

## MEDŽIŲ LIEMENŲ PAVOJINGŲ KENKĖJŲ VYSTYMOŠI TARPSNIŲ MODELIAVIMAS IR PROGNOZAVIMAS

Sutarties Nr. BL-AM-MTD01-0004

### Ataskaita

Užsakovas: Lietuvos Respublikos Aplinkos ministerijos Aplinkos projektų valdymo agentūra

Projekto finansavimo sutarties pasirašymo data: 2023 m. gruodžio 27 d.

Projekto trukmė: 36 mėn.

Projekto vykdytojai:

Dr. Paulius Zolubas

Dr. Artūras Gedminas

Simonas Lynikas

Dr. Remigijus Bakys (vadovas)

## Turinys

|   |    |
|---|----|
| ĮVADAS .....  | 2  |
| Tikslai ir uždaviniai.....  | 3  |
| Laukiami rezultatai ir nauda.....   | 3  |
| 1. METODOLOGIJA .....   | 4  |
| 1.1. Tiriamų rūšių vabalų suaugėlių skraidymo fenologinių fazių nustatymas feromoninių atraktantų pagalba .....   | 4  |
| 1.2. Tiriamųjų rūšių tarpinių vystymosi stadijų fenologinių fazių nustatymas žievės palečių metodu.....   | 4  |
| 1.2.1. Žievėgraužio tipografo tarpinių vystymosi stadijų fenologinių fazių nustatymas žievės palečių metodu.....  | 4  |
| 1.2.2. Mažojo ir didžiojo kirpikų tarpinių vystymosi stadijų fenologinių fazių nustatymas žievės palečių metodu.....  | 5  |
| 1.3. Meteorologinių duomenų surinkimas .....  | 7  |
| 1.4. Teigiamų temperatūrų sumų sąsajų su tiriamų liemenų kenkėjų vystymosi stadijų fenologinių vystymosi tarpsnių nustatymas. ....  | 7  |
| 1.5. Informacinė sistema .....  | 7  |
| 2. REZULTATAI.....  | 9  |
| 2.1. Žievėgraužio tipografo fenologinių stadijų ryšio su efektyvių paros oro temperatūrų suma nustatymas.....   | 9  |
| 2.2. Didžiojo ir mažojo kirpikų fenologinių stadijų ryšio su efektyvių paros oro temperatūrų suma nustatymas .....  | 15 |
| 2.3. Informacinės sistemos prototipo sukūrimas, naudojant užsienio šalyse egzistuojančius žievėgraužio tipografo fenologijos modelius ir vidutinius daugiamečius meteorologinių stebėjimų duomenis..... | 20 |
| 2.4. Viešai prieinama informacinė sistema, skirta pavojingų liemenų kenkėjų vabzdžių vystymosi stadijų atvaizdavimui realiu laiku Lietuvos teritorijoje .....   | 21 |
| 2.4.1. Meteorologinių duomenų surinkimo serviso iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos teikiamų duomenų sukūrimas.....  | 21 |
| 2.4.2. Kenkėjų vystymosi tarpsnių ir meteorologinių duomenų bazės sukūrimas .....   | 22 |
| 2.4.3. Duomenų apdorojimo algoritmas .....  | 23 |
| 2.4.4. Informacinės sistemos svetainės sukūrimas ir paleidimas .....  | 24 |
| 2.4.5. Aktualios kenkėjų išsivystymo situacijos ir sekančių vystymosi tarpsnių prognozės pateikimas realiu laiku per interneto naršyklę, naudojant GIS technologijas. ....                              | 25 |
| 2. IŠVADOS .....  | 27 |
| 3. REKOMENDACIJOS .....   | 27 |
| 4. LITERATŪROS SĄRAŠAS .....  | 28 |
| Priedai .....   | 29 |
| 1 priedas. Duomenų bazės struktūra .....  | 29 |
| 2 priedas. Duomenų apdorojimo funkcijos meteorologinių duomenų bazėje.....  | 30 |
| 3 priedas. <i>typographus_api</i> dokumentacija.....  | 30 |

## IVADAS

Šis tyrimas yra skirtas pavojingų medžių liemenų kenkėjų vystymosi prognozavimo modelių sukūrimui ir tyrimo rezultatų viešam ir neatlygintinam skelbimui suinteresuotiems asmenims ir organizacijoms. Tyrimas apima trijų vabzdžių rūšių vystymosi tarpsnių nustatymą ir modeliavimą: žievėgraužio tipografo (*Ips typographus* Linnaeus, 1758), didžiojo kirpiko (*Tomicus piniperda* Linnaeus, 1758) ir mažojo kirpiko (*Tomicus minor* Hartig, 1834).

Medžių liemenis kolonizuojantčios vabzdžių rūšys yra viena iš pagrindinių miško medžių žūties priežasčių pasaulyje. Dėl medžių liemenų pavojingų kenkėjų pažaidų 2023-2024 m. Lietuvos spygliuočių medynuose 12 šalies rajonų buvo paskelbta stichinė nelaimė [1,2].

Vadovaujantis Miško sanitarinės apsaugos taisyklių nuostatomis [3], spygliuočiai, kuriuose apsigyveno medžių liemenų pavojingi kenkėjai, iki pirmųjų lėliukių susiformavimo privalo būti iškirsti sanitariniais miško kirtimais. Lietuvoje didžiausią grėsmę miškams kelia žievėgraužis tipografas [4], didysis [5] ir mažasis [6] kirpikai, kurių masinio dauginimosi židinių rizika, pirmiausia dėl klimato kaitos, pastaraisiais metais smarkiai išaugo. Kadangi pagrindinė priemonė prieš liemenų kenkėjus yra sanitariniai kirtimai, todėl ypač svarbu jų savalaikiškumas. Pavėluoti (atlikti liemenų kenkėjams jau išsivysčius ir palikus medį) ir dėl to neefektyvūs sanitariniai kirtimai ne tik išbalansuoja miško ekosistemas, kelia pagrįstą visuomenės susirūpinimą, bet ir negali užtikrinti medynų išsaugojimo.

Šių vabzdžių medžių apgyvendinimo laikas (data) ir atskirų vystymosi tarpsnių trukmė, kuomet jie kolonizuoja medžių kamienus, kiekvienais metais skiriasi, priklausomai nuo tų metų klimatinių sąlygų. Laiko periodas nuo kenkėjų apsigyvenimo medyje iki pirmųjų lėliukių susiformavimo yra trumpas bei skirtingas (pradžią ir trukmę) atskiruose regionuose. Kadangi miško sanitarinės apsaugos priemonių atlikimas laiku yra miško valdytojo ar naudotojo atsakomybė, o kenkėjų vystymosi tarpsnių tyrimas ir prognozavimas reikalauja specifinių žinių ir įgūdžių, todėl daugelis židinių nustatoma per vėlai ir pavėluoti sanitariniai kirtimai neduoda laukiamo efekto [2].

Šios prielaidos rodo, jog miško valdytojams ar naudotojams būtini patikslinti pavojingų medžių liemenų kenkėjų vystymosi tarpsnių (fenologinių fazių) modeliai ir objektyvi, lengvai prieinama informacija apie kenkėjų aktualų išsivystymą ir sekančių vystymosi tarpsnių prognozė. Tikslių pavojingų liemenų kenkėjų rūšių vystymosi modelių, keičiantis klimatui, šiuo metu Lietuvoje nėra. Tyrimo rezultatai leistų operatyviai priimti sprendimus, tinkamai organizuoti ir laiku atlikti miško sanitarinės apsaugos priemones.

Projekto rezultatai padės tobulinti miškų sanitarinę apsaugą nuo pavojingiausių liemenų kenkėjų, kurių masinio dauginimosi židinių rizika, pirmiausia dėl klimato kaitos, pastaraisiais metais drastiškai išaugo ne tik Lietuvoje, bet ir visoje Europoje [7].

Pavojingų medžių liemenų kenkėjų, šaltakraujų organizmų vystymasis priklauso nuo aplinkos temperatūros [8]. Kalendorinės datos netinka prognozei ar sprendimams priimti dėl kasmet kintančių orų; tinkamesnė yra fiziologinė laiko skalė, pagrįsta per laiką sukauptu šilumos kiekiu. Yra paskelbta mokslinių tyrimų, kuriais nustatyta efektyvių temperatūrų (vidutinių paros temperatūrų virš apatinio vystymosi slenksčio) suma, reikalinga žievėgraužio tipografo atskirų fazių išsivystymui, tačiau jie atlikti kitose klimatinėse sąlygose ir, kaip parodė praktika, nėra tikslūs Lietuvos sąlygomis; be to, labai trūksta duomenų apie abiejų kirpikų rūšių vystymosi tarpsnius. Todėl būtina atlikti žievėgraužio tipografo, didžiojo kirpiko ir mažojo kirpiko vystymosi tarpsnių tyrimus Lietuvoje bei sudaryti jų prognozavimo modelius, pagrįstus efektyvių temperatūrų suma. Siekiant efektyvaus rezultatų panaudojimo taip pat būtina parengti sąlygas (parinkti programinę įrangą bei sukurti programinį kodą, įskaitant GIS komponentą), kad viešai būtų skelbiama informacija apie kenkėjų vystymąsi realiu laiku visoje Lietuvos teritorijoje.

Šis darbas skirtas ir miško sanitarinės būklės stebėsenos sistemos tobulinimui, siekiant padėti išspręsti vieną pagrindinių praktinių iššūkių – nustatyti laiką ir vietas, kuriose reikia koncentruoti resursus, siekiant efektyviau nustatyti besivystančius liemenų kenkėjų židinius.

## Tikslai ir uždaviniai

- 1 tikslas. Sukurti žievėgraužio tipografo, didžiojo kirpiko ir mažojo kirpiko fenologijos modelius Lietuvos sąlygoms (nustatyti vystymosi slenkstį ir efektyvių temperatūrų sumą, reikalingą kiekvieno tarpsnio išsivystymui):
  - 1.1 uždavinys. Ištirti žievėgraužio tipografo vystymosi stadijų fenologiją;
  - 1.2 uždavinys. Ištirti didžiojo kirpiko vystymosi stadijų fenologiją;
  - 1.3 uždavinys. Ištirti mažojo kirpiko vystymosi stadijų fenologiją;
  - 1.4 uždavinys. Sukurti kenkėjų vystymosi tarpsnių fenologinius modelius Lietuvos meteorologinėms sąlygoms.
- 2 tikslas. Sukurti viešai prieinamą informacinę sistemą, skirtą pavojingų liemenų kenkėjų vabzdžių vystymosi stadijų atvaizdavimui realiu laiku Lietuvos teritorijoje:
  - 2.1 uždavinys. Prototipo sukūrimas, naudojant užsienio šalyse egzistuojančius žievėgraužio tipografo fenologijos modelius ir vidutinius daugiamečius meteorologinių stebėjimų duomenis.
  - 2.2 uždavinys. Meteorologinių duomenų surinkimo serviso iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos teikiamų duomenų sukūrimas;
  - 2.3 uždavinys. Kenkėjų vystymosi tarpsnių ir meteorologinių duomenų bazės sukūrimas;
  - 2.4 uždavinys. Duomenų apdorojimo algoritmo sudarymas;
  - 2.5 uždavinys. Informacinės sistemos svetainės sukūrimas ir paleidimas;
  - 2.6 uždavinys. Aktualios kenkėjų išsivystymo situacijos ir sekančių vystymosi tarpsnių prognozės pateikimas realiu laiku per interneto naršyklę, naudojant GIS duomenų atvaizdavimo technologijas.

## Laukiami rezultatai ir nauda

Darbo rezultatai sudarys sąlygas miško savininkams ir valdytojams gauti tikslią informaciją apie medžių liemenų pavojingų kenkėjų išsivystymą realiu laiku ir efektyviai taikyti privalomas miško sanitarinės apsaugos priemones, taip išvengiant masinio dauginimosi židinių susiformavimo.

1. Žievėgraužio tipografo, didžiojo ir mažojo kirpiko vystymosi tarpsnių fenologiniai modeliai leis tiksliai prognozuoti pavojingų medžių liemenų kenkėjų vystymąsi Lietuvos sąlygomis kiekvienais metais.
2. Viešai ir nemokamai prieinama informacinė sistema, grafiškai vaizduojanti aktualią ir nuolat atnaujinamą pavojingų liemenų kenkėjų išsivystymo situaciją Lietuvos teritorijoje, sudarys sąlygas planuoti ir laiku atlikti privalomas miško sanitarinės apsaugos priemones.

## 1. METODOLOGIJA

### 1.1. Tiriamų rūšių vabalų suaugėlių skraidymo fenologinių fazių nustatymas feromoninių atraktantų pagalba

Feromoninių atraktantų metodas yra plačiai taikomas visame pasaulyje. Atraktantai miško apsaugoje naudojami jau seniai, ne tik kenkėjų monitoringui, bet ir vabzdžių biologinės įvairovės tyrimuose [9]. Šio metodo principas yra gan paprastas: feromoninėse gaudyklėse įrengiami specializuoti atraktantai (vabzdžius viliojančios medžiagos), kurių feromonai yra selektyvūs ir vilioja tik tam tikrą vabzdžių rūšį. Šiuo metodu surenkami aktyviai skraidantys *imago* (suaugėliai) vabzdžiai. Pakliuvusios į feromonines gaudykles kitos vabzdžių rūšys (ne kirpikai ar žievėgraužis tipografas) buvo pašalinti iš apskaitos, vizualiai atpažįstant sugautas rūšis ir skaičiuojant sugautus vabzdžius rankiniu būdu. Vabzdžių identifikavimui panaudotas mikroskopas (modelis) ir vabzdžių identifikavimo duomenų bazė.

Žievėgraužio tipografo vabalų skraidymo dinamikai įvertinti, kiekvienoje pasirinktoje kirtavietėje 2024 m. balandžio 3 d. buvo išdėliotos po 2 MultiWit BK tipo gaudyklės su atraktantu TYPO-lab A20. Gaudyklės buvo įrengtos, pagal Valstybinės miškų tarnybos rekomendacijas 30 m nuo miško pakraščio ir 30 m tarp gaudyklių. Du kartus per savaitę gaudyklės buvo tikrinamos ir surinkti vabalai apskaitomi skaičiuojant vienetais. Surinkti duomenys buvo perskaičiuojami - vabalai vnt./1 gaudyklėje/1 parą. Kadangi atraktanto poveikis pradėjo mažėti, 2024 m. Liepos 31 d. jie buvo pakeisti tos pačios rūšies naujais dispenseriais. Iš viso žievėgraužio tipografo skraidymo dinamikai įvertinti tyrimo metu atliktos 42 apskaitos.

Mažojo ir didžiojo kirpikų vabalų skraidymo dinamikai įvertinti, kiekvienoje pasirinktoje kirtavietėje 2024 m kovo 12 buvo išdėliota po dvi IBL-3 tipo gaudykles su atraktantu TOMODOR (jis vilioja abi rūšis kirpikų). Gaudyklės sukabintos, pagal rekomendacijas, 30 m nuo miško pakraščio ir 30 m tarp gaudyklių. Du kartus per savaitę gaudyklės buvo tikrinamos ir surinkti vabalai apskaitomi vienetais. Surinkti duomenys buvo perskaičiuojami - vabalai vnt./1 gaudyklėje/1 parą. Kadangi kirpikų skraidymas buvo gan trumpas, tai atraktanto poveikio pilnai pakako ir dispenserių keisti į naujus neprireikė. Iš viso kirpikų skraidymo dinamikai įvertinti tyrimo metu atliktos 42 apskaitos.

### 1.2. Tiriamųjų rūšių tarpinių vystymosi stadijų fenologinių fazių nustatymas žievės palečių metodu

Šis metodas yra klasikinis ir naudojamas atliekant mokslinius tyrimus su medžių po žievinę entomofauna [10,11]. Palečių metodas leidžia identifikuoti ir apskaityti: suaugusius vabalus (pateles, patinus, jaunos vabalus); kiaušinėlius; lervas; lėliukes; jų entomofagus; lervų ir motės takus; išskridimo ir įsigrauzimo angas. Naudojant šį tyrimo metodą panaudotas apžvalginis mikroskopas ir vabzdžių identifikavimo duomenų bazė.

#### 1.2.1. Žievėgraužio tipografo tarpinių vystymosi stadijų fenologinių fazių nustatymas žievės palečių metodu

2024 m. kovo 13 d. VĮ VMU Dubravos regioninio padalinio Vaišvydavos g-joje, buvo parinktos 3 plyno sanitarinio kirtimo nesena atsiradusios (2024 m. rudens) kirtavietės, buvusiuose tipografo pažeistuose eglynuose:

1. Vaišvydavos g-ja, kv.112, skl.2, 0,6 ha; koordinatės: x-6076461, y-506159
2. Vaišvydavos g-ja, kv.129, skl.23, 0,6 ha; koordinatės: x-6074021, y-506209
3. Vaišvydavos g-ja, kv.147, skl.33, 0,6 ha; koordinatės: x-6073153, y-506862

Kiekviename iš šių barelių buvo nupjauta po 2 modelinius vabzdžiagaudžius medžius (egles), modeliniai medžiai buvo nuverstai į mišką šalia (iki 10 m atstumu) tiriamų kirtaviečių, siekiant atspindėti natūralias tipografo vystymosi sąlygas miške ir apsaugoti modelinius medžius nuo per ankstyvo sudžiūvimo. Modeliniai medžiai su visomis šakomis buvo laikomi iki naujos generacijos tipografo vabalų išskridimo (2024 m. birželio 22 d).



1 pav. Žievėgraužio tipografo vystymosi tarpsnių tyrimai, naudojant žievės palečių metodą



2 pav. Žievėgraužio tipografo tarpinių vystymosi stadijų apskaita

Du kartus per savaitę modeliniai medžiai buvo apžiūrimi ir atliekamos žievėgraužio tipografo veiklos ir vystymosi stadijų vertinimas:

1. Tipografo vabalų įsigraužimo angų apskaita: apskaitos rėmelio 20x20 cm pagalba, 5 pakartojimai kiekvienam modeliniam medžiui;
2. Tipografo poravimosi kamerų, vabalų po žieve, motės takų, kiaušinėlių, lervų, lėliukių, jaunų vabalų apskaita: 20x20 cm paletėje, 1 paletė nuo kiekvieno modelinio medžio;
3. Tipografo vabalų išskridimo angų apskaita: apskaitos rėmelio 20x20 cm pagalba, 5 pakartojimai kiekvienam modeliniam medžiui.
4. Kiekvienos apskaitos metu tyrimo vietovėse buvo fiksuojamas biotopui būdingų augalų vystymosi tarpsnių fenologiniai ypatumai (pumpurų brinkimas ir sprogimas, žydėjimas, lapų skleidimasis, vaisių formavimas ir kt.)

### 1.2.2. Mažojo ir didžiojo kirpikų tarpinių vystymosi stadijų fenologinių fazių nustatymas žievės palečių metodu

2024 m. kovo 12 d. VĮ VMU Dubravos regioninio padalinio Ežerėlio g-joje, buvo parinktos 3 plyno sanitarinio kirtimo šviežios (2024 m. rudens) kirtavietės:

1. Ežerėlio g-ja, kv. 41, skl.2,5, 0,8 ha; koordinatės: x-6088075, y-469661
2. Ežerėlio g-ja, kv. 10, skl.52, 4,7 ha; koordinatės: x-6089060, y-472280
3. Ežerėlio g-ja, kv. 40, skl. 25, 0,6 ha; koordinatės: x-6087902, y-469249

Kiekviename iš barelių buvo nupjauta po 2 modelinius vabzdžiagaudžius medžius (pušis), modeliniai medžiai buvo nuverstai į mišką šalia tiriamų kirtaviečių (iki 10 m atstumu), siekiant atspindėti natūralias kirpikų vystymosi sąlygas miške ir apsaugoti modelinius medžius nuo per ankstinio sudžiūvimo. Modeliniai medžiai su visomis šakomis buvo laikomi iki naujos generacijos kirpiko vabalų išskridimo (2024 m. rugpjūčio 10 d.).



*Pav. 3. Didžiojo ir mažojo kirpikų vystymosi tarpinių tyrimai, naudojant žievės palečių metodą*



*3 pav. Didžiojo ir mažojo kirpikų tarpinių vystymosi stadijų apskaita*

Du kartus per savaitę modeliniai medžiai buvo apžiūrimi ir atliekamos mažojo ir didžiojo kirpikų veiklos ir vystymosi stadijų vertinimas:

1. kirpikų vabalų įsigrauzimo angų apskaita: apskaitos rėmelio 20x20 cm pagalba, po 5 pakartojimus kiekvienam kirpikui, kiekvienam modeliniam medžiui;
2. kirpikų poravimosi kamerų, vabalų po žieve, motės takų, kiaušinėlių, lervų, lėliukių, jaunų vabalų apskaita: 20x20 cm paletėje, 1 paletė kiekvienam kirpikui, nuo kiekvieno modelinio medžio;
3. kirpiko vabalų išskridimo angų apskaita: apskaitos rėmelio 20x20 cm pagalba, po 5 pakartojimus kiekvienam kirpikui, kiekvienam modeliniam medžiui.

4. Kiekvienos apskaitos metu tyrimo vietovėse buvo fiksuojamas biotopui būdingų augalų vystymosi tarpsnių fenologiniai ypatumai (pumpurų brinkimas ir sproginimas, žydėjimas, lapų skleidimasis, vaisių formavimas ir kt.)

### 1.3. Meteorologinių duomenų surinkimas

Tiksliam mikroklimato įvertinimui tyrimų bareliuose buvo panaudotas UNI-T UT330C modelio daviklis, fiksuojantis oro klimatinius parametrus 2 m aukštyje nuo žemės paviršiaus, kas dvi valandas. Surinkti duomenys buvo panaudoti žievėgraužių vabzdžių vystymosi stadijų efektyvių suminių oro temperatūrų patikslinimams, o suminės temperatūros buvo paskaičiuotos, naudojant Kauno meteorologijos stoties duomenis. Žievėgraužių vabzdžių identifikavimo lauko sąlygomis palengvinimui, buvo sudaryta tose pačiose vietovėse identifikuotų augalų ir gyvūnų fenologinių vystymosi fazių lentelė.

### 1.4. Teigiamų temperatūrų sumų sąsajų su tiriamų liemenų kenkėjų ir miško augalų vystymosi stadijų fenologinių vystymosi tarpsnių nustatymas.

Daugelio gyvūnų ir augalų gyvenimo ciklai yra tiesiogiai priklausomi nuo oro temperatūros. Kadangi mūsų platumose metų sezoniškumas yra ryškiai išreikštas, atšalus orams augalai ir šaltakraujai gyvūnai pereina į ramybės – žiemojimo laikotarpį. Pavasarį, susikaupus tam tikrai plusinių temperatūrų sumai augalai ir šaltakraujai gyvūnai pabunda iš žiemos miego ir pradeda aktyvų gyvenimą. Žievėgraužiai vabzdžiai, kaip ir kiti vabalai, pasižymi savita vystymosi fenologija, priklausoma nuo plusinių temperatūrų sumų, kurios siejasi su jo vystymosi skirtingų stadijų tarpsniais [12]. Siekiant susieti tiriamųjų rūšių vystymosi fazių priklausomybę nuo plusinių temperatūrų sumų, panaudota formulė [13]:

$$(\min T + \max T)/2 = \text{vid } T, \text{ vid } T - 6 T = \text{sum } Td1 + \text{sum } Td2 + \dots = \text{sum } T ,$$

kur:

min T – minimali paros oro temperatūra; max T - maksimali paros oro temperatūra; vid T - vidutinė paros oro temperatūra; 6 T – žievėgraužio tipografo temperatūrinis slenkstis (Lietuvos sąlygomis); sum Td – plusinė paros oro temperatūra; sum T – plusinių oro temperatūrų suma.

Jei sum Td buvo gautas neigiamos reikšmės, ši reikšmė nebuvo sumuojama. Sum T pradėtas skaičiuoti, kai sum Td iš eilės 3 paras buvo plusinės reikšmės.

### 1.5. Informacinė sistema

Informacinės sistemos infrastruktūra sukurta ir veikia Lietuvos inžinerijos kolegijos serverio virtualioje mašinoje (<https://kinivarpos.lt>). Sistema įdiegta atviro kodo Ubuntu LTS operacinėje sistemoje, užtikrinančioje stabilų veikimą ir automatinį saugumo atnaujinimų valdymą. Architektūra paremta keturiais tarpusavyje sąveikaujančiais komponentais:

- meteorologinių duomenų surinkimo servisu (*meteo\_collector*),
- duomenų baze (*PostgreSQL*),
- taikomųjų programų sąsaja (*Rust/Warp REST API*),
- žiniatinklio sąsaja (*React/Vite + Leaflet*).

Serverio pusėje pagrindinis programinis sprendimas realizuotas *Rust* kalba, naudojant *Tokio* asinchroninio vykdymo sistemą. API įgyvendinta su *Warp* karkasu, kuris teikia REST paslaugas JSON formatu. Ryšiui su duomenų baze naudojamos *Tokio-Postgres* ir *Diesel* bibliotekos, o duomenų valdymui – *PostgreSQL* reliacinė duomenų bazė be erdvinių plėtinių. Autentifikacijai taikoma paprasta *JWT* žetonų schema.

Erdviniai skaičiavimai ir duomenų interpoliacija atliekami atskiru *Python* moduli, naudojančiu *SciPy* ir *PyKrige* bibliotekas. Šis modulis generuoja prognozinius sluoksnius, kurie naudojami kenkėjų vystymosi stadijų erdviniam atvaizdavimui. Žiniatinklio sąsaja sukurta *React* ir *Vite* pagrindu, o interaktyvus žemėlapis realizuotas su *Leaflet* komponentu. Frontend aplikacija konteinerizuota *Docker* aplinkoje ir pateikiama per *Nginx (alpine)* serverį. TLS sertifikatai generuojami ir automatiškai atnaujinami naudojant *Certbot*.

1 lent. Panaudotos informacinės technologijos

| Technologija            | Aprašymas, panaudojimas   |
|-------------------------|---|
| Ubuntu LTS              | LIK serverio virtualios mašinos operacinė sistema; stabilumas, automatiniai saugumo atnaujinimai. |
| Rust / Tokio / Warp     | Aukšto našumo REST API; asinchroninis užklausų apdorojimas; duomenų pateikimas JSON formatu.      |
| Diesel / Tokio-Postgres | Ryšys su PostgreSQL duomenų baze; įrašų ir atnaujinimų vykdymas ETL metu.                         |
| PostgreSQL              | Reliacinė duomenų bazė meteorologiniams ir biologiniams duomenims saugoti.                        |
| Python (SciPy, PyKrige) | Duomenų interpoliacija (krigingas) ir efektyvių temperatūrų sumų erdvinis modeliavimas.           |
| React + Vite + Leaflet  | Vartotojo sąsaja; interaktyvūs žemėlapiai naršyklėje; GIS duomenų vizualizacija.                  |
| Docker + Nginx (alpine) | Konteinerizavimas; statinių failų pateikimas; HTTPS peradresavimas.                               |
| Certbot                 | Automatinis HTTPS sertifikatų generavimas ir atnaujinimas.  |
| JWT                     | Lengva autentifikacija API prieigai.  |
| reqwest                 | HTTP klientas, naudojamas <i>meteo_collector</i> užklausoms į <i>api.meteo.lt</i> siųsti.         |

## 2. REZULTATAI

### 2.1. Žievėgraužio tipografo fenologinių stadijų ryšio su efektyvių paros oro temperatūrų suma nustatymas

Surinkus ir išanalizavus surinktą medžiagą pasirinktuose tyrimo bareliuose, buvo sudaryta žievėgraužio tipografo vystymosi tarpsnių fenologinė lentelė. Joje atsispindi šios rūšies visų generacijų 2024 m. vystymosi stadijų efektyvių (plusinių, teigiamų) oro temperatūrų sumos. Kiekviena vabalų vystymosi stadija lentelėje suskaidyta į 4 tarpsnius, pvz.: lervų vystymosi pradžia, maksimumo pradžia, maksimumo pabaiga ir lervų vystymosi pabaiga, visa tai leidžia tiksliau sužinoti, kokioje konkrečioje vystymosi stadijoje yra tirama rūšis. Lentelėje matome, kad efektyvių oro temperatūrų sumos persidengia skirtingose vabalų vystymosi stadijose, tačiau tai yra natūralu, nes ne visi vabalai skraido, susiporuoja, sudeda kiaušinėlius vienu metu, todėl vabalų stadijų vystymosi terminas gali būti išstėtas. Šalti orai pristabdo vabalų skraidymą ar kitų stadijų vystymąsi, tuomet plusinių temperatūrų kaupimasis taip pat sustoja, o stadijų vystymosi periodas pailgėja, priklausomai nuo konkrečių metų meteorologinių sąlygų. Paskutinių metų oro temperatūrų stebėjimai parodė, kad metinės efektyvių oro temperatūrų sumos didėja (Kauno rajonas): 2022 m. – 1678 sum T, 2023 m. – 1849 sum T (padidėjo 171), 2024 m. – 2078 sum T (padidėjo 229). Vienai pilnai žievėgraužio tipografo generacijai išsivystyti vidutiniškai reikia 500 sum T. Paprastai žievėgraužio tipografo per metus išsivystydavo dvi pagrindinės ir viena seserinė generacijos, bet 2024 m. tyrimų metu nustatyta, kad susiformavo ir antra seserinė generacija. Papildomos generacijos susidarymas lemia dar didesnę eglynų pažeidimo riziką.

2 lent. Žievėgraužio tipografo vystymosi tarpsnių sąsajos su vidutinių efektyvių temperatūrų suma

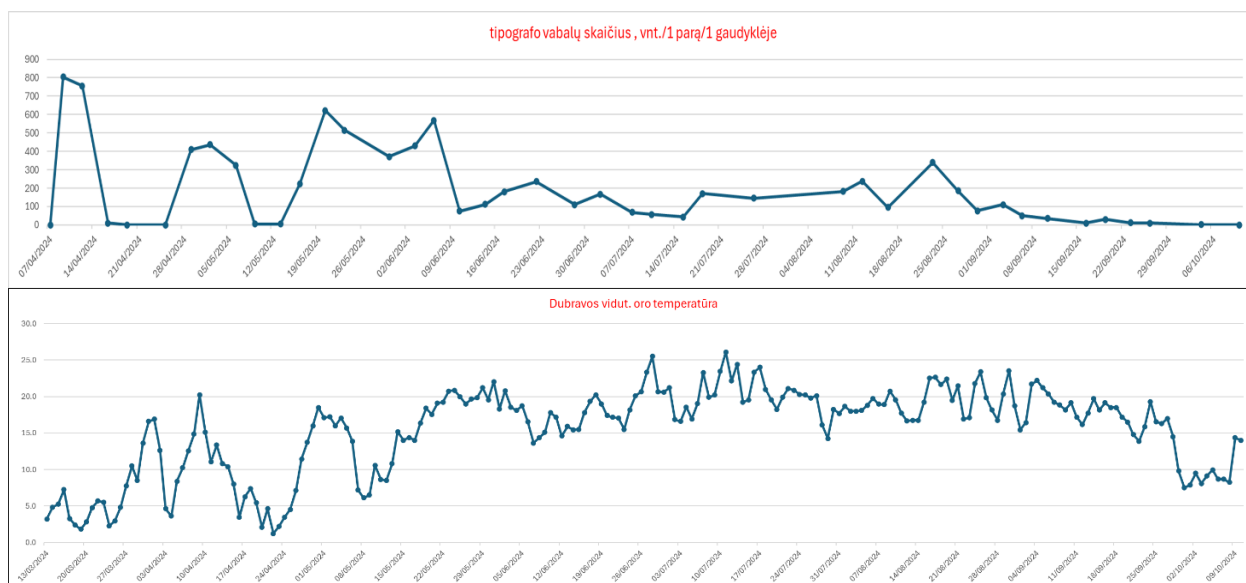
| Žievėgraužio tipografo vystymosi stadijos    | Vystymosi slenkstis | Vidutinių efektyvių paros oro temperatūrų suma* |                   |                   |         |
|--|---------------------|---|-------------------|-------------------|---------|
|  |                     | Pradžia   | Maksimumo pradžia | Maksimumo pabaiga | Pabaiga |
| I generacijos vabalų skraidymas              | 6 °C                | 15  | 35                | 85                | 100     |
| I generacijos vabalai apgyvendina kamienus   | 6 °C                | 25  | 70                | 175               | 200     |
| I generacijos vabalų kiaušinėlių vystymasis  | 6 °C                | 85  | 105               | 165               | 245     |
| I generacijos vabalų lervų vystymasis        | 6 °C                | 135   | 205               | 287               | 540     |
| I generacijos vabalų lėliukų vystymasis      | 6 °C                | 285   | 340               | 475               | 571     |
| I generacijos jauni vabalai po žieve         | 6 °C                | 325   | 435               | 540               | 665     |
| Ia generacijos vabalų skraidymas             | 6 °C                | 230   | 265               | 280               | 310     |
| Ia generacijos vabalų kiaušinėlių vystymasis | 6 °C                | 285   | 300               | 475               | 485     |
| Ia generacijos vabalų lervų vystymasis       | 6 °C                | 420   | 505               | 570               | 750     |
| Ia generacijos vabalų lėliukų vystymasis     | 6 °C                | 605   | 650               | 675               | 780     |
| Ia generacijos jauni vabalai po žieve        | 6 °C                | 660   | 700               | 750               | 800     |

|   |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|
| II generacijos vabalų išskridimas, kamienų apgyvendinimas | 6 °C | 520  | 550  | 665  | 700  |
| II generacijos vabalų kiaušinėlių vystymasis              | 6 °C | 570  | 620  | 710  | 775  |
| II generacijos vabalų lervų vystymasis                    | 6 °C | 625  | 675  | 850  | 905  |
| II generacijos vabalų lėliukų vystymasis                  | 6 °C | 850  | 875  | 940  | 960  |
| II generacijos jauni vabalai po žieve                     | 6 °C | 940  | 960  | 1350 | 1550 |
| Ila generacijos vabalai apgyvendina kamienus              | 6 °C | 850  | 940  | 1000 | 1100 |
| Ila generacijos vabalų kiaušinėlių vystymasis             | 6 °C | 960  | 1200 | 1510 | 1580 |
| Ila generacijos vabalų lervų vystymasis                   | 6 °C | 1500 | 1720 | 1920 | 1980 |
| Ila generacijos vabalų lėliukų vystymasis                 | 6 °C | 1775 | 1800 | 1950 | 2300 |
| Ila generacijos jauni vabalai po žieve                    | 6 °C | 1850 | 1925 | x    | x    |
| Žiemojimo vietų paieška ir žiemojimas                     |      | 1500 | 2300 | x    | x    |

2b lent. Nustatytos teigiamų temperatūrų sumos, reikalingos žievėgraužio tipografo stadijos išsivystymui.

| Apskaitos data | Vidutiniškai paletėje, vnt. |        |                   |            |             |       |          |              |                 |                            |
|----------------|-----------------------------|--------|-------------------|------------|-------------|-------|----------|--------------|-----------------|----------------------------|
|                | Išigrauzimų                 | Vabalų | Poravimosi kamerų | Motės takų | kiaušinėlių | Lervų | Lėliukių | Naujų vabalų | Išskridimo angų | Efektyvių temperatūrų suma |
| 05/04/2024     | 0.0                         | 0.0    |                   |            |             |       |          |              |                 | 53.5                       |
| 09/04/2024     | 4.3                         | 21.3   | 0.0               | 0.0        | 0.0         |       |          |              |                 | 84.5                       |
| 12/04/2024     | 10.8                        | 12.8   | 11.5              | 6.7        | 0.6         |       |          |              |                 | 102                        |
| 19/04/2024     | 11.2                        | 18.3   | 10.9              | 15.3       | 200.2       |       |          |              |                 | 113                        |
| 25/04/2024     | 11.8                        | 20.2   | 10.8              | 15.9       | 206.7       | 0.0   |          |              |                 | 113                        |
| 29/04/2024     | 11.8                        | 23.3   | 12.0              | 16.1       | 324.0       | 0.0   |          |              |                 | 135                        |
| 02/05/2024     | 0.0                         | 25.8   | 12.8              | 24.0       | 422.5       | 13.8  |          |              |                 | 166                        |
| 06/05/2024     | 0.0                         | 10.2   | 12.8              | 21.0       | 152.1       | 180.2 |          |              |                 | 204                        |
| 13/05/2024     |                             | 10.8   | 12.7              | 22.7       | 110.3       | 280.3 |          |              |                 | 222.5                      |
| 16/05/2024     |                             | 7.8    | 11.2              | 21.7       | 0.0         | 292.1 | 0.0      |              |                 | 245                        |
| 20/05/2024     |                             | 2.0    | 16.8              | 30.2       | 0.0         | 426.9 | 0.0      | 0.0          |                 | 286.5                      |
| 23/05/2024     |                             | 0.0    | 0.0               | 0.0        | 0.0         | 62.8  | 5.8      | 0.0          |                 | 325.5                      |
| 30/05/2024     |                             |        | 0.0               | 0.0        | 0.0         | 13.3  | 15.0     | 3.2          |                 | 420.5                      |

|            |  |  |  |  |  |     |      |      |     |       |
|------------|--|--|--|--|--|-----|------|------|-----|-------|
| 03/06/2024 |  |  |  |  |  | 3.0 | 10.5 | 15.8 | 0.0 | 473.5 |
| 06/06/2024 |  |  |  |  |  | 0.7 | 7.3  | 13.5 | 0.0 | 505.5 |
| 10/06/2024 |  |  |  |  |  | 0.0 | 2.0  | 15.7 | 2.7 | 538   |
| 14/06/2024 |  |  |  |  |  | 0.2 | 0.2  | 10.0 | 3.5 | 571   |
| 17/06/2024 |  |  |  |  |  |     | 0.2  | 14.3 | 3.7 | 605   |
| 22/06/2024 |  |  |  |  |  |     | 0.1  | 0.0  | 6.4 | 663.5 |
| 26/06/2024 |  |  |  |  |  |     | 0.1  | 0.0  |     | 715.5 |



4 pav. Žievėgraužio tipografo skraidymo dinamikos ryšys su vidutine oro temperatūra

Papildomai, žievėgraužio tipografo vystymosi stadijų nustatymui buvo nustatytos sąsajos su dažnai sutinkamų augalų ir gyvūnų fenologinio vystymosi stadijomis (pumpurų išbrinkimas ir sproginimas, žydėjimas, lapų išsiskleidimas, vaisių suformavimas, lapų nukritimas ir kt.), kas leidžia apytiksliai nustatyti žievėgraužio tipografo vystymosi stadiją.

3 lent. Žievėgraužio tipografo vystymosi stadijų sąsajos su kitų augalų ir gyvūnų fenofazėmis, esant identiškoms klimatinėms ir augavietės sąlygoms

| Žievėgraužio tipografo vystymosi stadija | Vidutinių efektyvių paros oro temperatūrų suma ir datos (2024 m.), pradžia | Augalų ir gyvūnų fenofazės  |
|--|--|---|
| I generacijos vabalų skraidymas          | T sum: 15-35 °C<br>03-28 iki 03-31   | Pabrinko putino ( <i>Viburnum opulus</i> L.), paprastojo klevo ( <i>Acer platanoides</i> L.), gudobelės ( <i>Crataegus</i> sp.) pumpurai, žydi paprastasis žalčialunkis ( <i>Daphne mezereum</i> L.), prasprogo paprastosios ievos ( <i>Prunus padus</i> L.) lapai, žydi miškinė našlaitė ( <i>Viola reichenbachiana</i> Jord. ex Boreau 1857), pražydo forzitija ( <i>Forsythia</i> sp.), skraido citrinukas ( <i>Gonepteryx rhamni</i> L.), spungė ( <i>Aglais io</i> L.), šeirys ( <i>Nymphalis antiopa</i> L.) ir karpytūnė ( <i>Polygonia album</i> L.), kamanės ( <i>Bombus</i> sp.), poruojasi |

| Žievėgraužio tipografo vystymosi stadija   | Vidutinių efektyvių paros oro temperatūrų suma ir datos (2024 m.), pradžia | Augalų ir gyvūnų fenofazės  |
|--|--|---|
|  |  | paprastoji rupūžė ( <i>Bufo bufo</i> L.), skraido kelmasprakšiai ( <i>Ampedus</i> sp.) ir keršvabaliai ( <i>Cleridae</i> sp.), bei pušinės požievinės blakės ( <i>Aradus cinnamomeus</i> Panzer, 1806), migruoja blakės kareivėliai ( <i>Pyrrhocoris apterus</i> L.).   |
| I generacijos vabalų medžių apgyvendinimas | T sum: 25-70 °C<br>03-30 iki 04-08   | Žydi miškinė našlaitė ( <i>Viola reichenbachiana</i> Jord. ex Boreau 1857), skraido citrinukas ( <i>Gonepteryx rhamni</i> L.), šeiryš ( <i>Nymphalis antiopa</i> L.) ir karpytūnė ( <i>Polygonia album</i> L.), kamanės ( <i>Bombus</i> sp.), poruojasi paprastoji rupūžė ( <i>Bufo bufo</i> L.), skraido kelmasprakšiai ( <i>Ampedus</i> sp.) ir keršvabaliai ( <i>Cleridae</i> sp.), bei pušinės požievinės blakės ( <i>Aradus cinnamomeus</i> Panzer, 1806), vaikšto blakės kareivėliai ( <i>Pyrrhocoris apterus</i> L.), pražydo baltažiedė plukė ( <i>Anemone nemorosa</i> (L.) Holub), išbrinko karpuotojo beržo ( <i>Betula pendula</i> Roth.) pumpurai, pražydo uosialapis klevas ( <i>Acer negundo</i> L.) ir pradėjo klevas paprastasis ( <i>Acer platanoides</i> L.), išsprogo lazdynas ( <i>Corylus avellana</i> L.), europinis maumedis ( <i>Larix decidua</i> Mill.) ir paprastasis šermukšnis ( <i>Sorbus aucuparia</i> L.), pradėjo sprogti karpuotasis beržas ( <i>Betula pendula</i> Roth.) kai kur jau žydi, sprogsta pirmi paprastieji kaštonai ( <i>Aesculus hippocastanum</i> L.) ir obelys ( <i>Malus</i> sp.), išbrinko žiediniai pumpurai vyšnių ( <i>Prunus cerasus</i> L.) ir trešnių ( <i>Prunus avium</i> ), žydi paprastasis rūtenis ( <i>Corydalis solida</i> ), pradžia žydėjimo pienių ( <i>Sonchus</i> sp.) |
| I generacijos kiaušinėlių vystymasis       | T sum: 85-105 °C<br>04-09 iki 04-13  | Pražydo slyvos ( <i>Prunus</i> sp.) ir kaukazinė slyva ( <i>Prunus cerasifera</i> ), sprogsta kaštono ( <i>Aesculus x hemiacantha</i> ) pumpurai ir putino lapai ( <i>Viburnum</i> sp.), pribrinko raudonlapio ąžuolo ( <i>Quercus rubra</i> L.) pumpurai, pilnai žydi klevas ( <i>Acer platanoides</i> L.), žydi magnolija ( <i>Magnolia</i> sp.) ir purieną ( <i>Caltha</i> sp.), paprastoji ieva ( <i>Prunus padus</i> L.) sukrovė žiedynus, žydi sausmedis ( <i>Lonicera</i> sp.) ir pūkuotoji vyšnia ( <i>Prunus tomentosa</i> Thunb.), išsprogo drebulės ( <i>Populus tremula</i> L.) lapai, pailgėjo paprastųjų pušų ( <i>Pinus sylvestris</i> L.) ūgliai, pražydo raktažolė ( <i>Primula</i> sp.)   |
| I generacijos lervų vystymasis             | T sum: 135-205 °C<br>04-29 iki 05-07                                       | Pražydo neužmirštuolė ( <i>Myosotis</i> sp.), baltažiedė notrelė ( <i>Lamium album</i> L.), miškinė obelis ( <i>Malus sylvestris</i> (L.) Mill.), vyšnia ( <i>Cerasus</i> sp.), raudonapis ąžuolas ( <i>Quercus rubra</i> L.), sprogsta juodalksnis ( <i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn), skraido aušrelė ( <i>Anthocharis cardamines</i> L.) ir mažoji saturnija ( <i>Saturnia pavonia</i> L.), žydi eglė ( <i>Picea</i>  |

| Žievėgraužio tipografo vystymosi stadija                       | Vidutinių efektyvių paros oro temperatūrų suma ir datos (2024 m.), pradžia | Augalų ir gyvūnų fenofazės  |
|--|--|---|
|  |  | <i>abies</i> L.) ir graikinis riešutmedis ( <i>Juglans regia</i> L.), sprogsta raudonlapis bukas ( <i>Fagus sylvatica</i> L.) ir tuopos ( <i>Populus</i> sp.), pražydo alyvos ( <i>Syringa</i> sp.), paprastoji pakalnutė ( <i>Convallaria majalis</i> L.), miškinė septinikė ( <i>Trientalis europaea</i> L. U.Manns & Anderb.), paprastoji žemuogė ( <i>Fragaria vesca</i> L.), skraido šeirys ( <i>Nymphalis antiopa</i> L.), pražydo kaštonas ( <i>Aesculus hippocastanum</i> L.) ir šermukšnis ( <i>Sorbus aucuparia</i> L.) ir sausmedis ( <i>Lonicera</i> sp.), pražydo pušys ( <i>Pinus sylvestris</i> L.), gudobelė ( <i>Crataegus</i> sp.), baltoji našlaitė ( <i>Viola alba</i> L.), sprogsta baltažiedės robinijos ( <i>Robinia pseudoacacia</i> L.) lapai ir eglių ( <i>Picea abies</i> L.) spygliai, žydi dvilapė medutė ( <i>Maianthemum bifolium</i> (L.) F.W.Schmidt), pražydo paprastasis raugerškis ( <i>Berberis vulgaris</i> L.) |
| I generacijos lėliukų vystymasis                               | T sum: 285-340 °C<br>05-20 iki 05-24                                       | Žydi baltažiedė robinija ( <i>Robinia pseudoacacia</i> L.), geltonasis vilkdalgis ( <i>Iris pseudacorus</i> L.), geltonžiedė liucerna ( <i>Medicago falcata</i> L.), raudonasis dobilas ( <i>Trifolium pratense</i> L.), jazminas ( <i>Philadelphus</i> sp.), vėlyvoji ieva ( <i>Prunus serotina</i> L.), paprastasis erškėtis ( <i>Rosa canina</i> L. L.).   |
| I generacijos vabalai ir jų maitinimasis po žieve              | T sum: 325-435 °C<br>05-23 iki 05-31                                       | Žydi paprastoji gervuogė ( <i>Rubus caesius</i> L. L.), paprastoji avietė ( <i>Rubus idaeus</i> L. L.), varnėnai ( <i>Sturnus vulgaris</i> L. L.) išvedė jauniklius, pražydo juodauogis šėivamedis ( <i>Sambucus nigra</i> L. L.)   |
| I seserinės generacijos vabalų skraidymas, papildomas puolimas | T sum: 230-265 °C<br>05-14 iki 05-18                                       | Atplaukė sazanai ( <i>Cyprinus</i> sp.), išsiriti mėlynosios zylės ( <i>Cyanistes caeruleus</i> L.) jaunikliai, pražydo smiltyninė aguona ( <i>Papaver argemone</i> L.), pražydo lubinas ( <i>Lupinus</i> sp.), snaputis ( <i>Geranium</i> sp.), putinas ( <i>Viburnum opulus</i> L.) .   |
| Ia generacijos kiaušinėlių vystymasis                          | T sum: 285-300 °C<br>05-20 iki 05-22                                       | -   |
| I seserinės generacijos lervų vystymasis                       | T sum: 420-505 °C<br>05-30 iki 06-06                                       | Žydi paprastoji gervuogė ( <i>Rubus caesius</i> L. L.), paprastoji avietė ( <i>Rubus idaeus</i> L. L.), varnėnai ( <i>Sturnus vulgaris</i> L. L.) išvedė vaikus, pražydo juodauogis šėivamedis ( <i>Sambucus nigra</i> L. L.), pražydo rugiagėlė ( <i>Centaurea cyanus</i> L. L.), žydi kupolis ( <i>Melampyrum nemorosum</i> L. L.), prinoko žemuogės ( <i>Fragaria vesca</i> L.), pražydo katilėlis ( <i>Campanula</i> sp.), pražydo plačialapė liepa ( <i>Tilia platyphyllos</i> Scop. Scop.), smulkiažiedė sprigė ( <i>Impatiens parviflora</i> DC. DC.), garšva ( <i>Aegopodium podagraria</i> l. L.).   |

| Žievėgraužio tipografo vystymosi stadija                     | Vidutinių efektyvių paros oro temperatūrų suma ir datos (2024 m.), pradžia | Augalų ir gyvūnų fenofazės  |
|--|--|---|
| I seserinės generacijos lėliukių vystymasis                  | T sum: 605-650 °C<br>06-17 iki 06-21                                       | -   |
| I seserinės generacijos vabalai ir jų maitinimasis po žieve  | T sum: 660-700 °C<br>06-22 iki 06-25                                       | -   |
| II generacijos vabalų išskridimas, medžių apgyvendinimas     | T sum: 520-550 °C<br>06-08 iki 06-11                                       | -   |
| II generacijos kiaušinėlių vystymasis                        | T sum: 570-620 °C<br>06-14 iki 06-18                                       | -   |
| II generacijos lervų vystymasis                              | T sum: 625-675 °C<br>06-18 iki 06-23                                       | -   |
| II generacijos lėliukių vystymasis                           | T sum: 850-875 °C<br>07-06 iki 07-08                                       | -   |
| II generacijos vabalai ir jų maitinimasis po žieve           | T sum: 940-960 °C<br>07-12 iki 07-13                                       | -   |
| II seserinės generacijos vabalų medžių apgyvendinimas        | T sum: 1150-1200 °C<br>07-26 iki 07-31                                     | -   |
| II seserinės generacijos kiaušinėlių vystymasis              | T sum: 1200-1250 °C<br>07-31 iki 08-03                                     | -   |
| II seserinės generacijos lervų vystymasis                    | T sum: 1580-1720 °C<br>08-27 iki 09-06                                     | Pražydo didžiažiedė sprigė ( <i>Impatiens parviflora</i> DC.)   |
| II seserinės generacijos lėliukių vystymasis                 | T sum: 1775-1800 °C<br>09-10 iki 09-12                                     | Pražydo rudeninės vėlyvės ( <i>Colchicum autumnale</i> L.), japoninė reinutė ( <i>Reynoutria japonica</i> Houtt.) |
| II seserinės generacijos vabalai ir jų maitinimasis po žieve | T sum: 1850-1925 °C<br>09-16 iki 09-23                                     |   |

| Žievėgraužio tipografo vystymosi stadija | Vidutinių efektyvių paros oro temperatūrų suma ir datos (2024 m.), pradžia | Augalų ir gyvūnų fenofazės |
|--|--|----------------------------|
| Žiemojimo vietų paieška ir žiemojimas    | T sum: 1970 °C<br>nuo 09-27  | -                          |

## 2.2. Didžiojo ir mažojo kirpikų fenologinių stadijų ryšio su efektyvių paros oro temperatūrų suma nustatymas

Surinkus ir išanalizavus surinktą medžiagą pasirinktuose tyrimo bareliuose, buvo sudarytos didžiojo ir mažojo kirpikų vystymosi tarpsnių fenologinės lentelės. Per metus kirpikai išvysto vieną generaciją, vabalai žiemoja miško paklotėje arba pušų žievėje, arba pušų ūgliuose. Lietuvoje kol kas, masinių židinių nesudaro. Skirtingai nuo žievėgraužio tipografo, skraidyti pradeda anksčiau, 2024 m. Ežerėlio g-jos pušynuose didysis kirpikas išskrido kovo 15 d., o mažasis – kovo 22 d. Didžiojo kirpiko priešimaginalinės stadijos vystosi po pušų storąją žieve, o mažojo – po pušų plonąją žieve. Nuo birželio vidurio didžiojo kirpiko vabalai paliko pušų kamienus ir išskrido į lajas papildomam maitinimuisi, mažieji kirpikai išskrido liepos pradžioje.

4 lent. Didžiojo ir mažojo kirpikų vystymosi tarpsnių sąsajos su vidutinių efektyvių temperatūrų suma

| Didžiojo kirpiko vystymosi stadijos | Vystymo si slenkstis | Vidutinių efektyvių paros oro temperatūrų suma* |                   |                   |         |
|-------------------------------------|----------------------|---|-------------------|-------------------|---------|
|                                     |                      | Pradžia   | Maksimumo pradžia | Maksimumo pabaiga | Pabaiga |
| Vabalų skraidymas                   | 6 °C                 | 7   | 45                | 95                | 205     |
| Medžių liemenų kolonizacija         | 6 °C                 | 45  | 70                | 110               | 205     |
| Kiaušinėlių vystymasis              | 6 °C                 | 70  | 110               | 250               | 295     |
| Lervų vystymasis                    | 6 °C                 | 205   | 230               | 485               | 730     |
| Lėliukų vystymasis                  | 6 °C                 | 435   | 555               | 605               | 830     |
| Jauni vabalai po žieve              | 6 °C                 | 555   | 605               | 730               | 830     |
| Vabalų išskridimas                  | 6 °C                 | 750   | 985               | 1220              | 1270    |
| Vabalų maitinimasis šakutėse        | 6 °C                 | 905   | 1210              | 1550              | 1970    |
| Vabalų žiemojimas                   | 6 °C                 | 1900  | x                 | x                 | x       |

| Mažojo kirpiko vystymosi stadijos | Vystymo si slenkstis | Vidutinių efektyvių paros oro temperatūrų suma* |                   |                   |         |
|-----------------------------------|----------------------|---|-------------------|-------------------|---------|
|                                   |                      | Pradžia   | Maksimumo pradžia | Maksimumo pabaiga | Pabaiga |
| Vabalų skraidymas                 | 6 °C                 | 7   | 17                | 50                | 110     |

|                              |      |      |      |      |      |
|------------------------------|------|------|------|------|------|
| Medžių liemenų kolonizacija  | 6 °C | 17   | 50   | 110  | 175  |
| Kiaušinėlių vystymasis       | 6 °C | 70   | 110  | 205  | 340  |
| Lervų vystymasis             | 6 °C | 145  | 205  | 295  | 605  |
| Lėliukų vystymasis           | 6 °C | 295  | 485  | 555  | 730  |
| Jauni vabalai po žieve       | 6 °C | 485  | 555  | 605  | 735  |
| Vabalų išskridimas           | 6 °C | 555  | 600  | 830  | 905  |
| Vabalų maitinimasis šakutėse | 6 °C | 905  | 1210 | 1550 | 1970 |
| Vabalų žiemojimas            | 6 °C | 1900 | x    | x    | x    |

Lent. 4b. Nustatytos teigiamų temperatūrų sumos, reikalingos didžiojo ir mažojo kirpikų stadijų išsivystymui.

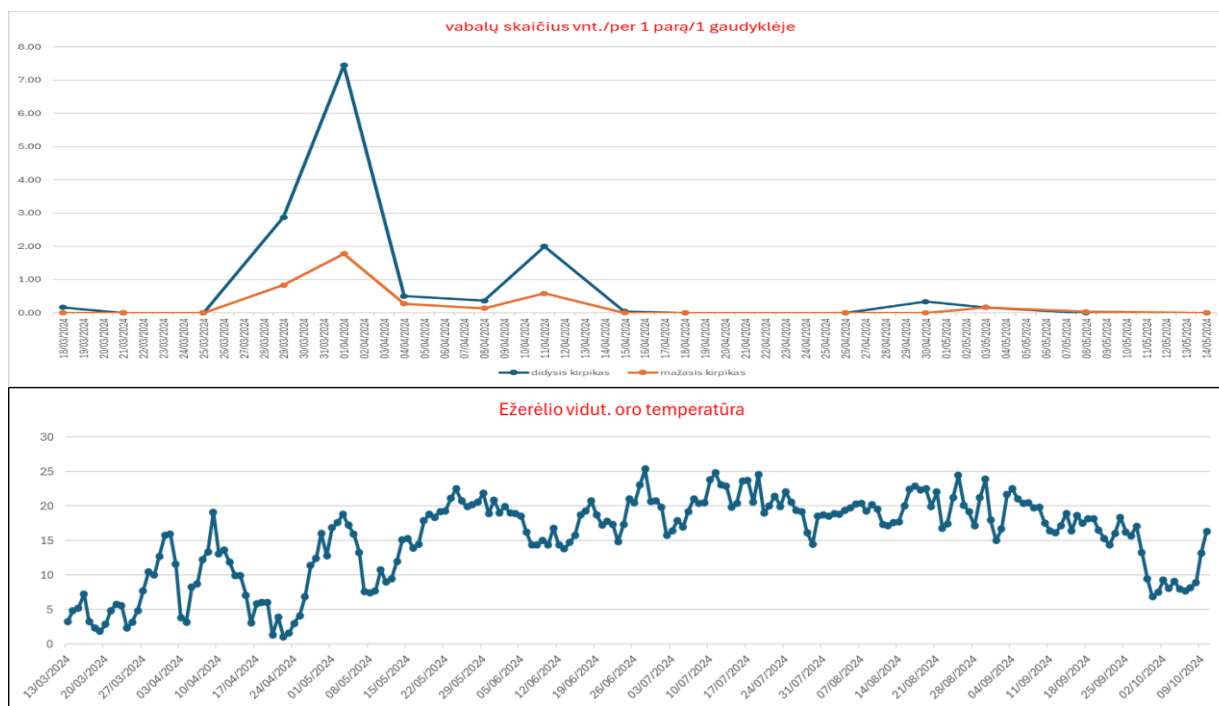
**Didžiojo kirpiko vystymosi stadijos po žieve (2024 m. VMU Dubravos RP, Zapiškio g-ja)**

| Apskaitos data | Vidutiniškai vnt./paletėje |        |                   |            |             |       |          |                      |                        |                            |
|----------------|----------------------------|--------|-------------------|------------|-------------|-------|----------|----------------------|------------------------|----------------------------|
|                | Vabalų išgraužimų angų     | Vabalų | Poravimosi kamerų | Motės takų | Kiaušinėlių | Lervų | Lėliukių | Naujos kartos vabalų | Vabalų išskridimo angų | Efektyvių temperatūrų suma |
| 29/03/2024     | 0.6                        | 1.2    |                   |            |             |       |          |                      |                        | 17.0                       |
| 01/04/2024     | 2.7                        | 2.5    | 2.5               |            |             |       |          |                      |                        | 44.5                       |
| 04/04/2024     | 3.3                        | 3.8    | 3.4               |            |             |       |          |                      |                        | 50.5                       |
| 08/04/2024     | 3.1                        | 2.0    | 3.2               | 2.2        | 21.0        |       |          |                      |                        | 71.0                       |
| 11/04/2024     | 4.4                        | 3.2    | 4.0               | 3.4        | 53.8        |       |          |                      |                        | 95.5                       |
| 15/04/2024     | 3.3                        | 2.8    | 5.0               | 3.3        | 91.4        |       |          |                      |                        | 111.0                      |
| 18/04/2024     | 3.7                        | 2.3    | 5.0               | 2.5        | 74.5        |       |          |                      |                        | 113.0                      |
| 26/04/2024     | 0.0                        | 3.5    | 4.0               | 2.8        | 85.5        |       |          |                      |                        | 114.0                      |
| 30/04/2024     | 4.5                        | 4.4    | 5.4               | 4.0        | 157.6       | 1.0   |          |                      |                        | 145.5                      |
| 03/05/2024     |                            | 6.8    | 3.0               | 2.8        | 72.0        | 21.3  |          |                      |                        | 176.0                      |
| 08/05/2024     |                            | 2.7    | 2.7               | 2.3        | 51.7        | 40.6  |          |                      |                        | 206.0                      |
| 14/05/2024     |                            | 0.0    | 3.0               | 2.8        | 39.8        | 71.3  |          |                      |                        | 232.0                      |
| 17/05/2024     |                            | 1.0    | 4.3               | 4.8        | 41.0        | 89.1  |          |                      |                        | 253.0                      |
| 21/05/2024     |                            | 0.4    | 4.4               | 5.4        | 26.3        | 140.4 |          |                      |                        | 297.5                      |
| 24/05/2024     |                            | 0.3    |                   | 0.0        | 0.0         | 13.8  |          |                      |                        | 340.0                      |

|            |  |     |  |     |  |     |     |     |     |        |
|------------|--|-----|--|-----|--|-----|-----|-----|-----|--------|
| 31/05/2024 |  | 0.6 |  | 0.8 |  | 0.0 | 0.2 |     |     | 435.0  |
| 04/06/2024 |  | 0.0 |  |     |  | 2.0 | 2.4 |     |     | 485.0  |
| 12/06/2024 |  | 0.4 |  |     |  | 0.9 | 0.5 | 0.7 |     | 555.5  |
| 17/06/2024 |  |     |  |     |  |     | 0.0 | 0.4 | 3.7 | 605.0  |
| 27/06/2024 |  |     |  |     |  |     |     | 0.0 | 8.8 | 732.0  |
| 05/07/2024 |  |     |  |     |  |     |     |     |     | 832.5  |
| 22/07/2024 |  |     |  |     |  |     |     |     |     | 1093.0 |
| 01/08/2024 |  |     |  |     |  |     |     |     |     | 1220.5 |

**Mažojo kirpiko vystymosi stadijos po žieve (2024 m. VMU Dubravos RP, Zapiškio g-ja)**

| Apskaitos data | Vidutiniškai vnt./paletėje |        |                   |            |             |       |          |                      |                        |                            |
|----------------|----------------------------|--------|-------------------|------------|-------------|-------|----------|----------------------|------------------------|----------------------------|
|                | Vabalų išigrauzimų angų    | Vabalų | Poravimosi kamerų | Motės takų | Kiaušinėlių | Lervų | Lėliukių | Naujos kartos vabalų | Vabalų išskridimo angų | Efektyvių temperatūrų suma |
| 29/03/2024     | 0.0                        | 0.0    | 0.0               |            |             |       |          |                      |                        | 17.0                       |
| 01/04/2024     | 0.3                        | 2.3    | 2.0               |            |             |       |          |                      |                        | 44.5                       |
| 04/04/2024     | 0.5                        | 1.0    | 0.8               |            |             |       |          |                      |                        | 50.5                       |
| 08/04/2024     | 0.8                        | 1.2    | 2.0               | 2.0        | 8.9         |       |          |                      |                        | 71.0                       |
| 11/04/2024     | 2.4                        | 2.0    | 3.0               | 2.8        | 12.3        |       |          |                      |                        | 95.5                       |
| 15/04/2024     | 2.2                        | 1.0    | 4.0               | 9.0        | 33.1        |       |          |                      |                        | 111.0                      |
| 18/04/2024     | 1.9                        | 0.7    | 1.0               | 1.5        | 11.6        |       |          |                      |                        | 113.0                      |
| 26/04/2024     | 0.0                        | 1.0    | 1.5               | 1.0        | 14.5        |       |          |                      |                        | 114.0                      |
| 30/04/2024     | 3.2                        | 0.3    | 0.7               | 0.3        | 5.0         |       |          |                      |                        | 145.5                      |
| 03/05/2024     |                            |        | 4.0               | 3.7        | 0.0         |       |          |                      |                        | 176.0                      |
| 08/05/2024     |                            |        | 1.0               | 1.0        | 18.5        |       |          |                      |                        | 206.0                      |
| 14/05/2024     |                            | 1.0    | 3.0               | 3.0        | 38.4        | 34.5  |          |                      |                        | 232.0                      |
| 17/05/2024     |                            | 1.7    | 5.2               | 6.0        | 41.6        | 45.8  |          |                      |                        | 253.0                      |
| 21/05/2024     |                            | 3.7    | 2.7               | 4.0        |             | 53.3  |          |                      |                        | 297.5                      |
| 24/05/2024     |                            |        |                   | 0.0        |             | 2.5   |          |                      |                        | 340.0                      |
| 31/05/2024     |                            |        |                   | 2.3        |             | 17.1  |          |                      |                        | 435.0                      |
| 04/06/2024     |                            | 0.3    | 2.7               | 4.3        |             | 24.0  |          |                      |                        | 485.0                      |
| 12/06/2024     |                            |        |                   | 0.0        |             | 4.0   | 4.0      |                      |                        | 555.5                      |
| 17/06/2024     |                            |        |                   | 0.0        |             | 1.0   | 1.0      | 1.0                  |                        | 605.0                      |
| 27/06/2024     |                            |        |                   | 2.0        |             |       |          |                      |                        | 732.0                      |
| 05/07/2024     |                            |        |                   | 0.0        |             |       |          |                      | 1.7                    | 832.5                      |
| 22/07/2024     |                            |        |                   | 1.7        |             |       |          |                      | 3.1                    | 1093.0                     |
| 01/08/2024     |                            |        |                   | 2.0        |             |       |          |                      | 7.3                    | 1220.5                     |



5 pav. Kirpių skraidymo dinamika, priklausomai nuo vidutinės oro temperatūros

Papildomai, žievėgraužio tipografo vystymosi stadijų nustatymui buvo nustatytos sąsajos su dažnai sutinkamų augalų ir gyvūnų fenologinio vystymosi stadijomis (pumpurų išbrinkimas ir sproginimas, žydėjimas, lapų išsiskleidimas, vaisių suformavimas, lapų nukritimas ir kt.), kas leidžia apytiksliai nustatyti žievėgraužio tipografo vystymosi stadiją.

5 lent. Didžiojo ir mažojo kirpių vystymosi stadijų sąsajos su kitų augalų ir gyvūnų fenofazėmis, esant identiškomis klimatinėmis ir augavietės sąlygomis

| Kirpių vystymosi stadija      | Vidutinių efektyvių paros oro temperatūrų suma ir datos (2024 m.), pradžia | Sutampančios augalų ir gyvūnų fenofazės  |
|-------------------------------|--|--|
| Medžių kamienų apgyvendinimas | T sum: 17-50<br>03-29 iki 04-02  | Žydi miškinė našlaitė ( <i>Viola reichenbachiana</i> L.), pražydo forzitiya ( <i>Forsythia</i> sp.), skraido citrinukas ( <i>Gonepteryx rhamni</i> L.), spungė ( <i>Aglais io</i> L.), šeiryas ( <i>Nymphalis antiopa</i> L.) ir karpytūnė ( <i>Polygonia album</i> L.), kamanės ( <i>Bombus</i> sp.), poruojasi paprastoji rupūžė ( <i>Bufo bufo</i> L.), skraido kelmasprakšiai ( <i>Ampedus</i> sp.) ir keršvabaliai ( <i>Cleridae</i> sp.), bei pušinės požievinės blakės ( <i>Aradus cinnamomeus</i> Panzer, 1806), migruoja blakės kareivėliai ( <i>Pyrrhocoris apterus</i> L.), pražydo baltažiedė plukė ( <i>Anemone nemorosa</i> (L.) Holub), išbrinko karpuotojo beržo ( <i>Betula pendula</i> Roth.) pumpurai, pražydo uosialapis klevas ( <i>Acer negundo</i> L.) ir pradėjo žydėti klevas paprastasis ( <i>Acer platanoides</i> L.), išsprogo lazdynas ( <i>Corylus avellana</i> L.), europinis maumedis ( <i>Larix decidua</i> L.) ir paprastasis šermukšnis ( <i>Sorbus aucuparia</i> L.), pradėjo sprogti karpuotasis beržas ( <i>Betula pendula</i> Roth.) kai kur jau žydi, sprogstą |

| Kirpikų vystymosi<br>stadija          | Vidutinių efektyvių<br>paros oro temperatūrų<br>suma ir datos (2024 m.),<br>pradžią | Sutampančios augalų ir gyvūnų fenofazės   |
|---------------------------------------|---|---|
|                                       |   | pirmi paprastieji kaštonai ( <i>Aesculus hippocastanum</i> L.) ir obelys ( <i>Malus</i> sp.), išbrinko žiediniai pumpurai vyšnių ( <i>Prunus cerasus</i> L.) ir trešnių ( <i>Prunus avium</i> L.), žydi paprastasis rūtenis ( <i>Corydalis solida</i> (L.) Clairv.).  |
| Kiaušinėlių<br>vystymasis po<br>žieve | T sum: 70-110<br>04-08 iki 04-14  | Pradžią žydėjimo pienių ( <i>Sonchus</i> sp.) ir beržų ( <i>Betula</i> sp.), pražydo slyvos ( <i>Prunus</i> sp.) ir kaukazinė slyva ( <i>Prunus cerasifera</i> Ehrh.), sprogsta kaštono ( <i>Aesculus hippocastanum</i> L.) pumpurai ir putino lapai ( <i>Viburnum</i> sp.), pribrinko raudonlapio ąžuolo ( <i>Quercus rubra</i> L.) pumpurai, pilnai žydi klevas ( <i>Acer platanoides</i> L.), žydi magnolija ( <i>Magnolia</i> sp.) ir puriena ( <i>Caltha</i> sp.), paprastoji ieva ( <i>Prunus padus</i> L.) sukrovė žiedynus, žydi sausmedis ( <i>Lonicera</i> sp.) ir pūkuotoji vyšnia ( <i>Prunus tomentosa</i> Thunb.), praspogo drebulės ( <i>Populus tremula</i> L.) lapai, pailgėjo paprastųjų pušų ( <i>Pinus sylvestris</i> L.) ūgliai, pražydo raktažolė ( <i>Primula</i> sp.), pražydo ieva ( <i>Prunus padus</i> L.), išsprogo mažalapė liepa ( <i>Tilia cordata</i> Mill.), žydi vyšnia ( <i>Prunus cerasus</i> L.) ir trešnė ( <i>Prunus avium</i> L.), kriaušė ( <i>Pyrus</i> sp.), pasirodė moteriški paprastosios eglės ( <i>Picea abies</i> L.) žiedynai, pražydo mėlynės ( <i>Vaccinium myrtillus</i> L.), pražydo raudonuogis šėivamedis ( <i>Sambucus racemosa</i> L.). |
| Lervų<br>vystymasis po<br>žieve       | T sum: 145-205<br>04-30 iki 05-07   | Pražydo alyvos ( <i>Syringa</i> sp.), obelys ( <i>Malus</i> sp.), paprastoji pakalnutė ( <i>Convallaria majalis</i> L.), miškinė septinikė ( <i>Trientalis europaea</i> L. U.Manns & Anderb.), paprastoji žemuogė ( <i>Fragaria vesca</i> L.), skraido šeirys ( <i>Nymphalis antiopa</i> L.), pražydo kaštonas ( <i>Aesculus hippocastanum</i> L.) ir šermukšnis ( <i>Sorbus aucuparia</i> L.) ir sausmedis ( <i>Lonicera</i> sp.), pražydo pušys ( <i>Pinus sylvestris</i> L.), pilnavidūrė gūdobelė ( <i>Crataegus</i> sp.), baltoji našlaitė ( <i>Viola alba</i> L.), sprogsta baltažiedės robinijos ( <i>Robinia pseudoacacia</i> L.) lapai ir eglė ( <i>Picea abies</i> L.) spygliai, žydi dvilapė medutė ( <i>Maianthemum bifolium</i> (L.) F.W.Schmidt), pražydo paprastasis raugerškis ( <i>Berberis vulgaris</i> L.).  |
| Lėliukų<br>vystymasis po<br>žieve     | T sum: 295-485<br>05-21 iki 06-04   | Pražydo lubinas ( <i>Lupinus polyphyllus</i> Lindl.), snaputis ( <i>Geranium</i> sp.), putinas ( <i>Viburnum</i> sp.), pražydo baltažiedė ramunė ( <i>Leucanthemum vulgare</i> Lam.), plačialapis gyslotis ( <i>Plantago major</i> L.), žydi baltažiedė robinija ( <i>Robinia pseudoacacia</i> L.), geltonasis vilkdalgis ( <i>Iris pseudacorus</i> L.), geltonžiedė liucerna ( <i>Medicago falcata</i> L.), raudonasis dobilas ( <i>Trifolium pratense</i> L.), jazminas ( <i>Philadelphus</i> sp.), vėlyvoji ieva ( <i>Prunus serotina</i> L.), paprastasis erškėtis ( <i>Rosa canina</i> L.), žydi paprastoji  |

| Kirpikų vystymosi stadija                            | Vidutinių efektyvių paros oro temperatūrų suma ir datos (2024 m.), pradžia | Sutampančios augalų ir gyvūnų fenofazės   |
|--|--|---|
|  |  | gervuogė ( <i>Rubus caesius</i> L.), paprastoji avietė ( <i>Rubus idaeus</i> L.), varnėnai ( <i>Sturnus vulgaris</i> L.) išvedė vaikus, pražydo juodauogis šeimamedis ( <i>Sambucus nigra</i> L.), pražydo rugiagėlė ( <i>Centaurea cyanus</i> L.), žydi kupolis ( <i>Melampyrum nemorosum</i> L.), prinoko žemuogės ( <i>Fragaria vesca</i> L.), pražydo katilėlis ( <i>Campanula</i> sp.)   |
| Jauni vabalai po žieve                               | T sum: 485-555<br>06-04 iki 06-12  | Žydi kupolis ( <i>Melampyrum nemorosum</i> L.), prinoko žemuogės ( <i>Fragaria vesca</i> L.), pražydo katilėlis ( <i>Campanula</i> sp.), pražydo plačialapė liepa ( <i>Tilia platyphyllos</i> Scop.), smulkiažiedė sprigė ( <i>Impatiens parviflora</i> DC.), garšva ( <i>Aegopodium podagraria</i> L.), pražydo cikorija ( <i>Cichoriinae</i> sp.), jonažolė ( <i>Hypericum perforatum</i> L.), nakviša ( <i>Oenothera</i> sp.), noksta mėlynė ( <i>Vaccinium myrtillus</i> L.), vingiorykštė ( <i>Filipendula</i> sp.). |
| Naujos generacijos vabalų išskridimas                | T sum: 555-600<br>06-12 iki 06-17  | Prinoko mėlynė ( <i>Vaccinium myrtillus</i> ), prinoko ievos ( <i>Prunus padus</i> L.) ir medlievos ( <i>Amelanchier</i> sp.) uogos, pražydo mažalapė liepa ( <i>Tilia cordata</i> Mill.).  |
| Naujos generacijos vabalų maitinimasis medžių lajose | T sum: 830-1970<br>07-05 iki 09-27   | Pražydo bitkrėslė ( <i>Tanacetum</i> sp.), jurginai ( <i>Coreopsideae</i> sp.), gladiolės ( <i>Gladiolus</i> sp.) ir kanadinė rykštenė ( <i>Solidago canadensis</i> L.).  |
| Vabalų žiemojimas                                    | T sum: nuo 1900<br>Nuo 09-21   | -   |

### 2.3. Informacinės sistemos prototipo sukūrimas, naudojant egzistuojančius žievėgraužio tipografo fenologijos modelius ir vidutinius daugiamečius meteorologinių stebėjimų duomenis

Informacinės sistemos prototipas buvo sukurtas ir 2024 m., išbandytas vykstant lauko darbams, kai kenkėjų vystymosi modeliai dar nebuvo sukurti. Informacinės sistemos prototipui ištestuoti pasinaudota mokslinėje literatūroje paskelbtasis žievėgraužio tipografo atskirų vystymosi stadijų pradžios ir trukmės tyrimais [14], paremtais efektyvių temperatūrų sumų metodu, taip pat iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos gautais vidutiniais daugiamečiais (1994-2020) stebėjimų rezultatais.

Sukūrus liemenų kenkėjų vystymosi modelius, jų parametrai perkelti į duomenų bazę, ir sistema pristatyta Aplinkos ministerijos Miško sanitarinės apsaugos koordinacinės tarybos 2025-12-10 posėdyje. Atsižvelgus į pateiktas pastabas ir pageidavimus, interneto svetainė išplėsta, pateikiant daugiau informacijos.

## 2.4. Viešai prieinama informacinė sistema, skirta pavojingų liemenų kenkėjų vabzdžių vystymosi stadijų atvaizdavimui realiu laiku Lietuvos teritorijoje

Informacinės sistemos pagrindą sudaro 2 lygiagrečiai veikiantys procesai:

- meteorologinių duomenų rinkimas – kiekvieną dieną tuo pačiu metu sistema siunčia užklausa į Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos atvirų duomenų portalą (<https://api.meteo.lt/>) ir gauna praėjusios dienos meteorologinių stebėjimų rezultatus;
- kenkėjo išsivystymo situacijos įvertinimas ir artimiausios svarbios pasirinkto kenkėjo vystymosi stadijų prognozavimas – atliekamas kiekvieną kartą atvėrus interneto puslapį ir (ar) pasirinkus, pakeitus užklauskos parametrus (kenkėjo rūšis ir pasirinkta data) – generuojamas žemėlapis ir pateikiami kenkėjo išsivystymo informacija; situacija keičiasi kasdien, priklausomai nuo realių aplinkos sąlygų (oro temperatūros).

### 2.4.1. Meteorologinių duomenų surinkimo serviso iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos teikiamų duomenų sukūrimas

Meteorologiniai duomenys renkami per taikomųjų programų sąsają (API, angl. *Application Programming Interface*) duomenų gavimui REST (angl. *Representational State Transfer*) žiniatinklio paslaugų teikimo būdu, naudojant HTTP (angl. *Hypertext Transfer Protocol*) protokolo GET užklausa.

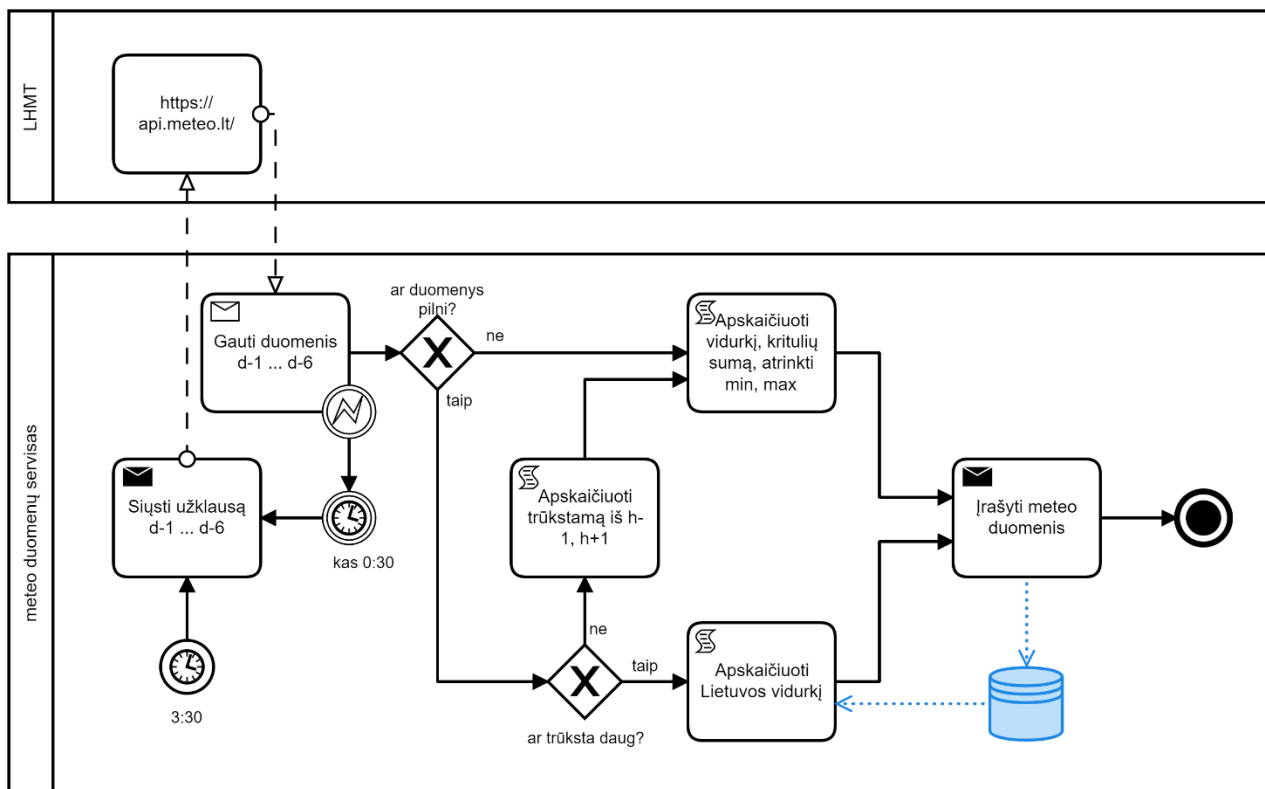
Sąsaja su `_api.meteo.lt` realizuota naudojant *Rust* kalba parašytą mikroservisą *meteo\_collector*, kuris kasdien automatiškai siunčia užklauskas per *REST API*, naudodamas *Tokio* asinchroninį planuotoją. Užklauskos vykdomos HTTP GET metodu, o gauti duomenys apdorojami JSON formatu. Servisas veikia kaip savarankiškas modulis, tiesiogiai rašantis duomenis į PostgreSQL duomenų bazę.

Meteorologinių stebėjimų duomenims taikomi ETL principai:

1. Duomenų gavimas – naudojant biblioteką *reqwest*, asinchroniškai siunčiamos užklauskos į <https://api.meteo.lt/v1/stations/{code}/observations/{date}> ir gaunamas JSON atsakas.
2. Rūšiavimas pagal laiką – visos reikšmės surikiuojamos pagal *observationTimeUtc*.
3. Vientisumo tikrinimas – jei yra visi 24 (kiekvienos valandos) stebėjimai, žyma *Passing*; jei trūksta 1–2 įrašų, jie apskaičiuojami kaip vidurkis iš gretimų valandų, o kraštutiniais atvejais (00:00, 23:00) naudojami ankstesnės ar kitos paros duomenys; jei trūksta daugiau nei 6 matavimų, data praleidžiama.
4. Duomenų apdorojimas – apskaičiuojama vidutinė paros temperatūra (suapvalinta iki 0,01°C), surandama minimali ir maksimali paros temperatūra ir apskaičiuojama paros kritulių suma.
5. Idempotentiškas įrašymas – prieš įrašant patikrinama, ar tos dienos ir tos meteorologinės stoties įrašas *weather(date, station\_id)* jau egzistuoja; jei duomenys pasikeitė – jie atnaujinami; jei ne – praleidžiama; jei nėra – įrašas sukuriama. Galutiniai duomenys įrašomi į duomenų bazės lentelę *weather*, kurioje saugomi laukai *date, station\_id, t\_avg, t\_min, t\_max, precipitation*.

Klaidų ir patvarumo valdymas:

- Jei šaltinis grąžina klaidą 404 (NOT FOUND), servisas laukia 30 minučių ir bando dar kartą.
- Funkcija *get\_missing\_dates* duomenų bazėje nustato trūkstamas datas (nuo seniausios turimos iki dabartinės) ir, jei reikia, papildomai užklauskas paskutines 5 paras, kad sumažintų spragas.
- Procesas planuojamas per *Tokio* planuotoją ir apdorojamas paraleliai kiekvienai meteorologinei stotiai.



6

pav. Meteorologinių duomenų gavimo ir tvarkymo procesas

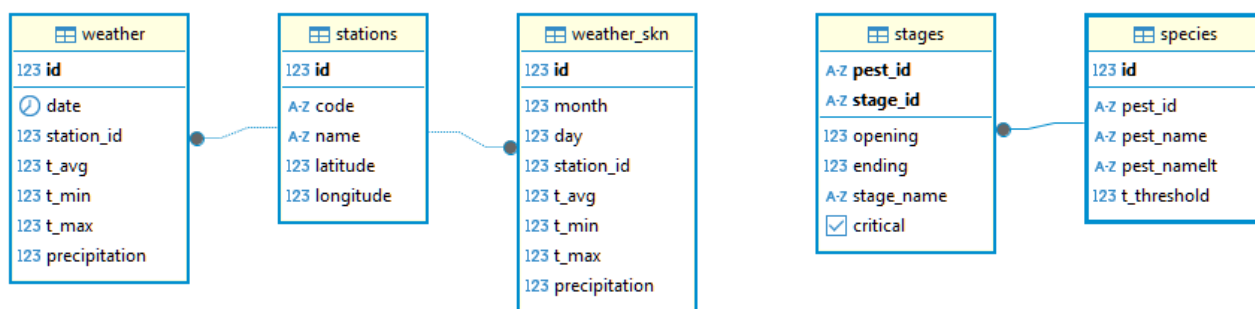
6 lent. Meteorologinių duomenų gavimo ir tvarkymo proceso aprašymas

| Žingsnis   | Aprašymas   |
|--|---|
| 1. Siųsti užklausą                                     | Kiekvieną dieną, 3:30, siųsti užklausą į <a href="https://api.meteo.lt">https://api.meteo.lt</a> .  |
| 2. Gauti duomenis                                      | Gauti meteorologinių stebėjimų duomenis. Jei nepavyksta užmegzti ryšio – bandyti 5 kartus kas 30 min.   |
| 3. Patikrinti duomenų pilnumą                          | Gavus duomenis, patikrinti, ar gauta po 24 kasvalandinius stebėjimus iš kiekvienos meteorologijos stoties. Jei taip – vykdomas #5 proceso žingsnis    |
| 4. Generuoti trūkstamus duomenis                       | Jei trūksta 1-2 stebėjimų, apskaičiuoti trūkstamas reikšmes kaip prieš ir po einančių valandų stebėjimų vidurkį ir jį laikyti trūkstamais duomenimis. |
| 5. Apskaičiuoti vidurkį, kritulių sumą, rasti min, max | Apskaičiuoti vidutinę paros temperatūrą kaip visų stebėjimų vidurkį, suminį kritulių kiekį per parą, rasti maksimalią ir minimalią paros temperatūras |
| 6. Įrašyti duomenis į duomenų bazę                     | Įrašyti duomenis į duomenų bazės lentelę 'weather'  |

#### 2.4.2. Kenkėjų vystymosi tarpsnių ir meteorologinių duomenų bazės sukūrimas

Duomenų bazė realizuota PostgreSQL reliacinių duomenų bazių valdymo programinės įrangos pagrindu, ją sudaro 5 lentelės (priedas):

- lentelėse *weather* ir *weather\_skn* saugomi meteorologinių stebėjimų duomenys;
- lentelėje *stations* saugoma stebėjimų geografinė padėtis, meteorologinių stočių koordinatės;
- lentelėse *species* ir *stages* saugomi kenkėjų vystymosi modelio parametrai.



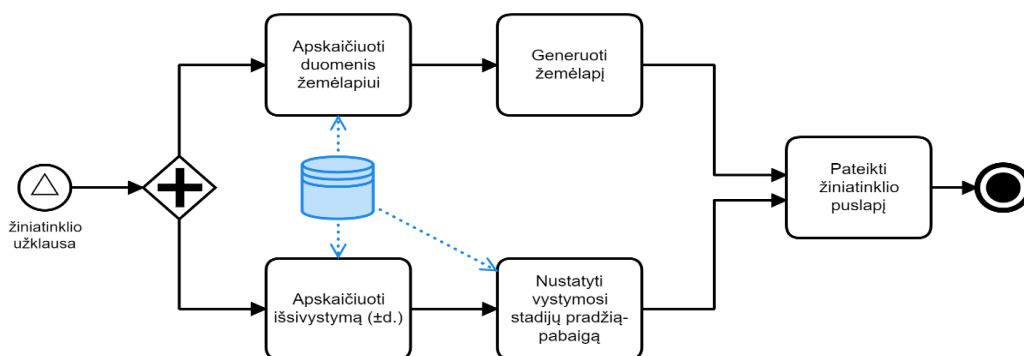
Pav. 8. Duomenų bazės struktūra

### 2.4.3. Duomenų apdorojimo algoritmas

Tirtų vabalų rūšių išsivystymas ir prognozė apskaičiuojama pasirinkus kenkėjo rūšį ir datą (parametrai, gaunami per interneto naršyklę), naudojantis turimais realiais 18 meteorologijos stočių surinktais duomenimis (nuo 2022 m.) ir daugiamečiu (1993-2020 m.) paros vidutinės temperatūros vidurkiu:

- ankstesniems, negu 2022 m. ir vėlesniems negu einamieji metai – skaičiavimai neatliekami ir (ar) prognozė nedaroma;
- kai pasirinkta praėjusių metų data – naudojami turimi, iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos atvirų duomenų portalo (<https://api.meteo.lt/>) surinkti tų metų vidutinės paros temperatūros duomenys;
- kai pasirinkta einamųjų metų data – generuojama visų einamųjų metų vidutinių paros temperatūrų sumų seka, trūkstamoms ateities datoms (iki metų pabaigos) naudojant daugiametį vidurkį; daroma prielaida, jog ateityje vidutinės paros temperatūros nesiskirs nuo daugiamečio vidurkio.

Iš vidutinės paros temperatūros apskaičiuojama efektyvi temperatūra ir susikaupusi jų suma kiekvienai metų dienai. Tada, naudojantis kenkėjų vystymosi modeliais (efektyvių temperatūrų suma, reikalinga kiekvienai stadijai išsivystyti), nustatomas kenkėjo išsivystymas ir kiekvienos stadijos pradžios ir pabaigos datos.



7 pav. Informacijos pateikimo procesas

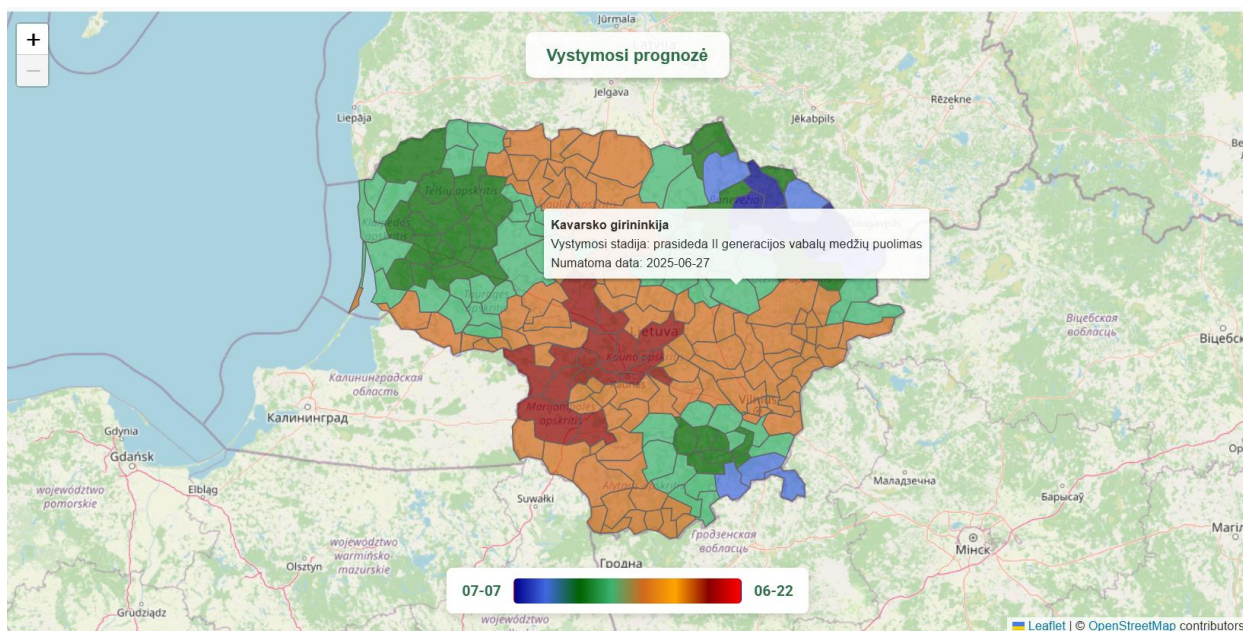
7 lent. Informacijos pateikimo proceso aprašymas

| Žingsnis                 | Aprašymas  |
|--------------------------|--|
| 1. Žiniatinklio užklausa | Gaunami užklauso parametrai – kenkėjo rūšis ir data, kuriai nustatomas kenkėjo išsivystymas ir artimiausios miškininkams svarbios išsivystymo stadijos pradžios prognozė |

| Žingsnis                                       | Aprašymas   |
|--|---|
| 2. Naudoti ankstesnių metų duomenis            | Iš duomenų bazės pagal užklausos parametą (bet kurių, nuo 2022 iki einamųjų, praėjusių metų data) atrenkami turimi tų metų vidutinės paros temperatūros duomenys  |
| 3. Sustabdyti procesą                          | Ankstesniems, negu 2022 m. ir vėlesniems negu einamieji metai – skaičiavimai neatliekami ir (ar) prognozė nedaroma; generuojamas pranešimas   |
| 4. Generuoti einamųjų metų duomenis            | Iš duomenų bazės pagal užklausos parametą (einamųjų metų data) atrenkami turimi einamųjų metų duomenys; trūkstami, iki metų galo, duomenys papildomi daugiamečiu vidurkiu   |
| 5. Apskaičiuoti efektyvių temperatūrų sumas    | Apskaičiuojama efektyvi temperatūra ir susikaupusi jų suma kiekvienai metų dienai (angl. <i>running total</i> ) kiekvienoje meteorologinėje stotyje   |
| 6. Sudaryti prognozę                           | Pagal užklausos parametrus sudaroma prognozė – kiekvienoje meteorologinėje stotyje apskaičiuojama artimiausios svarbios vystymosi stadijos pradžia (diena, kai sukaupta efektyvių temperatūrų suma susilygintų ar viršytų su efektyvių temperatūrų suma, reikalinga vystymosi stadijos pradžiai)  |
| 7. Generuoti žemėlapi                          | Generuojamas žemėlapis, interpoliuojant efektyvių temperatūrų sumą ir prognozę Valstybinių miškų urėdijos girininkijų ribomis.  |
| 8. Nustatyti vystymosi stadijų pradžia-pabaigą | Pagal užklausos parametrus apskaičiuojama kiekvienos iš vystymosi stadijų pradžios ir pabaigos data iš efektyvių temperatūrų sumos reikalingos kiekvienos stadijos pradžiai ir pabaigai (lentelė 'stages'), naudojantis einamųjų metų efektyvių temperatūrų suma: iki užklausos datos – iš turimų vidutinės paros temperatūros duomenų, jei jų nėra – naudojamas daugiamečių stebėjimų vidurkiu |
| 9. Apskaičiuoti kenkėjo išsivystymą            | Pagal užklausos parametrus apskaičiuojamas kenkėjo vystymosi skirtumas dienomis, lyginant su vidutiniu daugiamečiu vidurkiu (anksčiau/vėliau/sutampa) visoje Lietuvos teritorijoje (visų meteorologijos stočių stebėjimų vidurkis)  |
| 10. Pateikti žiniatinklio puslapį              | Kenkėjo išsivystymas (vystymosi stadijos ir jų pradžios-pabaigos datos), taip pat artimiausios svarbios vystymosi stadijos prognozės bei efektyvių temperatūrų sumos (pagal užklausos parametą pasirinkimą) žemėlapiai pateikiami į žiniatinklio puslapį.   |

#### 2.4.4. Informacinės sistemos svetainės sukūrimas ir prieiga

Informacija pateikiama vieno puslapio interneto svetainėje (<https://kinivarpos.lt>). Interneto puslapyje trumpai aprašytas efektyvių temperatūrų sumų metodo panaudojimas kenkėjų išsivystymo nustatymui bei prognozavimui bei kiekvienos kenkėjo rūšies aprašymas. Pateikiamas žemėlapis, kuriame pasirinktinai atvaizduota efektyvių temperatūrų suma (Pav. 10-11), susikaupusi iki pasirinktos datos arba artimiausios vystymosi stadijos prognozuojama pradžios data (Pav. 12) kiekvienoje Valstybinių miškų urėdijos girininkijoje norimai kenkėjo liemenų kenkėjų rūšiai (žievėgraužiui tipografui, didžiajam ar mažajam kirpikams. Taip pat pateikiama kiekvienos vystymosi stadijos pradžios ir pabaigos datos Gantt grafiko forma bei tekstu – rūšis vystosi anksčiau ar vėliau, lyginant su daugiamečiu vidurkiu.

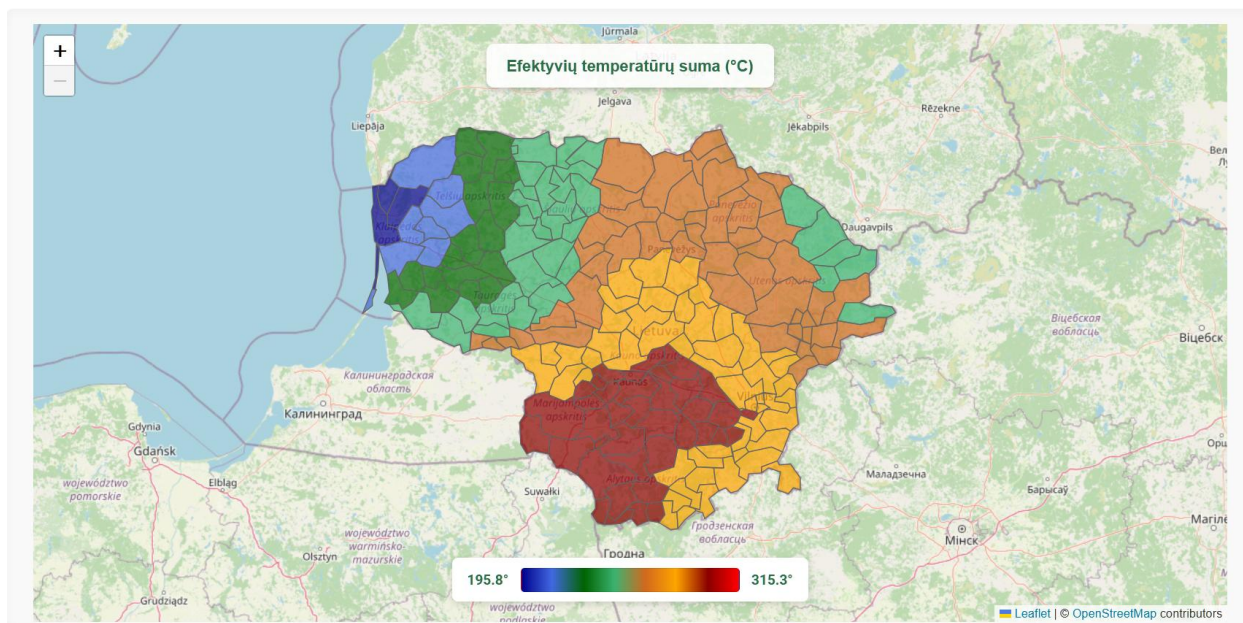


8 pav. Prognozės žemėlapis pavyzdys (žievėgraužis tipografas, 2025-06-01 situacija)

#### 2.4.5. Aktualios kenkėjų išsivystymo situacijos ir sekančių vystymosi tarpsnių prognozės pateikimas realiu laiku per interneto naršyklę, naudojant GIS technologijas.

Informacija apie kenkėjų vystymosi stadijas ir prognozes pateikiama realiu laiku per interneto naršyklę. API (*Rust/Warp*) teikia duomenis JSON formatu, o *React/Vite* pagrindu sukurta vartotojo sąsaja su *Leaflet* GIS komponentu juos vizualizuoja interaktyviame žemėlapyje.

Žemėlapyje pasirinktinai pateikiama efektyvių temperatūrų suma arba prognozuojamų vystymosi stadijų pradžios datos. Erdvinės prognozės generuojamos *Python* moduliui, kuris, naudodamas *SciPy* ir *PyKrige*, atlieka kriginę interpoliaciją tarp meteorologijos stočių duomenų taškų. Gautas rezultatas paverčiamas į rastrinę sluoksnį ir perduodamas per API, kad vartotojo pusėje būtų galima dinamiškai atvaizduoti situaciją.



9 pav. Efektyvių temperatūrų sumos žemėlapis pavyzdys (žievėgraužis tipografas, 2025-06-01 situacija)

| Stadijos                     | Kovas                   | Balandis                | Gegužė                  | Birželis                | Liepa                   | Rugpjūtis               | Rugsėjis | Spalis                  | Lapkritis |
|------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------|-------------------------|-----------|
| kenkėjas žiemoja             | 2025-03-01 - 2025-03-30 |                         |                         |                         |                         |                         |          |                         |           |
| vabaly skraidymas            |                         | 2025-03-31 - 2025-05-24 |                         |                         |                         |                         |          |                         |           |
| medžių puolimas              |                         | 2025-04-15 - 2025-05-24 |                         |                         |                         |                         |          |                         |           |
| kiaušinėlių vystymasis       |                         | 2025-04-18 - 2025-06-03 |                         |                         |                         |                         |          |                         |           |
| lervų vystymasis             |                         |                         | 2025-05-25 - 2025-07-15 |                         |                         |                         |          |                         |           |
| lėliukių vystymasis          |                         |                         |                         | 2025-06-19 - 2025-07-22 |                         |                         |          |                         |           |
| jauni vabalai po žieve       |                         |                         |                         |                         | 2025-07-02 - 2025-07-22 |                         |          |                         |           |
| vabaly išskridimas           |                         |                         |                         |                         | 2025-07-18 - 2025-08-31 |                         |          |                         |           |
| vabaly maitinimasis ūgliuose |                         |                         |                         |                         |                         | 2025-07-29 - 2025-11-30 |          |                         |           |
| vystymasis pasibaigęs        |                         |                         |                         |                         |                         |                         |          | 2025-10-08 - 2025-11-30 |           |

10 pav. Vystymosi stadijų pradžios ir pabaigos pavyzdys (mažasis kirpikas , 2026-06-01 situacija)

Vartotojo sąsajos aplikacija konteinerizuota su *Docker* ir talpinama per *Nginx (alpine)* interneto serveryje, naudojant *try\_files ... /index.html* SPA maršrutizavimui, privalomą HTTPS bei automatinį sertifikatų atnaujinimą (*Certbot*). Tokia architektūra leidžia interesantams realiu laiku stebėti situacijos pokyčius ir prognozuoti artėjančius kenkėjų vystymosi tarpsnius visoje Lietuvos teritorijoje.

Programinis sistemos kodas pateiktas prieduose ir atskiroje duomenų saugojimo laikmenoje.

## 2. IŠVADOS

1. Ištirta paprastosios eglės liemenų kenkėjo žievėgraužio tipografo (*Ips typographus*) visų vystymosi stadijų fenologija ir jos sąsajos su efektyvių temperatūrų sumomis Lietuvos klimato sąlygomis. Šie duomenys leis efektyviau žvalgyti Lietuvos spygliuočių medynus ir efektyviau kontroliuoti pavojingų eglės liemenų kenkėjų populiacijos dydį ir daromų nuostolių mastą.
2. Ištirta paprastosios pušies liemenų kenkėjų mažojo kirpiko (*Tomicus minor*) ir didžiojo kirpiko (*Tomicus piniperda*) visų vystymosi stadijų fenologija ir jos sąsajos su efektyvių temperatūrų sumomis Lietuvos klimato sąlygomis. Šie duomenys leis efektyviau žvalgyti Lietuvos spygliuočių medynus ir efektyviau kontroliuoti pavojingų pušų liemenų kenkėjų populiacijos dydį ir daromų nuostolių mastą

## 3. REKOMENDACIJOS

Rekomenduojame tyrimo rezultatus taikyti praktinėje miškininkystėje, efektyviau, mažesnėmis laiko ir lėšų sąnaudomis įgyvendinant privalomas sanitarinių miško apsaugos taisyklių nuostatas, kontroliuojant pavojingus liemenų kenkėjus Lietuvos spygliuočių medynuose.

Remiantis tyrimo duomenimis, galima susipažinti su aktualia pavojingų liemenų kenkėjų vystymosi stadija, naudojant sukurtos informacinės sistemos tinklalapį adresu <https://kinivarpos.lt>.

#### 4. LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Anonimas (2024). Lietuvos valstybinių miškų 2023 m. sanitarinės būklės apžvalga. <https://amvmt.lrv.lt/media/viesa/saugykla/2024/3/HYYmLNGoXyI.pdf>
2. Anonimas (2025). Lietuvos valstybinių miškų 2024 m. sanitarinės būklės apžvalga. [https://amvmt.lrv.lt/public/canonical/1741332617/1773/Ataskaita2024\\_pilna\\_WWW.pdf](https://amvmt.lrv.lt/public/canonical/1741332617/1773/Ataskaita2024_pilna_WWW.pdf)
3. Anonimas (2007). Dėl Miško sanitarinės apsaugos taisyklių patvirtinimo. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalActEditions/lt/TAD/TAIS.295781?faces-redirect=true>
4. S. Netherer, A. Hammerbacher (2022). The Eurasian spruce bark beetle in a warming climate: Phenology, behavior, and biotic interactions, Editor(s): Kamal J.K. Gandhi, Richard W. Hofstetter, Bark Beetle Management, Ecology, and Climate Change, Academic Press, Pages 89–131. ISBN 9780128221457, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822145-7.00011-8>.
5. J. M. Davies, C. J. King (1977). „Pine Shoot Beetles“. Forestry Commission Leaflet 3. HMSO, London.
6. Kolk, J. R. Starzyk (1996). The Atlas of Forest Insect Pests. The Polish Forest Research Institute. Multico Warszawa. 705 pp.
7. P. Washaya, R. Modlinger, D. Tyšer, T. Hlásny (2024). Patterns and impacts of an unprecedented outbreak of bark beetles in Central Europe: A glimpse into the future?, Forest Ecosystems, Volume 11, 100243, ISSN 2197-5620, <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2024.100243>.
8. V.V. Singh, A. Naseer, K. Mogilicherla, et al. (2024). Understanding bark beetle outbreaks: exploring the impact of changing temperature regimes, droughts, forest structure, and prospects for future forest pest management. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 23: 257–290. <https://doi.org/10.1007/s11157-024-09692-5>
9. L. M. Nageleisen, C. Bouget (2009). Forest insect studies: Methods and techniques, key considerations for standardization. In An Overview of the Reflections of the Entomological Forest Inventories Working Group (Inv. Ent. For.); ONF: Paris, France, p. 144.
10. T.D. Frühbrodt et al. (2023). Know When You Are Too Many: Density-Dependent Release of Pheromones During Host Colonisation by the European Spruce Bark Beetle, *Ips typographus* (L.). Journal of Chemical Ecology, 49: 1–14. DOI: 10.1007/s10886-023-01453-y.
11. J. Lynikienė, A. Gedminas, A. Marčiulynas, D. Marčiulynienė, A. Menkis (2022). Can *Larix* sp. Mill. Provide Suitable Habitats for Insects and Lichens Associated with Stems of *Picea abies* L. (L.) H. Karst. in Northern Europe? Diversity, DOI: 10.3390/d14090729 EID:
12. P. Baier, J. Pennerstorfer, A. Schopf, (2009). Online-monitoring of the phenology and the development of *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytinae). Mitteilungen aus der Entomologischen Gesellschaft, 17:155-158.
13. N. Ogris, M. Ferlan, T. Hauptman, R. Pavlin, A. Kavčič, M. Jurc (2019). RITY – A phenology model of *Ips typographus* as a tool for optimization of its monitoring. Ecological Modelling, 410:1–14.
14. P. Baier, J. Pennerstorfer, A. Schopf (2007). PHENIPS—A comprehensive phenology model of *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytinae) as a tool for hazard rating of bark beetle infestation. Forest Ecology and Management, 249(3): 171–186. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.05.020>.

## PRIEDAI

### 1 priedas. Duomenų bazės struktūra

*Lentelė 'weather' – aktualūs automatinių meteorologijos stočių stebėjimų duomenys*

| Laukas        | Duomenų tipas | Aprašymas                             |
|---------------|---------------|---------------------------------------|
| id            | serial4       |                                       |
| date          | date          | data                                  |
| station_id    | int4          | automatinės meteorologinės stoties ID |
| t_avg         | float8        | vidutinė paros temperatūra            |
| t_min         | float8        | minimali paros temperatūra            |
| t_max         | float8        | maksimali paros temperatūra           |
| precipitation | float8        | kritulių kiekis per parą              |

*Lentelė 'stations' – automatinės meteorologijos stotys*

| Laukas    | Duomenų tipas | Aprašymas   |
|-----------|---------------|---|
| id        | serial4       |   |
| code      | varchar(255)  | automatinės meteorologijos stoties kodas              |
| name      | varchar(255)  | automatinės meteorologijos stoties pavadinimas        |
| latitude  | float8        | automatinės meteorologijos stoties geografinė platuma |
| longitude | float8        | automatinės meteorologijos stoties geografinė ilguma  |

*Lentelė 'weather skn' – daugiamečiai meteorologinių stebėjimų vidurkiai*

| Laukas        | Duomenų tipas | Aprašymas                                       |
|---------------|---------------|---|
| id            | serial4       |   |
| month         | int2          | mėnuo   |
| day           | int2          | diena   |
| station_id    | int4          | automatinės meteorologinės stoties ID           |
| t_avg         | float8        | vidutinė daugiametė paros temperatūra           |
| t_min         | float8        | vidutinė daugiametė minimali paros temperatūra  |
| t_max         | float8        | vidutinė daugiametė maksimali paros temperatūra |
| precipitation | float8        | vidutinis daugiametis kritulių kiekis per parą  |

*Lentelė 'species' – pavojingi medžių liemenų kenkėjai*

| Laukas      | Duomenų tipas | Aprašymas                            |
|-------------|---------------|--------------------------------------|
| id          | serial4       |                                      |
| pest_id     | bpchar(2)     | kenkėjo rūšies kodas                 |
| pest_name   | varchar(64)   | kenkėjo lotyniškas pavadinimas       |
| pest_namelt | varchar(64)   | kenkėjo lietuviškas pavadinimas      |
| t_threshold | float8        | kenkėjo apatinis vystymosi slenkstis |

*Lentelė 'stages' – efektyvių temperatūrų suma, reikalinga atskirų stadijų išsivystymui*

| Laukas   | Duomenų tipas | Aprašymas  |
|----------|---------------|--|
| pest_id  | bpchar(2)     | kenkėjo rūšies kodas   |
| stage_id | bpchar(4)     | išsivystymo stadijos kodas   |
| opening  | float8        | efektyvių temperatūrų suma, nuo kurios prasideda stadijos vystymasis |

|            |         |   |
|------------|---------|---|
| ending     | float8  | efektyvių temperatūrų suma, reikalinga pilnam stadijos išsivystymui |
| stage_name | varchar | vystymosi stadijos pavadinimas                                      |
| critical   | bool    | požymis, ar stadija reikšminga ir naudojama prognozėje              |

## 2 priedas. Duomenų apdorojimo funkcijos meteorologinių duomenų bazėje.

| Funkcija (perduodami parametrai)   | Aprašymas  |
|------------------------------------|--|
| fn_progno (pest_id, date)          | Apskaičiuoja artimiausios miškininkams svarbios pasirinkto kenkėjo vystymosi stadijos prognozuojamą pradžios datą kiekvienoje meteorologijos stotyje pasirinktą dieną; naudojama pagalbinė funkcija 'fn sumt ef year'  |
| fn_sumt_ef (pest_id, date)         | Apskaičiuoja efektyvių temperatūrų sumą pasirinktam kenkėjui, susikaupusią pasirinktai dienai kiekvienoje meteorologinėje stotyje; naudojama pagalbinė funkcija 'fn_get t ef'.   |
| fn_situation (pest_id, date)       | Apskaičiuoja kiekvienos pasirinkto kenkėjo vystymosi stadijos pradžios ir pabaigos datą visoje Lietuvos teritorijoje (visų meteorologijos stočių stebėjimų vidurkis) pasirinktą dieną; naudojama pagalbinė funkcija 'fn sumt ef year'  |
| fn_lag (pest_id, date)             | Apskaičiuoja pasirinkto kenkėjo išsivystymo būklę pasirinktą dieną (skirtumas dienomis, lyginant su vidutiniu daugiamečiu vidurkiu) visoje Lietuvos teritorijoje (visų meteorologijos stočių stebėjimų vidurkis); naudojama pagalbinė funkcija 'fn_get t ef'                           |
| fn_get_t_ef (pest_id, t_threshold) | Apskaičiuoja dienos efektyvią temperatūrą pasirinktam kenkėjui, iš vidutinės paros temperatūros ir apatinio vystymosi slenksčio iš lentelės 'species'  |
| fn_is_leap (date)                  | Įvertina, ar pasirinktai dienai metai yra keliamieji; naudojama apskaičiuojant efektyvių temperatūrų sumas   |
| fn_stage_max (pest_id, date)       | Nustato didžiausią efektyvių temperatūrų sumą, susikaupusią pasirinktai dienai, t.y. prognozuojama ankstyviausia tikėtina pasirinkto kenkėjo vystymosi stadijos pradžios data  |
| fn_sumt_ef_year (pest_id, date)    | Apskaičiuoja efektyvių temperatūrų sumą, susikaupusią kiekvieną pasirinktos dienos metų dieną kiekvienoje meteorologinėje stotyje, nuo sausio 1 d. iki gruodžio 31 d.; jei nėra pasirinktos dienos metų aktualių duomenų, naudojamas vidutinės paros temperatūros daugiamečių vidurkis |
| fn_is_leap (date)                  | Nustato ar metai, kuriais yra pasirinkta data, yra keliamieji; naudojama nustatyti, ar prognozei naudoti vasario 29 d. daugiamečių stebėjimų vidurkius   |

## 3 priedas. *typographus\_api* dokumentacija.

*typographus\_api* yra Rust pagrindu sukurta sistema, skirta kenkėjų vystymosi prognozavimui ir orų duomenų analizei. API naudoja PostgreSQL duomenų bazę ir Python skriptus duomenų interpoliacijai.

*## Serverio Konfigūracija*

- **\*\*Portas\*\***: 3030
- **\*\*Protokolas\*\***: HTTPS (TLS)
- **\*\*CORS\*\***: Leidžiami domenai: 'https://kinivarpos.lt', 'http://localhost:5173'
- **\*\*Metodai\*\***: GET, POST, PUT, DELETE

*## Autentifikacija*

API naudoja JWT autentifikaciją. Kai kurie endpoint'ai reikalauja autentifikacijos.

*## Endpoint'ai***### 1. Kenkėjų Sąrašas**

**\*\*GET\*\* '/species'** Grąžina visų kenkėjų sąrašą.

**\*\*Atsakymas:\*\***

```
"json
[
  {
    "pest_id": "string",
    "pest_name": "string"
  }
]
```

**### 2. Orų Duomenų Endpoint'ai****#### Efektyvių temperatūrų sumos duomenys**

**\*\*GET\*\* '/{pest\_id}/sum\_tef/{date}'** Grąžina temperatūros sumos duomenis konkrečiam kenkėjui ir datai.

**\*\*Parametrai:\*\***

- 'pest\_id' (string) - Kenkėjo ID
- 'date' (string) - Data formatu YYYY-MM-DD (neprivaloma, naudoja šiandienos datą)

**\*\*Atsakymas:\*\***

```
"json
[
  {
    "dday": "2025-01-15",
    "latitude": 54.1234,
    "longitude": 24.5678,
    "sumt_eff": 150.5
  }
]
```

**#### Artimiausios reikšmingos kenkėjo išsivystymo stadijos prognozuojamos pradžios duomenys**

**\*\*GET\*\* '/{pest\_id}/prognosis/{date}'** Grąžina prognozės duomenis konkrečiam kenkėjui ir datai.

**\*\*Parametrai:\*\***

- 'pest\_id' (string) - Kenkėjo ID
- 'date' (string) - Data formatu YYYY-MM-DD (neprivaloma, naudoja šiandienos datą)

**\*\*Atsakymas:\*\***

```
"json
```

```
[
  {
    "dday": "2025-01-15",
    "latitude": 54.1234,
    "longitude": 24.5678,
    "stage_name": "I generacijos vabalų medžių puolimas",
    "pday": "2025-03-30",
    "station_name": "Vilniaus stotis"
  }
]
```

##### Efektyvių temperatūrų sumos duomenų interpoliacija

**\*\*GET\*\*** '/{pest\_id}/interpolate/{date}' Atlieka temperatūros duomenų interpoliaciją naudojant Python skriptą.

**\*\*Parametrai:\*\***

- 'pest\_id' (string) - Kenkėjo ID

- 'date' (string) - Data formatu YYYY-MM-DD (neprivaloma, naudoja šiandienos datą)

**\*\*Atsakymas:\*\***

```
"""json
{
  "interpolated": {
    "zone_1": [150.5, 200.3],
    "zone_2": [180.7, 220.1]
  }
}
"""
```

##### Prognozės Interpoliacija

**\*\*GET\*\*** '/{pest\_id}/interpolate\_prognosis/{date}' Atlieka artimiausios reikšmingos kenkėjo išsivystymo stadijos prognozuojamos pradžios duomenų interpoliaciją.

**\*\*Parametrai:\*\***

- 'pest\_id' (string) - Kenkėjo ID

- 'date' (string) - Data formatu YYYY-MM-DD (neprivaloma, naudoja šiandienos datą)

**\*\*Atsakymas:\*\***

```
"""json
{
  "query_date": "2025-01-15",
  "reference_date": "2025-01-01",
  "interpolated": {
    "zone_1": 45.2,
    "zone_2": 67.8
  },
  "stages": [
    {
      "name": "I generacijos vabalų medžių puolimas",
      "stations": {
        "name": "Vilniaus stotis",
        "date": "2025-01-15",
        "prediction": "2025-03-30"
      }
    }
  ]
}
"""
```

```

    }
  }
]
}
'''

```

#### ##### Kenkėjos vystymosi situacija

**\*\*GET\*\*** '/{pest\_id}/situation\_chart/{date}' Gražina išsivystymo stadijų pradžios-pabaigos datas – duomenis Gantt diagramai.

**\*\*Parametrai:\*\***

- 'pest\_id' (string) - Kenkėjo ID

- 'date' (string) - Data formatu YYYY-MM-DD (neprivaloma, naudoja šiandienos datą)

**\*\*Atsakymas:\*\***

```

'''json
[
  {
    "stage": "kenkėjas žiemoja",
    "start": "2025-01-01",
    "end": "2025-03-29"
  },
  {
    "stage": "I generacijos vabalų medžių puolimas",
    "start": "2025-03-30",
    "end": "2025-05-23"
  }
]
'''

```

#### ##### Kenkėjo vystymosi kalendoriaus informacija

**\*\*GET\*\*** '/{pest\_id}/lag\_info/{date}' Gražina kenkėjo išsivystymą lyginant su daugiamečiu vidurkiu (vėliau/anksčiau/sutampa), konkrečiam kenkėjui ir datai.

**\*\*Parametrai:\*\***

- 'pest\_id' (string) - Kenkėjo ID

- 'date' (string) - Data formatu YYYY-MM-DD (neprivaloma, naudoja šiandienos datą)

**\*\*Atsakymas:\*\***

```

'''json
"5 dienos"
'''

```

### ### 3. HTML Failų Valdymas

#### ##### HTML Failo Įkėlimas

**\*\*POST\*\*** '/html'

Įkelia HTML failą į serverį. Reikalauja autentifikacijos.

**\*\*Content-Type:\*\*** 'multipart/form-data'

**\*\*Parametrai:\*\***

- 'file' (file) - HTML failas, turintis '<div id="map-mount-point"></div>' elementą

**\*\*Atsakymas:\*\***

```

'''json
{
  "status": "success",

```

```
"filename": "uploaded_file.html"
}
```

#### #### HTML Failo Gauti

**\*\*GET\*\*** '/html/{filename}' Gražina HTML failo turinį.

**\*\*Parametrai:\*\***

- 'filename' (string) - Failo pavadinimas

**\*\*Atsakymas:\*\***

```
"html
```

```
<!DOCTYPE html>
```

```
<html>
```

```
...
```

```
</html>
```

```
"
```

#### ## Klaidos Kodai

- **\*\*400 Bad Request\*\*** - Neteisingi parametrai
- **\*\*401 Unauthorized\*\*** - Autentifikacijos klaida
- **\*\*500 Internal Server Error\*\*** - Serverio klaida

#### ## Duomenų Bazės Funkcijos

API naudoja šias PostgreSQL funkcijas:

- 'fn\_sumt\_ef(pest\_id, date)' - Temperatūros sumos duomenys
- 'fn\_progno(pest\_id, date)' - Prognozės duomenys
- 'fn\_situation(pest\_id, date)' - Situacijos diagramos duomenys
- 'fn\_lag(pest\_id, date)' - Vėlavimo informacija

#### ## Python Integracija

API naudoja Python skriptus duomenų interpoliacijai:

- **\*\*Skriptas\*\***: 'interpolate.py'
- **\*\*Funkcija\*\***: Duomenų interpoliacija naudojant scipy
- **\*\*Įvestis\*\***: JSON su koordinatėmis ir reikšmėmis
- **\*\*Išvestis\*\***: JSON su interpoliuotais duomenimis

#### ## Pavyzdžiai

#### Gauti kenkėjų sąrašą

```
"bash
```

```
curl -X GET "https://kinivarpos.lt:3030/species"
```

```
"
```

#### Gauti efektyvių temperatūrų sumos duomenis

```
"bash
```

```
curl -X GET "https://kinivarpos.lt:3030/it/sum_tef/2025-01-15"
```

```
"
```

#### Gauti interpoliuotus duomenis

```
"bash
```

```
curl -X GET "https://kinivarpos.lt:3030/it/interpolate/2025-01-15"
```

```
"
```

## ## Technologijos

- **Backend**: Rust (Warp framework)
- **Duomenų bazė**: PostgreSQL
- **Interpoliacija**: Python (scipy)
- **Autentifikacija**: JWT
- **TLS**: Let's Encrypt sertifikatai

## ## *Plėtimo Instrukcijos*

1. Klonuokite repozitoriją
2. Įdiekite Rust ir PostgreSQL
3. Sukonfigūruokite duomenų bazės ryšį
4. Paleiskite 'cargo run'

## ## *Licencija*

Šis projektas yra privatus ir skiriamas tik Kinivarpos.lt naudojimui.