

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Datorzinātnes, informācijas tehnoloģijas un enerģētikas fakultāte

Informācijas tehnoloģijas institūts

Artūrs Romaška

Bakalaura studiju programmas “Informācijas tehnoloģija”

students, stud. apl. nr. 211RDB389

Sastrēgumu datu korelācija ar saistītajām datu kopām

BAKALAURA DARBS

Zinātniskais vadītājs Dr. math., Docente

Vineta Minkēviča

RĪGA 2024

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
DATORZINĀTNES, INFORMĀCIJAS TEHNOLOĢIJAS UN ENERĢĒTIKAS
FAKULTĀTE

Informācijas tehnoloģijas institūts

bakalaura darba izpildes lapa

Noslēguma darba autors:

students Artūrs Romaška

(paraksts, datums)

Noslēguma darbs ieteikts aizstāvēšanai:

Zinātniskais vadītājs:

Dr. math., Docente, Vineta Minkēvča

(paraksts, datums)

ANOTĀCIJA

Satiksmes sastrēgumi ir problēma, kura mūsdienās skar lielāko daļu pasaules pilsētu vai vismaz atsevišķus pilsētu rajonus. Efektīva transporta plūsmas vadības stratēģija un infrastruktūras attīstība prasa satiksmes sastrēgumu problēmas analīzi. Būtisku faktoru noskaidrošana, kas ietekmē satiksmes sastrēgumu rašanos, dod pamatu efektīvu lēmumu pieņemšanai par transporta plūsmas sadalījumu un sastrēgumu novēršanu.

Darba mērķis ir pētīt un analizēt datus par sastrēgumiem Rīgā un to saistību ar dažādiem faktoriem, piemēram, laika apstākļiem, ceļu satiksmes negadījumiem, skolēnu brīvdienām un citiem saistītiem datiem, kā arī meklēt atkarības, kas var ietekmēt sastrēgumus raksturojošos rādītājus.

Mērķa ietvaros darbā tika veikta pētījumam saistošās literatūras izpēte un analīze, pamatojoties uz ko identificēti analīzei pakļaujamie faktori un veidots pētījuma plāns.

Pētījumā tika analizēta faktoru ietekme uz sastrēgumu līmeni Rīgas pilsētā, izmantojot daudzfaktoru lineāro regresiju. Dati par sastrēgumiem tika apvienoti ar dažādiem datiem par iespējamiem faktoriem, kuri var ietekmēt sastrēguma līmeni. Sastrēgumi tika pētīti gan atsevišķu Rīgas ielu kontekstā, gan apkopotā veidā, ar mērķi atrast regresijas modeļus, kas izskaidrotu sastrēguma līmeņa palielināšanos vai samazināšanos. Modeļu analīzes rezultāti sniedz informāciju par pētījumā iekļauto faktoru ietekmi uz sastrēgumu raksturlielumu variāciju, piemēram, transportlīdzekļu ātrumu sastrēgumā, sastrēguma garumu un aizkavēšanās laiku sastrēgumā.

Lai prognozētu sastrēgumu līmeni reālā laikā, tika izstrādāta programma, kas izmanto datu kopas par sastrēgumiem Rīgas ielās un veic izvēlēta sastrēguma parametra prognozi.

ABSTRACT

Traffic congestion is a problem that nowadays affects most cities around the world or at least certain urban areas. Effective traffic flow management strategies and infrastructure development require an analysis of the traffic congestion issue. Identifying significant factors that influence the occurrence of traffic congestion provides a basis for making effective decisions on traffic flow distribution and congestion prevention.

The aim of this work is to study and analyse data on traffic congestion in Riga and its relationship with various factors such as weather conditions, accidents, school holidays, and other related data, as well as to search for dependencies that may affect congestion indicators.

Within this goal, a research plan was developed and presented in the underlying study, where factors subject to analysis were identified through the exploration of relevant scientific literature.

The study analysed the impact of factors on the congestion level in Riga using multiple linear regression. Data on congestion was combined with various data on possible factors that may influence the level of congestion. Congestion was studied both in the context of individual streets in Riga and in an aggregated manner, with the aim of finding regression models that explain the increase or decrease in congestion levels. The results of the model analysis provide information about the impact of the factors included in the study on the variation of congestion characteristics, such as vehicle speed in congestion, congestion length, and delay time in congestion.

To predict congestion levels in real-time, a program was developed that uses data sets on congestion in Riga's streets and makes predictions for a selected congestion parameter.

SATURA RĀDĪTĀJS

IEVADS.....	6
1. SASTRĒGUMU ANALĪZES METODES IZSTRĀDE.....	8
1.1. Faktori, kas ietekmē satiksmes sastrēgumu	8
1.2. Daudzfaktoru lineārās regresijas analīzes pieeja	10
1.3. Izvēlētā ceļu sastrēgumu līmeņa analīzes metode	14
1.4. Darbā izmantotie analīzes rīki	15
2. PĒTĪJUMĀ IEKĻAUJAMO DATU APSTRĀDE.....	17
2.1. Datu ieguve	17
2.1.1. Satiksmes sastrēgumu dati	17
2.1.2. Ceļu satiksmes negadījumu dati	20
2.1.3. Meteo dati	23
2.1.4. Svētku dienu un skolēnu brīvdienų dati.....	24
2.1.5. Dati par remontdarbiem	26
2.2. Datu sagatavošana modelim	28
3. SASTRĒGUMUS IETEKMĒJOŠO FAKTORU ANALĪZE.....	31
3.1. Datu savstarpējās korelācijas pārbaude	31
3.2. Datu kopu regresijas analīze	32
3.2.1. Krišjāņa Valdemāra – Ēveles ielas datu kopas analīze.....	35
3.2.2. Katlakalna ielas datu kopas analīze	38
3.2.3. Ernesta Birznieka – Upīša – Dzirnau ielas datu kopas analīze.....	42
3.2.4. Ūnijas – Stirnu ielas datu kopas analīze	46
3.2.5. Hanzas – Rūpniecības ielas datu kopas analīze	47
3.2.6. Lielirbes ielas datu kopas analīze	48
3.2.7. Jaunciems.....	48
3.2.8. Ozolciema ielas datu kopas analīze	49
3.2.9. Analīze apvienotām datu kopām.....	52
3.3. Analīzes rezultātu apkopojums	53
4. REMONTDARBU IETEKMES ANALĪZE	58
4.1. Analīzes uzsākšana	58
4.2. Augusta Deglava tilta datu kopas analīze	58
4.3. Augusta Deglava – Valmiera ielas datu kopas analīze	61
4.4. Ģenerāļa Radziņa krastmala	64

5. SASTRĒGUMA PARAMETRU PROGNOZE	66
SECINĀJUMI.....	69
IZMANTOTIE INFORMĀCIJAS AVOTI	
PIELIKUMI	

IEVADS

Satiksmes sastrēgumi ir problēma, kura mūsdienās skar lielāko daļu pasaules pilsētu vai vismaz atsevišķus pilsētu rajonus. Katru dienu transportlīdzekļu skaits pasaules attīstītajās pilsētās pieaug, un satiksmes sastrēgumu problēma kļūst arvien aktuālāka. Satiksmes sastrēgumu problēma ietekmē dzīves kvalitāti un ekonomisko attīstību. Ilgstoši satiksmes sastrēgumi rada palielinātu kaitīgo vielu emisiju atmosfērā. Kaitīgo gāzu emisijās atmosfērā negatīvi ietekmē gaisa kvalitāti un cilvēku veselību. Turklāt ilgstošie kavējumi sastrēgumos rada grūtības uzņēmējdarbībai, tie var negatīvi ietekmēt transporta uzņēmumus, radot kavēšanos preču un pakalpojumu piegādē. Gadījumos, kad transportlīdzekļi stāv sastrēgumos, palielinās degvielas patēriņš, kas savukārt noved pie palielinātām finansiālajām izmaksām un uzņēmējdarbības rentabilitātes samazināšanās. Sastrēgumi var ievērojami palielināt laiku, ko autovadītāji velta ceļam. Negaidīti satiksmes sastrēgumi var novest pie svarīgu tikšanu pārtraukšanas vai nokavēšanās. Satiksmes sastrēgumi ietekmē neatliekamās palīdzības dienestu efektivitāti.

Efektīva transporta plūsmas vadības stratēģija un infrastruktūras attīstība prasa satiksmes sastrēgumu problēmas analīzi. Satiksmes sastrēgumu problēmas risinājums ir solis ekonomiskās attīstības un vides aizsardzības virzienā. Būtisku faktoru noskaidrošana, kas ietekmē satiksmes sastrēgumu rašanos, ietekmēs efektīvu lēmumu pieņemšanu par transporta plūsmas sadalījumu un sastrēgumu novēršanu.

Bez tādiem objektīviem statistiskiem apstākļiem kā, piemēram, ielu izkārtojums, novietojums attiecībā pret dzīvojamajiem vai rūpnieciskajiem rajoniem, to caurlaides spēja, piegāžu un sabiedriskā transporta maršrutu noslodze, automašīnu un iedzīvotāju skaita attiecība, sastrēgumu veidošanos un to lielumu zināmā mērā var ietekmēt arī tādi mainīgi faktori kā, piemēram, laika apstākļi, nedēļas diena vai diennakts laiks.

Bakalaura darba mērķis: Pētīt un analizēt datus par sastrēgumiem Rīgā un to savstarpējo saistību ar dažādiem faktoriem, piemēram, laika apstākļiem, ceļu satiksmes negadījumiem, skolēnu brīvdienām un citiem saistītiem datiem, kā arī meklēt atkarības, kas var ietekmēt sastrēgumus raksturojošos rādītājus.

Mērķa ietvaros tika formulēti sekojoši darba uzdevumi:

- veikt saistīto pētījumu apskatu zinātniskajā literatūrā un identificēt izmantojamās datu kopas;

- veikt datu analīzes risinājuma projektēšanu un risinājuma implementāciju;
- veikt risinājuma novērtēšanu, iegūtās informācijas apkopojumu un secinājumu izstrādi.

Darba teorētiskajā daļā tika veikta pētījumam saistošās literatūras izpēte un analīze, pamatojoties uz kuru tika identificēti analīzei pakļaujamie faktori un veidots pētījuma plāns.

Pētījuma praktiskajā daļā tika analizēta identificēto faktoru ietekme uz sastrēgumu līmeni atsevišķās Rīgas ielās, izmantojot daudzfaktoru lineāro regresiju. Sastrēgumu dati tika pētīti arī apkopotā veidā un atsevišķas ielu grupās, ar mērķi atrast regresijas modeļus, kas pēc iespējas labi izskaidrotu sastrēguma līmeņa palielināšanos vai samazināšanos. Modeļu analīze tika virzīta uz pētījumā iekļauto faktoru ietekmes novērtējumu uz sastrēgumu raksturlielumiem, piemēram, transportlīdzekļu ātrumu sastrēgumā, sastrēguma garumu un aizkavēšanās laiku sastrēgumā.

Darba noslēgumā tiek piedāvāts paraugs risinājumam, kas dotu iespēju veikt izvēlēta sastrēguma parametra prognozi, izmantojot datu kopas par sastrēgumiem konkrētās Rīgas ielās.

1. SASTRĒGUMU ANALĪZES METODES IZSTRĀDE

1.1. Faktori, kas ietekmē satiksmes sastrēgumu

Sastrēgumam ir tādas īpašības, kā kustības ātrums sastrēgumā, automašīnu aizkavēšanās laiks un sastrēguma garums. Ātruma samazināšanās sastrēgumā (Zheng, Wang u.c., 2020), sastrēguma garuma palielināšanās (Xu, Zheng u.c., 2017) un palielināts aizkavēšanās laiks (Mfinanga & Fungo, 2013) norāda uz paaugstinātu ceļu sastrēguma līmeni. Tādas ceļu infrastruktūras īpatnības, kā ceļa platums un luksoforu skaits (Duan, Xu u.c., 2020), krustojumu skaits, kā arī laika apstākļi, piemēram, vēja ātrums un nokrišņi (He, Ren u.c., 2022), ceļu remontdarbi un citi notikumi (Chow, Santacreu u.c., 2013), ceļu satiksmes negadījumi (Zheng, Wang u.c., 2020), svētki un dienas pirms un pēc svētkiem (Wen, Sun u.c., 2014), skolēnu brīvdienas (Lu, Sun u.c., 2017) un citi faktori ietekmē ceļu sastrēguma līmeni. Faktori, kas ietekmē satiksmes sastrēgumus, var atkārtoties vai neatkārtoties un neatkārtojamie faktori ietver ceļu remontdarbus, policijas pārbaudes, automašīnu bojājumus, ceļa šķēršļus, notikumus pilsētā un citus faktorus. Lai analizētu faktoru ietekmi uz ceļu sastrēgumiem, sastrēgumus var novērot un salīdzināt vienā un tajā pašā laika posmā, piemēram, vienā un tajā pašā mēnesī vai nedēļā, bet dažādos gados (Chow, Santacreu u.c., 2013). Atkarībā no gadalaika ceļu noslogojums ir atšķirīgs, un gadalaikiem ir spēcīgāka vai vājāka ietekme uz ceļu sastrēgumiem darbdienās un brīvdienās (He, Yan u.c., 2016).

Ietekme uz ceļu satiksmes plūsmu ir svētku dienām, dienām pirms svētku dienām un dienām pēc svētku dienām (Wen, Sun u.c., 2014). Sastrēguma līmeņa pieaugums vērojams skolas mācību gada laikā salīdzinājumā ar skolēnu brīvdienām, kad ceļu satiksmes plūsmas intensitāte samazinās rīta stundās (Lu, Sun u.c., 2017). No tā secināms, ka kalendāra dienas ietekmē transporta plūsmas palielināšanos vai samazināšanos.

Vēl viens transporta plūsmu ietekmējošs faktors ir ierobežojumi, kas saistīti ar ārkārtas stāvokli valstī, piemēram, ierobežojumi, kas saistīti ar vīrusu epidēmijām. Ierobežojumu ietekmes analīze, kas saistīta ar vīrusu epidēmiju Čehijā, atklāj, ka ātrums uz ceļiem un automaģistrālēm palielinājās novērotajā laika periodā, kad valsts ierobežojumi būtiski ietekmēja automaģistrāļu transporta noslodzi, samazinot transporta plūsmu. Satiksmes intensitāte uz ceļiem bija ietekmēta pirmajās nedēļās, pēc kurām tā normalizējās (Simunek, Smutny u.c., 2021). No tā izriet, ka ārkārtas situācijas

valstī ietekmē gan transporta plūsmu, gan braukšanas ātrumu uz ceļiem, bet šīs ietekmes spēks ir atkarīgs no ierobežojuma darbības sākuma vai beigām.

Faktors, kas ietekmē ceļu sastrēguma līmeni, ir satiksmes negadījumu esamība uz ceļiem, un satiksmes negadījumus raksturo:

- negadījuma tips;
- cietušo autovadītāju traumas;
- negadījumā nonākušo transportlīdzekļu tipi.

Pētījuma rezultāti no Pekinas rāda, ka ceļu satiksmes negadījumi ar smagajiem transportlīdzekļiem rada lielāku ietekmi uz satiksmes sastrēgumiem salīdzinājumā ar negadījumiem, kur iesaistīti vieglie transportlīdzekļi, turklāt darbdienās ceļu satiksmes negadījumi notiek biežāk nekā brīvdienās (Zheng, Wang u.c., 2020). Šie rezultāti liecina, ka informācija par ceļu satiksmes negadījumu raksturojumiem palīdz precīzāk noteikt konkrētā negadījuma ietekmi uz ceļu sastrēgumu. Pētījuma rezultāti Dāresalāmas pilsētā parāda, ka diennakts stundās, kad satiksmes plūsma ir intensīvāka, ceļu satiksmes negadījumi ietekmē satiksmes sastrēgumus vairāk nekā transportlīdzekļu bojājumi (Mfinanga & Fungo, 2013).

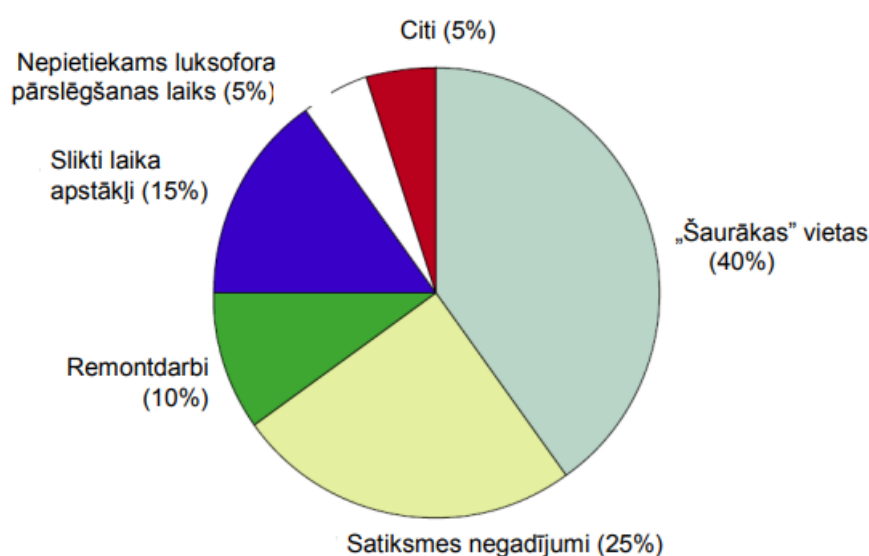
Pētījumā, kur satiksmes negadījumu dati bija apkopoti un salīdzināti Amerikas Savienotajās Valstīs, analizējot pilsētas un ielas (Akallouch, Fardousse u.c., 2023), tika konstatēts, ka ceļu satiksmes negadījumu rašanos būtiski ietekmē faktori, piemēram, laika apstākļi, gada mēnesis, diennakts laiks un citi aspekti. No tā izriet, ka tādi faktori kā laika apstākļi vai diennakts laiks ietekmē gan ceļu sastrēgumu līmeni, gan ceļu satiksmes negadījumu rašanos.

Laika apstākļi, piemēram, vēja ātrums, gaisa temperatūra un sniega nokrišņi, ir faktori, kas ietekmē ceļojuma laiku pa ceļu. Pētījumā Londonā tika izmantoti vēsturiskie meteoroloģiskās stacijas dati, lai analizētu laika apstākļu ietekmi uz ceļojuma laiku pa ceļa maršrutu. Novērojās, ka atkarībā no laika apstākļu intensitātes mainās to ietekme uz ceļojuma laiku pa ceļu, un šī ietekme atšķiras gan pilsētā, gan ārpus tās (Tsapakis, Cheng u.c., 2013). Tas norāda, ka laika apstākļi ne tikai ietekmē ceļu satiksmes negadījumu biežumu vai ceļa sastrēgumu līmeni, bet arī kopumā ietekmē transportlīdzekļu ceļošanas laiku pa ceļa maršrutu.

Pētījuma rezultāti par laika apstākļu ietekmi uz ceļu satiksmes sastrēgumu līmeni Kanādā (Datla, Sahu u.c., 2013) liecina, ka snigšanas laikā, kad vidējā temperatūra ir virs nulles grādiem pēc Celsija, transporta plūsma samazinās, un tas

notiek, kad snigšana kļūst intensīvāka, kā arī būtiska ietekme uz transporta plūsmas samazināšanos ir spēcīgam aukstumam sausā laikā. No tā izriet, ka jauktie laika apstākļi atšķirīgi ietekmē transporta plūsmu.

Pētījumu rezultāti, kas veikti Ķīnā, atklāja, ka faktori, piemēram, ceļu platums uz vienu iedzīvotāju un automašīnu skaits uz tūkstoti iedzīvotāju, ir faktori, kas ietekmē ceļu sastrēgumu līmeni (Bian, Yuan u.c., 2016). No tā secināms, ka ceļu caurlaidība ietekmē ceļu sastrēguma līmeni. 1.1. attēlā ir attēlots faktoru sadalījums, kas ietekmē ceļu sastrēgumus, kur dominējošais faktors ir šauri ceļu posmi.



1.1. att. Sastrēgumu avoti(aizgūts no(Kabaškins, 2007))

1.2. Daudzfaktoru lineārās regresijas analīzes pieeja

Daudzfaktoru lineārās regresijas modelis tiek izmantots, lai prognozētu ceļu sastrēgumu lielumam raksturīgos parametrus (Falahatraftar, Pierre u.c., 2020). Prognozēšanas regresijas modelis ir parādīts formulā (1.1.).

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 \quad (1.1.)$$

kur \hat{Y} – atkarīgā mainīgā prognozētā vērtība; β_0 – nobīdes koeficients; $\beta_{1,2,3}$ – regresijas koeficienti; $x_{1,2,3}$ – neatkarīgie mainīgie.

Daudzfaktoru lineārā regresija sniedz ieskatu, kā vairāku neatkarīgo mainīgo izmaiņas ietekmē atkarīgā mainīgā izmaiņas un ļauj prognozēt atkarīgā mainīgā vērtību, ņemot vērā neatkarīgo mainīgo vērtības un regresijas modeļa koeficientus. Šajā

regresijas modelī atkarīgais mainīgais ir nepārtrauktais lielums, bet neatkarīgie mainīgie var būt gan kvantitatīvi, gan kvalitatīvi (Boslaugh, 2012). Lai veiktu prognozi, daudzfaktoru regresijas modelim jābūt apmācītam ar apmācības datiem. Regresijas nobīdes koeficients ir prognozētā atkarīgā mainīgā vērtība, kad visi neatkarīgie mainīgie ir nulle. Mazāko kvadrātu metodi izmanto, lai atrastu tādas modeļa koeficientus, kas samazina prognozēšanas kļūdu. Šī metode ļauj izveidot regresijas modeli, kas vislabāk prognozē atkarīgā mainīgā vērtības, izmantojot esošos datus, un vislabākos regresijas koeficientus nosaka, minimizējot kvadrātu summu starp atkarīgā mainīgā reālajām vērtībām un prognozētajām vērtībām. Kvadrātu summa tiek aprēķināta pēc formulas (1.2) (Bruce, Bruce u.c., 2020).

$$RSS = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (1.2.)$$

kur RSS – atlikušo kvadrātu summa; Y_i – atkarīgā mainīgā faktiskā vērtība; \hat{Y}_i – atkarīgā mainīgā prognozētā vērtība.

Modeļa prognozēšanas precizitātes novērtēšanai izmanto vidējās kvadrātiskās kļūdas kvadrātsakni, ko aprēķina pēc formulas (1.3.) (Bruce, Bruce u.c., 2020).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}} \quad (1.3.)$$

kur, $RMSE$ – kvadrātsakne no vidējā kvadrātiskā kļūda; Y_i – atkarīgā mainīgā faktiskā vērtība; \hat{Y}_i – atkarīgā mainīgā prognozētā vērtība; n – novērojumu skaits.

Lai labāk interpretēt kvadrātiskās kļūdas kvadrātsaknes vērtību, to normalizē izmantojot formulu (1.4.).

$$NRMSE = \frac{RMSE}{Y_{max} - Y_{min}} \quad (1.4.)$$

kur $NRMSE$ – kvadrātiskās kļūdas kvadrātsaknes normalizētā vērtība; $RMSE$ – kvadrātiskās kļūdas kvadrātsakne; Y_{max} – atkarīgā mainīgā maksimālā vērtība; Y_{min} – atkarīgā mainīgā minimālā vērtība ().

Kvadrātiskās kļūdas kvadrātsaknes normalizētā vērtība pieņem vērtības no 0 līdz 1, jo tuvāk vērtība ir nullei, jo labāk regresijas modelis prognozē atkarīgās mainīgās vērtību.

Regresijas standartkļūda novērtē, cik vidēji atšķiras atkarīgā mainīgā vērtības no tās prognozētajām vērtībām. Lineārās regresijas standartkļūdu aprēķina, izmantojot

formulu (1.5.) (Pardoe, 2020). Regresijas standartklūda ņem vērā brīvības pakāpes (Bruce, Bruce u.c., 2020).

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-k-1}} \quad (1.5.)$$

kur s – standartklūda; Y_i – atkarīgā mainīgā faktiskā vērtība; \hat{Y}_i – atkarīgā mainīgā prognozētā vērtība; n – novērojumu skaits; k – neatkarīgo mainīgo skaits.

Cēloņsakarība starp mainīgajiem var būt nejauša. Vienas mainīgās izmaiņas var izraisīt citas mainīgās izmaiņas, vai arī abu mainīgo izmaiņas var notikt vienlaicīgi bez cēloņsakarības. Lai noteiktu, vai saikne starp mainīgajiem ir nejauša vai nē, tiek izmantota lineārās regresijas analīze. Šajā analīzē tiek veikts statistiskais tests, lai pārbaudītu, vai vienas mainīgās izmaiņas statistiski nozīmīgi ietekmē citas mainīgās izmaiņas. Kā arī parauga analīzes rezultāti var būt pakļauti nezināmiem variācijām, kas ne vienmēr atspoguļo visu populācijas patiesās īpašības. Lai pārbaudītu, kādā diapazonā ar noteiktu varbūtību atrodas populācijas parametra patiesā vērtība, tiek izmantoti ticamības intervāli un statistiskie testi (Nield, 2022).

Individuālos regresijas parametru testus izmanto, lai pārbaudītu katru regresijas koeficientu statistiskā nozīmīguma ziņā atsevišķi. Nulles hipotēze apgalvo, ka regresijas koeficients ir nulle, tādējādi nav būtiska ietekme uz atkarīgo mainīgo, bet alternatīvā hipotēze apgalvo, ka regresijas koeficients nav vienāds ar nulli un tai ir būtiska ietekme uz atkarīgo mainīgo (Pardoe, 2020). Izvērtējot p-vērtību, tiek noteikts regresijas koeficienta statistiskā nozīmīguma līmenis (Bruce, Bruce u.c., 2020). Ja p-vērtība ir mazāka par izvēlēto nozīmīguma līmeni, piemēram, 0.05, nulles hipotēze tiek noraidīta un tiek pieņemta alternatīvā hipotēze. t-testu aprēķina, izmantojot formulu (1.6.).

$$t = \frac{\hat{b}_i - b_i}{s_{\hat{b}_i}} \quad (1.6.)$$

kur t – regresijas koeficienta statistika; \hat{b}_i – regresijas koeficienta vērtība; b_i – nulles hipotēzes stāvoklis; $s_{\hat{b}_i}$ – regresijas koeficienta standartklūda.

Lai pieņemtu vai noraidītu nulles hipotēzi, izmanto t-sadalījumu. Ja t-vērtība atrodas nulles hipotēzes noraidīšanas diapazonā un p-vērtība ir mazāka par izvēlēto nozīmīguma līmeni, tas nozīmē, ka neatkarīgajam mainīgajam ir statistiski nozīmīga ietekme uz atkarīgo mainīgo (Pardoe, 2020).

Determinācijas koeficients norāda, cik labi neatkarīgā mainīgā variācija tiek izskaidrota, izmantojot regresijas modeli. Koeficienta vērtības ir diapazonā no 0 līdz 1, jo tuvāk vērtība ir 1, jo labāk regresijas modelis izskaidro atkarīgā mainīgā variāciju. Determinācijas koeficientu aprēķina, izmantojot formulu (1.7.) (Bruce, Bruce u.c., 2020).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (1.7.)$$

kur R^2 – determinācijas koeficients; n – novērojumu skaits; Y_i – atkarīgā mainīgā faktiskā vērtība; \hat{Y}_i – atkarīgā mainīgā prognozētā vērtība; \bar{Y} – atkarīgā mainīgā vidējā vērtība.

Vispārējā regresijas modeļa nozīmīguma testu izmanto, lai vienlaikus pārbaudītu visu regresijas koeficientu nozīmīgumu. Nulles hipotēze apgalvo, ka visi regresijas koeficienti ir vienādi ar nulli un neviens no neatkarīgajiem mainīgajiem nav statistiski nozīmīgs, neietekmējot atkarīgo mainīgo. Alternatīvā hipotēze apgalvo, ka vismaz viens neatkarīgais mainīgais ir statistiski nozīmīgs un ietekmē atkarīgo mainīgo. F–testu aprēķina pēc formulas (1.8.) (Pardoe, 2020).

$$F = \frac{R^2/k}{(1-R^2)/(n-k-1)} \quad (1.8.)$$

kur F – testa vērtība; R^2 – determinācijas koeficients; n – novērojumu skaits; k – pilnā modeļa neatkarīgo mainīgo daudzums.

Lai pieņemtu vai noraidītu nulles hipotēzi, izmanto F-sadalījumu. Ja F-vērtība atrodas nulles hipotēzes noraidīšanas diapazonā un p-vērtība ir mazāka par izvēlēto nozīmīguma līmeni, tas nozīmē, ka vismaz vienam neatkarīgam mainīgajam ir statistiski nozīmīga ietekme uz atkarīgo mainīgo (Pardoe, 2020).

Pirms daudzfaktoru lineārās regresijas modeļa izveides pārbauda neatkarīgos mainīgos uz savstarpējo korelāciju. Ja starp diviem vai vairākiem neatkarīgiem mainīgajiem konstatēta spēcīga savstarpēja korelācija, tad no šiem korelējošajiem mainīgajiem viens tiks iekļauts daudzfaktoru regresijas modelī (Lee, Hong u.c., 2015). Korelācija starp neatkarīgajiem mainīgajiem negatīvi ietekmē mainīgo nozīmīguma novērtējumu. Pīrsona korelācijas koeficients ļauj novērtēt, cik stipri dati ir saistīti viens ar otru, un tiek aprēķināts, izmantojot formulu (1.9.). Korelācijas koeficienta vērtības ir diapazonā no -1 līdz 1, jo tuvāk vērtība ir nullei, jo vājāka ir attiecība starp mainīgajiem. Iespējams, ka datu korelācija ir nejauša (Nield, 2022).

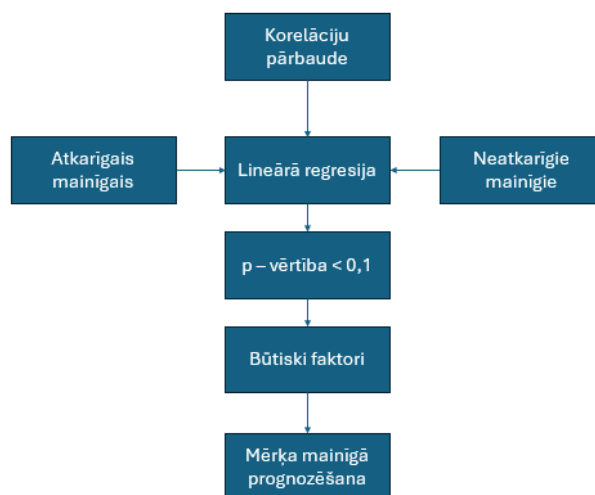
$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \sqrt{n \sum y^2 - (\sum y)^2}} \quad (1.9.)$$

kur r – korelācijas koeficienta vērtība; x – viena mainīgā vērtība; y – otrā mainīgā vērtība; n – novērojumu skaits.

Pēc savstarpējās korelācijas pārbaudes tiek izveidots regresijas modelis, un neatkarīgie mainīgie tiek pārbaudīti attiecībā uz nozīmīguma līmeni. Ja neatkarīgā mainīgā nozīmīguma līmenis ir lielāks vai vienāds ar izvēlēto nozīmīguma līmeni, tad šādi mainīgie tiek izslēgti no daudzfaktoru lineārās regresijas modeļa (Lee, Hong u.c., 2015). Tādējādi šie neatkarīgie mainīgie nav statistiski nozīmīgi un būtiski neietekmē atkarīgo mainīgo variāciju.

1.3. Izvēlētā ceļu sastrēgumu līmeņa analīzes metode

Daudzfaktoru lineārā regresija ir viena no metodēm ceļu sastrēgumu līmeņa prognozēšanai (Falahatraftar, Pierre u.c., 2020), izmantojot vēsturiskos datus par atbilstošiem faktoriem, kas var ietekmēt ceļu sastrēgumus, un atbilstošus datus par ceļu sastrēgumu līmeņa mērījumiem. Pirms modeļa izveidošanas neatkarīgie mainīgie tiek pārbaudīti uz savstarpējo korelāciju (Lee, Hong u.c., 2015), un ja starp neatkarīgajiem mainīgajiem tiek konstatēta savstarpēja korelācija, savstarpēji korelējošie mainīgie tiek aizstāti ar vienu no tiem, lai nodrošinātu pareizu regresijas koeficientu nozīmīguma novērtējumu. Izmantojot mazāko kvadrātu metodi, tiek atrasti regresijas koeficienti, ar kuriem modeļa prognožu kļūda ir minimāla (Bruce, Bruce u.c., 2020). Paši regresijas koeficienti tiek pārbaudīti uz nozīmīguma līmeni, lai noskaidrotu, kuri no tiem nozīmīgi ietekmē mērķa mainīgo, izmantojot gan individuālo nozīmīguma testu, gan vispārējo regresijas koeficientu nozīmīguma testu (Pardoe, 2020). Nozīmīgie neatkarīgie mainīgie tiek pievienoti daudzfaktoru lineārās regresijas modelim kopā ar mērķa mainīgo, un tiek veikta mērķa mainīgā prognoze (Falahatraftar, Pierre u.c., 2020). Vidējās kvadrātiskās kļūdas kvadrātsakne ļauj novērtēt prognožu precizitāti un salīdzināt to ar citu regresijas modeļu prognožu precizitāti (Bruce, Bruce u.c., 2020). Determinācijas koeficients parāda, cik lielā mērā izveidotais modelis izskaidro mērķa mainīgā variāciju (Bruce, Bruce u.c., 2020). Izmantojot iegūto informāciju, Rīgas ielu sastrēgumi tiks analizēti, izmantojot shēmu, kas attēlota 1.2. attēlā.



1.2. att. Iegūta analizēšanas shēma

1.4. Darbā izmantotie analīzes rīki

Python (Turner, 2023) programmēšanas valoda nodrošina plašas iespējas darbam ar datu kopām un to analīzi. Openpyxl bibliotēka (Gazoni & Clark, 2023) ļauj lasīt informāciju no Excel failiem, mainīt šūnu vērtības, apvienot datus no dažādām datu kopām pēc datuma un laika, kā arī veikt citas darbības, kas saistītas ar Excel failu rediģēšanu un apstrādi. Datetime ir iebūvētā Python bibliotēka. Datetime bibliotēkas funkcionalitāte ļauj noteikt noteiktu datuma nedēļas dienu un pašreizējo laiku (Turner, 2023). Requests bibliotēka ļauj nosūtīt HTTP pieprasījumus un saņemt informāciju no tīmekļa servisiem (Reitz, Benfield u.c., 2011). Viena no formātiem, kādā tiek saņemti dati no tīmekļa servisiem, ir JSON formāts, kuru apstrādā Json, Python iebūvētā bibliotēka (Turner, 2023). Pandas bibliotēkai ir funkcijas, kas ļauj nolasīt informāciju no Excel failiem, un tās sniedz informāciju par datu paraugiem. Izmantojot Pandas, tiek izvēlēta kolonna ar mērķa mainīgām mērījumu vērtībām, un tiek izvēlētas kolonnas ar neatkarīgām mainīgām mērījumu vērtībām (McKinney, 2022). Scikit-learn (Boisberranger, Bossche u.c., 2022) bibliotēkas funkcija `train_test_split()` ļauj sajaukt datus, kuri tiek nolasīti, izmantojot pandas bibliotēku, un pēc tam sadalīt tos apmācības un testa datu kopās. Statsmodels modulis ļauj izveidot daudzfaktoru lineāro regresijas modeli un izmantot mazāko kvadrātu metodi, lai novērtētu modeļa koeficientus. Turklāt statsmodels modulis piedāvā iespēju aprēķināt regresijas koeficientu p-vērtības un t-statistikas, lai novērtētu to nozīmīgumu modelī, kā arī novērtēt visa modeļa nozīmīgumu, izmantojot F-statistiku. Lai novērtētu modeļa spēju izskaidrot mērķa

mainīgās variāciju, statsmodels modulis piedāvā funkciju, kas aprēķina determinācijas koeficientu (Perktold, Seabold u.c., 2019).

2. PĒTĪJUMĀ IEKĻAUJAMO DATU APSTRĀDE

2.1. Datu ieguve

2.1.1. Satiksmes sastrēgumu dati

Datu kopas par sastrēgumiem nosaukums ir traffic_jams.xlsx. Novērojamie objekti ir Rīgas ielas, kurās bija novērota sastrēgumu klātbūtne. Informācija par sastrēgumiem ietver ielas nosaukumu, datumu, laiku, sastrēguma garumu, aizkavējuma laiku sastrēgumā un kustības ātrumu sastrēgumā. Datus sniedza Rīgas pašvaldība un apkopoja, izmantojot Waze platformu. Informācija par datu atribūtiem ir redzama 2.1. tabulā.

2.1. tabula

Sastrēgumu datu analīze

Atribūts	Iespējamās vērtības	Apraksts
obj_id	496, 499, 495, 500, 498, 361, 363, 471, 611, 615, 526	Identifikācijas numurs. Norāda uz sastrēgumu objektu, kas novērots vienā no Rīgas ielām.
date	28.02.2023 – 04/05/2024	Norāda dienu, kad ir novērots sastrēgums.
hour	0 – 23	Norāda diennakts laiku, kad ir novērots sastrēgums, piemēram, 14 nozīmē, ka sastrēgums fiksēts no 14:00 līdz 15:00.
length	45 – 5368	Ceļa sastrēguma garums, metros
delay	-1 – 4142	Laika aizkavējums sastrēgumā, minūtēs
speed	0 – 34.27	Ātrums sastrēgumā kilometros stundā

Pirmie 10 datu paraugi attēloti (2.1. att.).

	A	B	C	D	E	F
1	obj_id	date	hour	length	delay	speed
2	499	16/09/2022	14	254	68	6.25
3	499	16/09/2022	14	239	324	2.15
4	499	16/09/2022	14	239	228	2.8
5	499	16/09/2022	14	351	339	2.9
6	499	16/09/2022	14	351	319	3.1
7	499	16/09/2022	14	292	79	7.97
8	498	16/09/2022	15	286	86	7.39
9	498	16/09/2022	15	286	74	8.1
10	499	16/09/2022	15	351	319	3.1

2.1. att. Pirmie datu ieraksti

Sastrēgumu datu kopā vienā stundā var būt fiksēti vairāki sastrēguma parametru mērījumi. Sastrēgumu datu kopai ir pievienots fails monitoring_objects.xlsx, kura saturs ir attēlots 2.2. attēlā. Datu kopā par sastrēgumiem trūkst datu tad, kad sastrēgumus nav.

id	name	st_asgeojson
496	176 GP Ka	{"type": "MultiLineString", "coordinates": [[[24.197147654, 56.929527295], [24.197854435, 56.929791329], [24.
499	088 Ernest	{"type": "MultiLineString", "coordinates": [[[24.125218101, 56.948141703], [24.125009031, 56.948746734], [24.
495	013 Krišjā	{"type": "MultiLineString", "coordinates": [[[24.131670547, 56.968644745], [24.132307438, 56.969435317], [24.
500	323 Ūnijaš	{"type": "MultiLineString", "coordinates": [[[24.185450748, 56.959242647], [24.18579772, 56.959502039], [24.1
498	268 Hanzā	{"type": "MultiLineString", "coordinates": [[[24.103073899, 56.962728732], [24.103375108, 56.962749824], [24.

2.2. att. Informācija par novērojamiem sastrēgumu objektiem

Failā monitoring_objects.xlsx ir ielas nosaukums un koordinātas, kas ir GeoJSON formātā, identifikācijas numurs, kas atbilst konkrētam identifikācijas numuram datu kopā traffic_jams.xlsx. Kartē koordinātu punktu attēlošanai tiek izmantoti šādi rīki:

- Serviss Open Google Maps API piedāvā funkcionalitāti, lai attēlotu koordinātu punktus interaktīvajā kartē;
- HTML programmēšanas valoda tiek izmantota, lai izveidotu lapu, kurā tiks parādīta interaktīva karte;
- CSS programmēšanas valoda tiek izmantota, lai pielāgotu kartes attēlojuma parametrus;
- JavaScript programmēšanas valodu izmanto, lai ielādētu un attēlotu interaktīvo karti, norādot koordinātu punktus.

A map showing the intersection of Ozolciema iela and Mežkalna iela. The intersection is highlighted with a red rectangle. To the left, a yellow road is labeled 'MĀRUPES MUNICIPLĪBĀ' and 'RĪGA'. Below it, a road is labeled 'Vienības gat.'. To the right, a yellow building is labeled 'J&J Beauty salons'. Below it, a green building is labeled 'Firstake Solutions'. The map also shows other streets like 'Izsoles iela' and 'Ozolciema iela'.



2.5. att. Pārējie objekti

Visa datu kopa, kas ietver visus ceļu satiksmes sastrēgumu objektus, tika sadalīta atsevišķos objektos, kas atbilst konkrētām ielām, kurās tika novēroti satiksmes sastrēgumi.

Datu kopā Katlakalna ir 3454 datu paraugi, 2.2. tabulā ir sniegta informācija par iegūtajiem datiem.

2.2. tabula

Katlakalna datu kopa

Atribūts	Iespējamās vērtības
Identifikācijas numurs	496
Datums	28/02/2023 – 12.02.2024
Dienas stunda	0 – 23
Sastrēguma garums	68 – 1082
Aizkavējums sastrēgumā	41 – 870
Ātrums sastrēgumā	0.56 – 24.90

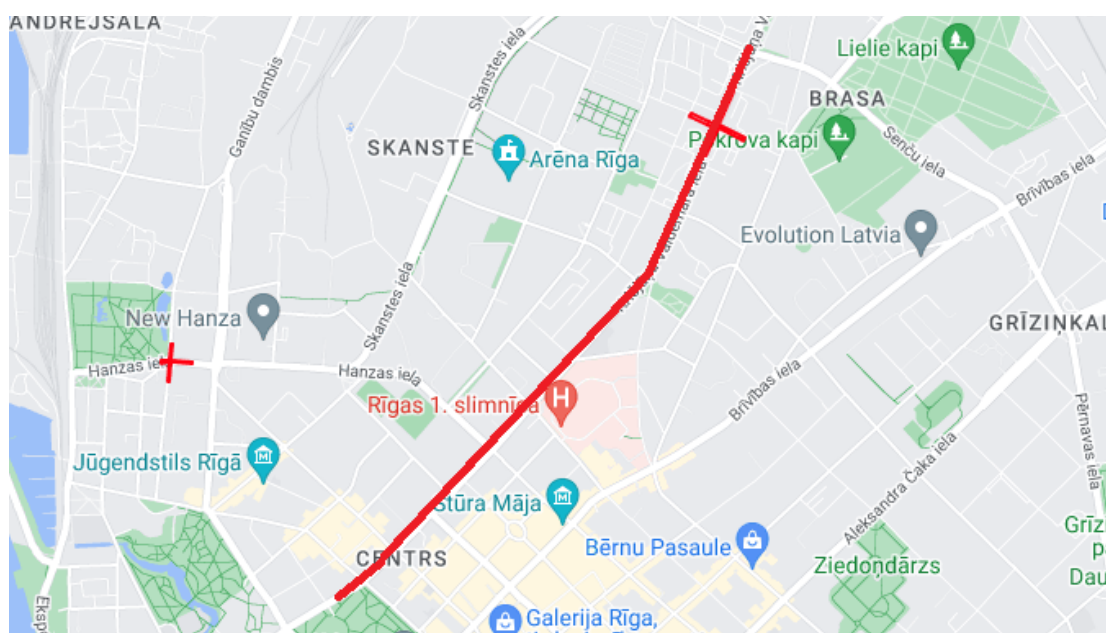
2.1.2. Ceļu satiksmes negadījumu dati

Viens no faktoriem, kas ietekmē sastrēguma līmeni, ir ceļu satiksmes negadījumi (Zheng, Wang u.c., 2020). Dati par ceļu satiksmes negadījumiem ņemti no Latvijas transportlīdzekļu apdrošinātāju biroja tīmekļa vietnes. Lai iegūtu

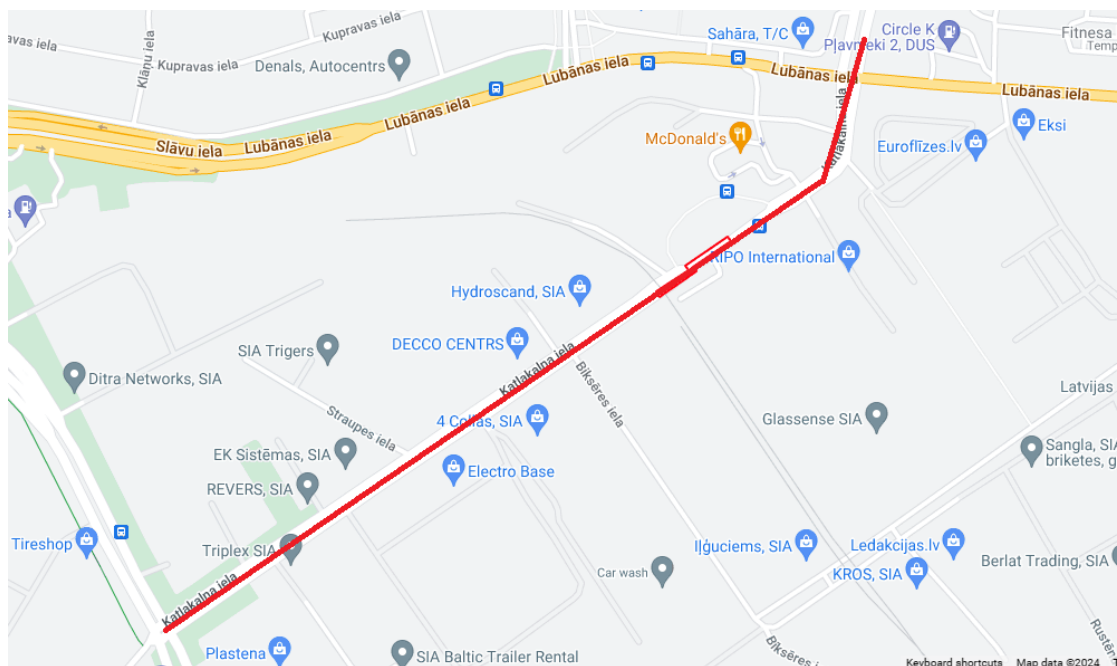
nepieciešamos datus, tika izstrādāta programma Python valodā. Programmā var norādīt laiku un vietu, kur meklēt negadījumus, ievadot koordinātas un laika intervālus:

```
url = 'https://map.ltab.lv/Accidents'
headers = {'Accept': 'application/json'}
data = {'minx': '24.187695', 'miny': '56.925987', 'maxx': '24.197758', 'maxy':
'56.929909',
        'zoom': '15', 'pp': ' ', 'period': '99', 'time': '0', 'regbase': '0', 'dateFrom':
'11.01.2024',
        'timeFrom': '00:00', 'timeTill': '23:59', 'dateTill': '12.02.2024', 'amount': '0'}
def response_accidents(url, headers, data):
    response = requests.post(url=url, headers=headers, data=data)
    return response.text
response = response_accidents(url, headers, data)
data = json.loads(response)
```

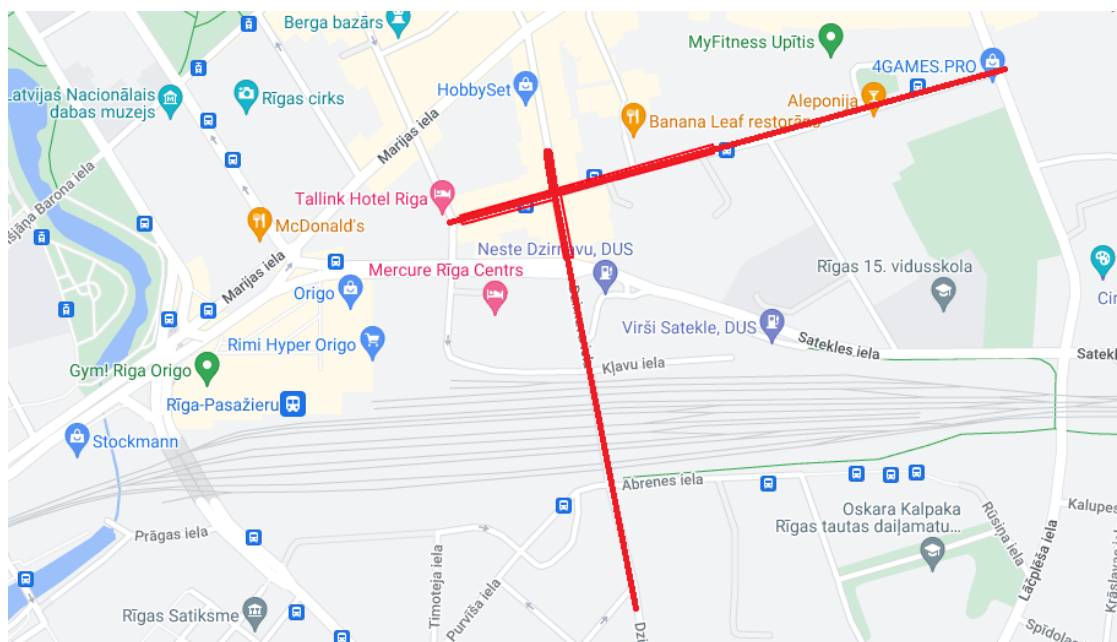
Iegūtie dati satur informāciju par negadījuma identifikācijas numuru, laiku un datumu. Attēlos 2.6., 2.7. un 2.8. ir attēloti posmi, kuros bija novēroti ceļu satiksmes negadījumi, un šie negadījumi iekļauti pētījumā. Katram sastrēguma objektam ir izvēlēts atbilstošs posms, kurā negadījumi novēroti tuvu sastrēguma objektam un tā teritorijā. Informācija par ceļu satiksmes negadījuma smagumu, kā arī par transportlīdzekļu tipu un to skaitu, nav sniegta. Pētījumā tika iekļauti visi iespējamie ceļu satiksmes negadījumi.



2.6. att. Negadījumi Krišjāņa Valdemāra – Ēveles ielās



2.7. att. Negadījumi Katlakalna ielā



2.8. att. Negadījumi Ernesta Birznieka – Upīša – Dzirnava ielās

Izvēloties teritoriju, kurā novērots satiksmes negadījums, ir ņemta vērā sastrēguma objekta ģeometrija un maksimālais iespējamais sastrēguma garums katrā ielā.

2.1.3. Meteo dati

Laika apstākļi ir viens no faktoriem, kas ietekmē satiksmes sastrēgumu līmeni (He, Ren u.c., 2022). Dati par laika apstākļiem atrodas Latvijas atvērto datu portāla tīmekļa vietnē un tiek sniegti Latvijas vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centra. Rīgas meteoroloģiskā stacija saucas RĪGASLU. Ar Python programmas palīdzību dati tika iegūti un pārveidoti piemērotā formātā. Dati satur informāciju par meteoroloģiskās stacijas nosaukumu un laika apstākļiem. Informācija par pētītajiem laika apstākļiem ir redzama 2.3. tabulā.

2.3. tabula

Informācija par laikapstākļu datiem

Tips	Abreviatūra	Mērvienība	Apraksts
Gaisa temperatūra	TDRY	Celsija grādi	Gaisa temperatūra, faktiskā
Vēja brāzma	HWSMX	Metri sekundē	Vēja brāzma, stundas maksimālā
Nokrišņu daudzums	HPRAB	Milimetri	Lietus nokrišņu daudzums, stundas summa
Sniega segas biezums	SNOWA	Centimetri	Sniega segas biezums, faktiskais

Programmas kodā, norādot abreviatūru, meteoroloģiskās stacijas nosaukumu, laika intervālu un datumu, dati par laikapstākļiem tiks iegūti un saglabāti piemērotā formātā:

```
url = "https://data.gov.lv/dati/api/3/action/datastore_search_sql"
params = {
    "sql": "SELECT * from \"ecc62e27-2071-483c-bca9-5e53d979faa8\" WHERE \"ecc62e27-2071-483c-bca9-5e53d979faa8\".\"ABBREVIATION\" = 'SNOWA' AND \"ecc62e27-2071-483c-bca9-5e53d979faa8\".\"STATION_ID\" = 'RIGASLU' AND \"ecc62e27-2071-483c-bca9-5e53d979faa8\".\"DATETIME\" BETWEEN '2023-02-19T14:00:00' AND '2024-02-12T18:00:00'"}
response = requests.get(url, params=params)
data = response.json()[\"result\"][\"records\"]
df = pd.DataFrame(data)
```



```
df = df[["DATETIME", "VALUE"]]
df.to_excel("SNOWA.xlsx", index=False)
```

Iegūtā datu kopa ietvēra laiku un datumu, kad veikts konkrētais laikapstākļu mērījums, un mērījuma rezultātu. Ja mērījums ir faktisks, tas tiek reģistrēts stundas beigās, savukārt, ja mērījums nav faktisks, tas tiek reģistrēts stundas sākumā.

Avotā agrākās datu ieraksti sākas ar 2023. gada 28. februāri, un katru dienu agrākais ieraksts tiek dzēsts no arhīva, bet jauni dati tiek pievienoti. Tas nozīmē, ka maksimālais laika apstākļu datu skaits, ko var iegūt, ir tikai par vienu gadu. Tāpēc laika apstākļu datu kopas tika saglabātas, kur agrākais ieraksts ir fiksēts uz 2023. gada 28. februāri.

2.1.4. Svētku dienu un skolēnu brīvdienu dati

Noteikti notikumi (Chow, Santacreu u.c., 2013), svētki, dienas pirms vai pēc svētkiem (Wen, Sun u.c., 2014) un skolēnu brīvdienas (Lu, Sun u.c., 2017) ietekmē ceļu sastrēgumu līmeni. Svētku un skolēnu brīvdienu dati par 2023. un 2024. gadu ņemti no interneta avota Kalendārs. Pētījumā iekļauti dati par oficiālajiem svētkiem, dienām pirms un pēc oficiālajiem svētkiem, citiem populāriem neoficiālajiem svētkiem, skolēnu brīvdienām un dažādiem notikumiem Rīgas pilsētā, piemēram, festivāliem, jaunā gada svinībām, skrējienu čempionātiem Rīgā vai ziemas un vasaras riepu izmantošanas sezonas beigām autovadītājiem. 2.4. tabulā redzami oficiālo svētku piemēri un 2.5. tabulā redzami skolēnu brīvlaika datumi un to ilguma intervāli.

2.4. tabula

Dati par oficiālajiem svētkiem

Nr. p. k.	Datums	Nosaukums/Apraksts
1.	07/04/2023	Lielā Piektdiena
2.	09/04/2023	Pirmās Lieldienas
3.	10/04/2023	Otrā Lieldienu diena
4.	01/05/2023	Darba svētki
5.	04/05/2023	Latvijas Republikas Neatkarības atjaunošanas diena

2.4. (tabulas turpinājums)**Dati par oficiālajiem svētkiem**

Nr. p. k.	Datums	Nosaukums/Apraksts
6.	05/05/2023	Darba diena pārcelta uz sestdienu 20.05.2023
7.	29/05/2023	Diena, kad Latvijas hokeja komanda ieguva bronzas medaļu 2023. gada Pasaules hokeja čempionātā
8.	23/06/2023	Līgo diena
9.	24/06/2023	Jāņu diena
10.	10/07/2023	Brīvdiena, jo 9. jūlijs iekrīt svētdienā
11.	18/11/2023	Latvijas Republikas Proklamēšanas diena
12.	20/11/2023	Brīvdiena, jo 18. novembris iekrīt sestdienā
13.	24/12/2023	Ziemassvētku vakars
14.	25/12/2023	Pirmie Ziemassvētki
15.	26/12/2023	Otrie Ziemassvētki
16.	31/12/223	Vecgada diena
17	01/01/2024	Jaungada diena
18.	29/03/2024	Lielā Piektdiena
19.	31/03/2024	Pirmās Lieldienas
20.	01/04/2024	Otrā Lieldienu diena
21.	01/05/2024	Darba svētki, Latvijas Republikas Satversmes sapulces sasaukšanas diena

2.4. (tabulas turpinājums)

Dati par oficiālajiem svētkiem

Nr. p. k.	Datums	Nosaukums/Apraksts
22.	04/05/2024	Latvijas Republikas Neatkarības atjaunošanas diena

Oficiālo svētku datumi, piemēram, Lieldienu dienas, mainās atkarībā no 2023. un 2024. gada.

2.5. tabula

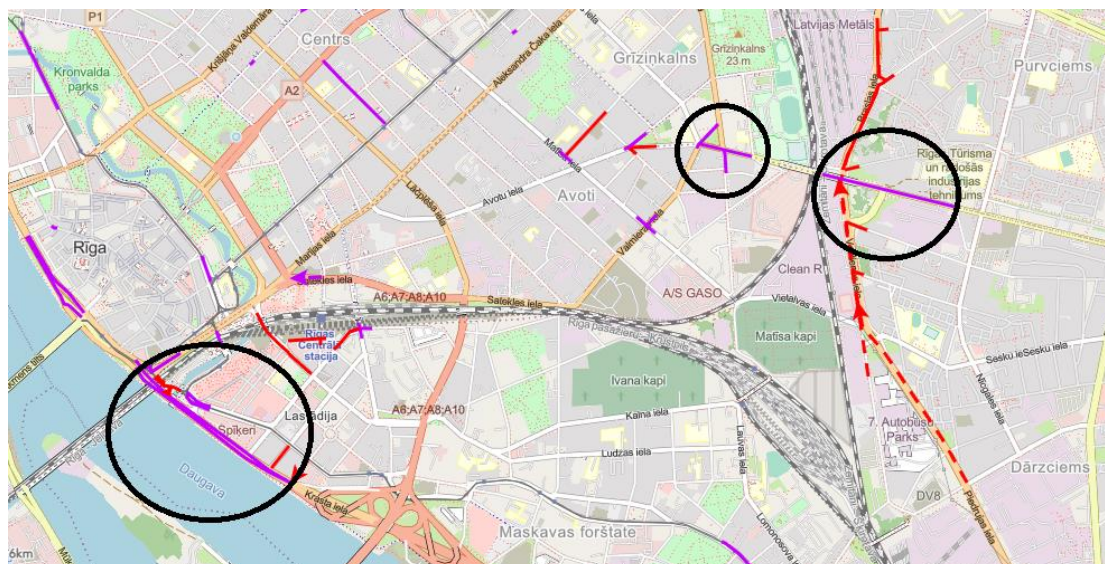
Skolēnu brīvdienu dati

Nr. p. k.	Datums	Apraksts
1.	13/03/2023 – 17/03/2023	Skolēnu pavasara brīvlaiks
2.	23/10/2023 – 27/10/2023	Skolēnu rudens brīvlaiks
3.	25/12/2023 – 05/01/2024	Skolēnu ziemas brīvlaiks
4.	11/03/2024 – 15/03/2024	Skolēnu pavasara brīvlaiks

2.1.5. Dati par remontdarbiem

Vēl viens faktors, kas ietekmē ceļa sastrēguma līmeņa variāciju, ir ceļu darbi (Chow, Santacreu u.c., 2013). Dati par remontdarbiem iegūti no Rīgas pilsētas pašvaldības ārtelpas un mobilitātes departamenta tīmekļa vietnes, un attēloti 2.9. attēlā. Pētījumā iekļautas trīs ielas, kurās veikti remontdarbi:

- Ceļa remontdarbi veikti tilta Augusta Deglava ielā no 2022. gada 10. janvāra līdz 2023. gada 30. oktobrim.
- Ceļa remontdarbi veikti Augusta Deglava un Valmieras ielās no 2023. gada 3. marta līdz 2023. gada 30. jūnijam.
- Ceļa remontdarbi Ģenerāļa Radziņa krastmalā tika veikti no 2023. gada 13. februāra līdz 2023. gada 8. oktobrim.



2.9. att. Remontdarbu objekti

Visās ielās, kurās veikti remontdarbi, satiksme bija daļēji ierobežota. Piemēram, Ģenerāļa Radziņa krastmalā satiksme pa joslām no pilsētas centra bija ierobežota un novirzīta uz blakus joslū teritorijā no 13. janvāra ielas līdz Jēzusbaznīcas ielai.

2.2. Datu sagatavošana modelim

Pirms datu analīzes sastrēgumu un faktoru datu kopas, kas var ietekmēt ceļu sastrēguma līmeni, datu kopas tiek apvienotas vienā datu kopā katram sastrēguma objektam atsevišķi. Laika apstākļu dati tiek apvienoti ar sastrēgumu datu kopām, ņemot vērā notikumu laiku un datumu. Ceļu satiksmes negadījumu datu kopas tiek apvienotas šādi: ja negadījums notiek pirmajā stundas pusē, tad dati tiek apvienoti ar sastrēgumu datiem pēc attiecīgā datuma un laika, bet ja negadījums notika otrajā stundas pusē, tad negadījuma dati pārceļti par vienu stundu uz priekšu, ņemot vērā, ka ceļu satiksmes negadījumu novēršanas laiks var būt aptuveni 1 stunda. Datu kopas par oficiālajiem svētkiem, neoficiālajiem svētkiem, dienām pirms un pēc oficiālajiem svētkiem un notikumiem Rīgas pilsētā tika apvienotas ar sastrēgumu datu kopām, atbilstoši dienas datumam, 3.10. att. ir redzama apvienotā ceļa sastrēgumu datu kopa ar citiem datiem.

1	obj_id	date	hour	length	delay	speed	temp	wind	rain	snow	accidents	red_holid	citi_holid	notikumi	skolenu	fweek	day	red	before	after
2	496	28/02/202	17	389	98	8.96	2.9	9.9	0	3	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
3	496	28/02/202	17	433	123	8.4	2.9	9.9	0	3	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
4	496	28/02/202	17	433	158	7.1	2.9	9.9	0	3	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
5	496	28/02/202	17	433	120	8.6	2.9	9.9	0	3	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
6	496	28/02/202	17	389	73	10.6	2.9	9.9	0	3	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
7	496	01/03/202	17	389	80	10.12	2.8	9.2	0	2	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0
8	496	01/03/202	17	389	84	9.8	2.8	9.2	0	2	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0
9	496	01/03/202	17	389	79	10.2	2.8	9.2	0	2	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0
10	496	01/03/202	17	389	70	10.9	2.8	9.2	0	2	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0
11	496	02/03/202	17	433	99	9.71	4.8	8.2	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
12	496	02/03/202	17	503	158	8.1	4.8	8.2	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
13	496	02/03/202	17	677	228	7.9	4.8	8.2	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
14	496	02/03/202	17	712	275	7.2	4.8	8.2	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
15	496	02/03/202	17	624	178	8.8	4.8	8.2	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
16	496	02/03/202	17	433	104	9.4	4.8	8.2	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
17	496	03/03/202	17	389	87	9.66	4.1	11.3	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0
18	496	03/03/202	17	433	106	9.3	4.1	11.3	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0
19	496	03/03/202	17	389	103	8.7	4.1	11.3	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0
20	496	06/03/202	17	389	91	9.41	-1.4	9.5	0	7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
21	496	06/03/202	17	389	123	7.7	-1.4	9.5	0	7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
22	496	06/03/202	17	389	123	7.7	-1.4	9.5	0	7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

2.10. att. Apvienotas datu kopas piemērs

Katru apvienoto datu kopu veido 3 mainīgie, kas raksturo satiksmes sastrēgumus: kustības ātrums sastrēgumā, sastrēguma garums un aizkavēšanās laiks sastrēgumā. Turklāt ir 13 faktori, kas var ietekmēt satiksmes sastrēgumus, tostarp dienas stunda, gaisa temperatūra, vēja brāzmas, lietus un sniega nokrišņi, ceļu satiksmes negadījumi, oficiālie un neoficiālie svētki, dienas pirms un pēc oficiālajiem svētkiem, skolēnu brīvdienas, nedēļas diena un notikumi Rīgas pilsētā. 2.6. tabulā ir aprakstīts Katlakalna datu kopas katrs atribūts pēc datu kopu apvienošanas.

2.6. tabula

Datu atribūtu apraksts

Atribūts	Iespējamās vērtības	Atribūtu tips	Apraksts
object_id	496	Kvalitatīva vērtība	Sastrēguma objekta identifikācijas numurs
date	28/02/2023 – 12/02/2024	Kvalitatīva vērtība	Datums
hour	0 – 23	Kvalitatīva vērtība	Dienas stunda
length	68 – 1082	Kvantitatīvā vērtība	Korķa garums
delay	41 – 870	Kvantitatīvā vērtība	Laika aizkavējums sastrēgumā
speed	0.56 – 24.90	Kvantitatīvā vērtība	Kustības ātrums sastrēgumā
temp	-13.3 – 27.8	Kvantitatīvā vērtība	Gaisa temperatūra
wind	1.5 – 17.4	Kvantitatīvā vērtība	Vēja brāzmas
rain	0 – 6.2	Kvantitatīvā vērtība	Lietus nokrišņi
snow	0 – 24	Kvantitatīvā vērtība	Sniega nokrišņi
accidents	0, 1	Kvalitatīva, binārā vērtība	Ceļu satiksmēs negadījumi
notikumi	0, 1	Kvalitatīva, binārā vērtība	Notikumi Rīgas pilsētā
citi_holidays	0, 1	Kvalitatīva, binārā vērtība	Neoficiālie svētki

2.6. (tabulas turpinājums)**Datu atribūtu apraksts**

Atribūts	Iespējamās vērtības	Atribūtu tips	Apraksts
red_holidays	0, 1	Kvalitatīva, binārā vērtība	Oficiālie svētki
skolenu_holidays	0, 1	Kvalitatīva, binārā vērtība	Skolēnu brīvdienas
week_day	0 – 7	Kvalitatīva vērtība	Nedēļas diena
red_after	0, 1	Kvalitatīva, binārā vērtība	Diena pirms oficiālajiem svētkiem
red_before	0, 1	Kvalitatīva, binārā vērtība	Diena pēc oficiālajiem svētkiem

3. SASTRĒGUMUS IETEKMĒJOŠO FAKTORU ANALĪZE

Lai analizētu datus par sastrēgumiem attiecīgajās Rīgas ielās, datu kopas tika analizētas gan atsevišķi, gan kopā, lai atrastu regresijas modeļus, kas labāk prognozē ceļu sastrēguma līmeni aprakstošos lielumus.

Dažādās datu kopās tika pētītas dažādas īpašības, kas apraksta ceļu sastrēgumu līmeni. Datu kopās Krišjāņa Valdemāra – Ēveles, Ūnijas – Stirnu, Hanzas – Rūpniecības Jaunciems un Lielirbes bija ņemts tikai sastrēgumu garums kā analizējamais sastrēguma parametrs. Ernesta Birznieka – Upīša – Dzirnavu, Katlakalna un Ozolciema datu kopās tika analizēti divi sastrēguma raksturojoši parametri: sastrēguma garums un kustības ātrums sastrēgumā. Lai noskaidrotu faktorus, kas ietekmē ceļu sastrēgumus ziemā, no datu kopām Ernesta Birznieka – Upīša – Dzirnavu, Katlakalna un Ozolciema tika izvilkti ziemas perioda dati no 1. decembra līdz 1. martam. Faktoru ietekme uz ceļu sastrēgumiem var atšķirties atkarībā no gada laika perioda (He, Yan u.c., 2016).

Pētot faktoru ietekmi uz aizkavēšanās laiku sastrēgumā, visos gadījumos regresijas modelis slikti izskaidroja aizkavēšanās laika variāciju salīdzinājumā ar citiem parametriem. Šādi rezultāti netiks parādīti šajā pētījumā.

Lai uzzinātu, kādi faktori ietekmē sastrēgumus dažādās ielās, ieskaitot Katlakalna, Hanzas – Rūpniecības, Ernesta Birznieka – Upīša – Dzirnavu, Krišjāņa Valdemāra – Ēveles un Ūnijas – Stirnu sastrēgumu datus, tie bija apvienoti vienā datu kopā turpmākai analīzei.

3.1. Datu savstarpējās korelācijas pārbaude

Pirms lineārās regresijas modeļa izveidošanas tika pārbaudīta neatkarīgo mainīgo savstarpējā korelācija, lai novērstu kolinearitāti (Lee, Hong u.c., 2015). Ja starp neatkarīgiem mainīgajiem konstatēta spēcīga savstarpējā korelācija, neatkarīgais mainīgais, kas mazāk korelē ar atkarīgo mainīgo, tiek izslēgts no daudzfaktoru lineārās regresijas modeļa. 3.1. attēlā attēlots piemērs par savstarpējās korelācijas pārbaudi Krišjāņa Valdemāra – Ēveles datu kopai, kur kā pētāmais ceļa sastrēguma raksturojums tiek ņemts sastrēguma garums. 3.1. attēlā ir redzams, ka sniega nokrišņu faktors stipri korelē ar gaisa temperatūras faktoru, tāpēc sniega nokrišņu faktors netiks iekļauts daudzfaktoru regresijas modelī Krišjāņa Valdemāra – Ēveles datu kopai, jo tas mazāk

korelē ar sastrēguma garumu. No diviem savstarpēji korelējošajiem neatkarīgajiem mainīgajiem, modelim tiek pievienots tas, kurš stiprāk korelē ar atkarīgo mainīgo, lai palielinātu modeļa prognozēšanas precizitāti.

	hour	length	delay	speed	temp	wind	rain	snow	accidents	ed_holiday	iti_holiday	notikumi	lenu_holiday	week_day	red_before	red_after
hour	1															
length	-0.21759	1														
delay	0.051192	0.347031	1													
speed	-0.24852	0.571779	-0.37691	1												
temp	0.236818	-0.27009	-0.07961	-0.08729	1											
wind	0.00278	0.274876	0.091033	0.171915	-0.05779	1										
rain	-0.02361	0.050654	0.054309	0.043837	0.054372	0.011464	1									
snow	-0.21163	0.264364	0.070821	0.118751	-0.72688	-0.05211	-0.02954	1								
accidents	0.032636	0.024268	0.009073	0.011233	-0.01643	-0.04597	0.190526	-0.01581	1							
red_holida	-0.03515	-0.01264	-0.01874	0.002823	-0.00894	-0.00938	-0.00185	-0.01381	0.011298	1						
citi_holida	0.023654	-0.08294	0.006153	-0.07069	0.05413	0.027167	-0.04367	0.008746	0.018578	-0.00822	1					
notikumi	0.026829	-0.06846	0.007858	-0.06133	0.114969	-0.00761	-0.00837	-0.02776	-0.07578	-0.0102	0.094506	1				
skolenu_hc	0.028541	-0.00952	0.000785	0.013206	-0.0661	-0.02399	-0.01793	-0.10651	0.065201	0.171246	-0.03164	-0.03926	1			
week_day	0.07554	0.028305	0.060701	-0.00164	0.019582	0.024042	-0.01179	0.029487	0.011123	-0.05747	0.09852	0.230367	0.051919	1		
red_befor	0.023831	-0.03306	-0.03568	-0.0096	0.027469	-0.04857	-0.02015	-0.06646	-0.02757	-0.00353	0.010199	-0.02327	-0.0136	0.08363	1	
red_after	0.043886	-0.06582	-0.0053	-0.06136	0.011118	0.046017	-0.02117	-0.09591	-0.03978	-0.0051	-0.02705	-0.03358	0.007706	-0.09533	-0.01163	1

3.1. att. Korelācijas pārbaude Krišjāņa Valdemāra – Ēveles datu kopai

Pārskatot neatkarīgo mainīgo korelāciju ar atkarīgo mainīgo, spēcīgas korelācijas netika atrastas. 3.1. attēlā gaisa temperatūras, vēja brāzmas un sniega nokrišņu faktori parādīja visaugstāko korelāciju ar atkarīgo mainīgo, pārsniedzot 26%. Turklāt šie faktori vājāk korelē ar kustības ātrumu sastrēgumā un vēl vājāk ar aizkavēšanās laiku sastrēgumā. Pēc neatkarīgo mainīgo korelācijas pārbaudes secināts, ka katrs neatkarīgais mainīgais kādā mērā ir saistīts ar atkarīgo mainīgo. Tādēļ visi neatkarīgie mainīgie, kas netika izslēgti pēc korelācijas analīzes, tālāk tiek iekļauti lineārās regresijas modelī, lai noskaidrotu būtiskos faktoros, kas ietekmē ceļu sastrēgumus.

Līdzīgi kā šajā gadījumā arī visu pārējo datu kopu analīzes sākuma posmā tiek veikta gan faktoru savstarpējās, gan faktoru un mērķa mainīgā korelācijas pārbaude.

3.2. Datu kopu regresijas analīze

Katrs daudzfaktoru lineārais regresijas modelis tika izveidots, izmantojot bibliotēku Statsmodels. Lai veiktu prognozes, izmantojot daudzfaktoru lineāro regresiju, katra datu kopa tika sadalīta 70% apmācības datu kopā un 30% testa datu kopā. Lai nodrošinātu vienādus rezultātus katru reizi, kad programma tiek palaista, funkcijā `train_test_split()` izmantots parametrs `random_state=42` (Boisberranger, Bossche u.c., 2022). Modelis tiek apmācīts, izmantojot mazāko kvadrātu metodi. Kods, lai izveidotu daudzfaktoru lineāro regresijas modeli, izskatās šādi:

```
y = data['length']
```

```

X = data[['hour','wind', 'temp', 'rain', 'accidents', 'skolenu_holidays',
'citi_holidays', 'week_day', 'red_before', 'red_after', 'red_holidays', 'notikumi']]
X_intercept = sm.add_constant(X)
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X_intercept, y,
test_size=0.3, random_state=42)
model = sm.OLS(y_train, X_train)
results = model.fit()

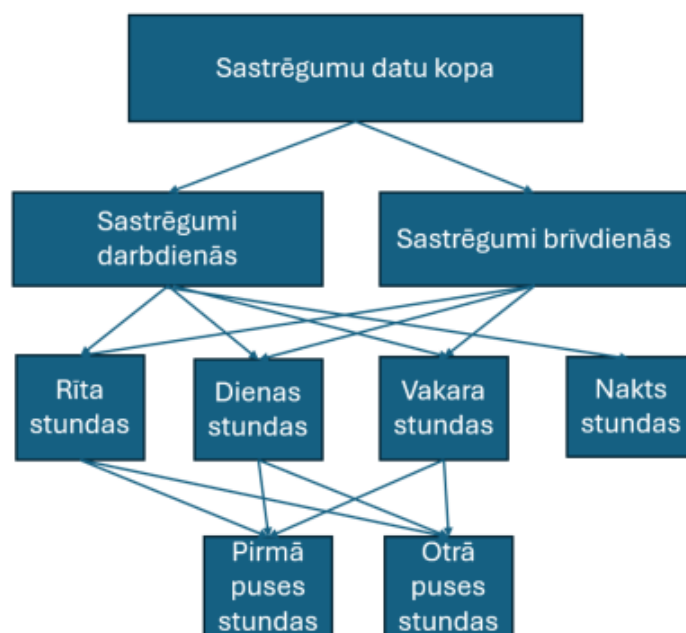
```

Katrai datu kopai, kas satur vienu sastrēguma objektu, tika izveidots savs lineārās regresijas modelis, izmantojot neatkarīgos mainīgos, kas netika izslēgti no pētījuma pēc korelācijas pārbaudes katrā attiecīgajā datu kopā. Daudzfaktoru lineārais regresijas modelis, piemēram, Krišjāņa Valdemāra – Ēveles datu kopai, ir attēlots formulā (3.1.), kur mērķa mainīgais ir sastrēguma garums.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5 + \beta_6 x_6 + \beta_7 x_7 + \beta_8 x_8 + \beta_9 x_9 + \beta_{10} x_{10} + \beta_{11} x_{11} + \beta_{12} x_{12} \quad (3.1.)$$

kur Y – atkarīgais mainīgais, ceļa sastrēguma garums; x_1 – dienas stunda; x_2 – vēja brāzmas; x_3 – gaisa temperatūra; x_4 – lietus nokrišņi; x_5 – neoficiālie svētki; x_6 – oficiālie svētki; x_7 – diena pirms oficiālajiem svētkiem; x_8 – diena pēc oficiālajiem svētkiem; x_9 – skolēnu brīvdienas; x_{10} – nedēļas diena; x_{11} – notikumi; x_{12} – ceļu satiksmēs negadījumi.

Modeļi, kas izmantoti pilnām datu kopām, kurās ir iekļauta informācija par katru novēroto satiksmes sastrēguma objektu atsevišķi, parādīja, mērķa mainīgā variācijas nevar izskaidrot vismaz par 30% izmantojot esošos prognozētāju faktoros. Ir zināms, ka faktoru ietekme uz sastrēgumiem atšķiras brīvdienās un darba dienās (He, Yan u.c., 2016). Pārbaudot sastrēguma raksturojošo parametru vidējās vērtības darba dienās un brīvdienās, tika atrastas atšķirības. Līdz ar to, apvienotās datu kopas tika sadalītas pēc brīvdienām un darba dienām. Kā arī faktori dažādi ietekmē sastrēgumus atkarībā no diennakts stundas (Akallouch, Fardousse u.c., 2023). Līdz ar to lai atrastu modeļus, kas labāk prognozē sastrēguma garumu vai kustības ātrumu sastrēgumā, katra datu kopa tika sadalīta saskaņā ar 3.2. attēlā attēloto shēmu.



3.2. att. Sadalīšanas shēma

Katra datu kopa, kas satur informāciju par atsevišķu sastrēguma objektu, tika sadalīta darba dienās un brīvdienās. Datu kopa ar mērījumiem darba dienās tika sadalīta naktī, rītos, dienās un vakaros. Datu kopa ar mērījumiem brīvdienās tika sadalīta rītos, dienās un vakaros. Pēc tam iegūtās datu kopas tika sadalītas pirmajā un otrajā daļā, izņemot nakti, jo datu kopās ar nakts stundām bija ļoti maz mērījumu. 3.1 tabulā ir redzami laika intervāli, kurās tika sadalītas iegūtās datu kopas.

3.1. tabula

Laika intervāli

Stundu intervāla nosaukums	Stundu intervāli
Nakts stundas	00:00 – 06:00
Rīta stundas, pirmā pusē	06:00 – 09:00
Rīta stundas, otrā pusē	09:00 – 11:00
Diena stundas, pirmā pusē	11:00 – 14:00
Diena stundas, otrā pusē	14:00 – 17:00
Vakara stundas, pirmā pusē	17:00 – 20:00
Vakara stundas, otrā pusē	20:00 – 00:00

Datu kopās, kur tika pētīta faktoru ietekme uz ceļa sastrēgumiem ziemas periodā, ja vienā un tajā pašā laika posmā tika atrasts modelis, kur mērķa mainīgais ir kustības ātrums sastrēgumā, un modelis, kur mērķa mainīgais ir sastrēguma garums, kuriem vienlaikus determinācijas koeficients ir lielāks vai vienāds ar 0.3, rezultāts tika ierakstīts tikai vienam modelim, kuram determinācijas koeficients ir lielāks.

Darba gaitā tika pārskatīts liels skaits dažādu regresijas modeļu, taču daudzos gadījumos determinācijas koeficienta vērtība bija pārāk zema. Tālākajā sniegts detalizētāks atsevišķu ielu datiem veidoto modeļu, kuri deva labākos rezultātus, raksturojums.

3.2.1. Krišjāņa Valdemāra – Ēveles ielas datu kopas analīze

Veselai datu kopai, kas satur datus par sastrēgumiem Krišjāņa Valdemāra – Ēveles ielās, tika piemērots lineārās regresijas modelis (3.1). Pēc tam iegūtas p-vērtības, kas norādītas 3.2. tabulā. Ja p-vērtības neatkarīgajiem mainīgajiem ir lielākas vai vienādas ar izvēlēto nozīmīguma līmeni – 0.1, šie mainīgie netiks iekļauti lineārās regresijas modelī (Lee, Hong u.c., 2015).

3.2. tabula

p-vērtības

Nr. p. k.	Neatkarīgā mainīgā nosaukums	p-vērtība
1.	Dienas stunda	0.000
2.	Vēja brāzmas	0.000
3.	Gaisa temperatūra	0.000
4.	Lietus nokrišņi	0.012
5.	Ceļu satiksmes negadījumi	0.226
6.	Skolēnu brīvdienas	0.170
7.	Neoficiālie svētki	0.000
8.	Nedēļas diena	0.067
9.	Diena pirms oficiālajiem svētkiem	0.712
10.	Diena pēc oficiālajiem svētkiem	0.000

3.2. (tabulas turpinājums)

p-vērtības

Nr. p. k.	Neatkarīgā mainīgā nosaukums	p-vērtība
11.	Oficiālie svētki	0.671
12.	Notikumi	0.025

Nulles hipotēze apgalvo, ka regresijas koeficientam nav būtiska ietekme uz atkarīgo mainīgo (Pardoe, 2020). Alternatīvā hipotēze apgalvo, ka regresijas koeficientam ir būtiska ietekme uz atkarīgo mainīgo. Ja p-vērtība ir mazāka par izvēlēto nozīmīguma līmeni – 0.1, nulles hipotēze tiek noraidīta, un tiek pieņemta alternatīvā hipotēze, kas nozīmē, ka regresijas koeficientam ir būtiska ietekme uz mērķa mainīgo (Pardoe, 2020). Lai izmantotu plašāku faktoru diapazonu, kas ietekmē sastrēguma līmeni, nozīmīguma līmenis tika izvēlēts augstāks par 0.05.

Ceļu satiksmes negadījumi, skolēnu brīvdienas, diena pirms oficiālajiem svētkiem un oficiālie svētki netiks iekļauti lineārās regresijas modelī, jo p-vērtība ir lielāka vai vienāda ar 0.1. Rezultātā iegūtais lineārās regresijas modelis pēc nenoizīmīgo faktoru izslēgšanas Krišjāņa Valdemāra – Ēveles ielas datu kopai ir parādīts formulā (3.2.).

$$Y = 632.1013 - 18.7756x_1 + 40.3876x_2 - 12.0072x_3 + 40.7993x_4 - 203.1567x_5 + 17.1832x_6 - 253.3280x_7 - 94.6261x_8 \quad (3.2.)$$

kur Y – atkarīgais mainīgais, ceļa sastrēguma garums; x_1 – dienas stunda; x_2 – vēja brāzmas; x_3 – gaisa temperatūra; x_4 – lietuss nokrišņi; x_5 – neoficiālie svētki. x_6 – nedēļas diena; x_7 – diena pēc oficiālajiem svētkiem; x_8 – notikumi.

Iegūtā modeļa determinācijas koeficients bija vienāds ar 0.185. Tādējādi dati tika sadalīti laika posmos. 3.3. tabulā ir redzami modeļu rezultāti, kuru determinācijas koeficienti ir lielāki vai vienādi ar 0.3, kur mērķa mainīgais ir sastrēguma garums.

3.3. tabula

Sastrēguma garuma analīzes rezultāti

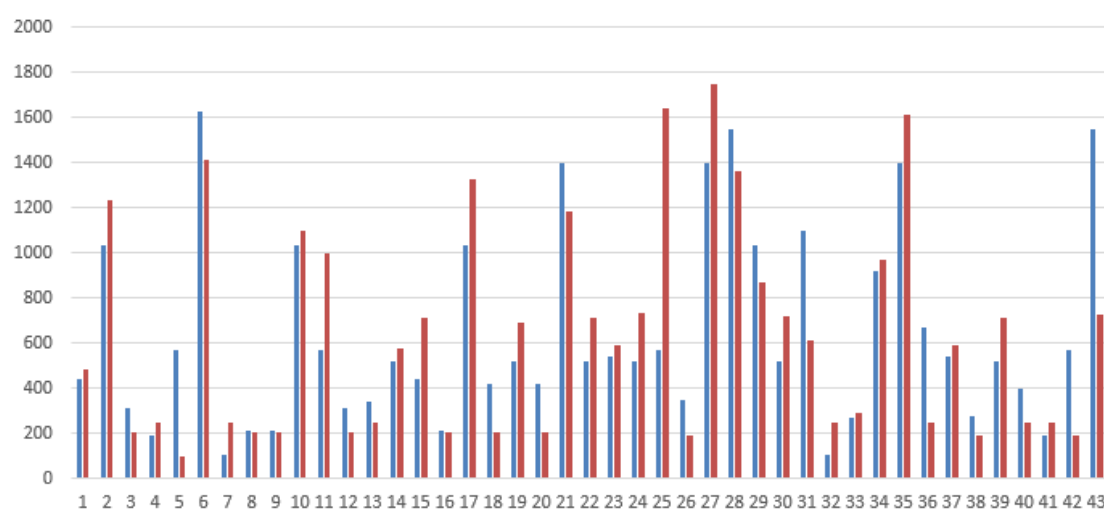
Parametrs	Brīvdienas	Darba dienas, nakts	Darba dienas, diena, otrā pusē	Darba dienas, vakars, otrā pusē
Datu ierakstu skaits	142	64	383	97
R2	0.485	0.319	0.369	0.391
Būtiskie faktori	Vēja brāzmas, gaisa temperatūra, neoficiālie svētki, nedēļas diena	Dienas stunda, gaisa temperatūra, nedēļas diena, notikumi	Vēja brāzmas, gaisa temperatūra, ceļu satiksmes negadījumi, nedēļas diena, notikumi	Gaisa temperatūra, neoficiālie svētki, skolēnu brīvdienas
Šo faktoru klātbūtne datu kopā netika novērota	Oficiālie svētki, diena pēc oficiālajiem svētkiem, skolēnu brīvdienas	Ceļu satiksmes negadījumi, diena pirms oficiālajiem svētkiem.		Oficiālie svētki, diena pirms oficiālajiem svētkiem, diena pēc oficiālajiem svētkiem

Datu kopu sadalīšana laika posmos parāda labākus rezultātus. 3.3. tabulā ir redzami laika posmi, kurās modeļi spēja izskaidrot vairāk par 30% no sastrēgumu garuma variācijas. Tomēr ne visos laika posmos lineārās regresijas modeļi spēja izskaidrot vairāk par 30% no mērķa mainīgās variācijas, izmantojot pieejamos faktorus citos laika posmos. Šiem modelim kopējais būtiskais faktors ir gaisa temperatūra.

Ja kāda faktora klātbūtnē sastrēgumi netika novēroti datu kopā, tas nozīmē, ka dati par sastrēgumiem nav pieejami tad, kad attiecīgā neatkarīgā mainīgā vērtība atšķiras no nulles. Piemēram, brīvdienās 3.3. tabulā datu kopā nav datu par

sastrēgumiem tādās dienās kā oficiālie svētki, dienas pēc oficiālajiem svētkiem un skolēnu brīvdienas. Šo atribūtu vērtības visos datu ierakstos bija vienādas ar nulli.

3.3. attēlā ir attēloti salīdzinājumi starp prognozētajām un faktiskajām sastrēguma garuma vērtībām Krišjāņa Valdemāra – Ēveles datu kopā brīvdienās. Šāda modeļa kvadrātsakne no vidējās kvadrātiskās kļūdas ir 208.096 un normalizētā kvadrātsakne no vidējās kvadrātiskās kļūdas vērtība ir 0.117, kas nozīmē, ka modelis labi prognozē atkarīgā mainīgā vērtību.



3.3. att. Prognozētas vērtības salīdzinājums

3.2.2. Katlakalna ielas datu kopas analīze

Datu kopai, kas satur informāciju par sastrēgumiem Katlakalna ielā, tika piemērots lineārās regresijas modelis. Tādi faktori kā neoficiālie svētki, diena pēc oficiālajiem svētkiem, oficiālie svētki un notikumi tika izslēgti no lineārās regresijas modeļa, jo p-vērtības bija lielākas vai vienādas ar izvēlēto nozīmīguma līmeni – 0.1. Katlakalna datu kopa tika sadalīta laika posmos. 3.4. tabulā ir redzami modeļu rezultāti, kuru determinācijas koeficienti ir lielāki vai vienādi ar 0.3, kur mērķa mainīgais ir sastrēguma garums.

3.4. tabula**Sastrēguma garuma analīzes rezultāti**

Parametrs	Darba dienas, rīts	Darba dienas, diena, pirmā pusē
Datu ierakstu skaits	45	111
R2	0.466	0.556
Būtiskie faktori	Gaisa temperatūra, diena pēc oficiālajiem svētkiem	Gaisa temperatūra, lietus nokrišņi, ceļu satiksmes negadījumi, nedēļas diena
Šo faktoru klātbūtne datu kopā netika novērota	Lietus nokrišņi, ceļu satiksmes negadījumi, skolēnu brīvdienas, oficiālie svētki, diena pirms oficiālajiem svētkiem	Oficiālie svētki, notikumi, neoficiālie svētki, diena pirms oficiālajiem svētkiem, diena pēc oficiālajiem svētkiem

3.5. tabulā ir redzami modeļi, kuru determinācijas koeficients bija vienāds ar 0.3 vai lielāks un kuros tika pētīta faktoru ietekme uz satiksmes ātrumu sastrēgumā.

3.5. tabula**Kustības ātruma sastrēgumā analīzes rezultāti**

Parametrs	Darba dienas, rīts	Darba dienas, diena, pirmā pusē
Datu ierakstu skaits	45	111
R2	0.630	0.693
Būtiskie faktori	Gaisa temperatūra, diena pēc oficiālajiem svētkiem	Dienas stunda, gaisa temperatūra, lietus nokrišņi, ceļu satiksmes negadījumi, skolēnu brīvdienas, nedēļas diena

3.5. (tabulas turpinājums)

Kustības ātruma sastrēgumā analīzes rezultāti

Parametrs	Darba dienas, rīts	Darba dienas, diena, pirmā pusē
Šo faktoru klātbūtne datu kopā netika novērota	Lietus nokrišņi, ceļu satiksmes negadījumi, skolēnu brīvdienas, oficiālie svētki, diena pirms oficiālajiem svētkiem	Oficiālie svētki, notikumi, neoficiālie svētki, diena pirms oficiālajiem svētkiem, diena pēc oficiālajiem svētkiem

Pētot faktoru ietekmi uz kustības ātrumu sastrēgumā un sastrēguma garumu, tika konstatēts, ka datu kopai, kas satur rīta stundas darba dienās, lineārās regresijas modelis, kur mērķa atribūts ir kustības ātrums sastrēgumā, uzrādīja labāko rezultātu. Modelis izskaidro kustības ātruma sastrēgumā variāciju par 16.4% vairāk nekā modelis, kur mērķa mainīgais ir sastrēguma garums tajā pašā laika posmā. Šo modeļu kopējie būtiskie faktori ir gaisa temperatūra un diena pēc oficiālajiem svētkiem. Datu kopai, kas satur darba dienas, dienas stundas pirmajā pusē, lineārās regresijas modelis, kur mērķa atribūts ir kustības ātrums sastrēgumā, parādīja labākos rezultātus. Šis modelis izskaidroja mērķa mainīgā variāciju par 13.7% vairāk nekā modelis, kur mērķa mainīgais ir sastrēguma garums tajā pašā laika posmā. Kopējais būtiskais faktors abiem šiem modeļiem ir gaisa temperatūra, lietus nokrišņi, ceļu satiksmes negadījumi un nedēļas diena.

3.6. tabulā ir parādīti labākie modeļi, kuru determinācijas koeficients ir 0.3 vai lielāks, un kuri tika izmantoti, lai pētītu faktoru ietekmi uz sastrēguma garumu un braukšanas ātrumu sastrēgumā ziemas periodā.

3.6. tabula

Ziemas perioda pārbaudes rezultāti

Parametri	Darba dienas, diena, pirmā pusē	Darba dienas, diena, otrā pusē
Datu ierakstu skaits	69	435
R ²	0.692	0.320

3.6. (tabulas turpinājums)

Ziemas perioda pārbaudes rezultāti

Parametri	Darba dienas, diena, pirmā pusē	Darba dienas, diena, otrā pusē
Būtiskie faktori	Gaisa temperatūra	Dienas stunda, vēja brāzmas, gaisa temperatūra, skolēnu brīvdienas, ceļu satiksmēs negadījumi, nedēļas diena, notikumi
Šo faktoru klātbūtne datu kopā netika novērota	Notikumi, oficiālie svētki, diena pirms oficiālajiem svētkiem, diena pēc oficiālajiem svētkiem, neoficiālie svētki	Oficiālie svētki ,diena pirms oficiālajiem svētkiem
Atkarīgais manīgais	Sastrēguma garums	Kustības ātrums sastrēgumā

Pētot faktoru ietekmi uz ceļu sastrēgumiem ziemas laikā, tika konstatēts:

- ziemas periodā darba dienās, dienas pirmajā pusē, lineārās regresijas modelis izskaidroja sastrēguma garuma variāciju vairāk par 13.6%, salīdzinot ar modeļa rezultātiem, kas tika iegūti, izmantojot datu kopu, kas aptver visus gadalaikus, un ar to pašu mērķa mainīgo – sastrēguma garumu, tajā pašā laika posmā un kopīgais faktors šiem modeļiem ir gaisa temperatūra;
- lineārās regresijas modelis, kas tika izveidots datu kopai par ziemas periodu darba dienās, dienas otrajā pusē, izskaidroja kustības ātruma sastrēgumā variāciju par 32%, taču datu kopai, kas aptver visus gadalaiku periodus, izveidotais lineārās regresijas modelis neizskaidroja kustības ātruma sastrēgumā variāciju par 30% vai vairāk tajā pašā laika posmā.
-

3.2.3. Ernesta Birznieka – Upīša – Dzirnavu ielas datu kopas analīze

Datu kopai, kas satur datus par sastrēgumiem Ernesta Birznieka – Upīša un Dzirnavu ielās, tika piemērots lineārās regresijas modelis. Tādi faktori kā neoficiālie svētki, diena pēc oficiālajiem svētkiem, oficiālie svētki un notikumi netika iekļauti lineārās regresijas modelī. Iegūtā modeļa determinācijas koeficients bija vienāds ar 0.077. Ernesta Birznieka – Upīša ielā – Dzirnavu datu kopa tika sadalīta laika posmos. 3.7. tabulā redzami modeļu rezultāti, kuru determinācijas koeficienti ir lielāki vai vienādi ar 0.3, kur mērķa mainīgais ir sastrēguma garums.

3.7. tabula

Sastrēguma garuma analīzes rezultāti

Parametri	Darba dienas, rīts, otrā pusē
Datu ierakstu skaits	812
R2	0.356
Būtiskie faktori	Dienas stunda, vēja brāzmas, ceļu satiksmes negadījumi, skolēnu brīvdienas, nedēļas diena, sniega nokrišņi, notikumi, diena pirms oficiālajiem svētkiem

Pētot faktoru ietekmi uz sastrēguma garumu, atrasts tikai viens regresijas modelis, kas izskaidro mērķa mainīgā variāciju vairāk par 30%.

Ernesta Birznieka – Upīša un Dzirnavu ielās datu kopa satur lielu sastrēgumu mērījumu skaitu brīvdienās – 2273. Neviens regresijas modelis nav uzrādījis determinācijas koeficientu 0.3 vai augstāku, pārbaudot faktoru ietekmi uz ceļa sastrēguma garumu brīvdienās. Pārbaudot faktoru ietekmi uz kustības ātrumu sastrēgumā, modelis uzrādīja labākus rezultātus. 3.8. tabulā ir parādīti modeļi, kuru determinācijas koeficients bija 0.3 vai augstāks, kur tika pētīta faktoru ietekme uz kustības ātrumu sastrēgumā.

3.8. tabula

Kustības ātruma sastrēgumā analīzes rezultāti

Parametri	Brīvdienas, rīts, pirmā pusē	Brīvdienas, rīts, otrā pusē	Brīvdienas, vakars, pirmā pusē	Darba dienas, rīts
Datu ierakstu skaits	95	285	221	1425
R2	0.473	0.521	0.636	0.413
Būtiskie faktori	Dienas stunda, vēja brāzmas, gaisa temperatūra, notikumi	Vēja brāzmas, sniega nokrišņi, neoficiālie svētki, lietus nokrišņi, nedēļas diena, diena pirms oficiālajiem svētkiem, notikumi	Dienas stunda, vēja brāzmas, sniega nokrišņi, lietus nokrišņi, nedēļas diena, diena pirms oficiālajiem svētkiem, notikumi	Dienas stunda, gaisa temperatūra, lietus nokrišņi, skolēnu brīvdienas, neoficiālie svētki, nedēļas diena
Šo faktoru klātbūtne datu kopā netika novērota	Lietus nokrišņi, skolēnu brīvdienas, ceļu satiksmes negadījumi, neoficiālie svētki, diena pirms oficiālajiem svētkiem, diena pēc oficiālajiem svētkiem	Ceļu satiksmes negadījumi, oficiālie svētki	Ceļu satiksmēs negadījumi, skolēnu brīvdienas	

Pētot faktoru ietekmi uz satiksmes ātrumu sastrēgumā un sastrēguma garumu, tika iegūti šādi rezultāti:

- pārbaudot faktoru ietekmi uz kustības ātrumu sastrēgumā brīvdienās, tika atrasti trīs modeļi, kas izskaidroja mērķa mainīgās variāciju vairāk par 40%;
- regresijas modelis izskaidroja kustības ātruma sastrēgumā variāciju darba dienās rītos par 41.3%.

Lineārās regresijas modelis, kurā mērķa mainīgais ir kustības ātrums sastrēgumā, izskaidroja mērķa mainīgā variāciju par 5.7% vairāk visās rīta stundās, salīdzinot ar regresijas modeļa rezultātiem, kurā mērķa mainīgais ir sastrēguma garums un izpētītais laika posms ir īsāks. Abu šo modeļu kopīgie būtiskie faktori bija dienas stunda, skolēnu brīvdienas un nedēļas diena.

Ernesta Birznieka Upīša – Dzirnavu ielās tika pētīta faktoru ietekme ziemas laika periodā no 1. decembra līdz 1. martam. 3.9. tabulā ir parādīti labākie modeļi, kuru determinācijas koeficients ir 0.3 vai lielāks, un kuros izpētīta faktoru ietekme uz sastrēguma garumu un kustības ātrumu sastrēgumā ziemas laika periodā.

3.9. tabula

Ziemas perioda pārbaude

Parametri	Brīvdienas, rīts	Brīvdienas, diena, otrā pusē	Brīvdienas, vakars, pirmā pusē	Brīvdienas, vakars, otrā pusē	Darba dienas, vakars, otrā pusē
Datu ierakstu skaits	123	408	136	30	56
R ²	0.514	0.376	0.463	0.775	0.566

3.9. (tabulas turpinājums)

Ziemas perioda pārbaude

Parametr i	Brīvdienas , rīts	Brīvdienas, diena, otrā pusē	Brīvdienas, vakars, pirmā pusē	Brīvdienas , vakars, otrā pusē	Darba dienas, vakars, otrā pusē
Būtiskie faktori	Dienas stunda, vēja brāzmas, sniega nokrišņi, oficiālie svētki	Dienas stunda, vēja brāzmas, sniega nokrišņi, gaisa temperatūra , nedēļas diena, oficiālie svētki, notikumi	Dienas stunda, sniega nokrišņi, gaisa temperatūra , lietus nokrišņi, nedēļas diena	Nedēļas diena, dienas stunda	Vēja brāzmas, gaisa temperatūra , skolēnu brīvdienas, nedēļas diena, notikumi
Šo faktoru klātbūtne datu kopā netika novērota	Ceļu satiksmes negadījumi, neoficiālie svētki, diena pēc oficiālajiem svētkiem.	Ceļu satiksmes negadījumi, neoficiālie svētki, diena pirms oficiālajiem svētkiem	Diena pirms oficiālajiem svētkiem, diena pēc oficiālajiem svētkiem, oficiālajiem svētki, ceļu satiksmes negadījumi, neoficiālie svētki, skolēnu brīvdienas	Diena pirms oficiālajiem svētkiem, diena pēc oficiālajiem svētkiem, oficiālie svētki, ceļu satiksmes negadījumi	Diena pirms oficiālajiem svētkiem, diena pēc oficiālajiem svētkiem, ceļu satiksmes negadījumi

3.9. (tabulas turpinājums)

Ziemas perioda pārbaude

Parametri	Brīvdienas, rīts	Brīvdienas, diena, otrā pusē	Brīvdienas, vakars, pirmā pusē	Brīvdienas, vakars, otrā pusē	Darba dienas, vakars, otrā pusē
Atkarīgais manīgais	Kustības ātrums sastrēgumā	Kustības ātrums sastrēgumā	Kustības ātrums sastrēgumā	Kustības ātrums sastrēgumā	Sastrēguma garums

Pētot faktoru ietekmi uz sastrēgumiem ziemas laika periodā, tika iegūti šādi rezultāti:

- rīta stundu sadalīšana ziemas periodā neuzlaboja regresijas modeļa rezultātus;
- lineārās regresijas modelis, kas tika pielietots datu kopai, kurā ietilpst brīvdienas vakara stundas pirmajā pusē ziemas periodā, parādīja vājākus rezultātus, šis modelis izskaidroja kustības ātruma sastrēgumā variāciju par 46.3%, kas ir par 17.3% mazāk nekā regresijas modelis, kas tika izmantots datu kopai, kurā ietilpst visi gadalaiki, tajā pašā laika posmā, kopīgie būtiskie faktori ir dienas stunda, sniega nokrišņi, lietus nokrišņi un nedēļas diena.

Lineārie regresijas modeļi atšķirīgi izskaidro mērķa mainīgā variāciju ziemas laikā un visu gadu. Ziemas laikā tika atrasti divi jauni laika posmi: brīvdienas vakars otrajā pusē un darba dienas, vakars, otrajā pusē, kur regresijas modelis izskaidroja atkarīgā mainīgā variāciju vairāk par 30%. Tomēr ziemas periodā regresijas modelis, kas pielietots datiem, kas satur darba dienas rīta stundas, nevarēja izskaidrot mērķa mainīgā variāciju vairāk par 30%.

3.2.4. Ūnijas – Stirnu ielas datu kopas analīze

Datu kopai, kas satur informāciju par sastrēgumiem Ūnijas un Stirnu ielās, tika pielietots lineārās regresijas modelis. Faktori, piemēram, lietus nokrišņi, skolēnu brīvdienas, nedēļas dienas, diena pēc oficiālajiem svētkiem un oficiālie svētki, netika iekļauti lineārās regresijas modelī, jo to p-vērtības bija lielākas vai vienādas ar nozīmīguma līmeni. Iegūtā modeļa determinācijas koeficients bija 0.218. Ūnijas –

Stirnu datu kopa tika sadalīta laika posmos. 3.10. tabulā redzami modeļu rezultāti, kuru determinācijas koeficients ir lielāks vai vienāds ar 0.3, un kuros mērķa mainīgais ir sastrēguma garums.

3.10. tabula

Sastrēguma garuma analīzes rezultāti

Parametri	Brīvdienas
Datu ierakstu skaits	53
R2	0.331
Būtiskie faktori	Lietus nokrišņi, nedēļas diena, notikumi
Šo faktoru klātbūtnē satiksmes sastrēgumi netika novēroti datu kopā	Svētki, diena pēc oficiālajiem svētkiem

Lineārās regresijas modelis varēja izskaidrot atkarīgās mainīgās variāciju par 33.1% Ūnijas – Stirnu datu kopā, kas satur informāciju par brīvdienām.

3.2.5. Hanzas – Rūpniecības ielas datu kopas analīze

Datu kopai, kas satur informāciju par sastrēgumiem Hanzas un Rūpniecības ielās, tika pielietots lineārās regresijas modelis. Neoficiālie svētki, dienas pēc oficiālajiem svētkiem, oficiālie svētki un notikumi netika iekļauti regresijas modelī. Iegūtā modeļa determinācijas koeficients bija 0.093, un dati tika sadalīti laika posmos. 3.11. tabulā redzami modeļu rezultāti, kuru determinācijas koeficients ir lielāks vai vienāds ar 0.3, kuros mērķa mainīgais ir sastrēguma garums.

3.11. tabula

Sastrēguma garuma analīzes rezultāti

Parametri	Darba dienas, diena, pirmā pusē
Datu ierakstu skaits	63
R2	0.384
Būtiskie faktori	Lietus nokrišņi, nedēļas diena, notikumi
Šo faktoru klātbūtnē satiksmes sastrēgumi netika novēroti datu kopā	Oficiālie svētki, diena pēc oficiālajiem svētkiem, ceļu satiksmes negadījumi

Atrasts tikai viens laika posms – darba dienas, dienas pirmā pusē, kuram pielietotais lineārās regresijas modelis izskaidroja sastrēgumu garuma variāciju vairāk par 30%.

3.2.6. Lielirbes ielas datu kopas analīze

Datu kopai, kas satur informāciju par sastrēgumiem Lielirbes ielā, tika piemērots lineārās regresijas modelis. Faktori, piemēram, diena pirms oficiālajiem svētkiem, diena pēc oficiālajiem svētkiem un oficiālie svētki, netika iekļauti lineārās regresijas modelī. Iegūtā modeļa determinācijas koeficients bija 0.044, un dati tika sadalīti laika posmos. 3.12. tabulā redzami modeļu rezultāti, kuros determinācijas koeficients ir lielāks vai vienāds ar 0.3, un kuros mērķa mainīgais ir sastrēguma garums.

3.12. tabula

Sastrēguma garuma analīzes rezultāti

Parametri	Darba dienas, nakts	Darba dienas, vakars, otrā pusē
Datu ierakstu skaits	27	32
R ²	0.498	0.625
Būtiskie faktori	Dienas stunda, skolēnu brīvdienas	Dienas stunda, gaisa temperatūrā, notikumi
Šo faktoru klātbūtne datu kopā netika novērota	Svētki, oficiālie svētki, diena pirms oficiālajiem svētkiem, diena pēc oficiālajiem svētkiem, notikumi, ceļu satiksmes negadījumi	Neoficiālie svētki, oficiālie svētki, diena pēc oficiālajiem svētkiem, diena pēc oficiālajiem svētkiem, skolēnu brīvdienas

Tika atrasti divi laika posmi: nakts stundas darba dienās un vakara stundas darba dienās, kurām pielietotais lineārās regresijas modelis spēja izskaidrot sastrēguma garuma variāciju vairāk par 30%. Būtisks faktors šiem modeļiem bija dienas stunda.

3.2.7. Jaunciems

Datu kopai, kas satur datus par sastrēgumiem Jauncima ielā, tika piemērots lineārās regresijas modelis. Tādi faktori kā dienas stunda, vēja brāzmas, nokrišņi,

skolēnu brīvdienas, nedēļas diena, diena pirms oficiālajiem svētkiem, diena pēc oficiālajiem svētkiem, netika iekļauti lineārās regresijas modelī. Iegūtā modeļa determinācijas koeficients bija vienāds ar 0.02. Sakarā ar to, ka determinācijas koeficientam ir ļoti zema vērtība, Jaunciema datu kopa tika sadalīta laika posmos. 3.13. tabulā redzami modeļu rezultāti, kuru determinācijas koeficients ir lielāks vai vienāds ar 0.3, kur mērķa mainīgais ir sastrēguma garums.

3.13. tabula

Sastrēguma garuma analīzes rezultāti

Parametri	Darba dienas, rīts, otrā pusē
Datu ierakstu skaits	163
R2	0.395
Būtiskie faktori	Neoficiālie svētki, gaisa temperatūra, vēja brāzmas
Šo faktoru klātbūtne datu kopā netika novērota	Diena pirms oficiālajiem svētkiem, diena pēc oficiālajiem svētkiem, ceļu satiksmes negadījumi

Atrasts tikai viens laika posms, kuram pielietotais regresijas modelis izskaidroja atkarīgā mainīgā variāciju vairāk par 30%, tas ir darba dienas rīts, otrā pusē.

4.2.8. Ozolciema ielas datu kopas analīze

Datu kopai, kas satur datus par sastrēgumiem Ozolciema ielā, tika piemērots lineārās regresijas modelis. Tādi faktori kā nedēļas diena un notikumi netiks iekļauti lineārās regresijas modelī. Iegūtā modeļa determinācijas koeficients bija vienāds ar 0.135. Sakarā ar to, ka determinācijas koeficientam ir zema vērtība, Ozolciema datu kopa tika sadalīta laika posmos. 3.14. tabulā redzami modeļu rezultāti, kuru determinācijas koeficients ir lielāks vai vienāds ar 0.3, kur mērķa mainīgais ir sastrēguma garums.

3.14. tabula

Sastrēguma garuma analīzes rezultāti

Parametri	Darba dienas, nakts	Brīvdienas
Datu ierakstu skaits	42	126
R2	0.783	0.323
Būtiskie faktori	Dienas stunda, skolēnu brīvdienas, gaisa temperatūra, lietus nokrišņi, neoficiālie svētki	Dienas stunda, nedēļas diena, notikumi
Šo faktoru klātbūtne datu kopā netika novērota	Diena pirms oficiālajiem svētkiem, dienas pēc oficiālajiem svētkiem, notikumi, ceļu satiksmes negadījumi	Ceļu satiksmes negadījumi.

Tika atrasti divi laika posmi – nakts stundas darbdienās un brīvdienas, kurām piemērotie regresijas modeļi izskaidroja sastrēguma garuma variāciju vairāk par 30%. Kopējais būtiskais faktors šiem modeļiem bija dienas stunda.

3.15. tabulā ir parādīti modeļi, kuru determinācijas koeficients bija 0.3 vai lielāks, un kuros pētīta faktoru ietekme uz satiksmes ātrumu sastrēgumā.

3.15. tabula

Kustības ātruma sastrēgumā analīzes rezultāti

Parametri	Darba dienas, nakts
Datu ierakstu skaits	42
R2	0.839
Būtiskie faktori	Dienas stunda, skolēnu brīvdienas, gaisa temperatūra, lietus nokrišņi, neoficiālie svētki, nedēļas diena, oficiālie svētki
Šo faktoru klātbūtne datu kopā netika novērota	Diena pirms oficiālajiem svētkiem, diena pēc oficiālajiem svētkiem, notikumi, ceļu satiksmes negadījumi

Atrasts tikai viens laika posms – darba dienas, nakts, kuram piemērotais regresijas modelis izskaidroja kustības ātrumu sastrēgumā variāciju vairāk par 30%. Modelis ar mērķa mainīgo – kustības ātrumu sastrēgumā izskaidroja mērķa mainīgā variāciju par 5.6% vairāk nekā modelis ar mērķa mainīgo – sastrēguma garumu. Šo modeļu kopējie būtiskie faktori izrādījās dienas stunda, skolēnu brīvdienas, gaisa temperatūra, lietus nokrišņi un neoficiālie svētki.

3.16. tabulā parādīti labākie modeļi, kuru determinācijas koeficients ir vienāds ar 0.3 vai lielāks, un kuros tika pētīta faktoru ietekme uz sastrēguma garumu un kustības ātrumu sastrēgumā ziemā.

3.16. tabula

Ziemas perioda pārbaudes rezultāti

Parametri	Darba dienas, rīts, otrā pusē	Darba dienas, diena, otrā pusē
Datu ierakstu skaits	81	70
R ²	0.544	0.349
Būtiskie faktori	Dienas stunda, vēja brāzmas, gaisa temperatūra, lietus nokrišņi, nedēļas diena	Lietus nokrišņi
Šo faktoru klātbūtne datu kopā netika novērota	Diena pirms oficiālajiem svētkiem, diena pēc oficiālajiem svētkiem, oficiālie svētki, ceļu satiksmes negadījumi	Diena pirms oficiālajiem svētkiem, dienas pēc oficiālajiem svētkiem, neoficiālie svētki, ceļu satiksmes negadījumi
Atkarīgais mainīgais	Sastrēguma garums	Kustības ātrums sastrēgumā

Pētot faktoru ietekmi uz sastrēguma garumu un kustības ātrumu sastrēgumā ziemas periodā, tika atrasti laika posmi, kuriem pielietotie regresijas modeļi uzrādīja determinācijas koeficientu, kas ir lielāks par 0.3, tādi laika posmi ir darba dienas rīta stundas otrajā pusē un dienās stundas otrajā pusē. Kopējais būtiskais faktors šajos modeļos bija lietus nokrišņi.

3.2.9. Analīze apvienotām datu kopām

Katlakalna, Hanzas, Ernesta Birznieka – Upīša – Dzirnavu, Ūnijas – Stirnu, Krišjāņa Valdemāra – Ēveles datu kopas bija apvienotas un pārbaudītas:

- kādi faktori ietekmē sastrēgumus naktī;
- kādi faktori ietekmē sastrēgumus gadījumā, ja notiks ceļu satiksmes negadījums;
- kādi faktori ietekmē sastrēgumus, kuru garums ir lielāks vai mazāks par vidējo vērtību;
- Kuri faktori ietekmē sastrēgumus brīvdienās.

No piecām datu kopām tika izvilkti dati par sastrēgumiem brīvdienās, lai noskaidrotu, kādi ir kopīgie faktori, kas ietekmē sastrēguma līmeņa palielināšanos vai samazināšanos šādās dienās. Iegūtā datu kopa tika sadalīta laika posmos atbilstoši 3.2. attēlā attēlotajai shēmai un 3.1. tabulā norādītajiem laika intervāliem. 3.17. tabulā ir parādīti regresijas modeļa rezultāti, kur mērķa mainīgais ir kustības ātrums sastrēgumā.

3.17. tabula

Labākie rezultāti apvienotām datu kopām

Parametri	Brīvdienas, rīts	Brīvdienas, vakars, pirmā pusē
Datu ierakstu skaits	500	255
R ²	0.444	0.527
Būtiskie faktori	Vēja brāzmas, gaisa temperatūra, lietus nokrišņi, nedēļas diena, neoficiālie svētki, oficiālie svētki, notikumi	Dienas stunda, vēja brāzmas, sniega nokrišņi, lietus nokrišņi, skolēnu brīvdienas, nedēļas diena, notikumi
Šo faktoru klātbūtne datu kopā netika novērota	Ceļu satiksmes negadījumi	Ceļu satiksmes negadījumi

Bija atrasti divi laika posmi, kuriem pielietotie regresijas modeļi izskaidroja atkarīgā mainīgā variāciju vairāk par 30%. Kopīgie būtiskie faktori šiem modeļiem ir vēja brāzmas, lietus nokrišņi, nedēļas diena un notikumi.

Pārbaudot faktoru ietekmi uz sastrēgumiem nakts stundās, nebija atrasti regresijas modeļi, kuri izskaidro mērķa mainīgā variāciju vairāk par 10%.

Pārbaudot, kādi faktori ietekmē sastrēgumus, kuru garums ir lielāks par vidējo vērtību, tika atrasts regresijas modelis, kurš izskaidroja kustības ātrumu sastrēgumā variāciju par 43.7% darba dienās, diena, pirmajā pusē, kur datu ierakstu skaits ir 326. Būtiskie faktori ir dienas stunda, vēja brāzmas, sniega nokrišņi un lietus nokrišņi.

Lai pārbaudīt vai sastrēguma garums vidēji lielāks tad, kad noticis negadījums, no apvienota datu kopa bija izvilkti dati par sastrēgumiem tad, kad ir negadījums klāt lai salīdzināt sastrēguma garumu tad, kad noticis negadījums ar sastrēguma garumu apvienota datu kopa. Sastrēguma garums apvienota datu kopā vidēji bija mazāks par 164.151 metros, salīdzinot ar sastrēguma garumu datu kopā, kur ir dati par sastrēgumiem tikai tad, kad noticis negadījums. Sastrēguma garums vidēji ir garāks gadījumos, kad noticis negadījums.

Lai pārbaudītu, kādi faktori ir klāt, kas ietekmē sastrēguma līmeņa pieaugumu vai samazināšanos gadījumos, kad ir noticis negadījums, tika uzbūvēts lineārais regresijas modelis datiem par sastrēgumiem, kuros bija negadījumi klāt. Iegūtais modelis uzrādīja determinācijas koeficientu vienādu ar 0.198. Pēc nebūtisko faktoru izslēgšanas tika iegūts regresijas modelis, kas redzams formulā (3.3.).

$$Y = 466.6287 - 21.8406x_1 + 29.1255x_2 - 7.2016x_3 + 65.3548x_4 - \\ - 300.4765x_5 + 92.7629x_6 - 552.8639x_7 \quad (3.3.)$$

kur Y – atkarīgais mainīgais, ceļa sastrēguma garums; x_1 – dienas stunda; x_2 – vēja brāzmas; x_3 – gaisa temperatūra; x_4 – lietus nokrišņi; x_5 – neoficiālie svētki; x_6 – nedēļas diena; x_7 – diena pirms oficiālajiem svētki.

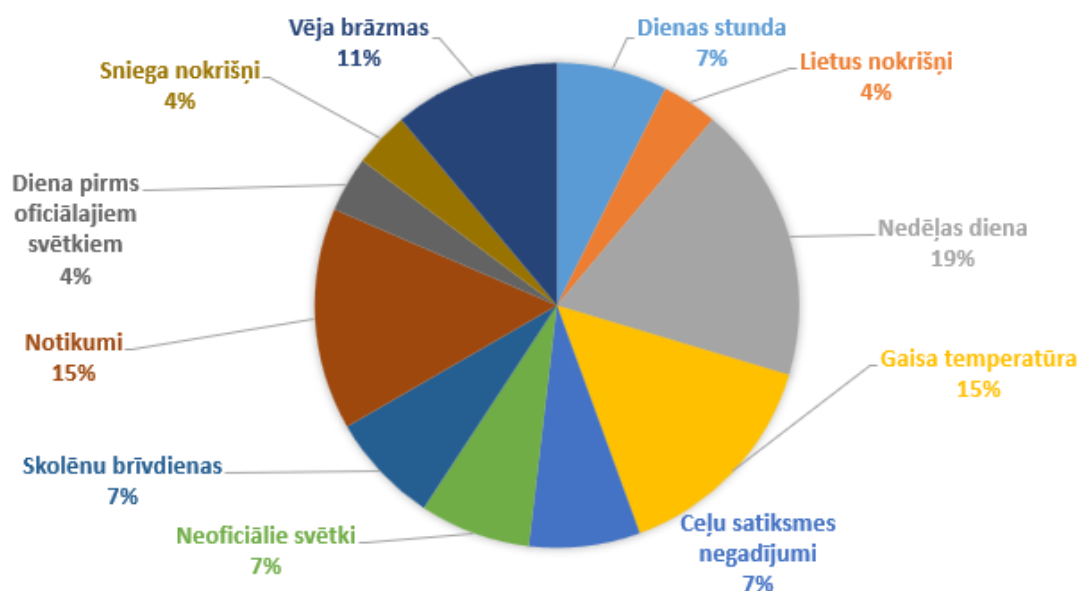
Tādi faktori kā dienas stunda, gaisa temperatūra, lietus nokrišņi un diena pirms oficiālajiem svētkiem samazina sastrēguma garumu, bet citi faktori otrādi ietekmē sastrēguma garumu.

3.3. Analīzes rezultātu apkopojums

Sastrēguma objekti atsevišķām ielām tika sadalīti sastrēgumos pilsētas centrā un sastrēgumos pilsētas rajonos, tie ir Ozolciema, Jaunciema, Lielirbes, Krišjāņa Valdemāra – Ēveles, Katlakalna, Ernesta Birznieka – Upīša – Dzirnavu, Ūnijas – Stirnu un Hanzas – Rūpniecības ielās. Rezultāti iegūti no datu kopām, kurām pielietotais

regresijas modelis uzrādīja determinācijas koeficientu lielāku par 0.3 un kuru rezultāti atspoguļoti iepriekšējās tabulās šajā nodaļā, kur tika pētīti atsevišķi sastrēguma objekti.

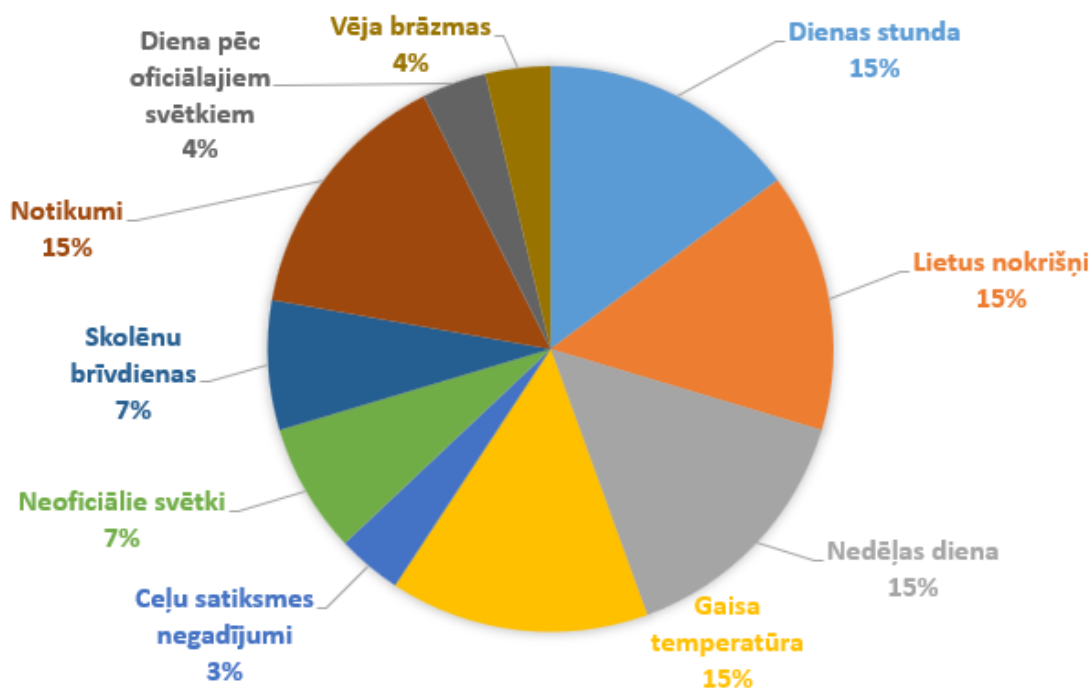
3.4. attēlā attēlots sadalījums būtiskiem faktoriem, kuri ietekmēja sastrēguma garumu pilsētas centrā: Hanzas – Rūpniecības, Krišjāņa Valdemāra – Ēveles un Ernesta Birznieka – Upīša – Dzirnavu ielās.



3.4. att. Sastrēgumu sadalījums pilsētas centrā

Nedēļas diena biežāk nekā citi faktori ietekmēja sastrēguma garuma variāciju pilsētas centrā.

3.5. attēlā attēlots būtisko faktoru sadalījums, kas ietekmēja sastrēguma garumu trijos sastrēgumu objektos pilsētas rajonos: Katlakalna, Ūnijas – Stirnu, Ozolciema, Jaunciema un Lielirbes ielās.

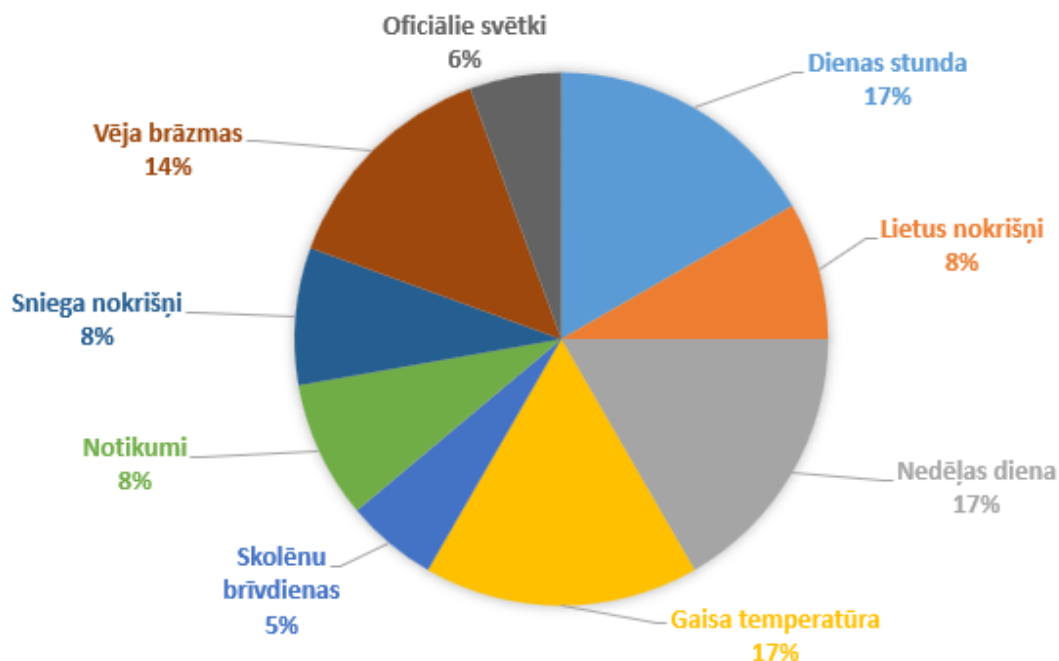


3.5. att. Sastrēgumu sadalījums pilsētas rajonos

Lietus nokrišņi, nedēļas diena, gaisa temperatūra, notikumi un diennakts stunda vienlīdz bieži ietekmēja sastrēguma garuma variāciju, un to kopīgā daļa ir 75% no visiem faktoriem.

Gaisa temperatūra un notikumi vienlīdz bieži parādījās kā būtiski faktori, kas ietekmēja sastrēgumus gan pilsētas centrā, gan pilsētas rajonos. Nedēļas dienai dažos gadījumos bija būtiska ietekme uz šiem sastrēgumiem. Dienas stunda bieži ietekmēja sastrēgumus pilsētas rajonos par 8% vairāk nekā pilsētas centrā. Ceļu satiksmes negadījumi un vēja brāzmas bieži parādījās kā būtiski pilsētas centrā, tomēr lietus nokrišņi biežāk parādījās kā būtiski pilsētas rajonos nekā pilsētas centrā.

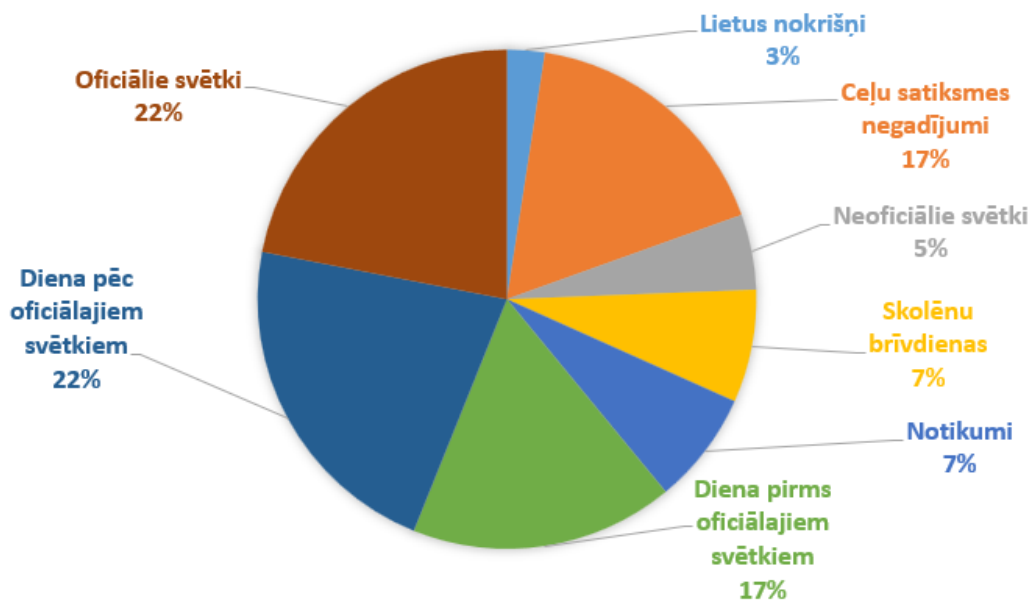
3.6. attēlā attēlots būtisko faktoru sadalījums, kas ietekmē satiksmes ātrumu sastrēgumā un sastrēguma garumu ziemas periodā: Katlakalna, Ernesta Birznieka – Upīša – Dzirnavu un Ozolciema ielās.



3.6. att. Ziemas perioda pārbaudes kopsavilkums

Ziemas periodā nedēļas dienai, gaisa temperatūrai un diennakts stundām bija lielāka ietekme uz ceļu sastrēguma līmeņa variāciju.

3.7. attēlā ir attēlots sadalījums faktoriem, kuru klātbūtnē sastrēgumi netika novēroti datu kopās. Rezultāts ir apkopots no tabulas, kurās atspoguļoti rezultāti, kad tika pētīts sastrēguma garums.



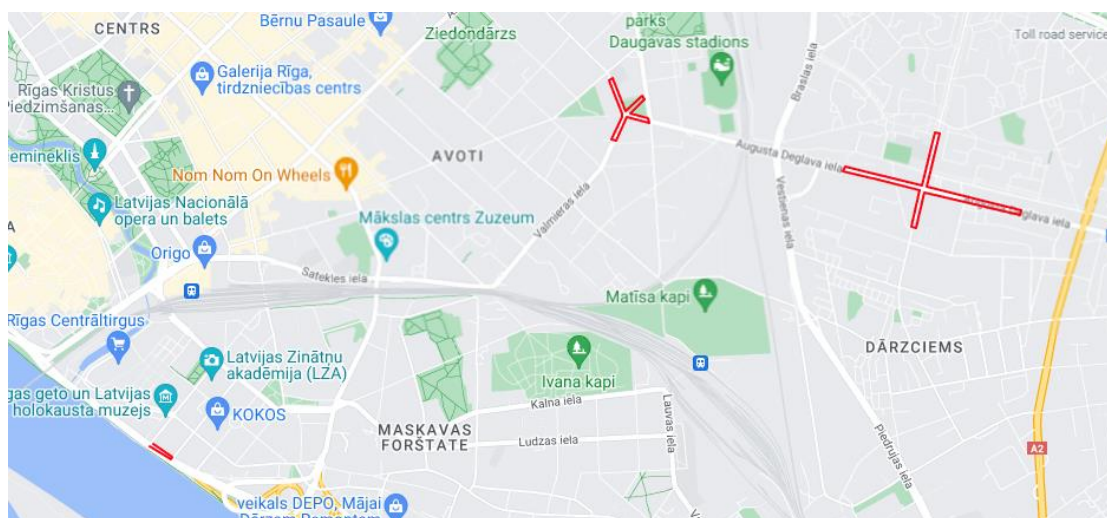
3.7. att. Sastrēgumu datu kopās netika novērota šo faktoru klātbūtne

Lielākajā daļā gadījumu datu kopās trūka informācijas par sastrēgumiem oficiālajos svētkos un dienās pēc oficiālajiem svētkiem. Šādiem faktoriem attiecīgajās datu kopās nebija nekāda ietekme uz sastrēgumiem vairākos gadījumos.

4. REMONTDARBU IETEKMES ANALĪZE

4.1. Analīzes uzsākšana

Lai izpētītu ceļu remontdarbu (Chow, Santacreu u.c., 2013) un citu faktoru ietekmi uz satiksmes sastrēgumu līmeni, tika apskatītas datu kopas, kas satur informāciju par sastrēgumiem uz tilta Augusta Deglava ielā, no Augusta Deglava līdz Valmieras ielai un Ģenerāļa Radziņa krastmalā. 4.1. attēlā ir parādīti sastrēgumu objekti ielās, kur bija veikti ceļu remontdarbi.



4.1. att. Sastrēguma objekti, kas ir tuvu ceļu remontdarbiem

Informācija par attiecīgajiem ceļu darbiem tika pievienota attiecīgajām datu kopām kā binārs atribūts.

4.2. Augusta Deglava tilta datu kopas analīze

Pirms daudzfaktoru lineārās regresijas modeļa izveidošanas tika veikta korelācijas analīze. 4.2. attēlā ir attēlotas mainīgo korelācijas visai Augusta Deglava tilta datu kopai.

	hour	length	delay	speed	temp	wind	rain	snow	accidents	ed	holiday	iti	holiday	notikumi	lenu	holid	week	day	red	after	constr
hour	1																				
length	-0.201802	1																			
delay	-0.269366	0.557432	1																		
speed	0.072843	0.423195	-0.351981	1																	
temp	-0.010562	-0.229219	-8.5E-05	-0.272494	1																
wind	-0.026369	-0.026945	0.002451	-0.012234	0.059452	1															
rain	0.028492	0.002273	-0.00754	0.008134	0.027942	0.11659	1														
snow	0.004344	0.178622	-0.05193	0.241116	0.576868	-0.134523	-0.017428	1													
accidents	0.022416	0.045479	0.042892	0.008198	-0.041995	0.019054	-0.001064	0.04503	1												
red_holid	0.000508	-0.010877	-0.009475	-0.000486	0.039298	-0.013231	-0.010033	-0.025429	0.035378	1											
citi_holid	-0.013053	-0.029647	-0.011459	-0.030368	0.052587	0.063611	-0.007746	0.04506	-0.008494	-0.016622	1										
notikumi	0.005178	-0.028386	-0.01023	-0.005218	0.022516	0.012954	0.027753	0.003549	-0.018837	-0.018945	-0.066327	1									
skolenu_h	0.041154	-0.049754	-0.062925	0.0087	-0.164252	-0.004234	-0.000656	-0.026683	0.026911	-0.000795	-0.044493	0.009092	1								
week_day	0.057124	-0.019727	-0.068596	0.04514	-0.081214	0.058324	-0.028107	0.063855	-0.046748	-0.090551	-0.017103	0.222436	0.004009	1							
red_befor	0.007752	0.030842	0.034097	-0.006676	-0.05084	-0.059542	-0.021356	-0.063328	-0.025895	-0.0115	-0.033153	-0.040798	-0.029965	0.125258	1						
red_after	-0.014333	-0.006913	0.030978	-0.03408	-0.000175	0.038841	-0.017378	-0.061562	0.043447	-0.011179	-0.039614	-0.044571	-0.024882	-0.12121	-0.023756	1					
constr	-0.046803	-0.237937	0.050402	-0.317207	0.684335	0.079843	0.00011	-0.398309	-0.012012	0.040163	0.11205	0.025954	-0.118386	-0.010086	0.002996	0.044362	1				

4.2. att. Korelācijas pārbaude attiecībā uz Augusta Deglava tilta datu kopu

Kustības ātrums sastrēgumā tika ņemts par mērķa mainīgo, jo tas vairāk korelē ar ceļu darbiem. Aplūkojot mainīgo korelācijas, tika konstatēts:

- ceļu remontdarbu faktors korelē ar gaisa temperatūras faktoru par 68%;
- sniega nokrišņu faktors korelē ar gaisa temperatūras faktoru par 57%;
- ceļu remontdarbu faktors korelē ar braukšanas ātrumu sastrēgumā par 31%;
- gaisa temperatūras faktors korelē ar kustības ātrumu sastrēgumā par 27%.

Gaisa temperatūras faktors netiks iekļauts daudzfaktoru regresijas modelī, jo tas korelē ar pētāmo faktoru – ceļu remontdarbiem, kā arī tas mazāk korelē ar mērķa mainīgo – kustības ātrumu sastrēgumā. Deglava tilts datu kopai tika izveidots daudzfaktoru lineārās regresijas modelis, kas ir parādīts formulā (4.1.).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5 + \beta_6 x_6 + \beta_7 x_7 + \beta_8 x_8 + \beta_9 x_9 + \beta_{10} x_{10} + \beta_{11} x_{11} + \beta_{12} x_{12} \quad (4.1.)$$

kur Y – atkarīgais mainīgais – kustības ātrums sastrēgumā; x_1 – dienas stunda; x_2 – vēja brāzmas; x_3 – ceļu darbi; x_4 – lietus nokrišņi; x_5 – neoficiālie svētki; x_6 – oficiālie svētki; x_7 – diena pirms oficiālajiem svētkiem; x_8 – diena pēc oficiālajiem svētkiem; x_9 – skolēnu brīvdienas; x_{10} – nedēļas diena; x_{11} – notikumi; x_{12} – ceļu satiksmes negadījumi.

Pēc lineārās regresijas modeļa izveides tika noteikti būtiski faktori, kuriem p-vērtība ir mazāka par 0.1. Formulā (4.2.) ir parādīts iegūtais lineārās regresijas modelis.

$$Y = 921.2438 - 21.3487x_1 + 6.3259x_2 + 7.6701x_3 - 129.1629x_4 + 82.2226x_5 - 25.2779x_6 - 4.6043x_7 + 75.8999x_8 - 27.9998x_9 -$$

$$- 166.3973x_{10} \quad (4.2.)$$

kur Y – atkarīgais mainīgais, kustības ātrums sastrēguma; x_1 – dienas stunda; x_2 – sniega nokrišņi; x_3 – lietus nokrišņi; x_4 – skolēnu brīvdienas; x_5 – ceļu satiksmes negadījumi; x_6 – neoficiālie svētki; x_7 – nedēļas diena; x_8 – notikumi; x_9 – diena pirms oficiālajiem svētkiem; x_{10} – ceļu darbi.

Iegūtā modeļa determinācijas koeficients bija 0.116. Deglava tilta datu kopa tika sadalīta darbdienās un brīvdienās atbilstoši shēmai 3.2. attēla. Datu kopas, kas ietvēra informāciju par sastrēgumiem darba dienās un brīvdienās, tika sadalītas nākta, rīta, dienas un vakara stundās, kā arī sadalītas diennakts pirmajā un otrajā pusē, atbilstoši 3.1. tabulai.

Atdalīšana laika posmos saskaņā ar 3.1. tabulā norādītajiem intervāliem un 3.2. att. attēloto shēmu neradīja labus rezultātus, jo neviens no regresijas modeļiem neatklāja determinācijas koeficientu lielāku par 0.3. Deglava tilta datu kopu sadalīšana citos laika posmos deva labākus rezultātus, kā redzams 4.1. tabulā, kur mērķa mainīgais ir braukšanas ātrums sastrēgumā.

4.1. tabula

Analīzes rezultāti Augusta Deglava tilta datu kopai

Parametri	Brīvdienas, stundas 10:00 – 13:00	Darba dienas no pirmdienas līdz trešdienai, stundas 20:00 – 22:00	Darba dienas no ceturtdienas līdz piektdienai, stundas 20:00 – 21:00
Ierakstu skaits	184	47	90
R ²	0.480	0.655	0.464
Būtiskie faktori	Dienas stunda, vēja brāzmas, sniega nokrišņi, neoficiālie svētki, ceļu darbi, nedēļas diena	Ceļu darbi, lietus nokrišņi, sniega nokrišņi	Notikumi, ceļu darbi, skolēnu brīvdienas

4.1. (tabulas turpinājums)

Analīzes rezultāti Augusta Deglava tilta datu kopai

Parametri	Brīvdienas, stundas 10:00 – 13:00	Darba dienas no pirmdienas līdz trešdienai, stundas 20:00 – 22:00	Darba dienas no ceturtdienas līdz piektdienai, stundas 20:00 – 21:00
Šo faktoru klātbūtne datu kopā netika novērota	Skolēnu brīvdienas, oficiālie svētki	Oficiālie svētki, diena pirms oficiālajiem svētkiem, notikumi	Oficiālie svētki, diena pēc oficiālajiem svētkiem

Datu kopu sadalīšana nestandarta laika intervālos parādīja labākos rezultātus. Tika atrasti trīs laika intervāli, kuros izmantotie regresijas modeļi skaidroja mērķa mainīga variāciju vairāk par 40%. Šo regresijas modeļu kopējais būtiskais faktors bija ceļu remontdarbi.

4.3. Augusta Deglava – Valmiera ielas datu kopas analīze

Pirms regresijas modeļa izveides tika pārbaudīta neatkarīgo mainīgo savstarpējā korelācija. 4.3. attēlā attēlotas visu Augusta Deglava – Valmieras datu kopu mainīgo korelācijas.

	hour	length	delay	speed	temp	wind	rain	snow	accidents	ed_holiday	iti_holiday	notikumi	lenu_holid	week_day	ed_before	ed_after	constr
hour	1																
length	-0.09235	1															
delay	0.048604	0.454445	1														
speed	-0.11639	0.536367	-0.34411	1													
temp	0.005762	-0.33605	-0.00764	-0.40316	1												
wind	-0.14289	0.067845	-0.01343	0.06018	-0.13619	1											
rain	-0.00918	0.006091	0.059591	-0.03591	0.009234	0.120353	1										
snow	-0.06733	0.321081	0.039545	0.322182	-0.59441	0.175296	0.010432	1									
accidents	0.02329	0.024485	0.006583	0.025837	-0.06946	-0.00591	0.012088	0.021861	1								
red_holid	-0.00639	-0.00662	-0.0181	0.006064	0.013981	0.000947	-0.01075	-0.02327	0.029159	1							
citi_holid	0.033197	-0.02905	-0.0189	-0.00603	0.0099	0.119562	-0.00414	0.062137	-0.00773	-0.01665	1						
notikumi	-0.00818	-0.06093	-0.01269	-0.03826	0.088811	-0.0297	0.013133	-0.06558	0.030842	-0.02063	-0.05964	1					
skolenu_f	0.018952	-0.02127	-0.05598	0.062311	-0.25245	0.023887	0.009761	0.08649	0.006737	-0.01436	-0.04852	0.063293	1				
week_day	0.021114	-0.03811	-0.05418	0.028615	-0.002579	-0.0183	-0.01546	-0.00469	0.011451	-0.07558	0.045368	0.277118	-0.02504	1			
red_befor	-0.01147	0.025331	0.090257	-0.03308	-0.05207	-0.0682	-0.02431	-0.05417	0.014664	-0.01148	-0.02163	-0.0489	-0.02951	0.090905	1		
red_after	0.023817	-0.02978	-0.02787	-0.00158	0.023712	0.041003	-0.01876	-0.04423	0.011177	-0.00937	-0.03166	-0.03642	-0.02373	-0.1054	-0.01741	1	
constr	0.098586	-0.14855	-0.14086	-0.01674	-0.21683	0.076456	-0.06788	0.054106	0.027889	0.078068	0.069676	-0.05266	0.188839	-0.0429	0.119113	0.058928	1

4.3. att. Korelācijas pārbaude Deglava – Valmiera datu kopai

Datu kopā Augusta Deglava – Valmiera netika konstatēta stipra korelācija starp gaisa temperatūras un ceļu remontdarbu faktoriem, taču tika konstatēta korelācija starp

sniega nokrišņu un gaisa temperatūras faktoriem. Sniega nokrišņu faktors tiks izslēgts no lineārās regresijas modeļa, jo tas mazāk korelē ar mērķa mainīgajiem – sastrēguma garumu un satiksmes ātrumu sastrēgumā. Pati gaisa temperatūras faktors korelē ar sastrēguma garumu par 33% un kustības ātrumu sastrēgumā par 40%.

Pēc korelācijas analīzes tika izveidots daudzfaktoru lineārās regresijas modelis, iekļaujot visus faktoros kā prognozētājus, izņemot sniega nokrišņus, un kā mērķa mainīgo ņemot kustības ātrumu sastrēgumā. Modelis radīja determinācijas koeficientu 0.182. Tad tika noteikti būtiskie faktori, un tie ir visi prognozētāji, kas bija izmantoti modelī. Datu kopa tika sadalīta laika posmos saskaņā ar shēmu, kas attēlota 3.2. attēlā, un laika intervāliem, kas atspoguļoti 3.1. tabulā, bet šāda sadalīšana nedeva labus rezultātus. 4.2. tabulā ir redzami modeļu rezultāti citiem laika posmiem, kur determinācijas koeficients bija lielāks vai vienāds ar 0.3, un kur mērķa mainīgais bija sastrēguma garums.

4.2. tabula

Analīzes rezultāti Augusta Deglava – Valmiera datu kopai

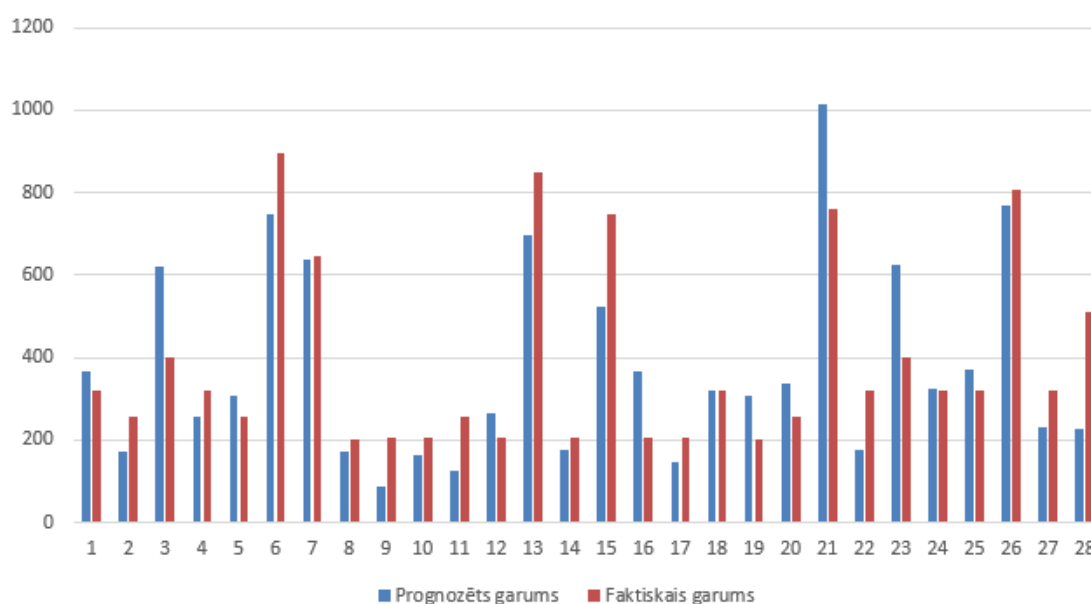
Parametri	Darba dienas, stundas 8:00 – 11:00	Brīvdienas, stundas 14:00 – 15:00	Darba dienas no ceturtdienas līdz piektdienai, stundas 20:00 – 21:00
Ierakstu skaits	4466	690	451
R ²	0.536	0.303	0.372
Būtiskie faktori	Dienas stunda, gaisa temperatūra, skolēnu brīvdienas, neoficiālie svētki, nedēļas diena notikumi, ceļu darbi	Gaisa temperatūra, ceļu satiksmēs negadījumi	Dienas stunda, vēja brāzmas, lietus nokrišņi, notikumi

4.2. (tabulas turpinājums)

Analīzes rezultāti Augusta Deglava – Valmiera datu kopai

Parametri	Darba dienas, stundas 8:00 – 11:00	Brīvdienas, stundas 14:00 – 15:00	Darba dienas no ceturtdienas līdz piektdienai, stundas 20:00 – 21:00
Šo faktoru klātbūtne datu kopā netika novērota		Oficiālie svētki	Oficiālie svētki, skolēnu brīvdienas

Bija atrasti trīs modeļi, kas izskaidroja mērķa mainīgā variāciju vairāk par 30%. No atrastajiem modeļiem viens izskaidroja sastrēguma garuma variāciju vairāk par 50% datu kopā, kur ir 4466 datu paraugi. Viens no būtiskajiem faktoriem šajā modelī ir ceļu remontdarbi. Prognozēto rezultātu salīdzinājumi ar faktiskajām vērtībām ir attēloti 4.4. attēlā. Šāda modeļa kvadrātsakne no vidējā kvadrātiskā kļūda ir 114.864 un normalizētā kvadrātsakne no vidējās kvadrātiskās kļūdas vērtība ir 0.097, kas nozīmē, ka modelis labi prognozē atkarīgā mainīgā vērtību.



4.4. att. Prognozēs salīdzinājumi

4.4. Ģenerāļa Radziņa krastmala

Pirms daudzfaktoru lineārās regresijas modeļa izveides neatkarīgie mainīgie tika pārbaudīti, vai nav savstarpējas korelācijas. 4.5. attēlā ir redzama visu Ģenerāļa Radziņa krastmalas datu kopu mainīgo korelācijas.

	hour	length	delay	speed	temp	wind	rain	snow	accidents	d_holiday	iti_holiday	notikumi	nieku_holic	week_day	ed_before	red_after	constr
hour	1																
length	-0.04006	1															
delay	-0.13714	0.431717	1														
speed	0.09297	0.364207	-0.55115	1													
temp	0.054146	0.054504	-0.03462	0.077958	1												
wind	-0.08979	0.026887	0.035309	-0.02399	-0.06536	1											
rain	0.019556	0.00259	0.006314	0.00187	0.013957	0.10069	1										
snow	-0.05044	-0.03323	-0.00539	-0.01948	-0.52362	0.031908	0.008636	1									
accidents	0.022552	0.006398	0.013464	-0.00964	0.010945	0.017965	0.041018	0.002782	1								
red_holid	-0.00919	-0.00844	-0.02833	0.035405	0.001199	-0.0122	-0.01401	-0.02951	0.012096	1							
citi_holid	0.029065	0.012502	0.019381	-0.00035	0.051098	0.076194	-0.00515	0.034365	0.001729	-0.02572	1						
notikumi	0.011379	0.001622	-0.06612	0.061362	0.0469	-0.01189	0.025905	-0.04957	-0.00609	-0.0284	-0.07998	1					
skolnieku	-0.01276	-0.00053	-0.0025	0.009572	-0.20985	0.031112	0.001977	0.106538	0.001914	-0.00957	-0.04568	0.047068	1				
week_day	0.067622	-0.04811	-0.06656	0.04599	-0.0495	0.072633	0.001663	0.036846	-0.00718	-0.03662	0.038948	0.240171	-0.04085	1			
red_befor	-0.00774	0.026449	-0.00674	0.020801	-0.01415	-0.02821	-0.01796	-0.04339	0.025959	-0.01519	-0.01837	-0.03191	-0.01853	0.081337	1		
red_after	0.000605	0.009109	0.0073	0.006069	0.017428	0.060743	-0.0187	-0.04651	-0.00329	-0.01637	-0.03979	-0.04549	-0.00671	-0.12019	-0.01314	1	
constr	0.120152	0.148126	-0.02192	0.158965	-0.517992	0.027807	0.001593	-0.25413	0.027725	0.027228	0.071489	0.033519	0.03406	0.045016	0.002394	0.02964	1

4.5. att. Korelācijas pārbaude Ģenerāļa Radziņa krastmalas datu kopai

Aplūkojot korelācijas, tika atrasta korelācija starp ceļu remontdarbiem un gaisa temperatūru vairāk par 50%, kā arī starp gaisa temperatūras faktoru un sniega nokrišņu faktoru. Gaisa temperatūras faktors netiks iekļauts daudzfaktoru regresijas modelī datu kopai Ģenerāļa Radziņa krastmalā, jo tas korelē ar ceļu remontdarbiem.

Pēc korelācijas analīzes visi neatkarīgie mainīgie, izņemot gaisa temperatūras faktoru, tika pievienoti regresijas modelim, lai konstatētu būtiskus faktorus. Tādi faktori kā lietus nokrišņi, skolēnu brīvdienas, neoficiālie svētki un diena pēc oficiālajiem svētkiem, nebūs iekļauti regresijas modelim, jo tie nav būtiski. Modelis uzrādīja determinācijas koeficientu 0.037. Datu kopa Ģenerāļa Radziņa krastmala tika sadalīta laika posmos saskaņā ar 3.2. attēlā attēloto shēmu un 3.1. tabulas laika intervāliem, taču tas nedeļa labus rezultātus, tāpēc datu kopa tika sadalīta citos laika posmos. Modeļu rezultāti, kuru determinācijas koeficients bija augstāks vai vienāds ar 0.3, ir uzrādīti 4.3. tabulā, kur mērķa mainīgais ir kustības ātrums sastrēgumā un sastrēguma garums.

4.3. tabula

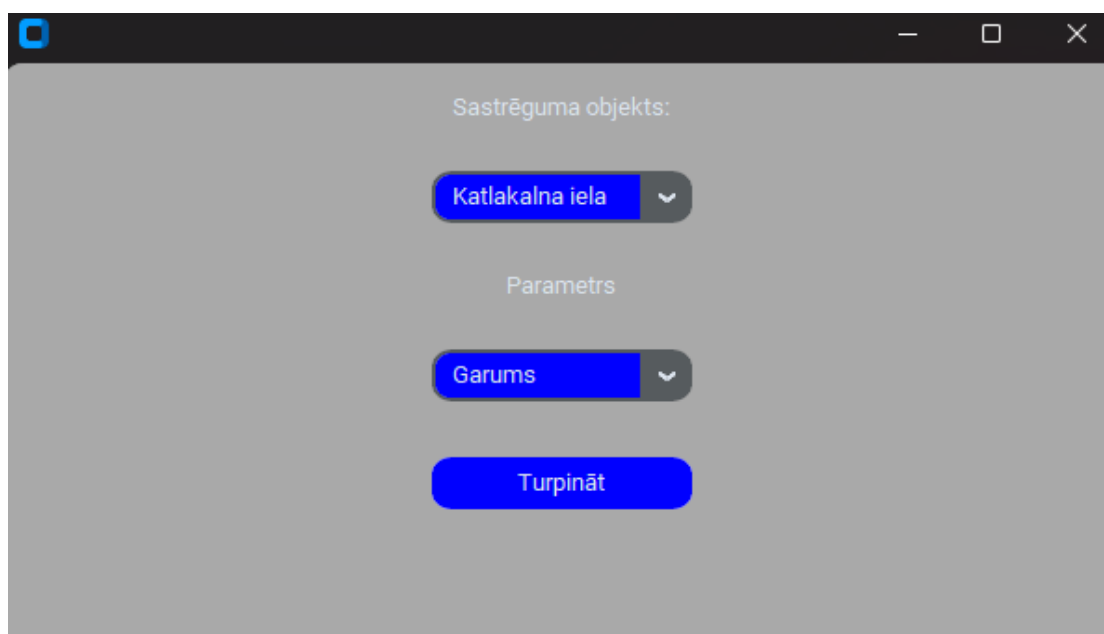
Analīzes rezultāti Ģenerāļa Radziņa krastmalas datu kopai

Parametri	Darba dienas, stundas 22:00 – 23:00	Brīvdienas, stundas 20:00 – 23:00
Datu ierakstu skaits	171	140
R ²	0.324	0.536
Būtiskie faktori	Dienas stunda, vēja brāzmas, lietus nokrišņi, neoficiālie svētki, diena pirms oficiālajiem svētkiem, notikumi, ceļu darbi	Sniega nokrišņi, lietus nokrišņi, neoficiālie svētki, nedēļas diena, notikumi
Šo faktoru klātbūtne datu kopā netika novērota	Diena pēc oficiālajiem svētkiem	Diena pēc oficiālajiem svētkiem
Atkarīgais manīgais	Sastrēguma garums	Kustības ātrums sastrēgumā

Tika atrasti tikai divi laika posmi, kuriem pielietotais regresijas modelis uzrādīja determinācijas koeficientu vērtību virs 0.3. Šo modeļu kopējie būtiskie faktori ir nokrišņi, neoficiālie svētki un notikumi. Ne visiem modeļiem ceļu darbi bija būtisks faktors.

5. SASTRĒGUMA PARAMETRU PROGNOZE

Tika izstrādāta Python programma, kas ļauj lietotājam veikt satiksmes sastrēgumu līmeņa prognozes, izmantojot esošās datu kopas par Rīgas ielu sastrēgumiem. Programma izmanto OpenWeather API, lai iegūtu datus par laikapstākļiem Rīgā. Izmantojot Datetime bibliotēku, programma iegūst informāciju par diennakts stundu un nedēļas dienu. Lietotājam jāievada dati par svētkiem, notikumiem vai skolēnu brīvdienām un jāizvēlas interesējošais sastrēguma objekts. Ielas izvēles opcija ir attēlota 5.1. attēlā. Lai uztaisīt lietotāja saskare izmantota bibliotēka Customtkinter (Schimansky, 2024).



5.1. att. Sastrēguma objekta izvēles iespēja

Programma izvēlas datu kopu, pēc tam sadala to laika posmos atkarībā no pašreizējās diennakts stundas un nedēļas dienas, atbilstoši 3.2. attēlā attēlotajai shēmai un 3.1. tabulas intervāliem. Pēc tam tā aprēķina regresijas koeficientus un novērtē to nozīmīgumu. Pēc pārbaudes uz nozīmīguma līmeni programma izslēdz nenozīmīgos mainīgos un veido regresijas modeli tikai ar nozīmīgiem koeficientiem. Izmantojot visu informāciju, programma veic satiksmes sastrēgumu līmeņa prognozi. Šo darbību demonstrācija ir attēlota 5.2. attēlā. Programmas kods ir pieejams izmantojot saiti: <https://github.com/Azizazqq/Traffic-congestion-forecast.git>.

Oficiālie svētki:
0

Neoficiālie svētki:
0

Diena pirms oficiālajiem svētkiem
0

Diena pēc oficiālajiem svētkiem
0

Ceļu satiksmes negadījums
0

Skolēnu brīvlaiks
0

Notikumi
1

Iesniegt

Atpakaļ

Sastrēguma garums: 1822.5639002696817

5.2. att. Programmas rezultāts

Ar programmas palīdzību var veikt sastrēguma raksturlielumu prognozes gadījumā, ja tiek novērots sastrēgums – to nosaka izmantotās datu kopas raksturs: apkopoti tikai dati, kad sastrēgums ir konstatēts. Ja apstrādājamo datu kopu papildinātu ar gadījumiem, kad sastrēgumi netika novēroti, tas dotu iespēju paplašināt pētījumu un identificēt faktorus, kam ir ietekme uz sastrēgumu rašanos, ne tikai uz to raksturojošo parametru vērtībām. Darba ievaddaļā jau tika minēts, ka objektīvie statistiskie apstākļi, kas saistīti ar sastrēgumu rašanos ir, piemēram, ielu izkārtojums, novietojums attiecībā pret dzīvojamajiem vai rūpnieciskajiem rajoniem, to caurlaides spēja, piegāžu un sabiedriskā transporta maršrutu noslodze, automašīnu un iedzīvotāju skaita attiecība, taču arī tādi mainīgi faktori kā, piemēram, laika apstākļi, nedēļas diena vai diennakts laiks var zināmā mērā ietekmēt sastrēgumu veidošanos. Šajā pētījumā datu kopa netika paplašināta ar datiem par dienām un stundām, kad sastrēgumi nav novēroti, taču tālāk veicot izpēti ir mērķtiecīgi tos pētīt kopā ar tām dienām un stundām, kad sastrēgumi ir novēroti. Tādā gadījumā rastos iespēja izvērtēt, kādiem papildus faktoriem, bez jau minētajiem ir ietekme uz sastrēgumu rašanos. Tāpat arī piedāvātās programmas funkcionalitāti varētu papildināt ar sastrēguma rašanās varbūtības prognozi. Papildus pētījuma gadījumā veidotos pilnvērtīgs rīks, kas pēc pieprasījuma sākuma datu ievades dotu informāciju par sastrēguma varbūtību izvēlētajā maršrutā un laikā, kā arī par

prognozējamajiem sastrēguma raksturojumiem: garumu, vidējo kustības ātrumu sastrēgumā vai iespējamo aizkavēšanās ilgumu.

SECINĀJUMI

Analīze par faktoru ietekmi uz ceļu sastrēgumu līmeni dažādās Rīgas ielās, deva šādus rezultātus:

- datu kopu sadalīšana laika intervālos ir uzlabojusi modeļa izskaidrošanas spēju mērķa mainīgajam, kas raksturo ceļa sastrēguma līmeni datu kopās par Rīgas ielām, izmantojot esošos prognozētāju faktorus;
- faktoru ietekme uz ceļa sastrēguma raksturlielumiem atšķiras tādos pašos laika intervālos, pētot sastrēgumus Ernesta Birznieka – Upīša datu kopā brīvdienās, netika atrasti regresijas modeļi, kuri izskaidro ceļa sastrēguma garuma variāciju vairāk par 30%, tomēr tajā pašā laika posmā tika atrasti trīs regresijas modeļi, kas izskaidroja kustības ātrumu sastrēgumā variāciju vairāk par 40% visos gadījumos;
- datu izvilksana par sastrēgumiem ziemas sezonā no Katlakalna ielu datu kopas palielinājusi regresijas modeļa izskaidrošanas spēju, izskaidrojot sastrēguma garuma variāciju vairāk par 13.6%, pētot vienu un to pašu laika intervālu – darba dienas pirmajā pusē;
- Ernesta Birznieka – Upīša datu kopā ziemas sezonas datu izvilksana no pilnās datu kopas samazina modeļa izskaidrošanas spēju mērķa mainīgajiem – kustības ātrumam sastrēgumā, par 17.3%, pētot vienu un to pašu laika intervālu – brīvdienās, vakara stundas, pirmajā pusē;
- faktors, kas visbiežāk būtiski ietekmē sastrēguma garuma līmeņa pieaugumu vai samazināšanos pilsētas centrā, izpētītas datu kopās, ir nedēļas diena, un tās daļa ir 19% no visiem pārējiem faktoriem;
- faktori, kas visbiežāk būtiski ietekmē sastrēguma garuma pieaugumu vai samazināšanos pilsētas rajonos, izpētītajās datu kopās, ir lietuss nokrišņi, nedēļas dienas, gaisa temperatūra, notikumi un diennakts stunda;
- sastrēgumiem pilsētas centrā un pilsētas rajonos ir kopējie faktori, kas vienlīdz bieži parādās kā būtiskie ietekmējošie faktori, tostarp gaisa temperatūra un notikumi;
- sastrēgumus pilsētas centrā ietekmēja par 7% biežāk vēja brāzmas nekā pilsētas rajonos;

- sastrēgumus pilsētas rajonos ietekmēja par 8% biežāk diennakts stunda nekā sastrēgumus centrā.;
- ziemas periodā nedēļas dienai, gaisa temperatūrai un diennakts stundām bija lielāka ietekme uz ceļu sastrēguma līmeņa variāciju. Šie faktori veido 51% no visiem citiem;
- Izpētot faktoru ietekmi uz ceļu sastrēguma garumu, tika konstatēts, ka sastrēgumi visbiežāk nebija novēroti datu kopās oficiālo svētku dienās un dienās pēc oficiālajiem svētkiem – 44% gadījumos, šādi faktori neietekmēja sastrēgumus atbilstošajās datu kopās;
- datu kopu sadalīšana nestandarta laika posmos palīdzēja izskaidrot sastrēgumu līmeņa variāciju tur, kur sadalīšana standarta laika posmos nepalīdzēja atrast regresijas modeli, kas izskaidroja sastrēgumu līmeņa variāciju vairāk par 30% datu kopās, kur bija pētīta ceļu remontdarbu ietekme uz sastrēguma līmeni;
- no astoņiem labākajiem modeļa rezultātiem, kur bija pētīta ceļu remontdarbu ietekme uz sastrēguma līmeni, ceļu remontdarbu faktors piecos modeļos parādījās kā būtisks.
- pārbaudot Katlakalna, Hanzas – Rūpniecības, Ūnijas – Stirnu, Krišjāņa Valdemāra – Ēveles, Ernesta Birznieka – Upīša – Dzirnavu datu kopās, datus par sastrēgumiem nakts stundās, netika atrasts regresijas modelis, kas izskaidro sastrēguma līmeņa variāciju vairāk par 10%.
- pētot faktoru ietekmi uz dažādām ielām kopā, bija atrasti divi laika posmi, kuros regresijas modelis parādīja determinācijas koeficientu virs 0.4;
- datu kopā, kas satur datus par sastrēgumiem dažādās ielās kopā, gadījumos, kad notiek ceļu satiksmes negadījums, tika konstatēts, ka vidējais sastrēguma garums ir lielāks salīdzinot ar datu kopu, kurā ietilpst gan sastrēgumi ar negadījumiem, gan sastrēgumi bez negadījumiem.
- datu kopā, kur ir dati par dažādām ielām kopā, kad tika pētīta faktoru ietekme uz sastrēgumiem, kuru garums bija lielāks par vidējo garuma vērtību, tika atrasts laika posms, kurā regresijas modelis izskaidroja

kustības ātrumu sastrēgumā variāciju par 43.7% – darba dienās, dienas stundās, pirmajā pusē.

Nevar izcelt vienu faktoru, kas ietekmē visus iespējamus ceļu sastrēgumus. Katrs faktors savā veidā ietekmē noteiktus sastrēgumus un tiem raksturīgos parametrus.

Modelis ļauj izskaidrot daļu no mērķa mainīgo variācijas, izmantojot esošos prognozētāju faktorus tikai noteiktos gadījumos. Tas nozīmē, ka pārējo sastrēguma līmeņa variāciju ietekmē nezināmi faktori, kas netika iekļauti pētījumā, piemēram, mašīnu skaits uz iedzīvotāju skaitu, nedabiskie šķēršļi uz ceļa, brīdī, kad bija vērojams sastrēgums, vai infrastruktūras īpašības sastrēguma objekta tuvumā.

Daudzfaktoru regresijas modelis ļauj analizēt dažādu faktoru ietekmi uz ceļu sastrēgumu līmeni. Visi mērķa mainīgie, kas apraksta ceļu sastrēguma līmeni, bija nepārtraukti lielumi, un faktoriem, kas ietekmē sastrēgumu līmeni, lielumi bija atšķirīgi – gan kvalitatīvi, gan kvantitatīvi. Tos visus var analizēt, izmantojot daudzfaktoru lineārās regresijas modeli. Statistikas testi ļauj atklāt konkrētus faktorus, kas būtiski ietekmē ceļu sastrēguma līmeņa palielināšanos vai samazināšanos. Analizējot korelāciju, no regresijas modeļa tika izslēgti tādi faktori, kas savstarpēji korelēja, lai noteiktu konkrētus faktorus, kas ietekmē sastrēguma lielumu. Datu analīzei un apstrādei tika izmantota Python programmēšanas valoda, kas apvienoja visu izstrādāto programmu funkcionalitāti datu analīzei un apstrādei no dažādiem avotiem. Python valodā, izmantojot bibliotēkas, tika izstrādāta programma, kas sniedz ceļu sastrēguma līmeņa prognozi reālajā laikā.

IZMANTOTIE INFORMĀCIJAS AVOTI

- Akallouch, M., Fardousse, K., Bouhoute, A., Berrada, I. Exploring the Risk Factors Influencing the Road Accident Severity: Prediction with Explanation. In: *2023 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC), Morocco, Marrakesh, June 19-23, 2023*. IEEE, 2023, 763-768 pp. ISSN 2376-6506. Available from: 10.1109/IWCMC58020.2023.10182749.
- Boslaugh, S. *Statistics in a Nutshell*. 2 edition. O'Reilly Media, 2012. 594 p. ISBN 978-1449316822.
- Bruce, P., Bruce, A., Gedeck, P. *Practical Statistics for Data Scientists*. 2 edition. O'Reilly Media, 2020. 360 p. ISBN 978-1492072942.
- Bian, C., Yuan, C., Kuang, W., Wu, D. Evaluation, Classification, and Influential Factors Analysis of Traffic Congestion in Chinese Cities Using the Online Map Data. *Mathematical Problems in Engineering*. 2016. Available from: doi: 10.1155/2016/1693729.
- Boisberranger J., Bossche J.V., Estève L., Fan T. J., Gramfort A., Grisel O., Halchenko Y., Head T. *Scikit-learn Documentation*, [online]. Scikit-learn, 2022 [viewed 28 February 2024]. Available from: <https://scikit-learn.org/stable/index.html>.
- Chow, A. H. F., Santacreu, A., Tsapakis, I., Tanasaranond, G., Cheng, T. Empirical assessment of urban traffic congestion. *Journal of Advanced Transportation*. 2013, 48(8), 1000-1016. Available from: doi: 10.1002/atr.1241.
- Duan, X., Xu, J., Chen, Y., Jiang, R. Analysis of influencing factors on urban traffic congestion and prediction of congestion time based on spatiotemporal big data. In: *2020 International Conference on Big Data, Artificial Intelligence and Internet of Things Engineering (ICBAIE), China, Fuzhou, June 12-14, 2020*. IEEE, 2020, 75-78 pp. ISBN 978-1-7281-6500-4. Available from: 10.1109/ICBAIE49996.2020.00022.
- Datla S., Sahu, P., Roh, H., Sharma, S. A Comprehensive Analysis of the Association of Highway Traffic with Winter Weather Conditions. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2013, 104, 497-506. Available from: doi: 10.1016/j.sbspro.2013.11.143.
- Falahatraftar, F., Pierre, S., Chamberland, S. A Multiple Linear Regression Model for Predicting Congestion in Heterogeneous Vehicular Networks. In: *2020 16th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and*

- Communications (WiMob), Greece, Thessaloniki, October 12-14, 2020*. IEEE, 2020, 93-98 pp. ISBN 978-1-7281-9723-4. Available from: 10.1109/WiMob50308.2020.9253393.
- Gazoni, E., Clark, C. *openpyxl - A Python library to read/write Excel 2010 xlsx/xlsm files* [online]. Readthedocs, 2023 [viewed 13 February 2024]. Available from: <https://openpyxl.readthedocs.io/en/stable/tutorial.html>.
- He, Z., Ren, B., He, C. Identification of influencing factors of urban traffic congestion based on ordered Logistic regression. In: *2022 7th International Conference on Intelligent Computing and Signal Processing (ICSP), China, Xi'an, April 15-17, 2022*. IEEE, 2022, 914-918 pp. ISBN 978-1-6654-7858-8. Available from: 10.1109/ICSP54964.2022.9778490.
- He, F., Yan, X., Liu, Y., Ma, L. A Traffic Congestion Assessment Method for Urban Road Networks Based on Speed Performance Index. *Procedia Engineering*. 2016, 137, 425-433. Available from: doi: 10.1016/j.proeng.2016.01.277.
- Kalendārs. Latvijas kalendārs [tiešsaite]. Kalendārs: 2023 [skatīts 2024. g. 25. febr.]. Pieejams: <https://xn--kalendrs-m7a.lv/2023-gads>.
- Kabaškins, I. *Transporta sastrēgumu monitoringa metodoloģijas izstrāde plūsmu uzlabošanai pilsētā* [tiešsaite]. Rīga: TSI, 2007. Pieejams: https://sus.lv/sites/default/files/media/faili/sastregumu_monitorings_metodologija.pdf.
- Lu, M., Sun, C., Zheng, S. Congestion and pollution consequences of driving-to-school trips: A case study in Beijing. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2017, 50, 280-291. Available from: doi: 10.1016/j.trd.2016.10.023.
- Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs. Meteoroloģiskās stacijas [tiešsaite]. Latvijas Atvērto datu portāls, [skatīts 2024. g. 28. febr.]. Pieejams: <https://data.gov.lv/dati/lv/dataset/noverojumu-dati/resource/17460efb-ae99-4d1d-8144-1068f184b05f>.
- Latvijas Transportlīdzekļu apdrošinātāju birojs. Accidents [tiešsaite]. LTAB: [skatīts 2024. g. 28. febr.]. Pieejams: <https://map.ltab.lv/Accidents>.
- Lee, J., Hong, B., Lee, K., Jang, Y. A Prediction Model of Traffic Congestion Using Weather Data. In: *2015 IEEE International Conference on Data Science and Data Intensive Systems, Australia, Sydney, December 11-13, 2015*. IEEE, 2015, 81-88. e-ISBN 978-1-5090-0214-6. Available from: 10.1109/DSDIS.2015.96.

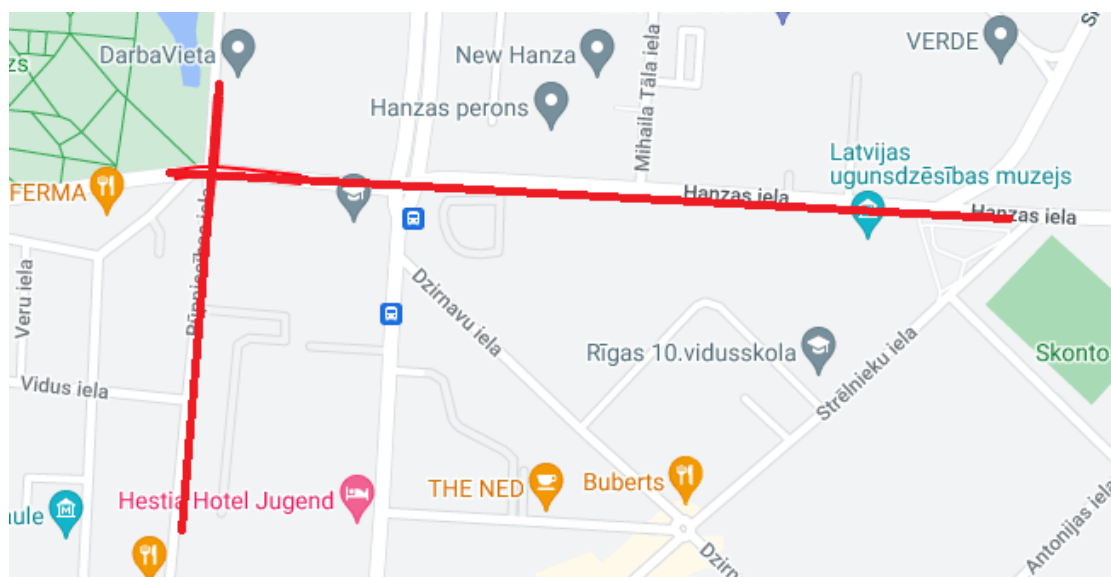
- McKinney, W. *Python for Data Analysis: Data Wrangling with pandas, NumPy, and Jupyter*. 3 edition. O'Reilly Media, 2022. 579 p. ISBN 978-1098104030.
- Mfinanga, B., Fungo E. Impact of Incidents on Traffic Congestion in Dar es Salaam City. *International Journal of Transportation Science and Technology*. 2013, 2(2), 95-108. Available from: doi:10.1260/2046-0430.2.2.95.
- Nield, T. *Essential Math for Data Science*. O'Reilly Media, 2022. 347 p. ISBN 9781098102883.
- Otto, S. A. *How to normalize the RMSE* [online]. Marinedatascience, 2019. [viewed 27 February 2024]. Available from: <https://www.marinedatascience.co/blog/2019/01/07/normalizing-the-rmse/>.
- Pardoe, I. *Applied Regression Modeling*. 3 edition. John Wiley & Sons, 2020. 336 p. ISBN 978-1119615866.
- Perktold, J., Seabold, S., Taylor, J. *Statsmodels*, [online]. Statsmodels, 2019 [viewed 15 February 2024]. Available from: <https://www.statsmodels.org/stable/index.html>.
- Reitz, K., Benfield, C., Prewitt, N., Cordasco, I. S., Larson S. M. *Requests: HTTP for Humans* [online]. Readthedocs, 2011 [viewed 13 February 2024]. Available from: <https://requests.readthedocs.io/en/latest/>.
- RĪGAS VALSTPĪLSĒTAS PAŠVALDĪBAS ĀRTEBILITĀTES DEPARTAMENTS. Remontdarbu karte [tiešsaite]. RDSD, [skatīts 2024. g. 28. febr.]. Pieejams: <https://www.rdsd.lv/remontdarbi/remontdarbu-karte>.
- Simunek, M., Smutny, Z., Dolezel, M. The Impact of the COVID-19 Movement Restrictions on the Road Traffic in the Czech Republic during the State of Emergency. *Journal of Advanced Transportation*. 2021. Available from: doi: 10.1155/2021/6622028.
- Schimansky, T. *CustomTkinter documentation* [online]. Customtkinter: 2024 [viewed 18 February 2024]. Available from: <https://customtkinter.tomschimansky.com/documentation/>.
- Turner, A. *Python 3.12.3 documentation* [online]. Python Software Foundation, 2023 [viewed 12 February 2024]. Available from: <https://docs.python.org/3>.
- Tsapakis, I., Cheng, T., Bolbol, A. Impact of weather conditions on macroscopic urban travel times. *Journal of Transport Geography*. 2013, 28, 204-211. Available from: doi: 10.1016/j.jtrangeo.2012.11.003.

- Wen, H., Sun, J., Zhang, X. Study on Traffic Congestion Patterns of Large City in China Taking Beijing as an Example. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2014, 138, 482-491. Available from: doi: 10.1016/j.sbspro.2014.07.227.
- Xu, Q., Zheng, J., Sun, C. In: *2017 29th Chinese Control And Decision Conference (CCDC), China, Chongqing, May 28-30, 2017*. IEEE, 2017, 3496-3500 pp. ISBN 978-1-5090-4658-4. Available from: 10.1109/CCDC.2017.7979111.
- Zheng, Z., Wang, Z., Zhu, L., Jiang, H. Determinants of the congestion caused by a traffic accident in urban road networks. *Accident Analysis & Prevention*. 2020, 136. Available from: doi: 10.1016/j.aap.2019.105327.
- Reitz, K., Benfield, C., Prewitt, N., Cordasco, I. S., Larson S. M. Requests: HTTP for Humans [online]. Readthedocs, 2011 [viewed 16 February 2024]. Available from: <https://requests.readthedocs.io/en/latest/>.

PIELIKUMI

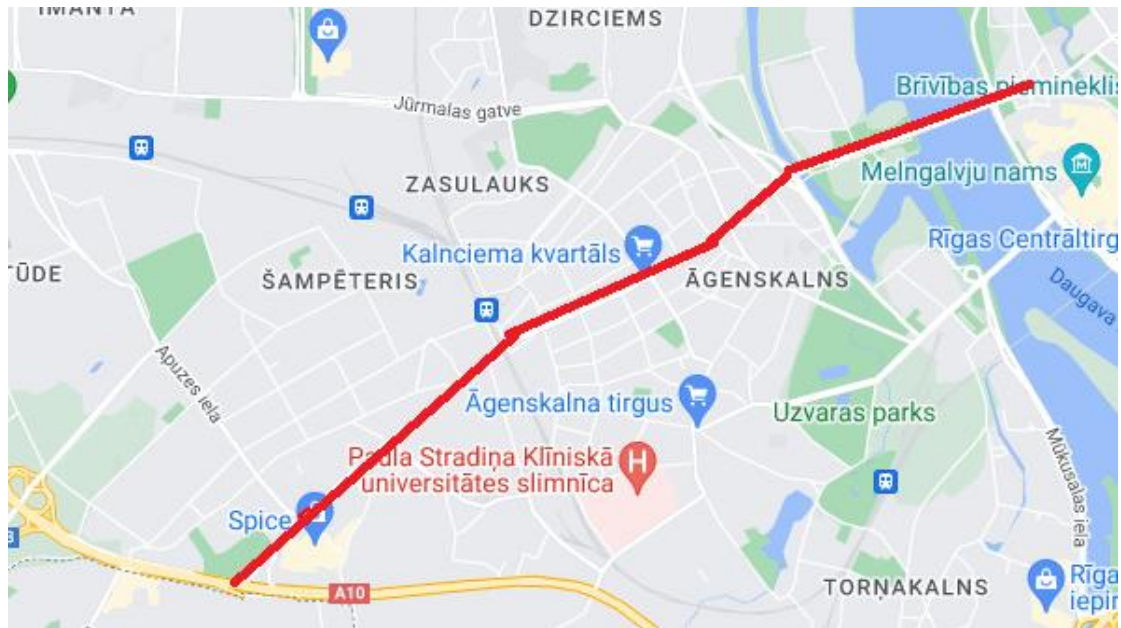
1. pielikums

Hanzas – Rūpniecības negadījumu teritorija

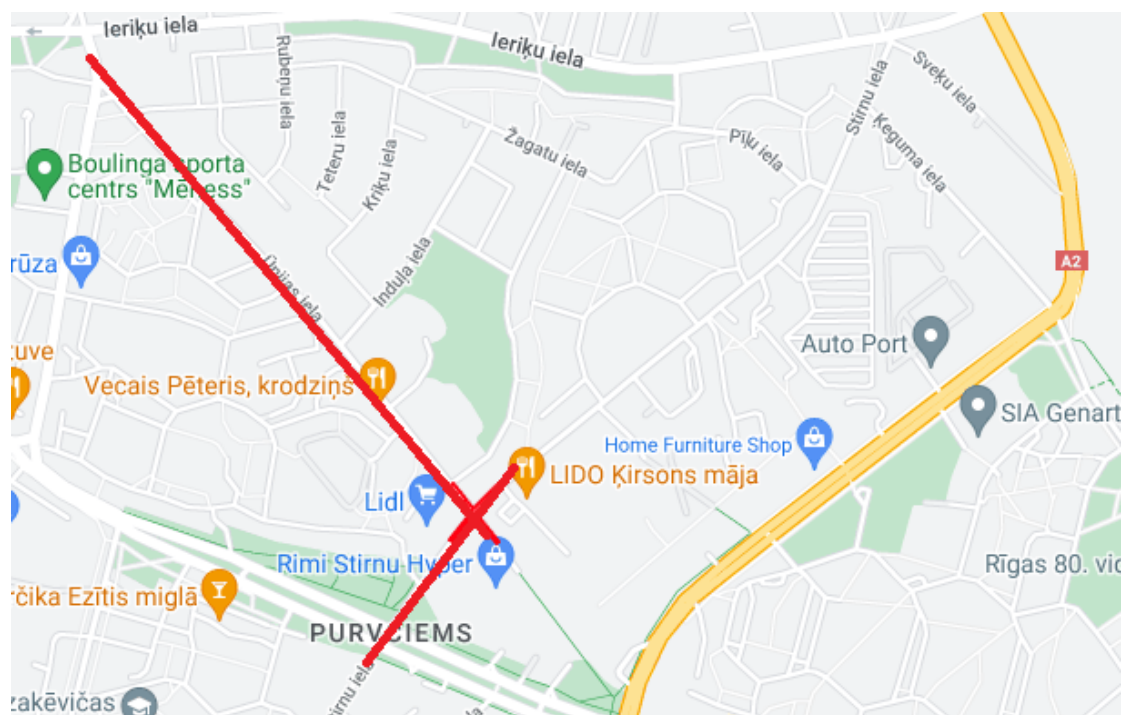


2. pielikums

Lielirbes negadījumu teritorija

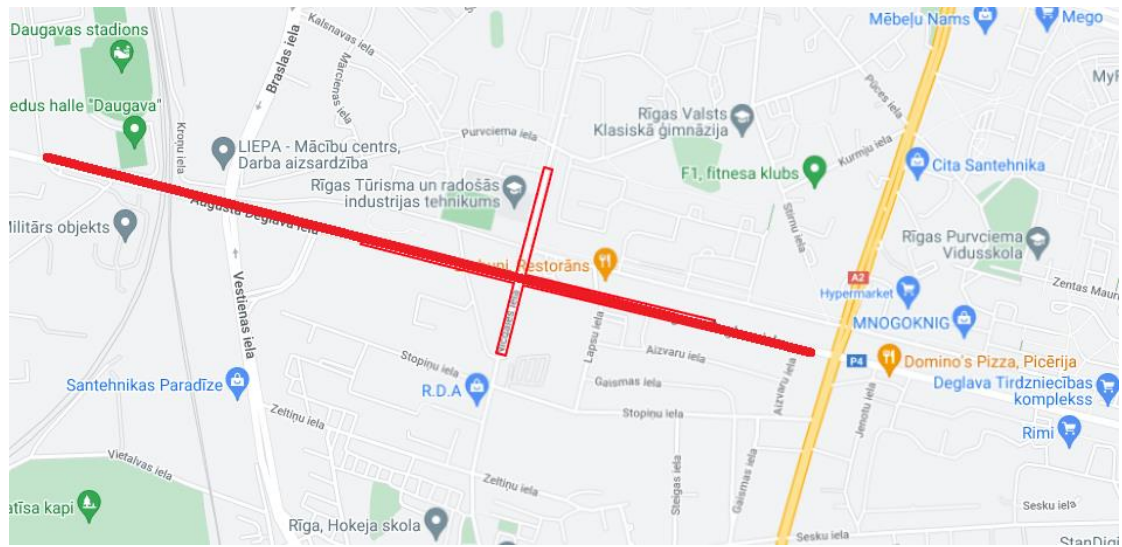


Ūnijas – Stirnu negadījumu teritorija

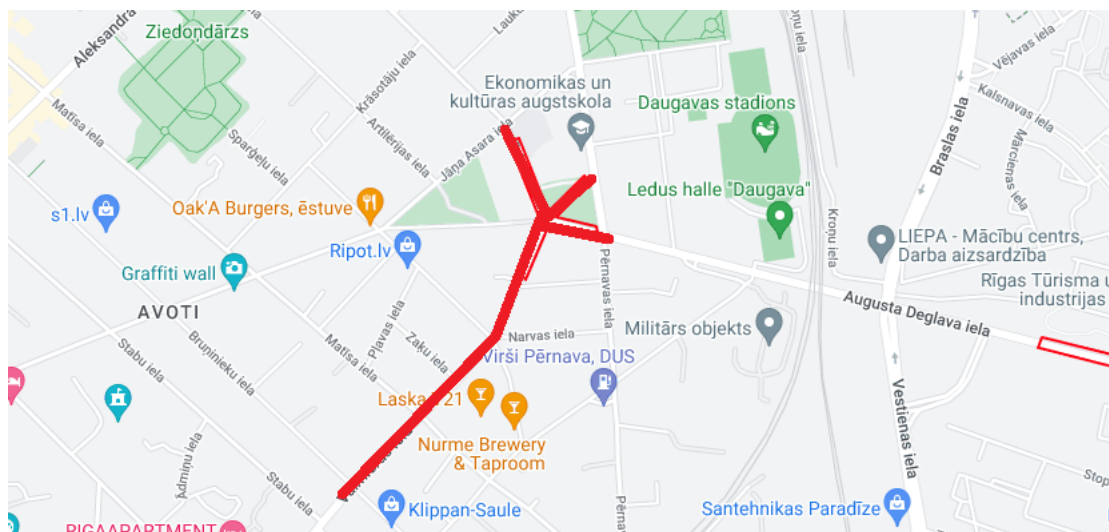


4. pielikums

Deglava tilta negadījumu teritorija

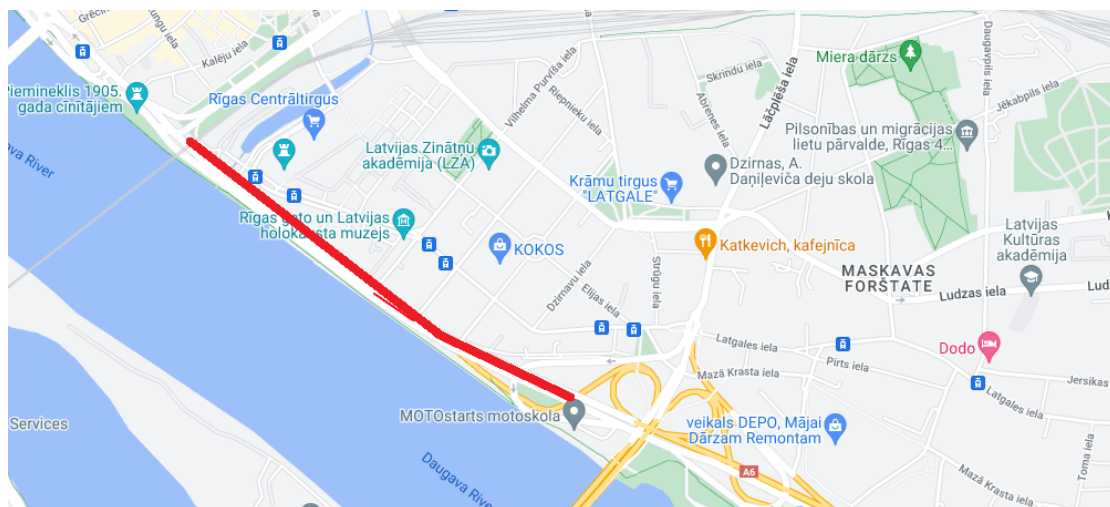


Deglava – Valmiera negadījumu teritorija



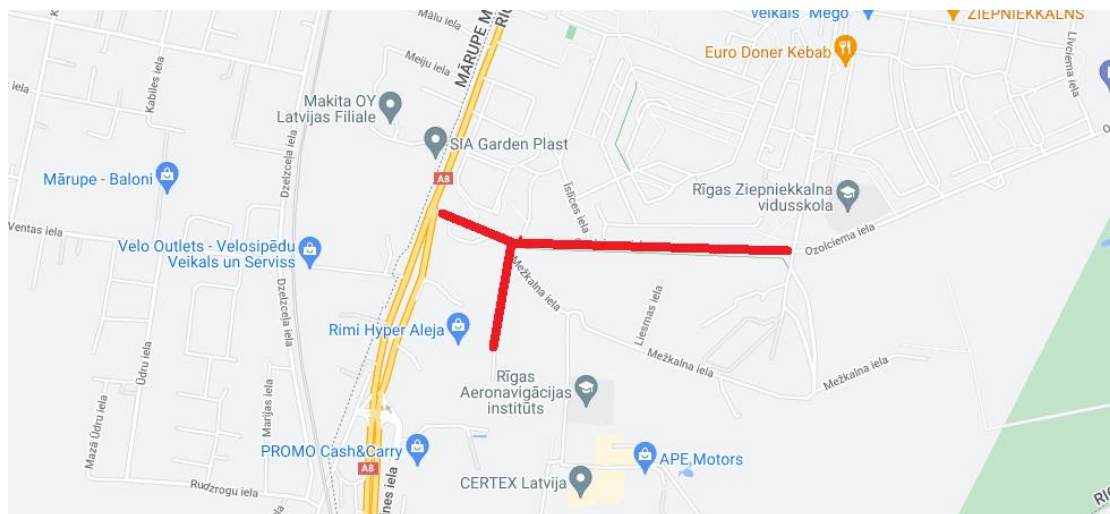
6. pielikums

Ģenerāļa Radziņa krastmala negadījumu teritorija

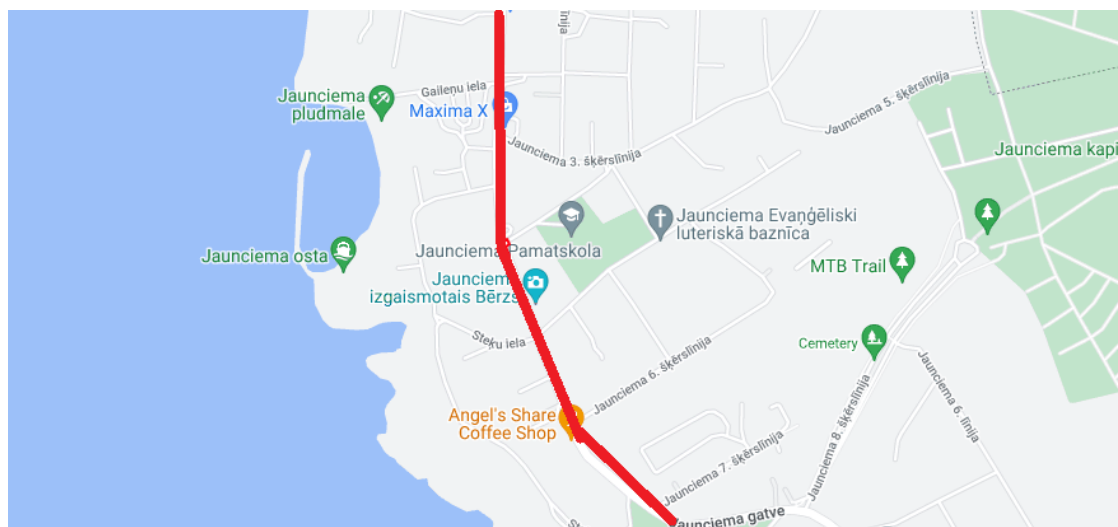


7. pielikums

Ozolciema negadījumu teritorija



Jaunciema negadījumu teritorija



9. pielikums**Neoficiālie svētki, kas iekļauti pētījumā**

Nr. p. k.	Datums	Nosaukums/Apraksts
1.	08/03/2023	Starptautiskā sieviešu diena
2.	27/04/2023	Latgales kongresa diena
3.	09/05/2023	Eiropas diena
4.	14/05/2023	Mātes diena
5.	15/05/2023	Starptautiskā ģimenes diena
6.	17/05/2023	Ugunsdzēsēju un glābēju diena
7.	28/05/2023	Vasarsvētki
8.	01/06/2023	Starptautiskā bērnu aizsardzības diena
9.	30/06/2023	Vispārējie latviešu dziesmu svētki
10.	09/07/2023	Vispārējo latviešu dziesmu svētku noslēguma diena
11.	21/08/2023	Konstitucionālā likuma "Par Latvijas Republikas valstisko statusu" pieņemšanas diena
12.	01/09/2023	Zinību diena
13.	10/09/2023	Tēva diena
14.	22/09/2023	Baltu vienības diena
15.	01/10/2023	Skolotāju diena
16.	15/10/2023	Valsts valodas diena
17.	11/11/2023	Lāčplēša diena
18.	05/12/2023	Polijas darbinieku diena

19.	26/01/2024	Latvijas Republikas starptautiskās atzīšanas diena
20.	08/03/2024	Starptautiskā sieviešu diena
21.	27/04/2024	Latgales kongresa diena

Notikumi, kas iekļauti pētījumā

Nr. p. k.	Datums	Nosaukums/Apraksts
1.	01/03/2023	Ziemas riepas no 1. decembra līdz 1. martam
2.	17/03/2023	Svētā Patrika diena
3.	01/04/2023	Joku diena
4.	02/04/2023	Pūpolu svētdiena
5.	05/04/2023	Ēnu diena 2023
6.	09/04/2023	Pareizticīgo Pūpolu svētdiena
7.	14/04/2023	Pareizticīgo Lielā Piektdiena
8.	16/04/2023	Pareizticīgo Lieldienas
9.	22/04/2023	Lielā Talka 2023
10.	29/04/2023	Motosezonas atklāšana 2023
11.	06/05/2023	Rimi Rīgas maratons 06.-07.05.2023
12.	07/05/2023	Rimi Rīgas maratons 06.-07.05.2023
13.	13/05/2023	Muzeju nakts 2023
14.	20/05/2023	Darba diena, pārcelta no 05.05.2023
15.	04/06/2023	Pareizticīgo Svētās Trijādības diena. Piecdesmitniece. Troica
16.	09/06/2023	Sarunu festivāls LAMPA 2023, 9.-10.jūnijs
17.	10/06/2023	Sarunu festivāls LAMPA 2023, 9.-10.jūnijs
18.	08/07/2023	Jūras svētku diena

19.	14/07/2023	Positivus 2023, 14.- 15.jūlijs
20.	15/07/2023	Positivus 2023, 14.- 15.jūlijs
21.	04/08/2023	Summer Sound 2023, 04.- 05.08
22.	05/08/2023	Summer Sound 2023, 04.- 05.08
23.	15/08/2023	Vissvētākās Jaunavas Marijas debesīs uzņemšanas svētki
24.	18/08/2023	Rīgas 822. dzimšanas diena, 18.-19.08
25.	19/08/2023	Rīgas 822. dzimšanas diena, 18.-19.08
26.	13/09/2023	Programmētāju diena
27.	17/09/2023	Toyota Rīgas velomaratons 2023
28.	29/09/2023	Svin Skolotāju dienu
29.	30/09/2023	Pasaules čempionāts skriešanā Rīgā 2023, 30.09-01.10
30.	01/10/2023	Pasaules čempionāts skriešanā Rīgā 2023, 30.09-01.10
31.	31/10/2023	Helovīns
32.	24/11/2023	Melnā Piektdiena
33.	01/12/2023	Ziemas riepas no 1. decembra līdz 1. martam
34.	03/12/2023	Pirmā Advente
35.	10/12/2023	Otrā Advente
36.	17/12/2023	Trešā Advente
37.	24/12/2023	Ceturtdā Advente

38.	07/01/2024	Pareizticīgo Ziemassvētki
39.	14/01/2024	Vecais Jaunais gads
40.	19/01/2024	Pareizticīgo un veticībnieku Kunga Kristīšanas svētki
41.	29/01/2024	Karoga diena Skrundā
42.	02/02/2024	Starptautiskais ledus skulptūru festivāls
43.	11/02/2024	Metēni (kristiešu)
44.	01/03/2024	Ziemas riepas no 1. decembra līdz 1. martam
45.	17/03/2024	Svētā Patrika diena
46.	01/04/2024	Joku diena
47.	03/05/2024	Pareizticīgo Lielā Piektiena
48.	05/04/2024	Pareizticīgo Lieldienas

11. pielikums**Dati Ernesta Birznieka – Upīša – Dzirnavu datu kopās**

Atribūts	Iespējamās vērtības
Identifikācijas numurs	499
Datums	28/02/2023 – 12.02.2024
Sastrēguma garums	64 – 1412
Aizkavējums sastrēgumā	-1 – 2617
Ātrums sastrēgumā	0 – 13.91

12. pielikums**Dati Krišjāņa Valdemāra – Ēveles datu kopās**

Atribūts	Iespējamās vērtības
Identifikācijas numurs	495
Datums	28/02/2023 – 12.02.2024
Sastrēguma garums	74 – 3456
Aizkavējums sastrēgumā	34 – 1380
Ātrums sastrēgumā	0.53 – 27.40

Dati Ūnijas – Stirnu datu kopās

Atribūts	Iespējamās vērtības
Identifikācijas numurs	500
Datums	28/02/2023 – 12.02.2024
Sastrēguma garums	154 – 1151
Aizkavējums sastrēgumā	45 – 1851
Ātrums sastrēgumā	1.2 – 27.76

14. pielikums**Dati Hanzas – Rūpniecības datu kopās**

Atribūts	Iespējamās vērtības
Identifikācijas numurs	498
Datums	28/02/2023 – 12.02.2024
Sastrēguma garums	82 – 1207
Aizkavējums sastrēgumā	-1 – 1538
Ātrums sastrēgumā	0 – 18.28

Dati Lielirbes datu kopās

Atribūts	Iespējamās vērtības
Identifikācijas numurs	361
Datums	28/02/2023 – 11/04/2024
Sastrēguma garums	46 – 5368
Aizkavējums sastrēgumā	33 – 4142
Ātrums sastrēgumā	0.75 – 34.27

Dati Jaunciema datu kopās

Atribūts	Iespējamās vērtības
Identifikācijas numurs	363
Datums	28/02/2023 – 11/04/2024
Sastrēguma garums	25 – 1635
Aizkavējums sastrēgumā	-1 – 995
Ātrums sastrēgumā	0 – 13.77

Dati Ozolciema datu kopās

Atribūts	Iespējamās vērtības
Identifikācijas numurs	471
Datums	28/02/2023 – 11/04/2024
Sastrēguma garums	167 – 1934
Aizkavējums sastrēgumā	11 – 1639
Ātrums sastrēgumā	0.5 – 30.51

18. pielikums**Dati Ģenerāļa Radziņa krastmala datu kopās**

Atribūts	Iespējamās vērtības
Identifikācijas numurs	615
Datums	28/02/2023 - 04/05/2024
Sastrēguma garums	73 – 918
Aizkavējums sastrēgumā	-1 – 2597
Ātrums sastrēgumā	0 – 25.70

Dati Deglava – Valmieras datu kopās

Atribūts	Iespējamās vērtības
Identifikācijas numurs	611
Datums	28/02/2023 - 04/05/2024
Sastrēguma garums	74 – 1738
Aizkavējums sastrēgumā	-1 – 2527
Ātrums sastrēgumā	0 – 24.2

Dati Deglava tilts datu kopās

Atribūts	Iespējamās vērtības
Identifikācijas numurs	526
Datums	28/02/2023 – 04/05/2024
Sastrēguma garums	55 – 4447
Aizkavējums sastrēgumā	-1 – 2944
Ātrums sastrēgumā	0 – 30.63