari kelių priežiūros medžiagų poveikiui esti žolinių augalų rūšis – daugiametė svidrė (*Lolium perenne L.*). Pagal aukščiau išvardintus parametrus, antroje vietoje iš tirtų žolinių augalų buvo tikrasis eraičinas (*Festuca pratensis Huds.*).
7. „Safecote“ įterpta į dirvožemį, teigiamai įtakoja žolinių augalų augimo procesą, t.y. spartina antžeminės dalies aukščio prieaugį bei didina fitomasę. Kuo didesnė „Safecote“ koncentracija dirvožemyje (didžiausia tirta buvo 10 g/kg), tuo žolinių augalų antžeminės dalies aukštis ir fitomasė didesni. Kai kuriais atvejais žolinių augalų, augusių dirvožemyje su „Safecote“, rodikliai buvo didesni nei kontrolinių augalų (net iki 50 %), vadinasi „Safecote“ sudėtyje esančios mineralinės medžiagos gerina augalų būklę.
8. „Safecote“ neblogina dirvožemio būklės, t.y. rūgštinę dirvožemio terpę daro artimą neutraliai (7,0), o tai leidžia augalams geriau įsisavinti maistines medžiagas.

9. Sumodeliuotos antžeminės dalies aukščio skaičiavimo lygties  $A = \frac{\partial F}{\partial t} \cdot t - \frac{\alpha e^t}{t} + \frac{\alpha F}{t}$  koeficientas A kontroliniams ir 5 g/kg „Safecote“ įterptame dirvožemyje augusiems augalams atitinkama yra: daugiametei svidrei - 3,0 ir 3,0; tikrajam eraičinui – 2,0 ir 2,1; pievinei miglei – 1,0 ir 0,9.
10. Skaičiuojant antžeminės dalies aukštį (cm) pagal sumodeliuotą lygtį, antrosios savaitės modeliavimo rezultatai labiausiai neatitiko tikrojo antžeminės dalies aukščio (iki 50,0 %).
11. Mažiausios tikrojo ir apskaičiuotojo antžeminės dalies aukščio paklaidos nustatytos, tiriant pievinę miglę (9,93 % esant 5 g/kg „Safecote“ koncentracijai dirvožemyje) ir daugiametę svidrę (13,87 % esant 5 g/kg „Safecote“ koncentracijai dirvožemyje), didžiausios – tikrąjį eraičiną (19,72 % kontrolei ir 17,95 % esant 5 g/kg „Safecote“ koncentracijai dirvožemyje).

## 6. REKOMENDACIJOS

1. Siekiant sumažinti techninių kelių priežiūros druskų vartojimą ir jų neigiamą poveikį kelio aplinkos komponentams, tikslinga palaipsniui, jas pakeisti naujos kartos alternatyviomis medžiagomis (ypač miestuose). Viena medžiagų galėtų būti melasos pagrindu pagaminta organinė medžiaga.
2. Mažinant techninių druskų vartojimą bent 10 % ir vietoj jų naudojant tokį kiekį „Safecote“, pagerinama dirvožemio būklė mineralinėmis medžiagomis, sudarant palankias sąlygas geresniam augalų vystymuisi.
3. Vykdamt pakelių apželdinimą, rekomenduojamos žolinių augalų rūšys, atsparios aplinkos stresams, tame tarpe ir neigiamam kelių priežiūros medžiagų poveikiui, yra daugiametė svidrė (*Lolium perenne L.*) bei tikrasis eraičinas (*Festuca pratensis Huds.*)
4. Naujos kartos medžiagas, esant finansinėms galimybėms, dėl jų mažo toksiškumo aplinkai siūloma vartoti keliuose, kertančiuose saugomas teritorijas, tokias kaip pvz. hidrografiniai, botaniniai bei pan. draustiniai, parkai ir t.t.
5. Tikslinga tęsti naujos kartos medžiagų tyrimus, įvertinant jų efektyvumą natūrinėmis sąlygomis tirpdant sniegą ir ledą.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

A salt of the earth. Losing strands in the web of life. A salt odyssey [online]. 2007. [cited 21 November 2007]. Available from internet: <<http://www.acfonline.org.au/docs/publications/hs0106.pdf>>.

Alb-donou-kreis [online]. 2007. [cited 04 November 2007]. Available from internet: <<http://www.alb-donau-kreis.de/kreisentwicklung/grafix/schneepflug.jpg>>.

Appleton, B. Trees and Shrubs that Tolerate Saline Soils and Salt Spray Drift [online]. 2003. [cited 13 October 2007]. Available from internet: <<http://www.ext.vt.edu/pubs/trees/430-031/430-031.html>>.

Baltrėnaitė, E.; Butkus, D. 2007. Modelling of Cu, Ni, Zn, Mn and Pb transport from soil to seedlings of coniferous and leafy trees. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. Vilnius: Technika, Vol XV, No 4, p. 200–207.

Baltrėnas, P.; Kazlauskienė, A. 2007. Grass vegetation dynamics in soil contaminated with salt. *Ekologija*, Vilnius, Vol. 53, No 3, p. 58–63.

Baltrėnas, P.; Kazlauskienė, A.; Zaveckytė, J. 2006. Experimental investigation into toxic impact of road maintenance salt on grass vegetation. *Journal of environmental engineering and landscape management*. Vilnius: Technika, Vol XIV, No 2, p. 83–88.

Baltrėnas, P.; Morkūnienė, J.; Vaitiekūnas, P. 2008. Mathematical simulation of solid particle dispersion in the air of Vilnius city. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. Vilnius: Technika, Vol XVI, No 1, p. 15–22.

Baltrėnas, P.; Zaveckytė, J.; Kazlauskienė, A.; Ščupakas, D. 2006. Pakelės žolinių augalų augimo intensyvumo matematinis modeliavimas. *Journal of environmental engineering and landscape management*. Vilnius: Technika, Vol XIV, No 4, p. 215–224.

Baltrėnas, P.; Vaiškūnaitė, R.; Špakauskas, V. 2003. Eksperimentiniai tyrimai ir lakiųjų organinių junginių mišinių biofiltracijos procesų biofiltre matematinis modeliavimas. *Journal*

*of environmental engineering and landscape management*. Vilnius: Technika, Vol. XI, No 3, p. 79–84.

Bañuls, J.; Serna, M. D.; Legaz, F.; Talon, M.; Primo-Millo, E. 1997. Growth and gas exchange parameters of citrus plants stressed with different salts. *Journal of plant physiology* 150, p. 194–199.

Benbow, M. E.; Merritt, R. W. 2004. Road-salt toxicity of select Michigan wetland macroinvertebrates under different testing conditions. *Wetlands* 24 (1), p. 68–76.

Blomqvist, G. 2002. De-icing salt and roadside environment – strategies for impact analyses. Proceedings PIARC 2002 XI<sup>th</sup> International winter road congress, Sapporo, Japan. p. 1–8.

Blomqvist, G. 2001. De-icing salt and roadside environment: Air-borne exposure, damage to Norway spruce and system monitoring. PhD thesis summary. Stockholm, VTI, 25 p. (in Swedish).

Blomqvist, G. Impact of de-icing salt on roadside vegetation—A literature review. VTI rapport 427A [online]. 1999. [cited 11 December 2007]. Available from internet: <<http://www.vti.se/info/fonyhet/edetalj.asp?RecID=609>>.

Blomqvist, G.; Norrström, A.-C.; Thunqvist, E.-L. 2001. Miljöproblem vid drift och underhåll av vägar, TRITA-AMI Rapport 3083, Avdelningen för mark – och vattenresurser, Institutionen för Anläggning och Miljö, KTH, Stockholm, 74 p. (in Swedish).

Braun, S.; Flückiger, W. 1984. Increased population of the aphid *Aphis pomi* at a motorway. Part 2—The effect of drought and de-icing salt. *Environmental pollution series A, Ecological and biological*, Vol. 36, Issue 3, p. 261–270.

Burtwell, M. 2004. Assessment of Safecote: new deicer product. Proceedings of 6<sup>th</sup> international symposium on snow removal and ice control technology, Spokane, Washington, p. 529–540.

Cornford, D.; Thornes, J.E. 1996. A comparison between, spatial winter indices and expenditure on winter road maintenance in Scotland. *International Journal of climatology* 16: p. 339–357.

Daugiametė svidrė [interaktyvus]. 2006. Žiūrėta 2008 m. sausio 15 d. Prieiga per internetą: <<http://runeberg.org/nordflor/478.html>>.

Dawson, R. from Long Island Gardening Article by Tamson Yeh of Nassau Co. CCE. Feb [online]. 2001. [cited 18 November 2007]. Available from internet: <[http://www.umassgreeninfo.org/fact\\_sheets/plant\\_culture/salt\\_damage.pdf](http://www.umassgreeninfo.org/fact_sheets/plant_culture/salt_damage.pdf)>.

Dirr, M. A. 1976. Selection of trees for tolerance to salt injury. *J. Arbor.* 2(11), p. 209–216.

Dobson, M.C. 1991. De-icing salt damage to trees and shrubs. Forestry commission, Bulletin 101, HMSO, London, p. 64.

Douglas, A. 1986. Wilcox. The effects of deicing salts on vegetation in Pinhook Bog, Indiana. *CAN. J. BOT.* Vol. 64, Issue 4, p. 865–87.

Douglas, A. 1984. Wilcox. The effects of NaCl deicing salts on *Sphagnum recurvum* P. beauv. *Environmental and experimental botany*, Vol. 24, Issue 4, p. 295–301.

Druskų saugykla [interaktyvus]. 2007. Žiūrėta 2007 m. lapkričio 4 d. Prieiga per internetą: <[http://www.baselland.ch/fileadmin/baselland/files/docs/archive/chronik/pic\\_sach/salz.jpg](http://www.baselland.ch/fileadmin/baselland/files/docs/archive/chronik/pic_sach/salz.jpg)>.

Eckert, D.; Sims, J. T. 1995. Recommended Soil pH and Lime Requirement Tests. Chapter 3, in: Recommendation for soil testing procedures. For North Eastern United States. *Second edition*, p. 8-11.

Edwards, J.B. 1996. Weather-related road accidents in England and Wales: a spatial analysis. *Transport geography* 4(3): 201–212.

Eutech Instruments Pte Ltd. [online]. 1997 Information on Measurement of pH in Soil. [cited 04 Februar 2008]. Available from internet: <<http://www.eutechinst.com/techtips/techtips6.htm>>.

Forest Service, U.S. Department of Agriculture. Deicing salt injures trees [online]. [cited 18 November 2007]. Available from internet: <[http://www.na.fs.fed.us/spfo/pubs/misc/tree\\_care/aib372-g.htm](http://www.na.fs.fed.us/spfo/pubs/misc/tree_care/aib372-g.htm)>.

Fraser, G.; Drew, J. 1998. Route selection and salt management in Northern Ireland. Proceedings of X<sup>th</sup> PIARC Winter road congress, Vol I: 41–52.

Grikevičius, R. Druska kovai su plikledžiu – prasta išeitis. „Valstiečių laikraštis“ 2007 gruodžio 4 d.

Grikevičius, R.; Ulkienė, K. Natrio chlorido druska – želdinių priešas [interaktyvus]. 2006. Žiūrėta 2007 m. lapkričio 4 d. Prieiga per internetą: <<http://www.zpasaulis.lt/index.php?id=341>>.

Hanbali, R.M. 1998. The economic impact of winter road maintenance on road users. *Transportation research record 1442*: 429–439.

International Society of Arboriculture. Clearing Snow And Ice Can Cause Damage To Your Trees [online]. 2005. [cited 13 October 2007]. Available from internet: <<http://www.treesaregood.com/pressrelease/press/Deicing05.aspx>>.

Johnson, G. R.; Sucoff, E. 1999. Minimizing deicing salt injury to trees. University of Minnesota Extension Pub. FO-01413-GO, St. Paul, 6 p.

Kabata–Pendias, A.; Pendias, H. 2001. Trace elements in soils and plants. Third edition. ISBN 0849315751. CRC Press. 413 p.

Kamaitis, Z. 2002. Gelžbetoninių tiltų irimas dėl armatūros korozijos. II dalis. *Transport*. Vilnius: Technika, XVII t., Nr. 5, p. 163–170.

Kayama, M.; Quoreshi, A. M.; Kitaoka, S.; Kitahashi, Y.; Sakamoto, Y.; Maruyama, Y.; Kitao, M.; Koike, T. 2003. Effects of deicing salt on the vitality and health of two spruce species, *Picea abies* Karst., and *Picea glehnii* Masters planted along roadsides in northern Japan. *Environmental pollution* 124, p. 127–137.

Kissel, D. E.; Vendrell, P. F. 2006. *Salt pH and salt concentration. A New Method for Measuring Soil pH*. University of Georgia. [cited 04 Februar 2008]. Available from internet: <<http://www.clemson.edu/>>.

Kurapka, V.; Laurinavičius, A. 1999. Cheminių medžiagų naudojimas automobilių kelių priežiūrai žiemą. Rekomendacijos. Vilnius: TK 12 „Automobilių keliai“, 38 p.

Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos. 1999. Cheminių medžiagų naudojimas automobilių kelių priežiūrai žiemą. Rekomendacijos (reikalavimai, naudojimas, bandymo metodai). Vilnius, 90 p.

Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija [interaktyvus]. 2007. Žiūrėta 2007 m. gruodžio 18 d. Prieiga per internetą: <<http://www.transp.lt/>>.

Lundmark, A. 2005. Modeling the impacts of deicing salt on soil water in a roadside environment. TRITA-LWR LIC 2024. Licentiate Thesis, KTH Land and water resources engineering, Stockholm, 32 p.

Mačiulaitienė, M. Ekologija. Vanduo biosferoje. Dirvožemio tarša [interaktyvus]. 2007. Žiūrėta 2007 m. spalio 27 d. Prieiga per internetą: <[http://www.is.lt/kolegija/darbai/Maciulaitiene\\_ekologija.pdf](http://www.is.lt/kolegija/darbai/Maciulaitiene_ekologija.pdf)>.

Miller, A.; Hills, A. 2000. The Importance of soil pH. Published by Agriculture Western Australia, 78 p.

Mineau, P.; Brownlee, L. J. 2005. Road salts and birds: an assessment of the risk with particular emphasis on winter finch mortality. *Wildlife society bulletin* 33 (3), p. 835–841.

Montvydienė, D.; Marčiulionienė, D. 2003. Assessment of toxic interactions of heavy metals in a multicomponent mixture using *Lepidium sativum* and *Spirodela polyrrhyza*. *Environ. toxicol.* Vol. 19 (4), p. 351–358.

PHOENICS Overview [online]. 2005. [cited 27 December 2008]. Available from internet: <[http://www.cham.co.uk/phoenics/d\\_polis/d\\_docs/tr001/tr001.htm](http://www.cham.co.uk/phoenics/d_polis/d_docs/tr001/tr001.htm)>.

Pievinė miglė [interaktyvus]. 2006. Žiūrėta 2008 m. sausio 15 d. Prieiga per internetą: <[http://www.livinglandscapes.bc.ca/cbasin/cb\\_grasses/image\\_poa\\_pratensis.html](http://www.livinglandscapes.bc.ca/cbasin/cb_grasses/image_poa_pratensis.html)>.

Požeminio vandens monitoringas [interaktyvus]. 2003. Žiūrėta 2007 m. spalio 28 d. Prieiga per internetą: <<http://www.siauliai.lt>>.

Rhoades, J. D.; Loveday, J. 1990. Salinity in irrigated agriculture. In *American society of civil engineers, Irrigation of agricultural crops* (Monograph 30) (Steward B. A. and Nielsen D. R., eds.), American society of agronomists, p. 1089–1142.

Rimkus, A. 2003. The analysis of factors influencing the environmental impact of chlorides used for road educing (lt). The 25<sup>th</sup> International Baltic road conferences materials. Vilnius, 12 p. (in CD).

Romero – Aranda, R.; Moya, J. L.; Tadeo, F. R.; Legaz, F.; Primo – Millo, E.; Talon, M. 1998. Physiological and anatomical disturbances induced by chloride salts in sensitive and tolerant citrus: beneficial and detrimental effects of cations. *Plant, cell and environment* 21, p. 1243–1253.

Safecote product, oficialus tinklapis [interaktyvus]. 2006. Žiūrėta 2007 m. lapkričio 24 d. Prieiga per internetą: <[www.safecote.com](http://www.safecote.com)>.

Sakshaug, K.; Vaa, T. 1995. Road salting and traffic safety – the effect of road salting on accidents and driving speed. SINTEF transport engineering, Report No. STF63 A95005, Norway, p. 59.

Somerville, C.; Dangl, J. 2000. GENOMICS: Plant biology in 2010. *Science*, Vol. 290, No. 5499, p. 2077–2088.

Somerville, C; Koornneef, M. 2002. A fortunate choice: the history of Arabidopsis as a model plant. *Nature reviews genetics* 3, p. 883–889.

Speakman, D. 1994. Ambulances adrift: impact of the snowstorms of the winter of 1990/91 upon the services of the city of Birmingham. *Weather* 49(3): 96–101.

Stašauskaitė, S. 1995. Augalų vystymosi fiziologija. Vilnius: Debesija, 228 p.

Storpirštytė, I.; Kazlauskienė, A.; Ščupakas, D. 2004. Chloridų koncentracijos sniego dangoje intensyvaus eismo Lietuvos kelių pakelėse tyrimai. *Journal of environmental engineering and landscape management*. Vilnius: Technika, Vol XII, Supplement 2, p. 60–66.

Swanson, B. T.; Rideout, R. Protecting trees and shrubs. Against winter damage [online]. 1998. [cited 27 October 2007]. Available from internet: <<http://www.extension.umn.edu/distribution/horticulture/DG1411.html>>.

Swedish national road and traffic research institute. Road salt and nature. [online]. [cited 27 October 2007]. Available from internet: <<http://www.vti.se/info/foresurs/edetalj.asp?RecID=961>>.

Šarpytė, J. 2004. Lietuvos keliais važiuojančio transporto poveikį aplinkai mažinančios priemonės // medžiaga 7-tojoje jaunujų mokslininkų konferencijoje „Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities“. Vilnius: Technika, p. 22–27.

Špakauskas, V.; Vaitiekūnas, P. 2003. Šilumos ir masės pernašos procesų modeliavimo principai. Vilnius. Technika, 87 p.

Thornes, J.E. 1996. The cost-benefit of winter road maintenance in the UK. Proceeding of the 8<sup>th</sup> International road weather conference, University of Birmingham, UK, p. 1–10.

Thornes, J.E. 2000. Road salting – an international benefit/cost review. Proceeding of the 8<sup>th</sup> World salt symposium, Vol 2, Elsevier, p. 787–791.

Thunqvist, E.-L. 2004. Regional increase of mean chloride concentration in water due to the application of deicing salt. *Science of the total environment*, Vol. 325, Issue 1–3, p. 29–37.

Tikrasis eraičinas [interaktyvus]. 2006. Žiūrėta 2008 m. sausio 15 d. Prieiga per internetą: <<http://runeberg.org/nordflor/444.html>>.

Treating the Public Water Supply: What Is In Your Water, and How Is It Made Safe to Drink? [online]. 2006. [cited 04 November 2007]. Available from internet:

<<http://www.chemistry.wustl.edu/~edudev/LabTutorials/Water/PublicWaterSupply/PublicWaterSupply.html>>.

UAB „Konkordija“ prekyba visų rūšių druska [interaktyvus]. 2007. Žiūrėta 2007 m. lapkričio 4 d. Prieiga per internetą: <[www.druska.lt](http://www.druska.lt)>.

Vaitiekūnas, P.; Petkevičienė P. 1997. Konvekcinio pernešimo skaitinis modeliavimas inžineriniuose uždaviniuose panaudojant PHOENICS *Lietuvos mokslas ir pramonė* Kaunas:, p. 35.

Vaitiekūnas, P.; Špakauskas, V. 2000. Pernešimo procesų skaitinis modeliavimas. Vilnius. Technika, , p. 90.

Vaitkutė, D.; Baltrėnaitė, E. 2008. Soil pH – comparison of two analysis methods. Iš *Aplinkos apsaugos inžinerija: 11-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“*, įvykusios Vilniuje 2008 m. balandžio 3 d., pranešimų medžiaga. Vilnius: Technika, p. 470–479.

Viskari, E.-L.; Rekila, R.; Roy, S.; Lehto, O.; Ruuskanen, J.; Karenlampi, L. 1997. Airborne pollutants along a roadside: assessment using snow analyses and moss bags. *Environmental pollution*, Vol. 97, No. 1–2, p. 153–160.

Viskari, E.-L. 1999. Dispersion, deposition and effects of road traffic-related pollutants on roadside ecosystem. Doctoral dissertation, Natural and environmental sciences 88, Department of ecology and environmental science, University of Kuopio, Finland, p. 15–18.

Vitaliano, D. F. 1992. An economic assessment of the social costs of highway salting and the efficiency of substituting a new de-icing material. *Journal of policy analysis and management* II(3): 397–418.

Vosylienė M. Z.; Baltrėnas P.; Kazlauskienė A. 2006. Toxicity of road maintenance salts to Rainbow Trout *Oncorhynchus mykiss*. *Ekologija*. Vilnius: LMA (2): 15–20.

What is a salt? [online]. 2006. [cited 04 November 2007]. Available from internet: <<http://www.students.stir.ac.uk/biology/ionpot/salt.htm>>.

Williams, D. D.; Williams, N. E.; Cao, Y. 1999. Road salt contamination of groundwater in a major metropolitan area and development of a biological index to monitor its impact. *Water research*, Vol. 34, No. 1, p. 127–138.

Yakhnin, E.; Stuckey, G.; Bethatova, M. 1997. Geochemistry of snow in the eastern part of the Kymi district (Finland) and the Karelian Isthmus (Leningrad, Russia). Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti–geological survey of Finland, Report of investigation 139. Espoo, Finland, p. 2–21.

Yokoi, S.; Bressan, R. A.; Hasegawa, P. M. 2002. Salt stress tolerance of plants. *JIRCAS Working report*, p. 25–33.

Zhang, J. Z.; Creelman, R. A.; Zhu, J.-K. 2004. From laboratory to field. Using information from Arabidopsis to engineer salt, cold, and drought tolerance in crops. *Plant physiology*, Vol. 135, p. 615–621.

Zhu, J.-K. 2000. Genetic Analysis of plant salt tolerance using Arabidopsis. *Plant physiology*, Vol. 124, p. 941–948.

Zhu, J.-K. 2001. Plant salt tolerance. *TRENDS in plant science*, Vol. 6, No. 2, p. 66–71.

Балтренас, П. Б.; Казлаускене, А. А. 2005. Исследование концентрации ионов хлора в воде тающего снега на магистрали Вильнюс – Каунас – Клайпеда. *Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. Москва, №1, с. 18–24.

## PUBLIKACIJŲ SĄRAŠAS

### Žurnaluose, įtrauktuose į Mokslinės informacijos instituto (MII) duomenų bazės pagrindinį sąrašą (*ISI Web of Science*)

1. Kazlauskienė, A.; Brukštutė, V. 2009. The influence of road maintenance substances on graminaceous vegetation. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. (Atiduotas spaudai).

### Kituose recenzuojamuose mokslo leidiniuose

1. Brukštutė, V.; Kazlauskienė, A. 2008. Melasos pagrindu pagamintos medžiagos, naudojamos kelių priežiūrai, vertinimas. *Aplinkos apsaugos inžinerija: 11-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“*, įvykusios Vilniuje 2008 m. balandžio 3 d., pranešimų medžiaga. Vilnius: Technika. p. 582–590.
2. Brukštutė, V.; Kazlauskienė, A. 2009. Dirvožemio, užteršto melasos pagrindu pagaminta medžiaga, pH tyrimai. „*Mokslas – Lietuvos ateitis*“. (Atiduotas spaudai).

### Mokslinėse konferencijose pristatyti pranešimai

Magistrinio darbo rezultatai aptarti 2-jose tarptautinėse respublikinėse mokslinėse konferencijose:

1. Brukštutė, V. Melasos pagrindu pagamintos medžiagos, naudojamos kelių priežiūrai, vertinimas. *Aplinkos apsaugos inžinerija: 11-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencija „Mokslas – Lietuvos ateitis“*, įvykusi Vilniuje 2008 m. balandžio 3 d.
2. Brukštutė, V. Dirvožemio, užteršto melasos pagrindu pagaminta medžiaga, pH tyrimai. *Aplinkos apsaugos inžinerija: 12-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencija „Mokslas – Lietuvos ateitis“*, įvykusi Vilniuje 2009 m. balandžio 2 d.